



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

b a s e s

Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK

Aktualisierung auf den Basiszustand
2010

Endbericht

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Auftraggeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Bundesamt für Verkehr (BAV)

Auftragnehmer

TransOptima GmbH (TO), CH-4500 Olten
TransSol GmbH (TS), CH-8832 Wollerau
regioConcept AG (RC), CH-9102 Herisau

Bearbeitung

Dr. Milenko Vrtic (TO, Projektleitung)
Dr. Philipp Fröhlich (TS, stv. Projektleitung)
Dr. Claude Weis (TO)
Dr. Balz Bodenmann (RC)
Alexandra Zeiler (RC)
Beratung: Prof. Dr. Kay W. Axhausen (ETH Zürich)

Begleitung

Dr. Helmut Honermann (ARE)
Dr. Matthias Kowald (ARE)
Dr. Andreas Justen (ARE)
PD Dr. Christian Schiller (TU Dresden)
Daniel Kilchner (ASTRA)
Dorina Markus (ASTRA)
Christoph Stölzle (BAV)
Felix Reutimann (BAFU)
Martin Babst (BFE)
Johannes Lieberherr (SBB)
Gordon Finné (Kanton Aargau)
Dr. Michael Redle (Kanton Basel-Stadt)

Produktion

Stabstelle Information ARE

Zitierweise

Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2014), Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, Aktualisierung auf den Basiszustand 2010

Bezugsquelle

www.are.admin.ch

August 2014

Abstract

Deutsch

Das Nationale Personenverkehrsmodell des UVEK wurde auf den Basiszustand 2010 aktualisiert. Angepasst und weiterentwickelt wurden: Netzmodelle (Angebot motorisierter Individualverkehr (MIV) und öffentlicher Verkehr (ÖV)), Strukturdatenbank, Nachfragemodell (ohne Neuschätzung der Modellparameter), Umlegungsmodelle und die Kalibration der Modellbelastungen auf Querschnittszählungen. Mit dem aktualisierten NPVM steht ein geeignetes und taugliches Instrument für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Siedlung und Verkehr, die Beurteilung von Angebotskonzepten zur Bewertung von Massnahmen und zur Abstimmung der Verkehrsträger, die Analyse von verkehrspolitischen Massnahmen sowie die Erarbeitung der schweizerischen Verkehrsperspektiven 2040 zur Verfügung.

Français

Le modèle national de transport de personnes du DETEC a été mis à jour selon la situation de base 2010. Les éléments suivants ont été adaptés et développés : réseau routier et réseau ferroviaire (offre pour le transport individuel motorisé, TIM, et transport public, TP), base de données structurelles, modèle de la demande (sans nouvelle estimation des paramètres), modèles de choix de route, charges de réseau (étalonnage sur les données de comptage de 2010). Le MNTP mis à jour fournit un instrument approprié et fonctionnel pour étudier les corrélations entre l'habitat et les transports, évaluer les conceptions d'offres visant à constater l'effet des mesures et à coordonner les modes de transport, analyser les mesures de politique des transports et élaborer les perspectives 2040 des transports en Suisse.

Italiano

Il modello nazionale del traffico viaggiatori del DATEC è stato rielaborato sulla base dell'anno di riferimento 2010. L'adeguamento e l'ulteriore sviluppo riguardano i seguenti aspetti: modelli di rete (offerta nel traffico motorizzato privato TMP e nei trasporti pubblici TP), banca dati strutturale, modello della domanda (senza una nuova stima dei relativi parametri), modelli di scelta del percorso e calibrazione dei carichi sulla base di conteggi trasversali. Grazie al modello nazionale del traffico viaggiatori aggiornato, vi è ora uno strumento appropriato ed efficace per lo studio delle relazioni tra insediamento e trasporti, per l'esame delle strategie d'offerta concernenti la valutazione di misure e il coordinamento dei vettori di trasporto, per l'analisi delle misure in materia di politica dei trasporti e per l'elaborazione delle prospettive di traffico svizzere 2040.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	I
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Vorgehen	2
2 Analyse der Verhaltensdaten aus dem MZMV 2010	3
2.1 Verkehrserzeugung.....	3
2.2 Fahrtzweckanteile.....	10
2.3 Reiseweiten	11
2.4 Modal Split.....	15
2.5 Intra- vs. interzonaler Verkehr	17
2.6 Besetzungsgrade.....	19
3 Erstellung des Verkehrsangebots	20
3.1 MIV-Netz	20
3.2 ÖV-Netz	23
4 Strukturdaten	27
4.1 Einwohner und Beschäftigte	29
4.2 Mobilitätswerkzeuge	42
4.3 Attraktionsvariablen	46
4.4 Fürstentum Liechtenstein	56
4.5 Zonenschwerpunkte und Höhen.....	57
5 Nachfrageberechnung.....	61
5.1 Erzeugungsmodell.....	61
5.2 Modellparameter	63
5.3 Matrixerstellung: Vorgehen	66
5.4 Validierung der Matrixstruktur (Binnenverkehrsmatrix).....	75
6 Aussen- und Umfahrungsströme	93
7 Kalibration des Modells auf die Querschnittszählungen	95
7.1 Zähldaten.....	95
7.2 Vorgehen und Ergebnisse.....	99
8 Schlussfolgerungen.....	116
9 Literatur	119
10 Abkürzungen	121
Anhang 1: Abhängigkeit von Einwohnern.....	122
Anhang 2: Abhängigkeit von Beschäftigten.....	124
Anhang 3: Spinnenanalysen	126

Zusammenfassung

Das Ziel des vorliegenden Projekts war die Aktualisierung des bestehenden nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) des UVEK vom Basiszustand 2005 auf den neuen Basiszustand 2010. Aktualisiert und weiterentwickelt wurden:

- Netzmodelle (Angebot motorisierter Individualverkehr (MIV) und öffentlicher Verkehr (ÖV);
- Strukturdatenbank;
- Nachfragemodell (ohne Neuschätzung der Modellparameter);
- Umlegungsmodelle und Modellbelastungen (auf die Querschnittszählungen 2010 kalibriert).

Das Strassennetz wurde auf den Zustand 2010 aktualisiert und zusätzliche Korrekturen wurden vorgenommen, welche im Rahmen der Modellanwendungen erfasst wurden bzw. zur Abbildung des realen Zustands notwendig sind. Die Geschwindigkeiten im Strassengüterverkehr, Funktionen für die Reisezeitberechnung und Umlegungsverfahren wurden überarbeitet. Im öffentlichen Verkehr wurde der Systemfahrplan 2010 eingebaut.

Die Strukturdatenbank mit allen Raumdaten für das Nachfragemodell wurde für den Zustand 2010 neu erstellt. Das Erzeugungsmodell wurde vollständig in das Nachfragemodell (Software VISEVA) integriert. Das Nachfragemodell wurde sowohl durch die Inputdaten 2010 als auch in seiner Struktur aktualisiert und weiterentwickelt. Dafür wurden weitere Modellkomponenten eingebaut und Modellparameter auf die Erhebungsgrundlagen 2010 kalibriert. Validiert wurden sowohl die ermittelten Netzbelastungen als auch die Matrixstruktur in Bezug auf die Fahrtzweckanteile, Verkehrsmittelwahlanteile, Verteilung der Reiseweiten und -zeiten sowie die räumliche Verteilung der Verkehrsströme auf einzelnen Querschnitten und Knoten.

Bei der Modellkalibration wurden die Modellbelastungen im Strassenverkehr auf ca. 1'100 Querschnitte (entspricht 2'200 Zählwerten) und im ÖV auf ca. 150 Querschnitte (entspricht ca. 300 Zählwerten) validiert. Die Modellbelastungen konnten sowohl auf die Zähldaten im Strassenverkehr als auch im ÖV sehr genau geeicht werden. Die mittlere Differenz gegenüber den Querschnittszählungen liegt bei allen betrachteten Verkehrsmitteln unter sechs Prozent, was für Modellanwendungen eine gute Grundlage darstellt. Hier sollte beachtet werden, dass die Verteilung der Zählstellen im Raum bzw. die Zählstellendichte im Modell, und damit auch die Modellqualität räumlich unterschiedlich ist.

Die Modellkalibration sowie Plausibilisierung der Netzbelastungen und Routenwahlverhalten hat gezeigt, dass durch die bestehende Netz- und Zonendichte die Modellqualität sehr stark beeinträchtigt wird. Hier ist vor allem das bestehende Strassennetz in Bezug auf die Netzdichte und Netzgenauigkeit nicht ausreichend, was für die Abbildung des Routenwahlverhaltens

im untergeordneten Strassennetz sehr entscheidend ist. Deswegen ist bei Modellanalysen die Relevanz der Netz- und Zonendichte für die zu betrachtenden Massnahmen im Voraus zu überprüfen und dementsprechend auch die Entscheidungen über die Modellanalyse oder eventuell notwendige Verfeinerungen bzw. Nachkalibrationen festzulegen. Insbesondere für die Bewertung von Strassenbauprojekten im untergeordneten Netz ist die Netzdichte des NPVM nicht ausreichend, hier sollte nach Möglichkeit auf kantonale Verkehrsmodelle zurückgegriffen werden. Für alle nationalen Fragestellungen steht mit dem aktualisierten NPVM ein geeignetes und taugliches Instrument für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Siedlung und Verkehr, die Beurteilung von Angebotskonzepten zur Bewertung von Massnahmen und zur Abstimmung der Verkehrsträger, die Analyse von verkehrspolitischen Massnahmen sowie die Erarbeitung der schweizerischen Verkehrsperspektiven 2040 zur Verfügung.

Résumé

Le but du présent projet était la mise à jour à l'année de base 2010 du modèle national de transport de personnes (MNTP) à partir de son état existant (année de base 2005). La mise à jour et le développement concernent les composantes suivantes:

- réseau routier et réseau ferroviaire;
- base de données structurelles;
- modèle de la demande (sans nouvelle estimation des paramètres);
- modèles de choix de route et charges de réseau (étalonnées sur les données de comptage de 2010).

Le réseau routier a été mis à jour et corrigé selon les informations relevées pendant l'utilisation du modèle. Le modèle reproduit donc dorénavant l'état réel de 2010. Les vitesses de conduite de véhicules lourds, les fonctions utilisées pour le calcul des temps de parcours ainsi que les modèles du choix de route ont été actualisés. Pour les transports en commun, l'horaire système 2010 a été intégré.

La base de données structurelles, contenant toutes les données spatiales nécessaires à la modélisation de la demande, a été établie selon l'état de 2010. Le modèle de production a été complètement intégré dans le modèle de la demande (VISEVA). Le modèle a été actualisé par le recours aux données d'entrée 2010 et par l'adaptation de sa structure. À cette fin, des composantes additionnelles ont été intégrées, et les paramètres du modèle ont été étalonnés en utilisant des données de sondage de 2010. La validation du modèle concerne les charges de réseau résultantes ainsi que la structure des matrices (répartition des motifs de déplacement, répartition modale, distribution des distances et temps de parcours, répartitions spatiale des flots de circulations sur certaines sections de route et nœuds routiers.

Lors de l'étalonnage du modèle, les charges du réseau ont été validées par environ 1'100 tronçons routiers (correspondant à environ 2'200 valeurs de comptage) et environ 150 sections en transports publics (correspondant à environ 300 valeurs de comptage). L'étalonnage des charges sur les données de comptage est très exact pour les deux moyens de transport. L'erreur moyenne des charges par rapport aux comptages est inférieure à 6 pour cent pour tous les moyens de transport, précision qui est nettement suffisante pour les applications prévues du modèle. Il faut néanmoins observer que la distribution spatiale et la densité des données de comptage, et par conséquent la qualité du modèle, varient selon les régions.

L'étalonnage et les tests de plausibilité des charges de réseau et du comportement de choix de route ont montré que la densité du réseau routier et des zones perturbent fortement la qualité du modèle. Le réseau routier utilisé en particulier représente insuffisamment l'état réel, ce qui est décisif à la reproduction du choix de route sur le réseau subordonné. Ceci rend nécessaire

un contrôle de la relevance de la densité du réseau pour des mesures à introduire lors d'applications du modèle. Le cas échéant, ces considérations mèneront à des affinements locaux du réseau et des zones ainsi qu'à des étalonnages ultérieurs dans les régions concernées. Ceci concerne en particulier les projets de route sur le réseau secondaire, où la densité du réseau du MNTP est insuffisante; pour l'évaluation de tels projets, on aura donc recours à des modèles cantonaux. Pour toutes les problématiques à l'échelon national, le MNTP mis à jour fournit un instrument approprié et fonctionnel pour étudier les corrélations entre l'habitat et les transports, évaluer les conceptions d'offres visant à constater l'effet des mesures et à coordonner les modes de transport, analyser les mesures de politique des transports et élaborer les perspectives 2040 des transports en Suisse.

Riassunto

L'obiettivo del presente progetto è l'aggiornamento al 2010 del modello nazionale esistente del traffico viaggiatori del DATEC che si basa sui dati del 2005. L'aggiornamento e l'ulteriore sviluppo del modello riguardano gli aspetti seguenti:

- modelli di rete (offerta nel traffico motorizzato privato TMP e nei trasporti pubblici TP);
- banca dati strutturale;
- modello della domanda (senza una nuova stima dei relativi parametri);
- modelli di scelta del percorso e carichi della rete (calibrati sui conteggi trasversali 2010).

La rete stradale è stata aggiornata allo stato 2010, inserendo ulteriori correzioni sulla base dei dati scaturiti dalle applicazioni dei modelli oppure resesi necessarie per la riproduzione dello stato reale. Le velocità di circolazione nel traffico merci su strada, le funzioni utilizzate per il calcolo del tempo di viaggio e la procedura di scelta del percorso sono state rielaborate. Per i trasporti pubblici, è stato utilizzato l'orario sistematico 2010.

La banca dati strutturale, contenente tutti i dati territoriali per il modello della domanda, è stata aggiornata per il 2010. Il modello di produzione è stato completamente integrato nel modello della domanda (software VISEVA). Quest'ultimo modello è stato aggiornato e rielaborato sia da un punto di vista dei dati in entrata 2010 che nella sua struttura. A tale scopo, sono stati inseriti componenti supplementari e i parametri del modello sono stati calibrati a partire dalle basi di rilevamento 2010. I carichi della rete rilevati dal modello, la struttura a matrice relativa agli scopi degli spostamenti, alla scelta del mezzo di trasporto, alla distribuzione delle distanze del tragitto e dei tempi di percorrenza, nonché la ripartizione territoriale dei flussi di traffico su talune sezioni o nodi stradali sono stati poi convalidati.

Tramite la calibrazione del modello sono stati convalidati carichi della rete stradale per circa 1'100 tratti (corrispondenti a 2'200 valori di conteggio) e carichi nell'ambito dei trasporti pubblici per circa 150 sezioni (corrispondenti a ca. 300 valori di conteggio). La calibrazione dei carichi è risultata molto precisa per entrambi i settori di trasporto. La differenza mediana rispetto ai conteggi trasversali risulta inferiore al sei per cento per tutti i mezzi di trasporto considerati. Questa precisione è più che sufficiente per le applicazioni previste dal modello. Occorre tuttavia osservare che la distribuzione territoriale e la densità dei punti di conteggio, e di conseguenza anche la qualità dei dati del modello, varia a seconda della regione.

La calibrazione e i test di plausibilità dei carichi di rete e del comportamento nella scelta del tragitto hanno evidenziato che la densità della rete e delle zone pregiudicano fortemente la qualità del modello. In particolare, la rete stradale presa in considerazione è insufficiente da

un punto di vista dell'esattezza e della densità, determinanti e ineludibili per rappresentare il comportamento nella scelta del tragitto nei tratti stradali subordinati. Per le misure da attuare nel quadro dell'applicazione del modello, occorre quindi controllare previamente la rilevanza delle zone e della rete. Queste verifiche potrebbero comportare anche precisazioni locali della rete e delle zone o ulteriori calibrazioni nelle regioni interessate. Questa considerazione riguarda in particolare i progetti di costruzione in ambito stradale nella rete subordinata, laddove la densità del modello risulta insufficiente; per la valutazione di tali progetti si dovrà quindi far ricorso, se possibile, ai modelli di trasporto cantonali.

Per tutte le questioni d'importanza nazionale, grazie al modello del traffico viaggiatori aggiornato del DATEC, vi è ora uno strumento appropriato ed efficace per lo studio delle relazioni tra insediamento e trasporti, per l'esame delle strategie d'offerta concernenti la valutazione di misure e il coordinamento dei vettori di trasporto, per l'analisi delle misure in materia di politica dei trasporti e per l'elaborazione delle prospettive di traffico svizzere 2040.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die wesentliche Aufgabe der Verkehrsplanung ist es, mit Hilfe spezieller Verfahren, Methoden und Modelle Aussagen über mögliche zukünftige Verkehrsentwicklungen zu erarbeiten. Die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen aber führen dazu, dass die verkehrspolitischen Ziele und damit auch die verkehrsplanerischen Aufgaben im Laufe der Jahre anders formuliert werden. Während bis zum Ende der achtziger Jahre die Entwicklung von Verkehrsnetzen und Verkehrsanlagen im Vordergrund stand, wird in den letzten Jahren zunehmend die Wirksamkeit von Lenkungsinstrumenten zur gezielten Nachfragebeeinflussung untersucht.

Durch die veränderten verkehrspolitischen Ziele hat die Komplexität der Aufgaben der Verkehrsplanung und der von ihr benutzten Instrumente ebenfalls zugenommen. Die Suche nach geeigneten Beeinflussungsinstrumenten und Massnahmen für eine gezielte Nachfrageaufteilung und -steuerung hat dazu geführt, dass Verkehrsmodelle zu einem unverzichtbaren Verkehrsplanungsinstrument geworden sind. Das nationale Personenverkehrsmodell des UVEK (NPVM) wird hauptsächlich für die Analyse grossräumiger Veränderungen (wie z.B. Auswirkungen von Veränderungen in der Siedlungsstruktur, Angebotsveränderungen im öffentlichen und motorisierten Verkehr) eingesetzt.

Das NPVM wurde im Jahre 2006 mit dem Basiszustand 2000 (ARE, 2006) fertiggestellt (ARE, 2006). Im Jahr 2010 aktualisierte das ARE das Modell auf den Basiszustand 2005 (ARE, 2010). Das NPVM wurde inzwischen sowohl für die Analyse von Angebotsveränderungen und Infrastrukturmassnahmen, Siedlungsentwicklungen und Kostenmassnahmen (Mobility Pricing) als auch für die Prognosen der Verkehrsentwicklung (Verkehrsperspektiven) und Erreichbarkeitsanalysen angewendet.

Für die Modellanwendungen und Verkehrsprognosen ist ein aktuelles Basismodell mit korrekt abgebildetem Basiszustand 2010 eine wesentliche Voraussetzung. In der Zwischenzeit liegen auch neue Grundlagendaten, insbesondere der Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (MZMV 2010; ARE und BFS, 2012), vor. Damit lassen sich neben der Siedlungs-, Angebots- und Nachfrageveränderungen auch die Veränderungen des Verkehrsverhaltens im Basismo-

dell aktualisieren. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Projekt im Auftrag der Bundesämter für Raumentwicklung (ARE), Strassen (ASTRA) und Verkehr (BAV) das Basismodell 2005 auf den neuen Basiszustand 2010 aktualisiert.

1.2 Vorgehen

Der Modellaufbau wurde in drei wesentlichen Arbeitspaketen durchgeführt:

- Netzmodell: Plausibilisierung und Korrekturen;
- Nachfragemodell: Aktualisierung und Eichung der Matrixstruktur;
- Umlegungsmodell: Kalibrierung der Nachfragematrizen auf die Zählzeiten.

Dabei sind folgende wichtige Meilensteine zu nennen:

- Netzmodell:
 - Strassennetz;
 - ÖV-Netz;
 - Zonen und Zonenanbindungen;
- Nachfragemodell:
 - Strukturdatenaufbereitung;
 - Integration des Erzeugungsmodells in VISEVA;
 - Aufbau des VISEVA-Modells und Eichung der Matrixstruktur;
 - Plausibilisierung;
- Umlegungsmodell / Modellkalibration:
 - Aussenmatrizen;
 - Güterverkehr Strasse 2010;
 - Zählzeiten ÖV und Strassenverkehr;
 - Kalibration auf die Zählzeiten, DWV-Modell (MIV- und ÖV-Modell);
 - Evaluation der Modellqualität.

2 Analyse der Verhaltensdaten aus dem MZMV 2010

Die Daten des MZMV 2010 stellen für die Plausibilisierung und Eichung der im Nachfragemodell erstellten Quelle-Ziel-Matrizen eine wichtige Grundlage dar. Um ein möglichst realitätsnahes Abbild des realen Verhaltens im Modell sicherzustellen, sollte die Struktur der Matrizen den MZMV 2010 gut reproduzieren. Dies gilt für mehrere Merkmale, wie beispielsweise die Mittelwerte und Verteilungen der Reisedistanzen, die Modal-Split-Anteile, die Anteile der Fahrtzwecke an der Gesamtheit aller Wege etc. Diese Übereinstimmung wird für jeden Zweck bzw. jede Quelle-Ziel-Gruppe sowie für jedes Verkehrsmittel angestrebt. Entsprechende Auswertungen des Nachfragemodells im Vergleich zum MZMV 2010 werden nach Zweck (bzw. Quelle-Ziel-Gruppe) und Verkehrsmittel getrennt ausgewiesen und plausibilisiert.

Einige Auswertungen des MZMV 2010 dienen zudem als direkter Input des Nachfragemodells. Dies gilt insbesondere für die errechneten Erzeugungsraten für die einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen sowie für deren Modal-Split-Anteile (welche im Nachfragemodell über die Eichung entsprechender Konstanten reproduziert werden können). Die aus dem MZMV 2010 errechneten PW-Besetzungsgrade nach Fahrtzweck dienen zur Umrechnung der aus dem Nachfragemodell resultierenden Wege (Basis Personen) in die für das Umlegungsmodell relevanten Fahrten (Basis Fahrzeuge) und bilden somit ebenfalls eine zentrale Eingangsgrösse für das Modell.

Im vorliegenden Kapitel werden die bereits vorgenommenen Auswertungen des MZMV 2010 vorgestellt, welche dann im Laufe des Projekts zur Überprüfung der erstellten Modelle dienen werden. Die Grundlage für alle hier gezeigten Auswertungen sind die im MZMV 2010 berichteten im Inland (innerhalb der Schweiz) an Werktagen (Montag bis Freitag) zurückgelegten Wege (gewichtete Stichprobe: 163'313 Wege von 40'840 Zielpersonen).

2.1 Verkehrserzeugung

Als erster Baustein des Nachfragemodells wird das gesamte Verkehrsaufkommen der Zonen, unterteilt nach Verkehrserzeugung (Produktionsaufkommen oder Quellverkehrsaufkommen) und Verkehrsanziehung (Attraktionsaufkommen oder Ziel-Verkehrsaufkommen), ermittelt. Das Verkehrsaufkommen einer Zone ist vor allem von der Flächennutzung, den Strukturgrößen (wie z.B. Einwohnerzahlen, Arbeitsplätzen, Schülern, Verkaufsflächen, Freizeiteinrich-

tungen etc.), den soziodemographischen Merkmalen (z.B. Altersstruktur, PW-Besitz oder ÖV Abonnemente) und der Lagegunst bzw. Erschliessungsqualität der Zone abhängig. Dabei sind die räumlichen Strukturgrößen und die soziodemographischen Charakteristiken, die das Verkehrsverhalten beschreiben, die entscheidenden Merkmale. Bei einer entsprechenden Segmentierung der Strukturgrößen und des spezifischen Verkehrsaufkommens bzw. der Erzeugungsraten, lassen sich die räumlichen und die das Verkehrsverhalten beschreibenden Charakteristiken der Zone, durch die berechnete Verkehrserzeugung bzw. Verkehrsanziehung quantifizieren.

