

Modelletablierung Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017

Schlussbericht



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)

Auftragnehmer

TransOptima GmbH, Zürich/Olten

Dr. Milenko Vrtic (Projektleiter)

Dr. Claude Weis

TransSol GmbH, Wollerau

Dr. Philipp Fröhlich

PTV Transport Consult GmbH, Dresden

Jörg Uhlig (Stv. Projektleiter)

Dr. Birgit Dugge

Jens Landmann

PTV AG, Karlsruhe

Dr. Juliane Pillat

Strittmatter Partner AG, St. Gallen

Dr. Balz Bodenmann

Pascal Bürki

Camilla Philipp

Nadja Bernhard

Larissa Kessler

Projektbegleitung ARE

Dr. Andreas Justen (Projektleiter)

Dr. Antonin Danalet (Stv. Projektleiter)

Dr. Nicole Mathys

Prof. Dr. Christian Schiller (Berater ARE)

Begleitgruppe

Dr. Martin Tschopp & Christian Egeler (ARE)

Julie Lietha & Sébastien Pearron (BAV)

Jörg Häberli & Dr. Maik Hömke (ASTRA)

Martin Babst (BFE)

Andreas Catillaz (BAFU)

Wolfgang Scherr (SBB)

Damien Cataldi (Kanton Genf)

Gordon Finné (Kanton Aargau)

Danièle Müller (Kanton Luzern)

Orhan Özkul (Kanton Zürich)

Michael Redle (Kanton Basel-Stadt)

Fiona Baumgartner & Barbara Kocher (Kanton Bern)

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

© ARE, Mai 2020

Inhalt

1	Grundlagen	11
1.1	Zonierung	11
1.1.1	Verkehrszonen Schweiz.....	11
1.1.2	Verkehrszonen Ausland.....	16
1.2	Verkehrsangebot.....	36
1.2.1	Strassennetz Schweiz	36
1.2.2	Strassennetz Ausland	50
1.2.3	Öffentlicher Verkehr	68
1.2.4	Fuss- und Velonetz Schweiz	75
1.3	Aussenverkehr	84
1.3.1	Alpen- und grenzquerender Personenverkehr (A+GQPV).....	84
1.3.2	Erstellung der im NPVM umlegungsfähigen Matrizen	92
1.3.3	Grenzgängerstatistik (GGS)	101
1.4	Aufbereitung der Zähl.....	109
1.4.1	MIV	109
1.4.2	ÖV.....	114
1.4.3	Velo	117
2	Modelle.....	118
2.1	Überblick: Methodik eines Verkehrsmodells.....	118
2.1.1	Methodik und Modellstrukturen im NPVM	118
2.1.2	Bewertungsfunktionen.....	121
2.2	Verkehrserzeugung	127
2.2.1	Segmentierung der Nachfrage	127
2.2.2	Ermittlung verkehrlicher Kenngrößen.....	128
2.2.3	Bildung der verhaltenshomogenen Gruppen.....	131
2.2.4	Zielpotenziale	134
2.2.5	Festlegung der Attraktionsraten	143
2.3	Kosten in der Ziel- und Moduswahl	145
2.3.1	MIV	145
2.3.2	ÖV.....	147
2.4	Ziel- und Verkehrsmoduswahl	152
2.4.1	Kenngrößen und Verwendung der SP-Parameter	152
2.4.2	Matrix der ÖV-Auslastung	153
2.5	Umlegung und Verkehrsangebot, Kenngrößen	156
2.5.1	MIV	156
2.5.2	ÖV.....	156
2.5.3	Velo	157
2.6	Umsetzung des Modells in Visum	168
2.6.1	Anforderungen	168
2.6.2	Details zur technischen Umsetzung	169

2.6.3	Visum-Verfahrensschritte	183
2.7	Validierung und Kalibrierung	190
2.7.1	Modellzustand 1: Erstanwendung, unkalibriert	190
2.7.2	Modellzustand 2: Kalibration auf den MZMV	211
2.7.3	Modellzustand 3: Kalibration des DWV-Modells auf die Zählraten	233
3	Anwendungen	253
3.1	Sensitivitäten und Prognosen	253
3.1.1	Versuchsplanung zur Modellprüfung	253
4	Fazit zur Etablierung des DWV-Modells	268
4.1	Regelungen Bezug des Modells	270
5	Weitere Modellzustände	271
5.1	DTV 2017	271
5.1.1	Ableitung der Nachfragematrizen	271
5.1.2	Umlegung und Kalibration	272
5.1.3	Modelle für den Tages- und Nachtverkehr	277
5.2	Modelle der Spitzenstunden	279
5.2.1	Zeitscheiben Personenverkehr 2017	279
5.2.2	Umlegung und Kalibration der Spitzenstunden-Matrizen	287
5.3	Testprognose 2040	295
5.3.1	Inputs und Annahmen	295
5.3.2	Ergebnisse	298
6	Literatur	302
7	Anhänge	305
7.1	Zonen, die den Strukturgrößen-Prüfwert von Faktor 2.5 überschreiten	305
7.2	Benutzerdefinierte Attribute der Auslandszonen	306
7.3	Attributierung der Strecken im Ausland	306
7.4	Stadt/Land-Typologie 2012 des BFS	310
7.5	EVA-Berechnung, Anzahl Iterationen je QZG	311
7.6	Ausprägungen NPVM-Strukturdatentabelle	312
7.7	Spezifische Verkehrsaufkommensraten (SVA)	318
7.8	Besucherzahlen (DWV) singuläre Verkehrserzeuger Freizeit	324
7.9	PW-Kosten	325
7.10	Bewertungsparameter für EVA-Modell	327
7.11	DTV-Modell 2017 – Kalibration Tages- / Nachtverkehr	330
7.12	Sensitivitätstests – Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen	332

Zusammenfassung

Der technische Bericht dokumentiert die Erstellung des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) mit Basiszustand 2017. Die zur Erstellung des Modells genutzten Daten und eingesetzten Methoden sind detailliert und nachvollziehbar dargelegt. Ausgangspunkt bildete die Erstellung neuer Zonenstrukturen, diese Arbeiten sind in einem separaten Bericht dokumentiert (ARE, 2017d). Ebenfalls vorgängig erfolgte die Segmentierung der Nachfrage in verhaltenshomogene Gruppen (VHG) und Nachfrageschichten bzw. Quelle-Ziel-Gruppen (ARE, 2017a). Das im NPVM umgesetzte Nachfragemodell umfasst eine simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl und ist in der Software PTV VISUM umgesetzt. Für die Umlegung der Nachfrage auf die Verkehrsnetze wird im öffentlichen Verkehr (ÖV) ein fahrplanfeines Verfahren, im motorisierten Individualverkehr (MIV) ein Gleichgewichtsverfahren eingesetzt. Im Ergebnis stehen vier Modelldateien zur Verfügung: jeweils eine Datei für die Angebotsnetze von ÖV, MIV und Velo sowie eine Nachfrageversion, welche über den Verfahrensablauf die Angebotsversionen ansteuert.

Das NPVM basiert in der Verkehrserzeugung auf 26 Quelle-Ziel-Gruppen und etwa 100 VHG. Der Berechnung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen für 7'979 Verkehrszonen liegt eine Strukturdatentabelle zu Grunde, die auf einer synthetischen Population (SynPop) mit Zustand 2017 beruht. Die SynPop wurde in einem weiteren Projekt erstellt (ARE/SBB, 2019b) und in auf die Verkehrszonen aggregierter Form ins Nachfragemodell integriert. Die vier Modi MIV, ÖV, Fuss und Velo werden modelliert. Neben den bekannten Angebotskenngrössen (Zeiten, Kosten) wird im ÖV neu die Auslastung des Rollmaterials berücksichtigt. Die relationsspezifischen Auslastungsgrade als Resultat der ÖV-Umlegung nehmen somit Einfluss auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Referenz für die Bewertung aller Angebotskenngrössen sind die Ergebnisse der Stated-Preference Befragung zum Verkehrsmodus- und Routenwahlverhalten (ARE, 2017b). Die dort ermittelten Parameter von Logit-Funktionen finden im NPVM unmittelbare Verwendung, wobei die Kenngrössen Zeit und Kosten zusätzlich transformiert wurden, um im Modell ein flexibleres und realitätsstreuere Elastizitätsverhalten zu erreichen. Die Kalibration des Modells erfolgte zweistufig, zunächst an Kennwerten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (BFS/ARE, 2017), dann wurde das Modell an 3'900 Zählwerten auf der Strasse sowie 1'600 Zählwerten im ÖV kalibriert. Die Modellgüte wurde anhand verschiedener Qualitätsmasse getestet. Abschliessend wurden mehrere Sensitivitäten gerechnet und das Reaktionsverhalten des Modells überprüft.

Das NPVM eignet sich insbesondere dazu die verkehrlichen Wirkungen siedlungsstruktureller Entwicklungen, Änderungen von Fahrplänen, Infrastrukturen und Verkehrsmittelkosten zu untersuchen. Mit einer Automatisierung des Verkehrssystems antizipierte Wirkungen von sich ändernden Besetzungsgraden, höheren Auslastungen der Infrastrukturen oder einer angepassten Wahrnehmung von Zeitkosten lassen sich ebenfalls analysieren. Der Analysefokus sollte bei einem nationalen Verkehrsmodell weiterhin auf grossräumigen Wirkungen und damit den übergeordneten Netzen des MIV und ÖV liegen. Regionale Analysen sind mit dem NPVM 2017 möglich, jedoch sind bei der Bewertung kleinräumiger oder lokaler Massnahmen zusätzliche Plausibilisierungen und Anpassungen des Modells notwendig. Je nach Fragestellung empfiehlt sich die Nutzung eines kleinräumigeren Verkehrsmodells mit einem entsprechenden Detailgrad.

Mit dem NPVM steht dem Bund ein dem State-of-the-Art entsprechendes Verkehrsmodell für die Planung zur Verfügung. Das Modell wird in den kommenden Jahren für die Bewertung der Strategischen Entwicklungsprogramme auf Strasse und Schiene sowie die Analysen der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 eingesetzt.

Des Weiteren bilden Ergebnisse dieser Arbeiten die Grundlage für Untersuchungen im Umwelt- und Energiebereich. Der vorliegende Bericht umfasst ebenfalls Hinweise zu den Anforderungen bezüglich der Hardware und den zu erwartenden Rechenzeiten. Der Bezug von Resultaten, Zwischenergebnissen und den Versionsdateien des NPVM für Anwendungen durch Dritte ist in Kapitel 4.1 beschrieben.

Résumé

Le rapport technique fournit des informations sur l'élaboration du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP) selon l'état de base 2017. Les données et les méthodes utilisées sont présentées de manière détaillée et compréhensible. Les premiers travaux, qui ont fait l'objet d'un rapport distinct (ARE, 2017d), consistaient à élaborer de nouvelles structures des zones de trafic et de nouveaux réseaux de transport. Les étapes antérieures comprenaient aussi la segmentation de la demande en groupes à comportement homogène (GCH), en classes de demande et en paires origine-destination (ARE, 2017a). Le modèle de la demande du trafic appliqué dans le MNTP comporte un choix simultané de la destination et du mode de transport et il est appliqué dans le logiciel PTV VISUM. L'affectation de la demande aux réseaux de transport est faite en tenant compte de l'horaire pour le transport public (TP) et par un procédé à l'équilibre pour le transport individuel motorisé (TIM). Les résultats sont présentés en quatre fichiers modèles mis à disposition : un fichier pour les réseaux d'offres du TP, du TIM et du vélo et une version consacrée à la demande, qui définit le déroulement de la procédure et pilote les versions d'offres.

Pour la génération de trafic, le MNTP repose sur 26 paires origine-destination et une centaine de GCH. Le calcul du volume de trafic origine-destination à l'intérieur de 7979 zones de transport repose sur un tableau de données structurelles établi à partir d'une population synthétique (SynPop) à l'état 2017. La SynPop a été constituée dans le cadre d'un autre projet (ARE/SBB, 2019b) et a été intégrée dans le modèle de demande sous forme agrégée au niveau des zones de transport. Les quatre modes de transport TIM, TP, marche et vélo font l'objet d'une modélisation. Outre les matrices de chiffres clés connues (temps, coûts), le modèle prend désormais aussi en considération le taux d'occupation du matériel roulant. Ainsi, les taux d'occupation spécifiques à chaque relation, qui dépendent de l'affectation aux TP, influencent le choix de la destination et du mode de transport. L'évaluation des matrices de chiffres clés se réfère toujours aux résultats de l'enquête sur les préférences déclarées en matière de choix du mode de transport et d'itinéraire (ARE, 2017b). Les paramètres du modèle logit qui en découlent sont directement utilisés dans le MNTP, tandis que les chiffres clés du temps et du coût ont encore été transformés dans le modèle pour permettre des comportements plus réalistes en termes d'élasticité. Le modèle a été calibré en deux temps, tout d'abord selon les chiffres clés du microrecensement mobilité et transports 2015 (OFS-ARE, 2017), puis selon 3900 données de comptage du trafic routier et 1600 données de comptage des TP. La pertinence du modèle a été testée au moyen de différentes mesures de qualité. Enfin, plusieurs types de sensibilité ont fait l'objet de calculs et la réaction du modèle a été contrôlée.

Le MNTP est particulièrement adapté pour examiner les effets sur le transport des évolutions structurelles touchant l'urbanisation et des modifications des horaires des transports publics, des infrastructures et des coûts des différents modes de transport. Il est aussi possible d'analyser les incidences, anticipées grâce à l'automatisation du système de transport, qu'auraient des modifications de taux d'occupation, une utilisation plus élevée des infrastructures ou une plus grande sensibilité à la valeur du temps. Avec un modèle national des transports, les analyses devraient continuer à porter principalement sur les incidences à grande échelle territoriale, soit les réseaux supérieurs de TP et de TIM. Le MNTP 2017 permet certes des analyses régionales, mais il faut alors procéder à des adaptations et à des plausibilisations dans le modèle lorsque les mesures évaluées portent sur un territoire plus petit, voire local. En fonction de la problématique étudiée, il peut être recommandé d'utiliser un modèle de transport local et offrant un niveau de détail plus adapté.

Le MNTP met à la disposition de la Confédération, pour la planification, un instrument de modélisation des transports de pointe. Dans les années à venir, le modèle sera utilisé pour évaluer les effets des deux programmes de développement stratégique, route et rail, et pour effectuer les analyses préparant les perspectives d'évolution du transport en Suisse jusqu'en 2050. Par ailleurs, les résultats de ces travaux constituent la base d'investigations menées dans le domaine environnemental et énergétique. Le présent rapport comprend également des indications sur les exigences relatives au matériel informatique et sur les temps de calcul à prévoir. La section 4.1 décrit les modalités d'obtention de résultats, de résultats intermédiaires et de fichiers de versions du MNTP pour des utilisations par des tiers.

Sintesi

Il rapporto tecnico fornisce informazioni sull'elaborazione del Modello del traffico viaggiatori a livello nazionale (MTVN) secondo lo stato di base 2017. I dati e i metodi utilizzati sono presentati in modo dettagliato e comprensibile. I primi lavori, descritti in un rapporto separato (ARE, 2017d), consistevano nella creazione di nuove strutture a zone di traffico e di nuove reti di trasporto. Nelle tappe precedenti rientrava anche la segmentazione della domanda in gruppi dal comportamento omogeneo, in classi di domanda e in gruppi di origine-destinazione (ARE, 2017a). Il modello della domanda del traffico applicato nell'MTVN comporta una scelta simultanea della destinazione e del mezzo di trasporto ed è applicato nel software PTV VISUM. L'attribuzione della domanda alle reti di trasporto viene effettuata tenendo conto dell'orario per quanto riguarda il trasporto pubblico (TP) e mediante un procedimento bilanciato nel trasporto individuale motorizzato (TIM). I risultati sono presentati in quattro file modello messi a disposizione: un file per ognuna delle reti di offerta TP, TIM e bicicletta, nonché una versione consacrata alla domanda per definire lo svolgimento della procedura e guidare le versioni delle offerte.

Quanto alla generazione di traffico, l'MTVN si basa su 26 gruppi di origine-destinazione e un centinaio di gruppi dal comportamento omogeneo. Il calcolo dei flussi di traffico di origine e di destinazione per 7979 zone di traffico si fonda su una tabella di dati strutturali stabilita a partire da una popolazione sintetica (SynPop) e dallo stato 2017. La SynPop è stata sviluppata nel quadro di un altro progetto (ARE/SBB, 2019b) ed è stata integrata nel modello di domanda sotto forma aggregata a livello di zone di traffico. I quattro mezzi di trasporto (TIM, TP, a piedi e in bicicletta) sono oggetto di una modellizzazione. Oltre ai parametri indicatori dell'offerta noti (tempi, costi), per quanto riguarda il TP il modello tiene ora conto del grado di sfruttamento del materiale rotabile. I gradi di sfruttamento specifici a ogni relazione, che dipendono dall'attribuzione al TP, influiscono quindi sulla scelta della destinazione e del mezzo di trasporto. La valutazione di tutti i parametri indicatori dell'offerta si riferisce sempre ai risultati dell'indagine sulle preferenze dichiarate (stated preference) relative al comportamento nella scelta del mezzo di trasporto e del tragitto percorso (ARE, 2017b). I parametri del modello logit che ne conseguono sono utilizzati direttamente nell'MTVN, mentre i parametri indicatori dei tempi e dei costi sono stati ulteriormente trasformati nel modello per ottenere delle elasticità più reattive e realistiche. La calibrazione del modello è stata effettuata in due fasi, dapprima secondo i parametri del Microcensimento mobilità e trasporti 2015 (UFS/ARE, 2017), in seguito secondo 3900 conteggi trasversali del traffico stradale nonché 1600 conteggi trasversali del TP. La pertinenza del modello è stata testata sulla base di diverse misure di qualità. Infine, sono state calcolati diversi tipi di sensitività ed è stata verificata la reazione del modello.

L'MTVN è particolarmente adatto per esaminare gli effetti degli sviluppi delle strutture di insediamento, dei cambiamenti d'orario, di infrastrutture e di costi dei vari mezzi di trasporto. È anche possibile analizzare gli effetti legati all'automazione del sistema di trasporto, alle modifiche dei tassi di occupazione, ad un maggiore sfruttamento delle infrastrutture o ad un'aumentata sensibilità nei confronti del fattore tempo. In un modello del traffico a livello nazionale, le analisi dovrebbero continuare a focalizzarsi sugli effetti su larga scala e pertanto sulle reti superiori del TIM e del TP. L'MTVN 2017 permette di effettuare anche analisi regionali, ma per la valutazione di misure su piccola scala o addirittura locali sono necessarie ulteriori plausibilizzazioni e adeguamenti del modello. A seconda della problematica studiata, si raccomanda l'uso di un modello di traffico locale con un grado di dettaglio corrispondente.

Con l'MTVN, per la pianificazione territoriale la Confederazione dispone di un modello di traffico all'avanguardia. Nei prossimi anni, il modello sarà utilizzato per valutare gli effetti dei due Programmi di sviluppo strategico su strada e su rotaia, nonché per effettuare le analisi necessarie per le Prospettive di traffico svizzere 2050. Inoltre,

i risultati di questi lavori costituiscono la base per le analisi concernenti il settore ambientale e quello economico. Il presente rapporto contiene anche indicazioni sulle esigenze relative all'hardware e ai tempi di calcolo da prevedere. Il capitolo 4.1 descrive come ottenere i risultati, i risultati intermedi e i file delle varie versioni dell'MTVN per applicazioni da parte di terzi.

1 Grundlagen

1.1 Zonierung

1.1.1 Verkehrszonen Schweiz

Eingangsdaten

Als Ergebnis des Vorprojektes (ARE, 2017d) liegt eine neue Zonierung für die Schweiz vor. Die neue Zonenstruktur umfasst 7'965 Verkehrszonen, deckt das Gebiet der Schweiz lückenlos ab, ist kompatibel mit der Zonenstruktur des NPVM 2010¹ und beinhaltet einzelne Zonen für singuläre Verkehrserzeuger. Die vom Auftraggeber (AG) übergebene Zonierung wurde für die Bearbeitung übernommen und überprüft.

Prüfung Zonierung Schweiz

Die übergebene Zonierung in Form einer Shape-Datei wurde nach VISUM importiert und einer Eingangsprüfung unterzogen, die die folgenden Punkte umfasste:

- Homogenität der Strukturgrössenverteilung;
- Überprüfung singulärer Verkehrserzeuger;
- Überprüfung Bezirkspolygone;
- Passgenauigkeit.

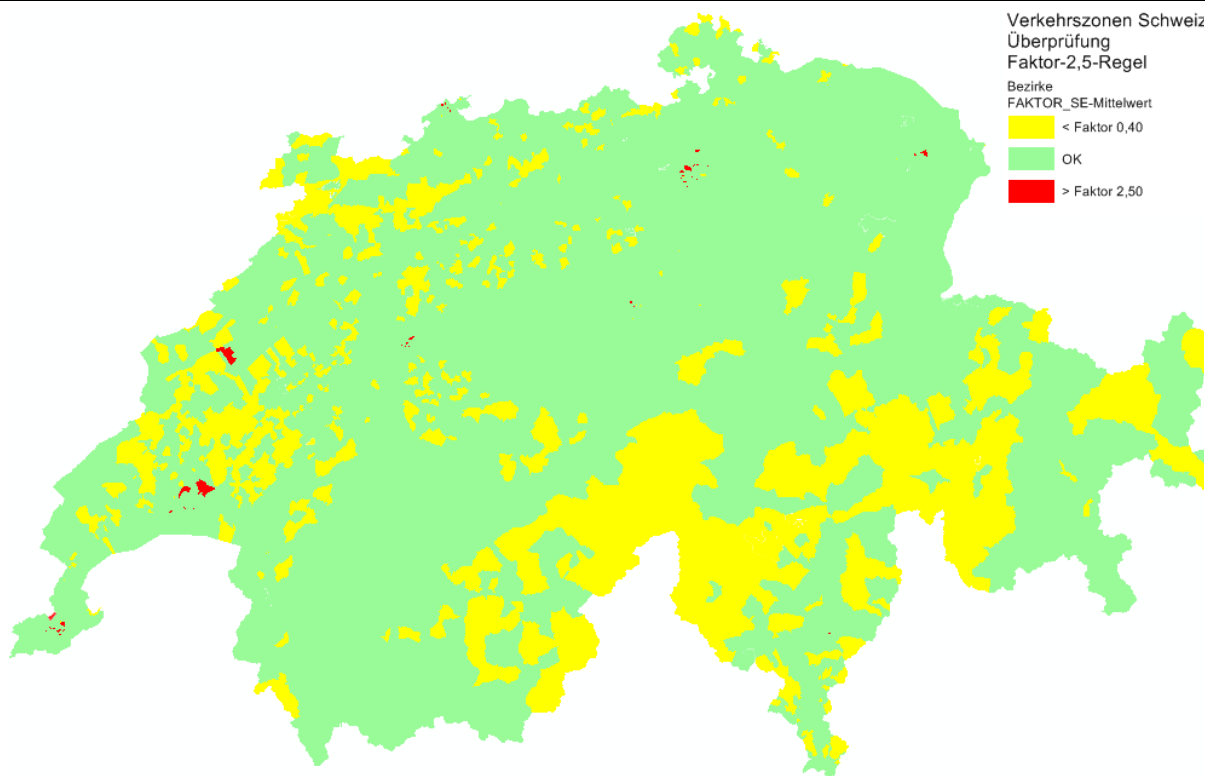
Homogenität der Strukturgrössenverteilung

Die Eigenschaften des der Zielwahl zu Grunde liegenden Gravitationsansatzes bedingen es eine möglichst homogene Verteilung der Strukturgrössen (Einwohner + Arbeitsplätze) in den Verkehrszonen anzustreben. Die Abweichungen der Strukturgrössenanzahl einer Verkehrszone vom Mittelwert aller Verkehrszonen sollten möglichst gering sein. Grundlage für die Berechnung des Potenzials an Struktureinheiten (= Summe aus Einwohnern + Arbeitsplätzen) bildeten adressfeine Daten des BFS zur Bevölkerung (STATPOP 2016) und zu Beschäftigten (STATENT 2015). Bei der Etablierung von Verkehrsmodellen hat sich gezeigt, dass eine maximal 2.5fache Abweichung vom Mittelwert als für die Berechnung der Verkehrsströme akzeptabel erachtet werden kann. Darüberhinausgehende Abweichungen sind durch den Gravitationsansatz, der auf eine gleichmässige Abnahme der Auswahlwahrscheinlichkeit eines Ziels mit zunehmender Entfernung bzw. steigenden verkehrlichen Aufwänden ausgerichtet ist, schlechter abbildbar. Abweichungen nach unten sind dabei als eher unkritisch zu bewerten und besonders im ländlichen Raum nicht zu vermeiden. Insbesondere die Prämisse, dass die neue Zonenstruktur zur alten Zonenstruktur kompatibel ist, führt dazu, dass seit dem Jahr 2000 fusionierte Gemeinden mit einer geringen Anzahl

¹ Die Zonenstruktur des NPVM 2010 basierte auf dem Gemeindestand 1.10.2000 inkl. einer Aufteilung der 10 grössten Schweizer Städte in Quartiere. Die neue Zonenstruktur des NPVM 2017 lässt sich eindeutig zu diesen Zonen aggregieren.

an Strukturgrössen weiterhin als eigene Zonen geführt werden. Auch Abweichungen nach oben, die den Prüfwert von Faktor 2.5 überschreiten, müssen nicht in jedem Fall beseitigt werden. Hier gilt es, im Rahmen einer Einzelprüfung zu entscheiden, ob es sich um eine grosse Verkehrszone handelt, bei der durch Splittung die Überschreitung sinnvoll beseitigt werden kann, oder ob es sich um eine räumlich eher kleine, in sich geschlossene Zone handelt (z.B. Spital, Flughafen), für die eine weitere Splittung nicht zielführend und notwendig ist.

Abbildung 1 Verkehrszone Schweiz: Homogenität der Strukturgrössenverteilung



Als Ergebnis der Prüfung wird in Abstimmung mit dem AG folgendes Fazit gezogen:

Im Wesentlichen ist eine homogene Verteilung der Strukturgrössen Einwohner + Arbeitsplätze gegeben. Unterschreitungen werden als unkritisch angesehen und sind in der ländlichen Struktur bzw. der Prämisse der Kompatibilität zur Zonenstruktur des NPVM 2010 begründet. Überschreitungen (27 Zonen mit einem Faktor > 2.5) fallen entweder gering aus oder es handelt sich um räumlich kleine, in sich geschlossene Zonen, für die eine weitere Splittung nicht zielführend und notwendig ist (siehe Anhang 7.1).

Überprüfung singulärer Verkehrserzeuger

Die Überprüfung der im Vorprojekt (ARE 2017d) definierten singulären Verkehrserzeuger ergab keinen Änderungs- oder Ergänzungsbedarf.

Überprüfung Bezirkspolygone

Es wurde eine Überprüfung aller Verkehrszonenpolygone vorgenommen. Dabei wurden folgende Auffälligkeiten festgestellt:

- Es gibt Zonen mit mehreren Teilflächen.

- Es gibt Zonen mit auffälligen Polygonformen (z.B. „Stiche“; Abbildung 2).
- Es gibt Zonen mit sehr lang gestreckten Polygonen mit einem nur geringen Anteil an bewohnter Fläche („Seeabdeckung“; Abbildung 3).

Als Ergebnis der Prüfung wird in Abstimmung mit dem AG folgendes Fazit gezogen:

Die Zonen mit auffälligen Polygonformen wurden durch den AG korrigiert. Hinsichtlich der auftretenden Teilflächen gibt es keinen Handlungsbedarf, da diese effektiv bei den Schweizer Gemeinden vorkommen. Ebenso keinen Handlungsbedarf gibt es für die langgestreckten Polygone („Seeabdeckung“), da diese in Hinblick der Prämisse einer schweizweiten Abdeckung der Zonen im Vorprojekt bewusst so umgesetzt wurden. Die vollständige Abdeckung der Landesfläche hat den Vorteil, dass bei der Zuordnung von Punktdaten (z.B. STATENT- oder STAT-POP-Daten des BFS) auch Punkte, die auf der Seefläche zu liegen kommen, eindeutig einer Verkehrszone zugeordnet werden können.

Abbildung 2 Beispiel Zone mit auffälliger Polygonform



Abbildung 3 Beispiel langgezogene Polygone / Seeabdeckung



Passgenauigkeit

Passgenauigkeit der Zonengrenzen

Bei der Topologie-Prüfung der Zonierung wurden in geringem Umfang Passungenauigkeiten der Zonengrenzen festgestellt. Auftretende Lücken zwischen benachbarten Zonen sowie Überlappungen von Zonengrenzen wurden beseitigt. Damit bedecken die Verkehrszonen des Modells vollständig die Schweizer Landesfläche.

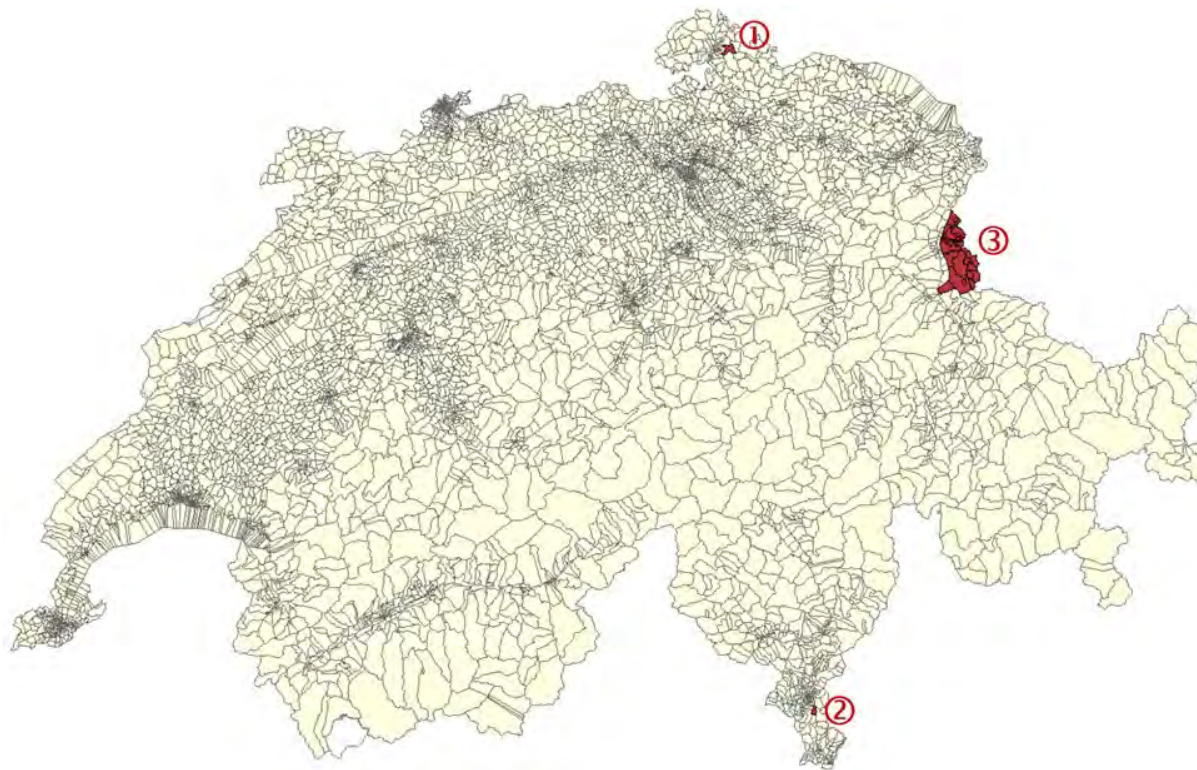
Weitere Anpassungen

In Abstimmung mit dem AG und mit den Arbeiten an der Zonierung für das Ausland wurden folgende neuen Schweizer Zonen hinzugefügt (Abbildung 4):

- Ergänzung der Enklaven Büsingen (1) und Campione d'Italia (2) als eigene Zonen;
- Ergänzung der 11 Gemeinden Liechtensteins (3) als eigene Zonen. Sie werden wie Schweizer Zonen behandelt.

Damit erhöht sich die Gesamtanzahl der Zonen für die Schweiz auf 7'978.

Abbildung 4 Anpassungen Büsingen, Campione d'Italia und Liechtenstein

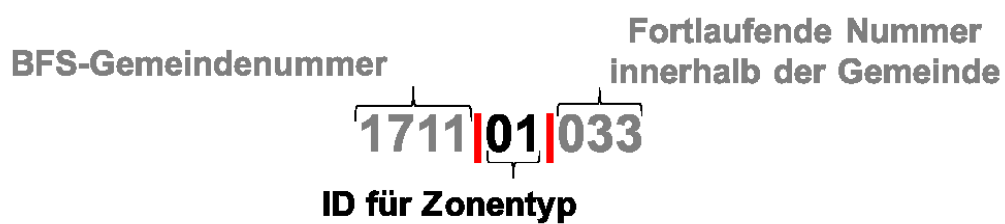


- (1) Büsingen
- (2) Campione d'Italia
- (3) Liechtenstein

Nummerierung

Die Zonen innerhalb der Schweiz wurden nach dem in Abbildung 5 dargestellten Prinzip nummeriert.

Abbildung 5 Prinzip der Zonennummerierung Inland



Es werden 4 Zonentypen unterschieden: 01 = reguläre Verkehrszonen, 02 = singulärer Verkehrserzeuger (Einkauf), 03 = singulärer Verkehrserzeuger (Freizeit), 04 = Flughafen.

1.1.2 Verkehrszonen Ausland

Ausgangslage

Aus dem Pflichtenheft ergaben sich folgende Anforderungen von Seiten des AG:

- Ziel: Verfeinerte Abbildung von Zonen im an die Schweiz angrenzenden Ausland gegenüber dem NPVM 2010;
- Orientierung an den vorgängig durchgeführten Studien mit Bezug zur Thematik (ARE 2010, ARE 2012a); insbesondere am in der Vorstudie (ARE 2012a) vorgeschlagenen Modellperimeter: Frankfurt – Bayern – Tirol – Mailand – Turin – Lyon – Paris – Luxemburg;
- Definition 1. Ring: Im ersten Ring um die Schweiz sind die Zonierungen kantonaler Modelle zu übernehmen und anzupassen; fehlende Strukturen sollen aufgefüllt werden;
- Definition 2. Ring: Die Zonen im weiter entfernten 2. Ring sind jene Zonen, die ausserhalb der Schweiz liegen und nicht Teil des 1. Ringes sind; diese Zonen umfassen eine oder mehrere NUTS3-Einheiten;
- Sicherstellung der Kompatibilität / Aggregierbarkeit zu:
 - den vorhandenen Kantonalen Modellen mit Bezug zum Ausland (siehe Tabelle 1 für eine Auflistung);
 - der Zonierung Stand NPVM 2010;
 - Stichprobe der Erhebung Alpen- und Grenzquerender Personenverkehr (A+GQPV) 2015;
- Abbildung bestehender Verflechtungen unter Berücksichtigung der Quantität des Quell-, Ziel und Durchgangsverkehrs;
- Abbildung möglicher Alternativrouten, d.h. Erweiterung des Modellperimeters, wenn dadurch nennenswerte und sinnvolle Alternativrouten entstehen. Im Gegensatz dazu ist der Modellperimeter enger zu ziehen, wenn dadurch keine Alternativrouten wegfallen;
- Eindeutigkeit der Grenzübergänge: innerhalb einer Zone sollen nicht mehrere Grenzübergänge liegen;
- Beachtung des Alpenbogens und den damit verbundenen Übergängen;
- Beachtung der grossräumigen Quellen und Ziel des europäischen Güterverkehrs.

Eingangsdaten

In Tabelle 1 ist für jeden verwendeten Datensatz eine kurze Beschreibung, die Bezugsquelle und die Verwendung zusammengefasst.

Tabelle 1 Eingangsdaten für die Auslandszonierung

Daten	Quelle	Verwendung
Zonierung des Kantonalen Verkehrsmodells Basel	ARE (bereitgestellt durch Kantone BS/BL)	Auslandszonen des Kantonalen Verkehrsmodells wurden übernommen und aggregiert.
Zonierung des Kantonalen Verkehrsmodells Genf	ARE (bereitgestellt durch Kanton GE)	Auslandszonen des Kantonalen Verkehrsmodells wurden übernommen und aggregiert.
Zonierung des Kantonalen Verkehrsmodells Neuenburg	ARE (bereitgestellt durch Kanton NE)	Auslandszonen des Kantonalen Verkehrsmodells wurden übernommen.
Zonierung des Kantonalen Verkehrsmodells Tessin	ARE (bereitgestellt durch Kanton TI)	Auslandszonen des Kantonalen Verkehrsmodells wurden übernommen.
Zonierung des Kantonalen Verkehrsmodells Aargau	PTV (bereitgestellt durch Kanton AG)	Auslandszonen im Grenzbereich zu Deutschland wurden übernommen, für Gemeinden, die weiter aufgeteilt wurden. Zum Teil auch Aggregation der Zonen.
Verwaltungsgrenzen Österreich	https://www.data.gv.at/katalog/dataset/verwaltungsgrenzen-vgd-stich-tagsdaten-vorarlberg	Verwaltungsgrenzen dienen als Grundlage für die grenznahe Zonierung im Bundesland Vorarlberg.
Verwaltungsgrenzen Deutschland	https://www.lgl-bw.de/lgl-internet/opencms/de/07_Produkte_und_Dienstleistungen/Open_Data_Initiative/index.html#Verwaltungsgrenzen	Verwaltungsgrenzen dienen als Grundlage für die grenznahe Zonierung im Bundesland Baden-Württemberg.
Verwaltungsgrenzen Frankreich	https://fr.actualitix.com/blog/shape-files-des-departements-de-france.html	Verwaltungsgrenzen dienen als Grundlage für die grenznahe Zonierung in den Departements Ain, Isère, Jura, Haut-Rhin, Haute Saône, Savoie, Haut Savoie, Belfort.
Verwaltungsgrenzen Italien	https://www.istat.it/it/archivio/124086	Verwaltungsgrenzen dienen zur Splittung der Zonen in der italienischen Region Sondrio.
NUTS-Zonen 1-3	http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units	NUTS-Zonen wurden innerhalb des Perimeters für den 2. Ring übernommen und teilweise aggregiert.
Zonen- und Netzstrukturen des Nationalen Personenverkehrsmodells ARE (2012a) AP1: Machbarkeitsstudie und Umsetzungskonzept	ARE	Orientierungshilfe zur Einteilung der Zonen.

Vorgehen

Festlegen des Modellperimeters

Orientierung an der Studie ARE (2012a)

In ARE (2012a) wurde ein Modellperimeter ausgearbeitet, mit welchem die konkurrierenden Alpenübergänge (Brenner bis Fréjus) abgebildet sind. Die räumliche Ausdehnung ist beschrieben durch den Gürtel Frankfurt-Bayern-Tirol-Mailand-Turin-Lyon-Paris-Luxemburg. Der in der Studie vorgeschlagene Modellperimeter bildet den Ausgangspunkt für die Festlegung der Auslandszonierung des NPVM 2017 und wurde anhand der bestehenden Verflechtungen der Schweiz mit dem Ausland und der korrekten Abbildung der Routen dieser Verflechtungen überprüft und weiterentwickelt.

Überprüfung anhand der Verflechtungen

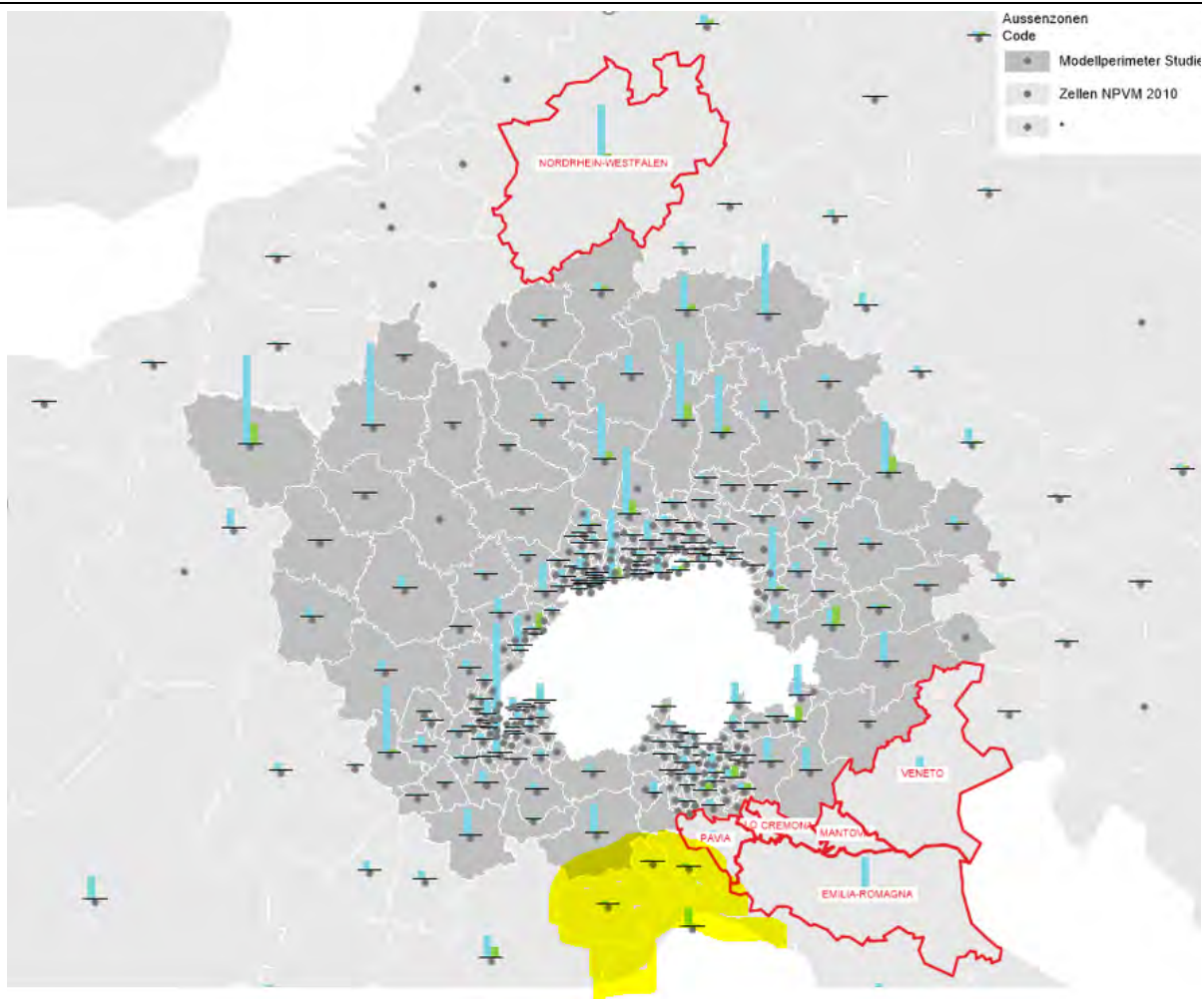
Um abschätzen zu können, ob die räumlichen Verflechtungen der Schweiz in ausreichendem Umfang durch den Modellperimeter abgedeckt sind, wurde eine Auswertung der Quell- und Zielverkehre aus der Erhebung A+GQPV 2015 durchgeführt. Dazu wurden die Erhebungsdaten den Schweizer Zonen sowie den Räumen gemäss des Modellperimeters nach ARE (2012a) zugeordnet. Es zeigte sich, dass 90% der erhobenen Werktagverkehre für Personenwagen (PW)- und Schiene innerhalb des in der Studie vorgeschlagen Modellperimeters beginnen und enden. Eine Darstellung der Verteilung der Quell- und Zielverkehre findet sich in Abbildung 6. Neben dem Modellperimeter gemäss der Studie in dunkelgrau sind neu und zusätzlich Nordrhein-Westfalen und die Regionen Bologna, Verona und Venedig markiert (rot umrandet), da sie gemäss A+GQPV eine vergleichsweise hohe Verflechtung mit der Schweiz aufweisen, aber im Perimeter der Studie von 2012 nicht enthalten waren.

Ausgehend von den Verflechtungen wurden folgende Bedingungen geprüft:

- Für die rotmarkierten Regionen wurde untersucht, ob für eine korrekte Abbildung der Alternativrouten der von diesen Regionen ausgehenden Quell-, Ziel und Durchgangsverkehre der Modellperimeter erweitert werden müsste.
- Die gelbmarkierten Regionen wurden aufgrund der Relevanz des Hafens Genuas für den Güterverkehr in den Modellperimeter aufgenommen.
- Für alle Randbereiche des vorgeschlagenen Perimeters (hellgrau) wurde hinsichtlich der korrekten Abbildung vorhandener Alternativrouten geprüft, ob eine Erweiterung nötig oder eine Verengung des Modellperimeters möglich ist. Eine Verengung ist dann möglich, wenn die Alternativrouten soweit innerhalb des Untersuchungsraumes entstehen, dass durch Wegnahme der Zone keine Alternativroute wegfällt. Gleiches gilt, wenn für die Alternativrouten der nicht gemeinsame Verlauf komplett ausserhalb der Schweiz liegt.

Die Anpassungen die sich aus den definierten Bedingungen ergeben werden nun dargelegt.

Abbildung 6 Proportionale Verteilung der Verflechtung



blaue Balken: Verflechtung Strasse (= prozentualer Anteil am Quell- und Zielverkehrsaufkommen gemäss A+GQPV 2015)

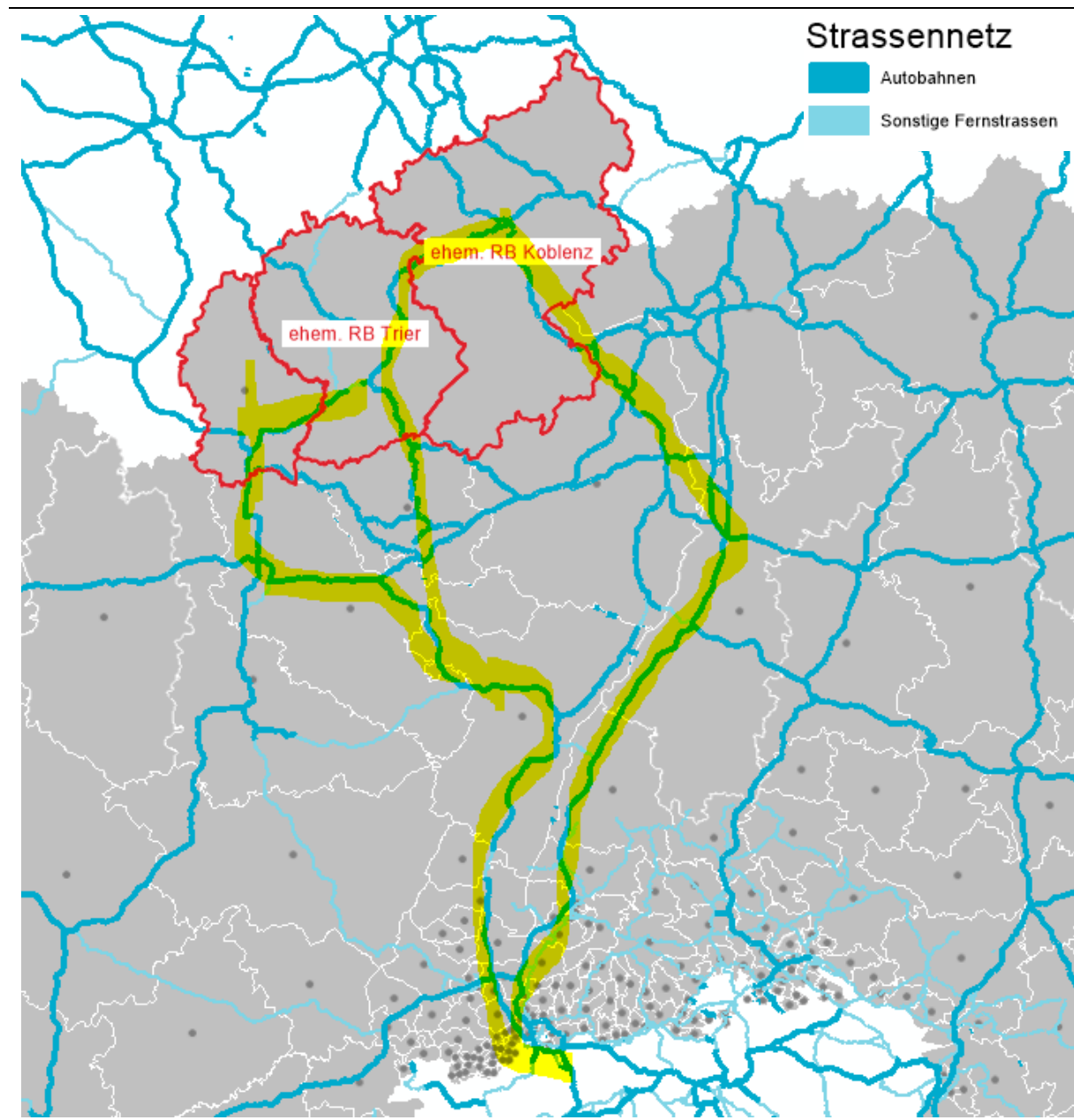
grüne Balken: Verflechtung Schiene (= prozentualer Anteil am Quell- und Zielverkehrsaufkommen gemäss A+GQPV 2015)

Überprüfung der Ausdehnung unter der Prämisse alternativer Routen

Für die Gebiete an den Aussengrenzen des in der Studie vorgeschlagenen Perimeters wurden Routenalternativen hinsichtlich Quell-/Ziel- und Durchgangsverkehr geprüft. Die Routenalternativen wurden über Abfragen bei Google Maps ermittelt. Die Prüfergebnisse sind im Folgenden in den jeweiligen Abbildungen dargestellt. Die relevanten Alternativrouten sind durch die gelbe Einfärbung kenntlich gemacht.

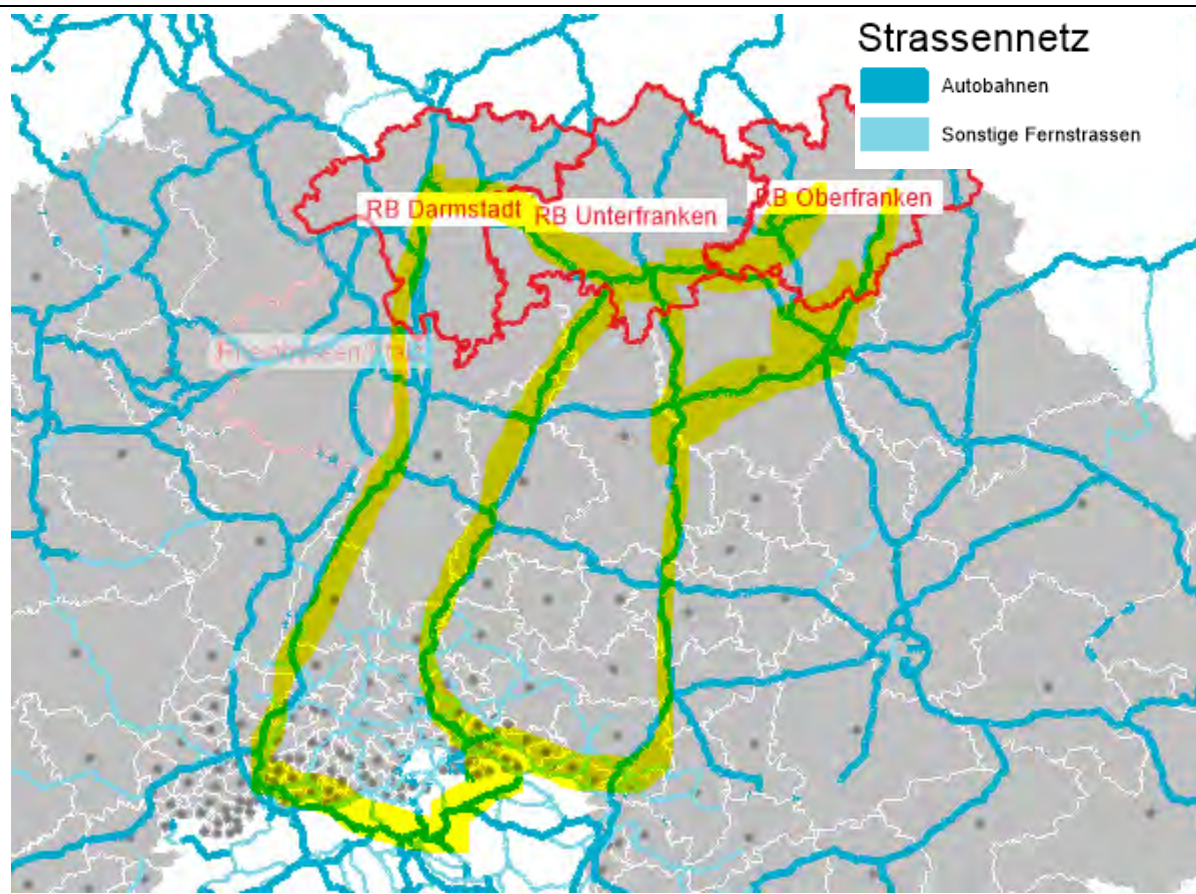
Abbildung 7 zeigt mögliche Routenalternativen im Norden ausgehend von Luxemburg und Deutschland/Rheinland-Pfalz (rot eingefärbt) von und aus Richtung Basel. Für alle Regionen ergeben sich die Alternativen Basel rechts- bzw. linksrheinisch zu erreichen, wobei die Route von Luxemburg über Deutschland mit einem erheblichen zeitlichen Umweg verbunden ist.

Abbildung 7 Routenalternativen von Nordwesten – Luxemburg, Deutschland/Rheinland-Pfalz von/aus Richtung Region Basel



In Abbildung 8 sind die möglichen Alternativen aus den deutschen Regierungsbezirken Darmstadt, Unter- und Oberfranken (rot eingefärbt) von und in Richtung Zürich illustriert. Es ergeben sich aus allen Regionen mindestens zwei grossräumige Alternativen mit unterschiedlich genutzten Schweizer Grenzübergängen.

Abbildung 8 Routenalternativen von Norden – Deutschland/Hessen bzw. Franken aus/in Richtung Zürich



Ausserdem untersucht (hier nicht bildlich dargestellt) wurde die Region Köln/Düsseldorf/Duisburg. Für die Verkehre in Richtung Schweiz und darüber hinaus ergeben sich allerdings erst südlich von Koblenz bzw. Frankfurt Routenalternativen (dargestellt in Abbildung 8). Entsprechend wurde die Region Köln/Düsseldorf/Duisburg nicht als Zone mit in den Modellperimeter aufgenommen und die Verkehre werden als Kordonzone am Rand des Modells eingespeist.

In Abbildung 9 ist die grossräumige Alternative Brennertunnel gegenüber der Durchfahrt in die Schweiz von Südosten kommend in Richtung Norden und umgekehrt gezeigt. Auf dieser Grundlage erfolgt die Ergänzung des Modellperimeters um die Regionen Italiens (rot eingefärbt).

Abbildung 9 Routenalternativen von Südosten – Bologna/Venedig aus/in Mannheim/Stuttgart/Ruhrgebiet

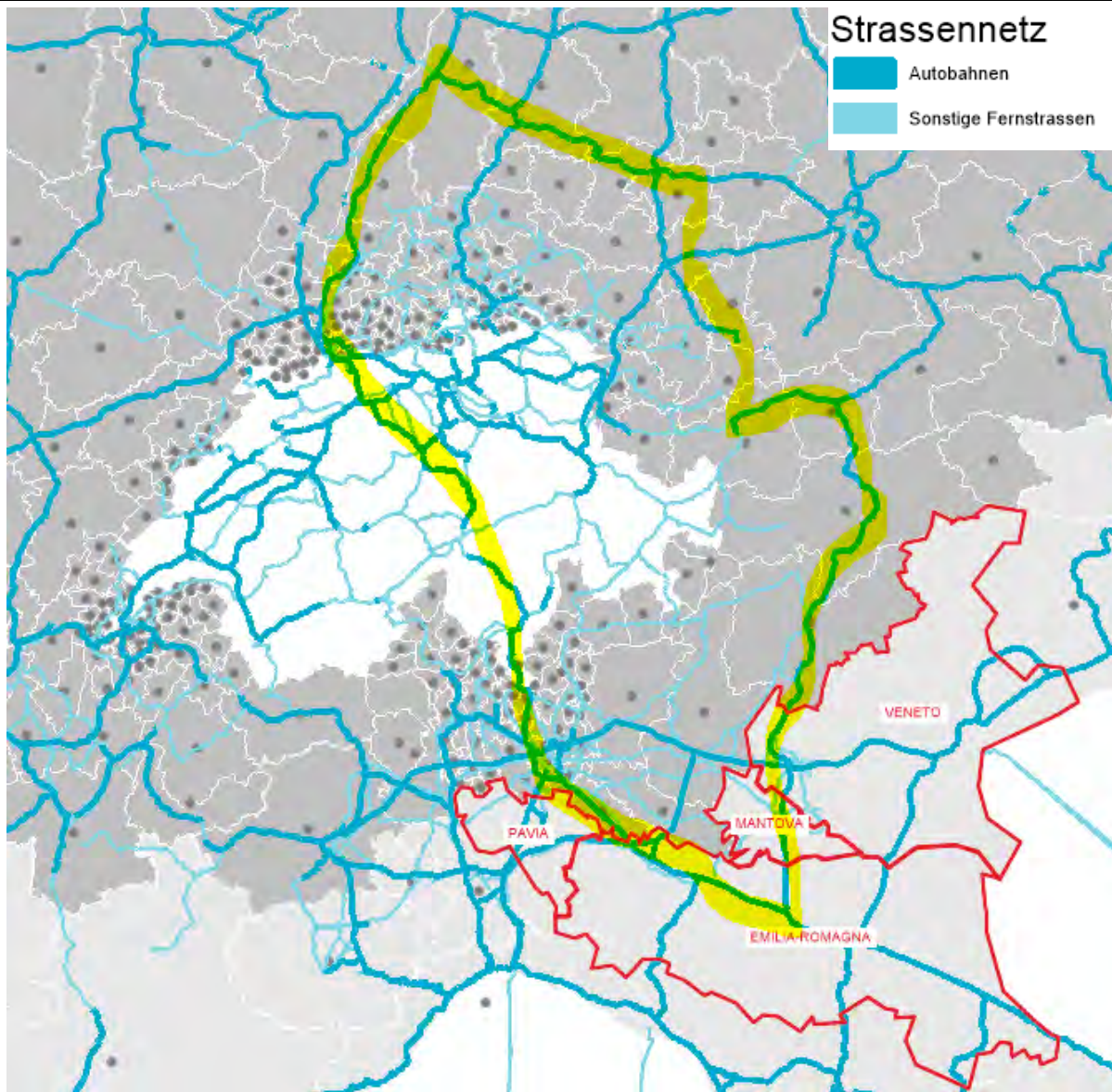
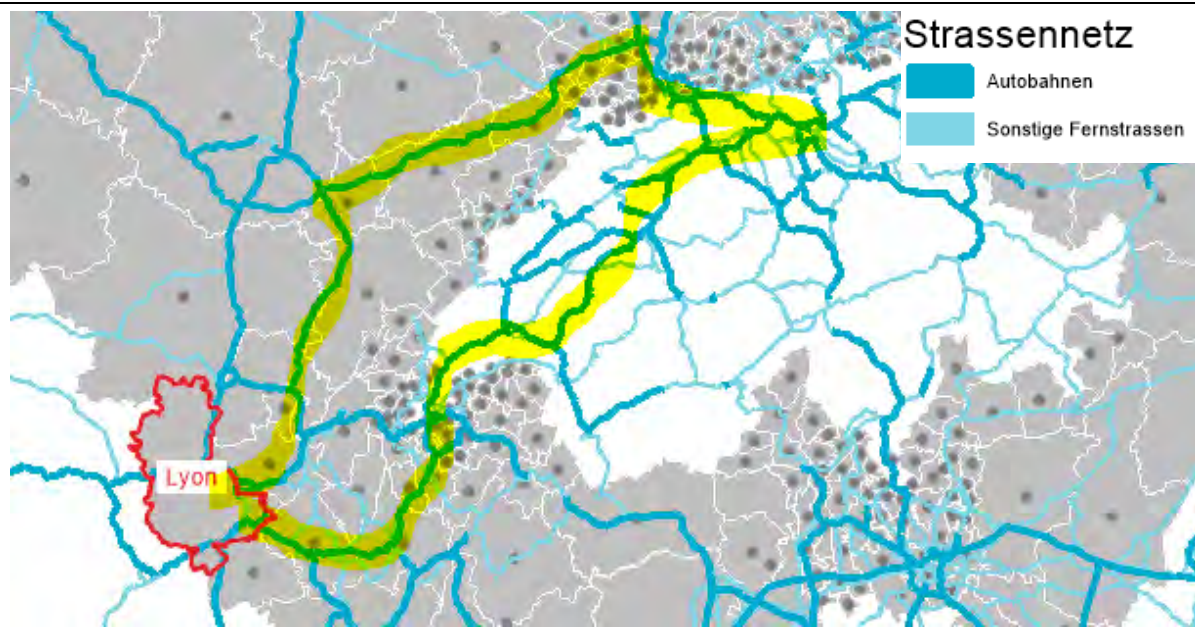


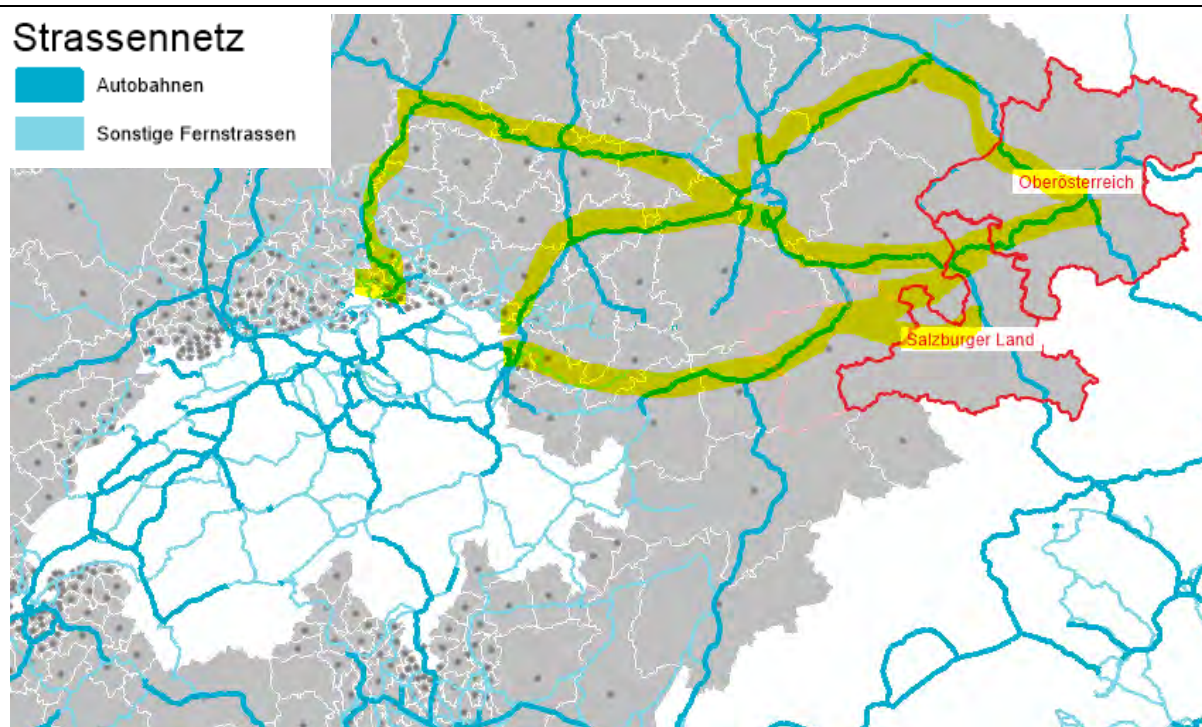
Abbildung 10 zeigt die Routenalternativen aus der Region Lyon (rot eingefärbt) in Richtung Zürich. Der Perimeter muss beibehalten werden, um die Alternativen weiterhin abbilden zu können. Eine Erweiterung ist nicht notwendig, da sich dadurch keine weiteren Alternativen ergeben.

Abbildung 10 Routenalternativen von Südwesten – Lyon aus/in Richtung Zürich



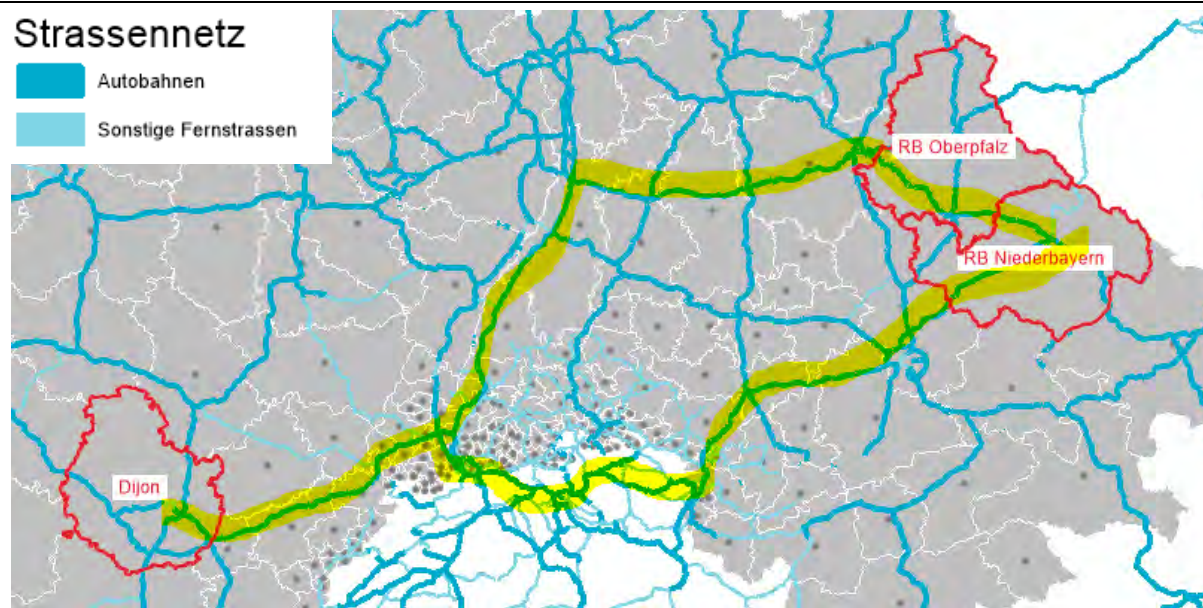
Im Westen Österreichs ist eine Erweiterung des in der Studie vorgeschlagenen Perimeters um die Gebiete Salzburg und Oberösterreich sinnvoll, da sich die Routenalternativen in Abbildung 11 in/aus Richtung Norden der Schweiz ergeben.

Abbildung 11 Routenalternativen von Osten – Österreich



Bei den in Deutschland liegenden Zonen im östlichen Bereich wurde der Modellperimeter um die Bayerischen Regierungsbezirke Oberpfalz und Niederbayern (rot eingefärbt) erweitert. Begründet liegt das in der Routenalternative für den Durchgangsverkehr Richtung Dijon/Frankreich (vgl. Abbildung 12).

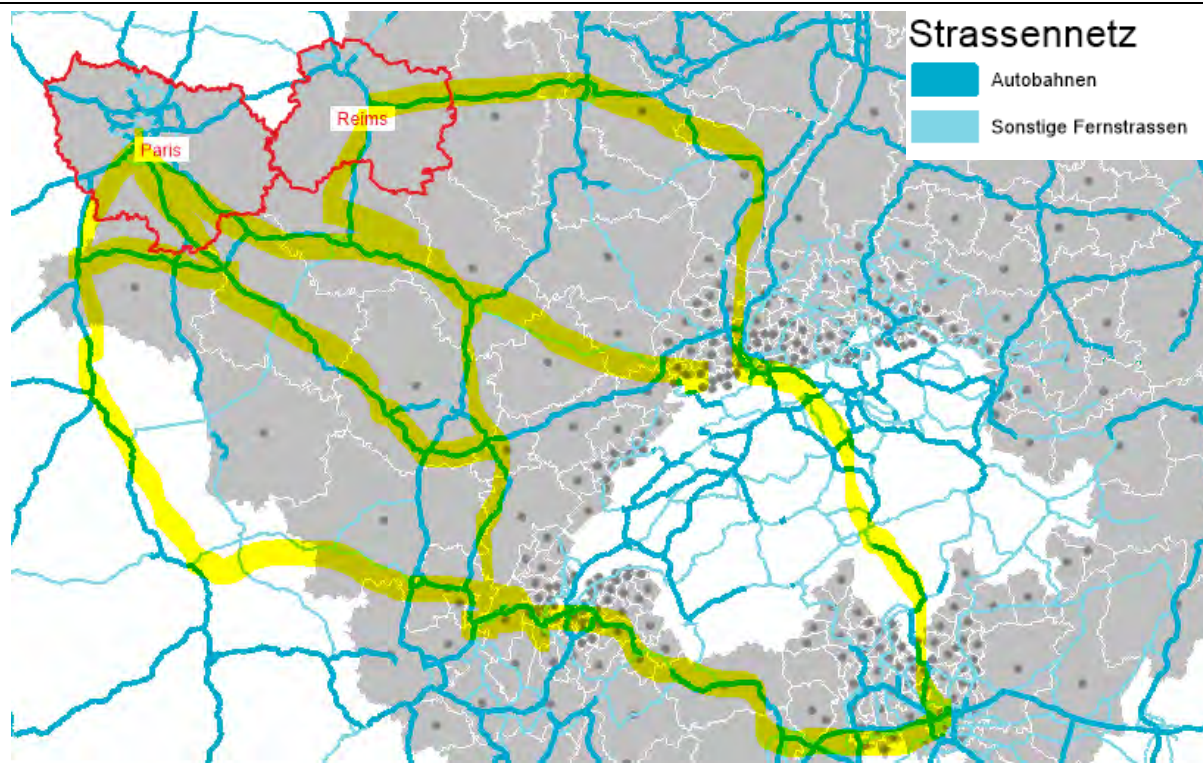
Abbildung 12 Routenalternativen von Osten – Bayern/Deutschland



In Abbildung 13 sind die Routenalternativen aus den Regionen Reims und Paris (rot eingefärbt) aus und in Richtung Mailand visualisiert. Durch eine Verengung des Modellperimeters würden diese wegfallen. Wichtig ist hier folgendes Verständnis: Von Paris aus ergibt sich eine Alternativroute Richtung Mailand über den Raum Genf und eine über den Raum Basel. Würde die Zone Paris nicht innerhalb des Modellperimeters liegen, würde sich keine eindeutige Einspeisung über Kordonpunkte in Richtung Mailand ergeben. Gleiches gilt für die Region Reims. Die Regionen Paris und Reims bleiben entsprechend weiterhin Teil des Modellperimeters.

Ebenfalls untersucht wurde die Region Picardi nördlich von Paris und Belgien. Hier ergeben sich keine weiteren Routenalternativen. Eine Erweiterung ist nicht notwendig.

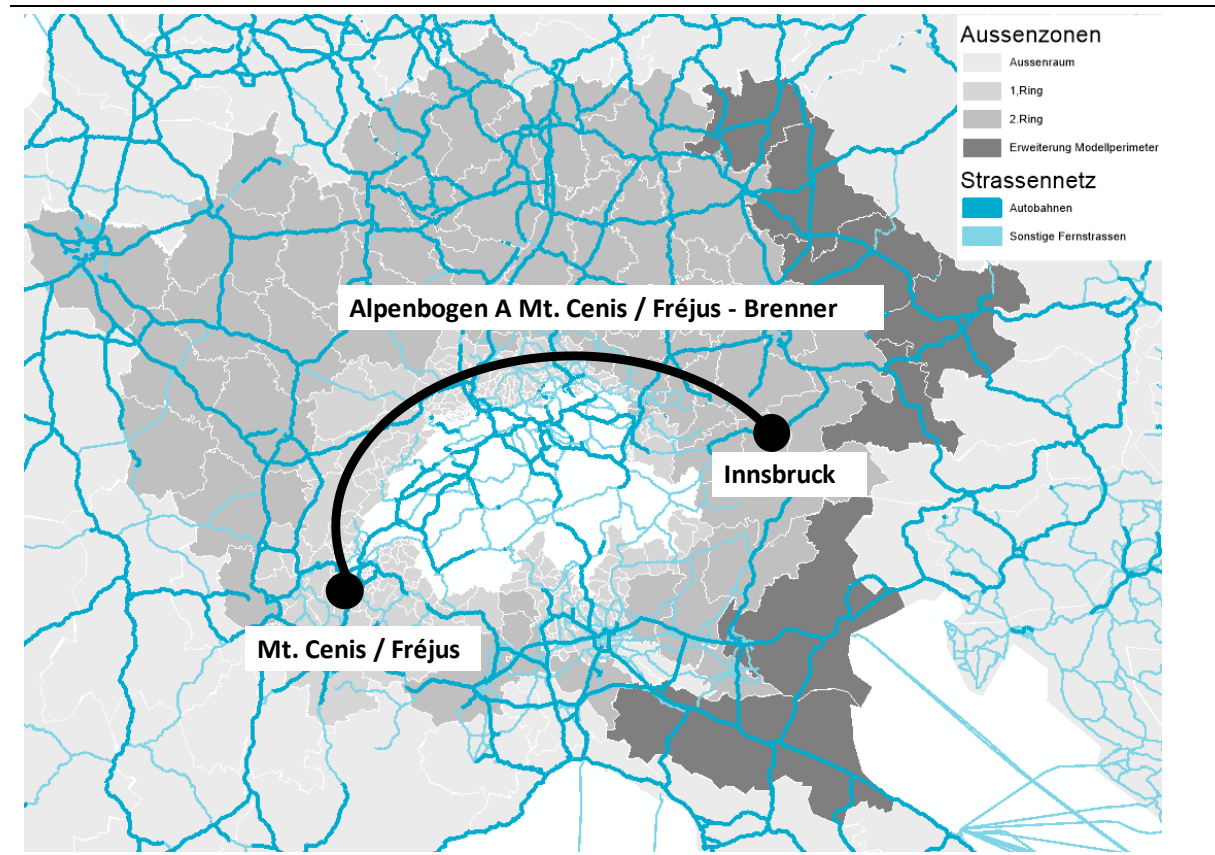
Abbildung 13 Routenalternativen von Paris/Reims aus/in Richtung Mailand



Beachtung der Alpenbögen

In Abbildung 14 ist erkennbar, dass durch die Erweiterung des Modellperimeters im Südosten die Routenalternativen über Brenner und Fréjus neu mit einbezogen sind.

Abbildung 14 Alpenbogen A im Vergleich zum Modellperimeter

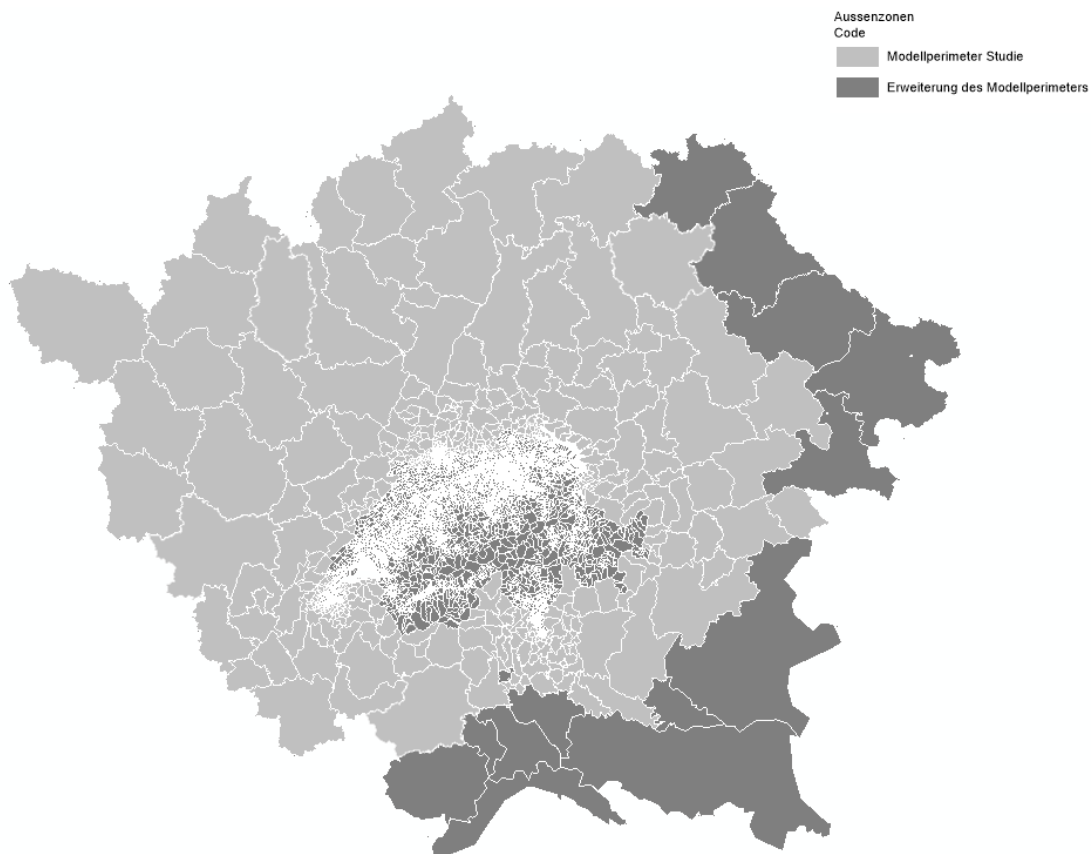


Ergebnis Modellperimeter im Vergleich zur Studie

Abbildung 15 fasst die Erweiterung des in der Studie ARE (2012a) vorgeschlagenen Modellperimeters zusammen:

- Der Perimeter im Norden, Westen und Südwesten kann nicht verkleinert werden, weil dadurch relevante Routenalternativen entfallen würden.
- Eine Erweiterung erschliesst weder im Norden noch im Westen weitere relevante Alternativen.
- Im Osten ist eine Erweiterung in Bayern, der Region Salzburg und Oberösterreich sinnvoll.
- Im Südosten ist eine Erweiterung um die Regionen Bologna und Venedig sinnvoll, da sich hier sinnvolle Alternativen über den Brenner Richtung Norden ergeben.
- Im Süden begründet sich aus der Bedeutung des Hafens Genuas für den Güterverkehr eine Erweiterung des Modellperimeters.

Abbildung 15 Erweiterung des in der Studie ARE (2012a) vorgeschlagenen Modellperimeters



Übernahme der Verkehrszonen aus den kantonalen Modellen

In einem ersten Schritt erfolgte die Übernahme der Auslandszonen aus den Kantonalen Modellen. Die Herkunft der Auslandszonen ist im benutzerdefinierten Attribut ZON_KANTONSMODELL_HERKUNFT hinterlegt (vgl. Anhang 7.2). In einem zweiten Schritt erfolgte die Definition eines 1. und 2. Ringes und die entsprechende Aggregation und teilweise auch Disaggregation der Zonen im 1. Ring.

Eindeutigkeit der Grenzübergänge

Vom AG wurde eine Liste mit den Koordinaten der Standorte der 55'000 Interviews aus der A+GQPV-Befragung zur Verfügung gestellt. Diese Interviews wurden über das Attribut NUMMERBEFRAGUNGSORT gruppiert und eine repräsentative Koordinate des Befragungsortes bestimmt. Die so ermittelten 110 Befragungsorte wurden beim aggregieren und disaggregieren der Zonen derart verwendet, dass möglichst keine Zone zwei Grenzübergänge enthält. Dies wurde für alle Zonen mit Ausnahmen der in Tabelle 2 aufgeführten umgesetzt.

Tabelle 2 Zonen, die 2 Grenzübergänge enthalten

Zone	Grenzübergänge	Kommentar
841200005 Aostatal (Italien)	San-Bernardino-Pass San-Bernardino-Tunnel	Lässt sich räumlich nicht durch zwei Zonen trennen, weil es eine übergeordnete und eine untergeordnete Strasse ist.
841402005 Como (Italien)	Chiasso Autostrada Chiasso-Strada	Lässt sich räumlich nicht durch zwei Zonen trennen, weil es eine übergeordnete und eine untergeordnete Strasse ist.
813402005 Feldkirch (Österreich)	Ruggell Mauren Schaanwald	Lässt sich räumlich nicht durch zwei Zonen trennen, weil es eine übergeordnete und eine untergeordnete Strasse ist und auf der Schweizer Seite auch keine eindeutige Zuordnung zu den Grenzübergängen vorhanden ist.
813402016 Bregenz (Österreich)	St. Margrethen Rheineck	Keine eindeutige Zuordnung durch weitere räumliche Aufteilung möglich.
821308023 Tengen (Deutschland)	Merishausen Bargen Hofen	Keine eindeutige Zuordnung durch weitere räumliche Aufteilung möglich.
821310014 Klettgau (Deutschland)	Trasadingen Wil-Grenze	Aufteilung ist auch ohne weitere räumliche Differenzierung durch unterschiedliche Routen Richtung Schweiz gegeben.
834202011 Biederthal (Frankreich)	Rodersdorf, Burg Bad (Burg im Leymental)	Aufteilung ist auch ohne weitere räumliche Differenzierung durch unterschiedliche Routen Richtung Schweiz gegeben.
834304002 Territoire de Belfort (Frankreich)	Boncourt Boncourt/Delle-Autoroute	Lässt sich räumlich nicht durch zwei Zonen trennen, weil es eine übergeordnete und eine untergeordnete Strasse ist.
834301016 Grand-Charmont (Frankreich)	Fahy Damvant	Keine eindeutige Zuordnung durch weitere räumliche Aufteilung möglich, da die nächste Gemeinde in Frankreich zu weit von der Grenze entfernt ist.
834301010 Barboux (Frankreich)	Les Brenets Col-France	Keine eindeutige Zuordnung durch weitere räumliche Aufteilung möglich.
834302004 Jura (Frankreich)	Le Brassus La Cure	Keine eindeutige Zuordnung durch weitere räumliche Aufteilung möglich, da die nächste Gemeinde in Frankreich zu weit von der Grenze entfernt ist.

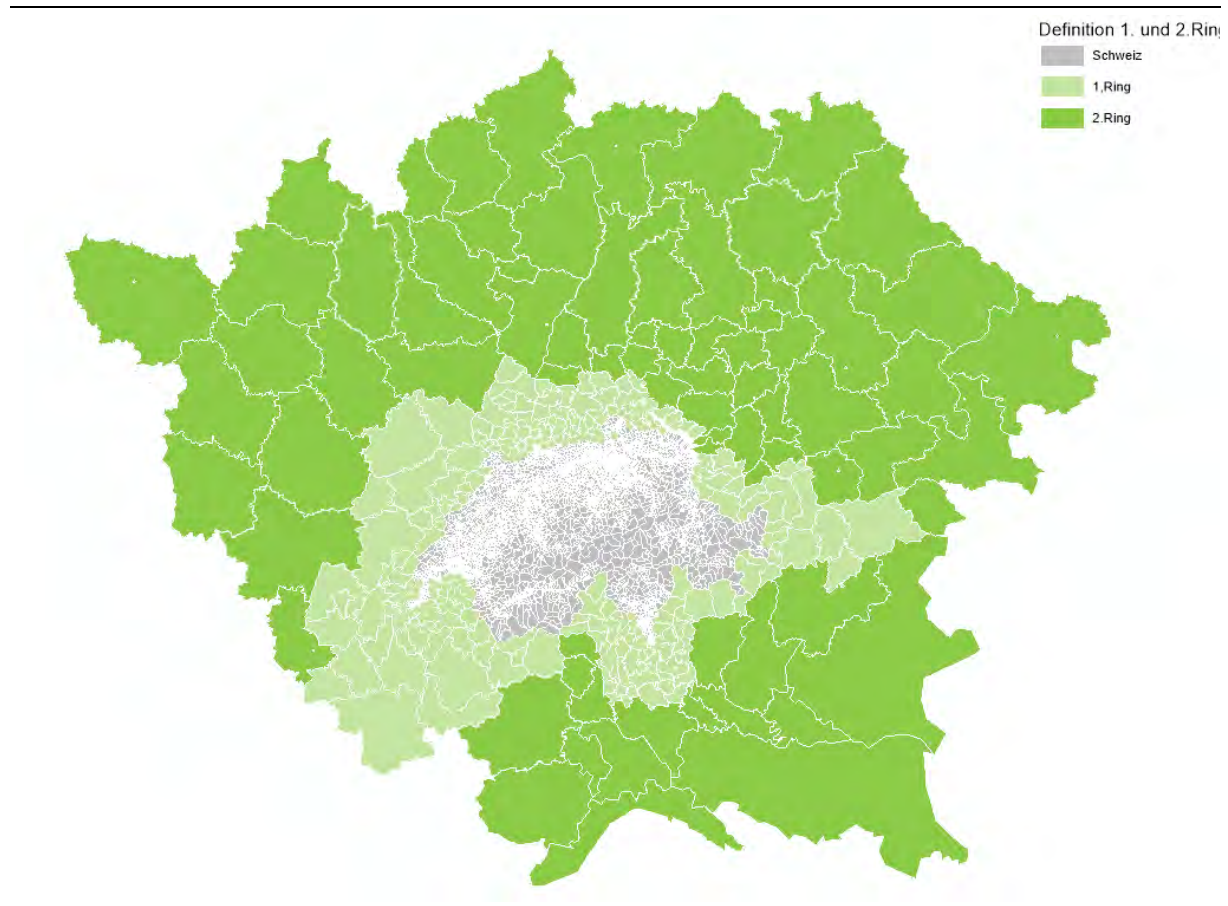
Passfähigkeit zu verwendeten Datenquellen

Alle verwendeten Aussenzonen stellen entweder Aggregationen von Gemeinden, NUTS2 bzw. NUTS3 oder Zonen aus den originären kantonalen Modellen dar. Ausserdem sind alle Zonen zu den Zonen des NPVM 2010 aggregierbar.

Definition des 1. und 2. Ringes

Zum 1. Ring zählen alle Zonen, die nicht aus den europäischen NUTS3-Einheiten übernommen wurden. Diese Zonen haben maximal die Grösse der NUTS3-Einheiten. Im 2. Ring haben die Zonen mindestens die Grösse der NUTS3-Einheiten oder sind eine Aggregation davon.

Abbildung 16 Definition des 1. und 2. Ringes

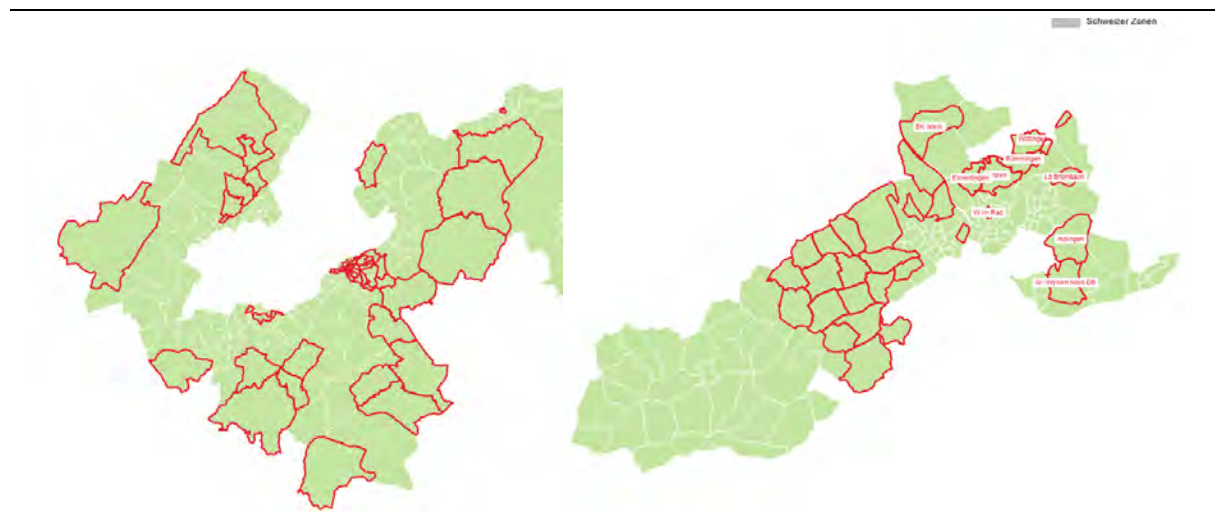


Aggregation und Disaggregation im 1. Ring

Die Aggregation bzw. Verfeinerung der Zonen im 1. Ring fand unter folgenden Prämissen statt:

- Die Zonierungen der kantonalen Modelle im Tessin und in Neuenburg wurden übernommen. Die Struktur aus dem Tessiner Modell ist bereits sehr eng an die vorhandenen Grenzübergänge angepasst. Eine Aggregation war nicht notwendig. Für das Kantonale Modell Neuenburg war eine weitere Disaggregation von Zonen, mit Blick auf die Bedingung nur eine Zone je Grenzübergang zu verwenden, nicht notwendig.
- Ausgewählte Zonen der Kantonalen Modelle in Basel und Genf wurden aggregiert. Aus dem Genfer Modell wurden 260 Zonen zu 193 Zonen aggregiert. Aus dem Basler Modell wurden 4'614 Zonen zu 176 zusammengefasst. Die hohe Anzahl an zusammengefassten Zonen des Basler Modells resultiert daraus, da das Modell auch im grenznahen Umland hektarbasiert arbeitet mit in der Anzahl entsprechend vielen Zonen. In Abbildung 17 sind die aggregierten Bereiche rot markiert. Die Feinheit der Zonen wurde dort beibehalten, wo es sinnvoll war, um die Grenzquerungen im Modell adäquat abzubilden.

Abbildung 17 Aggregation der Zonen aus dem Genfer (links) und Basler (rechts) Modell



Des Weiteren wurden folgende Verfeinerungen vorgenommen:

- Aufgrund der grossräumigen Gemeindeeinteilung in der italienischen Grenzregion war es notwendig die Region Sondrio zu splitten sowie den NUTS3-Bezirk Freiburg in Deutschland in 5 Zonen und Liechtenstein in 11 Gemeinden aufzuteilen.

Für den 1. Ring ergeben sich damit folgende Eigenschaften:

- Alle Zonen im 1. Ring sind auf das NPVM 2010 aggregierbar. Die (alte) Zonen-ID aus dem NPVM 2010 ist als Attribut « ZON_NPVM2010 » in der Zonenstruktur des Auslands vorhanden.
- Um die Kompatibilität mit der Erhebung A+GQPV zu gewährleisten sind alle Zonen eindeutig auf NUTS3-Level aggregierbar. Der NUTS3 Code ist für jede Zone als Attribut vorhanden.

Die Verfeinerung gegenüber der Studie ARE (2012a) erhöht die Kompatibilität zu den Kantonalen Modellen und erlaubt in Hinblick auf die vorhandenen grenzüberschreitenden Strassenverbindungen (welche im Norden der Schweiz deutlich zahlreicher sind als im Süden) eine differenzierte Einspeisung der grenzüberschreitenden Verkehre.

Aggregation im 2. Ring

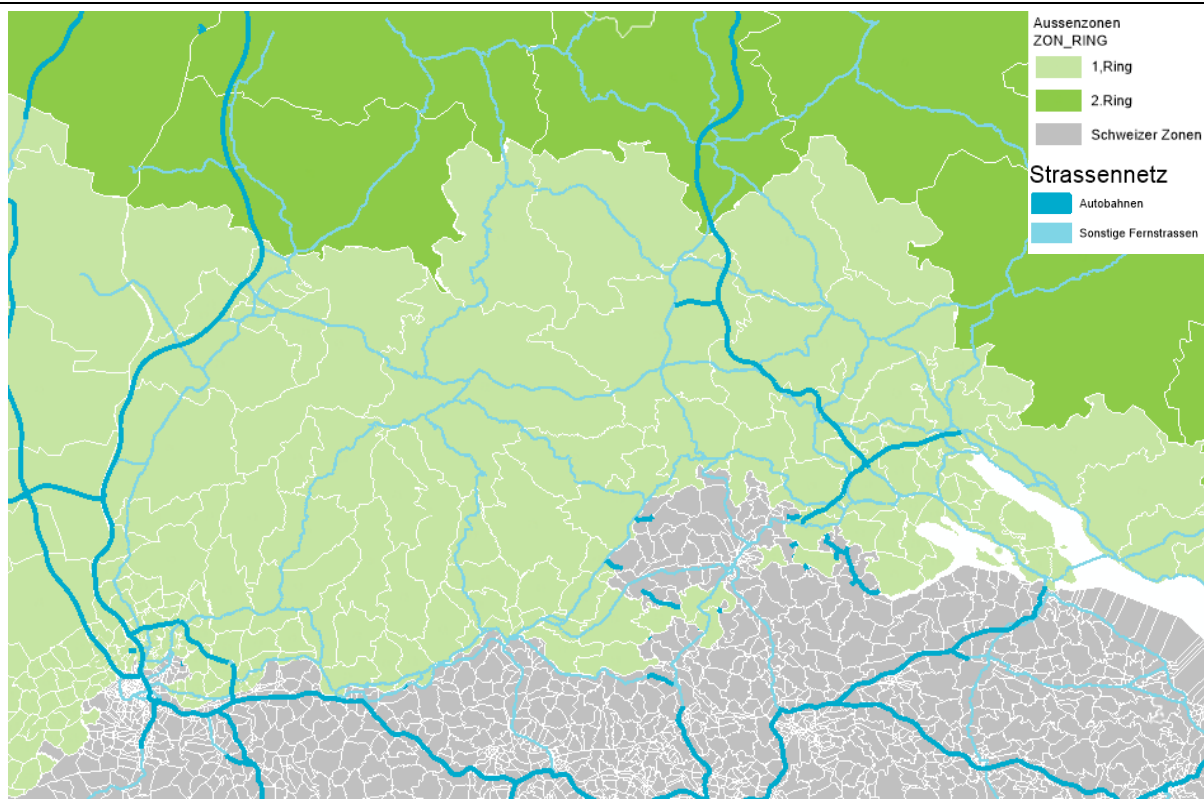
Die Aggregation bzw. Verfeinerung der Zonen im 2. Ring fand unter folgenden Prämissen statt:

- Umsetzung der NUTS3-Zonierung im grössten Teil des 2. Ringes;
- teilweise Aggregation der NUTS3-Bezirke in Deutschland, vereinzelt wurden NUTS2-Zonen im Randbereich des Perimeters umgesetzt;
- Über die NUTS3-Ebene ist – wenn auch auf aggregierter Stufe – eine Kompatibilität zu an die Schweiz angrenzenden Modellräumen wahrscheinlich.

Deutschland

Wie in ARE (2012a) vorgeschlagen, werden in den angrenzenden deutschen Landkreisen die grösseren Gemeinden Lörrach, Weil, Rheinfelden, Waldshut-Tiengen, Konstanz und Singen in mehrere Zonen unterteilt. Grundlage für die Differenzierung bildete die Zonierung aus dem Kantonalen Verkehrsmodell Aargau, welche auf Basis von Ortsteilen realisiert wurde. Im grenznahen Gebiet zu Basel ist eine Kompatibilität zum Verkehrsmodell Basel hergestellt. Abbildung 18 zeigt die Zonierung des 1. und 2. Ringes im deutschen Grenzgebiet.

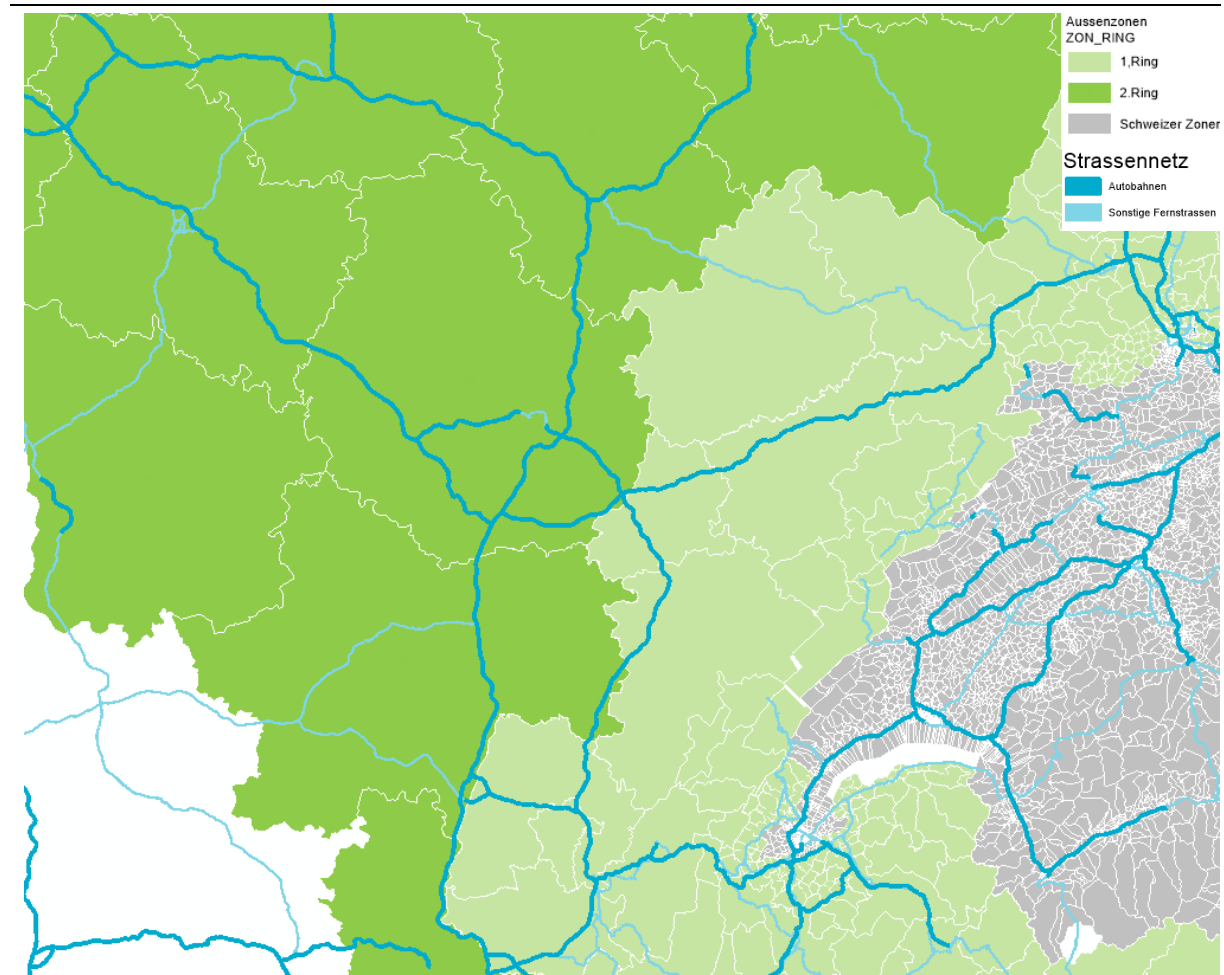
Abbildung 18 Zonenstruktur Grenzraum Deutschland



Frankreich

Die Zonierung in Frankreich wurde gegenüber der vorgeschlagenen Zonierung aus der Studie ARE (2012a) deutlich verfeinert. Dies beruht auf der Betrachtung der Intensität der Verkehrsbeziehungen in die Schweiz, sowie auf der Erhaltung der Kompatibilität zum Kantonalen Modell Genf. Das Ergebnis ist in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19 Zonenstruktur Frankreich

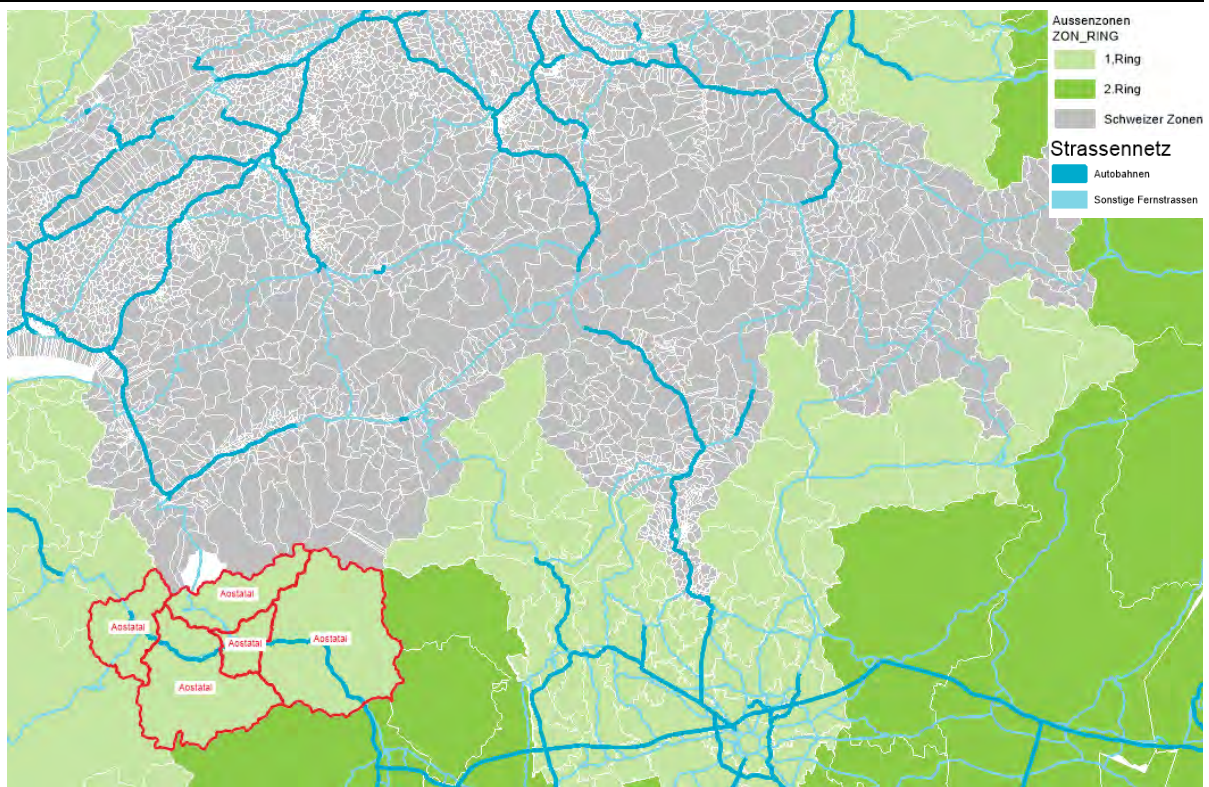


Italien

In Italien ist die NUTS3-Codierung vergleichsweise grob, die Gemeindeebene hingegen sehr fein. In der Studie ARE (2012a) wird eine Verfeinerung der Provinzen Como, Varese, Verbano-Cusio-Ossola, Novara, Lecco, Mailand und Sondrio vorgeschlagen, die entsprechend umgesetzt wurde. Die Auslandszonierung des NPVM 2017 entspricht damit der Zonierung Italiens wie sie im Gesamtverkehrsmodell Tessin umgesetzt ist.

Um die Alternativrouten aus der Region Aostatal in und aus Richtung Schweiz abbilden zu können, wird diese NUTS3-Zone in fünf Zonen unterteilt. Der 1. Ring wird somit im Süden geschlossen (vgl. Abbildung 20).

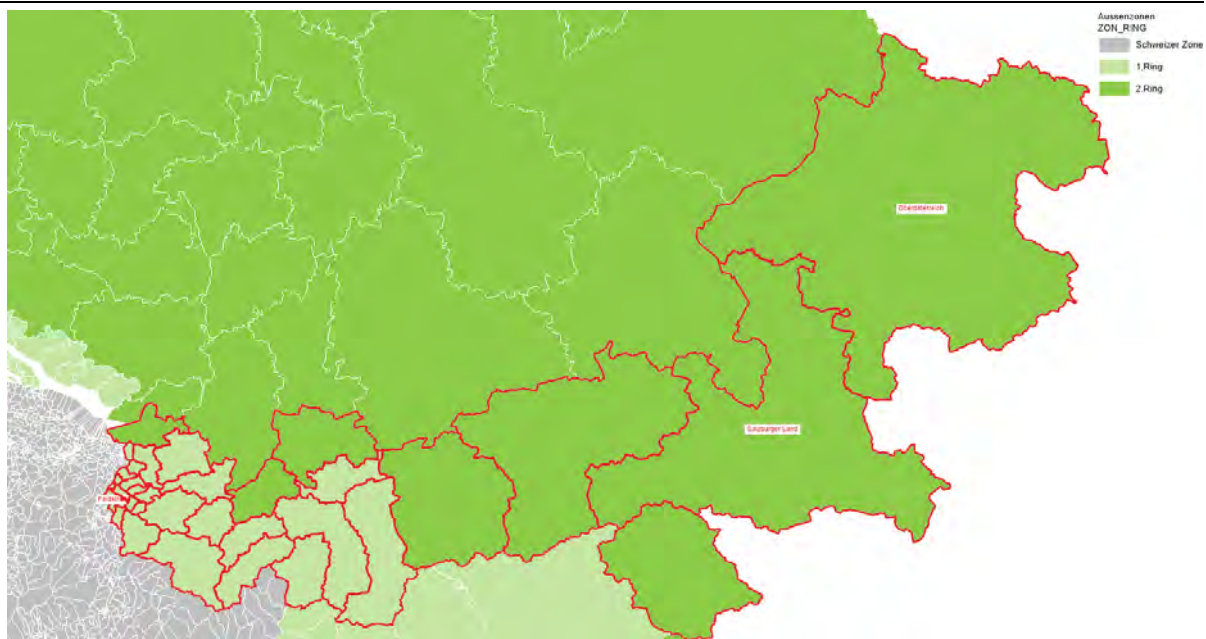
Abbildung 20 Zonenstruktur Italien



Österreich

In der Studie ARE (2012a) wurde vorgeschlagen, Vorarlberg mittels drei Gemeinden und dreier Bezirke mit sechs Zonen und einer Zone für Tirol abzubilden. Für den Raum Vorarlberg wurde diese Einteilung als zu grob eingestuft. Aufgrund der vorhandenen Grenzübergänge zur Schweiz bzw. Liechtenstein wurden 22 Zonen definiert. Dadurch entsteht auch eine gewisse räumliche Homogenität bezüglich der angrenzenden Schweizer Zonen. Um die entstehenden Fahrtalternativen Richtung Grenzübergang Martina und Brenner abbilden zu können, wurde Tirol in elf Zonen aufgeteilt. Die Zonen entsprechen den Bezirken bzw. Aggregationen davon. Hinzukommen die Bundesländer Salzburger Land und Oberösterreich aus oben genannten Gründen der Berücksichtigung grossräumiger Routenalternativen.

Abbildung 21 Zonenstruktur Österreich



Liechtenstein

Liechtenstein ist aufgrund der Administration und strukturellen Verbundenheit zur Schweiz als Binnengebiet im NPVM zu behandeln. Die Abbildung Liechtensteins erfolgt anhand der 11 Liechtensteiner Gemeinden als Binnenzonen, für die die Nachfrage im Modell explizit ermittelt wird.

Randbereich (Kordonzonen)

Die Anzahl der Zonen im Randbereich ergibt sich durch die Matrix der Aussenverkehre. Durch zusammenführen der Matrix der Aussenverkehre und des Verkehrsnetzes entstehen sogenannte Kordonzonen, die den nicht explizit abgebildeten Aussenraum repräsentieren.

Ergebnis

Resultierende Verfeinerung

Tabelle 3 fasst das Ergebnis des beschriebenen Vorgehens zusammen. Es ist erkennbar, dass sich sowohl gegenüber dem NPVM 2010 und der Studie ARE (2012a) eine Verfeinerung ergibt.

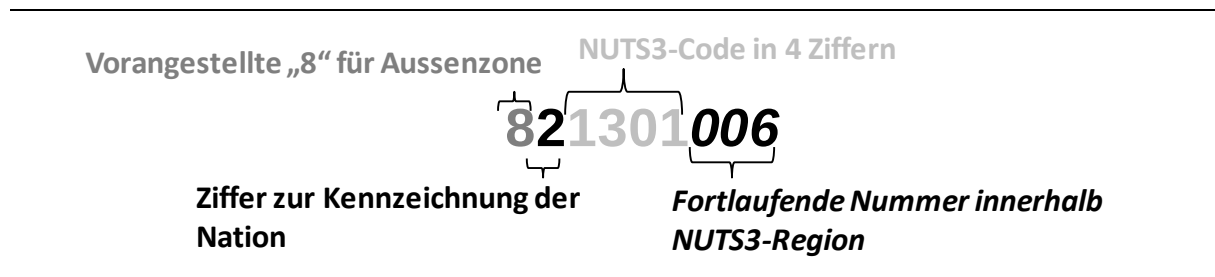
Tabelle 3 Anzahl Zonen je Land, Vergleich NPVM 2010 / ARE (2012a) / NPVM 2017			
Land	NPVM 2010	Studie 2012a	NPVM 2017
Deutschland	59	134	216
Luxemburg	1	1	1
Frankreich	28	96	357
Italien	34	79	101
Österreich	10	7	35
Liechtenstein	1	11	11
Randbereich	33	100	86
Summe	166	428	807

Weitere Arbeiten

Nach Festlegung der Struktur der Aussenzonierung wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Säubern der Polygone: Aufgrund der Zusammenführung heterogener Geodaten (Kantonale Modelle, NUTS-Bezirke) waren die Polygone z.T. verschoben bzw. wiesen Zwischenräume und Überschneidungen aus. Mittels GIS-Operationen und in geringem Umfang auch manuellen Eingriffen wurden Lageungenauigkeiten reduziert und Fehler der Geometrien korrigiert.
- Zonenbenennung: Die Aussenzonen wurden auf Basis der NUTS3 bzw. NUTS2-Ebene benannt.
- Zonennummerierung: Die Zonen wurden nach dem in Abbildung 22 dargestellten Prinzip nummeriert.

Abbildung 22 Prinzip der Zonennummerierung Ausland



1.2 Verkehrsangebot

1.2.1 Strassennetz Schweiz

Eingangsdaten

Als Ergebnis des Vorprojektes (ARE, 2017d) liegt ein qualitätsgeprüftes, attribuiertes und (weitgehend) vollständiges Strassennetz mit hohem Detaillierungsgrad für die Modellierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) vor, welches für die Bearbeitung vom AG bereitgestellt wurde. Dieses stellt die Basis für die weiteren Bearbeitungsschritte dar:

- Eingangsprüfung und Parametrisierung;
- Anbindungskonzept Strasse;
- Capacity-Restraint-Funktionen;
- Bestimmung der Reisezeiten im unbelasteten Netz.

Eingangsprüfung und Parametrisierung

Das vom AG übergebene Strassennetz wurde hinsichtlich Vollständigkeit, Korrektheit der Attributierung und Durchgängigkeit überprüft.

Typisierung Verkehrssysteme

Zusätzlich zum bereits vorhandenen Verkehrssystem PW wurden die Verkehrssysteme Lieferwagen (LI), Lastwagen (LW) und Lastzug (LZ) ergänzt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4 Verkehrssysteme im Strassennetz

Verkehrssystem	Kurzbezeichnung	Begrenzung v_{zul}	
		innerorts	ausserorts
PW	P	-	-
Lieferwagen	LI	-	-
Lastwagen	LW	80% v_{zul}	80 km/h
Lastzug	LZ	80% v_{zul}	80 km/h

Ausserorts gilt die gesetzlich zulässige Geschwindigkeit für Lkw > 3.5t von 80 km/h als Obergrenze für v_0 . Innerorts wird aus geometrischen und fahrdynamischen Gründen die zulässige Geschwindigkeit für LW und LZ auf 80 Prozent der zulässigen Geschwindigkeit reduziert. Spezifische Fahrverbote für Lkw sind im Strassennetz nicht hinterlegt. Generell ist davon auszugehen, dass die Zulassung von Verkehrssystemen nicht auf allen Einzelstrecken vollständig realitätsgetreu umgesetzt ist. Das Ausgangsnetz (Quelle: TomTom-Navigationsnetz) verfügt nur über unvollständige Informationen zu zugelassenen Verkehrssystemen; eine systematische und ggf. manuelle Nachbearbeitung schliesst sich aus Aufwandsgründen aus.

Streckentypisierung

Die Streckentypisierung wurde geprüft und unverändert übernommen. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der zu den Strassentypen zugeordneten VISUM-Streckentypen.

Tabelle 5 Streckentypen

Strassentyp	VISUM-Streckentypen	minimale Fahrstreifen-anzahl	maximale Fahrstreifen-anzahl	minimale $v_{zul.}$ [km/h]	maximale $v_{zul.}$ [km/h]
Autobahn	00 – 11	1	4	80	120
Autostrasse	12 – 19	1	4	80	100
Hauptverkehrsstrasse (ao)	20 – 28	1	3	50	80
Hauptverkehrsstrasse (io)	29 – 37	1	3	50	80
Übrige Strasse (ao)	38 – 49	1	3	30	80
Übrige Strasse (io)	50 – 61	1	3	30	80
Anschlussstellen	62 – 73	1	3	50	100
Autobahn Ausland ²	74 – 77	1	4	130	130
HVS Ausland	78 – 86	1	3	70	100
Übrige Strasse Ausland	87 – 95	1	3	70	100

Zudem wurden die folgenden Sondertypen eingeführt und die entsprechenden Strecken im Netz hinsichtlich vorhandener Kapazitäten und Geschwindigkeiten parametrisiert.

- 97 Fähre;
- 98 Autozug;
- 99 Autoverlad Zug.

Parametrisierung v_0

Die Festlegung der v_0 -Geschwindigkeiten wurde auf der Grundlage der im Netzmodell enthaltenen und ausgewerteten TomTom Speed-Profile-Daten vorgenommen. Die Datengrundlagen sowie deren Umfang, Qualität und generelle Verwendung zur Ableitung der v_0 -Geschwindigkeiten ist in ARE (2017d) beschrieben. In Abstimmung mit dem AG erfolgte eine Überarbeitung der v_0 -Geschwindigkeiten für das Hochleistungsnetz. Dabei wurden die folgenden Streckentypen einbezogen:

- 00-11 (Autobahn);
- 12-19 (Autostrasse);
- 62-73 (Anschlussstellen).

² Die Visum-Streckentypen 74 – 95 wurden im Zuge der Bearbeitung des Strassennetzes für das Ausland (siehe Abschnitt 1.2.2) im Netzmodell ergänzt. Die Ergänzungen waren notwendig, wenn für Auslandsstrecken keine passenden Streckentypen aus dem Strassennetz Schweiz vorhanden waren.

Es erfolgte die Festlegung der v_0 für die Streckentypen des Hochleistungsnetzes einheitlich entsprechend dem 95%-Perzentil³ der Maximalwerte der Speed-Profile-Daten der Stunde zwischen 19h und 20h. Für den Fall, dass dieses über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit des betreffenden Streckentyps liegt, wurde die ermittelte v_0 -Geschwindigkeit auf die zulässige Geschwindigkeit (v_{zul}) reduziert. Zudem wurde für jede Strecke des Hochleistungsnetzes die entsprechend der ausgewerteten Speed-Profile-Daten ermittelte Maximalgeschwindigkeit als Nutzerattribut gespeichert.

Nachstehende Tabelle 6 zeigt die ermittelten v_0 -Geschwindigkeiten für die Streckentypen des Hochleistungsnetzes, die einheitlich für jede Strecke des jeweiligen Typs gesetzt wurden. Für alle übrigen Strecken wurden die im Vorprojekt ARE (2017d) über ein Schätzmodell auf Basis der TomTom Speed-Profile-Daten gesetzten v_0 -Geschwindigkeiten unverändert übernommen.

Tabelle 6 v_0 -Geschwindigkeiten für die Streckentypen des Hochleistungsnetzes

Streckentyp-Nr.	Streckentyp-Name	v_0 [km/h]
0	Autobahn_ao_1FS_80	80
1	Autobahn_ao_2FS_80	80
2	Autobahn_ao_3FS_80	80
3	Autobahn_ao_4FS_80	80
4	Autobahn_ao_1FS_100	95
5	Autobahn_ao_2FS_100	100
6	Autobahn_ao_3FS_100	100
7	Autobahn_ao_4FS_100	100
8	Autobahn_ao_1FS_120	100
9	Autobahn_ao_2FS_120	120
10	Autobahn_ao_3FS_120	115
11	Autobahn_ao_4FS_120	105
12	Autostrasse_ao_1FS_80	80
13	Autostrasse_ao_2FS_80	80
14	Autostrasse_ao_3FS_80	80
15	Autostrasse_ao_4FS_80	80
16	Autostrasse_ao_1FS_100	95
17	Autostrasse_ao_2FS_100	100
18	Autostrasse_ao_3FS_100	95
19	Autostrasse_ao_4FS_100	95
62	Rampe_ao_1FS_50	50
63	Rampe_ao_2FS_50	50
64	Rampe_ao_3FS_50	45
65	Rampe_ao_1FS_60	60
66	Rampe_ao_2FS_60	60
67	Rampe_ao_3FS_60	60
68	Rampe_ao_1FS_80	80
69	Rampe_ao_2FS_80	80
70	Rampe_ao_3FS_80	80

³ 95%-Perzentil basierend auf den Maximalwerten der jeweiligen stundenfeinen Speed-Profile-Daten je Strecke.

71	Rampe_ao_1FS_100	95
72	Rampe_ao_2FS_100	100
73	Rampe_ao_3FS_100	100

Typisierung Knotenpunkte und Parametrisierung der Zeitzuschläge

Generell sollte ein Verkehrsmodell die Zeitverluste bei Abbiegevorgängen oder der Durchfahrung von Kreuzungen berücksichtigen. Insbesondere bei Verkehrsbeziehungen im städtischen Umfeld können diese Zeitverluste einen signifikanten Anteil an der Gesamtreisezeit einnehmen. Im Falle kleinräumiger Modelle oder Simulationen, die wenige Kreuzungen umfassen, wird dies in der Regel realisiert über die Integration von Stand- und Wartezeiten an Lichtsignalanlagen oder Verzögerungen während des Abbiegens. Für ein nationales Verkehrsmodell ist eine derartige Recherche, Aufbereitung und Integration von Daten, welche die Zeitverluste an Kreuzungen flächendeckend beschreiben, nicht möglich. Dennoch sollten die Zeiten als Teilelement der Gesamtreisezeit einer Relation vereinfacht im Modell abgebildet werden. Als geeignete Vereinfachung wurden Kreuzungs- bzw. Knotentypen definiert und mit pauschalen Zeitzuschlägen versehen.

Ausgehend von den sich kreuzenden Strassentypen wurden zunächst 5 VISUM-Obertypen hierarchisch abgeleitet:

- I Knotenpunkt mit Autobahn
- II Knotenpunkt mit Autostrasse
- III Knotenpunkt mit Hauptverkehrsstrasse
- IV Knotenpunkt mit übriger Strasse
- V Knotenpunkt zwischen Rampen an Anschlussstellen

Tabelle 7 Verteilung der Knotentypen (Anzahl Knoten und Zuordnung zu VISUM-Typ)

Knoten > 2 Arme	Strassentyp	Autobahn	Autostrasse	Hauptverkehrsstrasse (ao)	Hauptverkehrsstrasse (io)	Übrige Strasse (ao)	Übrige Strasse (io)	Anschlussstellen	
Strassentyp	Strecken-Typ	0 - 11	12 - 19	20 - 28	29 - 37	38 - 49	50 - 61	62 - 73	VISUM-Typ
Autobahn	0 - 11	2251	22			43	11	1600	I
Autostrasse	12 - 19		803	25	30	14	20	425	II
Hauptverkehrsstrasse (ao)	20 - 28			10756	17576	11045	4878	704	III
Hauptverkehrsstrasse (io)	29 - 37				48465	2727	63429	647	III
Übrige Strasse (ao)	38 - 39					759	286	139	IV
Übrige Strasse (io)	50 - 61						242937	75	IV
Anschlussstellen	62 - 73							1543	V

In Abhängigkeit von der Fahrstreifenanzahl und von eventuell vorhandenem Einrichtungsverkehr auf den sich kreuzenden Strassen wurden die 5 Obertypen in weitere Knotentypen unterteilt und mit standardisierten Zeitzuschlägen je Knotentyp versehen. Die in nachstehender Tabelle 8 gelisteten Zeitzuschläge basieren auf Erfahrungswerten zahlreicher Modellanwendungen. Vergleichbare Zeitzuschläge wurden beispielsweise in den kantonalen Verkehrsmodellen für Zürich, Zug, Bern, Solothurn, Aargau und Tessin verwendet. In der Realität gibt es je nach Geometrie des Knotens, der jeweiligen Verkehrsstärke und der verkehrstechnischen Ausstattung des Knotens eine zum Teil grosse Bandbreite an Zeitverlusten für Abbiegevorgänge. Für das NPVM werden über die

nachstehenden Zeitzuschläge mittlere Werte dieser Bandbreiten umgesetzt, die im Einzelfall abweichen können, aber im Kontext des Gesamtmodells als hinreichende Näherung zu verstehen sind.

Tabelle 8 Differenzierung der Knotentypen

Knoten				Abbieger		
Bezeichnung	Obertyp	Typ	Beschreibung	Strom- hierar- chie	Abbiege- Typ	Zeitzuschlag [s]
gesperrte Strassen		0	Alle Strassen gesperrt	alle	R,G,L,W	0
Sonderstrecken		9	Fähren usw.	alle	R,G,L,W	10
Autobahn	I	1	1 Fahrbahn	alle	R,G,L,W	0
		10	2 Fahrbahnen	alle	R,G,L,W	0
		11	nur Einrichtungsfahrbahn	alle	R,G,L,W	0
		12	2 x Einrichtungsfahrbahn 1 x Zweirichtungsfahrbahn	alle	R,G,L,W	0
		13	Anschlussstellen an Zweirich- tungsfahrbahn	alle	R,G,L,W	0
		19	Andere (4-armig)	alle	G	0
					R,L,W	10
Autostrasse	II	2	1 Fahrbahn	alle	R,G,L	0
					W	10
		20	2 Fahrbahnen	alle	R,G,L	0
					W	10
		21	nur Einrichtungsfahrbahn	alle	R,G,L,W	0
		22	2 x Einrichtungsfahrbahn 1 x Zweirichtungsfahrbahn	alle	R,G,L,W	0
		23	nur Einrichtungsfahrbahn an aufgelösten Knoten	alle	R,G,L,W	5
		29	Andere (4-armig)	alle	G	0
					R,L,W	10
Hauptverkehrs- strasse (ao/io)	III	3	1 Fahrbahn	alle	R,G,L	0
					W	10
		30	2 Fahrbahnen	alle	R,G,L	0
					W	10
		31	nur Einrichtungsfahrbahn mit Linksabbieger	alle	R,G,L,W	5
		32	2 x Einrichtungsfahrbahn 1 x Zweirichtungsfahrbahn	alle	R	5
					G	0
					L,W	10
		33	nur Einrichtungsfahrbahnen keine Linksabbieger	alle	R	5
					G	0
					L,W	10
		39	Andere (4-armig)	++	R,G	5
					L,W	10
				--	R,G	10
					L,W	15
-+	R,G			10		
	L,W			15		

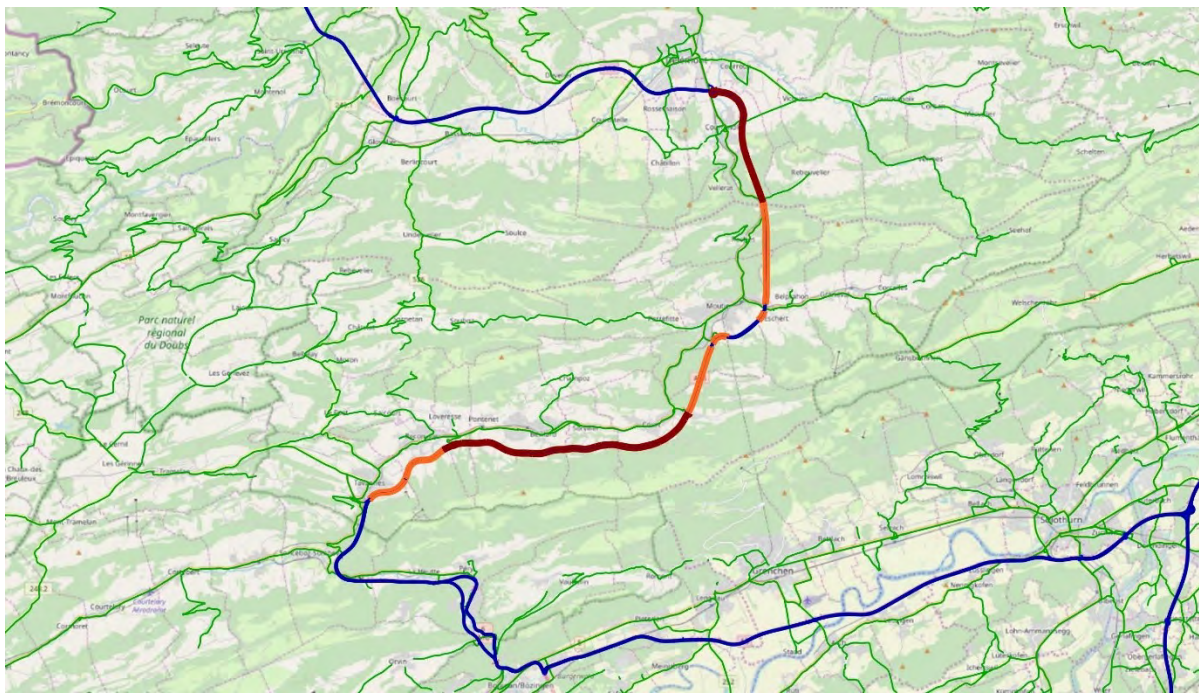
Tabelle 8 Differenzierung der Knotentypen

Knoten				Abbieger				
Bezeichnung	Obertyp	Typ	Beschreibung	Strom- hierar- chie	Abbiege- Typ	Zeitzuschlag [s]		
Übrige Strasse (ao/io)	IV	4	1 Fahrbahn	+-	R,G	10		
					L,W	15		
		40	2 Fahrbahnen	alle	R,G,L	0		
					W	10		
		41	nur Einrichtungsfahrbahn	alle	R,G,L,W	5		
					42	2 x Einrichtungsfahrbahn 1 x Zweirichtungsfahrbahn	alle	R
		G	0					
		L,W	10					
		43	nur Einrichtungsfahrbahnen, keine Linksabbieger	alle	R	5		
					G	0		
					L,W	10		
		49	Andere (4-armig)	++	R,G	5		
					L,W	10		
				--	R,G	10		
					L,W	15		
				-+	R,G	10		
					L,W	15		
				+-	R,G	10		
					L,W	15		
		Anschlussstellen	V	5	1 Fahrbahn	alle	R,G,L	0
							W	10
50	2 Fahrbahnen			alle	R,G,L	0		
					W	10		
51	nur Einrichtungsfahrbahn			alle	R,G,L,W	0		
52	2 x Einrichtungsfahrbahn 1 x Zweirichtungsfahrbahn			alle	R,G,L,W	0		
59	Andere (4-armig)			alle	G	0		
					R,L,W	10		
Abbiegetypen				Stromhierarchien				
R = Rechtsabbieger				++ = Hauptstrom in Hauptstrom				
G = Geradeausfahrer				+- = Hauptstrom in Nebenstrom				
L = Linksabbieger				-+ = Nebenstrom in Hauptstrom				
W = Wender				-- = Nebenstrom in Nebenstrom				

Netzergänzungen

Die Autobahn A16 (Transjurane) war 2017 bereits durchgängig befahrbar. Im übergebenen Strassennetz für die Schweiz war die durchgängige Befahrbarkeit der A16 nicht vollständig enthalten. Deshalb waren die Netzergänzungen der A16 im Verkehrsangebot notwendig und umfassten die Ergänzung fehlender Streckenabschnitte sowie die Erweiterung vorhandener Streckenabschnitte (siehe Abbildung 23).

Abbildung 23 Autobahn A16 (Transjurane): Ergänzung fehlender Streckenabschnitte (rot markiert) und Erweiterung bestehender Streckenabschnitte (orange markiert)



Anbindungen

Die im Vorprojekt (ARE, 2017d) realisierte, vereinfachte Anbindung der Verkehrszonen war für die Modelletablierung zu ersetzen. Es wurde ein neues Anbindungskonzept Strasse entwickelt, dessen Grundzüge im Folgenden skizziert werden. (Mehrfach-) Anbindungen für die Verkehrszonen wurden auf Basis der Siedlungsschwerpunkte automatisch erstellt und die Anbindungsanteile anhand der Einwohnerzahlen und Arbeitsplätze in den jeweiligen Siedlungsschwerpunkten berechnet. Die Ergebnisse wurden durch Prüfroutinen (z. B. Siedlungsschwerpunkt innerhalb der jeweiligen Zone und des entsprechenden Siedlungsgebietes, keine Anbindungen an als Autobahn oder Einbahn klassierte Strassen) und Sichtkontrollen plausibilisiert.

Abbildung 24 Arbeitsablauf Anbindungen Strassen



Für Zonen mit bis zu maximal 3 Mehrfachanbindungen wurden die Polygone der Zonierung verfeinert und die Zonenschwerpunkte neu berechnet. Somit erhalten Zonen mit mehreren Siedlungsschwerpunkten auch entsprechend mehrere Zonenschwerpunkte. Um die räumliche Lage und Relevanz (= Anzahl Einwohner und Arbeitsplätze) der Siedlungsschwerpunkte zu bestimmen, wurde sowohl das Siedlungsgebiet (aus swissNames3D von swisstopo) als auch die Verteilung der Einwohner (aus STATPOP) und Arbeitsplätze (aus STATENT) verwendet. Die Anbindungen der Schwerpunkte wurden automatisch auf den nächst möglichen Knoten eines per Filter segmentierten Netzes erstellt. Die Filterung schliesst Autobahnen, Autostrassen, sowie Einbahnstrassen aus. Anschliessend wurde bei Mehrfachanbindungen aufgrund der Verteilung der Einwohner (STATPOP 2016) und der Arbeitsplätze (STATENT 2015) innerhalb einer NPVM-Zone die Gewichtung berechnet. Jede NPVM-Zone erhielt total 100%.

Anschliessend wurden die Reisezeiten der Anbindungen in Abhängigkeit der Streckenlänge mit einer konstanten Geschwindigkeit von 15 km/h berechnet. Dabei wurde eine minimale Anbindungszeit von 2 Minuten definiert.

Im Laufe der Modellkalibration (cf. Abschnitt 2.7) wurden die Anbindungen teilweise noch angepasst bzw. ergänzt. Nach der Kalibration sind total 8'707 Anbindungen von Binnenzonen im Modell vorhanden, wovon 1'358 Anbindungen (was ca. 16% entspricht) zu Zonen mit Mehrfachanbindungen zählen. Insgesamt haben 629 Binnenzonen Mehrfachanbindungen erhalten. Diese waren notwendig, um eine korrekte Feinverteilung der Nachfrage ins Netz und entsprechend die Übereinstimmung mit den vorhandenen Zählraten sicherzustellen. Im Zuge der Kalibration wurden die Anbindungsängen der Zonen mit Mehrfachanbindungen bevölkerungsgewichtet neu berechnet (anstatt der einfacheren Verwendung der Distanz vom Zonenschwerpunkt zum Anbindungsknoten, welche die tatsächlichen Längen unterschätzten würde). Für die Anbindungsänge wurde als Minimalwert 100m, für die Minimaldauer 2min angesetzt. Die Verteilung der Anbindungsängen ist aus Abbildung 25 ersichtlich. Im Folgenden sind Beispiele der Umsetzung des Anbindungskonzepts abgebildet.

Abbildung 25 Verteilung der Anbindungsängen (MIV)

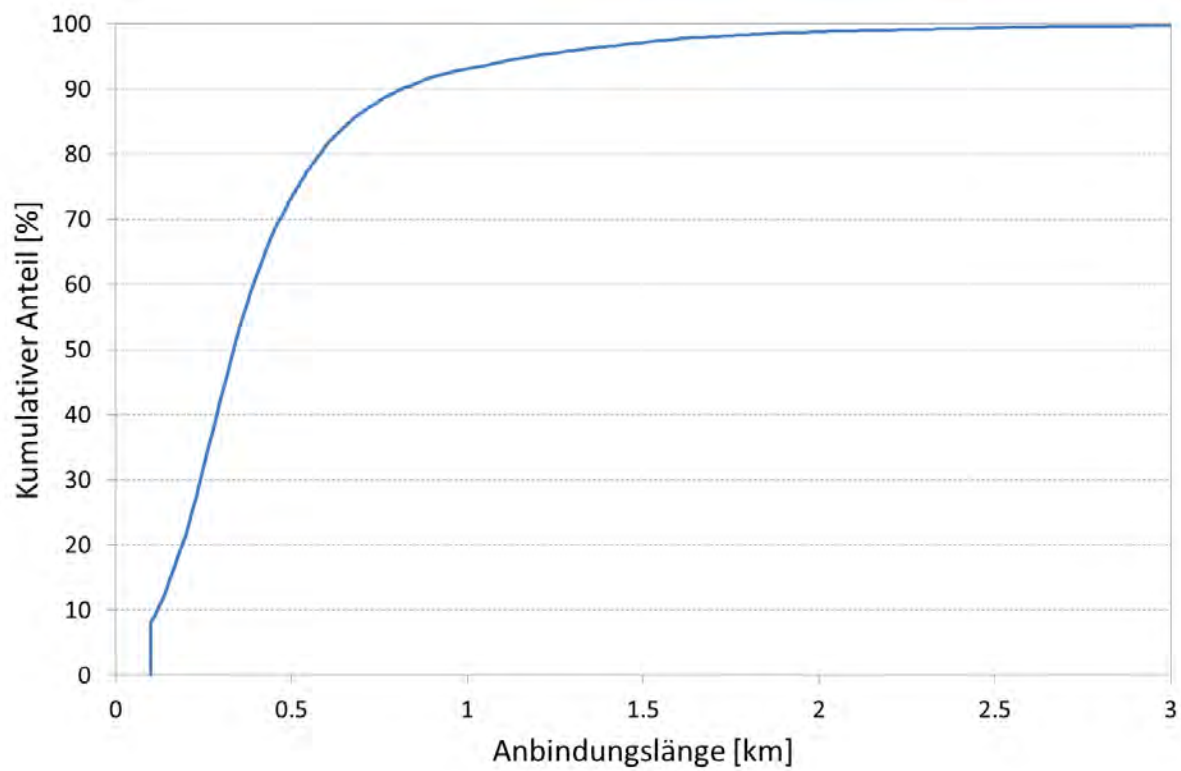


Abbildung 26 Beispiel Anbindung: Typischer Fall (Strasse)

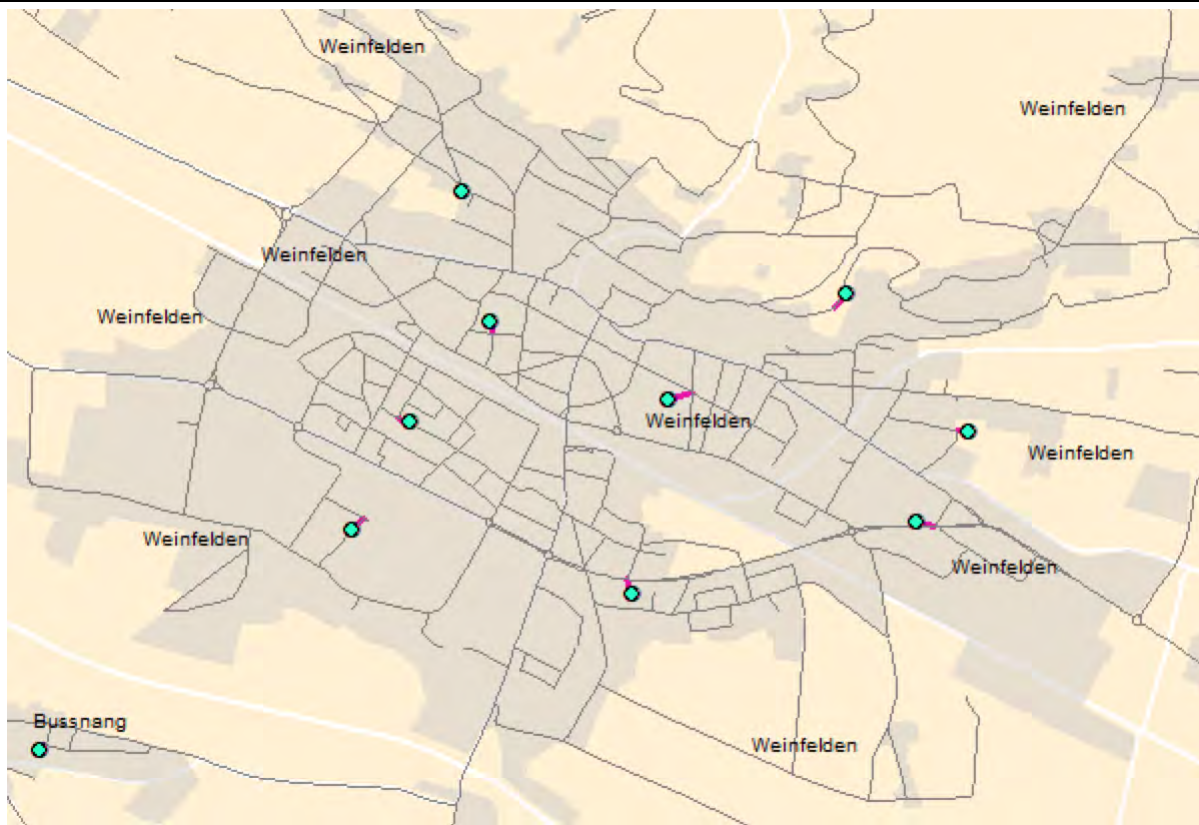


Abbildung 27 Beispiel weite Anbindung: Zermatt (autofrei und nur per Bahn erreichbar) (Strasse)



Anhand der Situation in der Gemeinde Oberegg (AI, siehe Abbildung 28) lässt sich das Regelwerk zu den Anbindungen nachvollziehen. Oberegg ist nicht nur in zwei räumlich voneinander getrennte Ortsteile gegliedert, sondern umfasst noch das Kloster St. Ottilia Grimenstein, das sich im Gemeindegebiet von Walzenhausen befindet.

Aufgrund der sehr dispersen Bevölkerungsverteilung im grössten Teilgebiet mit dem Ort Oberegg, wurden für dieses Teilgebiet zwei Anbindungspunkte generiert. Oberegg erhält somit vier Anbindungen – je eine für jedes Teilgebiet plus eine Anbindung im Teilgebiet Oberegg.

Abbildung 28 Beispiel komplexe Anbindung: Oberegg (Strasse)

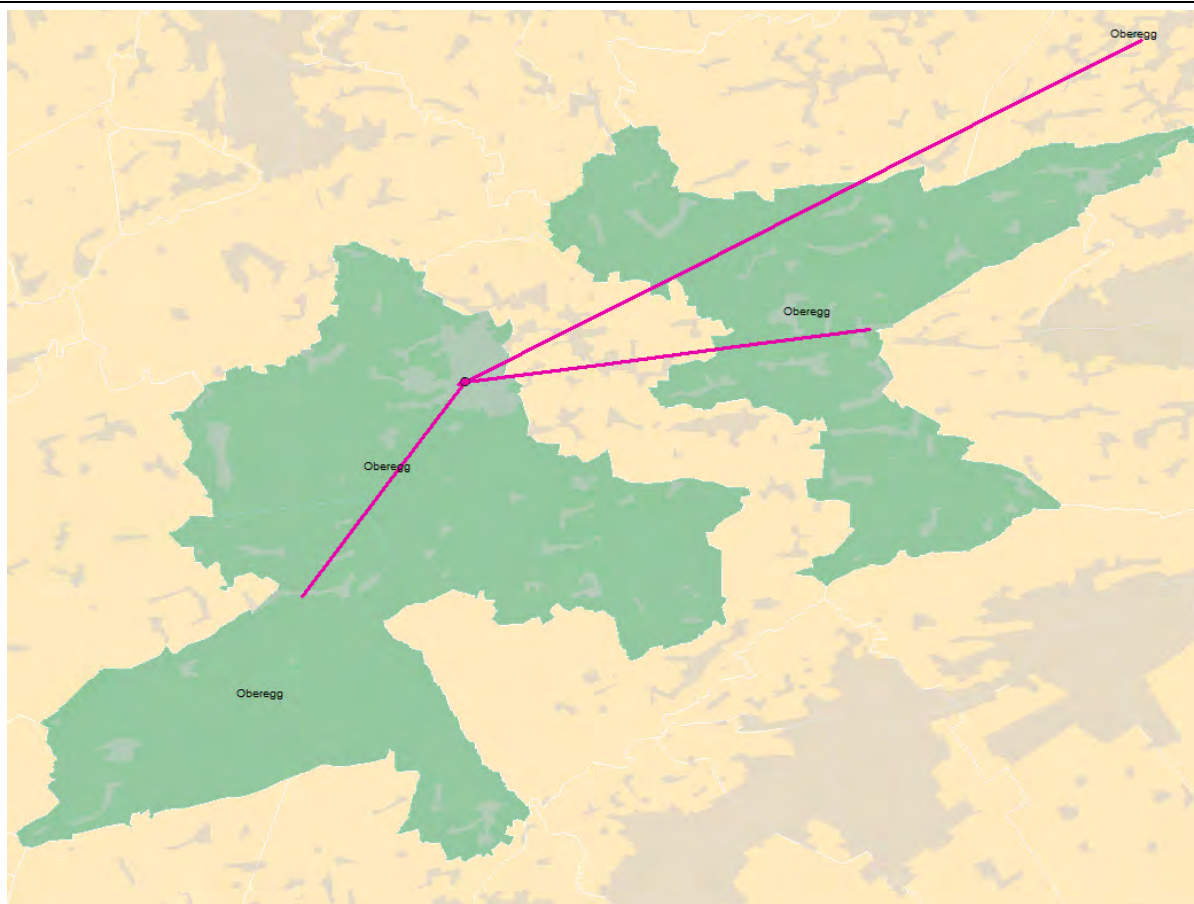


Tabelle 11 gibt einen Gesamtüberblick zu den Anbindungen im MIV-Modell.

Tabelle 9 Überblick MIV-Anbindungen

Bereich	Anbindungstyp	Anzahl
Anbindungen Binnenzonen	Einfachverbindungen	7'349
	Mehrfachverbindungen	1'358
Anbindungen Ausland		873
Gesamtsumme		9'580

Capacity-Restraint-Funktionen

Um die Abhängigkeit zwischen Streckenauslastung und -widerstand zu berücksichtigen, erfolgt die Berechnung der Reisezeit unter Verwendung von Kapazitätsbeschränkungsfunktionen (Capacity-Restraint- / CR-Funktionen). Diese Funktionen beschreiben den Zusammenhang von Verkehrsauslastung (Sättigung) einer Strecke und deren Reisezeiten/ Geschwindigkeiten für die jeweiligen Streckentypen.

Den Streckentypen wurden geeignete CR-Funktionen zugeordnet (übernommen aus Vrtic *et al.*, 2018). Die Zuordnung der CR-Funktionstypen und -parameter (cf. auch PTV AG, 2018, S. 301ff) zu den in Tabelle 5 definierten Streckentypen ist aus Abbildung 29 und Tabelle 10 ersichtlich. Aus Tabelle 10 kann beispielsweise herausgelesen werden, dass dem Streckentyp 43 (Zeile 4x / Spalte x3) der CR-Funktionstyp 14 zugeordnet ist. Dieser entspricht gemäss Abbildung 29 der BPR-2-Funktion mit der Parametrisierung $a = 0.18$, $b = 2.6$, $b' = 2.2$ und $c = 12$).

Abbildung 29 Parametrisierung der CR-Funktionen

Abbildung 29 zeigt das Screenshot-Fenster 'Allgemeine Verfahrenseinstellungen' mit der Unteransicht 'IV-Einstellungen - Strecken CR-Funktionen'. Das Fenster ist in zwei Hauptbereiche unterteilt: 'Streckentypen' und 'CR-Funktionen'.

Streckentypen: Eine Tabelle mit 13 Zeilen, die verschiedene Streckentypen (z.B. Autobahn_ao_1FS_80, Autobahn_ao_2FS_80, Autobahn_ao_3FS_80, Autobahn_ao_4FS_80, Autobahn_ao_1FS_100, Autobahn_ao_2FS_100, Autobahn_ao_3FS_100, Autobahn_ao_4FS_100, Autobahn_ao_1FS_120, Autobahn_ao_2FS_120, Autobahn_ao_3FS_120, Autobahn_ao_4FS_120, Autostrasse_ao_1FS_80) mit ihren Parametern (Anzahl, Nr, OTyp, Name, Streng, Rang, VSysSet, AnzFahrtstreifen, KapIV, v0IV, vMinIV, CrNr) darstellt.

CR-Funktionen: Eine Tabelle mit 12 Zeilen, die verschiedene CR-Funktionen (z.B. BPR (1.00 2.00 12.00), BPR2 (0.05 5.00 4.50 12.00), BPR2 (0.16 2.50 6.00 12.00), BPR2 (0.09 1.70 6.50 12.00), BPR2 (0.18 2.60 5.20 12.00), BPR2 (0.18 5.00 3.40 12.00), BPR2 (0.31 2.70 5.00 12.00), INRETS (0.97 12.00), BPR2 (0.23 2.20 5.40 12.00), INRETS (0.97 12.00), BPR2 (0.27 2.60 5.90 12.00)) mit ihren Parametern (Anzahl, Nr, Name, Beschreibung) darstellt.

Unter der Tabelle 'CR-Funktionen' befindet sich ein Kontrollkästchen mit der Beschriftung 'vMin für Streckentypen berücksichtigen', der aktuell deaktiviert ist.

Am unteren Rand des Fensters befinden sich die Schaltflächen 'Speichern...', 'Öffnen...', 'OK' und 'Abbrechen'.

Tabelle 10 Zuordnung der CR-Funktionen zu den Streckentypen

Streckentyp	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
0x	16	16	16	16	18	18	18	18	20	20
1x	20	20	16	16	16	16	18	18	18	18
2x	14	14	14	14	14	14	15	15	15	12
3x	12	12	12	12	12	12	12	12	14	14
4x	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15
5x	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
6x	12	12	14	14	14	14	14	14	15	15
7x	15	15	15	15	20	20	20	20	14	14
8x	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15
9x	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1

1.2.2 Strassennetz Ausland

Eingangsdaten

Anders als für die Schweiz liegen für das Strassennetz im Ausland keine Vorarbeiten vor. Ausgangspunkt sind die TomTom-Navigationsnetze des Jahres 2016 und somit identischem Zustand wie für die Erarbeitung des Schweizer Strassennetzes. Die TomTom-Daten lagen in disaggregierter Form für folgende Länder vor:

- Deutschland;
- Österreich;
- Liechtenstein;
- Italien;
- Frankreich.

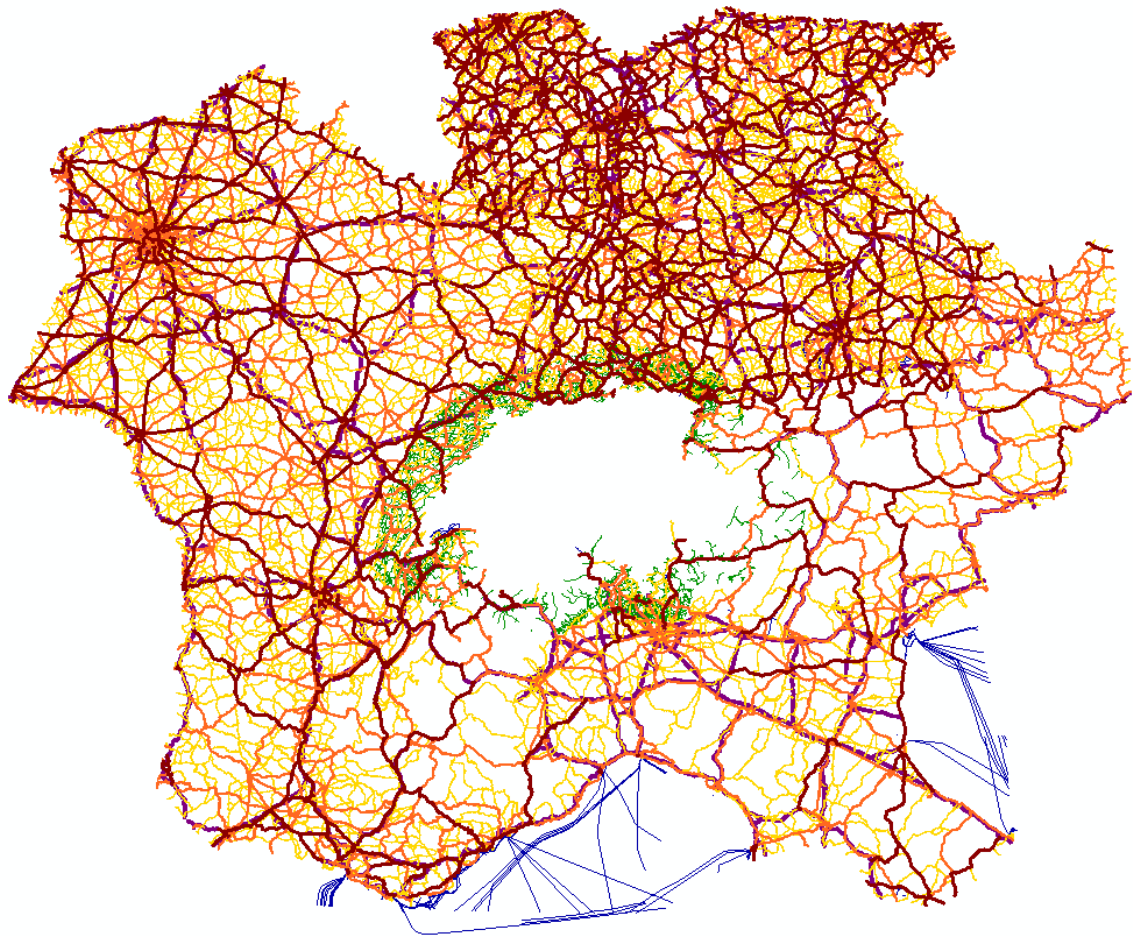
Netzerstellung und Parametrisierung

Einlesen der TomTom-Daten

Länderweise wurden die TomTom-Daten vollständig in VISUM-Netze überführt. Anschliessend erfolgte die schrittweise Zusammenführung der einzelnen VISUM-Netze zu einem Auslandsstrassennetz (siehe Abbildung 30) unter Durchführung der folgenden Arbeitsschritte.

- Ausdünnung der jeweiligen Netze bis einschliesslich FRC5 innerhalb des grenznahen Raumes passend zur feineren Auslandszonierung (der grenznahe Raum umfasst ein Band von circa 50 km Breite um die Schweiz);
- Ausdünnung der jeweiligen Netze bis einschliesslich FRC3 ausserhalb des grenznahen Raumes passend zur gröberen Auslandszonierung;
- Umnummerierung der Strecken und Knoten über die Addition der Streckennummern mit folgenden Werten je Land:
 - Deutschland: 10'000'000;
 - Österreich: 20'000'000;
 - Liechtenstein: 30'000'000;
 - Italien: 40'000'000;
 - Frankreich: 50'000'000;
- Verknüpfung der ausgedünnten nationalen Netze zu einem Gesamtnetz.