Die hier verwendete Methodik für die Verkehrserzeugung basiert auf dem EVA-Modell (Schnabel und Lohse, 1997), welches in der Software VISEVA implementiert ist. Mit diesem Software-Tool werden die ersten drei Modellstufen (Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung) berechnet. Dabei wird das reale Verkehrsverhalten von Menschen in Verkehrssystemen so realitätsnah wie möglich nachgebildet. Der Modellansatz gehört zu den disaggregierten, makroskopischen Gruppenverhaltens- und Verkehrsstrommodellen. Die Modellierung des Verkehrsgeschehens erfolgt separat für jede verhaltenshomogene Personengruppe sowie jeden Fahrtzweck. Die Abbildung des zu erwartenden mittleren Verkehrsgeschehens geschieht durch speziell abgeleitete und begründete mathematische Algorithmen sowie Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der Aktivitäten der verhaltenshomogenen Personengruppen mit ihren typischen Merkmalen.

Das Erzeugungsmodell wird in VISEVA über so genannte Primär- und Sekundärdatenbanken berechnet. Die Primärdatenbank beinhaltet Strukturgrößen und Attraktionsvariablen. Das spezifische Verkehrsaufkommen wird für die einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen separat gespeichert. Aus diesen Informationen wird die Sekundärdatenbank zur Berechnung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen erstellt. In diesem Projekt wird das Verkehrsaufkommen für einen durchschnittlichen Werktag (Montag bis Freitag) berechnet. Die Auswahl der betrachteten Strukturgrößen steht in engem Zusammenhang mit der Einteilung in Quelle-Ziel-Gruppen. Wesentlich ist eine Zerlegung der Menge aller Verkehrsteilnehmer in weitgehend elementare und homogene Schichten (Personengruppen bzw. Bezugspersonengruppen). Jeder Quelle-Ziel-Gruppe sind eine oder mehrere Personengruppen als „massgebende Bezugspersonengruppen“ zugeordnet.

Die folgenden Quelle-Ziel-Gruppen werden betrachtet:

- Wohnen – Arbeit (WA);
- Arbeit – Wohnen (AW);

- Arbeit – Sonstiges (AS);
- Sonstiges – Arbeit (SA);
- Wohnen – Bildung (WB);
- Bildung – Wohnen (BW);
- Wohnen – Nutzfahrt (WN);
- Nutzfahrt – Wohnen (NW);
- Nutzfahrt – Sonstiges (NS);
- Sonstiges – Nutzfahrt (SN);
- Wohnen – Einkaufen (WE);
- Einkaufen – Wohnen (EW);
- Einkauf – Sonstiges (ES);
- Sonstiges – Einkauf (SE);
- Wohnen – Freizeit/Sonstiges (WS);
- Freizeit/Sonstiges – Wohnen (SW);
- Sonstiges/Freizeit – Sonstiges/Freizeit (SS).

Die Verkehrsaufkommen werden für die einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen getrennt berechnet und erst für den Arbeitsschritt „Umlegung“ wieder zusammengefügt. Es wird zwischen drei Typen von Quelle-Ziel-Gruppen unterschieden:

- Typ 1: Beginn (Quelle) der Ortsveränderung am "Heimatstandort";
- Typ 2: Ende (Ziel) der Ortsveränderung am "Heimatstandort";
- Typ 3: Beginn und Ende der Ortsveränderung nicht am "Heimatstandort".

Der „Heimatstandort“ kann dabei die eigene Wohnung (1. Priorität) oder die eigene Arbeitsstätte (2. Priorität) sein.

Grundlage für die Einteilung der Quelle-Ziel-Gruppen 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 teilweiser Aggregation ergeben sich insgesamt 17 Quelle-Ziel-Gruppen, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Der Gruppen-Typ (siehe obige Aufzählung) jeder Quelle-Ziel-Gruppe ist in Klammern aufgeführt. Für jede Quelle-Ziel-Gruppe wurden entsprechende Strukturdaten und Erzeugungsraten definiert.

Tabelle 1 Definition der Quelle-Ziel-Gruppen (QZG)

	Ziel*	Wohnung	Arbeit	Ausbildung	Nutzfahrt	Einkauf	Freizeit
Start*		W	A	B	N	E	S
Wohnung	W		WA (1)	WB (1)	WN (1)	WE (1)	WS (1)
Arbeit	A	AW (2)		AS (1)	AS (1)	AS (1)	AS (1)
Ausbildung	B	BW (2)	SA (2)		SN (2)		
Nutzfahrt	N	NW (2)	SA (2)	NS (1)		NS (1)	NS (1)
Einkauf	E	EW (2)	SA (2)		SN (2)		ES (1)
Freizeit	S	SW (2)	SA (2)		SN (2)	SE (1)	SS (3)

* Start / Ziel bezieht sich auf den Ort bzw. die dort durchgeführte Aktivität

Jede Quelle-Ziel-Gruppe wurde also so definiert, dass sie einem Fahrtzweck zugeordnet werden kann. Die Zuordnung zu den Fahrtzwecken geschieht wie folgt:

- Arbeit: WA, AW, AS, SA;
- Ausbildung: WB, BW;
- Nutzfahrt: WN, NW, NS, SN;
- Einkauf: WE, EW, ES, SE;
- Freizeit, Sonstiges: WS, SW, SS.

Es ist zu beachten, dass die im MZMV 2010 vorkommenden „Begleit- und Servicewege“ hier dem Zweck „Nutzfahrt“ zugeordnet werden (ca. 6% aller Wege).

Durch die Bildung von Quelle-Ziel-Gruppen werden die wesentlichen Verkehrsnachfrage- bzw. Verkehrsmarktsegmente im Personenverkehr berücksichtigt. Sie können weiter differenziert werden und sind für Marktanalysen und -prognosen bzw. verkehrsplanerische Verkehrsnachfrageberechnungen unerlässlich.

Die Bestimmung der Verkehrsaufkommen Q_i und Z_j sowie der Verkehrsströme v_{ij} bzw. v_{ijk} zwischen den Quellen i und Zielen j mit dem Verkehrsmittel k ist stets getrennt nach den Marktsegmenten bzw. Quelle-Ziel-Gruppen durchzuführen, um systematische Fehler zu vermeiden. Durch die Quelle-Ziel-Gruppen-Einteilung wird der Personenverkehr in weitgehend elementare und homogene Teilmengen zerlegt, die folgende Merkmale enthalten:

- einen räumlich-funktionellen Bezug der Quellen und Ziele der Ortsveränderungen zur Flächennutzung;
- einen soziodemographischen Bezug zu wesentlichen Personengruppen;

- einen verkehrssoziologischen Bezug zum Verkehrsgeschehen (Mobilitätsanforderungen).

So ist für die Quelle-Ziel-Gruppen Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) allein die Bezugspersonengruppe „Erwerbstätige“ massgebend, während für die Quelle-Ziel-Gruppen Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) im Allgemeinen alle Personengruppen berücksichtigt werden können. Die Grössen aller massgebenden Personengruppen in den einzelnen Zonen bilden einen Teil der Strukturgrössen, welche für die Betrachtung einer bestimmten Quelle-Ziel-Gruppe wesentlich sind. Weitere massgebende Strukturgrössen werden durch die Aktivitäten an den Quellen oder Zielen festgelegt. Die Zuordnung der massgebenden Strukturgrössen zu den einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen ist in Tabelle 2 dargestellt. Massgebend sind diejenigen Strukturgrössen, welche die von Personen durchgeführten Ortsveränderungen verursachen. Somit sind die Strukturdaten für die nachfolgend erläuterte Berechnung der Erzeugungsraten von massgebender Bedeutung.

Die spezifischen Verkehrsaufkommen werden für jede Quelle-Ziel-Gruppe und jede massgebende Strukturgrösse berechnet. Sie sind definiert als die Anzahl an Ortsveränderungen pro Tag und Einheit der Strukturgrösse und werden berechnet aus der Anzahl an Wegen, die in einer Quelle-Ziel-Gruppe durch die Strukturgrössen verursacht werden, geteilt durch die Zahl der massgebenden Strukturgrössen der Quelle-Ziel-Gruppe.

Tabelle 2 Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) und massgebende Strukturgrössen

QZG	Quelle-Ziel-Gruppe	Strukturgrösse SQ_i der Quellverkehrszone Q_i	Strukturgrösse SZ_j der Zielverkehrszone Z_j
WA	Wohnen – Arbeit	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WB	Wohnen – Ausbildung	Einwohner	Ausbildungsplätze
WE	Wohnen – Einkauf	Einwohner nach Altersklasse	Verkaufsfläche
WN	Wohnen – Nutzfahrt	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WS	Wohnen – Sonstiges	Einwohner nach Altersklasse	Freizeitbesucher, Einwohner
AW	Arbeit – Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
BW	Ausbildung – Wohnen	Ausbildungsplätze	Einwohner
EW	Einkauf – Wohnen	Verkaufsfläche	Einwohner nach Altersklasse
NW	Nutzfahrt – Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
SW	Sonstiges – Wohnen	Freizeitbesucher, Einwohner	Einwohner nach Altersklasse
AS	Arbeit – Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher
SA	Sonstiges – Arbeit	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher	Arbeitsplätze
ES	Einkauf – Sonstiges	Verkaufsfläche	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher
SE	Sonstiges – Einkauf	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher	Verkaufsfläche
NS	Nutzfahrt – Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher
SN	Sonstiges – Nutzfahrt	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher	Arbeitsplätze
SS	Sonstiges – Sonstiges	Einwohner nach Altersklasse	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeitbesucher

Für das Quellaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 1 und 3 und das Zielaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 2 wird das spezifische Verkehrsaufkommen aus dem MZMV 2010 abgeleitet. Bei der Festlegung der Erzeugungsraten der Zielaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 1 und der Quellaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 2 wird im nächsten Schritt sichergestellt, dass die oben genannten Konsistenz- und Summenbedingungen eingehalten werden. Damit wird das gesamte Quellaufkommen des Untersuchungsgebiets in Abhängigkeit der Unterschiede in den Attraktionsvariablen zwischen den Zonen aufgeteilt.

Die resultierenden spezifischen Verkehrsaufkommen (Mittelwerte) sind, geordnet nach Quelle-Ziel-Gruppen, in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Spezifisches Verkehrsaufkommen nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)

QZG	Bezugspersonengruppe		Einwohner < 15 J.	Einwohner 16 – 25 J.	Einwohner 26 – 60 J.	Einwohner 61 – 80 J.	Einwohner > 80 J.
	Erwerbstätige	Einwohner					
WA / AW	0.69/0.57						
WB / BW		0.17/0.18					
WE / EW			0.14/0.16	0.19/0.23	0.31/0.39	0.61/0.59	0.70/0.69
WN / NW	0.23/0.22						
WS / SW			0.68/0.75	0.58/0.68	0.42/0.51	0.72/0.75	0.66/0.67
AS / SA	0.41/0.28						
ES / SE			0.04/0.08	0.06/0.11	0.07/0.14	0.12/0.23	0.12/0.21
NS / SN	0.17/0.07						
SS			0.13	0.21	0.11	0.15	0.09

Die spezifischen Verkehrsaufkommen besagen, dass gemäss MZMV 2010 durchschnittlich:

- 2.00 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 2.24 Ausbildungswege pro Auszubildendem und Werktag;
- 0.49 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 0.93 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag;
- 1.10 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag.

zurückgelegt werden. Insgesamt werden durchschnittlich 3.91 Wege pro Werktag und Einwohner durchgeführt.

Für die Festlegung der Erzeugungsraten bzw. Gewichtung der Attraktionsvariablen werden wegen fehlender Erhebungsdaten einerseits Erfahrungswerte (siehe FGSV, 2006) und andererseits der MZMV 2010 verwendet. Dafür wurde eine Auswertung der nicht wohnungsgebundenen Wege aus dem MZMV 2010 nach Fahrtzweck durchgeführt. Dabei wurde allen nicht wohnungsgebundenen Wegen ca. 21% den Fahrtzwecken Arbeit und Nutzfahrt, 22% dem Fahrtzweck Einkauf und die restlichen 57% dem Fahrtzweck Freizeit zugeordnet. Somit werden folgende Strukturgrössen des Zielverkehrsaufkommens und Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppen verwendet:

- Wohnen-Arbeit/Arbeit-Wohnen, Wohnen-Nutzfahrt/Nutzfahrt-Wohnen: *Arbeitsplätze x 1.0*;
- Wohnen-Ausbildung/Ausbildung-Wohnen: *Ausbildungsplätze x 1.0*;
- Wohnen-Einkauf/Einkauf-Wohnen: *Verkaufsflächen x 1.0*;
- Wohnen-Sonstiges/Sonstiges-Wohnen: *Einwohner x 1.0, Freizeitbesucher x 1.0*;

- Arbeit-Sonstiges/Sonstiges-Arbeit, Nutzfahrt-Sonstiges/Sonstiges-Nutzfahrt, Einkauf-Sonstiges/Sonstiges-Einkauf und Sonstiges-Sonstiges: *Einwohner $\times 0.85$, Arbeitsplätze $\times 1.05$, Verkaufsflächen $\times 0.15$ und Freizeitbesucher $\times 0.85$.*

Zusätzlich wird sowohl beim spezifischen Verkehrsaufkommen als auch bei den Erzeugungs-raten eine Differenzierung nach zwei Zonentypen. Als Zonentyp 2 werden die 10 grössten Schweizer Städte definiert. Die Mobilitätsraten des Zonentyps 2 werden mit einem Faktor erhöht und jene des Zonentyps 1 dementsprechend reduziert, so dass das aus dem MZMV 2010 abgeleitete spezifische Verkehrsaufkommen pro Strukturgrösse auch im Verkehrsmodell beibehalten wird. Damit wird die notwendige Konsistenz zwischen den Quell- und Zielverkehrsaufkommen erreicht.

2.2 Fahrtzweckanteile

Für die Arbeiten am NPVM werden die 11 im MZMV 2010 ausgewiesenen Fahrtzwecke auf 5 Fahrtzwecke aggregiert: Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt und Freizeit. Der Zuordnungsschlüssel zwischen den Zwecken aus dem MZMV 2010 und dem NPVM ist aus Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4 Zuordnung Fahrtzwecke MZMV 2010 – NPVM

Fahrtzweck NPVM	Fahrtzwecke MZMV 2010
Arbeit	Arbeiten
Ausbildung	Ausbildung, Schule
Einkauf	Einkaufen
	Besorgungen und Inanspruchnahme von Dienstleistungen
Nutzfahrt	Geschäftliche Tätigkeit
	Dienstfahrt
	Begleitweg (nur Kinder)
	Begleitweg/Serviceweg (Andere, z.B. Behinderte)
Freizeit	Freizeitaktivität
	Anderes

Tabelle 5 zeigt die Anteile, die jeder der 5 abgebildeten Fahrtzwecke am Gesamtverkehrsaufkommen der 4 Verkehrsmittel LV (Langsamverkehr – zu Fuss und Velo), MIV und ÖV aufweist. Bei den LV-Wegen dominieren die Zwecke Einkauf und Freizeit, während bei allen anderen Verkehrsmitteln ca. ein Drittel aller Fahrten Arbeitswege sind. Insgesamt sind knapp ein Drittel aller Wege Freizeit- und je ein Viertel Arbeits- und Einkaufswege. Ausbildungswege und Nutzfahrten (inkl. Service- und Begleitwege) machen je weniger als 10% aller Wege aus.

Tabelle 5 Fahrtzweckanteile nach Verkehrsmittel [%]

Fahrtzweck	Verkehrsmittel			
	LV	MIV	ÖV	Alle
Arbeit	16.7	30.1	33.3	25.3
Ausbildung	13.5	2.4	17.2	8.7
Einkauf	26.3	23.8	19.2	24.2
Nutzfahrt	4.6	14.1	3.8	9.0
Freizeit	38.9	29.6	26.4	32.8
Alle	100.0	100.0	100.0	100.0

2.3 Reiseweiten

Ein zentrales Kriterium für die Qualität eines Nachfragemodells ist dessen Fähigkeit, realitätsnahe Reiseweitenverteilungen für alle abgebildeten Fahrtzwecke und Verkehrsmittel wiederzugeben. Die Eichung des Nachfragemodells auf die Distanzverteilungen aus dem MZMV 2010 ist dann auch ein wichtiger und arbeitsintensiver Schritt bei der Kalibrierung des Modells.

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der mittleren Weglängen nach Zweck und Verkehrsmittel.

Tabelle 6 Mittlere Distanzen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel [km]

Fahrtzweck	Verkehrsmittel			
	LV	MIV	ÖV	Alle
Arbeit	2.8	14.3	20.9	11.4
Ausbildung	3.0	17.0	18.4	7.8
Einkauf	2.3	11.3	13.5	6.6
Nutzfahrt	2.6	16.6	40.8	11.6
Freizeit	2.8	16.5	24.5	10.7
Alle	2.7	14.7	21.1	9.8

Die folgenden Abbildungen zeigen die Distanzverteilungen für die fünf im Modell abgebildeten Fahrtzwecke; Grundlage sind die auf dem NPVM-Netz gerouteten Distanzen der in der Schweiz an Werktagen zurückgelegten Wege aus dem MZMV 2010:

- Abbildung 1 für Arbeitswege;

- Abbildung 2 für Ausbildungswege;
- Abbildung 3 für Einkaufswege;
- Abbildung 4 für Nutzfahrtwege;
- Abbildung 5 für Freizeitwege.

Hier ist die unterschiedliche Struktur der einzelnen Fahrtzwecke und insbesondere der verschiedenen Verkehrsmittel sehr gut zu erkennen. Bei allen Fahrtzwecken sind die Fusswege erwartungsgemäss am kürzesten, und die ÖV-Wege am längsten. Letzteres ist insbesondere bei den Nutzfahrten sehr eindrücklich, wo MIV- und ÖV-Wege sehr unterschiedliche Strukturen aufweisen, welche im Modell entsprechend berücksichtigt werden müssen.

Abbildung 1 Distanzverteilungen für den Fahrtzweck Arbeit

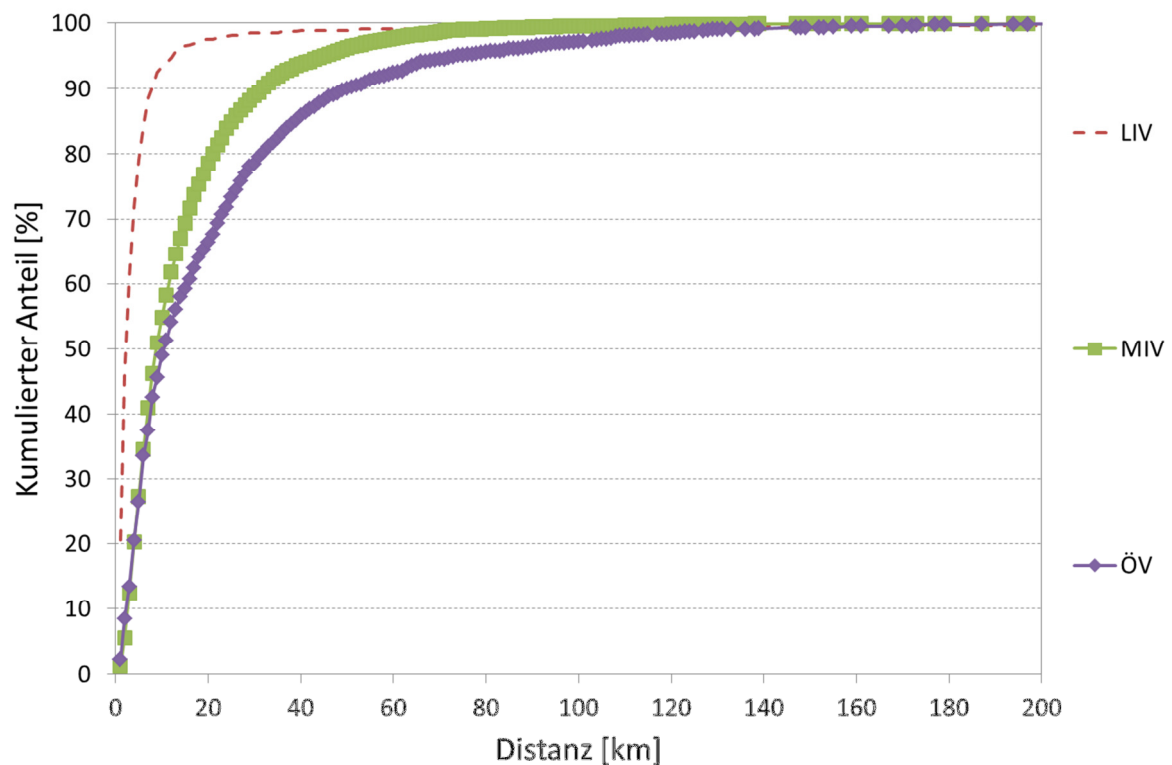


Abbildung 2 Distanzverteilungen für den Fahrtzweck Ausbildung

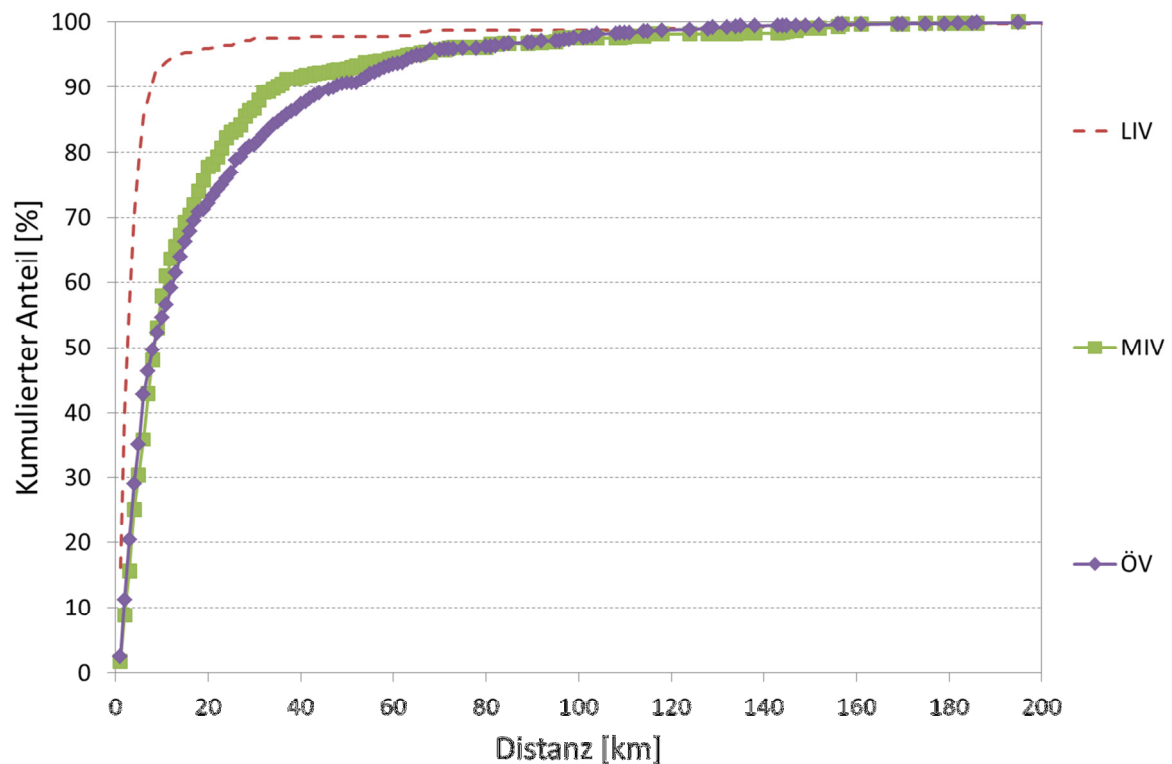


Abbildung 3 Distanzverteilungen für den Fahrtzweck Einkauf

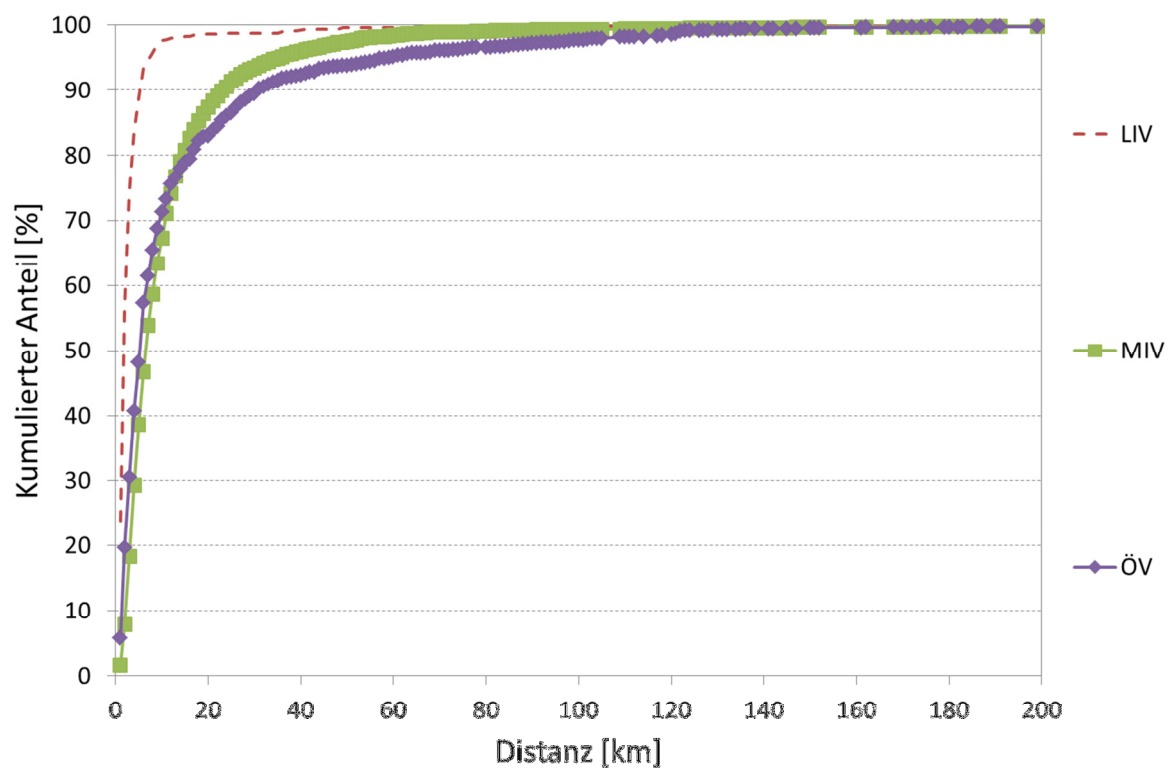


Abbildung 4 Distanzverteilungen für den Fahrtzweck Nutzfahrt

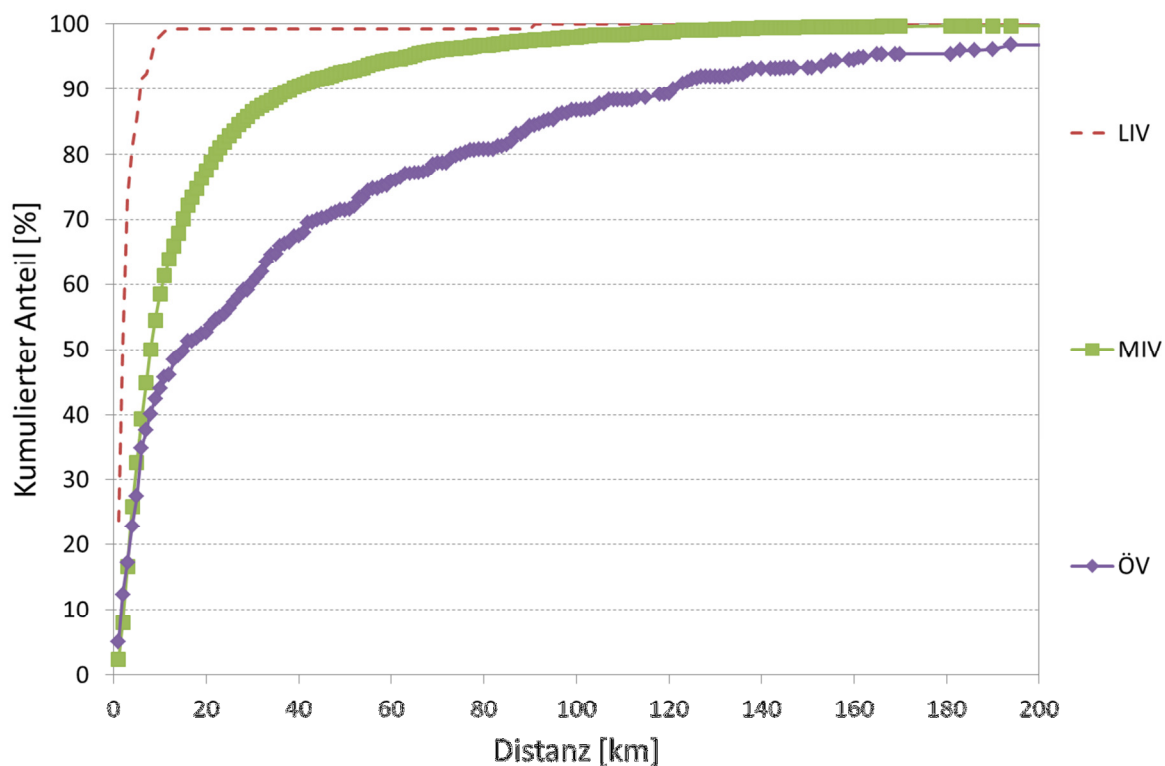
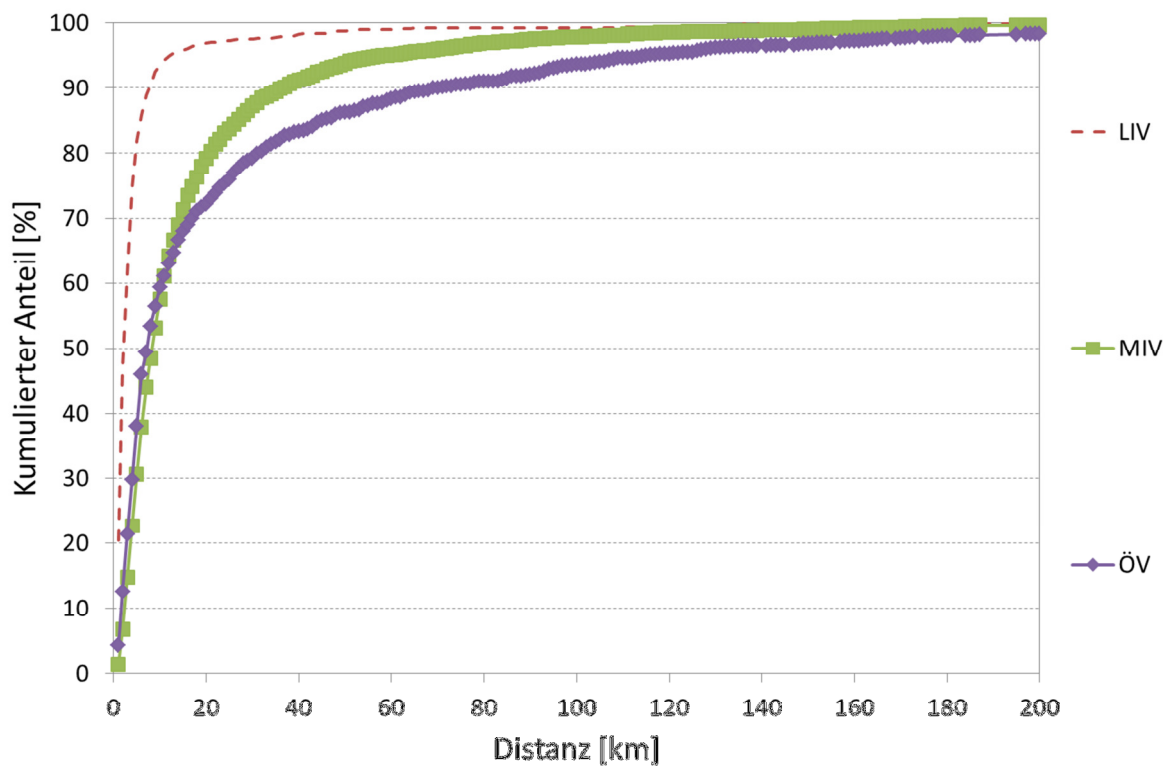


Abbildung 5 Distanzverteilungen für den Fahrtzweck Freizeit



2.4 Modal Split

Eine weitere wichtige Zielgrösse bei der Kalibrierung eines Nachfragemodells ist der Anteil, welchen jedes Verkehrsmittel von der Gesamtmenge an Wegen für jeden Fahrtzweck, bzw. jede Quelle-Ziel-Gruppe, aufnimmt. Auch hier dienen wieder die Daten des MZMV 2010 als Vergleichsgrösse, deren möglichst genaue Abbildung bei der Erstellung des Modells angestrebt wird. Folgende Tabellen zeigen die Auswertungen:

- Tabelle 7 nach Fahrtzweck für alle Wege;
- Tabelle 8 nach Fahrtzweck nur für interzonale Wege;
- Tabelle 9 nach Quelle-Ziel-Gruppe für alle Wege;
- Tabelle 10 nach Quelle-Ziel-Gruppe nur für interzonale Wege.

Tabelle 7 Modal Split nach Fahrtzweck – alle Wege [%]

Verkehrsmittel			
Fahrtzweck	LV	MIV	ÖV
Arbeit	25.4	56.8	17.8
Ausbildung	58.2	13.3	28.5
Einkauf	41.5	48.3	10.2
Nutzfahrt	18.7	75.3	6.0
Freizeit	38.6	49.7	11.8
Alle	35.5	50.3	14.2

Tabelle 8 Modal Split nach Fahrtzweck – nur interzonale Wege [%]

Verkehrsmittel			
Fahrtzweck	LV	MIV	ÖV
Arbeit	9.7	66.0	24.3
Ausbildung	19.8	22.6	57.6
Einkauf	12.6	69.8	17.6
Nutzfahrt	4.2	86.8	9.0
Freizeit	12.1	68.4	19.4
Alle	11.1	66.6	22.3

Tabelle 9 Modal Split nach Quelle-Ziel-Gruppe – alle Wege [%]

QZG	Verkehrsmittel		
	LV	MIV	ÖV
WA	22.0	57.2	20.8
AW	23.7	57.2	19.1
AS	35.6	51.9	12.5
SA	44.4	47.1	8.5
WB	58.1	13.2	28.7
BW	62.0	11.7	26.4
WN	21.5	72.9	5.6
NW	20.5	74.7	4.8
NS	20.9	73.2	5.9
SN	19.1	75.3	5.5
WE	40.4	49.4	10.2
EW	38.7	51.2	10.2
ES	51.4	39.5	9.0
SE	48.6	41.4	10.1
WS	36.3	51.3	12.4
SW	34.2	53.7	12.1
SS	76.1	16.9	7.0
Alle	38.4	48.0	13.6

Tabelle 10 Modal Split nach Quelle-Ziel-Gruppe – nur interzonale Wege [%]

QZG	Verkehrsmittel		
	LV	MIV	ÖV
WA	9.5	64.1	26.4
AW	10.2	65.0	24.8
AS	12.4	67.8	19.7
SA	15.6	69.4	15.0
WB	22.1	21.1	56.8
BW	22.5	21.6	55.9
WN	5.3	85.6	9.1
NW	6.2	86.6	7.2
NS	6.0	86.1	7.9
SN	6.5	85.7	7.8
WE	12.9	70.0	17.1
EW	12.8	70.5	16.7
ES	15.2	66.1	18.8
SE	14.6	64.7	20.7
WS	12.8	67.7	19.5
SW	12.8	68.7	18.5
SS	17.5	56.2	26.3
Alle	12.2	65.7	22.1

2.5 Intra- vs. interzonaler Verkehr

Im Nachfragemodell wird unterschieden zwischen intrazonalem (Ströme mit Quelle und Ziel in derselben Zone, welche zwar im Nachfragemodell berechnet werden, im Umlegungsmodell aber keine Netzbelastungen bewirken) und interzonalem Verkehr (welcher von einer Zone in eine andere fließt und somit das Netz beansprucht). Tabelle 11 zeigt die Anteile der Wege im MZMV 2010, welche nicht innerhalb einer Zone stattfinden, unterteilt nach Verkehrsmittel und Fahrtzweck. Für diese Auswertung wurden den Start- und Zielorten der im MZMV 2010 erhobenen Wege jeweils die entsprechenden Zonen aus dem NPVM zugeordnet. Dies war nicht überall möglich, da die Orte im MZMV 2010 teils falsch geokodiert sind; diese Fälle wurden für die Auswertung aus der Stichprobe entfernt.

Insgesamt sind 17% der LV-Wege, 73% der MIV-Wege und 86% der ÖV-Wege interzonal.

Tabelle 11 Anteil interzonaler Verkehr nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel [%]

Fahrtzweck	Verkehrsmittel		
	LV	MIV	ÖV
Arbeit	26.3	79.6	93.1
Ausbildung	13.7	68.2	80.9
Einkauf	14.0	66.2	79.1
Nutzfahrt	13.9	71.1	92.2
Freizeit	16.7	73.0	87.4
Alle	17.3	73.2	87.0

Tabelle 12 zeigt die analoge Auswertung nach Verkehrsmittel und Quelle-Ziel-Gruppe.

Tabelle 12 Anteil interzonaler Verkehr nach Quelle-Ziel-Gruppe und Verkehrsmittel [%]

QZG	Verkehrsmittel		
	LV	MIV	ÖV
WA	32.2	83.2	94.3
AW	31.0	82.2	94.4
AS	19.5	73.3	88.2
SA	16.9	71.0	84.5
WB	15.5	65.3	80.4
BW	13.8	70.5	80.7
WN	14.2	68.3	93.7
NW	18.1	69.2	90.3
NS	17.6	72.1	82.1
SN	21.1	71.1	88.7
WE	15.2	67.2	79.7
EW	15.7	65.1	77.7
ES	11.5	65.3	81.2
SE	11.4	59.4	78.2
WS	19.9	74.8	89.3
SW	22.0	75.5	90.0
SS	4.0	57.7	65.4
Alle	16.9	72.9	86.3

2.6 Besetzungsgrade

Die aus dem MZMV 2010 resultierenden PW-Besetzungsgrade (bezogen auf das Verkehrsaufkommen) sind aus Tabelle 13 ersichtlich. Diese werden bei der Umrechnung der aus dem Nachfragemodell resultierenden und nach Fahrtzweck aggregierten Wegematrizen auf die vom Umlegungsmodell benötigten PW-Fahrtenmatrizen verwendet. Die Wegematrizen werden dabei durch die in der Tabelle gezeigten Faktoren geteilt. Anschliessend wird die Gesamtfahrtenmatrix aus der Summe der fünf fahrtzweckspezifischen Matrizen berechnet.

Tabelle 13 PW-Besetzungsgrade [Personen/PW]

Fahrtzweck	Besetzungsgrad
Arbeit	1.12
Ausbildung	1.26
Einkauf	1.41
Nutzfahrt	1.62
Freizeit	1.54
Alle	1.38

3 Erstellung des Verkehrsangebots

3.1 MIV-Netz

Das MIV-Netz für den aktuellen Modellzustand wird auf Grundlage des Netzmodells aufgebaut, welches im Rahmen der DTV-Kalibration 2011 (ARE, 2012) erstellt wurde. In diesem Netz wurden zusätzlich mehrere Korrekturen vorgenommen, welche im Rahmen von Modelanwendungen erfasst wurden bzw. zur Abbildung des realen Zustands notwendig sind:

- Einbau fehlender Autobahnanschlüsse (Tabelle 14);
- Korrekturen von Ein- und Ausfahrten sowie Wendevorgänge an Halbanschlüssen (Tabelle 15);
- Korrekturen einiger Autobahnanschlüsse in und um die Stadt Basel;
- Korrekturen von Kapazitäten einzelner Strecken (zur Berücksichtigung von Spurausbauten etc.);
- Einbau zusätzlicher Anbindungen in grossen und mittleren Städten (Zürich, Bern, Basel, Genf, Olten, Solothurn, St. Gallen, Lausanne);
- Überprüfung und Korrektur der Linienführung der Strecken zwischen Ascona und Locarno;
- Attributierung des Vereinatunnels zur korrekten Abbildung der Nachfrageverhältnisse zwischen Autoverlad und Passstrasse (die Geschwindigkeit im Vereinatunnel beträgt neu 60 km/h, was der korrekten Fahrtzeit von 18 Minuten entspricht);
- Überprüfung und Korrektur der Linienführung der A7 in Richtung Konstanz;
- weitere kleinere Korrekturen.

Da das Grundlagennetz den Zustand 2011 abbildet, müssen zudem alle Streckenabschnitte, welche im Jahr 2011 eröffnet wurden, im Netz für den hier angestrebten Zustand 2010 wieder gesperrt werden.

Bei der Netzüberarbeitung wurden teilweise auch Streckenabschnitte eingebaut, welche erst in Zukunft eröffnet werden. Diese sind im Netz mit dem benutzerdefinierten Attribut „NUR_PROGNOSE“ versehen und im Ist-Zustand noch gesperrt. Dieses Vorgehen vereinfacht die Arbeitsschritte bei der späteren Erstellung des Prognosenetzes.

Analog zur Erstellung des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Bern (GVM BE) wurden die Modellgeschwindigkeiten (auf freier Strecke gefahrene Geschwindigkeiten im Netzmodell) der Schwerverkehrsklassen (Lastwagen sowie Last- und Sattelzüge) auf Autobahnen wie folgt angepasst:

- 90 km/h dort, wo für PW 120 km/h gilt;
- 80 km/h dort, wo für PW 100 km/h gilt;
- 60 km/h dort, wo für PW 80 km/h gilt.

Dies soll zu einer realistischeren Abbildung der Vorbelastungen im MIV-Netz führen, da der Schwerverkehr auf Autobahnen und –strassen erfahrungsgemäss langsamer fährt als PWs.

Für das MIV-Umlegungsmodell wurden zudem verschiedene Anpassungen der Verfahrenseinstellungen vorgenommen. Es werden künftig dieselben Einstellungen verwendet, welche sich bei der Aktualisierung des GVM BE bewährt haben. So werden für die CR-Funktionen neu die Formeln nach Lohse (anstatt wie bisher nach BPR) verwendet, und die Widerstandsfunktionen wurden leicht angepasst. Die Lohse-Formel erlaubt eine flexiblere Gestaltung des Funktionsverlaufs für Kapazitätsauslastungen von über 100%. Unter diesem Grenzwert sind die Verläufe der BPR- und der Lohse-Funktion identisch.

Tabelle 14 Liste der eingebauten Anschlüsse

Anschluss	Netzzustand
Bellinzona Centro (Halbanschluss)	Prognose
Wil West (Vollanschluss)	Prognose
Ecublens (Vollanschluss)	Prognose
Chavannes (Vollanschluss)	Prognose
Malley (Halbanschluss)	Prognose
Rothenburg (Vollanschluss)	Ist und Prognose
Altdorf Süd (Halbanschluss)	Prognose
Wangen Ost (Vollanschluss)	Prognose
Pfyn (Halbanschluss)	Prognose
Alpnach Süd (Vollanschluss)	Prognose
Spreitenbach (Halbanschluss)	Ist und Prognose
Uitikon (Halbanschluss)	Ist und Prognose
Grono Nord (Halbanschluss)	Prognose
Buchrain (Vollanschluss)	Prognose

Tabelle 15 Liste der korrigierten Halbanschlüsse

Autobahn	Anschluss
A1/6	Genève-Aéroport
A1/8	Versoix
A1/16	Morges-Est
A1/29	Murten
A1/31	Mühleberg
A1/33	Bern-Bethlehem
A1/37	Bern-Wankdorf
A1/60	Weiningen
A1/74	Attikon
A1.1/1	Arbon-West
A1L/4	Zürich-Aubugg
A2/2	Basel-Bad. Bahnhof
A2/3	Basel-Wettstein
A2/13	Eptingen
A2/26	Luzern-Zentrum
A2/29	Hergiswil
A2/31	Stansstad
A3/3	Basel-St. Johann
A3/18	Effingen
A3/39	Schindellegi
A3/48	Walenstadt
A4/2	Schaffhausen-Schweizersbild
A4/6	Flurlingen
A4/37	Arth
A5/15	St-Blaise
A5/23	Seevorstadt
A5/32	Solothurn-Süd
A6/4	Studen
A6/7	Schüpfen
A7/2	Attikon
A8/20	Faulensee
A8/27	Bönigen
A8/37	Alpnach-Süd
A8/38	Hergiswil
A9/2	Les Clées
A9/11	Belmont
A9/19	Bex
A13/19	Bonaduz
A13/23	Viamala
A13/24	Zillis
A13/25	Andeer
A13/31	Hinterrhein
A16/18	Sonceboz
A16/20	Péry
A51/5	Kloten-Süd
A51/6	Flughafen
A51/7	Werft
A51/9	Opfikon
A52/3	Forch

3.2 ÖV-Netz

In einem ersten Schritt wurde der HAFAS-Fahrplan in das bestehende ÖV-Netz eingepflegt und validiert. Dies stellt eine Weiterentwicklung des ÖV-Netzes aus dem Projekt DTV 2011 (ARE, 2012) dar. Im Laufe des Projekts wurde festgestellt, dass der SBB Systemfahrplan für den Schienenverkehr einige Vorteile gegenüber den Zugsdefinitionen in Hafas hat, wie z.B. bessere Vergleichbarkeit zu Prognosefahrplänen, sinnvollere Liniendefinitionen, etc. Daher wurde in einem zweiten Schritt der Systemfahrplan 2010 eingebaut, der schlussendlich für die Modellerstellung verwendet wurde.

3.2.1 Integration des Hafas-Fahrplans

Folgende Eckdaten aus dem Projekt DTV 2011 (ARE, 2012) werden hier kurz wiedergegeben:

- 1) Aus den nationalen Hafas-Daten für Dienstag, den 24. April 2012 wurde das Angebot ohne Nachtzüge und Nachtbusse in Visum importiert und zu folgenden Verkehrssystemen aggregiert:
 - Bus;
 - Regionalverkehr (RE, R);
 - Fernverkehr (IC, ICN, ICE, IR, EC, D);
 - S-Bahn;
 - Schiff;
 - Seilbahn;
 - Tram.
- 2) Aus der so erstellten Visum-Datei wurden alle in der Schweiz verkehrenden bzw. in, aus oder durch die Schweiz führenden Linien extrahiert und ins NPVM-ÖV-Netz 2005 eingelesen.
- 3) Das Routing der ÖV-Passagiere im Ausland (z.B. Neapel-Salerno) erfolgt mit dem Angebot 2005, aber der Zulauf zur bzw. durch die Schweiz verläuft mit dem Fahrplan 2012.
- 4) Ein nationaler Hafas-Zustand für ein bestimmtes Jahr ist nie konsistent zu einem Zustand aus einem anderen Jahr. Daher wurden in den Gebieten, wo Buslinien gegenüber 2008 fehlten die entsprechenden Linien aus dem Jahr 2010 oder früher implementiert. Dies betrifft zum Beispiel: Stadt Genf, Limmattal etc. Diese Linien sind mit einem Zusatz (10)

am Anfang des Liniennamens gekennzeichnet. Linien aus dem Zustand 2008 haben keinen Zusatz. Um alle relevanten Linien für das Netz 2010 bzw. den Fahrplan 11/12 zu erhalten, muss ein Linienfilter für das Attribut ZWert2 zwischen 2002 und 2012 gesetzt werden.