Abbildung 30 Übersicht Strassennetz Ausland (Original)

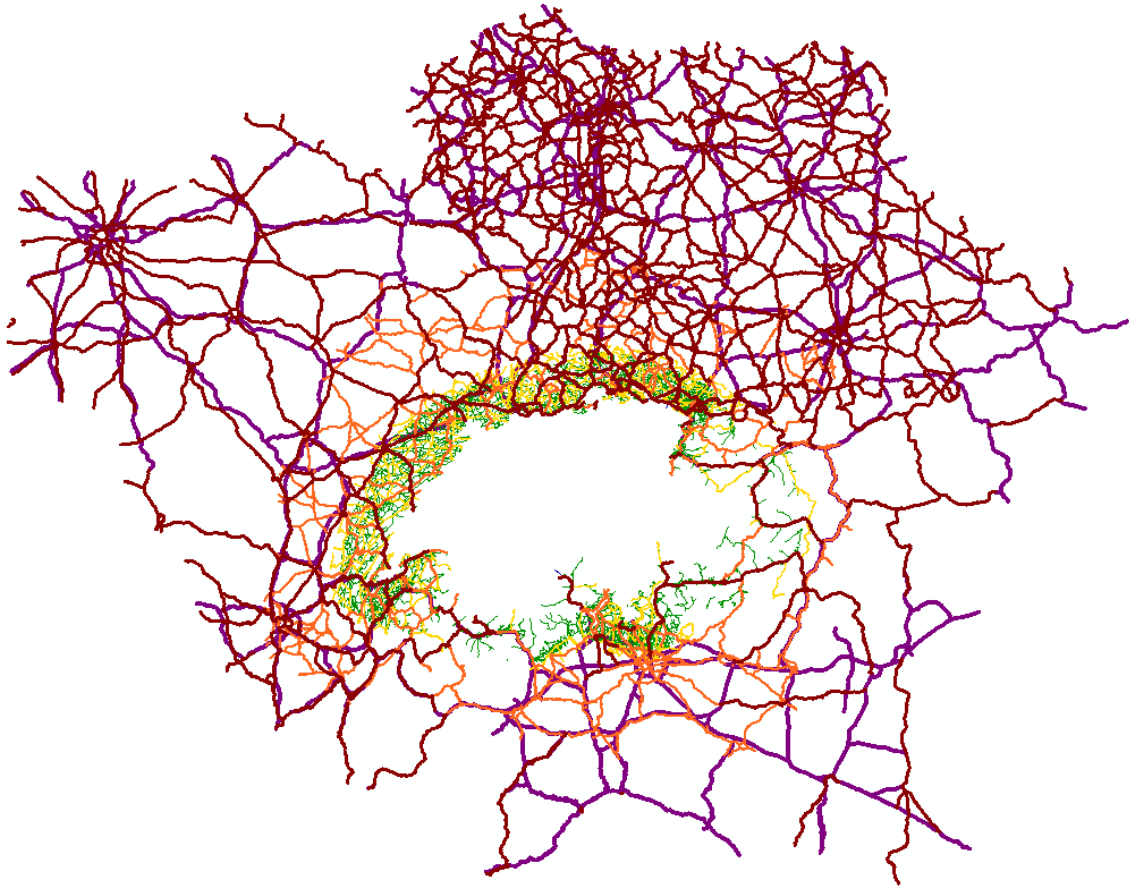


Netzvereinfachung / -ausdünnung

Im weiteren Verlauf wurden Netzbearbeitungsschritte mit dem Ziel der Netzvereinfachung und Netzausdünnungen durchgeführt (Abbildung 31):

- Fährverbindungen wurden gelöscht, mit Ausnahme der Autofähren auf dem Bodensee;
- Einfügung eines User-Attributs für die Länderkennung bei Strecken und Knoten;
- Strecken ausserhalb des Modellperimeters wurden gelöscht;
- Eine Netzausdünnung mit zunehmender Entfernung von der Schweiz wurde realisiert (siehe oben);
- Löschen isolierter Knoten.

Abbildung 31 Übersicht Strassennetz Ausland (ausgedünnt)



Parametrisierung der Strecken

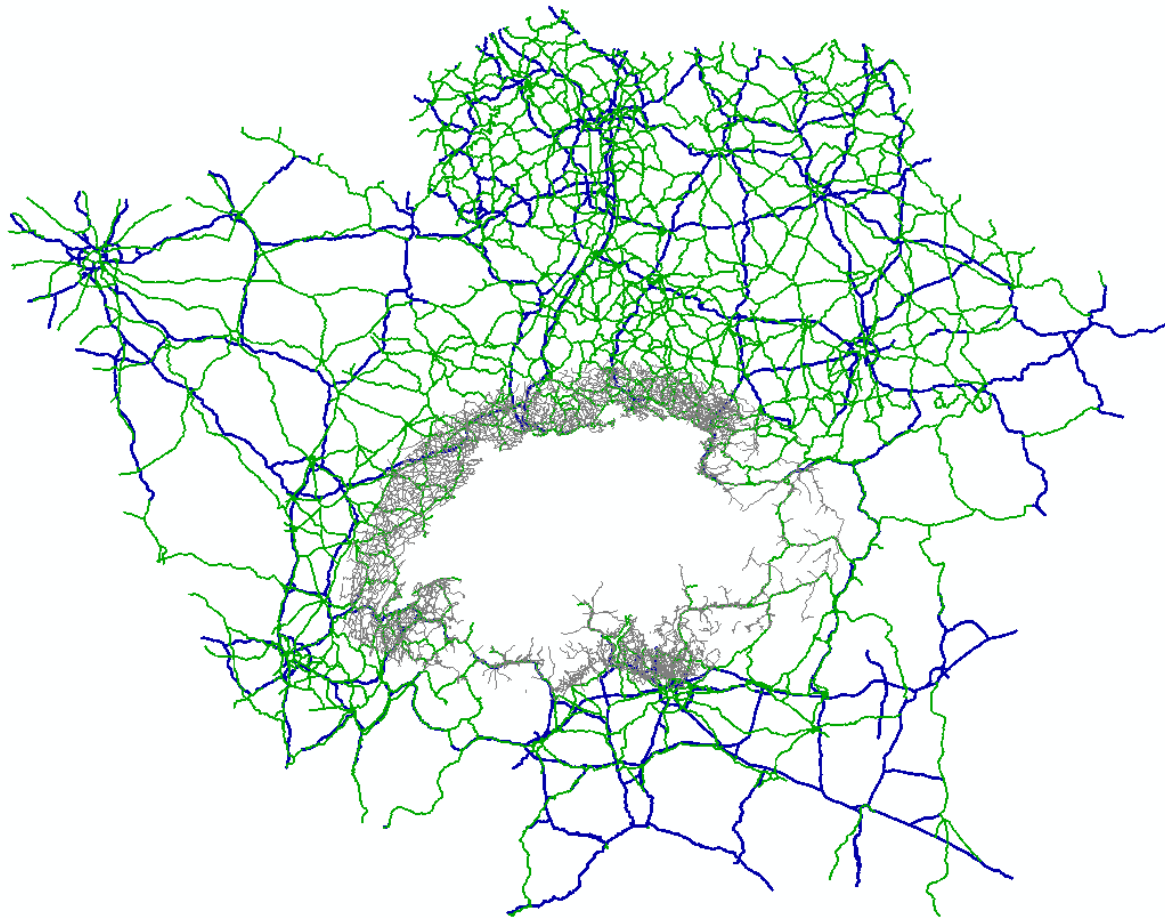
- Übernahme der zulässigen Geschwindigkeit aus TomTom-Daten je Strecke;
- Wenn keine Geschwindigkeitsdaten in TomTom vorhanden waren, erfolgte die Übernahme der zulässigen Geschwindigkeit je Land und Strecke in Abhängigkeit vom Strassentyp (Autobahn, innerorts, ausserorts);
- Übernahme der Anzahl der Fahrstreifen je Strecke aus TomTom-Daten⁴;
- Übernahme der Inner- und Ausserortsbereiche aus TomTom-Daten;
- Übernahme der zulässigen Verkehrssysteme je Strecke aus TomTom-Daten;
- Öffnung bzw. Sperrung der Abbieger entsprechend der Verkehrssysteme;
- Zuordnung der Strassenklassen zu den für das Schweizer Strassennetz definierten VISUM-Streckentypen entsprechend dem TomTom-Attribut „Functional road class“ (FRC):
 - FRC 0 → Autobahn;
 - FRC 1 und 2 → Hauptverkehrsstrasse;
 - FRC 3, 4 und 5 → übrige Strasse;
 - Der VISUM-Typ Autostrasse wurde nicht vergeben, da ausser Autobahnen alle Strecken in den TomTom-Daten auch für z.B. den Velo-Verkehr zugelassen waren;
- Die Streckentypen wurden den einzelnen Strecken zugewiesen, in Abhängigkeit von folgenden Attributen:
 - FRC-Strassenklasse (siehe oben);
 - Anzahl Fahrstreifen;
 - zulässige Höchstgeschwindigkeit;
 - Inner- oder Ausserortsbereich;
- Neben den im Strassennetz Schweiz verwendeten Streckentypen wurden zusätzlich benötigte Streckentypen in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten der einzelnen Länder definiert;
- Strecken mit Streckenlänge 0 wurden gelöscht und dabei die Attribute der längeren Strecke übernommen;
- zweiarmlige Knotenpunkte mit gleichem Streckentyp für jeden Arm wurden gelöscht und die Streckenelemente verbunden.

Je Streckentyp wurde eine einheitliche v_0 -Geschwindigkeit im Auslandsnetz vergeben. Dabei orientiert sich die Vergabe der v_0 an den v_0 -Geschwindigkeiten im Strassennetz Schweiz. Für die Strecken des Hauptnetzes wurden die in Tabelle 6 aufgeführten einheitlichen v_0 -Geschwindigkeiten je Streckentyp aus dem Schweiz-Netz übernommen. Für die übrigen Streckentypen liegen im Schweiz-Netz streckenspezifische v_0 -Geschwindigkeiten vor. Je Streckentyp wurde daraus die mittlere v_0 -Geschwindigkeit ermittelt. Die mittlere v_0 -Geschwindigkeit je Streckentyp wurde einheitlich auf die Auslandsstrecken übertragen. Tabelle 84 in Anhang 7.2 enthält die für die Auslandsstrecken einheitlich gesetzte v_0 -Geschwindigkeit und IV-Kapazität je Streckentyp.

Nachstehende Abbildung 32 zeigt das parametrisierte Strassennetz im Ausland mit den Autobahnen (in blau), den Hauptverkehrsstrassen (in grün) und den übrigen Strassen im grenznahen Umland (in grau).

⁴ Analog zum Schweizer Netz ist mitunter auch im Ausland keine korrekte Anzahl der Fahrstreifen in den TomTom-Daten ausgewiesen. Im Gegensatz zur Schweiz müssen im Ausland aber keine vollständig korrekten Kapazitäten ermittelt werden, da jeweils nur Verkehre mit Bezug zur Schweiz umgelegt werden. Zudem ist im Ausland vor allem das übergeordnete Autostrassennetz relevant, bei dem die Ungenauigkeiten hinsichtlich der Fahrstreifenanzahl lediglich in den Verflechtungsbereichen auftreten.

Abbildung 32 Übersicht Strassennetz Ausland (parametrisiert)



Parametrisierung der Knoten

Analog zum Knotentypenkonzept für das Strassennetz Schweiz wurden die Knoten des Auslandsnetzes typisiert und mit standardisierten Zeitzuschlägen je Knotentyp versehen. Die Zeitzuschläge sind über das Visum-Attribut «t0 IV» der Abbieger im Netzmodell nachzuvollziehen.

Anbindungen

Die Anbindungen für die Verkehrszonen im Ausland wurden automatisch erstellt, wobei jede Verkehrszone in der Regel genau eine Anbindung hat. Dies ist ausreichend, da aufgrund der in der Regel grösseren Zonen, dem ausgedünnten Strassennetz und den langlaufenden Verkehren die gleichen übergeordneten Verbindungen genutzt werden, praktisch unabhängig vom effektiven Einspeisepunkt der Verkehre. Als vorbereitender Arbeitsschritt für die automatische Anbindung wurde manuell ein geeigneter Anbindeknoten für jede Auslandszone ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Anbindeknoten innerhalb des Siedlungsschwerpunktes der Zone und an einer untergeordneten Strassenkategorie liegt. Eine Direktanbindung an Autobahnen wurde vermieden. Die Siedlungsschwerpunkte wurden jeweils anhand von OSM-Karten visuell erfasst. Bei sehr grossen Zonen erfolgte ausnahmsweise die Auswahl eines zweiten Anbindeknotens und die Erstellung einer zweiten Anbindung (für 7 Verkehrszonen im Ausland der Fall). Die Ergebnisse der automatisierten Anbindungen wurden durch Prüfroutinen und Sichtkontrollen plausibilisiert. Durch die Prüfroutinen erfolgte zunächst ein technisch-

funktionaler Test des Netzsummenhangs, d.h. es wurde geprüft, ob zwischen allen Relationen eine Verbindung besteht. Bei der anschliessenden Sichtkontrolle wurde für jede einzelne Zone überprüft und sichergestellt, dass die erzeugte Anbindung an dem dafür ausgewählten Anbindeknoten liegt. Die Kordon-Zonen, die das Gebiet ausserhalb des Modell-Perimeters abbilden, wurden über eine oder mehrere Anbindungen an das übergeordnete Strassennetz angebunden.

Reisezeitmessungen

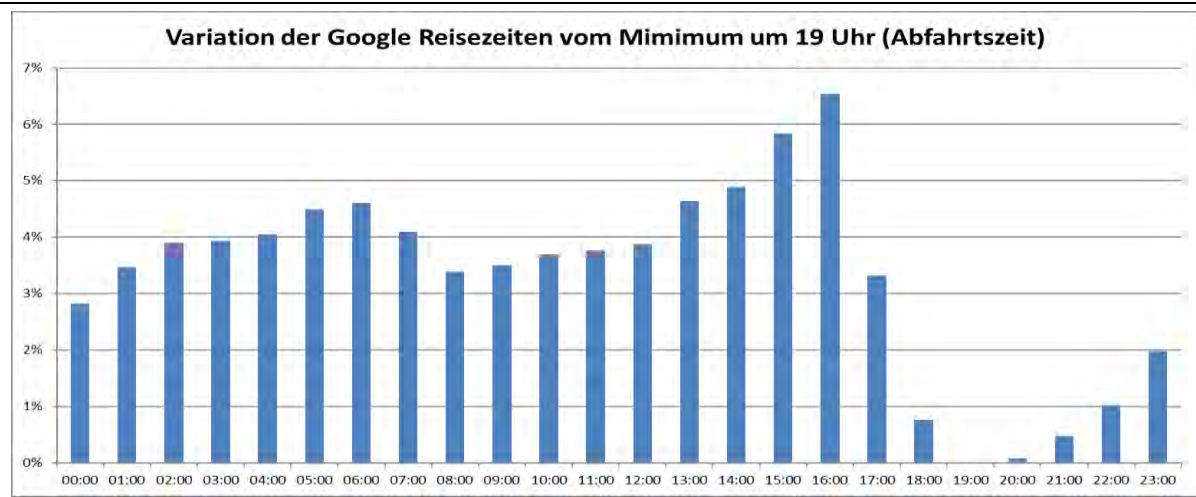
Für die Plausibilisierung der Streckengeschwindigkeiten im Strassennetz wurden die Reisezeiten im Modell mit Reisezeitinformationen von Google Maps verglichen. Um flächendeckend repräsentative Ergebnisse zu erreichen, wurden die Reisezeitvergleiche für verschiedene Relationstypen durchgeführt.

Durchführung

- Betrachtete Relationen:
 - Typ 1: Relationen zwischen den 10 grössten Städten der Schweiz (Anzahl: 90);
(mittlere Distanz über alle Relationen Typ 1: 176 km)
 - Typ 2: Aufkommensstarke Relationen innerhalb der Schweiz (Anzahl: 244);
(mittlere Distanz über alle Relationen Typ 2: 23 km)
 - Typ 3: grossräumige Relationen Ausland / Schweiz sowie Ausland / Ausland (Anzahl: 90);
(mittlere Distanz über alle Relationen Typ 3: 520 km)
 - Typ 4: kleinräumige Relationen Ausland / Schweiz (Anzahl: 66);
(mittlere Distanz über alle Relationen Typ 4: 77 km)
- Kurzwegsuche in VISUM:
 - Auswahl einer repräsentativen Verkehrszone je Stadt / Gemeinde;
 - Kurzwegsuche von Anbindeknoten zu Anbindeknoten der Zonenpaare; jeweils für Hin- und Rückrichtung;
 - Routensuchkriterium: v_0 ;
- Routensuche in Google:
 - für Koordinatenpaare der Anbindeknoten durchgeführt, jeweils für Hin- und Rückrichtung;
 - für einen mittleren Werktag im März; Abfahrtszeit 19:00 Uhr.

Eine stundenfeine Analyse der Google-Reisezeiten weist über alle betrachteten Relationen das Reisezeiten-Minimum für die Abfahrtszeit 19:00 Uhr aus (Abbildung 33). Damit entspricht diese Reisezeit am ehesten der Kurzwegsuche über die v_0 in VISUM.

Abbildung 33 Prozentuale Veränderung der Reisezeiten im Vergleich zur Reisezeit um 19h



Ergebnisse

Symmetrietest Hin- und Rückrichtung VISUM-Kurzwegsuche

Zur Plausibilisierung der Netzparametrisierung wird vor dem Vergleich mit den Google-Maps-Reiseinformationen ein Symmetrietest zwischen Hin- und Rückrichtung in VISUM durchgeführt. Insgesamt ist eine nahezu vollständige Symmetrie zwischen beiden Richtungen einer Relation zu erkennen (siehe folgende Abbildungen). Der hohe absolute Wert der Konstante in der Regressionsfunktion (47.48 s) ist vor dem Hintergrund zu bewerten, dass es sich um Reisezeiten in Sekunden zwischen den 10 grössten Städten handelt, d.h. selbst die räumlich nächste Verbindung liegt bei bereits ca. 30 Minuten Reisezeit.

Abbildung 34 Symmetrietest Reisezeiten (Relationen zwischen 10 grössten Städten – Typ 1, N=90)

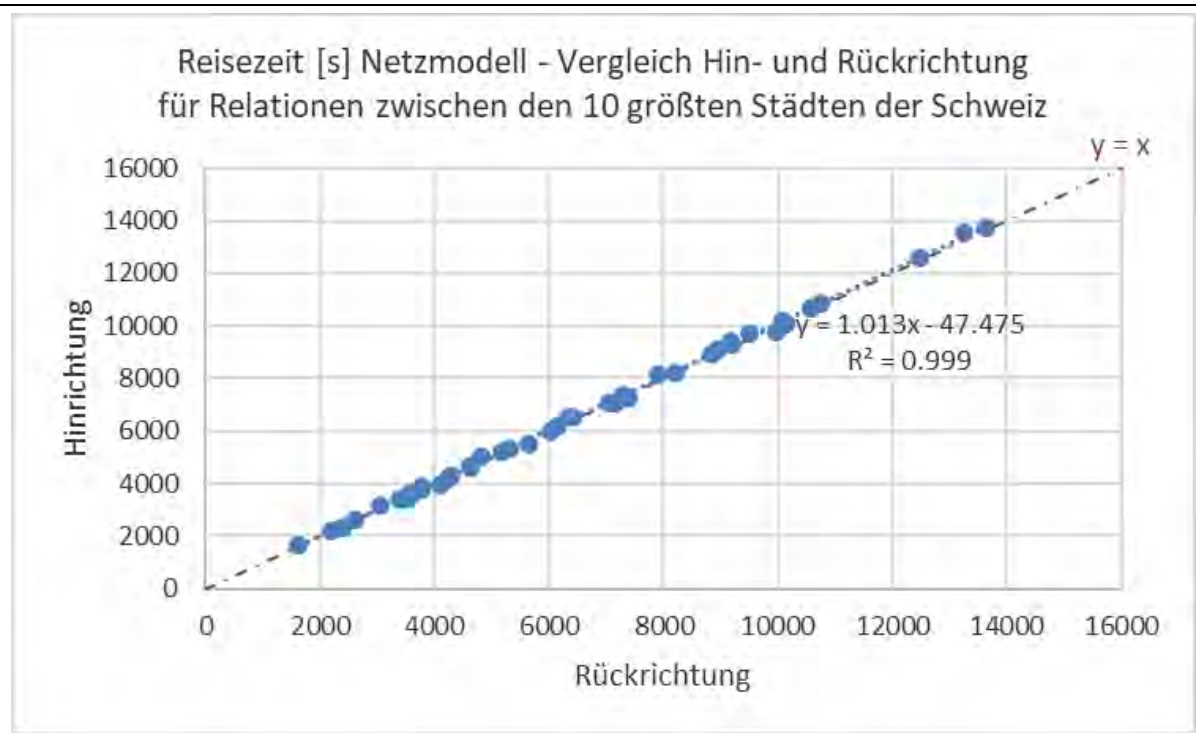


Abbildung 35 Symmetrietest Distanzen (Relationen zwischen 10 grössten Städten – Typ 1, N=90)

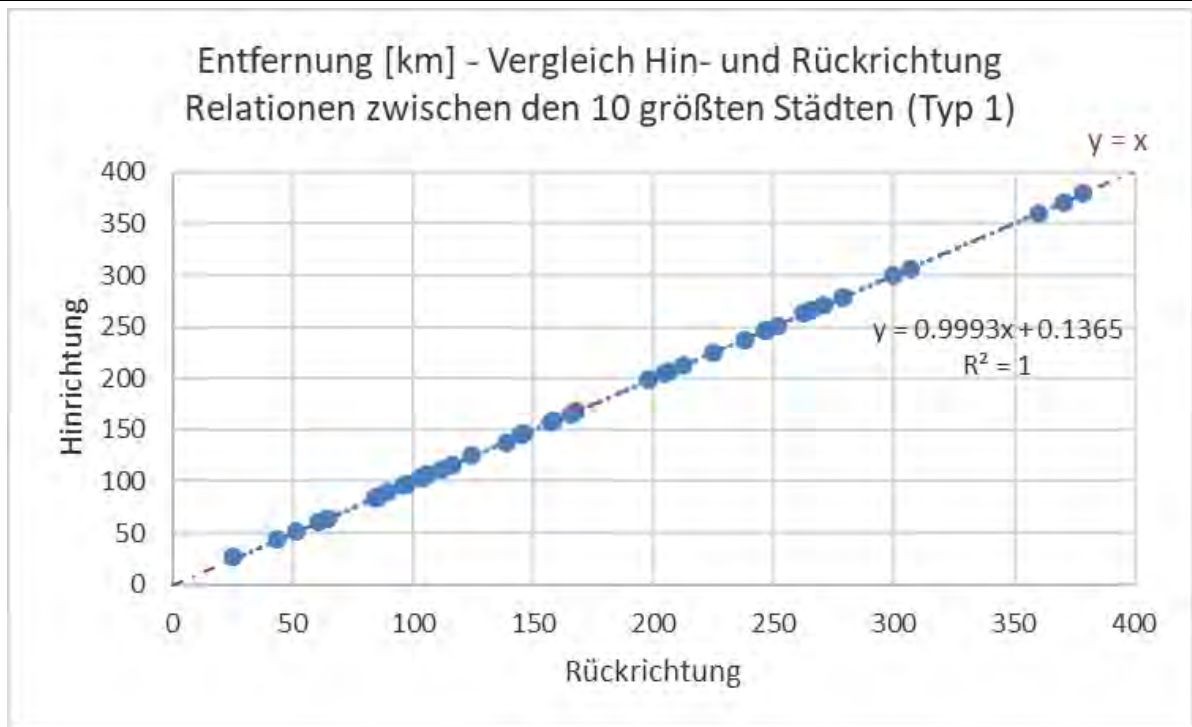


Abbildung 36 Symmetrietest Geschwindigkeiten (Relationen zwischen 10 grössten Städten – Typ 1, N=90)

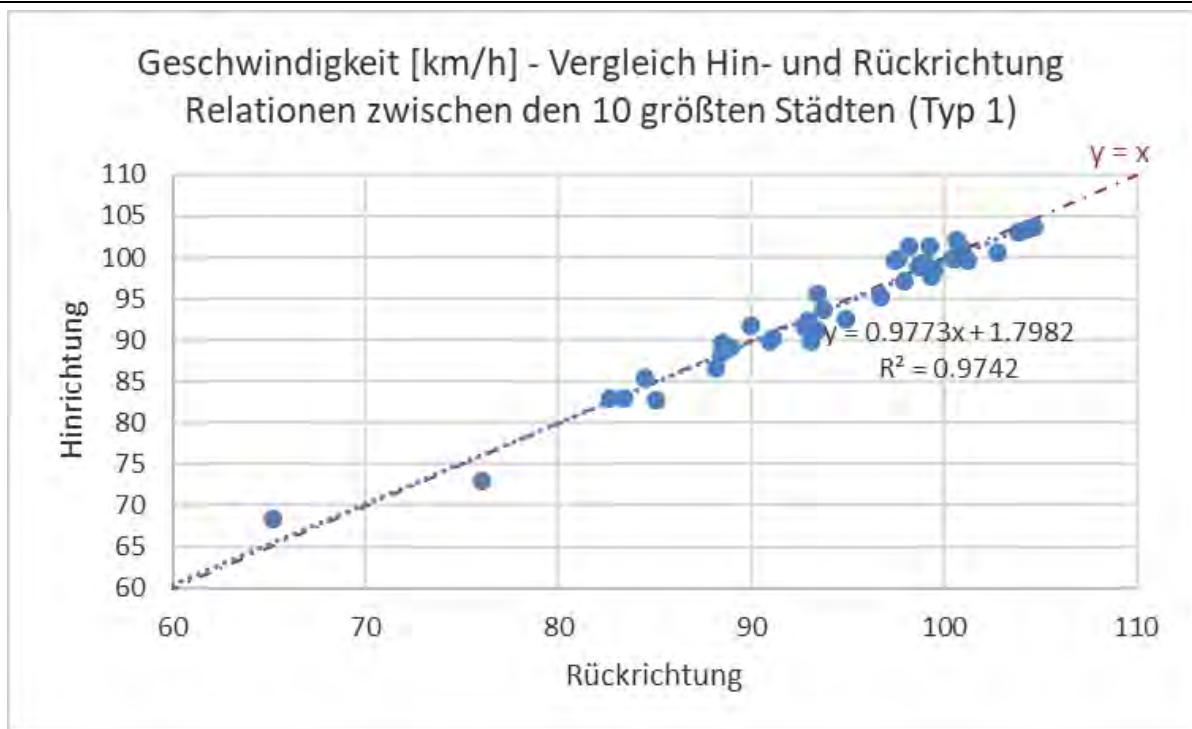


Abbildung 37 Symmetrietest Reisezeiten (Relationen innerhalb der Schweiz – Typ 2, N=244)

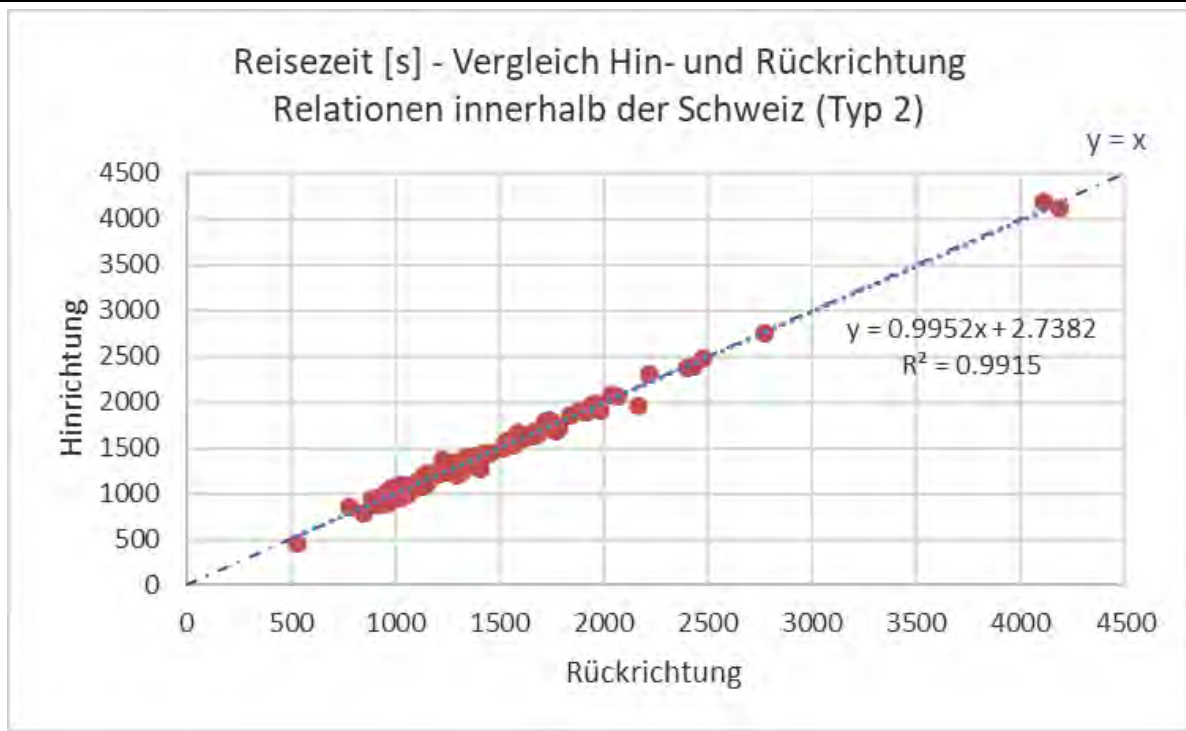


Abbildung 38 Symmetrietest Distanzen (Relationen innerhalb der Schweiz – Typ 2, N = 244)

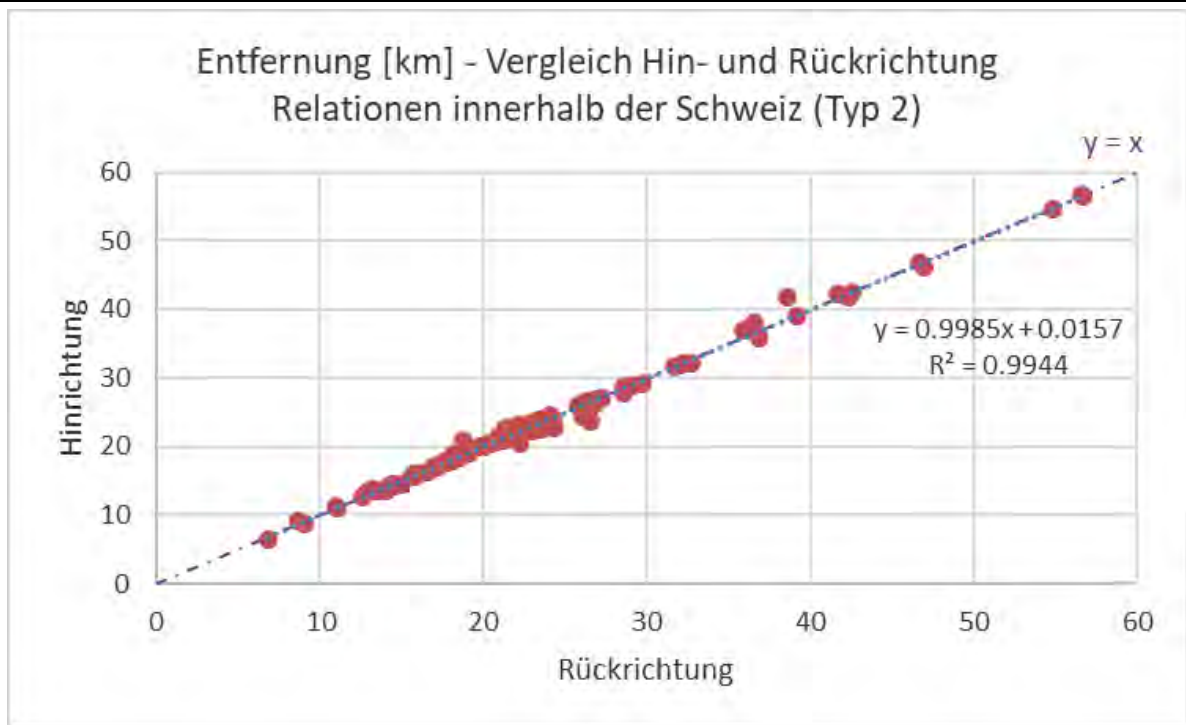


Abbildung 39 Symmetrietest Geschwindigkeiten (Relationen innerhalb der Schweiz – Typ 2, N = 244)

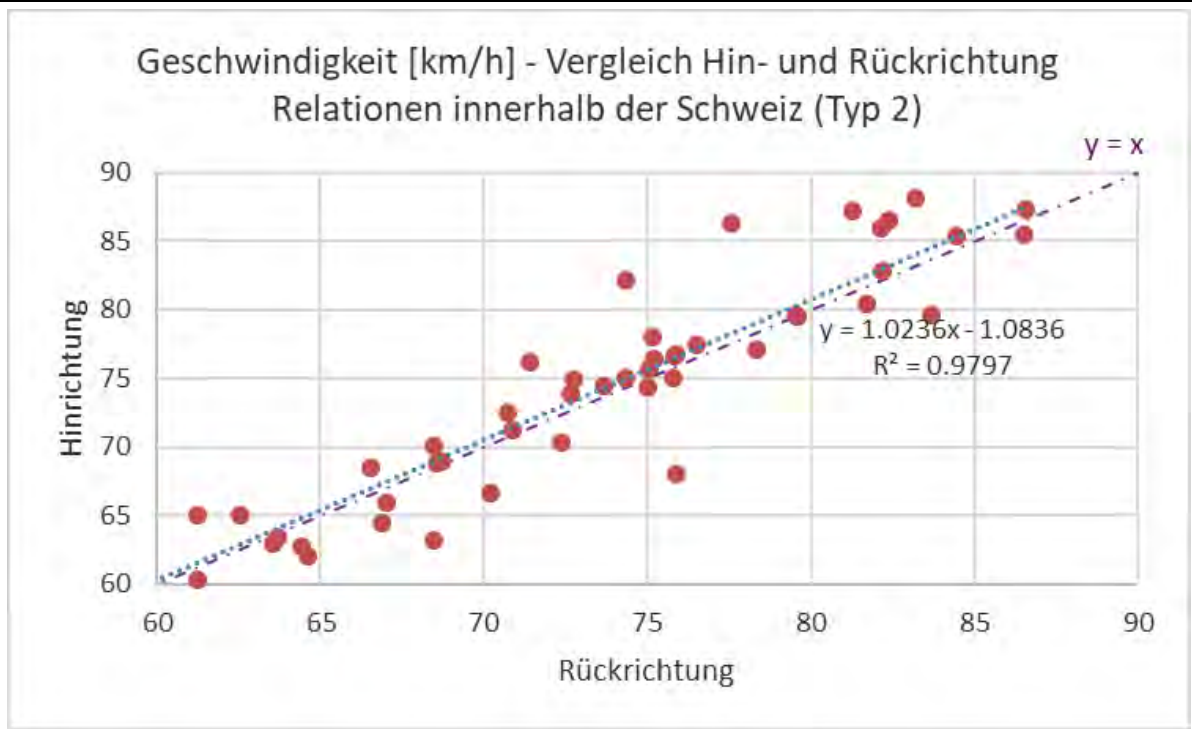


Abbildung 40 Symmetrietest Reisezeiten (grossräumige Relationen Schweiz /Ausland – Typ 3, N = 90)

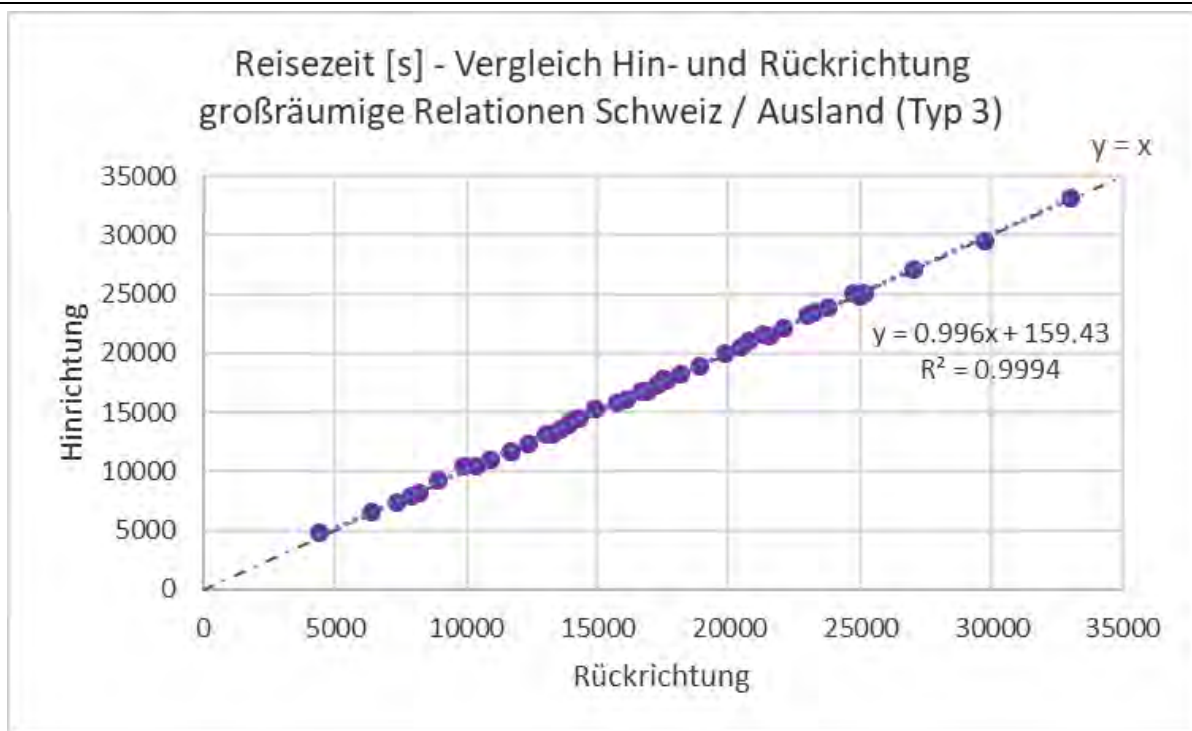


Abbildung 41 Symmetrietest Distanzen (grossräumige Relationen Schweiz / Ausland – Typ 3, N = 90)

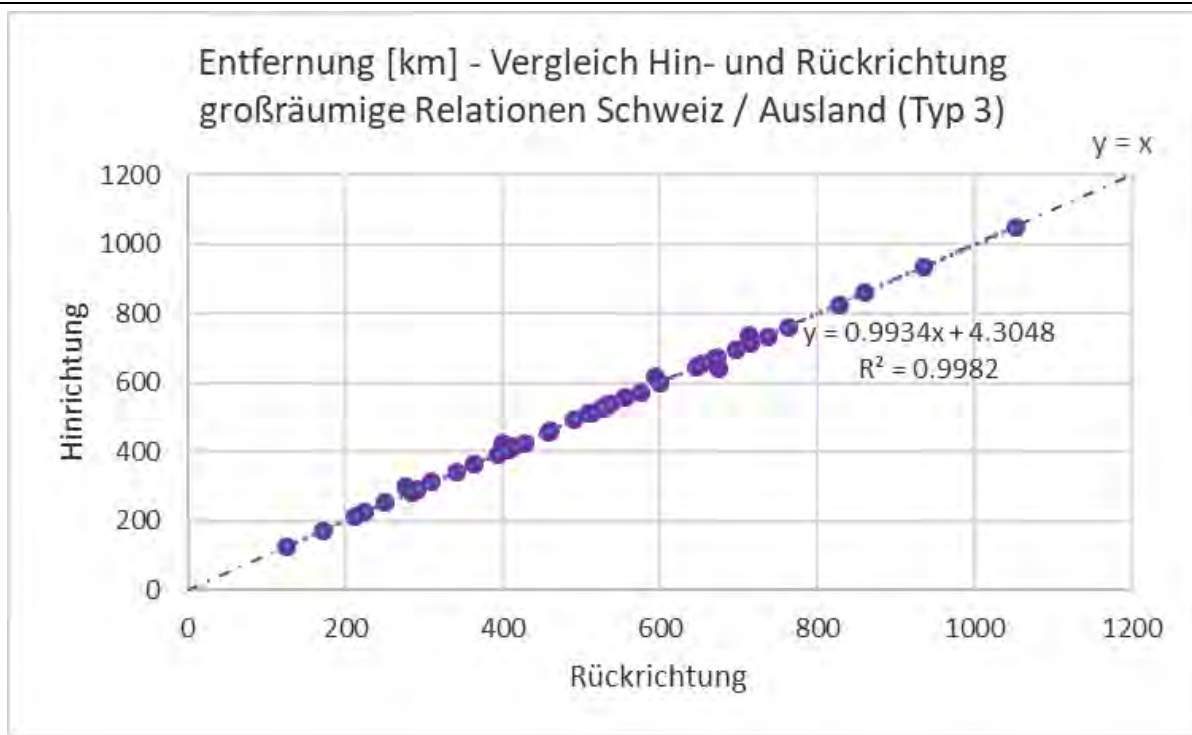


Abbildung 42 Symmetrietest Geschwindigkeiten (grossräumige Relationen Schweiz / Ausland – Typ 3, N = 90)

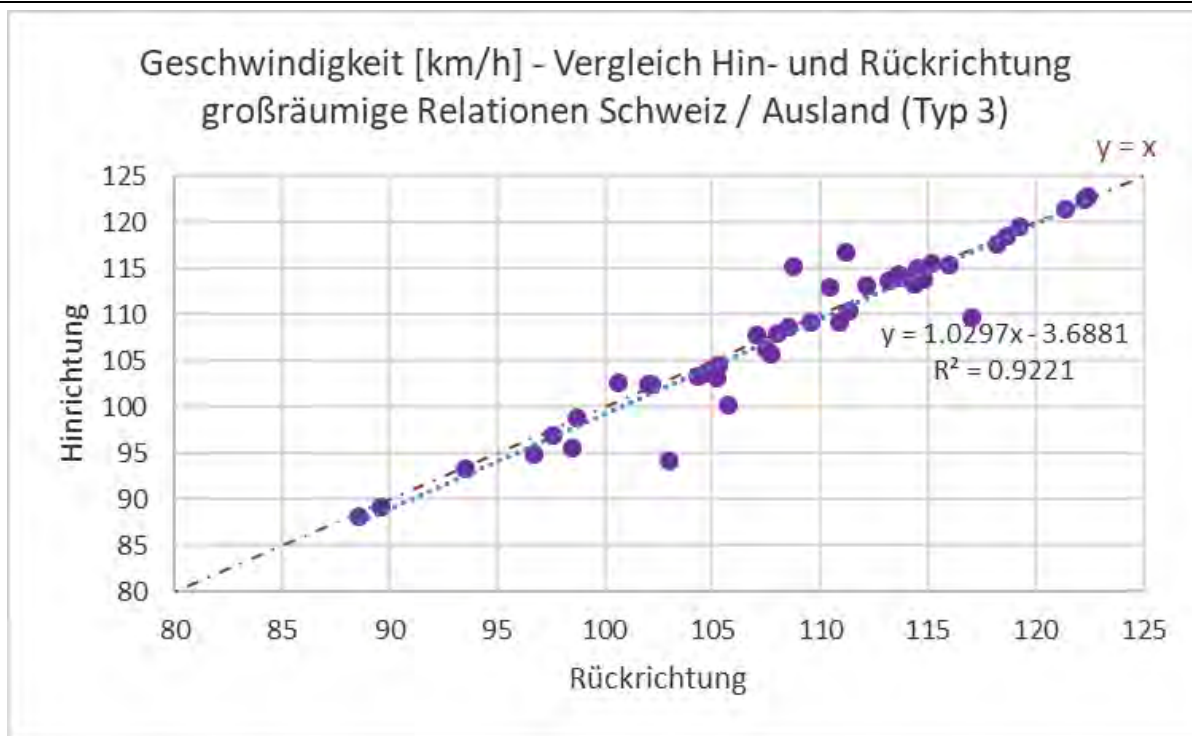


Abbildung 43 Symmetrietest Reisezeiten (kleinräumige Relationen Schweiz / Ausland – Typ 4, N = 66)

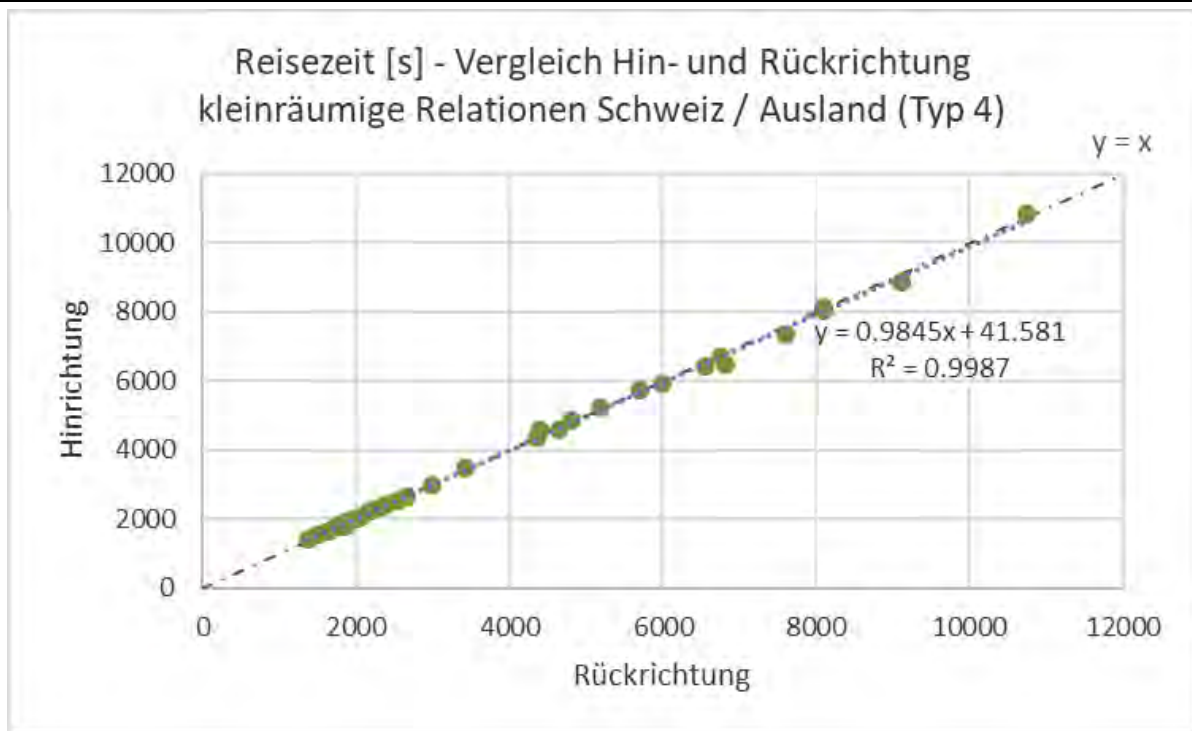


Abbildung 44 Symmetrietest Distanzen (kleinräumige Relationen Schweiz / Ausland – Typ 4, N = 66)

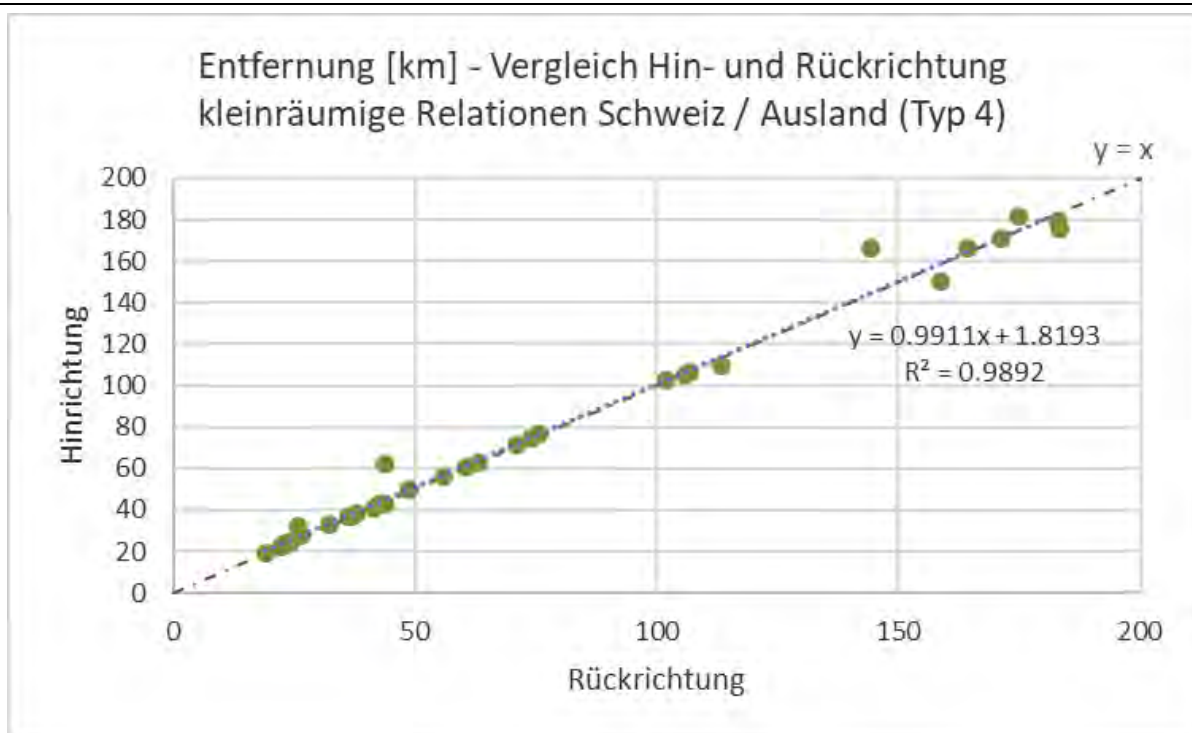
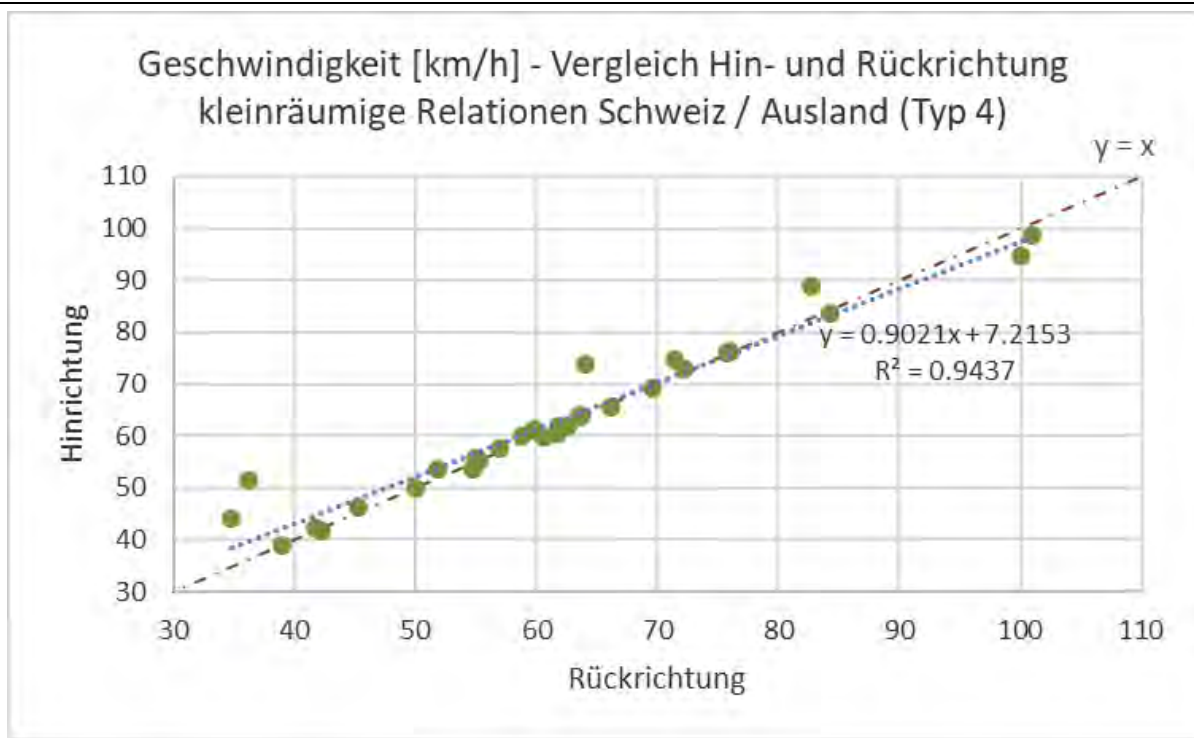


Abbildung 45 Symmetrietest Geschwindigkeiten (kleinräumige Relationen Schweiz /Ausland – Typ 4, N = 66)



Asymmetrien – in vergleichsweise geringem Umfang – bestehen bei der Gegenüberstellung der Geschwindigkeiten und hier vor allem auf Relationen innerhalb der Schweiz sowie auf Verbindungen zwischen der Schweiz und dem Ausland. Grund dafür sind die aus dem Klassifikationsmodell des Vorprojekts (ARE, 2017d) geschätzten v_0 -Geschwindigkeiten für jede Strecke im untergeordneten Netz, die nicht immer symmetrisch sind. Das heisst, dass trotz identischer Routenwahl für die Hin- und Rückrichtung leicht unterschiedliche Geschwindigkeiten und damit Reisezeiten entstehen. Die Unterschiede sind damit einerseits inhaltlich nachvollziehbar, andererseits aber auch so gering, dass sie keinen signifikanten Einfluss auf die relativ langen Reisezeiten nehmen, die für diesen Abgleich geprüft wurden.

Vergleich zwischen VISUM-Kurzwegsuche und Google-Reiseinformationen

Der Vergleich der Reisezeiten zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen den Reisezeiten der VISUM-Kurzwegsuche und den ermittelten Reisezeiten aus Google Maps.

Für grossräumige Relationen (Typ 1, Typ 3, Typ 4) liegt die VISUM-Reisezeit tendenziell etwas niedriger als bei Google Maps. Als Ursache dafür lässt sich anführen, dass die Modell-Reisezeit aus einem unbelasteten Netz ermittelt wurde, während bei Google – trotz der Auswahl einer Nebenverkehrszeit – verkehrliche Belastungen eine Rolle spielen. Für kurzräumige Relationen (Typ 2) liegt die Reisezeit tendenziell etwas höher als bei Google Maps. Auf kurzen Relationen ist der relative Anteil von Strecken, bei denen die zulässige Geschwindigkeit in der Realität häufig übertreten wird (v.a. bei Strecken mit einer Tempo-30-Begrenzung), grösser als auf den grossräumigen Relationen. Eine Ursache für die leicht höheren Modell-Reisezeiten auf kurzen Relationen kann folglich in der Kappung der v_0 -Geschwindigkeit bei der zulässigen Geschwindigkeit im Netzmodell sein.

Abbildung 46 Reisezeitvergleich VISUM / Google Maps (Relationen zwischen 10 grössten Städten – Typ 1, N = 90)

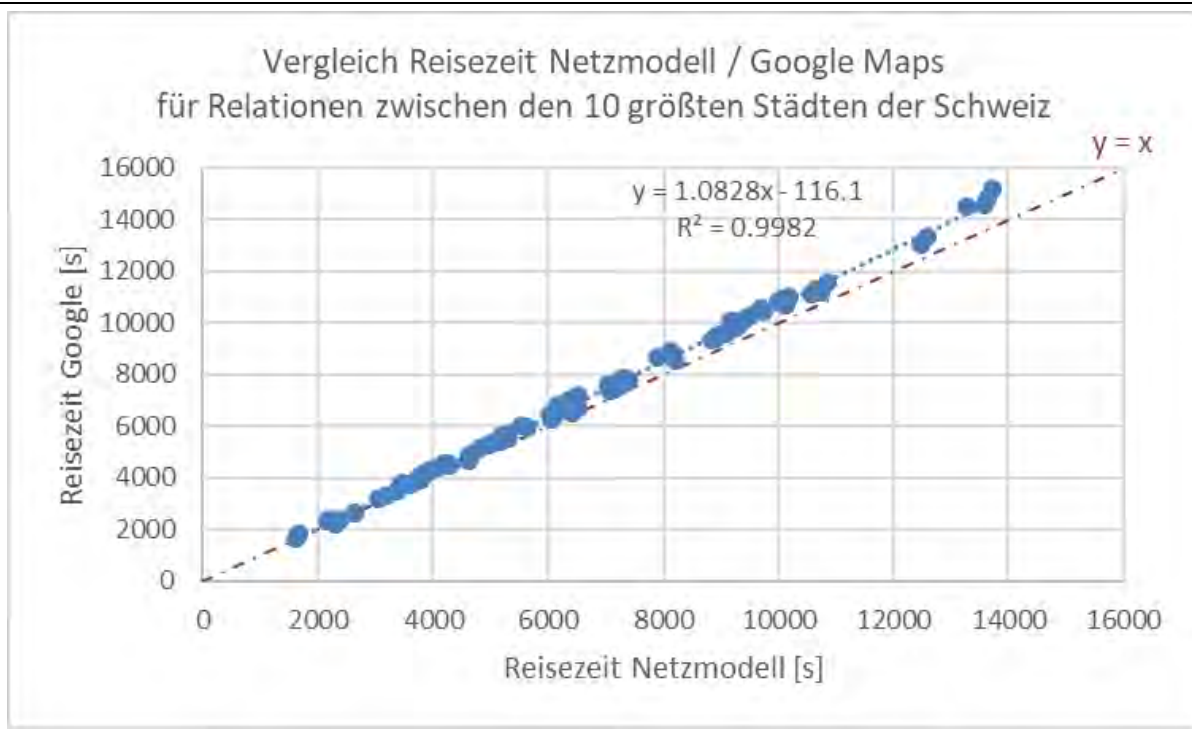


Abbildung 47 Reisezeitvergleich VISUM / Google Maps (Relationen innerhalb der Schweiz – Typ 2, N = 244)

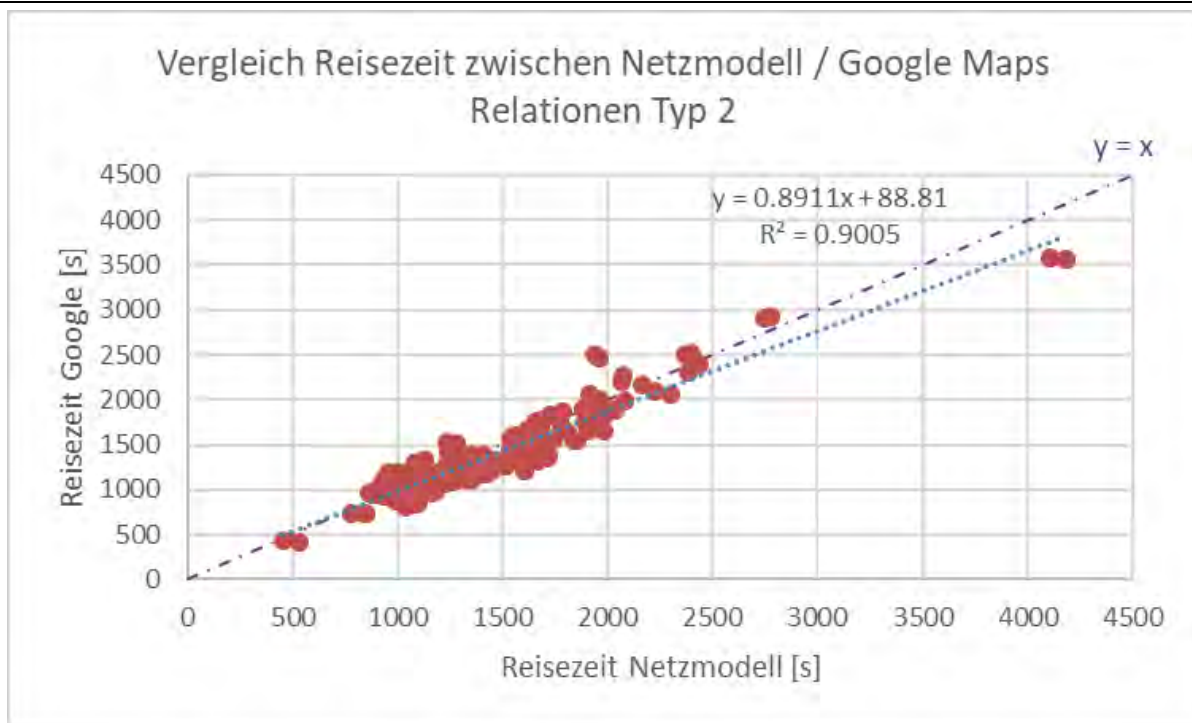


Abbildung 48 Reisezeitvergleich VISUM / Google Maps (grossräumige Relationen Schweiz /Ausland – Typ 3, N = 90)

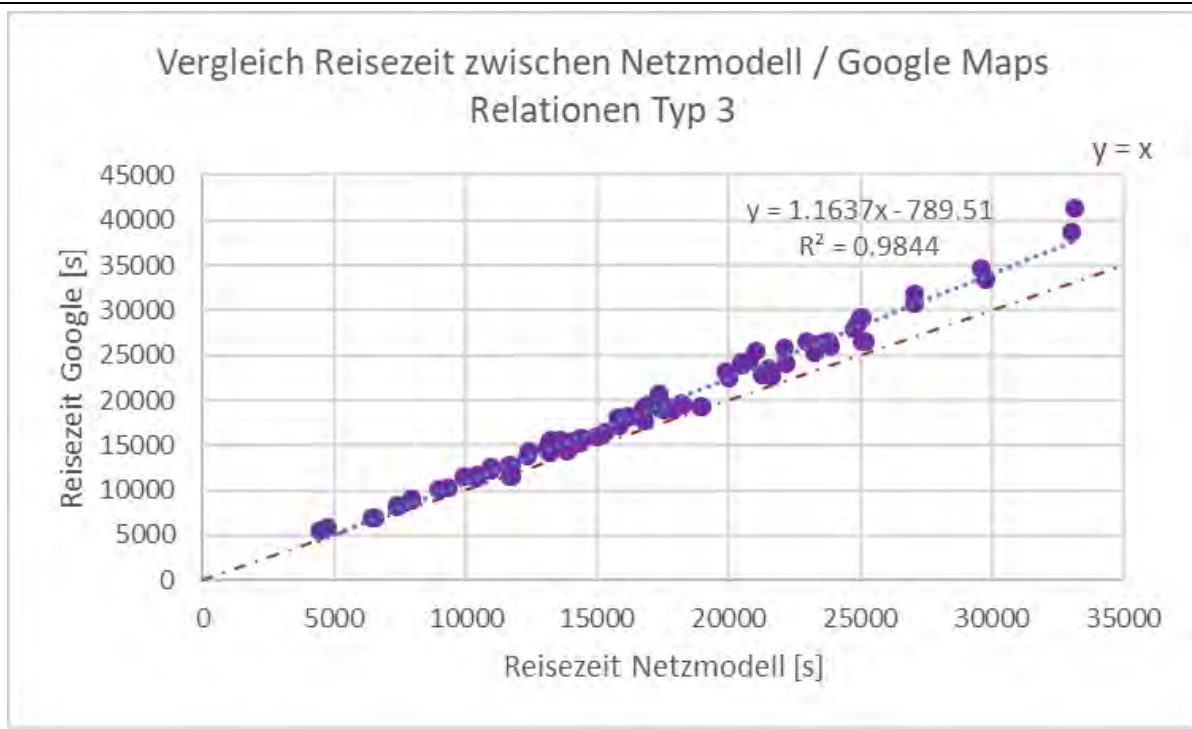
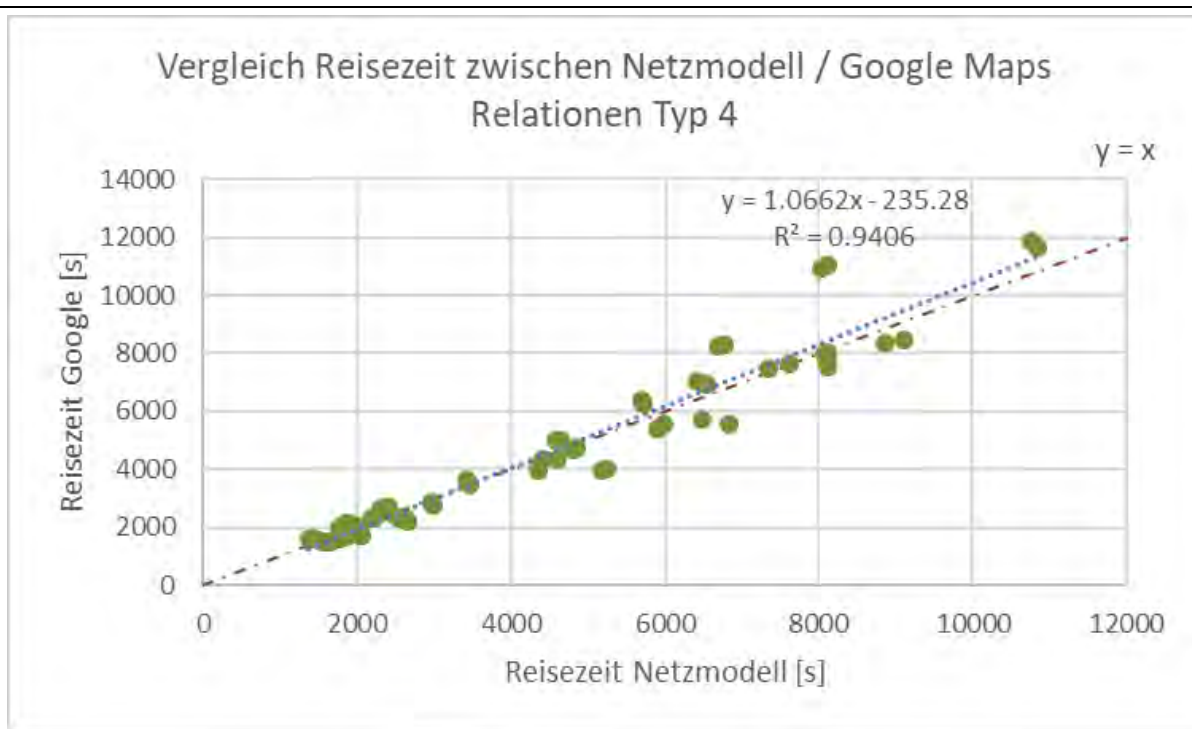


Abbildung 49 Reisezeitvergleich VISUM / Google Maps (kleinräumige Relationen Schweiz /Ausland – Typ 4, N = 66)



Der Vergleich der Reiseweiten zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen den Reiseweiten der VISUM-Kurzwegsuche und den ermittelten Reiseweiten aus Google Maps. Abweichungen lassen sich darauf zurückführen, dass sich die Reiseweiten im Modell aus den zeitkürzesten Routen ableiten, während in Google Maps neben der Reisezeit auch die Distanz bei der Routenwahl berücksichtigt wird. Folglich – und inhaltlich korrekt – sind die Reiseweiten aus dem Modell tendenziell etwas weiter als die aus Google Maps ermittelten.

Abbildung 50 Reiseweitenvergleich VISUM / Google Maps (Relationen zwischen 10 grössten Städten – Typ 1; N = 90)

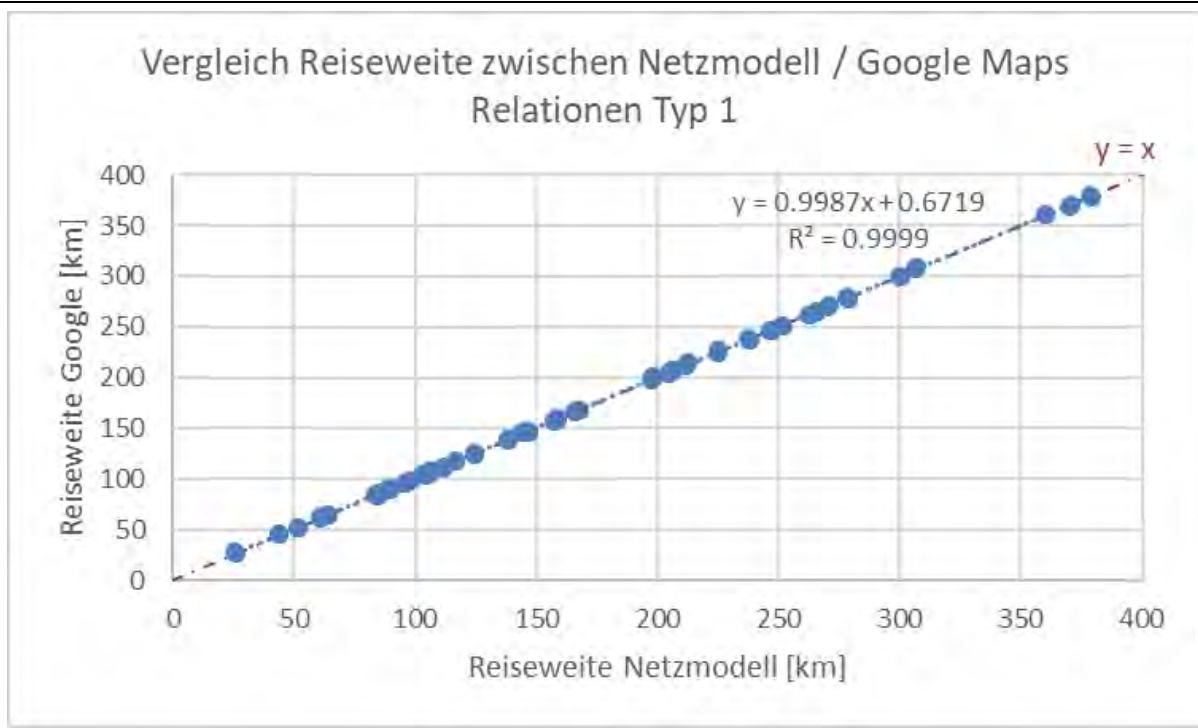


Abbildung 51 Reiseweitenvergleich VISUM / Google Maps (Relationen innerhalb der Schweiz – Typ 2; N = 244)

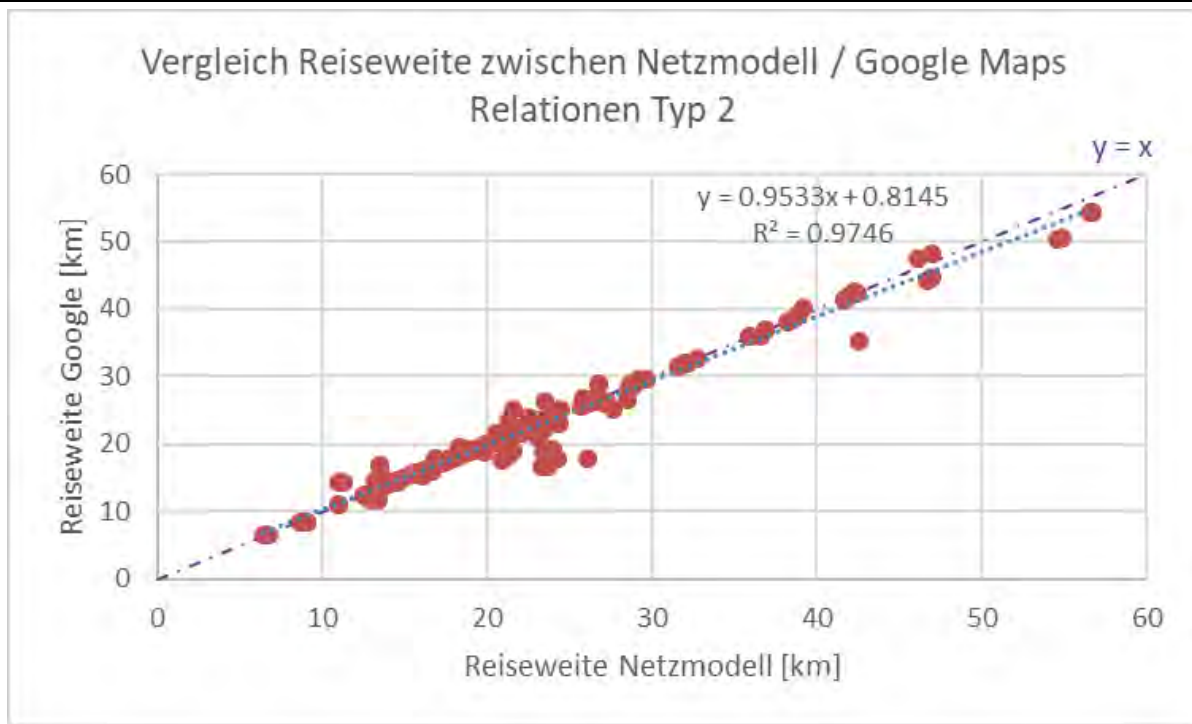
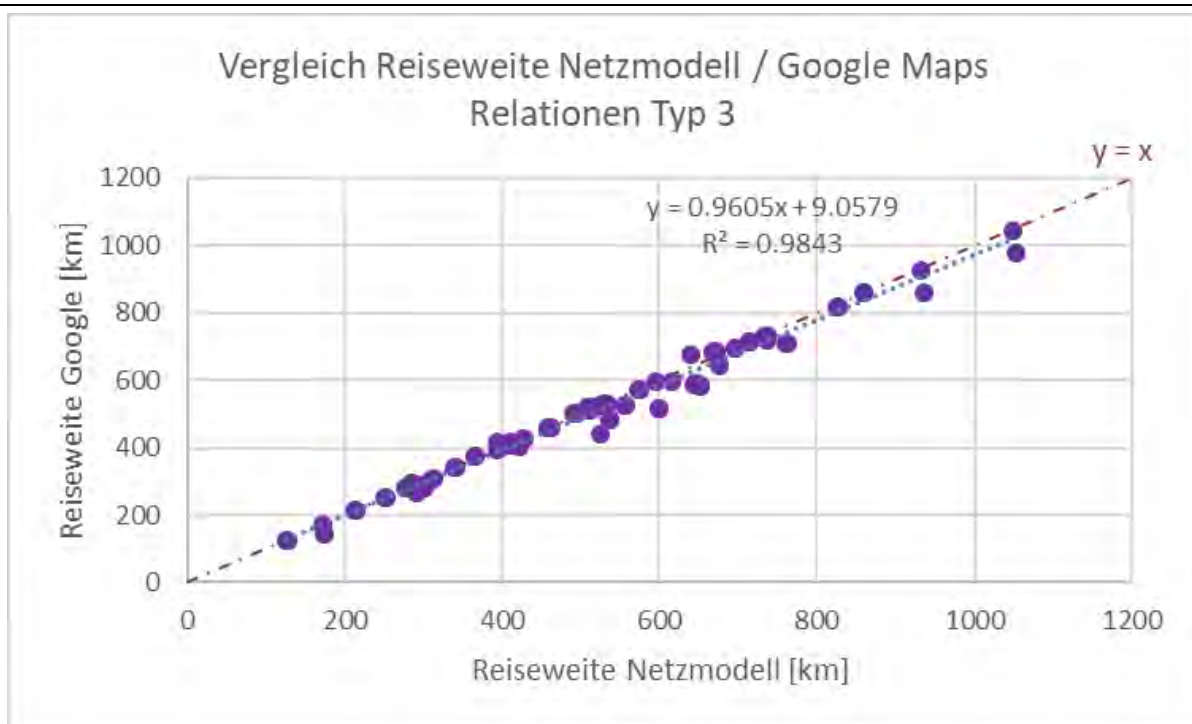
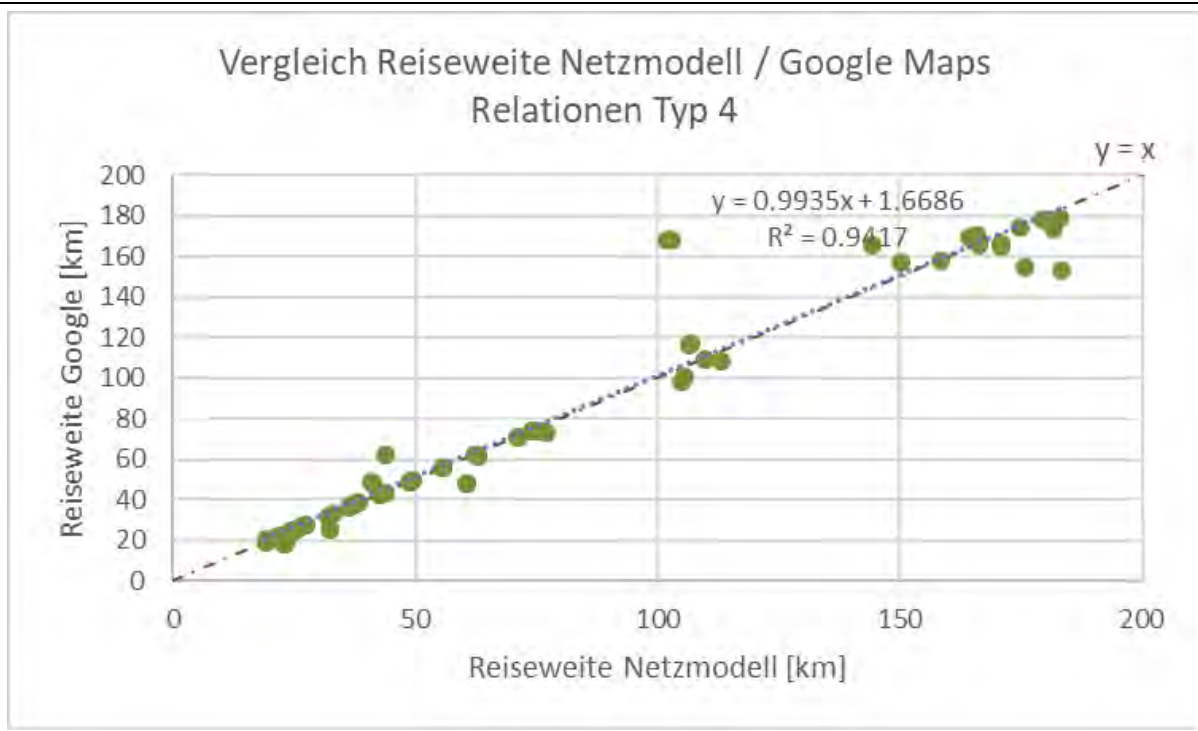


Abbildung 52 Reiseweitenvergleich VISUM / Google Maps (grossräumige Relationen Schweiz /Ausland – Typ 3, N = 90)



Der Ausreisser in Abbildung 53 lässt sich dadurch erklären, dass der Splügenpass zwischen der Schweiz und Italien – anders als im Modell – in Google Maps nicht passierbar ist. Dadurch ergibt sich in Google Maps ein deutlicher Umweg.

Abbildung 53 Reiseweitenvergleich VISUM / Google Maps (kleinräumige Relationen Schweiz /Ausland – Typ 4, N = 66)



1.2.3 Öffentlicher Verkehr

Überprüfung ÖV-Netz

Das ÖV-Angebot wurde im Vorprojekt (ARE, 2017d) erstellt und für einen Nachvollzug der dazu durchgeführten Arbeiten sei auf diese Quelle verwiesen. Im Vorprojekt wurde der (Bahn-)Systemfahrplan 2016 in VISUM integriert und die Angebote der untergeordneten Verkehrssysteme (Bus, Tram, Schiffe etc.) mit dem HAFAS-Fahrplan Stand 2015 ergänzt. Das so entstandene ÖV-Angebotsmodell 2015/2016 umfasst insgesamt 1'914 Linien mit ca. 210'000 Kursen. Der Angebotszustand 2015/2016 wurde übernommen und geprüft. Anschliessend wurde das Angebotsmodell über die Integration des Systemfahrplans 2017 inkl. der Ergänzung durch den HAFAS-Fahrplan 2017 auf einen (harmonisierten) Zustand 2017 aktualisiert.

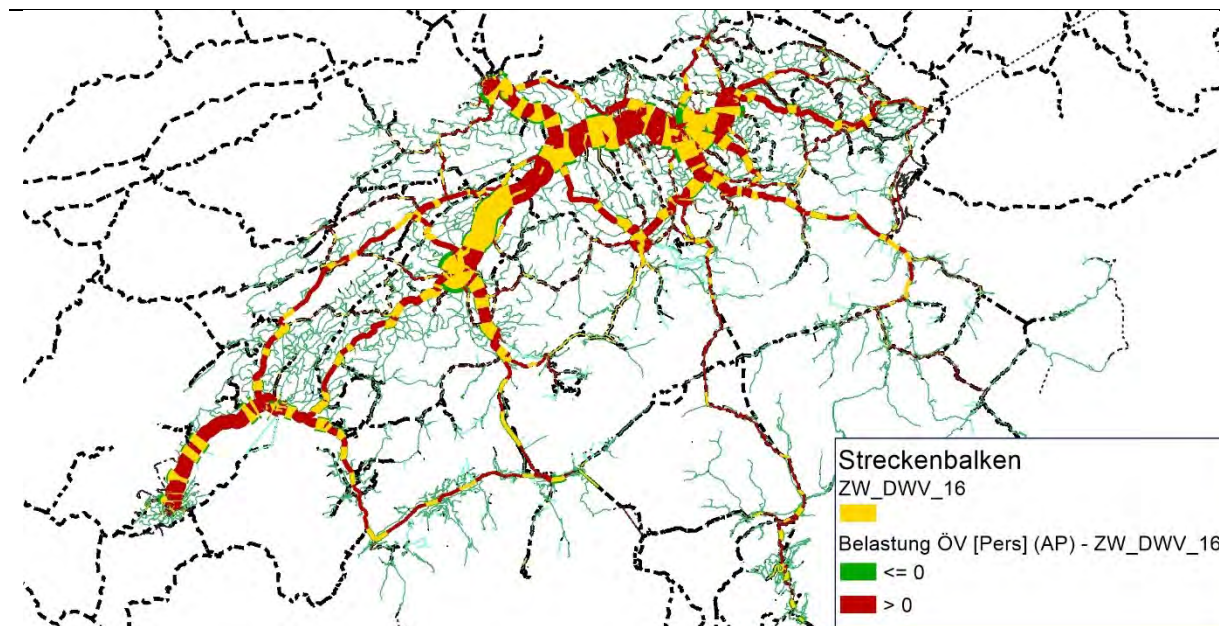
Im Rahmen der Übernahme der Vorarbeiten wurde zunächst eine Plausibilisierung und Vollständigkeitskontrolle des Netzes mit Stand 2015/2016 durchgeführt. Diese umfasste:

- Überprüfung des Routings der Züge;
- Kurzwegsuche im Netz;
- visueller Vergleich mit den kantonalen Modellen sowie dem NPVM 2010;
- Kontrolle der verschiedenen Linien- und Streckenattribute;
- Überprüfung der Umsteigewege in der Liste „ÖV-Auswertungen“ bzw. Fusswege insbesondere zwischen Bahn und Bus.

Dabei wurde festgestellt, dass der Littorail fehlte; dieser wurde aus den Hafas-Daten 2016 übernommen. Bei den Funicularen und Seilbahnen fehlte die Festlegung der Längen; diese wurden nachträglich gesetzt. Des Weiteren wurden insbesondere in den ländlichen Regionen einige zusätzliche Fusswege zwischen Bahnhöfen und Bushaltestellen eingefügt. Des Weiteren ergab sich aus den eingangs genannten Prüfungen und Plausibilisierungen kein Änderungsbedarf.

Die Nachfragematrix des NPVM 2010 wurde unter Verwendung der Einwohner- und Arbeitsplatz-Angaben der neuen Zonierung disaggregiert und vom ARE zur Verfügung gestellt. Nach der Parametrisierung der Umlegung (mit den Parametern aus dem NPVM 2010) konnte somit testweise die (alte) Verkehrsnachfrage 2010 auf die Strecken geroutet, die Streckenbelastungen berechnet, auf Symmetrie geprüft und mit den Zählwerten 2016 verglichen werden (siehe Abbildung 54). In der Abbildung sind in Gelb die Zählwerte (ZW) angezeigt, in Grün (= Modellwert geringer als Zählwert) bzw. Rot (= Modellwert grösser als Zählwert) die negativen bzw. positiven Abweichungen gegenüber dem Zählwert. Falls kein Zählwert vorhanden, dann ist der Balken rot angezeigt. Die feinen grünen Strecken zeigen die Buslinien, wo auch teilweise Zählwerte hinterlegt sind, aber aufgrund der Bildgrösse diese nicht zu erkennen sind. Mit der Umlegung konnte zusätzlich kontrolliert werden, ob für jede QZ-Relation auch eine Verbindung gefunden wird. Vorgängig zur Umlegung, mussten die Anbindungen generiert werden.

Abbildung 54 Belastungsplot ÖV-Netz 2016 mit Nachfrage 2010

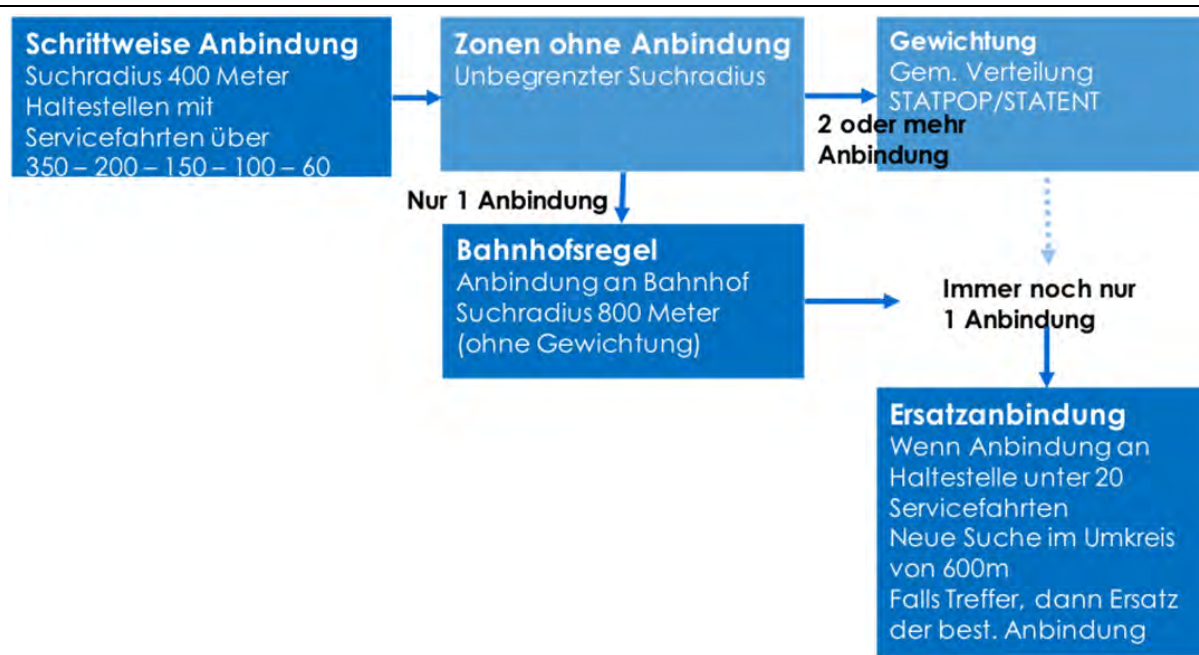


Der Belastungsplot zeigt, dass die Hauptrelationen ausgelastet sind und – inhaltlich korrekt – in der Regel die Zählwerte 2016 über den aus der Nachfrage 2010 abgeleiteten Strömen liegen. Gleichzeitig konnte durch die Umlegung geprüft und belegt werden, dass alle Zonen an das ÖV-Netz angebunden sind. Die grünen Netzelemente widerspiegeln vornehmlich das Bus-Angebot des öffentlichen Nahverkehrs. Da dies im NPVM 2010 vollständig fehlte, finden sich hier über die Umlegung der (alten) Nachfrage keine relevanten Belastungen. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied des NPVM 2017 dar, weil neu auch die Nachfrage im Nahverkehr umgelegt und visualisiert werden kann.

Anbindungen

Analog zum Strassennetz wurde im Vorprojekt (ARE, 2017d) auch eine vereinfachte Anbindung der Zonen vorgenommen, um das ÖV-Angebot zu prüfen. Diese Anbindungen waren für die Modelletablierung durch ein realitätsnahes Anbindungskonzept zu ersetzen. Ebenfalls in Übereinstimmung zum Vorgehen im Strassennetz wurde festgelegt, dass i.d.R. maximal 3 Anbindungen je Zone entstehen sollten. (Mehrfach-) Anbindungen für die Verkehrszonen wurden auf Basis der Siedlungsschwerpunkte automatisch erstellt. Die Anbindungsanteile wurden wie beim Strassennetz anhand der Einwohnerzahlen (STATPOP 2016) und Arbeitsplätze (STATENT 2015) in den jeweiligen Siedlungsschwerpunkten berechnet. Zur Bestimmung der Siedlungsschwerpunkte wurden ebenfalls die Siedlungsgebiete aus swissNames3D (swisstopo), sowie Einwohner- und Arbeitsplatzverteilungen aus STATPOP und STATENT verwendet. Die Ergebnisse wurden über systematische Sichtkontrollen plausibilisiert. Für Zonen mit Mehrfachanbindungen wurden die Polygone der Zonierung verfeinert und aufgrund dessen die Zonenschwerpunkte neu berechnet. Dementsprechend erhalten Zonen mit mehreren Siedlungsschwerpunkten auch mehrere Zonenschwerpunkte. Das anschliessende, automatisierte Anbinden der Haltestellen ist im Folgenden skizziert (Abbildung 55).

Abbildung 55 Arbeitsablauf Anbindungen öffentlicher Verkehr



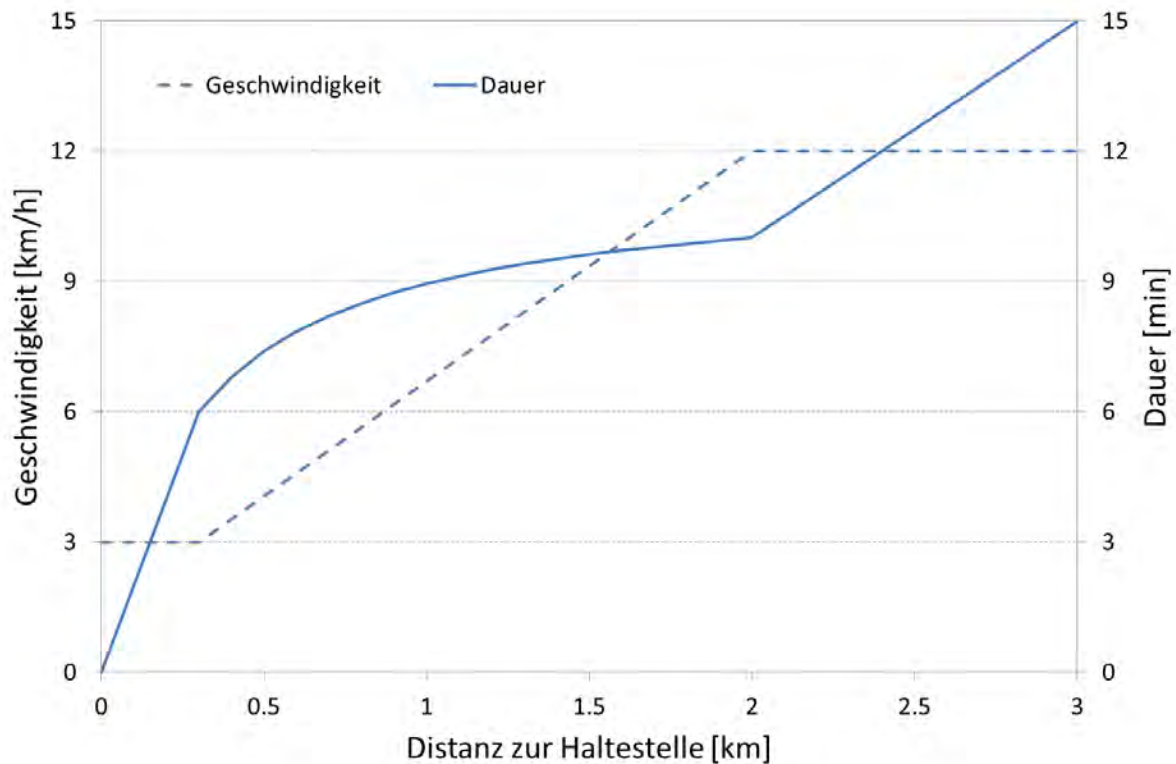
Das Flussdiagramm beschreibt die automatisierte Erstellung der ÖV-Anbindungen in drei Schritten. In einem ersten Schritt werden von jedem Schwerpunkt aus Haltestellen in 400 Metern Radius gesucht. Die Suche wurde durch eine schrittweise Reduktion der Anzahl Servicefahrten an den Haltestellen eingeschränkt. Dies bedeutet, dass die Möglichkeiten für die Auswahl einer geeigneten Haltestelle durch die Servicefahrten schrittweise vergrößert werden. Grenzwerte dafür bildeten 350, 200, 150, 100 und 60 Servicefahrten. Über diesen ersten Schritt konnten rund drei Viertel der 7'965 Zonen angebinden werden. Bei Zonen, die nun noch keine Anbindung erhalten haben, wurde die Begrenzung des Suchradius aufgehoben. Anschliessend wurde für Zonen mit Mehrfachanbindungen (insgesamt rund 400 Zonen) aufgrund der Verteilung der Einwohner (STATPOP 2016) und der Arbeitsplätze (STATENT 2015) innerhalb einer NPVM-Zone die Gewichtung berechnet. Jede NPVM-Zone erhielt total 100%.

In einem zweiten Schritt wurde eine zusätzliche Regel für Zonen umgesetzt, die über die Aufhebung des Suchradius mit 1 Anbindung automatisch versorgt waren. Für diese Zonen wurde die aktuelle Anbindung (z.B. an einen nahe gelegenen, aber nur mit wenigen Servicefahrten bedienten Zugangspunkt) durch die Anbindung an einen Bahnhof in maximal 800 Meter Entfernung ersetzt. Diese Anbindungen wurden ohne Gewichtung ausgewiesen. Über diesen Schritt wurden rund 3'000 zusätzliche Anbindungen generiert.

Bei Zonen, für die gemäss der "Bahnhofsregel" keine Anbindung in 800 Meter Entfernung gefunden werden konnte und die über eine bestehende Anbindung an eine Haltestelle mit weniger als 20 Servicefahrten versorgt waren, wurde im Umkreis von 600 Metern nach einer Ersatzanbindung mit mehr Servicefahrten gesucht. Sollte innerhalb des Radius eine geeignetere Anbindung entdeckt worden sein, wurde die bestehende durch die neue Anbindung ersetzt, welche durch die räumlich nächste Haltestelle mit mehr als 20 Servicefahrten definiert ist. Dies liess sich für weitere rund 50 Zonen umsetzen. Entsprechend der umgesetzten Regeln verblieben rund 500 Zonen mit einer Anbindungslänge von über 800 Metern.

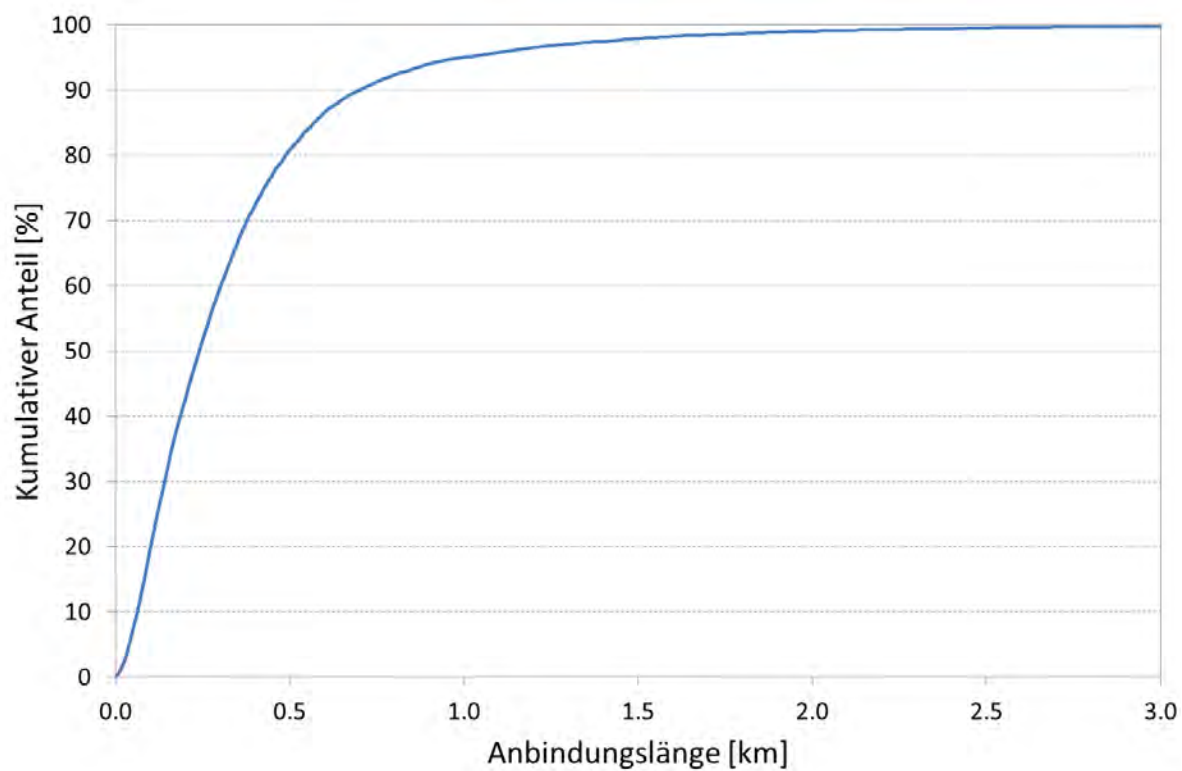
Abschliessend wurden die Reisezeiten auf den Anbindungen definiert. Die Geschwindigkeit wird dabei in Abhängigkeit von der Anbindungslänge variiert, der Annahme folgend, dass bei längeren Zugängen zunehmend Verkehrsmittelalternativen (z.B. das Velo) genutzt werden. Diesen Annahmen liegt eine grobe Auswertung des MZMV 2015 zugrunde: Bei Streckenlängen von bis zu 300 Metern wurde eine (Fuss-) Geschwindigkeit von 3 km/h angenommen. Distanzen von über 2 Kilometern wurden mit einer Geschwindigkeit von 12 km/h versehen (Abbildung 56). Dazwischen wurde die Geschwindigkeit linear ansteigend definiert. Als minimale Anbindungszeit wurde, wie beim Anbindungskonzept Strasse, 2 Minuten festgelegt.

Abbildung 56 Berechnung Anbindungszeit (öffentlicher Verkehr)



Es wurden total 11'087 Anbindungen von Binnenzonen erstellt. Wie im MIV wurden auch hier im Rahmen der Modellkalibration die Anbindungslängen aufgrund der Bevölkerungsverteilung gewichtet neu berechnet. Die Verteilung der Anbindungslängen ist aus Abbildung 57 ersichtlich.

Abbildung 57 Verteilung der Anbindungsängen (ÖV)



Im Folgenden sind zwei Beispiele dargestellt, welche unterschiedliche Fälle der Anbindungen aufzeigen.

Abbildung 58 Beispiel Anbindung: Typischer Fall (Öffentlicher Verkehr)

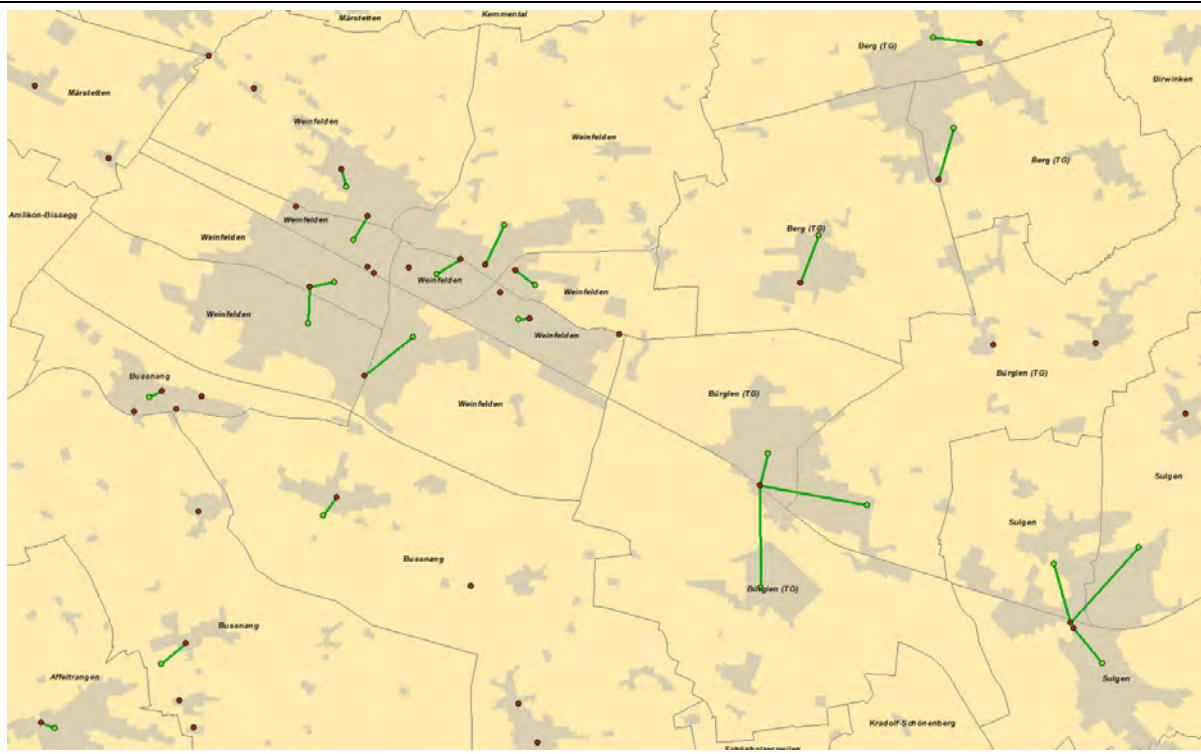
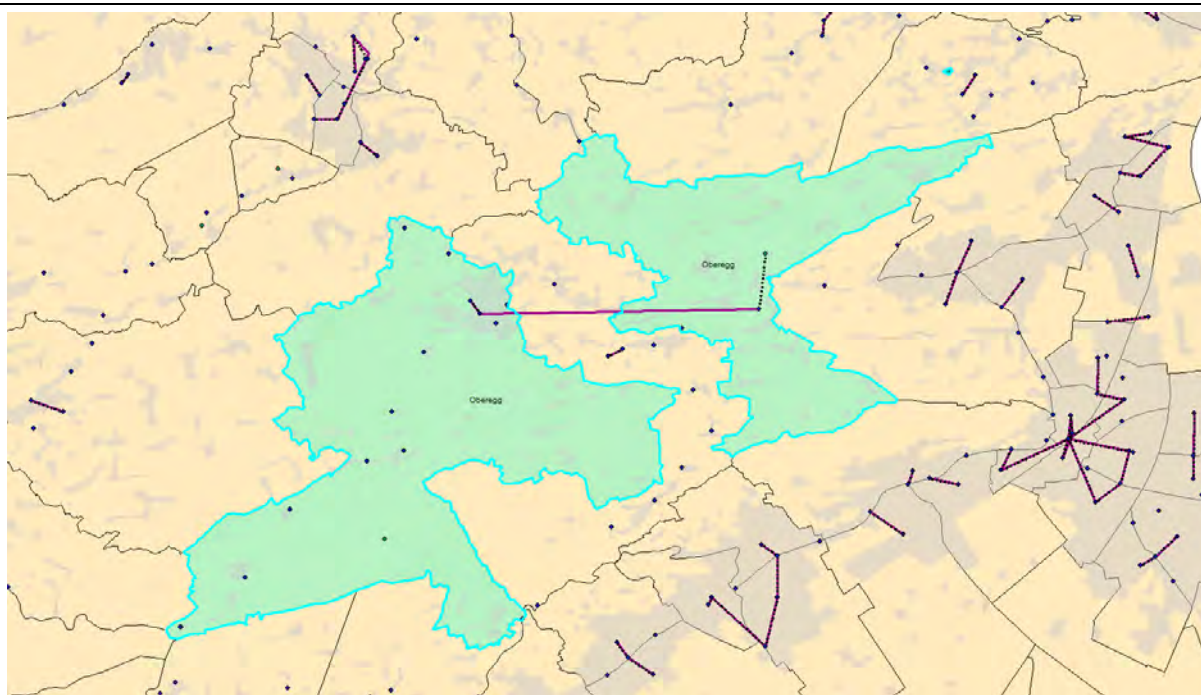


Abbildung 59 Beispiel komplexe Anbindung: Oberegg (Öffentlicher Verkehr)



Danach wurden die automatisiert erzeugten Anbindungen manuell und überblicksartig überprüft. Dabei wurde besonders auf natürliche Trennlinien, räumliche Konsistenz und die Haltestellenhierarchie geachtet. In diesem Prozess wurden 210 Anbindungen gelöscht und 564 Anbindungen manuell eingefügt (Typ=3). Die Typisierung der Anbindungen kann über das User-Attribut NAME einfügen im VISUM-Angebotsmodell nachvollzogen werden.

Die Anbindungen im Ausland (Typ=5) wurden zuerst automatisch erzeugt, danach manuell überarbeitet. Dabei wurde jeweils die räumlich nächste Haltestelle angebunden. Aufgrund der Grösse der Zonen und der reduzierten Haltestellendichte sind die Anbindungen im Mittel deutlich länger als für das Inland. Insgesamt weisen 656 Anbindungen eine Länge von bis zu 3 km aus, 388 von 3 bis 10 km, 164 von 10 bis 20 km und 288 Anbindungen sind länger als 20 km. Die Anbindungsgeschwindigkeit bei den ausländischen Zonen wurde bis 20 km Länge mit 15km/h angenommen, bei Anbindungen über 20km Länge beträgt sie 60km/h. Tabelle 11 gibt einen Gesamtüberblick zu den Anbindungen im ÖV-Modell.

Im Rahmen der Modellkalibration wurden punktuell noch weitere Anpassungen der Anbindungen vorgenommen. Diese fliessen in die hier gezeigte finale Auswertung mit ein.

Tabelle 11 Überblick ÖV-Anbindungen

Bereich	Anbindungstyp	Anzahl
Anbindungen Binnenzonen	Einfachanbindungen	5'004
	Mehrfachanbindungen ohne fixe Anteile	6'009
	Mehrfachanbindungen mit fixen Anteilen	74
Anbindungen Ausland		788
Gesamtsumme		11'875

1.2.4 Fuss- und Velonetz Schweiz

Eingangsdaten

VISUM-Netzmodelle

Im Vorprojekt ARE (2017d) erfolgte keine Etablierung eines Fuss- und Velo-Netzes. Als Ausgangsbasis für die Erstellung stehen jedoch die beiden Strassennetzmodelle auf Basis der TomTom-Daten, wie sie im Vorprojekt erarbeitet wurden, zur Verfügung:

1. Zum einen das ausgedünnte Strassennetz, das um – in Bezug auf den Kraftfahrzeugverkehr – überflüssige Netzelemente bereinigt wurde.
2. Zum anderen das komplette Strassennetz, welches sich, aufgrund der Vollständigkeit mit für den Veloverkehr relevanten Nebenstrecken, für die weitere Bearbeitung eignet und potenziell ergänzt werden kann.

Die nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte basieren auf dem kompletten Strassennetz gemäss Vorprojekt.

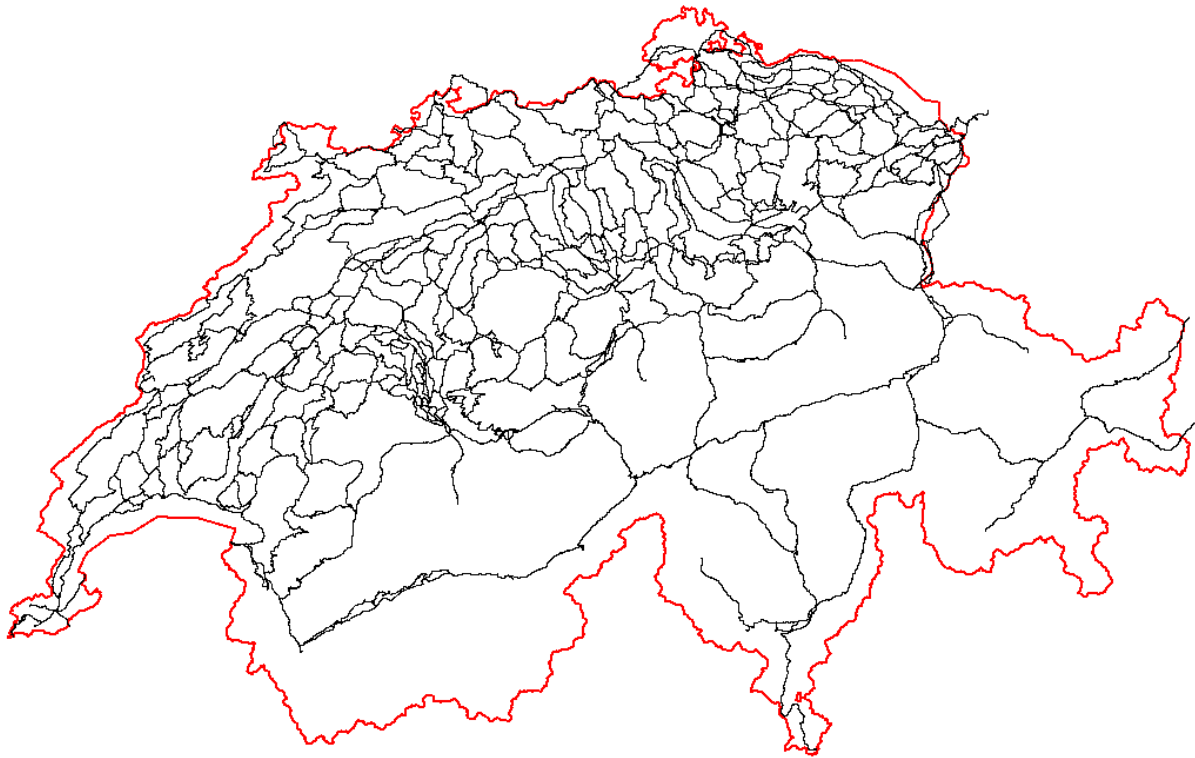
Grundlagen zur Velomodellierung

In Ergänzung zu den beiden Strassennetzen gemäss Vorprojekt wurden vom Auftraggeber die Daten Velo-Land SchweizMobil mit folgenden Informationen zu Velorouten zur Verfügung gestellt:

- Verlauf;
- Routentyp: national, regional und lokal;
- Schwierigkeitsgrad: Technik, Kondition.

Die Velorouten sind im Velo-Netzmodell als Points of Interest (ein POI je SchweizMobil-Route) hinterlegt und enthalten die relevanten Informationen als benutzerdefinierte Attribute. Die berücksichtigten SchweizMobil-Routen mit Datenstand vom 31.03.2017 basieren auf der Geometrie des swisstopo TLM-Datensatzes (Stand 2016). Die Velorouten sind generell von räumlich übergeordneter Relevanz, entsprechend wurden sie als Ergänzung zum bestehenden, feinen Strassennetz verwendet. Abbildung 60 vermittelt einen Eindruck über den Umfang an aus SchweizMobil berücksichtigten Velorouten.

Abbildung 60 SchweizMobil-Routen (Veloland)



Um das Velonetz (als Kombination aus TomTom-Strassennetz und Velonetz von SchweizMobil) mit Höhenkoordinaten zu versorgen, wurde die Verwendung des topographischen Landschaftsmodells der Schweiz (TLM) geprüft. Auf eine Verwendung des TLM-Datensatzes wurde letztlich verzichtet, weil sich der Übertrag der Informationen als rechentechnisch zu aufwändig darstellte. Stattdessen erfolgte die Umsetzung auf Basis von Copernicus-Daten (Stand: 23.02.2018).

Darüber hinaus bedurfte es Grundlagen, um die Attraktivität von Velorouten, z.B. in Abhängigkeit der Steigung/Neigung oder der Verkehrsdichte, bewerten zu können. Als Referenz dazu wurden die Berechnungsparameter des Routenplaners der Stadt Zürich herangezogen. Der Routenplaner differenziert nach attraktiven und schnellen Routen und berücksichtigt die Steigung.

Netzverfeinerung

Im Rahmen der Netzverfeinerung speziell für das Velonetz wurden einzelne Wegstücke in der gesamten Schweiz manuell ergänzt. Als Motivation für diese Netzerweiterung diente ein stichprobenartiger Routingvergleich. Als Referenz für die Routingergebnisse diente jeweils das Velo-Routing in Google Maps für einen durchschnittlichen Werktag. Die festgestellten Abweichungen konnten durch das Einfügen zusätzlicher Netzelemente reduziert werden, insgesamt wurden schweizweit ca. 1'800 Netzsegmente eingefügt (im Netzmodell markiert über das Attribut «PTV_Input»).

Der Vergleich der Velorouten zeigt exemplarisch eine innerstädtische und eine ländliche Veloroute. Das Routing in Visum, dargestellt in dunkelrot, wird jeweils der Route aus Google Maps (schwarze Linie) gegenübergestellt.

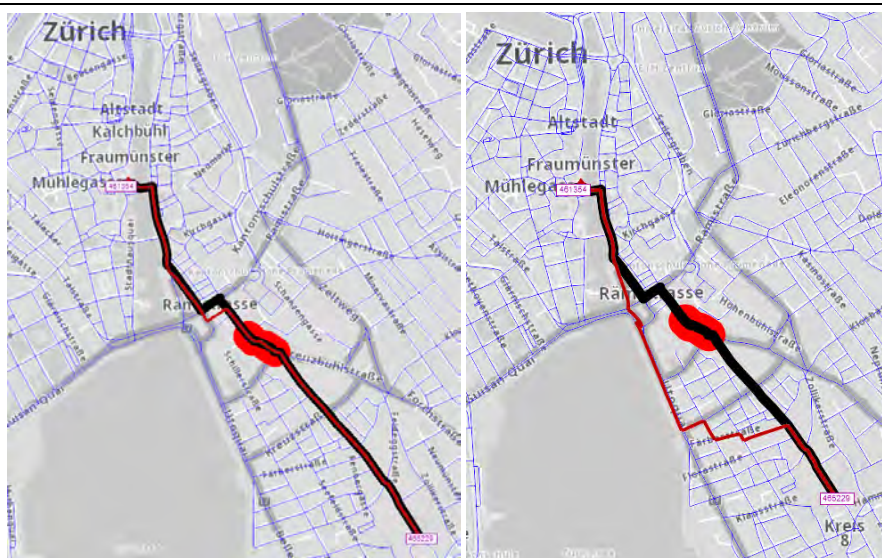
Durch die Netzverdichtung hinzugefügte Streckenabschnitte sind mit dem gebufferten, roten Hintergrund dargestellt.

Innerstädtisch

Tabelle 12 Kenngrössenvergleich der Velorouten in Zürich

	Reisezeit Velo	Entfernung Velo
Google Maps	7min 2s	1.95km
Visum Netz	8min 56s	2.23km
Visum verfeinertes Netz	7min 48s	1.95km

Abbildung 61 Pendlerroute in Zürich (links mit Netzverdichtung, rechts im unveränderten MIV-Netz)

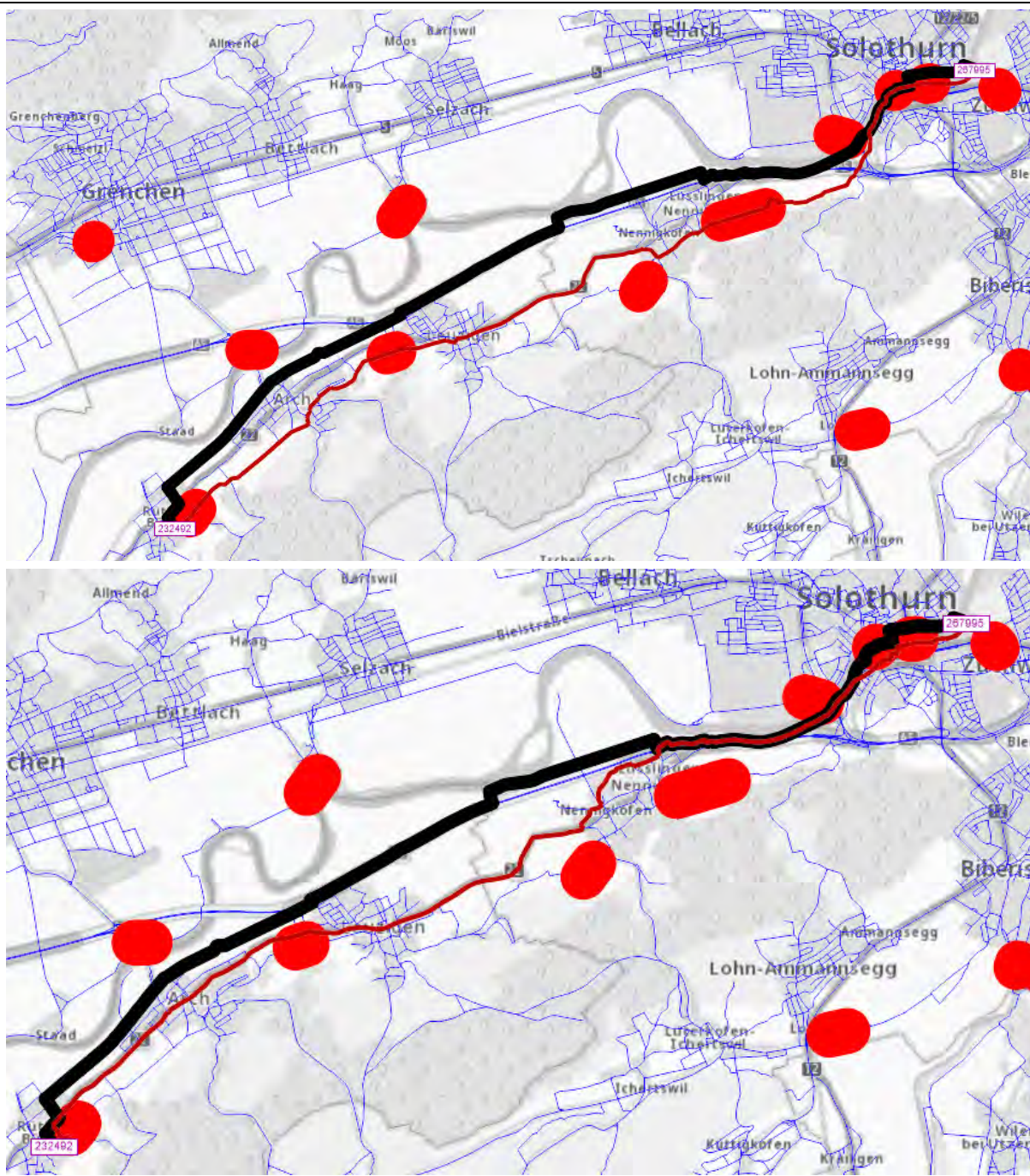


Ländlich

Tabelle 13 Kenngrössenvergleich der Velorouten in Solothurn

	Reisezeit Velo	Entfernung Velo	Widerstand
Google Maps	51min 4s	14.18km	-
Visum Netz	56min 45s	14.19km	4'650
Visum verfeinertes Netz	56min 9s	14.04km	4'282

Abbildung 62 Pendlerroute in Solothurn (oben mit Netzverdichtung, unten im unveränderten MIV-Netz)



Der Vergleich der Kenngrößen zeigt, dass vor allem im innerstädtischen Bereich durch die Netzverfeinerung Reisezeiten und Entfernungen näher an der Referenzgrösse erreicht werden. Im ländlichen Bereich bleiben Unterschiede dieser Kenngrößen zwischen den Routen aufgrund der alternativen Routenwahl bestehen. Im ländlichen Beispiel zeigt der Unterschied in den Widerständen der beiden Routen, dass jene im verdichteten Netz eine höhere Attraktivität aufweist (Zur Widerstandsberechnung siehe «Berechnung der Kenngrößen»).

Aufbereitung

Netzmodell

Im ersten Schritt wurden für die Velorouten aus SchweizMobil die entsprechenden Strecken im der vollständigen TomTom-Streckenbasis in einem benutzerdefinierten Attribut mit der «ID» aus dem Schlüsselattribut der Velorouten versorgt («Rad_ObjectID»). So können die relevanten Attribute aus den SchweizMobil-Daten dem vollständigen Streckennetz zugespielt werden. Fehlende Netzelemente im ausgedünnten Strassennetz wurden - soweit dort enthalten - aus der vollständigen TomTom-Datenbasis übertragen (ca. 122.000 Strecken) und die Velo-Attribute von der vollständigen TomTom-Basis in das ergänzte ausgedünnte Netzmodell übertragen. Wie eine Strecke aufbereitet wurde, kann eindeutig über das Streckenattribut «PTV_Input» nachvollzogen werden (Tabelle 14). Weitere Strecken, die gemäss Velorouten von SchweizMobil enthalten sein sollten, aber im Strassennetz nicht enthalten waren, wurden manuell ergänzt (in geringem Umfang, ca. 1'800 Strecken). Alle Strecken innerhalb der Schweiz, ausser Autobahnen und Autostrassen, wurden für den Veloverkehr freigegeben. Abschliessend wurde der Netzzusammenhang überprüft, indem die Kenngrössen berechnet und festgestellt wurde, dass für alle enthaltenen Beziehungen ein Weg gefunden wird.

Tabelle 14 Attributwerte von "PTV_Input"

PTV_Input	Art der Aufbereitung
1	Übernommen aus dem Grundnetz
2	Abgleich der SchweizMobil Routen mit der erweiterten TomTom Datenbasis
3	Manuell eingefügt auf Grundlage der SchweizMobil Routen

Für die Berechnung der Steigung wurden alle Knotenpunkte des vervollständigten Velo-Netzmodells mit den Copernicus-Daten (25 m-Raster) verschnitten⁵. Die Daten werden in den Z-Koordinaten der Knoten hinterlegt. Bei den Copernicus-Daten handelt es sich um Höhenangaben (Meter über Meer) für 25 mal 25 Meter-Rasterzellen. Verwendet wurde die Version EU-DEM 1.0. Diesem Höhenmodell liegt die Projektion LAEA – Lambert azimuthal equal area zugrunde. Der Verschnitt der Knoten erfolgte anhand der Zuordnung der 4 nächsten Kacheln aus den Copernicus Daten. Die Z-Koordinate ergibt sich dann aus der Interpolation der Höhenangaben der vier Kacheln zum betrachteten Knotenpunkt. Bei der zunächst vorgesehenen Verwendung des Topographischen Landschaftsmodells der Schweiz (TLM) traten technische Probleme auf, so dass die vorhandenen Tools beim Auftragnehmer nicht verwendet werden konnten. Die Daten lagen in ca. 1'000 Datensätzen vor und liessen sich nicht mit vertretbarem Aufwand automatisiert aufbereiten. Alternativ wurde folglich basierend auf den Copernicus-Daten jedem Knotenpunkt des Velo-Netzmodells eine Höhenangabe zugewiesen.

Die Steigung der Strecken wurde in VISUM berechnet. Für die Ermittlung der Steigungen bei Brücken- und Tunnelbauwerken wurden die Steigungen zwischen Eingangs- und Ausgangsknoten der Tunnelstrecken berechnet, die Höhenangaben der Knoten zwischen Tunneleingang und -ausgang wurden nicht berücksichtigt. Dies betraf

⁵ Copernicus ist das Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union. Es bietet eine leistungsfähige Infrastruktur für Erdbeobachtung und Dienstleistungen der Geoinformation. Informationen finden sich bspw. hier <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=download> (Stand:23.02.2018).

ca. 4'000 Tunnel und wurde daher automatisiert umgesetzt. Berechnete Steigungen ab +/-20 % wurden gekappt. Die Ergebnisse sind im visumeigenen Streckenattribut «Steigung» hinterlegt.

Mit dieser Umsetzung ergibt sich das Problem, dass weit auseinanderliegende Knoten bzw. die Strecke zwischen diesen, sowohl längere Steigungen als auch Neigungen umfassen kann. Liegen die Anfangs- und Endknoten bei solchen Strecken dennoch annähernd auf einer Höhe, würde eine zu hohe Velo-Attraktivität dieser Strecke unterstellt. Die praktische Umsetzung zeigte jedoch, dass aufgrund der Feinheit des Strassennetzes und der hohen Anzahl an Knoten dieses Phänomen nur in – bezogen auf das Gesamtnetz – wenigen Fällen auftritt. Eine Auswertung der Streckenlängen zeigt, dass z.B. lediglich 0.01% aller Strecken eine Länge > 1 km ausweisen. Auf eine manuelle Nachbearbeitung weniger längerer Strecken wurde verzichtet.

Anbindungen

Die Anbindungen wurden auf Basis der Zonen mit Zonenschwerpunkten berechnet. Folgende Regeln wurden zur automatisierten Anbindung verwendet:

- Nur Knoten anbinden, die an Streckenenden mit dem Typ 38-61; 87-96 (übrige Strassen und Radweg) liegen;
- Anbindungslänge max. 1 km;
- Nur Zonen innerhalb der Schweiz anbinden.

Für 6 Zonen wurde mittels dieses Regelwerks kein geeigneter Knoten gefunden. Die Anbindungen für diese Zonen wurden manuell gesetzt.

Die Länge der Velo-Anbindungen wurde folgendermassen berechnet:

- Für jeden Bevölkerungspunkt (STATPOP-Daten) wurde die Luftlinienentfernung zum Anbindungspunkt berechnet und dann gemittelt;
- Die mittlere Luftlinie wurde mit einem Umwegfaktor von 1.4 multipliziert (Annahme bzw. Erfahrungswert aus anderen Modellanwendungen).

Die Anbindungszeit wurde aus der Anbindungslänge und einer Velogeschwindigkeit von 15 km/h bestimmt (Annahme bzw. Erfahrungswert aus anderen Modellanwendungen).

Attributierung

Entscheidende Grösse für die im Nachfragemodell realisierte Modellierung der Verkehrsmittelwahl ist die Velo-Reisezeit. Als Basis- v_0 für den Veloverkehr werden 15 km/h angenommen. Diese Grundgeschwindigkeit wird in Abhängigkeit von Steigung und Attraktivität anhand eines Faktors angepasst. Die Attraktivität ist abhängig von der Umgebung (Streckentyp, Geschwindigkeit und Belastungen mit Kraftfahrzeugen). Die Belastungen mit Kfz wurden durch eine Umlegung der entsprechenden Verkehrssysteme (LI, LW, LZ, PW) des NPVM berechnet.

Die Festlegung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Steigung (siehe unten) wie auch die Faktoren zur Anpassung der Geschwindigkeit wurden in Anlehnung an die Parametrisierung des Velo-Routenplaners der Stadt Zürich gesetzt. Sie ergeben sich wie folgt (Attribut *VELO_Faktor*):

- Faktor 1.0:
 - Streckentyp 96 oder Veloroute;
 - Innerhalb T30-Zone mit max. 1'000 "Kfz/24h";

- Faktor 1.2:
 - Innerhalb T30-Zone mit 1'000-5'000 "Kfz/24h";
 - Ausserhalb T30-Zone mit Belastung von max. 1500 "Kfz/24h";
- Faktor 1.4:
 - Innerhalb T30-Zone mit mehr als 5'000 "Kfz/24h";
 - Ausserhalb T30-Zone mit Belastung bis 7'500 "Kfz/24h";
- Faktor 1.6:
 - Restliche Strassen mit mehr als 7500 "Kfz/24h".

Tabelle 15 weist aus, welche Netzlänge jeweils mit welchem Anpassungsfaktor belegt wurde.

Tabelle 15 Gewichtung der Strecken im Velonetz (Hin- und Rückrichtung)

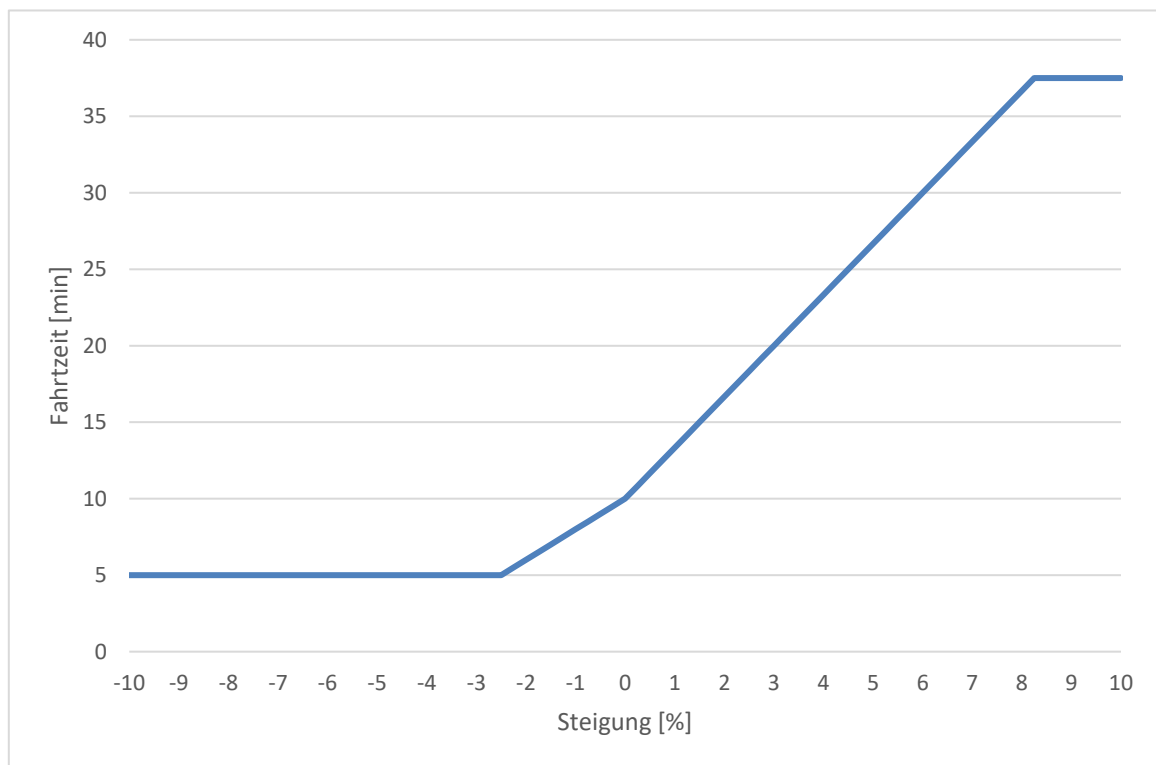
Faktor	Gesamtkilometer im Netz
1.0	50'239
1.2	109'556
1.4	10'538
1.6	4'767

Für die Berücksichtigung der Steigung in t_0 wird die nachstehende Formel angewendet, das entsprechende v_0 wird aus der Fahrtzeit und der Streckenlänge berechnet und in dem benutzerdefinierten Attribut Vel_{0_T0} hinterlegt. Der grafische Verlauf des funktionalen Zusammenhangs zwischen Fahrtzeit und Steigung ist in Abbildung 63 für eine Strecke mit der Fahrtzeit $t_0 = 10$ Minuten (dies entspricht einer Route von 2.5 km Länge bei einer angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 15 km/h) grafisch dargestellt. Der Grenzwert der Steigung wurde auf +/- 20 % festgelegt.

Berücksichtigung der Steigung in t_0

$$Vel_{T0} = \text{Max} \left(\begin{array}{l} 0.5 * [T0 - IVSYS(V)], \\ \text{MIN}([T0 - IVSYS(V)] * [V0 - IVSYS(V)]/4, \\ [STEIGUNG] < 0, \\ \left([T0 - IVSYS(V)] + [T0 - IVSYS(V)] * \frac{[STEIGUNG]}{5} \right), \\ \left([T0 - IVSYS(V)] + [T0 - IVSYS(V)] * \frac{[STEIGUNG]}{3} \right) \end{array} \right)$$

Abbildung 63 Velo-Fahrtzeit in Abhängigkeit der Steigung (Beispiel: 2.5 km Route)



Für die Berechnung der Diagonale der Velo-Fahrtzeit-Matrix wird basierend auf nachstehender Annahme aus der Fläche des Bezirks eine Entfernungsdiagonale abgeleitet mit $\sqrt{km_{Zone}^2} \times 0.5$. Der Wert wird in dem benutzerdefinierten Attribut der Bezirke mit dem Namen *DIAG_Dis* abgelegt. Als Geschwindigkeit für die Diagonale werden 15 km/h angesetzt und daraus die Binnenreisezeit Velo berechnet (*Diag_tt0_velo*).

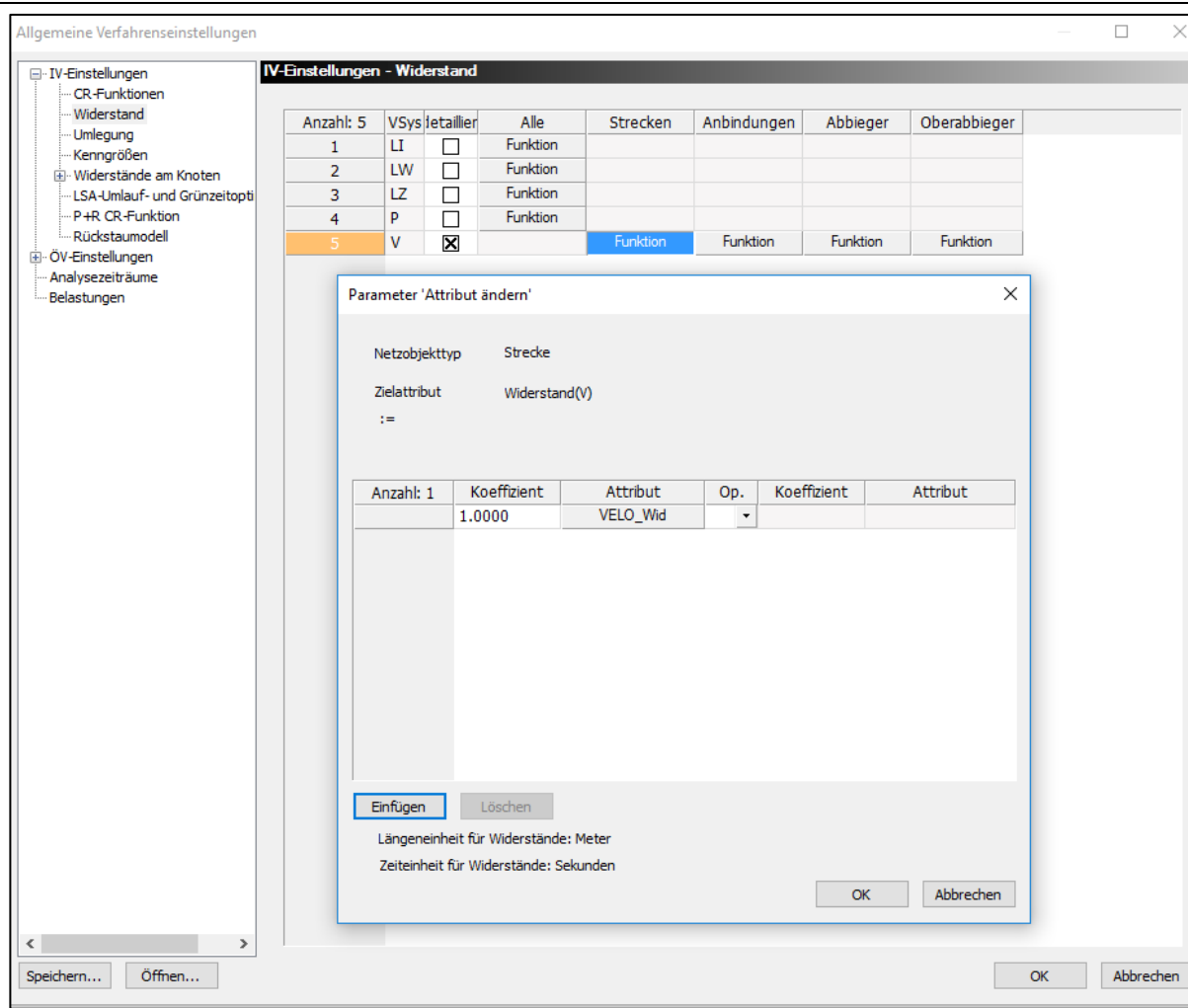
Berechnung der Kenngrößen

Velo

Aus dem Produkt der benutzerdefinierten Attribute *VELO_T0* und *VELO_Faktor* wird das Attribut *VELO_Wid* gebildet. Dadurch spiegelt *VELO_Wid* die gefühlte Reisezeit für Radfahrer in Sekunden wider und wird für die Widerstandsberechnung zugrunde gelegt (vgl. Abbildung 64):

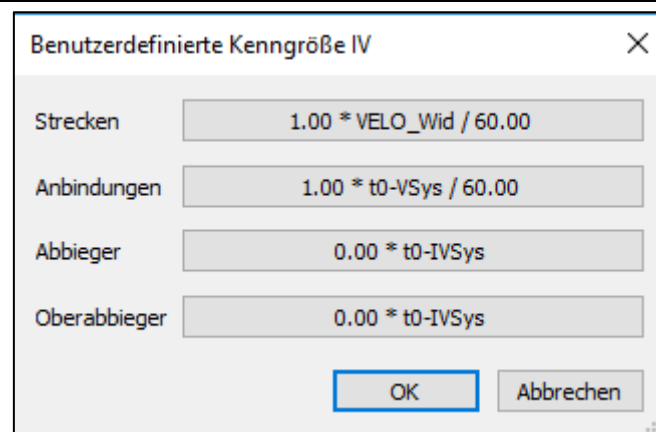
$$Velo_{Wid} = Velo_{Faktor} * Velo_{T0}$$

Abbildung 64 Definition Widerstand



VELO_Wid ist auch die Grundlage für die Berechnung einer benutzerdefinierten Kenngröße (UDS). Da die Eingangsgrößen in Sekunden angegeben werden müssen, werden die Werte durch 60 dividiert, um eine Kenngrößenmatrix in Minuten zu erhalten. In die Kenngrößenmatrix UDS gehen die Widerstände für die Strecken und Anbindungen ein (vgl. Abbildung 65).

Abbildung 65 Kenngrößenberechnung UDS



Fussverkehr

Die Kenngrössenmatrix für den Fussverkehr wird aus der Velo-Distanzmatrix abgeleitet. Als Fussgängergeschwindigkeit werden 4 km/h angesetzt. Diese Durchschnittsgeschwindigkeit spiegelt zügiges Gehen mit gelegentlichen Wartezeiten an Strassenübergängen wider. In der Matrix werden die Zeitwiderstände für die Strecken und Anbindungen berücksichtigt. Die Kenngrösse für den Zonenbinnenverkehr ergibt sich aus der Fläche des Bezirks und der Fussgängergeschwindigkeit und wird wie folgt berechnet $0.5 \times \sqrt{km_{Zone}^2} \times \frac{60}{4}$.

1.3 Aussenverkehr

1.3.1 Alpen- und grenzquerender Personenverkehr (A+GQPV)

Im NPVM 2017 erfolgt eine synthetische Nachfragemodellierung ausschliesslich für die Schweiz. Der Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr der Schweiz wird mittels einer statischen Matrix für die Umlegung bereitgestellt. Diese Matrix wird im Wesentlichen aus der Erhebung des Alpen- und Grenzquerenden Personenverkehrs (A+GQPV) 2015 abgeleitet. Um die Erhebungsdaten auf die zum Teil sehr feine Zonenstruktur aufzuteilen werden Bevölkerungs- und Arbeitsplatzdaten verwendet.

Die Erstellung der Aussenverkehrsmatrix erfolgt in fünf Schritten und wird nachstehend detailliert erläutert:

- Aufbereitung / Ergänzung der Erhebungsdaten;
- Filtern der Erhebungsdaten;
- Zuordnung der Erhebungsdaten zu Schweizer und Nichtschweizer Zonen;
- Aggregation der Erhebungsdaten in Modus- und zweckspezifische Nachfragematrizen;
- räumliche Glättung der Nachfragematrizen.

Aufbereitung / Ergänzung der Erhebungsdaten

Die A+GQPV 2015 umfasst 98'707 Datensätze mit Informationen zu Erhebungsort, Wochentag, Verkehrsmittel, Fahrzeugtyp, Besetzungsgrad, Wohnort, Wegequelle und -ziel, Wegezweck sowie einen Hochrechnungsfaktor.

Die Erhebungsdaten wurden hinsichtlich der in Tabelle 16 genannten Datenfehler- und Lücken aufbereitet.

Tabelle 16 Aufbereitung der Erhebungsdaten

Datenlücke	Problembehandlung	Resultat
Strassengebundener Verkehr umfasst nur in Schweiz einfahrenden Verkehr (gemäss Erhebungsmethodik des BFS)	Der ausströmende Verkehr wird durch Transponieren der Matrix erzeugt und hinzuaddiert. Der Durchgangsverkehr muss dann halbiert werden, da er gleichzeitig ein- und ausströmender Verkehr ist.	Datensatz mit 153'337 Beobachtungen inkl. symmetrischer ein- und ausströmender Ströme im Strassennetz
Fehlende Quell- oder Zielorte	Zuordnung zu Ländern in Abhängigkeit vom angegebenen Grenzübergang	Update von 1'189 Quellen und 601 Zielen
Fehlende Quell- oder Zielkoordinaten	Zuordnung über Koordinaten der Ländercodes	Update von 3'958 Quellen und 3'407 Zielen
MIV- bzw. Schienenverkehre, die in nicht-europäischen Ländern beginnen oder enden	Ziele der einfahrenden Verkehre werden Ländern in Abhängigkeit vom genutzten Grenzübergang zugeordnet, Quellen der ausfahrenden Verkehre werden in Abhängigkeit des genutzten Grenzortes dem nächsten internationalen Flughafen zugeordnet	Update von 392 Quellen und 411 Zielen

Filtern der relevanten Daten

Für die Erstellung der Aussenverkehrsmatrizen müssen die relevanten Daten identifiziert werden. Die verwendeten Filterkriterien sind in Tabelle 17 beschrieben. Deutlich wird, dass insbesondere durch den Ausschluss der Wochenendverkehre der Datensatz um mehr als ein Drittel reduziert wird. Eingang in die Matrixerstellung fand der Datensatz mit 59'033 Beobachtungen (38.4% der Beobachtungen des Gesamtdatensatzes).

Tabelle 17 Filtern der Erhebungsdaten

Filterkriterien	Ergebnis Datensatz
Inländischer Alpenquerender Verkehr wird ausgeschlossen. <i>Begründung: Die Aussenverkehrsmatrix enthält die Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehre der Schweiz, also Verkehr, der an einem Grenzort erfasst wurde. Inländische Verkehre, die alpenquerend sind, werden durch das Nachfragemodell abgebildet.</i>	125'322 (-28'015 bzw. 18.3%)
Grenzüberschreitender, inländischer Verkehr wird ausgeschlossen. <i>Begründung: Grenzüberschreitende, inländische Verkehre werden mit dem Nachfragemodell abgebildet.</i>	114'917 (-10'405 bzw. 6.8%)
Wochenendverkehre werden ausgeschlossen. <i>Begründung: Das Modell dient der Abbildung des durchschnittlichen werktäglichen Verkehrs (Mo bis Fr).</i>	59'271 (-55'646 bzw. 36.3%)
Wege per Reisebus werden ausgeschlossen. <i>Begründung: Reisebusse werden als Schwerverkehr gezählt und sind kein ÖV. Entsprechend sind die Ortsveränderungen weder in der PW- noch in der ÖV-Matrix enthalten.</i>	59'033 (-238 bzw. 0.2%)

Zuordnung der Erhebungsdaten zu Schweizer und Nichtschweizer Zonen

Die Erhebungsdaten werden in Access in ein VISUM-fähiges Format konvertiert, in eine VISUM-Version importiert und mit der bestehenden Zonierung im In- und Ausland verschnitten. Für jeden Datensatz, der durch eine Quelle bzw. Ziel repräsentiert wird, wird das zugehörige Personenverkehrsaufkommen mit dem Hochrechnungsfaktor der Erhebung und für den PW zusätzlich mit dem Besetzungsgrad (differenziert nach Fahrtzweck) berechnet. Auslandszonen, welche nicht im Modellperimeter liegen, werden in einem gesonderten Schritt den Kor-donzonen für PW und ÖV zugeordnet.

Aggregation der Erhebungsdaten in Modus- und zweckspezifische Nachfragematrizen

Die Erhebungsdaten mit den zugeordneten Zonennummern werden neuerlich in Access zu verkehrsmittel- und zweckspezifischen Nachfragematrizen aggregiert. Die Aggregation erfolgt für acht Aktivitätenpaare (Wohnung – Arbeit/Bildung, Wohnen – Einkaufen, Wohnen – Freizeit, Wohnen – Sonstiges und vice versa) und zwei Modi (PW und ÖV, d.h. Zug). Die Richtung der Wege (Wohnung an Quelle oder Ziel) wurde aus dem Wohnort abgeleitet, sowie des Landes an Quelle- und Ziel des Weges. Die Matrizen für die Kombination aus Wegezweck und Modus werden für die abschliessende Datenglättung wieder in VISUM importiert.

Die räumlichen Informationen zu den erhobenen Quellen und Zielen werden durch das BFS in aggregierter Form zur Verfügung gestellt. Teilweise liegen die Erhebungsdaten auf Postleitzahlenebene vor, z.T. aber auch auf NUTS3-Level. Abbildung 66 zeigt beispielsweise einen Punkt, der 86 erhobene Wegequellen- bzw. -Ziele repräsentiert, die alle identische Koordinaten aufweisen. Ohne eine Datenglättung würden alle Wege einer einzelnen Zone zugewiesen werden, während den umliegenden Zonen kein Verkehr zugeordnet würde. Für jede erhobene Quelle bzw. jedes Ziel ist das zugehörige Postleitzahlengebiet (PLZ) bekannt, ebenfalls für jede Verkehrszone das zugeordnete PLZ-Gebiet. Die erhobenen Wege eines zugehörigen Aggregats können nun auf die dem Aggregat zugeordneten Zonen verteilt werden. Diese Verteilung erfolgt anhand von zweckspezifischen Gewichten.

Abbildung 66 Beispiel Datenpunkt aus A+GQPV-Erhebung



Ziel der räumlichen Glättung ist es, über die Verteilung der punktuell summierten Quell- und Zielverkehrsaufkommen eine realistischere Aufteilung der Verkehre zu erreichen. Zudem kann der Einfluss lokaler statistischer Ausreisser reduziert werden. Die Glättung erfolgt in zwei Schritten:

- Vorbereitung der Daten:
 - Spezifikation der räumlichen Einheiten, auf deren Level aggregiert bzw. disaggregiert wird; in der VISUM-Version sind diese räumlichen Einheiten als sogenannte Oberbezirke (= Eigenname in VISUM) hinterlegt, da auf dieser Basis die in VISUM implementierten Methoden der Aggregation/Disaggregation angewandt werden.
 - Ermitteln der Strukturdaten für diese Raumeinheiten (siehe Tabelle 18) und Bestimmen der wegespezifischen Disaggregationsgewichte.
- räumliche Glättung:
 - Aggregation der Zonenstruktur des NPVM zum Oberbezirkslevel (definierte Raumeinheiten, auf die aggregiert wird);
 - Disaggregation von Oberbezirkebene zur Zonenstruktur anhand der Disaggregationsgewichte.

Das detaillierte Vorgehen wird nachfolgend beschrieben.

Datenaufbereitung

Spezifikation der räumlichen Einheiten für die Aggregation/Disaggregation

Für die Schweiz und Liechtenstein sind die Angaben der A+GQPV auf der Ebene der Postleitzahlengebiete aggregiert. Der identische Detaillierungsgrad wurde für die Nachbarländer Italien, Frankreich, Deutschland und Österreich angewandt. Für die restlichen Länder wurde auf NUTS-3-Level codiert. Für die Definition der räumlichen Einheiten zur Aggregation/Disaggregation gilt: Umfasst eine Zone des NPVM mehr als ein PLZ-Gebiet bzw. außerhalb der Schweiz und deren Nachbarländer mehr als eine NUTS-3-Zone, dann wird die NPVM-Zone als räumliche Einheit definiert. Die so entstehenden räumlichen Einheiten sind in VISUM als Oberbezirke hinterlegt. Jede NPVM-Zone ist dabei exakt einem Oberbezirk zugeordnet.

Ermitteln der Strukturdaten für die zweckspezifische Disaggregation

Die Strukturdaten auf Zonenebene werden als Disaggregationsgewichte für die verschiedenen Wegezwecke berechnet. Nachstehende Tabelle 18 fasst die recherchierten und verwendeten Daten zusammen.

Tabelle 18 Genutzte Quellen zur Strukturdatenaufbereitung			
Wegezweck	Gebiet	Datenbeschreibung	Datenquelle
Wohnen	Österreich	Einwohnerdaten	Bevölkerung zu Jahresbeginn ab 2016, gemeindeebene, (Statistik Austria)
	Deutschland	Einwohnerdaten	Hektardaten aus Zensus 2011
	Frankreich	Einwohnerdaten	Einwohnerdaten auf Gemeindeebene 2014 (INSEE)
	Italien	Einwohnerdaten	Einwohnerdaten auf Kommunenebene 2016 (INSEE)
	Schweiz	Einwohnerdaten	STATPOP 2016 (BFS)
Arbeiten/ Bildung	Österreich	Einwohnerdaten	Bevölkerung zu Jahresbeginn ab 2016, gemeindeebene, (Statistik Austria)
	Deutschland	Anzahl Arbeitsplätze	Arbeitsplatzdichte, Kreise und kreisfreie Städte, 2015 (Destatis)
	Frankreich	Anzahl Arbeitsplätze	Arbeitsplatzdaten auf Gemeindeebene 2014 (INSEE)
	Italien	Einwohnerdaten	Einwohnerdaten auf Kommunenebene 2016 (INSEE)
	Schweiz	Anzahl Arbeitsplätze	STATENT 2015 (BFS)
Einkauf	Österreich	Einwohnerdaten	Bevölkerung zu Jahresbeginn ab 2016, gemeindeebene, (Statistik Austria)
	Deutschland	Bereich Kantonsmodell Aargau: Verkaufsfläche	Kantonsmodell Aargau
		Rest Deutschland: Arbeitsplätze im tertiären Sektor	Arbeitsplatzdichte und Anteil ET Handel, Verkehr, Gastgew., Inform., Kommun., Kreise und kreisfreie Städte, 2015 (Destatis)
	Frankreich	Arbeitsplätze im tertiären Sektor	Einwohnerdaten auf Gemeindeebene 2014 (INSEE)
	Italien	Einwohnerdaten	Einwohnerdaten auf Kommunenebene 2016 (INSEE)
	Schweiz	Arbeitsplätze im tertiären Sektor	STATENT 2015 verschnitten mit tertiärem Sektor auf Gemeindeebene 2017 (BFS)
Freizeit	Österreich	Einwohnerdaten	siehe oben
	Deutschland	Bereich Kantonsmodell Aargau: Verkaufsfläche	siehe oben
		Rest Deutschland: Einwohnerdaten + Arbeitsplatzdaten im tertiären Sektor	siehe oben
	Frankreich	Einwohnerdaten + Arbeitsplatzdaten im tertiären Sektor	siehe oben
	Italien	Einwohnerdaten	siehe oben
	Schweiz	Einwohnerdaten + Arbeitsplatzdaten im tertiären Sektor	siehe oben
Sonstiges	Alle	Einwohnerdaten	siehe Wegezweck «Wohnen» oben

Räumliche Glättung

Aggregation von NPVM-Zonierung zur Oberbezirksebene

Alle wegezweck- und modusspezifischen Matrizen werden auf VISUM-Oberbezirksebene aggregiert (unter Nutzung der eindeutigen Zuordnung von NPVM-Zonen zu Oberbezirken).

Wegezweckspezifische Disaggregation von Oberbezirksebene auf NPVM-Zonierung

Alle aggregierten Oberbezirksmatrizen werden auf das NPVM-Zonensystem disaggregiert. Die recherchierten Strukturdaten werden als Gewichte genutzt. Ein Beispiel für die Anwendung der Gewichte und die genutzte Formel im Verfahrensablauf ist in Abbildung 67 dargestellt (im Beispiel Disaggregation über die Einwohnerdaten an Quell- und Zielort).