Im vorliegenden Projekt wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- 1) Das BAV hat eine Haltestellen-Datenbank mit Datenstand Dezember 2012 (Dateiname: HST201212V25) erstellt, worin ein Grossteil der Haltestellen koordinativ erfasst ist. Dieser Datensatz wurde verwendet um die Haltestellen-Koordinaten im ÖV-Netz zu ersetzen und gleichzeitig die Höhen zuzuspielen. Insgesamt konnten 20'118 Haltestellen mit den Koordinaten und Höhen aus der BAV-Datenbank versehen werden. Mit dem Knotenfilter „HOEHE > 0“ in Visum können diese dargestellt werden.
- 2) Aufgrund der geänderten Haltestellenkoordinaten ergeben sich neue sinnvolle Umsteigefusswege zwischen Haltestellen. Daher wurden rund 200 zusätzliche Fusswege ins Netz eingefügt.
- 3) Um die Veränderungen durch die Neuberechnung der Zonenschwerpunkte (Kapitel 4.5) und den geänderten Haltestellenkoordinaten realistisch abzubilden, mussten zusätzlich alle Schweizer Zonenanbindungen visuell überprüft und gegebenenfalls ergänzt werden. Zusätzlich sind in den Hafas-Daten 2011/12 substantiell mehr Bushaltestellen enthalten, womit sich in vielen kleinen Gemeinden bessere Anbindungsmöglichkeiten ergeben.
- 4) Durch die zusätzlichen Bushaltestellen wurden beim Routen der Buslinien neue Strecken generiert. Um diese von den bestehenden Busstrecken (Streckentyp 31) zu unterscheiden, wurde für diese automatisch generierten Strecken ein neuer Typ (89) verwendet.
- 5) Im nationalen Hafas-Datensatz gibt es im Gegensatz zum Tür zu Tür-Hafas-Fahrplan keine Liniendefinitionen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurde für alle Verkehrssysteme mit Ausnahme der Busse eine händische Aggregation durchgeführt. Bei den Bussen musste aufgrund der grossen Anzahl von Linien eine automatische Aggregation erfolgen. Bei der händischen Aggregation konnte durch die Vergabe von Liniennamen die Übersichtlichkeit stark verbessert werden, da auf dem ersten Blick das Fahrplanjahr, Verkehrssystem, Anfangs- und Endhaltestelle bzw. Streckenname ersichtlich sind. Nachfolgende einige Beispiele.

- 12_SB-BE_S4.15494.000011: Fahrplan 2011/12, S-Bahn Bern, Linie S4, originale Hafas-Nummer der häufigsten Linie, Hafas Betreiber Code;
 - 12_R_Yverdon-Neuenburg.4703.000011: Fahrplan 2011/12, Regionalzug von Yverdon nach Neuenburg, originale Hafas-Nummer der häufigsten Linie, Hafas Betreiber Code;
 - 12_IR_Luzern-Zürich.2304.000011: Fahrplan 2011/12, Interregio-Zug von Yverdon nach Neuenburg, originale Hafas-Nummer der häufigsten Linie, Hafas Betreiber Code;
 - 12_Schiff Zürisee_BAT.1008.000194: Fahrplan 2011/12, Schiff am Zürisee, originales Hafas-Verkehrssystem (zur Unterscheidung zwischen Fähre, Passagierschiff und dampfbetriebenes Passagierschiff), originale Hafas-Nummer der häufigsten Linie, Hafas Betreiber Code;
 - 12_Seilbahn.Meiringen-Hasliberg MHB.10.000307: Fahrplan 2011/12, Seilbahn Meiringen-Hasliberg, originale Hafas-Nummer der häufigsten Linie, Hafas Betreiber Code;
 - Bei den Bussen wurde der Name automatisch von Visum generiert und setzt sich zusammen aus: Fahrplan 2011/12, originale Hafas-Nummer der häufigsten Linie, Hafas Betreiber Code. Z.B. 12BUS.79108.800858.
- 6) In den Hafas-Daten sind auch die sogenannten Durchbindungen modelliert. Insbesondere Flügelzugskonzepte werden in den HAFAS mit Durchbindungen abgebildet. Leider verfügt Visum nicht über die Möglichkeit Durchbindungen zu modellieren. Eine händische Korrektur der HAFAS-Daten in Visum, sodass Flügelungen korrekt modelliert werden, ist bei einem grösseren Netz mit viel Aufwand verbunden. In den durch die SBB zur Verfügung gestellten Systemfahrplänen aller Horizonte (auch in den Prognosezuständen) werden Flügelungen nicht mit Durchbindungen modelliert, weshalb in den Systemfahrplänen die Flügelzugskonzepte korrekt modelliert werden.
- 7) Zur Fehlersuche wurden verschiedene Validierungsschritte wie die Analyse und Vergleiche von Kenngrössenmatrizen, Streckenbelastungen, aggregierte Kenngrössen nach Zonen und Umsteigevorgänge zum ÖV-Netz 2005 durchgeführt.
- 8) Das ÖV-Netz 2010 wurde unter Beibehaltung des Systemfahrplans 2007 der SBB aufgebaut, womit eine Kompatibilität zu SBB-Prognosefahrplänen (z.B. STEP) sichergestellt wurde.

3.2.2 Integration des Systemfahrplans 2010 der SBB

Bei der Integration des Systemfahrplans wurde wie folgt verfahren:

- 1) Export der Linien aus der von der SBB zur Verfügung gestellten Visum-Version („01-VisumDB_NSVM10Serw_DTV_SBB.ver“);
- 2) Transformation der verschiedenen Visum-Fahrplanelement von der Kodierung SBB-Netz zur Kodierung NPVM-Netz (DIDOK-Nummern Systematik);
- 3) Einlesen und Routen der Linien im NPVM-Netz;
- 4) Routing: Kontrolle und händische Anpassung der neuen Systemfahrplan-Linien im NPVM-Netz;
- 5) Plausibilisierung Netzbelastungen, dabei die Züge im Hafas-Fahrplan 2012, welche durch Systemfahrplanlinien ersetzt wurden, inaktiv setzt. Die anderen Verkehrssysteme, wie z.B. Bus oder Tram, werden beibehalten;
- 6) Berechnung und Vergleich der Kenngrößen.

3.2.3 Vorschlag für zukünftig durchzuführende Arbeiten

Folgende Arbeiten sollten in einem zukünftigen Projekt vorgenommen werden, um die Qualität und Anwendungsmöglichkeiten des NPVM ÖV-Modells zu erhöhen:

- Neuaufbau des ausländischen Netzteils und vollkommene Übernahme des ausländischen Fahrplans;
- Digitalisierung des Streckennetzes;
- Angaben zu den Passagierkapazitäten je Kurs im SBB-Systemfahrplan; und

Einbau der Tarifkilometer am Schweizer Schienennetz.

4 Strukturdaten

Im Rahmen der Aktualisierung des NPVM auf den Stand 2010 werden grundsätzlich die Variablen (Strukturgrößen) des bestehenden Modells aktualisiert. Um eine hohe Qualität bei der Erstellung der Quell-Ziel Matrizen zu erhalten, werden die Strukturdaten zusätzlich mit den Anziehungseffekten von Gastronomiebetrieben und Krankenhäuser sowie der Anzahl Flughafenpassagiere ergänzt.

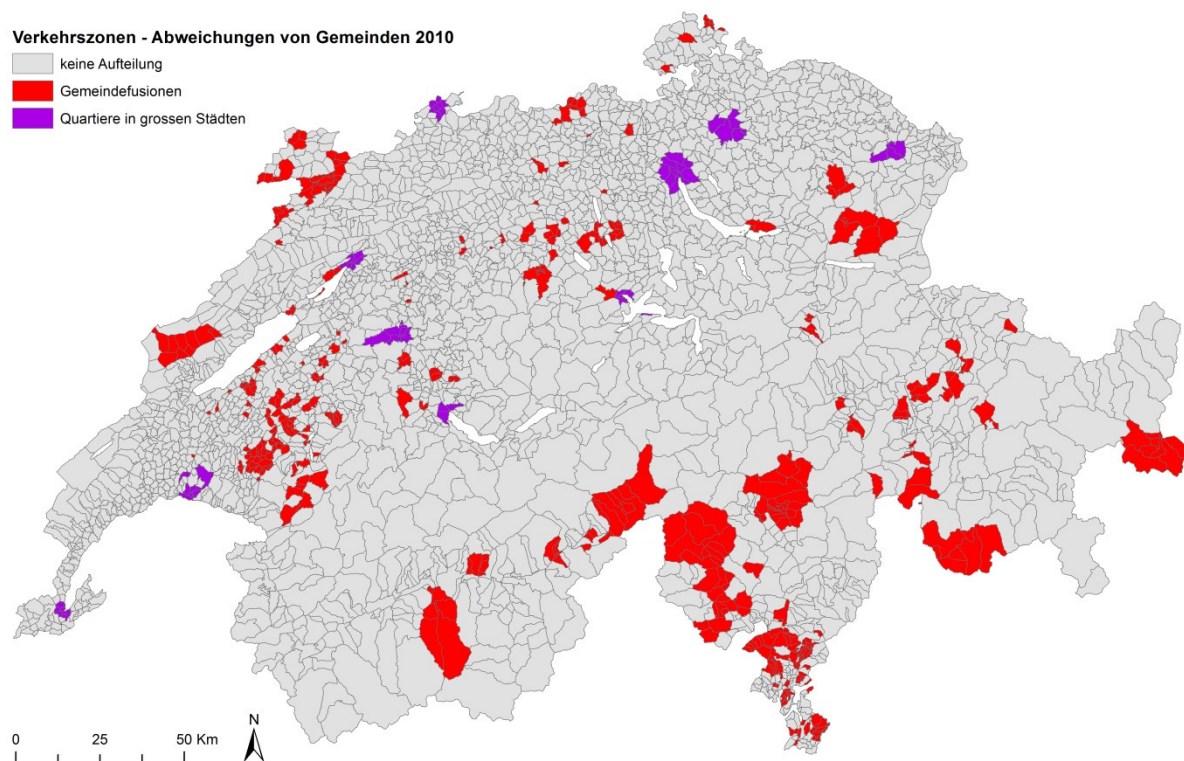
Im Folgenden wird die Aufbereitung der nachstehenden Strukturdaten sowie die Berechnung der Zonenschwerpunkte beschrieben:

- Einwohner;
- Beschäftigte;
- Erwerbstätige;
- Auszubildende;
- Verkaufsflächen;
- Freizeit- und Kultureinrichtungen;
- ÖV-Abonnemente;
- Personenwagenbesitz.

Anhang 1 und 2 zeigen die Abhängigkeiten der einzelnen Variablen und Datensätze auf.

Ein wichtiges Thema bei der Aufbereitung der Strukturdaten stellt die Änderung der Gemeindestände dar. Während des Zeitraums zwischen Ende 2000 (Gebietsstand der Verkehrszonen) und Ende 2010 (Gebietsstand der Daten) haben sich 369 der Gemeindenummern geändert. Weiter muss berücksichtigt werden, dass die Gemeinden der grossen Städte in kleinere Verkehrszonen aufgeteilt sind. Abbildung 6 zeigt, welche Verkehrszonen nicht einer Gemeinde mit Stand Ende 2010 entsprechen.

Abbildung 6 Abweichungen der Verkehrszonen von den Gemeinden 2010



4.1 Einwohner und Beschäftigte

4.1.1 Einwohner

Basisdaten:

- STATPOP 2010
(Hektarraster; STATPOP_2010_Hektaren.csv, BFS);
- STAT-TAB 2010
(Gemeinde; EW_nachAltersklassen_v03.xlsx\5JahresKlassenSTATAB\$, BFS);
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen; Verkehrszonen_Schweiz.shp; BFS);
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen
(Schlüssel_v06.csv; Grundlage BFS).

Aufbereitung:

Um die Zuordnung der Hektarraster-Punkte zu den Verkehrszonen, vor allem in den Randbereichen, nicht in einer Richtung zu bevorzugen, werden die Punkte aus der unteren linken Ecke in die Mitte der Hektare verschoben. Um anschliessend den Hektar-Punkten eine Verkehrszone zuordnen zu können, werden die Punkte mit den Geometrien der Verkehrszonen verschnitten. Dabei wird zunächst jedem Punkt der in eine Verkehrszone fällt, die Identifikationsnummer (ID) der Verkehrszonen zugewiesen. Um die Mittelpunkte von Hektaren die in Seen oder ausserhalb der Landesgrenze liegen zuordnen zu können, wird diesen Punkten die nächstgelegene Verkehrszone innerhalb von 71 m zugewiesen. Dieser Wert entspricht dem gerundeten Wert der Diagonalen vom Mittelpunkt zu einer beliebigen Ecke. Um die Gesamtheit der Wohnbevölkerung zu erhalten, wird für jede 5-Jahres-Altersklasse die ständige und die nicht ständige Bevölkerung addiert (Abbildung 7).

Grundlage für die Verwendung im Modell bilden die Einwohner nach zivilrechtlichem Wohnsitz. Der für die Verkehrsmodellierung geeignete Ansatz der Einwohner nach wirtschaftlichem Wohnsitz wird seit der Volkszählung 2010 nicht mehr erhoben. Da entsprechend davon auszugehen ist, dass auch in Zukunft nur noch der zivilrechtliche Wohnsitz erhoben wird, wird die Summe der ständigen und nicht-ständigen Bevölkerung als beste Annäherung an die wirtschaftliche Bevölkerung den weiteren Ausführungen zugrunde gelegt.

In einem weiteren Schritt werden die Einwohner nach 5-Jahres-Altersklassen pro Verkehrszone sowie pro Gemeinde kumuliert. Da an den Grenzen der Verkehrszonen die Zuordnung der Einwohner anhand der Hektaren nicht immer richtig ist und die meisten Verkehrszonen

einer ganzen Gemeinde entsprechen (vgl. Abbildung 6), werden für die Verkehrszonen, die genau einer Gemeinde entsprechen, die demographischen Daten auf Gemeindeebene verwendet. Aus den Hektarraster-Daten wird das Verhältnis zwischen den Einwohnern einer Altersklasse pro Verkehrszone und jenen pro Gemeinde verwendet, um die Daten auf Gemeindestufe, wo nötig (grosse Städte und fusionierte Gemeinden), aufzuteilen. Über dieses Vorgehen ist sichergestellt, dass die demografischen Daten auf der Ebene der Verkehrszonen bzw. deren Aggregat auf Gemeindeebene, mit der amtlichen Statistik übereinstimmen.

$$EW_{Z,AK} = EW_{G,AK} * \frac{\sum_{h \subseteq Z(G)} EW_{h,AK}}{\sum_{h \subseteq G} EW_{h,AK}}$$

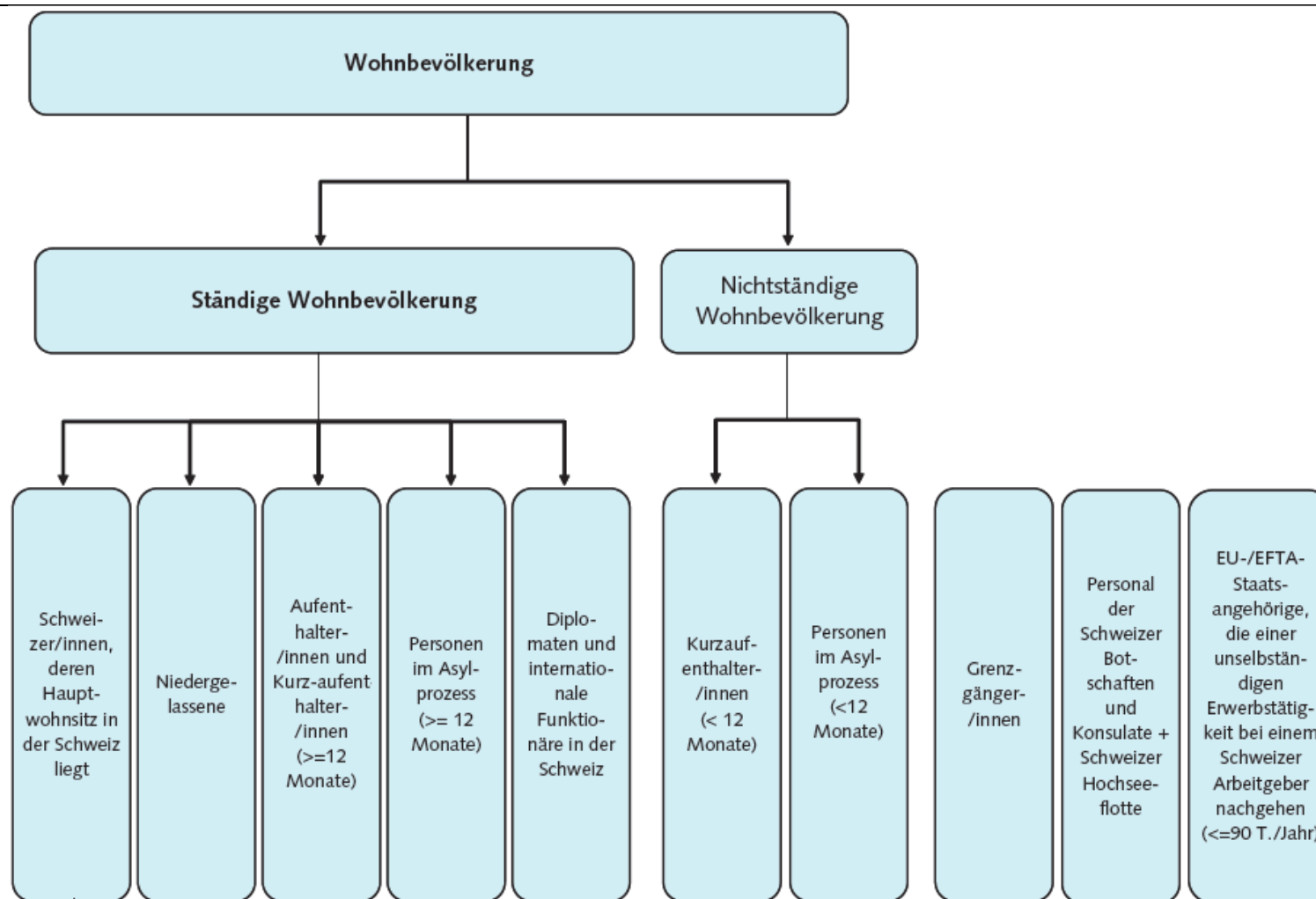
EW	Einwohner pro Verkehrszone und Altersklasse
Z	Zone
G	Gemeinde
AK	Altersklasse

Nach der Aufteilung werden die 5-Jahres-Klassen zu den im NPVM verwendeten Altersklassen („<15“, „15-24“, „25-59“, „60-79“ und „über 80“) aggregiert und das mittlere Alter pro Verkehrszone berechnet. Dazu wird eine Gleichverteilung der einzelnen Alterskohorten in den Altersklassen angenommen und die Anzahl Einwohner je Altersklasse mit dem mittleren Alter der Altersklasse multipliziert.

$$A_{Durchschnitt} = \frac{EW_{0-4} * 2 + EW_{5-9} * 7 + EW_{10-14} * 12 + \dots}{EW_{0-4} + EW_{5-9} + EW_{10-14} + \dots}$$

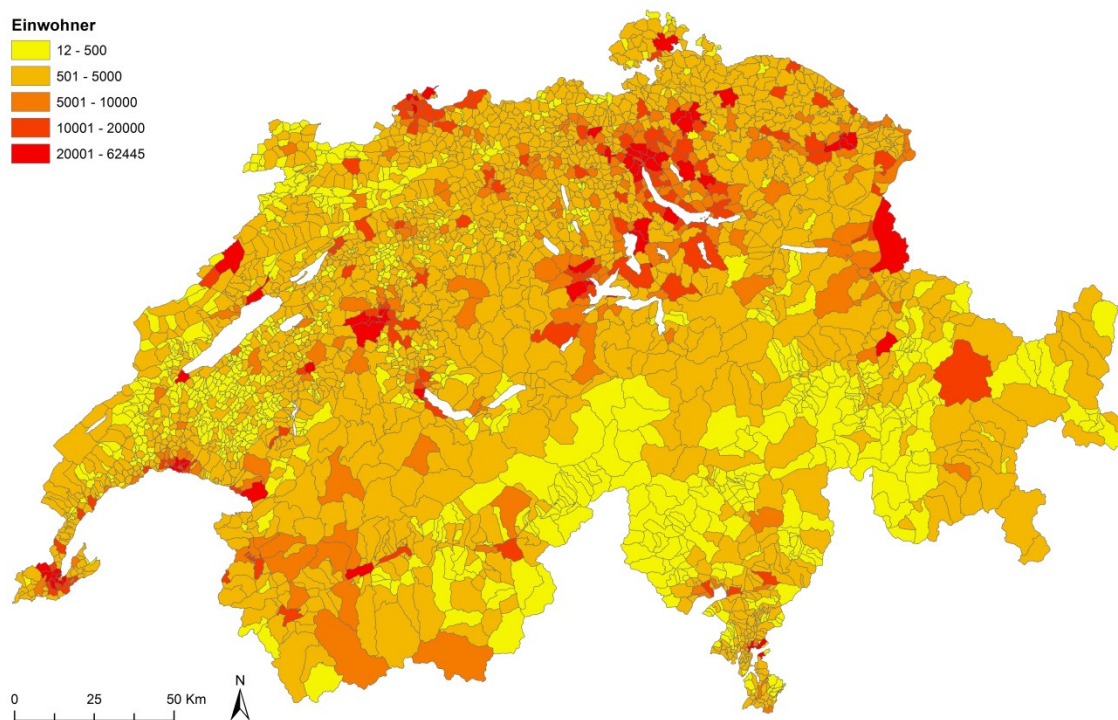
$A_{Durchschnitt}$	Mittleres Alter
EW_{x-y}	Einwohner im Alter von x bis y

Abbildung 7 Zusammensetzung der Wohnbevölkerung



Quelle: BFS, Sektion Arbeit und Erwerb (2010). 03 Arbeit und Erwerb – Definitionen, S. 18

Abbildung 8 Einwohner pro Verkehrszone



4.1.2 Beschäftigte

Basisdaten:

- Betriebszählung 2008 (NOGA 4-Steller)
(BZ08_4Steller.csv, BFS);
- Entwicklung der Grossregionen 2008-2010
(VZA_nach_Grossregionen.xls, BFS);
- Entwicklung der Wirtschaftssektoren (NOGA 2-Steller) 2008-2010
(VZA_nach_Wirtschaftsabteilung.xls, BFS);
- Flughafengebiete
(TLM_VERKEHRSAREAL.shp, swisstopo);
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE).

Aufbereitung:

Wie auch bei den Hektarraster-Daten der Einwohner werden in einem ersten Schritt die Hektarraster-Punkte des Datensatzes der Betriebszählung aus der unteren linken Ecke der Hektare in deren Mitte verschoben. Um die Beschäftigten der Flughäfen ermitteln zu können, werden die Flughafenareale der Flughäfen Zürich, Bern, Genf, Lugano, Basel aus dem swissTLM3D Datensatz verwendet. Aufgrund eines visuellen Abgleichs zwischen den Flughafenarealen und den in diesen liegenden Hektarrasterpunkten werden die Flughafenareale so angepasst, dass die Mittelpunkte der Hektaren

- x: 682'850, y: 260'150 ausserhalb des Gebietes des Flughafens Zürich;
- x: 604'850, y: 195'750 innerhalb des Gebietes des Flughafens Bern-Belp;
- x: 604'950, y: 195'650 innerhalb des Gebietes des Flughafens Bern-Belp;
- x: 496'450, y: 121'150 innerhalb des Gebietes des Flughafens Genf;
- x: 713'750, y: 95'450 innerhalb des Gebietes des Flughafens Lugano

zu liegen kommen. Dieser Schritt ist notwendig, um Hektare, die offensichtlich noch zu den Flughafenarealen beziehungsweise nicht zu den Flughafenarealen gehören, entsprechend zuzuordnen.

Anschliessend werden die Mittelpunkte der Hektarraster mit den Flughafengebieten verschnitten und die darin liegenden Hektaren vom Rest des Datensatzes getrennt. Damit liegt für die Flughafenareale die Anzahl der Beschäftigten mit Datenstand 2008 vor. Den übrigen Hekta-

ren wird, analog zum beschriebenen Vorgehen der Aufbereitung der Einwohnerdaten, die Verkehrszone zugewiesen in der sie liegen beziehungsweise die nächstgelegene Verkehrszone innerhalb von 71 m zugeordnet.

Da für die Hochrechnung vom Jahr 2008 auf das Jahr 2010 nur die zweistelligen NOGA-Codes relevant sind, werden diese aus den Vierstellern abgeleitet und pro Verkehrszone bzw. Flughafengebiet kumuliert. Mit diesem Schritt liegen für die Verkehrszonen die Anzahl Beschäftigte mit Stand 2008 vor (effektiv, Vollzeitäquivalente). In einem nächsten Schritt erfolgt die Anpassung der Beschäftigtenanzahl auf das Niveau von 2010. Dazu werden die Beschäftigten, sowohl die effektiven als auch die Vollzeitäquivalente anhand der Entwicklung der Wirtschaftssektoren zwischen 2008 und 2010 hochgerechnet und die regionalen Unterschiede anhand der Entwicklung der Grossregionen korrigiert.

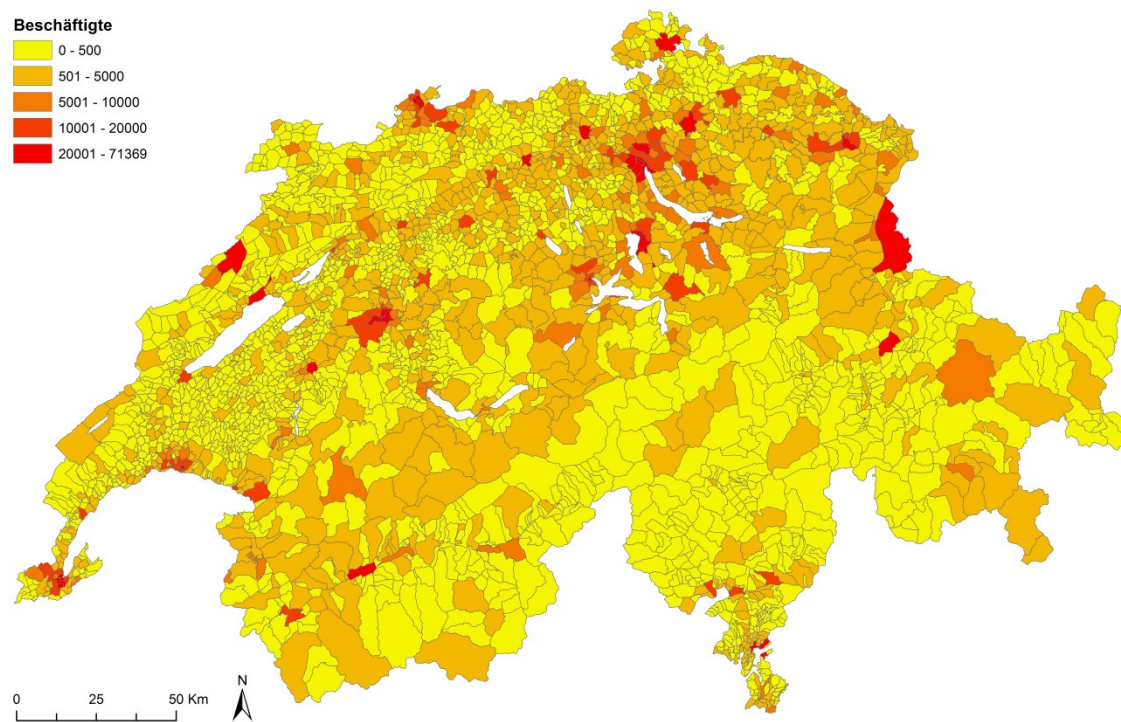
$$Besch_{10,Sektor} = Besch_{08,Sektor} * Entw_{Sektor} * \frac{Entw_{Grossregion}}{Entw_{Schweiz}}$$

$Besch_{10,Sektor}$	Beschäftigte aus dem Jahr 2010 nach Wirtschaftssektor
$Besch_{08,Sektor}$	Beschäftigte aus dem Jahr 2008 nach Wirtschaftssektor
$Entw_{Sektor}$	Entwicklung der Vollzeitbeschäftigten nach Wirtschaftssektor
$Entw_{Grossregion}$	Entwicklung der Vollzeitbeschäftigten nach Grossregionen
$Entw_{Schweiz}$	Entwicklung der Vollzeitbeschäftigten in der Schweiz

Im Verkehrsmodell steht die Beschäftigtenanzahl stellvertretend für die räumlich verteilten Arbeitsplätze. Zur Berechnung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen werden die effektiven Beschäftigten verwendet.

Abbildung 9 visualisiert die räumliche Verteilung und Konzentration der Beschäftigten auf Ebene der Verkehrszonen.

Abbildung 9 Beschäftigte pro Verkehrszone



4.1.3 Grenzgänger

Basisdaten:

- Grenzgänger-Statistik
(Datenstand 2010, Gemeindestand April 2013, px-d-03-2R01.px, BFS);
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen
(Schlüssel_v06.csv, Grundlage BFS).

Aufbereitung:

Im ersten Arbeitsschritt wird die totale Anzahl der Grenzgänger 2010 pro Gemeinde aus dem PC-Axis File selektiert und in einer neuen Datei gespeichert. Die Daten verfügen über keine BFS-Gemeindennummer, sondern nur über die Gemeindennamen. Die Gemeindenummern werden deshalb über die Gemeindennamen ermittelt. Dazu wird eine Verknüpfung über das für den Gemeindennamen stehende Attribut zwischen dem Datensatz der Grenzgänger und dem Schlüssel der Gemeindestandsänderungen vorgenommen. Dabei tritt das Problem auf, dass vier Orthographie- sowie zwei Gemeindestands-Fehler in den Gemeindennamen vorhanden sind. Diese werden manuell korrigiert. Tabelle 16 fasst die manuellen Eingriffe zusammen.

Tabelle 16 Fehlerhafte Bezeichnungen in Gemeindennamen

Fehlerhafte Bezeichnung	Korrektur
Heriswil	Heriswil + seit Jan. 2013 Drei Höfe
Will (SG)	Wil (SG)
Patzen Fardün	seit 2003 Donat
Seravalle	Serravalle
Goumeons	Goumoëns

Nach der Korrektur lassen sich allen Gemeindennamen die Gemeindenummern 2013 zuteilen.

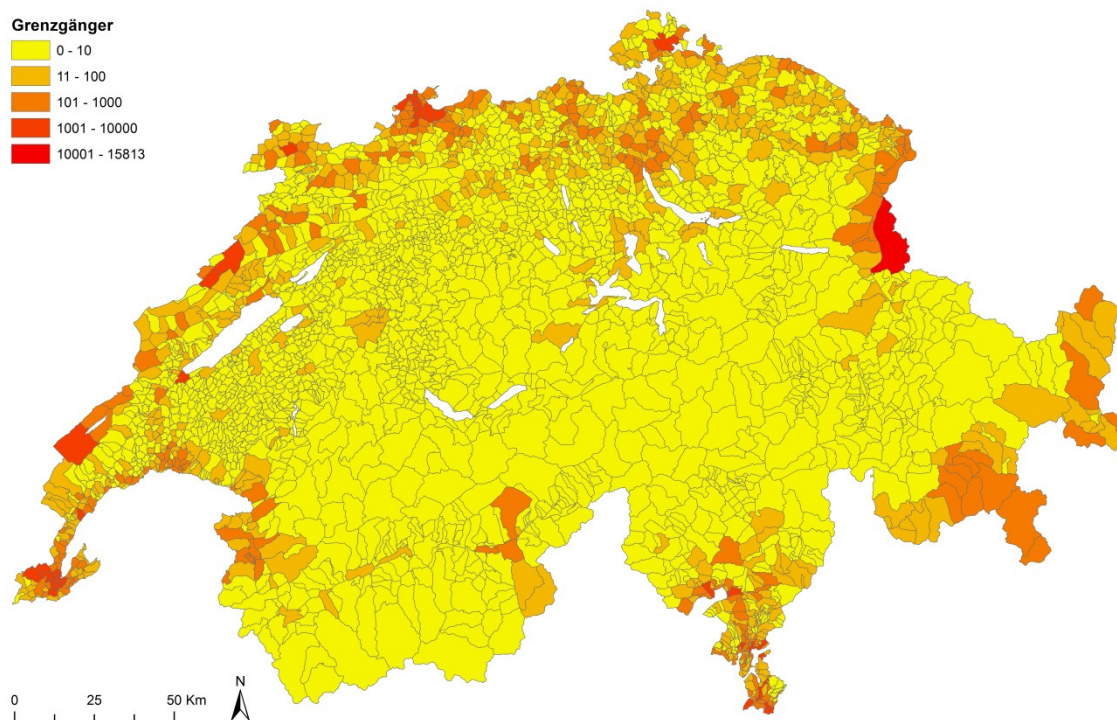
Als Hilfsgrösse um die Grenzgänger je Gemeinde auf die Verkehrszonen aufteilen zu können, werden die Beschäftigten (Vollzeitäquivalente) herangezogen. Dazu müssen die Vollzeitäquivalente der Verkehrszonen mit Gemeindestand Ende 2000 (vgl. Ergebnis der Aufbereitung „Beschäftigte“, siehe Kapitel 4.1.2) zuerst auf den Gemeindestand 2013 aggregiert werden. In einem nächsten Schritt werden die Grenzgänger aus dem Jahr 2010 bei zwischenzeitlich fusionierten Gemeinden und den 10 grossen Städten in Abhängigkeit der Vollzeitäquivalente auf die Verkehrszonen aufgeteilt.

$$GG_{Zone,2000} = \frac{VZ\ddot{A}_{Zone,2000}}{VZ\ddot{A}_{Gmde,2013}} * GG_{Gmde,2013}$$

$GG_{Zone,2000}$	Grenzgänger pro Verkehrszone (Gebietsstand 2000)
$VZ\ddot{A}_{Zone,2000}$	Vollzeitäquivalent pro Verkehrszone (Gebietsstand 2000)
$VZ\ddot{A}_{Gmde,2013}$	Vollzeitäquivalent pro Gemeinde (Gebietsstand 2013)
$GG_{Gmde,2013}$	Grenzgänger pro Gemeinde (Gebietsstand 2013)

Da die Grenzgänger Statistik die effektiven Grenzgänger um ca. 10% überschätzt (Abklärungen des ARE mit Herrn Viktor Goebel, BFS)¹, werden die Grenzgänger, ausser in den Verkehrszonen im Kanton Tessin, um 10% nach unten korrigiert. Im Kanton Tessin werden 33.5% der Grenzgänger abgezogen.

Abbildung 10 Grenzgänger pro Verkehrszone



¹ Gemäss BFS ist generell zu beachten, dass die Grenzgängerstatistik zum einen die effektiven Zahlen überschätzt ca. 15% (es werden Bewilligungen gezählt) zum anderen unterschätzt, da Personen mit Schweizer Nationalität nicht gezählt werden (regionale Verzerrungen).

4.1.4 Erwerbstätige

Basisdaten:

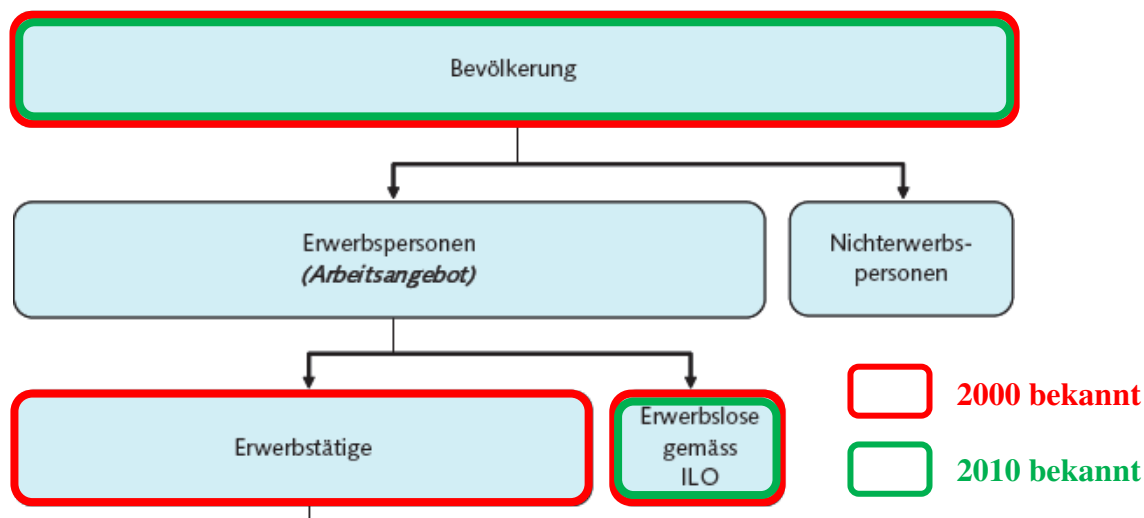
- STATPOP Einwohner
(STATPOP_2010_Hektaren.csv, BFS);
- Volkszählung 2000 (Gemeindestand 2010)
(VZ_2000_Gemeinden_Gebietsstand_31_12_2010.xls, BFS);
- Einwohnerzahlen 2000 (STATINF, Gemeindestand 2000)
(Bevölkerung VZ 1970-2000 nach Alter.xls, BFS);
- Registrierte Arbeitslose nach Gemeinde und Alterskategorie [u25, 25-59, 50plus]
2000
(Gemeindestand 2013) (RegistrierteALGemeinden_Alterskat_2000_v01.xls, Amstat);
- Registrierte Arbeitslose nach Gemeinde und Alterskategorie [u25, 25-59, 50plus]
2010 (Gemeindestand 2013) (RegistrierteALGemeinden_Alterskat_2010_v01.xls,
Amstat);
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen
(Schlüssel_v06.csv, Grundlage BFS).

Aufbereitung:

Da die Erwerbstätigen das letzte Mal im Rahmen der Volkszählung 2000 erhoben wurden, müssen die Erwerbstätigen für das Jahr 2010 anhand bekannter Grössen aus den Jahren 2000 und 2010 hochgerechnet werden. Für das Jahr 2010 sind die Anzahl der Einwohner sowie der registrierten Arbeitslosen (Erwerbslose) bekannt. Für das Jahr 2000 sind die Anzahl der Einwohner, der registrierten Arbeitslosen sowie der Erwerbstätigen bekannt.

Wie aus Abbildung 11 ersichtlich ist, sind für das Jahr 2000 alle Grössen bekannt oder können abgeleitet werden. Für das Jahr 2010 hingegen fehlen mindestens die Nichterwerbspersonen um die restlichen fehlenden Grössen ermitteln zu können.

Abbildung 11 Bekannte Grössen 2000 und 2010



Quelle: verändert nach BFS, Sektion Arbeit und Erwerb (2010). 03 Arbeit und Erwerb – Definitionen, S. 1

Aufgrund fehlender Daten zur Erwerbstätigkeit 2010 wird die Annahme getroffen, dass sich die Rate der Nichterwerbspersonen, gemessen an der Gesamtbevölkerung, zwischen 2000 und 2010 nicht geändert hat.

In einem ersten Schritt wird die Erwerbslosenrate für das Jahr 2000 berechnet. Dafür werden die registrierten Arbeitslosen pro Gemeinde (Datenstand 2000, Gebietsstand 2013) anteilhaft an den Einwohnern 2000 ermittelt und auf die Gemeinden mit Informationen zu den Erwerbstätigen (Gebietsstand 2010) aufgeteilt. Aus der Summe der Erwerbstätigen und der Arbeitslosen ergeben sich nun die Erwerbspersonen. Diese werden anschliessend auf die Gemeinden mit Gebietsstand 2000 ebenfalls anhand der Einwohner 2000 aufgeteilt. Aus den Einwohnern und den Erwerbspersonen kann nun die Rate der Nichterwerbspersonen berechnet werden:

$$Rate_{NE,2000} = \frac{EW_{2000} - EP_{2000}}{EW_{2000}}$$

$Rate_{NE,2000}$ Nichterwerbsrate 2000

EW_{2000} Einwohner 2000

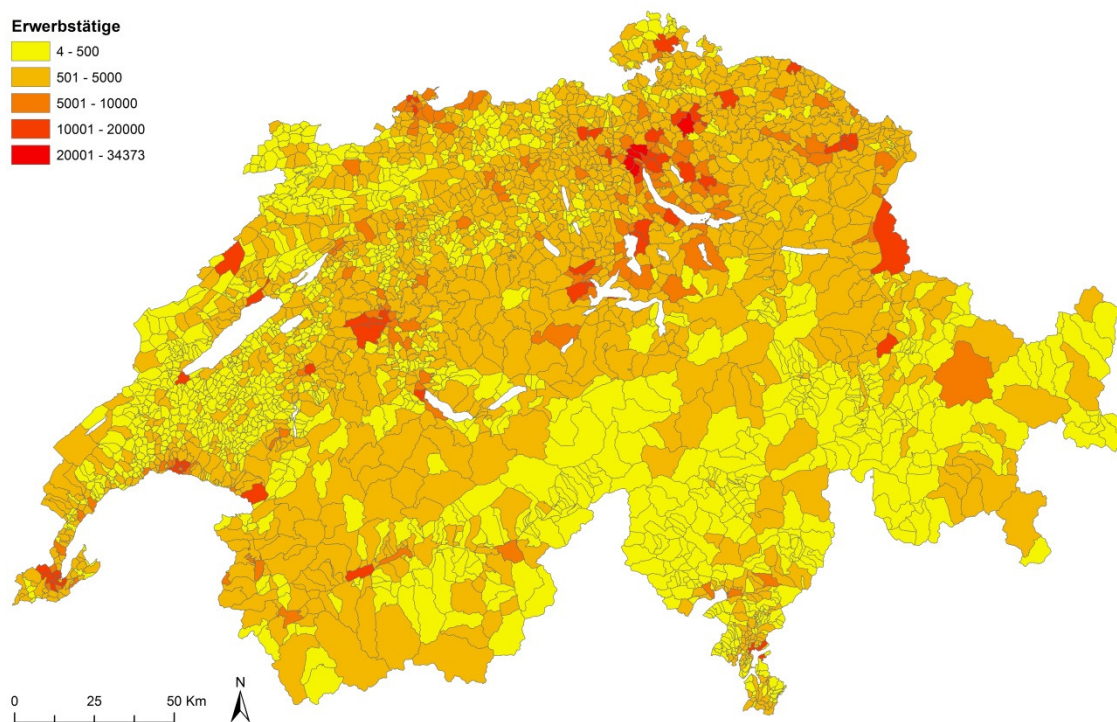
EP_{2000} Erwerbspersonen 2000 → (Erwerbstätige + registrierte Arbeitslose)

Für das Jahr 2010 werden die Arbeitslosen (Gemeindestand 2013) anteilhaft an den Einwohnern auf die Verkehrszonen des NPVM aufgeteilt. Anschliessend wird jeder Verkehrszone eine Nichterwerbsrate zugewiesen. Verkehrszonen, welche bei einem Gebietsstand 2013 in

der gleichen Gemeinde liegen, erhalten dabei dieselbe Rate. Mit Hilfe der nun zugewiesenen Nichterwerbsrate lassen sich die Nichterwerbspersonen 2010 berechnen. Die Subtraktion der Arbeitslosen ergibt schliesslich die Anzahl Erwerbstätiger pro Verkehrszone. Wie aus der Berechnung ersichtlich ist, handelt es sich um die effektiven Erwerbstätigen und nicht um Vollzeitäquivalente.

Im Verkehrsmodell finden sowohl quell- als auch zielseitig jeweils die effektiven Erwerbstätigen bzw. Beschäftigten Verwendungen. Das heisst, dass quellseitig unter Erwerbstätigen Erwerbsverhältnisse in Teil- und Vollzeit subsumiert sind. Analog dazu wird bei der Berechnung der spezifischen Verkehrsaufkommen aus dem MZMV 2010 darauf geachtet, dass die zu Grunde gelegte Bezugspersonengruppe „Erwerbstätige“ sich ebenfalls sowohl aus Teil- wie Vollzeitbeschäftigten zusammensetzt.

Abbildung 12 Erwerbstätige pro Verkehrszone



4.1.5 Auszubildende

Basisdaten:

- Schüler/innen nach Kanton, Gemeinde und Schulstufe 2010/11 (Anfrage_Maurer_2010.xls, ARE);
- Hochschüler nach Verkehrszone (Aufbereitung und Dokumentation durch das ARE) (Studierende_geocodiert_2010_2011.xls, ARE).
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen (Schlüssel_v06.csv, Grundlage BFS).

Aufbereitung:

Da der Datensatz zu den Schüler/innen keinen einheitlichen Gemeindestand aufweist (die Schülerzahlen liegen für verschiedene Gemeindestände zwischen Ende 2011 und April 2013 vor) wird der Stand vom April 2013 (aktueller Stand) verwendet.

Um die auf Gemeindeebene vorliegenden Schülerzahlen im Falle fusionierter Gemeinden auf den „alten“ Gemeindestand sowie die Verkehrszonen innerhalb der grossen Städte aufzuteilen, wird ein Aufteilungsschlüssel generiert. Dazu wird die Anzahl der Schüler pro Gemeinde (Gebietsstand 2013) in Anlehnung an die anteilige Verteilung der Einwohner unter 25 Jahren auf die Verkehrszonen des NPVM aufgeteilt:

$$Azubi_{Zone} = \frac{EW_{u25,Zone}}{EW_{u25,Gmde2013}} * Azubi_{Gmde2013}$$

$Azubi_{Zone}$	Auszubildende/Schüler pro Verkehrszone
$EW_{u25,Zone}$	Einwohner über 25 Jahre pro Verkehrszone
$EW_{u25,Gmde2013}$	Einwohner über 25 Jahre pro Gemeinde (Gebietsstand Ende 2013)
$Azubi_{Gmde2013}$	Auszubildende/Schüler pro Gemeinde (Gemeindestand Ende 2013)

Die Anzahl der Studierenden an Hochschulen wurden vom ARE an den einzelnen Hochschulen angefragt und weiter aufbereitet. Für alle Standorte von Fachhochschulen und Universitäten wurden manuell die Geokoordinaten recherchiert und die Standorte bzw. die damit verbundenen Studierendenzahlen den Verkehrszonen zugeordnet. Die Daten werden zu den Schülerzahlen pro Verkehrszone addiert.

4.2 Mobilitätswerkzeuge

4.2.1 Fahrzeuge

Basisdaten:

- Fahrzeugbestand 2010 pro Gemeinde (Gebietsstand 2010)
(park2010_gmde_allefazg_gmdename.xls, BFS);
- MOFIS-Datenbank
(REPORT_BESTAND2A.txt, BFS);
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE);
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen
(Schlüssel_v06.csv, Grundlage BFS);
- Einwohner pro Verkehrszone
(EWproZone2010_v18.dbf).

Bei der Datei des Fahrzeugbestandes handelt es sich um eine Sonderauswertung des BFS. Die Datei weist die Anzahl der Fahrzeuge nach Gruppen in Anlehnung an die MOFIS-Datenbank mit Datenstand zum 30.09.2010 auf Gemeindeebene aus. Zur Erstellung der Datei wurden die Einzeldatensätze der MOFIS-Datenbank durch das BFS anhand der Attribute „Postleitzahl (Wohnort Halter)“ und „Wohnort Text“ auf Gemeindeebene aggregiert. Verwendung im NPVM finden ausschliesslich die Personenwagen. Die Personenwagen sind in der MOFIS-Datenbank über den Code „01“ (Fahrzeugarten) identifiziert.