Abbildung 67 Disaggregation der erhobenen Aussenverkehre

The screenshot shows a dialog box titled "Disaggregate matrix" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into several sections:

- Input data:**
 - Main zone matrix:** A text box containing the formula $(a_{ij}) =$ followed by a button labeled "102 Ex_C_H-O".
 - Disaggregation weights:**
 - $w_{ij}^{(1)}$ is followed by a button labeled "From zone\ZON_BEV".
 - $w_{ij}^{(2)}$ is followed by a button labeled "To zone\ZON_BEV".
- Result:**
 - Zone matrix:** A text box containing the formula $(b_{ij}) =$ followed by "52 Ex_C_H-O_disagg".
- Formula:**
 - A mathematical formula is displayed:
$$b_{ij} = \frac{w_{ij}^{(1)} w_{ij}^{(2)}}{\sum_{k \in I} \sum_{l \in J} w_{kl}^{(1)} w_{kl}^{(2)}} \cdot a_{ij}$$

At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

Berechnen symmetrischer Tagesmatrizen

Die Daten aus der Erhebung sind zum einen mit Gewichtungsfaktoren versehen, die ein gesamtes Jahr repräsentieren. Zum anderen sind die Daten für den Zugverkehr nicht symmetrisch. Da der abgebildete Zustand des NPVM ein mittlerer Werktag ist und symmetrische Zählwerte verwendet werden, werden im abschliessenden Schritt die wegezweck- und modusspezifischen Matrizen:

- zu modusspezifischen Jahresmatrizen aufsummiert,

- mithilfe der Anzahl der Werktage im Jahr 2015 (261) in einen durchschnittlichen Werktag umgerechnet (Umrechnungsfaktor: 0.003831)
- und symmetrisiert.

Da das Nachfragemodell Binnenverkehre mit Grenzübertritt, Verkehre zwischen der Schweiz und Liechtenstein sowie zum Flughafen in Basel inkludiert, werden diese Relationen in der Matrix für den Aussenverkehr auf Null gesetzt.

Erste Validierungen

Tabelle 19 zeigt die entstehenden Matrixsummen für die einzelnen Segmente. Auffällig ist die Asymmetrie der erhobenen Wegezwecke für den Zug. Diese werden durch Symmetrisierung der Summe der Zug-Fahrten bereinigt. Ausserdem erkennbar ist der deutlich höhere Anteil an Freizeitfahrten mit dem Zug im Vergleich zum PW.

Tabelle 19 Matrixsummen für die einzelnen Segmente

Matrix-Nr.	Modus	QZG	Jährliche Fahrten	Anteil der Wege bezogen auf die Summe der Wege des entsprechenden Verkehrsmittels
51	PW	W–Freizeit	82'431'265	20%
52	PW	W–Sonstiges	25'462'378	6%
53	PW	W–Einkauf	46'693'081	11%
54	PW	W–Arbeit	59'296'595	14%
55	PW	Freizeit–W	75'470'030	18%
56	PW	Sonstiges–W	24'162'871	6%
57	PW	Einkauf–W	46'404'826	11%
58	PW	Arbeit–W	58'650'566	14%
59	Zug	W–Freizeit	12'972'255	30%
60	Zug	W–Sonstiges	5'906'783	14%
61	Zug	W–Einkauf	2'494'344	6%
62	Zug	W–Arbeit	6'924'180	16%
63	Zug	Freizeit–W	7'596'104	17%
64	Zug	Sonstiges–W	1'769'846	4%
65	Zug	Einkauf–W	1'384'079	3%
66	Zug	Arbeit–W	4'582'373	10%
Summe			462'201'575	PW 100% / Zug 100%

Die entstehenden Matrixsummen (Spalte 4 in Tabelle 19) wurden mit den textlichen Angaben des Erhebungsberichts zu den Ganzjahreswerten der A+GQPV plausibilisiert. Da diese auch Wochenende und Ferien enthalten ist eine Gegenüberstellung nur bedingt zielführend, jedoch liessen sich die Abweichungen durch den fehlenden Wochenend- und Ferienverkehr im Grundsatz nachvollziehen.

Visuell wurden ausserdem die Anteile der Wegezwecke für einzelne Zonen validiert. Ein Vergleich der gesamten Verkehrserzeugung einzelner Zonen mit den zu erwartenden Werten auf Basis von Luftbildaufnahmen wurde

ebenfalls durchgeführt. Dabei konnten keine besonderen Auffälligkeiten erkannt werden. Erst die Analyse der Wegerate je (Hilfs-)Attraktionspotenzial als Summe aus Einwohner- und Arbeitsplatz brachte zum Vorschein, dass im Datensatz der A+GQPV ein Grossteil der Wege, die in Genf beginnen, einheitlichen Koordinaten innerhalb der Gemeinde «Veyrier GE» zugeordnet wurde. Diese Wege wurden nachträglich der Gemeinde «Genf» zugeordnet und mit dem oben beschriebenen Glättungsalgorithmus auf die Genfer Zonen verteilt.

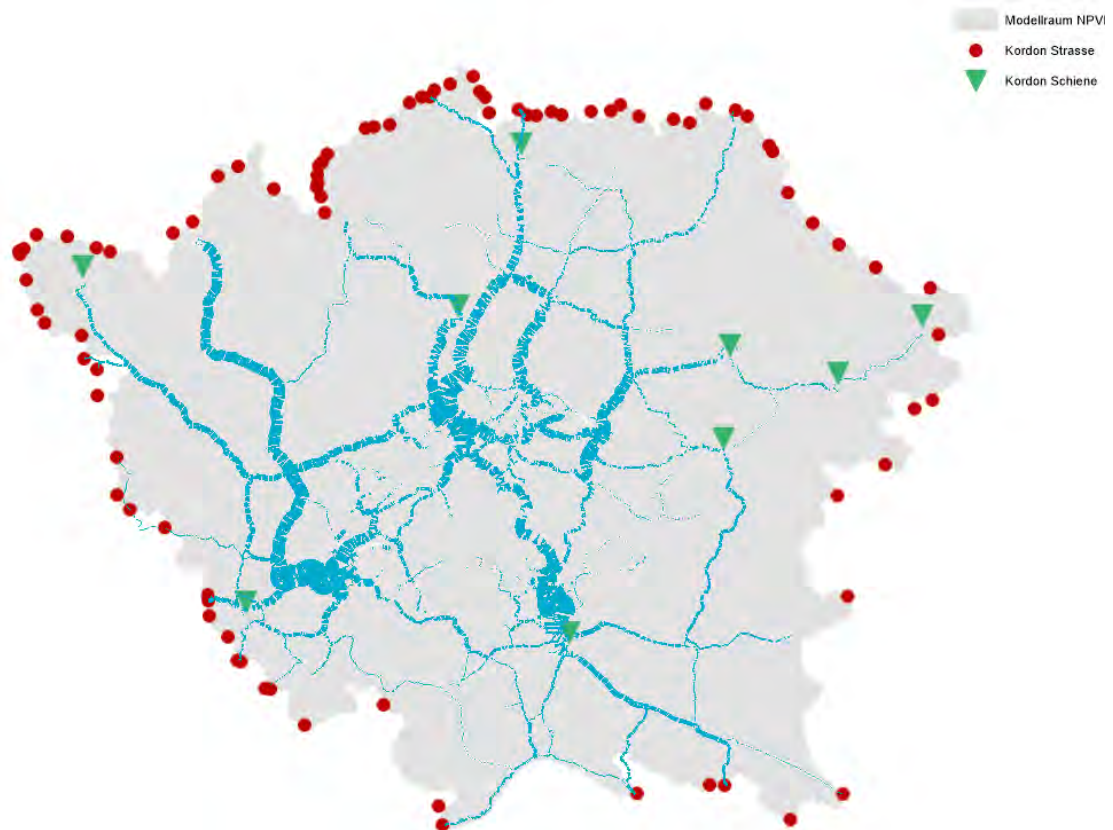
1.3.2 Erstellung der im NPVM umlegungsfähigen Matrizen

Definition von Kordonzonen

Der Modellraum Schweiz und Ausland wurde im Rahmen der Erstellung der Aussenzonierung festgelegt. Um die Ströme abzubilden, die ausserhalb des Modellraums beginnen und/oder enden, müssen Kordonzonen am Rand des Modells definiert werden. Für den Strassenverkehr wurden für das übergeordnete Strassennetz (Autobahnen und weitere Überlandstrassen mit überregionaler Bedeutung) an den Enden und für das ÖV-Netz an den letzten äusseren grossen Bahnhöfen Kordonzonen definiert. Abbildung 68 zeigt die 9 Kordonzonen für den ÖV und die 87 Kordonzonen für den Strassenverkehr.

Die Verortung der A+GQPV wurde ausserhalb des Modellraumes zunächst auf Ebene der alten NPVM 2010 Zonen durchgeführt. Für die Zonen des NPVM 2010, die nicht Teil des neuen Modellraumes NPVM 2017 sind, wurden Split- und Aggregationstabellen definiert. Anhand dieser Tabellen werden die ausserhalb des Modellraumes verorteten und aggregierten Ströme den Kordonzonen zugeordnet.

Abbildung 68 Definierte Kordonzonen im NPVM 2017



Berechnen von Fahrtenmatrizen

Die Matrizen wurden zunächst für Personenströme aufbereitet. Somit können diese – zumindest für Arbeitswege – mit der Grenzgängerstatistik verglichen werden. Die Korrekturen mittels der detaillierteren Informationen aus der Grenzgängerstatistik sind in Kapitel 1.3.3 beschrieben. Für die Umlegung im Strassennetz werden allerdings die Anzahl der Fahrzeugfahrten benötigt. Anhand des Attributs zur Gruppengrösse im Fahrzeug (d.h. einem Besetzungsgrad) aus der Erhebung können die Fahrzeugfahrten neuerlich berechnet werden.

Feinkalibrierung der Nachfragematrizen PW

Die Aussenverkehrsmatrizen liegen in einem Zwischenschritt aufgeteilt nach Befragungsort vor und werden vor der Feinkalibrierung als einzelne Nachfragesegmente umgelegt. Dadurch lässt sich validieren, dass die an einem bestimmten Grenzübergang erhobenen Verkehre im Modell auch tatsächlich diesen Grenzübergang nutzen. In 7 Fällen wurden Anbindungen in grenznahen Aussenbezirken manuell verändert, um die Routenwahl im Modell besser an die Erwartungswerte aus der Erhebung anzupassen.

Sowohl für den ÖV als auch für den MIV wurde die Feinkalibrierung durchgeführt. Diese erfolgte anhand folgender Arbeitsschritte:

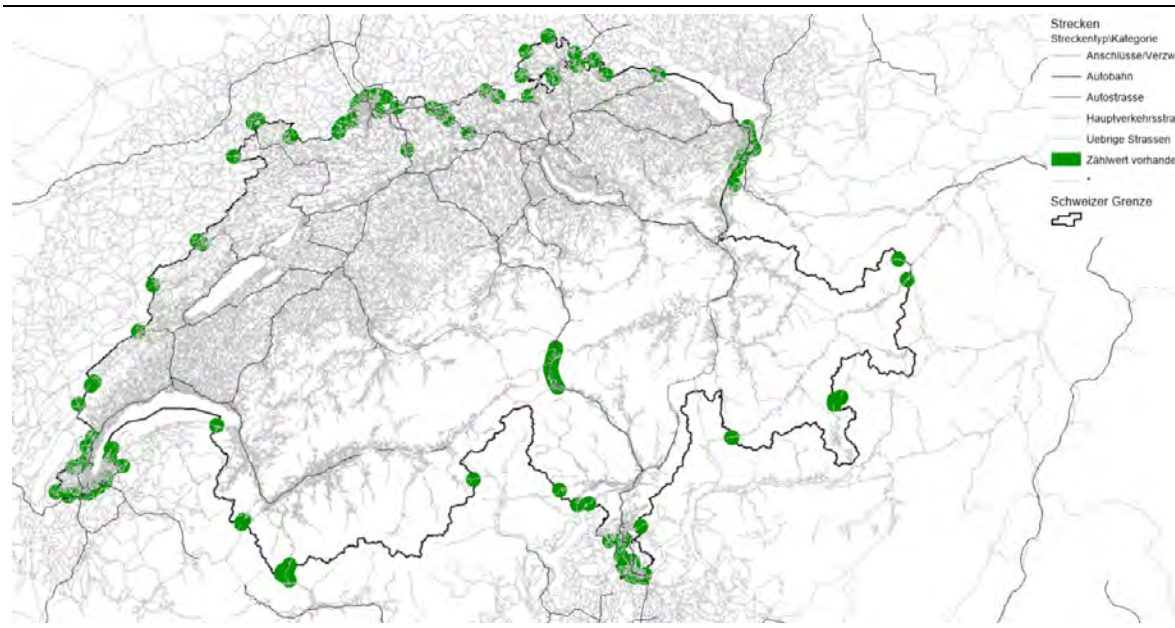
- Vergleich Umlegungsergebnis mit Zielwert aus A+GQPV 2015:
Für jeden in der A+GQPV enthaltenen Strom ist bekannt, an welcher Gruppe von Grenzübergängen dieser erfasst wurde. Es ergibt sich mithilfe des Umrechnungsfaktors von Jahr zu Werktag ein Wert für die grenzquerenden Verkehre aus der Erhebung. Daher konnte ein Vergleich des Umlegungsergebnisses mit diesem Wert erfolgen und identifiziert werden, welche Grenzübergangsgruppen aus der Erhebung Auffälligkeiten zu den bekannten Zählwerten aufweisen. Keine Grenzübergangsgruppe wies derartige Auffälligkeiten auf.
- Vergleich Umlegungsergebnis mit Zählwerten:
Dazu wurden manuell grenznahe Zählstellen in der Schweiz und in Deutschland identifiziert und die Zählwerte für PW übernommen. Für die Grenzübergänge Richtung Österreich, Italien und Frankreich sowie fehlende Werte in Deutschland wurden die Zählwerte aus dem Bericht zum Erhebungskonzept der A+GQPV 2015 als Vergleichswert übernommen, vgl. DemoSCOPE AG (2016). Neben den grenznahen Zählstellen wurden auch innerhalb der Schweiz Zählwerte als Stützwerte herangezogen, um z.B. die Belastung im Gotthard-Tunnel im Zusammenspiel mit der PW-Matrix aus dem Nachfragemodell möglichst gut zu treffen. Es wurden jene Zählstellen innerhalb der Schweiz herangezogen, für die der Belastungswert der Aussenverkehre im Zusammenspiel mit dem schweizerischen Binnen-PW-Verkehr erkennbar zu hoch war. Der Vergleichswert für den Aussenverkehr ergibt sich für diese Stellen innerhalb der Schweiz aus der gerundeten Differenz des Zählwertes und der zum Zeitpunkt der Kalibrierung resultierenden Belastung durch den PW-Binnenverkehr der Schweiz. Folgende Tabelle 20 listet die verwendeten Zählwerte innerhalb der Schweiz auf.

Tabelle 20 Vergleichswerte für DVW PW innerhalb der Schweiz

Autobahn	Lagebeschreibung	Vergleichswert für Aussenverkehr Richtung1/Richtung2 DWV Fz/d
A3	Basel, Schwarzwaldbrücke	Ri Nord 26 000 / Ri Süd 26 000
A3	Zwischen Birsfelden und	
A3	Zwischen Anschlussstellen Frick und Eiken	Ri West 8 000 / Ri Ost 8 000
A3	Zwischen Anschlussstellen Wiese und Pratteln	Ri West 20 000 / Ri Ost 20 000
A3	Beginn Basel, Rampe vor Ver- zweigung Wiese	Ri Ost 20 500 / Ri Süd 20 500
A3	Zwischen Anschlussstellen Effingen und Brugg	Ri West 5 000 / Ri Ost 5 000
A2	Zwischen Anschlussstellen Diegten und Eptingen	Ri Nord 14 000 / Ri Süd 14 000
A2	Zwischen Anschlussstellen Lugano Süd und Melide	Ri Nord 22 000 / Ri Süd 22 000
A2	Mendrisio	Ri Nord 25 000 / Ri Süd 25 000
A2	Zwischen Anschlussstellen Chiasso und Chiasso Centro	Ri West 20 000 / Ri Ost 20 000
A2	Zwischen Anschlussstellen Quinto und Airolo	Ri West 5 000 / Ri Ost 5 000
A2	Gotthard-Strassentunnel	Ri Nord 4 900 / Ri Süd 4 900
A1a	Zwischen Anschlussstelle La Praille und Beginn A1a	Ri Nord 10 000 / Ri Süd 6 000

Insgesamt wurden für 103 Querschnitte Zählwerte in jeweils zwei Richtungen und damit Vergleichswerte für den DWV-PW zusammengetragen. Die als Stützstellen verwendeten Querschnitte sind in Abbildung 69 grün gekennzeichnet. Gut erkennbar ist die höhere Zählwertdichte im Norden bei Basel, im Südwesten bei Genf und im Süden bei Chiasso.

Abbildung 69 Verwendete Zählstellen für Kalibrierung des Aussenverkehrs



- Definition der Vorbelastung für das Strassennetz:

Die Verkehre im Strassennetz ausserhalb der Schweiz sind nicht vollumfänglich im Netz enthalten, sondern nur diejenigen Verkehre, deren Route teilweise durch die Schweiz verläuft. Mit zunehmender Entfernung zur Schweiz wird das Auslandsnetz entsprechend immer leerer. Tendenziell werden Autobahnen im Netz dadurch immer attraktiver. Innerhalb der Schweiz können durch die fehlenden Belastungen unerwünschte Schleichwege im Nebennetz entstehen. Das Umlegungsergebnis wird vor diesem Hintergrund durch eine pauschale aber im gleichen Zuge möglichst realistische Vorbelastung positiv beeinflusst. Die Vorbelastung wird folgendermassen bestimmt:

- Die LW-Matrix wird in das leere Netz umgelegt.
- Vorbelastung im Strassennetz innerhalb der Schweiz: Es erfolgt eine vorgeschaltete Umlegung der zum Zeitpunkt der Feinkalibrierung verfügbaren PW-Matrix aus dem Nachfragemodell für das NPVM 2017. Für Strassen innerhalb der Schweiz wird als Vorbelastung 80% der resultierenden Belastung angenommen. Für den Wert «80%» ergab sich ein optimales Umlegungsergebnis des Aussenverkehrs, also die beste Übereinstimmung von Zählwert und Umlegungsergebnis. Der resultierende Wert für die Vorbelastung ist im Attribut «QZD Vorbelastung» hinterlegt.
- Vorbelastung im Strassennetz ausserhalb der Schweiz: Für die Strecken ausserhalb der Schweiz wird ebenfalls eine Umlegung der Aussenverkehrsmatrix ohne Vorbelastung durchgeführt. Im Falle von Autobahnen, wird als Vorbelastung 85% der Tageskapazität minus der Belastung aus der vorgeschalteten Umlegung der Aussenmatrix angenommen. Für die restlichen Strassen im Auslandsnetz berechnet sich die Vorbelastung aus 25% der Tageskapazität minus der Belastung aus der vorgeschalteten Umlegung der Aussenmatrix. Negative Werte werden auf 0 gesetzt. Für die Werte 80% und 25% ergab sich das optimale Umlegungsergebnis der Aussenverkehrsmatrix. Der resultierende Wert für die Vorbelastung im Auslandsnetz ist ebenfalls im Attribut «QZD Vorbelastung» hinterlegt.
- Die Vorbelastung aus dem Attribut «QZD Vorbelastung» wirkt ausschliesslich auf die Aussenverkehrsmatrix. Vor der Umlegung der PW-Matrix aus dem Nachfragemodell wird dieses Attribut im Verfahrensablauf initialisiert.

- Setzen von zusätzlichen punktuellen Grenzwiderständen an den Grenzübergängen:

Die pauschale Annahme der Vorbelastung sowie die je Richtung getrennte Attributierung der Streckenzüge führen dazu, dass die Routenwahl bei Vorhandensein von grossräumigen Alternativen, z.B. beim Übergang Deutschland/Schweiz über die Grenzübergänge Basel und Rheinfelden oder bei einer Vielzahl von kleinräumigen Alternativen im Raum Genf, im Detail nicht genügend übereinstimmt. Eine Verbesserung des Umlegungsergebnisses mit den Zählwerten wird hier durch das Einführen von punktuellen Grenzwiderständen erreicht. Diese punktuellen Grenzwiderstände werden als Reisezeitzuschläge in der Nähe der Grenzübergänge definiert und spiegeln im Prinzip lokale Gegebenheiten wider, die sich z.B. nicht in den pauschalen Vorbelastungen wiederfinden.

Im Streckenattribut «GÜ_Wid» ist der Reisezeitzuschlag in Sekunden hinterlegt, der im Modell bei der Grenzüberquerung anfällt. Ein gegenüber den Zählwerten zu stark belasteter Grenzübergang wird dadurch weniger attraktiv und der Verkehr verteilt sich teilweise auf alternative Grenzübergänge. Das Setzen der Grenzwiderstände erfolgte näherungsweise in einem iterativen, automatisierten Prozess in VISUM und wurde im Nachgang manuell validiert. Es wurde darauf geachtet, dass die punktuellen Widerstände symmetrisch (Differenz Hin- und Rückrichtung weniger als 120s) sind. Ein derartiger Widerstand wurde an 40 Querschnitten eingeführt. Der maximal vergebene punktuelle Widerstand waren 900 Sekunden (= 15 Minuten).

- Korrektur der Matrix anhand der Zählwerte:

Für eine finale Anpassung der Matrix an die Zählwerte wurde das in VISUM implementierte Matrixkorrekturverfahren VStromFuzzy eingesetzt. Die vorgenommenen Verfahrenseinstellungen sind in Abbildung 70 dargestellt. Wichtig sind hierbei die Begrenzung des maximalen Korrekturfaktors auf 10 und das Beibehalten von Bezirksbeziehungen ohne Zählwerte.

Abbildung 70 Verfahrenseinstellungen für die Matrixkorrektur in VISUM

Nachfragematrix-Korrektur (VStromFuzzy)

Zählwerte | Zählwerte IV | Verteilung PW_QZD | Verfahrenssteuerung | Ergebnismatrix

Allgemeines

☐ Nur Bezirksbeziehungen mit M > 0 korrigieren

M =

Analyse

☐ Protokoll

☐ Diagnose

☐ Verlaufsstatistik

Speicherort für Statistiken:

D:\Sc\NPVM\Statistik_vstrom

Verfahrensparameter

max. Korrekturfaktor: 10

Abbruch bei Änderung <: 1

Anzahl Iterationen: 30

geschätzte Fahrtenzahl: 0

Alpha-Niveau: 1

Bezirksbeziehungen ohne Zählwerte

☒ Unverändert lassen

☐ Mit mittlerem Korrekturfaktor skalieren

Es erfolgt eine Zuweisung eines Validierungswertes entsprechend der in Tabelle 21 dargestellten Hierarchisierung. Die Vergleichswerte für die Belastung der Grenzübergänge dient als Kalibrierungsgrundlage. Als Grundlage

der Matrixanpassung werden nur Grenzübergänge der Hierarchien 1 und 2 verwendet, da nur dort echte Zählwerte als Referenz vorliegen (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21 Hierarchisierung der Grenzübergänge

Typ	Beschreibung	Vorgehen
01	Zählwert in unmittelbarer Grenznähe vorhanden (Schweiz oder angrenzendes Ausland)	Zählwert verwenden, falls Auslandszählwert ggf. Erhebungsjahr beachten
02	Zählwert in mittelbarer Grenznähe vorhanden	Ersatzwert aufgrund von Zählwert und Vorbelastung bilden oder aus Anlage der AGQPV heranziehen
03	Kein Zählwert in der Nähe vorhanden, Querschnitt in A+GQPV-Erhebung vorhanden	A+GQPV-Wert nutzen, plausibilisieren anhand von Vorbelastung aus NPVM
04	Keine Informationen vorhanden	Schätzwert entsprechend der Strassenklasse bzw. Bedienungshäufigkeit bilden, ggf. Belastung aus NPVM heranziehen

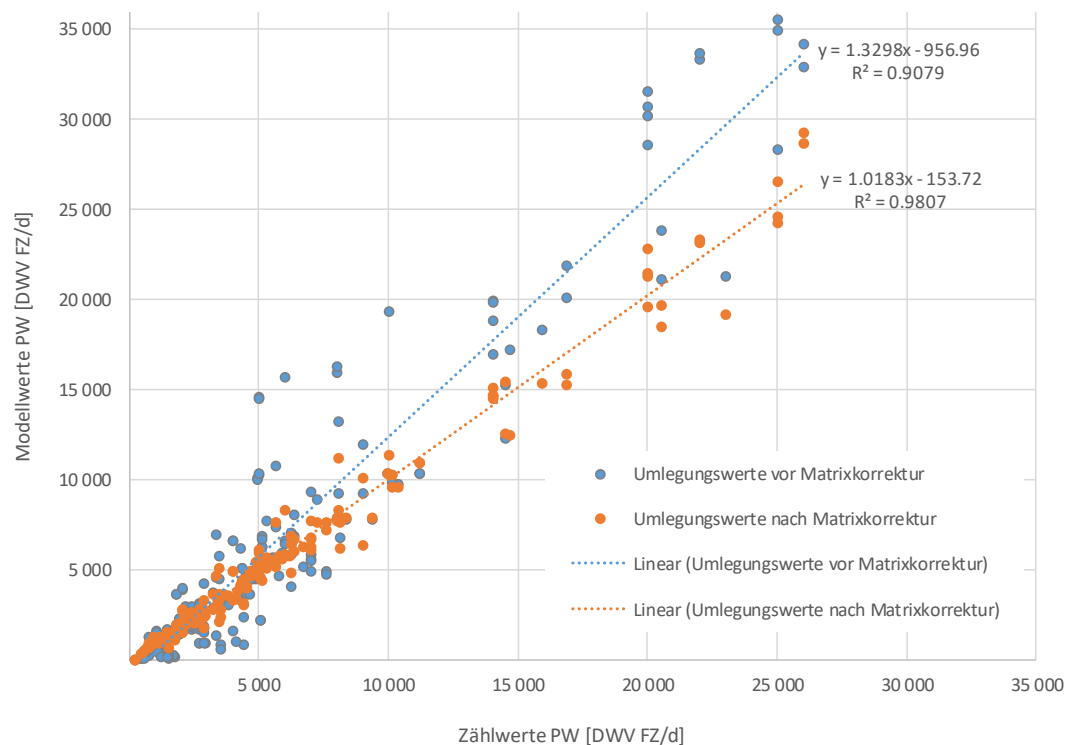
Feinkalibrierung der Nachfragematrizen ÖV

Die Feinkalibrierung des ÖV umfasst ausschliesslich die Korrektur der Erhebungsmatrix. Hier lagen an allen 9 Grenzübergängen für den Schienenverkehr Zählwerte vor. Die Matrixkorrektur erfolgte mit analogen Einstellungen zum PW gemäss der in Abbildung 70 gezeigten Einstellungen.

Ergebnisse der Feinkalibrierung PW und ÖV

In Abbildung 71 ist der Effekt der Matrixkorrektur auf das PW-Umlegungsergebnis dargestellt. Vor der Matrixanpassung ist eine Tendenz zur allgemeinen Überlastung vorhanden. Die dargestellte (blaue) Regressionsgerade weist eine Steigung von 1.3 auf. Für die Matrixkorrektur wurde deshalb die Matrixsumme nicht festgehalten. Mit der Matrixkorrektur nähert sich die Steigung der Regressionsgerade dem Wert 1 und das Bestimmtheitsmass der linearen Regression steigt von 0.91 auf 0.98.

Abbildung 71 Ergebnis Feinkalibrierung vor und nach der Matrixkorrektur für PW



In Abbildung 72 ist die Veränderung der Matrixstruktur mittels der Reiseweitenverteilung durch die Matrixanpassung dargestellt. Die Balkendarstellung wurde lediglich gewählt um die Unterschiede in den Verläufen besser darstellen zu können. Es ist erkennbar, dass die auf der Luftlinie basierte Reiseweitenverteilung nahezu konstant bleibt. Es erfolgte also keine systematische Verringerung oder Erhöhung in einer bestimmten Reiseweitenklasse. Die Matrixsumme ist wie zugelassen um etwa 45'000 PW-Fahrten von 956'000 PW-Fahrten vor der Matrixkorrektur auf 910'000 Fahrten nach der Matrixkorrektur gefallen.

Abbildung 72 Vergleich der Reiseweitenverteilung, basierend auf Luftlinie, für den PW vor und nach der Matrixkorrektur

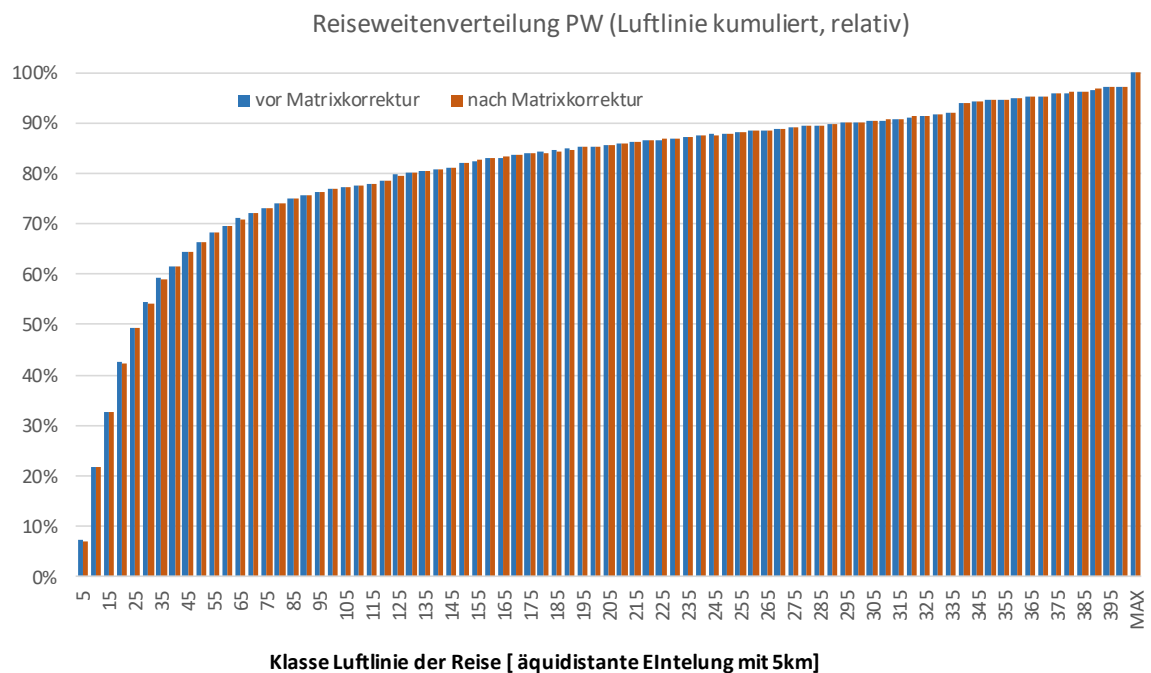


Abbildung 73 illustriert das Umlegungsergebnis des ÖV vor und nach der Matrixanpassung. Es ist deutlich erkennbar, dass die Erhebungsmatrix die Verkehre überschätzt. Die Steigung der Regressionsgerade vor der Matrixanpassung beträgt 1.5, das Bestimmtheitsmass liegt vor der Matrixanpassung bei 0.91. Durch die Matrixkorrektur steigt das Bestimmtheitsmass auf 0.99 bei einer Steigung der Regressionsgeraden von nahezu eins.

Abbildung 73 Ergebnis Feinkalibrierung vor und nach der Matrixkorrektur für ÖV

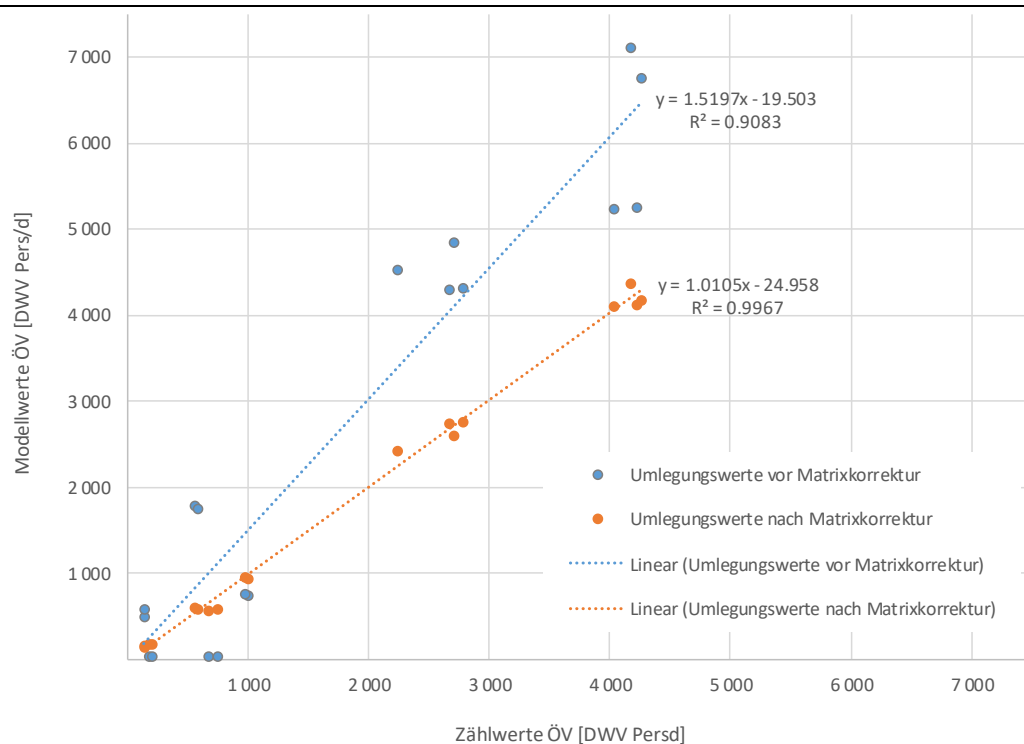


Abbildung 74 zeigt die Veränderung der ÖV-Matrixstruktur anhand der Luftlinienbasierten Reiseweitenverteilung. Die Verteilung der Luftlinienreiseweiten bleibt nahezu konstant. Die Summe der Matrix reduziert sich wie erwartet deutlich von 166'000 auf 110'000 Fahrten.

Abbildung 74 Vergleich der Reiseweitenverteilung, basierend auf Luftlinie, für den ÖV vor und nach der Matrixkorrektur

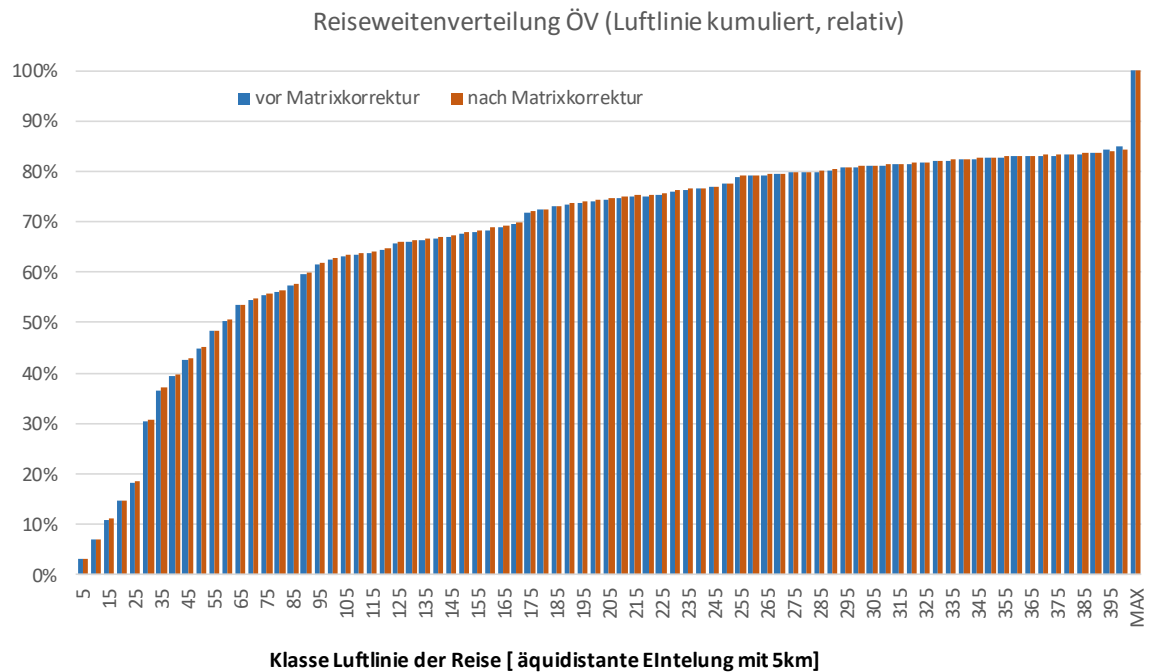


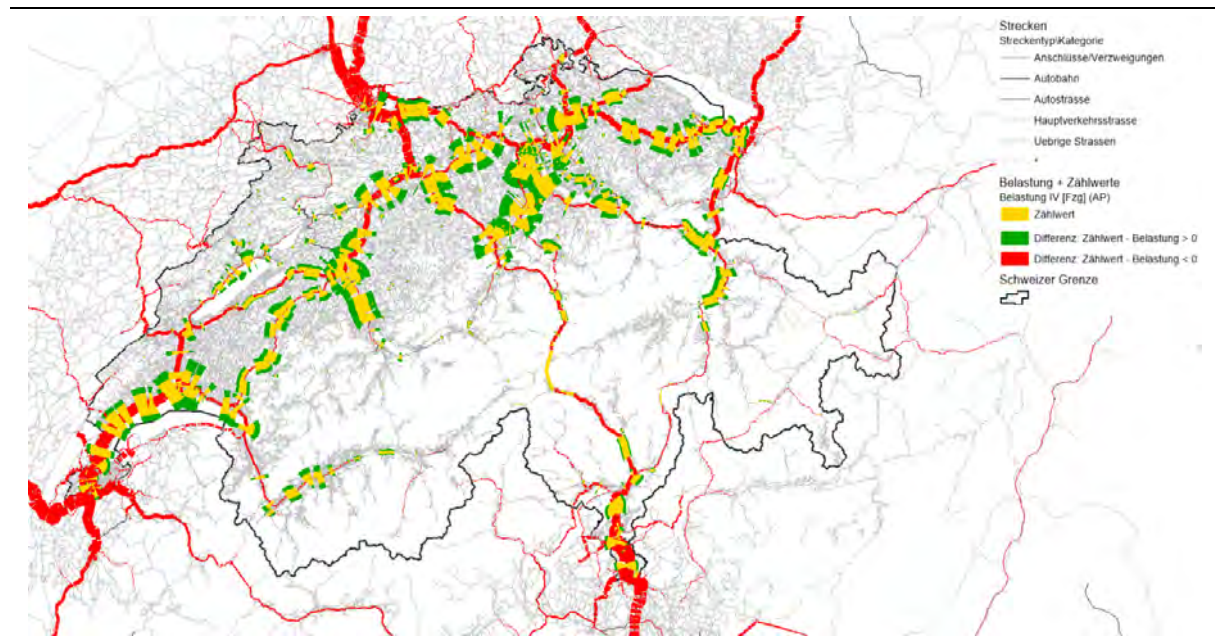
Tabelle 22 fasst nochmals die Umlegungsqualität, bewertet mit dem GEH-Wert zusammen. Sowohl für den ÖV als auch für den PW kann nach der Matrixkorrektur von einer guten Umlegungsqualität ausgegangen werden.

Tabelle 22 Qualität des Umlegungsergebnisses für Aussenverkehr-PW und Aussenverkehr-ÖV vor und nach der Matrixanpassung

GEH-Klasse	Anzahl Zählstellen PW vor/nach Korrektur	Anteil Zählstellen PW vor/nach Korrektur	Anzahl Zählstellen ÖV vor/nach Korrektur	Anteil Zählstellen ÖV vor/nach Korrektur
< 5	36/111	17%/54%	0/17	0%/94%
< 10	66/159	15%/23%	2/1	11%/6%
> 10	140/57	68%/23%	16/0	89%/0%
Summe	206/206	100%/100%	18/18	100%/100%

Das Umlegungsergebnis für den PW-Aussenverkehr ist in Abbildung 75 dargestellt. Rot dargestellt sind die Belastungsbalken, wenn kein Zählwert vorhanden ist. Grüne Balken zeigen eine positive Differenz zwischen Zählwert und Umlegungsergebnis. Dies ist die Differenz, welche vom Binnenverkehr der Schweiz aus dem Nachfragemodell aufgefüllt wird. Es ist erkennbar, dass sich die grünen Balken in entsprechender Breite entlang der Autobahnen ziehen. Für den ÖV ergibt sich ein analoges Bild.

Abbildung 75 Umlegungsergebnis PW-Aussenverkehr nach Matrixkorrektur



1.3.3 Grenzgängerstatistik (GGS)

In Ergänzung zur Erhebung A+GQPV stehen auch Daten zu den Grenzgängern zur Verfügung. Durch die GGS (BFS, 2017), die insgesamt rund 312'000 Grenzgänger in 2016 zählte, sind die Arbeitsorte in der Schweiz und die Wohnstandorte im Ausland bekannt. Angaben zum Verkehrsmodus fehlen. Hinsichtlich des Arbeitsstandorts in der Schweiz weist die Statistik die Gemeinde aus, bezogen auf den Wohnstandort im Ausland die jeweilige Postleitzahl (PLZ). Auf Basis einer durch den AG bereitgestellten Datenbank⁶ zu den Grenzgängern wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Validierung der einpendelnden Grenzgänger in der GGS;
- Berechnung der einpendelnden Grenzgänger für die Schweizer NPVM-Zonen;
- Berechnung der Pendlermatrix auf der Stufe der NPVM-Zonen.

Informationen aus der GGS

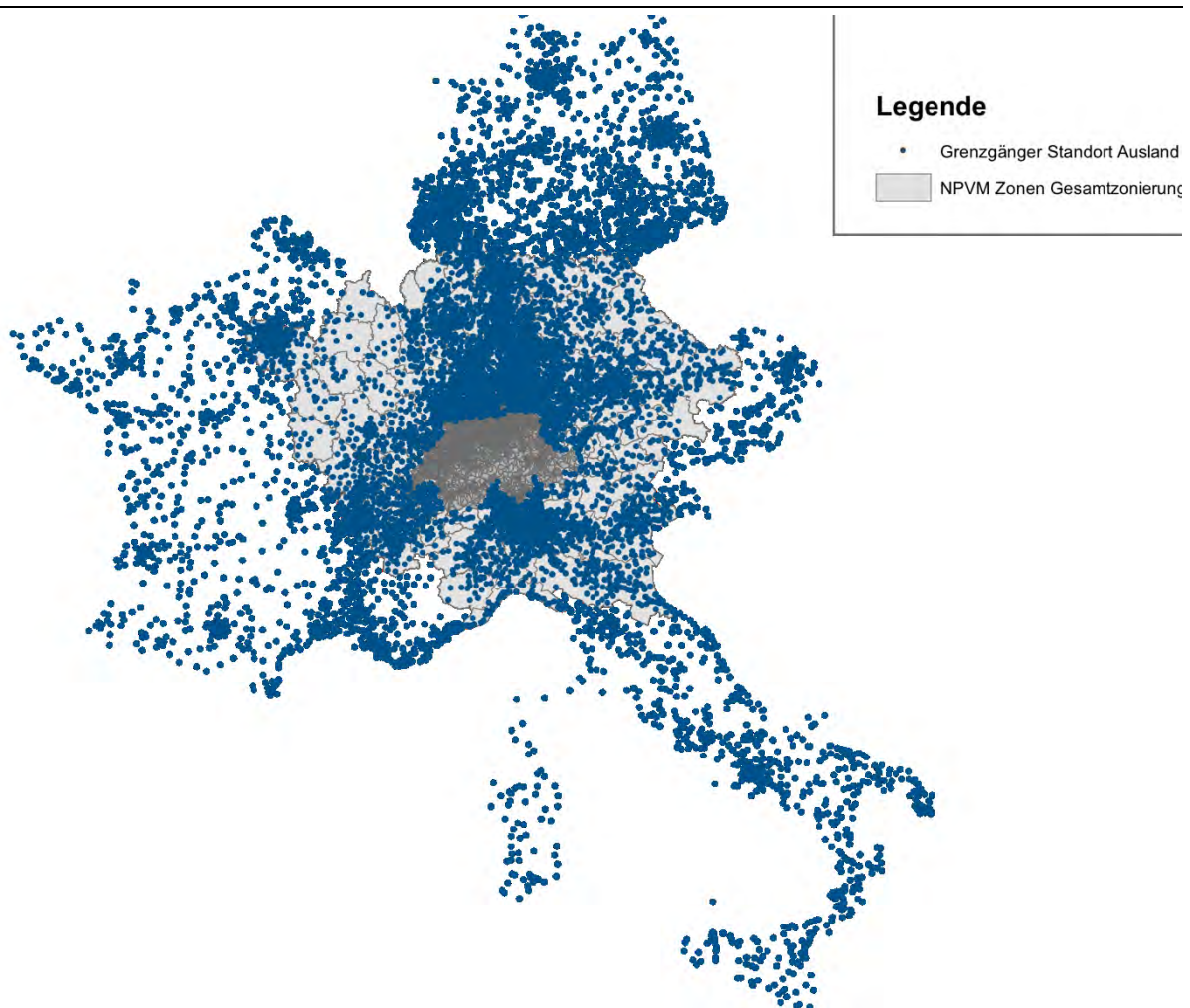
Die GGS ist eine Synthesestatistik, deren wichtigste Quellen die Beschäftigungsstatistik (BESTA) bzw. Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT), das Zentrale Migrationsinformationssystem (ZEMIS) und die Betriebszählungen (BZ) sind. Die GGS wurde als Ergänzung zum ZEMIS eingeführt, welches die ausgestellten Grenzgänger-Bewilligungen erfasst (in der Regel 5 Jahre gültig und erneuerbar), da die Grenzgänger die Einstellung einer Tätigkeit den Behörden nicht systematisch melden. Es ergibt sich ein erheblicher Unterschied (20.4% Ende 2014) zwischen den tatsächlich erwerbstätigen Grenzgängern und den Bewilligungen gemäss ZEMIS (vgl. BFS, 2016a). In den durch das BFS zur Verfügung gestellten Daten in der GGS wird dem über einen Gewichtungsfaktor je Relation

⁶ Die vom BFS zur Verfügung gestellten Daten wurden vorgängig durch das ARE aufbereitet. Insbesondere die Angaben zu den PLZ-Standorten der Wohnorte im Ausland mussten für einen Teil der Daten korrigiert werden.

(PLZ Wohnort im Ausland zu Arbeitsgemeinde in der Schweiz) Rechnung getragen, indem die effektiven Bewilligungen entsprechend reduziert werden. Die GGS ist somit nicht als exaktes Abbild der realen Grenzgängerbewegungen zu verstehen, sondern ist aufgrund der Gewichtung mit gewissen Unschärfen verbunden. Aus der Gewichtung erklärt sich somit auch die grosse Anzahl an Relationen in der GGS mit Werten < 1 (39'000 Pendlerbeziehungen bzw. rund 10% der Grenzgänger).

Abbildung 76 zeigt die räumliche Verteilung der Wohnsitze der Grenzgänger aus der GGS. Der grösste Anteil der Grenzgänger kommt erwartungsgemäss aus dem grenznahen Gebiet um die Schweiz und aus bevölkerungsreichen Regionen wie Paris oder Berlin. Ausserhalb des Modellperimeters des NPVM sind nur noch rund 7'700 Grenzgängerbeziehungen (mit 6'150 Grenzgängern) in der GGS enthalten – der grösste Teil dieser Beziehungen hat den Wert < 1 (7'100 Beziehungen mit 5'070 Grenzgängern).

Abbildung 76 Räumliche Verteilung der Angaben aus der Grenzgängerstatistik



Generell nimmt die Anzahl Grenzgänger mit zunehmender Distanz zur Schweiz ab (vgl. Abbildung 77) – der absolut grösste Teil der Beziehungen findet in unmittelbarer Nähe zur Grenze statt. Am Beispiel der Grenzgängerbeziehungen mit Jestetten (D) an der Grenze zu Schaffhausen und Zürich wird zudem ersichtlich, dass die Grenzgängerströme in erster Linie zu den grossen Städten und Arbeitsplatzzentren verlaufen (Abbildung 78).

Abbildung 77 Grenzgängerbeziehungen 2016 innerhalb des NPVM-Perimeters, ohne Beziehungen < 10

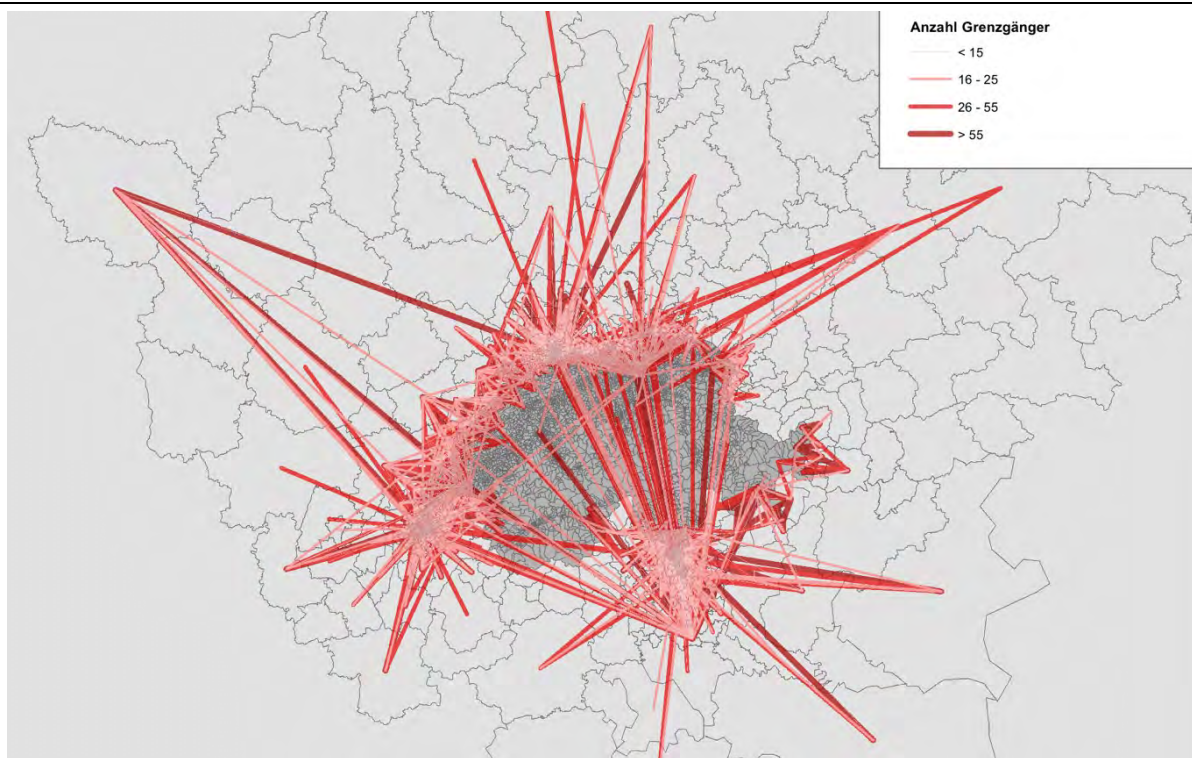
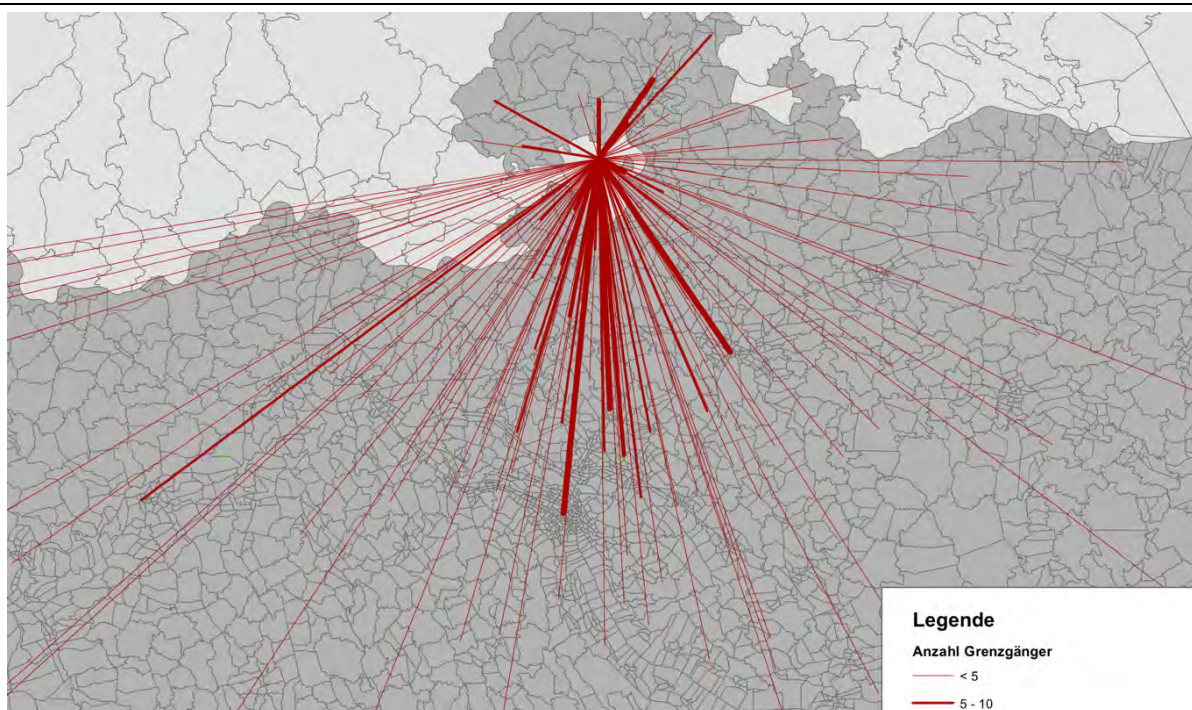


Abbildung 78 Anzahl und Verteilung der Grenzgänger aus Jestetten (D)



Hochrechnung der Grenzgänger für die Schweizer NPVM-Zonen

Die im ZEMIS erfassten Grenzgänger sind gemäss SEM (2017) Personen mit Wohnsitz im Ausland (EU-27/EFTA-Mitgliedstaaten), die in der Schweiz arbeiten und mindestens einmal pro Woche an den Wohnort zurückkehren. Dies bedeutet, dass ein Teil der Grenzgänger nicht täglich in die Schweiz pendeln, sondern Wochenaufenthalter sind. Im Verkehrsmodell sind indes die (täglichen) Pendler relevant. Zur Ableitung der Tagespendler aus der GGS wurden folgende zwei Schritte durchgeführt:

- Umrechnung der Grenzgänger in NPVM-Zonen;
- Hochrechnung des Anteils an Tagespendlern.

Die Aufteilung der Anzahl Grenzgänger von Gemeindewerten zu Werten je NPVM-Zone erfolgte anhand der räumlichen Verteilung der Beschäftigten. Um die Grenzgänger **GG** der Zone **z** zu berechnen, wurde die Anzahl Grenzgänger der entsprechenden Gemeinde **g** mit dem Verhältnis zwischen der Anzahl Beschäftigten **Emp** in der NPVM-Zone und der Gemeinde multipliziert:

$$GG_z = GG_g * \frac{Emp_z}{Emp_g}$$

Um den Anteil der Tagespendler abschätzen zu können, wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis Wochenaufenthalter zu Tagespendler im Wesentlichen von der Distanz zwischen Wohn- und Arbeitsort abhängt. Um die Tagespendler unter den Grenzgängern **TG** in der Zone **z** zu berechnen wurde die oben berechnete Anzahl Grenzgänger **GG_z** mit einem distanzabhängigen Korrekturfaktor **fd** multipliziert:

$$TG_z = GG_z * fd$$

Der Korrekturfaktor wurde aufgrund einer Plausibilisierung und einem Vergleich mit der Pendlerstatistik (insbesondere konkrete Beobachtungen von Pendlerbeziehungen nach Zürich und Luzern) abgeschätzt. Folgende distanzabhängige Annahme wird für den Parameter **fd** getroffen, um die Anzahl der täglichen Einpendler aus der GGS abzuschätzen:

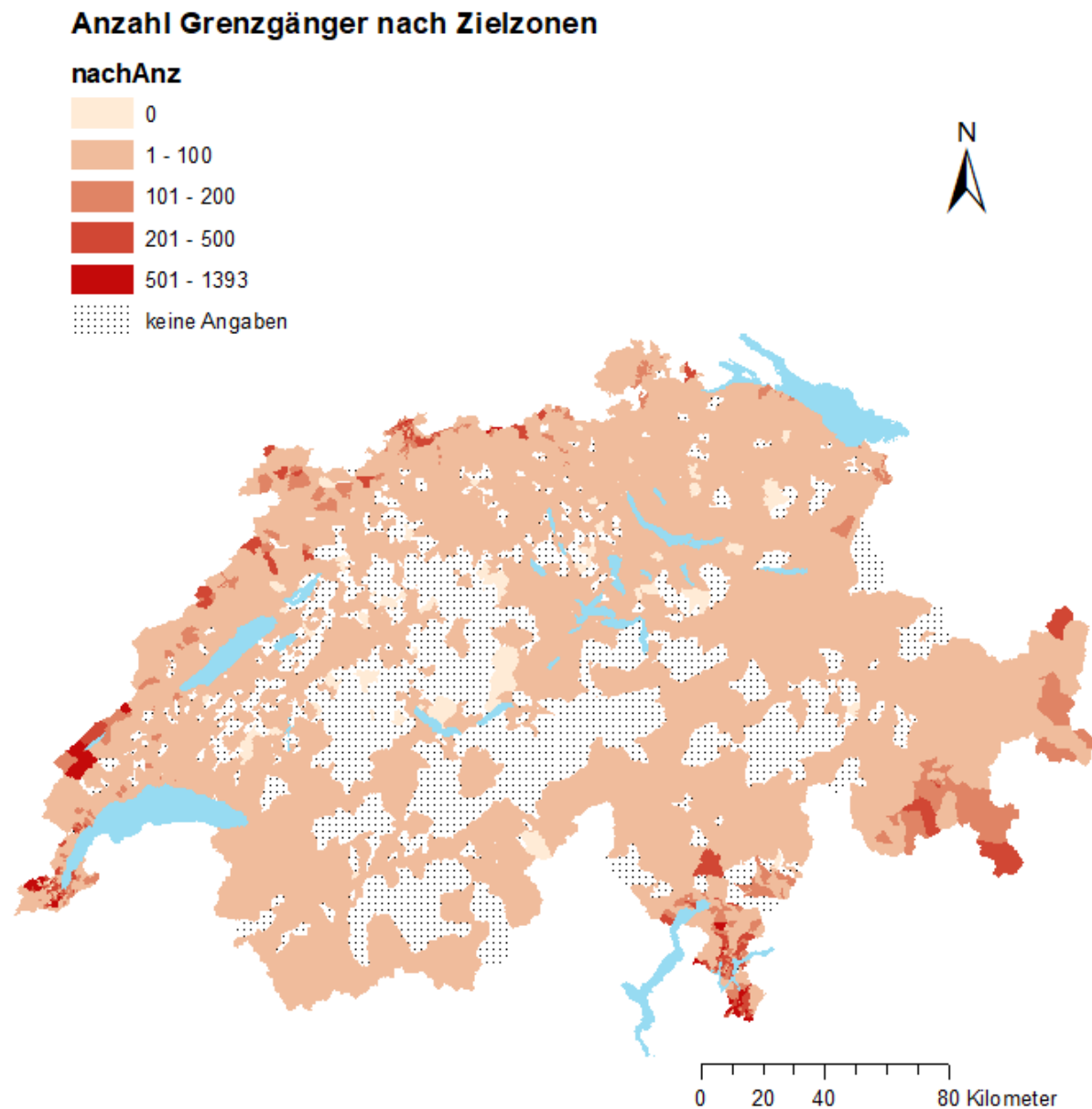
- in einem Umkreis von 50 km ab der Schweizer Grenze sind 100% der angegebenen Grenzgänger: tägliche Einpendler;
- bis 60 km: 50%;
- bis 70 km: 25%;
- bis 80 km: 13%;
- bis 90 km: 6%;
- bis 100 km: 3%;
- ab einem Abstand von mehr als 100 km ab der Grenze wird davon ausgegangen, dass keine Grenzgänger mehr täglich in die Schweiz einpendeln.

Insgesamt werden durch diese Annahmen rund 3'000 Grenzgänger (< 1% der Gesamtzahl an Grenzgängern) innerhalb des Perimeters von bis zu 100 km und 14'000 Grenzgänger (4.5%) ausserhalb des Perimeters (d.h. in Entfernung > 100 km) vernachlässigt. Es ist zudem anzunehmen, dass diese Grenzgänger in den Flughafenpassagieren zumindest teilweise enthalten sind.

Validierung Pendlermatrix der Grenzgänger für die NPVM-Zonen

Zur visuellen Überprüfung sind in der nachstehenden Abbildung 79 und Abbildung 80 die Anzahl Grenzgänger pro Schweizer NPVM-Zielzone sowie die Anzahl Grenzgänger pro ausländischer NPVM-Quellzone dargestellt:

Abbildung 79 Anzahl der Grenzgänger in die schweizerischen Zielzonen (GGs des BFS für 2016)

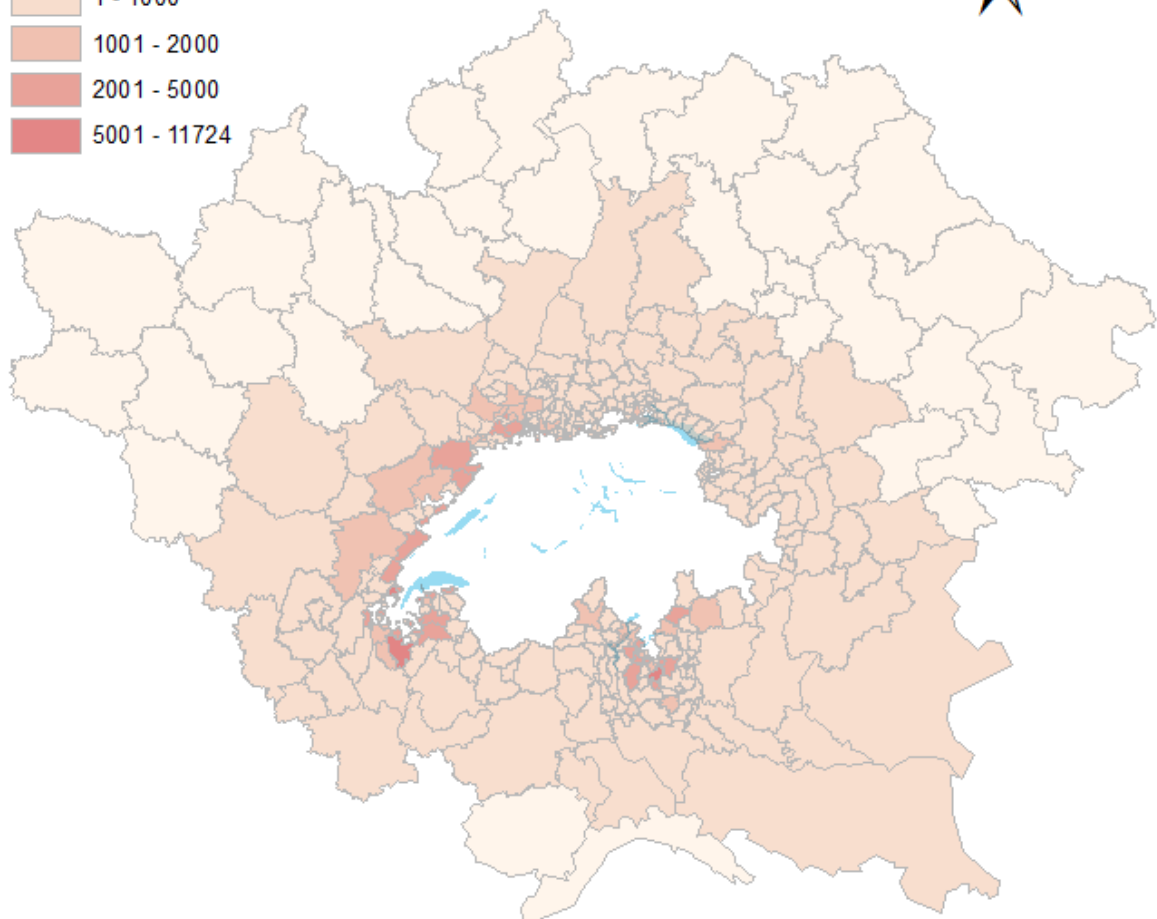
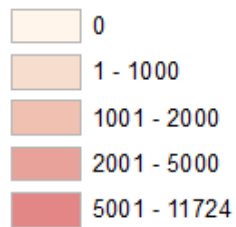


Die Verteilung der Grenzgänger ist erwartungsgemäss am höchsten in den grenznahen Gebieten. Es gibt wenige Zonen mit keinen Grenzgängern und einige Zonen im Innern der Schweiz ohne Angaben (wahrscheinlich ebenfalls mit keinen Grenzgängern).

Abbildung 80 Anzahl der Grenzgänger aus den ausländischen Quellzonen in die Schweiz (GGs des BFS für 2016)

Anzahl Grenzgänger nach Quellzone

vonAnz



0 70 140 280 Kilometer

Auch hier entspricht die Verteilung der Wohnorte der Grenzgänger in grenznahen Gebieten der Erwartung. Mit zunehmender Entfernung von der Schweiz, nimmt die Anzahl an Grenzgängern ab.

Abbildung 81 Gegenüberstellung der Quellverkehre von GGS und A+GQPV für den Zweck Arbeit

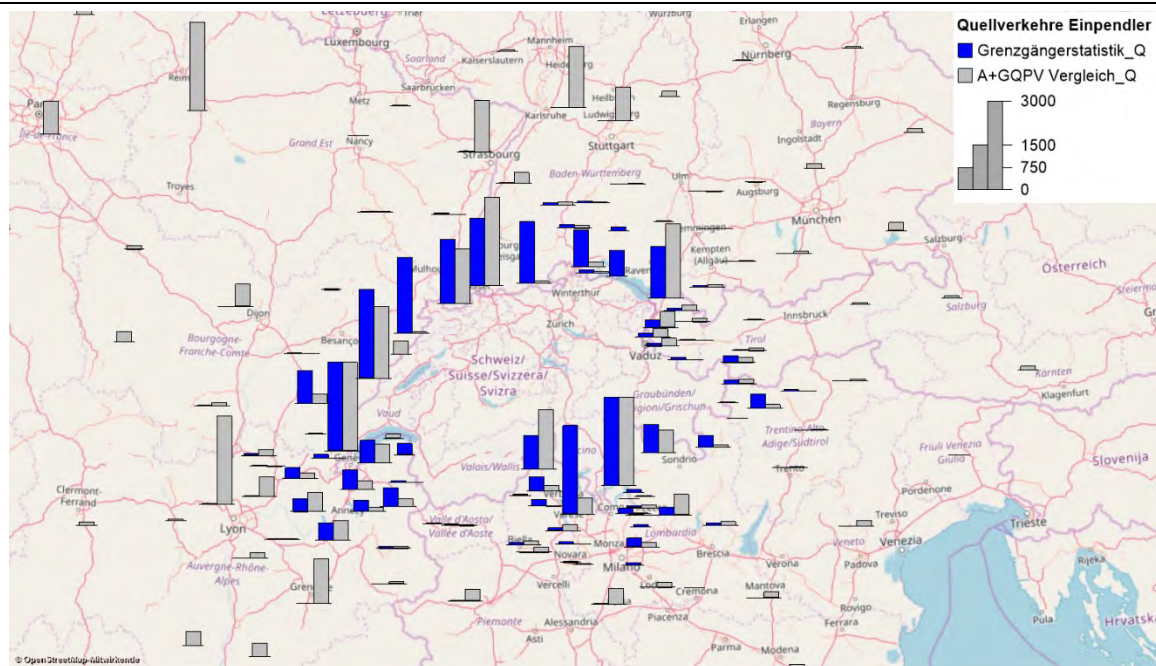
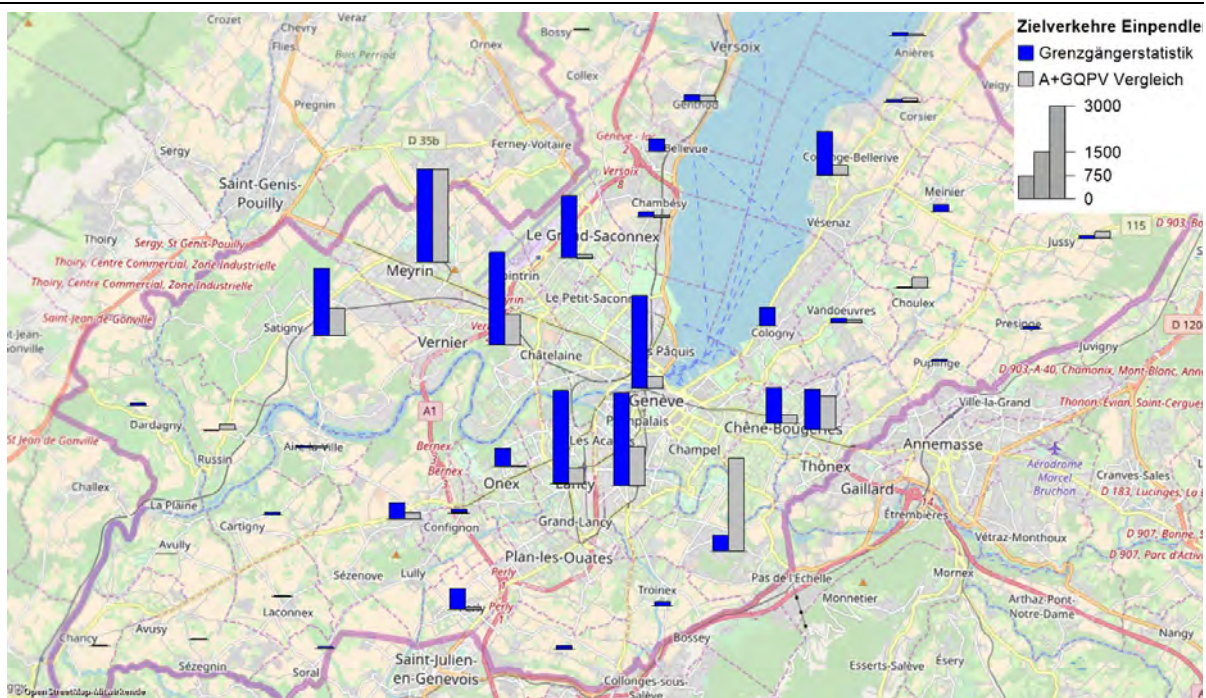


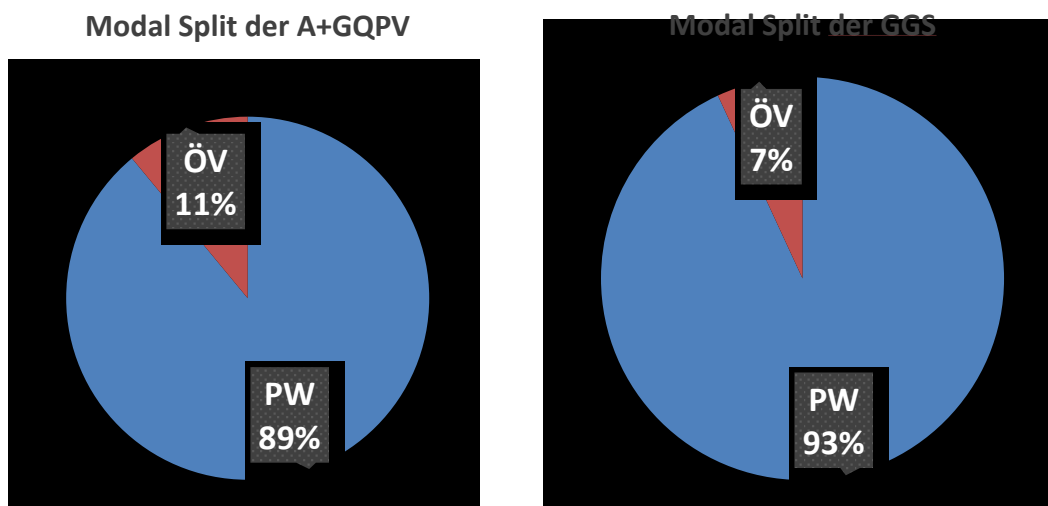
Abbildung 82 Gegenüberstellung der Zielverkehre von GGS und A+GQPV für den Zweck Arbeit



Die Gegenüberstellung von GGS und A+GQPV Erhebung zeigt, dass die Verteilung der Wohnorte der Arbeitspendler vor allem in Grenznähe durch die GGS genauer abgebildet werden kann. Auch im absoluten Pendleraufkommen gibt es Unterschiede zwischen den Datensätzen. Im 1. Ring weist die GGS 105'242 Einpendler mehr, im 2. Ring 20'221 Einpendler weniger auf als durch die A+GQPV Erhebung ermittelt.

Für die Arbeitswege lässt sich die Genauigkeit der Aussenverkehre durch die GGS verbessern. Da im Rahmen der A+GQPV Erhebung alle Interviews an Zählwerten des Gesamtverkehrs hochgerechnet wurden, können die Arbeitswege nicht einfach durch die Ergebnisse der GGS ersetzt werden. Vielmehr werden die modalen Gesamtverkehrsaufkommen der Matrizen auf Basis der A+GQPV als gesetzt beibehalten. Um den höheren Detailgrad der GGS dennoch zu nutzen, werden die in der Erhebung ermittelten Verkehre gemäss der Verteilung der Wohnorte der Grenzgänger umgewichtet. Dabei bleiben die Randsummen der Grenzregionen konstant, um die Hochrechnung der restlichen Verkehre nicht zu beeinflussen. Die Aufteilung auf die Verkehrsmodi, die in der GGS nicht erfasst ist, geschieht für jede Aussenzone auf Grundlage des Modal Split aus der A+GQPV-Erhebung. Aufgrund der grösseren Datenbasis werden für die relationsgenaue Berechnung sämtliche Wegezwecke der A+GQPV Erhebung als Grundlage für den Modal Split herangezogen. Falls für einzelne Aussenzonen keine Daten vorliegen, wird stattdessen der globale MIV-Anteil der Aussenverkehre mit dem Zweck Arbeit von 89% verwendet. Der globale MIV Anteil über alle Wegezwecke liegt bei 91%.

Abbildung 83 Modal Split der Grenzgängerverkehre; links: GQPV (Arbeitswege, BFS), rechts: GGS (Zweck Arbeiten, BFS)



Die GGS weist mehr Quellverkehr aus Aussenbezirken mit schlechter ÖV-Anbindung auf als die A+GQPV Erhebung. Daher ist der resultierende globale ÖV-Anteil der GGS niedriger.

1.4 Aufbereitung der Zähldaten

1.4.1 MIV

Die Zähldaten sind für die Validierung des Verkehrsmodells eine sehr wichtige Grundlage. Diese werden benötigt, um die Übereinstimmung zwischen berechneten Modellwerten und beobachteten Werten zu beurteilen und geben Hinweise darauf, ob Modellanpassungen notwendig sind. Die Qualität des Modells hängt entsprechend auch von der Anzahl, der Qualität und der räumlichen Verteilung von Zähldaten ab.

Strassen

Bei der Aufbereitung und Verwendung von Zähldaten auf der Strasse ist zwischen den Zähldaten des ASTRA auf dem Nationalstrassennetz und den Zähldaten von Kantonen und Städten zu unterscheiden. Auf Nationalstrassen wurden vom ASTRA (wo vorhanden) stundenfeine und richtungsgetrennte Zähldaten mit Stand 2016 und 2017 zur Verfügung gestellt. Die Zählstellen wurden dem Strassennetz der Schweiz zugeordnet und ein Zuordnungsfile zwischen dem Strassennetz und den Zähldaten erstellt und plausibilisiert. Die Zähldaten sind nach Fahrzeugklassen (PW, Lieferwagen, Lastwagen und Last- und Sattelzug) unterteilt und nach den geforderten Modellzuständen (DWV, Morgen- und Abendspitzenstunden, DTV) differenziert.

Die Beschaffung kantonaler Zähldaten erfolgte durch das ARE. Im Gegensatz zur Nationalstrasse besteht auf kantonaler Ebene eine hohe Heterogenität bzgl. Verfügbarkeit, Anzahl, Qualität und Dateiformaten, in denen die Zähldaten zur Verfügung gestellt werden. Die Herausforderung bestand entsprechend vor allem darin eine harmonisierte Zähldatenbank der kantonalen Daten zu erstellen, welche Zähldaten differenziert nach den notwendigen Fahrzeugklassen und Modellzuständen vorhält. Des Weiteren fanden punktuell zusätzliche Zählwerte aus kantonalen Verkehrsmodellen Berücksichtigung, die aus Projekten der Modellersteller übernommen werden konnten. Zudem wurden Zähldaten für die Städte Fribourg, Genf, Lausanne und das Wallis durch das ARE beschafft und aufbereitet. Zusätzlich wurden Zähldaten aus den GVM Zürich, Zug, Bern, Solothurn, Basel, Aargau, St. Gallen, Luzern, Genf und Tessin zugespielt.

Vorgehen Datenaufbereitung

Da die Kantone unterschiedliche Datenformatierungen der Rohdaten aufwiesen, erfolgte die Datenaufbereitung für jeden Kanton mit separaten Skripten (R, SPSS). Alle Einzelergebnisse dieser individuellen Aufbereitungen liessen sich abschliessend zu einer harmonisierten Datenbank zusammenfügen. Die Skripte lassen sich – vorausgesetzt eine weitgehend unveränderte Lieferung neuerer Zähldaten – neuerlich zu einer Aufbereitung verwenden. Das grundlegende Vorgehen wird hier beschrieben – auf die Spezifika der Aufbereitung jedes einzelnen Kantons wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

In den Rohdaten kommen zwei Fälle zeitlicher Auflösungen vor: stündliche oder tägliche Werte. Bei stündlichen Werten war die Berechnung von DTV, DWV, Morgenspitze und Abendspitze möglich. Bei täglichen Werten wurde jeweils nur ein Wert pro 24h angegeben, in diesen Fällen war nur die Berechnung von DTV und DWV möglich.

Die Auflösungen nach Fahrzeugkategorien wiesen mehrere diverse Abstufungen auf. Teils wurden nur der Totalverkehr gemessen, teils Totalverkehr unter Ausweisung eines Schwerverkehrsanteils und teils Personenwagen,

Lastwagen und Last-/Sattelzüge. Konnten nicht alle für das NPVM notwendigen Differenzierungen (Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge) durch die Rohdaten abgedeckt werden, wurden die fehlenden Werte geschätzt. Vom Totalverkehr wurde der Lkw-Anteil als Summe der LW und LZ pauschal auf 8.3% geschätzt (gewichtetes Mittel von Schwerverkehrsanteil Tag (Nt) und Schwerverkehrsanteil Nacht (Nn)). Der Anteil Last-/Sattelzüge wurde auf 42.3% vom Lkw-Anteil geschätzt. Beide Schätzwerte basieren auf der Auswertung von Daten des ASTRA für die Nationalstrassen. Vom übrig gebliebenen Totalverkehr wurden 7.5% auf Lieferwagen geschätzt (Erfahrungswert der Auftragnehmer aus kantonalen Modell Anwendungen). Im Beispiel für einen Zählwert von 8'500 Fahrzeugen im Total ergeben sich demnach: 298 Last-/Sattelzüge, 407 Lastwagen und 585 Lieferwagen – ergänzt durch die Restgrösse von 7'210 Personenwagen. Über die Angaben in Tabelle 24 kann nachvollzogen werden, in wie vielen Fällen diese vereinfachten Schätzungen notwendig waren.

Bei Rohdaten, die nur Querschnittswerte beinhalteten, wurde je Richtung jeweils die Hälfte des Querschnittswertes verwendet. Weiter wurden Messreihen, die mehr als fünf aufeinanderfolgende Tage keine Werte beinhalteten, nicht mit in die Aufbereitung einbezogen. Die Qualitätsstufen wurden anschliessend aufgrund folgender Zusammenstellung ermittelt (falls keine Angaben zu einer Variablen vorhanden waren, wurde die Qualitätsstufe entsprechend reduziert).

Tabelle 23 Qualitätsstufe der Zählzeiten nach Dateneigenschaften

Qualitätsstufe	Zählmethode	Dauer	Getrennt nach Richtungen	Getrennt nach Fahrzeugklassen
1A	Swiss10 / Swiss7	> 30 Tage	Ja	Ja
1B	Swiss10 / Swiss7	> 30 Tage	Ja	Nein
1C	Swiss10 / Swiss7	> 30 Tage	Nein	Ja
2A	Swiss10 / Swiss7	7 – 30 Tage	Ja	Ja
2B	Swiss10 / Swiss7	7 – 30 Tage	Ja	Nein
2C	Swiss10 / Swiss7	7 – 30 Tage	Nein	Ja
3A	Händisch / NA	>1 Tag	Ja	Ja
3B	Händisch / NA	>1 Tag	Ja	Nein
3C	Händisch / NA	>1 Tag	Nein	Ja
4	Händisch / NA	alle	Nein	Nein

Die Digitalisierung der einzelnen Zählstellen erfolgte von Hand. Über die Koordinaten der Zählstellen und ihren Namen sowie die Richtungsangaben konnten sie einer Strasse und einem einzelnen Streckenabschnitt des Netzes zugeordnet werden. Die Richtungsangaben variierten je nach Kanton. Meistens wurden die Richtungen in folgender Form angegeben:

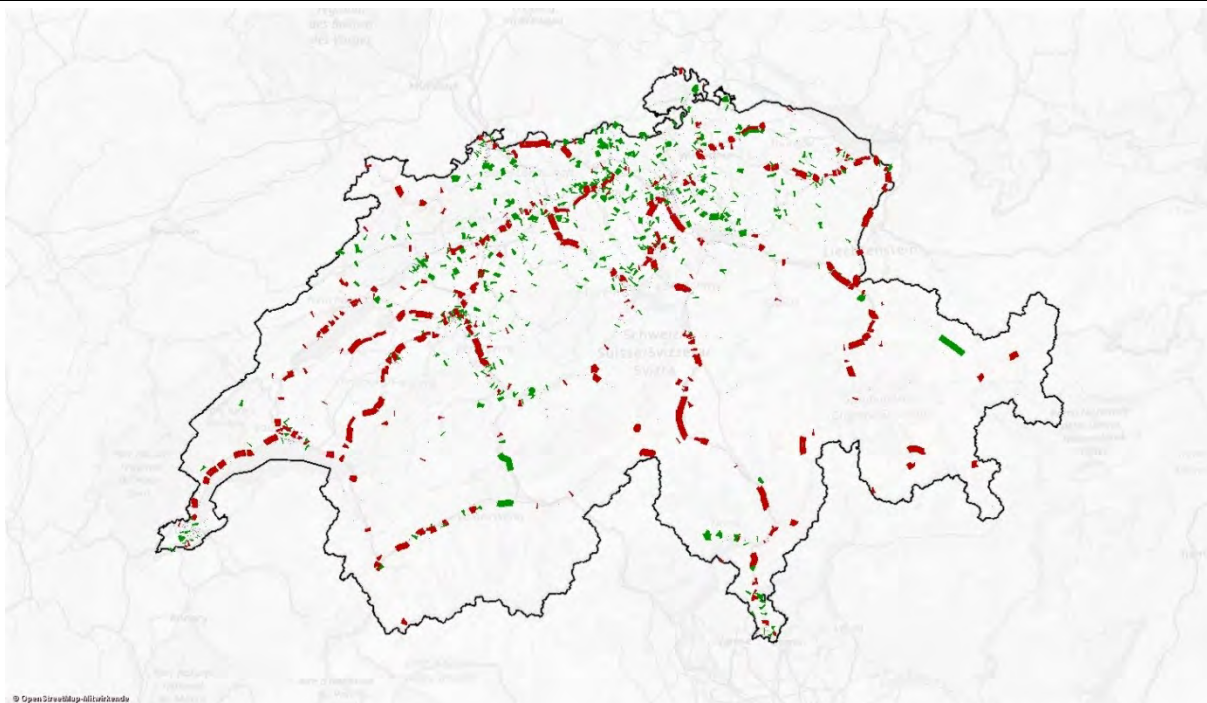
- Richtung 1 nach Ort A;
- Richtung 2 nach Ort B.

Bei Autobahnen, anderen richtungsgetrennten Fahrbahnen, Kreiseln, Knoten und diversen Spezialfällen, waren pro Zählstelle zwei oder mehr Streckenabschnitte (eine pro Richtung pro gemessenen Querschnitt) anzugeben.

In Abbildung 84 ist die räumliche Verteilung der Zählstellen ersichtlich (rot: ASTRA-Zähler, grün: kantonale/städtische Zähler). Die Dichte der Zählzeiten variiert stark. Im Raum Zürich, Basel und Genf waren überproportional

viele Zähldaten vorhanden. Aus den Kantonen AI, GL, NE und GR konnten keine Zähldaten geliefert werden, weshalb dort nur Zähldaten von Nationalstrassen vorhanden sind. Tabelle 24 zeigt auf, wie viele Zähldaten pro Kanton verwendet wurden/werden konnten.

Abbildung 84 Übersicht Zähldaten MIV



rot: ASTRA

grün: Kantone/Städte

Hintergrundkarte: OpenStreetMap

Tabelle 24 Anzahl Zählwerte nach Quelle

Quelle		Anzahl	Fahrzeugdifferenzierung	Anzahl ZST mit geschätzten Anteilen
CH	ASTRA	831	swiss10	-
AG	Kanton Aargau	445	keine	46
AI	Kanton Appenzell Innerrhoden	-	-	-
AR	Kanton Appenzell Ausserrhoden	12	keine	6
BE	Kanton Bern	558	aus GVM übernommen, keine	96
BL	Kanton Basel-Landschaft	35	swiss10	-
BS	Kanton Basel-Stadt	75	swiss10	-
FR	Kanton Freiburg (inkl. Stadt Freiburg)	38	Diff. in 4 Klassen	-
GE	Kanton Genf	130	keine	35
GL	Kanton Glarus	-	-	-
GR	Kanton Graubünden	-	-	-
JU	Kanton Jura	10	keine	5
LU	Kanton Luzern	175	swiss10	-
NE	Kanton Neuenburg	13	swiss10	-
NW	Kanton Nidwalden	6	swiss10	-
OW	Kanton Obwalden	16	swiss10	-
SG	Kanton St. Gallen	231	swiss10	-
SH	Kanton Schaffhausen	30	swiss10	-
SO	Kanton Solothurn	229	swiss10, keine	99
SZ	Kanton Schwyz	134	keine (Schwerverkehrsanteile)	67
TG	Kanton Thurgau	45	swiss10	-
TI	Kanton Tessin	106	keine	20
UR	Kanton Uri	8	swiss10	-
VD	Kanton Waadt (inkl. Stadt Lausanne)	94	swiss10	-
VS	Kanton Wallis	41	swiss10	-
ZG	Kanton Zug	54	swiss10	-
ZH	Kanton Zürich (inkl. Stadt Zürich)	617	swiss10 (184), Diff. in 4 Klassen (105)	-
Sonstige ⁷		8		-
Total		3'941		

⁷ BLS (Autoverlade Lötschberg & Simplon), RhB (Autoverlad Vereina), Zürichsee-Fähre

In Tabelle 25 sind die benutzerdefinierten Streckenattribute zu den Zählwerten in der VISUM-Versionsdatei aufgelistet.

Tabelle 25 Streckenattribute zu MIV-Zählwerten

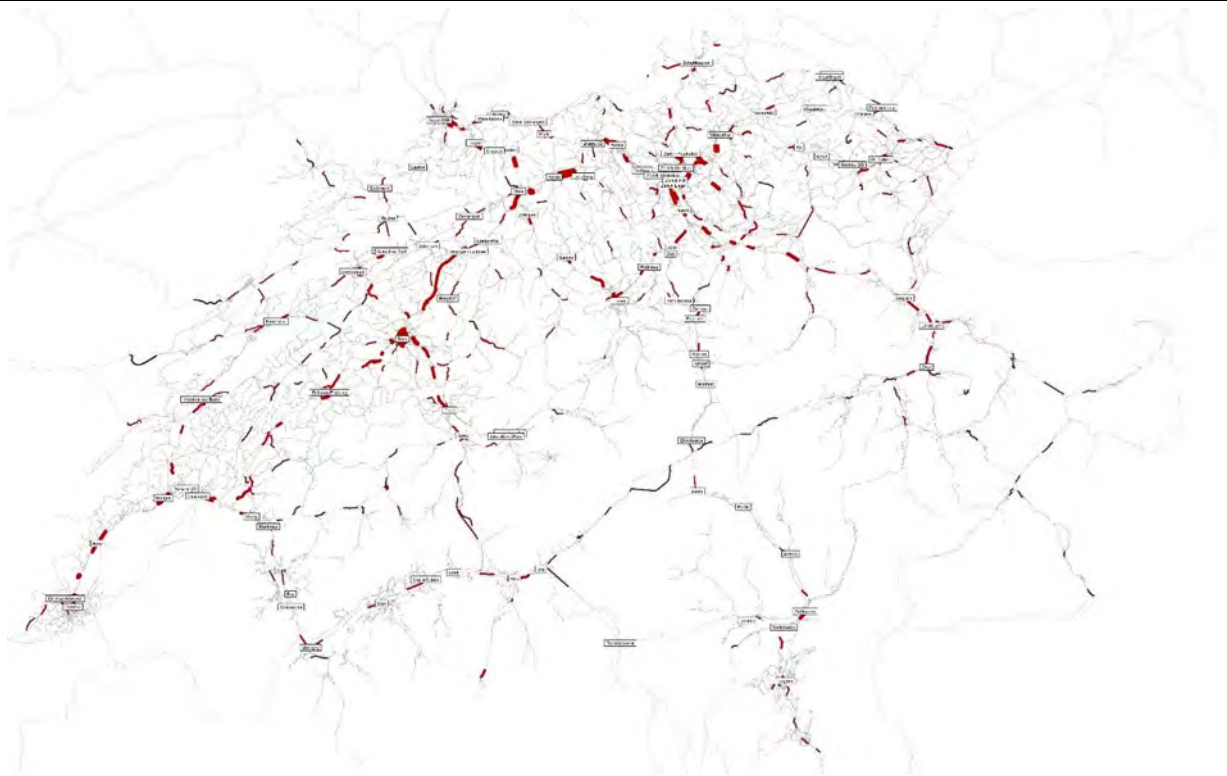
Streckenattribut	Bedeutung
ZST_AMT	Amt / Eigentümer der Zählstelle
ZSTID	Zählstellen-ID
ZST_NAME	Name der Zählstelle
ZST_RICHTUNG	Fahrtrichtung
ZST_RICHTUNG_NAME	Bezeichnung der Fahrtrichtung
ZST_TYP	Typ der Zählstelle
ZST_QUALITAET	Qualitätsstufe der Zählstelle
ZW_N_TAGE	Anzahl gezählter Tage
ZW_DWV_FZG	Zählwert DWV FZG
ZW_DWV_PW	Zählwert DWV PW
ZW_DWV_LI	Zählwert DWV LI
ZW_DWV_LW	Zählwert DWV LW
ZW_DWV_LZ	Zählwert DWV LZ
ZW_DTV_FZG	Zählwert DTV FZG
ZW_DTV_PW	Zählwert DTV PW
ZW_DTV_LI	Zählwert DTV LI
ZW_DTV_LW	Zählwert DTV LW
ZW_DTV_LZ	Zählwert DTV LZ
ZW_MSP_FZG	Zählwert MSP FZG
ZW_MSP_PW	Zählwert MSP PW
ZW_MSP_LI	Zählwert MSP LI
ZW_MSP_LW	Zählwert MSP LW
ZW_MSP_LZ	Zählwert MSP LZ
ZW_ASP_FZG	Zählwert ASP FZG
ZW_ASP_PW	Zählwert ASP PW
ZW_ASP_LI	Zählwert ASP LI
ZW_ASP_LW	Zählwert ASP LW
ZW_ASP_LZ	Zählwert ASP LZ
GVM_KANTON	Kanton, aus dessen GVM zusätzliche Zählwerte übernommen wurden
ZW_GVM_xxx	aus GVM übernommener Zählwert FZG
ZW_xxx_ARE	vom ARE zusätzlich recherchierte Zählwerte
ZW_GVM_FZG_inkl_GVM	Zählwert inklusive GVM- und ARE-Zahlen

1.4.2 ÖV

Bei der Aufbereitung und Verwendung der ÖV-Zählraten ist zwischen Zählungen der SBB auf dem Schienennetz und Passagierzahlen der Tarifverbünde zu unterscheiden. Hinsichtlich der Passagierzahlen der SBB für das Schienennetz der Schweiz wurden für ca. 350 Zählquerschnitte stunden- und richtungsbezogen sowie differenziert nach Regional- und Fernverkehr für den DWV, den DTV, die MSP und die ASP (Stände 2016 und 2017) Daten zur Verfügung gestellt. Diese Lieferung beinhaltete auch Daten der weiteren grossen Transportunternehmen (BLS, RhB, MGB, AR, SOB, MOB).

Das ARE hatte zudem bei 18 Tarifverbünden die Belegungsdaten angefragt (für den Zeitraum 2015/2016). Erwartungskonform und ähnlich der Beschaffung der kantonalen MIV-Zählraten zeigten die Rückmeldungen in Qualität und Quantität eine grosse Heterogenität. Wo vorhanden, wurden die ÖV-Zählraten aus kantonalen Modellen mit einem verfügbaren Datenstand 2015 bzw. 2016 verwendet, da diese Daten aufbereitet und überprüft vorlagen. Dafür wurden folgende Modelle herangezogen: GVM Zürich, GVM Bern, GVM Tessin, GVM Aargau und GVM Solothurn. Die anschliessend noch fehlende Abdeckung mit Zählraten wurde über die Lieferungen der Tarifverbünde bedient.

Abbildung 85 Übersicht Zählraten ÖV



Die 464 ausgewählten Tram- und Busquerschnitte wurden einzeln nach ihrer Eindeutigkeit, räumlichen Lage und Repräsentativität ausgewählt. Tabelle 26 gibt einen Überblick zu den verwendeten Zählraten der Tarifverbünde bzw. aus den kantonalen Verkehrsmodellen. Dabei wurde darauf geachtet, dass für alle Linien des jeweiligen Querschnitts Zählraten vorliegen. Weiter wurden bei besonders stark nachgefragten Bahnlinien, wie z.B. die RBS, welche nicht in den SBB Daten enthalten sind, der gesamte Linienweg erfasst.

Tabelle 26 Überblick ÖV-Zählwerte 2016 von Tarifverbünden bzw. kantonalen Modellen

Region/Verbund	Quelle	Anzahl
Kanton Zug	ZVB	5
Kanton ZH/ZVV	GVM Zürich	46
Kanton Genf/Unireso	Unireso	27
Ostschweiz	PostAuto	22
Kanton Luzern/Passepartout	Passepartout	11
Kantone LU/NW/OW/BE	Zentralbahn	27
Kanton Neuenburg/Ondeverte	Ondeverte	17
Kanton Vaud/Mobilis	Mobilis	55
Kanton Fribourg/Frimobil	Frimobil	38
Kanton Aargau/A-Welle	NKM Aargau	44
Kanton Jura/CJ	Chemins de fer du Jura (CJ)	10
Kanton SO/BL	GVM Solothurn	48
Kanton Tessin/Arcobaleno	GVM Tessin/ Arcobaleno	41
Kanton Basel Stadt/TNW	Kanton Basel Stadt	18
Summe		464

Die Zählwerte, welche als Linienrouten-Attribute gespeichert sind, wurden auf die Streckenattribute aufsummiert. In Summe wurden 813 (349 SBB plus 464 andere) Querschnitte mit Zählwerten versorgt. Die Zählwerte sind je nach Datenlage entweder als Linienrouten-Attribute oder als Strecken-Attribute (ZW_XX_TEILRESULTAT) gespeichert. In Tabelle 27 sind die benutzerdefinierten Streckenattribute zu den Zählwerten in der VISUM-Versionsdatei aufgelistet.

Tabelle 27 Streckenattribute zu ÖV-Zählwerten

Streckenattribut	Bedeutung
KW_BAHN_DTV_2016	Zählwerte SBB: DTV 2016
KW_BAHN_DWV_2016	Zählwerte SBB: DWV 2016
KW_BAHN_MSP_7_8_2016	Zählwerte SBB: MSP 2016
KW_BAHN_ASP_17_18_2016	Zählwerte SBB: ASP 2016
ZW_DWV_TEILRESULTAT	Übrige Zählwerte ÖV DWV 2016
ZW_DTV_TEILRESULTAT	Übrige Zählwerte ÖV DTV 2016
ZW_MSP_TEILRESULTAT	Übrige Zählwerte ÖV MSP 2016
ZW_ASP_TEILRESULTAT	Übrige Zählwerte ÖV ASP 2016
ZW_DWV_16	Zählwert gesamter ÖV DWV 2016 (für Modellarbeit)
ZW_DTV_16	Zählwert gesamter ÖV DTV 2016 (für Modellarbeit)
ZW_MSP_16	Zählwert gesamter ÖV MSP 2016 (für Modellarbeit)
ZW_ASP_16	Zählwert gesamter ÖV ASP 2016 (für Modellarbeit)
KW_Qualität	Kommentar zu Zählwerten

Aktualisierung der Zählzeiten für 2017

Für das Jahr 2017 hat die SBB analog zur Lieferung von 2016 die entsprechenden Werte geliefert. Die restlichen Zählzeiten wurden pauschal mit 2% Wachstum von 2016 auf 2017 hochgerechnet und die gleichen Namen wie 2016 mit dem Zusatz 2017 als Streckenattribut gespeichert.

1.4.3 Velo

Angesichts der vorgesehenen Umlegung der Velo-Nachfrage auf ein Velo-Netz bestand eine Anforderung darin, Velo-Zählraten zur Verfügung zu stellen. Der AG beschaffte dazu Daten bei verschiedenen Städten sowie SchweizMobil, harmonisierte die Daten und realisierte die räumliche Zuweisung der Zählwerte im Velo-Netz. Im Ergebnis liegt eine Liste mit 128 Velo-Zählwerten vor, die für die Validierung der Umlegung herangezogen wurden. Nachstehende Tabelle weist die Werte je Datenquelle aus sowie zeigt exemplarisch die räumliche Verteilung der Velo-Zählraten für die Stadt Zürich. Für die Velo-Zählwerte erfolgte keine Hochrechnung auf 2017.

Tabelle 28 Überblick Velo-Zählwerte 2016

Quelle	Anzahl	HinRück	Querschnitt	1Richt	Stand	DTV	DWV
Basel-Landschaft	5	5	5		2016	x	x
Bern	14		12	2	2016	x	x
Basel-Stadt	22	21		1	2016	x	x
Genf	5	5			2016		x
Lausanne	4		4		2016		x
Luzern	10		10		2016	x	
SchweizMobil	34		34		2016	x	x
St. Gallen	14		14		2016	x	
Winterthur	1		1		2016	x	x
Zürich	19		19		2016	x	x
Summe	128						

Abbildung 86 Übersicht Zählraten Velo Stadt Zürich



2 Modelletablierung DWV 2017

2.1 Überblick: Methodik eines Verkehrsmodells

Ein Visum-Verkehrsmodell ist die Summe aus:

- dem Angebotsmodell zur Abbildung von Verkehrsnetz und Verkehrsorganisation,
- der zu Grunde liegenden Raumstruktur, und
- dem Nachfragemodell zur Abbildung des Verkehrsverhaltens einschliesslich der zugehörigen Berechnungsschritte (siehe Kapitel 2.1.1).

Diese Teilmodelle bilden die Nachfrage für einen konkreten Zeithorizont ab (in der Analyse einen sogenannten Ist- oder Basiszustand). Strategische makroskopische Modelle konzentrieren sich in einem ersten Schritt auf die Darstellung des Verkehrs für einen durchschnittlichen Werktag. Aus diesem Tageswert können dann weitere Zeitintervalle abgeleitet werden, zum Beispiel die Abend- und Morgenspitze. Für den Ist-Zustand werden empirische Daten zum Verkehrsverhalten verwendet (Verkehrszählungen, Haushaltsbefragung zum Mobilitätsverhalten) und das Verkehrsmodell an diesen kalibriert.

Die Kalibrierung des Verkehrsmodells erfolgt für die Analyse in einem iterativen Prozess. Dabei werden die Parameter des Verkehrsmodells angepasst, sowohl auf der Ebene des Angebots- als auch des Nachfragemodells. Wenn die Kalibrierung abgeschlossen ist, liegt ein Analyse-Verkehrsmodell vor, welches die Verkehrswahlentscheidungen der Verkehrsteilnehmer hinreichend genau bzgl. der festzulegenden Validierungs- und Kalibrierungsgrössen abbildet. Der grosse Nutzen und Wert eines Verkehrsmodells besteht darin, zukünftige Veränderungen inkl. Abhängigkeiten abzubilden und deren Folge auf die Verkehrsentwicklung aufzuzeigen, z.B.:

- Analysen für die Gegenwart und verschiedene Zeithorizonte in der Zukunft;
- Modelle mit unterschiedlichen Massnahmen (Infrastruktur, Angebot);
- unterschiedliche Annahmen zur Raumstrukturentwicklung (Einwohnerzahl, Altersstruktur);
- unterschiedliche Annahmen zur Verkehrspolitik (veränderte relative Preise);
- unterschiedliche Annahmen zum Verkehrsverhalten (Mobilitätsrate, Freizeitverkehr).

Als Ergebnis der Analyse- und Prognoseberechnung stehen Angaben zu den vorhandenen und zu erwartenden Verkehrsbelastungen der Strecken, Knotenpunkte, Linien und Haltestellen sowie weitere verkehrsplanerische Kenngrössen (beispielsweise Verkehrsleistung und Verkehrszeit) zur Verfügung. Damit können Wirkungen analysiert und Massnahmen bewertet werden.

2.1.1 Methodik und Modellstrukturen im NPVM

Für die Berechnung der Verkehrsnachfrage wird im NPVM das Nachfragemodell EVA nach LOHSE verwendet (Lohse/Schnabel, 2011). Das EVA-Modell ist eine Weiterentwicklung des klassischen Vier-Stufen-Modells der Verkehrsplanung. Es wurde gewählt, weil:

- es sich sowohl für feinteilige städtische und weiträumige regionale Modelle eignet,
- es alle vier Verkehrsarten (MIV, ÖV, Fuss, Velo) einbezieht,
- es die typische europäische Situation mit einem leistungsfähigen, fahrplanabhängigen ÖV-System abbilden kann,

- es durch eine gute Mischung von „Detailauflösung“ und „Näherung“ handhabbare Rechenzeiten erreicht.

Der Modellansatz für das EVA-Nachfragemodell ist eine spezielle Ausprägung des Vier-Stufen-Modells und beinhaltet die theoretische Basis der ersten drei Arbeitsschritte:

- VerkehrsErzeugung (Anzahl beginnende und endende Wege in allen Verkehrsbezirken);
- VerkehrsVerteilung (Zielwahl);
- VerkehrsAufteilung (Moduswahl);
- Umlegung (Routenwahl für jeden Modus).

In der Realität wirkt die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln nicht nur auf die Moduswahl (Verkehrsaufteilung), sondern *gleichzeitig* auch auf die Wahl des Zieles (Verkehrsverteilung). Deshalb werden die Schritte Verteilung und Aufteilung nicht nacheinander, sondern simultan ausgeführt und dies kennzeichnet eine wesentliche Weiterentwicklung des EVA-Ansatzes im Unterschied zum klassischen Vier-Stufen-Modell.

Zu den oben genannten Hauptarbeitsschritten gibt es mehrere vorgeschaltete Arbeitsschritte:

Raumperimeter: Hierbei wird definiert, welche räumliche Ausdehnung das zu modellierende Gebiet haben wird. Dabei werden um das Planungsgebiet (eigentlicher Planungsgegenstand, im Falle des NPVM das Gebiet, in dem per Nachfragemodell das Verkehrsgeschehen beschrieben wird) Gebiete hinzugefügt, mit denen eine bedeutende verkehrliche Verflechtung besteht. Dabei üblich ist eine Unterteilung in eine Umlandfläche und spezielle Kordonzonen, mit deren Hilfe der weiträumige Verkehr („Aussenverkehr“) in die Modellberechnungen integriert werden kann. Für das Planungsgebiet und Umland wird i.d.R. das Nachfragemodell aufgebaut, für den Aussenverkehr wird häufig aus anderen Planungen und Berechnungen eine konstante Matrix übernommen. Im Fall des NPVM entspricht das Planungsgebiet der Schweiz (+ Liechtenstein, Campione, Büsingen), während die Verflechtungen mit dem Umland und dem weiter entfernten Ausland (Kordonpunkte) über die statische Matrix des Aussenverkehrs abgebildet werden.

Verkehrszoneneinteilung: Das gesamte Untersuchungsgebiet, bestehend aus Planungsgebiet, Umland und Kordon, wird in Verkehrszonen unterteilt. Die Grösse richtet sich nach örtlichen Gegebenheiten, z.B. trennenden Infrastrukturen und natürlichen Raumbarrieren, den Strukturdaten innerhalb der Zonen (z.B. Anzahl Einwohner und Arbeitsplätze), vorhandenen Unterteilungen anderer Fachgebiete (zum Beispiel Verwaltungseinheiten, Postleitzahlen) und der Datenverfügbarkeit. Für das NPVM wurde die Einteilung neu definiert (siehe ARE, 2017d).

Datengrundlagen: Datengrundlagen zum Verkehrsverhalten und zur Flächennutzung entsprechend der Segmentierung gehören zu jedem Verkehrsmodell. Die Daten sind die Eingangsgrössen für den Berechnungsalgorithmus oder dienen in der Phase der Validierung und Kalibrierung als Vergleichswerte. Für das NPVM sind der MZMV 2015 und die SP-Befragung 2015 sowie die Strukturdatentabelle als Resultat der Synthetischen Population (ARE/SBB, 2019) die dahingehend zentralen Eingangsgrössen.

Segmentierung: Mit der Segmentierung wird die gesamte Nachfrage im Untersuchungsgebiet in homogene Schichten geordnet. Dafür werden mehrere Kriterien genutzt:

- Fahrtzwecke für den privaten Verkehr, z.B. Arbeiten, Einkaufen, Bildung;
- Personengruppen, z.B. in Abhängigkeit von Alter, Erwerbsumfang und Mobilitätswerkzeugbesitz;
- Verortung von Start und Endpunkt eines Weges in Bezug zum Planungsgebiet: Binnenverkehr, Quell- und Zielverkehr, Verkehre mit Start und Ziel ausserhalb des Planungsgebiets;

- Anlass/ökonomische Motivation (Privater Personenverkehr, Wirtschafts- und Güterverkehr).

Zusammen mit den Verkehrsmodi im privaten Personenverkehr (Fuss-, Velo- und PW-Verkehr, öffentlicher Personenverkehr) oder den Fahrzeugklassen des Wirtschafts- und Güterverkehrs entstehen abgegrenzte und geordnete homogene Schichten des gesamten Verkehrsgeschehens. Für das NPVM wurde die Segmentierung der Nachfrage des Personenverkehrs im Rahmen der Analyse der SP-Befragung 2015 vorgenommen (siehe ARE, 2017a bzw. das nachfolgende Kapitel 2.2.1). Die Differenzierung des Wirtschaftsverkehrs erfolgt in die drei Kategorien des Strassengüterverkehrs von Lieferwagen (LI), Lastwagen (LW) sowie Last- und Sattelzügen (LZ), siehe ARE, 2019.

Mit dem Arbeitsschritt **Verkehrserzeugung** wird das Verkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsbezirke berechnet. Eingangsgrösse hierfür sind die verhaltenshomogenen Personengruppen, die sonstigen Strukturgrössen (z.B. Arbeitsplätze, Besucherzahlen von Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen) und die Mobilitätsraten der Einwohner. Aus rechnerischer Sicht entstehen in diesem Schritt die Randsummen(-vektoren) der Nachfragematrizen. Bei der Erzeugung im NPVM wurde darauf geachtet, dass für bestimmte Nachfrageschichten die Quell- und Zielverkehrsaufkommen für Teilräume (zum Beispiel MS-Regionen) ausgeglichen sind (Teilraumausgleich, siehe Kapitel 2.6.2).

Im Schritt Verkehrsverteilung werden die Verkehrsströme zwischen Quellbezirken und Zielbezirken berechnet. Unter Berücksichtigung der spezifischen Aufwände je Verkehrsmodus (z.B. Zeiten, Kosten) erfolgt dazu die Verteilung eines Quellaufkommens auf die im Untersuchungsgebiet erreichbaren Ziele. Die Aufwände oder Kenngrössen werden vor dem Hintergrund einer durch die Personen vorgenommenen Nutzenoptimierung bewertet. Im Modell wird zur Darstellung von «Auswahlwahrscheinlichkeiten» eine Bewertungsfunktion benutzt. Im NPVM-Modell wird die Logit-Funktion (siehe Abbildung 87) verwendet bzw. für ausgewählte Kenngrössen eine Box-Tukey-transformierte Logit-Funktion. Mathematisch werden hierbei die Elemente der Verkehrsstrommatrix, d.h. die Anzahl Fahrten oder Wege zwischen Quellen und Zielen, in Abhängigkeit von den Randsummen und der Bewertungsgrösse berechnet.

In der EVA-spezifischen, simultanen Berechnung von Verkehrsverteilung und **Verkehrsaufteilung** werden beide Schritte gemeinsam ausgeführt, d.h. zusätzlich zu den quell- und zieleitigen Randsummen werden auch die Vorgaben zum Modal-Split je Quelle-Ziel-Gruppe berücksichtigt. Dazu werden alle relevanten Kenngrössen (Zeit, Längen, Kosten, Takt, Zu- und Abgangszeit, Umsteigehäufigkeit, PW-Verfügbarkeit und ÖV-Zeitkartenanteil) herangezogen und sind gleichzeitig wirksam.

Umlegung für den Strassenverkehr: Es gibt verschiedene Umlegungsverfahren, um einen Verkehrsstrom zwischen Quell- und Zielbezirk auf alternative Routen aufzuteilen und dabei die belastungsabhängigen Widerstände der Strecken und Knoten zu berücksichtigen. Die Algorithmen arbeiten iterativ. In jedem Schritt wechseln sich Prozesse zur Routensuche und zur Aufteilung des Stroms ab. Das Verfahren bricht erst ab, wenn der Widerstand des aktuellen und des vorhergehenden Iterationsschrittes mit hinreichender Genauigkeit übereinstimmen. Es ist ein Nutzergleichgewicht (Pareto Optimum) erreicht, wenn kein Nutzer durch einen Wechsel auf eine andere Route eine Verbesserung erreichen kann. Im NPVM kommt für den Strassenverkehr das diesem Prinzip folgende Gleichgewichtsverfahren Bi-conjugate Frank-Wolfe zum Einsatz.

Umlegung für den ÖV: Wie beim Strassenverkehr gibt es auch für den ÖV verschiedene Möglichkeiten einen Verkehrsstrom zwischen Quell- und Zielbezirk auf alternative Verbindungen aufzuteilen und dabei die Linien, deren Fahrplan, das Umsteigen und den Zu- und Abgang zu Haltestellen zu berücksichtigen. Das im NPVM verwendete fahrplanfeine Verfahren berücksichtigt diese Kriterien in hohem Masse. Es ermittelt für jede Quelle-

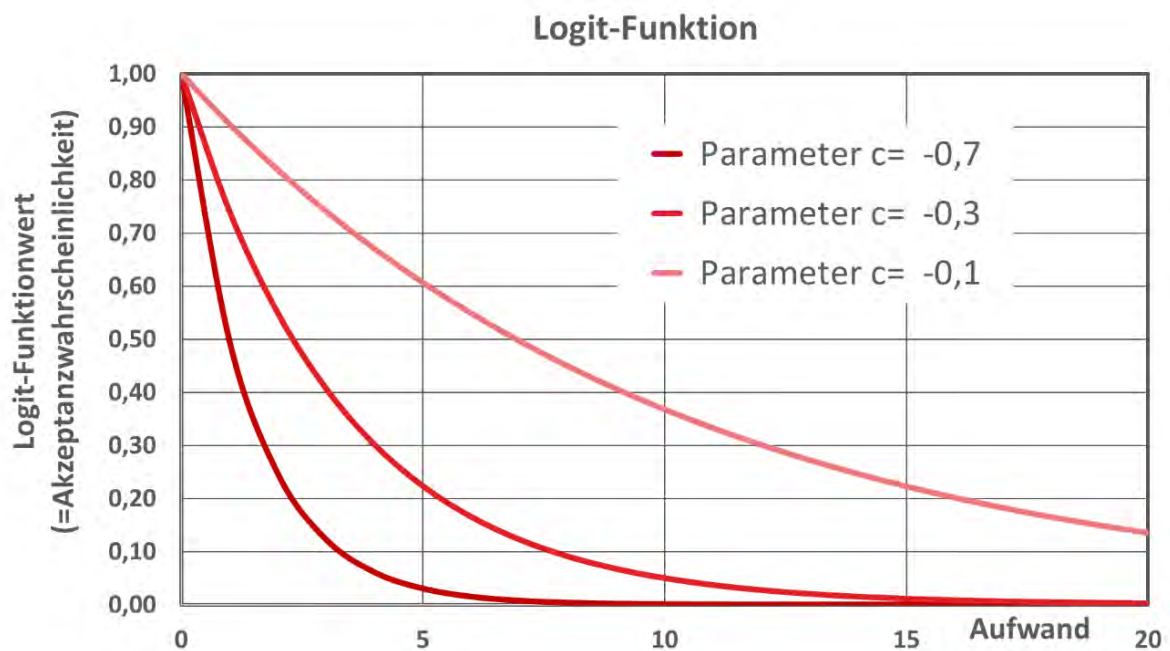
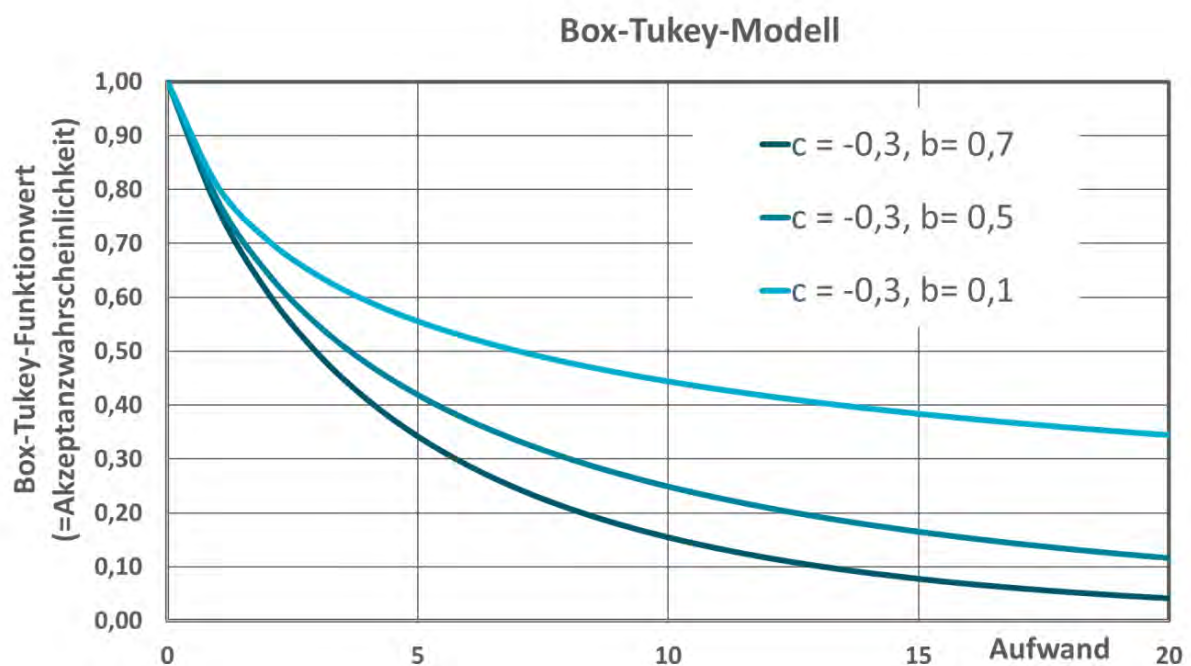
Ziel-Relation Verbindungen und unterstellt bei der Suche, dass die Reisenden über Fahrplaninformation verfügen und ihren Zugangszeitpunkt passend zur Abfahrt der ersten ÖV-Linie wählen. Die vom Routensuchalgorithmus ermittelten Verbindungen werden in einer Verbindungsvorauswahl anhand allgemeiner Kriterien noch einmal dahingehend untersucht, ob manche Verbindungen qualitativ deutlich unterlegen sind und gelöscht werden können. Der Strom wird proportional auf die ermittelten Verbindungen aufgeteilt.

2.1.2 Bewertungsfunktionen

Eine zentrale Aufgabe jedes Verkehrsmodells besteht in einer möglichst realitätsnahen Bewertung der unterschiedlichen Verkehrsangebote. Nachfolgend wird auf die methodische Umsetzung dieses Aspekts vertiefend eingegangen. Zudem erfolgt eine kurze Einführung in die Themen Gleichgewicht und Konvergenz.

Abbildung 87 enthält beispielhaft den Graphen der Bewertungsfunktion für die Reisezeit im ÖV einer Nachfrageschicht. Die Bewertungswahrscheinlichkeit (y -Achse) ist ein Wert zwischen Null und Eins und repräsentiert die Wahrscheinlichkeit einer Ortsveränderung. Anhand des Diagramms wird deutlich, dass bei geringen Aufwandswerten die Bewertungswahrscheinlichkeit nahe dem Wert Eins ist und damit diese den höchsten Nutzen aufweist. Bei steigenden Aufwänden sinkt die Bewertungswahrscheinlichkeit. Für hohe Aufwände geht die Bewertungswahrscheinlichkeit gegen Null, die betreffende Fahrt wird nicht akzeptiert und im Modell kein Weg generiert. Je negativer der Bewertungsparameter c ist, desto schneller sinkt die Auswahlwahrscheinlichkeit mit zunehmendem Wert des Aufwands x .

Wie erwähnt, wird im NPVM für ausgewählte Kenngrößen eine Box-Tukey-Transformation der Logit-Funktion eingesetzt (Abbildung 88). Transformation bedeutet hier, dass nicht die Kenngrösse selbst, sondern eine weitere Funktion auf die originale Kenngrösse angewendet wird. In diesem Sinne ist das Box-Tukey-Modell als Untervariante des Logit-Modells zu verstehen. Durch einen zusätzlichen Parameter ist die Funktion flexibler und erweitert die Möglichkeiten einer realitätsnahen Kalibration. Insbesondere ergibt sich aus der Transformation ein gegenüber dem Logit-Modell verändertes Elastizitätsverhalten, so dass z.B. aus der Änderung von hohen Aufwänden (lange Wege) weniger starke Nachfragewirkungen resultieren, als bei niedrigen Aufwänden (kurzen Wegen).

Abbildung 87 Verlauf der Logit- Bewertungsfunktion (e^{cx}) (Beispiel)

Abbildung 88 Verlauf der Box-Tukey- Bewertungsfunktion (e^{cz}) (Beispiel)


Falls für eine Verkehrsart mehrere Aufwandsarten wie beispielsweise die ÖV-Reisezeit, die ÖV-Umsteigehäufigkeit oder der ÖV-Fahrpreis zu berücksichtigen sind, werden die Bewertungswahrscheinlichkeiten $f(x)$ der einzelnen Aufwände x miteinander multipliziert und so zu der Bewertungsgrösse BW_{ijk} zusammengefasst. Das Logit-Modell wird methodisch über einen etwas anderen Ansatz als das EVA-Modell abgeleitet. Die Darstellung in der

Literatur beginnt deshalb mit der Definition eines Nutzens (U) eines Weges von Quelle i zum Ziel j mit Verkehrsmittel k , der in eine Exponentialfunktion eingesetzt wird:

$$U_{ijk} = c_{1k}x_{1k} + c_{2k}x_{2k} \dots c_{nk}x_{nk}$$

Mit Anwendung in einer Exponentialfunktion entsteht die Bewertungsgrösse BW:

$$BW_{ijk} = \exp(U_{ijk}) = \exp(c_{1k} * x_{1k} + c_{2k} * x_{2k} \dots c_{nk} * x_{nk})$$

Es gibt eine identische Umformung, womit die multiplikative Verknüpfung sichtbar wird.

$$BW_{ijk} = f(x_1) * f(x_2) * \dots * f(x_n)$$

U	Nutzen eines Weges von Quelle i zum Ziel j mit Verkehrsmittel k
x	Aufwand (Reisezeit, Umsteigehäufigkeit, ...) für einen Weg
λ	Parameter
f()	Widerstandsfunktion für den Aufwand x ; für jeden Aufwand können eigene Parameter festgelegt werden

Über die Box-Tukey-Transformation der Exponentialfunktion ergibt sich eine andere Bewertungsfunktion. Der Nutzen der Alternative ist wie im Logit-Modell wie folgt definiert:

$$U_{ijk} = c_{1k}x_{1k}^* + c_{2k}x_{2k}^* \dots c_{nk}x_{nk}^*$$

Die Aufwände (im NPVM: Reisezeit, Kosten) innerhalb des Nutzens werden transformiert:

$$\text{mit } x^* = ((x + 1)^\lambda - 1)/\lambda$$

Die initialen Parameter der Logit-Funktion basieren auf einer SP-Schätzung (im Falle des NPVM auf der SP-Befragung 2015). Im Verlauf der Kalibrierung wird nur in begründeten Fällen davon abgewichen.

Eingangsdaten in die simultane Verteilung und Aufteilung sind die Quell- und Zielaufkommen aus der Erzeugung sowie die Bewertungsmatrizen und die Modal-Split-Werte aus den empirischen Daten. Im Analysemodell ist der Modal-Split-Wert des Untersuchungsgebiets sowie differenziert nach Quelle-Ziel-Gruppen ein Vorgabewert, da dieser aus Verkehrserhebungen (im Falle des NPVM aus dem MZMV 2015) bekannt ist. Der Modal-Split in Teilräumen kann je nach Grösse der vorhandenen Stichprobe auch empirisch ermittelt werden und wird andernfalls durch das Nachfragemodell ermittelt. Mathematisch entsteht ein 3-lineares Gleichungssystem.

$$v_{ijk} = BW_{ijk} * f q_i * f z_j * f m_k$$

mit den Randsummenbedingungen

$$Q_i = \sum_{jk} v_{ijk}$$

$$Z_j = \sum_{ik} v_{ijk}$$

$$M_i = \sum_{ij} v_{ijk}$$

v_{ijk}	Verkehrstrom von Quelle i zum Ziel j mit Modus k
BW	Bewertungsgrösse für den Aufwand für die Ortsveränderung von i nach j mit Modus k
$f_{q_i}, f_{z_j}, f_{m_k}$	Faktoren für die Einhaltung der Randsummenbedingungen
Q_i	Aufkommen eines Quellverkehrsbezirkes i
Z_j	Aufkommen eines Zielverkehrsbezirkes j
M_k	Verkehrsaufkommen des Modus k

Verkehrsmodelle haben eine Nachfrageelastizität. Dieser Wert gibt Auskunft darüber, wie stark sich die Nachfrage ändert, falls sich der Aufwand ändert. Ein Wert von -0.3 besagt zum Beispiel, dass die Nachfrage um 0.3% fällt, wenn sich der Aufwand um 1% erhöht. Die Grösse und die Eigenschaften der Elastizität sind durch die verwendete Bewertungsfunktion und den verwendeten Parameter definiert. In beiden Fällen ist die Elastizität stetig fallend.

Abbildung 89 Verlauf der Nachfrageelastizität im Logit-Modell (Prinzipbeispiel)

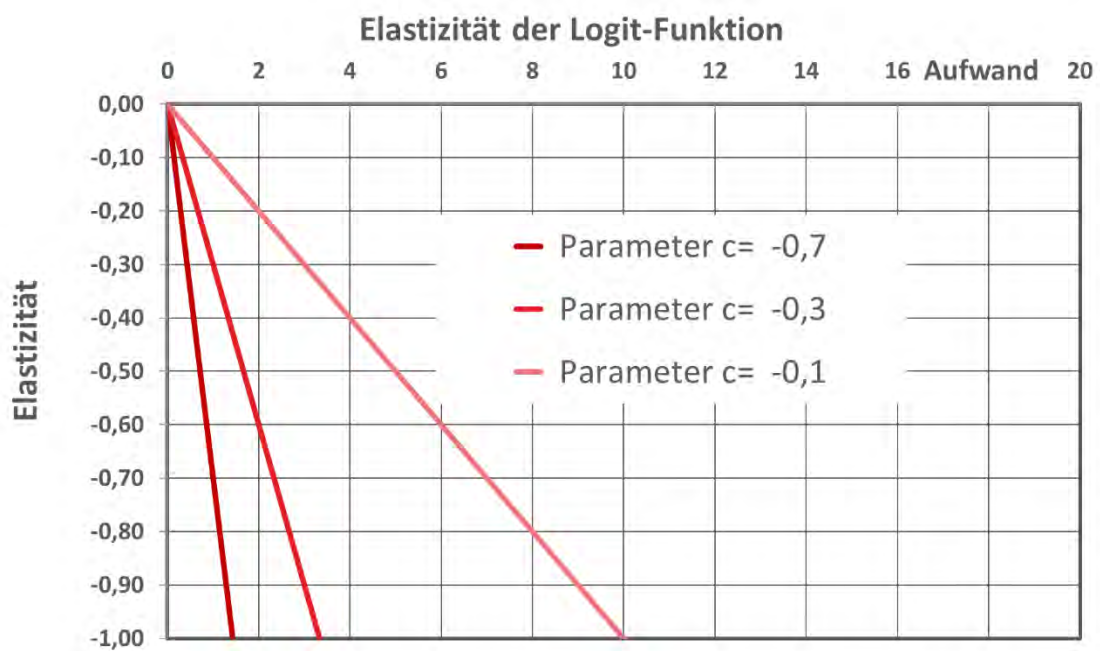
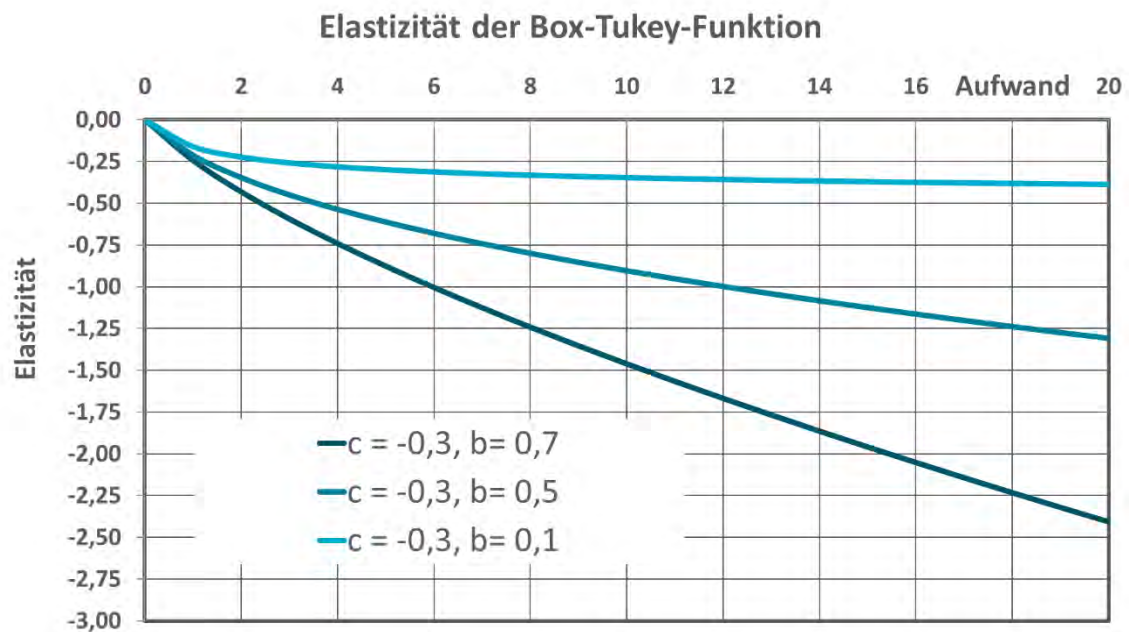


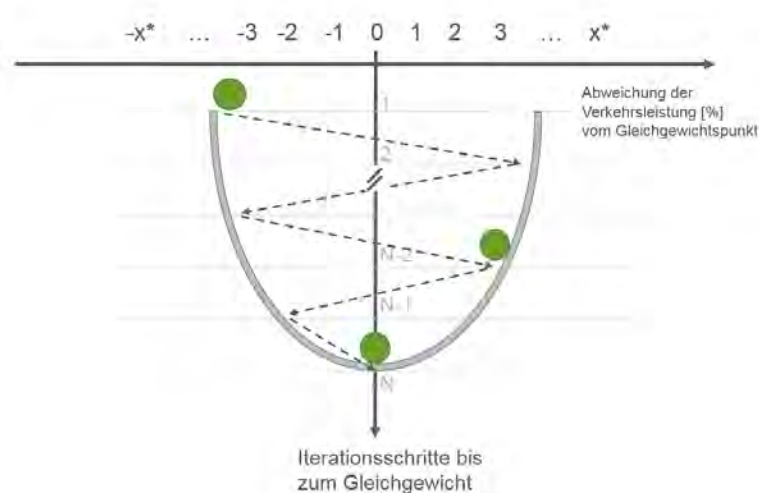
Abbildung 90 Verlauf der Nachfrageelastizität im Box-Tukey-transformierten Logit-Modell (Prinzipbeispiel)



In der Realität stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Nachfrage und Angebot ein. Für das Verkehrsgeschehen wird unterstellt, dass die Verkehrsnachfrage auf die Auslastung des Streckennetzes und damit auf die Reisezeit wirkt (= Wirkung) und im Gegenzug die steigende Reisezeit einen Rückgang der Nachfrage bewirkt (= Gegenwirkung). Der Zustand des Gleichgewichtes ist der „Beharrungszustand“ – kein Verkehrsteilnehmer hat eine Veranlassung sein Verhalten zu ändern, wenn er seine „optimale häusliche Mobilitätsstrategie“ gefunden hat. Eine Revision dieser Sicht wird erst dann wieder vorgenommen, wenn sich die „Umstände“ exogen ändern.

Es gibt keine geschlossene mathematische Funktion, um den Gleichgewichtspunkt durch einen einzelnen Rechenlauf zu ermitteln. Um das Gleichgewicht herzustellen, muss eine numerische Lösung gefunden werden, d.h. die Berechnung so oft wiederholt («Rückkopplung») werden, bis eine Kontrollgröße wie die Verkehrsleistung über mehrere Iterationsschritte hinweg einen stabilen Wert erreicht. Dieser Prozess wird in Abbildung 91 schematisch dargestellt.

Abbildung 91 Gleichgewicht und Konvergenz in einem Verkehrsmodell (Prinzipskizze)



Wie stark ein Rechensystem auf einen stabilen Wert hin zustrebt, wird als Konvergenzverhalten bezeichnet. Ein Modell mit schlechter Konvergenz zeigt grosse Schwankungen des Kontrollwertes und benötigt viele Iterationsschritte, bis sich der Kontrollwert auf einen mittleren Wert stabilisiert.

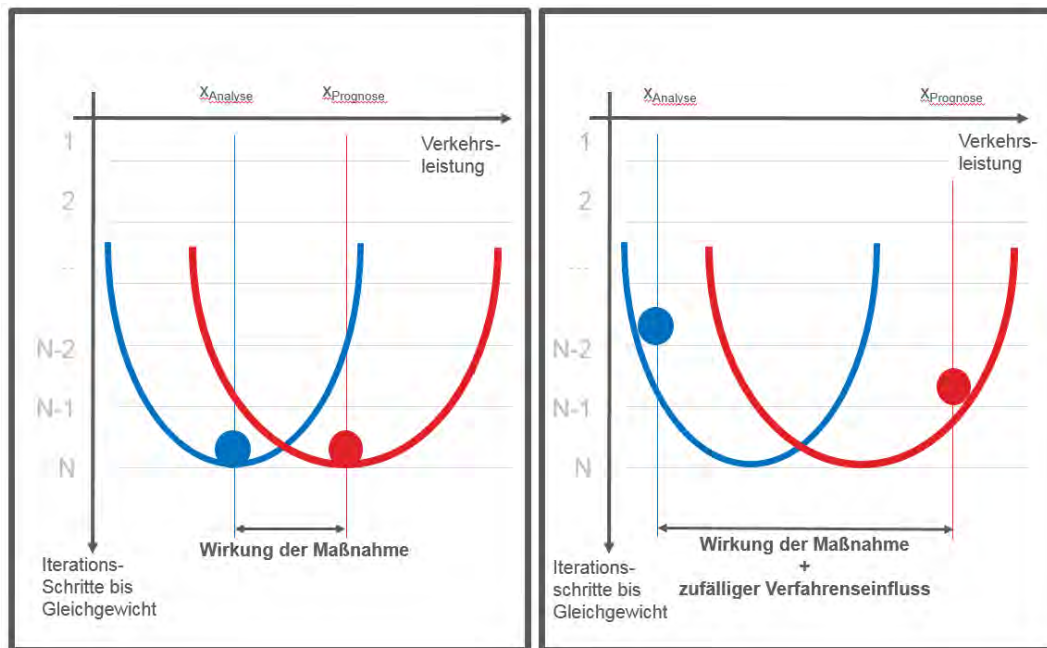
In einem Verkehrsmodell gibt es mehrere Teilalgorithmen, die iterativ arbeiten und einen Gleichgewichtspunkt ermitteln müssen:

- Die MIV-Umlegung: Die Prüfung und das Stoppen des Verfahrens erfolgen intern in Visum.
- Die ÖV-Umlegung: Werden auslastungsabhängige Kenngrössen wie z.B. die Auslastung des Rollmaterials berücksichtigt, wie dies im NPVM der Fall ist, sind Abbruchkriterien für die Iterationen zwischen Nachfrage- und Angebotsmodell festzulegen.
- Weil es in Visum keine vordefinierte Prozedur gibt, sind Verfahrensschritte für folgende Aufgaben hinzuzufügen:
 - Messen der Veränderung zum Vorgängerschritt;
 - Berechnen der Veränderungsstärke und Vergleich mit einem Prüfwert;
 - Erkennen des Gleichgewichtszustandes und Setzen eines Markers, damit die Rückkopplungsschleife verlassen wird;
 - Iterationsschritte zählen und Dokumentation der erreichten Zwischenergebnisse;
 - Setzen einer maximalen Schrittzahl, damit das Verfahren in endlicher Zeit zum Abschluss kommt.

Damit ist nicht zwingend gesichert, dass ein Gleichgewichtszustand hergestellt wird. Aber das Konvergenzverhalten kann beobachtet und gegebenenfalls können Massnahmen ergriffen werden, um einen Gleichgewichtszustand anzunähern.

Ein «eingeschwungenes» Modell ist insbesondere für die Prognose wichtig, da es ansonsten zu Fehleinschätzungen kommen kann. Abbildung 92 zeigt in diesem Zusammenhang zwei Szenarien auf: Im linken Fall werden zwei Szenarien mit exaktem Gleichgewicht miteinander verglichen. Im rechten Fall wird die Wirkung der Massnahme überlagert durch einen zufälligen Anteil, der sich allein aus dem Umstand der nicht eingestellten Gleichgewichtspunkte ergibt. Dieser Zufallseinfluss kann entweder zu einer Über- oder zu einer Unterschätzung der Massnahmenwirkung führen.

Abbildung 92 Vergleich eines Analysefalles (blaue Kurve) und Prognosefalls (rote Kurve) bei idealem Erreichen eines Gleichgewichtszustandes (linke Grafik) und unvollständigem Erreichen des Gleichgewichtspunktes (rechte Grafik)



Im Einzelfall können starke Änderungen zwischen Iterationsschritten beim Aufstellen des Analysemodells vorkommen, so dass die Konvergenz unzureichend ist und der Gleichgewichtspunkt erst nach sehr vielen Schritten erreicht wird. Dann ist es sinnvoll, die Reisezeiten vor Beginn des nächsten Berechnungslaufes zu glätten. Glättung bedeutet hier, aus den Reisezeiten aller Vorgängerschritte einen Mittelwert zu bilden und so mögliche Reisezeitschwankungen auszugleichen. In der Folge verringert sich die Schrittzahl der Iteration.

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die für das NPVM spezifische Umsetzung der hier allgemein eingeführten Charakteristiken eines Verkehrsmodells eingegangen.

2.2 Verkehrserzeugung

2.2.1 Segmentierung der Nachfrage

Bezüglich der Segmentierung der Nachfrage, also der Aufteilung des Verkehrs in Aktivitätenpaare bzw. Quelle-Ziel-Gruppen (QZG), wurde Anfang 2017 im Kontext der Analysen der SP-Befragung (ARE, 2017b) ein Arbeitspaket durchgeführt und separat dokumentiert (ARE, 2017a). Hierbei wurden anhand einer detaillierten Analyse des MZMV 2015 die maximalen Ausdifferenzierungsgrade sowohl für die QZG als auch für die dazugehörigen Personengruppen ermittelt, welche Mindestanforderungen an die zugrundeliegenden MZMV-Stichprobengrößen genügen. Aus diesen Vorarbeiten ergibt sich eine Einteilung der Verkehrsnachfrage in 26 QZG, welche in Abbildung 93 aufgezeigt wird.

Abbildung 93 Einteilung der Quelle-Ziel-Gruppen (QZG)

Quell-Aktivität	Ziel-Aktivität	QZG	Nr. Fahrtzweck	Strukturgrösse SQ der Quellverkehrszone Q _i	Strukturgrösse SZ der Zielverkehrszone Z _j	Anteil am Gesamtverkehr (MZMV 2015) [%]
Wohnen	Arbeit (A)	W_A(A)	1 Arbeit (A)	Erwerbstätige (A)	Arbeitsplätze (A)	6.8
Wohnen	Arbeit (SK)	W_A(SK)	2 Arbeit (SK)	Arbeitsplätze (SK)	Erwerbstätige (SK)	3.8
Wohnen	Bildung Schule	W_B(S)	3 Bildung (S)	Schüler	Ausbildungsplätze Schule	3.4
Wohnen	Bildung Uni	W_B(U)	4 Bildung (U)	Studierende	Ausbildungsplätze Hochschule	0.4
Wohnen	Einkauf (kurzfristiger Bedarf)	W_E(K)	5 Einkauf (K)	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	Verkaufsflächen kurzfristig	6.8
Wohnen	Einkauf (langfristiger Bedarf)	W_E(I)	6 Einkauf (I)	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	Verkaufsflächen langfristig	1.6
Wohnen	Nutzfahrt	W_N	7 Nutzfahrt	Erwerbstätige	Arbeitsplätze	1.4
Wohnen	Begleiten (Kinder)	W_Bg(K)	8 Begleiten	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	Freizeitbesucher, Einwohner	1.7
Wohnen	Freizeit kurz (< 10km)	W_F(K)	9 Freizeit (K)	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	Freizeitbesucher, Einwohner	10.4
Wohnen	Freizeit lang (> 10km)	W_F(I)	10 Freizeit (I)	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	Freizeitbesucher, Einwohner	2.8
Arbeit (A)	Wohnen	A(A)_W	11 Arbeit (A)	Arbeitsplätze (A)	Erwerbstätige (A)	5.3
Arbeit (SK)	Wohnen	A(SK)_W	12 Arbeit (SK)	Arbeitsplätze (SK)	Erwerbstätige (SK)	3.0
Bildung Schule	Wohnen	B(S)_W	13 Bildung (S)	Ausbildungsplätze Schule	Schüler	3.1
Bildung Uni	Wohnen	B(U)_W	14 Bildung (U)	Ausbildungsplätze Hochschule	Studierende	0.3
Einkauf (kurzfristiger Bedarf)	Wohnen	E(K)_W	15 Einkauf (K)	Verkaufsflächen kurzfristig	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	7.9
Einkauf (langfristiger Bedarf)	Wohnen	E(I)_W	16 Einkauf (I)	Verkaufsflächen langfristig	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	2.0
Nutzfahrt	Wohnen	N_W	17 Nutzfahrt	Arbeitsplätze	Erwerbstätige	1.5
Begleiten (Kinder)	Wohnen	Bg(K)_W	18 Begleiten	Freizeitbesucher, Einwohner	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	1.5
Freizeit kurz (< 10km)	Wohnen	F(K)_W	19 Freizeit (K)	Freizeitbesucher, Einwohner	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	11.5
Freizeit lang (> 10km)	Wohnen	F(I)_W	20 Freizeit (I)	Freizeitbesucher, Einwohner	Einwohner nach Altersklasse & Mobilitätswerkzeugen	3.2
Arbeit	Sonstiges	A_S	21 Arbeit	Arbeitsplätze	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Arbeitsplätze, Einwohner	2.2
Sonstiges	Arbeit	S_A	22 Arbeit	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Arbeitsplätze, Einwohner	Arbeitsplätze	1.2
Arbeit	Einkauf (kurzfristig) / Freizeit (kurz)	A_E(K F)(K)	23 Arbeit	Arbeitsplätze	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Einwohner	3.7
Arbeit (kurzfristig) / Freizeit (kurz)	Arbeit	F(K E)(K)_A	24 Arbeit	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Einwohner	Arbeitsplätze	2.3
Einkauf (kurz) / Freizeit (kurz)	Einkauf (kurz) / Freizeit (kurz)	E(K F)(K)_E(K F)(K)	25 Sonstiges	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Einwohner	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Einwohner	5.6
Sonstiges	Sonstiges	SS	26 Sonstiges	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Einwohner	Verkaufsflächen, Freizeitbesucher, Einwohner	6.7

Gegenüber den bisher in Schweizer Verkehrsmodellen gängigen Aufteilungen (wo zumeist eine Differenzierung nach 17 QZG verwendet wird) ist die hier gewählte weitaus detaillierter und vermag die Verhaltensunterschiede zwischen den Bevölkerungsgruppen besser abzubilden:

- Arbeitswege werden in solche von Angestellten (A) sowie selbständigen und Kaderleuten (SK) aufgeteilt;
- Ausbildungswege werden in solche von Schülern (S) und Universitätsstudenten (U) aufgeteilt;
- Einkaufswege werden in solche zum kurz- (k – Lebensmittel) und langfristigen (l – Konsumgüter, Investitionsgüter, Einkauf als Freizeitaktivität) Bedarf aufgeteilt;
- Freizeitwege werden in kurze (k – unter 10 km) und lange (l – über 10 km) Wege aufgeteilt;
- anstatt der Bildung einer einzigen QZG Sonstiges-Sonstiges (SS) wird diese für die Hauptzwecke disaggregiert (QZG 21-26).

Die stärkere Differenzierung verlangt nach einer entsprechenden Aufbereitung der dazugehörigen Strukturdaten (Quell- und Zielpotenziale) sowie einer detaillierten Auswertung des MZMV 2015 für die Ermittlung der verkehrlichen Kenngrössen für den Modellaufbau und dessen Kalibration. Diese Arbeiten werden nun nachfolgend beschrieben.

2.2.2 Ermittlung verkehrlicher Kenngrössen

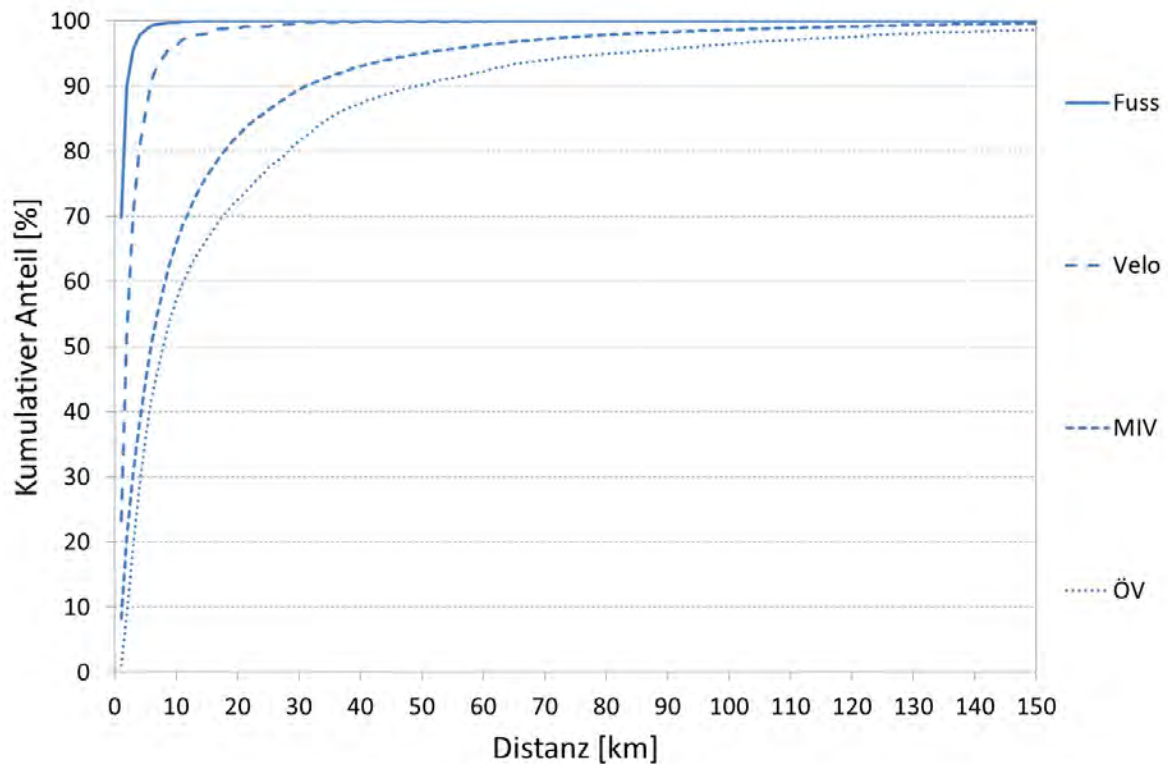
Aus dem mit der Zonierung des NPVM verschnittenen MZMV 2015 wurden folgende Kenngrössen ermittelt, welche jeweils zusätzlich nach drei Raumtypen (gemäss der Stadt-Land-Typologie des BFS: städtisch / intermediär / ländlich, siehe Anhang 7.4) differenziert wurden:

- Anteile des interzonalen (über die Grenzen einer Zone hinausgehenden) Verkehrs nach Verkehrsmittel;
- spezifische Verkehrsaufkommensraten (SVA) nach QZG und Personengruppe;
- mittlere Reiseweiten (Distanzen) nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel;
- Reiseweitenverteilungen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel;
- Modal-Split-Anteile der einzelnen Verkehrsmittel nach Fahrtzweck bzw. QZG;
- MIV-Besetzungsgrade nach Fahrtzweck (hier nach Distanzklassen statt nach den drei Raumtypen).

Diese Auswertungen fliessen in den Aufbau des Nachfragemodells (v.a. die spezifischen Verkehrsaufkommensraten und Modal-Split-Anteile) sowie in dessen Kalibration ein.

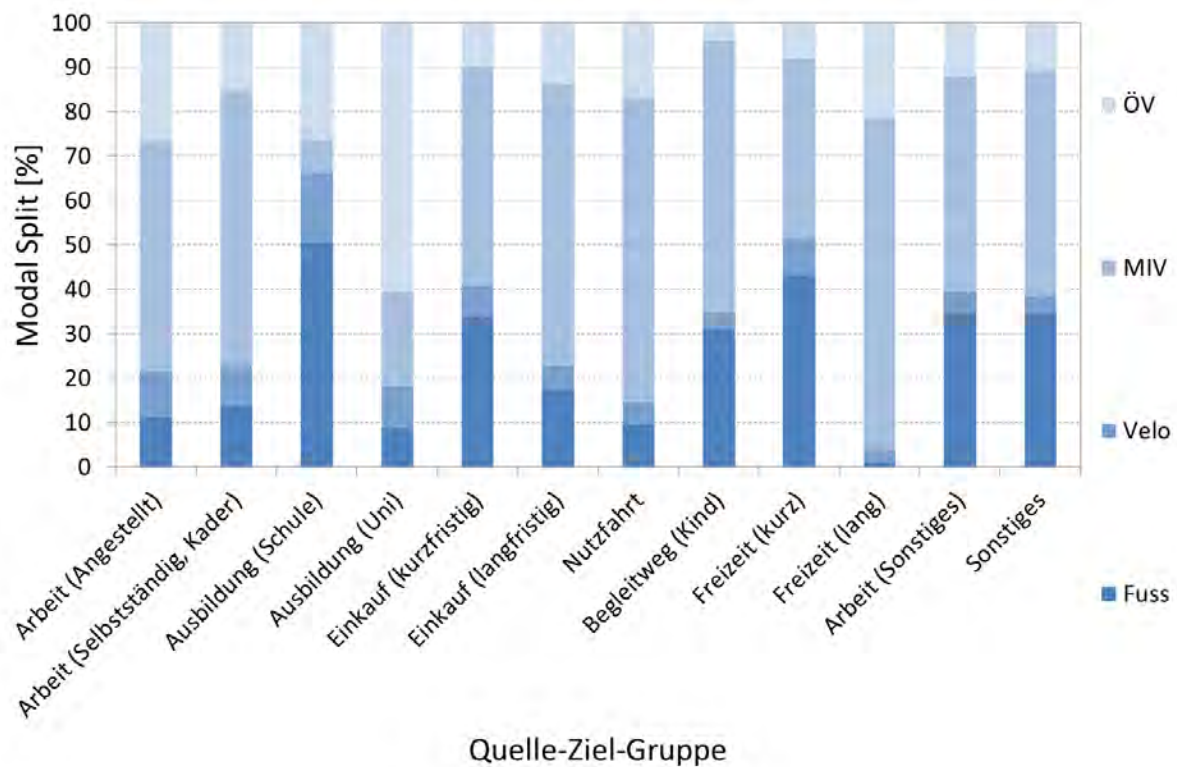
Abbildung 94 zeigt die Reiseweitenverteilung (aggregiert für alle Fahrtzwecke), aufgeteilt nach den vier im NPVM abgebildeten Verkehrsmodi. Eines der Ziele der Modellkalibration ist es, diese Verteilungen in verschiedenen Differenzierungsgraden (z.B. nach Fahrtzweck und/oder Raumtyp) zu reproduzieren.

Abbildung 94 Reiseweitenverteilung nach Verkehrsmittel, alle Fahrtzwecke (MZMV 2015), N=133'732 Wege



Die Modal-Split-Anteile der vier Verkehrsmittel, differenziert nach Fahrtzweck, sind in Abbildung 95 dargestellt. Auch dies ist ein Beispiel einer Kenngrösse, welche das NPVM so gut wie möglich nachbilden sollte. Im Modell wird der nachstehende Modal Split zusätzlich nach Hin- und Rückwegen differenziert berücksichtigt und das Modell auf eine möglichst präzise Reproduktion eingestellt, da sich der Modal Split z.B. auf den Wegen zur oder von der Arbeit unterscheidet.

Abbildung 95 Modal-Split-Anteile nach Fahrtzweck (MZMV 2015), N=133'732 Wege



Die Besetzungsgrade dienen der Umrechnung von Personenwegen in PW-Fahrten. Deren Aufteilung nach Fahrtzweck und Distanzklasse zeigt Tabelle 27.