Aufbereitung:

Die Aufteilung der Fahrzeuge auf Stufe Gemeinden (Gemeindestand Ende 2010) auf die Verkehrszonen erfolgt in Anhängigkeit der Einwohner über 20 Jahre (EW_ue20):

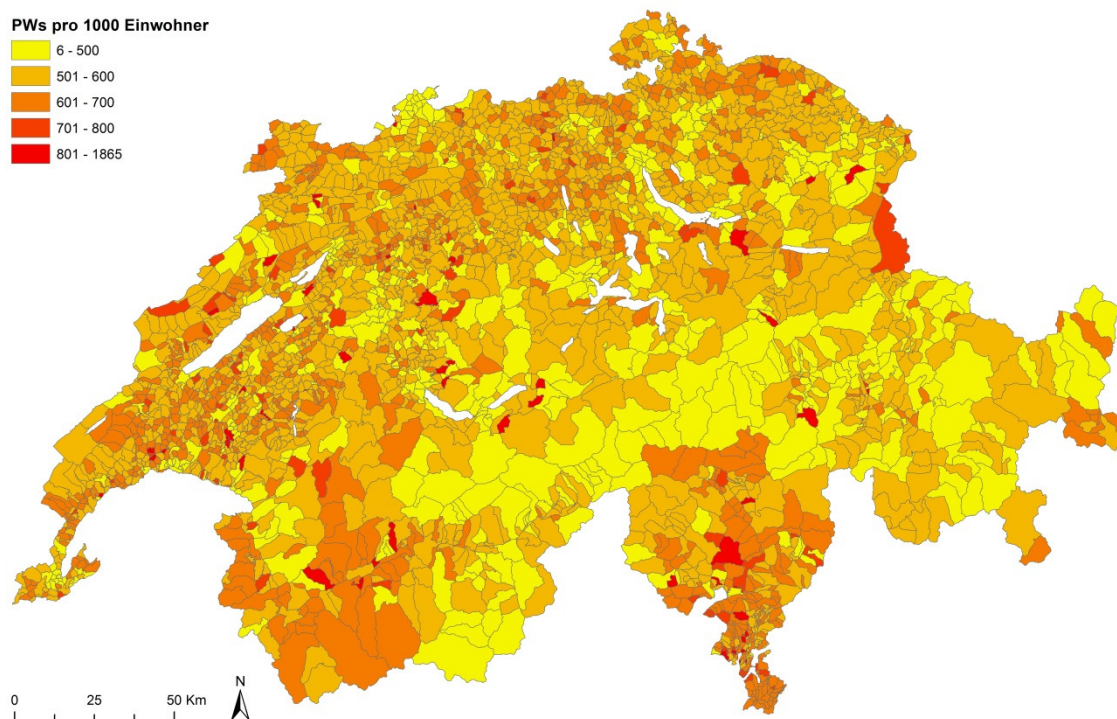
$$PW_{Zone} = \frac{EW_{ue20Zone}}{EW_{ue20Gmde2010}} * Fzge_{Gmde2010}$$

PW_{Zone}	Personenwagen pro Verkehrszone
$EW_{ue20,Zone}$	Einwohner über 20 Jahre pro Verkehrszone
$EW_{ue20,Gmde2010}$	Einwohner über 20 Jahre pro Gemeinde (Gebietsstand 2010)
$Fzge_{gmde2010}$	Fahrzeuge pro Gemeinde (Gebietsstand 2010)

Bei der Plausibilisierung der Daten wurde festgestellt, dass im BFS -Datensatz des Fahrzeugbestandes in der Gemeinde Mex (VS) bei 154 Einwohnern keine Personenwagen aufgeführt sind. Eine Abfrage in der MOFIS-Datenbank ergibt für den Wohnort „mex vs“ 85 Fahrzeuge vom Typ Personenwagen. Der PW-Bestand dieser Verkehrszone wird aus diesem Grund manuell angepasst.

Darüber hinaus weist der Datensatz zum Fahrzeugbestand 13 Gemeinden mit einer Motorisierungsrate > 1 auf (über 1'000 Personenwagen pro 1'000 Einwohner). Für diese Gemeinden wird in der Nachfrageberechnung die Motorisierungsrate (und damit die PW-Anzahl) auf den Maximalwert 1 gesetzt.

Abbildung 13 Personenwagen pro 1000 Einwohner



4.2.2 ÖV-Abonnemente

Basisdaten:

- Anzahl GAs und HTAs pro Postleitzahlgebiet (Umlaufzalen_GA_Halbtax_zum_20101231.xlsx, SBB);
- Liste der Postleitzahlen MAT[CH].zip PLZ Plus 1 (Postleitzahlstand 01.12.2010 und 01.01.2011) (plz_p1_20101122.txt und plz_p1_20101222.txt, Post);
- Geometrien der Postleitzahlgebiete mit Stand 01.05.2011 (GABMO_PLZ6.shp, cataster.ch);
- Einwohner auf Hektarrasterebene mit zugewiesenen Verkehrszonen (Justen_EW_v01.csv);
- Verkehrszonen (Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE).

Die SBB-Daten weisen die Anzahl Halbtax (HTA)- und Generalabonnemente (GA) auf Ebene der Postleitzahlgebiete (PLZ) mit Gebietsstand 31.12.2010 aus. Für die Verwendung der Daten im NPVM ergeben sich drei Herausforderungen:

- Die Entwicklung einer Zuweisungsvorschrift, so dass ein Transfer der Daten von der PLZ auf die Verkehrszonen möglich wird.
- Die Berücksichtigung, dass bei den Abonnementsdaten auch nicht-verortbare Postfächer (inkl. Abonnementszahlen) sowie ausländische Postleitzahlen mit aufgeführt sind.
- Falsche Postleitzahlen (inkl. Abonnementszahlen) müssen, wo möglich, korrigiert, andernfalls von der Verwendung ausgeschlossen werden.

Aufbereitung:

In einem ersten Schritt wird überprüft, welche Postleitzahlen in der Schweiz oder im Fürstentum Liechtenstein liegen. Dazu werden die Postleitzahlen aus dem Abo-Datensatz mit den Postleitzahlen vom 01.12.2010 sowie vom 01.01.2011 der MAT[CH].zip Datensätze der Post verknüpft und um die Spalte *ktNam* (Kantons Name aus den Dateien der Post) ergänzt. Da die Post-Daten alle Postleitzahlen der Schweiz sowie des Fürstentum Liechtensteins umfassen, wird davon ausgegangen, dass diejenigen Postleitzahlen des Abo-Datensatzes, welche nicht mit den Post-Daten verknüpft werden können, im Ausland liegen oder mit Fehlern behaftet sind. Durch dieses Vorgehen können 365 von den insgesamt 3'748 Postleitzahlen als „problematische“ identifiziert werden. Eine Kontrolle zeigt, dass unter den 365 Postleitzahlen 52

aufgeführt sind, welche eine PLZ-Bezeichnung (d.h. einen string-codierten Namen des Postleitzahlgebiets) besitzen, die Postleitzahlen selbst aber nicht zuordenbar sind. Für 26 dieser Fälle können durch den Abgleich der PLZ-Bezeichnungen mit dem Post-Datensatz korrekte Postleitzahlen ermittelt werden. Für sieben Fällen, bei denen auch diese Verknüpfung fehlschlägt, werden manuell Postleitzahlen über die Bezeichnung recherchiert und für weitere elf Einträge wird lediglich festgelegt, dass die Gebiete in der Schweiz liegen (KtNam = CH), da keine eindeutige Zuweisung möglich ist. Acht Bezeichnungen entsprechen Auslandsnamen. Von den ursprünglich 365 „problematischen“ Postleitzahlen verbleiben noch 313 Postleitzahlen (inkl. der Abonnemente), die nicht zugewiesen werden können. Diese wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Im Weiteren werden die Postleitzahlen der Schweiz und die Postleitzahlen aus dem Fürstentum Liechtenstein (KtNam =FL) selektiert und in getrennten Files gespeichert.

Anschliessend werden die Schweizer Postleitzahlen mit den Geometrien der Postleitzahlgebiete (Stand Mai 2011) verknüpft. Dadurch können 228'520 HTA und 423'390 GAs eindeutig einem Schweizer Postleitzahlgebiet zugordnet werden. Dies entspricht 99.36% (HTA 2285820/2300645) bzw. 99.4% (GA 423390/425670). Die Postleitzahlen, welche nicht zugeordnet werden können (Postfächer oder unbekannte Postleitzahl), werden in einem späteren Schritt behandelt. Im nächsten Schritt werden die Hektarrasterpunkte mit Angaben zur Anzahl Einwohner sowie der Verkehrszonennummer räumlich mit den Postleitzahlgebieten verschnitten und die Anzahl Einwohner pro PLZ-Gebiet aufsummiert. Jeder Hektare wird darauffolgend die Anzahl Abonnemente in Abhängigkeit des Einwohneranteils der Hektare an der Einwohnerzahl auf Postleitzahlgebietsebene zugeteilt:

$$Abos_{Hektare} = \frac{EW_{Hektare}}{EW_{PLZ}} * Abos_{PLZ}$$

Abos _{Hektare}	Abonnemente des öffentlichen Verkehrs (GA/HTA) pro Hektare
EW _{Hektare}	Einwohner 2010 pro Hektare
EW _{PLZ}	Einwohner 2010 pro Postleitzahlgebiet
Abos _{PLZ}	Abonnemente des öffentlichen Verkehrs (GA/HTA) pro Verkehrszone

Die Abonnemente pro Verkehrszone ergeben sich dann aus der Summe der Abonnemente pro Hektare.

In einem letzten Schritt werden die nicht zu verortenden Abonnemente (HTA: 14825 und GA: 2280, siehe oben) auf alle Verkehrszonen verteilt. Dies erfolgt anteilhaft an den bereits existierenden Abonnementen:

$$Abos_{Zone,korr} = Abos_{Zone} + \frac{Abos_{Zone}}{Abos_{CH}} * Abos_{nichtVerortbar}$$

$Abo_{Zone,korr}$	korrigierte Abonnemente pro Verkehrszone
Abo_{Zone}	Abonnemente pro Verkehrszone vor der Korrektur
Abo_{CH}	in der Schweiz verkaufte Abonnemente des öffentlichen Verkehrs
$Abo_{nichtVerortbar}$	nicht-verortbare Abonnemente des öffentlichen Verkehrs

4.3 Attraktionsvariablen

4.3.1 Verkaufsflächen

Basisdaten:

- Verkaufsflächen 2007
(Einkaufszentren_Verkaufsfläche.xls, Wüst&Partner);
- Shoppingcenter Markt Schweiz (GfK);
- Betriebszählung 2008
(BZ08_4Steller.csv, BFS);
- Verkaufsflächen der Flughafenzonen
(Internet-/Telefonrecherchen/Hochrechnung).

Aufbereitung:

Für die Aufbereitung der Verkaufsflächen liefern die Daten von Wüst&Partner vom Jahr 2007 die Grundlage. Diese Daten umfassen die Verkaufsraumflächen in qm auf Ebene der Gemeinden. Berücksichtigt im Modell werden die Verkaufsraumflächen der Nutzung „Verkauf“. Diese Flächen werden den Verkehrszonen zugeordnet. Um bei den grossen Einkaufsflächen die effektiven Verkaufsflächen 2010 berücksichtigen zu können, werden zusätzlich aus dem Bericht Shopping Center Markt Schweiz alle Einkaufszentren über 7000m² sowie jene unter 7000m², welche nach 2007 gebaut wurden, identifiziert und den Verkehrszonen über die Gemeinde oder die Koordinaten zugeordnet. Um die Einkaufszentren beziehungsweise die damit verbundenen Verkaufsraumflächenzahlen nicht doppelt zu zählen, werden die Verkaufsflächen über 7000m² von der Gesamtverkaufsfläche im Wüst&Partner-Datensatz subtrahiert.

Die Aufteilung der kombinierten Daten auf Gemeindeebene (Wüst&Partner sowie Shopping Center Markt Schweiz) (Gemeindestand 2008) auf die Verkehrszonen erfolgt anteilhaft an der Anzahl Vollzeitbeschäftigter im Wirtschaftssektor 47 (Detailhandel, ohne Handel mit Motorfahrzeugen):

$$VF_{Zone} = \frac{VZ\ddot{A}_{Zone}}{VZ\ddot{A}_{Gmde08}} * VF_{Gmde08}$$

VF_{Zone}	Verkaufsfläche pro Verkehrszone
$VZ\ddot{A}_{Zone}$	Beschäftigte (Vollzeitäquivalente) pro Verkehrszone
$VZ\ddot{A}_{Gmde08}$	Beschäftigte (Vollzeitäquivalente) pro Gemeinde (Gebietsstand 2008)
VF_{Gmde08}	Verkaufsfläche pro Gemeinde (Gebietsstand 2008)

Die Angaben der Verkaufsflächen (ohne Duty Free) am Flughafen Zürich wurden vom Flughafen via E-Mail ermittelt. Da vom Flughafen Genf bis zum Abschluss der Datenaufbereitung keine Angaben verfügbar waren, werden die Verkaufsflächen abgeschätzt. Dazu wird das Verhältnis von Verkaufsraumfläche pro Vollzeitbeschäftigter im Detailhandel ermittelt für den Flughafen Zürich, auf den Flughafen Genf angewendet:

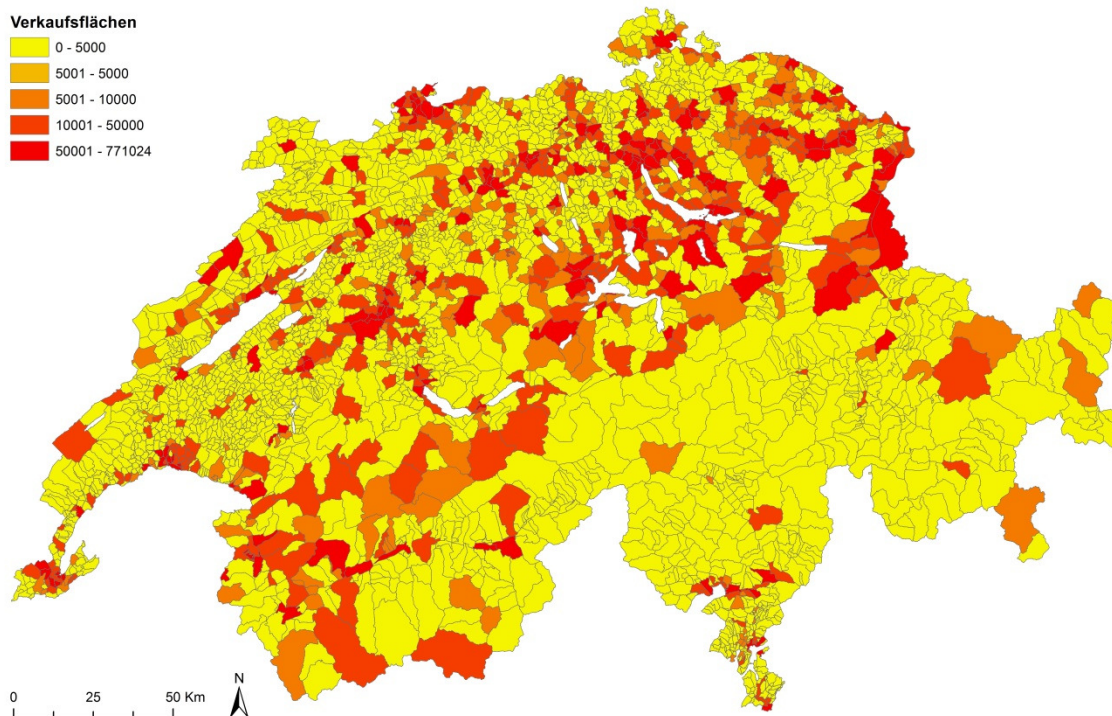
$$VF_{Flugh.Genf} = \frac{VZ\ddot{A}_{Flugh.Zürich}}{VZ\ddot{A}_{Flugh.Genf}} * VF_{Flugh.Zürich}$$

$VF_{Flugh.Genf}$	Verkaufsfläche am Flughafen Genf
$VZ\ddot{A}_{Flugh.Zürich}$	Beschäftigte (Vollzeitäquivalente) am Flughafen Zürich
$VZ\ddot{A}_{Flugh.Genf}$	Beschäftigte (Vollzeitäquivalente) am Flughafen Genf
$VF_{Flugh.Zürich}$	Verkaufsfläche am Flughafen Zürich

Mit dem Flughafen Bern Belpmoos wurde telefonisch Kontakt aufgenommen. Der Flughafen hat angegeben, über einen K-Kiosk zu verfügen. Die Fläche wurde anschliessend auf 25m² geschätzt. Der Flughafen Lugano Agno verfügt über ein Geschäft. Die Verkaufsfläche wurde auf 60m² geschätzt. Am Flughafen Basel Euroairport befinden sich zwei Geschäfte, deren Gesamtverkaufsfläche auf 100m² geschätzt wurde.

Die Verkaufsflächen der Flughäfen werden im darauffolgenden Schritt von den Verkaufsflächen der Verkehrszonen, in welchen die Flughäfen liegen, abgezogen.

Abbildung 14 Verkaufsflächen pro Verkehrszone



4.3.2 Logiernächte

Basisdaten:

- Hotels und Kurbetriebe Gäste nach Inland-Ausland und nach Gemeinde (Hotels und Kurbetriebe Gäste nach Inland-Ausland und nach Gemeinde.xls, BFS);
- Hotellerie-Betten (ARE_Rolf Giezendanner_120113_Betten Hotellerie 92-10.xls, ARE);
- Betriebszählung 2008 (BZ08_4Steller.csv, BFS);
- Verkehrszonen (Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE);
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen (Schlüssel_v06.csv, Grundlage BFS).

Aufbereitung:

In einem ersten Schritt wird aus den Monatswerten der Logiernächte der Jahresdurchschnitt berechnet. Um Gemeindemutationen während des Jahres zu berücksichtigen, wird der Gemeindestand für alle Monate auf jenen Ende 2010 gesetzt.

Im Datensatz der Logiernächte sind aus Datenschutzgründen für Gemeinden mit weniger als drei Betrieben keine Angaben über die Anzahl Logiernächte aufgeführt. Die Gesamtzahl der Logiernächte der Gemeinden mit weniger als drei Betrieben ist jedoch als zusammengefasster Wert unter „Übrige Gemeinden“ gegeben. Die durchschnittliche Anzahl Hotelbetten ist hingegen für alle Gemeinden bekannt. Aus diesem Grund werden die Anzahl Hotelbetten verwendet, um die Logiernächte der übrigen Gemeinden aufzuteilen.

Da die Hotelbetten 2010 jeden Monat erhoben wurden und sowohl im April, als auch im November Gemeindemutationen stattgefunden haben, sind im Datensatz mehrere Gemeindestände aufgeführt. Der Jahresmittelwert wurde offensichtlich als Summe aller Monatswerte, dividiert durch 12 angegeben. Da jedoch für die mutierten Gemeinden nicht für jeden Monat ein Wert verfügbar war, weisen diese Gemeinden einen falschen Jahresmittelwert auf. Beispielsweise sind für Monte Ceneri so nur 7 statt 79 Betten aufgeführt. Als einheitlicher Gemeindestand wurde deshalb jener vom 31.12.2010 (bzw. nach der letzten Änderung am 21. November) gewählt und die Anzahl Betten der mutierten Gemeinden zu der Anzahl Betten der fusionierten Gemeinde addiert. Die Logiernächte der übrigen Gemeinden konnten anschliessend wie folgt auf die Gemeinden, welche noch keinen Wert aufwiesen, aufgeteilt werden:

$$\text{Log}N_{\text{Gmde}10} = \frac{\text{Betten}_{\text{Gmde}10}}{\sum \text{Betten}_{\text{Gmde}10, \text{ohne Wert für Log}N}}$$

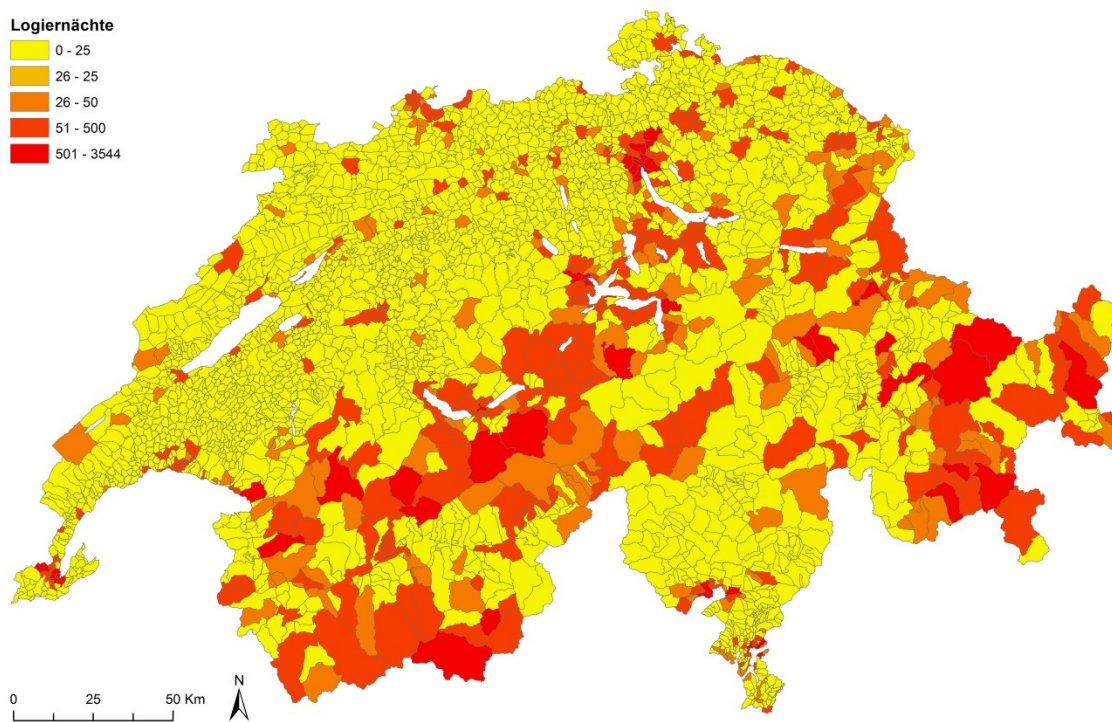
$\text{Log}N_{\text{Gmde}10}$	Logiernächte pro Gemeinde (Gebietsstand 2010)
$\text{Betten}_{\text{Gmde}10}$	Anzahl Hotelbetten pro Gemeinde (Gebietsstand 2010)
$\text{Betten}_{\text{Gmde}2010, \text{ohne Wert für Log}N}$	Gemeinden („übrige Gemeinden“) mit Angaben zur Anzahl Betten, aber ohne Wert für die Anzahl Logiernächte

Für die Aufteilung der Logiernächte pro Gemeinde (Gemeindestand Ende 2010) werden die Anzahl Hotellerie-Betriebe (NOGA 5510) pro Verkehrszone verwendet:

$$\text{Log}N_z = \frac{\text{Betriebe}_z}{\sum_{z \in G10} \text{Betriebe}_z} * \text{Log}N_{G10}$$

LogN	Logiernächte pro Verkehrszone
Betriebe	Betriebe pro Verkehrszone
G10	Gemeinde (Gebietsstand 2010)
Z	Zone

Abbildung 15 Logiernächte pro Verkehrszone



4.3.3 Freizeit- und Kulturangebot

Basisdaten:

- Betriebszählung 2008
(BZ08_4Steller.csv, BFS);
- Schlüssel für Gemeindestandsänderungen
(Schlüssel_v06.csv, Grundlage BFS);
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE).

Aufbereitung:

Für die Bestimmung der Potenziale von Freizeit- und Kultureinrichtungen werden die für die Beschäftigten aufbereiteten, den Verkehrszonen zugeordneten Betriebszählungsdaten 2008 auf Hektarraster-Stufe als Grundlage verwendet. Aus diesen Daten werden folgende Betriebe selektiert:

- Kinos (NOGA 5914);
- Museen (NOGA 9102);
- Theater und Balletttruppen (NOGA 9001);
- Bibliotheken (NOGA 9101);
- Botanische und zoologische Gärten sowie Naturparks (NOGA 9104);
- Gastronomie (NOGA 5610);
- Krankenhäuser (NOGA 8610).

Anschliessend wird die Anzahl Betriebe pro Einrichtungstyp und Verkehrszone kumuliert.

Die Besucherzahlen pro Einrichtung werden aus den Mittelwerten der Besucher pro Einrichtung verschiedener kantonalen Verkehrsmodelle geschätzt. Die Dokumentation über die Aufbereitung der Daten in den kantonalen Modellen befindet sich in den entsprechenden Zwischen-/Schlussberichten (Vrtic et al. 2010 [1], S.66 ff., Vrtic et al. 2010[2], S. 50 ff. und Vrtic et al. 2013, S. 14 ff.).

4.3.4 Erholungs- und Grünanlagen

Basisdaten:

- Arealstatistik 2004/09
(AREA_NOAS04_72_120827.csv, BFS);
- Arealstatistik 1992/97
(AREA_NOAS92_74_070828.csv, BFS);
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE);
- Codierung der Arealstatistik
(Codierung.xlsx).

Aufbereitung:

Grundsätzlich dient die Arealstatistik 2004/09 als Grundlage für die Ermittlung der Erholungs- und Grünanlagen. Da aber für den Kanton Graubünden die Arealstatistik 2004/09 noch nicht verfügbar ist, muss für dieses Gebiet der ältere Datensatz 1992/97 verwendet werden.