Tabelle 29 MIV-Besetzungsgrade nach Fahrtzweck und Distanzklasse (MZMV 2015), N=57'497 Wege

Fahrtzweck		≤ 5 km	5 – 10 km	10 – 25 km	25 – 50 km	> 50 km	Mittelwert
Arbeit (Angestellt)	A(A)	1.05				1.12	1.06
Arbeit (Selbstständig, Kader)	A(SK)	1.08					
Ausbildung (Schule)	B(S)	1.31					
Ausbildung (Universität)	B(U)	1.11					
Einkauf (kurzfristig)	E(k)	1.29	1.32	1.38	1.35		1.31
Einkauf (langfristig)	E(l)	1.37	1.50	1.55	1.70		1.47
Nutzfahrt	N	1.15					
Begleitweg (Kind)	Bg(K)	1.99		2.10	2.11		2.01
Freizeit (kurz)	F(k)	1.42	1.48				1.44
Freizeit (lang)	F(l)			1.58	1.63	1.83	1.63
Arbeit (nicht heimatgebunden)	A	1.21				1.28	1.22
Sonstiges (nicht heimatgebunden)	S	1.51	1.60		1.73	1.65	1.57
Mittelwert über alle Zwecke							1.34

Der Tabelle voraus gingen Analysen hinsichtlich der Differenzierung der Besetzungsgrade nach Raumtypen, QZG und Distanzklassen. Es zeigte sich, dass eine Unterscheidung nach Distanzklassen – inkl. einer Aggregation von

Werten bei sehr geringen Unterschieden oder einer zu geringen Stichprobengrösse – eine bestmögliche Segmentierung ermöglicht. Eine Unterschiedlichkeit der Besetzungsgrade nach Raumtypen war weniger stark ausgeprägt; eine Differenzierung nach QZG zeigte bei den MZMV-Auswertungen keine signifikanten Unterschiede in den Hin- und Rückrichtungen.

2.2.3 Bildung der verhaltenshomogenen Gruppen

Verhaltenshomogene Personengruppen VHГ

Die Auswahl der betrachteten Strukturgrössen steht in engem Zusammenhang mit der Einteilung in die oben erwähnten QZG. Wesentlich ist eine Aufteilung aller Verkehrsteilnehmer in homogene Schichten (Personengruppen bzw. Bezugspersonengruppen). Die Grundlage für die Einteilung der QZG bilden die Aktivitäten, die jeweils am Quell- oder Zielort von den Personen durchgeführt werden und die mit der betrachteten Ortsveränderung im Zusammenhang stehen. Aus der Kombination dieser Aktivitäten und einer teilweisen Aggregation werden anhand der verfügbaren Struktur- und Verkehrsverhaltensdaten die QZG gebildet (z.B. Wohnen-Arbeit, Arbeit-Wohnen, Arbeit-Sonstiges, Sonstiges-Arbeit etc.).

Um die Erzeugung angemessen aufzustellen, muss die Einteilung der verhaltenshomogenen Personengruppen (VHG) in Verbindung mit den Wegezwecken, den Zusammenhängen der Ortsveränderungen und den Randsummenbedingungen verkehrsplanerisch und statistisch sachlogisch verknüpft werden. Weiterhin müssen schon im Erzeugungsmodell die nicht modellierten Wege, wie z.B. Wege der Schweizer Bevölkerung von/nach dem Ausland oder das Verkehrsaufkommen der Grenzgänger, entsprechend berücksichtigt werden (z.B. über den Abschluss der Wege bei der Auswertung des MZMV).

Definition der Personengruppen

Für die Modellierung ist die Nachfrage in geeignete Personengruppen und Fahrtzwecke zu unterteilen. Ausgangspunkt dazu bilden die Auswertungen des MZMV 2015 (ARE, 2017a). Die VHГ dienen der Segmentierung des Erzeugungsmodells und der Ableitung der spezifischen Verkehrsaufkommen.

Dabei ist zu beachten, dass innerhalb einer QZG mehrere VHГ differenziert werden; z.B. werden bei Wohnen-Arbeit die Erwerbstätigen als verursachende Strukturgrösse in mehrere Klassen unterteilt (Angestellte und Selbstständige/Kader). Hier werden mehrere Aggregationsebenen betrachtet: Fahrtzwecke – QZG – VHГ. Dabei werden die Verkehrsströme nach Verkehrsmitteln auf der Ebene der QZG erzeugt und die Differenzierung nach verhaltenshomogenen Personengruppen nur auf Ebene der Verkehrserzeugung verwendet.

Die Einteilung der Bevölkerung in Personengruppen erfolgt mit dem Ziel, einerseits möglichst fein aufgeteilte VHГ zu schaffen, andererseits aber auch die Anzahl der Gruppen so zu begrenzen, dass die für die Anwendung notwendige Datengrundlage (MZMV-Stichprobengrösse) und die Handhabbarkeit der Rechenabläufe gewährleistet sind.

Tabelle 30 zeigt auf, welche VHГ für die Verkehrserzeugung der einzelnen QZG verwendet werden. Es ergeben sich insgesamt 81 Kombinationen aus Mobilitätswerkzeugbesitz und Altersgruppe, welche erzeugt werden müssen. Die VHГ wurden mittels Auswertungen des MZMV 2015 (ARE 2017a) definiert und aus der Synthetischen Population (ARE und SBB, 2019) abgeleitet.

Tabelle 30 Verhaltenshomogene Personengruppen VHГ

QZG	Mobilitätswerkzeuge				Altersklassen					
	PW ohne ÖV-Abo	PW mit GA oder Verbund	ohne PW ohne ÖV-Abo	ohne PW mit GA oder Verbund	≤ 17	18 – 24	25 – 44	45 – 64	65 – 74	≥ 75
W_A(A) & A(A)_W	x	x	x	x	x		x		x	
W_A(SK) & A(SK)_W	x	x	x	x		x			x	
A_S & S_A & A_E(k)F(k) & E(k)F(k)_A	x	x	x	x	x		x		x	
W_B(S) & B(S)_W		x	x	x						
W_B(U) & B(U)_W		x		x						
W_E(k) & E(k)_W & E(k)F(k)_E(k)F(k)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W_E(l) & E(l)_W	x	x	x	x		x	x	x		x
W_N & N_W	x	x	x	x						
W_Bg(K) & Bg(K)_W		x		x		x			x	
W_F(k) & F(k)_W	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W_F(l) & F(l)_W	x	x	x	x		x	x		x	
S_S	x	x	x	x	x		x		x	

Charakteristika der Personengruppen

Die Strukturdaten zu den verhaltenshomogenen Personengruppen wurden in einem separaten Projekt aufbereitet und für das NPVM bereitgestellt. Gegenstand des Projekts war die Erstellung einer Synthetischen Population (SynPop) für die Schweiz für das Jahr 2017 (ARE/SBB, 2019). Im zitierten Bericht sind die dazu verwendeten Datengrundlagen, das methodische Vorgehen und eingesetzte Flächennutzungsmodell beschrieben.

Die Synthetische Population wurde mit der Simulations-Software FaLC⁸ über mehrere Schritte erstellt. Dabei werden in einem ersten Schritt die Originaldaten des BFS (STATPOP 2017 und STATENT 2016) eingelesen. Diese Basistabellen umfassen die geokodierten Personen und Haushalte inkl. der in der öffentlichen Statistik verfügbaren Attribute (z.B. Alter, Geschlecht, Haushaltsgrösse). Anschliessend werden die Personen, Haushalte und Unternehmen mit weiteren statistischen Informationen angereichert (v.a. aus der Strukturhebung und dem Statistischen Lohnrechner des BFS sowie dem MZMV 2015):

⁸ Vgl. Flächennutzungsmodell Facility Location Choice Simulation (FaLC), www.falc-sim.org sowie www.are.admin.ch/flnm mit Links zu weitergehender Dokumentation.

- Sprache und Ausbildung;
- Beschäftigung, Unternehmenssektor und Beschäftigungsgrad;
- Zuordnung Arbeitnehmer – Arbeitsplatz;
- Qualifikation;
- Ausbildungsstatus (Schüler und Studenten);
- Einkommen;
- Mobilitätswerkzeuge;
- Wohnungsbesitz bzw. Mieter.

Die Verfahren zur Ergänzung der Attribute für die Personen, in der Regel Monte-Carlo-Simulationen, basieren meist auf empirischen und statistischen Wahrscheinlichkeiten. Die hierfür typischen, statistischen Verhaltensmodelle (cross-section Regression) erreichten oft nur tiefe Bestimmtheitsmasse. Das Modell wird entsprechend so eingestellt, dass externe Vorgaben, z.B. zum mittleren Einkommen je Gemeinde oder der Anzahl an Personenwagen oder Verbundabonnemente je Verkehrszone möglichst reproduziert werden. Soweit datenseitig verfügbar, wurde also die Anzahl und Verteilung einzelner Attributausprägungen auf extern vorgegebene Randsummen hin kalibriert. Je nach Ebene der verfügbaren Datengrundlagen für die Kalibration werden die Randsummen auf den Aggregationsstufen (NPVM-Verkehrszone, Gemeinde, MS-Region, Kantone) unterschiedlich präzise abgebildet.

Am präzisesten werden generell die für das NPVM relevanten Mobilitätswerkzeuge abgebildet. Insbesondere die Anzahl und Verteilung von ÖV-Abonnementen sowie der Besitz eines privaten Personenwagens halten die Randsummen bis auf Stufe der NPVM-Zonen sehr gut ein. Dies liegt einerseits an den Randsummen, die auf Stufe der NPVM-Zonen vorhanden sind sowie an im Projekt weiterentwickelten Skripten, die über mehrere Iterationen die Randsummen approximieren. Eine sehr gute Modellgüte wurde zudem bei den Schülern und Studenten am Wohnort und den in die Schweiz pendelnden Grenzgänger (Einpendler) erreicht. Zum detaillierten Nachvollzug der im Einzelnen verwendeten Datengrundlagen und der Qualität der SynPop in Abgleich mit beobachteten Randsummen ist der Bericht (ARE/SBB, 2019) heranzuziehen.

Bezüglich der vielfältigen Zielwerte für die Validierung ist allerdings zu berücksichtigen, dass eine grundsätzliche Fehlerquelle durch die Nutzung verschiedener Datenquellen mit unterschiedlichen Erhebungsmethoden und Zeitständen entsteht. Eine je Attribut gute bis sehr gute Reproduktion von Vorgaben je Zone bedeutet nicht, dass gleichzeitig die Attributausprägungen in Kombination realistisch abgebildet werden. Eine Validierung komplexer Attributausprägungen (z.B. Anzahl von qualifizierten weiblichen Erwerbstätigen 25 bis 44-jährig, lebend in der Westschweiz in einem Haushalt mit 2 Kindern und im Besitz eines Personenwagens sowie eines Halbtax etc.) ist nicht möglich, da eben diese Ausprägungen das Ziel der SynPop sind. Die für das NPVM wichtige Verteilung der Mobilitätswerkzeuge (auch in Kombination, z.B. PW-Verfügbarkeit und ÖV-Abobesitz) wurde auf Stufe Kanton zusätzlich an den Angaben des MZMV 2015 validiert (ARE/SBB, 2019, Kapitel 2.13.4). Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Validierung auf Grund der verschiedenen Jahresstände nie absolut genau sein kann und damit immer Abweichungen erwartet werden müssen.

Im Hinblick auf die Nutzung der SynPop 2017 für das NPVM sind abschliessend folgende Hinweise von Bedeutung:

- Die SynPop bildet die Wohnbevölkerung als auch die Beschäftigten adressscharf ab. Für das NPVM erfolgte eine räumliche Aggregation auf die Verkehrszonen sowie eine Gruppierung der Personen gemäss den Attributen der VHG (nach einfach/qualifizierter Beschäftigung, Altersklassen, Mobilitätswerkzeugbesitz). Die Ausprägungen der NPVM-Strukturdatentabelle können in Anhang 7.4 nachvollzogen werden.
- Die adressfeinen Daten unterliegen aufgrund der Basis von STATPOP und STATENT dem Datenschutz und können nicht nach Aussen abgegeben werden. Die NPVM-Strukturdatentabelle auf Basis der Verkehrszonen steht als Excel-Datei zur Verfügung auf <https://forsbase.unil.ch/> (Suche: VM-UVEK, Daten des Nationalen Personenverkehrsmodells 2017) und kann dort nach Bestätigung der Datenschutzbestimmungen bezogen werden (siehe auch Kapitel 4.1).

Spezifische Verkehrsaufkommensraten

Für die korrekte Berechnung des Gesamtverkehrsvolumens sind die spezifischen Verkehrsaufkommensraten (SVA) bzw. Mobilitätsraten die entscheidende Eingangsgrösse. Diese geben an, wie viele Wege einer bestimmten QZG im Mittel von einer Person der zugehörigen VHG pro betrachtete Zeiteinheit (hier Werktage) zurückgelegt werden. Die nach QZG, nach VHG und zusätzlich nach Raumtyp differenzierte Berechnung der SVA für das NPVM erfolgt anhand des MZMV 2015. Im Zuge der Kalibration des Nachfragemodells wurden die berechneten Raten leicht angepasst, um die Verteilung der Fahrtzwecke den Verhältnissen des MZMV anzugleichen (siehe auch Abschnitt 0). Die im NPVM verwendeten SVA sind in Tabelle 85 (Anhang 7.4) aufgeführt.

2.2.4 Zielpotenziale

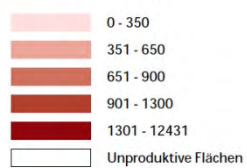
In Anlehnung an die Fahrtzwecke wurden Daten zur Abbildung der Zielpotenziale aufbereitet. Alle im NPVM verwendeten Zielpotenziale sind ebenfalls in der Strukturdatentabelle abgelegt (siehe Anhang 7.4). Hinweise zur Erstellung von Potenzialgrössen, die in den nachfolgenden Abschnitten nicht thematisiert werden (z.B. Schulplätze), finden sich im Bericht zur Erstellung der SynPop (ARE/SBB, 2019). Es folgt die Beschreibung der Arbeiten zur Ermittlung nachstehender Daten:

- Arbeitsplätze (Beschäftigte und Vollzeitäquivalente);
- Verkaufsflächen (gesamte Verkaufsfläche, Verkaufsfläche in Einkaufszentren);
- Freizeit- und Besuchsmöglichkeiten (Kulturangebot, Sportanlagen, etc.);
- Flughafenpassagiere.

Für die Nachfrageermittlung wurden die Daten für das Planungsgebiet aufbereitet. Die wichtigsten Datenquellen sind hierzu die Einzeldaten aus STATENT 2016 (Unternehmen, Beschäftigte und Vollzeitäquivalente nach NOGA-Codes) und aus STATPOP 2017 (Einwohner nach Alter und Geschlecht). Die entsprechenden Informationen werden, analog zu den verhaltenshomogenen Personengruppen, direkt aus der SynPop 2017 auf die NPVM-Zonen aggregiert und exportiert. Folgende Abbildung 96 zeigt die Arbeitsplätze je Verkehrszone abgeleitet aus der SynPop 2017 (Grundlage STATENT 2016).

Abbildung 96 Verteilung der Beschäftigten (SynPop 2017) nach NPVM-Verkehrszonen

Anzahl Beschäftigte



Besucherzahlen

Die Erstellung der Attraktionsvariablen des Freizeitverkehrs, wie z.B. Kulturangebot, Sportanlagen und Gastronomie, stellen erfahrungsgemäss eine der komplexen Aufgaben bei der Aufbereitung der Strukturdaten dar, da sie sehr heterogen sind und oft keine zentralen Datenbanken vorliegen. Für das NPVM wurde auf eine Recherche und Harmonisierung disperser Einzelquellen verzichtet, zu Gunsten eines vereinfachten, aber kohärenten Vorgehens zur Abschätzung der Besucherzahlen. Ausgangspunkt bildet die Anzahl Beschäftigte je Verkehrszone und darauf aufsetzend die Abschätzung der Besucherzahl pro Beschäftigten. Alle Zielpotenziale wurden in Besucherzahlen pro Werktag umgerechnet, um eine einheitliche Bezugsgrösse in der Strukturdatentabelle vorzuhalten. Alternativ hätte die Möglichkeit bestanden, z.B. im Falle von Einkaufseinrichtungen, die Verkaufsraumflächen in der Strukturdatentabelle zu hinterlegen und diese erst über die in VISUM hinterlegten Attraktionsraten in Besucherzahlen umzurechnen.

Die Anzahl Betriebe und die Anzahl Beschäftigten bzw. Vollzeitäquivalente pro Verkehrszone werden aus den Einzeldaten von STATENT anhand der detaillierten NOGA-2008-Codes (2/4/6-Stellen, je nach Fragestellung) entnommen. Aufgrund fehlender empirischer und v.a. schweizweit vorliegender Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Beschäftigten je Branche und damit verbundenen Besucherzahlen erfolgt die Umrechnung auf Basis von Erfahrungswerten aus dem NPVM 2010 (ARE, 2014, Vrtic *et al.* 2010a, Vrtic *et al.* 2010b, Vrtic *et al.* 2013) sowie deren Validierung und Anpassung gemäss der mit verschiedenen kantonalen Verkehrsmodellen (ZH, SO, ZG, BE, AG) gemachten Erfahrungen (Vrtic *et al.* 2015, Vrtic *et al.* 2018, Fröhlich *et al.* 2019). Die Erhebung der in den Modellen verwendeten Kennwerte basiert u.a. auf Telefoninterviews mit ausgewählten Einrichtungen sowie publizierten Geschäftsberichten und Medienmitteilungen von Unternehmen und Verbänden.

Bei der Anwendung der Umrechnungsfaktoren zeigte sich, dass die verlässlichsten Resultate mit dem Einbezug der Vollzeitäquivalente erreicht werden. Die Hochrechnung der Besucher **B** für das Aktivitätsangebot **A** in Zone **Z** wird deshalb anhand der Vollzeitäquivalente **VZÄ** der betrachteten Aktivitätsangebote **A** in der entsprechenden Zone und einem Umrechnungsfaktor **b** für die entsprechende Aktivität berechnet:

$$B_{A,Z} = VZÄ_{A,Z} * b_A$$

Tabelle 32 zeigt die relevanten NOGA-Codes für die einzelnen Aktivitätsangebote und die Annahmen für die entsprechenden Umrechnungsfaktoren.

Tabelle 31 Umrechnungsfaktoren Besucherzahlen

Ziel (A)	NOGA-Code	Besucher/VZÄ (b _A)
Naturparks etc.	9104	3156
Orchester und Theater	900101	584
Kinos	5914	10'980
Bibliotheken	9101	14'900
Museen	9102	4'160
hist. Gebäude	9103	4'160
Sportanlagen	9311	29'220
Fitnesszentrum	9313	29'220
Gastronomie	5610	3'500
Bar und Diskothek	5630	3'500
Hotels	55	435
Spital	8610	368
Seilbahn	493903	71'000

Für 22 grössere Freizeiteinrichtungen wurden die Besucherzahlen vom AG recherchiert, auf den DWV umgerechnet und in die Strukturdatentabelle des NPVM integriert (siehe Anhang 7.8).

Besucherzahlen Verkauf

Die Angaben zu den Verkaufsflächen basieren im Wesentlichen auf Auswertungen von Wüest Partner (Flächen pro Gemeinde, Stand 2014) sowie auf Daten aus der Shopping-Center Datenbank der GfK Switzerland (Besucherzahl und Fläche pro Einkaufszentrum mit Koordinate, Stand 2017). Die entsprechenden Daten wurden bei Wüest Partner und GfK Switzerland eingekauft.

Aus den Daten der GfK liess sich für 103 von 198 Einkaufszentren die jährliche Besucherzahl sowie die Verkaufsfläche ermitteln. Aus diesen Angaben wurde für die 103 Zentren jeweils eine Besucherzahl pro m² abgeleitet. Der daraus abgeleitete Median (Besucher pro Tag pro m² Verkaufsfläche) liegt bei 0.44. Für die Einkaufszentren ohne Angaben zu Besuchern pro Jahr wurde die durchgängig verfügbare Verkaufsflächenzahl mit 0.44 multipliziert. Die **Besucherzahlen** B für den Bereich Detailhandel DH in Zone Z werden also wie folgt über die Verkaufsfläche geschätzt (wenn keine direkten Angaben vorlagen), der Faktor a steht für die angenommene tägliche Anzahl Besucher pro m² Verkaufsfläche:

$$B_{DH,Z} = VF_{DH,Z} * a$$

Für die Umrechnung der Verkaufsflächen pro Gemeinde wurde die jeweilige Fläche mit einem Kennwert von 0.4 multipliziert, der Annahme folgend, dass eine leicht reduzierte Attraktivität der Verkaufsflächen gegenüber den grossen Einkaufszentren besteht. Die Anzahl der Besucher wurde anschliessend in solche des kurzfristigen (bzw. täglichen) und langfristigen Bedarfs aufgeteilt, da auch der Fahrtzweck Einkauf im NPVM entsprechend differenziert. Die räumliche Aufteilung auf die Verkehrszonen sowie die Differenzierung nach kurz- und langfristigem

Bedarf erfolgte unter Einbezug von Vollzeitäquivalente in entsprechenden Branchen, die dem kurz- und langfristigen Bedarf zugeordnet wurden. Nachstehende Tabelle 32 gibt einen Überblick zur Zuordnung der einzelnen Branchen in kurzfristigen und langfristigen Bedarf:

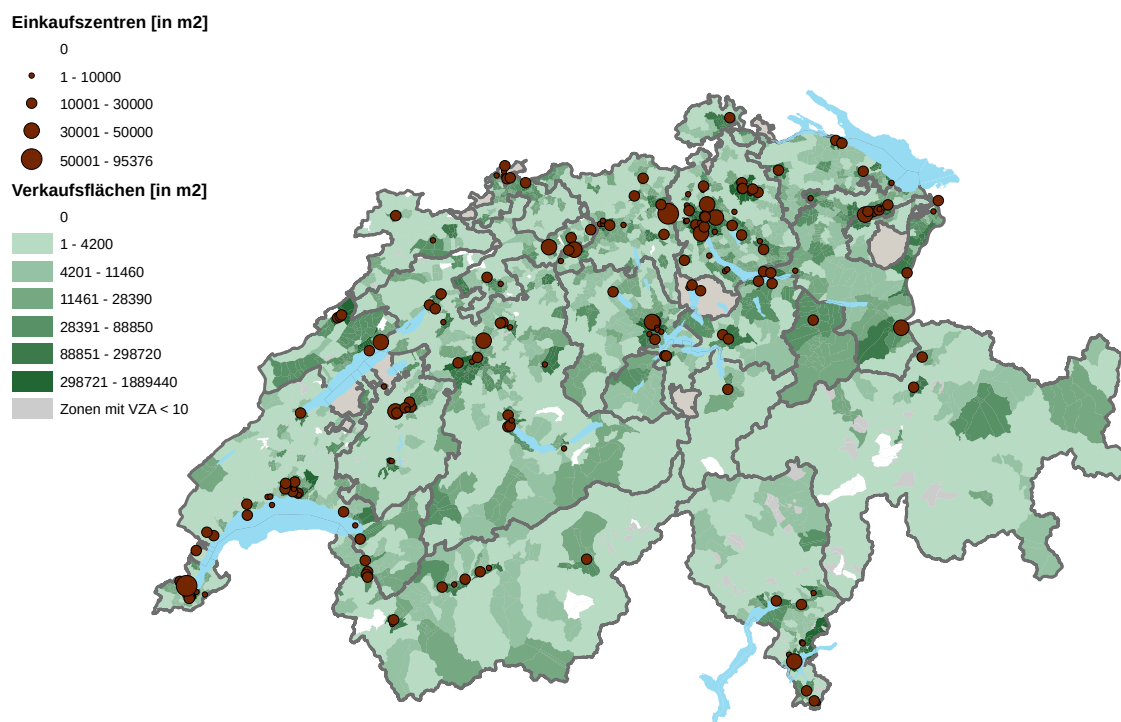
Tabelle 32 Verteilung der Verkaufsflächen

Typ	NOGA-Bezeichnung	NOGA-Codes
Kurzfristiger Bedarf	Detailhandel mit Waren verschiedener Art	471
	Detailhandel mit Nahrungs- und Genussmitteln, Getränken, Tabak	472
	Detailhandel mit Motorenkraftstoffen (Tankstellen)	473
	Detailhandel mit Arzneimitteln (Apotheken)	4773
	Detailhandel mit kosmetischen Erzeugnissen und Körperpflegemitteln (z.B. Drogerien)	4775
Langfristiger Bedarf	Detailhandel mit Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik	474
	Detailhandel mit sonstigen Haushaltsgeräten, Textilien, Heimwerker- und Einrichtungsbedarf	475
	Detailhandel mit Verlagsprodukten, Sportausrüstung, Spielwaren	476
	Detailhandel mit sonstigen Gütern	477

Im Ergebnis liegen Besucherzahlen pro Verkehrszone des kurz- und langfristigen Einkaufsbedarfs vor. Abschliessend wurde für Verkehrszonen, in denen die Besucherzahl gemäss GfK > der Besucherzahl gemäss Ableitung aus den Wüest & Partner-Zahlen war, die Werte gemäss GfK eingesetzt (unter neuerlicher Anwendung der Aufteilung in kurz- und langfristigen Bedarf).

Abbildung 97 zeigt die Verteilung der Verkaufsflächen und Einkaufszentren auf Stufe der NPVM-Zonen.

Abbildung 97 Verteilung der Verkaufsflächen und Einkaufszentren



Flughafenpassagiere

Die Zahlen für die Flughafenpassagiere wurden der Schweizerischen Zivilluftfahrtstatistik (2017) entnommen (BFS, BAZL – Zivilluftfahrtstatistik AVIA_ZL). Berücksichtigt wurden die drei Landesflughäfen Zürich, Basel-Mulhouse und Genf, sowie sämtliche regionale Flugplätze.

Tabelle 33 Zuordnung der Flughäfen zu den Zonen

Flughafen	Code	NPVM-Zone	Passagiere 2017
Basel-Mulhouse	LSZM	834202072	7'878'757
Genf	LSGG	662304010	17'342'674
Zürich	LSZH	6202017	29'412'121

Die Passagierzahlen beinhalten den gewerblichen als auch den nicht gewerblichen Flugverkehr. In Basel-Mulhouse wurde der französische Flugverkehr mitberücksichtigt.

Tabelle 34 Zuordnung der regionalen Flugplätze zu den Zonen

Flughafen	Code	NPVM-Zone	Passagiere 2017
Bern-Belp	LSZB	86104011	181'362
Birrfeld	LSZF	410401002	15'791
Bressaucourt	LSZQ	679001001	5'318
Ecuwillens	LSGE	223301001	22'113
Grenchen	LSZG	254601015	58'287
La Chaux-de-Fonds	LSGC	642101001	5'437
Lausanne-La Blécherette	LSGL	558601025	20'078
Lugano-Agno	LSZA	514104005	144'080
Samedan	LSZS	378601002	10'732
Sion	LSGS	626601006	32'468
St. Gallen-Altenrhein	LSZR	323701003	119'227

Um die Jahreswerte in Tageswerte umzurechnen wurden die Passagierzahlen für 2017 durch 365 dividiert. Die Werte (Flugpassagiere je Werktag) finden sich in der Strukturdatentabelle im Attribut «airport_passengers».

Strukturdaten Ausland

Die Strukturdaten der 13 ausländischen Verkehrszonen, die als Schweizer Zonen gehandhabt werden, mussten separat ermittelt werden.

Fürstentum Liechtenstein

Im Fürstentum Liechtenstein wurden die 11 Gemeinden als Verkehrszonen definiert. Bezüglich Wohnbevölkerung und Beschäftigte konnte auf das Datenportal des Liechtensteiner Amtes für Statistik zurückgegriffen werden. Für die Berechnung der Vollzeitäquivalente führte das Amt für Statistik auf Nachfrage Auswertungen für das NPVM-Projekt durch. Aufgrund der geringen Fallzahlen bei zusätzlicher Differenzierung nach NOGA-Code konnten nicht vollständig disaggregierte Informationen für alle Gemeinden abgegeben werden.

Folgende Informationen und Quellen wurden in die Berechnungen integriert:

- Bevölkerungsstatistik vom 31. Dezember 2016: Wohnbevölkerung nach Alter, Erwerbstätige;
- Beschäftigungsstatistik vom 31. Dezember 2016: Beschäftigte und Vollzeitäquivalente nach NOGA-Abteilung sowie teilweise nach 2/4-stelligem NOGA-Code;
- verschiedene Geschäftsberichte von Institutionen mit vielen Besuchern.

Liechtenstein ist mit den angrenzenden Gemeinden im St. Galler Rheintal eng verbunden. Es wird deshalb vereinfachend davon ausgegangen, dass die Einwohner in Bezug auf das Mobilitätsverhalten Ähnlichkeiten ausweisen. Verkehrstechnisch sind die Gemeinden auch ähnlich angebunden: einerseits über die Autobahn A13, andererseits spielen beidseits der Grenze die Buslinien eine wesentliche Rolle im öffentlichen Nahverkehr. Die Hochrechnung zu den Mobilitätswerkzeugen erfolgt deshalb anhand der Verteilung von Referenzgemeinden im St. Galler Rheintal. Es wird somit zum Beispiel angenommen, dass der Anteil der Mobilitätswerkzeuge innerhalb einer Altersgruppe in der Liechtensteiner Gemeinde Vaduz etwa derjenigen in der Schweizer Gemeinde Buchs (SG) entspricht.

Aufgrund von Rundungsfehlern und den teilweise sehr kleinen Zahlen bei der Aufteilung der Bevölkerung in Altersgruppen und Mobilitätswerkzeuge, können kleinere Abweichungen zu den Randsummen entstehen (max. +/-3 Personen bzw. +/-1% bei der Randsumme auf Stufe Gemeinde).

Tabelle 35 zeigt die angenommenen Referenzgemeinden.

Tabelle 35 Zuordnung Liechtensteiner Gemeinden zu Schweizer Referenzgemeinden

Liechtensteiner Gemeinde		Schweizer Referenzgemeinde	
Gemeindenummer	Gemeinde	Gemeindenummer	Gemeinde
7001	Vaduz	3271	Buchs (SG)
7002	Triesen	3275	Sevelen
7003	Balzers	3276	Wartau
7004	Triesenberg	3275	Sevelen
7005	Schaan	3271	Buchs (SG)
7006	Planken	3274	Sennwald
7007	Eschen	3274	Sennwald
7008	Mauren	3274	Sennwald
7009	Gamprin	3274	Sennwald
7010	Ruggell	3274	Sennwald
7011	Schellenberg	3274	Sennwald

Die Zielpotenziale in Liechtenstein wurden aus den Informationen der Beschäftigtenstatistik hochgerechnet:

- Die Verkaufsflächen wurden anhand der Vollzeitäquivalente in den entsprechenden NOGA-Gruppen (vgl. Kap. 4.2.3) und der durchschnittlichen Verkaufsfläche je Vollzeitäquivalent berechnet.
- Die Besucherzahlen für Theater und Kultur wurden anhand der Verteilung der Vollzeitäquivalente im Wirtschaftszweig „R Kunst, Unterhaltung u. Erholung“ zugewiesen und mit einer Hochrechnung für die Gemeinde Schaan kalibriert.
- Die Besucherzahlen für Kinos, Bibliotheken, Spital und Bergbahnen wurden anhand der publizierten Geschäftsberichte direkt erhoben oder anhand von Beschäftigtenzahlen hochgerechnet.
- Die Besucherzahlen für die Museen in Vaduz wurden anhand der Kenngrößen in der Stadt St. Gallen abgeleitet.
- Für die Besucherzahlen im Gastro- und Hotelbereich standen die Vollzeitäquivalente aus der Beschäftigtenstatistik zur Verfügung. Die Berechnung erfolgte anschliessend analog zum Vorgehen in der Schweiz (vgl. Kap. 4.2.2).
- Die Schülerzahlen wurden anhand der Verteilung der Vollzeitäquivalente im Wirtschaftszweig „P Erziehung und Unterricht“ verteilt. Die Gesamtsumme für die Anzahl Schüler wurde anhand der Anzahl Kinder geschätzt.
- Das Durchschnittliche Haushaltseinkommen wurde anhand der entsprechenden Statistik des Amtes für Statistik berechnet (Medianwerte pro Einwohner und Vergleich mit der Schweiz). Die durchschnittlichen Löhne sind gemäss den Auswertungen des Amtes für Statistik in Liechtenstein rund 10% höher als in der Schweiz – um die Haushaltseinkommen zu generieren wurde die Medianwerte pro Einwohner entsprechend hochgerechnet.

Enklave Büsingen

Büsingen am Hochrhein ist eine deutsche Enklave innerhalb des Kantons Schaffhausen. Büsingen hat 1'358 Einwohner (DESTATIS, 2018; Stand 31.12.2017) mit einem hohen Anteil an Rentnern (vgl. Ortsentwicklungskonzept,

Gemeinde Büsingen, 2014). Nahezu 98% aller Beschäftigten pendeln aus Büsingen aus – grossmehrheitlich in die Schweiz.

Aufgrund der sehr kleinen Fallzahlen sind nahezu keine Daten über die Beschäftigten erhältlich. Folgende Informationen und Quellen wurden in die Hochrechnungen integriert:

- Gemeindeverzeichnis Deutschland: Wohnbevölkerung (2017);
- Ortsentwicklungskonzept Büsingen: generelle Informationen zur Altersstruktur, ansässigen Unternehmen und Dienstleistungsangebot (2014);
- Angaben der Gemeinden Büsingen und Dörflingen auf den entsprechenden offiziellen Websites;
- Informationen aus einem Telefonat mit dem Bürgermeister Herr Markus Möhl vom 22.03.2018;
- Gesamtverkehrsmodell Zürich.

Analog zum Vorgehen in Liechtenstein wurde auch in Büsingen die Verteilung in die verhaltenshomogenen Personengruppen anhand einer Referenzgemeinde vorgenommen. Hierzu wurde die Nachbargemeinde Dörflingen gewählt. Die Altersverteilung erfolgte indes anhand der Angaben der Gemeindeverwaltung.

Tabelle 36 Angenommene Altersverteilung in Büsingen							
Altersgruppe	0-17	18-24	25-44	45-64	65-74	75+	Total
Anteil	14%	5%	14%	36%	19%	12%	100%
Einwohner	184	63	187	495	261	168	1'358

Für die Hochrechnung der Zielpotenziale stehen für die Gemeinde nur allgemeine Aussagen zur Verfügung. Gemäss den Angaben aus dem Ortsentwicklungskonzept und dem Unternehmensverzeichnis dürfte die Zahl der Beschäftigten (33 Unternehmen im Verzeichnis) etwa 50% höher sein als in Dörflingen (20 Unternehmen im Verzeichnis). Alle Angaben zu den Zielpotentialen wurden ebenfalls relativ zu den Werten in Dörflingen hochgerechnet.

Enklave Campione

Das Dorf Campione d'Italia liegt am Luganersee, verfügt(e) in 2017 über ein grosses Casino und ist vollständig vom Kanton Tessin umgeben. Gemäss des italienischen Demografie-Portals ISTAT wohnten in Campione am 1.1.2016 1'995 Personen. In den vergangenen 15 Jahren nahm die Bevölkerung in Campione stetig ab (-292 Personen, -13%).

Folgende Informationen und Quellen wurden in die Hochrechnungen integriert:

- Statistiche Demografiche Italia ISTAT: Wohnbevölkerung (2016);
- Strukturdaten des Gesamtverkehrsmodell Tessin 2010 (Vrtic *et al.*, 2010c);
- Telefonat mit der Comune Campione d'Italia vom 15.3.2018.

Die Verteilung der Bevölkerung in die verhaltenshomogenen Personengruppen kann ebenfalls dem Demografie-Portal entnommen werden. Die Verteilung entspricht im Wesentlichen auch derjenigen im Kanton Tessin und weist einen relativ grossen Anteil an älteren Personen auf.

Tabelle 37 Angenommene Altersverteilung in Campione

Altersgruppe	0-17	18-24	25-44	45-64	65-74	75+	Total
Anteil	16%	6%	21%	29%	12%	15%	100%
Einwohner	310	127	425	581	248	304	1'995

Bezüglich Zielpotenziale stehen Angaben aus dem Gesamtverkehrsmodell Tessin (GVM TI) und Informationen der Gemeinde zur Verfügung. Die Anzahl der Arbeitnehmer kann nicht genau bestimmt werden. Gemäss Telefonat mit der Comune Campione d'Italia arbeiteten in 2017 etwa 500 Personen im Casino und etwa 600 weitere Personen in der Gemeinde, vor allem in den umliegenden Restaurants und Hotels. Die Gesamtfläche der Verkaufsflächen wurden vom GVM TI übernommen und anhand der Verteilung in Lugano auf kurz- und langfristige Güter verteilt. Das Casino wurde jährlich von rund 700'000 Personen besucht (Stand 2015).

2.2.5 Festlegung der Attraktionsraten

Für die Verteilung der Wege der Quelle-Ziel-Gruppen mit elastischen Randsummenbedingungen (z.B. Einkaufs- und Freizeitwege) spielt die Festlegung der Gewichtung der einzelnen Zielgrössen untereinander eine wichtige Rolle. Um diese Attraktionsraten so genau wie möglich zu bestimmen, wurde eine gesonderte Auswertung des MZMV 2015 durchgeführt. Hierzu wurden die Freizeitaktivitäten zunächst nach den im MZMV 2015 verfügbaren Untertypen aufgeteilt. Die Zuteilung dieser Untertypen mit deren Anteilen im MZMV zu den im NPVM verwendeten Attraktionsgrössen ergibt die Gewichte der Zielpotentiale für die verschiedenen Quelle-Ziel-Gruppen. Die aus der Auswertung resultierenden und im NPVM verwendeten Gewichte sind in den folgenden Tabellen dargestellt. Es ist dabei zu beachten, dass diese Zahlen nicht direkt als Attraktionsraten interpretierbar sind (eine Einheit der Zielgrösse zieht also nicht zwingend x Wege des betreffenden Typs an), sondern lediglich der Aufteilung der quellseitigen Verkehrserzeugung (aus den Personengruppen) auf die Zielzonen dienen.

Beispielsweise sind für Freizeitwege in der Strukturdatentabelle eine Reihe von Attraktionsgrössen hinterlegt und bei der Zielwahl ausschlaggebend, wie Gastronomie, Kino, Kultur etc. Vereinfacht davon ausgehend es gäbe in einer Zone ein Potenzial von 100 Besuchern Gastronomie, 100 Besuchern Kino und 100 Besuchern Kultur wird dieses über die Attraktionsraten gewichtet, so dass im Modell effektiv ein Potenzial von $100 \cdot 1.05 + 100 \cdot 0.94 + 100 \cdot 1.11 = 310$ wirkt (statt des ungewichteten Potenzials von 300). Für die Zielwahl relevant sind dann die Potenziale aller Zonen in Konkurrenz zueinander, so würde eine Nachbarzone, in der ungewichtet ein Potenzial von nur 295 besteht (100 Besucher Gastronomie, 55 Besucher Kino und 140 Besucher Kultur), über die Gewichtung ein Potenzial von in Summe 312 ausgewiesen. Über die Gewichtung wird im Modell folglich abgebildet, dass eine bzgl. der Einheit der Potenzialgrösse (hier: Anzahl Besucher) gleiche Menge in der Realität ein unterschiedliches Verkehrsaufkommen generiert bzw. anzieht.

Tabelle 38 Aufkommensraten (Gewichte) für die QZG $W_F(k)$, $W_F(l)$, $F(k)_W$, $F(l)_W$

Strukturgrösse (Anzahl Personen bzw. Besucher)	Gewicht $F(k)$	Gewicht $F(l)$
Einwohner	0.24	0.43
Bar / Disco	1.05	0.98
Seilbahn	0.98	1.11
Kino	0.94	1.18
Kultur	1.11	0.85
Fitness	1.12	0.83
Gastronomie	1.05	0.98
Historische Gebäude	0.94	1.18
Spitäler	1.12	0.83
Hotels	0.48	1.22
Bibliotheken	0.94	1.18
Museen	0.94	1.18
Natur	1.23	0.53
Sport	1.14	0.78
Theater	0.94	1.18
Einkäufer (kurz- und langfristiger Bedarf)	0.02	0.05

Tabelle 39 Aufkommensraten (Gewichte) für die QZG $A_E(k)F(k)$, $E(k)F(k)_A$, $E(k)F(k)_E(k)F(k)$

Strukturgrösse (Anzahl Besucher)	$A_E(k)F(k) / E(k)F(k)_A$	Gewicht $E(k)F(k)_E(k)F(k)$
Einkäufer (kurzfristiger Bedarf)	1.00	1.00
Einwohner	0.10	0.34
Besucher	0.91	1.27

Tabelle 40 Aufkommensraten (Gewichte) für die QZG A_S , S_A , S_S

Strukturgrösse (Anzahl Besucher)	A_S / S_A	Gewicht S_S
Beschäftigte	1.00	1.00
Einkäufer (kurzfristiger Bedarf)	-	1.10
Einkäufer (langfristiger Bedarf)	0.28	0.99
Einwohner	0.09	0.45
Besucher	0.30	1.83

2.3 Kosten in der Ziel- und Moduswahl

2.3.1 MIV

Grundaufwand / Fixkosten

Klassisch werden in der Verkehrsmodellierung nur die variablen Kosten für die Ziel- und Moduswahl verwendet (Ortúzar und Willumsen, 2011). In der Schweiz sind in vielen Verkehrsmodellen distanzabhängige lineare Kostenfunktionen implementiert, welche die variablen Kosten widerspiegeln.

Beim Kauf eines PWs bzw. eines ÖV-Abos (GA, Verbund) entstehen Fixkosten. Diese Fixkosten werden bezahlt, weil die mobilen Personen davon ausgehen, dass sie diese amortisieren werden. Bei den alltäglichen Entscheiden der Ziel- und Moduswahl spielen diese Fixkosten keine oder nur eine stark untergeordnete Rolle. Sobald die Mobilitätswerkzeuge gekauft sind, steigt die Relevanz der marginalen/variablen Kosten. Ob und bis zu welchem Anteil Fixkosten bei den alltäglichen Entscheiden zu berücksichtigen sind ist subjektiv und schwierig verallgemeinerbar, entsprechende Quantifizierungen liegen für die Schweiz aktuell nicht vor. In Abstimmung mit dem AG wurde für das NPVM entschieden Grundaufwände, also die Berücksichtigung eines Anteils der Fixkosten bei der Modellierung der alltäglichen Ziel- und Moduswahl, für MIV und ÖV zu berücksichtigen. Um einen Grundaufwand der MIV-Nutzung abzuschätzen wurden nachstehende Überlegungen und Auswertungen vorgenommen:

Im Jahr 2016 waren gemäss BFS/ASTRA (Strassenfahrzeugbestand) 4'524'029 PWs in der Schweiz mit einem Durchschnittsalter von 8.4 Jahren zugelassen. Die durchschnittliche Etappenlänge mit dem Auto beträgt 13.7 km und die durchschnittliche Fahrleistung pro PW 12'363 km (gemäss Auswertungen des MZMV 2015). Dies entspricht 903 PW-Etappen pro Jahr bzw. 2.47 Etappen mit einem PW pro Tag. Ein Rechenbeispiel soll nun zeigen, wieviel die jährlichen Fixkosten umgerechnet auf die einzelne PW-Fahrt betragen würden. Dem Beispiel liegt die Annahme eines 8 Jahre alten Auto mit einem Restwert von 10'000-15'000 CHF zu Grunde, die weiteren Angaben wurden aus Bösch *et al.* (2017) abgeleitet:

Besitz	1'500
Versicherung	1'000
Parken (zu Hause)	1'500
Steuer	250
<u>Autobahnvignette</u>	<u>40</u>
Summe:	4'290 CHF pro Jahr

➔ Bei 903 Etappen pro Jahr würde dies Kosten von CHF 4.75 pro PW-Fahrt entsprechen.

Dieser einfachen Rechnung folgend müssten knapp 5 CHF Grundaufwand pro PW-Fahrt angenommen werden. Dieser sehr hohe Wert für den Grundaufwand bei einem sehr günstigen Auto zeigt, dass die Verkehrsteilnehmer nicht alle Fixkosten bei den alltäglichen Mobilitätsentscheiden berücksichtigen. Nachstehend werden Annahmen gelistet, über die ein reduzierter Grundaufwand abgeleitet wird.

- 1) Es ist davon auszugehen, dass die Anschaffungskosten bei alltäglichen Entscheiden keine Berücksichtigung finden.
- 2) Versicherung, Parken (zu Hause), Steuer und Autobahnvignette sind jährlich bzw. monatlich zu leisten. Es ist davon auszugehen, dass diese wiederkehrenden Aufwendungen ebenfalls nicht in voller Höhe bei alltäglichen

Entscheiden berücksichtigt werden, es wird vereinfachend angenommen, dass diese Kosten hälftig zu berücksichtigen sind.

Daraus ergibt sich der im NPVM implementierte Grundaufwand pro PW-Fahrt:

Besitz	0	(-100%)
Versicherung	500	(-50%)
Parken (zu Hause)	750	(-50%)
Steuer	125	(-50%)
Autobahnvignette	20	(-50%)
Summe:	1'395	CHF pro Jahr

➔ Bei 903 Etappen pro Jahr entspricht dies Kosten von CHF 1.54 pro PW-Fahrt.

Neben einem PW-Grundaufwand von 1.54 CHF werden die distanzabhängigen variablen Kosten und die Parkierungskosten am Zielort berücksichtigt.

Variable Kosten

Die Ermittlung der variablen PW-Kosten für 2017 basiert auf einer Zusammenstellung der zum Zeitpunkt verfügbaren, aktuellsten Grundlagen: Berücksichtigung fanden u.a. die Analysen von Ecoplan (2018) «Berechnung der Verkehrsmittelkosten des motorisierten Strassenverkehrs» im Auftrag des BFS bzw. der darin gemachten Verweise zum VSS-Forschungsprojekt durchgeführt von EBP (2018) «Weiterentwicklung der Fahrzeugbetriebskostensätze für Kosten-Nutzen-Analysen». Des Weiteren wurden Informationen der Webseiten von ADAC, TCS und ÖAMTC beigezogen. Einerseits waren Annahmen zu treffen, z.B. zum Anteil des Wertverlustes an den variablen Kosten, andererseits Auswertungen der MOFIS-Datenbank und des MZMV durchzuführen, um zonenspezifische KM-Kosten für den PW im NPVM abzuleiten.

Die initial aufgestellten Kostentabellen nach Antriebstypen wurden mit Fachleuten von BFE und ASTRA abgestimmt. Grundsätzlich liegen mit den Auswertungen zonenspezifische KM-Kosten vor, die in entsprechender Differenzierung Eingang ins NPVM finden. In Tabelle 41 sind die distanzabhängigen variablen Kosten in CHF pro 100km nach drei Fahrzeuggrößen und fünf Antriebsarten aufgeführt. Der mittlere KM-Kostensatz im NPVM für den PW beträgt 27.1 Rp. Die zu Grunde liegende ausdifferenzierte Kostentabelle sowie die verwendeten Quellen und getroffenen Annahmen sind in der Übersicht in Anhang 7.9 dargestellt.

Die KM-Kosten je Zone werden gewichtet über die Anteile der Flotten nach Grösse und Antrieb. Dazu wurde die MOFIS-Datenbank bzw. die darin gelisteten Fahrzeuge den NPVM-Verkehrszonen zugeordnet, die Fahrzeugkategorien gebildet und die Flottensegmentierung ermittelt. Für Prognoserechnungen führt eine Justierung dieser Segmentierung, z.B. aufgrund der vermehrten Durchdringung alternativer Antriebe, automatisch zu aktualisierten KM-Kosten je Zone. Des Weiteren können die einzelnen Kostenkomponenten variiert (Erhöhung/Reduktion von Steuern oder weiteren Betriebskosten), Annahmen zu den mittleren Jahresfahrleistungen je Fahrzeugkategorie getroffen und die Effekte auf die KM-Kosten je Zone ausgewiesen werden. Gemäss der Übersicht in Anhang 7.9 wirken im Ist-Zustand 2017 des NPVM noch keine (angenommenen) KM-Kosten autonomer Fahrzeuge; auch Elektrofahrzeuge spielen mit 0.4% Flottenanteil eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 41 Distanzabhängige variable Kosten in CHF pro 100km nach Fahrzeuggrösse und Antriebsart

Fahrzeuggrösse	Benzin	Diesel	Hybrid	Elektro	Autonomes Fzg. mit Elektro
Kleinwagen (<80kW)	23.87	21.19	19.64	22.71	23.53
Mittelklassewagen (80-150kW)	30.35	26.87	23.33	25.64	26.63
Oberklassewagen (>150kW)	47.85	37.02	30.93	38.32	40.32

Parkkosten

Das dritte Kostenelement betrifft die Parkkosten. Dabei ist festzuhalten, dass laut MZMV 2015 bei den Selbstfahrern 89.6% aller Etappen ohne Parkgebühr bewältigt werden, entsprechend gering werden die mittleren Parkkosten im NPVM angesetzt. Für die Auswertung auf Basis des MZMV wurde für die Verkehrszonen die Dichte mit Einwohnern und Arbeitsplätzen pro Hektar (ha) ermittelt und sechs Klassen gebildet, der Annahme folgend, dass mit zunehmender Dichte/Urbanität höhere Parkkosten anzusetzen sind. Für die jeweilige Klasse wurde der Median der Parkkosten der Selbstfahrer berechnet (Tabelle 42). Im NPVM sind die Parkkosten derart umgesetzt, dass zweiseitig die Verkehrszone in Abhängigkeit ihrer mittleren Dichte den entsprechenden Wert zugewiesen bekommt und dieser bei der Ziel- und Verkehrsmoduswahl bewertet wird.

Tabelle 42 Zweiseitige Parkkosten nach Dichte je Verkehrszone (MZMV 2015)

Dichte [(EW+AP)/ha]	Parkkosten [CHF]	Fälle in MZMV 2015
0 – 100	0.11	64'517
100 – 200	0.44	6'572
200 – 300	0.77	1'946
300 – 400	1.16	930
400 – 500	1.36	363
> 500	1.89	572

2.3.2 ÖV

Die ÖV-Kosten werden für vier Tarifarten für die 2. Klasse ermittelt und danach mit der ÖV-Kartenbesitzrate der Einwohner der jeweiligen Quellzone gewichtet. Die vier Tarifarten sind:

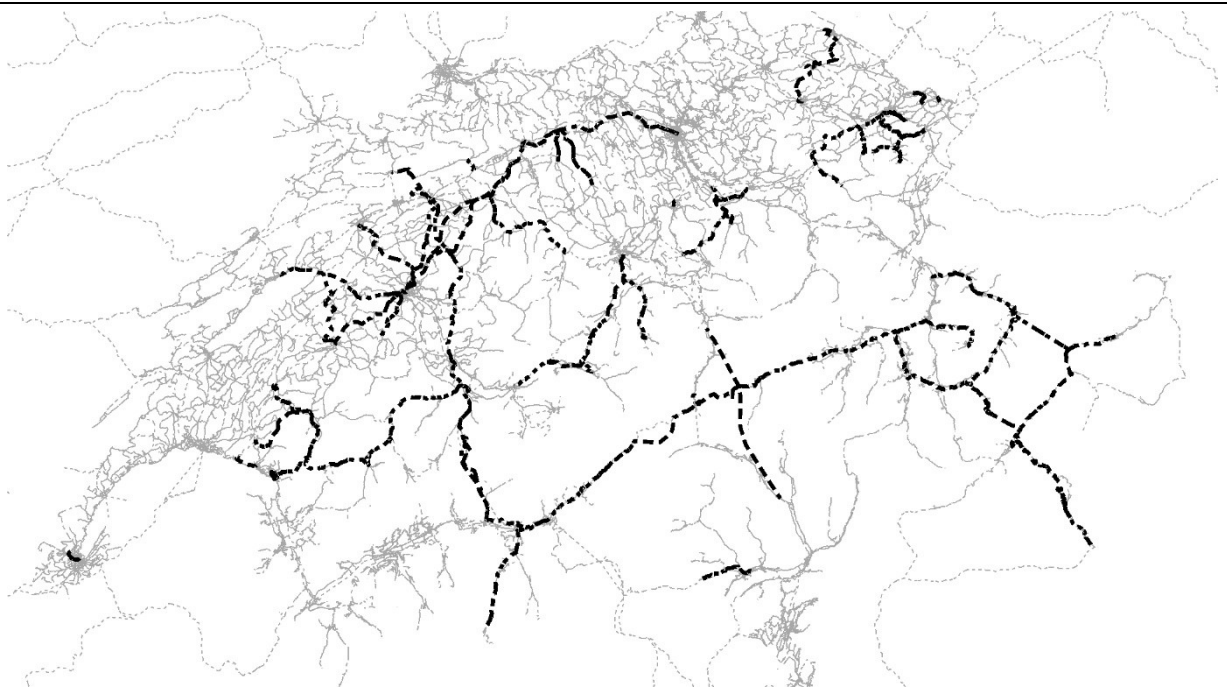
- Generalabonnement (GA): Fixbetrag CHF 3.0 (niedrigster Vollpreis) – die 3 CHF entsprechen in der Logik der anteiligen Berücksichtigung von Fixkosten bei alltäglichen Entscheiden und stellen damit eine Analogie zu den 1.54 CHF dar, die für den PW im Modell hinterlegt sind;
- Verbundabonnement: bis 12 km Fixbetrag CHF 3.0, danach der Mittelwert aus Halbtax-Preis und Vollpreis;
- Halbtax-Preis: Distanz- und Tarifzonenabhängig;
- Vollpreis: Distanz- und Tarifzonenabhängig.

Die Berechnung der Preise erfolgt abhängig von der Weglänge. Der Preis der Kurzstreckenbillette wird vergeben, wenn folgende Kriterien alle eingehalten werden: maximal 10 min Fahrzeit, 2 km Fahrweite und 4 Zwischenhalte. Die Kurzstreckenbillette haben den höchsten Rang.

Das Schienennetz hat generell einen Faktor von 1 zwischen effektiven Distanzkilometern und Tarifkilometern (alle Angaben laut T600 Allgemeiner Personentarif CH-direkt, 2017). Ausnahme bilden ausgewählte Hauptstrecken im Fernverkehr, die über einen Distanzzuschlag einen höheren Tarif je Kilometer ausweisen. Die Attributierung der Distanzzuschläge für die Bahnstrecken wurde bei mehr als 10% Abweichung der effektiven Distanzkilometer gegenüber den Tarifkilometern laut CH-direkt vorgenommen, wobei die vier Zugskategorien (A, B, C und D) unterschieden wurden. Touristische Bahnen wurden nur dort berücksichtigt, wo Gemeinden mit diesen Bahnen erschlossen werden. Alle Werte wurden als Streckenattribut eingebaut, damit eine einfache Handhabe bei einer Neuberechnung bzw. dem Einbau eines neuen Fahrplans sichergestellt ist. Für Busse und Tram wird vereinfacht ein genereller Faktor von 1.5 angenommen.

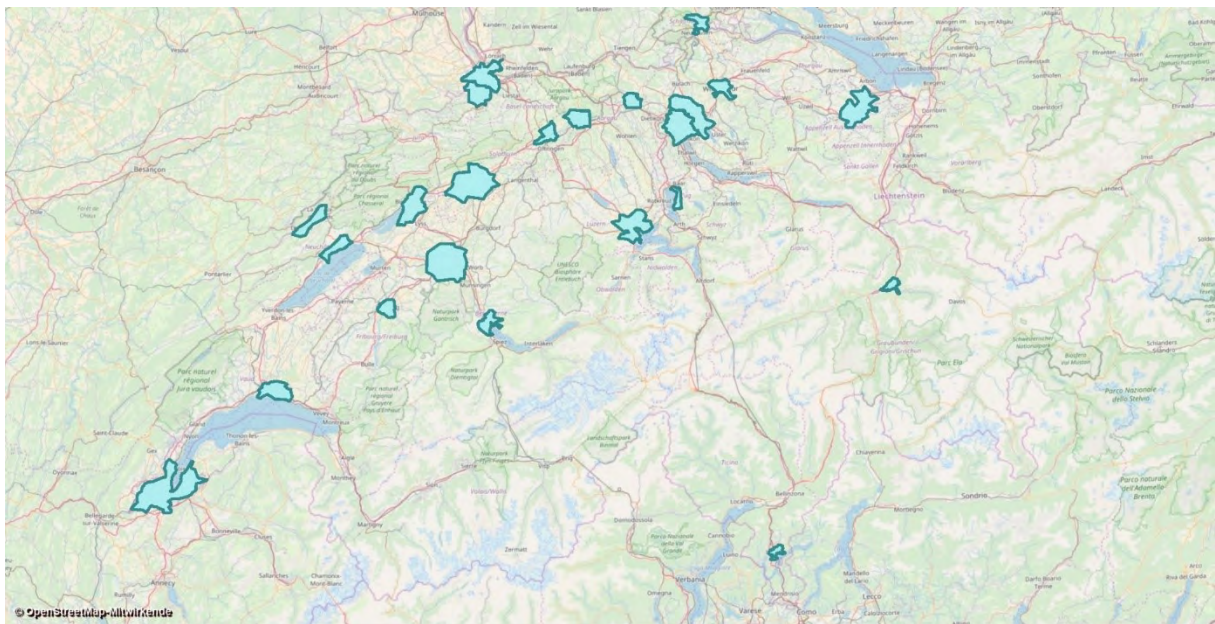
Abbildung 98 zeigt die Bahnstrecken mit attribuierten Zuschlägen ungleich 1 (Zugskategorie A, B, C oder D)

Abbildung 98 Bahnstrecken mit Entfernungszuschlägen



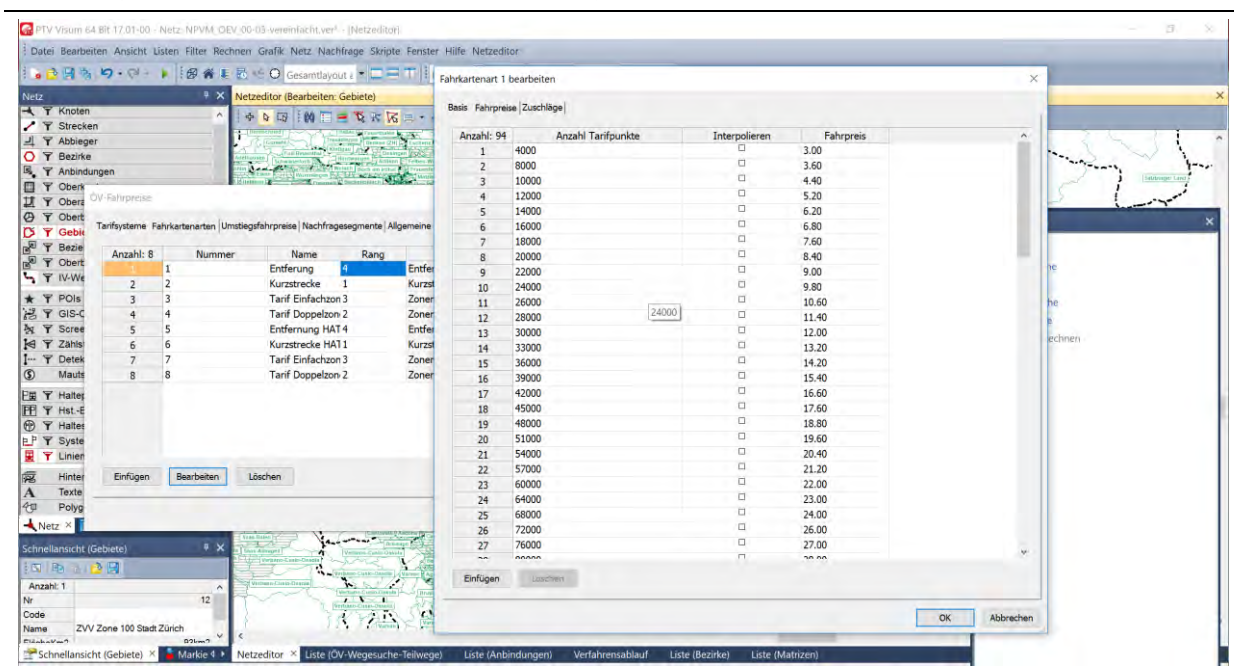
In VISUM sind in 23 städtischen Tarifzonen die Haltestellen attribuiert, dabei wird zwischen einfachen (z.B. ZVV Zone 121 Flughafen) und doppelten Tarifzonen (ZVV-Zone 110 Stadt Zürich) unterschieden. In Abbildung 99 sind die 23 Tarifzonen dargestellt. Es sind alle grösseren Städte berücksichtigt.

Abbildung 99 ÖV-Tarifzonen



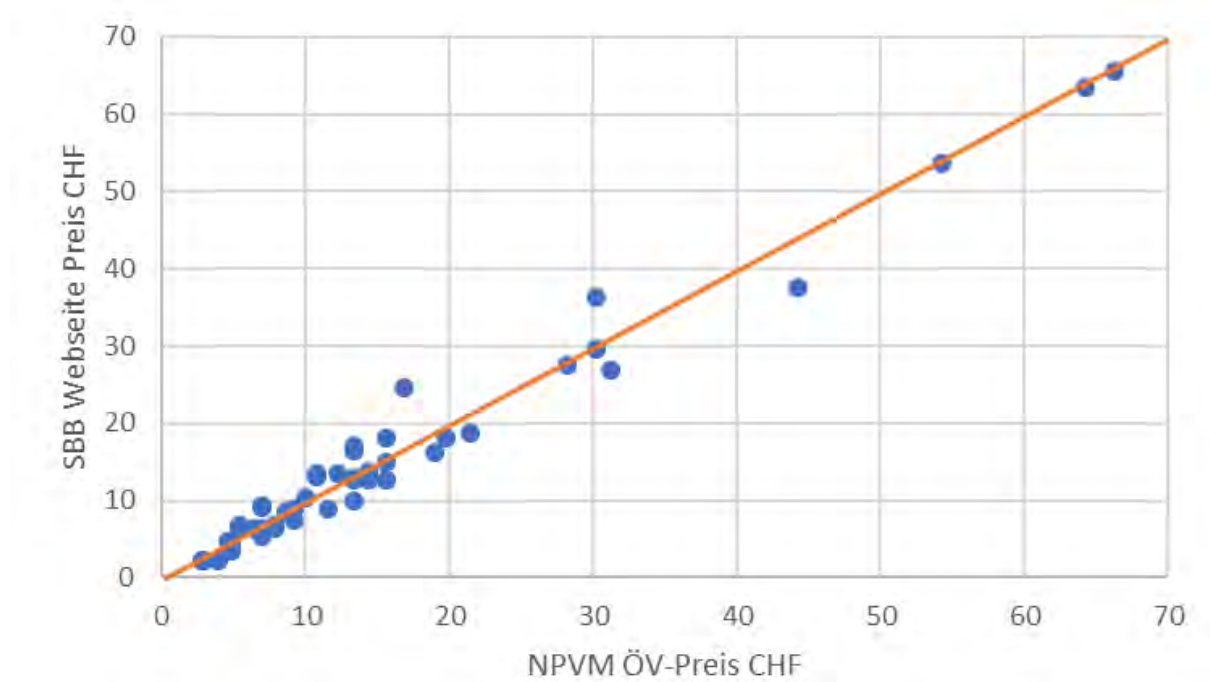
In VISUM sind vier Kategorien (Kurzstrecke, Entfernung, Einfach- und Doppelzonen) für jeweils Voll- und Halbtax-Preise definiert. Abbildung 100 zeigt die VISUM-Dialoge zur Fahrkartenart und die Tariftabelle Entfernungstarif Vollpreis mit Stand 1. Juni 2017 laut Dokument T600 Allgemeiner Personentarif.

Abbildung 100 ÖV-Preise und Fahrkartenarten Vollpreis in Visum



Die in VISUM berechneten Distanz- und tarifabhängigen Vollpreise wurden für 50 Relationen (räumlich verteilt, Kombinationen mit und ohne Zonentarif) mit den Preisangaben laut SBB-Webseite verglichen. In Abbildung 101 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt und zeigen eine gute Übereinstimmung.

Abbildung 101 Vergleich: Vollpreis 2. Klasse laut NPVM und SBB-Webseite auf 50 ausgewählten Relationen



Die Häufigkeit der Fahrkartenarten (GA, Verbund, Halbtax und kein Abo) bei der ÖV-Nutzung in Abhängigkeit der Gemeindetypisierung (Stadt-Land-Typologie: städtisch, intermediär und ländlich) wurde aus dem MZMV 2015 ausgewertet (Tabelle 43).

Tabelle 43 Anteil der Gruppe von Abo-Besitzern an ÖV-Nutzern nach Gemeindetyp [%]

Abo-Besitz	städtisch	intermediär	ländlich	alle
GA	24.1	24.8	27.1	24.5
Verbund	43.7	34.3	26.9	40.6
Halbtax (HAT)	18.5	22.6	21.6	19.4
keines	13.8	18.3	24.4	15.5

Die Anteile der vier Nutzergruppen je Verkehrszone wurden anschliessend auf Basis der SynPop ermittelt. Aus der SynPop lag – im Gegensatz zur dann aggregierten Strukturdatentabelle – die jeweilige Anzahl pro Zone der einzelnen Abonnementstypen vor (GA, Verbund, Halbtax, kein Abo). Folglich konnte für die Berechnung gewichteter ÖV-Kosten auf die differenzierte Abonnementsverteilung abgestellt werden (in der Strukturdatentabelle selbst werden die Abonnemente dann für die Modellierung zusammengefasst, siehe Anhang 7.4).

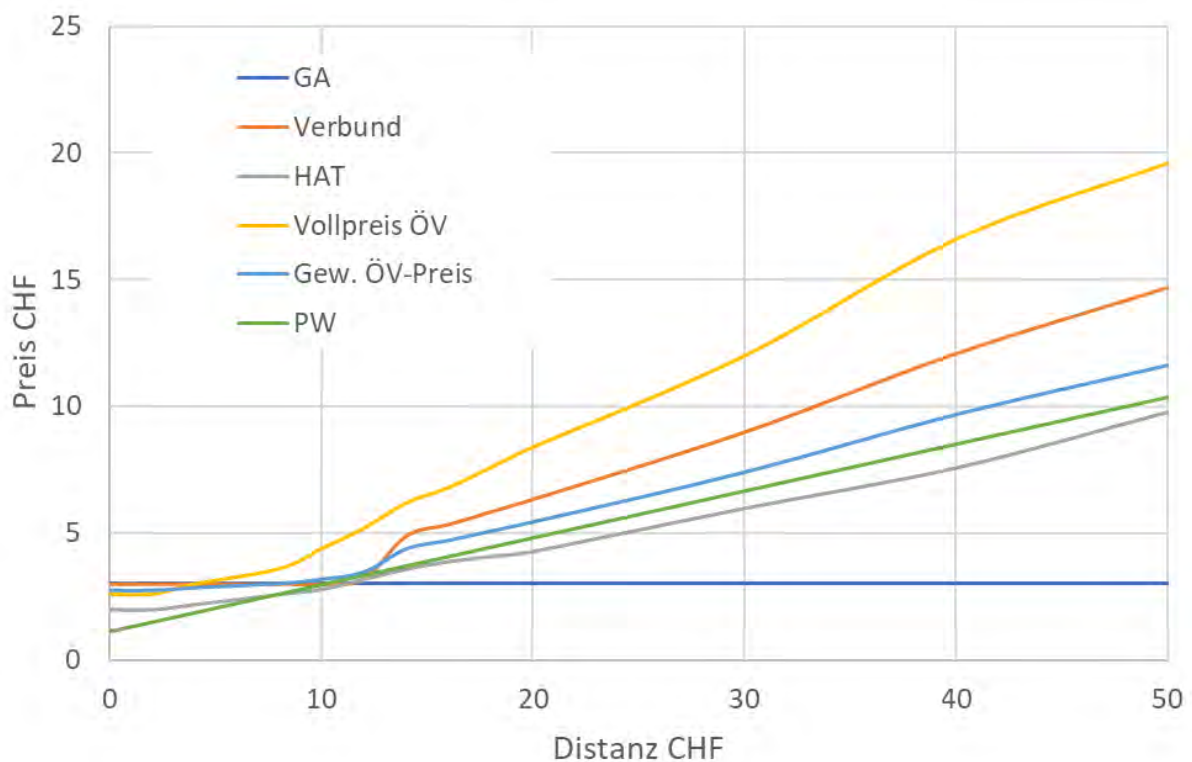
Folgendes Berechnungsbeispiel für das HAT-Gewicht am ÖV-Preis für Zone 101001 Aeugst am Albis (ländliche Gemeinde) soll dies verdeutlichen: Bevölkerung mit HAT (R_HT) 693 (Quelle: SynPop); $693 \times 21.6\%$ (Quelle: MZMV-Auswertung, siehe oben) = 149.7 ÖV-Wege mit HAT von gesamt 474.9 ÖV-Wegen (Quelle: NPVM-Erzeugung), demnach ist das Gewicht HAT am ÖV-Preis 31.53%. Derart kann für jede Zone ein gewichteter ÖV-Kostensatz ermittelt werden, der in Verbindung mit den Distanzen zwischen allen Quellen und Zielen die Aufstellung der KM-Kostenmatrix ÖV erlaubt (mit Ausnahme für Verbindungen, für die nicht der distanzabhängige Tarif gilt). Für die Prognose ergeben sich damit verschiedenen Möglichkeiten der Intervention: Einerseits kann aus einer

Prognose-SynPop eine veränderte Verteilung der Nutzergruppen resultieren, es liessen sich die empirischen Nutzeranteile aus dem MZMV modifizieren und letztlich auch die distanzabhängigen Preise je Tarifkilometer und Abonnementstyp anpassen.

Für Zonen mit weniger als 100 Einwohnern wurden die Durchschnittswerte der Auswertung verwendet. Abschliessend wird die ÖV-Kosten-Matrix symmetrisiert. Das Tarifmodell erhöht die Rechenzeit deutlich, daher ist die ÖV-Tarifberechnung nicht im Standardverfahrensablauf definiert. Dies ist im Grunde unproblematisch, da bei stabilen Eingangsdaten die Tarifberechnung nur initial realisiert werden muss. Erst bei Änderung von Inputdaten (siehe Abschnitt oben) ist eine Neuberechnung notwendig.

In Abbildung 102 sind die Kostenverläufe für den PW und die verschiedenen ÖV-Kategorien über die Distanz dargestellt. Aus der Darstellung können die Kostenverhältnisse abgeleitet werden, so ist eine Vollpreis-ÖV-Fahrt über 50 km Distanz etwa doppelt so teuer wie die Fahrt mit dem PW; die Nutzung des PW ist vor allem bei kurzen Distanzen die preislich günstigste Variante, ab einer Distanz von ca. 15 km ist die ÖV-Nutzung mit Halbtax-Besitz die günstigere Option. Gesamthaft liegt der gewichtete ÖV-Preis leicht über den PW-Kosten, was z.B. verdeutlicht, dass nur eine Minderheit der Nutzer den ÖV-Vollpreis zahlt (mit entsprechend geringerem Gewicht an den mittleren Kosten).

Abbildung 102 Kostenverläufe nach Fahrtweite für PW und ÖV (basiert auf MZMV 2015)



2.4 Ziel- und Verkehrsmoduswahl

2.4.1 Kenngrössen und Verwendung der SP-Parameter

Im Analyseprojekt zur SP-Befragung 2015 (ARE, 2017b) wurden die Bewertungsparameter für die bei der Ermittlung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl relevanten Eigenschaften des Verkehrsangebots (Fahrzeit, Kosten, Anzahl Umsteigevorgänge etc.) und der Bevölkerung (Geschlecht, Alter, Einkommen, Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen) ermittelt. Die dort beschriebenen Modelle wurden im Nachgang weiter aufgegliedert, um der vom AG geforderten differenzierten Abbildung der Raumtypen Rechnung zu tragen (ARE, 2017c). Diese Parameter werden ins Nachfragemodell eingepflegt und als Startwerte für dessen Aufbau und Kalibration verwendet.

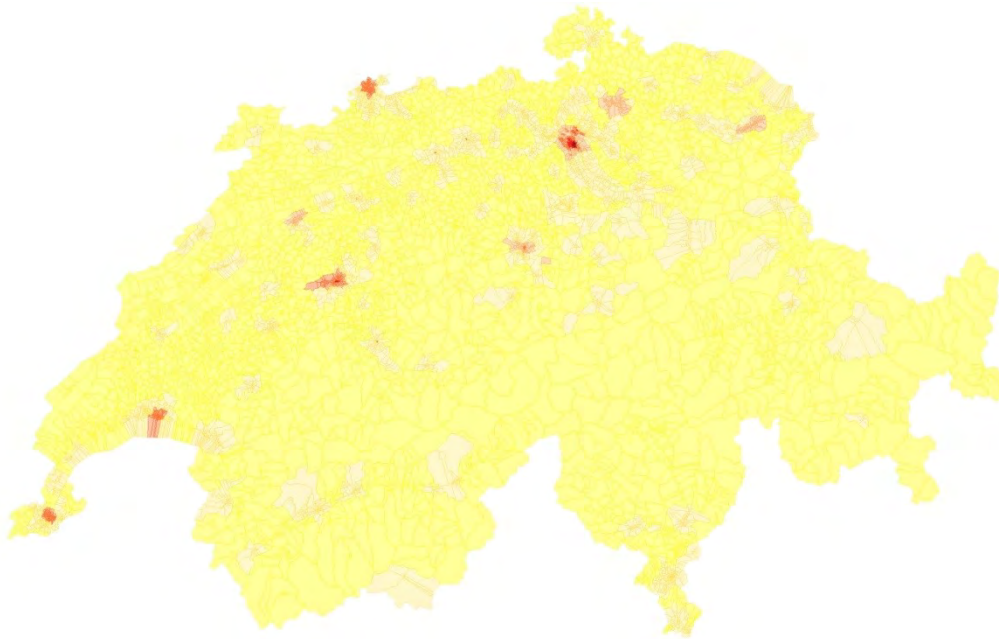
Für die Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl werden die erwähnten Bewertungsparameter mit den entsprechenden Variablenwerten pro Quell-Ziel-Beziehung verrechnet. Diese Variablen werden als Kenngrössenmatrizen (z.B. zu Reisezeiten oder Kosten) im Nachfragemodell vorgehalten. Sie können jeweils nach der Umlegung der Nachfragematrizen auf die Verkehrsnetze neu berechnet werden (Veränderung aufgrund unterschiedlicher Nachfrageverhältnisse auf den einzelnen Relationen, z.B. Erhöhung der MIV-Fahrzeit wegen mehr Stau), was zu einem iterativen Prozess der Anpassung von Verkehrsangebot und -nachfrage führt. Die initialen Kenngrössenmatrizen werden aus der Umlegung einer auf die Zonenstruktur des neuen NPVM disaggregierten Quelle-Ziel-Matrix aus dem NPVM 2010 ermittelt. Die auf dieser Grundlage berechnete initiale Nachfrage des NPVM 2017 wird dann wiederum für die Erzeugung neuer Kenngrössenmatrizen verwendet. Die Findung des Gesamtgleichgewichts aus Angebot und Nachfrage wird in den Verfahrensablauf des Nachfragemodells integriert.

Die für das Nachfragemodell relevanten Kenngrössen sind (fixe Kenngrössen, die während der Iterationen nicht ändern sind entsprechend definiert):

- Fuss: Gehzeit;
- Velo: Fahrtzeit;
- MIV: Fahrtzeit, Fahrtkosten, Parkplatzsuchzeit, Parkplatzkosten, PW-Verfügbarkeit (fix);
- ÖV: Fahrtzeit im Fahrzeug, Fahrtkosten, Zu- und Abgangszeit zur Haltestelle, Wartezeit, Anzahl Umsteigevorgänge, Takt, Auslastung, ÖV-Abonnementsbesitz (fix).

Im Rahmen der Kalibration wurden die Parkplatzsuchzeiten gemäss Abbildung 103 festgelegt. Dies trägt zu einer verbesserten Eichung der Modal-Split-Anteile insbesondere in den Städten bei.

Abbildung 103 Parkplatzsuchzeiten



Bandbreite 0 (hellgelb) – 10 (dunkelrot) Minuten

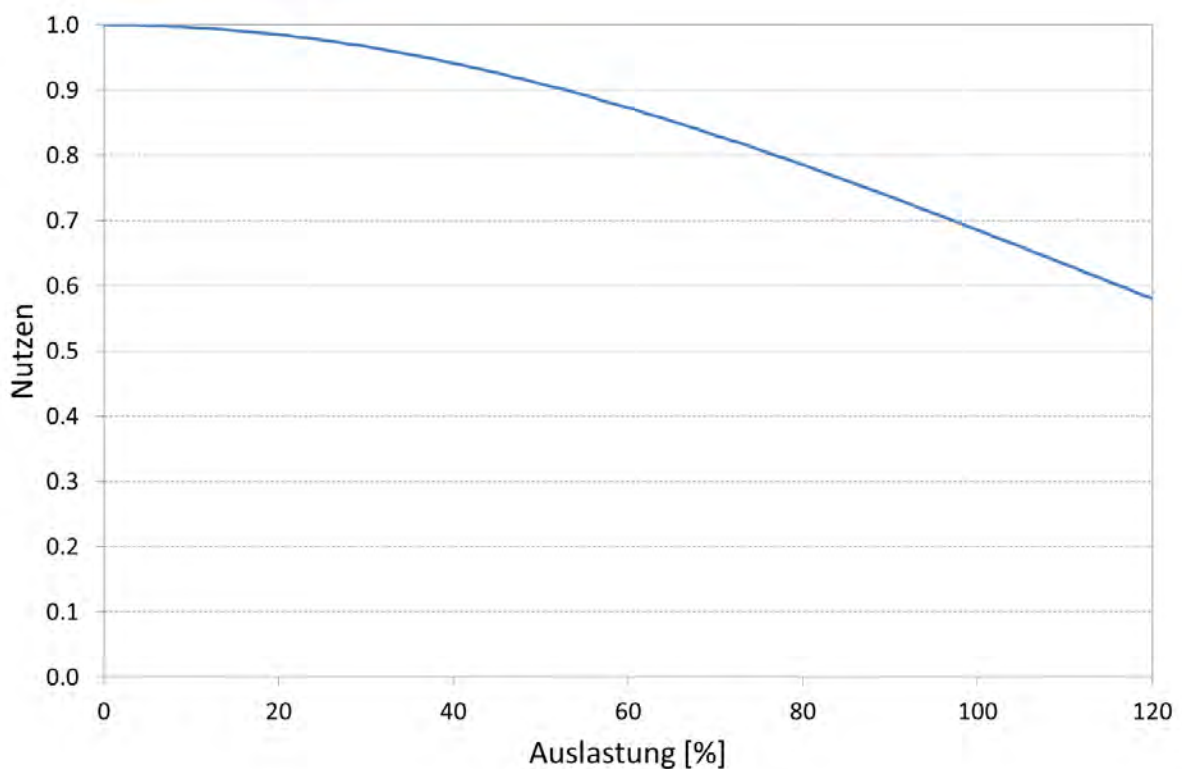
Im Gegensatz zu den Angebotskenngrössen sind die Personeneigenschaften nicht relations-, sondern nur zonenfein abzubilden. Diese werden als sogenannte Vektoren (Matrizen mit gleicher Belegung aller Spalten) vorgehalten und bei der Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl entsprechend ihrer Parametrisierung in die Nutzenfunktionen einbezogen.

2.4.2 Matrix der ÖV-Auslastung

Ausgewählte Hauptachsen im Schweizer ÖV-Verkehrssystem können heute als «hoch ausgelastet» beschrieben werden. Aus der hohen Auslastung entstehen Komforteinbussen, die Einfluss nehmen können auf die Verkehrsmittel- und/oder Abfahrtszeitwahl. Für das NPVM war eine Methodik zu entwickeln, um die Nachfragewirkung von Auslastungsgraden des Rollmaterials im Schienenverkehr in Ist-, wie Prognosezuständen berücksichtigen zu können. Im Fokus liegt dabei die «schwere Schiene», d.h. Verbindungen gemäss Systemfahrplan SBB, die Beschränkung auf Relationen innerhalb des Planungsgebietes, die Wirksamkeit innerhalb des Teilschrittes Verteilung/Moduswahl und eine entsprechende Massnahmensensitivität und Prognosefähigkeit.

Grundlagen für die Analyse von Auslastung/Komfort liefern die Ergebnisse der SP-Befragung 2015 (ARE, 2017b), welche die Wahrnehmung einer hohen Auslastung der ÖV-Sitzplatzkapazitäten auf die Nachfrage untersucht. Diese Untersuchung liefert die Basis für die Logit-Parameter zur Bewertung im NPVM (Verlauf siehe Abbildung 104).

Abbildung 104 Bewertung der ÖV-Auslastung



Im Projekt wurden verschiedene technische Möglichkeiten zur Umsetzung diskutiert: Naheliegender ist die Möglichkeit, innerhalb von VISUM die belastungsabhängige ÖV-Umlegung zu nutzen. Das setzt jedoch voraus, dass *alle* Strecken mit einer Kapazität versorgt sind. Die Berechnung wird dann auch für alle Relationen ausgeführt und wirkt damit hauptsächlich auf eine (v.a. zeitliche) Verschiebung zwischen den ÖV-Verbindungen innerhalb der VISUM-ÖV-Umlegung. Die Rechenzeiten einer derart umgesetzten, kapazitätsabhängigen ÖV-Umlegung ist ein n-faches (n-Zahl der Schritte) der klassischen Umlegung, da mehrere Iterationen durchzuführen sind bis sich ein Gleichgewicht einstellt. Diese Option stellte sich aus verschiedenen Gründen als nicht geeignet dar: sie ist nicht vollständig umsetzbar (es lagen keine Rollmaterialkapazitäten für das gesamte ÖV-Angebot vor), stark ansteigende Rechenzeiten verringern die praktische Handhabbarkeit des Gesamtmodells (beispielsweise würden 3 Iterationen zu mindestens 8 Std. zusätzlicher Umlegungszeit nur im ÖV führen – zu multiplizieren mit der Anzahl an Iterationen mit dem Nachfragemodell), Wirkungen von Komforteinbussen auf die Ziel- und Verkehrsmoduswahl sollen abbildbar sein.

Eine alternative Möglichkeit bot sich über die Erstellung einer Kenngrösse ÖV-Auslastung mit einem Auslastungswert pro Quelle-Ziel-Relation. Diese Variante ist auch insofern vorzuziehen, als dass über eine Kenngrösse Wirkungen der ÖV-Auslastung in das Nachfragemodell eingehen und damit Relevanz für die Ziel- und Verkehrsmoduswahl haben. In Rücksprache mit dem AG wurde entschieden, dass NPVM 2017 dahingehend weiterzuentwickeln. Die Analysemöglichkeit von Wirkungen auf die Verkehrsmittelwahl (insbesondere Strasse/Schiene) rückt damit in den Fokus und wurde vom AG als wichtiger erachtet, als die explizite Modellierung von anderen Verbindungen innerhalb des ÖV-Systems (über die Verlagerung auf einen früheren/späteren Zug). In der Umsetzung wurde dazu die erstmalig erstellte Auslastungsmatrix in die Nachfrageberechnung integriert und über Iterationen mit dem Angebotsmodell solange rückgekoppelt, bis die Veränderungen der Auslastungsmatrix vernachlässigbar

waren. Die Matrix wird mit Hilfe eines Python-Scriptes ausserhalb von Visum berechnet, Aufruf und Berechnung können aber aus VISUM heraus realisiert werden. Die Berechnung umfasst folgende Schritte:

1. Vorbereitung:
 - a. Die Fahrplanfahrten des Systems «Schwere Schiene» werden mit einem Kapazitätsattribut versehen. Hierzu stehen Kapazitätsangaben des Rollmaterials zur Hauptverkehrszeit des SBB-Systemangebots 2017 zur Verfügung (Quelle: BAV/SBB, in Übereinstimmung zu den Analysen der SP-Befragung werden die Sitzplätze berücksichtigt). Es wird anschliessend die Nachfrage der Kapazität gegenübergestellt. Auf dieser Basis wird der Auslastungswert als Quotient von Belegung und Kapazität definiert.
 - b. Es wird eine fahrplanfeine ÖV-Umlegung berechnet mit der Einstellung, dass die Belastung pro Verbindung gespeichert wird.
2. Python-Script zur Berechnung der Auslastungsmatrix:
 - a. Export der ÖV-Teilwegliste: Sie enthält alle Teilwege der «schweren Schiene» mit den Daten Quellbezirk, Zielbezirk, Pfadindex, Pfadteilwegindex, Quelle-Ziel-Wege, Von-Haltepunkt, Nach-Haltepunkt, Fahrplanfahrtnummer.
 - b. Export der Fahrplanfahrt-Verläufe-Liste: Sie enthält pro Datensatz die Information Fahrplanfahrtnummer, Von-Haltepunkt, Nach-Haltepunkt, Belastung, Kapazität und ein Gewichtsattribut für diese Fahrt (im Anwendungsfall die Länge des Elementes).
 - c. Für jeden ÖV-Teilweg: Berechnen der gewichteten Auslastung über alle Fahrplanfahrt-Elemente dieses Teilweges.
 - d. Für jeden ÖV-Weg: Berechnen des gewichteten Auslastungswertes über die zugehörigen ÖV-Teilwege.
 - e. Für jede Quell-Ziel-Relation: Berechnen einer mittleren gewichteten Auslastung über mehrere ÖV-Wege hinweg mit Gewichtung über Personenfahrten der einzelnen ÖV-Wege.
 - f. Export der finalen Matrix ÖV-Auslastungsmatrix.

Die ÖV-Auslastungsmatrix ist belastungsabhängig, deshalb muss das Nachfragemodell – ähnlich wie dies für den MIV standardmässig erfolgt – mit dem ÖV-Angebotsmodell rückgekoppelt werden. Die Beschreibung des Konvergenzkriteriums erfolgt im Abschnitt Konvergenzkriterien.

Mit diesem Verfahren wurde methodisch Neuland beschritten. Die Datenmenge, die bearbeitet werden muss, ist sehr gross. Die Zahl der ÖV-Teilwege «schwere Schiene», die für die Berechnung zu exportieren sind, beträgt fast 1 Milliarde Datensätze. Daher beträgt die Laufzeit für das Script ca. 24 Stunden zusätzlich zur normalen Umlegungszeit. Mit der Einbindung in die Rückkopplung und Neuberechnung bei jeder Iteration zwischen Angebot und Nachfrage steigt die Berechnungszeit des Verkehrsmodells erheblichen an. Es ist daher abzuwägen, ob und wie oft im Berechnungsprozess eine Auslastungsmatrix vollständig neu gerechnet wird. Handelt es sich um ein Szenario/Massnahme, aus dem nur geringfügige Wirkungen auf die ÖV-Nachfrage zu erwarten sind (z.B. lokal begrenzte Massnahmen), ist die initiale und einmalige Berechnung/Bewertung der Auslastung als ausreichend zu erachten, während bei Szenarien/Massnahmen mit deutlicher Wirkung eine iterative Neuberechnung zwingend sein kann. Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass Szenarien streng genommen nur dann bzgl. ihrer Wirkung vergleichbar sind, wenn hinsichtlich des Umgangs mit der ÖV-Auslastung einheitlich umgegangen wurde. Das heisst, es ist zu vermeiden, Anwendungsfälle zu vergleichen die vollständig ohne bzw. mit ÖV-Auslastung gerechnet wurden.

Grundsätzlich bedeutet die Bewertung der ÖV-Auslastung eine Steigerung der Modellqualität. Die Ergebnisse zeigen, dass plausible Wirkungen (Verlagerungen auf andere Verkehrsmittel) modelliert werden und sich über

die Iterationen zwischen Angebot und Nachfrage ein Gleichgewicht bzgl. der Auslastungsbewertung einstellt (siehe auch die Erkenntnisse zum Umgang mit der ÖV-Auslastungsmatrix in Kapitel 3.1.1).

2.5 Umlegung und Verkehrsangebot, Kenngrössen

2.5.1 MIV

Der Schritt Umlegung dient dazu, die Nachfrage auf die Routen im Netz umzulegen. Im NPVM sind die Nachfrageströme auf verschiedene Matrizen verteilt:

- PW Binnen: Matrix der PW Ströme für den Binnenverkehr der Schweiz
- PW FH: Matrix der PW Ströme für den landseitigen Flughafenverkehr
- PW QZD: PW-Matrix mit dem Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr in Bezug auf die Schweiz (Aussenverkehr)
- LI: Lieferwagenverkehr
- LW: Lastwagen
- LZ: Last-/ Sattelzüge

Die Umlegung erfolgt in einem mehrstufigen Verfahren: In einem ersten Schritt werden die Matrizen des Wirtschafts- und Güterverkehrs (LW und LZ) mit einem Sukzessivverfahren (3 Schritte) auf die schnellsten Routen umgelegt. Diese Ströme werden dadurch hauptsächlich auf das Autobahn- und Hauptstrassennetz geroutet. Nachfolgend wird der PW-Aussenverkehr und abschliessend gleichzeitig die Lieferwagen und PW mit dem Gleichgewichtsverfahren (Frank-Wolfe-Algorithmus) umgelegt. Da das Hauptstrassennetz durch den Schwerverkehr vorbelastet ist, werden die PW-Ströme neben dem Hauptstrassennetz verstärkt auch auf das Nebennetz umgelegt.

Aus dem Angebotsmodell werden folgende Kenngrössen für das Nachfragemodell ermittelt:

- TTC: Zeit im belasteten Strassennetz
- DIS: Distanz
- KOS: variable Kosten

Die Kostenmatrix wird auf Basis der Distanzmatrix ermittelt. Die vollständige Berechnung dieser Matrix (inklusive Grundaufwände) und anderer Kenngrössen wie Parkkosten und -suchzeit erfolgt im Teilmodell Nachfrage.

2.5.2 ÖV

Die ÖV-Umlegung erfolgt mit dem fahrplanfeinen Verfahren. Die Nachfrage liegt in folgenden Matrizen vor:

- ÖV Binnen: Matrix der ÖV-Ströme für den Binnenverkehr der Schweiz
- ÖV FH: Matrix der ÖV-Ströme für den landseitigen Flughafenverkehr
- ÖV QZD: ÖV-Matrix mit dem Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr in Bezug auf die Schweiz (Aussenverkehr)

Als Kenngrössen werden geschrieben:

- JRTA: Fahrtzeit im Fahrzeug (Beförderungszeit)
- ACT: Zugangszeit zur Haltestelle
- EGT: Abgangszeit von der Haltestelle

- TWT: Umsteigewartezeit
- NTR: Umsteigehäufigkeit
- EJT: Takt als Quotient aus Anzahl Minuten im Umlegungszeitraum und Anzahl Bedienungen
- DISC: belastungsabhängige ÖV-Auslastung
- KOS: Kosten jeweils für Halbtax, Verbund und Generalabonnement
- Zugangszeit
- Abgangszeit

Der Umlegungszeitraum umfasst den Zeitbereich von 5 bis 24 Uhr.

2.5.3 Velo

Grundlagen zur Veloumlegung

Literaturanalyse

Im NPVM wird erstmalig auch die Velo-Nachfrage auf ein Verkehrsnetz umgelegt. Die damit verbundenen Anforderungen (Aufbau Velo-Netz und dessen Attributierung) bedeuteten in Aufwand und Qualität schwierig abzuschätzende Neuerungen, zudem bestehen nur sehr begrenzt Informationen zur Validierung einer Velo-Umlegung. Die Umlegung des Velo-Verkehrs bietet grundsätzlich andere Herausforderungen als eine klassische Umlegung für den motorisierten IV. Der wichtigste Unterschied ist dabei die Tatsache, dass Radfahrer im Alltag keine bzw. nur vernachlässigbare Verzögerungen durch erhöhtes Verkehrsaufkommen erfahren. Iterative Verfahren, wie eine Gleichgewichtsumlegung werden daher nicht benötigt. Die Routenwahl von Radfahrern wird allerdings von vielfältigen Umweltfaktoren (Eigenschaften des Radwegs, Verkehrsdichte, Erholungsfaktor etc.) bestimmt, die das Radfahren auf einer Strecke mehr oder weniger attraktiv machen, aber im Verkehrsnetz schwierig harmonisiert zu quantifizieren sind. Im NPVM Velo-Netz wurde ein grundlegender Widerstand des Verkehrssystems Velo etabliert, der die Faktoren Steigung einer Strecke sowie die Verkehrsbelastung durch den Kfz bei der Berechnung der Velo-Fahrtzeit berücksichtigt.

In der Literatur finden sich zahlreiche weitere Einflussfaktoren, die einen Einfluss auf die Routenwahl von Radfahrern haben. Viele Studien basieren auf GPS-Daten, die von Radfahrern aufgezeichnet wurden. Folgende Faktoren wurden als einflussreich identifiziert:

- **Gefühlte Sicherheit:** Das Sicherheitsgefühl von Radfahrern hängt hauptsächlich von der Interaktion mit dem MIV ab. Je besser Radwege von der Strasse getrennt sind, desto wohler fühlen sich die Radfahrer (Kang 2013). Auch geparkte Fahrzeuge sind dabei von Bedeutung, da plötzlich geöffnete Autotüren für Radfahrer eine Gefahr darstellen. (Sener 2009) geht daher so weit, zwischen Parken längs und quer zur Strasse zu unterscheiden.
- **Leichtläufigkeit:** Viele Radfahrer scheuen grosse Anstrengungen auf ihrer Strecke, um nicht ins Schwitzen zu kommen. Dazu zählen Strassen mit ungeeignetem Strassenbelag wie z.B. Kopfsteinpflaster (Segadilha 2014). Auch Höhenunterschiede auf Teilstrecken sind entscheidend.
- **Kontinuität:** Häufiges Abbremsen und Beschleunigen ist anstrengend für Radfahrer und wird von ihnen daher vermieden. Viele Pendler nehmen Umwege in Kauf, um auf einer Strecke zu fahren, die lange Passagen

ohne Kreuzungen enthält (Broach, Dill, and Gliebe 2012). Hier spielt auch der Wunsch nach Sicherheit wieder eine Rolle, da jede Kreuzung eine potenzielle Gefahrensituation darstellt (Law, Sakr and Martinez 2014).

- **Umgebung:** Radfahrer sind ihrer Umwelt viel direkter ausgesetzt als Autofahrer und lassen sich daher in ihrer Routenwahl durch sie beeinflussen. So werden z.B. Routen mit einem hohen Schwerverkehrsaufkommen gemieden, da diese Fahrzeuge Lärm und Staub erzeugen. (Dill 2008)

Je nach Wegezweck einer Radroute sind diese Faktoren unterschiedlich zu gewichten. Berufspendler sind z.B. weniger sensibel für diese Faktoren als Freizeitradler. Für sie ist die Reisezeit von grösserer Bedeutung (Menghini *et al.* 2010).

Die Modellierung des Radverkehrs ist häufig durch die Ausrichtung von Verkehrsmodellen auf den MIV eingeschränkt. Streckentypen, Strukturdaten und das Strassennetz sind meist nicht detailliert genug dargestellt, um alle möglichen Alternativen für Radfahrer abzubilden. Laut (Gasser *et al.* 2017) ist auch das Verkehrsverhalten von Radfahrern schlecht durch ein auf den MIV fokussiertes Netz abzubilden. So fahren sie häufig auf dem Fussweg, wenn nur ein unattraktiver Radweg existiert. An Knotenpunkten ist es ausserdem schwer einen Widerstand festzulegen, da Radfahrer beim Abbiegen nicht unbedingt an der Ampel warten. (Gasser *et al.* 2017)

Umlegungsverfahren

Für die Umlegung des Radverkehrs wird das in Visum enthaltene stochastische Umlegungsverfahren verwendet. Stochastische Umlegungsverfahren eignen sich besonders dazu, die Unterschiede in der Entscheidungsfindung zwischen Verkehrsteilnehmern abzubilden. Bei der Umlegung von Radverkehr spielt die Belastung einer Strecke keine entscheidende Rolle. Für jeden Weg sollte eine adäquate Anzahl relevanter Routen berücksichtigt werden. Zur Ermittlung der betrachteten Alternativen dienen in Visum simulationsbasierte Verfahren. Diese ermitteln wiederholt die kürzesten Wege durch Bestwegverfahren mit zufällig veränderten Widerständen der Netzelemente.

Parameter der stochastischen Umlegung

Um die Auswirkungen zusätzlicher Iterationen und variierten Parameter auf die Rechenzeit und das Modellergebnis abschätzen zu können, wurde ein Teilnetz für den Grossraum Bern aus dem Netzmodell ausgeschnitten. Da hier die Umlegungsdauer gering ist, konnten mehrere Testläufe durchgeführt werden. Aus den relativen Unterschieden zwischen den Läufen lassen sich Rückschlüsse auf die Auswirkungen im Gesamtmodell ziehen.

Widerstand

Der Widerstand berechnet sich aus dem allgemeinen Widerstand des Verkehrssystems Velo und aus benutzerdefinierten Widerständen, die z.B. auch auf Level des gesamten Weges erhoben werden können. Der allgemeine Widerstand wird aus der Nachfrageberechnung beibehalten und bezieht die Anbindungslänge, sowie die Steigung und Attraktivität der Strecken durch ein aggregiertes Attribut mit ein (*VELO_Wid*). Zusätzlich werden als Ergebnis aus der Literaturrecherche zwei Widerstandselemente auf Ebene der Routen betrachtet. Die Gewichtungsfaktoren dieser zusätzlichen Widerstände werden anhand der Literatur und auf Basis von Tests am Teilmodell Bern abgeschätzt.

- Höhenunterschied: Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Punkt der Route. Je Meter Höhenunterschied werden 2 Sekunden als zusätzlicher Wegewiderstand addiert: $2 * ([MAX:NODES\ZCOORD] - [MIN:NODES\ZCOORD]) / [MIN:NODES\ZCOORD]$
- Kontinuität: Anzahl potenzieller Konfliktsituationen entlang einer Route je Kilometer. Konfliktsituationen bestehen an mindestens dreiarmligen Knoten und sind je nach Abbiegertyp unterschiedlich gewichtet ($5 * [SUM:ABBIEGER\VELO_KONFLIKT] / [LAENGE]$)

Abbildung 105 Basisparameter der Velo-Umlegung

Parameter für Stochastische Umlegung

Basis | Widerstand V | Glättung | Suche | Vorauswahl | Wahl

☐ Bestehende Umlegung als Startlösung verwenden

Globale Abbruchbedingung

Maximale Anzahl Iterationen: 1

Abbruchbedingung im Netzausgleich

Maximale Anzahl Iterationen: 1

$$ABS (R (t) - R ' (t-1)) < MIN (0.01 * MAX (R (t), R ' (t-1)) + 1 , 5)$$
 und

$$ABS (Vol (t) - Vol (t-1)) < MIN (0.01 * MAX (Vol (t), Vol (t-1)) + 0.005 , 0.01)$$

$R (t)$ = Netzelementwiderstand im Iterationsschritt t
 $R ' (t)$ = geglätteter Netzelementwiderstand im Iterationsschritt t
 $Vol (t)$ = Routenbelastung im Iterationsschritt t in Belastungseinheiten

OK Abbrechen

Tabelle 44 Attributsbelegung Velo_Konflikt

Abbiegertyp	Auf höherrangige Strecke	Gewicht
Rechts	Ja	2
	Nein	1
Geradeaus	Ja	1
	Nein	0
Links	Ja	4

	Nein	3
Umdrehen	-	4

Auf weitere Widerstände auf Ebene der Gesamtwege wird verzichtet. Zum einen empfiehlt es sich, die Festlegung des Widerstandes vor allem auf den allgemeinen Widerstand des Verkehrssystems zu stützen: *«Der Widerstand aus den Eigenschaften des Weges ist ein Element der Routenwahl, nicht aber der Suche. Daher ist anzustreben, die Definition des Suchwiderstands möglichst vollständig zu halten und nur dann Elemente auf der Ebene der Wege zu verwenden, wenn sich diese aus der Teilroutenmenge definieren»*(PTV Vision Software 2017), zum anderen liegen für weitere Velo-Widerstandselemente keine belastbaren Werte vor.

Suche

Mit dem Schritt der «Suche» wird bestimmt, nach welchen Kriterien verschiedene Wege gesucht werden. Dies erfolgt durch die stochastische Variation der Widerstände sowohl für den allgemeinen Widerstand des Verkehrssystems, als auch für die Widerstände der Gesamtwege. Zusätzliche Variationen führen zu mehr Wegen, die von den Radfahrern genutzt werden können. Tests am Modell zeigen, dass zusätzliche Suchiterationen mit variiertem Widerstand die Umlegungszeit stark beeinflussen (siehe Tabelle 45).

Tabelle 45 Auswirkungen zusätzlicher stochastischer Variationen

Iterationen	0	1	2	3	4
Relative Rechenzeit	100%	180%	260%	330%	420%
Wege je Relation	1	1.35	1.66	1.95	2.23

Auf Basis dieser Tests wurden für den allgemeinen Widerstand des Verkehrssystems zwei zusätzliche Suchiterationen durchgeführt. Die weniger zeitkritische Variation der Gesamtwegwiderstände kann zehnmal durchgeführt werden. Bei Anwendungen des Modells, die sich auf Teilbereiche des Netzes fokussieren, kann durch stochastische Variationen mehr Variation bei den Routen erreicht werden. Für eine schnelle Vorauswahl von Routen betrachtet die stochastische Umlegung Wegemaschen. Überfahren zwei Routen denselben Zwischenpunkt, werden die Teilwege vor und nach der Kreuzung als Maschen bezeichnet. Der Umwegtest auf Ebene der Maschen schliesst unverhältnismässig schlechte Teilwege bereits aus, bevor der Gesamtweg komplett vorliegt. So kann Rechenzeit eingespart werden weshalb dieses Verfahren angewandt wird. Im Fall des NPVM wird die Fahrzeit durch das benutzerdefinierte Attribut „VELO_T0“ bestimmt. t_0 setzt eine konstante Reisegeschwindigkeit von 15km/h voraus und ist dadurch proportional zur Länge der Strecke. Demzufolge wird festgelegt, dass ein Teilstück einer Alternative maximal 40% +100m länger sein darf als die kürzeste Strecke.

Abbildung 106 Parameter der Routensuche bei der Velo-Umlegung

Parameters: Stochastic assignment

Basis | Impedance V | Smoothing | Search | Preselection | Choice

Randomized search

☒ Execute

Number of extra search iterations: 2

Random impedance = impedance R' + Sigma * N-distributed random number

Sigma = 6 * (1 / external iteration ^ 1) * impedance R' ^ 0.5

Random variation of the coefficients of the user-defined impedance components

☒ Execute

Number of extra variations: 10

Random coefficient = Coefficient + 0.5 * N-distributed random number * Coefficient

Detour test

☒ Execute

A path P is deleted if the following applies to an existing path P' for a mesh

T0 of the mesh of P > 1.4 * T0 of the mesh of P' + 24s

☐ and the entire impedance of the path P is larger than the impedance of P' with respect to all coefficient sets

OK Cancel

Vorauswahl

Gesamtwege, die den hier festgelegten Mindestanforderungen nicht entsprechen, werden verworfen. Damit ein Weg verworfen wird, müssen alle drei Ausschlusskriterien erfüllt sein. Ein Weg, der auf Basis der Reisezeit, der Reiseweite und des gefühlten Widerstands mindestens 10% schlechter ist, als der beste Weg, wird in der Velo-Umlegung des NPVM aussortiert. Dieser Wert basiert auf den Ergebnissen von (Dill 2008).

Abbildung 107 Parameter der Vorauswahl der Routen bei der Velo-Umlegung

Parameter für Stochastische Umlegung

Basis | Widerstand v | Glättung | Suche | Vorauswahl | Wahl

Eine Route wird gelöscht, wenn

geglätteter Wid R' > 1.1 * minimaler geglätteter Wid R' + 0

und

t0 > 1.1 * minimales T0 + 0

und

gesamter Widerstand > 1.1 * minimaler gesamter Widerstand + 0

☒ Test einmalig anwenden, wenn Route erstmals gefunden wird

OK Abbrechen

Wahl

Auf Basis des Wahlmodells entscheiden die Radfahrer, welche der zuvor gefundenen Gesamtwege tatsächlich genutzt werden. Da die Auswahlkriterien der Gesamtwege zur Einsparung von Rechenzeit streng gehalten sind, wird im Wahlmodell ein wenig deterministisches Verhalten festgelegt (β -Parameter = 0.5). Dadurch werden die Nutzenunterschiede der verbleibenden Routen als wenig relevant gewertet und die meisten Alternativen auch tatsächlich genutzt. Als Aufteilungsmodell wird ein Logit Modell genutzt. Damit ist die Velo Umlegung methodisch konsistent mit der im NPVM genutzten Ziel- Modus- und Routenwahl des ÖV. Der Skalierungsfaktor (1/60)

rechnet die Widerstände von gefühlten Sekunden in gefühlte Minuten um. Da das Logit Modell mit absoluten Differenzen der Widerstände arbeitet, können dadurch realistischere Entscheidungen abgeleitet werden.

Die Eigenständigkeit von Wegen definiert sich über die Länge. Wie bereits beschrieben, leitet sich t_0 direkt von der Länge ab. Somit ist die Länge das beste verfügbare Vergleichskriterium.

Abbildung 108 Routenwahlparameter der Velo-Umlegung

Parameter für Stochastische Umlegung

Basis | Widerstand C | Glättung | Suche | Vorauswahl | Wahl

Aufteilungsmodell: Logit

Nutzen $U = e^{-\beta R}$
R = Widerstand einer Route

$\beta = 0.5$

Skalierung R = 1 / 60

Eigenständigkeit

☐ definieren über t_0 ☒ exakte Berechnung nach Cascetta

☒ definieren über Länge ☐ schnelle, approximierte Berechnung nach Ben Akiva

OK Abbrechen

Umlegungsergebnisse

Die Auswertung der Umlegungsergebnisse erfolgte mittels derjenigen Velomatrix, die das Ergebnis des kalibrierten Modellzustands darstellt. Eine Kalibrierung der Velo-Umlegung fand nicht statt. Ferner war das Ziel, eine qualitative Umlegungsanalyse durchzuführen und Erkenntnisse für weitere Vorhaben zu gewinnen. Zunächst kann festgestellt werden, dass lediglich 20% des Veloverkehrs auf Diagonalelementen der Velonachfragematrix verteilt ist. Somit werden 80% der Velowege durch die Umlegung sichtbar. Der Anteil der umgelegten Fahrleistung ist mit 92% höher als der Anteil der umgelegten Wege, da die Wege ausserhalb einer Zone tendenziell länger sind als die Wege innerhalb einer Zone. Da 8.8% der Fahrleistung im Umlegungsergebnis fehlen, ist eine tendenziell etwas zu niedrige Belastung an den Zählstellen zu erwarten.

Insgesamt konnten von den durch den AG bereitgestellten Zähldaten für 85 Querschnitte im Netz Informationen verwendet werden, aus denen durch Halbierung der Werte 169 richtungsbezogene Zählwerte erzeugt wurden. Rechnet man die erfassten Velos über alle Zählstellen zusammen, erhält man in Summe 108'552 Velo/d. Demgegenüber errechnet die Veloumlegung für diese Richtungsquerschnitte in Summe 80'958 Fahrzeuge. Aufgrund der nicht umgelegten Binnenverkehre wäre ein Wert von etwa 100'000 Velo/d aus der Umlegung zu erwarten gewesen. Tendenziell wird also etwas zu wenig Velofahrleistung bezogen auf die betrachteten Zählquerschnitte erzeugt. Angesichts von Ungenauigkeiten in den Zähldaten und der insgesamt noch rudimentären Attributierung des Velo-Netzes erscheint diese Abweichung gering.

Tabelle 46 stellt die Verteilung der *GEH*-Werte nach Gruppen an den 169 Zählstellen dar. 43% der Zählstellen weisen einen *GEH*-Wert kleiner 10 auf und sind damit im guten Bereich. Demgegenüber liegt an 26% der Zählstellen ein *GEH*-Wert grösser als 25 vor, der als mangelhaft eingestuft werden kann.

Tabelle 46 Verteilung der *GEH*-Werte

<i>GEH</i>	Absolute Anzahl	Kumulierter Anteil [%]
bis 5	41	24
5 bis 10	32	43
10 bis 15	25	58
15 bis 20	17	68
20 bis 25	10	74
>25	44	100

Im Rahmen der Umlegungsanalyse wurde die Umlegungsqualität differenziert nach Ortslage und Strassenkategorie geprüft. In Tabelle 47 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass die Umlegungsergebnisse auf den Zählstellen, die ausserorts liegen, besser sind. Hier ist der *GEH* im Mittel geringer als innerorts. Ein Muster bezüglich der Strassenkategorie ist nicht erkennbar: Während innerorts die Hauptverkehrsstrassen eine weniger gute Übereinstimmung zwischen Umlegungsergebnissen und Zählwerten aufweisen, ist die Übereinstimmung ausserorts für Hauptstrassen sehr gut. Der geometrische Mittelwert über alle Zählstellen beträgt 16.7.

Tabelle 47 Mittlerer GEH-Wert je Strassenkategorie

Strassenkategorie	Ortslage	Mittlerer GEH-Wert	Absolute Anzahl
Übrige Strassen	Innerorts	15.6	53
Hauptverkehrsstrasse	Innerorts	21.9	125
Anschluss/Verzweigung	Innerorts	-	0
Übrige Strassen	Ausserorts	6.2	12
Hauptverkehrsstrassen	Ausserorts	5.4	4
Anschluss/Verzweigung	Ausserorts	13.3	2
Übrige Strassen	Keine Angabe	11.3	26
Gesamt		16.7	169

Tabelle 48 zeigt die mittleren GEHs differenziert nach Belastungsklassen. Tendenziell ist der GEH für geringere Belastungsklassen besser. Dies liegt aber in der Definition des GEH begründet: Der Arbeitsbereich des GEH Wertes liegt eher im Bereich von Belastungen zwischen 2'000 bis 50'000. Unterhalb des Arbeitsbereiches liefert der GEH tendenziell zu geringe, also zu grosszügige Werte, oberhalb des Arbeitsbereiches ist er tendenziell zu streng.

Tabelle 48 Mittlerer GEH-Wert je Belastungsklasse

Belastungsklasse [Fz/d]	Mittlerer GEH-Wert	Absolute Anzahl
bis 250	7.6	68
250 bis 500	18.0	24
500 bis 1'000	19.5	46
1'000 bis 1'500	26.1	14
1'500 bis 2'000	47.6	4
2'000 bis 3'000	21.3	10
Über 3'000	66.3	3

In Abbildung 109 ist der Vergleich des Umlegungsergebnisses mit den Zählwerten nochmals grafisch aufbereitet. Punkte, die auf der Y-Achse liefern, stellen Richtungsquerschnitte dar, an denen das Modell keine Belastung berechnet, aber in der Realität Velos erfasst wurden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass während der Routensuche nicht der optimale Weg gefunden wurde. Dies kann in der Attributierung des Netzes begründet liegen. Eine andere Erklärung liefert die Tatsache, dass aufgrund der zu hohen Rechenzeiten bei der Routensuche lediglich eine Iteration durchgeführt wurde. Somit werden je Relation im Mittel lediglich 1.3 Routen gefunden. In mindestens 70% der Fälle wird nur eine Route gefunden. Streckenabschnitte, die auf weniger optimalen Routen liegen und in der Realität aber trotzdem gewählt werden, werden somit nicht belastet. Die Steigung der Regressionsgeraden von 0.541 weist auf eine tendenzielle Unterschätzung der Umlegungsergebnisse hin.

Abbildung 109 Vergleich Umlegungsergebnisse mit Zählwehre inkl. Regression

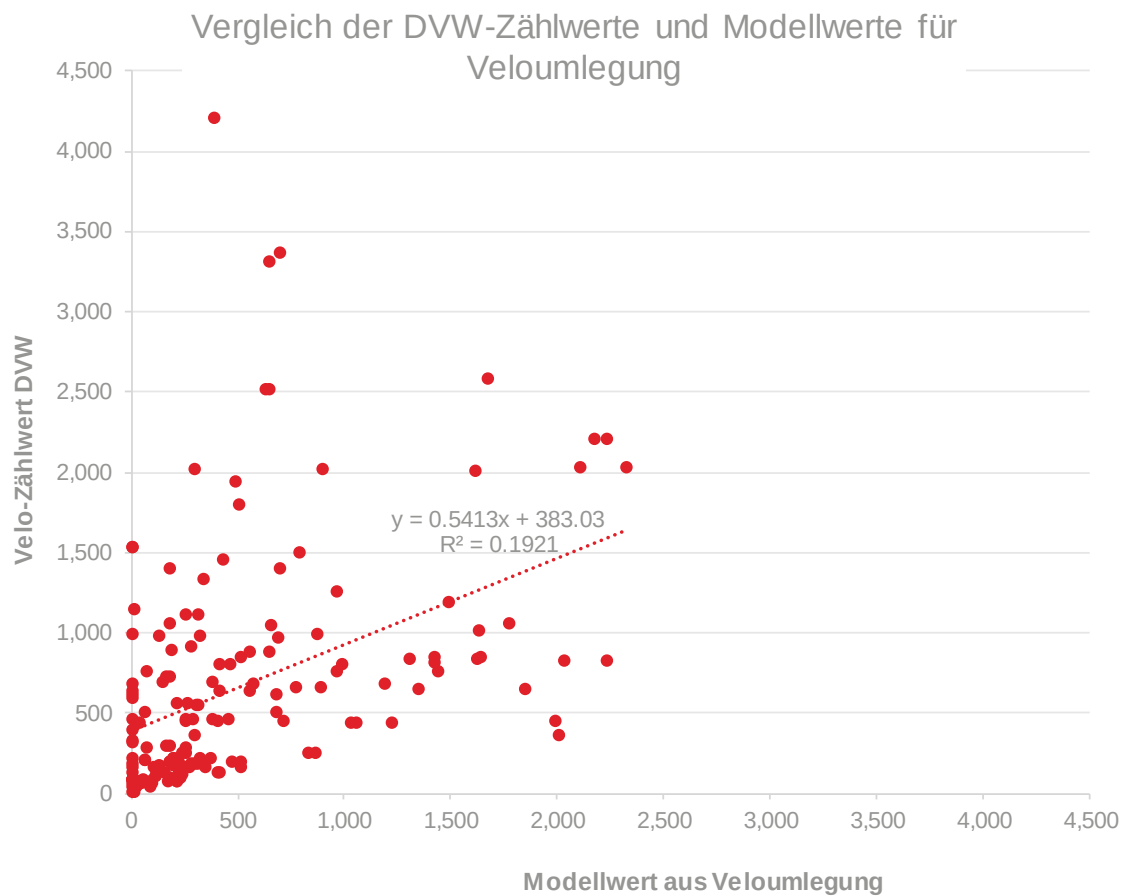
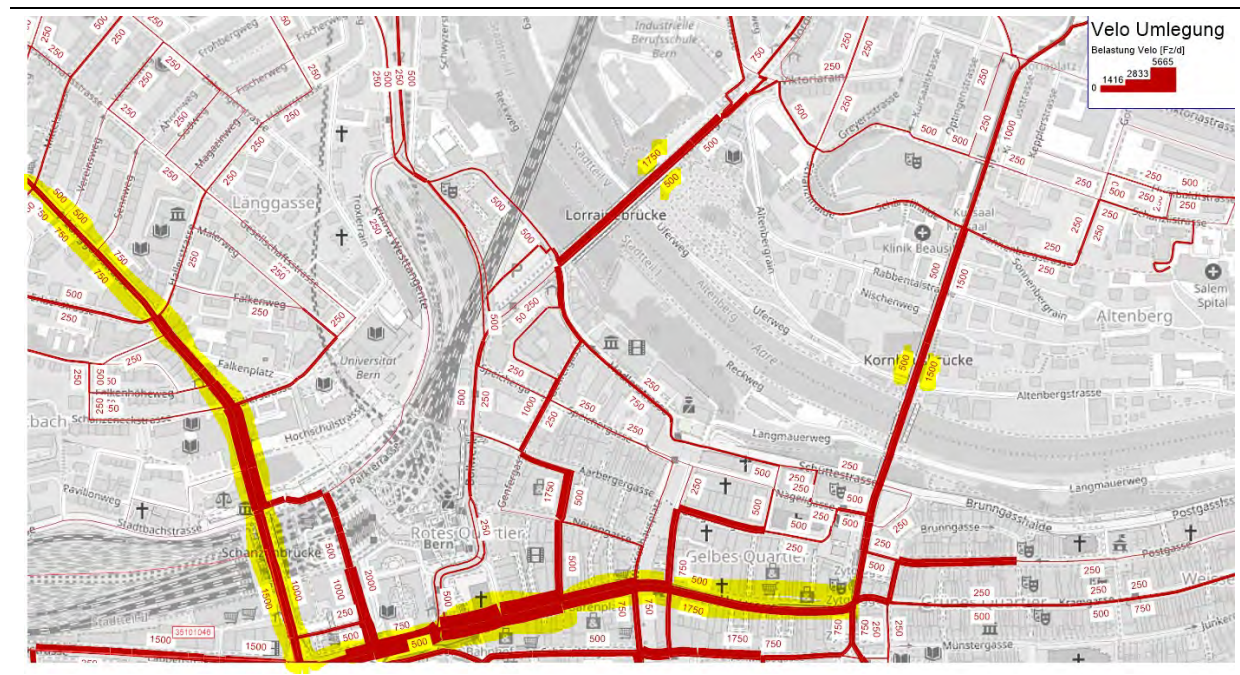


Abbildung 110 zeigt exemplarisch das Umlegungsergebnis für einen Ausschnitt aus dem Berner Velonetz. Gut erkennbar ist die Ausprägung von Hauptachsen z.B. über den Strassenzug Länggasse / Schanzenstrasse sowie Spitalgasse / Marktgasse. Auffällig sind die gelbmarkierten Asymmetrien auf den Aarequerungen Lorrainebrücke und Kornhausbrücke. Die Belastung auf den einzelnen Brücken sind asymmetrisch, betrachtet man die Brücken als Teil einer Screenline sind die Belastungen wiederum symmetrisch. An solchen Stellen bedarf es zur Klärung letztlich richtungsfeiner Zählraten. Auch bei minimalen Unterschieden können asymmetrische Belastungen entstehen, da aufgrund der Rechenzeiten nahezu eine Bestwegumlegung durchgeführt wird. Eine Erhöhung der Iterationen könnte solche ungewünschten Effekte reduzieren.

Abbildung 110 Exemplarisches Velo-Umlegungsergebnis für einen Ausschnitt in Bern



Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Veloumlegung auf qualitativer Ebene plausible Ergebnisse liefert. Durch den Veloverkehr genutzte Hauptachsen sind im Netz erkennbar, in mehreren Fällen gibt es jedoch erhebliche Abweichungen. Zum Teil entstehen unsymmetrische Belastungen, da für Hin- und Rückweg unterschiedliche Wege gefunden werden. Inwiefern dies der Realität entspricht bedarf genauerer Zählraten bzw. im Einzelfall einer guten Kenntnis der lokalen Situation. Verbesserungsmöglichkeiten sind hier sicherlich zum einen das Einarbeiten lokaler Besonderheiten, die die Routenwahl im Detail besser erklären, z.B. abbiegefeine Widerstandszuschläge für Knotenpunkte, die besonders mühsam zu queren sind. Eine Verbesserung könnte ebenfalls erreicht werden, wenn die Anzahl der Iterationen zum Suchen der Wege erhöht wird. Dies könnte zur Reduktion der Asymmetrien in den Belastungswerten führen und über die Berücksichtigung mehrerer Routenalternativen zu einer plausibleren Verteilung der Nachfrage.

Auf Stufe eines nationalen Verkehrsmodells sollte ein Fokus in der weiteren Bearbeitung der Thematik auf der Beschaffung von Daten liegen, die schweizweit in vergleichswürdiger Qualität vorliegen. Erfolgversprechend wäre sicherlich die weitere Attributierung des Netzes mit Informationen zu den Weg- und damit Routeneigenschaften. Hervorzuheben sind dabei Informationen zur Führungsart (z.B. Breite Velostreifen, in Strassenraum integriert oder eigenständig), zur Sicherheit (Anzahl zu querender Knoten, Konfliktstellen) oder Attraktivität (Anteil Grünflächen, Parallelrouten zu Flüssen etc.). Eine Kalibration in einem nationalen Modell müsste sich wohl darauf beschränken, bestmögliche Parameterkombinationen zu testen und zu identifizieren, die ganz allgemein zu besseren Ergebnissen führen (gemessen in GEH-Werten oder anderen Qualitätsmassen). Die Kalibration lokaler Begebenheiten muss sich aus Aufwandsgründen auf bekannte Aufkommensschwerpunkte des Veloverkehrs beschränken (könnte aber an diesen «Hot Spots» mit vertretbarem Aufwand sehr positive Wirkungen auf die Qualität der Umlegung haben). Mit dem vorliegenden NPVM Velo-Netz steht eine, wenn auch noch beschränkt attributierte, Grundlage zur Verfügung, die dahingehend weiterentwickelt werden kann.

2.6 Umsetzung des Modells in Visum

2.6.1 Anforderungen

In diesem Abschnitt wird die technische Umsetzung des NPVM, bestehend aus den Teilmodellen Nachfrage und Angebotsmodell, in Visum beschrieben. Die Anforderungen an das Verkehrsmodell sind wie folgt:

- Berechnung Verkehrsstrommatrizen auf Basis des EVA-Modellansatzes mit simultaner Ziel- und Moduswahl,
- Nutzung unterschiedlicher Randsummenbedingungen («hart», «weich» je nach Nachfrageschicht) in der EVA-Erzeugung/Verteilung/Moduswahl;
- Verwendung unterschiedlicher Bewertungsfunktionen je nach Raumtyp;
- Eine Erzeugungsrechnung, bei der die Bilanz der Quell- und Zielverkehrsaufkommen pro Teilraum geprüft und justiert wird;
- Umsetzung der Bewertungsfunktionen in Visum mit verschiedenen Kenngrössen;
- Verwendung von Parametern aus der SP-Schätzung für die Logit-Bewertungsfunktion, insbesondere auch im Hinblick auf sinnvolle Elastizitäten;
- Einbindung aller Umlegungen (PW, ÖV und Velo);
- Nutzung von distanz- und fahrtzweckabhängigen PW-Besetzungsgraden zur Umrechnung von Personenwegen in PW-Fahrten;
- Automatische Rückkopplung zwischen den Teilmodellen für Angebot und Nachfrage;
- Prüfen von Gleichgewichtszuständen; Beobachten und Bewerten der Konvergenz anhand von Konvergenzkriterien für das Verkehrsmodell;
- Automatische Auswertung für verschiedene Kenngrössen im Rahmen der Kalibrierung und die Ausweisung von Fahr- und Verkehrsleistung in Angebotsmodellen sowie weiterer verkehrlicher Kennziffern in der Nachfrageversion;
- reproduzierbare Ergebnisse durch eine umfassende Initialisierung beim Berechnungsstart; Aufsetzen der Berechnung beim «Nullpunkt» oder einem anderen definierten Punkt und Einschwingen bis zum Gleichgewicht.

Die Anforderungen aus technischer Sicht sind wie folgt:

- ein robuster und transparenter Modellaufbau, welcher durch verschiedene Bearbeiter bedient werden kann und
- leichte Modellübergaben durch Minimierung von externen Filter und Scriptdateien; Vorbereiten von Übergabedateien mit einem definierten Initialisierungszustand.

Die Etablierung des NPVM-Modells ist wegen seines Raumperimeters und der Granularität eine Herausforderung, denn

- die Angebotsmodelle enthalten sehr viele Elemente und sind entsprechend speicherintensiv,
- eine Anzahl von rund 8'900 Zonen führt zu Matrizen mit rund 80 Millionen Matrixelementen und
- die Segmentierung in 26 Nachfrageschichten und vier Verkehrsarten erfordert die Handhabung einer grossen Anzahl von Matrizen im Modell.

Für die Umsetzung der Nachfrageberechnung in Visum wurde daher eine individuelle Lösung entwickelt bei der folgende Überlegungen berücksichtigt wurden:

- Grosse Dateien sind unhandlich beim Bearbeiten und beim Austausch zwischen Bearbeitern.

- Es wird verschiedene Bearbeiter in verschiedenen Institutionen geben (zum Beispiel Strassenbau- und Bahnverwaltung, Consultants). Bei Arbeiten am Netzgraph müssen sich die Bearbeiter abstimmen und die Bearbeitung ist nur nacheinander möglich.
- Es werden immer viele Daten mit ausgetauscht, die für einzelne Bearbeiter unwichtig sind, zum Beispiel die Daten zum Nachfragemodell für die Bearbeiter des Angebotsmodells.

Andererseits erfordert ein Verkehrsmodell den Datenaustausch zwischen allen Teilmodellen, und zwar

- Kenngrössenmatrizen finden Eingang in das Nachfragemodell,
- Nachfragematrizen finden Eingang in die Umlegungsroutine des Angebotsmodells,
- Die Umlegungs- und Matrizenberechnungsprozesse müssen in abgestimmter Reihenfolge automatisch nacheinander ausgeführt werden und
- an verschiedenen Stellen müssen die Schrittzahlen und Information zum Gleichgewicht zusammengeführt werden sowie
- muss eine Rückkopplung ausgeführt werden, die bei Erreichen des Gleichgewichtes abbricht.

2.6.2 Details zur technischen Umsetzung

Konzept

Die vorab genannten Aspekte führen zu folgendem Konzept zur technischen Umsetzung:

- Parallele Haltung von drei autonomen Angebotsmodellen in eigenen Visum-Versionsdateien (PW, ÖV, Velo):
 - diese Teilmodell-Versionen enthalten nur die Umlegungsmatrizen und wenige Verfahrensschritte, um Kenngrössen zu schreiben, die Umlegung auszuführen und für die automatische Auswertung;
- Steuerung der gesamten Berechnung aus einer Visum-Versionsdatei für die Nachfrageberechnung («Hauptmodell»):
 - Diese Nachfrage-Version ist «netzfrei» und enthält nur die Verkehrszonen des Planungsgebietes, die Daten und Struktur des Nachfragemodells und die Verfahrensschritte zur Berechnung der Verkehrsnachfrage,
 - sie übernimmt den Aufruf der (untergeordneten) Angebotsmodelle innerhalb des Berechnungsablaufes,
 - sie steuert die Rückkopplung, das Protokoll und die Abbruchprüfung,
 - organisiert den direkten Datenaustausch zwischen den Teilmodellen sofern es sich um kleine Datenmengen handelt (Beispiel: Wert zur Netzleistung),
 - sorgt für den Austausch von Nachfrage- und Kenngrössenmatrizen über das Speichern und Lesen von der Festplatte.

Nach diesem Konzept wurde ein Prototyp mit 18 Verkehrszonen erstellt, um die technische Machbarkeit insbesondere im Hinblick auf die Steuerung und des Datenaustausches zu prüfen. Nach erfolgreicher Prüfung wurde das komplette Modell aufgebaut. Zunächst wurde nur das PW-Angebot zurückgekoppelt, zu einem späteren Zeitpunkt dann die ÖV-Auslastungsmatrix und das ÖV-Angebotsmodell in die Rückkopplung eingebunden.

Zusammenarbeit verschiedener Teilmodell-Versionen

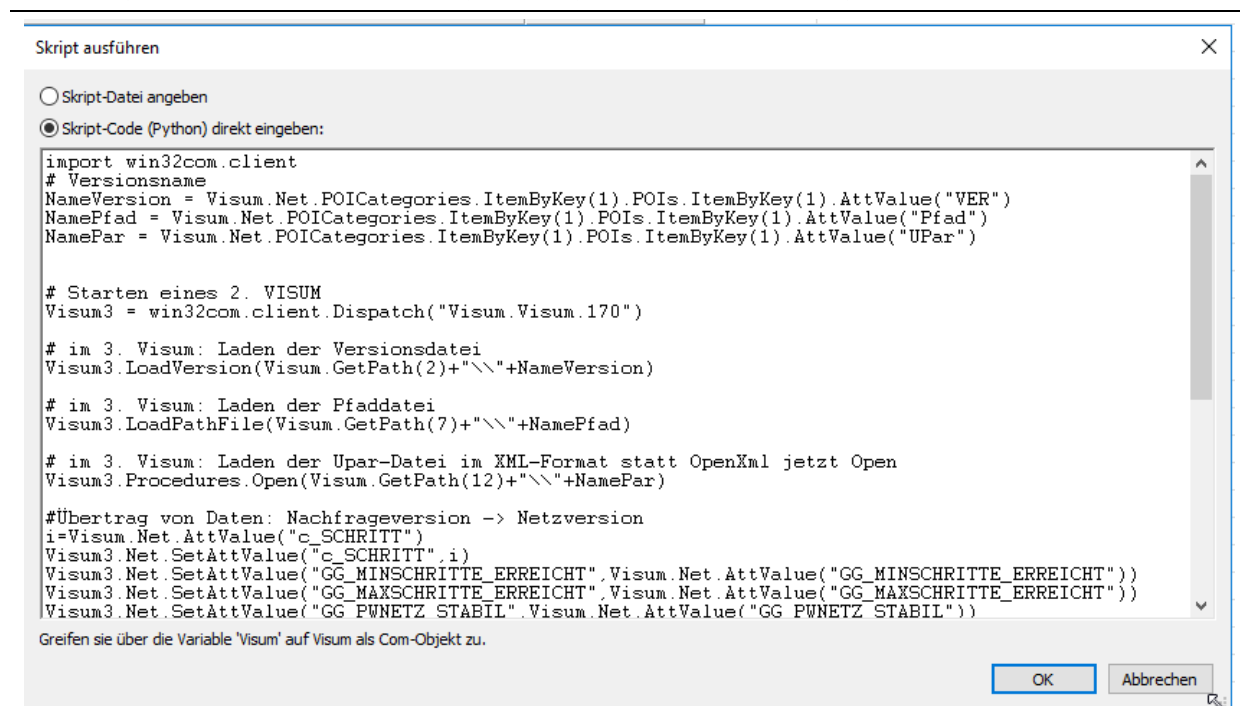
Der Aufruf einer untergeordneten Teilmodell-Version erfolgt von der Hauptversion aus. Der Name der Version, der Pfaddatei und der Datei mit den Umlegungsparametern sind in der Hauptversion in einer POI-Tabelle abgelegt (siehe Abbildung 111).

Abbildung 111 Namen der aufzurufenden Versionsdateien für die Angebots-Teilmodell-Versionen

Liste (Points of Interest)						
Listenlayout auswählen.						
Versionen (1)						
Anzahl: 3	Nr	Code	Name	PFAD	VER	UPAR
1	1	P	PW	NPVM.pfd	NPVM_PW_00-04.ver	PW.xml
2	2	X	OEV	NPVM.pfd	NPVM_OEV_00-09.ver	OEV.xml
3	3	V	VEL	NPVM.pfd	NPVM_Velo_00-02.ver	Velo.xml

Der Aufruf erfolgt durch ein internes Python-Skript (siehe Abbildung 112). Nachdem die Version gestartet ist, wird eine Umlegungsparameterdatei geladen. Weiterhin werden benutzerdefinierte Attribute zwischen den Versionen ausgetauscht, zum Beispiel die aktuelle Rückkopplungsschrittnummer und die maximale Rückkopplungsschrittzahl.

Abbildung 112 Ausschnitt aus einem Python-Skript im Teilmodell Nachfrage



Von der Hauptversion aus werden alle Schritte aktiv gesetzt und der Berechnungsstart ausgelöst. Die einzelnen Verfahrensschritte werden in einem ersten Schritt identifiziert. Je nach Berechnungsfortschritt der Hauptversion (initialer Schritt oder „normaler“ Rückkopplungsschritt oder finaler Schritt) werden dann nicht benötigte Verfahrensschritte abgeschaltet. So wird zum Beispiel die Auswertung nur dann benötigt, wenn der aktuelle Aufruf der abschliessende Umlegungsschritt ist. Auf diesem Weg ist nur eine Umlegungsparameterdatei zu pflegen, obwohl der Aufruf des Teilmodells von verschiedenen Punkten innerhalb des gesamten Verfahrens erfolgen kann. welche Arbeiten in welchen Rückkopplungsschritten ausgeführt werden, ist in den Schalttabellen (Tabelle 49 bis

Tabelle 51) dokumentiert. Ein wichtiges Ergebnis der Umlegung sind die aktuellen Kenngrössenmatrizen. Diese werden auf einer Festplatte gesichert und stehen damit der Hauptversion zur Verfügung. Dieses Verfahren kommt bei allen drei Angebotsmodellen zum Einsatz.

Tabelle 49 Schalttabelle PW

Verfahren	Initialer Schritt / erster Aufruf	Standardschritt als Teil einer Rück- kopplung	Finale Umlegung / Be- rechnungsabschluss
NFM lesen	x	x	x
KGM berechnen und schreiben	x	x	
Umlegung		x	x
Auswertung			x

Tabelle 50 Schalttabelle ÖV

Verfahren	Initialer Schritt / erster Aufruf	Standardschritt als Teil einer Rück- kopplung	Finale Umlegung / Be- rechnungsabschluss
NFM lesen	x	x	x
KGM berechnen und schreiben, Verbin- dungsexport	x	x	
Umlegung mit Verbindungsimport		x	x
Auswertung			x

Tabelle 51 Schalttabelle Velo

Verfahren	Initialer Schritt / erster Aufruf	Standardschritt (für Velo nicht vor- gesehen)	Finale Umlegung / Be- rechnungsabschluss
NFM lesen	x		x
KGM berechnen und schreiben	x		
Umlegung			x
Auswertung			x

Mit dieser „Mechanik“, eine bestimmte Umlegungsparameterdatei einzulesen, Verfahrensschritte eindeutig zu identifizieren, zuerst alle Verfahrensschritte anzuschalten, anschliessend bestimmte Verfahrensschritte nach einem Schema abzuschalten, soll weitestgehend sichergestellt werden, dass immer die gleichen, fest definierten Verfahrensschritte ausgeführt werden. Gleichzeitig muss es für einen Bearbeiter auch möglich sein, zwischenzeitlich einzelne Verfahrensschritte temporär an- oder abzuschalten, zu testen oder temporär hinzuzufügen, ohne die korrekte Ausführung des Gesamtmodells zu gefährden.

Modell für den landseitigen Flughafenverkehr

Eine Neuerung im NPVM ist die Abbildung der landseitigen Fluggastverkehre in einem eigenen Teilmodell. Die wesentliche Eingangsgrösse sind die Flughafenpassagiere (siehe 2.2.4, Abschnitt Zielpotentiale). In Visum wurde für den landseitigen Flughafenverkehr ein zweites Nachfrage-Teilmodell aufgebaut. Die Passagierzahlen pro Tag sind als Strukturgrösse in den entsprechenden Zonen verortet. Als Proxy-Wert für die räumliche Verteilung der Übernachtungsstandorte werden die Einwohner, die Hotelplätze und die Arbeitsplätze genutzt. Es werden nur zwei Verkehrsarten verwendet – ÖV und PW. Es erfolgt eine klassische EVA-Rechnung mit Erzeugung, Verteilung/Aufteilung und Umlegung. Mit diesem methodischen Ansatz ist das Modell massnahmensensibel und prognosefähig im Hinblick auf eine veränderte Einwohnerverteilung, Veränderungen der Passagierkapazitäten und Infrastrukturmassnahmen in den Verkehrsnetzen.

Berücksichtigung von Sprachräumen

Die Sprachräume der Schweiz (deutsch, französisch, italienisch) sind als benutzerdefiniertes Bezirksattribut hinterlegt. Daraus wird mit einem Visum-Verfahrensschritt eine Kenngrössenmatrix «Sprachraum» mit zwei Merkmalsausprägungen erzeugt:

- Quelle und Ziel im gleichen Sprachraum: Wert := 1
- Quelle und Ziel NICHT im gleichen Sprachraum: Wert := 0.x (wird in der Kalibrierung festgelegt)

Diese Sprachraummatrix ist in die Berechnung eingebunden und dient als zusätzliches Instrument innerhalb der Bewertung der Ziel- und Moduswahl. Allein aus der Parametrisierung auf Grundlage der SP-Befragung (trotz der Differenzierung des Parametersets nach 3 Raumtypen) lassen sich die Einflüsse der Sprachgrenzen in der Schweiz auf die räumlichen Verkehrsbeziehungen nicht abbilden. Folglich werden Beziehungen innerhalb des Sprachraums mit einer besseren Bewertung (= höheren Wahrscheinlichkeit) als Beziehungen zwischen den Sprachräumen ausgestattet.

Besetzungsgrad PW und Umrechnung in PW-Fahrten

Der Besetzungsgrad wird aus dem MZMV ausgewertet und dabei in fünf Distanzklassen und zwölf Fahrtzwecken differenziert (siehe Tabelle 29). Die Besetzungsgrade sind in den Verfahrensschritten abgelegt (siehe Abbildung 113). Die Zuordnung, welche Relation zu welcher Distanzklasse gehört, erfolgt in einem Visum-Verfahrensschritt. Anschliessend wird die Umrechnung der Wege in Fahrten automatisch vorgenommen.

Für Personenwagen existieren Matrizen in zwei Einheiten. Um Verwechslungen vorzubeugen, ist die Einheit der Matrizen im Matrixnamen in eckigen Klammern angegeben: [PersWege] oder [PWFahrten].

Abbildung 113 Berechnung des relationsscharfen Besetzungsgrades. Ausschnitt aus den Visum-Verfahrensschritten (Nachfrage-Version)

118	☐	Gruppe :: PW-KGM bearbeiten ...	119 - 144		:: PW-KGM bearbeiten
145	☐	Gruppe :: Sonstige KGM berechnen	146 - 160		:: Sonstige KGM berechnen
161	☐	Gruppe :: KGM PVV Be			:: KGM PVV Besetzungsgrad
162	☐	Calculate Matrix			Distanzmatrix PW klassifizieren
163	☐	Kombination von Matr			AA
164	☐	Kombination von Matr			ASK
165	☐	Kombination von Matr			BS
166	☐	Kombination von Matr			BU
167	☐	Kombination von Matr			Ek
168	☐	Kombination von Matr			El
169	☐	Kombination von Matr			N
170	☐	Kombination von Matr			BgK
171	☐	Kombination von Matr			Fk
172	☐	Kombination von Matr			Fl
173	☐	Kombination von Matr			A
174	☐	Kombination von Matr			S
175	☐	Kombination von Matr			Flug
176	☐	Gruppe :: Rückkopplung			:: Rückkopplungsstatistik Kenngrößen
179	☐	Gruppe :: Nachfrage P			:: Nachfrage Personenverkehr M01
180	☐	Gruppe :: EVA-Erzeug			EVA-Erzeugung für Teilräume "MS-Reg
186	☐	Gruppe :: EVA-Erzeug			EVA-Erzeugung für Teilräume "Schulb
192	☐	Gruppe :: EVA-Erzeug			EVA-Erzeugung ohne Teilräume M01
195	☐	Gruppe :: EVA Bewertung M01 und M02 ...	196 - 200		EVA Bewertung M01 und M02
201	☐	Gruppe :: EVA-Verteilung/Aufteilung M01 (alle Fahrtzwecke gem	202 - 218		EVA-Verteilung/Aufteilung M01 (alle F
218	☐	Gruppe :: EVA-Nachfrage Flughafenverkehr M02	219 - 230		:: EVA-Nachfrage Flughafenverkehr M02

Erzeugung mit und ohne Teilräumen

Gegenstand einer Erzeugung nach Teilräumen ist es, die Quell- und Zielaufkommen auf Basis der Strukturdaten zu berechnen und zusätzlich dafür zu sorgen, dass die Summe der Quell- und Zielaufkommen für jeden Teilraum identisch ist.

In Visum ist dafür keine Standardlösung vorhanden und eine Bearbeitung in externen Exceldateien ist umständlich. Die Neuerung im NPVM besteht in einer scriptbasierten Lösung. Als Vorbereitung muss jede Verkehrszone einem Teilraum zugeordnet werden und diese Zuordnung wird in einem benutzerdefinierten Bezirksattribut vermerkt. Das Script ermittelt alle Teilräume. Nacheinander wird jeder Teilraum bearbeitet, das heisst es wird zuerst ein Filter für diesen Teilraum eingestellt und anschliessend wird für diese Zonen eine Erzeugungsberechnung ausgeführt. Dieser Schleifen-Algorithmus umfasst alle Nachfrageschichten, für die eine Teilraumdefinition gilt.

Es gibt mehrere Definitionen für Teilräume, zum Beispiel eine Teilraumdefinition für Schulbezirke und eine Definition für den Fahrtzweck Einkaufen und Freizeit. In diesem Fall wird der Algorithmus mehrfach nacheinander ausgeführt mit jeweils den relevanten Nachfrageschichten.

Abbildung 114 Erzeugungsrechnung mit Teilraumausgleich. Ausschnitt aus dem Visum-Verfahrensablauf (Nachfrage-Version)

		:: Nachfrage Personenverkehr M01
181 - 185		EVA-Erzeugung für Teilräume "MS-Regionen" M01
187 - 191		EVA-Erzeugung für Teilräume "Schulbezirke" M01
193 - 194		EVA-Erzeugung ohne Teilräume M01
196 - 200		EVA Bewertung M01 und M02
202 - 218		EVA-Verteilung/Aufteilung M01 (alle Fahrtzwecke gemeinsam, mit f
220 - 230		:: EVA-Nachfrage Flughafenverkehr M02
232 - 235		:: NFM schreiben

Welche Nachfrageschichten mit Teilraumausgleich ausgeführt werden, wurde vorab zwischen AG und AN abgestimmt. Die Festlegung ist dokumentiert in einem benutzerdefinierten Nachfrageschichtattribut (siehe Abbildung 115).

Abbildung 115 Liste der Nachfrageschichten mit Angabe zu Fahrtzweck und der booleschen Variable „Teilraumausgleich Erzeugung“

Liste (Nachfrageschichten)						
Listenlayout auswählen. Min. Max.						
Anzahl: 28	igemod	Code	Name	Fahrtzweck	Teilraumausgleich Erzeugung	
1	M01	101_W_AA	Wohnen-Arbeit A	Arbeit	nein	
2	M01	102_W_ASK	Wohnen-Arbeit SK	Arbeit	nein	
3	M01	103_W_BS	Wohnen-Bildung S	Bildung	ja	
4	M01	104_W_BU	Wohnen-Bildung U	Bildung	nein	
5	M01	105_W_Ek	Wohnen-Einkauf kurzfristig	Einkauf	ja	
6	M01	106_W_El	Wohnen-Einkauf langfristig	Einkauf	nein	
7	M01	107_W_N	Wohnen-Nutzfahrt	Nutzfahrt	nein	
8	M01	108_W_BgK	Wohnen-Begleitung (Kinder)	Freizeit	nein	
9	M01	109_W_Fk	Wohnen-Freizeit kurz	Freizeit	ja	
10	M01	110_W_Fl	Wohnen-Freizeit lang	Freizeit	nein	
11	M01	111_AA_W	Arbeit A-Wohnen	Arbeit	nein	
12	M01	112_ASK_W	Arbeit ASK -Wohnen	Arbeit	nein	
13	M01	113_BS_W	Bildung Schule-Wohnen	Bildung	ja	
14	M01	114_BU_W	Bildung Uni-Wohnen	Bildung	nein	
15	M01	115_Ek_W	Einkauf kurzfristig-Wohnen	Einkauf	ja	
16	M01	116_El_W	Einkauf langfristig-Wohnen	Einkauf	nein	
17	M01	117_N_W	Nutzfahrt-Wohnen	Nutzfahrt	nein	
18	M01	118_BgK_W	Begleitung(Kinder)-Wohnen	Freizeit	nein	
19	M01	119_Fk_W	Freizeit kurz - Wohnen	Freizeit	ja	
20	M01	120_Fl_W	Freizeit lang - Wohnen	Freizeit	nein	
21	M01	121_A_S	Arbeit Gesamt - Sonstiges	Arbeit	nein	
22	M01	122_S_A	Sonstiges - Arbeit Gesamt	Arbeit	nein	
23	M01	123_A_EkFk	Arbeit Gesamt - Einkauf kurzfristig / Freize	Arbeit	nein	
24	M01	124_EkFk_A	Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz - Arbeit G	Arbeit	nein	
25	M01	125_EkFk_EkFk	Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz - Einkauf	Freizeit	nein	
26	M01	126_S_S	Sonstiges - Sonstiges	Freizeit	nein	
27	M02	201_WH_FG	Anreise zum Flughafen	Flug	nein	
28	M02	202_FG_WH	Abreise vom Flughafen	Flug	nein	

Umsetzung einer raumtypabhängigen Bewertung in Visum

Eine weitere Neuerung im NPVM ist die Verwendung von Bewertungsparametern nach dem Raumtyp einer Verkehrszone. Massgebend hierbei ist der Wohnstandort der Person, das heisst bei Nachfrageschichten mit Quelle-Ziel-Gruppen-Typ 1 die Quelle und bei Quelle-Ziel-Gruppen-Typ 2 und 3 der Zielbezirk. Die Raumtypen folgen der Stadt/Land-Typologie des BFS und sind als benutzerdefiniertes Bezirksattribut hinterlegt («Makrobez Raumtyp»).

In Visum ist diese Art von EVA-Bewertung nicht vorgesehen, entsprechend wurde hierfür eine Lösung erarbeitet. Dafür müssen zwei Komponenten zusammenwirken: Zuerst werden von jeder Kenngrössenmatrix sechs Duplikate angelegt. Jeweils ein Duplikat gehört zu der Kombination Quelle städtisch, Quelle intermediär, Quelle ländlich, Ziel städtisch, Ziel intermediär, Ziel ländlich. In diesen Duplikats-Matrizen werden nur diejenigen Zeilen (oder Spalten) erhalten, die den namensgebenden Raumtyp repräsentieren. Die anderen Zeilen (oder Spalten) werden

auf Null gesetzt. Des Weiteren werden alle drei Parametersätze für die drei Raumtypen in den Visum-Bewertungsdialog aufgenommen. Beim Berechnen des Bewertungswertes entstehen jetzt Kombinationen aus raumtypspezifischer Kenngrössenmatrix und raumtypspezifischen Parametern. Nur wenn Raumtyp aus der Kenngrössenmatrix und Raumtyp der Bewertungsparameter identisch sind, entsteht für diese Kombination ein Beitrag zum Nutzenwert ungleich Null. Andere Kombinationen liefern einen Beitrag gleich Null und verändern damit den Bewertungswert nicht.

Zur Illustration: Ein Ausschnitt aus der Funktion für den Nutzen U aus dieser speziell konfigurierten Logit-Nutzenfunktion hat folgendes Aussehen:

$$U_{ij} = \dots \beta_{\text{städtisch}} * Zeit_{ij,\text{städtisch}} + \beta_{\text{intermediär}} * Zeit_{ij,\text{intermediär}} + \beta_{\text{ländlich}} * Zeit_{ij,\text{ländlich}} \dots$$

Wenn der Wohnstandort am Quellbezirk i eine Zone mit dem Raumtyp «städtisch» ist, dann hat die Kenngrösse $Zeit_{ij, \text{städtisch}}$ ein Wert > 0 , während die anderen beiden Zeit-Variablenwerte den Wert 0 aufweisen. Damit wird der zweite und dritte Term der Nutzenfunktion gleich Null und die Summe des gesamten Nutzens resultiert allein aus dem Zeitwert und Parameter für «städtisch».

Die unterschiedlichen Wohnstandorte bei den Quelle-Ziel-Gruppen-Typen 1, 2 und 3 werden dadurch berücksichtigt, dass je nach QZG-Typ ein anderer Satz an Matrizen verwendet wird. Von den sechs Duplikaten sind jeweils drei (quellseitig, zeilenweise Betrachtung) für den QZG-Typ 1 und die anderen drei (zielseitig, spaltenweise Betrachtung) für QZG-Typ 2 und 3 umgesetzt.

Abbildung 116 Visum-Verfahrensschritt Bewertung: Liste der verwendeten Aufwandsarten (Aufwandsarten, wo je nach Raumtyp andere Parameter verwendet werden, sind dreifach enthalten)

Aufwandsarten festlegen				
Anzahl: 46	Aufwandsart	relevante Modi		
1	Alter linear	F FGV,V Velo,X OEV		
2	Alter quad.	F FGV,V Velo,X OEV		
3	Attraktivität Grossstädte	P PW,X OEV		
4	konkurrierende Fußwegzeit	...		
5	Einkommen linear	F FGV,V Velo,X OEV		
6	Einkommen quad.	F FGV,V Velo,X OEV		
7	externe Bewertungsmatrix	...		
8	Fahrtzeit interm.	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
9	Fahrtzeit länd.	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
10	Fahrtzeit städt.	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
11	Fuss-Distanz	F FGV		
12	Reisezeit	F FGV,LI Lieferwagen,LW Lastwagen,LZ Lastzug,P PW,V Velo,X OEV		
13	Kosten interm.	P PW,X OEV		
14	Kosten ländl.	P PW,X OEV		
15	Kosten städt.	P PW,X OEV		
16	MS-Region	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
17	Männeranteil	F FGV,V Velo,X OEV		
18	PW-Distanz	P PW		
19	PW-Parkkosten interm.	P PW		
20	PW-Parkkosten ländl.	P PW		
21	PW-Parkkosten städt.	P PW		
22	PW-Suchzeit	P PW		
23	PW-Verfügbarkeit	P PW		
24	Schulbezirk	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
25	Sprachraum	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
26	Steuerung Distanzverteilung	F FGV,P PW,V Velo,X OEV		
27	Velo-Distanz	V Velo		
28	ÖV-AboGeneral interm.	X OEV		
29	ÖV-AboGeneral ländl.	X OEV		
30	ÖV-AboGeneral städt.	X OEV		
31	ÖV-AboHalbtax interm.	X OEV		
32	ÖV-AboHalbtax ländl.	X OEV		
33	ÖV-AboHalbtax städt.	X OEV		
34	ÖV-AboVerbund interm.	X OEV		
35	ÖV-AboVerbund ländl.	X OEV		
36	ÖV-AboVerbund städt.	X OEV		
37	ÖV-Auslastung	X OEV		
38	ÖV-Beförderungszeit Grossstädte	X OEV		
39	ÖV-Distanz	X OEV		
40	ÖV-Fahrzeugfolgezeit	X OEV		
41	ÖV-Kosten Grossstädte	X OEV		
42	ÖV-Umsteigehäufigkeit interm.	X OEV		
43	ÖV-Umsteigehäufigkeit ländl.	X OEV		
44	ÖV-Umsteigehäufigkeit städt.	X OEV		
45	ÖV-Umsteigewartezeit	X OEV		
46	ÖV-ZuAbgangzeit	X OEV		
Einfügen			Löschen	
			OK	
			Abbrechen	

Durch die Nutzung von raumtypabhängigen Kenngrössenmatrizen erhält der Dialog für die EVA-Parameter eine grosse Zahl an zusätzlichen Zeilen, insgesamt sind mehr als 2'000 Einträge vorhanden. Nachstehende Abbildung 117 zeigt einen Auszug aus dem Dialog in VISUM, der die Verschränkung aus Raumtypen, Nachfrageschicht, Kenngrösse und Verkehrsmittel ausweist. In der Spalte «c» kann die Verwendung der spezifischen Parameter innerhalb der Bewertungsfunktion nachvollzogen werden.

Abbildung 117 Screenshot des Visum-Didialogs für die EVA-Bewertung (Auszug)

Parameter EVA-Bewertung

☐ Nur für aktive Beziehungen
☐ Beziehungen zwischen passiven Bereichen ausschließen
☐ Alle Ergebnisse-Matrizen vor der Berechnung auf 0 setzen
☐ Heuristika für Nachfrageschichten vom Typ 3 berücksichtigen
☐ Ergebnisse-Matrizen auf Daten schreiben
Maximale Anzahl Relationen mit negativer Bewertung in der Prohibitmatrix:

Aufwandsarten festlegen...

Schlüssel	Nachfrageschicht	Typ	Modus	Isverfügbar	Isausfalls	Aufwandsart	Gen. Kosten	KennMat	BezAttr / Linkomb	Funktion	a	b	c	Max. Wtd.	PKF	Alle Mod
128	F/Fahrtzeit intern./125_EBk_A	124_EBk_A Einkauf kurzfristig / Freizeit	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit intern.	☐	364 TT0 FGV Z intern.	BoxTuben	1.9	-0.105	1	Graph	Vergleich
129	F/Fahrtzeit intern./125_EBk_BkF	125_EBk_BkF Einkauf kurzfristig / Frei	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit intern.	☐	364 TT0 FGV Z intern.	BoxTuben	1.8	-0.0395	1	Graph	Vergleich
130	F/Fahrtzeit intern./126_S_5	126_S_5 Sonstiges - Sonstiges	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit intern.	☐	364 TT0 FGV Z intern.	BoxTuben	1.8	-0.0395	1	Graph	Vergleich
131	F/Fahrtzeit land./101_W_AA	101_W_AA Wohnen-Arbeit A	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1.5	-0.0978	1	Graph	Vergleich
132	F/Fahrtzeit land./102_W_ASK	102_W_ASK Wohnen-Arbeit SK	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1.55	-0.0978	1	Graph	Vergleich
133	F/Fahrtzeit land./103_W_BS	103_W_BS Wohnen-Bildung S	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	2	-0.0948	1	Graph	Vergleich
134	F/Fahrtzeit land./104_W_BU	104_W_BU Wohnen-Bildung U	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1.3	-0.0948	1	Graph	Vergleich
135	F/Fahrtzeit land./105_W_Ek	105_W_Ek Wohnen-Einkauf kurzfristig	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1.95	-0.0519	1	Graph	Vergleich
136	F/Fahrtzeit land./106_W_El	106_W_El Wohnen-Einkauf langfristig	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1.9	-0.0519	1	Graph	Vergleich
137	F/Fahrtzeit land./107_W_N	107_W_N Wohnen-Nutzfahrt	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1.3	-0.133	1	Graph	Vergleich
138	F/Fahrtzeit land./108_W_Bgk	108_W_Bgk Wohnen-Begleitung (Kind)	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	2.1	-0.0395	1	Graph	Vergleich
139	F/Fahrtzeit land./109_W_Fk	109_W_Fk Wohnen-Freizeit kurz	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	2	-0.0395	1	Graph	Vergleich
140	F/Fahrtzeit land./110_W_Fl	110_W_Fl Wohnen-Freizeit lang	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	362 TT0 FGV Q land.	BoxTuben	1	-0.0395	1	Graph	Vergleich
141	F/Fahrtzeit land./111_AA_W	111_AA_W Arbeit A-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.5	-0.0978	1	Graph	Vergleich
142	F/Fahrtzeit land./112_ASK_W	112_ASK_W Arbeit ASK-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.55	-0.0978	1	Graph	Vergleich
143	F/Fahrtzeit land./113_BS_W	113_BS_W Bildung Schule-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	2	-0.0948	1	Graph	Vergleich
144	F/Fahrtzeit land./114_BU_W	114_BU_W Bildung Uni-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.3	-0.0948	1	Graph	Vergleich
145	F/Fahrtzeit land./115_Ek_W	115_Ek_W Einkauf kurzfristig-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.95	-0.0519	1	Graph	Vergleich
146	F/Fahrtzeit land./116_El_W	116_El_W Einkauf langfristig-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.9	-0.0519	1	Graph	Vergleich
147	F/Fahrtzeit land./117_N_W	117_N_W Nutzfahrt-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.3	-0.133	1	Graph	Vergleich
148	F/Fahrtzeit land./118_Bgk_W	118_Bgk_W Begleitung(Kinder)-Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	2.1	-0.0395	1	Graph	Vergleich
149	F/Fahrtzeit land./119_Fk_W	119_Fk_W Freizeit kurz - Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	2	-0.0395	1	Graph	Vergleich
150	F/Fahrtzeit land./120_Fl_W	120_Fl_W Freizeit lang - Wohnen	2	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1	-0.0395	1	Graph	Vergleich
151	F/Fahrtzeit land./121_A_5	121_A_5 Arbeit Gesamt - Sonstiges	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.65	-0.0978	1	Graph	Vergleich
152	F/Fahrtzeit land./122_S_A	122_S_A Sonstiges - Arbeit Gesamt	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.65	-0.0978	1	Graph	Vergleich
153	F/Fahrtzeit land./123_A_DkF	123_A_DkF Arbeit Gesamt - Einkauf k	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.65	-0.0978	1	Graph	Vergleich
154	F/Fahrtzeit land./124_EBk_A	124_EBk_A Einkauf kurzfristig / Freizeit	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.85	-0.0978	1	Graph	Vergleich
155	F/Fahrtzeit land./125_EBk_BkF	125_EBk_BkF Einkauf kurzfristig / Frei	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.95	-0.0395	1	Graph	Vergleich
156	F/Fahrtzeit land./126_S_5	126_S_5 Sonstiges - Sonstiges	3	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit land.	☐	365 TT0 FGV Z land.	BoxTuben	1.95	-0.0395	1	Graph	Vergleich
157	F/Fahrtzeit stadt./101_W_AA	101_W_AA Wohnen-Arbeit A	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit stadt.	☐	360 TT0 FGV Q stadt.	BoxTuben	1.2	-0.0799	1	Graph	Vergleich
158	F/Fahrtzeit stadt./102_W_ASK	102_W_ASK Wohnen-Arbeit SK	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit stadt.	☐	360 TT0 FGV Q stadt.	BoxTuben	1.2	-0.0799	1	Graph	Vergleich
159	F/Fahrtzeit stadt./103_W_BS	103_W_BS Wohnen-Bildung S	1	F	FGV	1.0	1.0	Fahrtzeit stadt.	☐	360 TT0 FGV Q stadt.	BoxTuben	1.7	-0.0488	1	Graph	Vergleich

Für alle NGSchichten übernehmen

OK Abbrechen

Rückkopplung, Gleichgewicht und Konvergenzkriterien in allen Teilschritten und Rückkopplungsstatistik

Im NPVM wirken verschiedene Teilmodelle, die iterativ arbeiten und bei denen geprüft werden muss, wann ein Gleichgewichtspunkt erreicht ist bzw. ein weiterer Rechenschritt keine Verbesserung bringt. Das ist je nach Verfahren unterschiedlich:

PW-Umlegung und inneres Gleichgewicht: Eine belastungsabhängige Umlegung ist ein iterativ arbeitendes Verfahren mit den Teilschritten Routensuche und Routenbelastungen. Die Iteration wird abgebrochen, wenn sich ein stabiler Belastungszustand einstellt. Der Nutzer kann dazu beispielsweise eine maximale Schrittzahl und/oder ein Abbruchkriterium vorgeben. Wichtig ist es während des Modellaufbaus keine zu stark einschränkenden Vorgaben zu machen, um das Konvergenzverhalten des Modells zu beobachten. Erst dann erfolgt eine hinsichtlich Rechenzeit und erreichter Stabilität der Ergebnisse «beste» Einstellung der Vorgaben. Die Gleichgewichtsprüfung selbst ist in Visum implementiert. Die tatsächlich benötigte Schrittzahl wird in das Meldungsfenster geschrieben und in die Rückkopplungsstatistik übernommen.

PW-Umlegung und Netzbelastung als Teil des äusseren Gleichgewichtes: Mit der Einbindung in eine Rückkopplung muss eine Festlegung getroffen werden, ab wann eine Änderung der Belastungswerte im Streckennetz *im Vergleich zum vorhergehenden Rückkopplungsschritt* nicht mehr relevant für den Gleichgewichtspunkt des Ge-

samtverfahrens ist. Für das MIV-Netz wird diese Prüfung anhand des Belastungswertes und für jede Strecke vorgenommen. Als Abbruchbedingung wird die Bedingung verwendet, wie sie im Umlegungsverfahren «Lernverfahren nach LOHSE» genutzt wird. Dieses Verfahren ist einerseits erprobt im Rahmen der Umlegung selbst und wurde auch in anderen Modellen als Rückkopplungsabbruchkriterium erfolgreich eingesetzt.

ÖV-Umlegung: Mit der Einbindung der Auslastungsmatrix in eine Rückkopplung muss eine Festlegung getroffen werden, wann eine Änderung der Auslastungsmatrix nicht mehr relevant für den Gleichgewichtspunkt ist. Dieses Kriterium wird pro Quelle-Ziel-Relation geprüft und muss erfüllt sein. Dieser Grenzwert wird auf 15% festgelegt, d.h. die Abweichung der aktuellen Matrix im Vergleich zur Matrix des Vorgängerschrittes darf maximal 15% oder weniger betragen. Die Prüfung erfolgt für jede Relation.

Es erfolgt eine Glättung⁹ zwischen den Schritten nach dem exponentiellen Verfahren:

$$A_i^* = \alpha A_i + (1 - \alpha) A_{i-1}^*$$

mit:

A_i^* geglätteter Auslastungswert im aktuellen Schritt i

A_i Auslastungswert im aktuellen Schritt i

A_{i-1}^* geglättete Auslastung des Vorgängerschrittes i-1

α Glättungsfaktor (syn. Gewichtungsfaktor), mit dem der aktuelle Wert in das Gewicht eingeht; im Projekt 30%

Durch die Einbindung der Auslastung in die Bewertung bzw. Ziel- und Verkehrsmittelwahl reduziert sich die Auslastung auf der Beispielrelation Zürich ⇔ Bern von initial (vor der Rückkopplung) von ca. 75% auf ca. 50%. Auf der Achse Lausanne ⇔ Genf reduziert sich die Auslastung von 90% auf 45%, für Zürich ⇔ Basel von 75% auf 40% und für Bern ⇔ Basel von 100% auf 40%.

Die gemäss SBB-Modell pro Werktag anfallenden Fahrten zwischen den Agglomerationen Zürich, Bern und Basel konnten somit gut erreicht werden (die Zahlen für Lausanne ⇔ Genf können hier nicht überprüft werden, da diese im SBB-Modell unter „Agglo Léman“ zusammengefasst sind).

EVA-Ziel- und Moduswahl: In diesem Verfahren wird ein tri-lineares Gleichungssystem gelöst. Ergebnis sind die Verkehrsströme je QZG unter Einhaltung der Modal Split-Vorgaben (aus dem MZMV) und Randsummenbedingungen sowie der Berücksichtigung der Kenngrößen je Verkehrsmittel und deren Bewertung. Das Lösungsver-

⁹ Die exponentielle Glättung ist ein Verfahren der Zeitreihenanalyse und dient zur kurzfristigen Prognose von Daten auf Basis von periodischen Stichproben/Daten aus der Vergangenheit. Man geht von dem Ansatz aus, dass der gegenwärtige Wert immer auch von den vergangenen Werten beeinflusst wird, wobei sich der Einfluss abschwächt, je weiter der Wert in der Vergangenheit liegt. Durch die Mittelwertbildung werden stärkere Ausschläge einzelner Schritte nivelliert und das Konvergenzverhalten des Gesamtverfahrens kann günstig beeinflusst werden.

fahren arbeitet iterativ und ist in Visum implementiert. Der Nutzer kann eine maximale Schrittzahl und eine Genauigkeitsschranke vorgeben, Visum sorgt automatisch für die Einhaltung der Vorgabe. Wichtig ist es zu prüfen, dass die einzelnen QZG auch wirklich ausiterieren, um arbiträre Zustände zu vermeiden. Die benötigten Schrittzahlen je QZG für das NPVM sind in Anhang 7.5 dokumentiert. Aktuell wird die tatsächliche Schrittzahl nur in der Visum-eigenen Protokolldatei im Textformat abgelegt und kann daher für die Auswertung nicht ausgelesen werden.

Äusseres Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage: Zum Erreichen des Gleichgewichtes gibt es in Visum keine «feste» Routine, sondern das Gleichgewicht muss durch das Anordnen und Verknüpfen von Verfahrensschritten herbeigeführt werden. Das äussere Gleichgewicht enthält mehrere kleine, innere Gleichgewichte:

- PW-Umlegung
- ÖV-Umlegung
- EVA-Verteilung/Moduswahl

Die Abbruchbedingungen sind in Tabelle 52 beschrieben. Neben den Kriterien zu einem stabilen Zustand des PW- und ÖV-Netzes erfolgt zusätzlich die Prüfung auf die minimale und maximale Schrittzahl. Die Rückkopplung wird abgebrochen, wenn alle vier Kriterien erfüllt sind.

Tabelle 52 Abbruchbedingung für die Rückkopplung

Abbruchkriterium	Stopp erlaubt, wenn jede Bedingung erfüllt ist ...	Rücksprung, wenn ...	Attributname (Setzung bedeutet: 0 – »weiter« 1 – »Stopp«)
Minimale Schrittzahl (»MinS«)	$\text{aktSchrittNr} \geq \text{MinS}$	$\text{aktSchrittNr} < \text{MinS}$	GG_MinSchritte_erreicht
Maximale Schrittzahl (»MaxS«)	$\text{aktSchrittNr} \geq \text{MaxS}$ [Vorschlag 20 ¹⁰]	$\text{aktSchrittNr} < \text{MaxS}$	GG_MaxSchritte_erreicht
Netzgleichgewicht PW (Stabilität der PW-Zeit auf allen Strecken)	Gleichgewichtskriterium erfüllt für alle Strecken (LOHSE-Abbruchprüfung)	GG-Kriterium nicht erfüllt mindestens auf einer Strecke	GG_PW_Netz_stabil
ÖV-Auslastungs-gleichgewicht (Stabilität der Auslastung auf allen relevanten OD-Relationen)	Gleichgewichtskriterium erfüllt für alle OD-Relationen	GG-Kriterium nicht erfüllt mindestens auf einer Relation	GG_ÖV_Netz_stabil

Um den Weg hin zum äusseren Gleichgewichtszustand nachvollziehbar zu machen, wird eine Rückkopplungsstatistik geführt. Diese umfasst zwei POI-Tabellen:

- POI-Liste 110 (Gleichgewichtsdaten): Sammelt die wichtigsten Informationen zu jedem Rückkopplungsschritt, darunter Startzeit, Schrittnummer, Netzleistung im PW-Netz, Umlegungsschritte PW-Umlegung, maximale Umlegungsschritte der PW-Umlegung, Maximale Schrittzahl EVA-Verteilung/Moduswahl, Eckwerte ausgewählter Kenngrössenmatrizen, minimale und maximale Rückkopplungsschrittzahl, Zustand der Variablen für Abbruchkriterien
- POI-Liste 104 (Matrixliste Rückkopplung): Sammelt die Ecksummen der Kenngrössenmatrizen; dazu wird in jedem Rückkopplungsschritt ein Teil der Matrixliste in die POI-Liste kopiert. Damit ist nachvollziehbar, welche Kenngrössen in welchem Schritt welchen Eckwert angenommen haben.
- Eine weitere wichtige Informationsquelle ist die Konvergenz-Karte. Damit wird für jede Strecke im PW-Netz gezählt, wie oft diese Strecken im Verlauf der Rückkopplung die Gleichgewichtsbedingung nicht erfüllt haben. Diese Information kann man tabellarisch auswerten oder sich eine Karte erstellen. Auf diese Weise können Strecken oder Netzteile mit schlechtem Konvergenzverhalten identifiziert werden.

¹⁰ Nach der Beobachtung der Einschwingverhaltens unter anderem in den Sensitivitätstests zeigt sich eine stabile Schrittzahl von 10-12 Schritten bis zum Erreichens des Gleichgewichtes. Deswegen erscheint eine maximale Schrittzahl von 20 als sehr sicher ausreichend.

Laufzeit (Stand November 2019)

Die Laufzeit wurde geprüft und dokumentiert. Je nachdem wie viele Iterationsschritte, Rückkopplungsschritte und Methoden zur Auswertung genutzt werden, entstehen Laufzeiten zwischen mehreren Tagen und drei Wochen (Technischer Stand: Visum 18 im Jahr 2019). Eine Kürzung der Rechenzeiten könnte sich ergeben durch a) (hardware-)technische Innovation und b) (software-)technische Optimierung, zum Beispiel durch einen Umstieg auf nachfolgende Visum-Programmversionen.

Mit Stand Abschluss der Modellkalibration (29.11.2019) ergeben sich auf einem Referenzrechner mit 32 virtuellen Kernen (Taktfrequenz max. 3.7 GHz) und 256 GB RAM in Visum 18 folgende ungefähre Rechenzeiten [hh:mm]:

- Nachfragemodell:
 - Einlesen / Bearbeiten Kenngrössenmatrizen: 00:10
 - Erzeugung: 00:10
 - Bewertung: 00:10
 - Verteilung / Aufteilung: 00:30
 - **Total Berechnung:** 01:00
 - Auswertung (inkl. Reiseweiten- & -zeitenverteilungen): 15:00
 - **Total Berechnung & Auswertung:** 16:00
- Umlegungsmodell MIV:
 - Umlegung Schwerverkehr LW & LZ (sukzessiv): 00:30
 - Umlegung Aussenverkehr (GGW Frank-Wolfe¹¹): 00:15
 - Umlegung Binnenverkehr PW & LI (GGW FW): 02:00
 - **Total Umlegung:** 02:45
 - Kenngrössenberechnung: 00:15
 - **Total Umlegung & Kenngrössenberechnung:** 03:00
- Umlegungsmodell ÖV:
 - Umlegung (fahrplanfein, mit oder ohne Kenngrössenberechnung): 04:00
 - **Total Umlegung:** 04:00
 - Berechnung Auslastungsmatrix: 20:00
 - **Total Umlegung & Berechnung Auslastung:** 24:00

Die *kursiv gedruckten Werte* beziehen sich auf Verfahren, welche die volle Anzahl der Rechenkerne benutzen. Für einen «herkömmlichen» Rechner mit 8 Kernen wären diese also mit einem Faktor von ca. 4 zu multiplizieren. Die Laufzeit der übrigen Verfahren ist stark abhängig von der Taktfrequenz der einzelnen Prozessoren, könnte also bei handelsüblichen Rechnern auch um einen Faktor bis ca. 2 schwanken.

Den grössten Einfluss auf die Rechenzeit hat die Zahl der Rückkopplungsschritte. Allerdings muss während Kalibrierungsarbeiten nicht immer vollständig rückgekoppelt werden. Auf diesem Weg kann während der Kalibrierung Zeit eingespart werden.

¹¹ Gleichgewichtsumlegung mit «Bi-conjugate Frank-Wolfe»-Algorithmus:

- Nutzung mehrerer Rechenkerne → Beschleunigung um Faktor n
- Ergebnisse praktisch deckungsgleich mit bisher verwendetem Wardrop-GGW

In der ÖV-Version bremst das Tarifmodell die Berechnung - aktuell werden zwei Tage Rechenzeit benötigt. Da der Fahrpreis belastungsunabhängig ist und keine Wirkung auf die Umlegung hat, wird der ÖV-Preis vorab in einer Version MIT Tarifmodell berechnet. Solange es keine Änderungen am Tarifmodell gibt, bleiben die Kosten konstant. Die Umlegung der ÖV-Nachfrage erfolgt in einer Version OHNE Tarifmodell.

In der ÖV-Umlegung entfällt ein wesentlicher Teil der Rechenzeit auf das Suchen von Verbindungen. Hier besteht das Optimierungspotential darin, Verbindungsdateien zu schreiben und für folgende Umlegungen wiederzuverwenden. Das führt zu circa 50 Prozent Zeitersparnis. Der grösste Zeitverbrauch entsteht durch die Anwendung des Scripts zur Erstellung der ÖV-Auslastungsmatrix. Hier fällt pro Rückkopplungsschritt ein Mehraufwand von ca. 24 (je nach Rechner bis zu 40) Stunden an.

Für finale Modellstände der Analyse und Prognoseszenarien muss eine vollständige und korrekte Rückkopplung ausgeführt werden, andernfalls sind die Ergebnisse von Szenarien nur eingeschränkt vergleichbar.

Dateigrösse und Initialisierungskonzept

Die Dateigrösse für das Nachfragemodell ist sehr davon abhängig, in welcher Arbeitsphase das Modell gespeichert wird. Das Nachfragemodell enthält 400 Matrizen und rund 8'900 Bezirke. Damit sind pro Matrix rund 80 Millionen Werte zu speichern.

Die geschätzte theoretisch maximale Dateigrösse beträgt 130 Gigabyte. Durch Initialisieren nicht benötigter Matrizen kann die Dateigrösse für die Nachfrageversion zwischen 5 und 15 Gigabyte gehalten werden. Um die Nachfrageversion während der Berechnung möglichst schlank zu halten, wurde ein Initialisierungskonzept umgesetzt. Das sieht vor, dass nach bestimmten Verfahrensschritten nicht mehr benötigte Matrizen (z.B. die Kenngrössenmatrizen oder die Nachfragematrizen der einzelnen QZG) initialisiert werden. Die Initialisierungen sind als einzelne Verfahrensschritte eingefügt. Hierfür wird das benutzerdefinierte Matrizenattribut «Inhaltstyp» benutzt. Auf diesem Wege ist transparent, welche Matrizen wann initialisiert werden.

Nach Abschluss der Berechnung wird eine Version mit maximal möglichem Initialisierungsgrad erstellt und unter neuem Namen gespeichert. Hiermit liegt eine Nachfrageversion vor, die speziell für Übergaben an den nächsten Bearbeiter gedacht ist. Diese Datei ist lediglich ca. 200 MB gross. Um eine Nachfrage rechnen zu können, müssten in diese Version jedoch die Kenngrössenmatrizen eingelesen werden, welche separat abgespeichert knapp 8 GB gross sind.

Die MIV-Version mit Nachfragematrizen, ohne Kenngrössenmatrizen und inklusive Umlegung benötigt knapp 15 GB Speicherplatz; ohne Umlegung (d.h. diese und bei Bedarf die Kenngrössenberechnung muss durch den Endnutzer selber nochmals durchgeführt werden) reduziert sich die Grösse auf knapp 3 GB.

Die ÖV-Version mit Nachfragematrizen, ohne Kenngrössenmatrizen und inklusive Umlegung umfasst 10 GB Speicherplatz; ohne Umlegung (d.h. diese und bei Bedarf die Kenngrössenberechnung muss durch den Endnutzer selber nochmals durchgeführt werden) reduziert sich die Grösse auf 5 GB. Zusätzlich entstehen je nach Einstellung der Umlegung Verbindungsdateien mit circa 130 GB.

Automatische Auswertung von Berechnungsergebnissen

Bei jedem Verkehrsmodell entstehen grosse Datenmengen und es besteht der Bedarf, diese Datenmengen automatisch auf wenige, aussagekräftige Zahlen zusammenzufassen. Dabei ist insbesondere die Auswertung kalibrierungsrelevanter Kennwerte interessant (z.B. Reiseweitenverteilungen, GEH-Werte). Für diese Auswertung wurde ein Python-Script erstellt und in Visum als Verfahrensschritt eingefügt, so dass es direkt nach der Berechnung automatisch ausgeführt wird.

Funktionsweise: Nach dem Start des Scripts wird in Visum eine definierte Menge an Listen geöffnet. Für jede Liste wird ein listenspezifisches Layout und (falls vorhanden) eine Filterdatei geöffnet. Der Inhalt jeder Liste wird anschliessend in eine Excel-Datei kopiert. Diese Excel-Datei enthält bereits alle Formeln, Diagramme und Aggregationen. Nachdem die Visum-Listen eingefügt wurden, berechnen sich die Kennziffern automatisch und alle Diagramme füllen sich. Am Ende wird die befüllte Excel-Datei unter dem Namen der Versionsdatei gespeichert. Auf diese Weise kann nachträglich jede Excel-Datei zu einer bestimmten Version zugeordnet werden. Da der Dateiname zusätzlich einen Datums- und Uhrzeit-String enthält ist es möglich, eine Auswertung mehrfach zu wiederholen, ohne das ältere Auswertedateien überschrieben werden.

Jedes der vier Teilmodell-Versionen hat seine eigene Auswertung.

Zugehörige Dateien: Für das erfolgreiche Ausführen der automatischen Auswertung sind folgende Dateien notwendig:

- Python-Dateien mit dem Programmcode
- Exceldatei mit allen Formatierungen, Diagrammvorlagen und Aggregationen
- Die Visum-Listenlayout-Dateien (die Listendateien definieren, welche Spalten kopiert werden)
- Filter-Dateien werden beachtet, wenn sie vorhanden sind und den gleichen Namen wie die Listen-lla-Datei tragen
- Matrixhistogrammlayout-Dateien enthalten Angaben, wie die Klassen der Reiseweitenverteilung zu bilden sind

Damit das Script Zugriff auf alle notwendigen Dateien hat, sind in Visum Pfade einzustellen. Eine Beschreibung hierfür findet sich auf dem Blatt „Checkliste“ der Excel-Masterdatei.

Es ist möglich, die Auswertungen nach eigenen Bedürfnissen anzupassen. Dazu gehört:

1. In der Masterdatei können die Auswertungen beliebig verändert und hinzugefügt werden. Eine Ausnahme bilden diejenigen Blätter, die die aus Visum kopierten Listen enthalten. Diese Blätter dürfen nicht gelöscht oder umbenannt werden, da sie die Grundlage für alle darauf aufsetzenden Auswertungen bilden
2. Für jede Liste sind die verwendeten Spalten in der Listenlayout-Datei gespeichert. Hier dürfen Spalten hinzugefügt werden.

2.6.3 Visum-Verfahrensschritte

Im Abschnitt «Ausgewählte Details» wurde das Konzept, dass das gesamte Nachfragemodell auf mehrere Visum-Versionen verteilt wird, beschrieben. Demnach existieren mehrere Versionen jeweils mit eigenen Verfahrensparametern und Einstellungen.

Segmentierung: Teilmodell Nachfrage

Die Nachfragestruktur des Modells wurde in den regulären Dialogen eingestellt. Das NPVM besteht aus zwei Nachfrage-Teilmodellen:

- M01: Privater Personenverkehr
- M02: Landseitiger Verkehr von und zu den Flughäfen in der Schweiz

Das Modell mit den zugeordneten Nachfrageschichten («Quelle-Ziel-Gruppen»), verhaltenshomogenen Personengruppen, Strukturgrößen, Quelle-Ziel-Gruppen-Typ, Randsummenbedingungen und Überlastungsfaktoren ist im Visum-Dialog Nachfrage|Nachfragemodelle nachzuvollziehen.

Abbildung 118 Verhaltenshomogene Gruppen in Visum für Teilmodell M01 (Auszug)

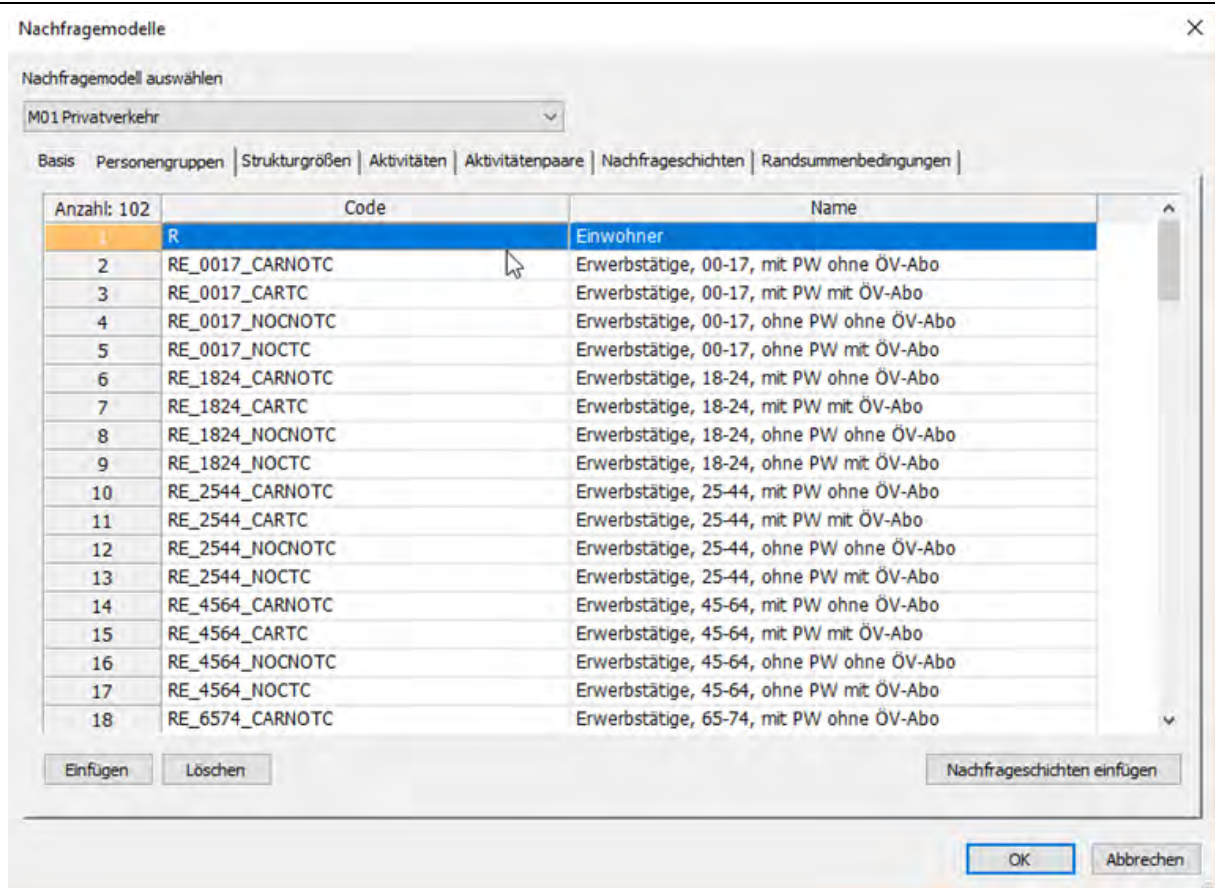


Abbildung 119 Übersicht über Randsummenbedingungen und Überlastungsfaktoren in Visum für Teilmodell M01 (Auszug)

Nachfragemodelle

Nachfragemodell auswählen

M01 Privatverkehr

Basis | Personengruppen | Strukturgrößen | Aktivitäten | Aktivitätenpaare | Nachfrageschichten | Randsummenbedingungen

Anzahl: 26	NSchicht Code	Quelle-Ziel-Typ	RSB Quelle	RSF QMin	RSF QMax	RSF	RSB Ziel	ZMin Kc /	RSF ZMin	RSF ZMax	RSF ZMax	Aufk. als
1	101_W_AA	1	HART	1.000	1.000	hart		1.000	1.000	1.000		
2	102_W_ASK	1	HART	1.000	1.000	hart		1.000	1.000	1.000		
3	103_W_BS	1	HART	1.000	1.000	hart		1.000	1.000	1.000		
4	104_W_BU	1	HART	1.000	1.000	hart		1.000	1.000	1.000		
5	105_W_Ek	1	HART	1.000	1.000	elastisch		0.500	1.200	1.200		
6	106_W_El	1	HART	1.000	1.000	elastisch		0.500	1.200	1.200		
7	107_W_N	1	HART	1.000	1.000	hart		1.000	1.000	1.000		
8	108_W_BgK	1	HART	1.000	1.000	elastisch		0.500	1.200	1.200		
9	109_W_Fk	1	HART	1.000	1.000	elastisch		0.700	1.100	1.100		
10	110_W_Fl	1	HART	1.000	1.000	elastisch		0.700	1.100	1.100		
11	111_AA_W	2	hart	1.000	1.000	HART		1.000	1.000	1.000		
12	112_ASK_W	2	hart	1.000	1.000	HART		1.000	1.000	1.000		
13	113_BS_W	2	hart	1.000	1.000	HART		1.000	1.000	1.000		
14	114_BU_W	2	hart	1.000	1.000	HART		1.000	1.000	1.000		
15	115_Ek_W	2	elastisch	0.500	1.200	HART		1.000	1.000	1.000		
16	116_El_W	2	elastisch	0.500	1.200	HART		1.000	1.000	1.000		
17	117_N_W	2	hart	1.000	1.000	HART		1.000	1.000	1.000		
18	118_BgK_W	2	elastisch	0.500	1.200	HART		1.000	1.000	1.000		

Quell/Zielaufkommen...

OK

Abbrechen

Verfahrensschritte: Teilmodell Nachfrage

In diesem Teilmodell werden die Nachfragematrizen berechnet und das gesamte NPVM-Verfahren gesteuert. Die Nachfrageschritte entsprechen dem klassischen 4-Stufen-Modell mit den Einzelschritten Erzeugung, Verteilung/Aufteilung und Umlegung. Dazu kommen Verfahren zum Initialisieren, zum Vorbehandeln von Kenngrößenmatrizen, Summation von Nachfragematrizen zu Umlegungsmatrizen, Führen von Statistiken, Sichern und Auswerten. Insgesamt umfasst das Nachfragemodell über 300 Verfahrensschritte.

Abbildung 120 Visum-Verfahrensschritte für das Teilmodell Nachfrage

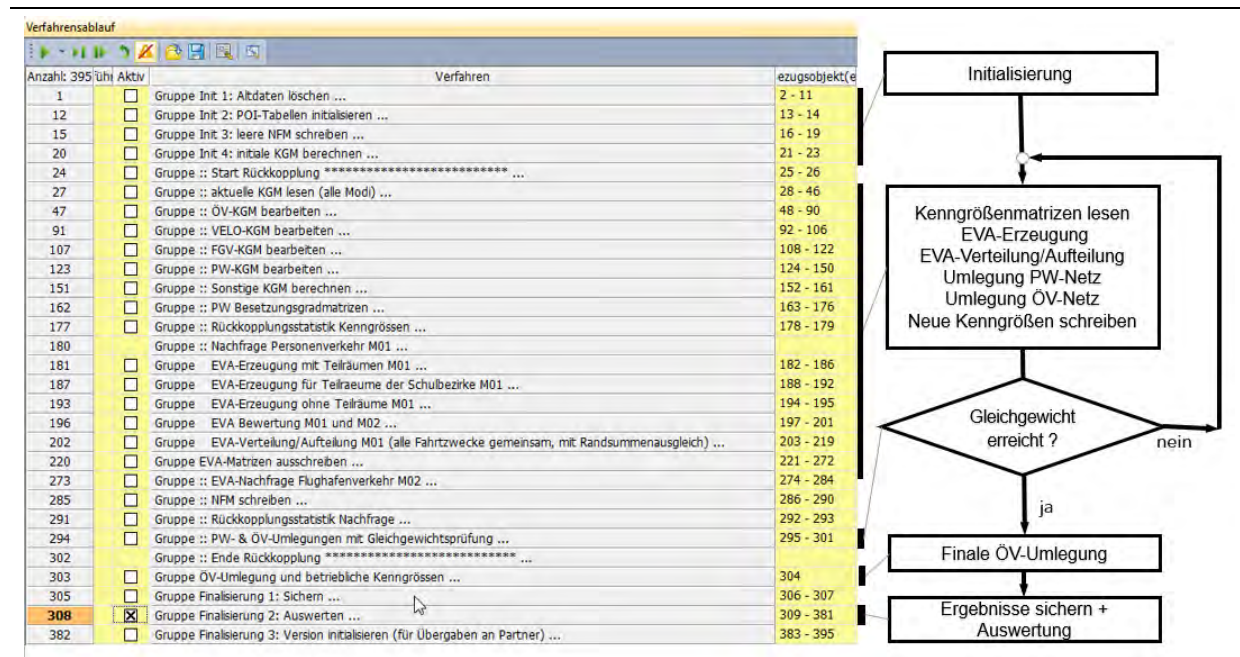


Tabelle 53 Inhalt der Verfahrensschritte im Teilmodell Nachfrage

Verfahrensschritt-Block	Kurzbeschreibung des Inhaltes
	(Abkürzung: KGM-Kenngrössenmatrizen, NFM-Nachfragematrizen)
Init 1: Altdaten löschen	NFM initialisieren, Schrittzähler und andere Gleichgewichtsmarker auf Anfangswert setzen
Init 2: POI-Tabellen initialisieren	Rückkopplungsstatistik initialisieren, d.h. Tabellen leeren
Init 3: initiale NFM schreiben	Initiale NFM auf Festplatte speichern (Bereitstellung für andere Teilmodell-Versionen)
Init 4: initiale KGM berechnen	Aufruf externer Teilmodell-Versionen; Austausch von Daten, Starten der Umlegung; Schreiben von KGM auf die Festplatte - damit Bereitstellen von Matrizen für das Nachfrage-Teilmodell
Start Rückkopplung *****	Marker zur Gliederung ohne eigene Funktion
aktuelle KGM lesen (alle Modi)	Lesen der KGM von Festplatte
ÖV-KGM bearbeiten	Bearbeiten der ÖV-Kenngrössen, u.a. Diagonalwert einsetzen, symmetrisieren Raumtypabhängige KGM ableiten (siehe auch Abschnitt «Raumtypabhängige Bewertung»)
VELO-KGM bearbeiten	Bearbeiten der Velo-KGM (Diagonale, symmetrisieren)
FGV-KGM bearbeiten	Generieren der Fuss-KGM aus den Velo-KGM; Annahme einer Geschwindigkeit und Berechnung auf Basis der Velo-Distanzmatrix; Diagonale einsetzen, symmetrisieren
PW-KGM bearbeiten	Bearbeiten der PW-Kenngrössen, zum Beispiel Diagonalwert einsetzen, symmetrisieren Raumtypabhängige KGM ableiten (siehe auch Abschnitt «Raumtypabhängige Bewertung»); Kostenmatrix auf Basis der Distanzmatrix berechnen
Sonstige KGM berechnen	Sonstige KGM zum Beispiel Sprachraummatrix, Schulbezirksmatrix, Setzen von externen Bewertungen für Pendlerströme und weiteres
KGM PW Besetzungsgrad	Berechnung der Matrizen mit einem distanzabhängigen PW-besetzungsgrad
Rückkopplungsstatistik Kenngrössen	Verschiedene Kennziffern in die Rückkopplungsstatistik eintragen (POI-Listen)
Nachfrage Personenverkehr M01	Marker zur Gliederung ohne eigene Funktion
EVA-Erzeugung für Teilräume "MS-Regionen" M01	EVA-Erzeugung für ausgewählte Fahrtzwecke mit Teilraumausgleich für MS-Regionen
EVA-Erzeugung für Teilräume "Schulbezirke" M01	EVA-Erzeugung für ausgewählte Fahrtzwecke mit Teilraumausgleich für Schulbezirke
EVA-Erzeugung ohne Teilräume M01	EVA-Erzeugung für die restlichen Fahrtzwecke
EVA-Bewertung M01 und M02	EVA-Bewertung und anschliessend Initialisierung nicht benötigter KGM
EVA-Verteilung/Aufteilung M01	EVA-Erzeugung und EVA-Verteilung/Moduswahl, Summation über alle Nachfrageschichten, Umrechnung in PW-Fahrten für

	Teilmodell M01; anschliessend Initialisierung nicht benötigter Bewertungsmatrizen
EVA-Nachfrage Flughafenverkehr M02	EVA-Erzeugung und EVA-Verteilung/Moduswahl, Summation über alle Nachfrageschichten, Umrechnung in PW-Fahrten für Teilmodell M01
NFM schreiben	Sichern der NFM auf Festplatte - damit Bereitstellung der Umlegungsmatrizen für die Angebots-Teilmodelle
Rückkopplungsstatistik Nachfrage	Einträge in die POI-Liste
PW- & ÖV-Umlegungen mit Gleichgewichtsprüfung	Aufruf externer Teilmodelle; Datenübertrag von Information zum Gleichgewichtspunkt; Zusammenführen der vier Abbruchkriterien; Test auf Gleichgewicht und gegebenenfalls Rücksprung; Einträge in die Rückkopplungsstatistik
Ende Rückkopplung *****	Marker zur Gliederung ohne eigene Funktion
ÖV-Umlegung und betriebliche Kenngrössen	Abschliessende ÖV-Umlegung, falls vorher keine berechnet wurde
Finalisierung 1: Sichern	Sichern der Versionsdatei und der Protokolldatei
Finalisierung 2: Auswerten	Aufruf der Auswertung; vorher Aufbereiten von Hilfsmatrizen für die Auswertung
Finalisierung 3: Version initialisieren	Herstellen eines definierten initialen Zustandes für die Übergaben an Partner/Nutzer

Teilmodell Nachfrage: Matrizenordnung

Das Nachfragemodell enthält etwa 400 Matrizen. Für die Übersichtlichkeit sind die Matrizen anhand ihrer eindeutigen Nummer zu bestimmten Ziffernbereichen zugeordnet. Weiterhin gibt es ein benutzerdefiniertes Attribut «Inhaltstyp», womit die Matrizen entsprechend ihrer Verwendung klassifiziert sind.

Tabelle 54 Matrizen in Visum nach Zifferbereichen (KGM-Kenngrössenmatrizen, NFM-Nachfragematrizen)

Ziffernbereich	Beschreibung Matrizen
1 – 99	umlegungsrelevante NFM
100 – 199	originale KGM aus den Umlegungen
200 – 399	aufbereitete KGM
400 – 799	EVA-NFM für die Nachfrageschichten aller Modi
800 – 899	NFM PW in der Einheit PW-Fahrten
1401 – 1799	EVA-Bewertungsmatrizen für die Nachfrageschichten aller Modi
ab 2000	Hilfsmatrizen für die Auswertung

Teilmodell PW: Verfahrensschritte

Tabelle 55 Inhalt der Verfahrensschritte im Teilmodell PW

Verfahrensschritt-Block	Kurzbeschreibung des Inhalts
Initialisierung KGM und Iterationsgrößen	Initialisieren von Matrizen und von Gleichgewichtsmarkern (beim ersten Aufruf); Identifizieren von Verfahrensschritten
NFM lesen	Einlesen von Nachfragematrizen
Umlegung	Abschalten nicht relevanter Verfahrensschritte, Starten der Umlegung, Gleichgewichtsprüfung, Einträge in das Rückkopplungsprotokoll
KGM schreiben	KGM berechnen und auf Festplatte schreiben, damit Bereitstellung für Nachfragemodell
Finalisierung	Auswertung, Umlegungsanalyse, Initialisierung, Speichern der Versionsdatei und der Visum-Protokolldatei

Teilmodell ÖV: Verfahrensschritte

Tabelle 56 Inhalt der Verfahrensschritte im Teilmodell ÖV

Verfahrensschritt-Block	Kurzbeschreibung des Inhalts
Initialisierung	Initialisieren von Matrizen und von Gleichgewichtsmarkern (beim ersten Aufruf); Identifizieren von Verfahrensschritten
NFM lesen	Einlesen von NFM
KGM rechnen + Verbindungsexport	Abschalten nicht relevanter Verfahrensschritte, Linienfilter setzen, Starten der Umlegung
KGM schreiben	KGM berechnen und auf Festplatte schreiben, damit Bereitstellung für Nachfragemodell
ÖV-Umlegung	Linienfilter setzen, Umlegung mit Verbindungsimport, betriebliche Kennzahlen
Auslastungsmatrix schreiben	Linienfilter auf schwere Schiene, Ausführen des Scriptes für die ÖV-Auslastungsmatrix, Glättung der Auslastungsmatrix und Abbruchprüfung, Schreiben der Matrix auf Festplatte, Gleichgewichtsmarker setzen
Finalisierung	Auswertung, Umlegungsanalyse, Initialisierung, Speichern der Versionsdatei und der Visum-Protokolldatei

Teilmodell Velo: Verfahrensschritte

Tabelle 57 Inhalt der Verfahrensschritte im Teilmodell Velo

Verfahrensschritt-Block	Kurzbeschreibung des Inhalts
Initialisierung KGM und Iterationsgrößen	Initialisieren von Matrizen und von Gleichgewichtsmarkern (beim ersten Aufruf); Identifizieren von Verfahrensschritten, Abschalten nicht relevanter Verfahrensschritte
NFM lesen	Einlesen von NFM
Umlegung	Starten der Umlegung
KGM berechnen	KGM berechnen und auf Festplatte schreiben, damit Bereitstellung für Nachfragemodell
Finalisierung	Initialisierung, Speichern der Versionsdatei und der Visum-Protokolldatei, Auswertung

2.7 Validierung und Kalibrierung

2.7.1 Modellzustand 1: Erstanwendung, unkalibriert

Als Startpunkt und als Grundlage für die Modellkalibrierung wurde für das NPVM die so genannte «Erstanwendung, unkalibriert» durchgeführt. Gegenstand der Erstanwendung ist die Durchführung und die Dokumentation eines unkalibrierten Modelllaufs mit allen originär übernommenen und nicht modifizierten Parametern und Einstellungen. Dazu wurden das erstellte Nachfragemodell, der automatisierte Verfahrensablauf sowie die drei Netzmodelle für IV, ÖV und Velo entsprechend der folgenden Festlegung parametrisiert:

- Verwendung der initialen Mobilitätsraten (entsprechend MZMV-Auswertung);
- Verwendung der initialen Bewertungsfunktionen (d.h. entsprechend SP-Auswertung, ohne Box-Tukey-Transformationen);
- Keine Berücksichtigung von Zusatzvariablen in der Bewertung (Attraktivität Grossstädte, Reduktion Kosten- und Zeitsensitivität, Sprachraumwiderstände);
- Keine Berücksichtigung der ÖV-Auslastungsmatrix;
- hinsichtlich der Strukturdaten wurde eine Vorversion der im finalen Modell verwendeten Strukturdatentabelle 2017 verwendet (mit marginalen Abweichungen zur finalen Version).

Das Ziel der Erstanwendung ist der Nachweis der technischen Lauffähigkeit des Modells, die Protokollierung des Laufzeit- und Konvergenzverhaltens sowie die Ableitung von Anpassungen und Massnahmen, die zu einer Optimierung der Prozesssteuerung führen. Des Weiteren sollte festgehalten werden, welche Modellqualität (z.B. Modell- vs. Zählwerte) im unkalibrierten Zustand erreicht wird und welchen Beitrag die späteren Modellanpassungen und Kalibrationen zur Erreichung der Zielvorgaben bzgl. der Modellqualität hatten. Die Dokumentation der NPVM-Etablierung erfolgt somit in drei Stufen: a) Erstanwendung, unkalibriert mit originären Initialwerten bzgl. der Parametrisierung, b) Kalibration an Kenngrössen des MZMV, c) Kalibration an Zählraten im IV und ÖV.

Im Zuge der Erstanwendung wurden mehrere Testläufe durchgeführt. Mittels einer Konvergenzkarte konnten Netzelemente identifiziert werden, die sich negativ auf das Konvergenzverhalten auswirkten. Sukzessive wurden Netzkorrekturen durchgeführt (Umhängen von Anbindungen, Anpassung Streckenparametrisierung).

Zum Zeitpunkt der Durchführung der «Erstanwendung, unkalibriert» wurden die Nachfragematrizen in folgender (leicht abweichend zum finalen Modell) Reihenfolge umgelegt:

1. Sukzessiv-Umlegung der konstanten LI-, LW-, LZ-Matrizen auf das leere Netz;
2. Umlegung des PW-Aussenverkehrs (QZD-Verkehr) mit dem Frank-Wolfe-Algorithmus;
3. Umlegung des PW-Verkehrs (Binnenverkehr und Flughafen) mit dem Frank-Wolfe-Algorithmus.

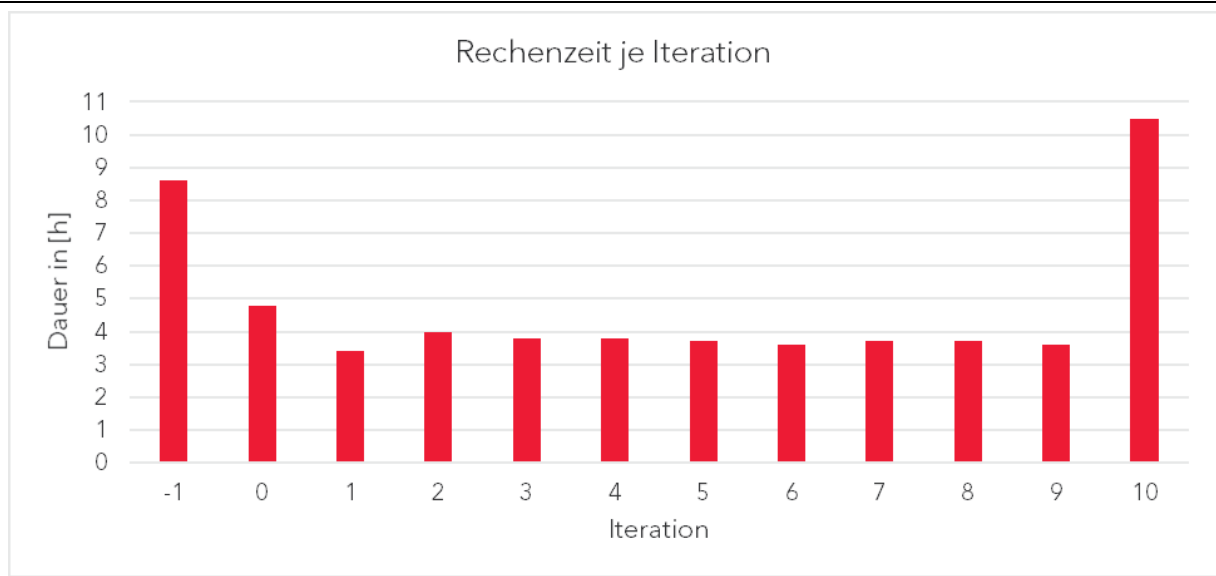
Da die Güterverkehrsmatrizen und die Matrix des PW-QZD-Verkehrs konstante Matrizen sind, sind nur im Modellschritt -1 die Sukzessiv-Umlegung des Güterverkehrs und die Umlegung des PW-QZD-Verkehrs durchzuführen. In allen weiteren Iterationsschritten erfolgt lediglich die Umlegung der (sich von Iterationsschritt zu Iterationsschritt ändernden) PW-Nachfrage des Binnen- und Flughafen-Verkehrs.

Für den finalen Lauf der Erstanwendung wurden Analysen und Auswertungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden beschrieben werden.

Einschwingverhalten, Rechenzeiten und Konvergenz

Es wurde ein vollständiger Modelllauf bis zum Erreichen des IV-Abbruchkriteriums durchgeführt. Das Abbruchkriterium wurde nach 11 Iterationen erreicht. Der Modellschritt -1 diente der Ermittlung der initialen Kenngrössenmatrizen für MIV, ÖV und Velo. In den anschliessenden 11 Iterationen wurde jeweils die EVA-Nachfrage gerechnet, eine MIV-Umlegung durchgeführt und belastungsabhängige Kenngrössenmatrizen für den MIV berechnet. In der letzten Iteration wurde zudem die finale ÖV-Umlegung gerechnet. Auf Grund der durchgeführten ÖV-Umlegung in Modellschritt -1 und in der letzten Iteration sind die Rechenzeiten entsprechend länger als für die anderen Iterationen, wie Abbildung 121 verdeutlicht.

Abbildung 121 Rechenzeit je Iteration für die «Erstanwendung, unkalibriert»



Das Modell weist ein gutes Einschwing- und Konvergenzverhalten auf. Der Einschwingprozess wurde anhand folgender Kriterien dokumentiert:

- Ecksumme der MIV-Reisezeiten-Matrizen (Abbildung 122);
- Ecksumme der PW-Fahrtenmatrix und der IV-Netzleistung (Abbildung 123).

Die Abweichungen zwischen den einzelnen Iterationsschritten weisen eine alternierende Abnahme auf, bis schliesslich das Konvergenzkriterium eingehalten und der Berechnungslauf selbstständig beendet wird.

Abbildung 122 Delta der MIV-Reisezeit-Matrizen je Iteration

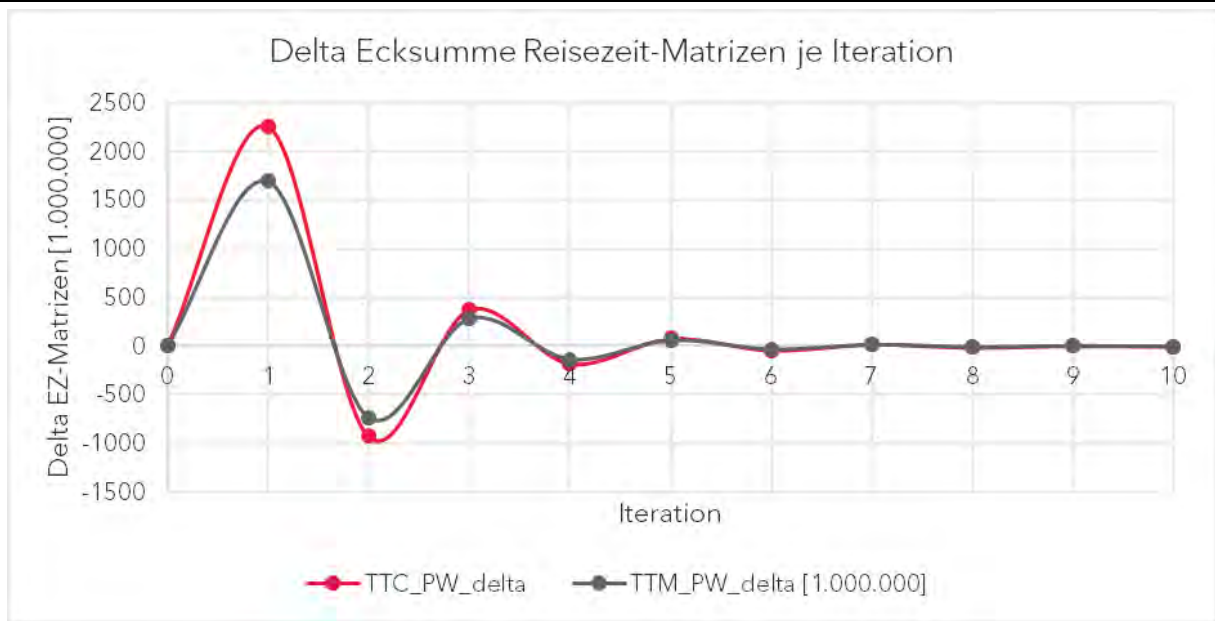
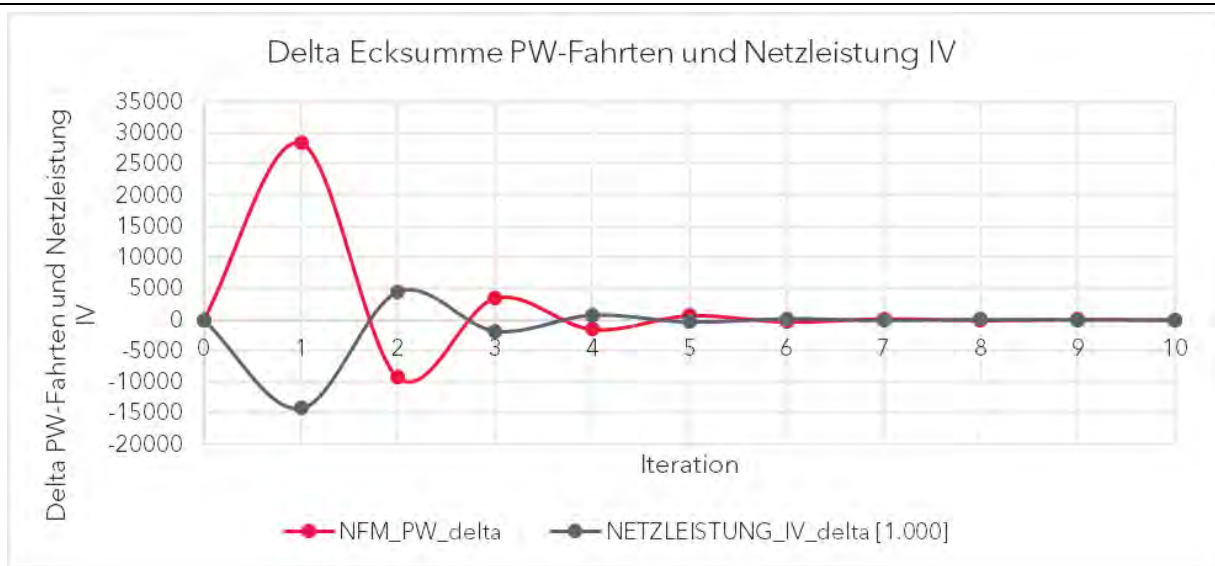


Abbildung 123 Delta der PW-Fahrten und der IV-Netzleistung je Iteration



Mit der erfolgreichen Durchführung der «Erstanwendung, unkalibriert» wurde der entwickelte Verfahrensablauf vollständig getestet, die Funktionsfähigkeit des erstellten Analysemodells nachgewiesen und der Startpunkt für die weitere Modellkalibration geschaffen.

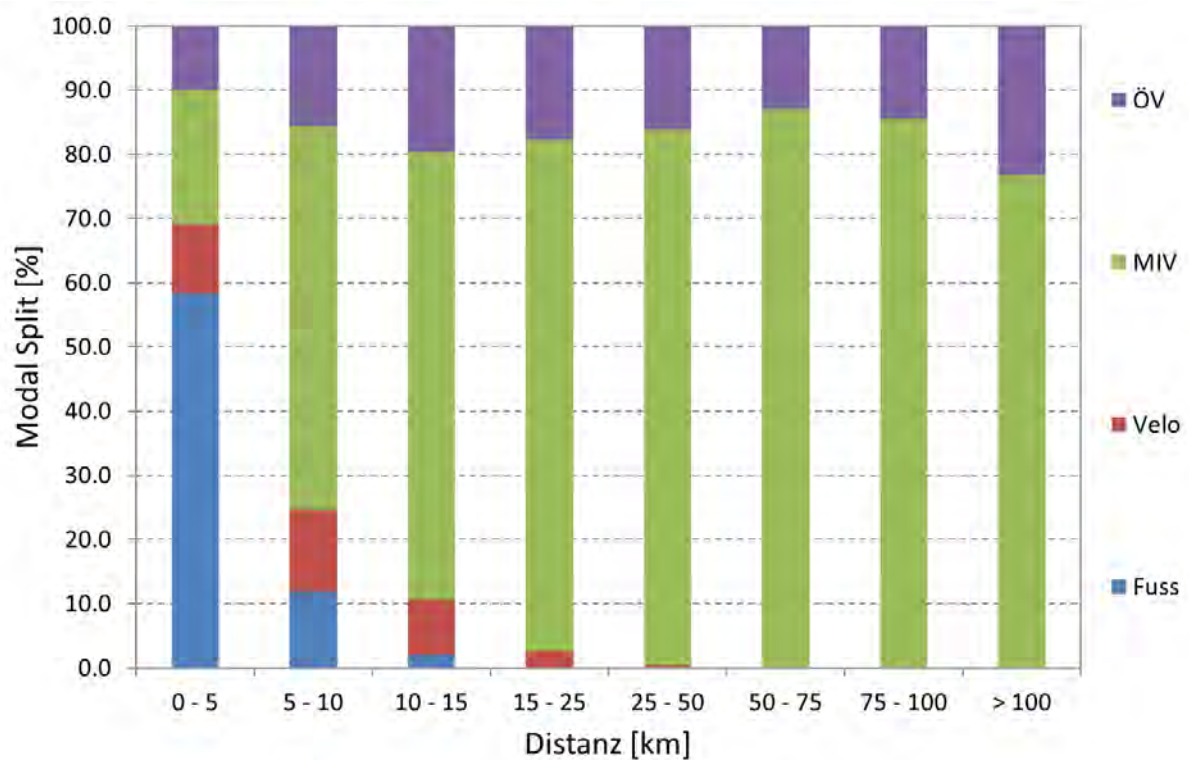
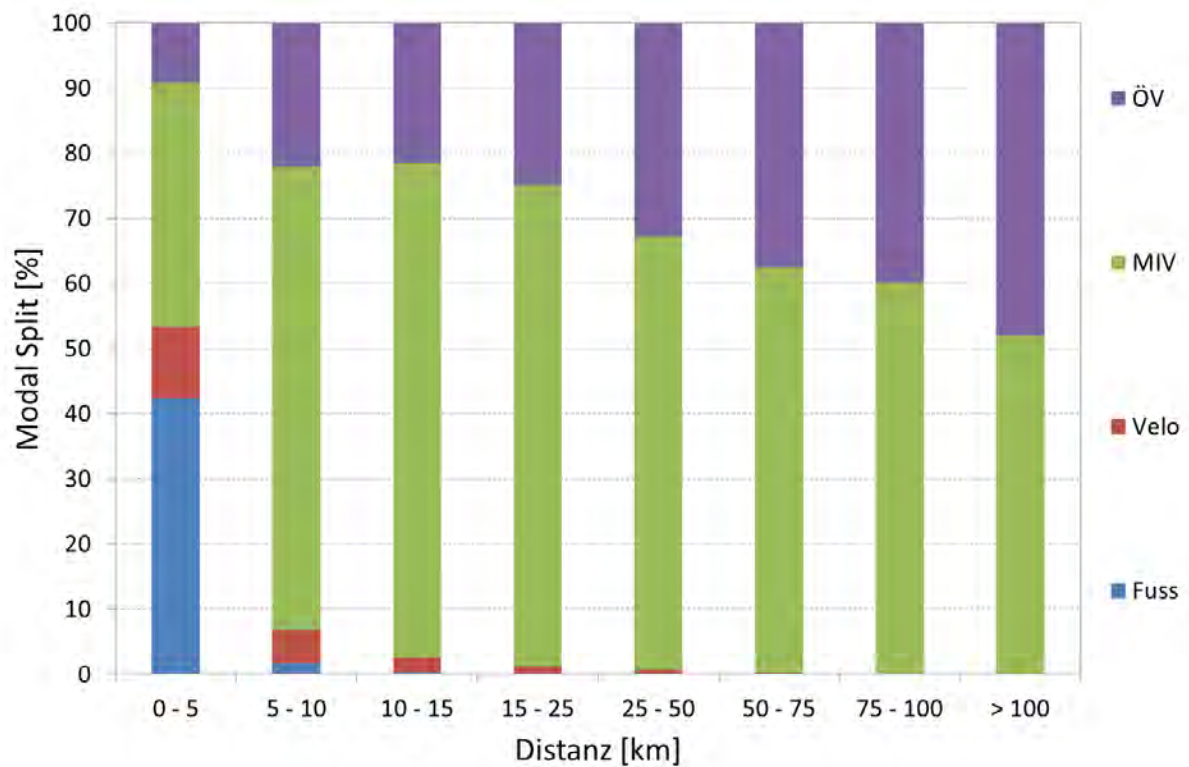
Modal Split

In Tabelle 58 und Abbildung 124 sind die Modal-Split-Anteile nach Distanz im Vergleich zum MZMV 2015 dargestellt. Auffällig sind die Unterschiede im Bereich mittlerer und weiter Wege, wo die MIV-Anteile zu hoch und die ÖV-Anteile zu niedrig sind. Im Nahbereich fallen die zu hohen Anteile für Fuss und Velo auf. Im Kalibrationsprozess sind Anpassungen vorzunehmen, um eine ausreichend genaue Übereinstimmung mit den MZMV-Werten zu erzielen (das vom AG geforderte Koinzidenzverhältnis beträgt 0.75). Dazu zählt neben der Transformation der Bewertungsparameter für Zeiten und Kosten auch die Besetzung der Hauptdiagonalen in den Kenngrössenmatrizen zur Steuerung der Binnenverkehrsanteile.

Tabelle 58 «Erstanwendung, unkalibriert» - Modal-Split-Anteile nach Distanz

Distanz [km]	MZMV 2015				NPVM				CR
	Fuss	Velo	MIV	ÖV	Fuss	Velo	MIV	ÖV	
0 – 5	42.3	11.0	37.5	9.2	58.4	10.7	21.0	9.9	0.71
5 – 10	1.7	5.2	71.1	22.1	11.9	12.6	59.9	15.6	0.70
10 – 15	0.4	2.1	76.0	21.5	2.1	8.6	69.7	19.7	0.85
15 – 25	0.2	1.1	73.9	24.9	0.1	2.6	79.5	17.8	0.87
25 – 50	0.1	0.7	66.5	32.8	0.0	0.4	83.5	16.1	0.71
50 – 75	0.0	0.2	62.3	37.5	0.0	0.0	87.1	12.9	0.60
75 – 100	0.0	0.0	60.1	39.8	0.0	0.0	85.6	14.4	0.59
> 100	0.0	0.0	52.0	48.0	0.0	0.0	76.8	23.2	0.60

Abbildung 124 «Erstanwendung, unkalibriert» - Modal-Split-Anteile nach Distanz (oben: MZMV; unten: NPVM)



Mittlere Weglängen und Weglängenverteilungen

Tabelle 59 «Erstanwendung, unkalibriert» - Mittlere Weglängen nach Fahrtzweck und Raumtyp																					
	Fahrtzweck	Gesamt					Städtisch					Intermediär					Ländlich				
		Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle	Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle	Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle	Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle
MZMV 2015 [km]	A(A)	1.0	3.4	14.4	21.9	13.9	1.0	3.2	13.3	20.9	13.0	1.0	4.6	14.9	24.3	14.9	0.8	3.3	16.8	28.3	16.4
	A(SK)	1.0	3.7	14.9	26.1	14.0	1.1	3.4	13.8	23.8	13.1	0.7	3.6	16.8	31.0	15.6	0.8	6.7	15.2	38.8	15.1
	B(S)	0.8	1.9	6.7	12.2	4.4	0.8	1.8	5.9	10.2	3.4	0.8	2.0	5.1	14.2	5.0	0.7	2.2	12.0	14.4	7.2
	B(U)	1.1	2.9	26.3	30.8	24.6	1.0	2.7	24.8	27.2	21.5	0.5	3.0	26.6	35.9	29.0	2.7	4.9	29.7	44.5	35.5
	E(k)	0.8	1.9	6.7	10.0	4.7	0.8	1.7	5.5	8.0	3.7	0.7	3.2	7.2	17.4	5.8	0.7	1.4	9.6	20.8	8.0
	E(l)	1.0	2.7	12.1	11.0	9.5	1.0	2.4	10.0	9.2	7.4	0.8	4.1	13.0	17.1	11.8	0.6	2.3	17.2	25.6	16.6
	N	1.1	3.2	21.6	34.5	21.1	1.0	3.5	20.3	30.9	19.4	1.3	1.6	22.4	40.8	22.3	0.9	2.1	24.0	63.9	25.6
	Bg(K)	0.7	1.8	7.6	6.0	5.2	0.7	1.8	6.7	5.4	4.2	0.9	1.9	7.8	9.3	6.3	0.6	1.3	9.9	16.7	7.5
	F (k)	1.0	2.2	4.1	4.7	3.0	1.0	2.3	4.0	4.5	3.0	0.9	2.0	4.3	6.1	3.1	0.9	1.9	4.4	6.0	3.1
	F (l)	12.4	18.1	34.7	48.7	37.3	12.1	17.9	36.8	48.9	39.4	17.1	19.4	32.6	42.2	34.1	12.0	16.6	32.2	58.1	35.8
	A	0.6	2.5	13.1	18.0	8.9	0.6	2.5	13.1	17.2	8.5	0.5	2.1	12.7	18.9	9.2	0.6	3.5	13.4	26.5	10.5
	S	0.7	2.3	12.4	16.4	8.6	0.7	2.2	11.7	14.6	7.6	0.7	2.2	12.8	15.3	9.3	0.7	2.7	14.0	30.9	11.7
	Alle	0.8	2.8	13.2	20.1	10.3	0.9	2.6	12.4	18.0	9.3	0.8	3.2	13.7	23.7	11.3	0.8	3.0	14.9	30.6	13.1
NPVM [km]	A(A)	1.9	6.4	20.9	13.4	14.7	1.9	5.9	15.4	11.2	10.1	1.6	8.0	22.1	17.5	18.8	1.9	8.7	30.0	18.4	26.9
	A(SK)	1.9	6.8	20.0	13.5	14.9	2.0	6.3	14.8	11.5	9.9	1.6	8.1	20.4	16.7	17.9	1.9	8.8	27.7	17.9	25.7
	B(S)	2.5	4.8	16.9	11.2	5.9	1.7	4.4	12.1	9.1	4.8	3.0	5.4	23.3	17.1	9.0	4.0	6.9	15.6	7.9	5.5
	B(U)	1.9	5.4	54.2	38.0	32.1	1.9	4.7	33.4	28.7	20.8	2.0	9.1	96.2	83.6	86.8	4.5	12.9	38.9	27.7	31.7
	E(k)	2.5	5.1	20.3	13.2	12.0	2.3	5.0	17.7	11.7	8.9	3.0	5.7	22.1	15.3	15.8	3.4	6.9	23.9	17.3	20.4
	E(l)	2.4	5.2	20.4	13.3	14.7	2.3	4.9	17.3	11.5	11.1	3.1	7.2	22.8	16.5	19.5	3.5	10.9	25.1	18.9	23.3
	N	1.4	3.9	24.8	15.0	19.0	1.4	3.8	21.6	13.7	14.6	1.4	3.8	27.6	19.7	24.4	1.6	6.2	28.1	14.4	26.4
	Bg(K)	3.1	7.6	23.4	16.1	15.1	3.0	6.8	20.6	14.9	11.5	3.4	8.8	24.0	17.2	18.0	4.0	11.0	28.4	20.3	24.4
	F (k)	3.1	5.2	7.0	5.0	4.9	2.9	4.6	5.8	4.6	4.1	3.4	5.8	7.4	5.5	5.6	3.9	6.9	9.2	5.7	7.2
	F (l)	11.7	15.2	30.3	26.9	28.1	11.6	15.1	29.8	27.2	27.6	11.8	15.1	29.3	24.7	27.0	12.0	15.9	32.3	28.9	30.7
	A	1.6	6.7	14.7	10.8	8.9	1.6	6.3	12.3	10.2	7.0	1.4	9.0	18.2	15.1	15.4	1.7	11.1	23.6	15.8	21.9
	S	2.3	5.9	20.0	15.0	11.9	2.3	5.6	18.7	14.5	10.6	3.1	8.9	23.6	18.4	19.4	3.4	10.3	27.2	21.6	24.1
	Alle	2.6	6.0	18.2	13.8	11.5	2.4	5.5	15.6	12.5	9.0	3.2	7.3	19.9	17.5	14.9	3.9	8.3	23.3	15.5	18.6
Verhältnis NPVM / MZMV	A(A)	1.9	1.9	1.4	0.6	1.1	1.8	1.8	1.2	0.5	0.8	1.7	1.7	1.5	0.7	1.3	2.4	2.6	1.8	0.6	1.6
	A(SK)	2.0	1.8	1.3	0.5	1.1	1.8	1.9	1.1	0.5	0.8	2.3	2.2	1.2	0.5	1.1	2.5	1.3	1.8	0.5	1.7
	B(S)	3.2	2.5	2.5	0.9	1.3	2.1	2.5	2.1	0.9	1.4	3.7	2.7	4.6	1.2	1.8	5.4	3.1	1.3	0.6	0.8
	B(U)	1.8	1.9	2.1	1.2	1.3	1.9	1.7	1.3	1.1	1.0	3.8	3.0	3.6	2.3	3.0	1.7	2.6	1.3	0.6	0.9
	E(k)	3.2	2.7	3.0	1.3	2.5	2.9	3.0	3.2	1.5	2.4	4.3	1.8	3.1	0.9	2.7	4.9	5.0	2.5	0.8	2.6
	E(l)	2.5	1.9	1.7	1.2	1.5	2.3	2.0	1.7	1.3	1.5	4.1	1.8	1.8	1.0	1.7	5.6	4.6	1.5	0.7	1.4
	N	1.3	1.2	1.1	0.4	0.9	1.3	1.1	1.1	0.4	0.8	1.1	2.4	1.2	0.5	1.1	1.8	3.0	1.2	0.2	1.0
	Bg(K)	4.2	4.3	3.1	2.7	2.9	4.1	3.8	3.1	2.8	2.7	3.9	4.6	3.1	1.8	2.9	6.6	8.4	2.9	1.2	3.2
	F (k)	3.1	2.3	1.7	1.1	1.6	2.8	2.0	1.5	1.0	1.4	3.7	2.9	1.7	0.9	1.8	4.3	3.5	2.1	1.0	2.3
	F (l)	0.9	0.8	0.9	0.6	0.8	1.0	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	0.5	0.9
	A	2.8	2.7	1.1	0.6	1.0	2.7	2.5	0.9	0.6	0.8	2.6	4.2	1.4	0.8	1.7	2.8	3.2	1.8	0.6	2.1
	S	3.3	2.6	1.6	0.9	1.4	3.2	2.5	1.6	1.0	1.4	4.7	4.0	1.8	1.2	2.1	4.9	3.8	1.9	0.7	2.1
	Alle	3.0	2.2	1.4	0.7	1.1	2.7	2.1	1.3	0.7	1.0	4.0	2.3	1.5	0.7	1.3	4.7	2.8	1.6	0.5	1.4

Die mittleren Weglängen nach Fahrtzweck und Raumtyp sind in Tabelle 59 dargestellt. Den Vergleich der mittleren Weglängen nach Fahrtzweck zeigt Abbildung 125, jenen nach Verkehrsmittel Abbildung 126. Besonders grosse Abweichungen gibt es bei den Fahrtzwecken Ausbildung (Universität), Begleitweg (Kind) und Freizeit (lang). Wie bereits bei der Modal-Split-Auswertung nach Distanz gezeigt, liegt die Reiseweite für den MIV tendenziell zu hoch, für den ÖV hingegen zu niedrig.

Abbildung 125 «Erstanwendung, unkalibriert» - Mittlere Weglängen nach Fahrtzweck

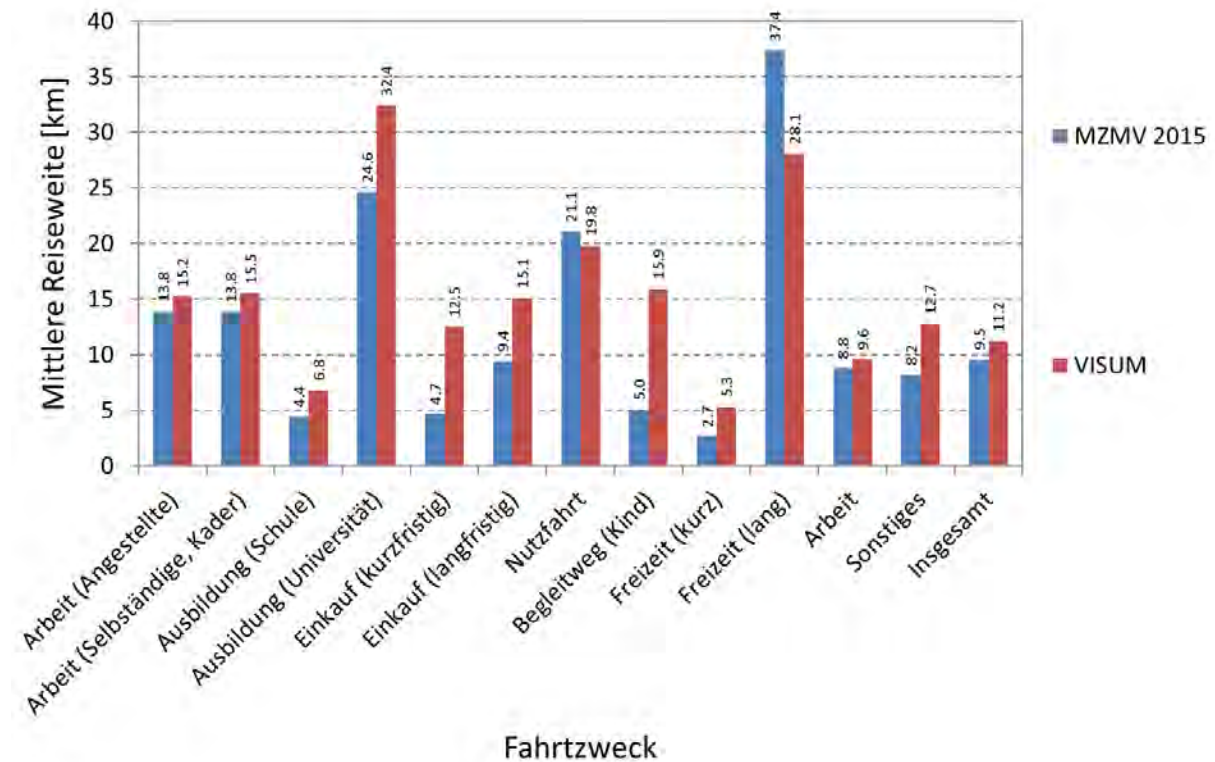
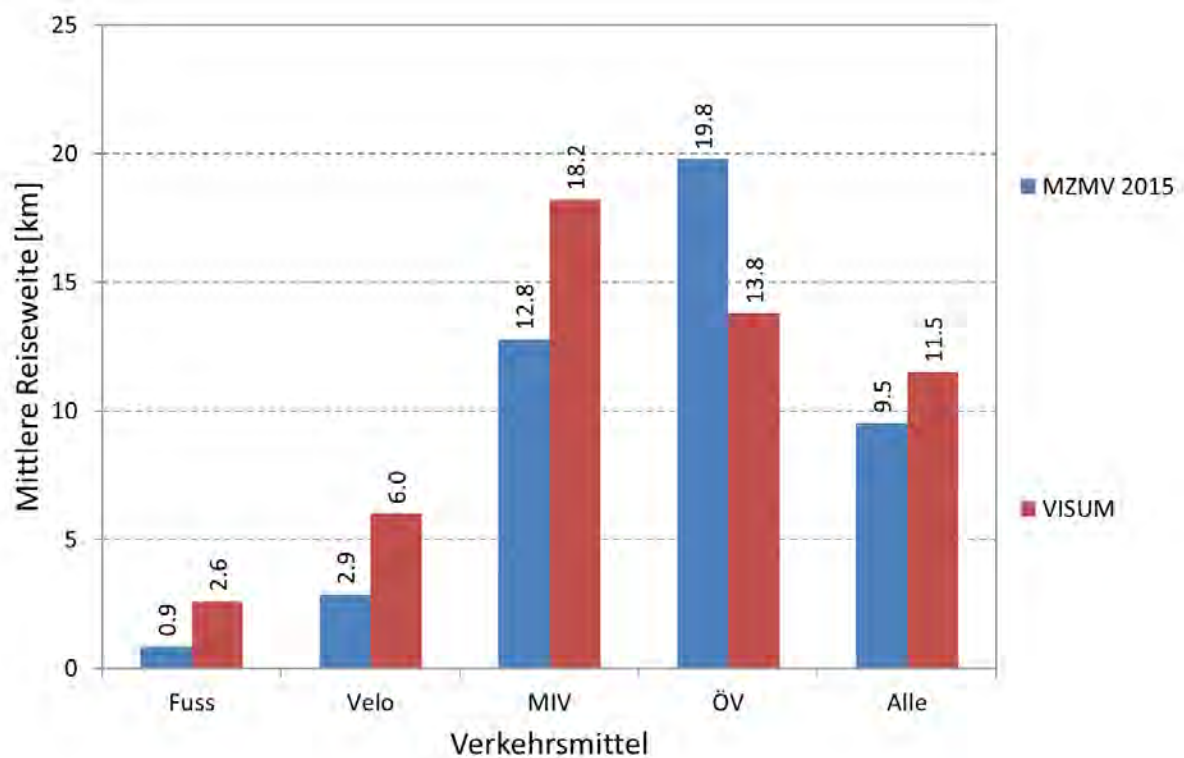


Abbildung 126 «Erstanwendung, unkalibriert» - Mittlere Weglängen nach Verkehrsmittel



Der Vergleich der Weglängenverteilungen zwischen dem MZMV 2015 und dem NPVM für den Gesamtverkehr ist aus Abbildung 127, jene für die einzelnen Fahrtzwecke aus den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

Abbildung 127 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (alle Fahrtzwecke)

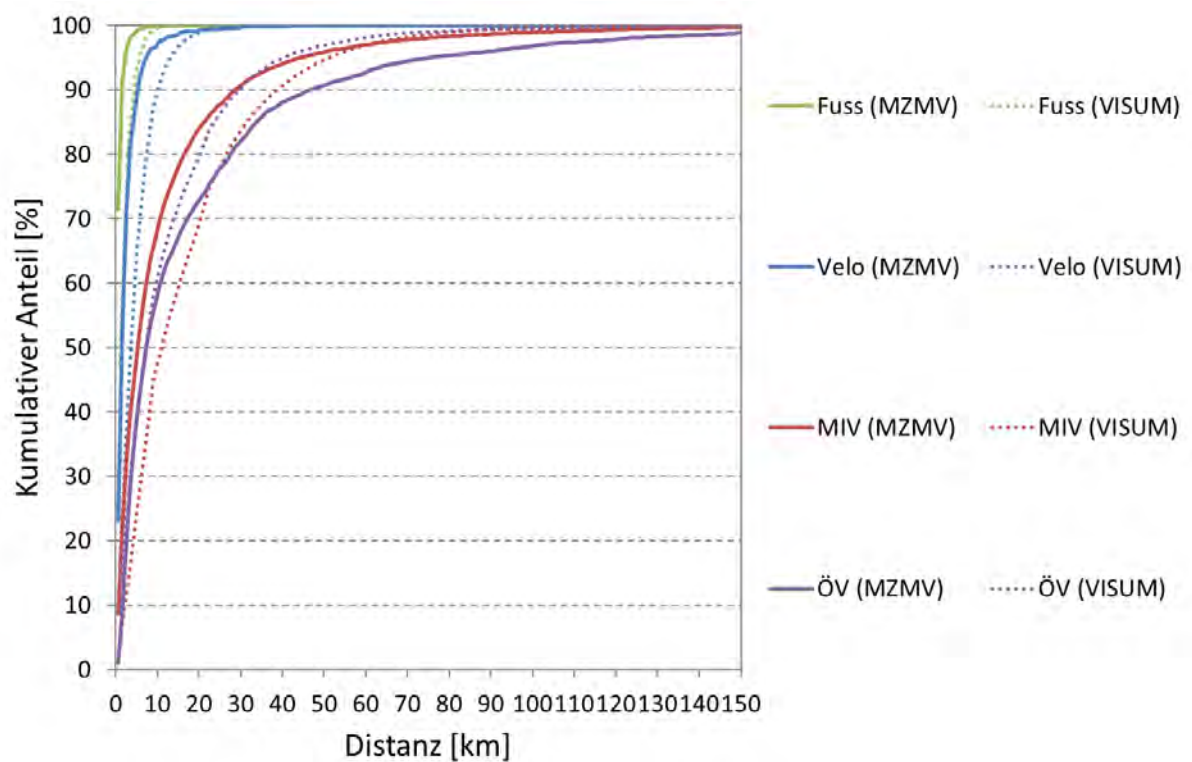


Abbildung 128 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Arbeit (Angestellte))

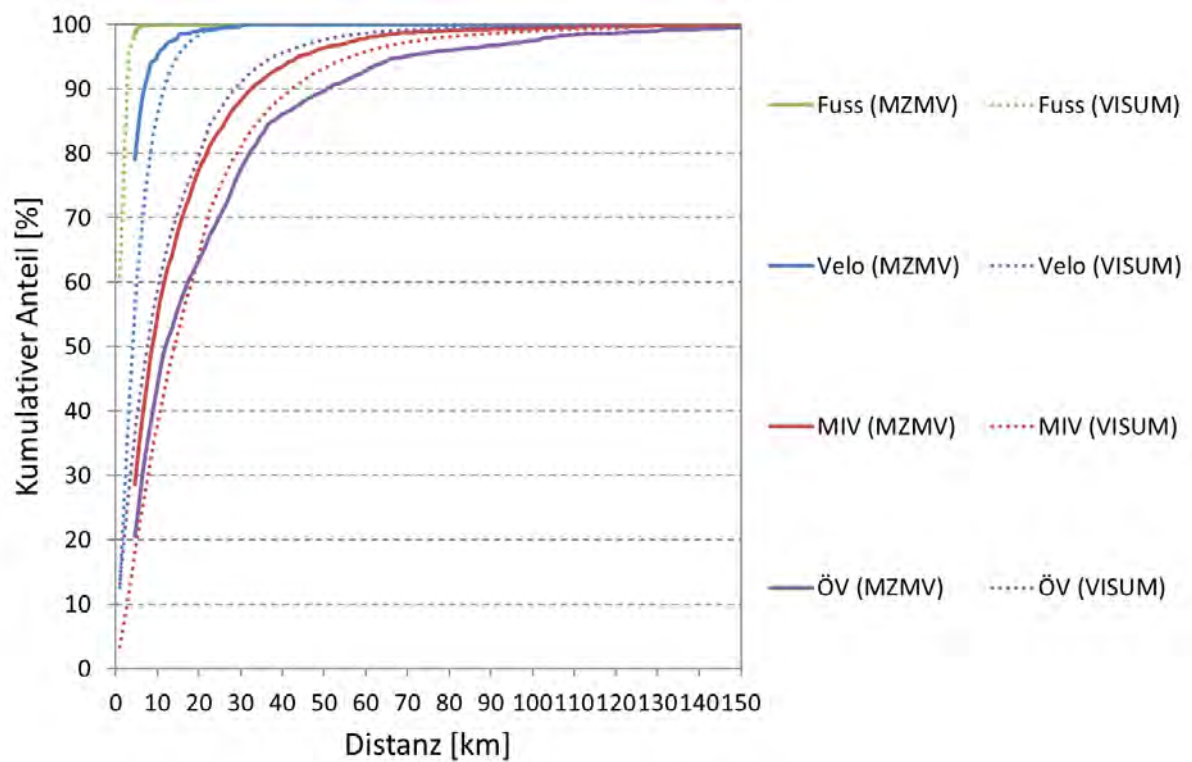


Abbildung 129 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenvert. (Fahrtzweck Arbeit (Selbständige, Kader))

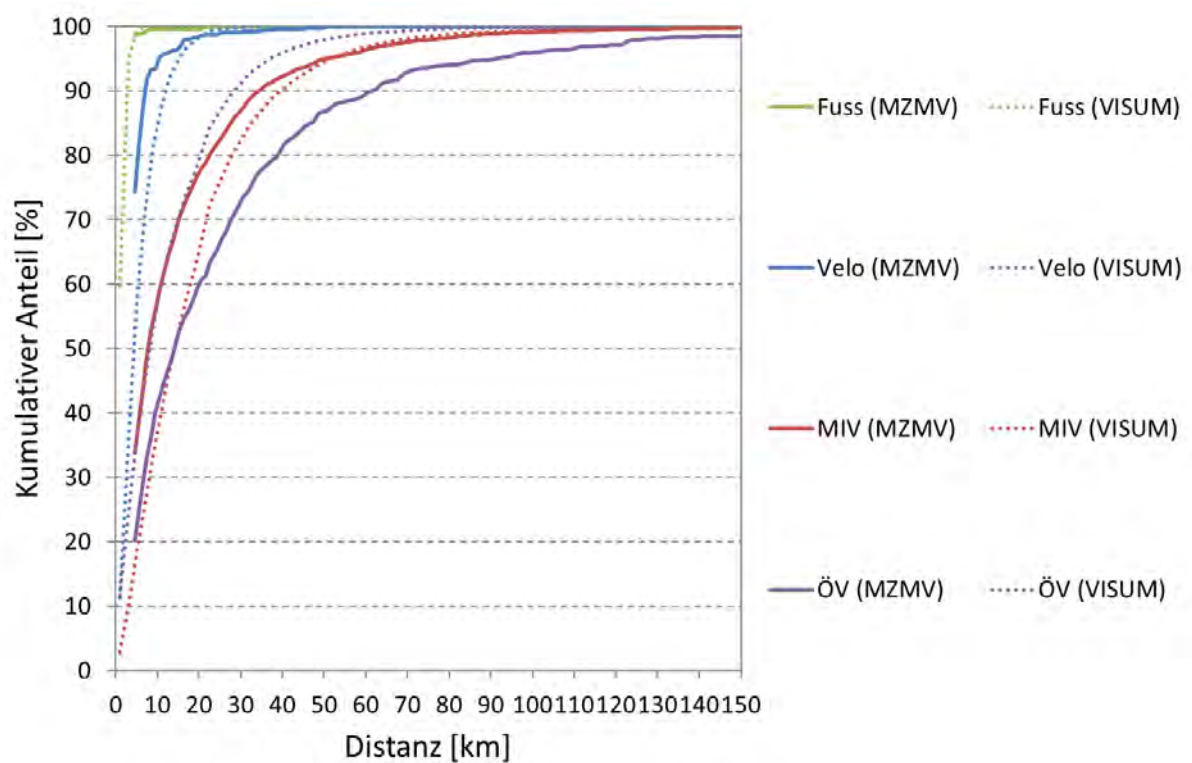


Abbildung 130 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Ausbildung (Schule))

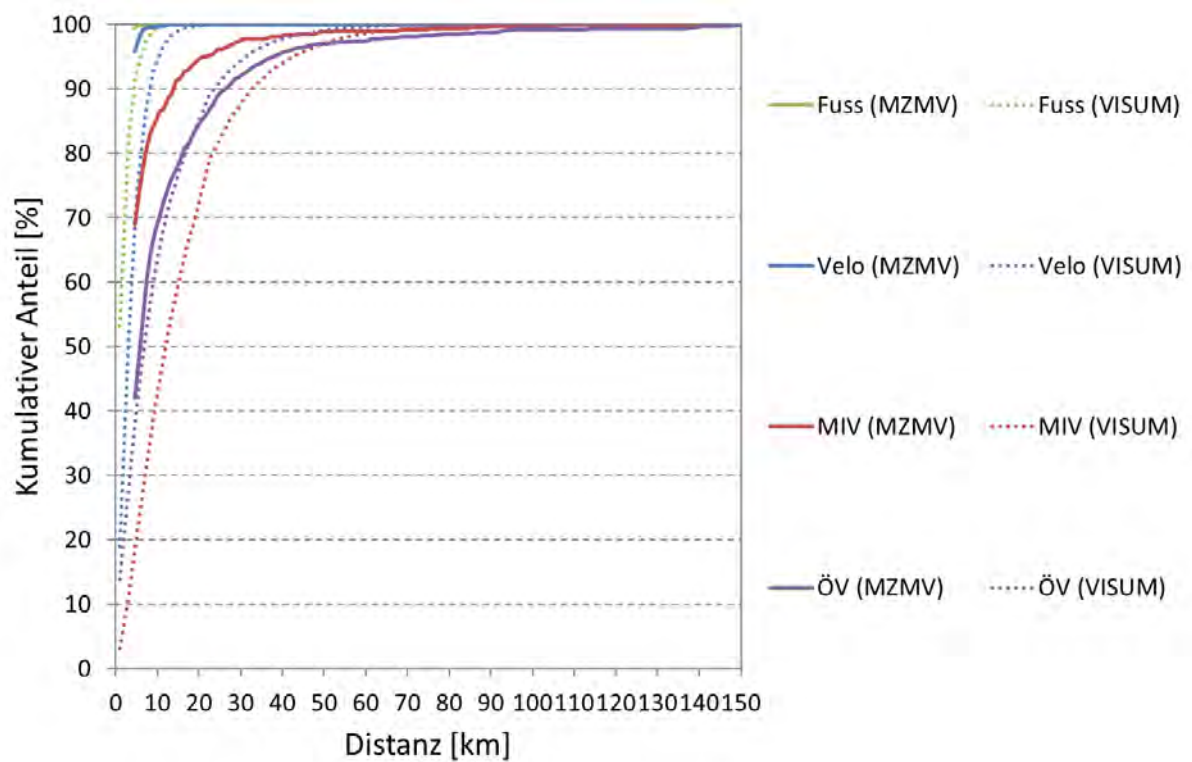


Abbildung 131 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Ausbildung (Uni))

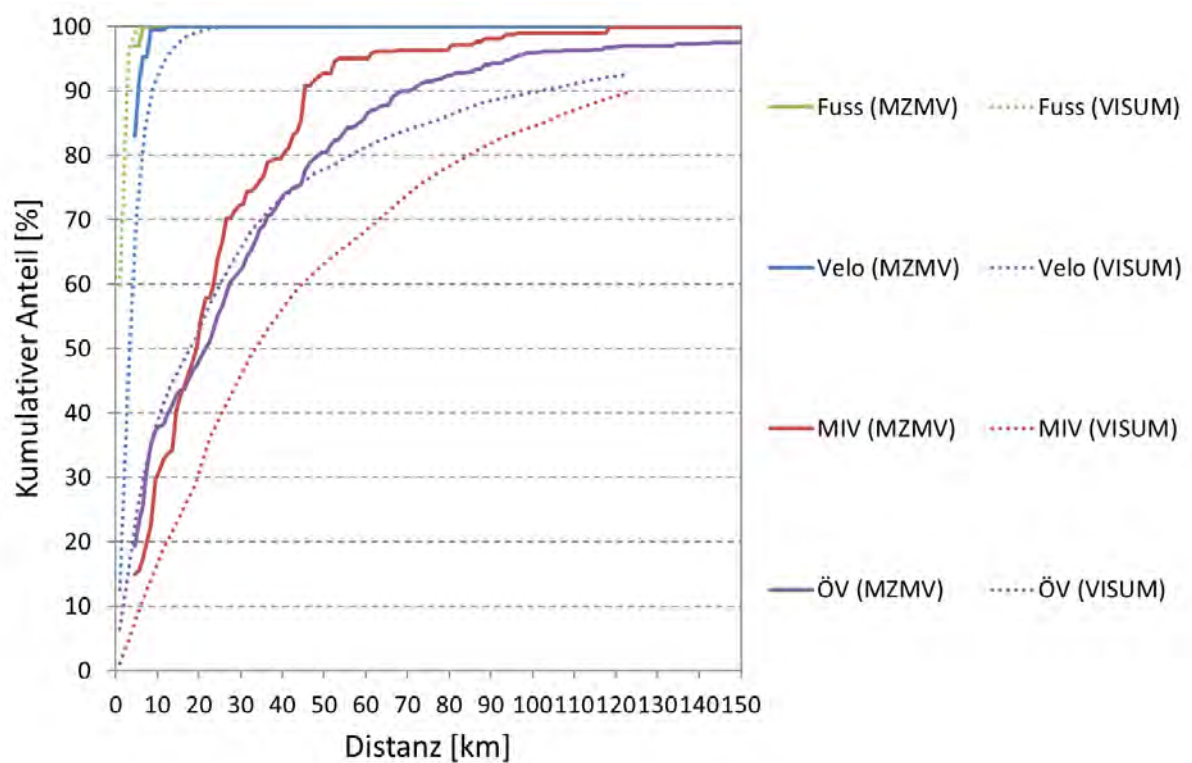


Abbildung 132 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Einkauf (kurzfristig))

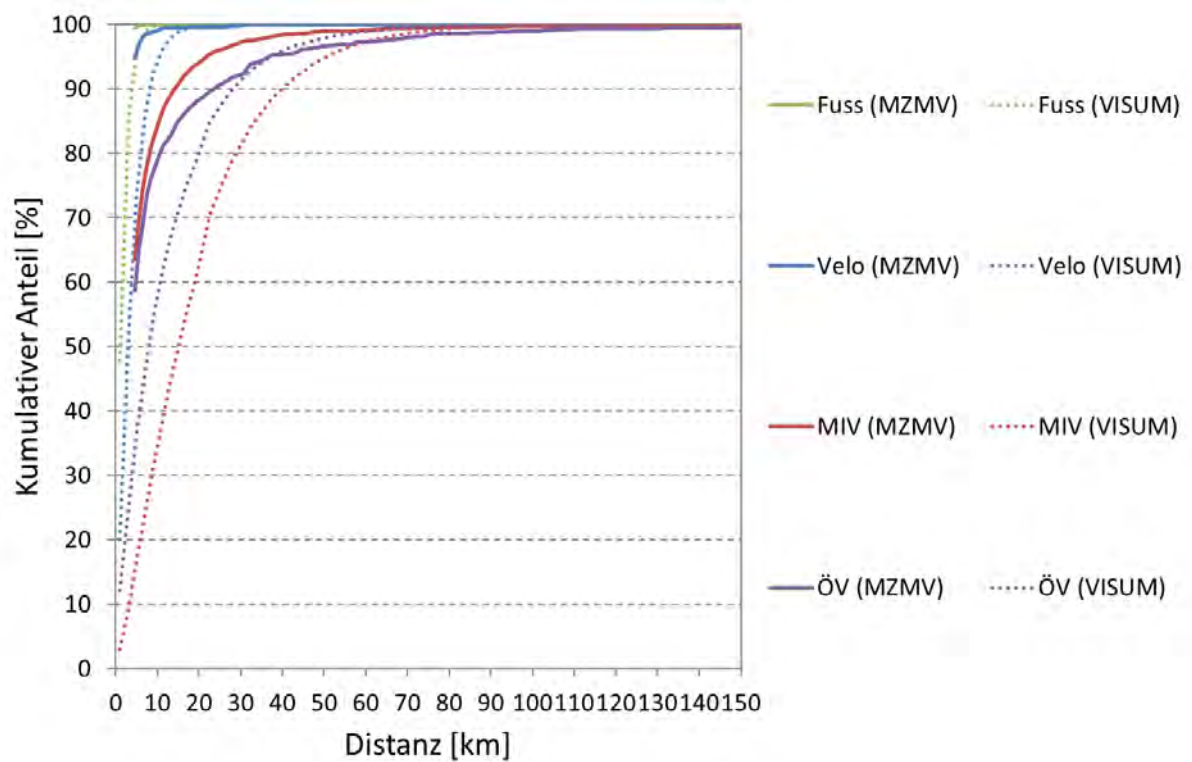


Abbildung 133 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Einkauf (langfristig))

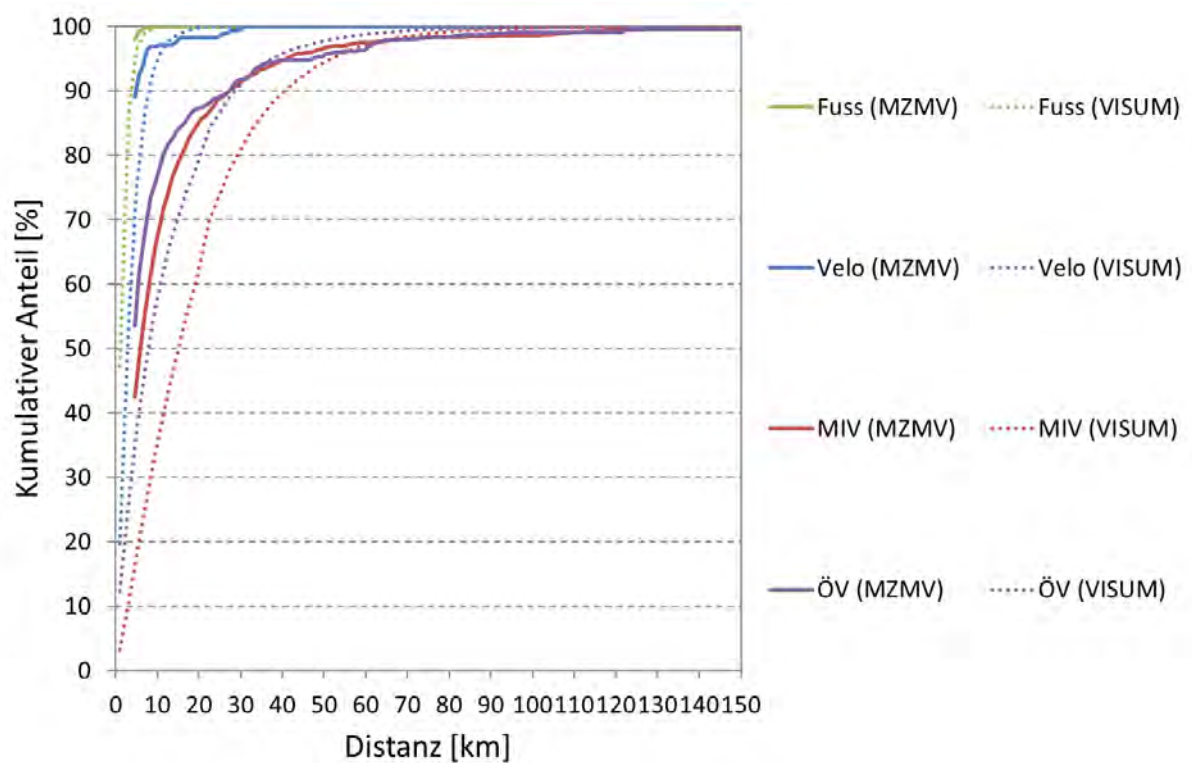


Abbildung 134 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Nutzfahrt)

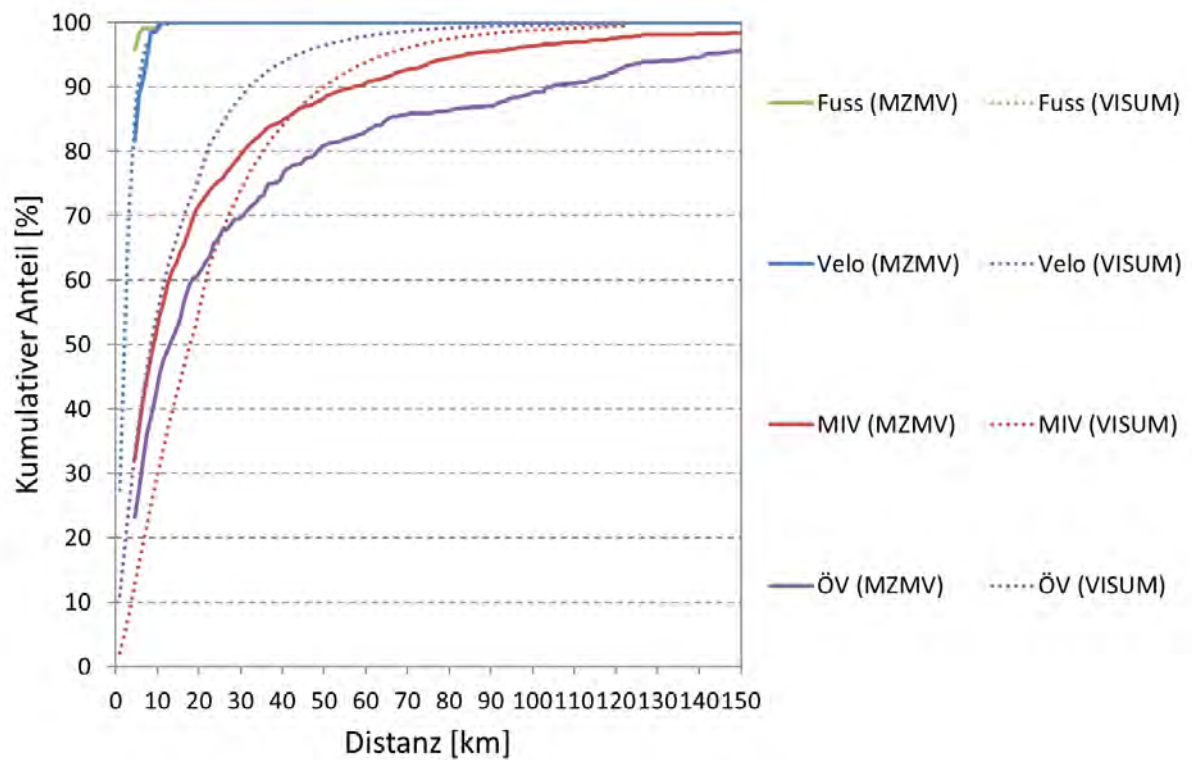


Abbildung 135 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Begleitweg (Kind))

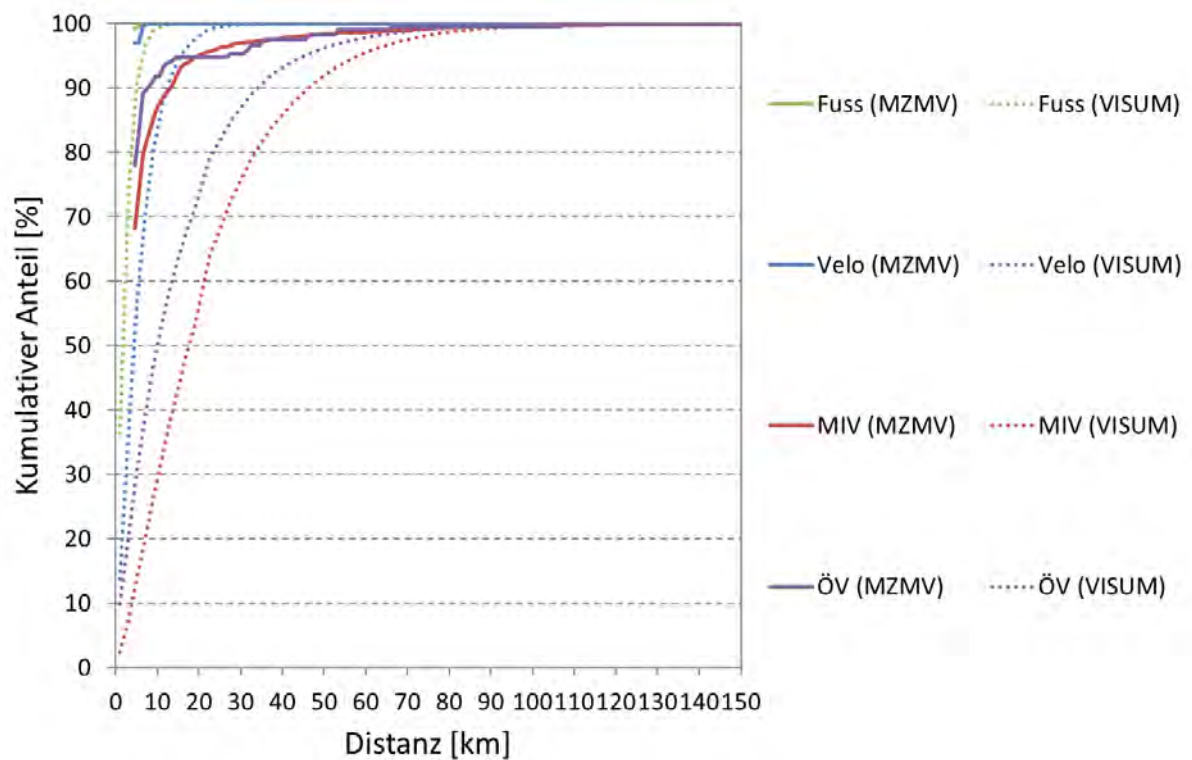


Abbildung 136 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Freizeit (kurz))

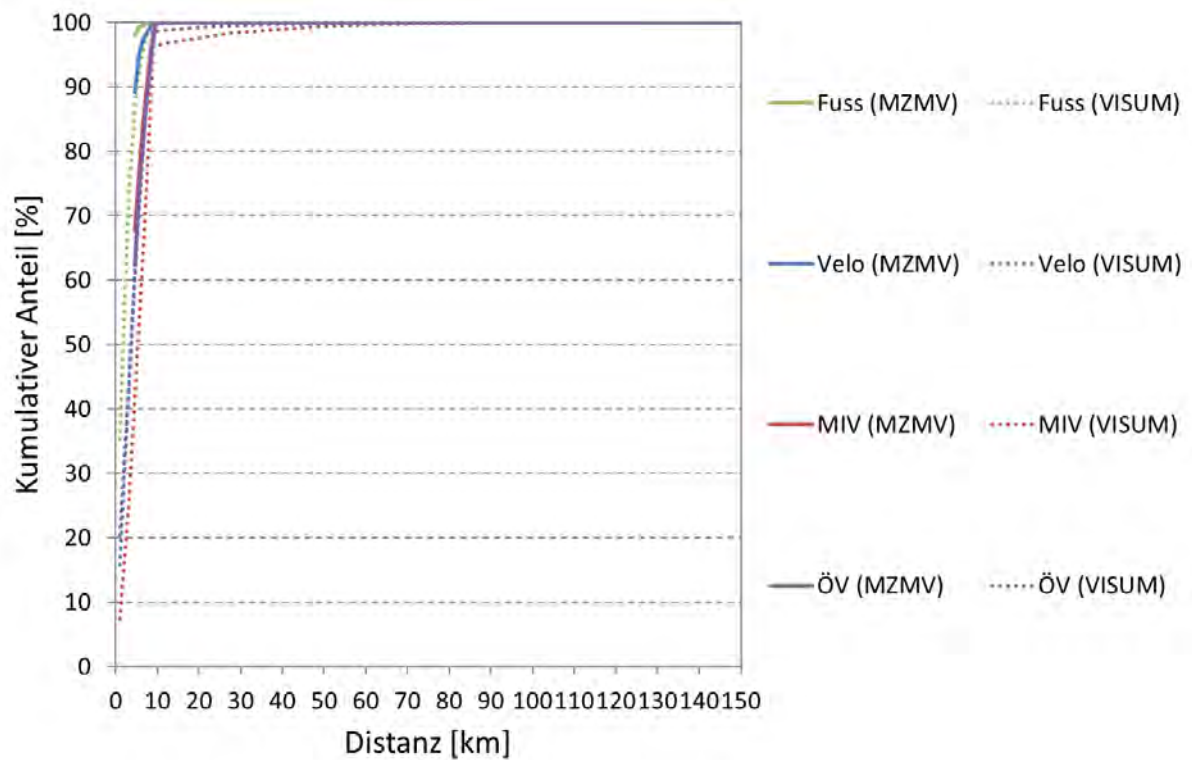


Abbildung 137 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Freizeit (lang))

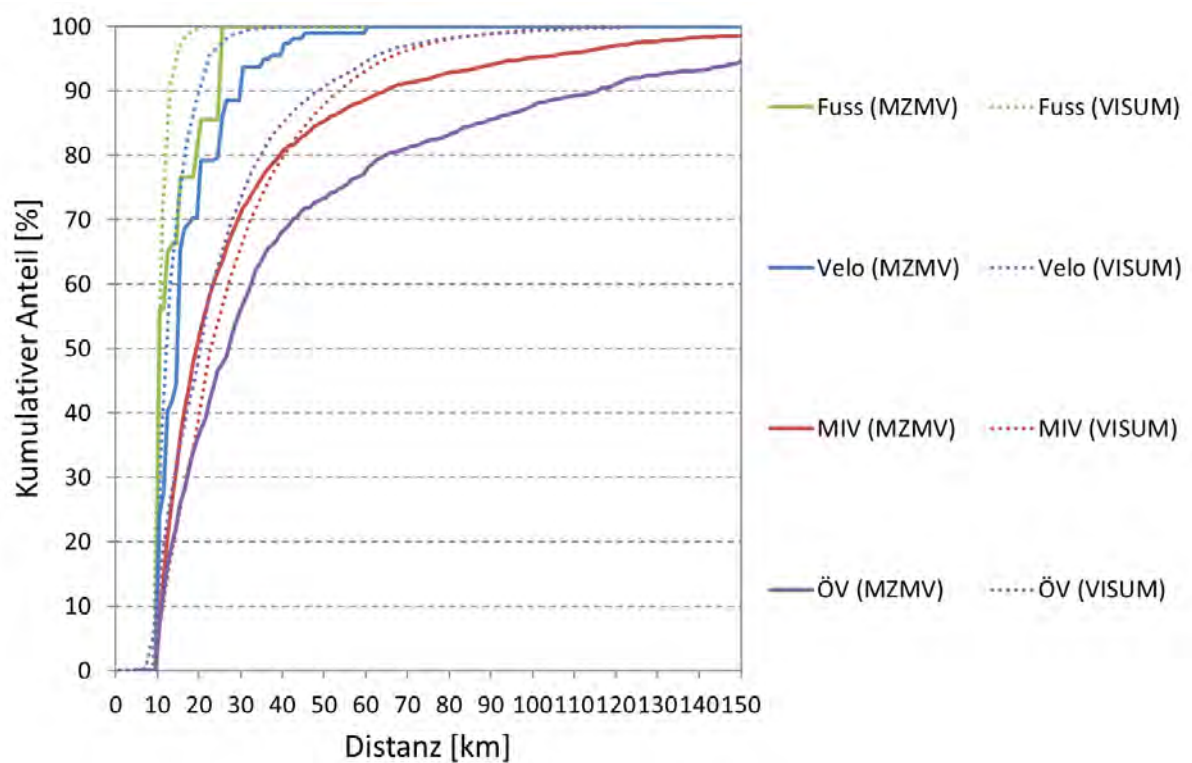


Abbildung 138 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Arbeit (Sonstige))

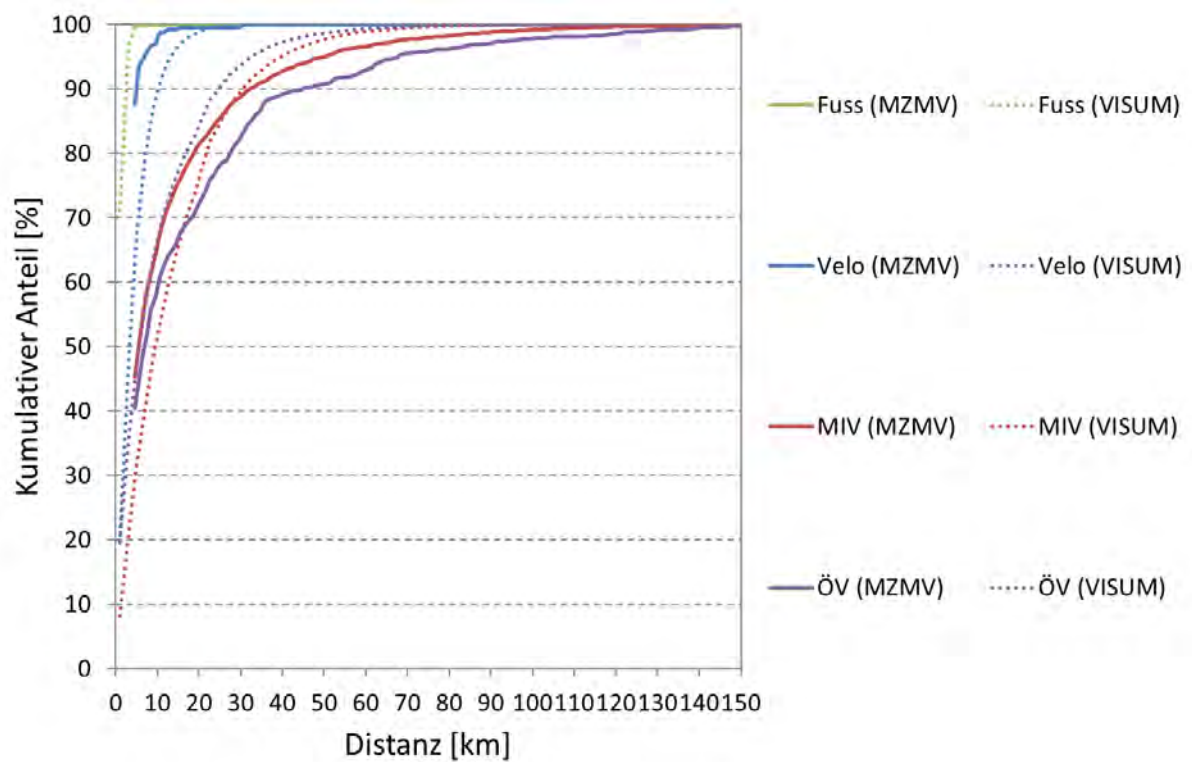
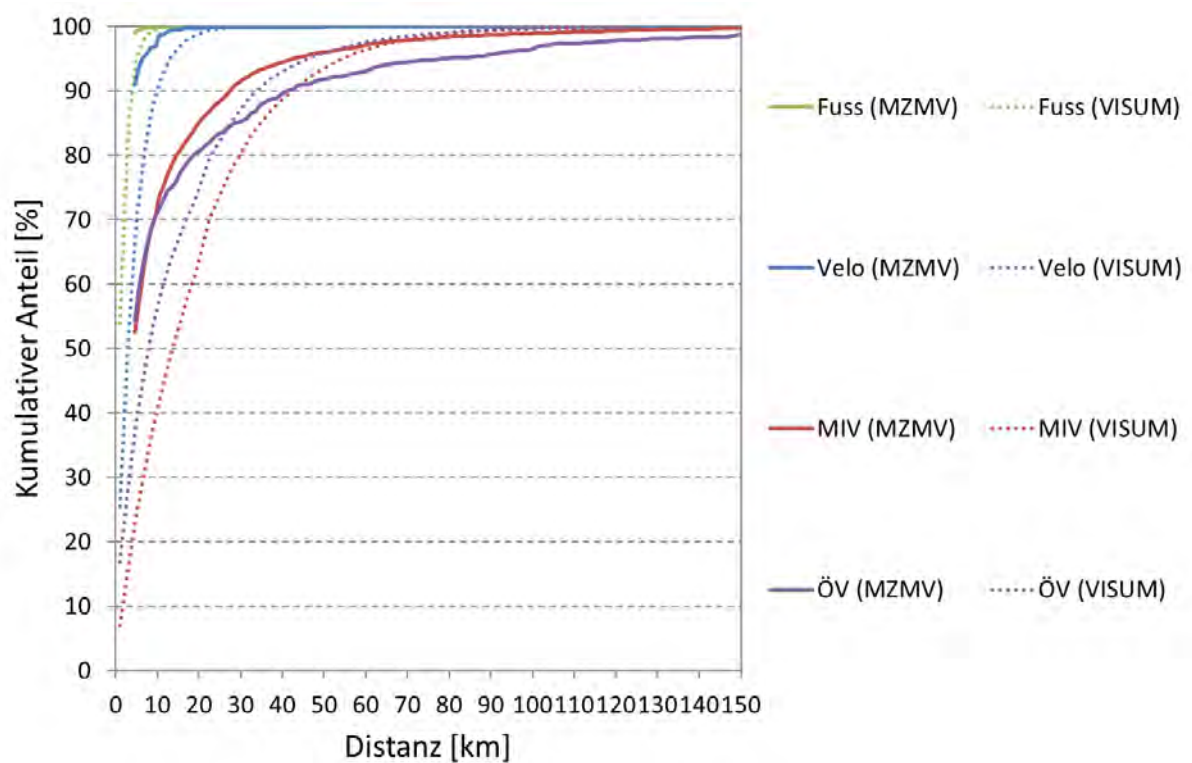


Abbildung 139 «Erstanwendung, unkalibriert» - Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Sonstige)



Die Koinzidenzverhältnisse für die Weglängenverteilungen sind aus Tabelle 60 ersichtlich.

Tabelle 60 «Erstanwendung, unkalibriert» - Koinzidenzverhältnisse der Weglängenverteilungen nach Fahrtzweck

Fahrtzweck	Verkehrsmittel			
	Fuss	Velo	MIV	ÖV
Arbeit (Angestellt)	0.59	0.52	0.69	0.73
Arbeit (Selbstständig, Kader)	0.57	0.50	0.62	0.68
Ausbildung (Schule)	0.42	0.40	0.30	0.69
Ausbildung (Uni)	0.51	0.56	0.45	0.69
Einkauf (kurzfristig)	0.39	0.32	0.30	0.53
Einkauf (langfristig)	0.44	0.47	0.48	0.57
Nutzfahrt	0.27	0.74	0.57	0.68
Begleitweg (Kind)	0.28	0.26	0.23	0.30
Freizeit (kurz)	0.32	0.43	0.51	0.72
Freizeit (lang)	0.59	0.57	0.67	0.71
Arbeit (Sonstiges)	0.60	0.49	0.65	0.68
Sonstiges	0.43	0.45	0.49	0.60
Alle	0.39	0.45	0.56	0.75

Analyse des Umlegungsergebnisses

Die Ergebnisse der IV-Umlegung wurden anhand einer Regressionsauswertung und einer GEH-Auswertung der PW-Zählstellen analysiert. Die entsprechenden Auswertungsergebnisse sind in Abbildung 140 und Abbildung 141 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass für den Modellzustand der «Erstanwendung, unkalibriert» mit den originär übernommenen und nicht modifizierten Parametern und Einstellungen die Modellwerte systematisch höher liegen als die Zählwerte. Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, sind die Reiseweiten im MIV zu hoch. Die initialen Parameter führen dazu, dass die MIV-Fahrten deutlich zu weit sind und folglich die Verkehrsbelastung zu hoch ist. Im Zuge der weiteren Modellkalibration wurden die Parameter und Modelleinstellungen angepasst mit dem Ziel einer guten Übereinstimmung zwischen Modellergebnis, dem MZMV und den Zählwerten.

Abbildung 140 Regressionsauswertung der PW-Zählstellen für die «Erstanwendung, unkalibriert»

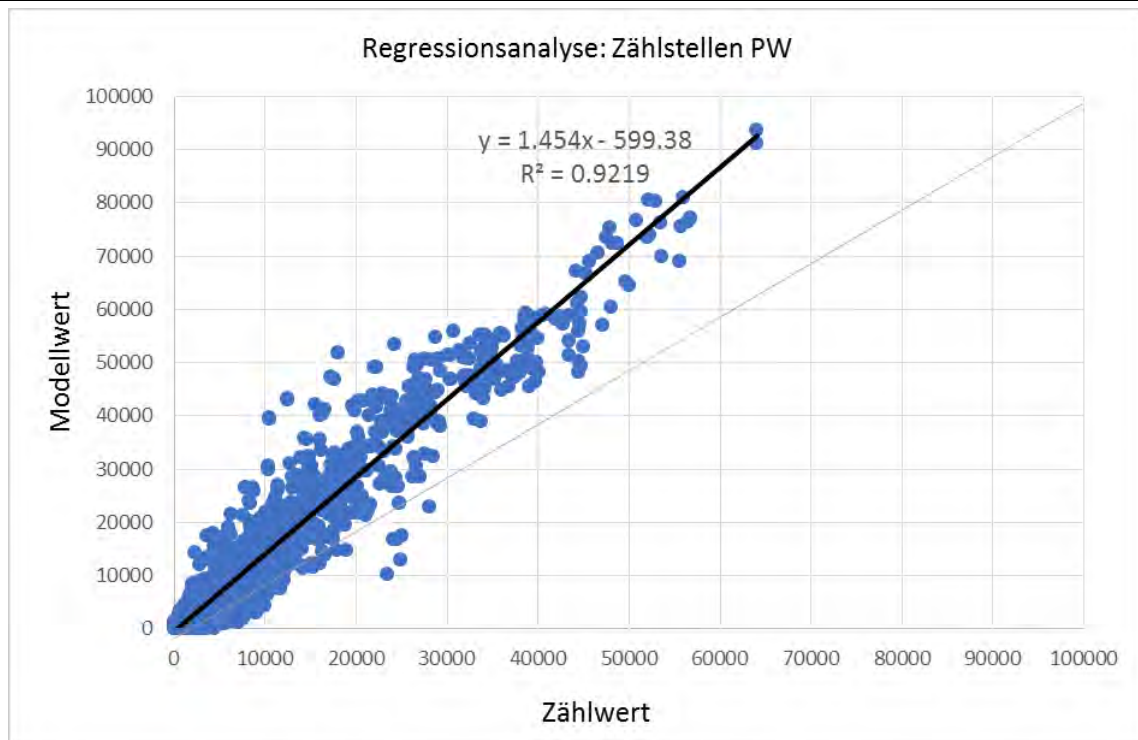
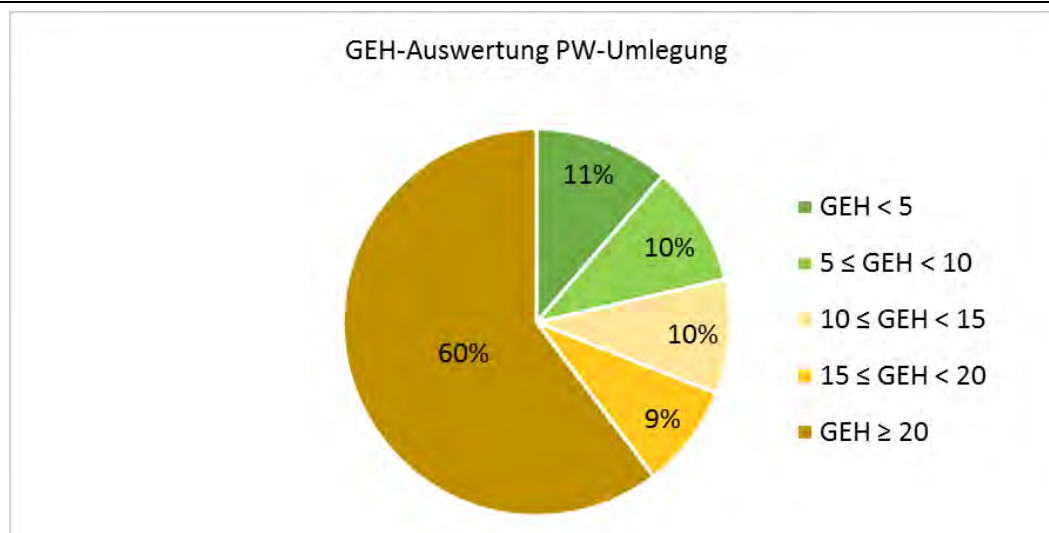


Abbildung 141 GEH-Auswertung der PW-Zählstellen für die «Erstanwendung, unkalibriert»



Nachfolgende Abbildungen geben einen Überblick über die schweizweiten Strassennetzbelastungen im DWV-Modell der «Erstanwendung unkalibriert» sowie die Verteilung der Zählwerte im Netz. In Rot sind die Streckenbelastungen ersichtlich, in Gelb die Zählstellen bzw. -werte: Eine Überlagerung der gelben und roten Streckenbalken bzgl. der Breite bedeutet eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Modell- und Zählwert. Passend zu den Ergebnissen der Regressionsanalyse ist tendenziell eine zu hohe Strassenbelastung zu erkennen.

Abbildung 142 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV) («Erstanwendung, unkalibriert»)

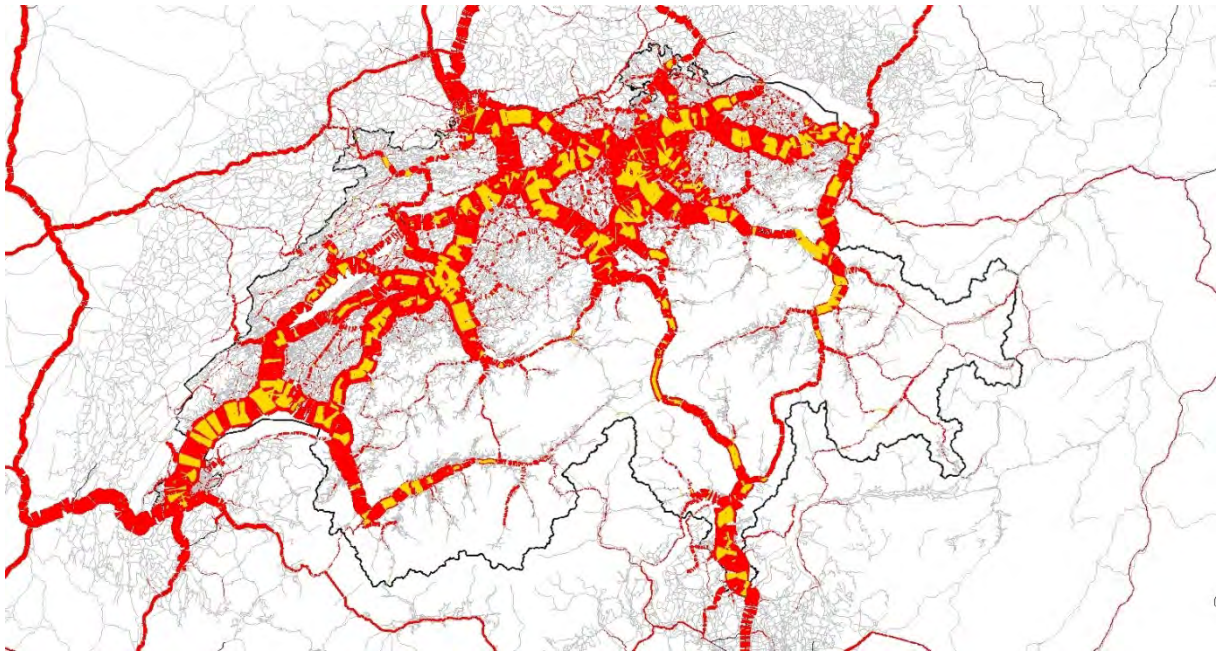


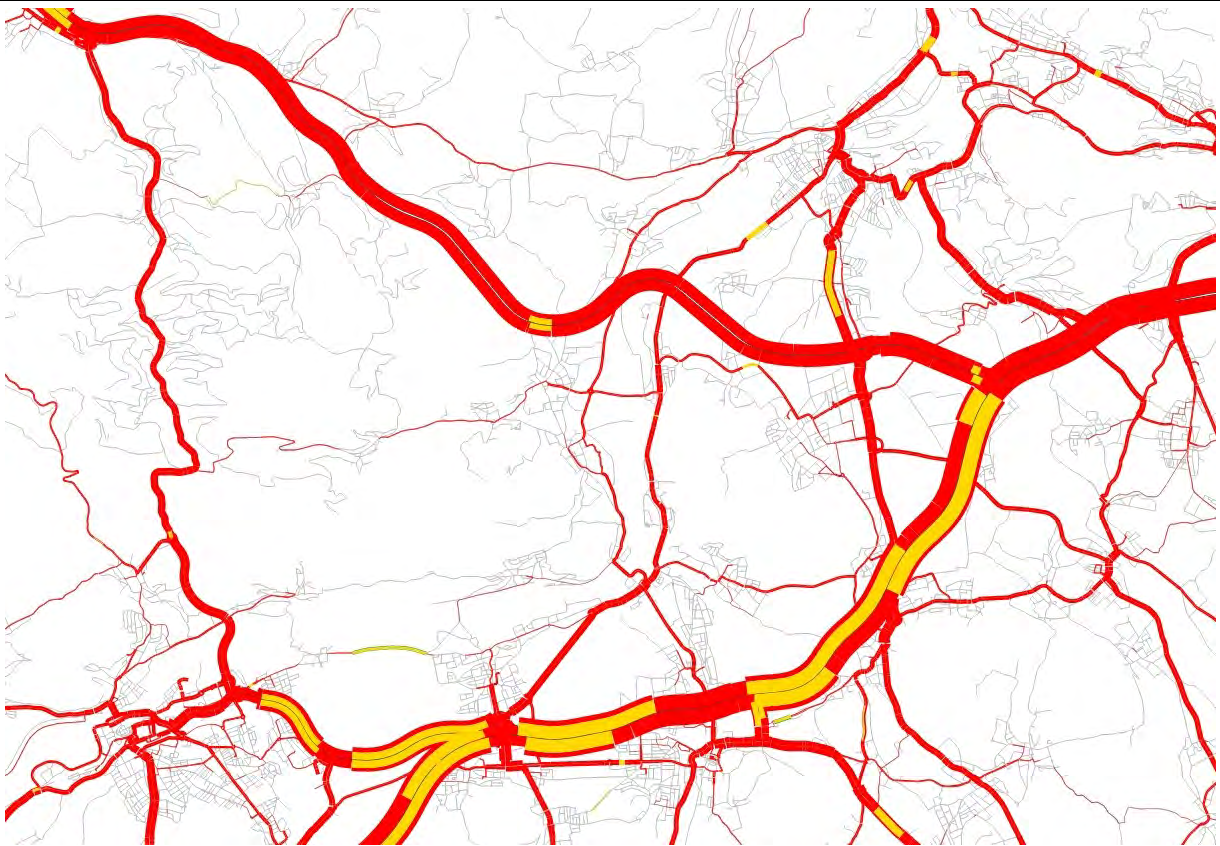
Abbildung 143 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV): Zoom Stadt Zürich («Erstanwendung, unkalibriert»)



Abbildung 144 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV): Zoom Stadt Zürich, Kreise 1 – 5 («Erstanwendung, unkalibriert»)



Abbildung 145 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV): Zoom Kanton Aargau («Erstanwendung, unkalibriert»)



Die Ergebnisse der ÖV-Umlegung wurden anhand einer Regressionsauswertung und einer GEH-Auswertung der ÖV-Zählstellen analysiert. Die entsprechenden Auswertungsergebnisse sind in Abbildung 146 und Abbildung 157 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass für den Modellzustand der «Erstanwendung, unkalibriert» die Modellwerte tendenziell niedriger liegen als die Zählwerte. Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, sind die Reiseweiten im ÖV zu niedrig. Die initialen Parameter führen dazu, dass die ÖV-Fahrten deutlich zu kurz sind und folglich die Verkehrsbelastung zu niedrig ist.

Abbildung 146 Regressionsauswertung der ÖV-Zählstellen für die «Erstanwendung, unkalibriert»

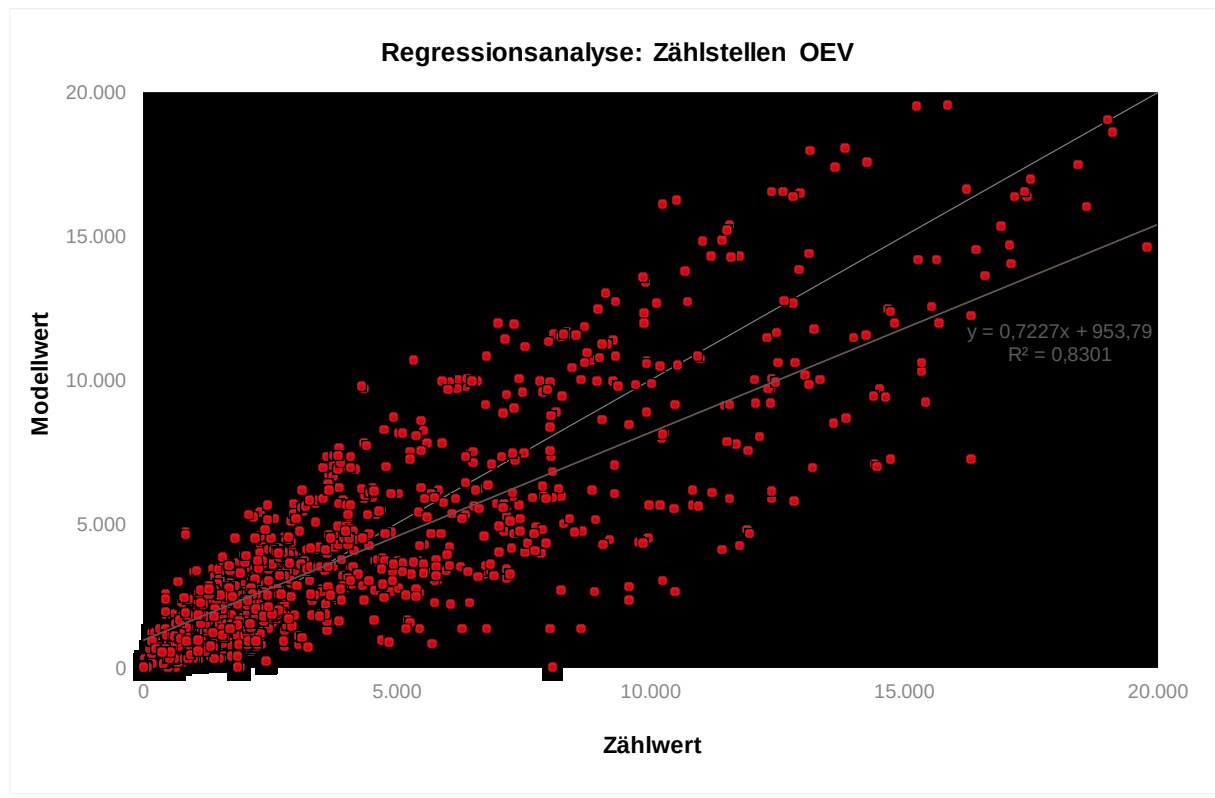
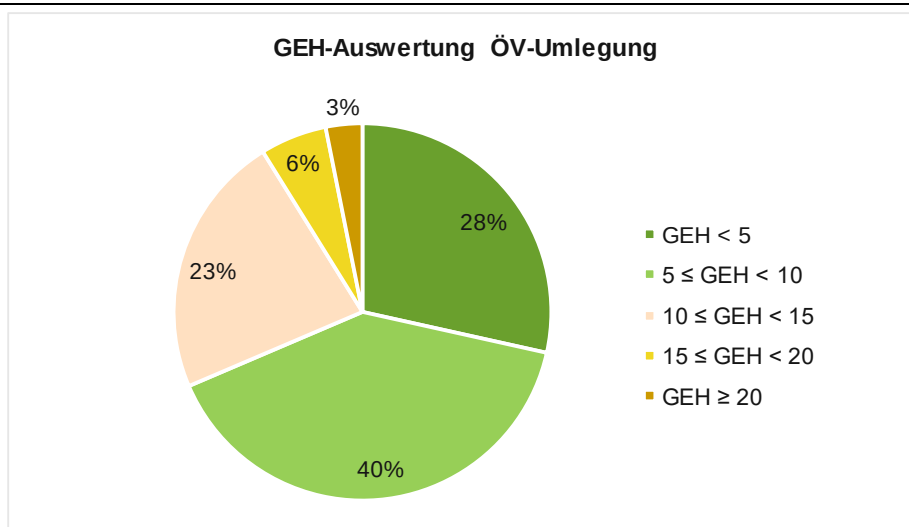


Abbildung 147 GEH-Auswertung der PW-Zählstellen für die «Erstanwendung, unkalibriert»



Nachfolgende Abbildungen geben einen Überblick über die schweizweiten ÖV-Netzbelastungen im DWV-Modell der «Erstanwendung unkalibriert» sowie die Verteilung der Zählwerte im Netz. In Rot sind die Streckenbelastungen ersichtlich, in Gelb die Zählstellen bzw. -werte: Eine Überlagerung der gelben und roten Streckenbalken bzgl. der Breite bedeutet eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Modell- und Zählwert. Passend zu den Ergebnissen der Regressionsanalyse ist tendenziell eine zu niedrige ÖV-Belastung zu erkennen.

Abbildung 148 Netzbelastungen ÖV (DWV) («Erstanwendung, unkalibriert»)

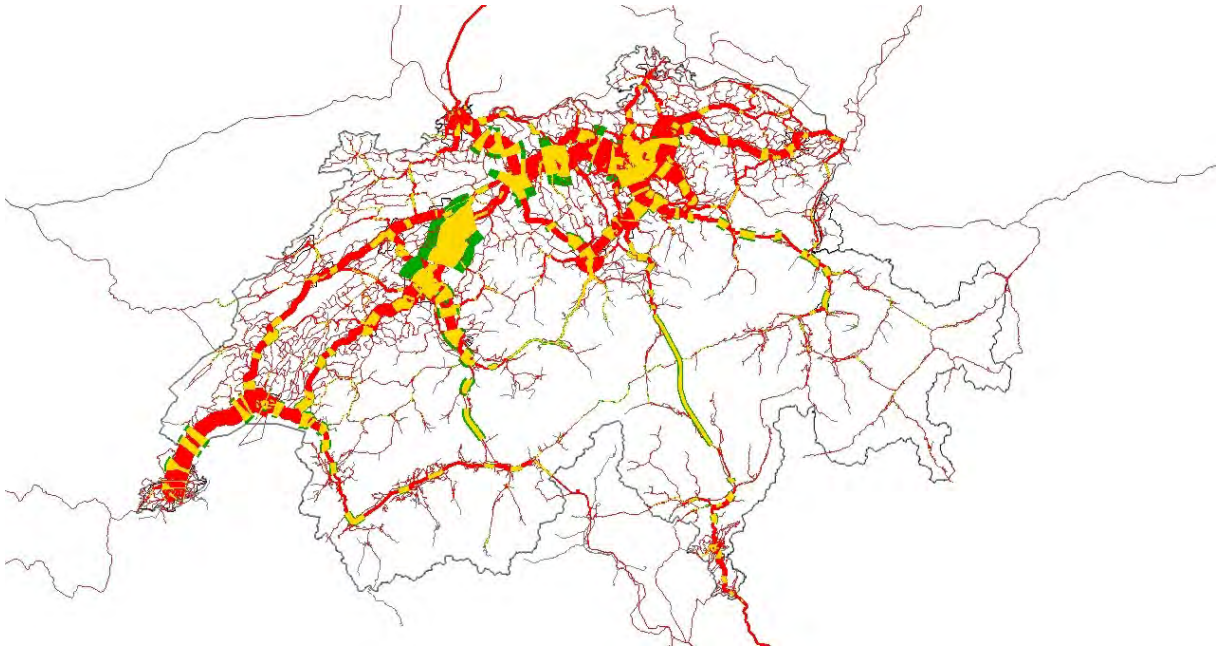


Abbildung 149 Netzbelastungen ÖV (DWV): Zoom Stadt Zürich («Erstanwendung, unkalibriert»)

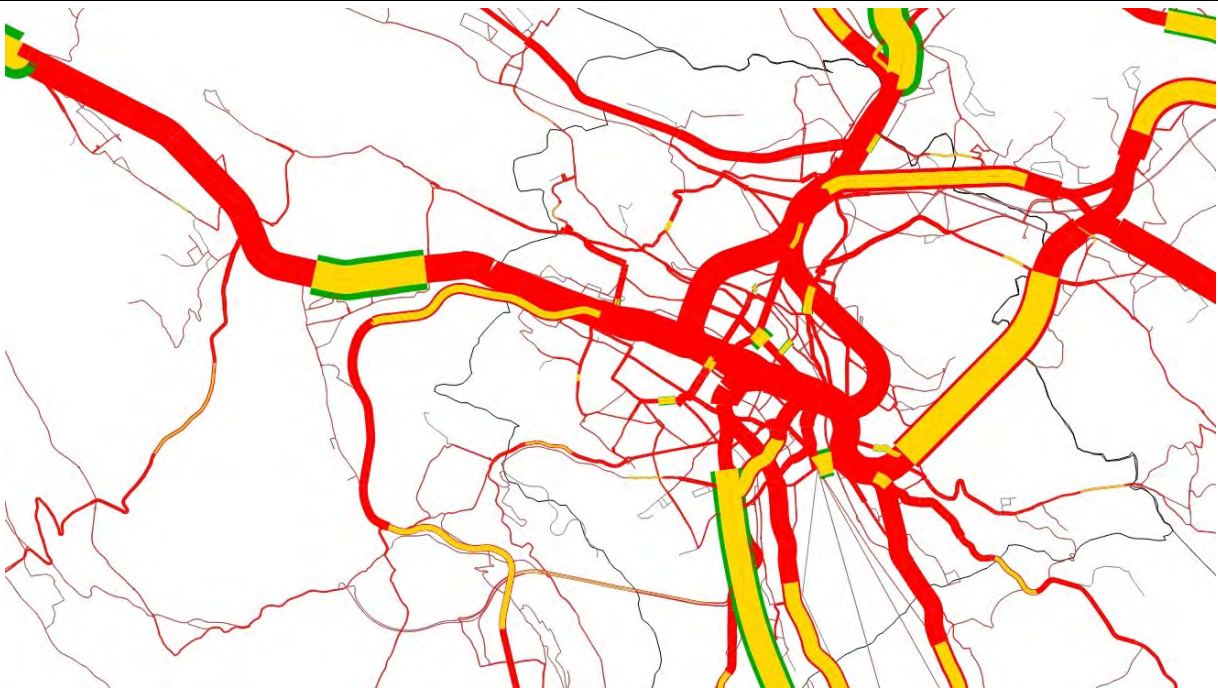
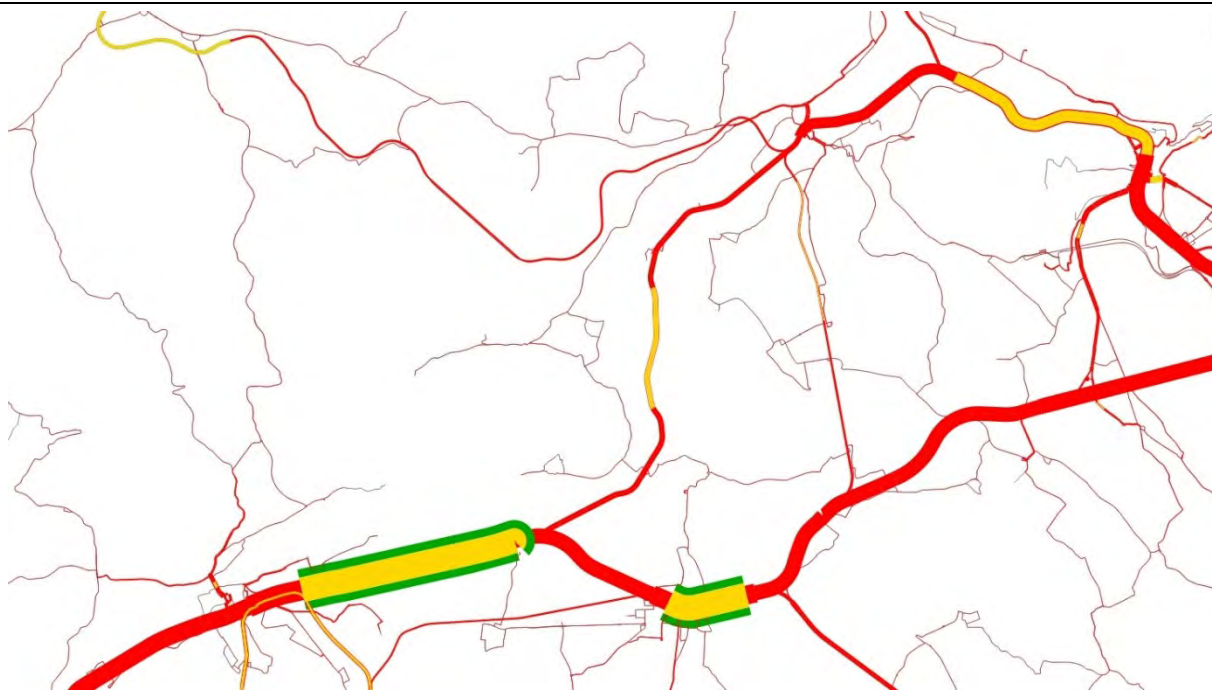


Abbildung 150 Netzbelastungen ÖV (DWV): Zoom Stadt Zürich, Kreise 1 – 5 («Erstanwendung, unkalibriert»)



Abbildung 151 Netzbelastungen ÖV (DWV): Zoom Kanton Aargau («Erstanwendung, unkalibriert»)



2.7.2 Modellzustand 2: Kalibration auf den MZMV

Die primäre Datenquelle für die Validierung des NPVM ist der MZMV 2015. Das Modell ist gemäss dessen Gesetzmässigkeiten aufgebaut und anhand von Kenngrössen aus statistischen Auswertungen kalibriert (siehe auch Abschnitt 2.2.2).

Die nachfolgenden Abschnitte geben einen Überblick über die am Modell vorgenommenen Korrekturen hinsichtlich der Kalibration auf die Kenngrössen des MZMV 2015 sowie über den Übereinstimmungsgrad zwischen diesen und den aus dem NPVM resultierenden Werten:

- Anteile des Interzonalverkehrs;
- Fahrtzweckanteile;
- Modal-Split-Anteile;
- Mittlere Weglängen;
- Weglängenverteilungen.

Um das NPVM so gut wie möglich auf die Gesetzmässigkeiten des MZMV 2015 zu kalibrieren, waren vereinzelt Anpassungen von dessen Struktur bzw. Inputgrössen notwendig. Diese werden in den folgenden Abschnitten beschrieben. Zudem wurde festgestellt (Vergleich mit SBB-Daten und Zählwerten), dass im unkalibrierten Zustand die längeren ÖV-Wege und insbesondere jene für folgende Relationen unterrepräsentiert waren:

- Wege innerhalb der Städte Zürich, Bern und insbesondere Basel;
- Wege zwischen Zürich und Bern sowie von und nach Basel.

Aus diesem Grund wurde für Pendlerwege und Nutzfahrten eine zusätzliche Attraktionsvariable (quell- und ziel-seitige Anziehung von Erwerbstätigen und Arbeitsplätzen) für Pendler- und Nutzfahrten zwischen Bern und Zürich eingeführt. Diese wird wie folgt berechnet:

$$A_{ij} = \ln \left(\frac{ET_i \cdot AP_j}{ET_i + AP_j} \right)$$

A_{ij} Attraktivität für ÖV-Pendlerwege zwischen Quellzone i und Zielzone j

ET_i Erwerbstätige in Zone i

AP_j Arbeitsplätze in Zone j

Um die Modellergebnisse auf den hohen ÖV-Anteil für Basel eichen zu können, wurde eine ähnliche Zusatzvariable für alle Wege innerhalb, von und nach Basel eingeführt:

$$A_{ij} = \ln \left(\frac{EW_i \cdot EW_j}{EW_i + EW_j} \right)$$

A_{ij} Attraktivität für ÖV-Wege zwischen Quellzone i und Zielzone j

EW_{ij} Einwohner in Zone i/j

Über das Einsetzen von quell-zielseitigen Strukturgrössen wird für die Prognose sichergestellt, dass die zusätzlichen Attraktionsvariablen nicht als statischer Nutzen wirken, sondern auf die Zu-/Abnahme von Erwerbstätigen

und/oder Arbeitsplätzen entsprechend reagieren. Zudem wurde eine Reduktion der Bewertung der Kenngrößen „Reisezeit“ und „Kosten“ im ÖV für Wege zwischen und innerhalb der erwähnten Städte angewandt. Diese Reduktion beträgt 40%. Letztlich geben die Massnahmen die gemeinsam zwischen AG und AN abgestimmte Vorgehensweise wieder, verbunden mit dem Ziel die beiden Korrekturen zu annähernd gleichen Anteilen wirken zu lassen. Modellseitig möglich wäre allein über die eine (Attraktivität über Strukturgrößen) oder die andere (Anpassung der Bewertung) Grösse die ÖV-Aufkommen zwischen bzw. innerhalb der Städte zu erzeugen.

Um die im initialen Zustand zu häufig vorkommenden Wege über Sprachraumgrenzen hinaus abzumindern, wurde eine Zusatzvariable „Sprachraumgrenze“ eingeführt (siehe auch Kapitel 2.6.2).

Eine gesonderte Auswertung des MZMV 2015 hat gezeigt, dass eine Differenzierung der Mobilitätsraten für Arbeitswege nach den drei Sprachräumen sinnvoll ist; diese gleicht zudem die in den Strukturdaten vorliegenden Diskrepanzen zwischen den Verteilungen der Erwerbstätigen und Arbeitsplätze in den Sprachräumen etwas aus und führt so zu realistischeren (d.h. besser mit den Zähldaten übereinstimmenden) Zahlen von „Grenzübertritten“ zwischen den Sprachräumen. Die entsprechenden Mobilitätsraten wurden gegenüber den aus dem MZMV 2015 ermittelten Mittelwerten für die Deutschschweiz um 1% erhöht, für die Romandie um 2% und für das Tessin um 5% reduziert.

Die sprachraumfeinen Arbeitsweg-Mobilitätsraten (heimatgebundene Wege) sind in Tabelle 61 ausgewiesen.