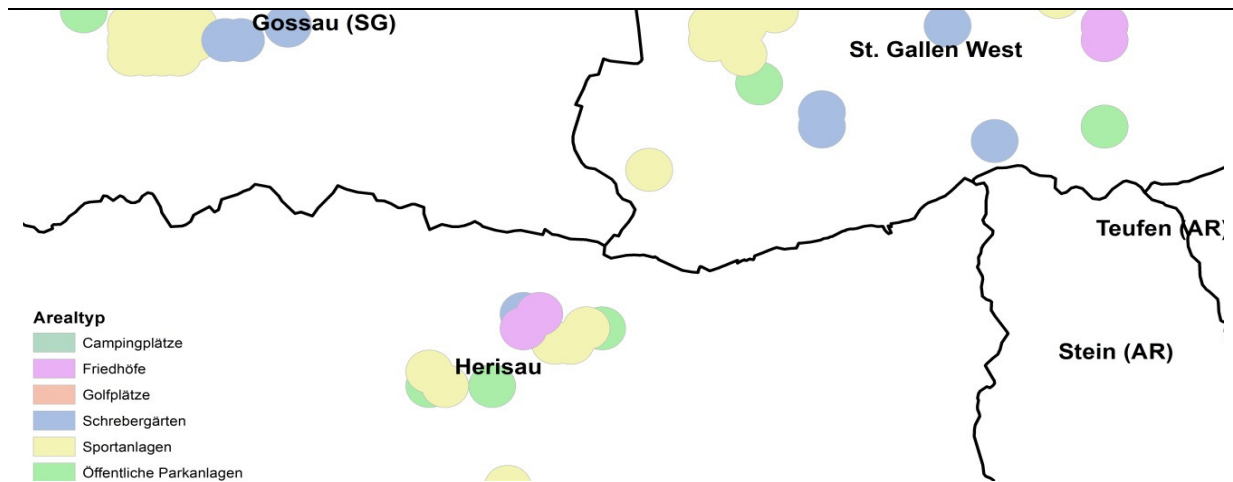
In einem ersten Schritt werden aus den Arealstatistiken nur jene Einträge selektiert, deren Code einer Erholungs- oder Grünanlage entspricht. Gemäss Nomenklaturen der beiden Erhebungen (BFS, Arealstatistik 2001 und BFS, Arealstatistik 2006) entspricht diese Selektion den folgenden Arealtypen:

Tabelle 17 Codierung Arealstatistik

Code 091992/97	Code 2004/09	Bezeichnung
51	32	Sportanlagen
52	35	Schrebergärten
53	34	Campingplätze
54	33	Golfplätze
56	36	Friedhöfe
59	31	Öffentliche Parkanlagen

Wie auch bei den Hektarrasterdaten der Einwohner und der Beschäftigten, werden die Koordinaten aus der linken unteren Ecke in die Mitte der Hektare verschoben. Anschliessend werden die Datensätze der Arealstatistik 2004/09 und 1992/97 zusammengefügt. In einem weiteren Schritt werden die Arealtyp-Codes in einem neuen Attribut so kombiniert, dass für alle Hektaren in Gemeinden des Kantons Graubünden der Code aus der Arealstatistik 1992/97 und für die Hektaren in den restlichen Gemeinden der Code aus der Arealstatistik 2004/09 verwendet wird. Um die Hektarrasterpunkte, welche im neuen Attribut einen Wert aufweisen, wird ein Puffer von 150m gelegt und alle Flächen des gleichen Arealtyps, welche sich berühren, werden zusammengefügt. Das heisst, für alle Hektaren des gleichen Arealtyps, deren Mittelpunkte in einem Umkreis von 300m liegen, wird angenommen, dass sie der gleichen Erholungs- oder Grünanlage angehören. Im nächsten Schritt wird pro Verkehrszone die Anzahl der zusammengeführten Flächen desselben Arealtyps ermittelt. Zur besseren Kontrolle wird schliesslich den Codes der Arealstatistik der Arealname zugeordnet.

Abbildung 16 Erholungs- und Grünanlagen



4.3.5 Grosseinrichtungen

Basisdaten:

- Als Grosseinrichtungen werden Fussball- und Eishockeystadien wie auch zoologische und botanische Gärten gesehen. Die Fussball- und Eishockeystadien wurden durch Internetrecherchen (www.wikipedia.org, www.stationwelt.de) ermittelt;
- Betriebszählung 2008
(BZ08_4Steller.csv, BFS);
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE).

Aufbereitung:

Die durch die Internetrecherche erhaltenen Einrichtungen innerhalb der Schweiz werden anhand ihrer Adresse geokodiert und den Verkehrszonen zugeordnet. Für das Fürstentum Liechtenstein kann die Anzahl der Einrichtungen direkt der Verkehrszone zugeordnet werden. Die botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks werden im Kapitel 4.3.7 berechnet und können direkt pro Verkehrszone übernommen werden.

4.3.6 Skilifte

Basisdaten:

- TLM3d – übrige Bahnen (Polylines)
(TLM_UEBRIGE_BAHN.shp, swisstopo);

- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE).

Aufbereitung:

Um die Anzahl der Skilifte ermitteln zu können, wird die Featureklasse „TLM_UEBRIGE_BAHN“ des TLM3d Datensatz verwendet. Aus diesen werden in einem ersten Schritt jene Bahnen selektiert, welche nicht ausser Betrieb und vom Typ Skilift sind sowie in deren Namen nicht „rechte Spur“ vorkommt. Bei Skiliften, die zwei Spuren aufführen, wird nur die linke selektiert. Anschliessend wird die Position der tiefergelegenen Station ermittelt. Hierfür werden die z-Koordinaten der Linien-Enden miteinander verglichen und die x- und y- Koordinaten vom Ende mit der kleineren z-Koordinate als Station festgelegt. Den Stationen werden daraufhin die Verkehrszonen durch Verschneiden zugeordnet. Abschliessend werden die Anzahl Skilifte pro Verkehrszone kumuliert.

Die Anzahl Besucher pro Skilift wird aus den Kantonalen Modellen ermittelt (Vrtic et al. 2010[2], S. 50 ff. und Vrtic et al. 2013, S. 14 ff.).

4.3.7 Freizeitparks

Basisdaten:

- Die Freizeitparkeinrichtungen in der Schweiz wurden durch eine Internetrecherche auf www.tel.search.ch (Zugriff am 6. September 2013) ermittelt. Es wurde dabei eine Abfrage mit den Suchbegriffen „Freizeitanlage“ und „Freizeitpark“ durchgeführt. Anschliessend wurden die relevanten Einrichtungen mit einer geschätzten Besucherzahl von über 1000 Personen pro Tag aufgrund der Angaben im Internet selektiert. Tabelle 18 enthält die auf diese Weise berücksichtigten Freizeiteinrichtungen;
- Verkehrszonen
(Verkehrszonen_Schweiz.shp, ARE).

Aufbereitung:

Den Einrichtungen der Freizeitparks werden anhand ihrer Adresse und mit Hilfe eines auf GoogleMaps basierten Geocoders die geographischen Koordinaten (WGS84) zugewiesen. Anschliessend können aus den Koordinaten Punkt-Features generiert und die Projektion von WGS84 zu LV03 geändert werden. In einem weiteren Schritt wird den Punkt-Features durch eine räumliche Verbindung eine Verkehrszone zugeordnet. Die Anzahl Besucher pro Einrich-

tung wird aufgrund fehlender Informationen einheitlich auf 1500 Besucher pro Einrichtung geschätzt.

Tabelle 18 Freizeitparkeinrichtungen

Freizeitpark	Zonen-Nummer	Zonen-Name
Alpamare	1322	Freienbach
Freizeitpark Niederbüren	3422	Niederbüren
Freizeitpark Schongi-Land	1041	Schongau
Swiss Holiday Park	1366	Morschach
Sport,- Freizeitanlage Vanja	5113	Locarno
La Forêt de L'Aventure de Vercorin	6232	Chalais
Freizeitanlage Parc Aventure	6458	Neuchâtel
JungfrauPark	587	Matten bei Interlaken
Erlebniswelt Seeteufel	749	Studen
Paintball 4 you	1322	Freienbach
Kegelbahn Golden Star	2939	Schaffhausen
Säntispark	3442	Gaiserwald
Conny Land AG	4701	Wäldi
Labyrinthe Aventure	6213	Evionnaz
Evazion Sárl	6153	Monthey

4.3.8 Flugpassagiere

Basisdaten:

- Abfliegende Lokalpassagiere
(Luftverkehr – Linien- und Charterverkehr Jahresresultate 2010.xls, Blatt: C2, BFS)

Aufbereitung:

Da davon ausgegangen wird, dass alle abfliegenden Lokalpassagiere wieder am gleichen Flughafen zurückkommen, wird die Gesamtzahl abfliegenden Passagiere pro Flughafen verdoppelt und den Flughafenzonen manuell zugeordnet.

4.4 Fürstentum Liechtenstein

Basisdaten:

- Beschäftigungsstatistik 2010;
- Volkszählung 2010 – Verkehr, Band 3;
- Liechtensteinische Volkszählung 2010 – Bevölkerungsstruktur, Band 1;
- Bildungsstatistik 2010;
- Logiernächte 2010;
- Fahrzeugstatistik – Bestand 1. Juli 2010;
- Tourismusstatistik 2010 – Jahresheft;
- Internetrecherche (Grosseinrichtungen).

Aufbereitung:

Für die Attribute PW, Beschäftigte, Grenzgänger, Auszubildende, Logiernächte und Erwerbstätige können die Werte aus den entsprechenden Statistiken des Statistischen Amtes Liechtenstein² übernommen werden.

Da die Einwohnerzahlen in der Volkszählung in die Altersklassen „unter 15 Jahren“, „15-29 Jahre“, „30-49 Jahre“, „50-64 Jahre“, „65-84 Jahre“ und „85+ Jahre“ unterteilt sind, werden diese für das NPVM umklassiert. Hierfür werden die ursprünglichen Klassen in 5-Jahresklassen aufgeteilt. Der Aufteilung wird dabei die durchschnittliche Altersverteilung innerhalb der Klassen der Schweiz zugrunde gelegt. Anschliessen werden die 5-Jahresklassen zu den Klassen des NPVM aggregiert.

Die Grosseinrichtungen im Fürstentum Liechtenstein werden, entsprechend dem Vorgehen in der Schweiz, durch eine Internetrecherche ermittelt.

Die Anzahl der Kinos, Skilifte, Spitäler, Freizeitparks, Golfanlagen und Campingplätze wurde durch Internetrecherchen ermittelt.

Die Anzahl der General- sowie Halbtaxabonnemente ist im SBB-Datensatz enthalten und kann zusammen mit den Abonnements der Schweiz ausgewertet werden (vgl. Kapitel 4.2.2).

² <http://www.llv.li/amtstellen/llv-as-home.htm>

Für die restlichen Attribute (Museen, Theater, Bibliotheken, Sportanlagen, Schrebergärten, Friedhöfe und Parks) wird jeweils der Durchschnittswerts einer Schweizer Gemeinde (ohne grosse Städte) verwendet und mit 11, also der Anzahl Gemeinden in Liechtenstein, multipliziert.

4.5 Zonenschwerpunkte und Höhen

Datenquellen:

- Geländedaten auf Hektarraster-Stufe (Gelaendedaten.csv, BFS);
- Den Verkehrszonen zugewiesene STATPOP-Hektarrasterdaten (STATPOP_spatJoin_VkZ_v05.xls, BFS);
- Den Verkehrszonen zugewiesene Hektarrasterdaten der Betriebszählung 2008, hochgerechnet auf das Jahr 2010 (BZ08_4Steller_tot_joindeVZ_Hochrechnung_v01);
- Zentrumskoordinaten der Gemeinden 2000 (GG01_XYZ.csv, BFS).

Aufbereitung:

Pro Verkehrszone wird anhand der Anzahl Vollzeitäquivalente und Einwohner der gewichtete Mittelpunkt aus den Hektarraster-Mittelpunkten berechnet.

$$x_{SP} = \frac{\sum_{h \in Z} (EW_h + AP_h) * x_h}{\sum_{h \in Z} (EW_h + AP_h)}$$
$$y_{SP} = \frac{\sum_{h \in Z} (EW_h + AP_h) * y_h}{\sum_{h \in Z} (EW_h + AP_h)}$$

x_{SP}	X-Koordinate des Schwerpunkts
y_{SP}	Y-Koordinate des Schwerpunkts
h	HektareZ Zone
EW	Einwohner
AP	Arbeitsplätze (=Beschäftigte (Vollzeitäquivalente))

Für alle Verkehrszonen, in welchen der gewichtete Schwerpunkt ausserhalb der Zonengrenzen liegt und die Verkehrszone einer Gemeinde entspricht, wird der berechnete Schwerpunkt durch die Zentrumskoordinate der Gemeinde ersetzt (vgl. Tabelle 19).

Im Fall der Verkehrszone 588606 (Lausanne Foraines), bei welcher der gewichtete Schwerpunkt ausserhalb der Verkehrszone liegt, die Verkehrszone aber nur ein Teil der Gemeinde ist, konnte die Zentrumsordinate nicht verwendet werden. Der gewichtete Schwerpunkt wurde deshalb manuell in die Mitte der nächsten Bauzonenfläche innerhalb der Verkehrszone verschoben.

Tabelle 19 Durch Verwendung der Zentrumsordinate korrigierte Zonenschwerpunkte

Zonen-Nr.	Zonen-Name	sPunkt_x	sPunkt_y	Höhe
21	Adlikon	694'300	271'000	446
38	Rheinau	687'700	277'700	363
343	Untersteckholz	630'600	228'800	494
437	Mont-Tramelan	570'100	228'500	1057
447	Vauffelin	589'600	226'300	708
573	Brienz (BE)	645'300	178'500	596
1091	Mauensee	647'600	224'300	521
1204	Bauen	686'900	199'000	439
1207	Flüelen	690'400	195'600	433
1706	Oberägeri	689'200	221'100	735
3111	Oberegg	759'400	254'600	872
3216	Rorschacherberg	756'100	259'500	559
3354	Krummenau	731'200	234'300	713
3355	Nesslau	733'400	231'800	760
3775	Stampa	765'600	134'700	998
4005	Erlinsbach	643'200	250'100	410
4304	Döttingen	661'700	269'100	347
5096	Brione sopra Minusio	706'300	115'600	440
5107	Gerra (Verzasca)	704'900	130'500	851
5112	Lavertezzo	708'100	123'900	555
5113	Locarno	704'700	113'800	200
5164	Cagiallo	718'700	102'800	524
5184	Gandria	721'200	96'100	284
5303	Bignasco	690'100	132'600	445
5489	Mex (VD)	532'000	158'900	483
5871	L'Abbaye	510'700	164'200	1017
6195	Ferden	624'700	138'100	1368
6797	Montmelon	580'600	244'900	599
558606	Lausanne Foraines	541'370	157'033	833

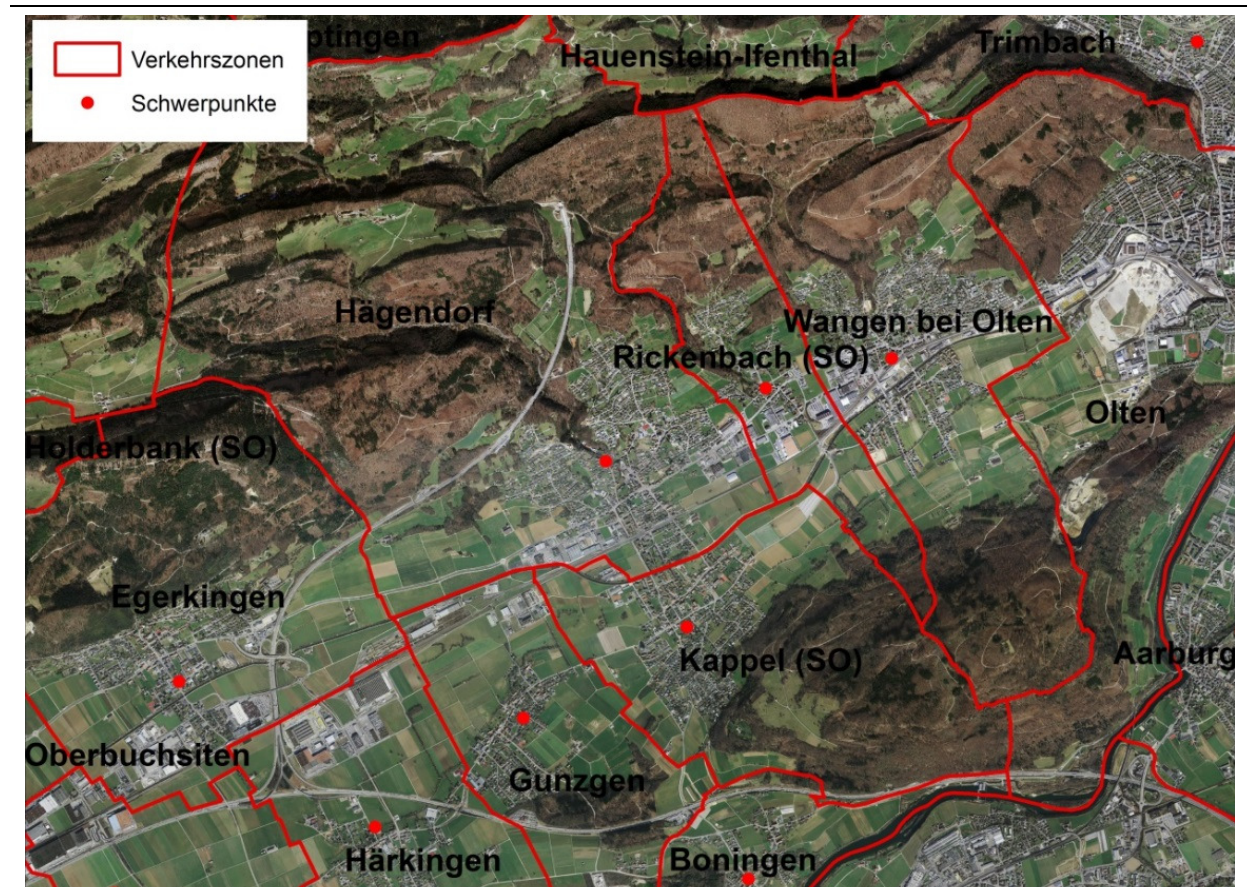
Bei der visuellen Kontrolle der Anbindungen wurden zudem die Schwerpunkte der folgenden Verkehrszonen manuell nach Ermessen und Erfahrung in die Mitte des grössten Siedlungsgebietes der Verkehrszone gelegt.

Tabelle 20 Manuell korrigierte Zonenschwerpunkte bei visueller Kontrolle

Zonen-Nummer	Name
585	Leissigen
843	Saanen
2513	Biberist
2546	Grenchen
2892	Oberdorf (BL)
5161	Cademario
5322	Someo
5729	Tannay
558606	Lausanne Foraines

Ebenfalls manuell wurden die Schwerpunkte der Flughafenzonen bestimmt, da diese über keine geometrische Verkehrszone verfügen.

Abbildung 17 Zonenschwerpunkte (Quelle Luftbild: Swisstopo)



Die Höhe des Schwerpunktes entspricht jener des Hektarrasters, in welcher der Schwerpunkt liegt.

Abbildung 18 Zuweisung der Höheninformationen (Quelle Luftbild: Swisstopo)



5 Nachfrageberechnung

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage (Quelle-Ziel-Matrizen) erfolgt mit der Verkehrsplanungssoftware VISEVA. Die Nachfrageberechnung wird in zwei wesentlichen Arbeitsschritten durchgeführt:

- Integration des Erzeugungsmodells in VISEVA und Berechnung der Verkehrserzeugung und -anziehung;
- Aktualisierung der VISEVA-Modellkomponenten und Berechnung der Quelle-Ziel-Matrizen mit Eichung der Matrixstruktur.

Die Verkehrserzeugung im NPVM 2005 wurde ausserhalb von VISEVA berechnet und als externes Nachfragepotential importiert. Daher wurde hier in einem ersten Schritt die Verkehrserzeugung in VISEVA integriert und anschliessend die Modellrechnungen getestet. Durch die Erstellung der primären Strukturdatenbank und der Protokoll-Dateien mit den spezifischen Verkehrsaufkommen und den Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppe wurde anschliessend das Erzeugungsmodell auf die Gesetzmässigkeiten des MZMV 2010 (hinsichtlich Weglängen, Fahrtzweckanteilen, Modal Split, etc.) geeicht.

In einem zweiten Schritt wurden alle weiteren Modellkomponenten, wie z.B. die Angebotskenngrössen, die Attraktionsvektoren und die Verhaltensparameter, auf den Zustand 2010 aktualisiert. Als zentrale Aufgabe wurden anschliessend die Quelle-Ziel-Matrizen nach Verkehrsmittel und Quelle-Ziel-Gruppe berechnet und die Matrixstruktur auf den MZMV 2010 und die Zählzeiten geeicht.

5.1 Erzeugungsmodell

Für die Integration des Erzeugungsmodells in VISEVA wurde eine Primärdatenbank für das NPVM-Modell aufgebaut und für jede Quelle-Ziel-Gruppe eine entsprechende Protokolldatei mit den spezifischen Verkehrsaufkommen, den Erzeugungsraten, den Randsummenbedingungen und den Überlastungsfaktoren generiert. Aus der Primärdatenbank und den Erzeugungsprotokollen wird durch VISEVA die sekundäre Datenbank mit allen Eingangsdaten sowie den Quell- und Zielverkehrsaufkommen der Zonen erstellt. Die Primärdatenbank entsteht aus den Strukturdaten des NPVM 2010. Das spezifische Verkehrsaufkommen und die Erzeugungsraten werden wie in Kapitel 2.1 beschrieben aus dem MZMV 2010 abgeleitet. Die spezifischen

Verkehrsaufkommen wurden aus dem MZMV 2010 asymmetrisch übernommen. Um die Fahrtzweckanteile der Gesamtnachfrage entsprechend dem MZMV 2010 im Erzeugungsmodell zu erhalten, werden diese zusätzlich durch fahrtzweckspezifische Faktoren leicht angepasst.

Das erzeugte Verkehrsaufkommen gilt zunächst allgemein für alle Verkehrsmittel gemeinsam, wenn nicht a priori eine Einschränkung vorgenommen wird. Wie gross die Aufkommen der einzelnen Verkehrsmittel und die Aufteilung auf die Verkehrsbezirke sind, ergibt sich erst im Modellschritt Verkehrsverteilung / -aufteilung aus den konkurrierenden Angeboten der Verkehrsmittel.

Im Erzeugungsmodell wird nur das Verkehrsaufkommen der im Untersuchungsgebiet (Schweiz und Liechtenstein) vorhandenen Struktur- und Attraktionsgrössen ermittelt. Der Verkehr der ausserhalb des Modellperimeters wohnhaften Personen (Aussenverkehr) wird nicht berücksichtigt. Dieser Verkehr wird aus der alpen- und grenzquerenden Personenverkehrserhebung 2007 (A+GQPV 07) abgeleitet.

Durch die Zuordnung des Verkehrsaufkommens der Quelle-Ziel-Gruppen zu den einzelnen Fahrtzwecken wurden die Fahrtzweckanteile ermittelt und mit den Ergebnissen des MZMV 2010 verglichen. Das Ergebnis ist in Tabelle 21 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass in den Zonen innerhalb des Modellperimeters an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 31.2 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spezifisches Verkehrsaufkommen von 3.9 Wegen pro Person. Die anhand der Verkehrsaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen ermittelten Fahrtzweckanteile entsprechen den Ergebnissen des MZMV 2010. Von der gesamten Verkehrsmenge sind ca. zwei Drittel Wege mit den Fahrtzwecken Pendeln und Freizeit und ca. ein Drittel Wege mit den Zwecken Nutzfahrt und Einkauf.