Tabelle 61 Mobilitätsraten für wohnungsgebundene Arbeitswege nach Sprachraum

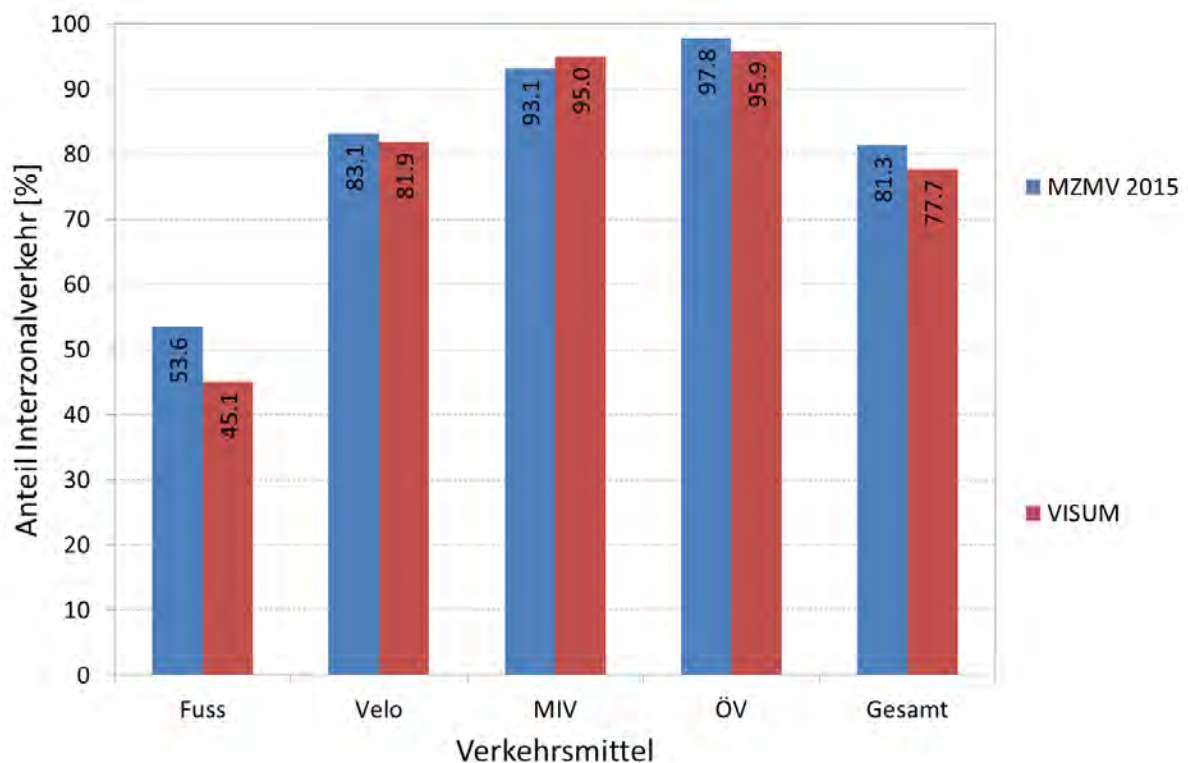
Sprachraum	Mobilitätsrate Wohnen – Arbeit	Faktor gegenüber Mittelwert
DE	0.711	1.01
FR	0.686	0.98
IT	0.665	0.95
Gewichteter Mittelwert	0.704	-

Die genannten Anpassungen gehen letztlich darauf zurück, dass eine auch nach Raumtypen differenzierende Parametrisierung des Modells nicht ausreichend ist, um die Heterogenität des Mobilitätsverhaltens schweizweit abzubilden. So weisen verschiedene Städte (v.a. Basel, Zürich) hohe ÖV-Anteile im Modal Split aus, die allein über die eingesetzten Parameter nicht erreicht werden konnten. Zudem wurde in Abstimmung zwischen AG und AN entschieden, den Zähldaten auf Strasse und Schiene entscheidende Relevanz einzuräumen. Die Stichprobe des MZMV ist in diesem Bereich (lange ÖV-Wege) zu wenig stark besetzt, um für ein schweizweites Modell valide Kennwerte für die Städtebeziehungen bereitzustellen. Folglich wäre es ohne eine bewusste Abweichung von den Kennwerten des MZMV nicht möglich gewesen die von den SBB effektiv gemessene Bahn-Nachfrage zwischen beispielsweise Bern und Zürich im Modell zu reproduzieren.

Interzonaler Verkehr

Abbildung 152 zeigt die Anteile des interzonalen Verkehrs (Wege, welche nicht innerhalb einer Zone des NPVM stattfinden) im Vergleich zwischen dem MZMV 2015 und dem NPVM.

Abbildung 152 Anteile des interzonalen Verkehrs nach Verkehrsmittel



Es ist ersichtlich, dass die Struktur der Zonenbinnenverkehre sehr gut reproduziert wird. Der gegenüber dem MZMV 2015 etwas tiefere Anteil des Interzonalverkehrs bei den Fusswegen ergibt sich aus der Notwendigkeit der Anpassung der Bewertungsfunktionen für die adäquate Abbildung der raumtypspezifischen Modal-Split-Anteile und Weglängenverteilungen (siehe unten). Eine Erhöhung des Anteils interzonaler Wege würde hier eine Reduktion der negativen Bewertung längerer Wege im städtischen Umfeld bedingen, was aber einen Anstieg der Modal-Split-Anteile für den Fussverkehr mit sich brächte, welcher sich dann zu weit von den Werten des MZMV 2015 entfernen würde. Der Widerspruch zwischen den beiden Kenngrössen im MZMV 2015 ergibt sich primär aus der dortigen Überrepräsentierung von Wegen in Städten mit unterdurchschnittlich kleinen Zonen (z.B. Zürich), welche bei kurzen (Fuss-)Wegen einen höheren Anteil an interzonalen Wegen aufweisen als grossflächigere Zonen (da dort für das Überschreiten einer Zonengrenze eine verhältnismässig längere Distanz zurückgelegt werden muss).

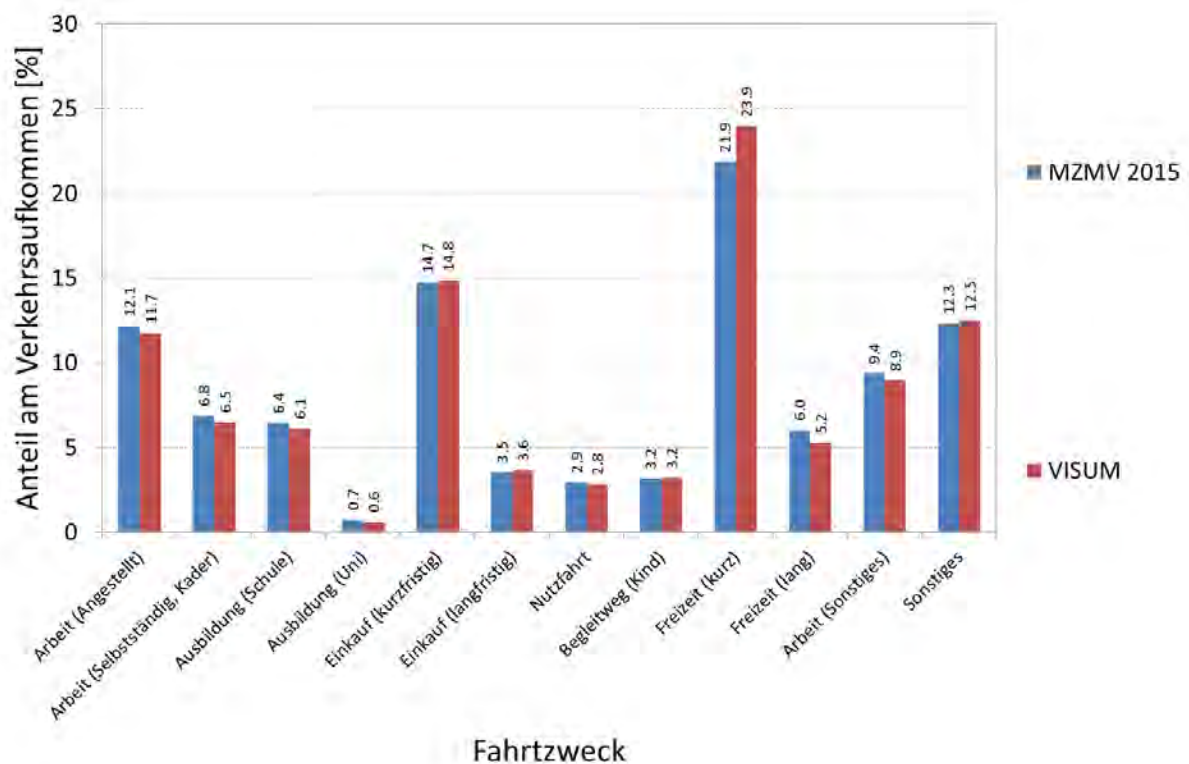
Fahrtzweckanteile

Um die durch den MZMV 2015 vorgegebene Fahrtzweckverteilung (Anteil der einzelnen Fahrtzwecke am Gesamtverkehr) sowie die Gesamtmobilität der Bevölkerung (3.75 Wege pro Einwohner und Werktag) so gut wie möglich zu reproduzieren, wurden die Mobilitätsraten der „Nicht-Pflichtaktivitäten“ (Einkaufs-, Begleit- und Freizeitwege) um 7% reduziert. Dabei wurde sichergestellt, dass die relative Gewichtung dieser Fahrtzwecke untereinander unverändert bleibt. Auf eine Anpassung der Mobilitätsraten für die übrigen Zwecke (Arbeit, Ausbildung

und Nutzfahrt) wurde in Rücksprache mit dem AG verzichtet. Ausgangspunkt für diese Anpassung bildete der Abgleich zwischen den Verkehrsaufkommen je Fahrtzweck basierend auf dem MZMV gegenüber den Aufkommen als Resultat der Verkehrserzeugung im NPVM. Die grundsätzliche Abweichung zwischen strukturdatenbasierter Erzeugung und den MZMV-Kennwerten ergibt sich aus einer nicht vollständig identischen Definition der verhaltenshomogenen Personengruppen in beiden Datenquellen sowie dem nachgeordnet aus den unterschiedlichen Bezugsjahren (2015 vs. 2017). Beispielsweise bestehen leichte Unterschiede zwischen MZMV und SynPop bei der Definition von einfachen/qualifizierten Erwerbstätigen.

Die Ergebnisse sind aus Abbildung 153 ersichtlich: die Anteile der einzelnen Fahrtzwecke am Gesamtverkehr werden trotz der nur marginalen Eingriffe in die Mobilitätsraten (keine „harte“ Kalibration der Anteile) sehr gut reproduziert.

Abbildung 153 Fahrtzweckanteile



Modal-Split-Anteile

Die Modal-Split-Anteile je Quelle-Ziel-Gruppe aus dem MZMV 2015 sind eine Vorgabe im Nachfragemodell und werden aufgrund der zu Grunde liegenden Modelltheorie im Ist-Zustand auch genau eingehalten. Nach der Umlegung der initial resultierenden Nachfragematrizen zeigte sich jedoch, dass bei Abstimmung auf dem empirisch ermittelten Modal-Split grössere Abweichungen zu den Zählenden entstanden (siehe Abbildung 140). In Abstimmung mit dem AG und der Prämisse folgend den Zählenden eine hohe Relevanz zuzuordnen, wurden die empirischen Modal-Split-Vorgaben leicht angepasst (Reduktion der MIV- und ÖV-Anteile um je ca. 2%) und als Input für das Modell verwendet. Die eingegebenen Modal-Split-Anteile werden im Gesamtmodell 1:1 reproduziert, wie Tabelle 62 zeigt (unter Berücksichtigung der jeweiligen Reduktion von MIV und ÖV-Anteilen im NPVM).

Tabelle 62 Modal-Split-Anteile

Fahrtzweck	MZMV 2015				NPVM			
	Fuss	Velo	MIV	ÖV	Fuss	Velo	MIV	ÖV
Arbeit (Angestellt)	10.8	10.6	51.6	27.0	13.2	13.0	49.5	24.3
Arbeit (Selbstständig, Kader)	13.0	8.9	62.2	15.9	15.5	10.6	59.6	14.3
Ausbildung (Schule)	50.8	15.7	7.0	26.5	53.1	16.4	6.7	23.8
Ausbildung (Uni)	8.8	9.7	18.4	63.1	12.2	13.3	17.6	56.8
Einkauf (kurzfristig)	33.9	7.2	48.3	10.5	36.5	7.8	46.3	9.4
Einkauf (langfristig)	17.9	5.8	62.1	14.2	20.9	6.8	59.5	12.8
Nutzfahrt	9.3	5.1	67.8	17.8	12.3	6.7	65.0	16.0
Begleitweg (Kind)	33.7	4.1	58.2	4.1	36.2	4.4	55.7	3.7
Freizeit (kurz)	42.6	9.0	40.2	8.3	44.7	9.4	38.5	7.4
Freizeit (lang)	0.9	2.8	72.4	23.9	2.2	7.0	69.4	21.4
Arbeit (Sonstiges)	35.0	4.8	48.2	12.0	37.8	5.4	46.0	10.8
Sonstiges	36.1	4.4	48.5	11.1	38.9	4.7	46.4	9.9
Total	29.6	7.6	47.8	14.9	32.6	8.7	45.6	13.1

Bei den einzelnen Raumtypen sind leicht höhere Abweichungen von den Modal-Split-Anteilen des MZMV 2015 festzustellen, wie Tabelle 62 zeigt. Angesichts des räumlich sehr dispersen Modellgebiets und der beschränkten direkten Möglichkeiten zur Steuerung dieser Grössen ist deren Übereinstimmung dennoch als sehr gut anzusehen. Theoretisch hätte die Möglichkeit bestanden über weitere Attraktionsvariablen (ähnlich wie für Basel-Stadt umgesetzt) Einfluss auf die Modal-Split-Anteile zu nehmen. In der Abwägung zwischen AG und AN wurde von dieser Option Abstand genommen. Zu viele, allenfalls sehr punktuell korrigierende Attraktionsvariablen, würden das Nachfragemodell unübersichtlich werden lassen und einem «overfitting» des Modells gleichkommen. Vielmehr sind die vorgenommenen Eingriffe im Nachfragemodell (Basel, Städteverbindungen, Tessin, Sprachräume) als Kompromiss zu verstehen, grössere Abweichungen durch effektive und prognosefähige Zusatzvariablen zu mindern, gleichzeitig aber den «Rest» nicht-erklärter Verhaltensvariabilität über eine Nachkalibration zu adressieren. Ebenfalls in Tabelle 63 dargestellt sind die gemäss Rieser *et al.* (2018, S. 49) berechneten Koinzidenzverhältnisse (*coincidence ratios*, CR) für die raumtypspezifischen Modal-Split-Verteilungen. Hier wird der vom AG verlangte Minimalwert von 0.75 für jeden Raumtyp eingehalten. Die etwas grössere Abweichung beim Fussverkehr und ÖV im ländlichen Raum ergibt sich aus der etwas gegenläufigen Tendenz bei den Weglängen (cf. S. 218). Um einen höheren Fussverkehrsanteil zu erreichen, müssten noch längere Wege zugelassen werden, was die

Anpassung dieser Kenngrösse an den MZMV aber deutlich verzerren würde. Hier musste also ein Kompromiss mit einer ausreichenden Übereinstimmung beider Kenngrössen gefunden werden, auch angesichts der Tatsache, dass die Fuss- und ÖV-Stichprobe im ländlichen Raum her klein ist.

Tabelle 63 Modal-Split-Anteile nach Raumtyp

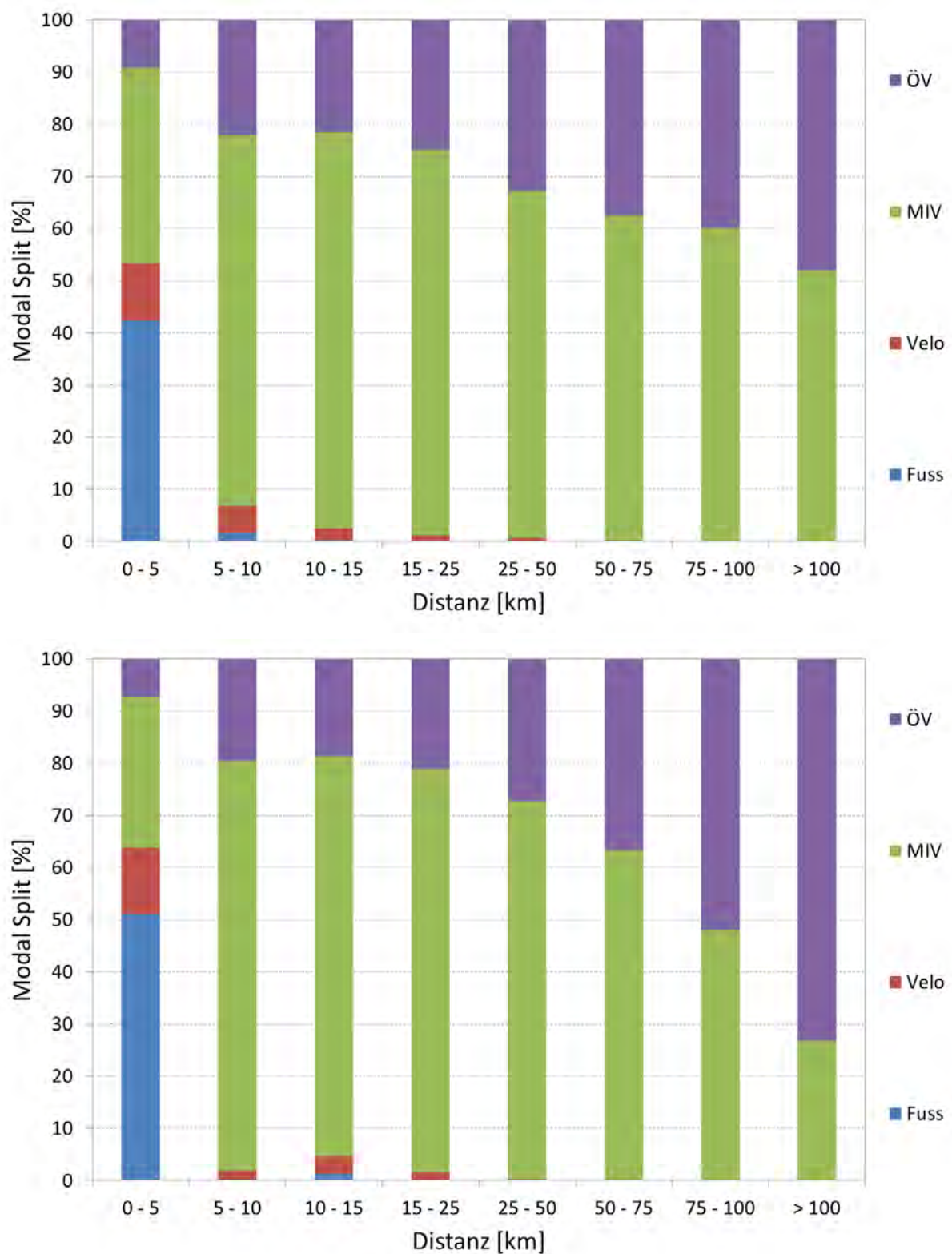
Raumtyp	MZMV 2015				NPVM				CR
	Fuss	Velo	MIV	ÖV	Fuss	Velo	MIV	ÖV	
Städtisch	32.0	8.7	41.6	17.7	34.7	10.5	41.2	13.6	0.91
Intermediär	26.4	6.4	56.7	10.6	34.1	4.9	51.4	9.6	0.86
Ländlich	24.0	4.8	61.4	9.8	17.1	3.5	63.6	15.8	0.85
Total	29.6	7.6	47.8	14.9	32.6	8.7	45.6	13.1	0.92

In Tabelle 64 und Abbildung 154 sind die Modal-Split-Anteile nach Distanz im Vergleich zum MZMV 2015 dargestellt. Auffällig sind die Unterschiede im MIV im Bereich kurzer Wege bis zu 10 km Länge. Angesichts des bereits in Abbildung 152 gezeigten Ergebnisses eines höheren Anteils interzonaler Wege im Modell gegenüber dem MZMV sind die Unterschiede nachvollziehbar. Bei den Wegen unter 5 km Länge handelt es sich häufig um intrazonale Wege. Diese werden nicht auf das Netz umgelegt und deren Länge ergibt sich aus Anbindung sowie der mittleren Weglänge gemäss Hauptdiagonale. Die Hauptdiagonale (die der Zeit) wurde bewusst derart gesetzt, um tendenziell längere Wege zu erzeugen, um eine bessere Annäherung an die Zählzeiten zu erreichen. Im Umkehrschluss würde eine Reduktion der Zeit (auf der Diagonalen) mehr Zonenbinnenverkehr erzeugen, der zwar eine bessere Reproduktion der Modal-Split-Anteile nach Distanz bedeuten würde, gleichwohl aber zu höheren Abweichungen gegenüber den Zählzeiten führt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass grössere Abweichungen im Bereich der längeren Wege festzustellen sind; diese wurden aber hinsichtlich einer besseren Übereinstimmung mit den Zählzeiten bewusst in Kauf genommen. Ohne eine «Abkehr» an dieser Stelle vom MZMV wären insbesondere die als sehr vertrauenswürdig erachteten Zählungen im ÖV mit dem Modell nicht zu reproduzieren gewesen. Gesamthaft wird das vom AG geforderte Koinzidenzverhältnis von 0.75 in jeder ausser der höchsten Distanzklasse erreicht.

Tabelle 64 Modal-Split-Anteile nach Distanz

Distanz [km]	MZMV 2015				NPVM				CR
	Fuss	Velo	MIV	ÖV	Fuss	Velo	MIV	ÖV	
0 – 5	42.3	11.0	37.5	9.2	51.0	12.7	28.9	7.4	0.81
5 – 10	1.7	5.2	71.1	22.1	0.2	1.7	78.6	19.5	0.86
10 – 15	0.4	2.1	76.0	21.5	1.3	3.5	76.6	18.6	0.94
15 – 25	0.2	1.1	73.9	24.9	0.1	1.5	77.3	21.1	0.93
25 – 50	0.1	0.7	66.5	32.8	0.0	0.4	72.3	27.3	0.89
50 – 75	0.0	0.2	62.3	37.5	0.0	0.0	63.3	36.6	0.98
75 – 100	0.0	0.0	60.1	39.8	0.0	0.0	48.1	51.9	0.78
> 100	0.0	0.0	52.0	48.0	0.0	0.0	26.8	73.2	0.60

Abbildung 154 Modal-Split-Anteile nach Distanz (oben: MZMV; unten: NPVM)



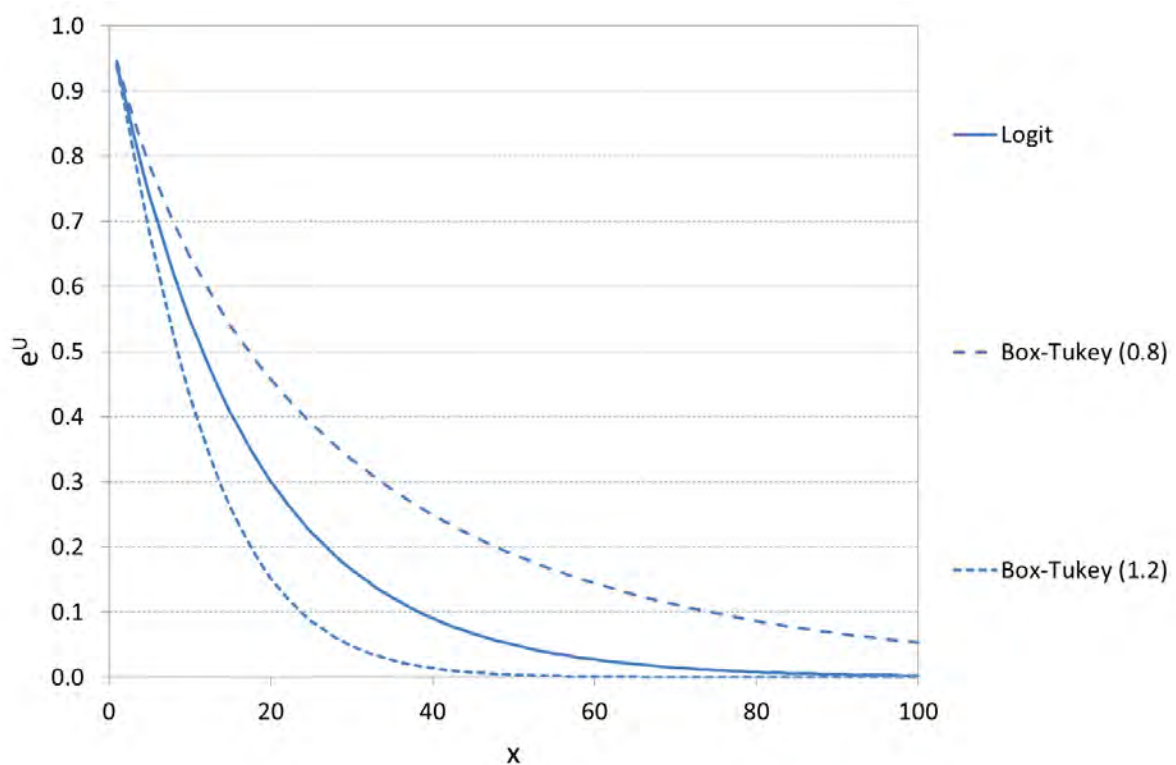
Mittlere Weglängen und Weglängenverteilungen

Um die Distanzverteilungen korrekt zu reproduzieren, wurde für die Variablen „Reisezeit“ und „Kosten“ die in Abschnitt 2.1.2 beschriebene Box-Tukey-Transformation verwendet. Bei dieser nimmt der Beitrag einer Variable zur Nutzenfunktion folgende Form an:

$$U = c' + \beta \cdot \left(\frac{(x+1)^\lambda - 1}{\lambda} \right)$$

λ ist hierbei der Parameter, der in den einzelnen Kalibrationsschritten variiert wird, um die Weglängenverteilungen der einzelnen Fahrtzwecke und Verkehrsmittel zu treffen. Im Spezialfall $\lambda = 1$ entspricht die Box-Tukey- der Logit-Nutzenfunktion (siehe Abbildung 155).

Abbildung 155 Box-Tukey-Transformation: Funktionsverläufe bei verschiedenen Werten von λ



Damit die Transformation nur die Weglängenverteilungen, nicht aber die relative Bewertung der Kenngrößen beeinflusst, werden die λ -Werte für die beiden Variablen jeweils gleichgesetzt.

Zusätzlich zu den Gesamtwerten wird das Modell für die drei verwendeten Raumtypen kalibriert (siehe auch vorherigen Abschnitt). Daher werden die Parameter raumtypspezifisch gewählt und angepasst. Tabelle 65 gibt einen Überblick über die im Nachfragemodell bei der Bewertung verwendeten λ -Parameter.

Tabelle 65 Im Nachfragemodell verwendete Box-Tukey-Parameter (Variablen „Reisezeit“ und „Kosten“)

QZG	Städtisch				Intermediär				Ländlich			
	Fuss	Velo	MIV	ÖV	Fuss	Velo	MIV	ÖV	Fuss	Velo	MIV	ÖV
W_A(A)	1.40	1.40	1.05	0.80	1.25	1.25	1.05	0.95	1.30	1.45	1.10	0.90
W_A(SK)	1.40	1.35	1.05	0.80	1.25	1.40	1.00	0.90	1.30	1.05	1.15	0.85
W_B(S)	2.00	2.40	1.50	0.90	1.35	1.30	1.80	1.10	1.40	1.45	1.05	0.95
W_B(U)	1.50	1.60	1.35	1.25	1.35	2.10	1.45	1.35	1.30	1.45	1.15	1.20
W_E(k)	1.60	1.60	1.50	1.05	1.45	1.35	1.45	1.00	1.50	2.45	1.40	1.10
W_E(l)	1.60	1.55	1.25	1.00	1.45	1.20	1.20	1.20	1.50	1.55	1.10	1.05
W_N	1.25	1.20	1.05	0.80	0.95	2.50	0.95	0.85	1.15	1.70	1.00	0.80
W_Bg(K)	2.10	2.00	1.45	1.35	1.90	2.30	1.45	1.25	2.00	2.45	1.40	1.35
W_F(k)	1.70	1.75	1.70	1.45	1.60	2.15	1.65	1.10	1.60	2.30	1.85	1.45
W_F(l)	1.10	1.00	0.95	0.80	1.00	0.95	0.90	0.85	1.00	0.95	0.95	0.80
A(A)_W	1.40	1.40	1.10	0.80	1.25	1.25	1.05	0.95	1.30	1.45	1.10	0.90
A(SK)_W	1.40	1.35	1.00	0.75	1.25	1.40	1.00	0.90	1.30	1.05	1.15	0.85
B(S)_W	2.00	2.40	1.50	0.90	1.35	1.30	1.80	1.10	1.40	1.45	1.05	0.95
B(U)_W	1.50	1.60	1.35	1.25	1.35	2.10	1.45	1.35	1.30	1.45	1.15	1.20
E(k)_W	1.60	1.60	1.60	1.50	1.45	1.35	1.45	1.00	1.50	2.45	1.40	1.10
E(l)_W	1.60	1.55	1.25	1.00	1.45	1.20	1.20	1.00	1.50	1.55	1.10	1.05
N_W	1.25	1.20	1.05	0.75	0.95	2.50	0.95	0.85	1.15	1.70	1.00	0.80
Bg(K)_W	2.10	2.00	1.50	1.35	1.90	2.30	1.45	1.25	2.00	2.45	1.40	1.35
F(k)_W	1.70	1.75	1.65	1.45	1.60	2.15	1.65	1.10	1.60	2.30	1.85	1.45
F(l)_W	1.10	1.00	0.95	0.80	1.00	0.95	0.90	0.85	1.00	0.95	0.95	0.80
A_S	2.25	1.60	1.05	0.85	2.10	2.00	1.10	1.00	2.15	1.50	1.20	0.90
S_A	2.25	1.60	1.05	0.80	2.10	2.00	1.10	1.00	2.15	1.50	1.20	0.90
A_E(k)F(k)	2.00	1.60	1.00	0.85	1.85	2.00	1.10	1.00	1.90	1.50	1.20	0.90
E(k)F(k)_A	2.00	1.60	1.00	0.85	1.85	2.00	1.10	1.00	1.90	1.50	1.20	0.90
E(k)F(k)_E(k)F(k)	1.80	1.60	1.20	0.95	1.65	1.60	1.15	1.15	1.70	1.45	1.20	1.00
S_S	1.80	1.60	1.20	0.95	1.65	1.60	1.15	1.15	1.70	1.45	1.20	1.00

Damit bei den Fahrtzwecken F(k) und F(l) die Schwelle von 10 km eingehalten wird, wurden deren Weglängenverteilungen begrenzt (Einbau einer zusätzlichen Widerstandskomponente). Bei F(l) wurde eine fixe Grenze gesetzt (negativer Nutzen von -99'999 für Ziele unter 10km), für F(k) wurde diese hingegen etwas aufgeweicht, da sich gezeigt hatte, dass ansonsten nicht für alle erzeugten Wege ausreichend viele Ziele zur Verfügung standen und das Modell deswegen nicht konvergierte. Durch diese Anpassung sind im MIV 0.14%, im ÖV 3.24% aller Wege der QZG W_F(k) / F(k)_W länger als die eigentlich als Grenze vorgesehenen 10km.

Die mittleren Weglängen nach Fahrtzweck und Raumtyp sind in Tabelle 66 dargestellt.

	Fahrtzweck	Gesamt					Städtisch					Intermediär					Ländlich				
		Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle	Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle	Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle	Fuss	Velo	PW	ÖV	Alle
MZMV 2015 [km]	A(A)	1.0	3.4	14.4	21.9	13.9	1.0	3.2	13.3	20.9	13.0	1.0	4.6	14.9	24.3	14.9	0.8	3.3	16.8	28.3	16.4
	A(SK)	1.0	3.7	14.9	26.1	14.0	1.1	3.4	13.8	23.8	13.1	0.7	3.6	16.8	31.0	15.6	0.8	6.7	15.2	38.8	15.1
	B(S)	0.8	1.9	6.7	12.2	4.4	0.8	1.8	5.9	10.2	3.4	0.8	2.0	5.1	14.2	5.0	0.7	2.2	12.0	14.4	7.2
	B(U)	1.1	2.9	26.3	30.8	24.6	1.0	2.7	24.8	27.2	21.5	0.5	3.0	26.6	35.9	29.0	2.7	4.9	29.7	44.5	35.5
	E(k)	0.8	1.9	6.7	10.0	4.7	0.8	1.7	5.5	8.0	3.7	0.7	3.2	7.2	17.4	5.8	0.7	1.4	9.6	20.8	8.0
	E(l)	1.0	2.7	12.1	11.0	9.5	1.0	2.4	10.0	9.2	7.4	0.8	4.1	13.0	17.1	11.8	0.6	2.3	17.2	25.6	16.6
	N	1.1	3.2	21.6	34.5	21.1	1.0	3.5	20.3	30.9	19.4	1.3	1.6	22.4	40.8	22.3	0.9	2.1	24.0	63.9	25.6
	Bg(K)	0.7	1.8	7.6	6.0	5.2	0.7	1.8	6.7	5.4	4.2	0.9	1.9	7.8	9.3	6.3	0.6	1.3	9.9	16.7	7.5
	F (k)	1.0	2.2	4.1	4.7	3.0	1.0	2.3	4.0	4.5	3.0	0.9	2.0	4.3	6.1	3.1	0.9	1.9	4.4	6.0	3.1
	F (l)	12.4	18.1	34.7	48.7	37.3	12.1	17.9	36.8	48.9	39.4	17.1	19.4	32.6	42.2	34.1	12.0	16.6	32.2	58.1	35.8
	A	0.6	2.5	13.1	18.0	8.9	0.6	2.5	13.1	17.2	8.5	0.5	2.1	12.7	18.9	9.2	0.6	3.5	13.4	26.5	10.5
	S	0.7	2.3	12.4	16.4	8.6	0.7	2.2	11.7	14.6	7.6	0.7	2.2	12.8	15.3	9.3	0.7	2.7	14.0	30.9	11.7
	Alle	0.8	2.8	13.2	20.1	10.3	0.9	2.6	12.4	18.0	9.3	0.8	3.2	13.7	23.7	11.3	0.8	3.0	14.9	30.6	13.1
NPVM [km]	A(A)	1.1	2.8	15.7	23.2	13.9	1.0	2.6	12.2	23.2	11.9	1.3	3.6	18.0	19.9	15.5	1.4	2.8	19.8	28.0	20.1
	A(SK)	1.1	4.2	16.7	27.5	14.5	1.0	2.8	14.0	25.8	11.8	1.3	2.7	20.3	23.0	18.3	1.4	7.4	17.3	38.9	17.9
	B(S)	2.0	1.7	9.6	11.5	4.7	0.8	1.4	4.2	10.7	4.8	2.5	7.4	10.3	21.6	3.7	3.1	6.0	18.1	13.5	6.2
	B(U)	1.1	2.3	40.0	28.7	23.8	1.1	2.3	17.1	28.6	18.7	1.7	1.3	34.1	30.5	31.3	3.0	4.8	54.9	20.5	48.1
	E(k)	1.2	2.1	7.0	10.7	4.8	1.0	2.0	5.0	7.4	3.2	1.5	2.8	8.4	16.4	6.6	1.5	1.1	10.0	14.2	9.6
	E(l)	1.1	2.3	13.3	12.3	9.8	1.0	2.1	9.3	11.4	6.9	1.4	3.6	15.0	16.1	12.0	1.4	1.8	20.7	17.1	19.8
	N	1.2	2.4	23.8	35.1	21.4	1.0	2.4	18.1	35.3	17.8	1.8	1.0	31.3	31.4	26.5	1.5	1.5	27.2	37.0	27.3
	Bg(K)	0.8	1.5	7.8	6.3	5.0	0.8	1.5	6.4	5.5	3.4	1.1	1.5	8.0	7.7	5.8	1.1	1.4	10.1	6.6	9.7
	F (k)	1.2	1.9	4.6	5.3	2.9	1.0	1.9	4.1	4.2	2.2	1.4	1.6	5.0	6.9	3.6	1.6	1.6	5.1	5.3	4.4
	F (l)	11.8	15.4	36.5	46.3	36.5	10.9	14.2	34.7	47.5	37.1	11.8	16.1	38.6	35.9	35.0	12.0	16.9	37.8	50.8	37.1
	A	0.7	2.0	13.4	17.4	8.4	0.7	2.0	13.1	17.3	7.8	1.0	1.6	14.3	14.5	10.9	1.1	2.5	14.1	24.0	13.6
	S	0.8	1.7	12.8	16.9	8.0	0.7	1.7	11.2	16.9	6.9	1.1	1.7	17.1	12.7	13.2	1.2	2.4	17.9	24.9	16.8
	Alle	1.2	2.8	13.2	19.4	9.2	0.9	2.3	11.2	19.8	7.6	1.8	4.9	15.7	17.9	11.2	2.4	7.7	15.6	19.1	13.9
Verhältnis NPVM / MZMV	A(A)	1.0	0.8	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.9	1.1	0.9	1.4	0.8	1.2	0.8	1.0	1.8	0.8	1.2	1.0	1.2
	A(SK)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	1.1	0.9	1.9	0.8	1.2	0.7	1.2	1.8	1.1	1.1	1.0	1.2
	B(S)	2.5	0.9	1.4	0.9	1.1	1.0	0.8	0.7	1.1	1.4	3.1	3.8	2.0	1.5	0.8	4.2	2.7	1.5	0.9	0.9
	B(U)	1.0	0.8	1.5	0.9	1.0	1.1	0.9	0.7	1.1	0.9	3.1	0.4	1.3	0.9	1.1	1.1	1.0	1.9	0.5	1.4
	E(k)	1.5	1.1	1.0	1.1	1.0	1.3	1.2	0.9	0.9	0.9	2.2	0.9	1.2	0.9	1.1	2.2	0.8	1.0	0.7	1.2
	E(l)	1.1	0.9	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.9	1.2	0.9	1.9	0.9	1.2	0.9	1.0	2.3	0.8	1.2	0.7	1.2
	N	1.2	0.7	1.1	1.0	1.0	0.9	0.7	0.9	1.1	0.9	1.4	0.6	1.4	0.8	1.2	1.7	0.7	1.1	0.6	1.1
	Bg(K)	1.2	0.8	1.0	1.0	0.9	1.1	0.8	1.0	1.0	0.8	1.3	0.8	1.0	0.8	0.9	1.8	1.1	1.0	0.4	1.3
	F (k)	1.2	0.8	1.1	1.1	0.9	1.0	0.8	1.0	0.9	0.8	1.5	0.8	1.2	1.1	1.2	1.8	0.8	1.2	0.9	1.4
	F (l)	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	0.7	0.8	1.2	0.8	1.0	1.0	1.0	1.2	0.9	1.0
	A	1.3	0.8	1.0	1.0	0.9	1.2	0.8	1.0	1.0	0.9	2.0	0.7	1.1	0.8	1.2	1.8	0.7	1.1	0.9	1.3
	S	1.1	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	0.8	1.0	1.2	0.9	1.6	0.8	1.3	0.8	1.4	1.7	0.9	1.3	0.8	1.4
	Alle	1.4	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1	0.8	2.2	1.6	1.2	0.8	1.0	2.9	2.6	1.0	0.6	1.1

Grössere relative Abweichungen von den Werten des MZMV 2015 sind bei den kurzen Langsamverkehrswegen (Fuss und Velo) der intermediären und ländlichen Zonen sichtbar. Hier mussten die Box-Tukey-Parameter reduziert werden, um die Modal-Split-Anteile (Tabelle 63) angemessen abzubilden. Diese Reduktion führt aber unweigerlich zu längeren Wegen. Es bleibt anzumerken, dass insbesondere im ländlichen Raum die Stichprobengrössen des MZMV 2015 relativ gering sind, so dass ein repräsentatives Abbild sowohl des Modal Splits als auch der Weglängen hier nicht gegeben ist. Es wurde daher iterativ nach einer Wertekombination gesucht, die bei beiden Kenngrössen nicht zu übermässigen Abweichungen vom MZMV 2015 führt und gleichzeitig die Verhältnisse für das Gesamtmodell gut widerspiegelt.

Den Vergleich der mittleren Weglängen nach Fahrtzweck zeigt Abbildung 156, jenen nach Verkehrsmittel Abbildung 157.

Abbildung 156 Mittlere Weglängen nach Fahrtzweck

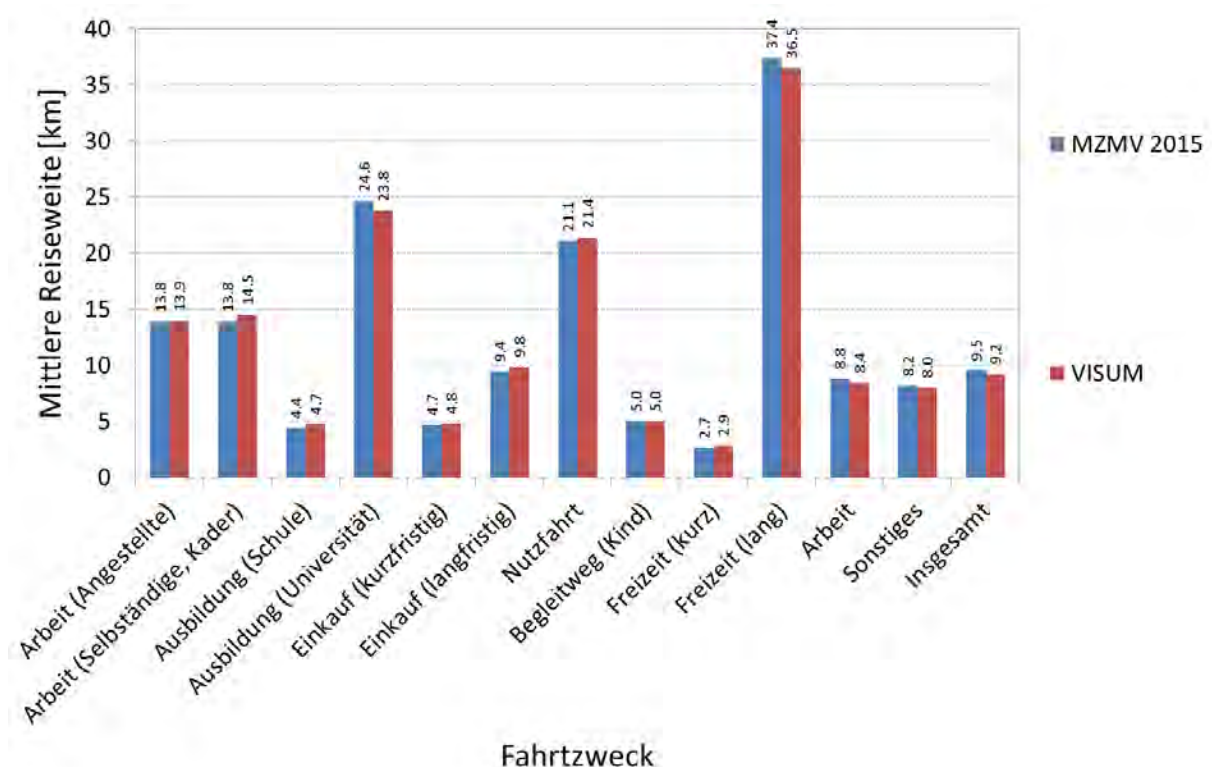
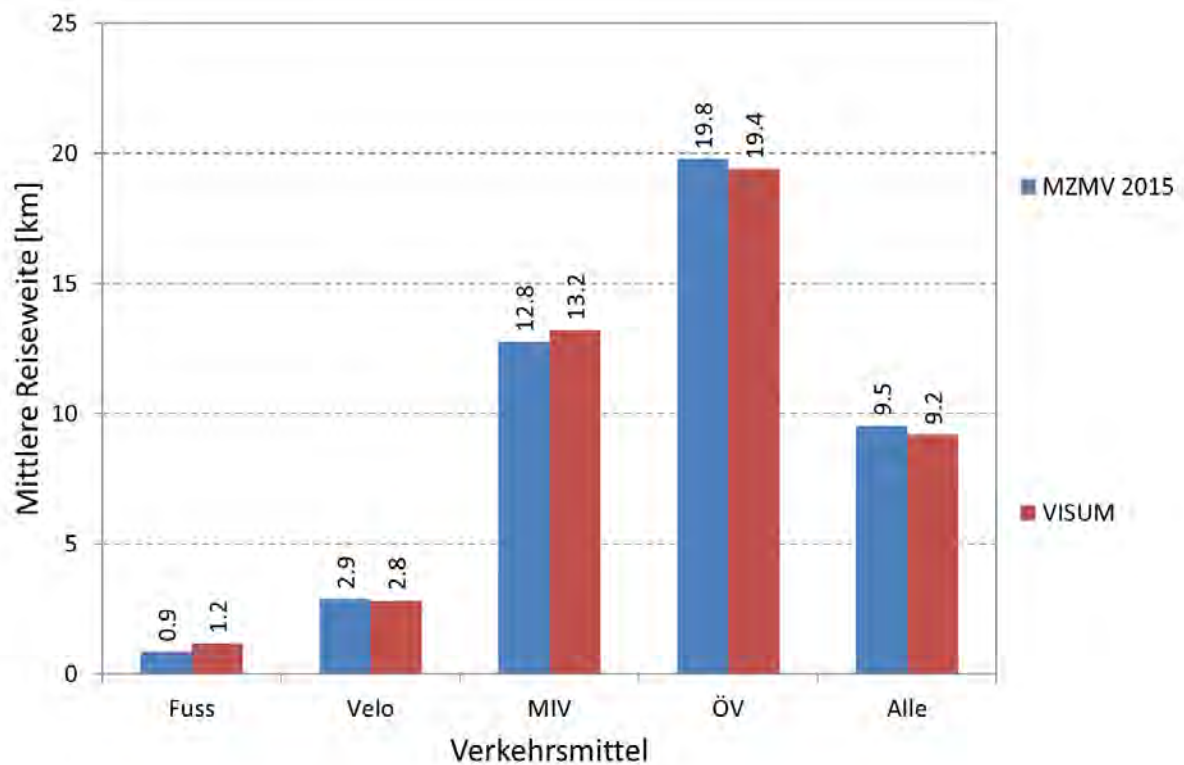


Abbildung 157 Mittlere Weglängen nach Verkehrsmittel



Den Vergleich der Weglängenverteilungen zwischen dem MZMV 2015 und dem NPVM für den Gesamtverkehr ist aus Abbildung 158, jene für die einzelnen Fahrtzwecke aus den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

Abbildung 158 Weglängenverteilungen (alle Fahrtzwecke)

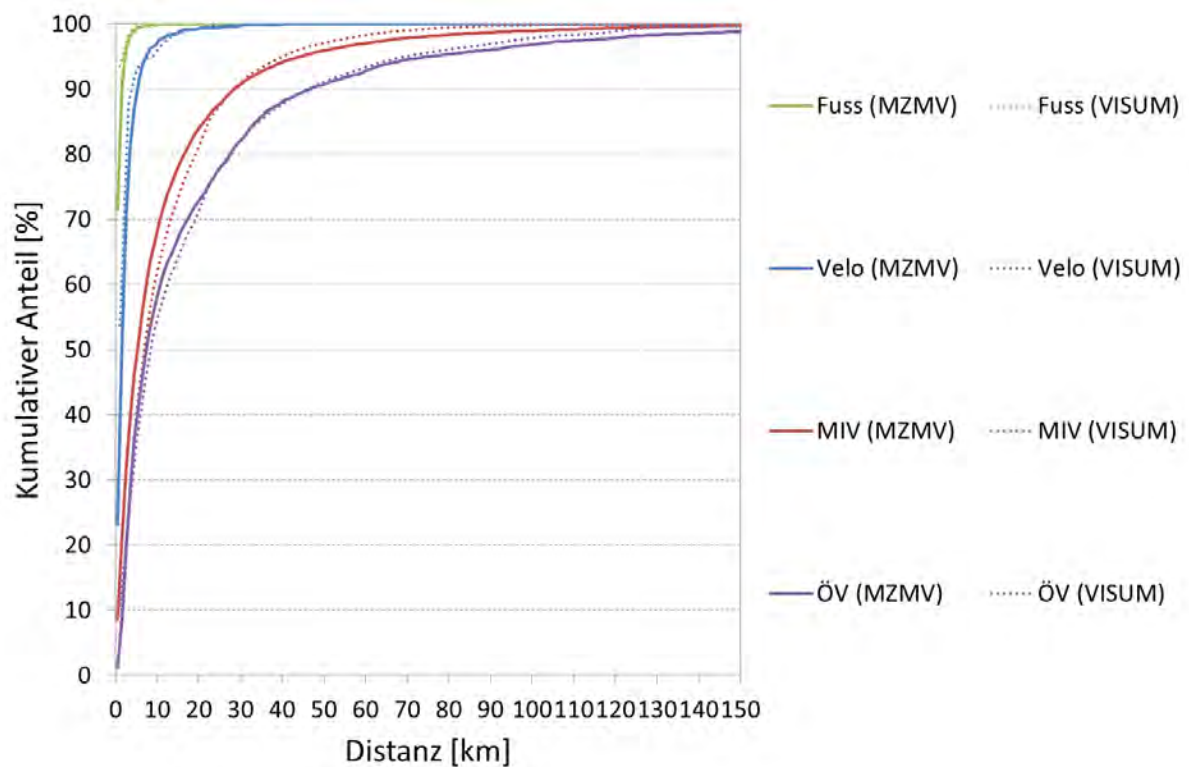


Abbildung 159 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Arbeit (Angestellte))

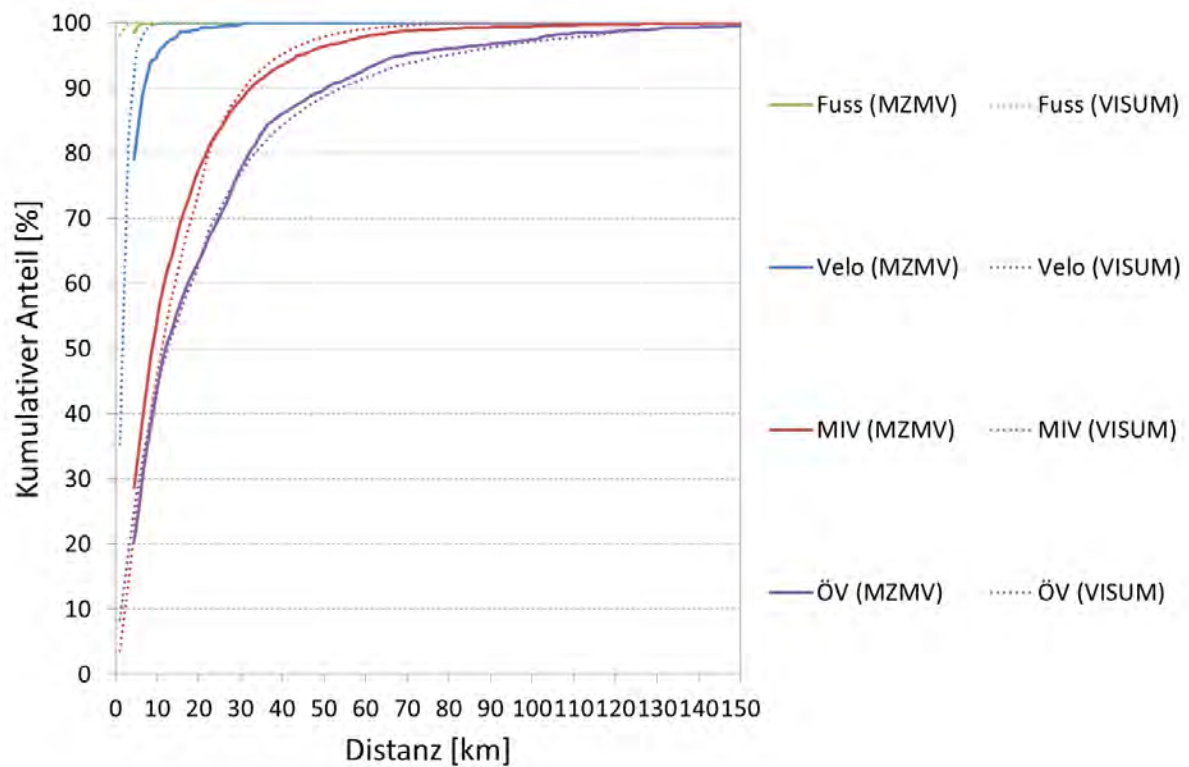


Abbildung 160 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Arbeit (Selbständige, Kader))

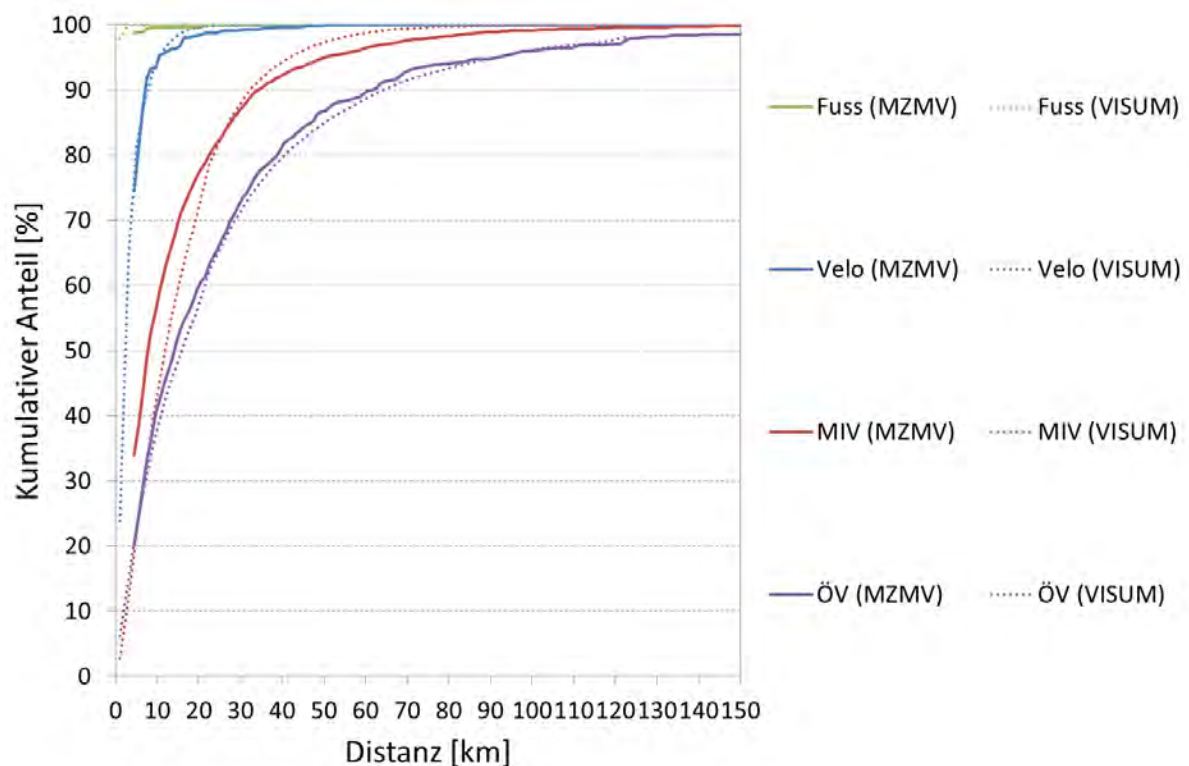


Abbildung 161 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Ausbildung (Schule))

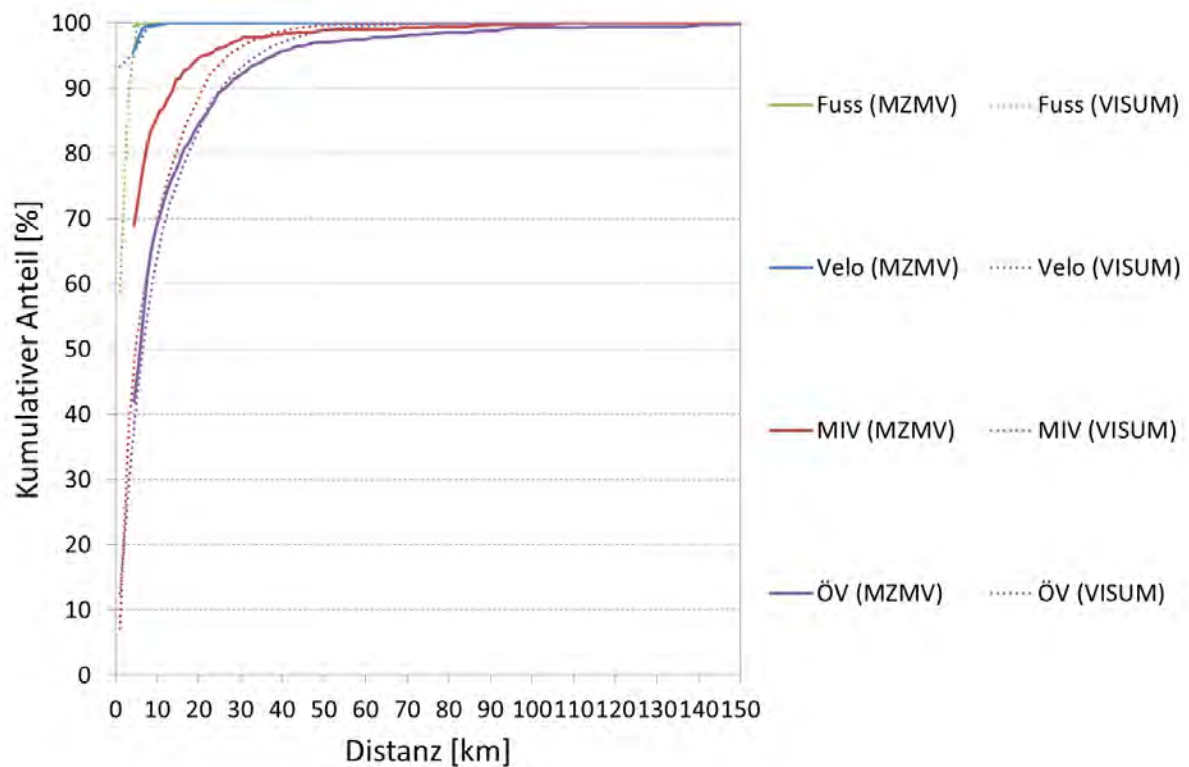


Abbildung 162 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Ausbildung (Uni))

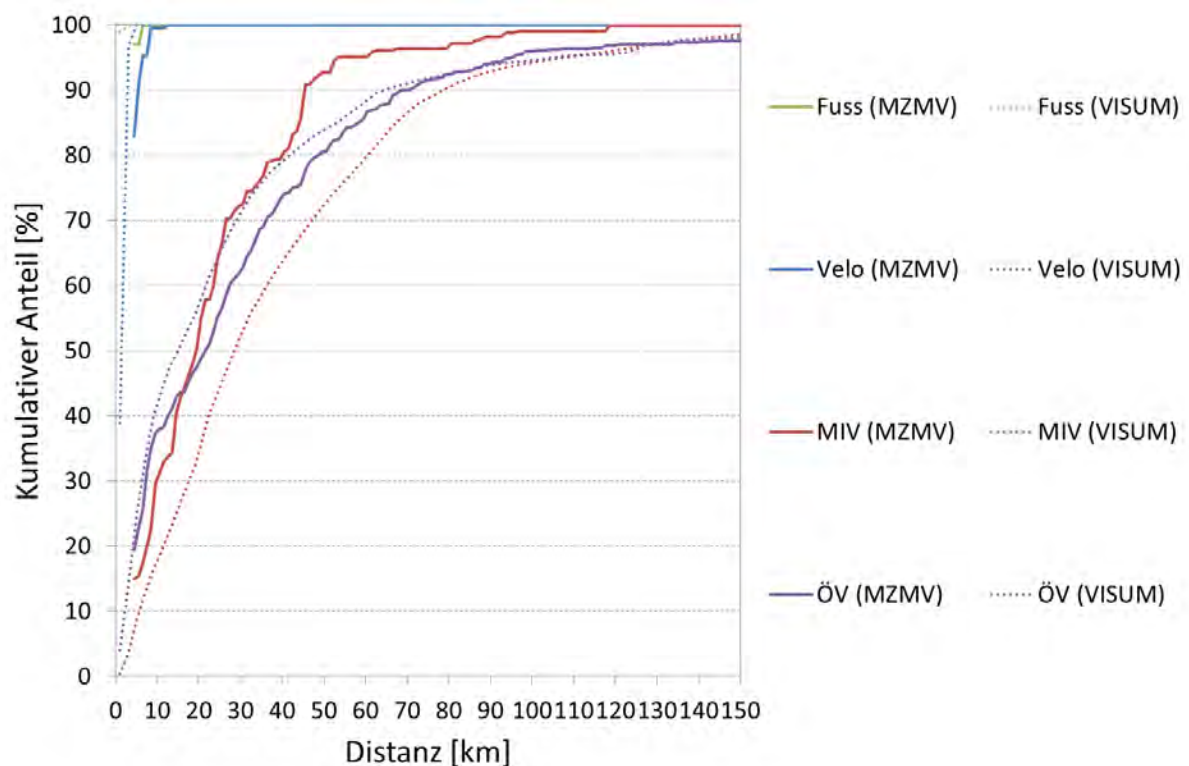


Abbildung 163 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Einkauf (kurzfristig))

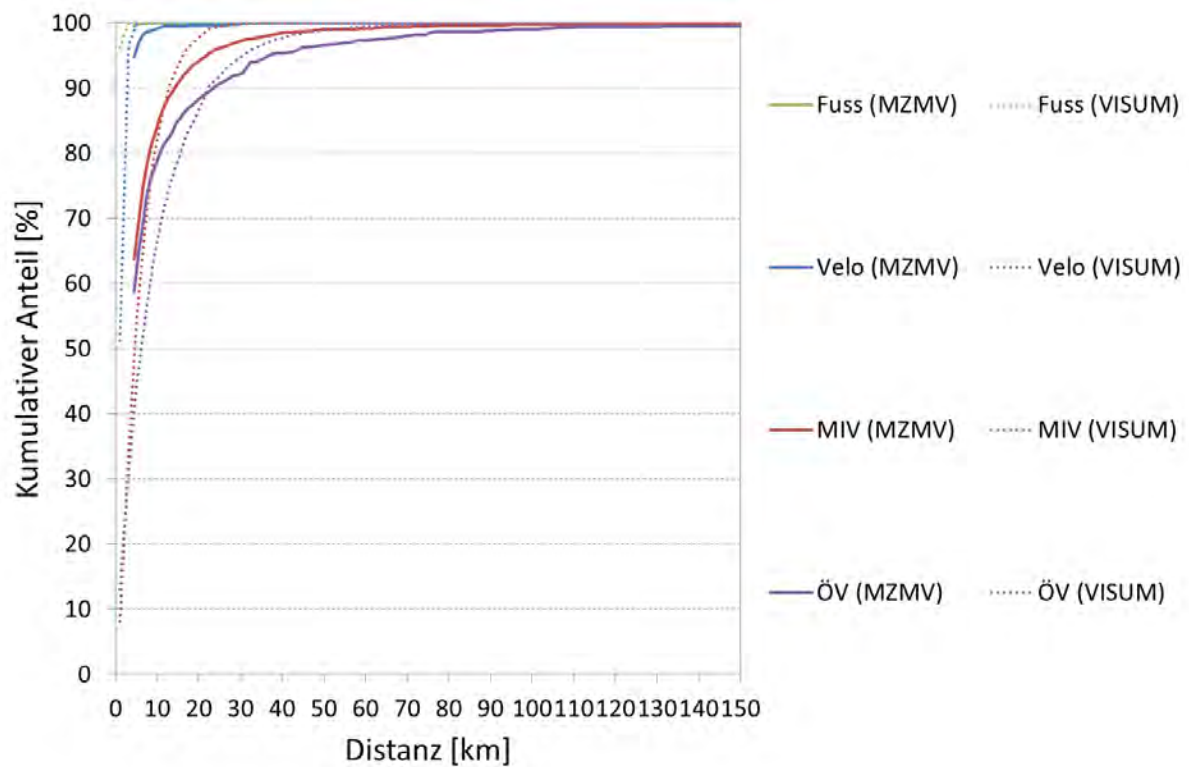


Abbildung 164 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Einkauf (langfristig))

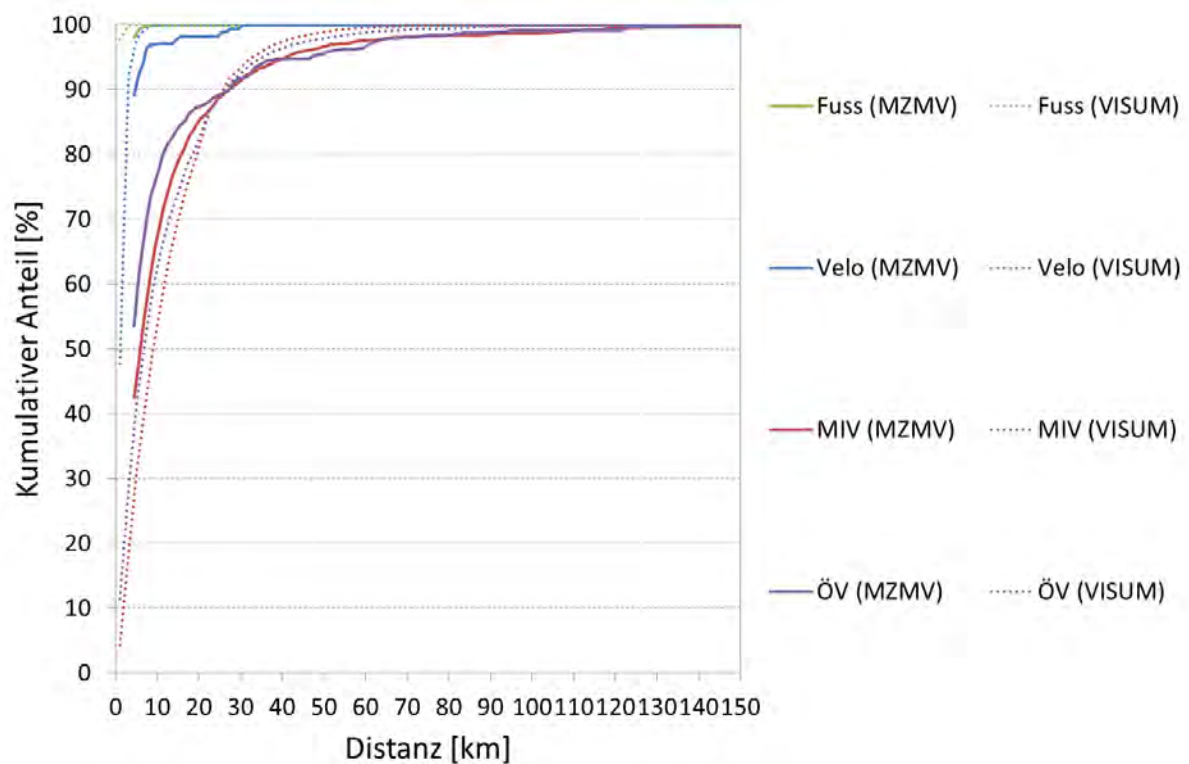


Abbildung 165 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Nutzfahrt)

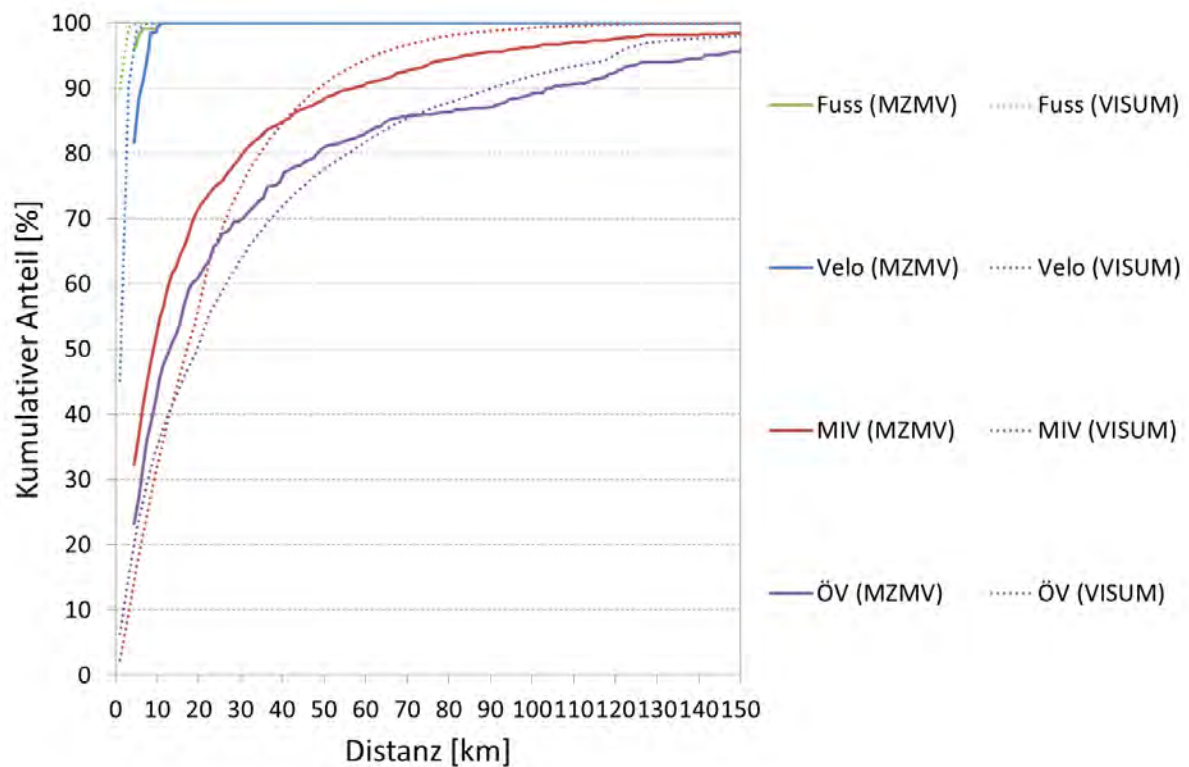


Abbildung 166 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Begleitweg (Kind))

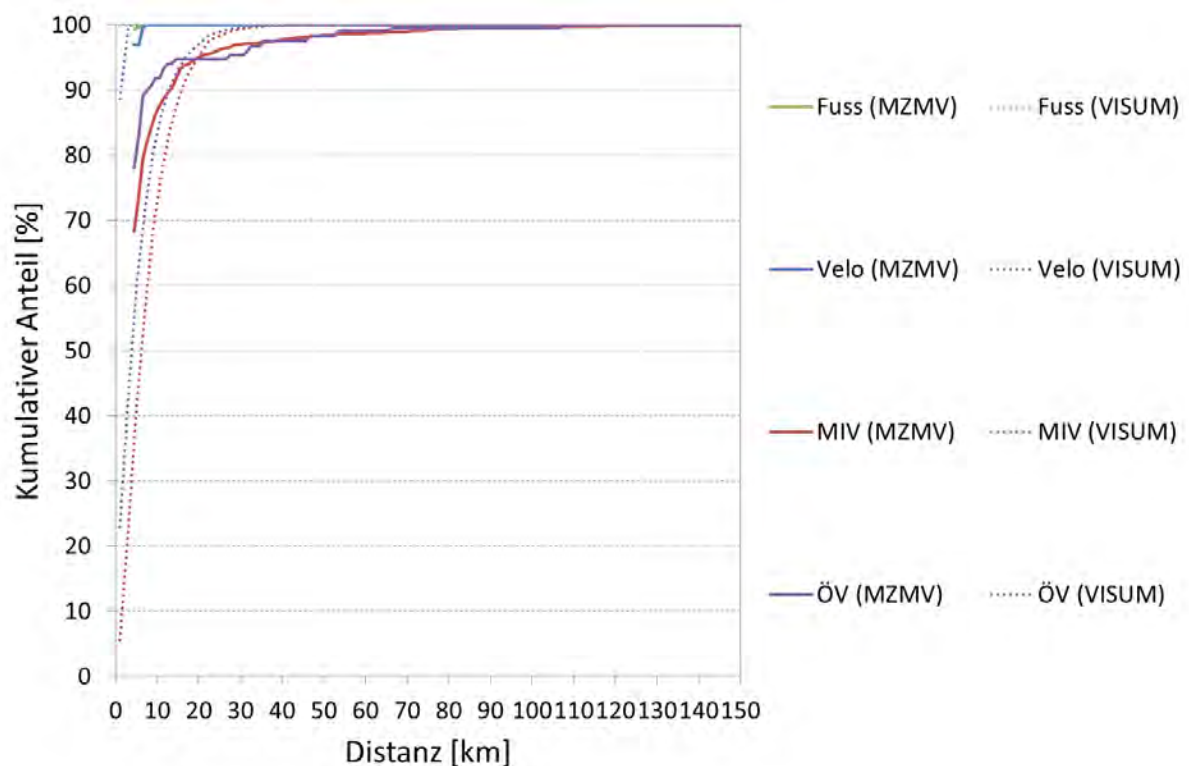


Abbildung 167 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Freizeit (kurz))

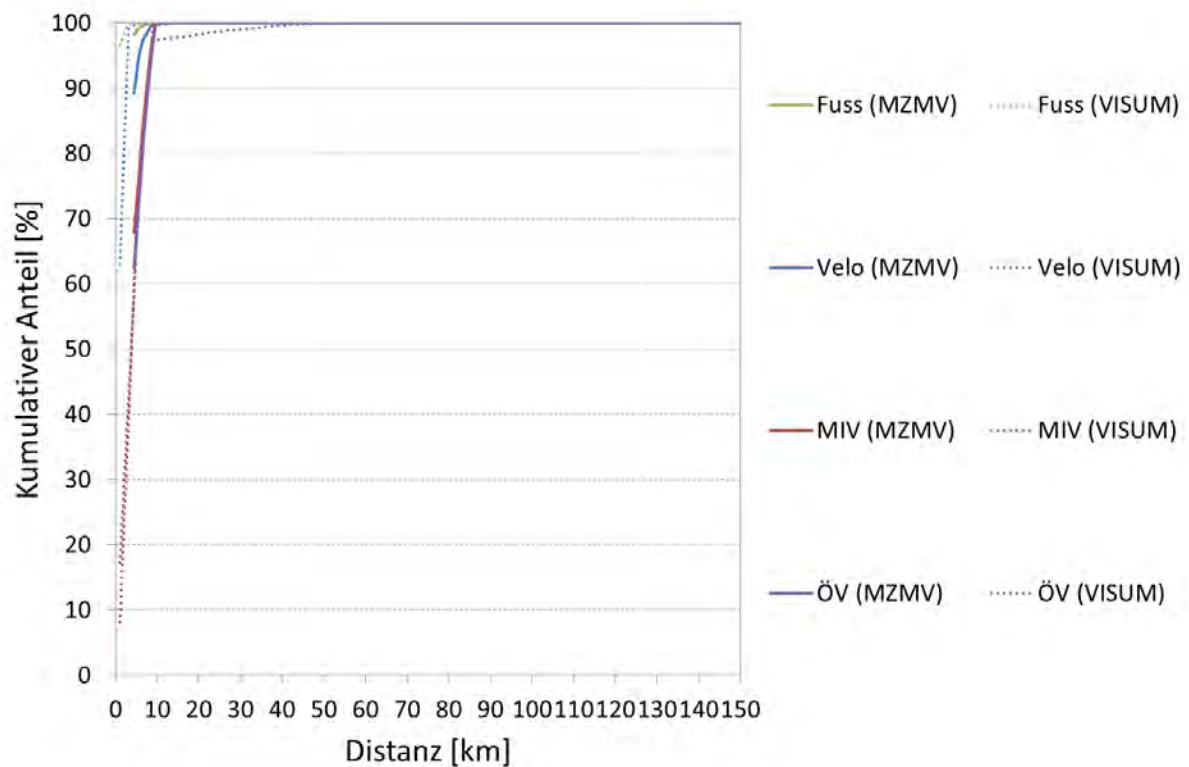


Abbildung 168 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Freizeit (lang))

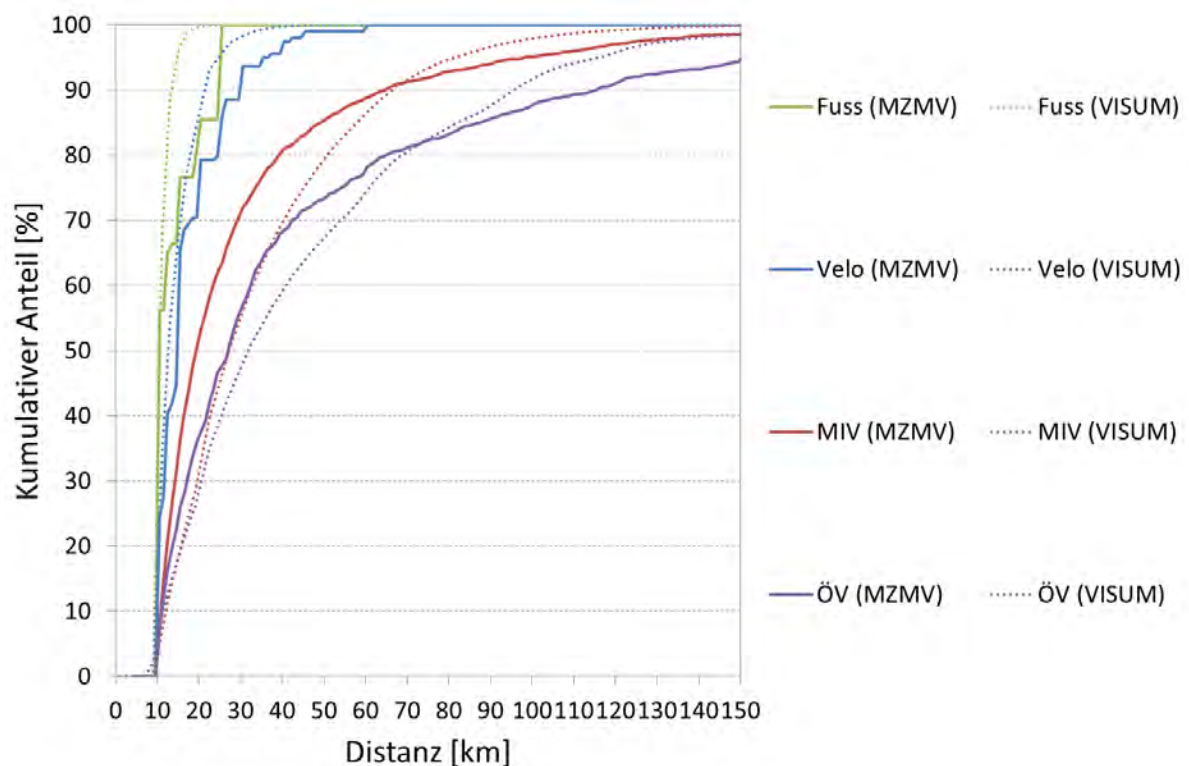


Abbildung 169 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Arbeit (Sonstige))

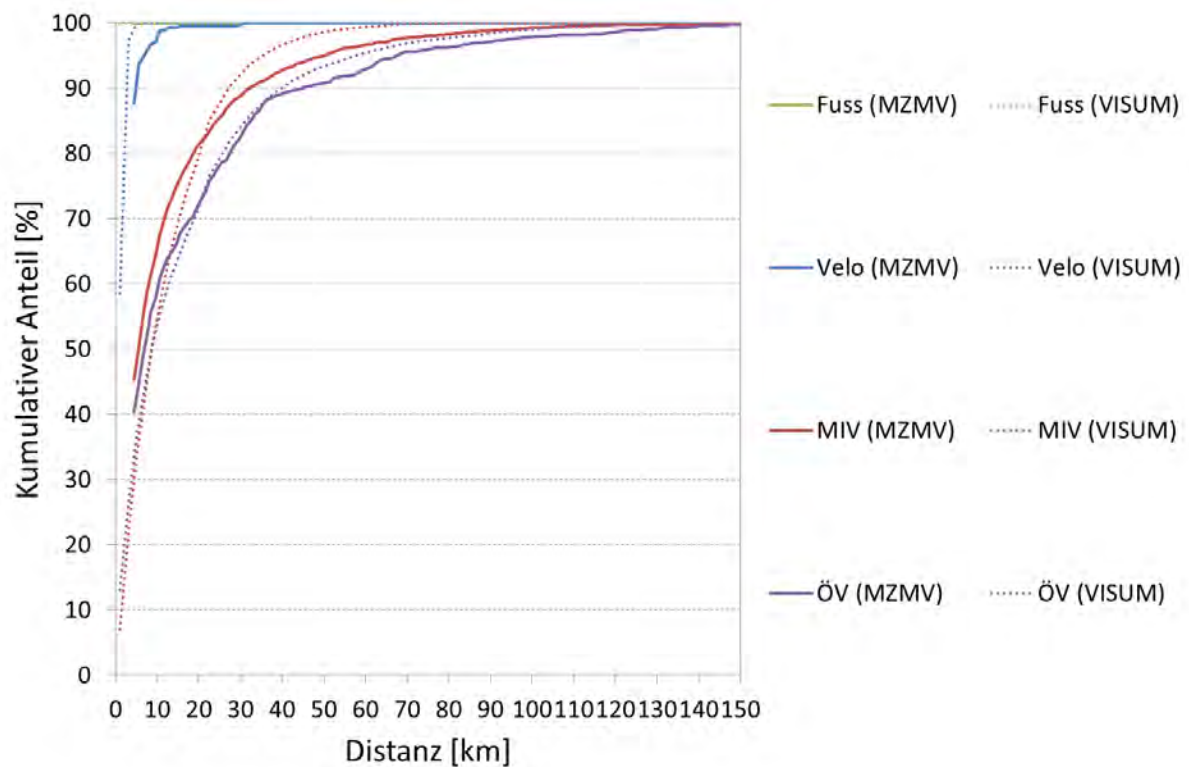
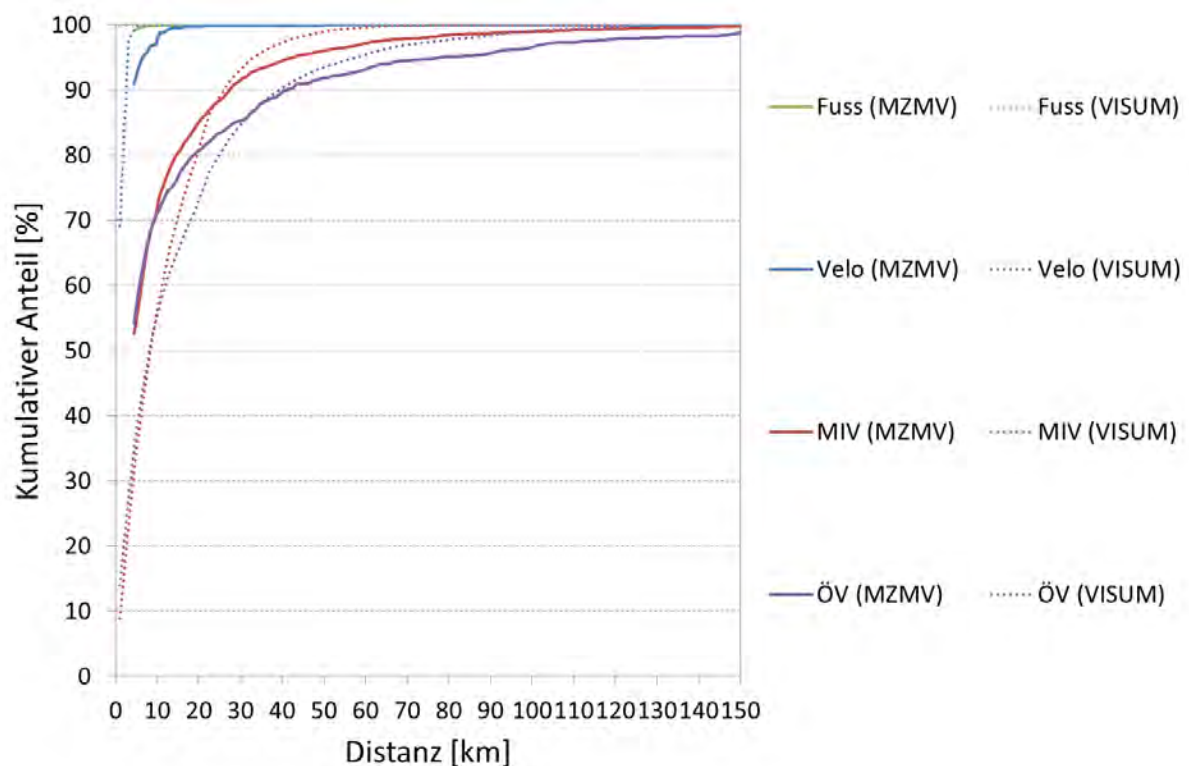


Abbildung 170 Weglängenverteilungen (Fahrtzweck Sonstige)



Die Koinzidenzverhältnisse für die Weglängenverteilungen sind aus Tabelle 67 und Tabelle 68 ersichtlich.

Tabelle 67 Koinzidenzverhältnisse der Weglängenverteilungen nach Fahrtzweck

Fahrtzweck	Verkehrsmittel			
	Fuss	Velo	MIV	ÖV
Arbeit (Angestellt)	0.80	0.76	0.79	0.79
Arbeit (Selbstständig, Kader)	0.79	0.69	0.67	0.82
Ausbildung (Schule)	0.48	0.50	0.48	0.73
Ausbildung (Uni)	0.82	0.64	0.50	0.75
Einkauf (kurzfristig)	0.91	0.62	0.54	0.63
Einkauf (langfristig)	0.80	0.70	0.67	0.63
Nutzfahrt	0.90	0.77	0.59	0.68
Begleitweg (Kind)	0.87	0.45	0.46	0.56
Freizeit (kurz)	0.82	0.73	0.64	0.77
Freizeit (lang)	0.60	0.62	0.60	0.67
Arbeit (Sonstiges)	0.93	0.69	0.65	0.76
Sonstiges	0.89	0.79	0.59	0.61
Alle	0.95	0.84	0.71	0.83

Tabelle 68 Koinzidenzverhältnisse der Weglängenverteilungen nach Raumtyp

Raumtyp	Verkehrsmittel			
	Fuss	Velo	MIV	ÖV
Städtisch	0.84	0.77	0.72	0.78
Intermediär	0.78	0.61	0.67	0.80
Ländlich	0.47	0.40	0.68	0.69
Alle	0.95	0.84	0.71	0.83

Übereinstimmung mit Zähldaten

Folgende Abbildungen zeigen die Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den Zählwerten für den unkalibrierten Modellzustand 2, also ohne Netzkorrekturen und Anpassungen der aus dem Nachfragemodell resultierenden Matrizen:

- Abbildung 171 für den PW, unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
- Abbildung 172 für den PW, nur für ASTRA-Zählstellen;
- Abbildung 173 für den ÖV, unter Berücksichtigung aller Zählwerte;
- Abbildung 174 für den ÖV, , nur für Bahnstrecken.

Die Übereinstimmung der Modell- mit den Zählwerten wird für ein nicht kalibriertes Modell als sehr gut erachtet; lokale Abweichungen können in einem nationalen Modell indes nicht vollends ausgeschlossen werden.

Abbildung 171 Umlegungsanalyse MIV (PW, alle Zählstellen), unkalibriertes Modell

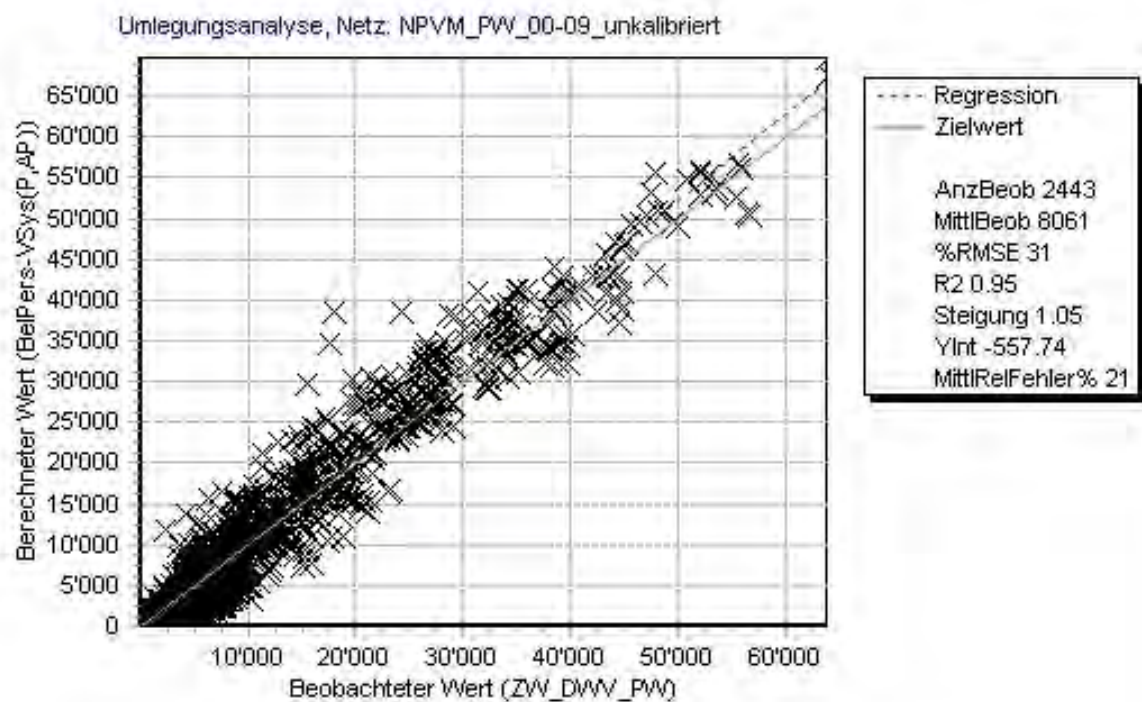


Abbildung 172 Umlegungsanalyse MIV (PW, nur ASTRA-Zählstellen), unkalibriertes Modell

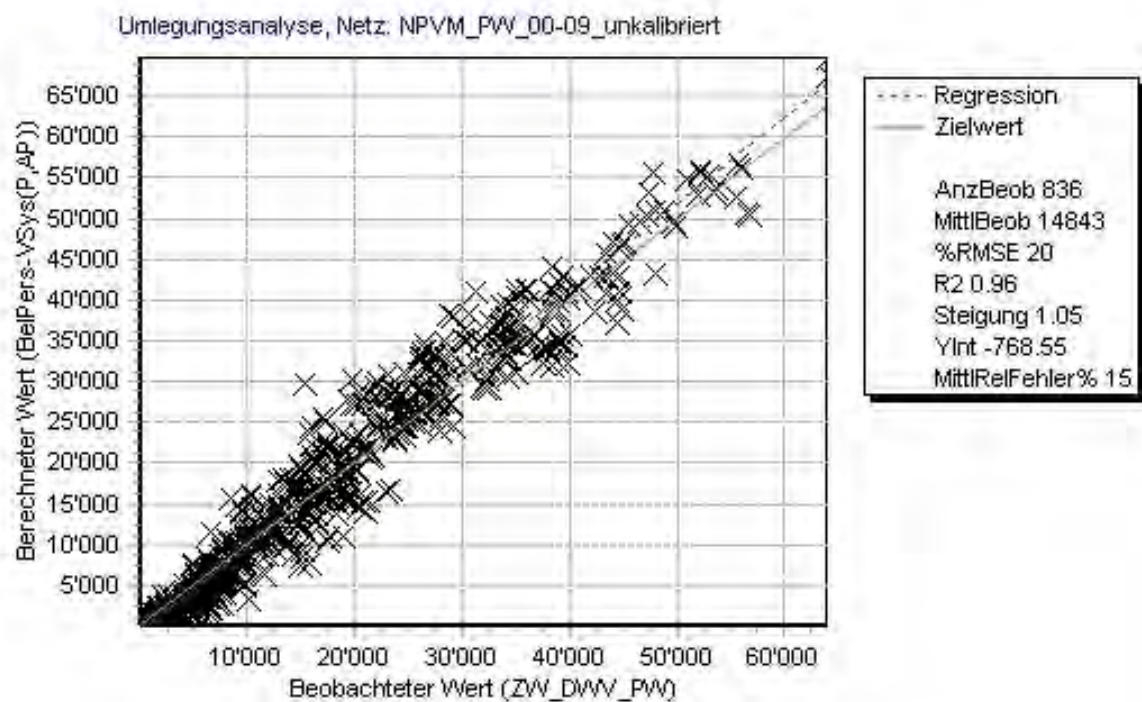


Abbildung 173 Umlegungsanalyse ÖV (alle Zählwerte), unkalibriertes Modell

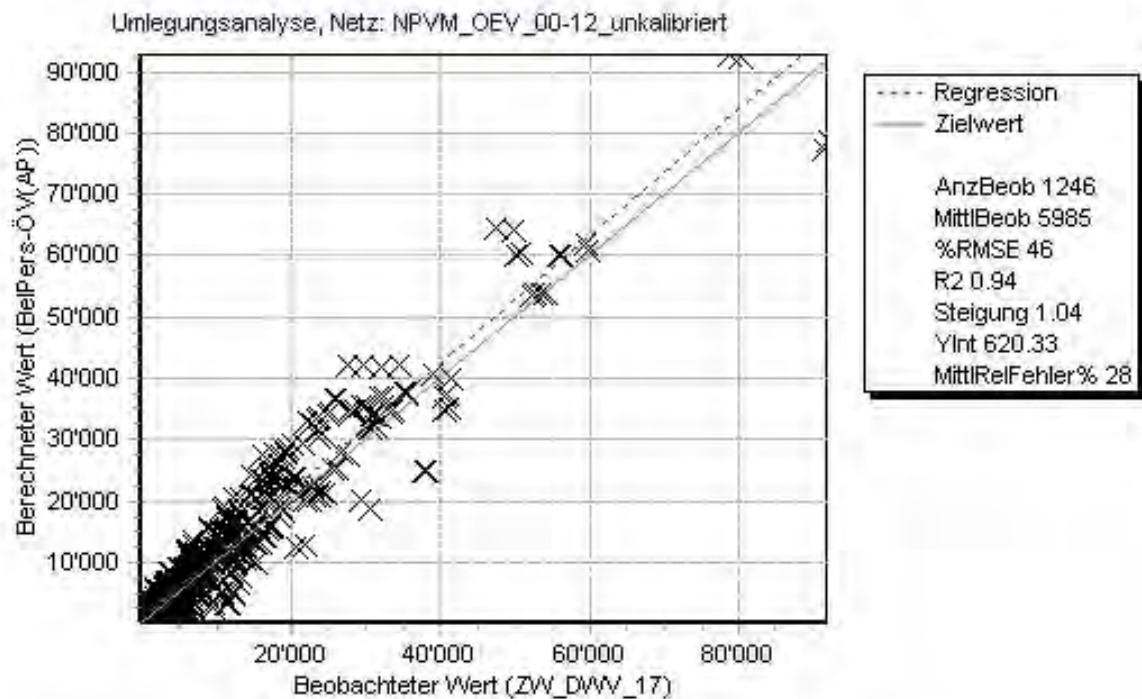
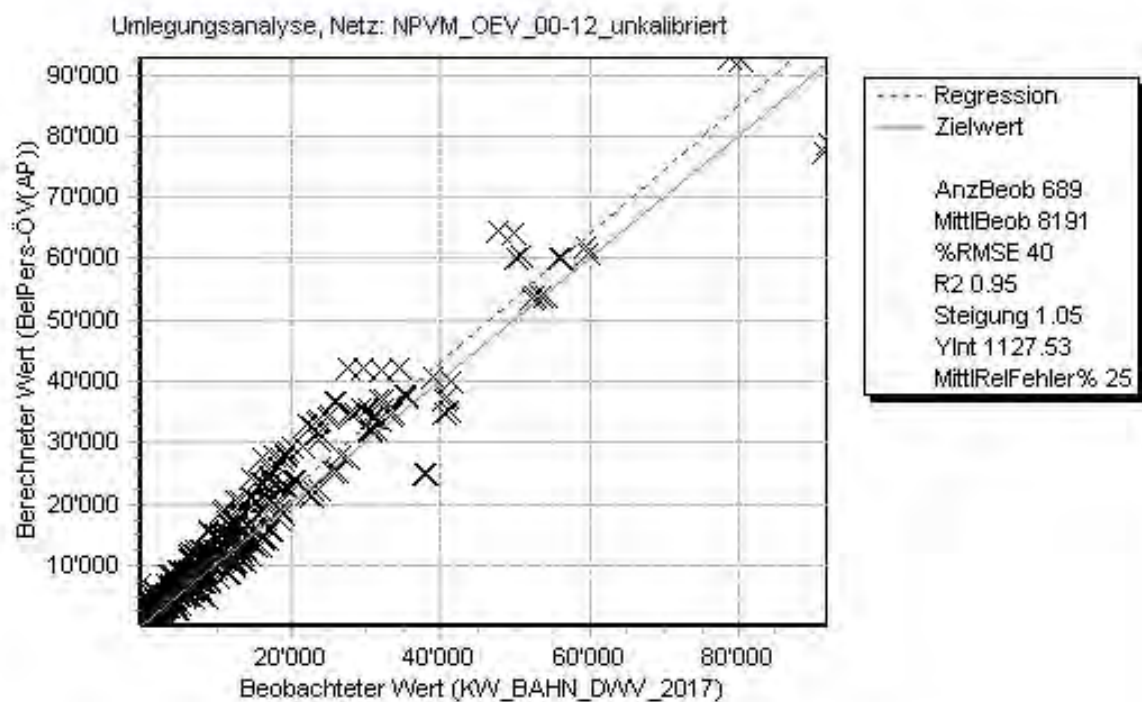


Abbildung 174 Umlegungsanalyse ÖV (nur Bahn), unkalibriertes Modell



2.7.3 Modellzustand 3: Kalibration des DWV-Modells auf die Zähldaten

Im Anschluss an die Kalibration des Nachfragemodells auf die Gesetzmässigkeiten des MZMV 2015 erfolgt die Korrektur von Fehlern in den Umlegungsmodellen im MIV und ÖV sowie eine Kalibration auf die vorliegenden Zähldaten. Hierbei werden lokal die Abweichungen zwischen Modell- und Zählwerten betrachtet und die Ursachen für diese bereinigt:

1. Überprüfung der Anbindungen und deren Gewichte (→ kleinräumige Verteilung der Nachfrage ins Netz);
2. Überprüfung der Netzattributierung (Kapazitäten, Geschwindigkeiten, Sperrungen) (→ Routenwahl);
3. Anpassung der Nachfragematrizen (→ Hochrechnung der Ströme eines Zählquerschnitts mittels Spinnenanalyse).

Die Kalibration dient der lokalen Anpassung der Nachfrageverhältnisse, welche in einem Nachfragemodell, welches mit Mittelwerten arbeitet, nicht vollumfänglich abgebildet werden können. Es wurde bereits dargelegt, wie über die Einführung von zusätzlichen Attraktionsvariablen grössere Abweichungen reduziert wurden. Die Ergebnisse der Arbeiten werden nachfolgend anhand mehrerer Kriterien dargelegt und beurteilt. Wichtigstes Kriterium ist hier neben der Übereinstimmung mit den Zähldaten die Beibehaltung der Struktur der Nachfragematrizen, d.h. die lokale Anpassung darf nicht zu einer strukturellen Inkonsistenz der kalibrierten mit der aus dem Nachfragemodell resultierenden Matrizen führen. Dies wird dadurch sichergestellt, dass die Anpassung einzelner Ströme gemäss Schritt 3 der obigen Liste erst nach einer umfassenden Korrektur und Überprüfung des Netzmodells (Schritte 1 + 2) erfolgt.

Kalibriert wurden die Matrizen der Segmente „Binnenverkehr“ und „Aussenverkehr“. Die im Nachfragemodell separat berechneten Matrizen für die Zufahrten der Flugpassagiere wurden unverändert übernommen und simultan mit dem Binnenverkehr umgelegt.

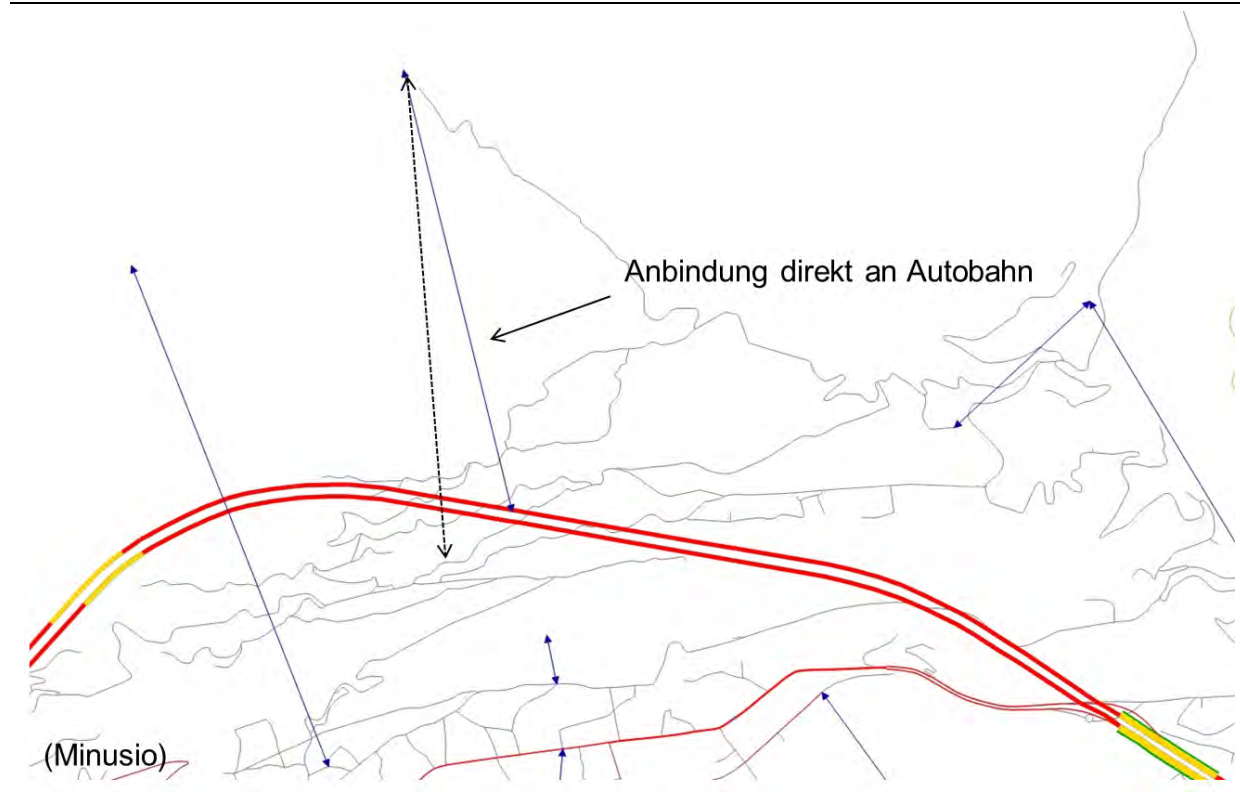
Umfang der Korrekturen und Methodik Nachkalibration

Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Kalibration eines Umlegungsmodells ist die heterogene Verteilung der verfügbaren Zähldaten im Netz, insbesondere im MIV. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, wurde nochmals gesondert eine Sichtung von Zähldaten (aus anderen GVM sowie unter Einbezug von Beschaffungen des AG) durchgeführt und weitere Daten integriert (cf. Abschnitt 1.4.1). Bereiche mit fehlenden Zähldaten können nur grob anhand von Lokalkenntnissen validiert werden, dies kann jedoch natürlich nicht flächendeckend erfolgen. Es ist jedoch anzumerken, dass durch den Einbau zusätzlicher Zähldaten die Bereiche ohne Zählungen weitestgehend minimiert werden konnten und die Abdeckung für ein Modell mit der räumlichen Ausdehnung des NPVM auch lokal sehr gut ist. Es besteht aber die Empfehlung, vor einer lokalen Anwendung des Modells dessen Belastungen, allenfalls anhand neu durchgeführter oder zusätzlich vorhandener Zählungen, zu validieren und nötigenfalls nachzukalibrieren.

Der arbeitsintensivste Schritt bei der Kalibration des Modells besteht darin Fehler bzw. Inkonsistenzen im Netzmodell zu identifizieren, welche zu einer fehlerhaften Abbildung des Routenwahlverhaltens führen. Solche Fehler können nur dort festgestellt werden, wo Zähldaten zum Vergleich vorliegen, und müssen individuell korrigiert werden. Diese Korrekturen wurden im NPVM weitestgehend flächendeckend durchgeführt, um ein plausibles Routenwahlmodell sicherzustellen. In diesen Arbeitsschritt integriert ist auch die kleinräumige Verteilung der Nachfrage aus den Zonen ins Netz, d.h. die Überprüfung und allfällige Anpassung der Anbindungen.

Die Anbindungen wurden systematisch darauf überprüft, ob sie am untergeordneten Netz hängen. In ca. 40 Fällen wurden Anbindungen, welche fälschlich direkt auf Autobahnen gingen, umgehängt (cf. .Abbildung 175).

Abbildung 175 Beispiel fehlerhafte Anbindung (direkt auf Autobahn)



Ebenfalls systematisch wurden die Anbindungen grösserer Einkaufszentren (Zonen mit hohen Besucherzahlen) sowie die Innenstädte grösserer Städte bezüglich der Verteilung der dortigen grossen Parkhäuser überprüft.

Beispiele für fehlerhafte Anbindungen und/oder Routenwahl zeigen Abbildung 176 und Abbildung 177. Im ersten Fall (nahe der Europabrücke in Zürich) lag die Anbindung an einem Knoten anstatt an einem weiter westlich gelegenen Parkplatz, so dass der vor diesem erhobene Zählwert nicht getroffen wurde. Zusätzlich ist im östlichen Teil die Routenwahl ohne ersichtlichen Grund und im Widerspruch zum Zählwert asymmetrisch. Diese Fehler werden durch ein Umhängen der Anbindung (gestrichelt) bzw. durch eine Anpassung der Netzattributierung (Geschwindigkeiten) korrigiert.

Im zweiten Fall (Parkhaus Hohe Promenade in Zürich) ging die Anbindung anstatt auf das Parkhaus auf einen nebenan gelegenen Schulhof. Zudem war hier dem Umstand nicht Rechnung getragen, dass das grosse Parkhaus sicherlich für mehr als nur eine Zone als Anbindungspunkt dient. Auch dies ist ein Fall, in dem umfangreichere Korrekturen der Anbindungen (gestrichelte Linien) notwendig waren.

Abbildung 176 Beispiel fehlerhafte Anbindung und falsches Routing

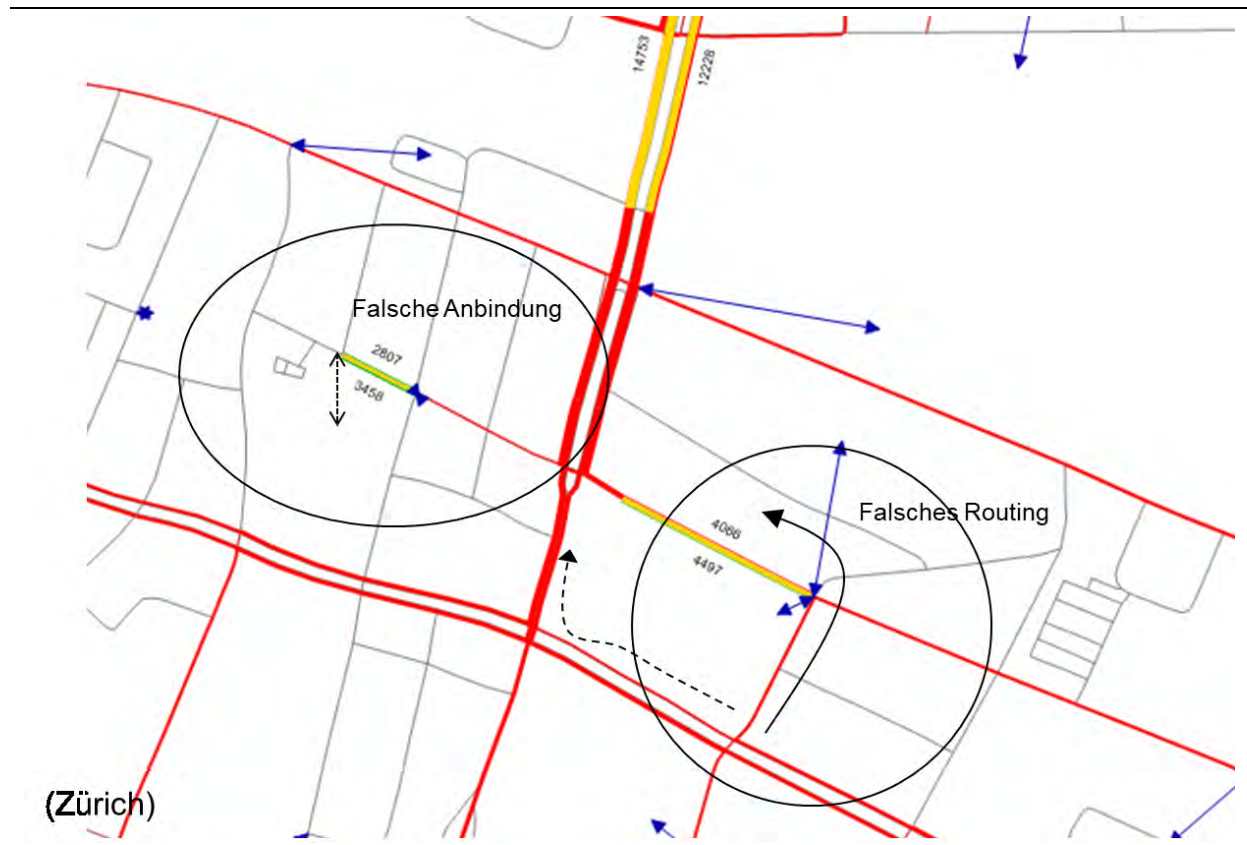
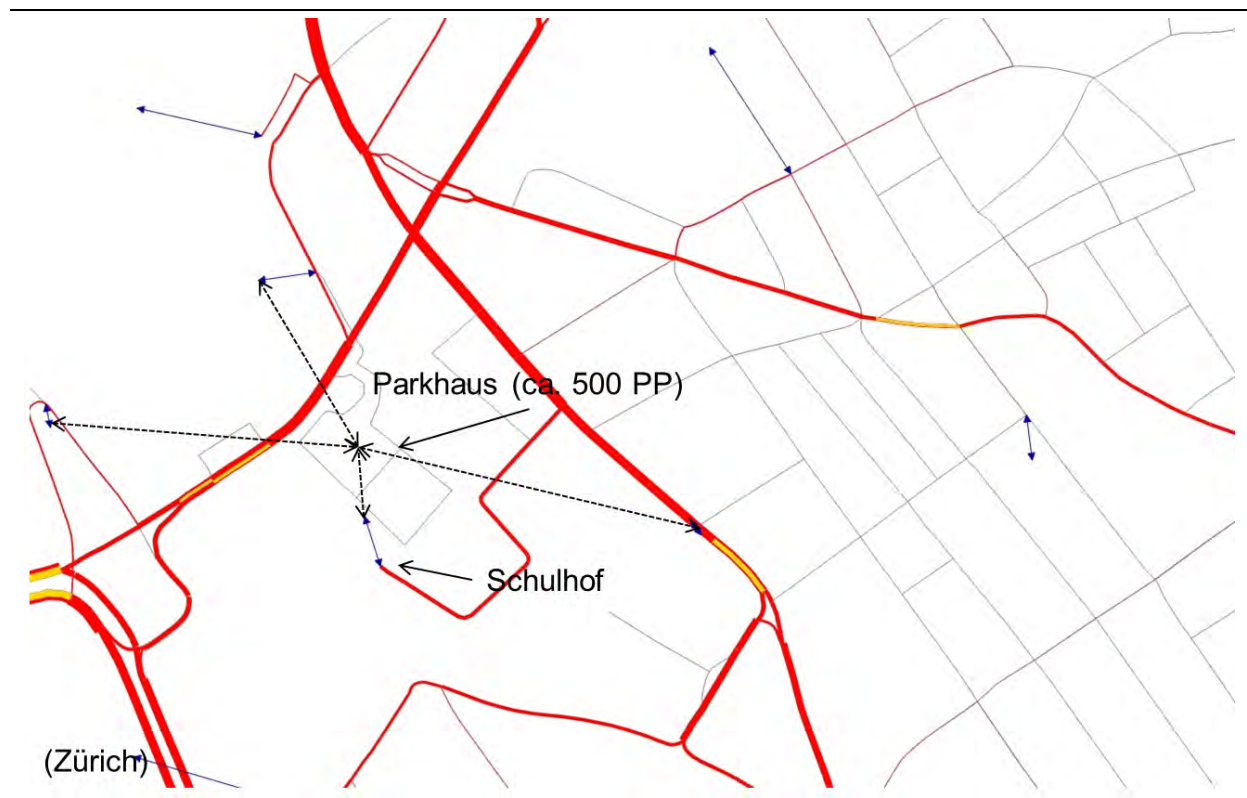


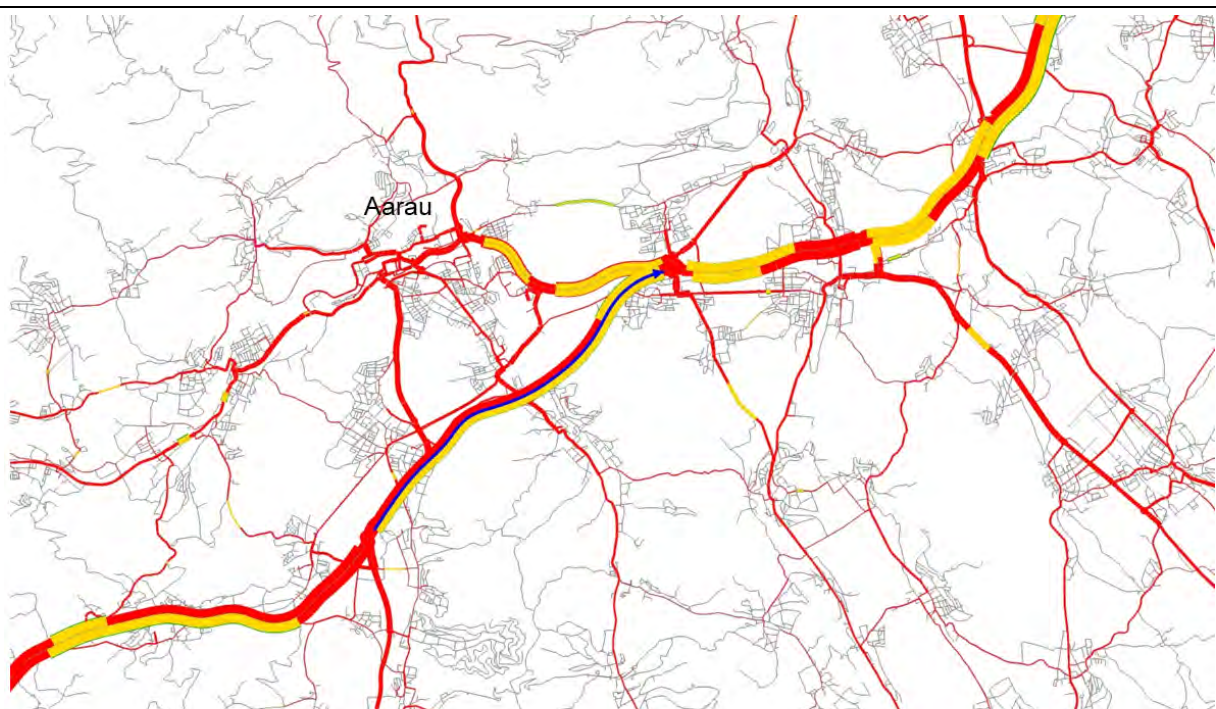
Abbildung 177 Beispiel fehlerhafte Anbindung



Erst im Anschluss an die umfangreiche Überprüfung des Netzmodells und dessen Korrekturen wurde an den Orten, an welchen nach wie vor Abweichungen der Modellbelastungen gegenüber den Zählwerten festgestellt wurden, Korrekturen der Nachfragematrix durchgeführt. Hierfür wird für den betreffenden Strom (welcher für eine oder mehrere Strecken definiert werden kann) eine Spinnenanalyse durchgeführt, also alle Wege dargestellt, welche den betreffenden Netzabschnitt befahren. Diese können als Matrix ausgeschrieben werden. Die Korrektur der Nachfragematrix erfolgt, indem die Spinnenmatrix anteilmässig auf diese addiert oder davon subtrahiert wird.

Ein Beispiel zeigt Abbildung 178. Hier würde die Spinne für den Strom über die markierte Strecke berechnet und dann 6% von deren Matrix auf die Nachfragematrix addiert werden. Bei einer Umlegung der so entstandenen aktualisierten Nachfragematrix auf das Netz würde die Abweichung vom Zählwert auf der betreffenden Strecke entsprechend reduziert.

Abbildung 178 Beispiel Anpassung der Nachfrage



Zählwert: 27'170 PW/Tag
Modellbelastung: 25'578 PW/Tag

→ Erhöhung des Stroms um 6%

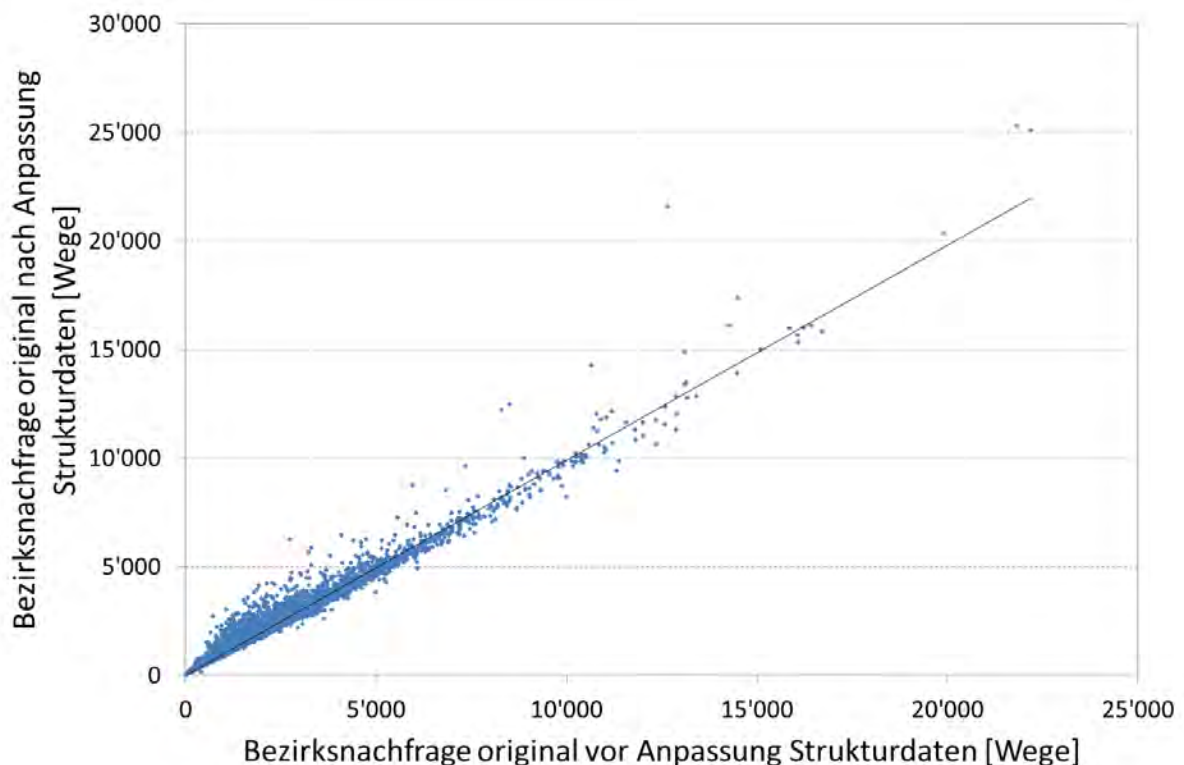
Bei der Nachkalibration der Nachfragematrix wurde systematisch vorgegangen, indem die grössten Abweichungen (gemessen am GEH-Wert) zuerst und nach und nach immer kleiner werdende Differenzen eruiert wurden. Die Gesamtanzahl der so angepassten Ströme, also der Spinnenberechnungen und anteilmässigen Matrixkorrekturen, ist schwer abzuschätzen, der Vorgang dürfte aber über die Gesamtdauer der Modellkalibration ca. 300-500 Mal durchgeführt worden sein. Dieser Aufwand erscheint sehr hoch, ist aber zur Vermeidung eines die Matrixstruktur potenziell verzerrenden automatischen Kalibrationsverfahrens unabdingbar.

Das hier beschriebene Vorgehen ist für den ÖV praktisch identisch, ausser dass bei diesem die Möglichkeiten zur Netzkorrektur auf die Anpassung der Anbindungen beschränkt sind (da das Angebot durch den hinterlegten Fahrplan vorgegeben ist).

Finale Anpassung von Modellgrundlagen

Im Anschluss an die Kalibration der Umlegungsmodelle wurden noch Unstimmigkeiten bei den Modellgrundlagen identifiziert, die einen letztmaligen Austausch der Strukturdaten sowie die Neuberechnung der Zonenschwerpunkte und Anbindungslängen bedingten. Wie nachstehend aufgezeigt wird, führten diese Korrekturen zu Abweichungen zwischen den Nachfragematrizen, die vor den Anpassungen in die Nachkalibration eingingen (als Ergebnis aus Modellzustand 2 inkl. Netzkorrekturen) und den nach den Anpassungen (Austausch Strukturdaten, Korrektur Zonenschwerpunkte/Anbindungslängen) neu berechneten. Zudem wurden, wie es bei Verkehrsmodellen üblich ist, die Kenngrössenmatrizen mit dem kalibrierten Modell nochmals komplett neu berechnet. Veränderungen entstanden dann hier vor allem bei den PW-Fahrtzeiten und den ÖV-Auslastungen sowie bei den Zu- und Abgangszeiten, da wie eingangs beschrieben die Zonenschwerpunkte und Anbindungslängen neu berechnet wurden. Das Nachfragemodell wurde mit dem so entstandenen finalen Satz an Eingangsdaten nochmals laufen gelassen. Hierdurch ergaben sich neue, finale „unkalibrierte“ Matrizen aus dem Nachfragemodell, die nicht mehr ganz genau jenen entsprachen, welche die Grundlage für die Kalibration der Umlegungsmodelle bildeten. Es war folglich zu prüfen, wie hoch die Abweichungen zwischen den beiden unkalibrierten Matrizen aus dem Nachfragemodell ausfallen. Wie Abbildung 179 zeigt, sind die Differenzen im Allgemeinen wenig ausgeprägt. Dort, wo sie vorhanden sind, sind sie auf die veränderten Strukturdaten zurückzuführen und somit erklärbar.

Abbildung 179 Differenzen vor vs. nach Austausch der Strukturdaten: Randsummen (PW + ÖV)



Die Abweichungen zwischen den kalibrierten und den unkalibrierten Nachfragematrizen (nach finaler Anpassung der Modellgrundlagen) sind auch auf Zonenebene gering, wie Abbildung 180 (PW), Abbildung 181 (ÖV) und Abbildung 182 (Summe PW + ÖV) zeigen. Auch dies zeugt von einer relativ guten Stabilität der berechneten Nachfrage und einer nur geringfügigen Anpassung durch die Kalibration, insbesondere was die Gesamtnachfrage im motorisierten Verkehr betrifft (Abbildung 182). Die durch die Kalibration entstandenen Verschiebungen betreffen also insbesondere lokale Korrekturen des Modal Split, welche Sinn und Zweck der Kalibration sind, verändern

die Gesamtnachfrage aber auch auf der Ebene der einzelnen Verkehrszonen nicht wesentlich. Dies zeigt auch die Verteilung der berechneten *GEH*-Werte (Definition siehe S. 242) als Indikator der kombinierten absoluten und relativen Abweichung zwischen unkalibrierter und kalibrierter Bezirksnachfrage in Abbildung 183.

Auch auf der Ebene der Quell-Ziel-Beziehungen sind im Allgemeinen keine grösseren Verzerrungen zu verzeichnen, wie die Verteilungen der Veränderungen in Abbildung 184 zeigen. Insgesamt ist die kalibrierte Nachfrage also gegenüber den Ursprungsmatrizen aus dem Nachfragemodell sehr stabil geblieben.

Abbildung 180 Differenzen ohne vs. mit Kalibration: Randsummen (PW)

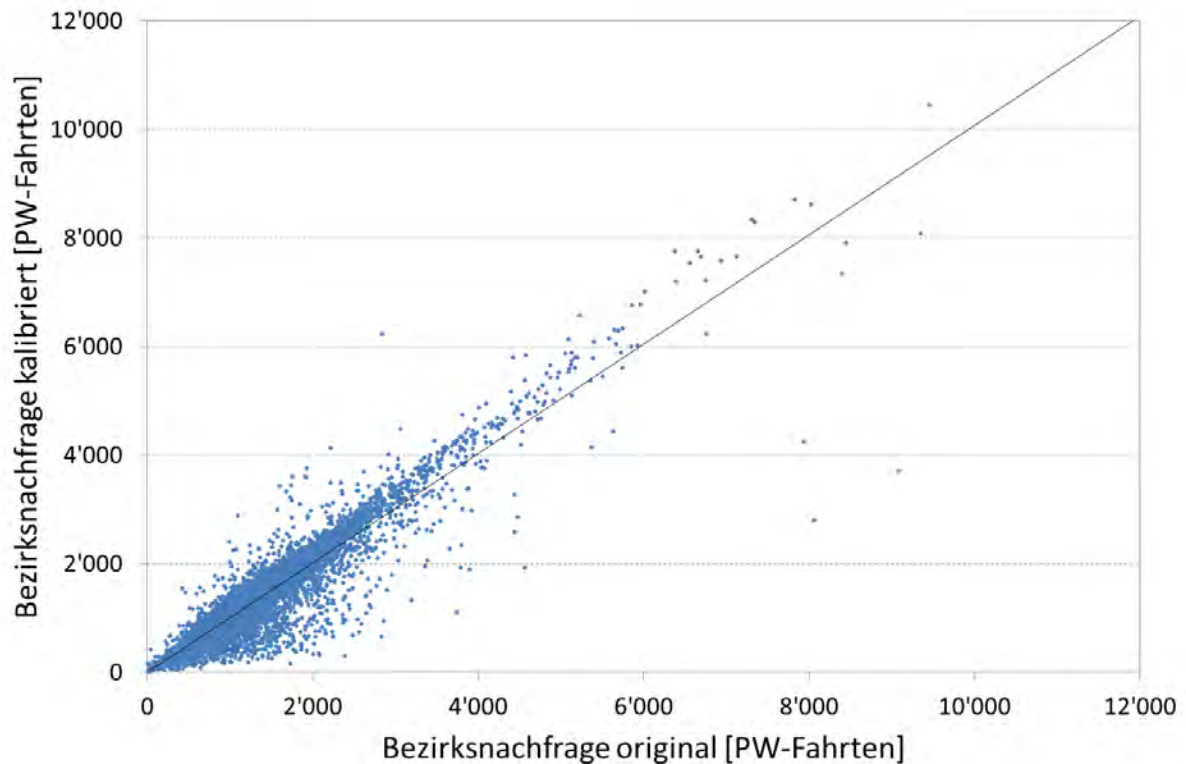


Abbildung 181 Differenzen ohne vs. mit Kalibration: Randsummen (ÖV)

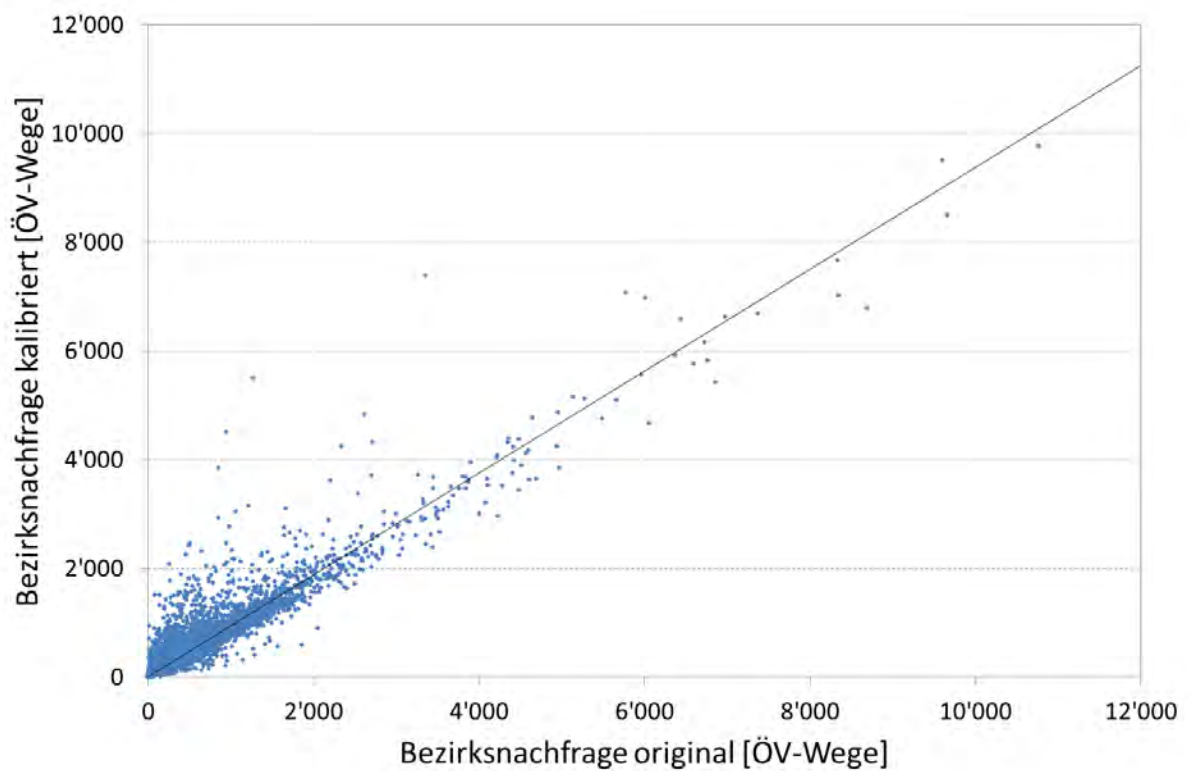


Abbildung 182 Differenzen ohne vs. mit Kalibration: Randsummen (PW + ÖV)

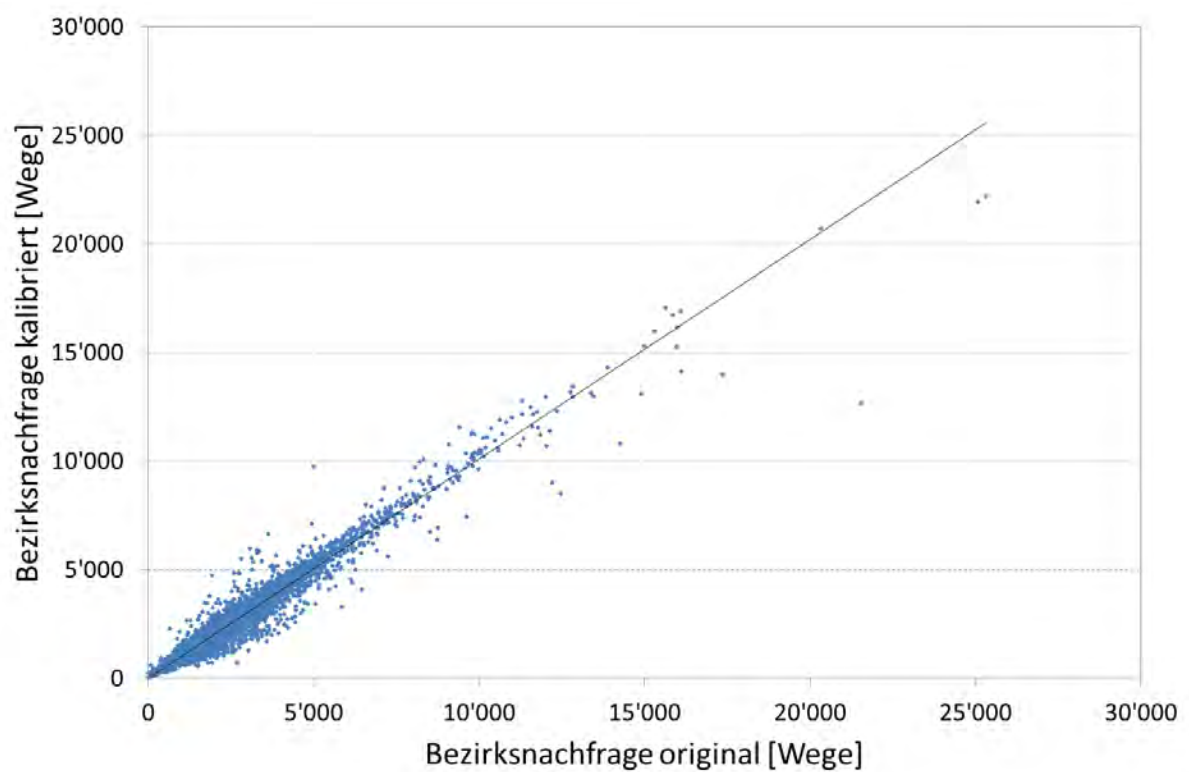


Abbildung 183 Differenzen ohne vs. mit Kalibration: GEH-Werte

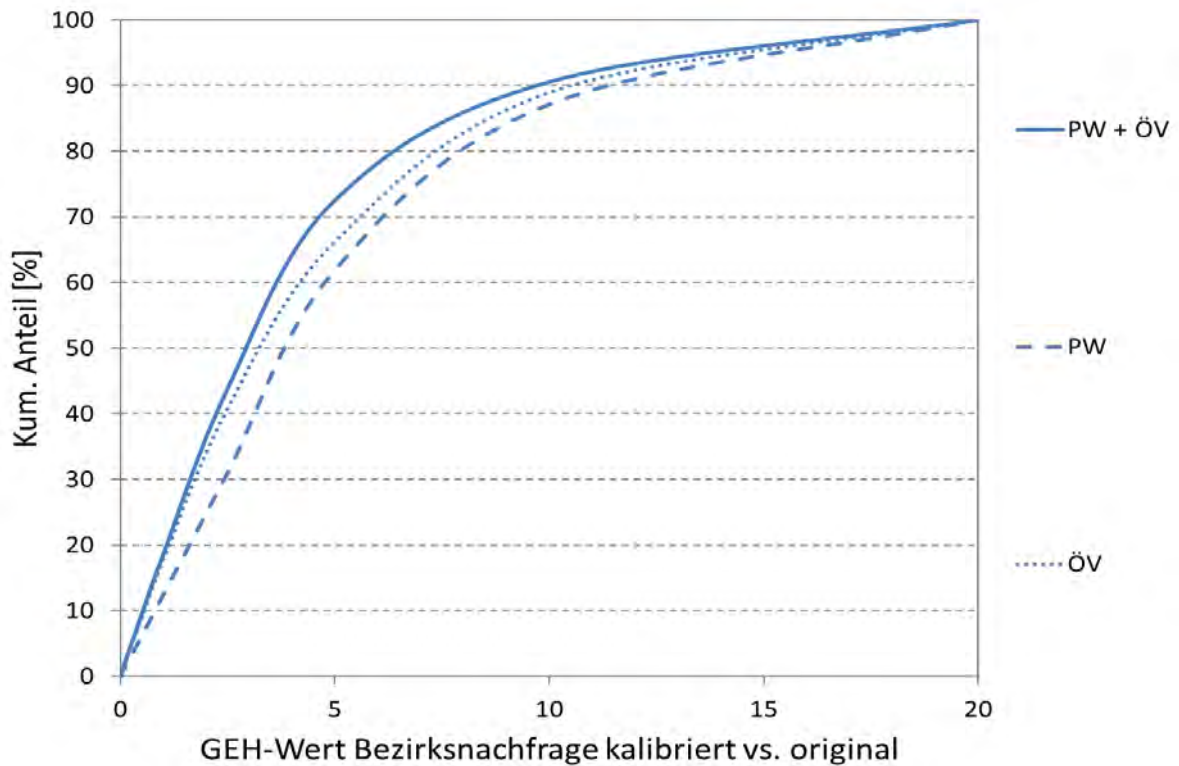
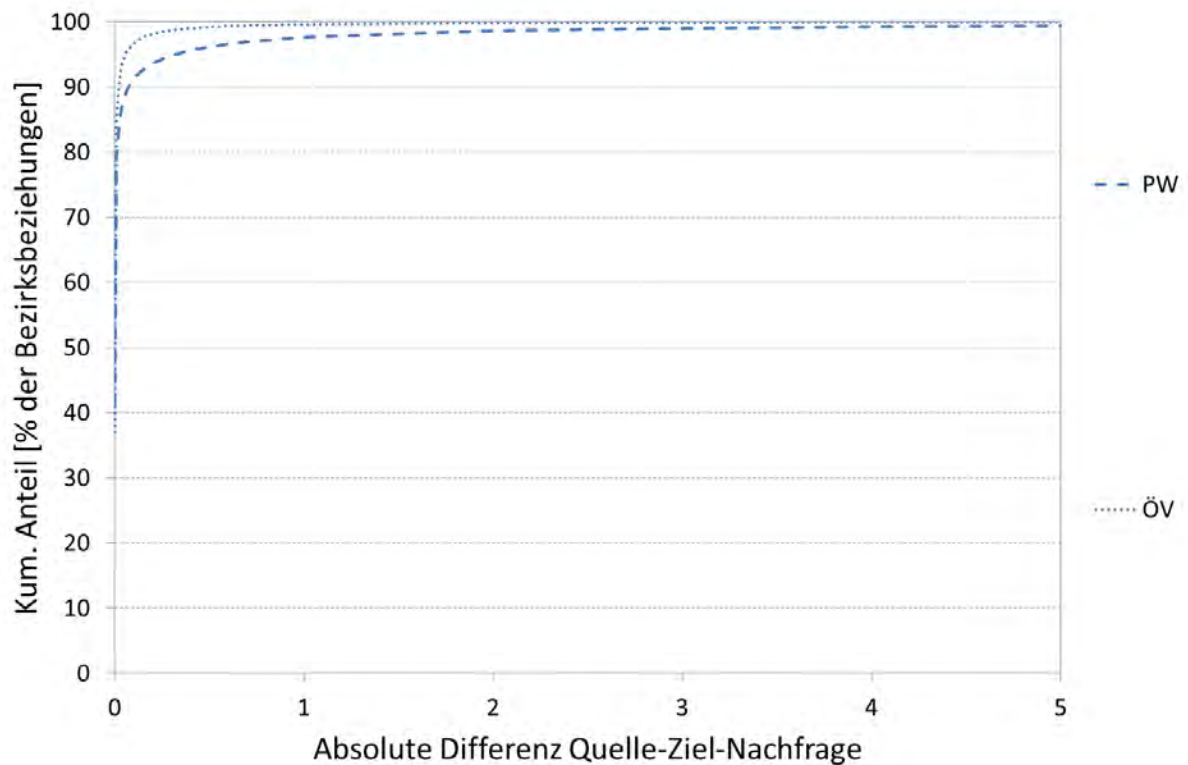


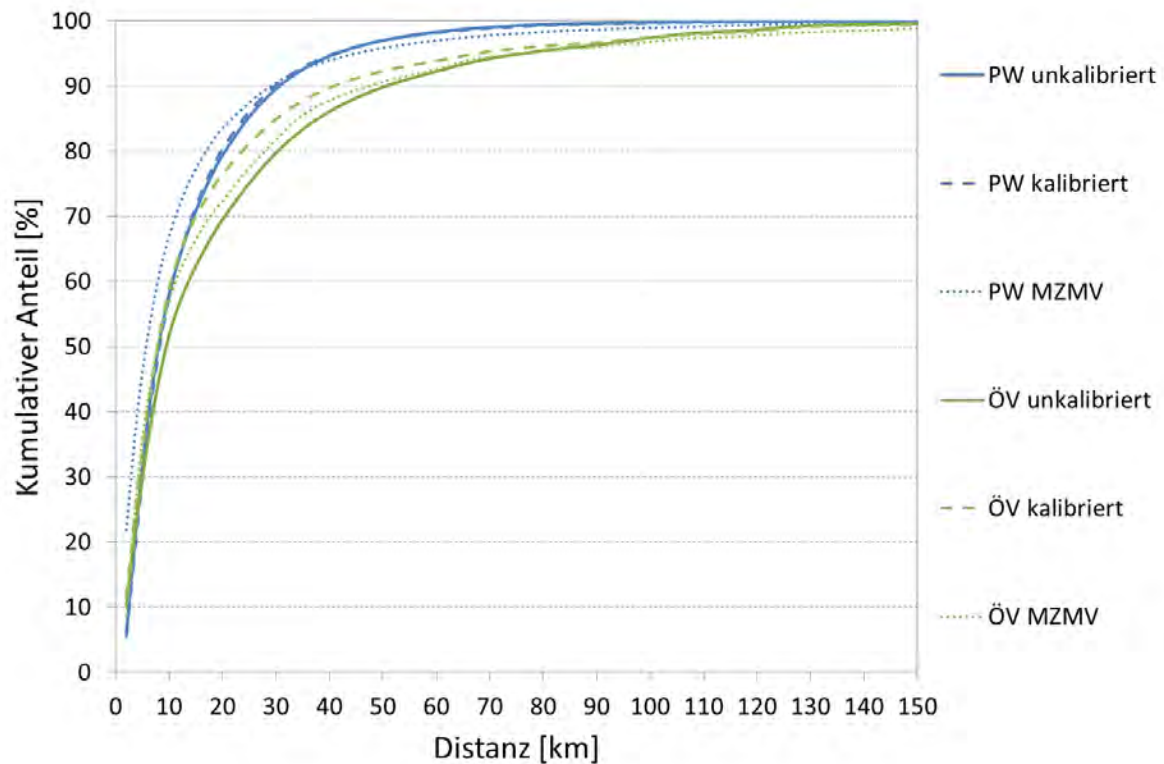
Abbildung 184 Differenzen ohne vs. mit Kalibration: Randsummen (PW + ÖV)



Weglängenverteilungen

Die Verteilung der Weglängen im Binnenverkehr, welche ebenfalls ein Indikator für die Stabilität der Matrixstruktur ist, verändert sich durch die Kalibration nur marginal, wie Abbildung 185 zeigt.

Abbildung 185 Weglängenverteilung ohne vs. mit Kalibration (Binnenverkehr)



Veränderung der Nachfrage aufgrund der Nachkalibration

Ein wichtiges Kriterium für die Prüfung der Konsistenz der Matrixstruktur ist die Veränderung der Gesamtnachfrage durch die Nachkalibration. Wie Tabelle 69 zeigt, sind die Veränderungen zwischen den unkalibrierten (auf den finalen Modellgrundlagen basierenden) Nachfragematrizen und den kalibrierten Matrizen sehr gering und liegen unter den Werten, wie sie aus anderen Verkehrsmodellen (z.B. die GVM Zürich, Zug, Bern, Solothurn, Aargau, Luzern, Tessin) bekannt sind. Dies ist als Indikator zu verstehen für eine bereits relativ gute Qualität der aus dem Nachfragemodell resultierenden Ausgangsmatrizen.

Tabelle 69 Veränderung der Gesamtnachfrage durch die Kalibration

Binnenverkehr		
	PW [Fahrten]	ÖV [Wege]
Matrixsumme unkalibriert (aus Nachfragemodell)	11'027'616	4'213'960
Matrixsumme kalibriert	10'869'107	4'173'451
Differenz	-1.4%	-1.0%
Aussenverkehr		
	PW [Fahrten]	ÖV [Wege]
Matrixsumme unkalibriert	909'485	110'437
Matrixsumme kalibriert	905'135	102'106
Differenz	-0.5%	-7.5%
Gesamtverkehr (inkl. Flugpassagiere)		
	PW [Fahrten]	ÖV [Wege]
Matrixsumme unkalibriert	11'969'691	4'371'659
Matrixsumme kalibriert	11'806'832	4'322'983
Differenz	-1.4%	-1.1%

Übereinstimmung mit Zählwerten

Das Hauptziel der Kalibration der Umlegungsmodelle ist wie erwähnt die Herstellung einer möglichst guten Übereinstimmung zwischen Modell- und Zählwerten, unter Einhaltung der genannten strukturellen Rahmenbedingungen. Nachfolgende Abbildungen geben einen Überblick über die schweizweiten Netzbelastungen im kalibrierten DWV-Modell sowie die Verteilung der Zählwerte im Netz. In Rot sind die Streckenbelastungen ersichtlich, in Gelb die Zählstellen bzw. -Werte: Eine Überlagerung der gelben und roten Streckenbalken bzgl. der Breite bedeutet eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Modell- und Zählwert.

Abbildung 186 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV)

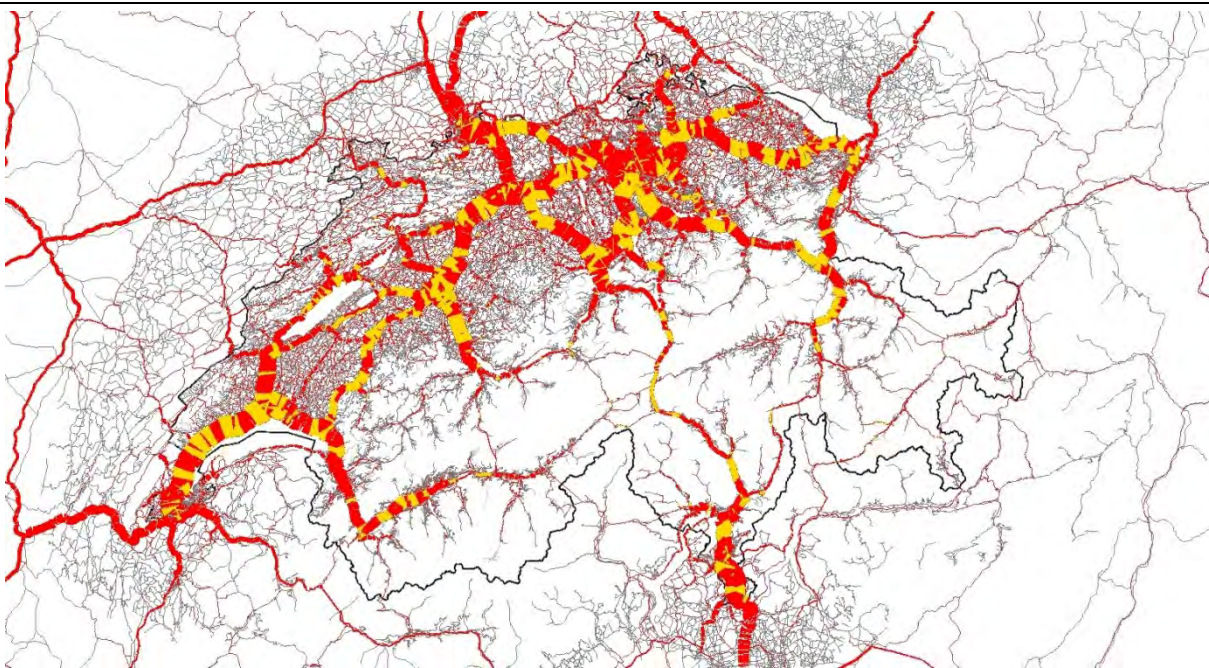


Abbildung 187 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV): Zoom Stadt Zürich

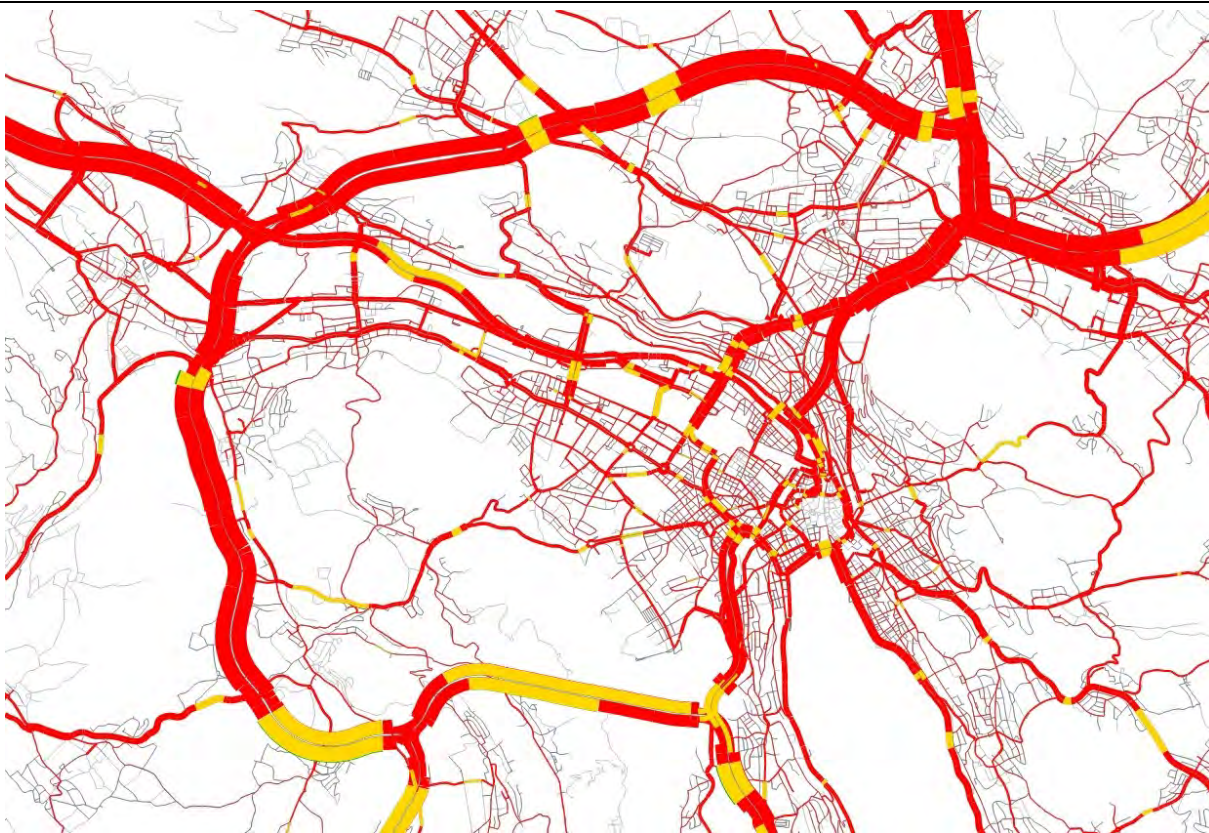


Abbildung 188 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV): Zoom Stadt Zürich, Kreise 1 – 5



Abbildung 189 Netzbelastungen MIV (PW) (DWV): Zoom Kanton Aargau

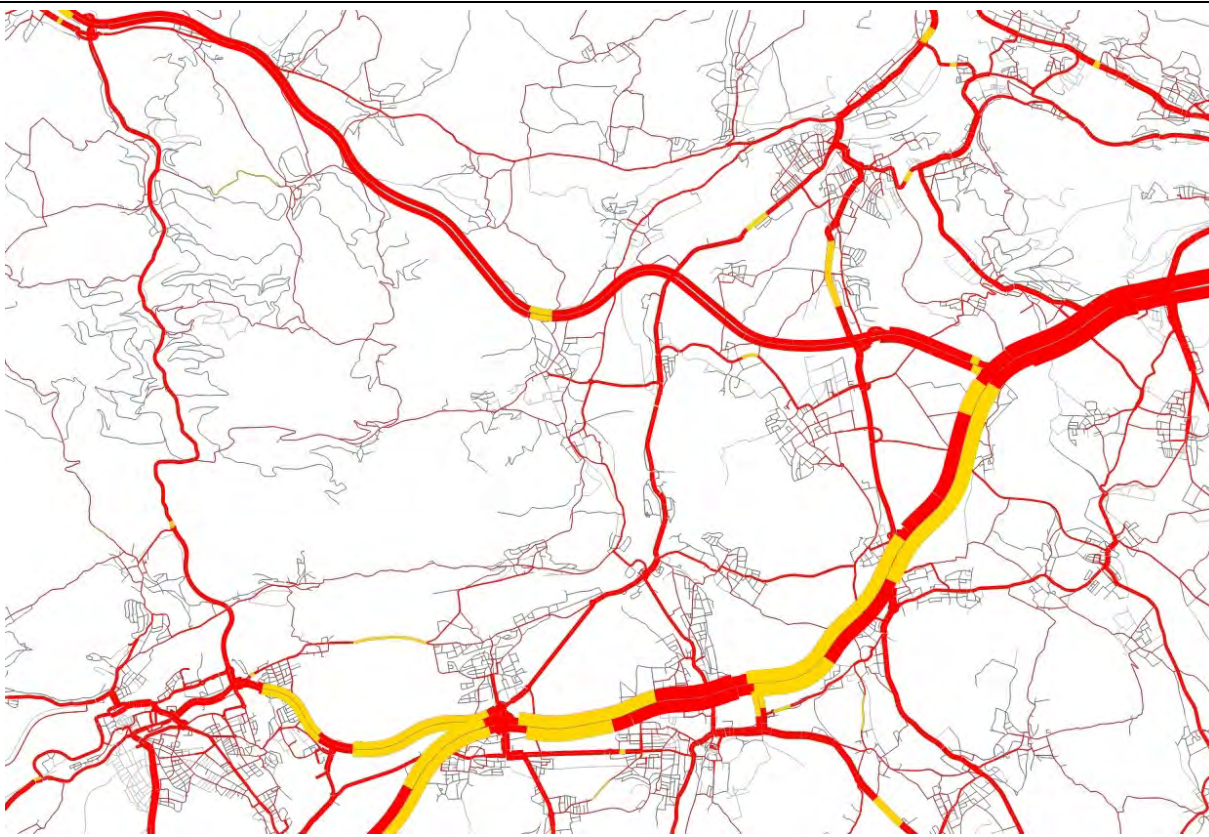


Abbildung 190 Netzbelastungen ÖV (DWV)

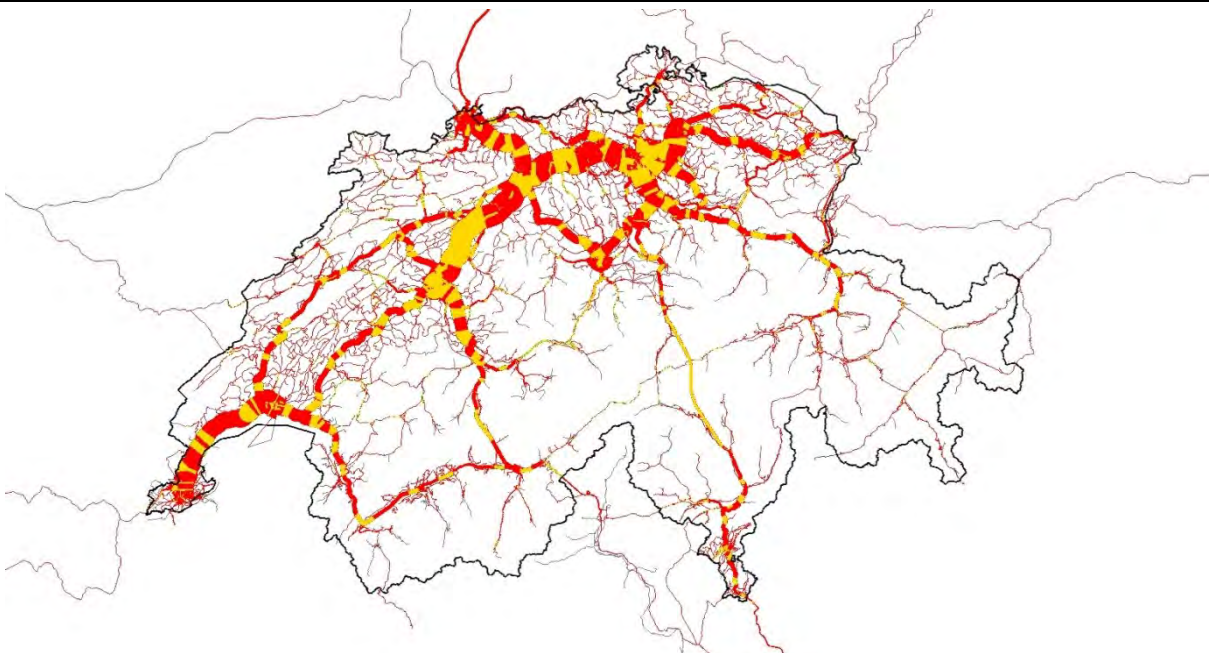


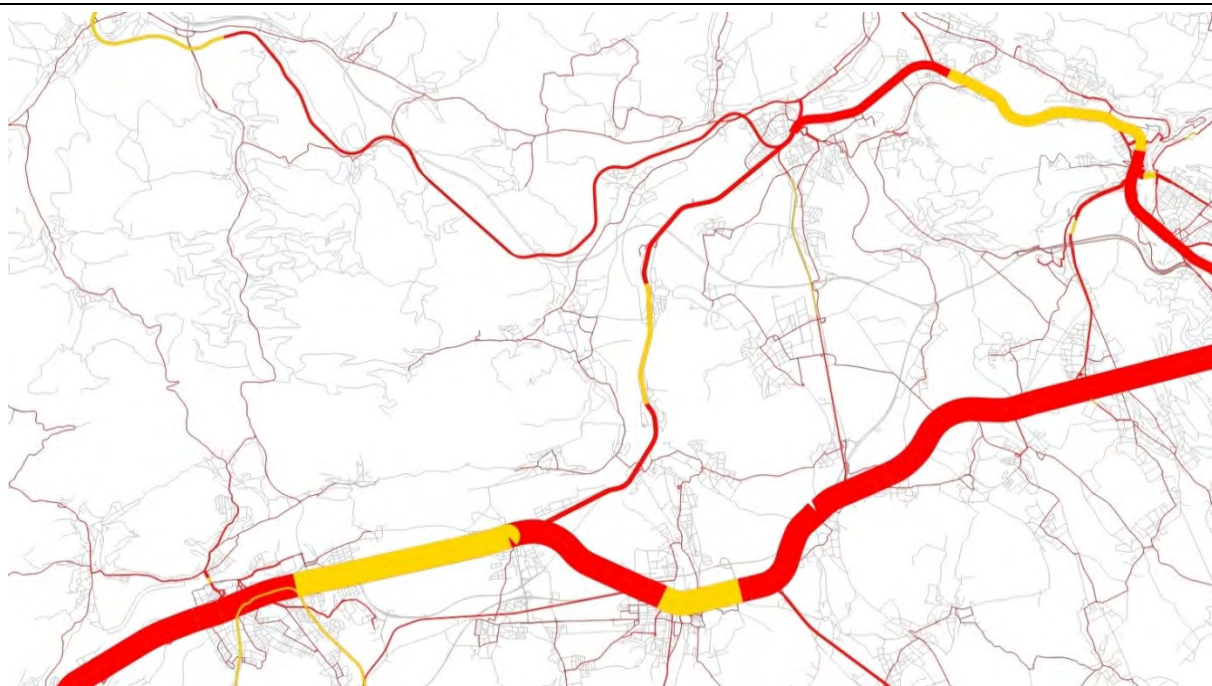
Abbildung 191 Netzbelastungen ÖV (DWV): Zoom Stadt Zürich



Abbildung 192 Netzbelastungen ÖV (DWV): Zoom Stadt Zürich, Kreise 1 – 5



Abbildung 193 Netzbelastungen ÖV (DWV): Zoom Kanton Aargau



Aufschlussreicher sind die Darstellungen der Gegenüberstellung der Modell- und Zählwerte (sogenannte Umlegungsanalysen), die in den folgenden Abbildungen gezeigt werden:

- Abbildung 194 für den PW, unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
- Abbildung 195 für den PW, nur für ASTRA-Zählstellen;
- Abbildung 196 für den Gesamt-MIV (PW+LI+LW+LZ), unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
- Abbildung 197 für den Gesamt-MIV, nur für ASTRA-Zählstellen;
- Abbildung 198 für den ÖV, unter Berücksichtigung aller Zählwerte;
- Abbildung 199 für den ÖV, , nur für Bahnstrecken.

Die mittlere relative Abweichung zwischen Modell- und Zählwert liegt in allen Fällen unter 5%, was einem sehr guten Kalibrationsergebnis entspricht.

Ein weiterer Qualitätsindikator für die Übereinstimmung zwischen Modell und Zählungen ist der sogenannte *GEH*-Wert (Rieser *et al.*, 2018, S. 41). Dieser wird für jeden einzelnen Datenpunkt (also jede Beobachtung eines Zählwerts) wie folgt berechnet:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (M - C)^2}{M + C}}$$

C Zählwert

M Modellwert

Der *GEH*-Wert leitet sich aus dem geometrischen Mittel aus absoluter und relativer Abweichung zwischen Modell- und Zählwert ab.

Im Pflichtenheft des Auftraggebers gefordert ist die Einhaltung folgender Grenzwerte für die *GEH*-Werte:

- Werte ≤ 12 für 85% aller PW-Zählwerte $\rightarrow$ eingehalten für 97.1%;
- Werte ≤ 10 für 90% aller ASTRA-Zählwerte $\rightarrow$ eingehalten für 95.2%;
- Werte ≤ 12 für 85% aller ÖV-Zählwerte $\rightarrow$ eingehalten für 95.8%;
- Werte ≤ 10 für 90% aller SBB-/Bahn-Zählwerte $\rightarrow$ eingehalten für 96.3%.

Die vorgegebenen Toleranzen werden also für sämtliche *GEH*-Teilmengen eingehalten, wie auch Abbildung 200 zeigt. Die Ziele der Kalibration der Umlegungsmodelle auf die verfügbaren Zählwerte wurden also vollumfänglich erreicht.

Abbildung 194 Umlegungsanalyse MIV (PW, alle Zählstellen), kalibriertes Modell

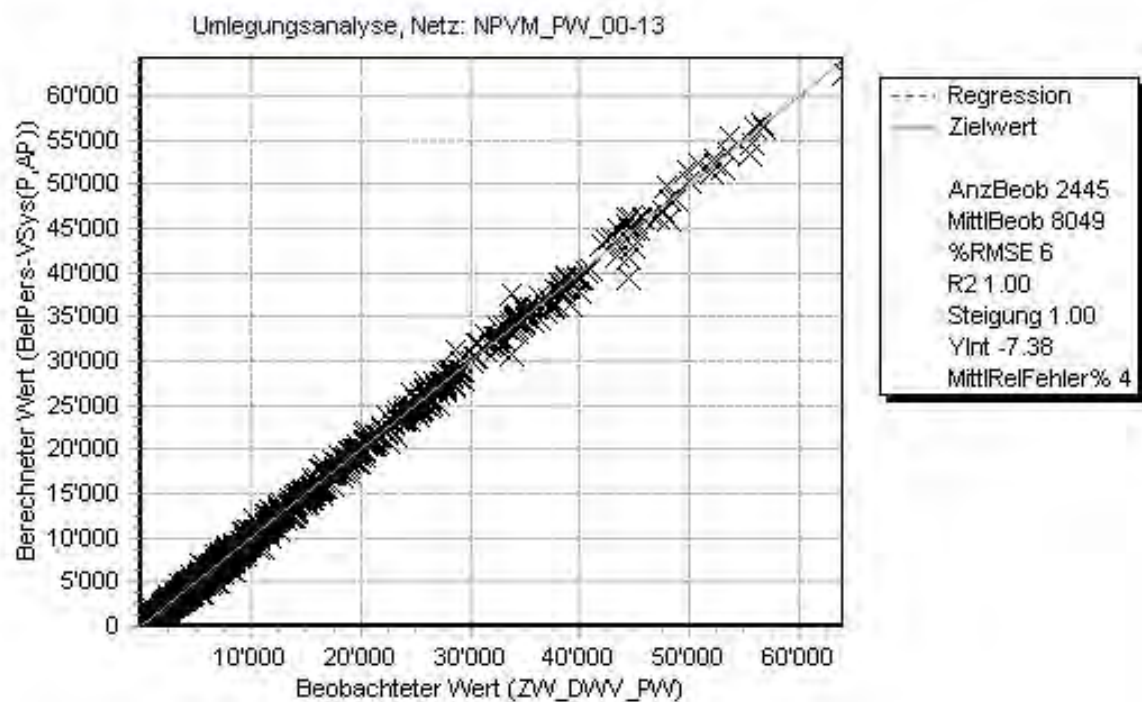


Abbildung 195 Umlegungsanalyse MIV (PW, nur ASTRA-Zählstellen), kalibriertes Modell

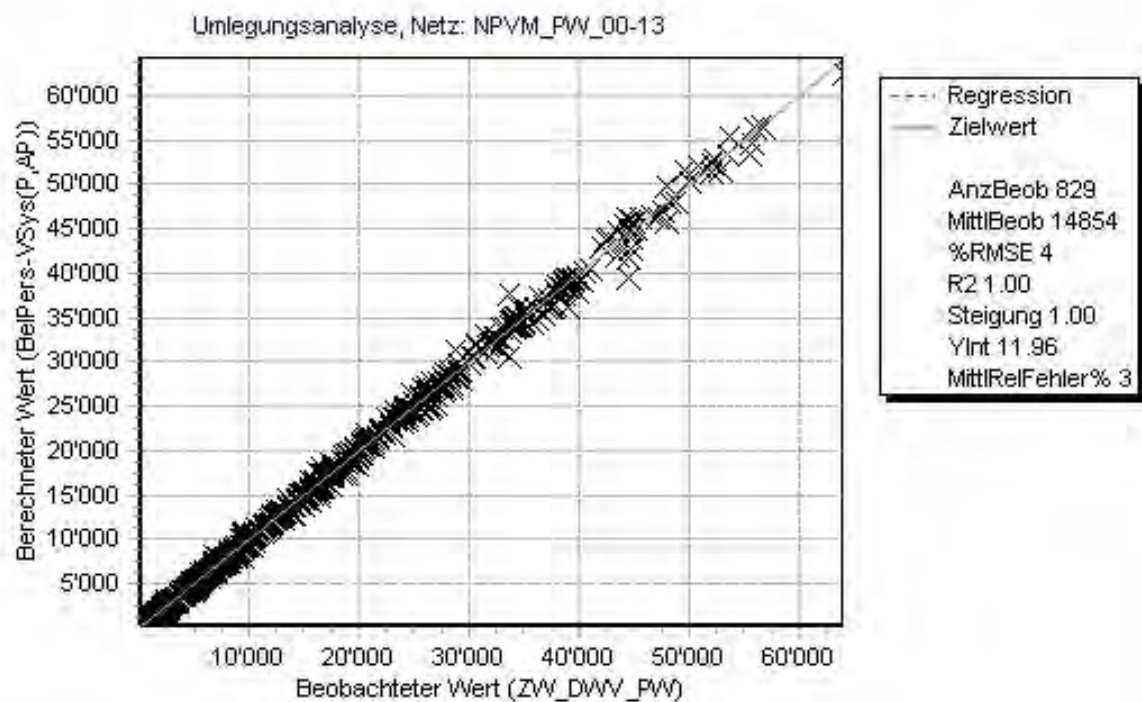


Abbildung 196 Umlegungsanalyse MIV (FZG, alle Zählstellen), kalibriertes Modell

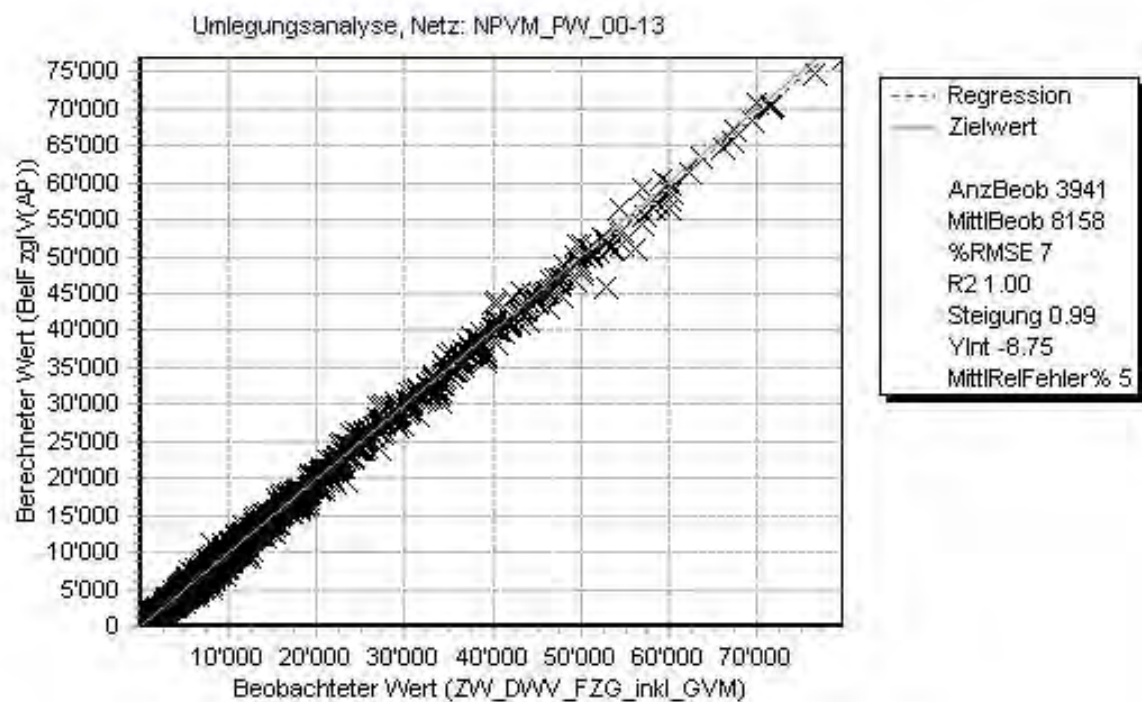


Abbildung 197 Umlegungsanalyse MIV (FZG, nur ASTRA-Zählstellen), kalibriertes Modell

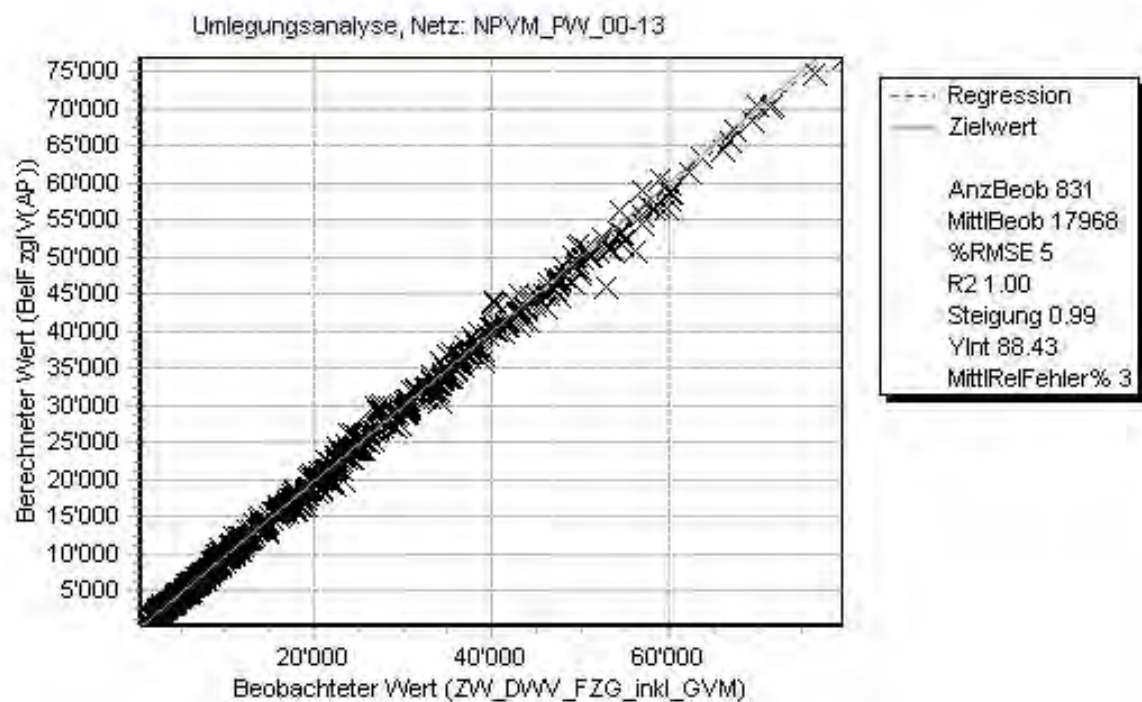


Abbildung 198 Umlegungsanalyse ÖV (alle Zählwerte), kalibriertes Modell

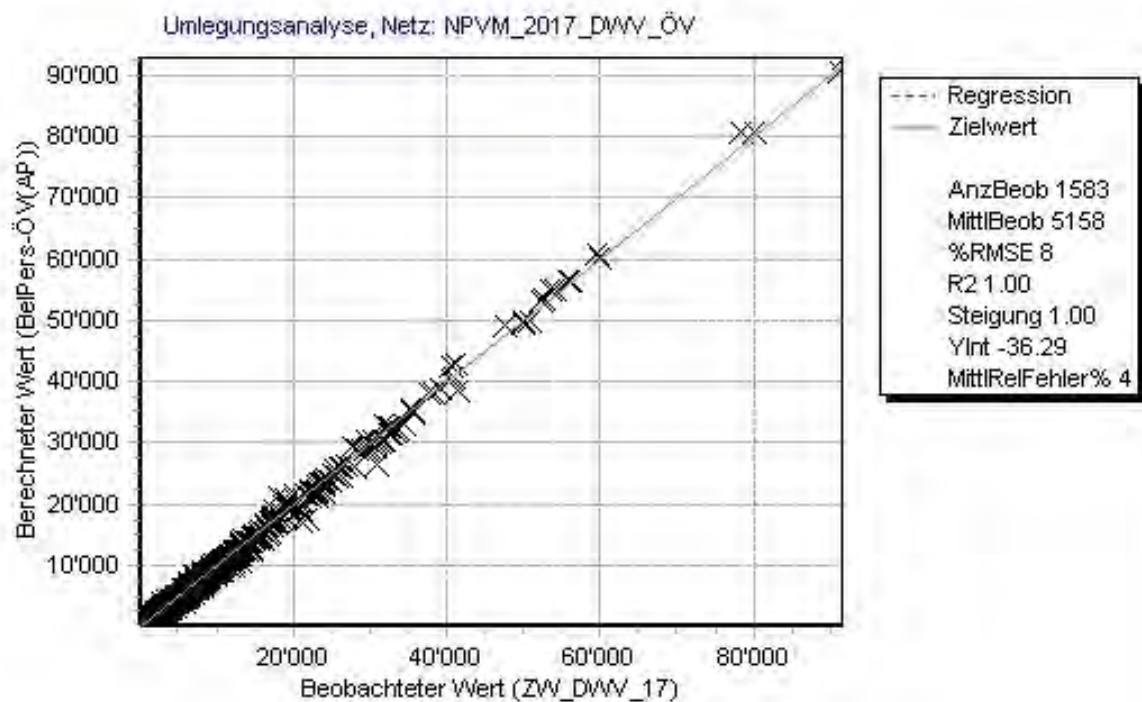


Abbildung 199 Umlegungsanalyse ÖV (nur Bahn), kalibriertes Modell

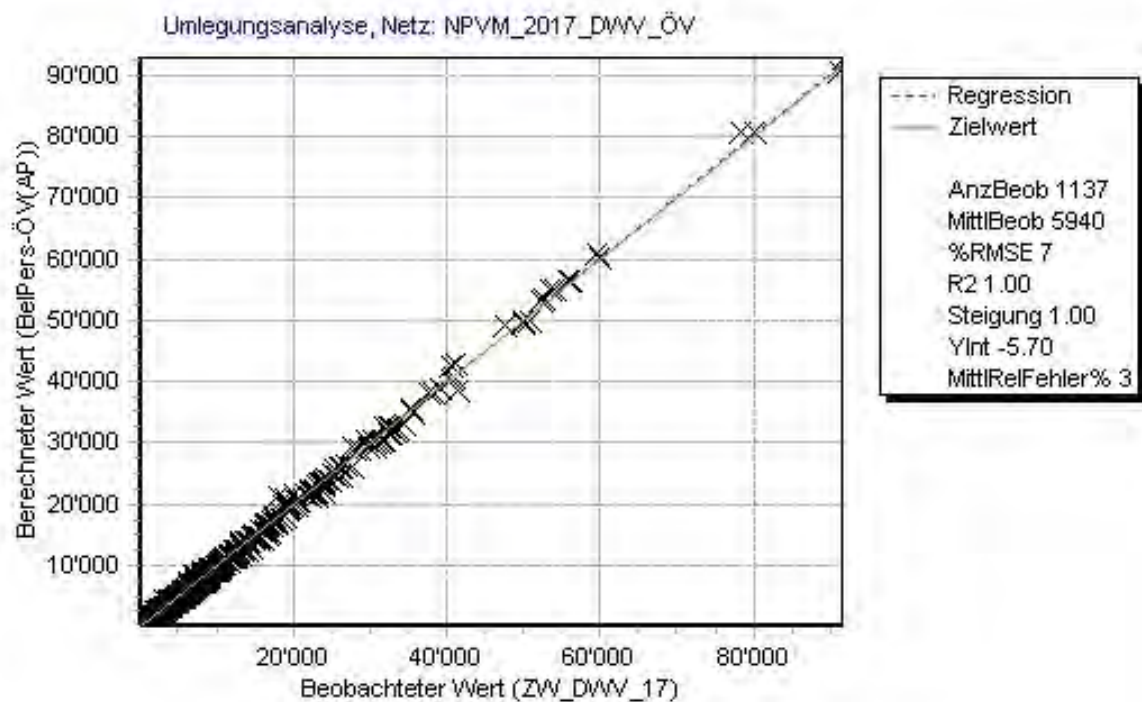
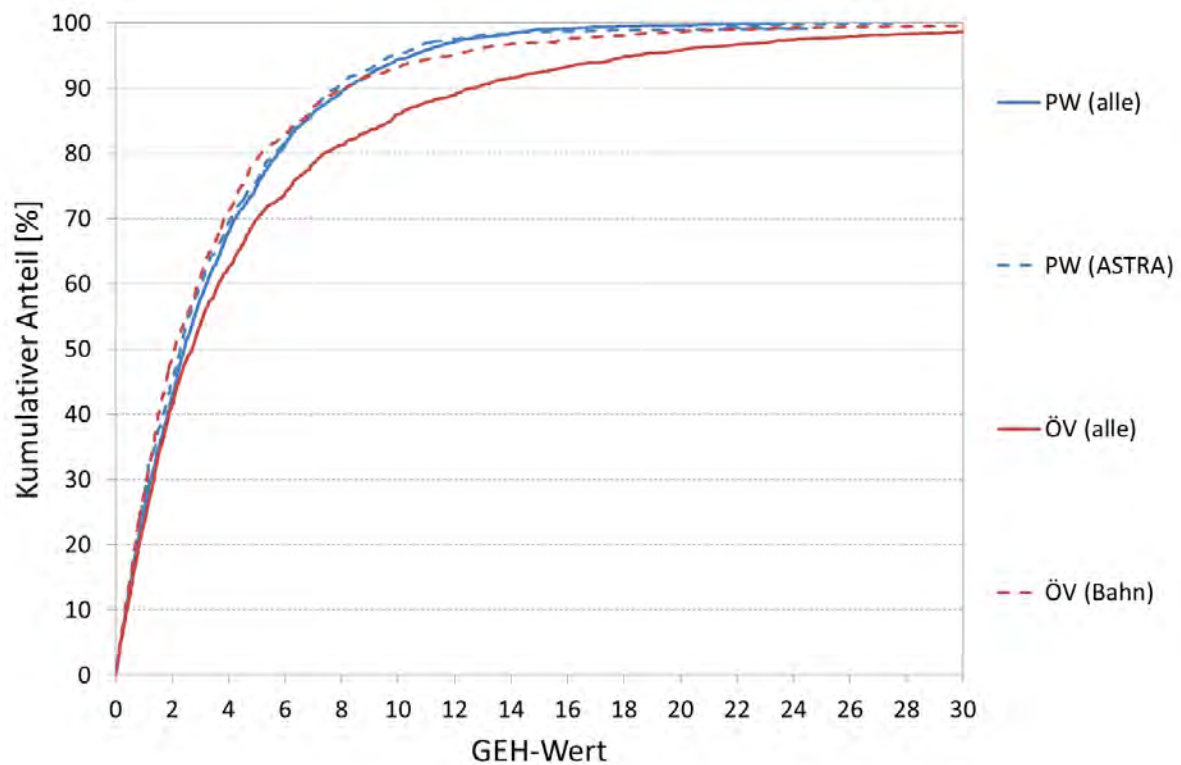


Abbildung 200 Verteilung der GEH-Werte (DWV)



Eine Detailauswertung der Modellbelastungen wurde für die Alpenübergänge und Fahrzeugverlade durchgeführt; die Ergebnisse sind in Tabelle 70 ersichtlich. Zu den Zählwerten der Verlade Lötschberg, Vereina und Simplon ist anzumerken, dass diese den Strassengüterverkehr beinhalten, welcher im Rahmen dieses Projekts nicht neuerlich kalibriert wurde. Somit ist eine bessere Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den Zählwerten hier nicht zu erreichen. Dennoch werden auch hier die verlangten *GEH*-Werte knapp eingehalten.

Tabelle 70 Alpenübergänge und Verlade

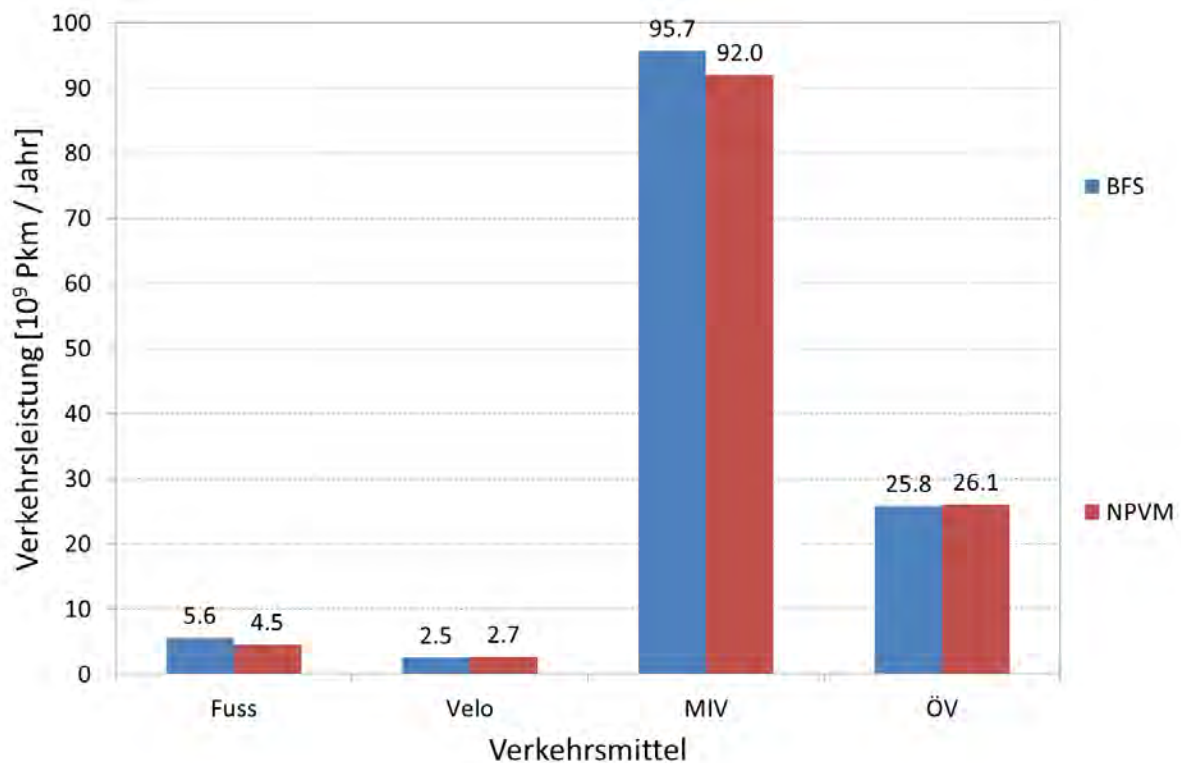
Querschnitt	Zählwert	Modellwert	Differenz	GEH
Gotthard	12'196	11'962	-1.9%	3.8
San Bernardino	5'035	5'287	+5.0%	3.0
Grand St. Bernard	1'545	1'561	+1.0%	2.5
Autoverlad Lötschberg	3'081	3'561	+15.6%	5.9
Autoverlad Vereina	1'362	2'060	+51.2%	11.9
Autoverlad Simplon	406	485	+19.5%	3.7
Gotthard-Basistunnel	9'745	9'374	-3.8%	4.6
Lötschberg-Basistunnel	13'054	13'379	+2.5%	3.3

Fahr- und Verkehrsleistungen

Ein weiteres Kriterium für die Modellqualität ist der Abgleich der resultierenden Fahr- und Verkehrsleistungen des kalibrierten Modells mit den Zahlen des BFS (2018). Dieser ist in Abbildung 201 dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass das vom AG ausgegebene Ziel einer Abweichung von maximal $\pm 8\%$ im motorisierten Verkehr übertroffen wurde. Im MIV liegt die Abweichung bei -4% , im ÖV bei $+2\%$. Hier ist anzumerken, dass die Zahlen des BFS ebenfalls auf einer Hochrechnung des MZMV 2015 basieren und somit inhärent auch Konfidenzbereichen unterliegen. Das bedeutet, dass die BFS-Vergleichswerte nicht als feste Zielvorgaben aufzufassen sind, vielmehr sollten beide Methoden (BFS-Hochrechnung und NPVM-Modellierung) zu in der Grössenordnung ähnlichen, wenn auch nicht identischen, Ergebnissen führen.

Im Fussverkehr ergeben sich etwas grössere Abweichungen. Hier lag der Fokus bei der Kalibration des Nachfragemodells auf der Reproduktion der Verhältnisse zwischen intra- und interzonalem Verkehr aus dem MZMV 2015. Zudem kann der Langsamverkehr nicht auf Zählwerte kalibriert werden, womit hier etwas grössere relative Abweichungen toleriert werden müssen.

Abbildung 201 Fahr- und Verkehrsleistungen



3 Anwendungen

3.1 Sensitivitäten und Prognosen

3.1.1 Versuchsplanung zur Modellprüfung

Das NPVM 2017 bildet unter anderem die Modellgrundlage für die Berechnung und Bewertung der Schweizer Verkehrsperspektiven bis 2050. Vor diesem Hintergrund ist es von grosser Wichtigkeit, dass das erstellte Analyse-Modell ein robustes und zuverlässiges Werkzeug darstellt, welches plausibel und realitätsnah prognostische Änderungen und Massnahmen abbilden und berechnen kann. Im Rahmen der Modellprüfung wird deshalb das Modellverhalten in Form von Sensitivitätstests analysiert.

Die Sensitivitätstests wurden mit einem weitgehend kalibrierten Modellzustand durchgeführt, der die im Rahmen der Modellkalibration angepassten Mobilitätsraten, die angepassten Parameter der Bewertungsfunktionen sowie Zusatzvariablen für die Bewertung enthält. Damit entsprach die Version der Sensitivitätstest in etwa dem Modellzustand 2 (d.h. vorgängig zur Kalibration auf die Zählraten sowie mit einer nicht finalen Version der Strukturdaten). Für alle Sensitivitätstest wurde dieselbe ausiterierte ÖV-Auslastungsmatrix verwendet, die während der jeweiligen Iterationsschritte unverändert blieb. Eine Ausnahme davon stellt der Sensitivitätstest 04 dar, bei welchem die iterative Änderung der ÖV-Auslastungsmatrix Gegenstand des Modelltests ist (siehe Abschnitt „Detailbetrachtung Sensitivitätstest 04“).

Mit dem weitgehend kalibrierten Modellzustand wurde zunächst ein vollständiger Modelllauf bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums durchgeführt, welcher den Referenzlauf für alle weiteren Modelltests darstellt. Darauf aufbauend wurden acht Sensitivitätstests gerechnet. Um dabei Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigen zu können, wurde das Nachfragemodell für die Sensitivitätstests auf Prognose umgestellt.

Für die Sensitivitätsanalyse ist es wichtig, dass Modellanpassungen definiert werden, die eine eindeutige Zuordnung der ermittelten Effekte zu den eingestellten Anpassungen zulässt. Ziel ist also eine klare und eindeutige Zuordnung der Ursache-Wirkungs-Beziehung.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurden die folgende Modelltests durchgeführt:

1. Sensitivitätstest 01: Reduzierung der IV-Reisezeit um 10%;
2. Sensitivitätstest 02: Reduzierung der IV-Reisezeit um 25%;
3. Sensitivitätstest 03: Reduzierung der ÖV-Reisezeit um 25%;
4. Sensitivitätstest 04: wie Sensitivität 03 plus iterative Änderung der ÖV-Auslastungsmatrix;
5. Sensitivitätstest 05: Wegfall der Grundaufwände, d.h. der 1.54 CHF für PW sowie der 3 CHF für GA-Fahrten;
6. Sensitivitätstest 06: Erhöhung der ÖV-Kosten um 25%;
7. Sensitivitätstest 07: Erhöhung der IV-Kosten um 25%;
8. Sensitivitätstest 08: Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50%.

Die Sensitivitätsanalyse umfasst für jeden Modelltest prinzipiell die folgenden Schritte:

1. Anpassung der Modellversion (Referenzfall) gemäss dem jeweiligen Sensitivitätstest;
2. Durchführung eines vollständigen Modelllaufs bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums;
3. Auswertung des Modelllaufs unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte:
 - a. Rechenzeiten und Konvergenzverhalten;

- b. Ecksummen der Nachfragematrizen und der Fahr-/ Verkehrsleistung;
- c. Berechnung der Modellelastizitäten; auf Ebene der Matrixecksummen sowie auf Ebene (aggregierter) Matrixrelationen.

Anpassung der Modellversion gemäss dem jeweiligen Sensitivitätstest

Tabelle 71 führt die jeweiligen Modellanpassungen auf, die für die einzelnen Sensitivitätstests vorgenommen wurden. Auf die Modellanpassungen zur (vereinfachten) Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix im Sensitivitätstest 04 wird im Abschnitt „Detailbetrachtung Sensitivitätstest 04“ näher eingegangen.

Tabelle 71 Modellanpassungen für die einzelnen Sensitivitätstests

Sensitivitätstest	Anpassungen am NPVM
01: Reduzierung der IV-Reisezeit um 10%	Einheitliche Erhöhung der Streckengeschwindigkeit v0 um 10%
02: Reduzierung der IV-Reisezeit um 25%	Einheitliche Erhöhung der Streckengeschwindigkeit v0 um 25%
03: Reduzierung der ÖV-Reisezeit um 25%	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix 141 RITA mit Faktor 0.75
04: Reduzierung der ÖV-Reisezeit um 25% und iterative Änderung der ÖV-Auslastungsmatrix	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix 141 RITA mit Faktor 0.75; Anpassungen am Verfahrensablauf zur (vereinfachten) Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix in jedem Iterationsschritt
05: Wegfall der Grundaufwände	IV: $BdA_C_PWKosten_Grundaufwand = 0$ (Grundaufwand für PW auf null gesetzt) ÖV: Verwendung einer ÖV-Kostenmatrix ohne Grundaufwände
06: Erhöhung der ÖV-Kosten um 25%	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix 149 FAR mit Faktor 1.25
07: Erhöhung der IV-Kosten um 25%	$BdA_C_PWKosten_Grundaufwand = 1.54 * 1.25 = 1.92$ Multiplikation der IV-Kenngrössenmatrix 135 KOS_PW mit Faktor 1.25
08: Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50%	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix 145 EJT mit Faktor $2/3^{12}$ Multiplikation der konstanten ÖV-Auslastungsmatrix mit Faktor $2/3$

Auswertung der Sensitivitätstests

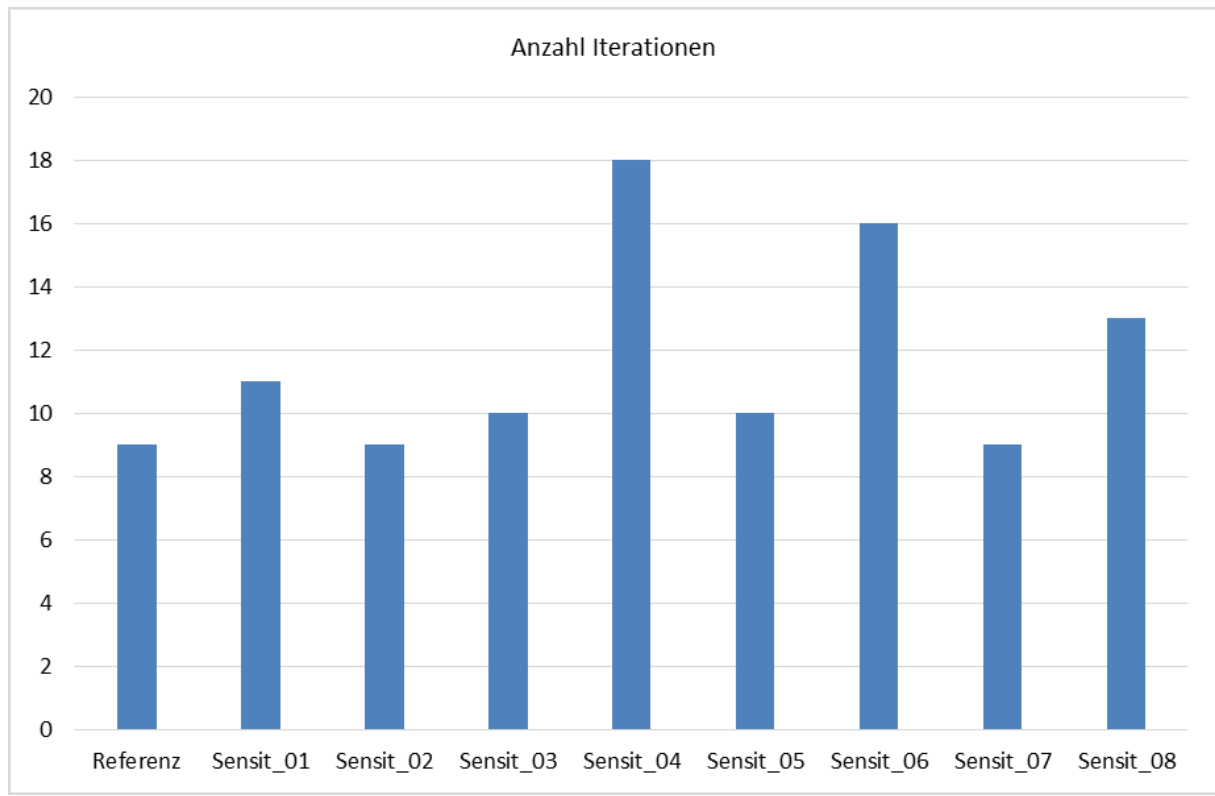
Konvergenzverhalten

Für alle Sensitivitätstests wurde ein vollständiger Modelllauf durchgeführt, der bis zum Erreichen des jeweiligen Konvergenzzustandes iterierte. Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl der benötigten Iterationsschritte für die jeweiligen Rechenläufe. Es zeigt sich, dass überwiegend eine ähnliche Anzahl an Iterationsschritten benötigt wurde wie für den Referenzlauf (9 bis 11 Schritte). Eine deutlich grössere Anzahl an Iterationsschritten tritt bei den Sensitivitätstests 04, 06 und 08 auf. Die grösste Anzahl an Iterationsschritten (18 Schritte) weist der Sensitivitätstest 04 auf, was darauf zurückzuführen ist, dass sich bei diesem Modelltest die ÖV-Auslastungsmatrix in jedem Iterationsschritt ändert. Bei den anderen Modellläufen wurde mit einer konstanten ÖV-Auslastungsmatrix

¹² Die Matrix 145 EJT wird im Modell als Fahrzeugfolgezeit-Matrix verwendet. Die Multiplikation mit Faktor $2/3$ reduziert die Fahrzeugfolgezeit in dem Umfang, wie es der Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50 Prozent entspricht.

gerechnet. Mit 16 Iterationsschritten weist auch der Sensitivitätstest 06 eine deutlich höhere Anzahl an Iterationsschritten als der Referenzfall auf. In diesem Fall führt die Erhöhung der ÖV-Kosten zu einer deutlichen Verlagerung des Verkehrs vom ÖV zum MIV. Die daraus resultierende höhere Auslastung des Strassennetzes wirkt sich negativ, d.h. rechenzeitverlängernd auf das Konvergenzverhalten aus. Die höhere Anzahl an Iterationsschritten im Sensitivitätstest 08 weist auf das Auftreten punktuell auftretender Klappströme hin, die zu einer etwas höheren Schrittzahl bis zum Erreichen des Konvergenzzustandes führt.

Abbildung 202 Anzahl Iterationen je Sensitivitätstest



Ecksummen der Nachfragematrizen

Die nachfolgenden Abbildungen stellen für die Ecksummen der Nachfragematrizen die jeweiligen Ergebnisse der Sensitivitätstests dem Ergebnis des Referenzlaufs gegenüber. Es ist zu beachten, dass die Ecksummen der PW-Nachfragematrizen PW-Fahrten darstellen, während die Ecksummen der Nachfragematrizen für ÖV, Velo und Fuss Personenwege als Einheit haben. Im Sinne der Übersichtlichkeit und der besseren Vergleichbarkeit ist die Ergebnisdarstellung auf 2 Abbildungen aufgeteilt.

Abbildung 203 zeigt den Ergebnisvergleich für die Sensitivitäten 01 bis 04. Betrachtet man die Ergebnisse der Sensitivitätstests und des Referenzlaufs, so sprechen die Veränderungen in den Nachfragematrizen sowohl von der Wirkungsrichtung als auch von ihrer Quantität für ein plausibles und realistisches Modellverhalten. Die Reduzierungen der IV-Reisezeit (Sensitivitätstests 01 und 02) bewirken einen entsprechenden Zuwachs an PW-Fahrten bei gleichzeitigem Rückgang der Wege für ÖV, Velo und Fuss. Die Reduzierung der ÖV-Reisezeit (Sensitivitätstests 03 und 04) bewirkt gegenüber dem Referenzlauf einen entsprechenden Zuwachs an ÖV-Fahrten bei gleichzeitigem Rückgang der Fahrten mit PW und Velo sowie der Fusswege. Die Unterschiede zwischen Sensitivitätstest 03 (Berechnung mit konstanter ÖV-Auslastungsmatrix) und Sensitivitätstest 04 (Änderung der ÖV-Aus-

lastungsmatrix in jedem Iterationsschritt) fallen in Hinblick auf die Ecksummen der Nachfragematrizen sehr gering aus. Der Zuwachs der ÖV-Fahrten fällt bei konstanter Auslastungsmatrix etwas höher aus, die iterative Neuberechnung der Auslastungsmatrix im Sensitivitätstest 04 bewirkt eine zusätzliche, marginale Dämpfung der ÖV-Steigerung. Die Reaktionen des Modells auf Änderungen der Reisezeiten für IV und ÖV werden als erwartungskonform und plausibel eingeschätzt.

Abbildung 203 Vergleich der Ecksummen der Nachfragematrizen für die Sensitivitätstests 01 bis 04

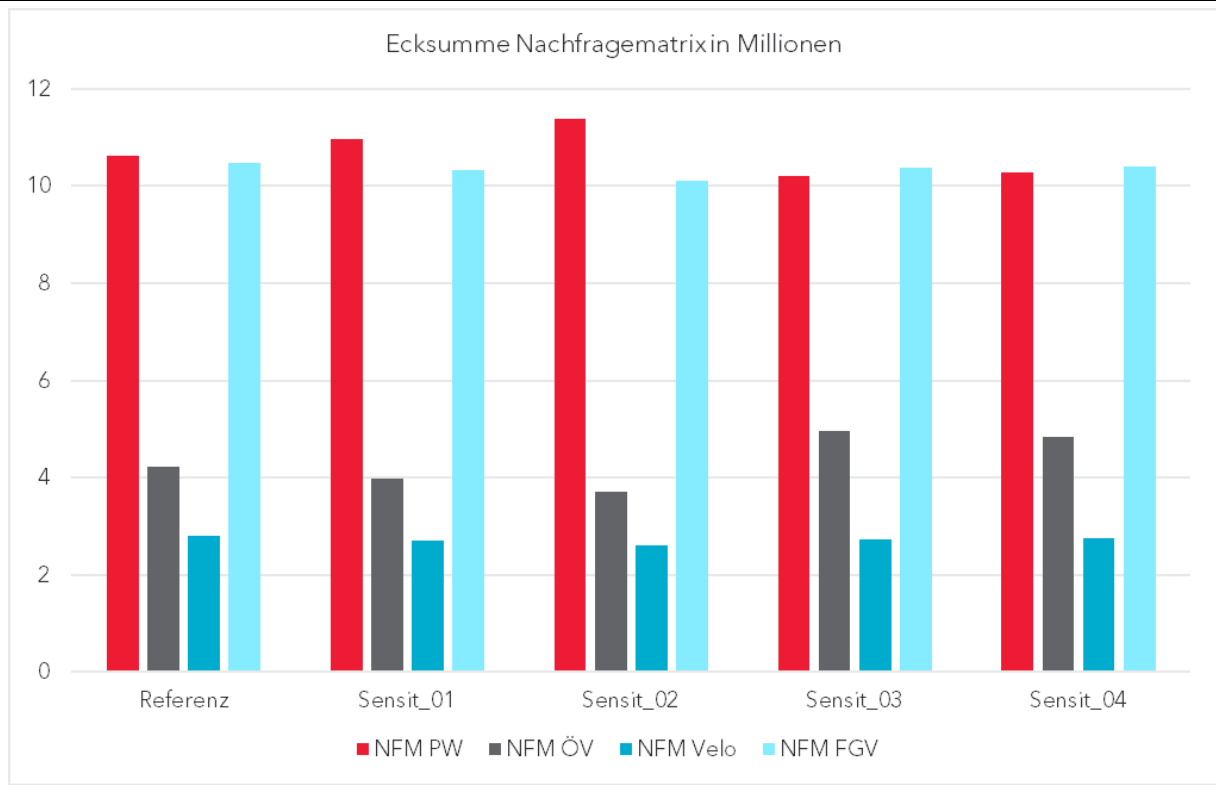


Abbildung 204 Vergleich der Ecksummen der Nachfragematrizen für die Sensitivitätstests 05 bis 08

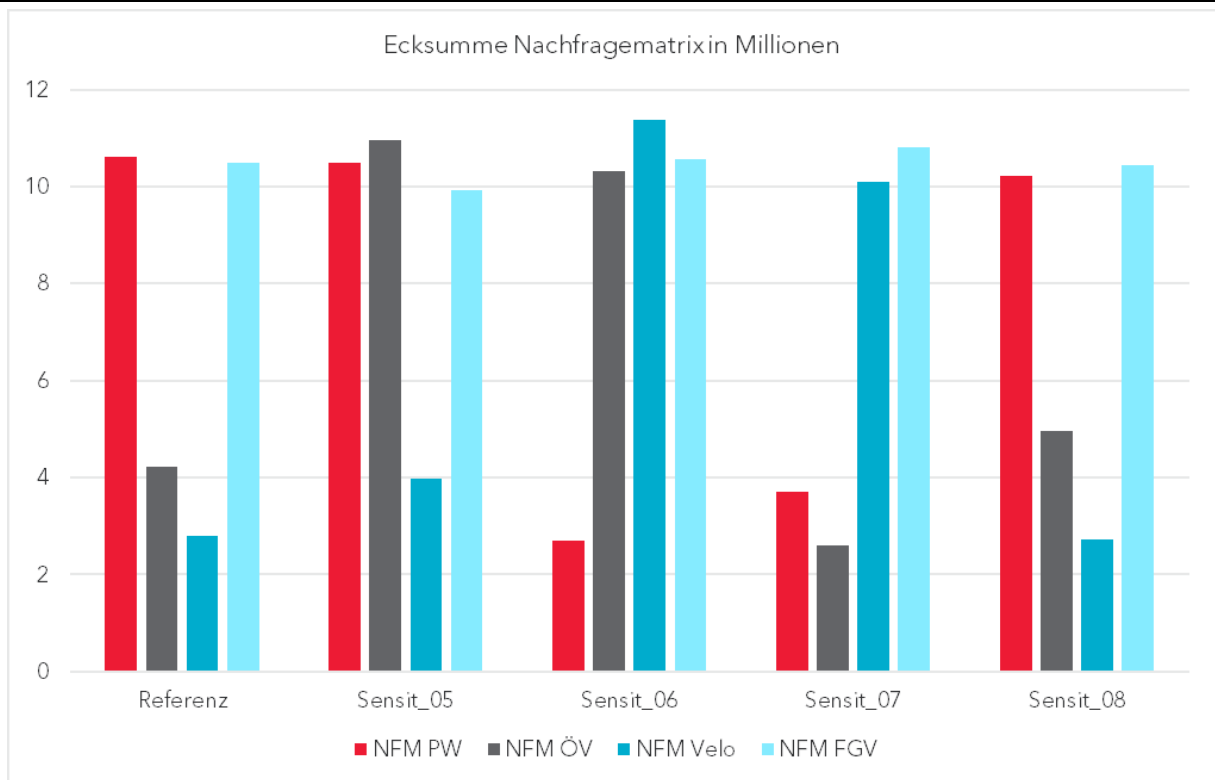


Abbildung 204 zeigt die Ergebnisdarstellung für die Sensitivitäten 05 bis 08. Die Erhöhung der ÖV-Kosten (Sensitivitätstests 06) bewirkt einen entsprechenden Rückgang an ÖV-Fahrten bei gleichzeitigem Zuwachs der Fahrten mit PW und Velo sowie der Fusswege. Die Erhöhung der IV-Kosten (Sensitivitätstest 07) bewirkt gegenüber dem Referenzlauf einen entsprechenden Rückgang der PW-Fahrten bei gleichzeitigem Zuwachs an ÖV- und Velo-Fahrten sowie Fusswegen. Die Reaktionen des Modells auf Änderungen der Kosten für IV und ÖV fallen erwartungskonform aus. Der Wegfall der Grundaufwände (Sensitivitätstest 05) bewirkt sowohl eine Reduzierung der IV-Kosten als auch eine Reduzierung der ÖV-Kosten. Da der Kosten-Rückgang beim IV deutlich stärker ausfällt als beim ÖV, bei dem «nur» die Grundkosten von 3 CHF für Fahrten mit dem GA wegfallen, ist ein Zuwachs der PW-Fahrten zu beobachten, während die Anzahl mit ÖV-, Velo- und Fusswege im Vergleich zum Referenzlauf sinkt. Die Reaktionen des Modells auf Änderungen der Kosten für IV und ÖV werden als erwartungskonform und plausibel eingeschätzt. Ebenso liefert der Sensitivitätstest 08, bei dem eine Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50 Prozent untersucht wurde, erwartungskonforme und plausible Ergebnisse. Die Verbesserung der Bedienungshäufigkeit führt im Vergleich zum Referenzfall zu einem leichten Zuwachs der ÖV-Fahrten; die Fahrten mit PW und Velo sowie die Fusswege gehen entsprechend zurück.

Ecksummen der Fahr-/ Verkehrsleistung

Die nachfolgenden Abbildungen stellen für die Ecksummen der Fahr- bzw. Verkehrsleistung die jeweiligen Ergebnisse der Sensitivitätstests dem Ergebnis des Referenzlaufs gegenüber. Die Beobachtungen der Modellergebnisse und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen in Hinblick auf die Wirkungsweise des Verkehrsmodells decken sich mit den oben beschriebenen Auswertungen der Entwicklung der Ecksummen der Nachfragematrizen.

Auch hier fallen die Ergebnisse plausibel und erwartungskonform aus. Auf die Reduzierungen der IV-Reisezeit (Sensitivitätstests 01 und 02) folgt eine entsprechende Zunahme der PW-Fahrleistung aufgrund der höheren Geschwindigkeit im Netz. Die Reduzierung der ÖV-Reisezeit (Sensitivitätstests 03 und 04) hat einen entsprechenden Zuwachs der ÖV-Verkehrsleistung zur Folge, wobei dieser beim Sensitivitätstest 04 etwas geringer ausfällt. Grund ist die dämpfende Wirkung der iterativ Neuberechneten ÖV-Auslastungsmatrix.

Die Erhöhung der ÖV-Kosten (Sensitivitätstest 06) bewirkt einen entsprechenden Rückgang an ÖV-Verkehrsleistung, wohingegen die Erhöhung der IV-Kosten (Sensitivitätstest 07) eine entsprechende Abnahme der PW-Fahrleistung zur Folge hat. Auch die Reaktion des Modells auf die Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50 Prozent (Sensitivitätstest 08) führt bei der Entwicklung der Verkehrsleistung zu einem ebenso plausiblen Ergebnis wie es oben bereits für die Ecksummen der Nachfragematrizen beschrieben wurde.

Abbildung 205 Vergleich der Ecksummen der Fahr-/ Verkehrsleistung für die Sensitivitätstests 01 bis 04

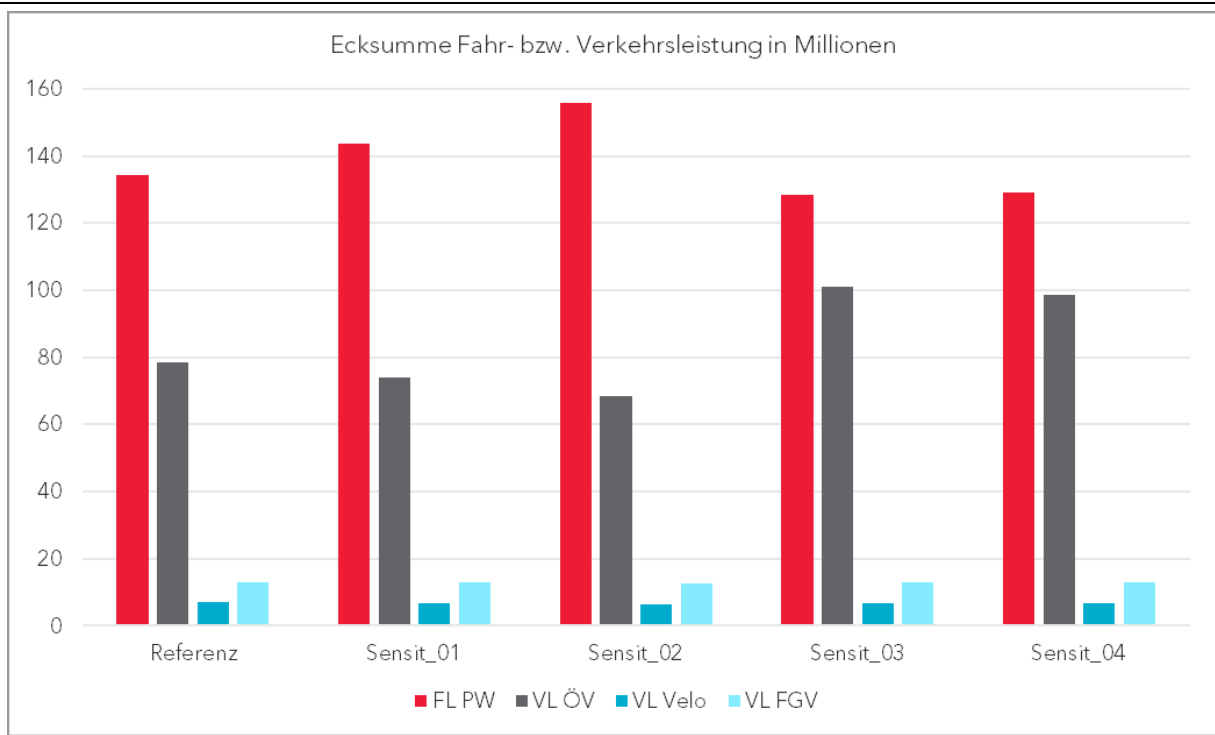
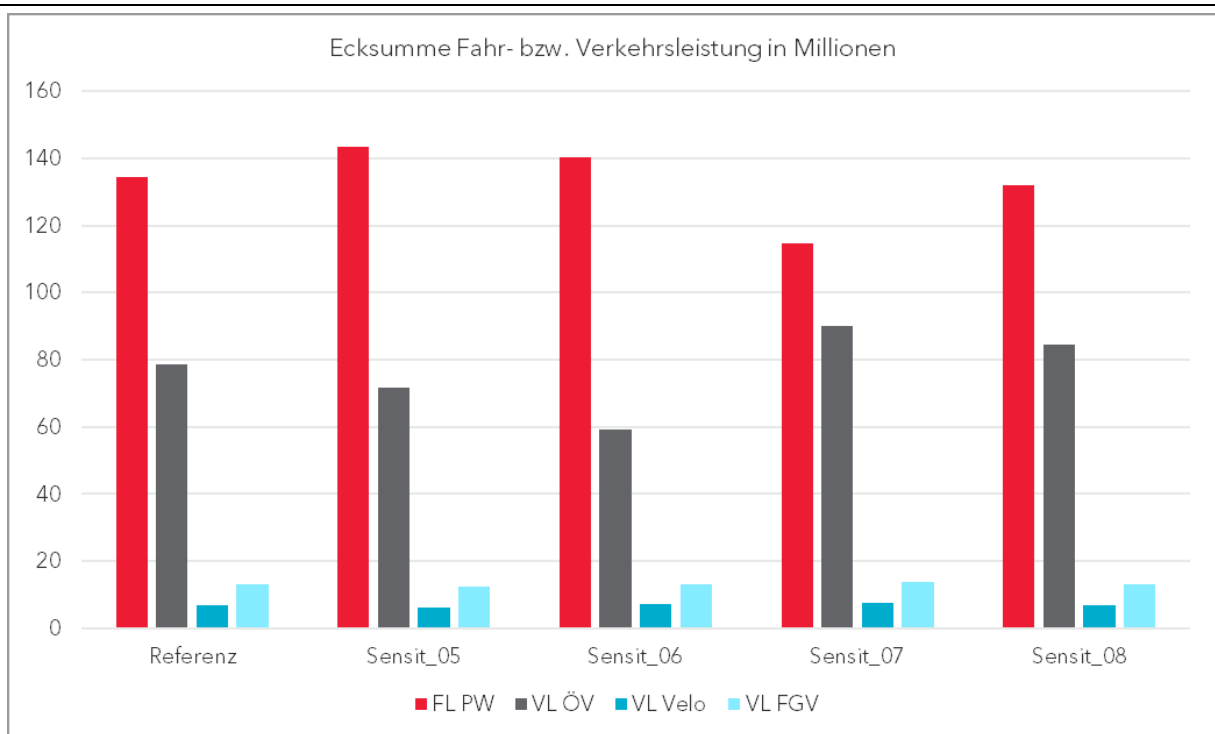


Abbildung 206 Vergleich der Ecksummen der Fahr-/ Verkehrsleistung für die Sensitivitätstests 05 bis 08



Nachfrage-Elastizitäten

Für jeden Sensitivitätstest wurden die Nachfrage-Elastizitäten ε nach folgender Formel berechnet:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_2 - N_1}{N_1}}{\frac{K_2 - K_1}{K_1}}$$

ε	Elastizität
N_2	Nachfrage Sensitivitätstest
N_1	Nachfrage Referenzlauf
K_2	Aufwandskenngrösse Sensitivitätstest
K_1	Aufwandskenngrösse Referenzlauf

Die Elastizität ist also ein Mass, welches die relative Änderung der Verkehrsnachfrage auf die relative Veränderung einer Aufwandskenngrösse angibt. Bezüglich der Aussagekraft der berechneten Elastizitäten sind in der folgenden Tabelle die Auswirkungen für die jeweiligen Wertebereiche von ε benannt.

Tabelle 72 Wertebereiche der Elastizität und die jeweilige Auswirkung

Wert von ε	Bezeichnung	Auswirkung
$\varepsilon = 0$	Nachfrage ist vollkommen unelastisch.	Die Nachfrage reagiert nicht auf eine Änderung des Aufwands.
$0 < \varepsilon < 1$	Nachfrage ist unterproportional elastisch.	Die Nachfrageänderung fällt relativ weniger stark aus als die Aufwandsänderung.
$ \varepsilon = 1$	Nachfrage ist proportional elastisch.	Die relative Änderung der Nachfrage ist gleich der relativen Aufwandsänderung.
$ \varepsilon > 1$	Nachfrage ist elastisch.	Die Nachfrageänderung fällt relativ stärker aus als die Aufwandsänderung.

Elastizitäten auf Ebene der Nachfrage-Eckwerte

Die Nachfrageelastizitäten wurden zunächst auf Ebene der Nachfrage-Eckwerte bezogen auf die Fahrtenanzahl sowie auf die Verkehrsleistung ermittelt. Die folgende Tabelle stellt eine Übersicht dar, welche Nachfrageänderungen und welche Aufwandsänderungen für die Berechnung der Elastizitäten für die einzelnen Sensitivitätstests herangezogen wurden.

Tabelle 73 Elastizitätsberechnungen - berücksichtigte Nachfrage- und Aufwandsänderungen

Sensitivitätstest	Nachfrageänderung	Aufwandsänderung
Sensitivitätstest 01	Änderung der Nachfragematrix PW; Änderung der Verkehrsleistung PW	Änderung der IV-Reisezeiten-Matrix
Sensitivitätstest 02	Änderung der Nachfragematrix PW; Änderung der Verkehrsleistung PW	Änderung der IV-Reisezeiten-Matrix
Sensitivitätstest 03	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Reisezeiten-Matrix
Sensitivitätstest 04	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Reisezeiten-Matrix
Sensitivitätstest 05	Änderung der Gesamt-Nachfrage IV+ ÖV; Änderung der Gesamt-Verkehrsleistung IV+ÖV	Änderung der Gesamtkosten IV+ÖV
Sensitivitätstest 06	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Kosten-Matrix
Sensitivitätstest 07	Änderung der Nachfragematrix PW; Änderung der Verkehrsleistung PW	Änderung der IV-Kosten-Matrix
Sensitivitätstest 08	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Bedienungshäufigkeit

Abbildung 207 und Abbildung 208 zeigen die berechneten Elastizitäten (jeweils bezogen auf die Fahrtenanzahl sowie auf die Verkehrsleistung) für die Sensitivitätstests 01 bis 04 bzw. 05 bis 08. Es ist hilfreich, die Elastizitäten stets auch vor dem Hintergrund der in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl eingesetzten Bewertungsparameter zu analysieren. Die Modellreaktion ist dahingehend als insgesamt plausibel einzuschätzen, die Werte für die Sensitivitäten liegen in einem nachvollziehbaren Wertebereich. Die Nachfrageänderungen, die sich aus der Änderung der Reisezeiten ergeben (Sensitivitätstests 01 und 02 für IV bzw. Sensitivitätstest 03 für ÖV), fallen stärker aus als die Nachfrageänderungen, die sich aus der Änderung der Kosten ergeben (Sensitivitätstest 07 für IV bzw. Sensitivitätstest 06 für ÖV). Dies entspricht den Relevanzverhältnissen, die sich auch aus den im Modell hinterlegten Parametern aus der SP-Befragung ergeben. Ebenso ist es als realistisch einzuschätzen, dass die Änderung der ÖV-Bedienungshäufigkeit in Sensitivitätstest 08 eine geringere Elastizität aufweist als die Änderungen von ÖV-Reisezeiten oder -kosten.

Eine Besonderheit stellt der Sensitivitätstest 05 dar. Hier wurden durch die Herausnahme der Grundaufwände aufwandsseitig sowohl die IV-Kosten als auch die ÖV-Kosten reduziert. Eine eindeutige Zuordnung der ermittelten Effekte zu den eingestellten Anpassungen ist deshalb nicht gegeben. Um die Modellreaktion dennoch zu quantifizieren, wurde für die Elastizitätsberechnung die Gesamtnachfrageänderung IV+ÖV der Gesamtaufwandsänderung IV+ÖV gegenübergestellt. Aus diesem Grund ist die Aussagekraft des Elastizitätswertes eingeschränkt. Die Verwendung von Grundaufwänden als Kostenkomponente ist eine grundsätzliche Entscheidung vor dem Auf-

bau und der Kalibration des Modells. Die vollständige Herausnahme der Grundaufwände ist deshalb keine realistische Modellanpassung im Sinne einer prognostischen Massnahme. Mit dem Sensitivitätstest wird jedoch gezeigt, dass die Grundaufwände als Teil der IV- bzw. ÖV-Kosten einen relevanten Einfluss auf die Verkehrsnachfrage haben und dass sehr sorgfältig bei Anpassungen der Grundaufwände in der Prognose vorgegangen werden muss. Aus den Erkenntnissen empfiehlt es sich die Grundaufwände eher moderat anzupassen, denn vollständig auf 0 zu setzen.

Abbildung 207 Elastizitäten für die Sensitivitätstests 01 bis 04

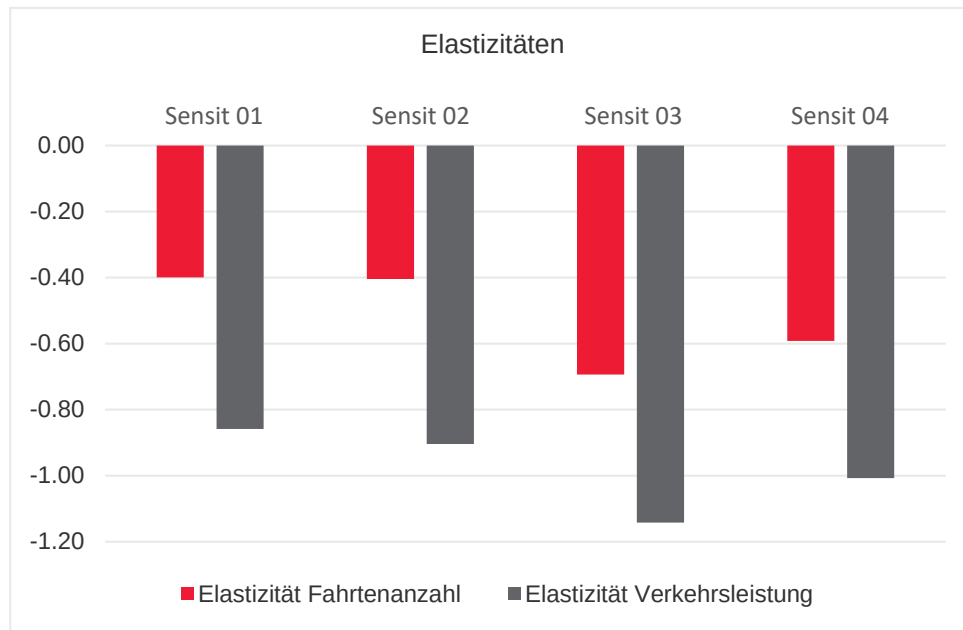
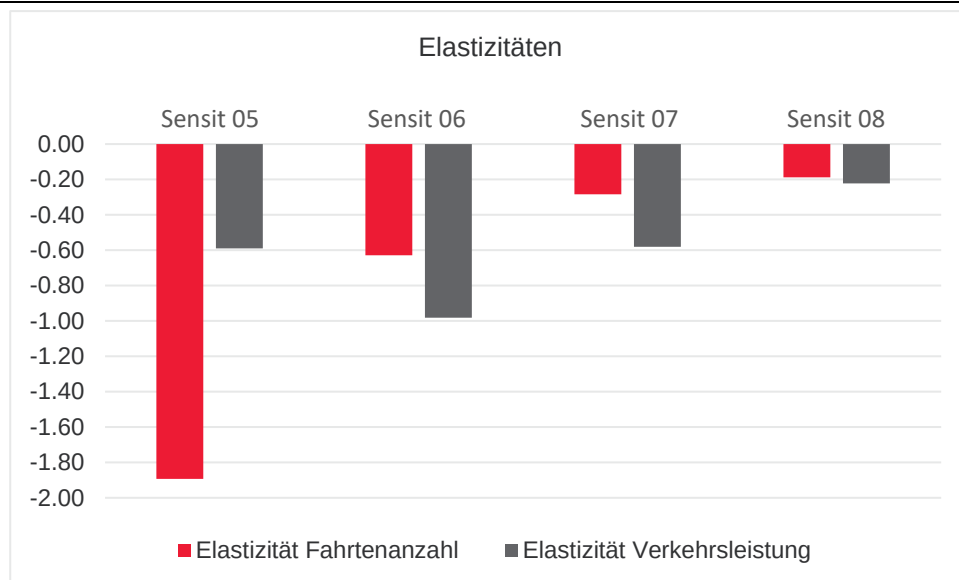


Abbildung 208 Elastizitäten für die Sensitivitätstests 05 bis 08



Die berechneten Elastizitäten auf Ebene der Nachfrage-Eckwerte werden als gute Kennwerte in Hinblick auf den prognostischen Einsatz des Modells eingeschätzt. Da die Sensitivitätsbetrachtung auf Ebene der Nachfrage-Eckwerte keine Rückschlüsse auf das Sensitivitätsverhalten einzelner Nachfragerelationen zulässt, wurde in einem

nächsten Schritt das Sensitivitätsverhalten auf Ebene von (aggregierten) Matrixrelationen im Detail analysiert. Im nachfolgenden Abschnitt werden das Vorgehen und die Ergebnisse beschrieben.

Elastizitäten auf Ebene der Matrix-Relationen

Um tiefergehende Aussagen über das Modellverhalten zu ermitteln und um mögliche Unplausibilitäten oder Auffälligkeiten aufzuspüren, wurde zusätzlich zu den Sensitivitätsanalysen auf Ebene der Eckwerte auch das Modellverhalten auf Ebene der Matrix-Relationen ausgewertet. Dazu wurden gemäss der oben genannten Elastizitätsformel die jeweiligen Elastizitäten auf Ebene der Matrix-Relationen berechnet. Zur besseren Darstellbarkeit der Ergebnisse wurden dafür die 7'979 x 7'979 Matrix-Relationen des Binnenverkehrs Schweiz auf Gemeindeebene aggregiert. Für die aggregierten 2'337 x 2'337 Gemeinde-Relationen (2'334 Schweizer Gemeinden gemäss Stand 1.1.2015, ergänzt um jeweils eine Zone für Büsingen, Campion d'Italia und Liechtenstein) wurden die jeweiligen Elastizitäten berechnet und nach folgender Klassifizierung unterschieden:

$\epsilon > 1$:	elastische Nachfrage, positive Elastizität
$0 < \epsilon \leq 1$:	unterproportional elastische Nachfrage, positive Elastizität
$-0,5 < \epsilon \leq 0$:	unterproportional elastische Nachfrage, negative Elastizität
$-1 < \epsilon \leq -0,5$:	unterproportional elastische Nachfrage, negative Elastizität
$\epsilon \leq -1$:	elastische Nachfrage, negative Elastizität

Grundsätzlich sind Elastizitäten kleiner 0 zu erwarten, d.h. eine Verringerung des Aufwands bewirkt eine erhöhte Nachfrage bzw. vice versa.

Stellt man die klassifizierten Werte der Elastizitäten auf Gemeinde-Ebene grafisch dar, so ergibt sich ein so genannter „Elastizitäten-Teppich“, welcher in Abbildung 209 exemplarisch für Sensitivitätstest 01 dargestellt ist. Die 2'337 x 2'337 Gemeinde-Relationen sind darin gemäss ihres klassifizierten Elastizitäten-Wertes jeweils farblich dargestellt. Rot und violett zeigen Relationen mit einer positiven Elastizität; gelb, hellgrün und dunkelgrün zeigen Relationen mit einer negativen Elastizität.

Es ist zu beachten, dass sich die Reihenfolge der einzelnen Punkte des Elastizitäten-Teppichs aus der Reihenfolge der aufsteigenden Gemeindenummerierung ergibt. Benachbarte Punkte sind also nicht zwingend räumlich benachbarte Gemeinden. Deutlich erkennbar ist die cluster-förmige Anordnung von relativ klar abgegrenzten Bereichen. Diese stellen die Austauschbeziehungen von Gemeinden innerhalb einer Region bzw. typische Stadt-Umland-Relationen dar. Wie zu erwarten, liegen für den überwiegenden Teil der Gemeinde-Relationen die Elastizitäten in einem realistischen Wertebereich zwischen 0 und -1. Positive Elastizitäten findet man nur auf vereinzelten Relationen. Diese treten zum einen auf den Elementen der Hauptdiagonalen auf. Dieses Verhalten ist dadurch erklärbar, dass die globale Verringerung der Reisezeit im Sensitivitätstest 01 nicht nur zu mehr, sondern auch zu längeren Fahrten im Netz führt. Es werden also tendenziell weiter entfernte Ziele aufgesucht und die Fahrtenanzahl auf der Hauptdiagonale (d.h. der Binnenverkehr einer Gemeinde) kann im Vergleich zum Referenzfall zurückgehen. Zum anderen treten positive Elastizitäten auf Relationen mit einer sehr geringen Nachfrage auf und sind wegen der sehr kleinen Absolutwerte der Nachfrage zu vernachlässigen. Abbildung 210 zeigt den Elastizitäten-Teppich für den Sensitivitätstest 01, wobei nur die aufkommensrelevanten Gemeinde-Relationen (PW-Nachfrage ≥ 1 Fahrt) dargestellt sind.

Abbildung 209 Sensitivitätstest 01 - Elastizitäten-Teppich (ungefiltert)

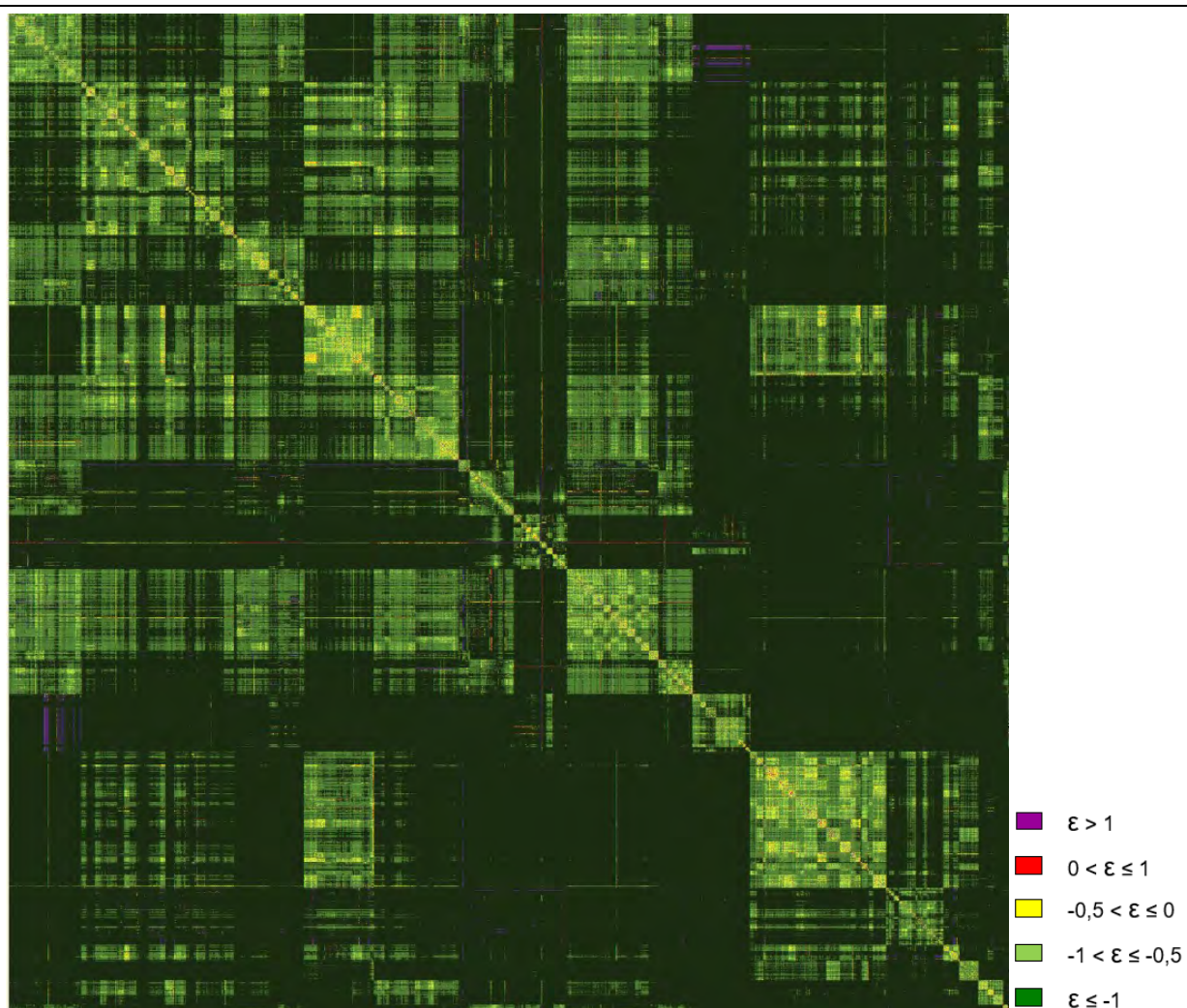
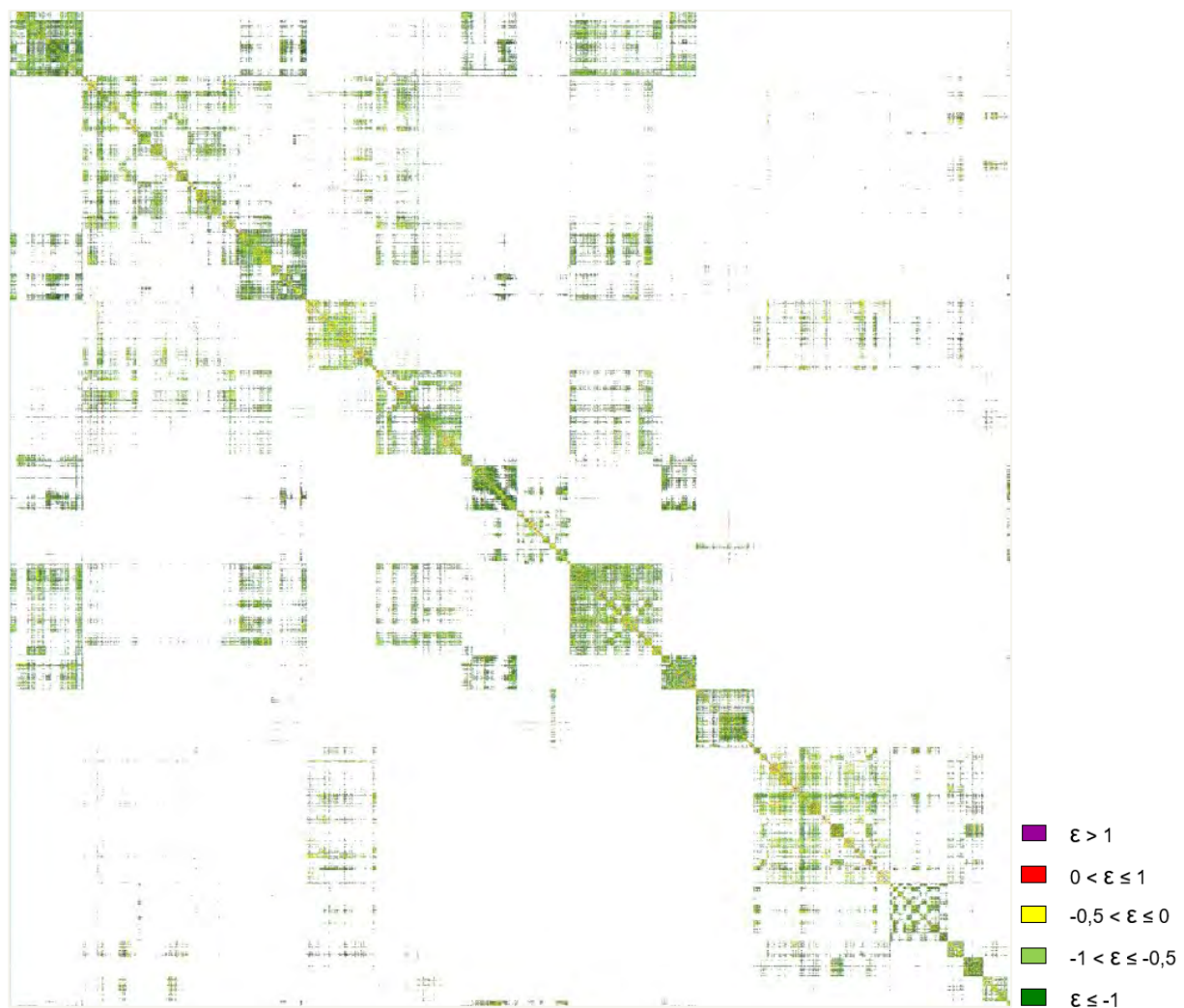


Abbildung 210 Sensitivitätstest 01 - Elastizitäten-Teppich (gefilterte Relationen mit PW-Nachfrage ≥ 1)

Die grafischen Auswertungen der Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen für alle Sensitivitätstests sind in Anhang 7.11 enthalten. Für jeden Sensitivitätstest sind die Elastizitäten-Teppiche auf Ebene der Gemeinde-Relationen enthalten, wobei jeweils nur die aufkommensrelevanten Gemeinde-Relationen (PW-Nachfrage ≥ 1) dargestellt sind.

Die jeweiligen Werte der Elastizitäten auf Gemeinde-Relationen weichen – wie auch auf Ebene der Nachfrageeckwerte – zwischen den einzelnen Sensitivitätstests ab. Für alle Sensitivitätstests wird das Bild des Elastizitäten-Teppichs als plausibel und realistisch eingeschätzt.

Detailbetrachtung Sensitivitätstest 04

Für die Durchführung der Sensitivitätstests wurde grundsätzlich festgelegt, aus Gründen der Rechenzeit mit der ausiterierten ÖV-Auslastungsmatrix des Referenzlaufs als konstante Matrix zu rechnen. Um zu untersuchen, welcher Unterschied sich ergibt, wenn die ÖV-Auslastungsmatrix in jedem Iterationsschritt gemäss der veränderten ÖV-Nachfrage neu berechnet wird und welche Auswirkungen dies auf das Iterationsverhalten und die Rechenzeit hat, wurde der Sensitivitätstest 04 durchgeführt. Während im Sensitivitätstest 03 die Wirkung der Reduzierung der ÖV-Reisezeit um 25% mit konstanter ÖV-Auslastungsmatrix berechnet wurde, wurde beim Sensitivitätstest

04 dieselbe Reduzierung der ÖV-Reisezeit untersucht, auf Grund der zu erwartenden Zunahme der ÖV-Nachfrage jedoch mit einer Neuberechnung der ÖV-Auslastungsmatrix in jedem Iterationsschritt.

Die vollständige Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix erfolgt mit einem im Verfahrensablauf integrierten Script, welches ca. 40 Stunden für die Berechnung der Auslastungsmatrix benötigt. Eine Ausführung des Scriptes in jedem Iterationsschritt ist aus zeitlichen Gründen demzufolge nicht möglich. Deshalb wurde für den Sensitivitätstest 04 ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix in jedem Iterationsschritt entwickelt, welches folgendermassen umgesetzt wurde:

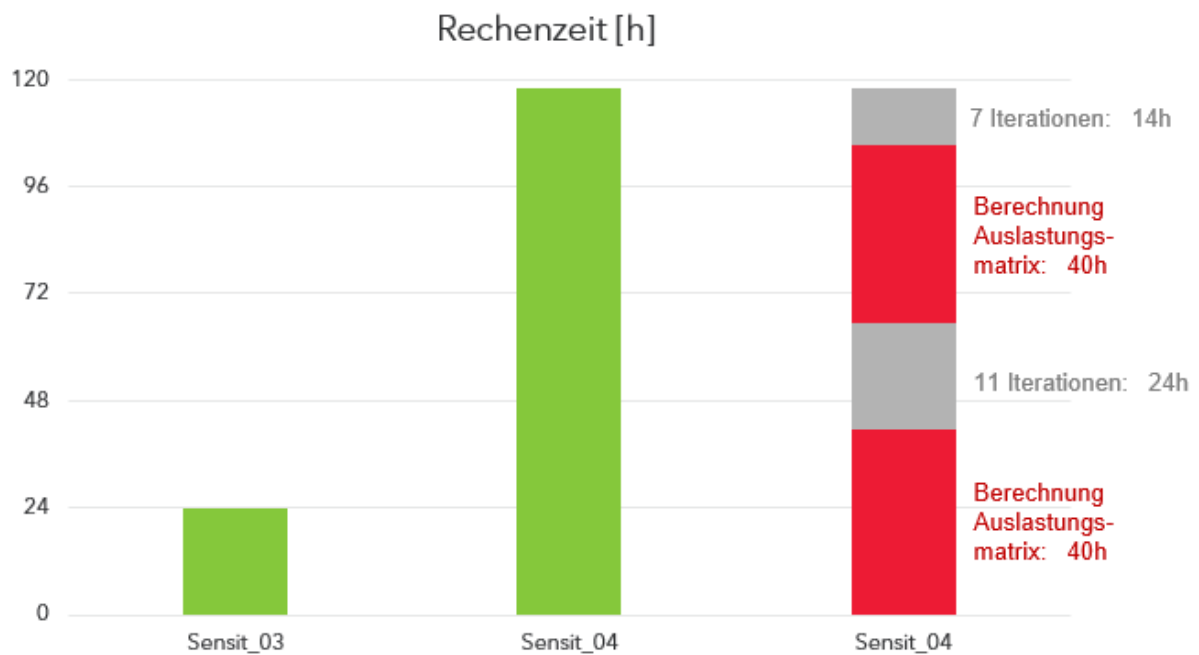
1. Im ersten Iterationsschritt erfolgt die Nachfrageberechnung ohne Berücksichtigung der ÖV-Auslastung; mit der daraus resultierenden ÖV-Nachfragematrix wird anschliessend eine neue Auslastungsmatrix berechnet (vollständiger Lauf des Auslastungsskripts, 40h).
2. Die ÖV-Nachfragematrix und ÖV-Auslastungsmatrix aus Schritt 1 bieten die Grundlage für die vereinfachte Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix in den weiteren Iterationsschritten. Die vereinfachte Berechnung ist eine Matrix-Berechnung nach folgender Vorschrift: Das Verhältnis der Nachfrage im Schritt n und im Schritt n-1 wird mit der Auslastungsmatrix aus Schritt n-1 multipliziert, um die aktuelle Auslastungsmatrix für Schritt n zu erhalten.
3. Nach Erreichen des IV-Abbruchkriteriums wird eine vollständige Berechnung der Auslastungsmatrix durchgeführt (vollständiger Lauf des Auslastungsskripts, 40h).
4. Es folgt die in Schritt 2 beschriebene vereinfachte Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix in den weiteren Iterationsschritten bis zum erneuten Erreichen des IV-Abbruchkriteriums.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die zeitaufwändige Durchführung des Auslastungsskripts nur 2 Mal stattfindet und in den sonstigen Iterationsschritten ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der ÖV-Auslastung zur Anwendung kommt, welches die Nachfrageänderungen im ÖV und die damit verbundene Änderung der Auslastung näherungsweise berücksichtigt. Der Nachteil des vereinfachten Verfahrens besteht darin, dass die gegenseitige Beeinflussung der Auslastung verschiedener Quelle-Ziel-Beziehungen nicht in jedem Iterationsschritt hinreichend abgebildet wird.

Vergleicht man die Sensitivitätstest 03 und 04 hinsichtlich der Wirkung der ÖV-Auslastungsmatrix, so sieht man bei Sensitivitätstest 04 erwartungsgemäss eine zusätzliche leichte Dämpfung beim Zuwachs der ÖV-Verkehrsleistung im Vergleich zum Sensitivitätstest 03.

Die Rechenzeit verlängert sich durch das zweimalig vollständige Berechnen der Matrix sowie das Iterieren der vereinfacht ermittelten Auslastungsmatrix beim Sensitivitätstest 04 um Faktor 5 gegenüber dem Sensitivitätstest 03, wie in Abbildung 211 dargestellt. Für den Rechenzeitanstieg spielt die insgesamt höhere Anzahl an Iterationen bei Sensitivität 04 nur eine kleine Rolle. Hauptsächlich ist das 2-malige Ausführen des Auslastungsskripts einschliesslich vorheriger ÖV-Umlegung für den Rechenzeitzuwachs verantwortlich.

Abbildung 211 Vergleich der Rechenzeiten zwischen Sensitivitätstests 03 und 04



Aus methodischer Sicht ist die iterative Neuberechnung der ÖV-Auslastungsmatrix, wie sie im Sensitivitätstest 04 zur Anwendung kam, genauer als die Modellrechnung mit konstanter Auslastungsmatrix. Gleichwohl sind die Unterschiede der Nachfrageänderungen gering und es ist abzuwägen, ob der Genauigkeitszuwachs den zusätzlichen Rechenzeitaufwand rechtfertigt. Mit einer Rechenzeit von etwa 5 Tagen stellt das angewandte Verfahren im Sensitivitätstest 04 inkl. zweimaliger Berechnung der ÖV-Auslastungsmatrix eine organisatorische Herausforderung für zukünftige Prognoseberechnungen unterschiedlicher Szenarien und verschiedener Prognosehorizonte dar. Mit der vereinfachten Berücksichtigung der Auslastungsmatrix steht ein im Grundsatz vertretbares Verfahren für z.B. die Anwendung in den Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 zur Verfügung. Bei Szenarien, in welchen mit keinen, bis marginalen ÖV-Nachfragezuwächsen zu rechnen ist, kann auf die Neuberechnung der ÖV-Auslastungsmatrix ganz verzichtet werden. Lediglich bei einem Szenario, welches mit sehr hohen ÖV-Nachfragezuwächsen verbunden ist, sollte in Erwägung gezogen werden, im Berechnungsablauf eine zweite Neuberechnung der ÖV-Auslastungsmatrix vorzusehen.

4 Fazit zur Etablierung des DWV-Modells

Mit dem NPVM 2017 steht dem Bund ein breit validiertes und zuverlässiges Verkehrsmodell zum Einsatz in den Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 sowie zur Analyse der Strategischen Entwicklungsprogramme auf Strasse und Schiene zur Verfügung. Zu den zentralen Eigenschaften und Neuerungen des Modells gehören:

- Ein hoher räumlicher Detailgrad mit fast 8'000 Verkehrszonen in der Schweiz und über 700 Zonen im Ausland;
- Eine starke Ausdifferenzierung der Verkehrsnachfrage in über 100 Personengruppen und 26 Nachfrageschichten (so genannte Quelle-Ziel-Gruppen);
- Die Abbildung des vollständigen Schweizer ÖV-Angebots und eines sehr detaillierten Strassennetzes (auch im grenznahen Ausland);
- Eine Strukturdatentabelle basierend auf einer adressscharfen Synthetischen Population, welche u.a. die mobilitätsrelevanten Eigenschaften über die Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen differenziert berücksichtigt;
- Die konsequente Ausrichtung und Parametrisierung des Modells an den grossen Bevölkerungsbefragungen des Bundes im Bereich der Mobilität, dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 sowie der Stated-Preference-Befragung zum Verkehrsmodus- und Routenwahlverhalten 2015;
- Auf Basis der SP-Befragung die Umsetzung einer raumtypenabhängigen (städtisch/intermediär/ländlich) Bewertung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl;
- Erstellung und Integration einer Kenngrössenmatrix der Auslastung des ÖV-Rollmaterials im Nachfragemodell zur realitätsnäheren Abbildung der Verlagerungswirkungen zwischen Strasse und Schiene;
- Aufbau eines Velo-Netzes sowie Umlegung der Velo-Verkehrsnachfrage;
- Validierung und Kalibration des Verkehrsmodells an 3'900 nationalen, kantonalen und städtischen Zählwerten auf der Strasse und 1'600 Zählwerten im öffentlichen Verkehr.

Der umgesetzte Detailgrad des Modells war im Projekt stets mit Bedenken bzgl. der damit verbundenen Rechenzeiten verbunden. Insbesondere durch die softwareseitige Umstellung des Umlegungsverfahrens im IV während des Projekts (siehe unten) konnten vertretbare Rechenzeiten erreicht werden. In der Praxis wird sich die Anwendung des NPVM häufig auf Umlegungen im IV beschränken und mit einer Umlegungszeit von ca. 3h für alle Verkehrssysteme auf einem performanten Computer ist eine Praktikabilität gegeben. Vollständige Modellberechnungen inkl. Rückkopplungen mit der Nachfrage bedürfen inkl. der einmaligen Berechnung einer ÖV-Auslastungsmatrix rund 2-3 Tage auf einem performanten System.

Aus den Erfahrungen der Modelletablierung leiten sich auch methodische wie datenbedingte Optionen zur Weiterentwicklung des Modells ab, auf die nachfolgend eingegangen wird:

- Trotz der in der Umsetzung aufwendigen Implementation einer raumtypenabhängigen Bewertung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl waren Zusatzvariablen sowie eine Nachkalibration des Modells notwendig.
- Hinsichtlich des Netzmodells Strasse resultieren aus der Verwendung von Navigationsnetzen (im NPVM ist die Grundlage ein Navigationsnetz der Firma TomTom) weiterhin kaum schweizweit abzuschätzende Unwäg-

barkeiten: beispielsweise liegen Informationen zu effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten nicht flächendeckend vor, die korrekte Anzahl an Fahrstreifen muss teilweise manuell nacherfasst werden, Verkehrssysteme und die mit diesen verbundenen Fahrverbote oder Einschränkungen sind nur sehr rudimentär ausgewiesen.

- In einem nationalen Modell müssen zeitrelevante Elemente wie Verlustzeiten an Knoten im Strassennetz weiterhin grob abgeschätzt werden – ein SVI-Forschungsprojekt hat sich dieser Thematik angenommen, so dass in einem Update des NPVM allenfalls realistischere Pauschalzuschläge berücksichtigt werden können.
- Höhere Unsicherheiten bestehen in der Abbildung der Aussenverkehre: Eine synthetische Modellierung der Verkehrsnachfrage der wichtigsten Grenzübergänge (z.B. um Basel, Genf, den Kanton Tessin) schliesst sich aus Aufwandsgründen weiter aus. Die signifikante Nachkalibration auf Zählquerschnitte an den Grenzübergängen der auf der A+GQPV basierenden Aussenverkehrsmatrix machte deutlich, dass die Stichprobe nicht ausreicht, um eine valide Abdeckung der Aussenverkehrsbeziehungen darzustellen. Unschärfen sind u.a. darin begründet, dass die A+GQPV nur den einströmenden MIV-Verkehr erfasst und bzgl. der aus der Schweiz ausströmenden Verkehre vereinfacht von symmetrischen Beziehungen ausgegangen werden muss.
- Potenzial zur Verbesserung der Modellqualität bzgl. Belastungen im untergeordneten Strassennetz bietet die Überarbeitung des Anbindungskonzepts: Zu Projektbeginn bestand eine Prämisse darin, alle Verkehrszonen im IV-Netzmodell einfach anzubinden, um bzgl. der Rechenzeiten zur Umlegung in praktikablen Grössenordnungen zu verbleiben. Im Projektverlauf stand dann mit dem Umstieg auf VISUM 18 und dem Verfahren Bi-conjugate Frank-Wolfe ein parallelisiertes Umlegungsverfahren zur Verfügung. Die zusätzliche Rechenzeit aufgrund von mit Anteilen ausgestatteten Mehrfach-Anbindungen fiel danach kaum noch ins Gewicht. In einem Update des NPVM bietet es sich an, das Anbindungskonzept zu erneuern und deutlich ausdifferenzieren, um die Einspeisung im untergeordneten Netz realitätsnäher abzubilden.
- Die Beschaffung und Bereitstellung umfassender und harmonisierter Datenbanken bzgl. ÖV-Verbundabonnements und v.a. der Zählraten auf der Strasse bindet bei der Erstellung eines nationalen Verkehrsmodells weiterhin sehr viele finanzielle wie personelle Ressourcen.

4.1 Regelungen Bezug des Modells

Es stehen Nutzern und Interessierten eine Reihe von Informationen aus dem NPVM sowie die Modellversionen selbst zur Verfügung. Da mitunter sensible Informationen im Modell enthalten sind, erfolgt die Publikation teilweise auf einem frei zugänglichen Portal, teilweise auf einem Portal auf dem Datenschutzbestimmungen vor Bezug der Dateien zu akzeptieren sind. Nachstehende Auflistung informiert über den Zugang zu den Grundlagen.

- Auf Zenodo stehen alle per open data erhältlichen Grundlagen zum Download bereit (Link: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3379492>). Vorhanden sind die Modellversionen aller Zustände, Netzbelastungen und die Verkehrszonierung als Geodaten, Fahrtenmatrizen sowie Reisezeit- und Distanzmatrizen. Auf der Seite findet sich ebenfalls das PDF-Dokument *01_NPVM_2017_Datenbezug* (in Französisch: *01_MNTP_2017_Description_données*) in dem alle verfügbaren Grundlagen beschrieben sind.
- Auf FORSbase können die Strukturdaten sowie das Nachfragemodell bezogen werden. Um diese Grundlagen zu erhalten, muss eine Registrierung erfolgen und ein Nutzungsvertrag akzeptiert werden (Link: <https://forsbase.unil.ch/project/study-public-overview/16340/0/>).
- Der Schlussbericht, ein Benutzerhandbuch sowie eine Zusammenfassung zentraler Charakteristiken und Ergebnisse des NPVM stehen auf der Internetseite des ARE jeweils als PDF-Dokument zum Download bereit (Link: www.are.admin.ch/npvm → Dokumente).

5 Weitere Modellzustände

5.1 DTV 2017

5.1.1 Ableitung der Nachfragematrizen

Auf der Grundlage des kalibrierten DWV-Modells wurden Umlegungsmodelle für den DTV 2017 erstellt. Hierfür wurden die kalibrierten DWV-Matrizen der einzelnen Nachfragesegmente wie folgt umgerechnet (jeweils separat für PW & ÖV):

- **Binnenverkehr:**

Aus dem Nachfragemodell wurden die Anteile der einzelnen Fahrtzwecke (Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) am Gesamtverkehr berechnet. Mittels Multiplikation dieser Anteile mit der kalibrierten DWV-Matrix wurden fahrtzweckspezifische DWV-Matrizen gebildet. Diese Matrizen wurden mit aus dem MZMV 2015 ermittelten Faktoren zwischen DTV- und DWV-Nachfrage multipliziert und schliesslich wieder zu einer Gesamt-DTV-Matrix aufaddiert. Im MIV wurde zusätzlich ein Faktor für die unterschiedlichen PW-Besetzungsgrade zwischen DWV und DTV berücksichtigt (die Besetzungsgrade sind im DTV durchgehend leicht höher, womit die umgerechneten Personenwege zu tieferen Fahrtenzahlen führen). Die verwendeten Faktoren können Tabelle 74 entnommen werden. Wie erwartet sind die Faktoren für alle Zwecke ausser Freizeit kleiner als eins, d.h. im DTV werden pro Tag weniger Wege zurückgelegt als im DWV.

Tabelle 74 Umrechnungsfaktoren DWV → DTV: Binnenverkehr

Fahrtzweck	Umrechnungsfaktor	
	PW-Fahrten (Nachfrage * BG)	ÖV-Wege
Arbeit	$0.77 * 1.00 = 0.77$	0.77
Ausbildung	$0.80 * 0.98 = 0.78$	0.74
Einkauf	$0.97 * 0.95 = 0.93$	0.90
Nutzfahrt	$0.83 * 0.98 = 0.81$	0.78
Freizeit	$1.11 * 0.94 = 1.04$	1.06

- **Flughafenverkehr:**

Die DWV-Matrix aus dem Nachfragemodell wurde mit einem aus dem MZMV 2015 ermittelten Faktor hochgerechnet. Dieser beträgt im MIV 0.98 (Faktor Personenwege: 1.07; Faktor Besetzungsgrad: 0.92) und im ÖV 0.87.

- **Aussenverkehr:**

Aus der Erstellung der DWV-Aussenverkehrsmatrizen liegen fahrtzweckspezifische Matrizen (differenziert nach Arbeit & Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) vor. Aus diesen und der kalibrierten Aussenverkehrsmatrix wird mit dem gleichen Verfahren wie im Binnenverkehr die DTV-Matrix abgeleitet. Die verwendeten Faktoren wurden aus der A+GQPV-Erhebung abgeleitet und sind aus Tabelle 75 ersichtlich.

Tabelle 75 Umrechnungsfaktoren DWV → DTV: Aussenverkehr

Fahrtzweck	Umrechnungsfaktor	
	PW-Fahrten	ÖV-Wege
Arbeit & Ausbildung	0.77	0.76
Einkauf	0.98	0.99
Nutzfahrt	0.80	0.83
Freizeit	1.27	1.06

- Strassengüterverkehr:

Aus den ASTRA-Zähldaten wurden Faktoren zwischen den DTV- und DWV-Netzbelastungen berechnet. Die DTV-Matrizen wurden mittels einer Multiplikation dieser Faktoren mit den DWV-Matrizen berechnet (Tabelle 76).

Tabelle 76 Umrechnungsfaktoren DWV → DTV: Strassengüterverkehr

Fahrzeugklasse	Umrechnungsfaktor
Lieferwagen (LI)	0.88
Lastwagen (LW)	0.77
Last- und Sattelzüge (LZ)	0.74

5.1.2 Umlegung und Kalibration

Analog zum DWV-Modell war für den DTV anschliessend an die Erstellung der Nachfragematrizen deren Umlegung auf die Netze und eine Kalibration auf die vorhandenen MIV- und ÖV-Zähldaten geplant. Hierfür sollte ein automatisches Verfahren angewandt werden. Die Umlegung der mit dem oben beschriebenen Verfahren erstellten unkalibrierten Matrizen auf die Netze zeigte jedoch eine sehr gute Übereinstimmung mit den Zählwerten, so dass in Absprache mit dem Auftraggeber auf eine weitere Anpassung der Matrizen verzichtet wurde.

Folgende Abbildungen zeigen die Übereinstimmung zwischen Modellbelastungen und Zählwerten im DTV:

- Abbildung 212 für den PW, unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
- Abbildung 213 für den PW, nur für ASTRA-Zählstellen;
- Abbildung 214 für den Gesamt-MIV (PW+LI+LW+LZ), unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
- Abbildung 215 für den Gesamt-MIV, nur für ASTRA-Zählstellen;
- Abbildung 216 für den ÖV, unter Berücksichtigung aller Zählwerte;
- Abbildung 217 für den ÖV, nur für Bahnstrecken.

Abbildung 212 Umlegungsanalyse MIV (PW, alle Zählstellen), DTV-Modell

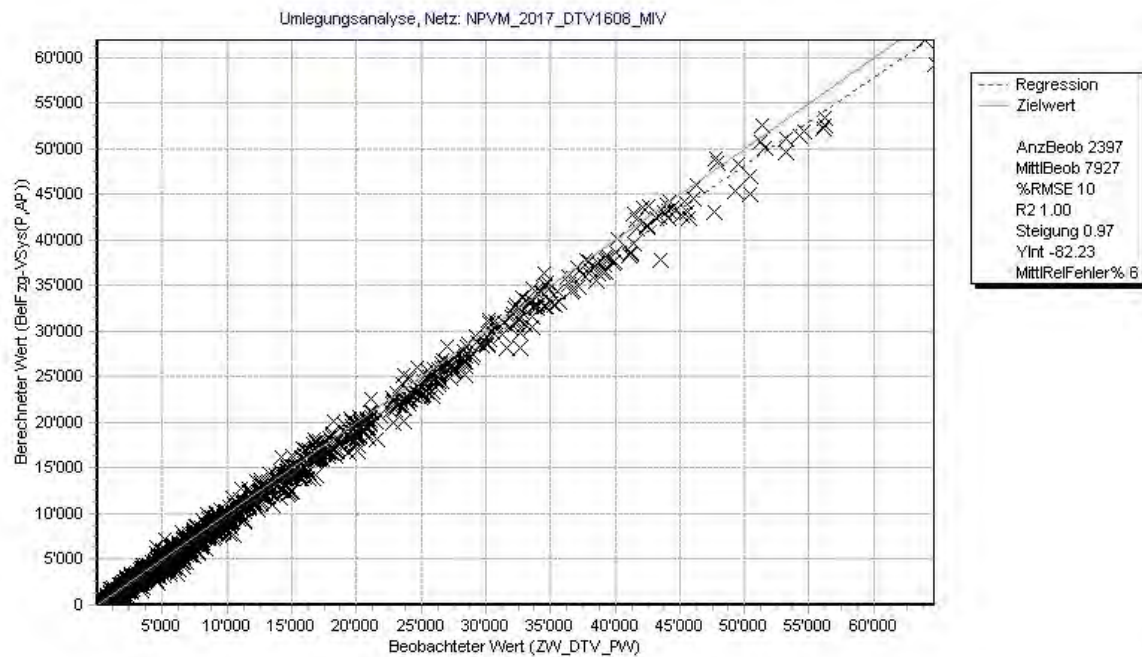


Abbildung 213 Umlegungsanalyse MIV (PW, nur ASTRA-Zählstellen), DTV-Modell

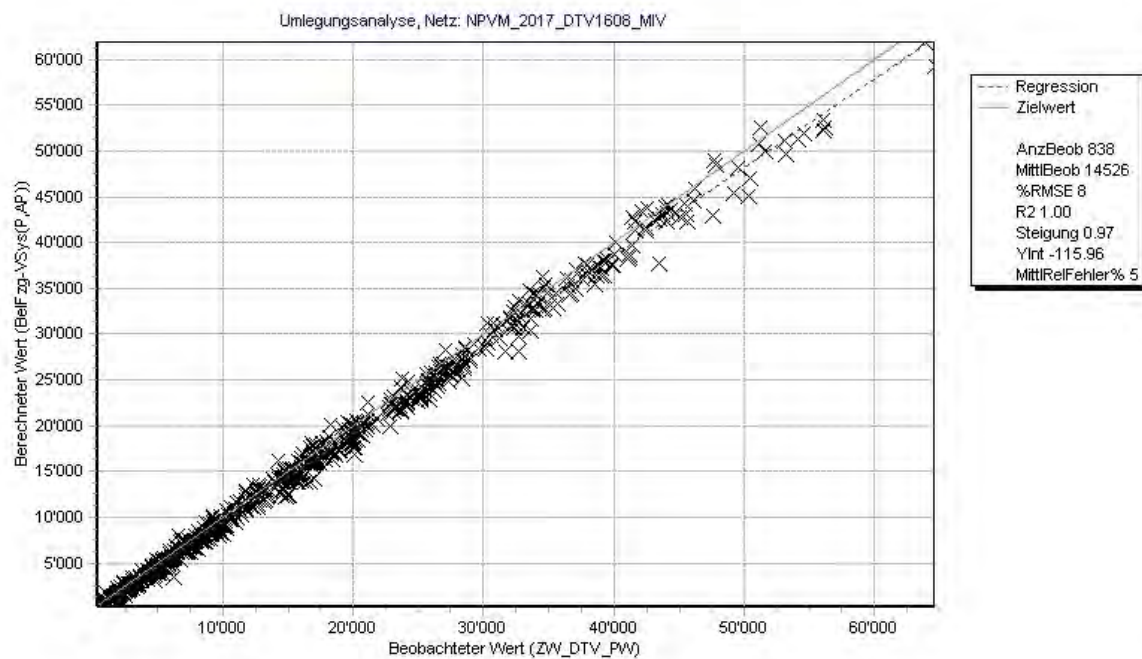


Abbildung 214 Umlegungsanalyse MIV (FZG, alle Zählstellen), DTV-Modell

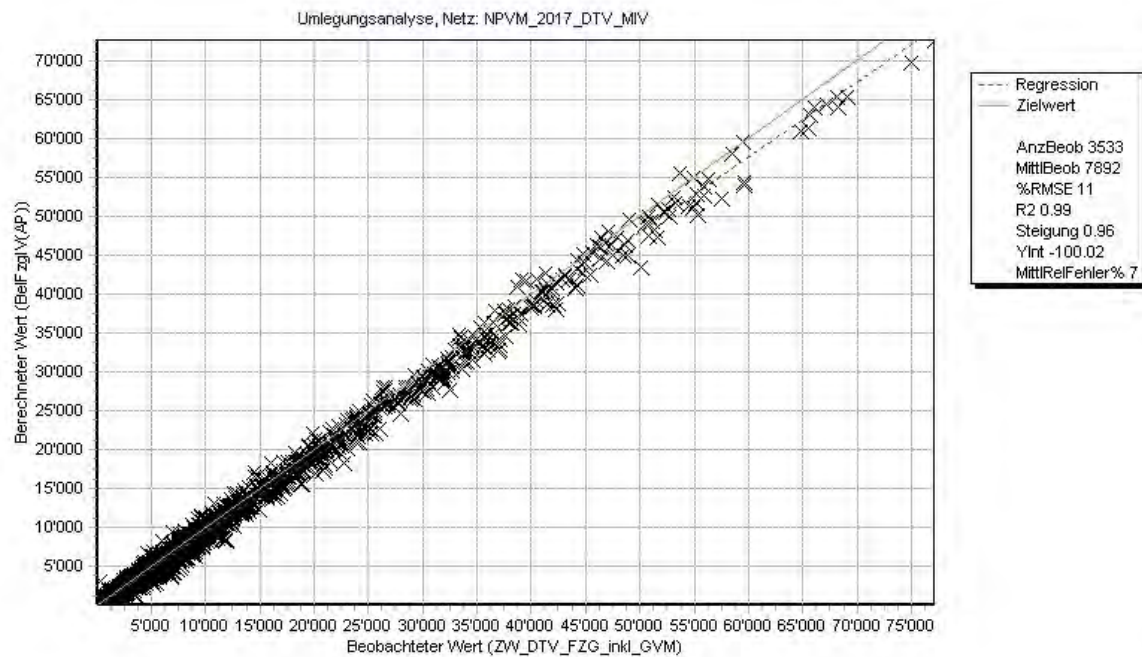


Abbildung 215 Umlegungsanalyse MIV (FZG, nur ASTRA-Zählstellen), DTV-Modell

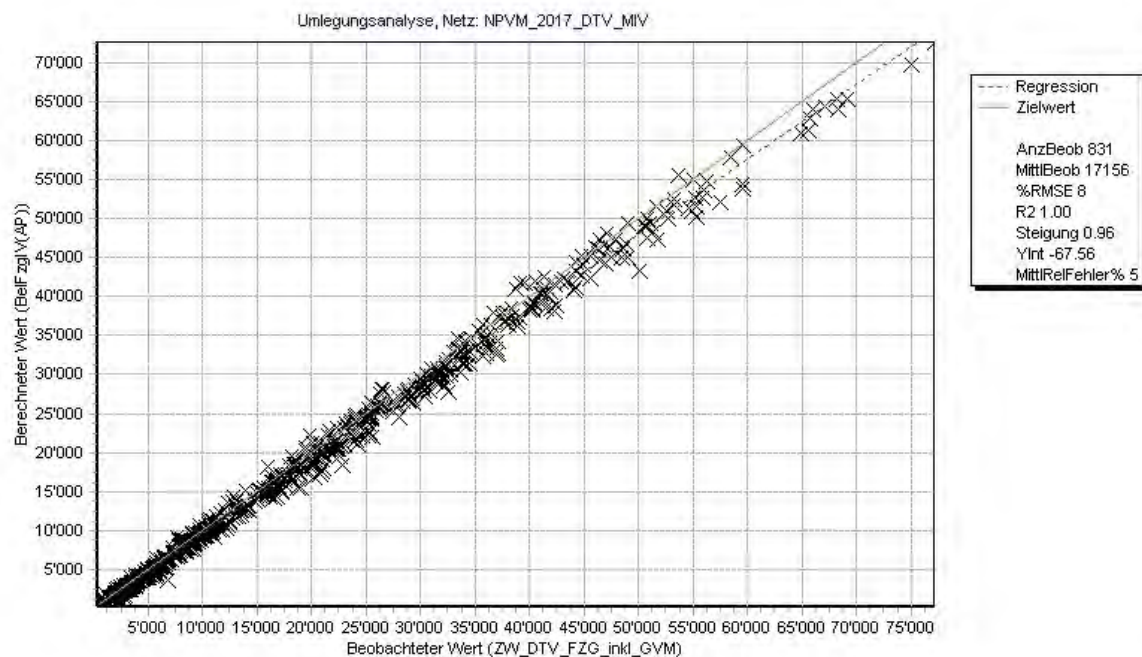


Abbildung 216 Umlegungsanalyse ÖV (alle Zählwerte), DTV-Modell

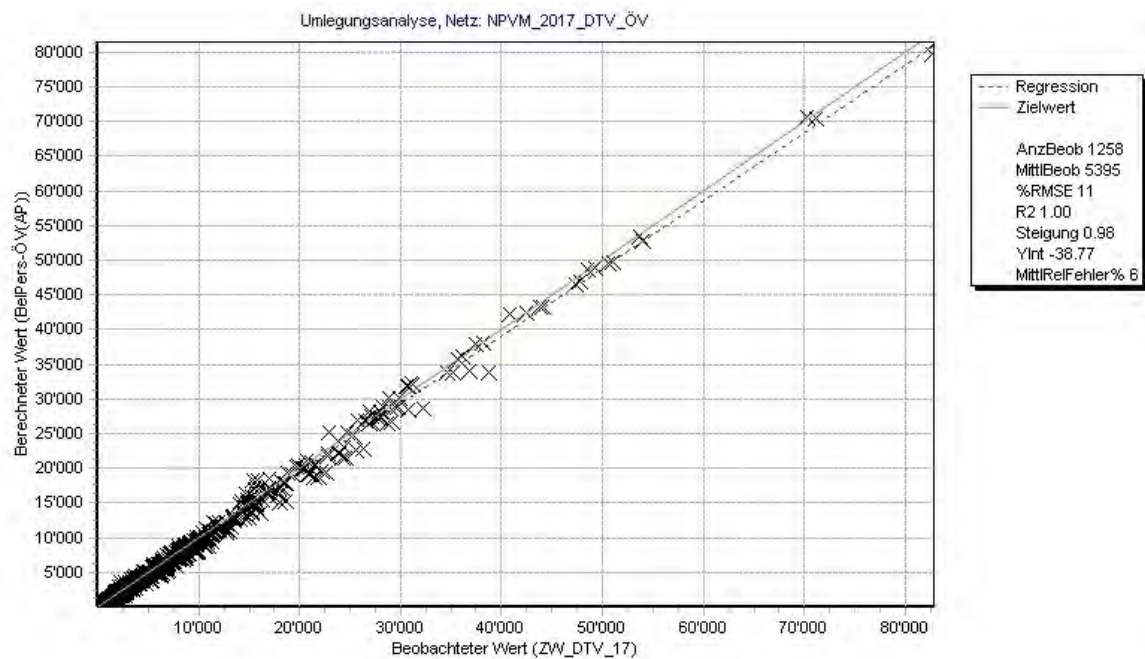
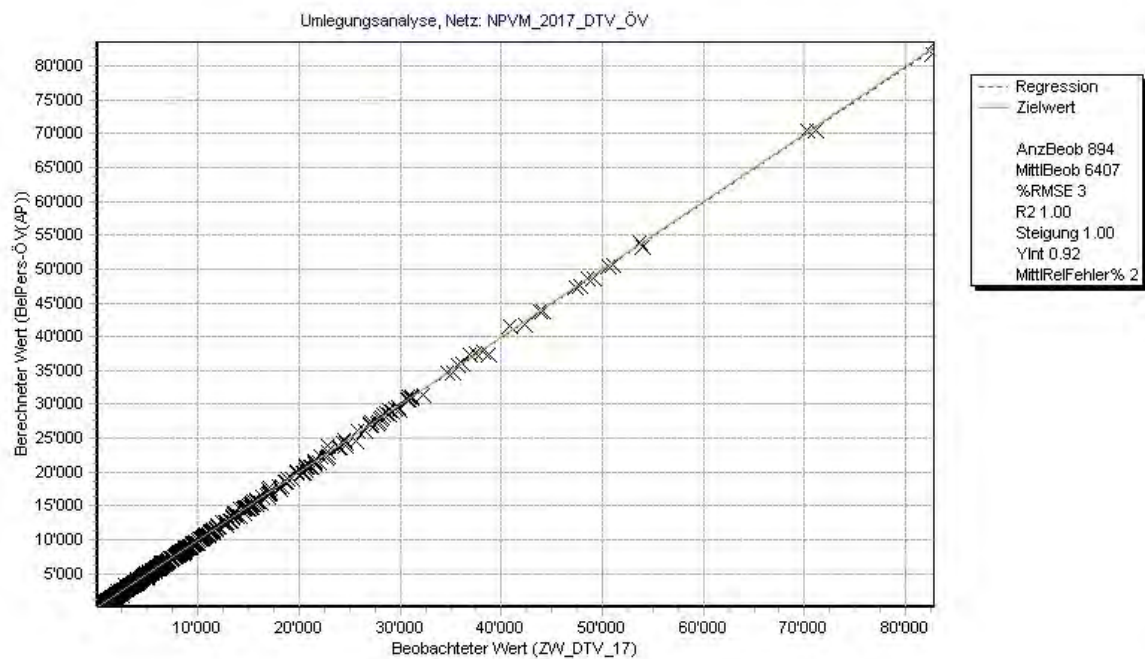


Abbildung 217 Umlegungsanalyse ÖV (nur Bahn), DTV-Modell

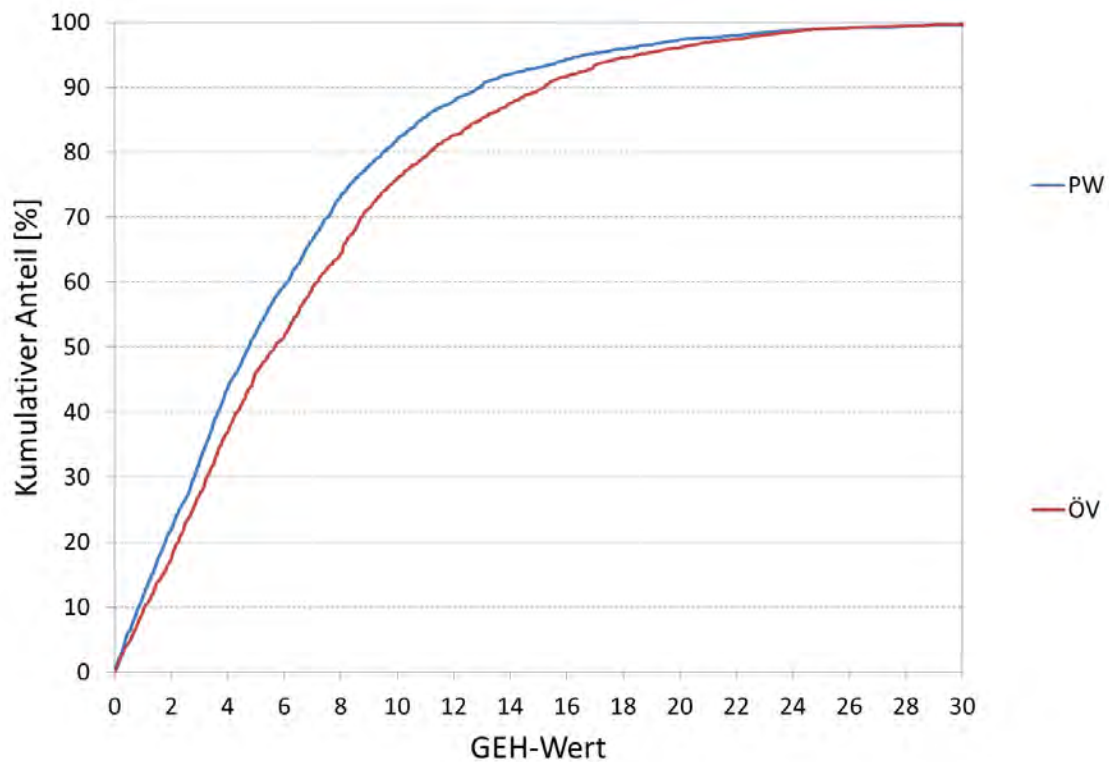


Analog zum DWV-Modell können für den DTV-Zustand folgende *GEH*-Schwellenwerte betrachtet werden:

- Werte ≤ 12 für 85% aller PW-Zählwerte $\rightarrow$ eingehalten für 87.9%;
- Werte ≤ 12 für 85% aller ÖV-Zählwerte $\rightarrow$ eingehalten für 82.6%.

Die vorgegebenen Toleranzen werden also trotz dem Verzicht auf eine Nachkalibration der Matrizen beinahe erreicht, wie auch Abbildung 218 zeigt. Dies zeigt auf, dass die Ableitung der DTV-Matrizen mit dem oben beschriebenen Verfahren zweckmässig und ausreichend genau ist.

Abbildung 218 Verteilung der *GEH*-Werte (DTV)



5.1.3 Modelle für den Tages- und Nachtverkehr

Neben dem Gesamt-DTV wurde für den Strassenverkehr (inkl. Strassengüterverkehr) auch ein Modell mit Differenzierung zwischen Tages- und Nachtverkehr (06:00 – 22:00 bzw. 22:00 – 06:00) erstellt. Dieses dient insbesondere Lärmberechnungen. Die im Umlegungsmodell vorhandenen Nachfragesegmente wurden zu diesem Zweck jeweils in zwei Segmente aufgeteilt. Die Zähldaten wurden, wo in ausreichender zeitlicher Differenzierung vorhanden, für die Verwendung mit den beiden Zeitscheiben aufbereitet.

Für die Erstellung der Matrizen wurden wiederum Faktoren (Anteil des Tagesverkehrs am Gesamt-DTV) aus dem MZMV 2015 bzw. den Zähldaten abgeleitet. Die für die initiale Aufteilung der DTV-Matrizen verwendeten Anteile im Strassenverkehr (Quelle: MZMV 2015 für die PWs bzw. Zählwerte für den SGV) sind aus Tabelle 77 ersichtlich.

Tabelle 77 DTV: Anteile Tages- / Nachtverkehr

Fahrtzweck / Fahrzeugklasse	Anteil [%]	
	Tag (06:00 – 22:00)	Nacht (22:00 – 06:00)
Arbeit	93.0	7.0
Ausbildung	97.3	2.7
Einkauf	99.6	0.4
Nutzfahrt	95.6	4.4
Freizeit	92.8	7.2
Lieferwagen (LI)	90.4	9.6
Lastwagen (LW)	89.9	11.1
Last- und Sattelzüge (LZ)	88.2	11.8

Eine Multiplikation der Tages-Anteile mit der DTV-Matrix ergibt die Matrix für den Tagesverkehr, welche anschliessend auf die Zähldaten kalibriert wurde (automatisches Verfahren; Einstellungen cf. Abbildung 243 und Abbildung 244, Anhang 7.11). Die Bildung der Nachtmatrix erfolgte dann durch Subtraktion der kalibrierten Tagesmatrix von der Gesamt-DTV-Matrix. So wird die Konsistenz zwischen der Summe aus Tages- und Nachtverkehr und dem Gesamt-DTV beibehalten.

Abbildung 219 zeigt die Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den Zähldaten für den Tages- und Nachtverkehr im MIV (PW). Da die Nachtmatrix nicht auf die Zähldaten kalibriert wurde und hier die Werte insgesamt sehr tief liegen, wird hier eine höhere relative mittlere Abweichung toleriert. Eine analoge Auswertung für alle Fahrzeuge zeigt Abbildung 220.

Abbildung 219 Umlegungsanalyse MIV (PW, alle Zählstellen), DTV-Modell (Tages- und Nachtverkehr)

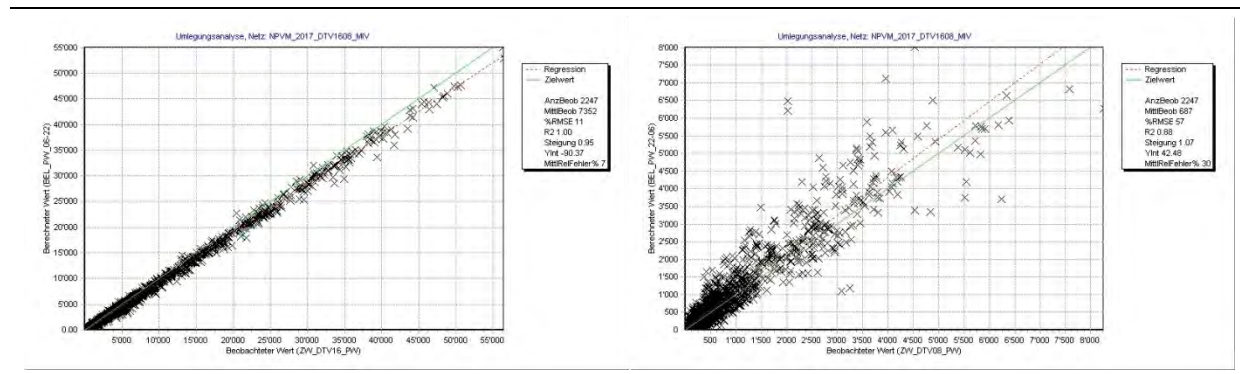
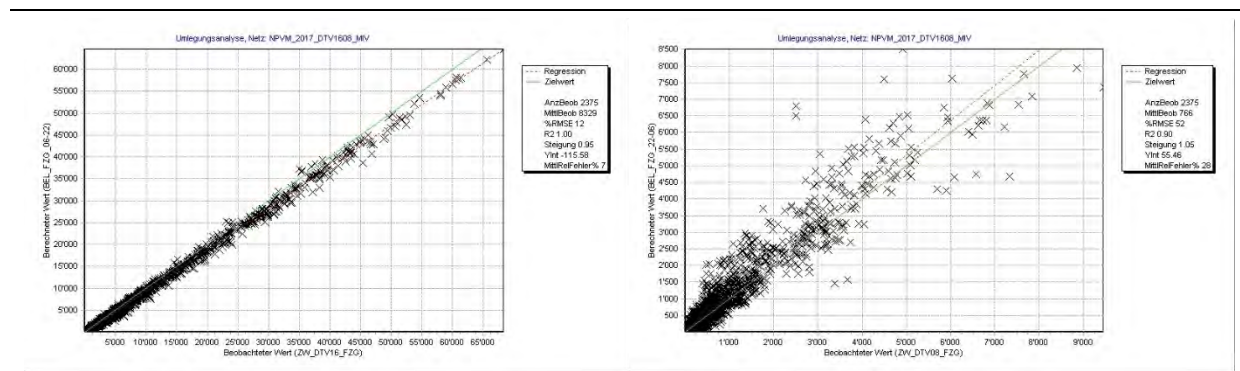


Abbildung 220 Umlegungsanalyse MIV (FZG, alle Zählstellen), DTV-Modell (Tages- und Nachtverkehr)



5.2 Modelle der Spitzenstunden

5.2.1 Zeitscheiben Personenverkehr 2017

In diesem Arbeitspaket werden die dynamischen Modellteile beschrieben. Die Arbeiten beziehen sich auf den Personenverkehr des MIV (PW) und ÖV. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen nach QZG aus dem MZMV 2015;
- Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und stundenfeinen Umlegungsmodellen;
- Berechnung der unkalibrierten Spitzenstundenmatrizen;
- Berechnung der viertelstundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen.

Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen nach Quelle-Ziel-Gruppen

Für die Erstellung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen müssen in einem ersten Schritt die räumlichen und zeitlichen Variationen der Verkehrsnachfrage bestimmt werden. Durch die räumlichen Variationen werden die Unterschiede in der Verkehrsstärke einer Quelle-Ziel-Beziehung nach Richtungen innerhalb eines Zeitintervalls beschrieben. Da innerhalb eines stündlichen Zeitintervalls die Verkehrsnachfrage einer Relation nach Richtungen sehr unterschiedlich sein kann, müssen beide Variationen simultan betrachtet werden. Diese Abhängigkeiten können am Beispiel der Pendlerströme gezeigt werden. In der Morgenspitze finden vor allem Verkehrsströme zu grossen oder mittleren Zentren statt, am Abend entsprechend in der Gegenrichtung. Ohne Berücksichtigung der räumlichen Charakteristiken der Zonen oder Nachfragesegmente könnten solche Gesetzmässigkeiten und Ableitungen der Richtungsstärke nur bedingt abgebildet werden.

Die Grundlage für die Abbildung der räumlichen Charakteristiken stellt die entsprechende Differenzierung der Nachfragesegmente bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen dar. Somit sind die erstellten Verkehrsstrom-Matrizen nach QZG aus dem Nachfragemodell für den DWV 2017 die wesentliche Grundlage für die Beschreibung der räumlichen Nachfragevariationen. In den QZG werden neben den Verhaltensähnlichkeiten auch die räumlichen Ähnlichkeiten (durch die Bildung von Produktions- und Attraktionsmerkmalen) berücksichtigt. So wird z.B. die räumliche Verteilung bei der QZG Wohnen-Arbeit (WA) durch die Erwerbstätigen als Produktionsgrösse und die Arbeitsplätze als Attraktionsgrösse bestimmt. Diese Ströme zeigen auch eine sehr ähnliche zeitliche Verteilung (Wohnen-Arbeit: Morgenspitze mit Ziel Arbeitsplatz, Arbeit-Wohnen: Abendspitze mit Ziel Wohnort).

Die 26 QZG des Binnenverkehrs aus dem Nachfragemodell wurden zunächst zu 10 QZG aggregiert, um Gruppen mit einer kleinen Stichprobe im MZMV 2015 und ähnlichem Verhalten zusammenzufassen. Tabelle 78 zeigt die Typisierung des Nachfragemodells und die Aggregation zu 10 QZG.

Tabelle 78 Aggregation der 26 QZG im Binnenverkehr zu 10 aggregierten QZG

QZG-Bezeichnung	aggregierte QZG
W_A(A)	WA
W_A(SK)	WA
W_B(S)	WB
W_B(U)	WB
W_E(k)	WE
W_E(I)	WE
W_N	WN
W_Bg(K)	WS
W_F(k)	WS
W_F(I)	WS
A(A)_W	AW
A(SK)_W	AW
B(S)_W	BW
B(U)_W	BW
E(k)_W	EW
E(I)_W	EW
N_W	NW
Bg(K)_W	SW
F(k)_W	SW
F(I)_W	SW
A_S	AW
S_A	SW
A_E(k)F(k)	AW
F(k)E(k)_A	SW
E(k)F(k)_E(k)F(k)	EW
SS	SW

W = Wohnen, A = Arbeit, B = Bildung, E = Einkauf, N = Nutzfahrt, S = Sonstige

In einem weiteren Schritt wurden die Anzahl PW- und ÖV-Wege des MZMV zusätzlich zu den 10 aggregierten QZG-Gruppen und Stundenscheiben nach Sprachregion (Deutschschweiz und lateinische Schweiz) und zwei Distanzklassen (< 30km und ≥ 30km) differenziert ausgewertet. Die Festlegung auf die 30km-Distanzgrenze erfolgte, nachdem für die Wege der QZG Wohnen-Arbeit (WA) das Koinzidenzverhältnis (coincidence ratio, CR) für Abstufungen bei 20, 25, 30 und 35km getestet wurde. Dabei zeigte sich, dass die Distanzgrenzen 30km und 35km ähnlich gute Werte ergaben, zu Gunsten einer etwas grösseren Stichprobe bei den langen Wegen wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber die 30km-Distanzgrenze gewählt.

Für die Flughafenwege wurde aufgrund der geringen Stichprobe im MZMV keine Unterscheidung nach Modi, Sprachregion und Distanz verwendet.

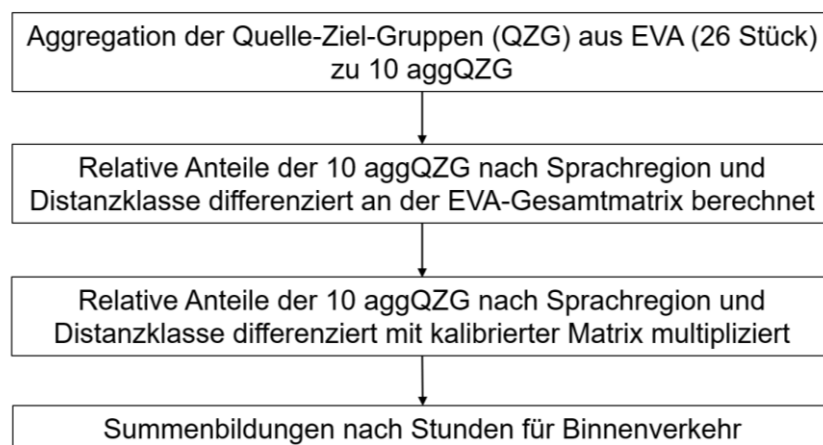
Für den QZD-Verkehr wurden aufgrund der Fahrtzweckverteilung laut A+GQPV-Erhebung nach Sprachregion und Richtung sowie den entsprechenden QZG-(aggregiert)-Anteilen für lange Fahrten pro Stundenscheibe die stundenfeinen QZD-Matrizen berechnet.

Berechnung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen

Die im vorherigen Kapitel nach aggregierten QZG berechneten Nachfragevariationen während eines Werktages, die Verkehrsstrommatrizen nach QZG sowie die kalibrierten DWV-Matrizen ÖV und MIV stellen die Grundlage für die Generierung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen dar. Dafür werden die beiden kalibrierten Matrizen (ÖV und MIV) auf Segmente nach den aggregierten QZG (Anzahl Typen: 10), zwei Sprachregionen (quellseitig) und zwei Distanzklassen ($< 30\text{km}$ und $\geq 30\text{km}$) disaggregiert.

Aus den nach Segmenten disaggregierten Tagesmatrizen und den im vorherigen Arbeitsschritt berechneten Stundenanteilen nach Segmenten werden die Stundenmatrizen erstellt. In Abbildung 221 ist der Ablauf für den Binnenverkehr dargestellt.

Abbildung 221 Ablauf Erstellung stundenfeine Binnenmatrizen



Abschliessend werden die stundenfeinen Binnenverkehrsmatrizen, die stundenfeinen Flughafenverkehrsmatrizen und stundenfeinen Aussenverkehrsmatrizen (QZD) summiert. Somit liegen pro Zeitscheibe die Nachfrage-matrizen für den Binnen-, Flughafen- und Aussenverkehr sowie die stündlichen Summenmatrizen, welche für die Umlegungsmodelle verwendet wurden, vor.

Umlegungsmodell Strasse (PW & Strassengüterverkehr)

Im PW-Modell wurden entsprechende Anpassungen bei der Nachfrageganglinie und beim Analysezeitraum durchgeführt sowie die Summenmatrizen je Stunde eingelesen. Die Verwendung der drei differenzierten Stundenmatrizen (PW-Binnen, PW-Flughafen, PW-QZD) würde die Rechenzeit stark erhöhen, daher wurde darauf verzichtet. Zusätzlich wurde der Faktor c bei der Kapazitätsberechnung angepasst, um Stunden- anstatt von Tageswerten zu berücksichtigen.

Im PW-Umlegungsmodell wurde der Strassengüterverkehr als Vorbelastung für die dynamisch-stochastische Umlegung berücksichtigt. Falls auch der Strassengüterverkehr mit einer Matrix oder mit drei Matrizen in der Umle-

gung abgebildet würde, wären die Rechenzeiten zusätzlich erhöht. Die Belastungen im Strassengüterverkehr variieren je nach Tagesstunde und Richtung. Aufgrund fehlender empirischer Grundlagen zur räumlich-zeitlichen Differenzierung der Nachfrage im Strassengüterverkehr sowie aus Rechenzeitüberlegungen musste ein pragmatisches Vorgehen umgesetzt werden. Die stündliche Nachfrage je Strassengüterverkehrstyp (LI, LW und LZ) wurde mit 12 % (entspricht 8.33 Arbeitsstunden pro Tag bzw. 42 Arbeitsstunden pro Woche) des Tagesverkehrs angenommen. Diese Nachfragematrizen wurden danach im Stundenmodell umgelegt und zu einer Gesamtbelastung aufsummiert. Somit hat jede Tagesstunde die gleiche Vorbelastung aus dem Strassengüterverkehr. In den Tagesstunden mit wenig Verkehr ist die Vorbelastung durch den Strassengüterverkehr zu hoch, aber aufgrund der geringen Gesamtauslastung des Strassennetzes ist der Effekt wenig relevant. In den auslastungsstarken Stunden liegt die Vorbelastung des Strassengüterverkehrs in einer realistischen Grössenordnung.

In der Umlegungsanalyse wurden die 406 Querschnitte mit stundenfeinen ASTRA-Zähl Daten berücksichtigt. Die mittlere relative Abweichung schwankt von 6:00 bis 18:00 von 12 bis 24%, wobei der Mittelwert dafür bei diesen 12 Zeitscheiben bei 17.9% bei drei Iterationen und bei 17,5% bei fünf Iterationen liegt. Die Verbesserung des Umlegungsergebnisses ist marginal und in Anbetracht der Rechenzeiten (gemäss Angabe siehe unten) empfiehlt sich die Verwendung von drei Iterationen.

Als Beispiel sind in Abbildung 222 und Abbildung 223 die am stärksten belasteten Zeitscheiben am Morgen und am Abend aufgeführt.

Abbildung 222 Umlegungsanalyse PW, Zeitscheibe 7-8 Uhr

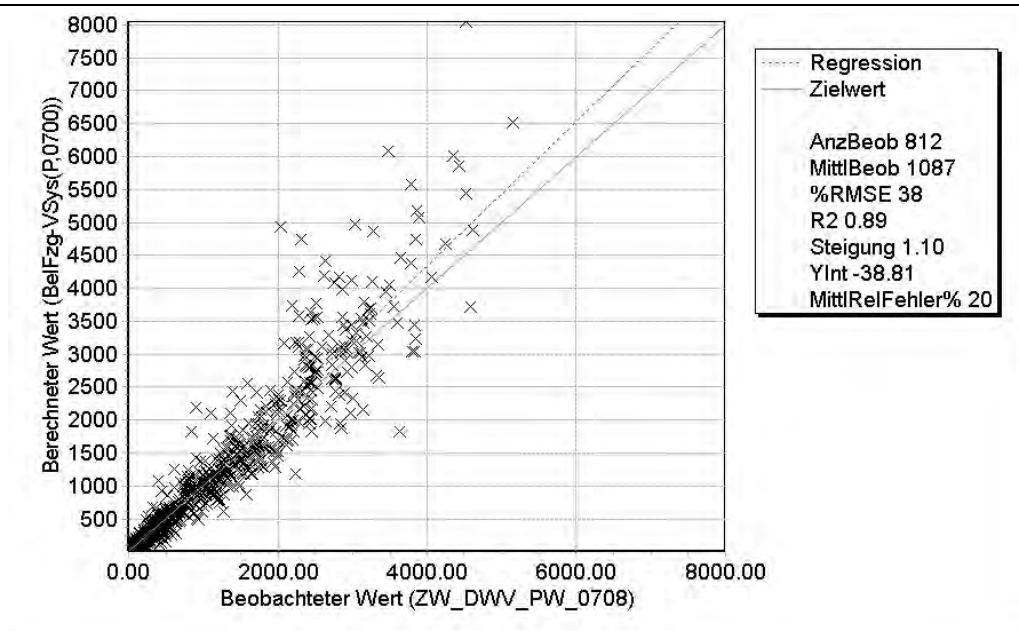
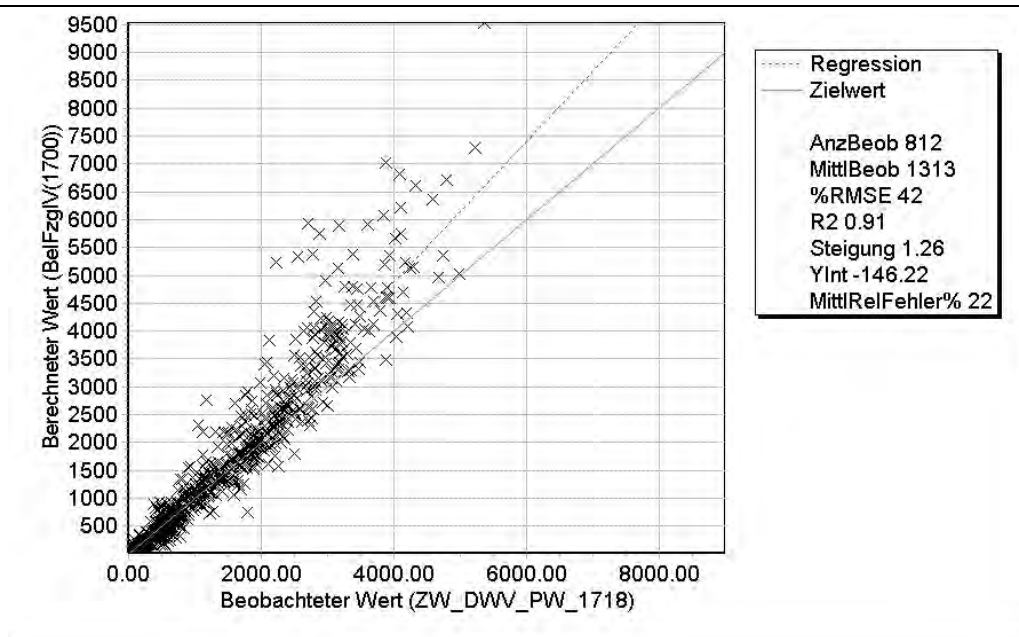


Abbildung 223 Umlegungsanalyse PW, Zeitscheibe 17-18 Uhr



Die Rechenzeit für die dynamisch-stochastische Umlegung beträgt mit einem Rechner mit 32 virtuellen Kernen: mit drei Iterationen knapp 3 Wochen und mit fünf Iterationen rund 5 Wochen.

ÖV-Umlegungsmodell

Im ÖV-Modell wurden entsprechende Anpassungen bei der Nachfrageganglinie und beim Analysezeitraum durchgeführt sowie die Summenmatrizen je Stunde eingelesen. Die Rechenzeit für die stundenfeine, fahrplanfeine Umlegung beträgt bei 12 virtuellen Kernen rund 12 Stunden.

In der Umlegungsanalyse wurden die 339 Querschnitte mit stundenfeinen Bahnzähldaten berücksichtigt. Die mittlere relative Abweichung schwankt von 6:00 bis 18:00 von 13 bis 32%, wobei sie für den Grossteil der Stunden um 21.8% liegt. Als Beispiel sind in Abbildung 224 und Abbildung 225 die am stärksten belasteten Zeitscheiben am Morgen und Abend aufgeführt.

Abbildung 224 Umlegungsanalyse ÖV in Tausend, Zeitscheibe 7-8 Uhr

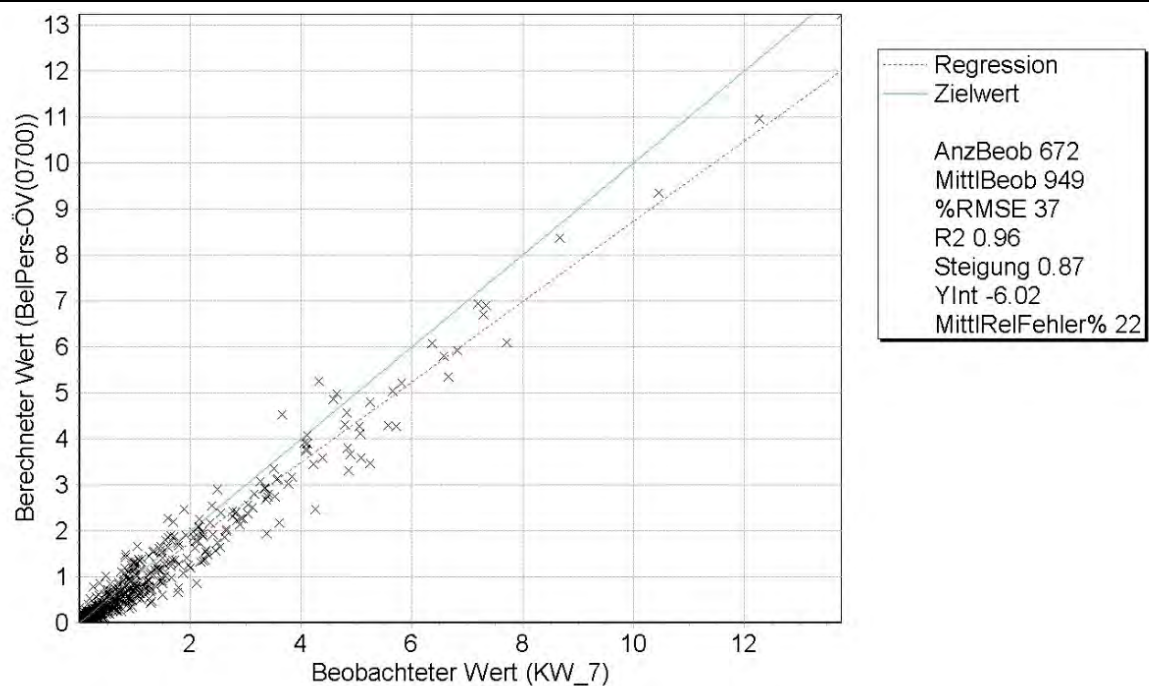
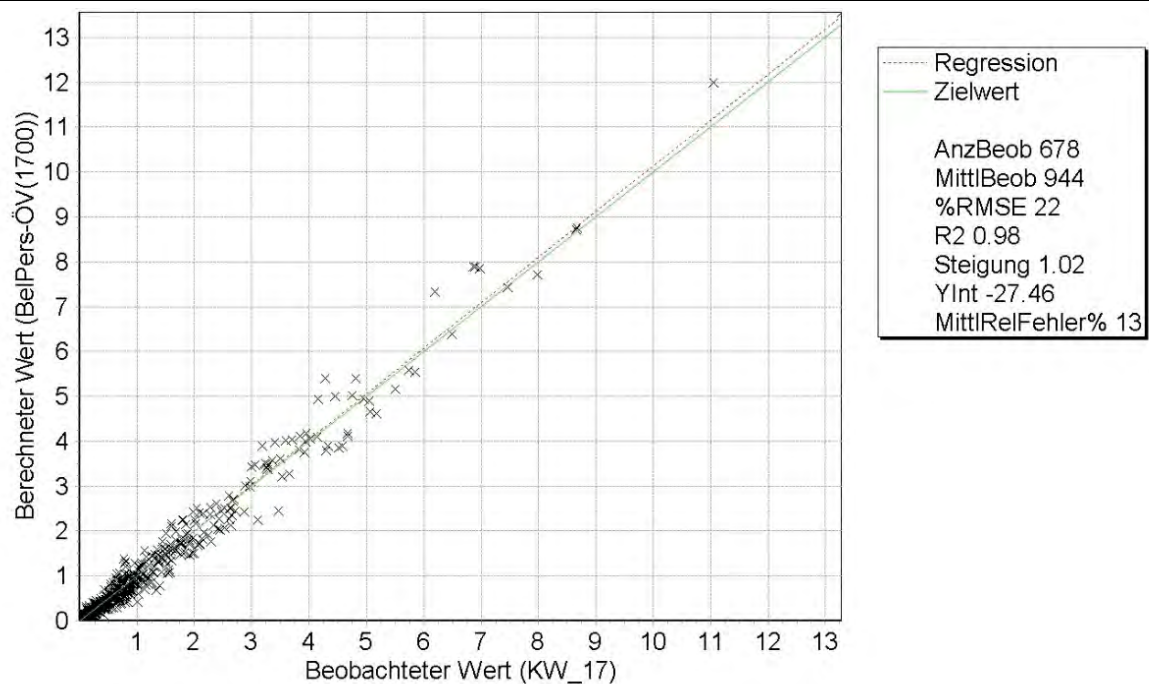


Abbildung 225 Umlegungsanalyse ÖV in Tausend, Zeitscheibe 17-18 Uhr



Ableitung der Spitzenstundenmatrizen aus der Stundenmatrix (Personenverkehr)

Die Grundlagen für die Erstellung der Spitzenstundenmatrizen stellen die im vorherigen Arbeitsschritt berechneten stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen dar. Da es sich bei der Abbildung der Spitzenstunden um ein statisches

Modell handelt müssen alle Fahrten zwischen 7:00 und 8:00 bzw. 17:00 und 18:00, die zum betrachteten Zeitpunkt auf dem Strassen- oder ÖV-Netz unterwegs sind, in der Matrix abgebildet werden. Dafür sind alle Fahrten der vorherigen Stunden, die bis 7:00 bzw. 17:00 nicht beendet sind, sowie Abfahrten zwischen 7:00 und 8:00 bzw. 17:00 und 18:00, die länger als eine Stunde dauern, bei der Erstellung der Matrix entsprechend deren Anteilen in der betrachteten Stunde zu berücksichtigen. Für die Zusammensetzung der Fahrten in der betrachteten Spitzenstunde wurde anhand der Reisezeit der betrachteten Quelle-Ziel-Beziehung ein Ansatz aus Vrtic und Fröhlich (2016) für die Filtrierung der Wege, die in den Spitzenstundenzeiten noch dauern bzw. stattfinden, angewendet. Die Filtrierung der Wege $F_{ij} = P * F_{ij, Zeitscheibenmatrix}$ erfolgt über die Berechnung der Anteile (P) der einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen in Abhängigkeit von deren Reisezeit (t) und der betrachteten Abfahrtszeit:

- Spitzenstundenmatrix (7:00-8:00 und 17:00-18:00):
 - wenn $t \leq 60 \text{ min}$ $P = 1 - (t / 120)$
 - wenn $t > 60 \text{ min}$ $P = 30 / t$
- Vorherige Stunde (6:00-7:00 und 16:00-17:00):
 - wenn $t \leq 60 \text{ min}$ $P = t / 90$
 - wenn $60 \text{ min} \leq t \leq 90 \text{ min}$ $P = 2/3$
 - wenn $t > 90 \text{ min}$ $P = 60 / t$
- Wege innerhalb der Spitzenstundenzeit mit einer Abfahrtszeit von zwei und Stunden vorher (5:00-6:00 und 15:00-16:00):
 - wenn $t \leq 60 \text{ min}$ $P = 0$
 - wenn $60 \text{ min} \leq t \leq 120 \text{ min}$ $P = (t-60) / 240$
 - wenn $t > 120 \text{ min}$ $P = 1/3$

Am Ende werden für die Morgen (MSP)- und Abendspitzenstunde (ASP) die jeweiligen Teilmatrizen addiert und es liegen als Produkt dieses Arbeitsschritts unkalibrierte MSP- und ASP-Matrizen für den PW und ÖV vor.

Erstellung viertelstundenfeiner Zeitscheiben

Für Projekte mit einem Fokus auf die Wahl der Abfahrtszeit kann eine feinere zeitliche Aufteilung der Nachfrage als Stundenscheiben eine wichtige Datengrundlage sein. Daher wurde eine weitere Verfeinerung der Stundenmatrizen auf Viertelstundenmatrizen unter folgenden Annahmen durchgeführt:

- Aufgrund der geringeren Stichprobengrösse je Zeitintervall wurde auf die Aufteilung nach Sprachregion verzichtet, die Aufteilung nach Distanzklassen aber beibehalten.
- Die Summe der vier Viertelstundenmatrizen muss der jeweiligen Stundenmatrix entsprechen.
- Für mögliche fahrtzweckspezifische Abfahrtszeitmodelle wurden jeweils drei Stunden um die Morgenspitze (6:00-9:00 Uhr) und Abendspitze (15:00-18:00 Uhr) mit den zehn aggregierten QZG für den Binnen-, Flughafen- und Aussenverkehr berechnet.
- Für die Viertelstundenteile der 18 übrigen Stundenscheiben wurde die Abfahrtsverteilung aller QZG der jeweiligen Stunde unter Berücksichtigung der Distanzklassen berechnet.

Als Endprodukt liegen somit für 2 Modi (PW und ÖV) je 96 Viertelstundenmatrizen vor.

Es wurden Testumlegungen für die Morgen- und Abendspitzenzeiträume (6.00-10.00 bzw. 15.00-19.00) mit den Viertelstundenmodellen durchgeführt. Die Umlegungsergebnisse sind signifikant besser gegenüber den Stun-

denmodellen. Für nachfolgende Arbeiten zur Wahl der Abfahrtszeit kann nun mit feineren Viertelstundenzeitscheiben und Umlegungsmodellen mit Spitzenzeiträumen (eventuell mit zusätzlichen zwei Stunden Vorlaufzeit) gearbeitet werden. Damit stehen Grundlagen für diesen wichtigen Modellschritt, insbesondere im Hinblick auf dynamische Pricingansätze, zur Verfügung.

5.2.2 Umlegung und Kalibration der Spitzenstunden-Matrizen

Die nach dem oben beschriebenen Verfahren erstellten unkalibrierten Spitzenstundenmatrizen wurden anschliessend auf die vorhandenen Zählzeiten kalibriert. Hier wurde analog wie im DWV vorgegangen, also eine manuelle Kalibration der PW- und ÖV-Matrizen durchgeführt. Die Ergebnisse (Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den Zählzeiten) sind in nachfolgenden Abbildungen ersichtlich:

- Morgenspitze (MSP):
 - Abbildung 226 für den PW, unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
 - Abbildung 227 für den PW, nur für ASTRA-Zählstellen;
 - Abbildung 228 für den Gesamt-MIV (PW+LI+LW+LZ), unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
 - Abbildung 229 für den Gesamt-MIV, nur für ASTRA-Zählstellen;
 - Abbildung 230 für den ÖV, unter Berücksichtigung aller Zählwerte;
 - Abbildung 231 für den ÖV, nur für Bahnstrecken;
- Abendspitze (ASP):
 - Abbildung 232 für den PW, unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
 - Abbildung 233 für den PW, nur für ASTRA-Zählstellen;
 - Abbildung 234 für den Gesamt-MIV (PW+LI+LW+LZ), unter Berücksichtigung aller Zählstellen;
 - Abbildung 235 für den Gesamt-MIV, nur für ASTRA-Zählstellen;
 - Abbildung 236 für den ÖV, unter Berücksichtigung aller Zählwerte;
 - Abbildung 237 für den ÖV, nur für Bahnstrecken.

Im Pflichtenheft des Auftraggebers gefordert ist die Einhaltung folgender Grenzwerte für die *GEH*-Werte:

- Werte ≤ 10 für 85% aller PW-Zählwerte → eingehalten für 99.9% in der MSP und 99.9% in der ASP;
- Werte ≤ 6 für 90% aller ASTRA-Zählwerte → eingehalten für 98.7% in der MSP und 99.3% in der ASP;
- Werte ≤ 10 für 85% aller ÖV-Zählwerte → eingehalten für 99.9% in der MSP und 99.9% in der ASP;
- Werte ≤ 8 für 90% aller SBB-/Bahn-Zählwerte → eingehalten für 99.8% in der MSP und 99.7% in der ASP;

Die vorgegebenen Toleranzen werden also für sämtliche *GEH*-Teilmengen eingehalten, wie auch Abbildung 238 (MSP) und Abbildung 239 (ASP) zeigen.

Abbildung 226 Umlegungsanalyse MIV (PW, alle Zählstellen), MSP-Modell

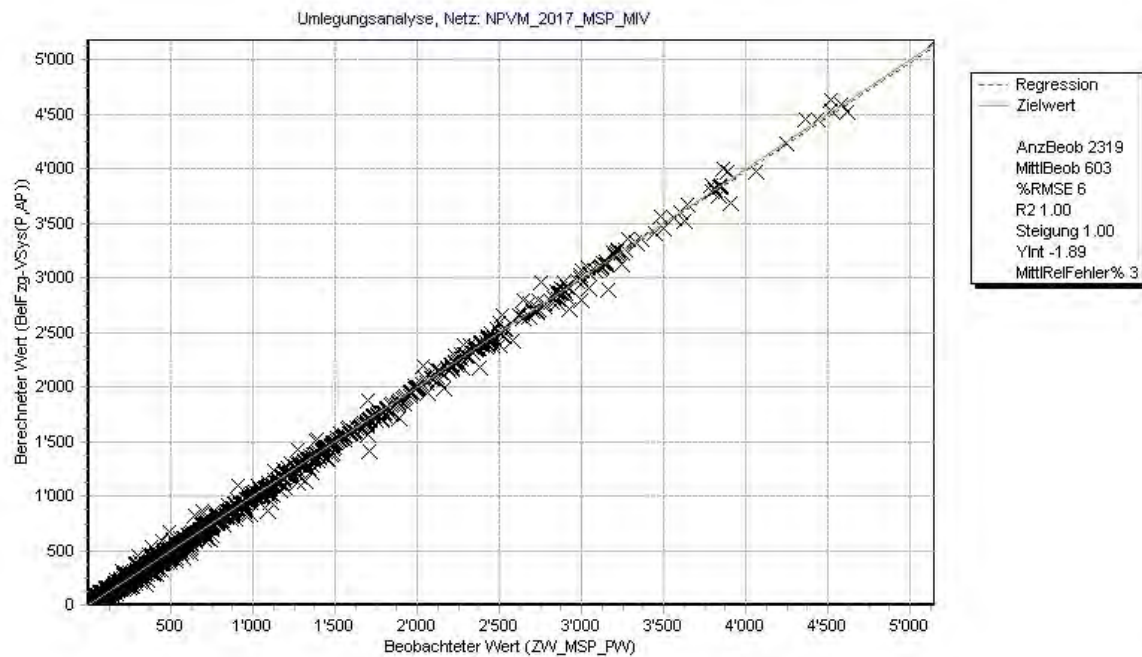


Abbildung 227 Umlegungsanalyse MIV (PW, nur ASTRA-Zählstellen), MSP-Modell

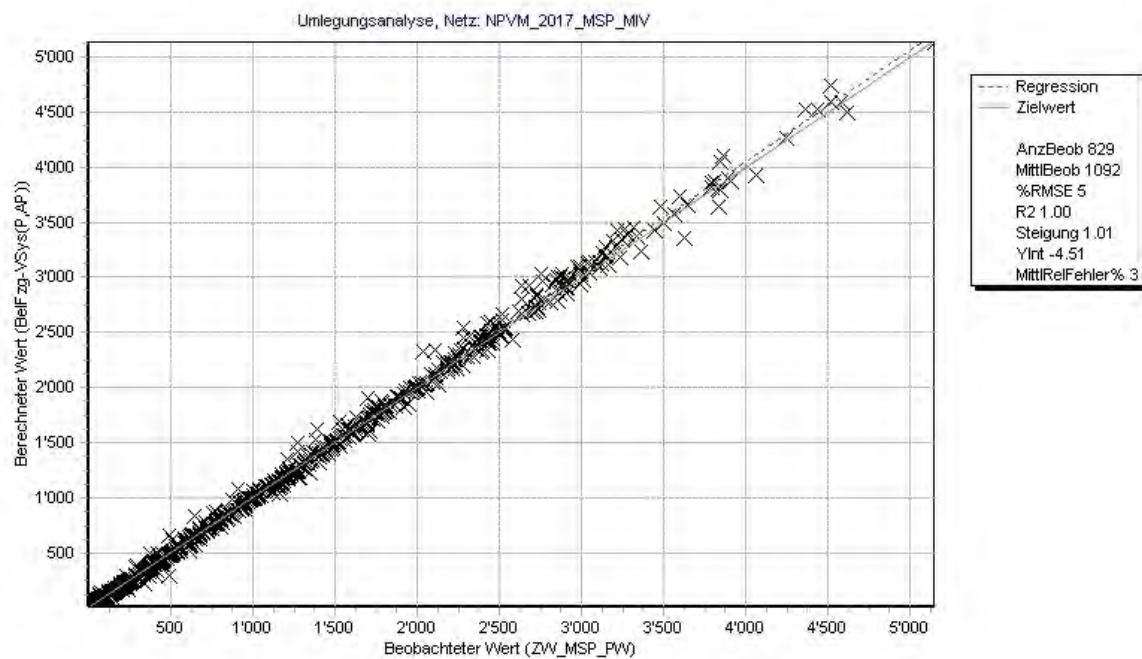


Abbildung 228 Umlegungsanalyse MIV (FZG, alle Zählstellen), MSP-Modell

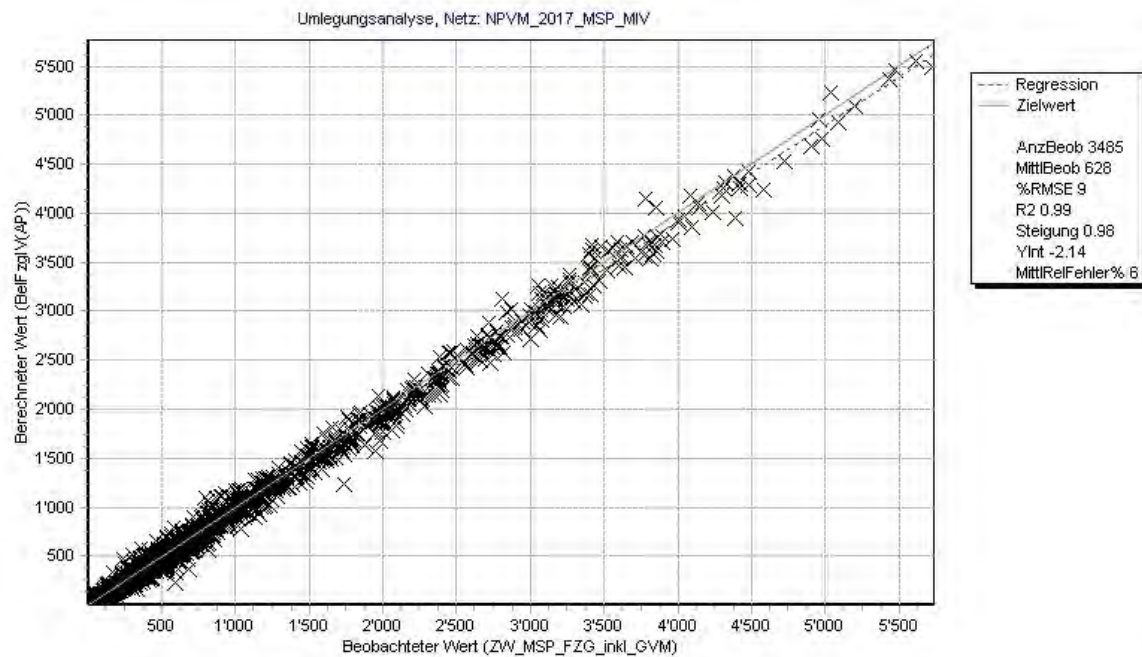


Abbildung 229 Umlegungsanalyse MIV (FZG, nur ASTRA-Zählstellen), MSP-Modell

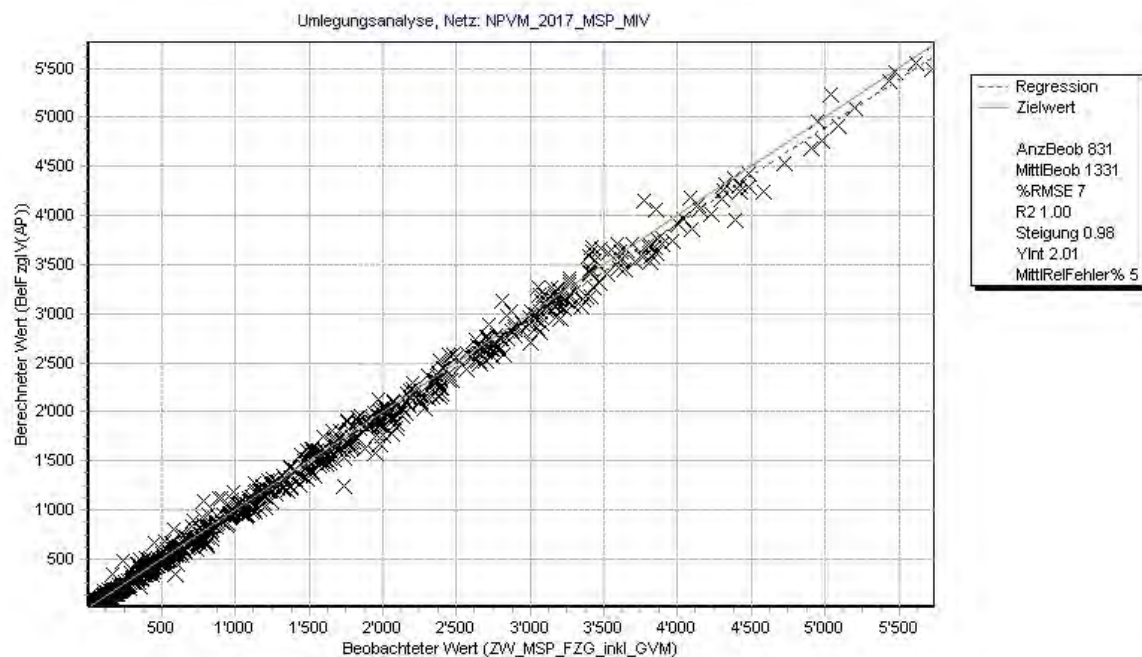


Abbildung 230 Umlegungsanalyse ÖV (alle Zählwerte), MSP-Modell

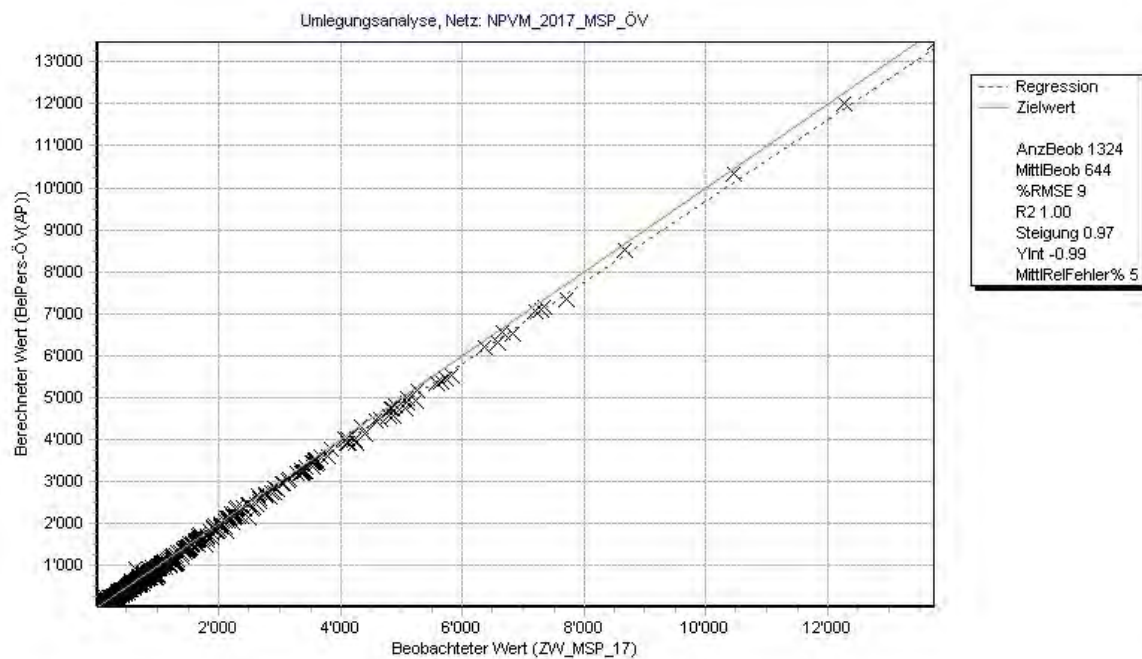


Abbildung 231 Umlegungsanalyse ÖV (nur Bahn), MSP-Modell

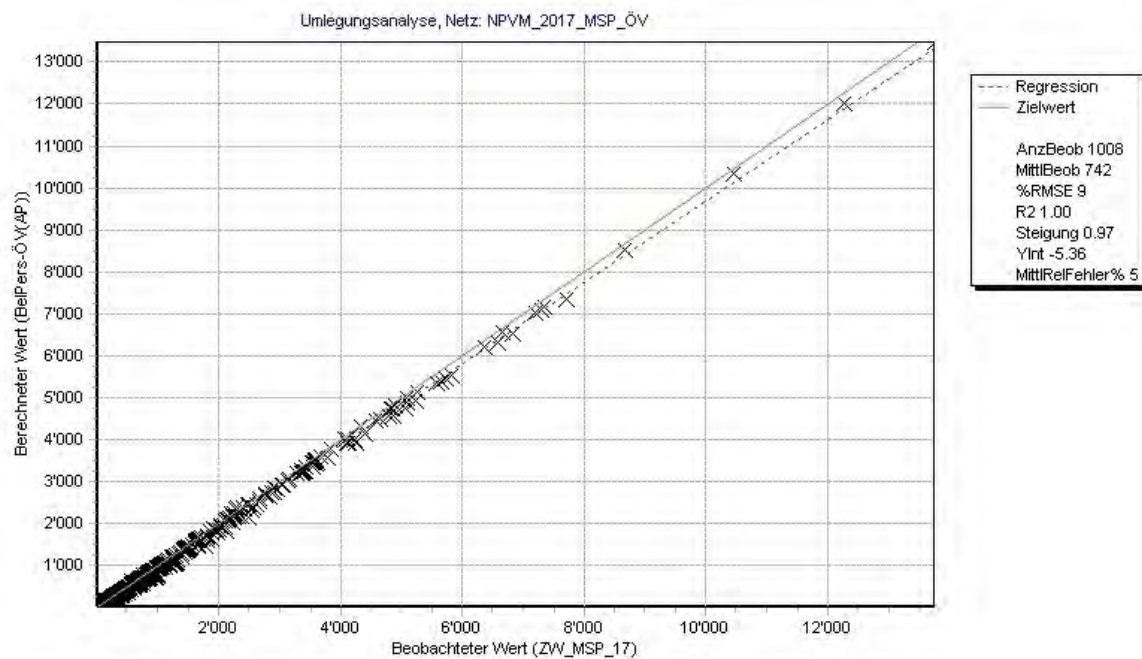


Abbildung 232 Umlegungsanalyse MIV (PW, alle Zählstellen), ASP-Modell

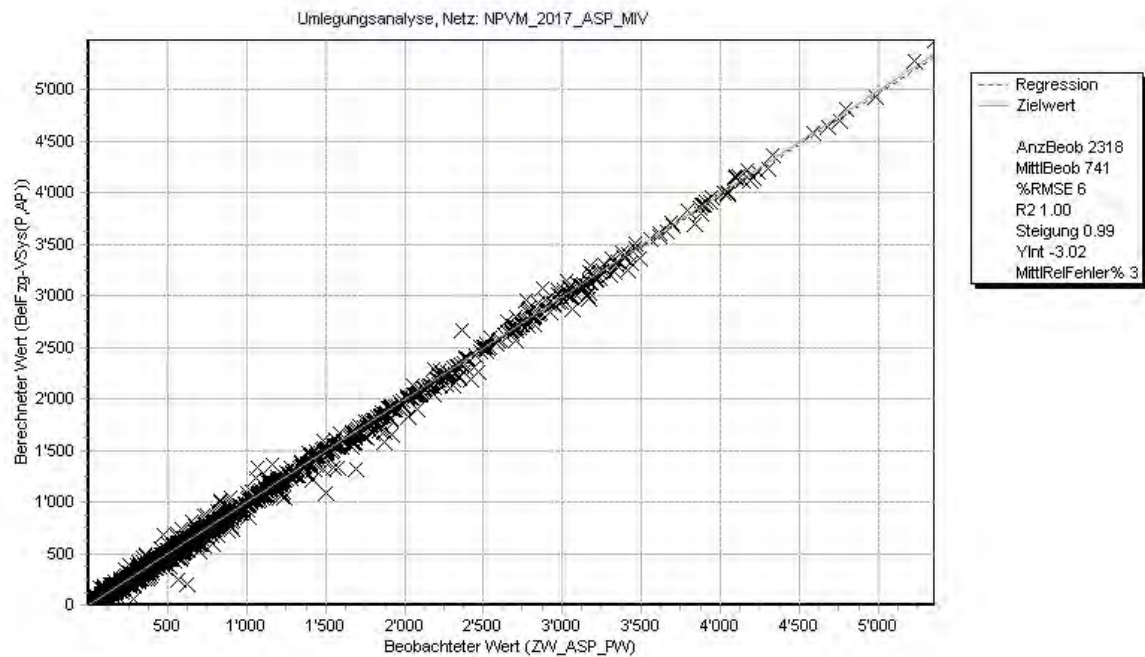


Abbildung 233 Umlegungsanalyse MIV (PW, nur ASTRA-Zählstellen), ASP-Modell

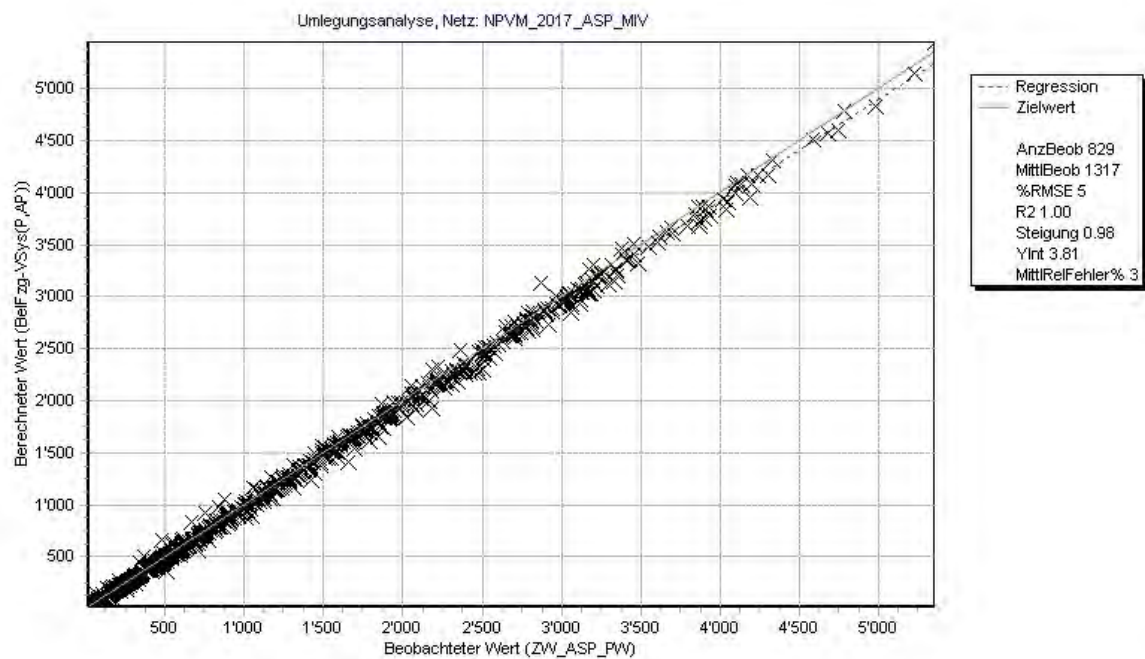


Abbildung 234 Umlegungsanalyse MIV (FZG, alle Zählstellen), ASP-Modell

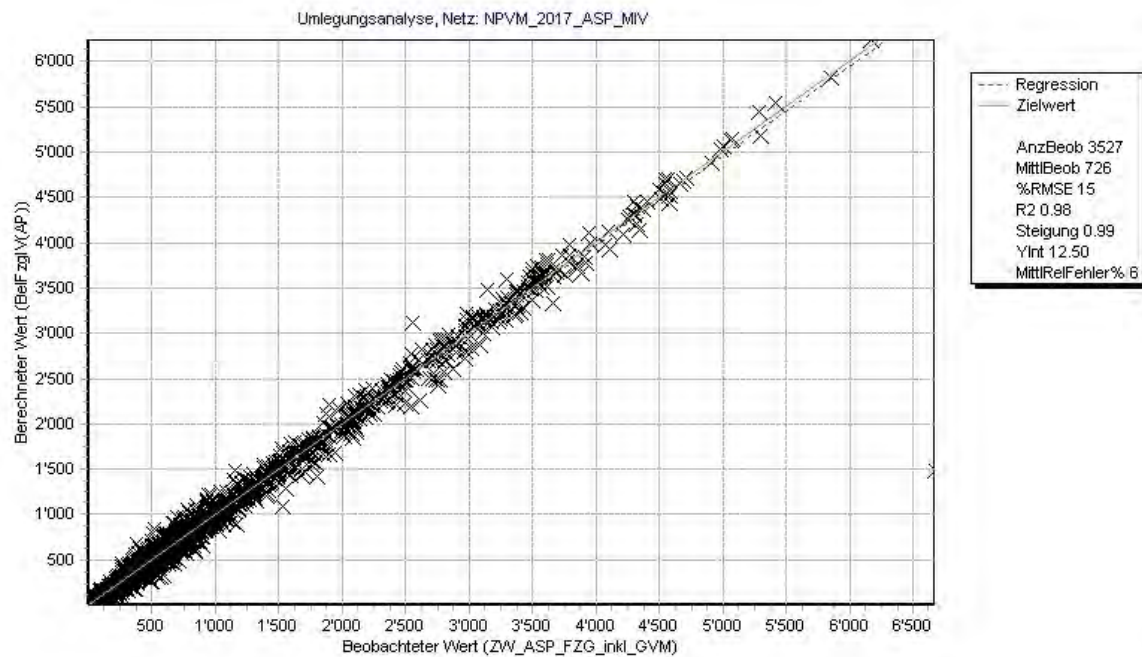


Abbildung 235 Umlegungsanalyse MIV (FZG, nur ASTRA-Zählstellen), ASP-Modell

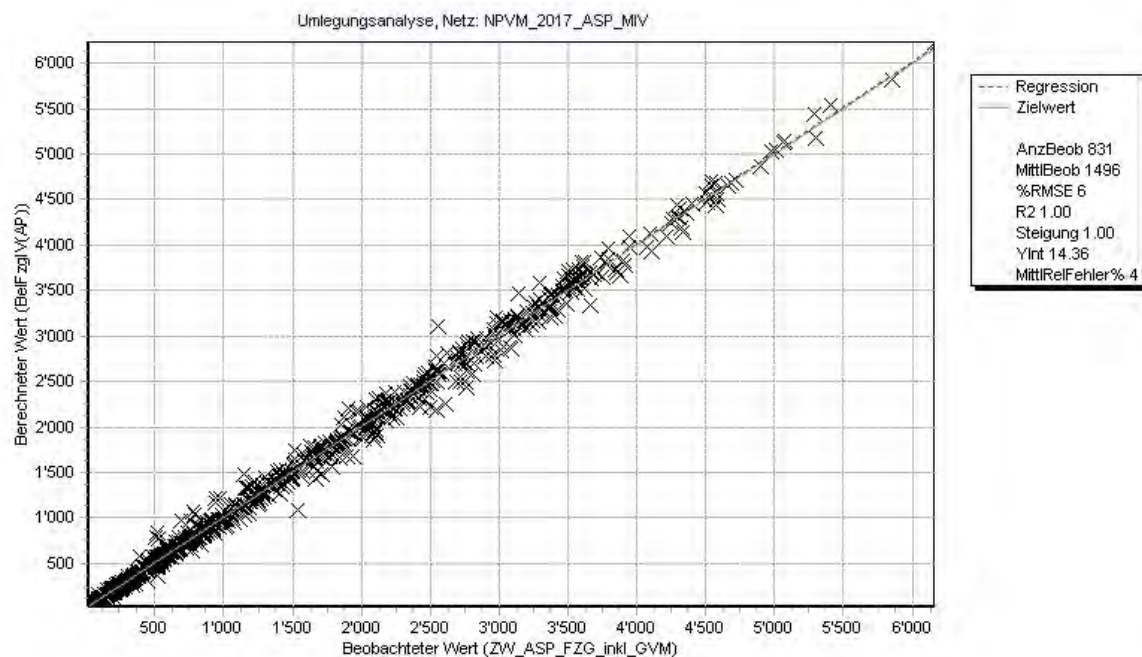


Abbildung 236 Umlegungsanalyse ÖV (alle Zählwerte), ASP-Modell

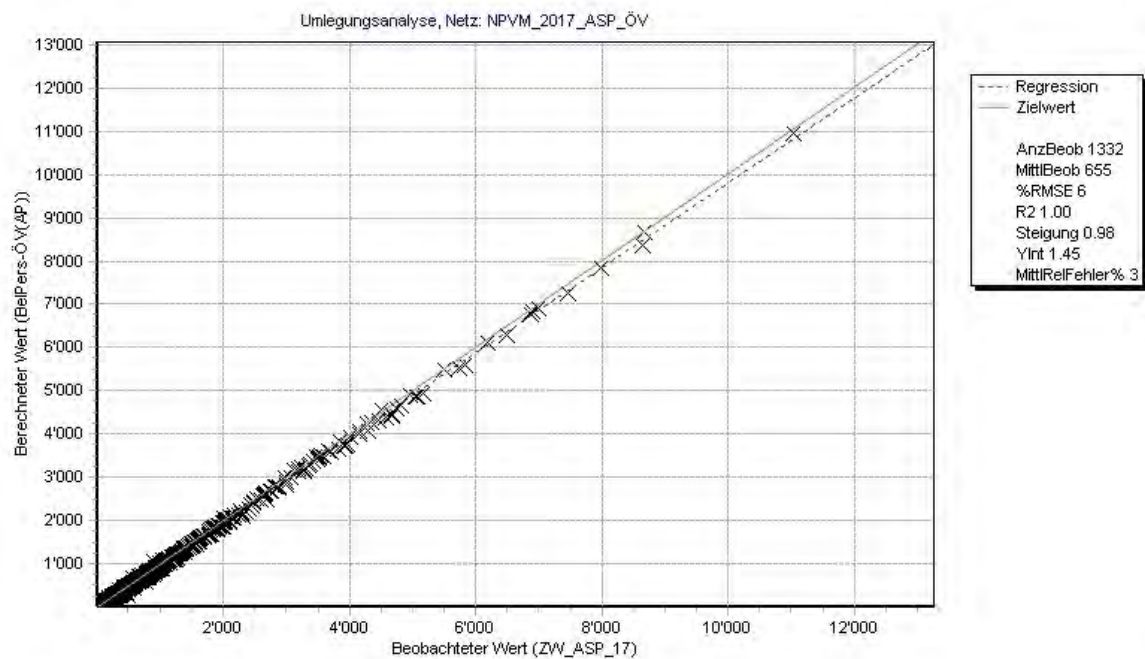


Abbildung 237 Umlegungsanalyse ÖV (nur Bahn), ASP-Modell

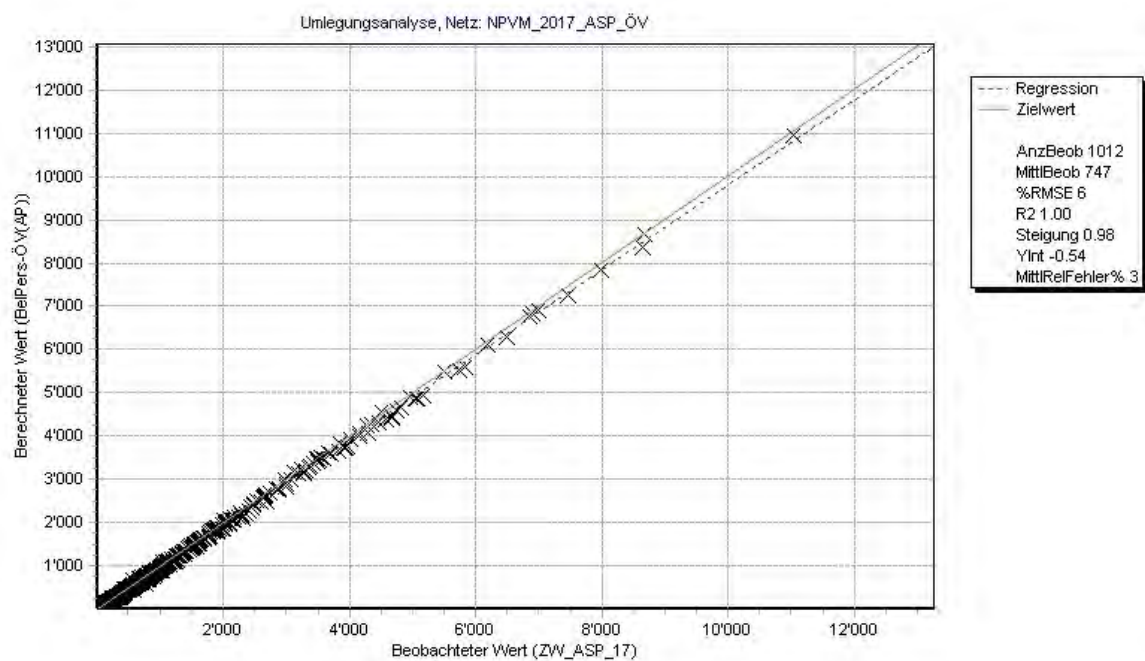


Abbildung 238 Verteilung der GEH-Werte (MSP)

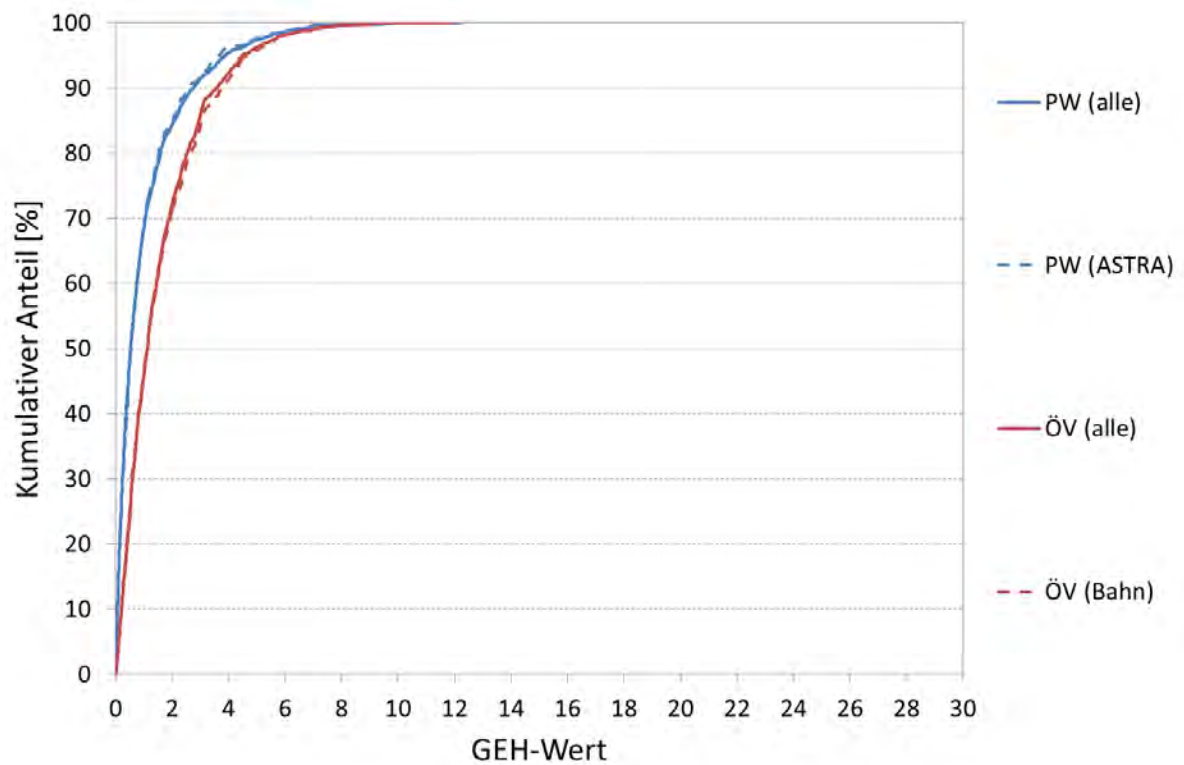
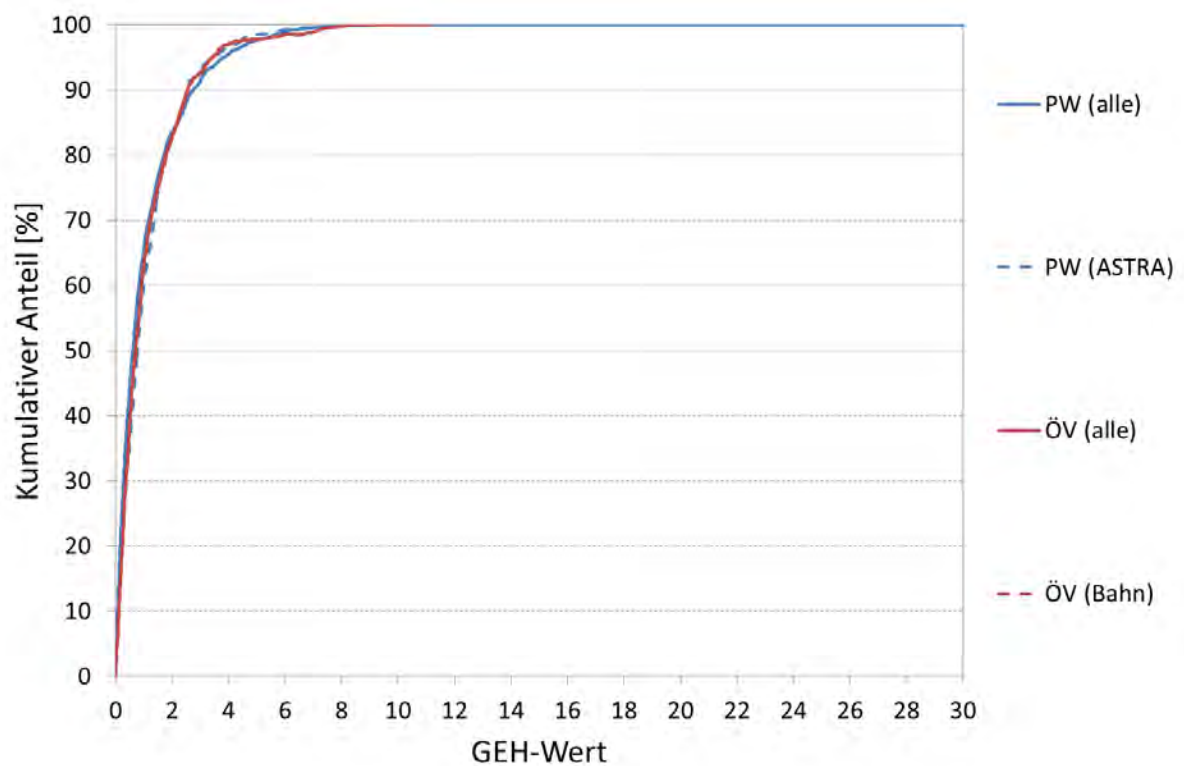


Abbildung 239 Verteilung der GEH-Werte (ASP)



5.3 Testprognose 2040

Basierend auf dem kalibrierten Ist-Zustand DWV 2017 wurde im Rahmen der Modelletablierung eine Testprognose gerechnet. Analog zu den oben beschriebenen Sensitivitäten sollte diese aufzeigen, dass das Modell korrekt auf Veränderungen wichtiger Inputgrössen reagiert. Im Unterschied zu den Sensitivitäten wurden dabei keine pauschalen Annahmen über die Veränderung einer einzelnen Kenngrösse getroffen, sondern ein, wenngleich bezüglich einiger Inputs vereinfachtes, Prognoseszenario abgebildet.

Die Testprognose dient wie erwähnt in erster Linie der Validierung von Reaktionen des Gesamtmodellverbunds. Sie ist nicht als realistisches Trend- oder Zielszenario zu verstehen, beinhaltet keinerlei Annahmen bezüglich einer Entwicklung oder Veränderung des Mobilitätsverhaltens und sollte auch nicht als Referenz für Verkehrsprognosen verwendet werden.

5.3.1 Inputs und Annahmen

Strukturdaten

Die Strukturdaten wurden vom Auftraggeber auf Grundlage der Werte für 2017 vereinfacht hochgerechnet und dem Auftragnehmer zur Verfügung gestellt. Das Wachstum ist für sämtliche Personengruppen homogen und beträgt ca. 17%. Verwendung fanden die zum Zeitpunkt der Erstellung gültigen Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone (BFS, 2016b). Die Hochrechnung erfolgte unter Anwendung nachstehender Annahmen:

- Entwicklung der Erwerbstätigen in Anlehnung an die Erwerbspersonenentwicklung 2017 → 2040.
- Ermittlung der Anteile der verhaltenshomogenen Personengruppen an der Gesamtanzahl Einwohner bzw. Erwerbstätigen in 2017 und Übertrag der Anteile auf die Einwohner bzw. Erwerbstätigen in 2040.
- Berechnung der Schüleranzahl für 2040 unter Anwendung des Schüleranteils in 2017 an den 6-24-jährigen Einwohnern.
- Berechnung der Studierendenanzahl für 2040 unter Anwendung des Studierendenanteils in 2017 an den 18-44-jährigen Einwohnern.
- Hochrechnung der Anzahl an Mobilitätswerkzeugen je Verkehrszone in Anlehnung an die Bevölkerungsentwicklung.
- Angaben zur Geschlechterverteilung sowie zum durchschnittlichen Haushaltseinkommen je Verkehrszone wurde zu 2017 unverändert belassen.
- Hochrechnung der Anzahl an Arbeitsplätzen, der Grenzgänger sowie der Besucherzahlen von Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen in Anlehnung an die Arbeitsplatzentwicklung auf Stufe MS-Regionen gemäss den Ergebnissen aus Ecoplan, 2016.
- Hochrechnung der Flughafenpassagiere gemäss den Annahmen der Verkehrsperspektiven 2040.

Strassennetz

Ins Strassennetz wurden vom Auftraggeber 87 Massnahmen integriert und das entsprechende Prognosenetz für die Analysen zur Verfügung gestellt.

ÖV-Angebot

Als ÖV-Angebot wurde für die Schiene der Fahrplan STEP AS 2035 verwendet. Im städtischen ÖV liegt kein schweizweiter Prognosefahrplan vor, daher wurde hier das Angebot von 2017 übernommen.

Mobilitätsverhalten, sonstige Inputgrössen und Vorgehen

Bei der Bildung des Testszenarios wurden folgende grundlegende Annahmen getroffen:

- Die Kenngrössen im Langsamverkehr wurden unverändert zu 2017 belassen.
- Die Mobilitätsraten wurden ebenfalls unverändert zu 2017 belassen. Dies und das homogene Wachstum in allen Personengruppen führt zu einer gleichbleibenden Verteilung der Aufkommen der einzelnen QZG und Fahrtzwecke.
- Die PW-Besetzungsgrade wurden unverändert zu 2017 belassen.
- Die Kostensätze im MIV und ÖV wurden unverändert zu 2017 belassen.
- Das Wachstum im Strassengüterverkehr wurde für jede Relation aus der in den Verkehrsperspektiven 2040 angenommenen Entwicklung berechnet. Die feineren Zonen des NPVM 2017 wurden hierfür den Zonen aus den Verkehrsperspektiven (bzw. dem NPVM 2010) zugewiesen und die Nachfrage letzterer gewichtet auf die neue Zonierung disaggregiert. Die Berechnung führt zu folgenden Gesamtwachstumsraten für die einzelnen Fahrzeugklassen: LI +8%, LW +27%, LZ +25%.
- Auch der Aussenverkehr wurde mit einer Hochrechnung des Wachstums gemäss der Verkehrsperspektiven 2040 ermittelt. Hier betragen die Wachstumsraten: MIV: +8%, ÖV: +33%.
- Es wurde testweise ein voller Modelllauf mit Rückkopplung der MIV- und ÖV-Umlegung gerechnet. Bei letzterer wurde in den ersten vier Iterationsschritten auch die ÖV-Auslastungsmatrix neu berechnet und aktualisiert in den jeweils nächsten Lauf des Nachfragemodells einbezogen. Die hier gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf den Modelllauf, in dem die ÖV-Auslastung nur initial berechnet und für die weiteren Iterationsschritte konstant gehalten wurde. Die Ergebnisse der beiden Läufe unterscheiden sich hinsichtlich der Modal-Split-Anteile nur minimal; der Einbezug einer rückgekoppelten ÖV-Auslastung in den ersten Iterationsschritten führt zu einem Rückgang der gesamten ÖV-Verkehrsleistung um ca. 0.3%. Dies ist als Hinweis zu werten, dass die Bewertung der Auslastung grundsätzlich den erwarteten dämpfenden Effekt bringt, die Wirkungen bezogen auf den gesamten ÖV aber gering bleiben. Es ist dabei jedoch zu bedenken, dass der Einbezug der Auslastungsberechnung nur in einem Teil der Iterationen dazu führt, dass kein vollständig ausiterierter Gesamtgleichgewichtszustand erreicht wird, sondern nach wie vor eine Näherung der tatsächlichen ÖV-Auslastung in den späteren Iterationsschritten verwendet wird. Die Entscheidung über den Einbezug der ÖV-Auslastung in die Rückkopplung (und die Anzahl der Iterationen, in welchen sie neu berechnet werden soll) sollte in jedem konkreten Anwendungsfall individuell getroffen werden, da keine pauschale Aussage darüber getroffen werden kann, ob die allenfalls leicht bessere Abbildung der Angebotsverhältnisse den doch sehr markanten Anstieg an Rechenzeit aufwiegt.

- Die Korrekturen aus der Kalibration der Umlegungsmodelle 2017 (also die Differenzen zwischen den Nachfragematrizen aus dem EVA-Modell und den fertig kalibrierten Matrizen) wurden bei der Prognose berücksichtigt. Hierbei wurde pro Quelle-Ziel-Relation der Mittelwert aus absolutem und relativem Übertrag der Differenzen verwendet:

$$P_{\text{korrigiert}.i.j} = \frac{(P_{\text{berechnet}.i.j} \cdot \varphi_{i,j}) + (P_{\text{berechnet}.i.j} + \delta_{i,j})}{2}$$

$P_{\text{korrigiert}}$ korrigierte Prognosematrix

$P_{\text{berechnet}}$ Prognosematrix aus Nachfragemodell

φ Verhältnis kalibrierte / unkalibrierte Analysematrix

δ Differenz kalibrierte / unkalibrierte Analysematrix

Diese Korrektur wurde für die PW- und ÖV-Binnenmatrix nach jeder Iteration des Nachfragemodells automatisiert durchgeführt, so dass die Umlegungsmatrizen für die Berechnung der neuen Kenngrößen den Kalibrationseffekt jeweils bereits enthalten.

5.3.2 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Testprognose anhand von verschiedenen Kenngrössen plausibilisiert.

Eckwerte der Nachfrage (Verkehrsaufkommen) & Modal Split

Die Eckwerte des Verkehrsaufkommens nach Modus aus dem Nachfragemodell 2040 und deren Vergleich mit 2017 sind in Tabelle 79 dargestellt. Das Gesamtaufkommen wächst proportional zur Bevölkerung um ca. 17%. Dies war wie erwähnt zu erwarten, da die Verteilung der Personengruppen gleichgeblieben ist und die Mobilitätsraten für alle QZG unverändert sind.

Bei den Modal-Split-Anteilen sind leichte Verschiebungen zu verzeichnen. So wächst der ÖV stärker (ca. +23%) als der Langsamverkehr (ca. +17%) und der MIV (ca. +16%). In der Gesamtbetrachtung des Modal Split führt dies nicht zu grösseren Verschiebungen (unter 1%), es ist jedoch ersichtlich, dass bezogen auf das Wachstum alleine (also auf die 2040 gegenüber 2017 zusätzlich entstandenen Wege) der ÖV einen grösseren Anteil übernimmt (knapp 18% des Wachstums ggü. 13% der Grundnachfrage). Hier bleibt der Langsamverkehr recht stabil, der Anteil des MIV nimmt leicht ab (ca. 42% des Wachstums ggü. 46% der Grundnachfrage). Wie erwartet führt das insgesamt verbesserte ÖV-Angebot bei einer gleichzeitig gesamthaft stärker ausgelasteten Strasseninfrastruktur also zu einer teilweisen Substitution der Wege zwischen den beiden motorisierten Modi. Es ist aber gleichzeitig ersichtlich, dass der MIV (sowohl bei den zusätzlichen Fahrten als auch gesamthaft) das dominierende Verkehrsmittel bleibt.

Tabelle 79 Testprognose 2040: Eckwerte der Nachfrage & Modal Split
(Binnenverkehr aus Nachfragemodell EVA)

Modus	Nachfrage [Wege]		Wachstum		Modal Split [%]		
	2017	2040	[Wege]	[%]	2017	2040	des Wachstums
Fuss	10'489'152	12'259'233	+1'770'081	+16.9	32.6	32.5	32.1
Velo	2'803'322	3'252'305	+448'973	+16.0	8.7	8.6	8.2
PW	14'672'819	16'994'569	+2'321'750	+15.8	45.6	45.1	42.2
ÖV	4'213'960	5'179'975	+966'015	+22.9	13.1	13.7	17.5
Gesamt	32'179'254	37'686'082	+5'635'614	+17.1			

Bei der Betrachtung der Gesamtnachfrage aus Binnen-, Flughafen- und Aussenverkehr (Tabelle 80) ergibt sich ein ähnliches Bild. Die Wachstumsraten im Flughafenverkehr sind zwar deutlich höher als beim restlichen Personenverkehr, dieser ist aber aufs Gesamtvolumen bezogen eine vernachlässigbare Grösse. Der Aussenverkehr wächst im ÖV (ca. +33%) anteilmässig stärker als im MIV (ca. +8%), auch hier ist das absolute Wachstum im MIV aber weiterhin dominierend. Die Gesamtwachstumsraten sind gegenüber den oben gezeigten Werten für den Binnenverkehr im Nachfragemodell stabil (MIV ca. +16%, ÖV ca. +23%).

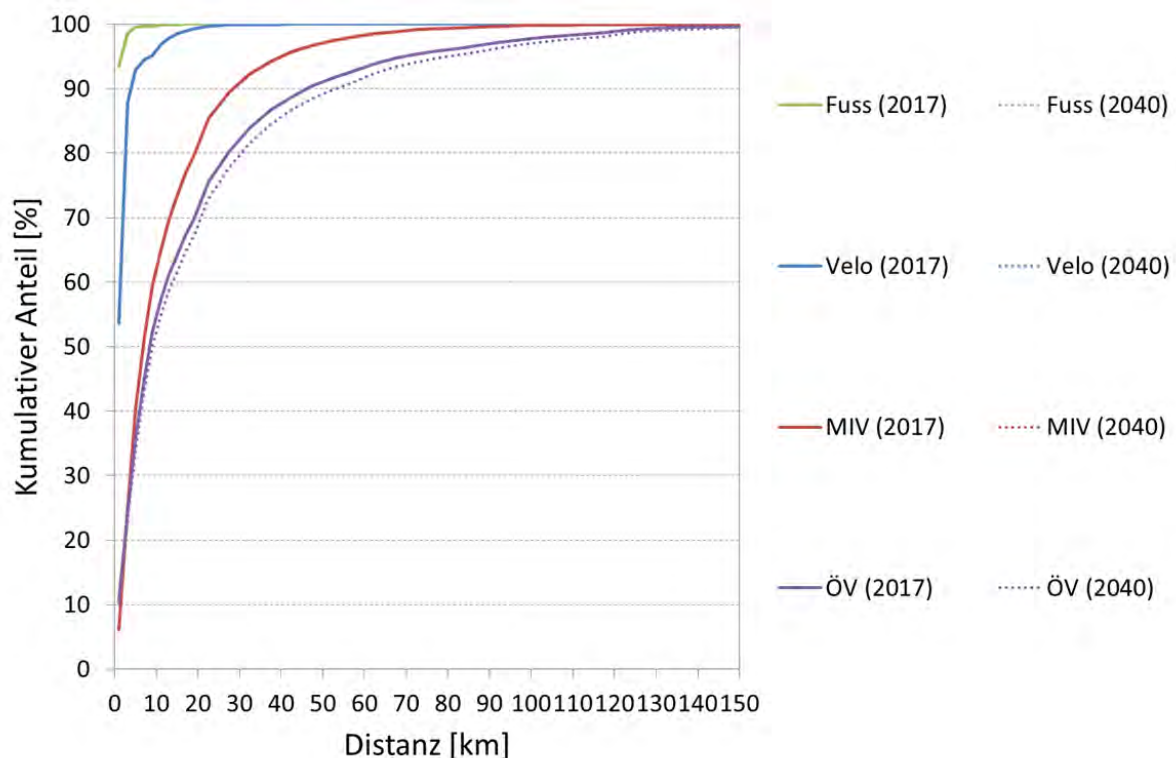
Tabelle 80 Testprognose 2040: Eckwerte der Nachfrage & Modal Split (kalibriert / hochgerechnet – Binnen- & Aussenverkehr)

Modus	Nachfragesegment	Nachfrage		Wachstum [%]
		2017	2040	
PW [Fahrten]	Binnen	10'869'107	12'617'387	+16.1
	FH	32'590	44'281	+35.9
	QZD	905'135	977'077	+7.9
	Gesamt	11'806'832	13'638'745	+15.5
ÖV [Wege]	Binnen	4'173'451	5'122'148	+22.7
	FH	47'425	76'789	+61.9
	QZD	102'106	135'652	+32.9
	Gesamt	4'322'983	5'334'589	+23.4

Weglängenverteilungen

Abbildung 240 zeigt den Vergleich der Weglängenverteilungen zwischen dem Ist-Zustand 2017 und der Testprognose 2040. Hier ist ersichtlich, dass die Verteilungen quasi deckungsgleich sind, also keine wesentlichen Veränderungen der Nachfragestruktur stattfinden. Auch dies entspricht angesichts des homogenen Bevölkerungswachstums und der global relativ stabilen Angebotsverhältnisse den Erwartungen. Im ÖV nehmen die Distanzen etwas stärker zu als im MIV, hier wirkt sich die verbesserte Erreichbarkeit aufgrund des neuen Fahrplans also sichtbarer aus (siehe auch Weis und Axhausen, 2009, für eine Herleitung dieses Effekts aus historischen Daten des MZMV).

Abbildung 240 Testprognose 2040: Weglängenverteilungen



Verkehrsleistungen

Der bei den Weglängenverteilungen gesehene Trend der Zunahme der Distanzen im ÖV bei stagnierenden Werten im MIV wird durch die Betrachtung der Verkehrs- und Fahrleistungen (Tabelle 81) bestätigt. Im MIV ist das relative Wachstum (ca. +16%) in etwa gleich wie beim Verkehrsaufkommen, im ÖV hingegen deutlich höher (ca. +40% ggü. ca. 23% beim Aufkommen). Dies verdeutlicht das zunehmende Zurücklegen insbesondere längerer Wege mit dem ÖV. Dieses führt dann auch dazu, dass der Modal Split bei den Verkehrsleistungen eine stärkere Verschiebung in Richtung ÖV erfährt als beim Aufkommen (21% → 24% ggü. 13% → 14%) und der ÖV-Anteil am Wachstum bzw. der Leistung der neu erzeugten Wege ebenfalls höher ist (40% ggü. 18%). Die Werte im Langsamverkehr bleiben etwa stabil, was den visuellen Eindruck aus den Weglängenverteilungen bestätigt.

Tabelle 81 Testprognose 2040: Verkehrsleistungen

Modus	Leistung [10 ⁹ Pkm]		Wachstum		Modal Split [%]		
	2017	2040	[10 ⁹ Pkm]	[%]	2017	2040	des Wachstums
Fuss	4.5	5.3	+0.8	+17.8	3.6	3.5	3.1
Velo	2.7	3.1	+0.4	+14.8	2.2	2.1	1.6
PW	92.0	106.3	+14.3	+15.5	73.4	70.3	55.4
ÖV	26.1	36.4	+10.3	+39.5	20.8	24.1	39.9
Gesamt	125.3	151.1	+25.8	+20.6			

Netzbelastungen

Abbildung 241 (MIV) und Abbildung 242 (ÖV) zeigen die Netzbelastungen der Testprognose 2040 sowie deren Abweichungen gegenüber 2017. Eine Plausibilisierung hat gezeigt, dass sämtliche ins Strassennetz eingebauten Massnahmen belastet werden, die Netzcodierung also korrekt umgesetzt wurde.

Beim Vergleich der Werte zeigt sich, dass vor allem im ÖV die Hauptachsen (Genf – Lausanne – Bern – Zürich – St. Gallen und Basel – Luzern – Tessin) überproportional hohe Wachstumsraten aufweisen. Dies verdeutlicht nochmals den oben beschriebenen Effekt der längeren Wege, welche aufgrund der verbesserten Erreichbarkeit zurückgelegt werden. Lokal sind somit insbesondere im ÖV sehr starke Zunahmen der Belastungen sichtbar. Die Ergebnisse erscheinen für eine Testprognose mit vereinfachten Annahmen plausibel. Grundsätzlich ist bei der Erstellung realistischer Prognoseszenarien auf die Plausibilität sämtlicher Inputgrössen zu achten sowie sind diese bei allenfalls unerwarteten Effekten zu überprüfen und zu korrigieren.

Abbildung 241 Testprognose 2040: Netzbelastungen PW

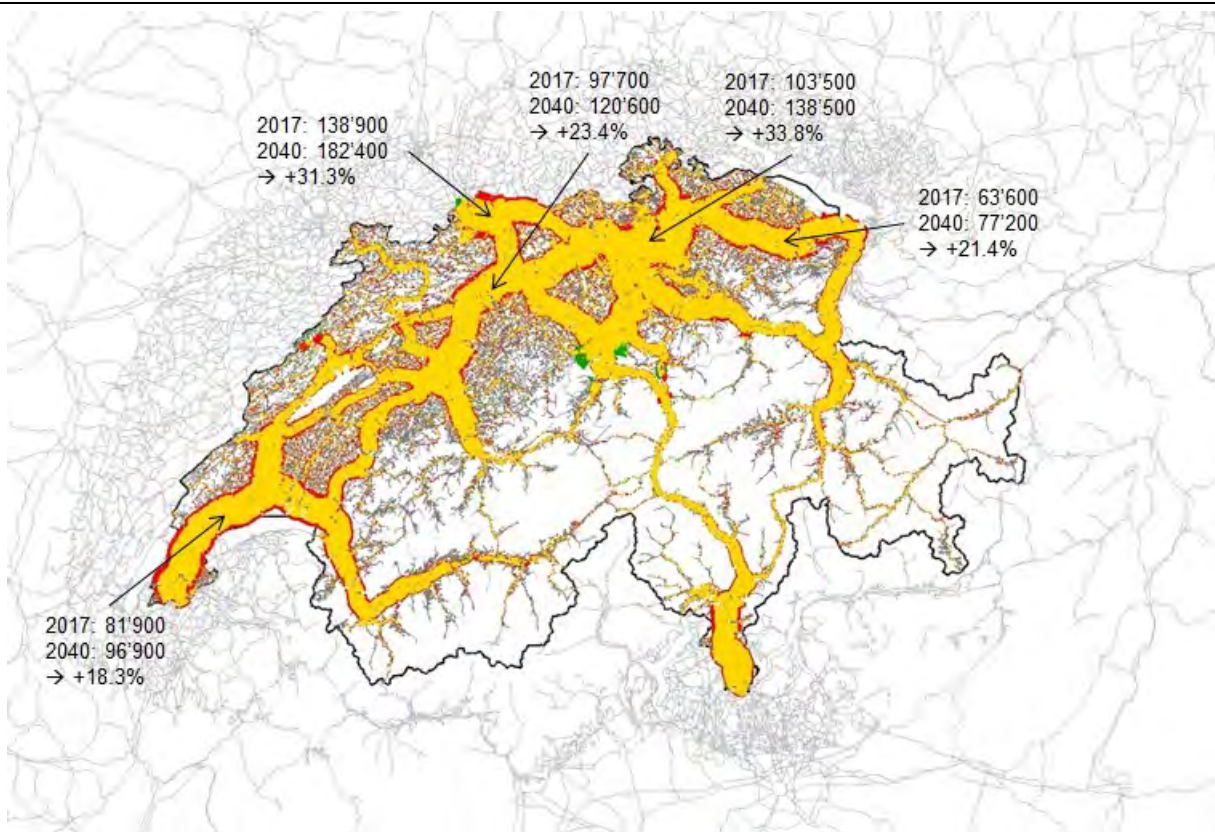
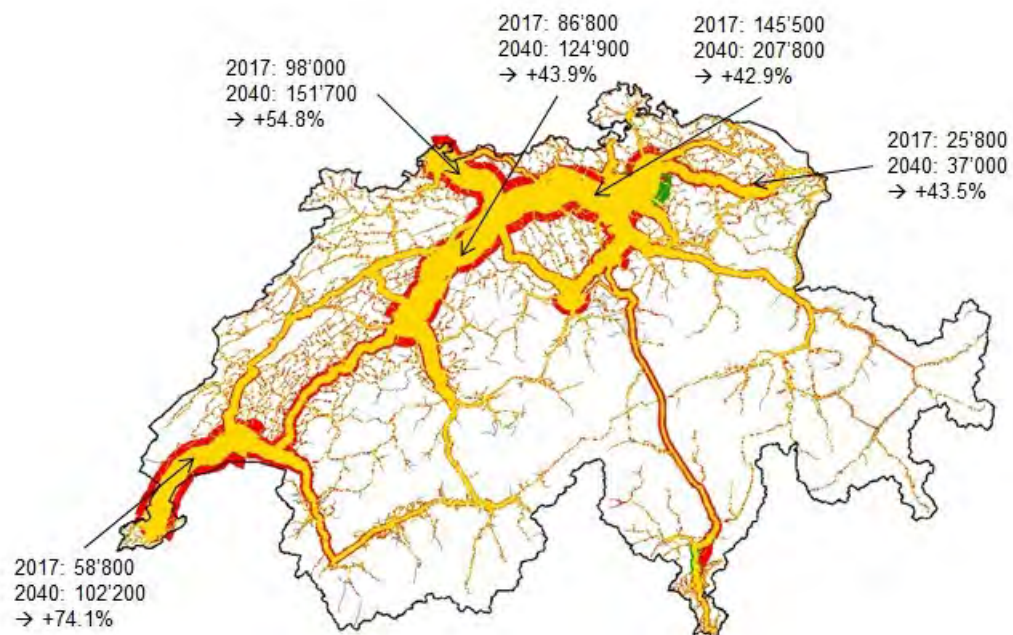


Abbildung 242 Testprognose 2040: Netzbelastungen ÖV



6 Literatur

Bodenmann B., P. Bürki, C. Philipp, N. Bernhard, L. Kessler, K. Müller (2018), Synthetische Population 2016 – Modellierung in FaLC, im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE und der Schweizerischen Bundesbahnen SBB, Ittigen und Bern.

Bösch, P., F. Becker, H. Becker und K.W. Axhausen (2017) Cost-based analysis of autonomous mobility services, *Transport Policy*, **64**, 76-91.

Broach, J., J. Dill, und J. Gliebe, (2012) Where do cyclists ride ? A route choice model developed with revealed preference GPS data, *Transportation Research Part A*, **46** (10) 1730–1740.

Bundesamt für Raumentwicklung (2010) Konzeptstudie zur Zonen- und Netzverfeinerung des nationalen Personenverkehrsmodells des UVEK, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2012a) Zonen- und Netzstrukturen des Nationalen Personenverkehrsmodells, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2012b) Verkehrsmodell im UVEK: Machbarkeitsstudie Aussenverkehr im Personen- und Güterverkehr, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2017a) Nachfragesegmentierung NPVM 2015, Dokumentation zum Arbeitspaket im Projekt „Analyse der SP-Befragung zur Verkehrsmodus- und Routenwahl“, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2017b) Analyse der SP-Befragung zur Verkehrsmodus- und Routenwahl, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2017c) Différentiation spatiale des modèles SP, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2017d) NPVM 2015: Zonenstruktur und Verkehrsnetze, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2019) Aktualisierung der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) auf den Basiszustand 2016, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung & Schweizerische Bundesbahnen (2019) Synthetische Population 2017. Modellierung mit dem Flächennutzungsmodell FaLC, ARE/SBB, Ittigen/Bern.

Bundesamt für Statistik (2008) Grenzgängerstatistik: Methodologische Grundlagen, 3 Arbeit und Erwerb, BFS, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2016a) Revision der Grenzgängerstatistik (GGS) 2015-16: Gesamtbetrachtung der Methode, angepasste Version, Februar 2016, 3 Arbeit und Erwerb, BFS, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2016b) Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone 2015-2045, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2017): Grenzgängerstatistik 2016. Spezialauswertung des BFS vom 2.11.2017, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2018) Leistungen im Personenverkehr, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/leistungen.html>, BFS, Neuchâtel.

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

Demo SCOPE AG (2015) Erhebungskonzept A+GQPV 2015: 2. Version des Berichts zum Erhebungskonzepts, BFS, Adlingenswil.

Dill, J. (2008) Understanding and measuring bicycling behavior: A focus on travel time and route choice, Urban Studies and Planning Faculty, Portland State University, Portland.

EBP Schweiz AG (2018) Weiterentwicklung der Fahrzeugbetriebskostensätze für Kosten-Nutzen-Analysen. VSS-Projekt 2015/116 im Auftrag des ASTRA.

Ecoplan/BFS (2018) Berechnung der Verkehrsmittelkosten des motorisierten Strassenverkehrs. Statistik der Kosten und der Finanzierung des Verkehrs. Studie im Auftrag des BFS.

Ecoplan (2016) Räumliche Entwicklung der Arbeitsplätze in der Schweiz – Entwicklung und Szenarien bis 2040. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE.

Gasser, P., Zhang, C., Mortreux, C., Nguyen, H., Cabrera Delgado, J., Flamm, M. (2017) Makroskopische Modellierung des Fuss- und Veloverkehrs, Schlussbericht SVI 2014/001, *Schriftenreihe*, **1614**, Bundesamt für Strassen, UVEK, Ittigen.

Gemeinde Büsingen am Hochrhein (2014) Ortsentwicklungskonzept, Gemeinde Büsingen, Büsingen.

Kang, L. und J.D. Fricker (2013) A bicycle route choice model that incorporates distance and perceived risk, vorgetragen bei 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, Januar 2013.

Law, S., F. L. Sakr und M. Martinez, (2014) Measuring the changes in aggregate cycling patterns between 2003 and 2012 from a space syntax perspective, *Behavioral Sciences*, **4** (3) 278-300.

Lohse, D. und Schnabel, W. (2011) Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2.

Menghini, G., N. Carrasco, N. Schüssler und K. W. Axhausen (2010) Route choice of cyclists in Zurich, *Transportation Research Part A*, **44** (9) 754-765.

Ortúzar, J. und L.G. Willumsen (2011) *Modelling Transport*, 4th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.

PTV AG (2018) *PTV Visum 18 – Handbuch*, PTV AG, Karlsruhe.

Pereira Segadilha, A.B. und S. da Penha Sanches (2014) Analysis of bicycle commuter routes using GPSs and GIS, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **162**, 198-207.

Sener, I.N., N. Eluru und C.R. Bhat (2009) An analysis of bicycle route choice preferences in Texas, *Transportation*, **36** (5) 511-539.

Staatssekretariat für Migration (2017) Grenzgängerinnen und Grenzgänger, Factsheet 1/17, Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement EJPD, Bern.

Statistisches Bundesamt Deutschland (2018) Gemeindeverzeichnis, Gebiets-stand: 30.09.2017, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Vrtic, M., C. Weis, G. Rindsfuser und W. Matthews (2018) Kalibrierung von Capacity-Restraint-Funktionen, Schlussbericht VSS 2015/113, *Schriftenreihe*, **1628**, Bundesamt für Strassen, UVEK, Ittigen.

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

7 Anhänge

7.1 Zonen, die den Strukturgrössen-Prüfwert von Faktor 2.5 überschreiten

Tabelle 82 Zonen, die den Strukturgrössen-Prüfwert von Faktor 2.5 überschreiten

Zonen-Nummer	Zonen-Name	Faktor	Zonen-Nummer	Zonen-Name	Faktor
6204018	Kloten	6.1	270101107	Basel	3.0
6901011	Wallisellen	2.8	270101119	Basel	6.3
26101023	Zürich	2.5	320301046	St. Gallen	4.2
26101028	Zürich	3.3	320301066	St. Gallen	2.5
26101046	Zürich	2.6	500201009	Bellinzona	2.6
26101051	Zürich	2.6	558601004	Lausanne	2.5
26101064	Zürich	2.8	558601067	Lausanne	3.3
26101089	Zürich	3.7	558601085	Lausanne	2.5
26101149	Zürich	2.8	563501001	Ecublens (VD)	4.1
26101151	Zürich	2.6	641001001	Gorgier	3.0
26101164	Zürich	2.6	645801015	Neuchâtel	2.6
26101194	Zürich	4.1	662101006	Genève	3.0
26101196	Zürich	2.5	662101035	Genève	2.6
26101242	Zürich	4.8	662101037	Genève	2.6
26101246	Zürich	3.0	662101046	Genève	2.5
26101258	Zürich	2.7	662101055	Genève	2.7
35101030	Bern	4.7	662101060	Genève	4.1
35101052	Bern	3.3	662101066	Genève	2.5
35101058	Bern	2.5	662101074	Genève	2.5
35101061	Bern	3.0	662101078	Genève	2.6
35101070	Bern	2.7	662101083	Genève	2.7
35101085	Bern	2.8	662101085	Genève	3.4
106101018	Luzern	3.4	662101105	Genève	2.6
106101027	Luzern	2.8	662101114	Genève	2.7
270101037	Basel	5.4	662304010	Le Grand-Saconnex	3.6
270101045	Basel	3.3	664301005	Vernier	2.8
270101064	Basel	2.8	664301015	Vernier	2.9

7.2 Benutzerdefinierte Attribute der Auslandszonen

Tabelle 83 Benutzerdefinierte Attribute Übergabe Auslandszonen

Attribut	Beschreibung
ZON_KANTONSMODELL_ZONENNR	Enthält die ursprüngliche Zonennummer aus dem Kantonsmodell
ZON_KANTONSMODELL_HERKUNFT	Enthält ein Kürzel/Kennung aus welchem Kantonsmodell die Zone stammt
ZON_NUTS3	Enthält NUTS3-Code, zu dem die Zone gehört
ZON_NUTS2	Enthält NUTS2-Code, zu dem die Zone gehört
ZON_RING	Enthält 0 für Schweiz, 1 für ersten Ring, 2 für zweiten Ring
ZON_BEV	Enthält Anzahl Einwohner
ZON_ARP	Enthält Anzahl Arbeitsplätze am Arbeitsort
ZON_BEV_BEZUGSJAHR	Bezugsjahr der Anzahl Einwohner
ZON_ARP_BEZUGSJAHR	Bezugsjahr der Anzahl Arbeitsplätze am Arbeitsort
ZON_NPVM2010	Enthält die ursprüngliche Zonennummer aus dem NPVM 2010

7.3 Attributierung der Strecken im Ausland

Tabelle 84 IV-Kapazität und v0-Geschwindigkeit der Strecken im Ausland je Streckentyp

Streckentyp-Nummer	Streckentyp-Name	IV-Kapazität [Fahrzeug-Einheiten/h]	v0-Geschwindigkeit [km/h]
0	Autobahn_ao_1FS_80	1200	80
1	Autobahn_ao_2FS_80	3950	80
2	Autobahn_ao_3FS_80	5750	80
3	Autobahn_ao_4FS_80	7750	80
4	Autobahn_ao_1FS_100	1200	95
5	Autobahn_ao_2FS_100	3950	100
6	Autobahn_ao_3FS_100	5700	100
7	Autobahn_ao_4FS_100	7850	100
8	Autobahn_ao_1FS_120	1200	100
9	Autobahn_ao_2FS_120	4000	120
10	Autobahn_ao_3FS_120	5600	115
11	Autobahn_ao_4FS_120	7700	105
12	Autostrasse_ao_1FS_80	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
13	Autostrasse_ao_2FS_80	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
14	Autostrasse_ao_3FS_80	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
15	Autostrasse_ao_4FS_80	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
16	Autostrasse_ao_1FS_100	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
17	Autostrasse_ao_2FS_100	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
18	Autostrasse_ao_3FS_100	nicht vorhanden im Auslandsnetz	

Tabelle 84 IV-Kapazität und v0-Geschwindigkeit der Strecken im Ausland je Streckentyp

Streckentyp- Nummer	Streckentyp- Name	IV-Kapazität [Fahrzeug-Einheiten/h]	v0-Geschwindigkeit [km/h]
19	Autostrasse_ao_4FS_100	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
20	HVS_ao_1FS_50	1150	44
21	HVS_ao_2FS_50	2150	39
22	HVS_ao_3FS_50	3250	45
23	HVS_ao_1FS_60	1150	55
24	HVS_ao_2FS_60	2200	50
25	HVS_ao_3FS_60	3800	43
26	HVS_ao_1FS_80	1150	62
27	HVS_ao_2FS_80	2250	76
28	HVS_ao_3FS_80	3450	75
29	HVS_io_1FS_50	1100	43
30	HVS_io_2FS_50	1700	37
31	HVS_io_3FS_50	2800	39
32	HVS_io_1FS_60	1100	54
33	HVS_io_2FS_60	1700	50
34	HVS_io_3FS_60	2800	43
35	HVS_io_1FS_80	1100	58
36	HVS_io_2FS_80	1700	66
37	HVS_io_3FS_80	2800	59
38	Uebrige Strasse_ao_1FS_30	1100	30
39	Uebrige Strasse_ao_2FS_30	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
40	Uebrige Strasse_ao_3FS_30	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
41	Uebrige Strasse_ao_1FS_50	1100	45
42	Uebrige Strasse_ao_2FS_50	1700	38
43	Uebrige Strasse_ao_3FS_50	2800	38
44	Uebrige Strasse_ao_1FS_60	1100	54
45	Uebrige Strasse_ao_2FS_60	1700	23
46	Uebrige Strasse_ao_3FS_60	2800	23
47	Uebrige Strasse_ao_1FS_80	1100	45
48	Uebrige Strasse_ao_2FS_80	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
49	Uebrige Strasse_ao_3FS_80	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
50	Uebrige Strasse_io_1FS_30	1100	28
51	Uebrige Strasse_io_2FS_30	1700	30
52	Uebrige Strasse_io_3FS_30	2800	30

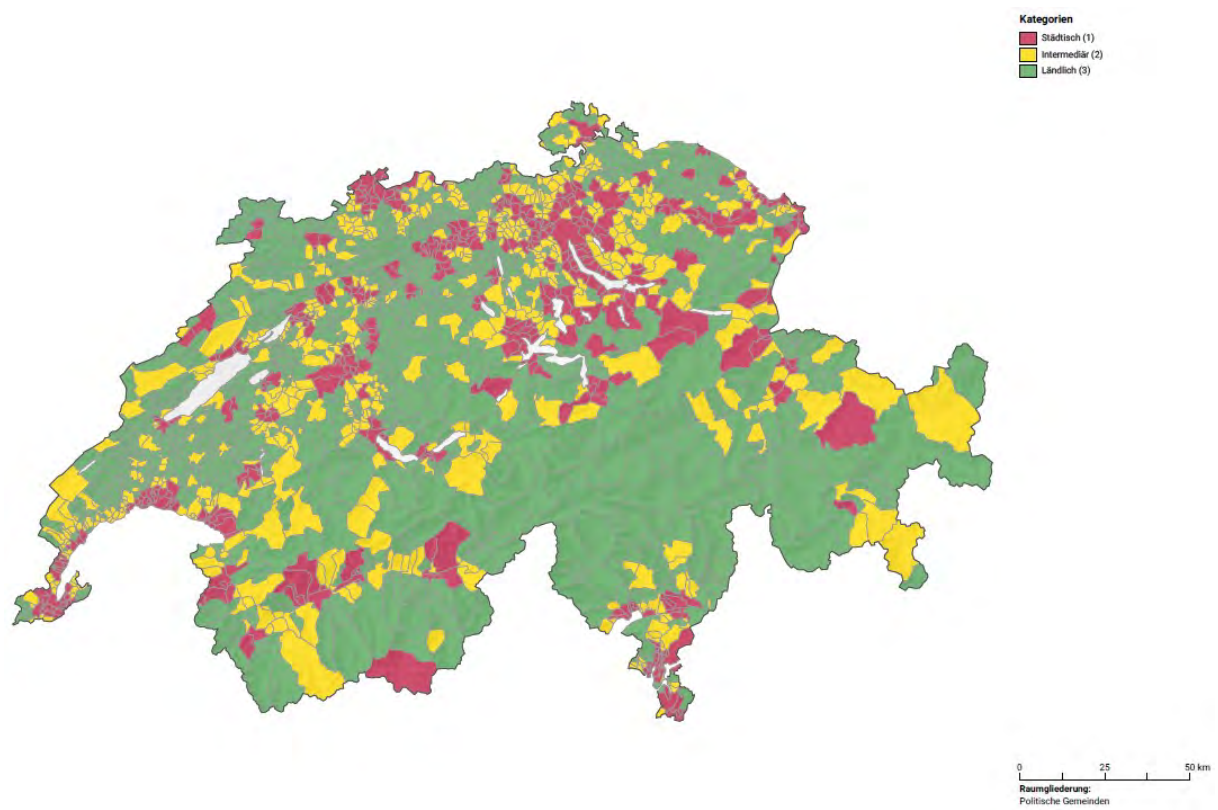
Tabelle 84 IV-Kapazität und v0-Geschwindigkeit der Strecken im Ausland je Streckentyp

Streckentyp- Nummer	Streckentyp- Name	IV-Kapazität [Fahrzeug-Einheiten/h]	v ₀ -Geschwindigkeit [km/h]
53	Uebrige Strasse_io_1FS_50	1100	30
54	Uebrige Strasse_io_2FS_50	1700	30
55	Uebrige Strasse_io_3FS_50	2800	16
56	Uebrige Strasse_io_1FS_60	1100	42
57	Uebrige Strasse_io_2FS_60	1700	26
58	Uebrige Strasse_io_3FS_60	nicht vorhanden im Auslandsnetz	
59	Uebrige Strasse_io_1FS_80	1100	39
60	Uebrige Strasse_io_2FS_80	1700	39
61	Uebrige Strasse_io_3FS_80	2800	39
62	Rampe_ao_1FS_50	1100	50
63	Rampe_ao_2FS_50	1850	50
64	Rampe_ao_3FS_50	3150	45
65	Rampe_ao_1FS_60	1100	60
66	Rampe_ao_2FS_60	1950	60
67	Rampe_ao_3FS_60	3050	60
68	Rampe_ao_1FS_80	1150	80
69	Rampe_ao_2FS_80	2300	80
70	Rampe_ao_3FS_80	2900	80
71	Rampe_ao_1FS_100	1150	95
72	Rampe_ao_2FS_100	3900	100
73	Rampe_ao_3FS_100	5700	100
74	Autobahn_ao_1FS_130	1200	108
75	Autobahn_ao_2FS_130	4000	130
76	Autobahn_ao_3FS_130	5600	125
77	Autobahn_ao_4FS_130	7700	125
78	HVS_ao_1FS_70	1150	64
79	HVS_ao_2FS_70	2200	58
80	HVS_ao_3FS_70	3800	50
81	HVS_ao_1FS_90	1150	70
82	HVS_ao_2FS_90	2250	86
83	HVS_ao_3FS_90	3450	84
84	HVS_ao_1FS_100	1150	78
85	HVS_ao_2FS_100	2250	95
86	HVS_ao_3FS_100	3450	94

Tabelle 84 IV-Kapazität und v0-Geschwindigkeit der Strecken im Ausland je Streckentyp

Streckentyp- Nummer	Streckentyp- Name	IV-Kapazität [Fahrzeug-Einheiten/h]	v ₀ -Geschwindigkeit [km/h]
87	Uebrige Strasse_ao_1FS_70	1100	63
88	Uebrige Strasse_ao_2FS_70	1700	27
89	Uebrige Strasse_ao_3FS_70	2800	27
90	Uebrige Strasse_ao_1FS_90	1100	51
91	Uebrige Strasse_ao_2FS_90	1750	37
92	Uebrige Strasse_ao_3FS_90	2800	37
93	Uebrige Strasse_ao_1FS_100	1100	56
94	Uebrige Strasse_ao_2FS_100	1750	41
95	Uebrige Strasse_ao_3FS_100	2800	41

7.4 Stadt/Land-Typologie 2012 des BFS



7.5 EVA-Berechnung, Anzahl Iterationen je QZG

QZG	# Iterationen
W_A(A)	437
W_A(SK)	273
W_B(S)	302
W_B(U)	375
W_E(k)	97
W_E(l)	102
W_N	70
W_Bg(K)	282
W_F(k)	390
W_F(l)	10
A(A)_W	399
A(SK)_W	216
B(S)_W	246
B(U)_W	363
E(k)_W	99
E(l)_W	122
N_W	69
Bg(K)_W	283
F(k)_W	229
F(l)_W	10
A_S	28
S_A	26
A_E(k)F(k)	91
F(k)E(k)_A	129
E(k)F(k)_E(k)F(k)	22
SS	18

7.6 Ausprägungen NPVM-Strukturdatentabelle

Nr.	Attribut	Erläuterung	Explication
1	npvmid	Zonen-ID NPVM	Identifiant des Zones du MNT
2	N_Gem	Gemeindenname (Stand 1.1.2015)	Nom des communes (État au 01.01.2015)
3	munid	Gemeindennummer nach Bundesamt für Statistik (BFS) (Stand 1.1.2015).	Numéro des communes selon la numérotation officielle des communes suisses de l'Office fédéral de la statistique (OFS) (Etat au 01.01.2015).
4	msrid	MS-Regionen-ID (siehe Label_msrid)	Identifiant des régions MS (voir Label_msrid)
9	cantid	Kantonsnummer nach BFS (siehe Label_cantid)	Numéro des cantons selon la numérotation officielle des cantons de l'OFS (voir Label_cantid)
10	r	Anzahl Einwohner	Nombre d'habitants
11	re	Anzahl Erwerbstätige	Nombre d'actifs
12	r_age	Durchschnittsalter je Zone	Âge moyen par zone
13	R_0017_CARNOTC	Bevölkerung nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Population par classe d'âge, disposant d'une voiture, sans abonnement de transport public
14	R_1824_CARNOTC		
15	R_2544_CARNOTC		
16	R_4564_CARNOTC		
17	R_6574_CARNOTC		
18	R_75XX_CARNOTC		
19	R_0017_CARTC	Bevölkerung nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Population par classe d'âge, disposant d'une voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
20	R_1824_CARTC		
21	R_2544_CARTC		
22	R_4564_CARTC		
23	R_6574_CARTC		
24	R_75XX_CARTC		
25	R_0017_NOCNOTC	Bevölkerung nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Population par classe d'âge, sans voiture, sans abonnement de transport public
26	R_1824_NOCNOTC		
27	R_2544_NOCNOTC		
28	R_4564_NOCNOTC		
29	R_6574_NOCNOTC		
30	R_75XX_NOCNOTC		
31	R_0017_NOCTC	Bevölkerung nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Population par classe d'âge, sans voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
32	R_1824_NOCTC		
33	R_2544_NOCTC		

34	R_4564_NOCTC		
35	R_6574_NOCTC		
36	R_75XX_NOCTC		
37	RE_0017_CARNOTC	Erwerbstätige nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Actifs par classe d'âge, disposant d'une voiture, sans abonnement de transport public
38	RE_1824_CARNOTC		
39	RE_2544_CARNOTC		
40	RE_4564_CARNOTC		
41	RE_6574_CARNOTC		
42	RE_75XX_CARNOTC		
43	RE_0017_CARTC	Erwerbstätige nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Actifs par classe d'âge, disposant d'une voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
44	RE_1824_CARTC		
45	RE_2544_CARTC		
46	RE_4564_CARTC		
47	RE_6574_CARTC		
48	RE_75XX_CARTC		
49	RE_0017_NOCNOTC	Erwerbstätige nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Actifs par classe d'âge, sans voiture, sans abonnement de transport public
50	RE_1824_NOCNOTC		
51	RE_2544_NOCNOTC		
52	RE_4564_NOCNOTC		
53	RE_6574_NOCNOTC		
54	RE_75XX_NOCNOTC		
55	RE_0017_NOCTC	Erwerbstätige nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Actifs par classe d'âge, sans voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
56	RE_1824_NOCTC		
57	RE_2544_NOCTC		
58	RE_4564_NOCTC		
59	RE_6574_NOCTC		
60	RE_75XX_NOCTC		
61	RE_E_0017_CARNOTC	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Actifs (peu qualifiés) par classe d'âge, disposant d'une voiture, sans abonnement de transport public
62	RE_E_1824_CARNOTC		
63	RE_E_2544_CARNOTC		
64	RE_E_4564_CARNOTC		
65	RE_E_6574_CARNOTC		
66	RE_E_75XX_CARNOTC		
67	RE_E_0017_CARTC	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Actifs (peu qualifiés) par classe d'âge, disposant d'une voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
68	RE_E_1824_CARTC		
69	RE_E_2544_CARTC		
70	RE_E_4564_CARTC		

71	RE_E_6574_CARTC	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Actifs (peu qualifiés) par classe d'âge, sans voiture, sans abonnement de transport public
72	RE_E_75XX_CARTC		
73	RE_E_0017_NOCNOTC		
74	RE_E_1824_NOCNOTC		
75	RE_E_2544_NOCNOTC		
76	RE_E_4564_NOCNOTC		
77	RE_E_6574_NOCNOTC		
78	RE_E_75XX_NOCNOTC		
79	RE_E_0017_NOCTC	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Actifs (peu qualifiés) par classe d'âge, sans voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
80	RE_E_1824_NOCTC		
81	RE_E_2544_NOCTC		
82	RE_E_4564_NOCTC		
83	RE_E_6574_NOCTC		
84	RE_E_75XX_NOCTC		
85	RE_M_0017_CARNOTC	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Actifs (très qualifiés) par classe d'âge, disposant d'une voiture, sans abonnement de transport public
86	RE_M_1824_CARNOTC		
87	RE_M_2544_CARNOTC		
88	RE_M_4564_CARNOTC		
89	RE_M_6574_CARNOTC		
90	RE_M_75XX_CARNOTC		
91	RE_M_0017_CARTC	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Actifs (très qualifiés) par classe d'âge, disposant d'une voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
92	RE_M_1824_CARTC		
93	RE_M_2544_CARTC		
94	RE_M_4564_CARTC		
95	RE_M_6574_CARTC		
96	RE_M_75XX_CARTC		
97	RE_M_0017_NOCNOTC	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Actifs (très qualifiés) par classe d'âge, sans voiture, sans abonnement de transport public
98	RE_M_1824_NOCNOTC		
99	RE_M_2544_NOCNOTC		
100	RE_M_4564_NOCNOTC		
101	RE_M_6574_NOCNOTC		
102	RE_M_75XX_NOCNOTC		
103	RE_M_0017_NOCTC	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Actifs (très qualifiés) par classe d'âge, sans voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
104	RE_M_1824_NOCTC		
105	RE_M_2544_NOCTC		
106	RE_M_4564_NOCTC		
107	RE_M_6574_NOCTC		

108	RE_M_75XX_NOCTC		
109	R_pupils	Schüler	Écoliers
110	R_06_24	Bevölkerung 6 bis 24 Jahre	Population entre 6 et 24 ans
111	R_pupils_CAR	Schüler, PW verfügbar	Écoliers disposant d'une voiture
112	R_pupils_NOCTC	Schüler, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)	Écoliers, sans voiture, avec abonnement de transport public (AG ou communauté tarifaire)
113	R_pupils_NOCNOTC	Schüler, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement	Écoliers, sans voiture, sans abonnement de transport public
114	R_students	Studierende	Étudiants
115	R_18_44	Bevölkerung 18 bis 44 Jahre	Population entre 18 et 44 ans
116	R_students_CAR	Studierende, PW verfügbar	Étudiants, disposant d'une voiture
117	R_students_NOC	Studierende, kein PW verfügbar	Étudiants, sans voiture
118	R_CARAVBL	Bevölkerung, PW verfügbar	Population, disposant d'une voiture
119	R_HT	Anzahl Halbtax	Nombre d'abonnements demi-tarif
120	R_GATC	Anzahl GA	Nombre d'AG
121	R_LTC	Anzahl Verbund-Abonnemente	Nombre d'abonnements communauté tarifaire
122	R_CAROWNER	Anzahl PW (privat)	Nombre de voitures (privée)
123	R_COMPANYCAR	Anzahl PW (geschäftlich)	Nombre de voitures (d'entreprise)
124	R_MALEP	Bevölkerung, Anteil männlich	Population, Proportion d'hommes
125	R_FEMALEP	Bevölkerung, Anteil weiblich	Population, Proportion de femmes
126	R_INCOME	Durchschnittliches Haushaltseinkommen je Zone	Revenu moyen du ménage par zone
127	sum_e	Anzahl Arbeitsplätze (effektiv Beschäftigte) inkl. Grenzgänger	Nombre de places de travail (actifs effectifs) frontaliers inclus
128	sum_fte	Anzahl Arbeitsplätze (Vollzeitäquivalente) inkl. Grenzgänger	Nombre de places de travail (équivalents plein-temps) frontaliers inclus
129	stg_type	ID singuläre Verkehrserzeuger (1 = normale Zone, 2 = Einkaufszentrum, 3 = Freizeiteinrichtung, 4 = Flughafen, 9 = Liechtenstein, Büsingen, Campione)	Identifiant pour les générateurs de trafic particuliers (1 = Zone normale, 2 = Centre commercial, 3 = Zone de loisir, 4 = aéroport, 9 = Liechtenstein, Büsingen, Campione)
130	VISITORS_sales	Besucher pro Tag Einkaufen, GfK-Shopping-Center-Datenbank 2017 (Besucher) & Wüest Partner Verkaufsflächen je Gemeinde 2014 (mit 0.4 Besucher pro qm umgerechnet); Aufteilung in kurz- und langfristigen Bedarf gemäss NOGA-Codes Detailhandel	Visiteurs par jour achats, Bases de données: GfK, Centre commerciaux 2017 (Visiteurs) & Wüest Partner, Surfaces commerciales par commune 2014 (calculé avec 0.4 visiteur par m2); réparti en besoins de court et de long terme selon les codes NOGA commerce de détail
131	VISITORS_sales_st	Besucher pro Tag Einkaufen kurzfristiger Bedarf	Visiteurs par jour achats besoins de court terme

132	VISITORS_sales_It	Besucher pro Tag Einkaufen langfristiger Bedarf	Visiteurs par jour achats besoins de long terme
133	DWVplus	Besucher pro Tag (Stadien, Messe), nicht verwendet	Visiteurs par jour (Stades, foires), pas utilisé
134	VISITORS_NatureReserve	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 9104)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 9104)
135	VISITORS_Theatre	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 900101)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 900101)
136	VISITORS_Cinema	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 5914)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 5914)
137	VISITORS_Library	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 9101)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 9101)
138	VISITORS_Museum	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 9102)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 9102)
139	VISITORS_histBuilding	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 9103)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 9103)
140	VISITORS_Sports	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 9311)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 9311)
141	VISITORS_Fitness	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 9313)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 9313)
142	VISITORS_Gastronomy	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 5610)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 5610)
143	VISITORS_Bar_Disco	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 5630)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 5630)
144	VISITORS_Hotels	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 55)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 55)
145	VISITORS_Hospital	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 8610)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 8610)
146	VISITORS_Cableway_car	Besucher pro Tag (abgeleitet aus Arbeitsplätzen gemäss NOGA 493903)	Visiteurs par jour (dérivé des places de travail selon NOGA 493903)
147	VISITORS_Leisure	Summe Besucher Freizeit pro Tag	Somme des visiteurs loisirs par jour
148	pupils_I	Schulplätze Primar	Places d'école, primaire
149	pupils_II	Schulplätze Sekundar	Places d'école, secondaire
150	e_a	Auszubildendenplätze	Places d'apprentissage
151	students	Studienplätze	Places d'étude
152	airport_passengers	Passagiere pro Tag	Passagers par jour
153	e_e	Anzahl Arbeitsplätze (einfach, effektiv Beschäftigte)	Nombre de places de travail (peu qualifiés, actifs effectifs)
154	e_m	Anzahl Arbeitsplätze (qualifiziert, effektiv Beschäftigte)	Nombre de places de travail (très qualifiés, actifs effectifs)
155	e_cb	Anzahl Grenzgänger (effektiv)	Nombre de frontaliers (effectif)
156	fte_e	Anzahl Arbeitsplätze (einfach, Vollzeit-äquivalente)	Nombre de places de travail (peu qualifiés, équivalents plein-temps)

157	fte_m	Anzahl Arbeitsplätze (qualifiziert, Vollzeitäquivalente)	Nombre de places de travail (très qualifiés, équivalents plein-temps)
158	fte_cb	Anzahl Grenzgänger (Vollzeitäquivalente)	Nombre de frontaliers (équivalents plein-temps)

7.7 Spezifische Verkehrsaufkommensraten (SVA)

Tabelle 85 Spezifische Verkehrsaufkommensraten (SVA)

Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)	Personengruppe		Spezifisches Verkehrsaufkommen			
			Städtisch	Intermediär	Ländlich	Mittelwert
W_AA	PG1	<= 24, AA, PW ohne ÖV-Abo	0.746	0.854	0.744	0.749
	PG4	<= 24, AA, PW mit GA oder Verbund	0.616	0.576	0.597	0.569
	PG7	<= 24, AA, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.714	0.617	0.651	0.640
	PG10	<= 24, AA, ohne PW mit GA oder Verbund	0.656	0.591	0.700	0.615
	PG2	25 - 44, AA, PW ohne ÖV-Abo	0.680	0.635	0.696	0.648
	PG5	25 - 44, AA, PW mit GA oder Verbund	0.685	0.679	0.583	0.658
	PG8	25 - 44, AA, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.770	0.651	0.699	0.687
	PG11	25 - 44, AA, ohne PW mit GA oder Verbund	0.702	0.691	0.657	0.660
	PG3	>= 45, AA, PW ohne ÖV-Abo	0.748	0.691	0.774	0.700
	PG6	>= 45, AA, PW mit GA oder Verbund	0.729	0.690	0.548	0.682
	PG9	>= 45, AA, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.763	0.734	0.687	0.690
	PG12	>= 45, AA, ohne PW mit GA oder Verbund	0.746	0.655	0.698	0.702
W_ASK	PG13	<= 44, SK, PW ohne ÖV-Abo	0.707	0.790	0.720	0.699
	PG15	<= 44, SK, PW mit GA oder Verbund	0.662	0.668	0.635	0.638
	PG17	<= 44, SK, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.537	0.495	0.518	0.520
	PG19	<= 44, SK, ohne PW mit GA oder Verbund	0.620	0.565	0.563	0.566
	PG14	>= 45, SK, PW ohne ÖV-Abo	0.718	0.712	0.720	0.662
	PG16	>= 45, SK, PW mit GA oder Verbund	0.630	0.720	0.766	0.633
	PG18	>= 45, SK, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.716	0.552	0.603	0.606
	PG20	>= 45, SK, ohne PW mit GA oder Verbund	0.666	0.659	0.657	0.660
W_BS	PG34	S, ohne PW ohne ÖV-Abo	1.098	1.158	1.002	1.026
	PG35	S, ohne PW mit GA oder Verbund	0.716	0.766	0.785	0.698
	PG33	S, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.353	0.292	0.299	0.310
W_BU	PG36	St, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.343	0.343	0.414	0.336
	PG37	St, ohne PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.389	0.510	0.360	0.362
W_Ek	PG38	<= 17, PW ohne ÖV-Abo	-	-	-	-
	PG39	18 - 24, PW ohne ÖV-Abo	0.157	0.197	0.100	0.147
	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.227	0.219	0.189	0.208
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.264	0.266	0.232	0.241
	PG42	65 - 74, PW ohne ÖV-Abo	0.473	0.460	0.446	0.392
	PG43	>= 75, PW ohne ÖV-Abo	0.545	0.458	0.554	0.413
	PG44	<= 17, PW mit GA oder Verbund	-	-	-	-
	PG45	18 - 24, PW mit GA oder Verbund	0.156	0.100	0.118	0.129
	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.179	0.201	0.199	0.177
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.246	0.232	0.207	0.230
	PG48	65 - 74, PW mit GA oder Verbund	0.503	0.364	0.318	0.417
	PG49	>= 75, PW mit GA oder Verbund	0.565	0.449	0.447	0.449
	PG50	<= 17, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.104	0.092	0.082	0.091
	PG51	18 - 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.187	0.144	0.138	0.156
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.292	0.335	0.220	0.257
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.442	0.404	0.410	0.360
	PG54	65 - 74, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.655	0.589	0.533	0.472
	PG55	>= 75, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.575	0.541	0.413	0.313
	PG56	<= 17, ohne PW mit GA oder Verbund	0.092	0.087	0.044	0.078
	PG57	18 - 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.140	0.094	0.097	0.118
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.266	0.362	0.257	0.258
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.299	0.324	0.285	0.286
	PG60	65 - 74, ohne PW mit GA oder Verbund	0.518	0.459	0.458	0.459
	PG61	>= 75, ohne PW mit GA oder Verbund	0.557	0.458	0.447	0.449
W_EI	PG62	<= 24, PW ohne ÖV-Abo	0.047	0.046	0.055	0.047

	PG63	<= 24, PW mit GA oder Verbund	0.038	0.045	0.047	0.038
	PG64	<= 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.038	0.031	0.028	0.032
	PG65	<= 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.036	0.032	0.015	0.031
	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.057	0.055	0.059	0.054
	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.043	0.086	0.033	0.047
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.053	0.051	0.009	0.043
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.060	0.012	0.053	0.054
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.063	0.063	0.056	0.058
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.059	0.084	0.055	0.060
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.082	0.018	0.038	0.056
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.050	0.053	0.046	0.046
	PG66	>= 65, PW ohne ÖV-Abo	0.104	0.125	0.093	0.088
	PG67	>= 65, PW mit GA oder Verbund	0.079	0.133	0.148	0.082
	PG68	>= 65, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.098	0.086	0.060	0.058
	PG69	>= 65, ohne PW mit GA oder Verbund	0.104	0.073	0.085	0.085
W_N	PG70	A, PW ohne ÖV-Abo	0.105	0.105	0.096	0.098
	PG71	A, PW mit GA oder Verbund	0.070	0.067	0.067	0.067
	PG72	A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.086	0.121	0.077	0.083
	PG73	A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.067	0.062	0.052	0.062
W_BgK	PG74	<= 44, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.107	0.128	0.126	0.110
	PG76	<= 44, ohne PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.046	0.029	0.034	0.038
	PG75	>= 45, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.043	0.060	0.041	0.042
	PG77	>= 45, ohne PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.018	0.033	0.017	0.016
W_Fk	PG38	<= 17, PW ohne ÖV-Abo	-	-	-	-
	PG39	18 - 24, PW ohne ÖV-Abo	0.421	0.345	0.346	0.372
	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.353	0.374	0.356	0.342
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.402	0.379	0.333	0.356
	PG42	65 - 74, PW ohne ÖV-Abo	0.609	0.657	0.550	0.514
	PG43	>= 75, PW ohne ÖV-Abo	0.664	0.624	0.587	0.503
	PG44	<= 17, PW mit GA oder Verbund	-	-	-	-
	PG45	18 - 24, PW mit GA oder Verbund	0.383	0.293	0.298	0.328
	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.289	0.236	0.246	0.271
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.328	0.271	0.283	0.301
	PG48	65 - 74, PW mit GA oder Verbund	0.646	0.506	0.595	0.558
	PG49	>= 75, PW mit GA oder Verbund	0.627	0.497	0.495	0.497
	PG50	<= 17, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.449	0.444	0.440	0.418
	PG51	18 - 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.366	0.312	0.302	0.314
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.374	0.235	0.223	0.301
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.408	0.365	0.313	0.326
	PG54	65 - 74, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.456	0.663	0.780	0.399
	PG55	>= 75, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.484	0.545	0.637	0.299
	PG56	<= 17, ohne PW mit GA oder Verbund	0.357	0.325	0.284	0.318
	PG57	18 - 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.305	0.192	0.220	0.257
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.240	0.399	0.241	0.242
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.332	0.275	0.304	0.305
	PG60	65 - 74, ohne PW mit GA oder Verbund	0.472	0.432	0.430	0.432
	PG61	>= 75, ohne PW mit GA oder Verbund	0.475	0.448	0.396	0.398
W_FI	PG62	<= 24, PW ohne ÖV-Abo	0.127	0.175	0.161	0.140
	PG63	<= 24, PW mit GA oder Verbund	0.125	0.217	0.216	0.147
	PG64	<= 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.065	0.096	0.121	0.076
	PG65	<= 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.073	0.113	0.139	0.086
	PG78	25 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.100	0.120	0.132	0.104
	PG79	25 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.063	0.133	0.129	0.076
	PG80	25 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.051	0.052	0.108	0.048
	PG81	25 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.056	0.178	0.049	0.060
	PG66	>= 65, PW ohne ÖV-Abo	0.167	0.215	0.194	0.150

	PG67	>= 65, PW mit GA oder Verbund	0.161	0.356	0.237	0.173
	PG68	>= 65, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.057	0.087	0.060	0.040
	PG69	>= 65, ohne PW mit GA oder Verbund	0.104	0.257	0.100	0.100
AA_W	PG1	<= 24, AA, PW ohne ÖV-Abo	0.559	0.749	0.558	0.586
	PG4	<= 24, AA, PW mit GA oder Verbund	0.427	0.386	0.361	0.386
	PG7	<= 24, AA, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.642	0.605	0.546	0.580
	PG10	<= 24, AA, ohne PW mit GA oder Verbund	0.542	0.484	0.599	0.509
	PG2	25 - 44, AA, PW ohne ÖV-Abo	0.512	0.501	0.543	0.496
	PG5	25 - 44, AA, PW mit GA oder Verbund	0.472	0.540	0.452	0.465
	PG8	25 - 44, AA, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.602	0.538	0.598	0.546
	PG11	25 - 44, AA, ohne PW mit GA oder Verbund	0.545	0.663	0.518	0.521
	PG3	>= 45, AA, PW ohne ÖV-Abo	0.592	0.565	0.577	0.552
	PG6	>= 45, AA, PW mit GA oder Verbund	0.525	0.543	0.445	0.504
	PG9	>= 45, AA, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.638	0.589	0.571	0.574
	PG12	>= 45, AA, ohne PW mit GA oder Verbund	0.591	0.652	0.570	0.573
ASK_W	PG13	<= 44, SK, PW ohne ÖV-Abo	0.546	0.634	0.603	0.553
	PG15	<= 44, SK, PW mit GA oder Verbund	0.495	0.450	0.464	0.466
	PG17	<= 44, SK, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.510	0.552	0.511	0.514
	PG19	<= 44, SK, ohne PW mit GA oder Verbund	0.462	0.428	0.426	0.428
	PG14	>= 45, SK, PW ohne ÖV-Abo	0.591	0.593	0.569	0.542
	PG16	>= 45, SK, PW mit GA oder Verbund	0.472	0.536	0.641	0.481
	PG18	>= 45, SK, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.614	0.427	0.518	0.521
	PG20	>= 45, SK, ohne PW mit GA oder Verbund	0.402	0.385	0.384	0.385
BS_W	PG34	S, ohne PW ohne ÖV-Abo	1.012	1.086	0.933	0.951
	PG35	S, ohne PW mit GA oder Verbund	0.611	0.650	0.692	0.598
	PG33	S, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.277	0.245	0.229	0.247
BU_W	PG36	St, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.245	0.294	0.315	0.250
	PG37	St, ohne PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.327	0.223	0.289	0.290
Ek_W	PG38	<= 17, PW ohne ÖV-Abo	-	-	-	-
	PG39	18 - 24, PW ohne ÖV-Abo	0.213	0.186	0.155	0.186
	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.286	0.293	0.231	0.265
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.338	0.335	0.288	0.305
	PG42	65 - 74, PW ohne ÖV-Abo	0.466	0.485	0.409	0.389
	PG43	>= 75, PW ohne ÖV-Abo	0.542	0.441	0.537	0.407
	PG44	<= 17, PW mit GA oder Verbund	-	-	-	-
	PG45	18 - 24, PW mit GA oder Verbund	0.179	0.101	0.153	0.149
	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.237	0.210	0.235	0.226
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.315	0.325	0.290	0.302
	PG48	65 - 74, PW mit GA oder Verbund	0.480	0.496	0.299	0.418
	PG49	>= 75, PW mit GA oder Verbund	0.554	0.450	0.448	0.450
	PG50	<= 17, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.120	0.111	0.096	0.106
	PG51	18 - 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.205	0.100	0.042	0.147
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.352	0.319	0.285	0.300
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.480	0.467	0.448	0.395
	PG54	65 - 74, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.623	0.556	0.481	0.446
	PG55	>= 75, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.550	0.551	0.417	0.306
	PG56	<= 17, ohne PW mit GA oder Verbund	0.091	0.069	0.060	0.076
	PG57	18 - 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.166	0.159	0.111	0.149
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.277	0.322	0.258	0.259
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.387	0.327	0.357	0.359
	PG60	65 - 74, ohne PW mit GA oder Verbund	0.445	0.394	0.392	0.394
	PG61	>= 75, ohne PW mit GA oder Verbund	0.563	0.466	0.452	0.455
EI_W	PG62	<= 24, PW ohne ÖV-Abo	0.060	0.057	0.086	0.062
	PG63	<= 24, PW mit GA oder Verbund	0.068	0.051	0.051	0.058
	PG64	<= 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.046	0.033	0.040	0.038
	PG65	<= 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.044	0.035	0.039	0.039

	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.079	0.073	0.070	0.073
	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.059	0.080	0.052	0.059
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.068	0.050	0.025	0.054
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.067	0.000	0.059	0.059
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.082	0.084	0.073	0.074
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.073	0.097	0.083	0.075
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.097	0.044	0.024	0.068
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.089	0.069	0.079	0.079
	PG66	>= 65, PW ohne ÖV-Abo	0.112	0.140	0.091	0.094
	PG67	>= 65, PW mit GA oder Verbund	0.107	0.114	0.091	0.094
	PG68	>= 65, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.108	0.075	0.069	0.061
	PG69	>= 65, ohne PW mit GA oder Verbund	0.100	0.073	0.081	0.082
N_W	PG70	A, PW ohne ÖV-Abo	0.109	0.109	0.124	0.106
	PG71	A, PW mit GA oder Verbund	0.075	0.069	0.086	0.072
	PG72	A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.073	0.124	0.096	0.077
	PG73	A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.067	0.061	0.059	0.062
BgK_W	PG74	<= 44, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.091	0.110	0.109	0.093
	PG76	<= 44, ohne PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.045	0.029	0.024	0.035
	PG75	>= 45, PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.040	0.052	0.034	0.037
	PG77	>= 45, ohne PW ohne/mit ÖV-Abo/Verbund	0.014	0.021	0.013	0.011
Fk_W	PG38	<= 17, PW ohne ÖV-Abo	-	-	-	-
	PG39	18 - 24, PW ohne ÖV-Abo	0.525	0.452	0.412	0.413
	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.430	0.430	0.441	0.379
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.453	0.449	0.430	0.384
	PG42	65 - 74, PW ohne ÖV-Abo	0.681	0.711	0.671	0.538
	PG43	>= 75, PW ohne ÖV-Abo	0.708	0.654	0.657	0.513
	PG44	<= 17, PW mit GA oder Verbund	-	-	-	-
	PG45	18 - 24, PW mit GA oder Verbund	0.549	0.466	0.404	0.419
	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.410	0.364	0.410	0.339
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.410	0.323	0.332	0.336
	PG48	65 - 74, PW mit GA oder Verbund	0.735	0.544	0.747	0.551
	PG49	>= 75, PW mit GA oder Verbund	0.656	0.484	0.482	0.484
	PG50	<= 17, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.512	0.502	0.489	0.458
	PG51	18 - 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.445	0.502	0.528	0.372
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.440	0.379	0.295	0.354
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.445	0.392	0.441	0.343
	PG54	65 - 74, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.484	0.737	0.830	0.415
	PG55	>= 75, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.505	0.556	0.571	0.297
	PG56	<= 17, ohne PW mit GA oder Verbund	0.472	0.455	0.348	0.394
	PG57	18 - 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.413	0.410	0.308	0.323
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.383	0.580	0.344	0.346
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.396	0.325	0.328	0.330
	PG60	65 - 74, ohne PW mit GA oder Verbund	0.582	0.501	0.499	0.501
	PG61	>= 75, ohne PW mit GA oder Verbund	0.501	0.517	0.402	0.404
FI_W	PG62	<= 24, PW ohne ÖV-Abo	0.115	0.179	0.147	0.181
	PG63	<= 24, PW mit GA oder Verbund	0.105	0.187	0.218	0.186
	PG64	<= 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.053	0.083	0.116	0.085
	PG65	<= 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.068	0.087	0.120	0.111
	PG78	25 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.082	0.094	0.104	0.116
	PG79	25 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.060	0.127	0.071	0.113
	PG80	25 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.036	0.045	0.025	0.048
	PG81	25 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.033	0.090	0.020	0.068
	PG66	>= 65, PW ohne ÖV-Abo	0.117	0.151	0.136	0.140
	PG67	>= 65, PW mit GA oder Verbund	0.103	0.182	0.128	0.177
	PG68	>= 65, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.046	0.070	0.078	0.044
	PG69	>= 65, ohne PW mit GA oder Verbund	0.078	0.207	0.099	0.099

A_S	PG21	<= 24, A, PW ohne ÖV-Abo	0.150	0.156	0.178	0.153
	PG24	<= 24, A, PW mit GA oder Verbund	0.122	0.179	0.188	0.134
	PG27	<= 24, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.045	0.119	0.138	0.069
	PG30	<= 24, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.082	0.057	0.019	0.066
	PG22	25 - 44, A, PW ohne ÖV-Abo	0.192	0.184	0.158	0.177
	PG25	25 - 44, A, PW mit GA oder Verbund	0.153	0.147	0.178	0.149
	PG28	25 - 44, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.077	0.188	0.218	0.100
	PG31	25 - 44, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.150	0.011	0.130	0.131
	PG23	>= 45, A, PW ohne ÖV-Abo	0.138	0.124	0.142	0.127
	PG26	>= 45, A, PW mit GA oder Verbund	0.123	0.120	0.130	0.119
	PG29	>= 45, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.081	0.061	0.030	0.065
	PG32	>= 45, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.105	0.027	0.095	0.095
S_A	PG21	<= 24, A, PW ohne ÖV-Abo	0.046	0.083	0.074	0.064
	PG24	<= 24, A, PW mit GA oder Verbund	0.043	0.041	0.023	0.041
	PG27	<= 24, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.023	0.098	0.030	0.040
	PG30	<= 24, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.053	0.019	0.020	0.039
	PG22	25 - 44, A, PW ohne ÖV-Abo	0.106	0.109	0.092	0.107
	PG25	25 - 44, A, PW mit GA oder Verbund	0.072	0.047	0.097	0.074
	PG28	25 - 44, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.048	0.104	0.106	0.061
	PG31	25 - 44, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.057	0.020	0.056	0.056
	PG23	>= 45, A, PW ohne ÖV-Abo	0.074	0.079	0.063	0.072
	PG26	>= 45, A, PW mit GA oder Verbund	0.056	0.037	0.072	0.059
	PG29	>= 45, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.025	0.033	0.063	0.029
	PG32	>= 45, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.030	0.000	0.029	0.029
A_EkFk	PG21	<= 24, A, PW ohne ÖV-Abo	0.234	0.179	0.168	0.199
	PG24	<= 24, A, PW mit GA oder Verbund	0.277	0.218	0.248	0.246
	PG27	<= 24, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.155	0.127	0.082	0.128
	PG30	<= 24, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.216	0.265	0.204	0.213
	PG22	25 - 44, A, PW ohne ÖV-Abo	0.265	0.218	0.199	0.233
	PG25	25 - 44, A, PW mit GA oder Verbund	0.347	0.286	0.387	0.331
	PG28	25 - 44, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.244	0.311	0.149	0.225
	PG31	25 - 44, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.288	0.269	0.266	0.267
	PG23	>= 45, A, PW ohne ÖV-Abo	0.234	0.206	0.214	0.209
	PG26	>= 45, A, PW mit GA oder Verbund	0.307	0.219	0.249	0.275
	PG29	>= 45, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.182	0.147	0.143	0.153
	PG32	>= 45, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.267	0.200	0.252	0.253
EkFk_A	PG21	<= 24, A, PW ohne ÖV-Abo	0.118	0.099	0.097	0.101
	PG24	<= 24, A, PW mit GA oder Verbund	0.160	0.136	0.149	0.141
	PG27	<= 24, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.094	0.108	0.043	0.081
	PG30	<= 24, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.129	0.203	0.129	0.137
	PG22	25 - 44, A, PW ohne ÖV-Abo	0.187	0.150	0.124	0.154
	PG25	25 - 44, A, PW mit GA oder Verbund	0.225	0.188	0.290	0.211
	PG28	25 - 44, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.154	0.234	0.064	0.140
	PG31	25 - 44, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.204	0.184	0.182	0.183
	PG23	>= 45, A, PW ohne ÖV-Abo	0.147	0.127	0.115	0.123
	PG26	>= 45, A, PW mit GA oder Verbund	0.189	0.143	0.174	0.166
	PG29	>= 45, A, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.113	0.038	0.011	0.079
	PG32	>= 45, A, ohne PW mit GA oder Verbund	0.136	0.144	0.133	0.134
EkFk_EkFk	PG38	<= 17, PW ohne ÖV-Abo	-	-	-	-
	PG39	18 - 24, PW ohne ÖV-Abo	0.294	0.242	0.159	0.238
	PG40	25 - 44, PW ohne ÖV-Abo	0.184	0.146	0.170	0.160
	PG41	45 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.212	0.219	0.187	0.191
	PG42	65 - 74, PW ohne ÖV-Abo	0.342	0.363	0.324	0.286
	PG43	>= 75, PW ohne ÖV-Abo	0.362	0.321	0.263	0.264
	PG44	<= 17, PW mit GA oder Verbund	-	-	-	-
	PG45	18 - 24, PW mit GA oder Verbund	0.265	0.236	0.295	0.244

	PG46	25 - 44, PW mit GA oder Verbund	0.219	0.193	0.398	0.217
	PG47	45 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.224	0.220	0.268	0.216
	PG48	65 - 74, PW mit GA oder Verbund	0.465	0.242	0.569	0.391
	PG49	>= 75, PW mit GA oder Verbund	0.362	0.275	0.274	0.275
	PG50	<= 17, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.119	0.098	0.121	0.105
	PG51	18 - 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.194	0.196	0.554	0.218
	PG52	25 - 44, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.258	0.202	0.173	0.210
	PG53	45 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.221	0.115	0.318	0.176
	PG54	65 - 74, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.273	0.231	0.143	0.188
	PG55	>= 75, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.278	0.270	0.180	0.148
	PG56	<= 17, ohne PW mit GA oder Verbund	0.185	0.140	0.137	0.156
	PG57	18 - 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.180	0.377	0.107	0.197
	PG58	25 - 44, ohne PW mit GA oder Verbund	0.239	0.162	0.230	0.231
	PG59	45 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.289	0.186	0.259	0.259
	PG60	65 - 74, ohne PW mit GA oder Verbund	0.335	0.322	0.320	0.322
	PG61	>= 75, ohne PW mit GA oder Verbund	0.317	0.286	0.252	0.253
	PG62	<= 24, PW ohne ÖV-Abo	0.370	0.317	0.296	0.333
	PG63	<= 24, PW mit GA oder Verbund	0.354	0.400	0.468	0.357
	PG64	<= 24, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.314	0.331	0.312	0.299
	PG65	<= 24, ohne PW mit GA oder Verbund	0.472	0.534	0.404	0.446
	PG78	25 - 64, PW ohne ÖV-Abo	0.240	0.280	0.266	0.245
S_S	PG79	25 - 64, PW mit GA oder Verbund	0.206	0.251	0.336	0.217
	PG80	25 - 64, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.147	0.176	0.147	0.132
	PG81	25 - 64, ohne PW mit GA oder Verbund	0.185	0.178	0.089	0.171
	PG66	>= 65, PW ohne ÖV-Abo	0.161	0.219	0.165	0.146
	PG67	>= 65, PW mit GA oder Verbund	0.192	0.315	0.353	0.202
	PG68	>= 65, ohne PW ohne ÖV-Abo	0.086	0.086	0.112	0.060
	PG69	>= 65, ohne PW mit GA oder Verbund	0.193	0.121	0.157	0.157

7.8 Besucherzahlen (DWV) singuläre Verkehrserzeuger Freizeit

Zonen-ID	Freizeiteinrichtung	BESU_Jahr	Tage_geöffnet	BESU_Tag
23'003'083	Technorama	281'427	364	773
26'103'308	Zoo Zürich	1'209'198	365	3'313
35'103'103	Westside (Bernaqua, Pathé)	5'200'000	365	4'538
106'103'062	KKL	500'000	315	1'587
106'103'063	Verkehrshaus	536'431	365	1'470
132'203'016	Alpamare	500'000	365	1'370
136'203'011	Natur- und Tierpark Goldau	387'492	365	1'062
212'403'003	Maison Cailler	350'000	363	964
213'503'003	La Maison du Gruyère	600'000	365	1'644
226'503'005	Papillorama - Nocturama	276'000	363	760
270'103'138	Zoo Basel	1'018'316	365	2'790
270'303'014	Fondation Beyeler	480'000	365	1'315
283'103'015	Aquabasilea	530'000	365	1'452
344'203'006	Säntispark	1'470'000	303	1'180
411'403'002	Aquarena	382'180	365	1'047
425'803'011	Wellness-Welt Sole Uno	570'421	365	1'563
432'303'005	Thermalbad Zurzach	443'933	365	1'216
470'103'002	Conny Land	350'000	166	2'108
589'103'002	Château de Chillon	367'500	363	1'012
613'603'015	Fondation Pierre Gianadda	240'000	365	658
615'403'004	Aquaparc	315'000	355	887
662'103'126	Conservatoire et jardin botaniques	300'000	365	822

Für Westside und Säntispark lagen die Besucherzahlen nur für den Gesamtkomplex (d.h. inkl. der Einkaufseinrichtungen) vor. Vereinfacht wurde angenommen, dass 25% der Gesamtbesucherzahlen pro Tag freizeitorientiert sind.

7.9 PW-Kosten

	Benzin			Diesel			Quelle	Anmerkungen
	Kleinwagen (<80kW)	Mittelklasse (80-150kW)	Oberklasse (>150kW)	Kleinwagen (<80kW)	Mittelklasse (80-150kW)	Oberklasse (>150kW)		
Anschaffung (CHF)	17000	35000	75000	18700	38500	86250	Annahme / Internetrecherche	
Wertverlust (CHF/100km)	3.6	6.3	13.2	2.6	5.0	9.7	BFE	2% pro jeweilige Jahresfahrleistung
Erhaltung (CHF/100km)	4.8	3.9	4.1	4.8	3.9	4.1	VSS/EBP + BFS/Ecoplan	
Reifen (CHF/100km)	2.7	4.1	8.3	2.7	4.1	8.3	VSS/EBP + BFS/Ecoplan	
ZWISCHENTOTAL (CHF/100km)	11.1	14.3	25.5	10.1	13.0	22.1		
ZWISCHENTOTAL in %	52.0	52.5	55.5	53.7	55.2	62.7		
Warenpreis / Handel	0.746	0.746	0.746	0.7643	0.7643	0.7643		
Mineralölsteuer (pro Liter)	0.4312	0.4312	0.4312	0.4587	0.4587	0.4587		
Mineralölsteuerzuschlag (pro Liter)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
MwSt. (7.7%) Treibstoff	0.1232	0.1232	0.1232	0.1271	0.1271	0.1271		
Treibstoffpreis	1.60	1.60	1.60	1.65	1.65	1.65		
Verbrauch in Litern (Neuwagen) - Herstellerangabe	4.5	5.7	9.0	3.7	4.5	5.6	TCS/BFE	
Aufschlag gemäss ICCT (in %)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	ICCT/BFE	
Verbrauch in Litern (Real)	6.4	8.1	12.8	5.3	6.4	8.0		
Treibstoff + Steuer (CHF/100km)	10.2	13.0	20.4	8.7	10.5	13.1		
Treibstoff + Steuer in %	48.0	47.5	44.5	46.3	44.8	37.3		
Summe (CHF/100km)	21.3	27.2	46.0	18.7	23.5	35.2		
	Elektro			Hybrid				
	Kleinwagen (<80kW)	Mittelklasse (80-150kW)	Oberklasse (>150kW)	Kleinwagen (<80kW)	Mittelklasse (80-150kW)	Oberklasse (>150kW)		
Anschaffung (CHF)	28000	42000	85000	20000	40000	80000		
Wertverlust (CHF/100km)	7.0	8.9	17.5	3.3	5.6	10.1		2% pro jeweilige Jahresfahrleistung
Erhaltung (CHF/100km)	4.8	3.9	4.1	5.0	4.5	4.4		
Reifen (CHF/100km)	2.7	4.1	8.3	2.8	4.2	8.3		
ZWISCHENTOTAL (CHF/100km)	14.5	16.9	29.9	11.1	14.2	22.7		
ZWISCHENTOTAL in %	81.5	82.6	87.9	67.9	71.1	76.8		
Strompreis (CHF/KWh)	0.202	0.202	0.202	0.202	0.202	0.202		
Verbrauch in kWh/100km	16.2	17.6	20.4	8.1	8.8	10.2		Hybrid: 50% von Elektro
Strom (CHF/100km)	3.3	3.6	4.1	1.6	1.8	2.1		
Treibstoff (CHF/100km)				3.6	4.0	4.8		
Warenpreis / Handel				0.7456	0.7456	0.7456		
Mineralölsteuer (pro Liter)				0.4312	0.4312	0.4312		
Mineralölsteuerzuschlag (pro Liter)				0.30	0.30	0.30		
MwSt. (7.7%) Treibstoff				0.1232	0.1232	0.1232		
Treibstoffpreis				1.60	1.60	1.60		
Verbrauch in Litern (Neuwagen) - Herstellerangabe				1.9	2.3	2.8		Hybrid: 50% von Diesel
Aufschlag gemäss ICCT (in %)				0.42	0.42	0.42		
Verbrauch in Litern (Real)				2.6	3.2	4.0		
Verbrauch in Litern				2.3	2.5	3.0		
Treibstoff / Strom (CHF/100km)	3.3	3.6	4.1	5.2	5.8	6.9		
Treibstoff / Strom in %	18.5	17.4	12.1	32.1	28.9	23.2		
Summe (CHF/100km)	17.7	20.4	34.0	16.3	20.0	29.6		
	Autonome Auto mit Elektroantrieb							
	Kleinwagen (<80kW)	Mittelklasse (80-150kW)	Oberklasse (>150kW)					
Anschaffung (CHF)	30800	46200	93500					Autonome Auto mit Elektroantrieb
Wertverlust (CHF/100km)	7.7	9.8	19.3					Jahresfahrleistung wie Elektro
Erhaltung (CHF/100km)	4.8	3.9	4.1					Erhaltung wie Elektro
Reifen (CHF/100km)	2.7	4.1	8.3					Reifen wie Elektro & Benzin
ZWISCHENTOTAL	15.2	17.8	31.7					
ZWISCHENTOTAL in %	82.2	83.3	88.5					
Strompreis (CHF/KWh)	0.202	0.202	0.202					
Verbrauch in kWh/100km	16.2	17.6	20.4					
Strom (CHF/100km)	3.3	3.6	4.1					
Strom in %	17.8	18.7	11.5					
Summe (CHF/100km)	18.4	21.3	35.8					

Anmerkungen und Referenzen:

- Anschaffungspreise laut ADAC 8/2018 + eigene Annahmen; Diesel 10-15% in der Anschaffung teurer, andererseits leicht effizienter beim Verbrauch, aber Diesel in CH leicht teurer als Benzin
- Wertverlust gemäss Vorgabe Bundesamt für Energie (BFE)
- Erhaltung (inkl. Pflege) gemäss ECOPLAN/BFS (2018) → referenziert auf VSS/EBP (2018)
- Reifen gemäss ECOPLAN/BFS (2018) → referenziert auf VSS/EBP (2018)
- Aufschlag auf Verbrauchsangaben der Hersteller gemäss ICCT-Studie von 2016, bereitgestellt durch das BFE
- Verbrauch in Litern (Neuwagen) gemäss TCS-Angebotsliste von 2017 (insgesamt 3'161 Neufahrzeuge), Daten bereitgestellt durch das BFE
- Verbrauch in kWh (Elektro) → Kleinwagen (Referenz: Renault Zoe), Mittelklasse (Referenz: Opel Ampera-e), Oberklasse: (Referenz: Tesla S), bereitgestellt durch das BFE
- Batteriekosten sind grosse Unbekannte für Elektroauto → Einschätzung ADAC zu Kosten E-Autos: Anerkannt verlässliche Kostenprognosen für die Zukunft zu stellen, gestaltet sich zum derzeitigen Stand auch für den ADAC als schwierig. Noch existieren zu wenige verlässliche Zahlen gerade im Hinblick auf die Batterietechnik, von der im Wesentlichen auch die Berechnung eines wahrscheinlichen Wertverlustes bzw. Restwerts – somit dem grössten Kostenfaktor – abhängig ist. → Quelle: <https://www.adac.de/infotestrat/umwelt-und-innovation/elektromobilitaet/elektroantrieb/default.aspx?ComponentId=28713&SourcePageId=270467>

Referenzen:

Bösch, P., Becker, F., Becker, H. und K. Axhausen (2017) Cost-based analysis of autonomous mobility services, Transport Policy, 1-16. / basiert auf den Ergebnissen des SVI-Projekts 2016/001 Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung (ETH-IVT im Auftrag des ASTRA).

EBP Schweiz AG (2018) Weiterentwicklung der Fahrzeugbetriebskostensätze für Kosten-Nutzen-Analysen. VSS-Projekt 2015/116 im Auftrag des ASTRA.

Ecoplan/BFS (2018) Berechnung der Verkehrsmittelkosten des motorisierten Strassenverkehrs. Statistik der Kosten und der Finanzierung des Verkehrs. Studie im Auftrag des BFS.

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000184754>

https://www.adac.de/_mmm/pdf/E-AutosVergleich_260562.pdf

https://www.adac.de/_mmm/pdf/autokostenuebersicht_47085.pdf

<https://www.oeamtc.at/ai-webapp/>

https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2016.pdf

<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-> (Strompreis 2017)

Renault Zoe: [https://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/41-Renault/1302-ZOE.html?powerunit=2 /](https://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/41-Renault/1302-ZOE.html?powerunit=2/)

Opel Amerpa-e: https://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/35-Opel/1258-Ampera.html?fueltype=5&constyear_s=2017&constyear_e=2018&powerunit=2

Tesla S: https://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/198-Tesla_Motors/1315-Model_S.html?fueltype=5&powerunit=2

Auswertung MOFIS-Datenbank			
Flottenanteile (MOFIS) in %	Klein	Mittel	Ober
Benzin	23.7	33.5	11.1
Diesel	3.6	21.9	4.1
Elektro	0.1	0.1	0.1
Hybrid	0.6	0.9	0.3
Autonom	0.0	0.0	0.0
Summe	28.0	56.3	15.7
Auswertung MZMV 2015			
Jahresfahrleistung (MZMV) - Mittelwert	Klein	Mittel	Ober
Benzin	9'375	11'147	11'403
Diesel	14'280	15'527	17'805
Elektro*	7'969	9'475	9'693
Hybrid	12'255	14'400	15'869
Autonom	-	-	-
*Annahme, um 15% geringer als Benziner (wg. Reichweitenproblematik)			

7.10 Bewertungsparameter für EVA-Modell

In nachfolgenden beiden Tabellen sind die bei der Bewertung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl im EVA-Modell verwendeten Parameter aufgelistet.

Tabelle 86 Lineare Bewertungsparameter für EVA-Modell (in Visum mit c bezeichnet)

Verkehrsmittel	Variable	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausbildung	Einkauf	Nutzfahrt	Freizeit
zu Fuss	Zeit			-0.095		-0.133	-0.040
	städtisch		-0.080		-0.056		
	intermediär		-0.105		-0.048		
	ländlich		-0.098		-0.052		
	Mann	-0.008					
	Alter / 10						
	linear	0.399					
	quadratisch	-0.044					
	Einkommen / 1'000						
	linear	0.010					
	quadratisch	-0.002					
Velo	Konstante		-2.660	-1.350	-3.000	-1.600	-2.630
	Zeit		-0.051	-0.073			-0.048
	städtisch				-0.063	-0.101	
	intermediär				-0.076	-0.123	
	ländlich				-0.102	-0.152	
	Mann	0.434					
	Alter / 10						
	linear	0.642					
	quadratisch	-0.080					
	Einkommen / 1'000						
	linear	0.188					
	quadratisch	-0.008					
MIV	Konstante						
	Fahrtzeit				-0.051	-0.056	
	städtisch		-0.070	-0.064			-0.043
	intermediär		-0.062	-0.050			-0.047
	ländlich		-0.054	-0.098			-0.043
	Suchzeit	-0.070					
	Parkkosten				-0.190	-0.125	-0.144
	städtisch		-0.144	-0.197			
	intermediär		-0.174	0.594			
	ländlich		-0.089	-0.038			
	Verfügbarkeit: immer	0.881					
ÖV	Konstante		-0.289	0.350	-0.703	-0.698	-0.843
	Fahrtzeit						
	städtisch		-0.043	-0.039	-0.040	-0.047	-0.032
	intermediär		-0.040	-0.042	-0.040	-0.040	-0.037
	ländlich		-0.044	-0.072	-0.031	-0.062	-0.028
	Zu- und Abgangszeit		-0.059	-0.055	-0.060	-0.044	-0.025
	Wartezeit		-0.017	-0.039	-0.028	-0.041	-0.018
	Umsteigen				-0.354		
	städtisch		-0.259	-0.270		-0.198	-0.204
	intermediär		-0.151	-0.142		-0.461	-0.185
	ländlich		-0.125	-0.529		-0.135	-0.302
	Takt		-0.012	-0.009	-0.011	-0.016	-0.008
	Auslastung (quadriert)	-0.034					

	Abonnement: Halbtax						
	städtisch	0.259					
	intermediär	0.261					
	ländlich	0.430					
	Abonnement: Verbund						
	städtisch	1.200					
	intermediär	1.480					
	ländlich	1.240					
	Abonnement: GA						
	städtisch	1.170					
	intermediär	1.570					
	ländlich	1.490					
	Mann	-0.044					
	Alter / 10						
	linear	0.144					
	quadratisch	-0.011					
	Einkommen / 1'000						
	linear	-0.048					
	quadratisch	0.002					
	Attraktivität Grossstädte ¹³		0.210			0.210	
	Reduzierte Bewertung Fahrtzeit Grossstädte ¹⁴		0.017	0.016	0.019	0.013	0.017
	Reduzierte Bewertung Kosten Grossstädte ¹⁵		0.089	0.089	0.072	0.053	0.069
alle	Kosten						-0.172
	städtisch		-0.222	-0.223	-0.181	-0.132	
	intermediär		-0.215	-0.092	-0.189	-0.124	
	ländlich		-0.181	-0.286	-0.216	-0.154	
	Sprachraumwiderstand ¹⁶		-2.000	-2.500	-2.000	-2.000	-2.000

¹³ Für ÖV-Pendlerfahrten zwischen Zürich und Bern wurde eine zusätzliche Gewichtung der Variable

$\ln[(\text{Erwerbstätige Quelle} * \text{Arbeitsplätze Ziel}) / (\text{Erwerbstätige Quelle} + \text{Arbeitsplätze Ziel})]$ eingeführt, um die höhere Attraktivität von Fahrten zwischen Grossstädten in den Deutschschweiz abzubilden (cf. Abschnitt 0)

¹⁴ Für ÖV-Fahrten innerhalb und zwischen Zürich, Bern und Basel wurde die Bewertung der Fahrtzeit um 40% reduziert (cf. Abschnitt 0).

¹⁵ Für ÖV-Fahrten innerhalb und zwischen Zürich, Bern und Basel wurde die Bewertung der Kosten um 40% reduziert (cf. Abschnitt 0).

¹⁶ Für Fahrten über Sprachraumgrenzen hinaus wurde die Attraktivität mittels einer Konstante reduziert.

Tabelle 87 Box-Tukey-Bewertungsparameter für EVA-Modell (in Visum mit *b* bezeichnet)

Raumtyp	Fahrtzweck	Zeit				Kosten	
		Fuss	Velo	MIV	ÖV	MIV	ÖV
städtisch	Arbeit (A)	1.40	1.40	1.05	0.80	1.05	0.80
	Arbeit (SK)	1.40	1.35	1.05	0.80	1.05	0.80
	Ausbildung (S)	2.00	2.40	1.50	0.90	1.50	0.90
	Ausbildung (U)	1.50	1.60	1.35	1.25	1.35	1.25
	Einkauf (k)	1.60	1.60	1.50	1.05	1.50	1.05
	Einkauf (l)	1.60	1.55	1.25	1.00	1.25	1.00
	Nutzfahrt	1.25	1.20	1.05	0.80	1.05	0.80
	Begleiten (K)	2.10	2.00	1.45	1.35	1.45	1.35
	Freizeit (k)	1.70	1.75	1.70	1.45	1.70	1.45
	Freizeit (l)	1.10	1.00	0.95	0.80	0.95	0.80
	Arbeit	2.25	1.60	1.05	0.85	1.05	0.85
	Sonstiges	1.80	1.60	1.20	0.95	1.20	0.95
intermediär	Arbeit (A)	1.25	1.25	1.05	0.95	1.05	0.95
	Arbeit (SK)	1.25	1.40	1.00	0.90	1.00	0.90
	Ausbildung (S)	1.35	1.30	1.80	1.10	1.80	1.10
	Ausbildung (U)	1.35	2.10	1.45	1.35	1.45	1.35
	Einkauf (k)	1.45	1.35	1.45	1.00	1.45	1.00
	Einkauf (l)	1.45	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Nutzfahrt	0.95	2.50	0.95	0.85	0.95	0.85
	Begleiten (K)	1.90	2.30	1.45	1.25	1.45	1.25
	Freizeit (k)	1.60	2.15	1.65	1.10	1.65	1.10
	Freizeit (l)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.90	0.85
	Arbeit	2.10	2.00	1.10	1.00	1.10	1.00
	Sonstiges	1.65	1.60	1.15	1.15	1.15	1.15
ländlich	Arbeit (A)	1.30	1.45	1.10	0.90	1.10	0.90
	Arbeit (SK)	1.30	1.05	1.15	0.85	1.15	0.85
	Ausbildung (S)	1.40	1.45	1.05	0.95	1.05	0.95
	Ausbildung (U)	1.30	1.45	1.15	1.20	1.15	1.20
	Einkauf (k)	1.50	2.45	1.40	1.10	1.40	1.10
	Einkauf (l)	1.50	1.55	1.10	1.05	1.10	1.05
	Nutzfahrt	1.15	1.70	1.00	0.80	1.00	0.80
	Begleiten (K)	2.00	2.45	1.40	1.35	1.40	1.35
	Freizeit (k)	1.60	2.30	1.85	1.45	1.85	1.45
	Freizeit (l)	1.00	0.95	0.95	0.80	0.95	0.80
	Arbeit	2.15	1.50	1.20	0.90	1.20	0.90
	Sonstiges	1.70	1.45	1.20	1.00	1.20	1.00

7.11 DTV-Modell 2017 – Kalibration Tages- / Nachtverkehr

Abbildung 243 Einstellungen automatisches Kalibrationsverfahren für Tagesverkehr (06:00 – 22:00)

Nachfragematrix-Korrektur (Kleinste Quadrate) X

Zählwerte | Zählwerte IV | Verteilung PW_binnen_T | Verkehrssteuerung | Ergebnismatrix |

☒ Nur Netzobjekte mit Belastung > 0 und Zählwert > 0 verwenden

Bezirke

☐ Zeilen- und Spaltensummen der Matrix zugrunde legen

☐ nur aktive Bezirke

Zeilensumme:  Gewicht: 

Spaltensumme:  Gewicht: 

Strecken

☒ gezählte Streckenbelastungen zugrunde legen

☐ nur aktive Strecken

Belastung:  Gewicht: 

Abbieger und Oberabbieger

☐ gezählte Abbieger- und Oberabbiegerbelastungen zugrunde legen

☐ nur aktive Abbieger und Oberabbieger

Belastung:  Gewicht: 

Screenlines

☐ gezählte Belastungen in Richtung der Screenline zugrunde legen

☐ nur aktive Screenlines

Belastung:  Gewicht: 

Gesamtverkehr

☐ gezählten Gesamtverkehr (alle Nachfragesegmente) zugrunde legen

Gesamtverkehr: Gewicht:

Abbildung 244 Einstellungen automatischen Kalibrationsverfahren für Tagesverkehr (06:00 – 22:00)

Nachfragematrix-Korrektur (Kleinste Quadrate) X

Zählwerte | Zählwerte IV | Verteilung PW_binnen_T | Verfahrensteuerung | Ergebnismatrix |

Allgemeines

☒ Nur Bezirksbeziehungen mit $M > 0$ korrigieren

M = 101 PW Binnen 06-22

Anzahl Iterationen: 200

Zielfunktion

Nachfrageabweichungen mit folgendem Faktor relativ zu Zählwertabweichungen gewichten: 0.5 i

☒ Alle Bezirksbeziehungen gleich gewichten

☐ Bezirksbeziehungen unterschiedlich gewichten

NSeg	Matrix	Matrix	
PW_binnen_T PW Binnenverkehr 06-22			

i

☒ Abweichungen zu aktueller Nachfrage berechnen i

☐ Abweichungen zu historischer Nachfrage berechnen

NSeg	Matrix	Matrix	
PW_binnen_T PW Binnenverkehr 06-22			

Bezirksbeziehungen ohne Zählwerte

☒ Unverändert lassen

☐ Mit mittlerem Korrekturfaktor skalieren

Anteilsmatrix

Anzahl: 1	NSeg	Laden/Speichern	Dateiname
1	PW_binnen_T	neu berechnen	...

OK Abbrechen

7.12 Sensitivitätstests – Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen

Abbildung 245 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 01

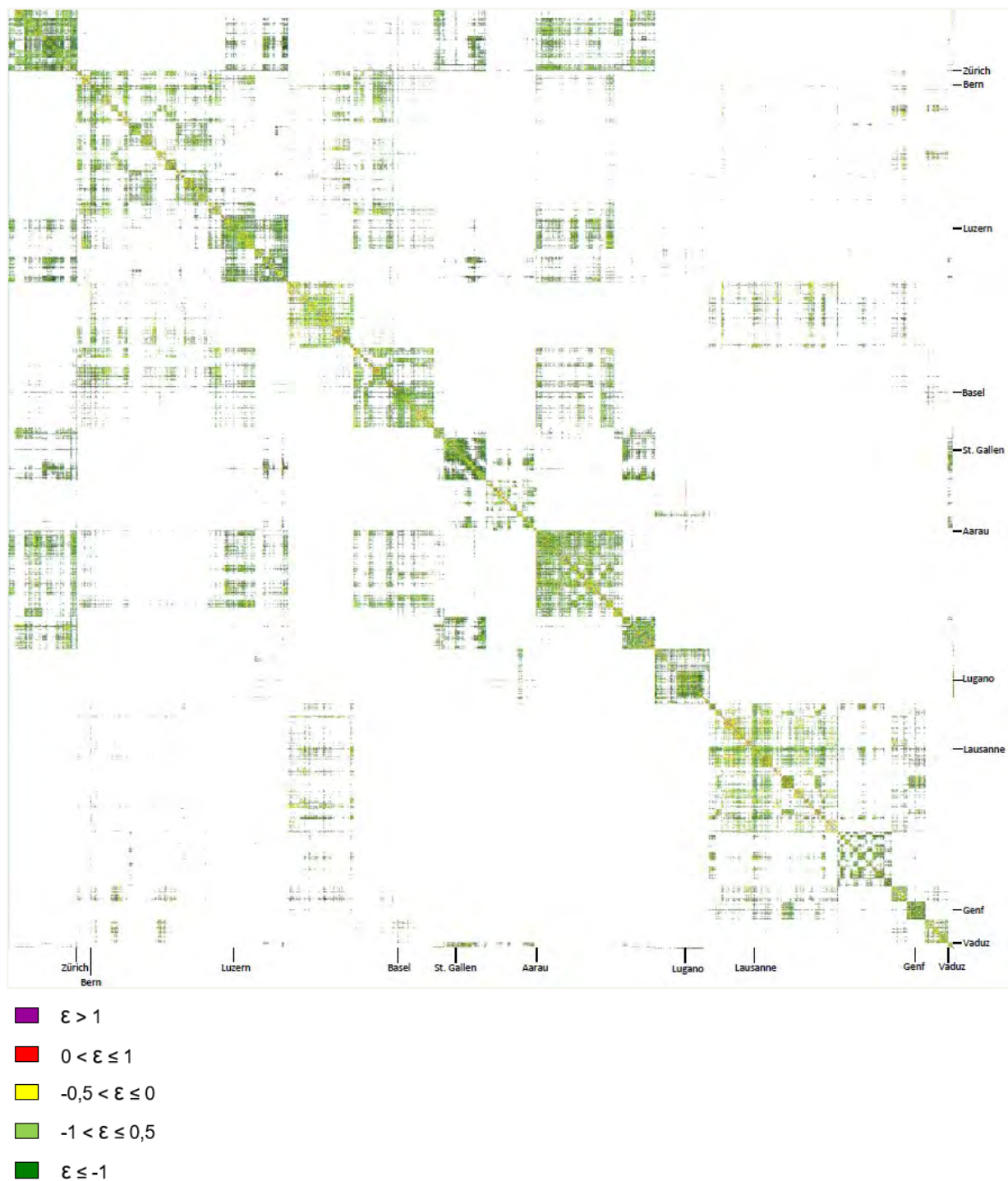


Abbildung 246 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 02

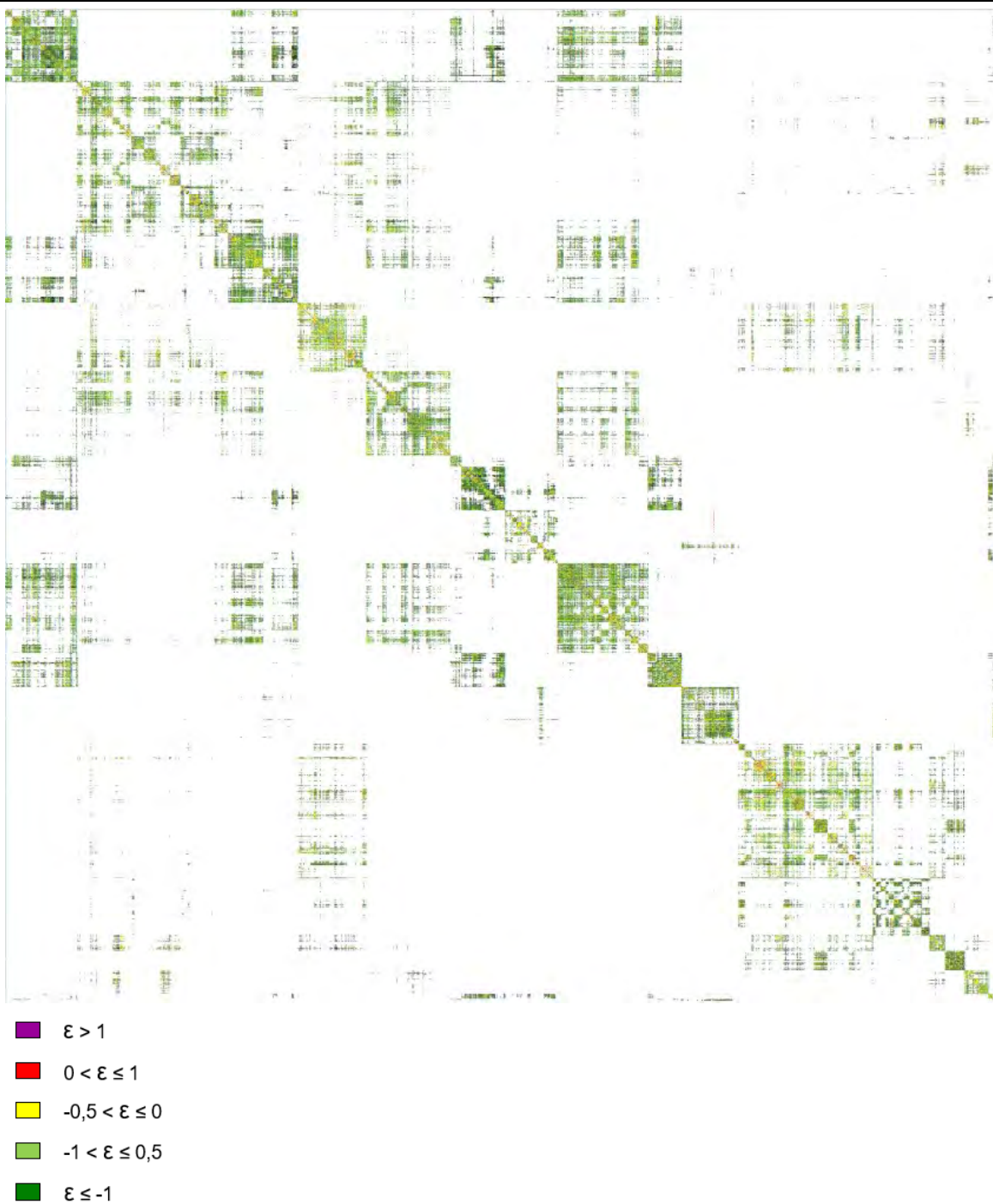


Abbildung 247 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 03

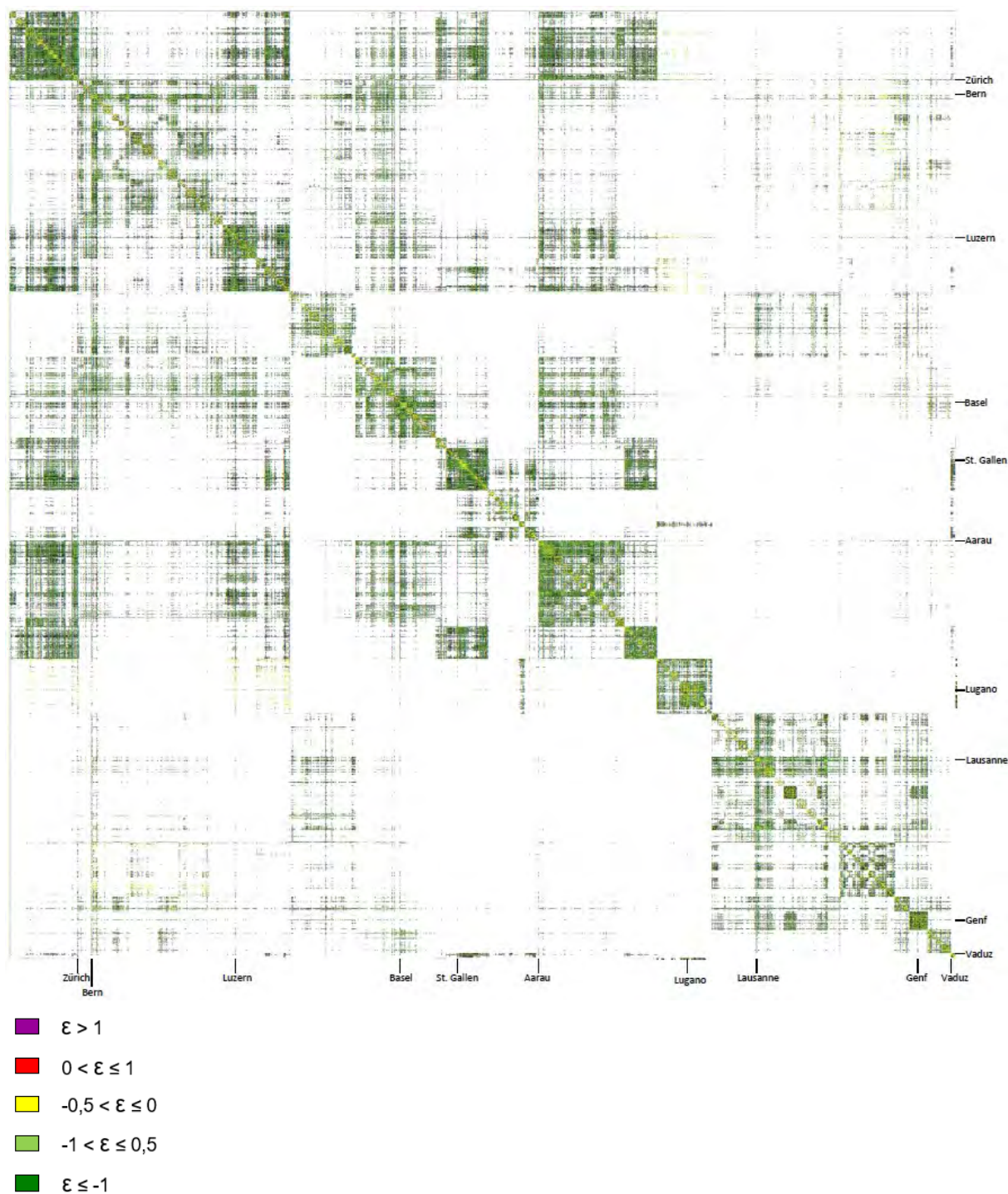


Abbildung 248 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 04



Abbildung 249 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 05



Abbildung 250 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 06



Abbildung 251 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 07



Abbildung 252 Elastizitäten auf Ebene der Gemeinde-Relationen – Sensitivitätstest 08