Tabelle 21 Eckwerte des Verkehrsaufkommens und Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2010

Fahrtzweck	Berechnete Wege [Mio]	Anteil berechneter Wege [%]	MZMV 2010 [%]
Arbeit	7.90	25.3	25.3
Ausbildung	2.77	8.9	8.7
Einkauf	7.53	24.1	24.2
Nutzfahrt	2.80	9.0	9.0
Freizeit	10.21	32.7	32.8
	31.21	100.0	100.0

5.2 Modellparameter

Die durch die Verkehrserzeugung berechneten Quell- und Zielverkehrsaufkommen werden im nächsten Schritt auf die Verkehrsmittel und die Zonen verteilt. Ziel der dazu verwendeten Modelle der Verkehrsverteilung und -aufteilung ist die Ermittlung der Verkehrsströme v_{ijk} zwischen allen möglichen Quellen i und Zielen j mit den Verkehrsmitteln k . Dafür müssen zunächst die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsverteilung (Zielwahl) und -aufteilung (Verkehrsmittelwahl) bestimmt werden, die durch die aus Modellschätzungen resultierenden Verhaltensparameter festgelegt werden. Da seit der letzten Modellerstellung keine neuen Parameterschätzungen für das NPVM durchgeführt wurden, werden diese wie in den bestehenden NPVM-Zuständen 2000 und 2005 aus Vrtic *et al.* (2003) übernommen. Damit werden der Modellansatz sowie die damals geschätzten und verfügbaren Modellparameter unverändert übernommen. Fehlende Parameter für einzelne neu einzubauender Variablen sowie für den Fahrtzweck Ausbildung wurden aus folgenden Studien übernommen:

- Testschätzungen zur SP-Befragung 2010 (ARE, 2011): die Parameter für die Bedeutung der Sprachregion (Italienisch und Französisch) bei der Verkehrsmittelwahl;
- Schätzung der Modellparameter für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn (Weis *et al.*, 2012): Parameter für den Fahrtzweck Ausbildung sowie die Variable „Höhe“ für den Langsamverkehr;
- SVI-Studie „Einfluss des Parkierungsangebots auf das Verkehrsverhalten und den Energieverbrauch“ (siehe Widmer *et al.*, in Arbeit): Ableitung der Parameter für die Parksuchzeit und Parkkosten aus den Parameterverhältnissen Reisezeit/Parksuchzeit bzw. Parkkosten/Treibstoffkosten.

Somit erfolgt die Berechnung der Entscheidungen bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen bzw. der Wahl der Ziel-Verkehrsmittelwahl-Kombinationen aufgrund einer dreistufigen Nutzenfunktion mit soziodemographischen, Verkehrsmittel- und Attraktionscharakteristiken. Die folgenden Einflussfaktoren werden berücksichtigt:

- Soziodemographie: PW-Verfügbarkeit, Zeitkarten-Besitz (GA und Halbtax), Alter, Verhaltensunterschiede durch Zugehörigkeit zu Sprachregionen;
- Verkehrsangebot: MIV-Reisezeit, MIV-Kosten, Parkkosten und -suchzeit, ÖV-Beförderungszeit, ÖV-Kosten, Umsteigehäufigkeit, Angebotsintervall (Takt), Zu- und Abgangszeit, LV-Reisezeit, Höhendifferenz (LV), Zusatzkonstante MIV und ÖV;

- Attraktionscharakteristiken: Einwohnerzahl, Erwerbstätige, Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Freizeiteinrichtungen, Verkaufsflächen, Parkplatzangebot, Bedeutung der Stadt Bern als Hauptstadt.

Die soziodemographischen Variablen werden als quellseitige Vektoren abgebildet. Die Attraktionscharakteristiken der Zonen werden als Produktmatrix aus dem quell- und zielseitigen Vektor berechnet. Damit wird z.B. für die Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeit eine Matrix aus dem quellseitigen Vektor „Erwerbstätige“ und dem zielseitigen Vektor „Arbeitsplätze“ abgeleitet:

$$MEA=[(\text{Vektor Erwerbstätige} \times \text{Vektor Arbeitsplätze})/((\text{Vektor Erwerbstätige} + \text{Vektor Arbeitsplätze})/2)]$$

Dadurch werden die Zusatznutzen der Zielzonen in Abhängigkeit des Potentials der Quellzonen berechnet, was vor allem bei den Quelle-Ziel-Gruppen mit beidseitig harten Randsummenbedingungen eine verbesserte räumliche Differenzierung der Zusatznutzen ermöglicht. Mit diesem Vorgehen wurden alle zielseitigen Vektoren aus dem NPVM 2005 durch quell-ziel-seitige Matrizen ersetzt.

Die Variable Bern-Hauptstadt wurde eingefügt, um die nicht über andere Strukturgrössen quantifizierbare Bedeutung der Hauptstadt und das dadurch erzeugte erhöhte Verkehrsaufkommen abzubilden. Die Zusatzkonstanten (MIV und ÖV) werden vor allem für Beziehungen zwischen Grossstädten sowie für Beziehungen, bei denen die Modal-Split-Verhältnisse stark vom ermittelten Mittelwert aus dem MZMV 2010 abweichen, verwendet. Bei den Parksuchzeiten und -kosten werden unterschiedliche Werte für die Beziehungen von bzw. nach Grossstädten und andere Beziehungen (ausserhalb der Grossstädte) verwendet.

Die im Modell verwendeten Parameterwerte sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Tabelle 22 Modellparameter Verkehrsmittel- und Zielwahl

	Modell Parameter (β)				
	Arbeit	Ausbildung	Nutzfahrt	Einkauf	Freizeit
MIV					
Fahrtzeit PW[min]	-0.049	-0.061	-0.031	-0.053	-0.021
PW-Verfügbarkeit	1.118	1.118	1.153	1.257	0.715
Fahrtkosten [CHF]	-0.191	-0.314	-0.025	-0.126	-0.049
Parksuchzeit [min]	-0.052	-0.065	-0.033	-0.056	-0.022
Parkkosten [CHF]	-0.255	-0.421	-0.034	-0.170	-0.066
Sprache Französisch	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225
Sprache Italienisch (PW)	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370
Bern-Hauptstadt (PW)	2.500	0.000	2.500	0.000	0.000
Zusatzkonstante (PW)	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
λ Fahrt- und Suchzeit**	1.350	1.600	1.500	1.525	1.600
λ Fahrt- und Suchkosten**	0.800	1.475	1.500	1.100	1.100
ÖV					
Beförderungszeit [min]	-0.028	-0.032	-0.023	-0.033	-0.014
Zugangszeit [min]	-0.056	-0.056	-0.034	-0.075	-0.033
Fahrtkosten [CHF]	-0.191	-0.314	-0.025	-0.126	-0.049
Intervall [min]	-0.014	-0.014	-0.010	-0.006	-0.005
Umsteigezahl	-0.502	-0.502	-0.524	-0.492	-0.351
GA Besitz	0.801	0.801	1.752	1.193	1.787
Halbtax Besitz	0.894	0.894	0.874	1.036	1.028
Alter	0.001	0.001	0.035	0.001	0.001
Bern-Hauptstadt (ÖV)	2.000	0.000	2.000	0.000	0.000
Zusatzkonstante (ÖV)	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
λ Fahrtzeit **	1.100	1.450	1.170	1.450	1.300
λ Fahrtkosten**	0.800	1.475	0.800	1.100	1.100
LV					
Reisezeit [min]	-0.073	-0.061	-0.045	-0.075	-0.030
Höhedifferenz [m]	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
λ Fahrtzeit **	1.025	1.220	1.130	1.10	1.300
Attraktion*					
Arbeitsplatz	0.266		0.339		
Ausbildungsplatz		0.094			
Verkaufsfläche				0.175	
Einwohner		0.296		0.384	0.156
Erwerbstätig	0.322		0.413		
Freizeitangebot					0.166

(*) Die Attraktionsvariablen wurden für die Verwendung in den Nutzenfunktionen wie folgt umgerechnet: $\ln(\text{Wert}/1'000)$.(**) λ für Box-Tukey-Transformation

5.3 Matrixerstellung: Vorgehen

Anhand der in der Verkehrserzeugung ermittelten Quell- und Zielverkehrsaufkommen, der Angebots- und Attraktionsdaten sowie der geschätzten Modellparameter werden in einem weiteren Schritt mit VISEVA die Quelle-Ziel-Matrizen bzw. die Verkehrsströme für die drei betrachteten Verkehrsmittel MIV, ÖV und LV erstellt.

Um von den in der Erzeugung berechneten Quell- und Zielverkehrsaufkommen zu Verkehrsströmen „von i nach j mit Verkehrsmittel k “ zu gelangen, ist eine Bewertung der Wege mit den einzelnen Verkehrsmitteln notwendig. Diese Bewertung bzw. Berechnung des Nutzens für alle Quelle-Ziel-Beziehungen und Verkehrsmittel erfolgt anhand der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Modellparameter und der abgeleiteten Angebots-, Soziodemographie- und Attraktionsvariablen. Die Ermittlung der Verkehrsströme erfolgt unter Beachtung von Randsummen- und Gleichgewichtsbedingungen.

$$V_{ijk} = \text{Konstante} + \sum_i \beta_{\text{Verkehrsangebot } i} X_{\text{Verkehrangebot } i} + \sum_j \beta_{\text{Attraktion } j} X_{\text{Attraktion } j} + \sum_k \beta_{\text{Soziodem } k} X_{\text{Soziodem } k}$$

Für das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell werden in VISEVA neben den Strukturdaten für das Erzeugungsmodell auch die Angebots-, Soziodemographie- und Attraktionsvariablen sowie die geschätzten Modellparameter importiert. Die Angebotsvariablen werden aus den zuvor erstellten Verkehrsnetzen abgeleitet. Die für die Berechnung der Nachfrage jedes Verkehrsmittels berücksichtigten Angebots-, Soziodemographische und Attraktionsvariablen sind in Tabelle 23 dargestellt.

Für das ÖV-Modell wurde eine fahrplanfeine Umlegung und für den MIV eine Gleichgewichtsumlegung verwendet. Die LV-Zeiten werden aus dem MIV-Netz anhand von mittleren Reisegeschwindigkeiten (4.8 km/h) ermittelt. Die Reisekosten im ÖV werden mit 0.20 CHF/km und im MIV mit 0.16 CHF/km angesetzt. Die Kostenverhältnisse wurden im Rahmen der ICN-Studie (siehe Vrtic *et al.*, 2003) durch das ARE und die SBB festgelegt. Diese beinhalten im MIV die variablen Kosten und sind im ÖV als grober Mittelwert aus der Abonnements- und Verkehrsleistungsstruktur zu verstehen. Alle weiteren Variablen wurden direkt aus dem VISUM-Umlegungsmodell abgeleitet. Das Intervall im ÖV wird als mittlere Anpassungszeit (MEAP) einer Quelle-Ziel-Beziehung berechnet.

Tabelle 23 Komponenten der Nutzenfunktionen

	MIV	ÖV	LV
Verkehrsangebot	Reisezeit	Beförderungszeit	Reisezeit
	Reisekosten	Reisekosten	Höhe
	Parksuchzeit	Zu- und Abgangszeit	
	Parkkosten	Umsteigezahl Intervall	
Soziodemographie	PW-Besitz	Generalabonnement	
	Sprache	Halbtaxabonnement	
		Alter	
Raum (Attraktion)	Einwohner	Einwohner	Einwohner
	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze
	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze
	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche
	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot
	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige
	Bern-Hauptstadt	Bern-Hauptstadt	
	Zusatzkonstante	Zusatzkonstante	

Für die Erstellung der ÖV-Angebotskenngrössen werden die gleichen Parametereinstellungen verwendet wie bei der Umlegung. Bei den Verfahrensparametern werden dabei die fixen Anbindungsanteile nicht verwendet (da diese bei der Kenngrössenberechnung in der aktuellen Version von VISUM nicht einbezogen werden können).

Die verwendeten Einstellungen des Alternativsatzes und die Widerstandsbewertung sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 19 und Abbildung 20) dargestellt. Des Weiteren wird bei der Berechnung der MIV-Reisezeit, im Gegensatz zur Umlegung, für die Anbindungszeit eine konstante CR-Funktion angenommen. Es werden also hier belastungsunabhängige Anbindungszeiten berechnet.

Abbildung 19 Vorauswahl bei der Kenngrößenberechnung

The screenshot shows a software window titled "Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein" with a close button (X) in the top right corner. The window has a tabbed interface with the following tabs: "Basis", "Suche", "Vorauswahl" (which is the active tab), "Widerstand", "Wahl", "Kapazitätsbeschränkung", and "Auslastungsabhängiger Widers".

Inside the "Vorauswahl" tab, the text reads: "Bei Beziehungen, für die Verbindungen sowohl mit ÖV (Linien- oder Zusatz-VSys) als auch ohne ÖV (nur Zugang, Abgang, Fußwege) gefunden wurden:".

Below this text is a dropdown menu with the selected option "Alle Verbindungen ohne ÖV löschen".

There is a checkbox labeled "Verbindungen löschen, die erst nach Ende des Umlegungszeitraums abfahren".

Three numbered rules for deleting connections are listed:

1. Eine Verbindung wird gelöscht, wenn
SuchWid > 1.50 * minimaler SuchWid + 10.00
SuchWid wird entsprechend den Suchparametern berechnet.
2. Für alle verbleibenden Verbindungen: Eine Verbindung wird gelöscht, wenn
Reisezeit > 1.50 * minimale Reisezeit + 10min
und Umsteigehäufigkeit nicht minimal
oder
Umsteigehäufigkeit > minimale Umsteigehäufigkeit + 1
und Reisezeit nicht minimal
3. ☐ Für alle verbleibenden Verbindungen: Eine Verbindung wird gelöscht, wenn
empf, Reisezeit ERZ > 1.50 * mittlere ERZ + 0min

Abbildung 20 Parameter für die Widerstandfunktion bei der Kenngrössenberechnung

empf. Reisezeit ERZ =

	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda
	1.00	Fahrzeit im Fzg	*	1.0	☐ 1.00
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	*	1.0	☐ 1.00
+	2.70	Zugangszeit			☐ 1.00
+	2.70	Abgangszeit			☐ 1.00
+	2.70	Gehzeit			☐ 1.00
+	1.39	Startwartezeit	Parameter		☐ 1.00
+	0.50	Umsteigewartezeit	Parameter		☐ 1.00
+	21min	Umsteigehäufigkeit	* Formel		☐ 1.00
+	0min	Anzahl Betreiberwechsel	Parameter		☐ 1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstand	* Formel		☐ 1.00

DeltaT = ABS (Wunschabfahrtszeit - tatsächliche Abfahrtszeit)

☐ Verbindungen mit DeltaT > 0 berücksichtigen, wenn Verb. mit DeltaT = 0 existiert

Widerstand =

Um eine plausible Matrixstruktur im interzonalen Verkehr ermitteln zu können, ist es wichtig, dass auch der Anteil des intrazonalen Verkehrs möglichst plausibel abgeschätzt wird. Der Anteil des intrazonalen Verkehrs wird vor allem durch die Angebotsvariablen auf den Diagonalen, d.h. den mittleren Widerstand für einen Weg innerhalb einer Zone, beeinflusst. Da es in VISUM nicht möglich ist, eine plausible Besetzung der Hauptdiagonalen der Aufwandsmatrizen zu generieren, werden die Hauptdiagonalen der Angebotskenngrössenmatrizen für LV, ÖV und MIV extern über das Zeilen-/Spaltenminimum bestimmt. Dazu wurde zunächst für jedes Element der Hauptdiagonalen das Minimum der Elemente aus den zugehörigen Zeilen und Spalten der Aufwandsmatrizen gebildet. Anschliessend wurde dieses Minimum mit einem Faktor von 0.7 multipliziert und in die Aufwandsmatrix übernommen.

$$A_{ii} = 0.7 \times \min(A_{ij}; A_{ji})$$

Dies bewirkt, dass alle Aufwände des Binnenverkehrs 30% tiefer sind als die kleinsten Aufwände zu einem benachbarten Verkehrsbezirk.

In einem weiteren Schritt werden die so generierten Aufwandsmatrizen exportiert und in ein Excel-Tool eingespielt. In diesem Tool werden die durchschnittlichen Aufwände der Hauptdiagonalen für das Planungsgebiet bestimmt. Diesen durchschnittlichen Aufwänden wird ein als realistisch angesehener Wert (für Reiseweite und Reisezeit) gegenübergestellt und ein Korrekturfaktor berechnet. Abschliessend werden die Aufwände der Hauptdiagonalen mit diesem Korrekturfaktor multipliziert und für die Verkehrsnachfrageberechnung verwendet. Die berechneten Werte nach Verkehrsmittel werden gegenübergestellt und plausibilisiert. Anschliessend werden die mit den verwendeten Angebotskenngrössen und Diagonalwerten ermittelten Anteile des intrazonalen Verkehrs analysiert und mit dem MZMV 2010 verglichen. Betrachtet wird hier nicht nur der Anteil des intrazonalen Verkehrs, sondern auch die mittlere Weglänge, da diese zwei Grössen voneinander abhängig sind. In einer folgenden Iteration werden die Widerstände der Diagonalen entsprechend mit Korrekturfaktoren angepasst. Hier ist zu beachten, dass das Schwergewicht des Projekts auf interzonalen Wegen im Strassen- und öffentlichen Verkehr liegt und eine Eichung der intrazonalen Wege sowie der LV-Wege nicht im Vordergrund steht.

Die aus VISUM berechneten Angebotskenngrössen müssen vor der Nachfrageberechnung ebenfalls plausibilisiert werden, da diese durch Null-Werte sowie sehr hohe Werte bei Beziehungen ohne Verbindung zu Fehlermeldungen oder nicht plausiblen Ergebnissen führen. Die Null-Werte entstehen vor allem in Grossstädten, wenn zwei Zonen an die gleiche Haltestelle angebunden sind und somit der Weg zwischen den beiden Zonen nicht über das Netz führt. In solchen Fällen wird ein Minimalwert gesetzt (Distanz = 1 km, ÖV-Zeit = 2 min, ÖV-Intervall = 15 min). Bei den Flughäfen werden die Widerstände auf der Diagonale so hoch gesetzt, dass kein intrazonaler Verkehr entsteht.

Charakteristisch für das Modell ist, dass die Verkehrsverteilung und -aufteilung simultan und nach gleichen Grundsätzen vorgenommen werden. In allen Fällen ergeben sich für die gesuchten Verkehrsströme n-lineare Gleichungssysteme (bei harten Randsummenbedingungen) oder Ungleichungen (bei weichen Randsummenbedingungen), die mit geeigneten Iterationsverfahren zu lösen sind.

Die Berechnung der Verkehrsströme wird für alle 17 Quelle-Ziel-Gruppen und die drei betrachteten Verkehrsmittel durchgeführt. Damit werden insgesamt 51 Verkehrsstrommatrizen erstellt. Da zwischen den einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen Abhängigkeiten vorhanden sind, werden die jeweiligen Verkehrsströme teilweise mit harten oder weichen Randsummenbedingungen berechnet (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24 Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Ströme

QZG	Quelle-Ziel-Gruppe	Quellverkehr	Zielverkehr
WA	Wohnen – Arbeit	hart	hart
AW	Arbeit – Wohnen	hart	hart
WB	Wohnen – Bildung	hart	hart
BW	Bildung – Wohnen	hart	hart
WN	Wohnen - Nutzfahrt	hart	hart
NW	Nutzfahrt - Wohnen	hart	hart
WE	Wohnen – Einkauf	hart	weich
EW	Einkauf – Wohnen	weich	hart
WS	Wohnen – Freizeit	hart	weich
SW	Freizeit – Wohnen	weich	hart
AS	Arbeit – Sonstiges	hart	weich
SA	Sonstiges – Arbeit	weich	hart
NS	Nutzfahrt – Sonstiges	hart	weich
SN	Sonstiges - Nutzfahrt	weich	hart
ES	Einkauf – Sonstiges	hart	weich
SE	Sonstiges – Einkauf	weich	hart
SS	Sonstiges - Sonstiges	weich	weich

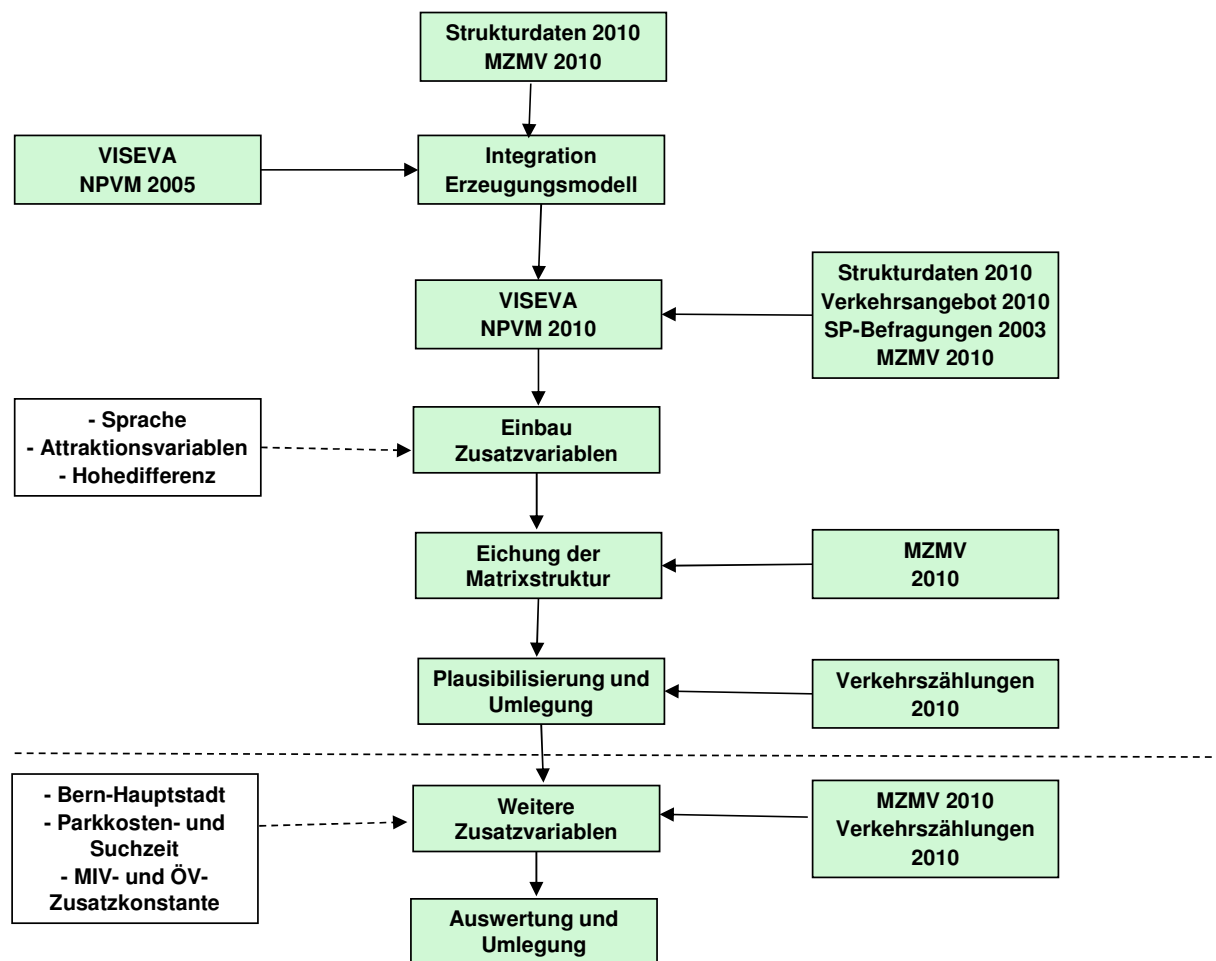
Vor der Erstellung der endgültigen Matrizen war es notwendig, verschiedene Testläufe durchzuführen. Diese dienen der Überprüfung der Plausibilität der Eingangsdaten, und der Optimierung der Ansätze für die Eichung des Modells.

Die Erstellung der Quelle-Ziel-Ströme wird durch eine Rückkoppelung zwischen der Matrixerstellung und der Plausibilisierung der Matrixstruktur optimiert. Wie im folgenden Kapitel beschrieben wird aus einem Vergleich der ermittelten Matrixstruktur mit den vorhandenen Erhebungsdaten eine Plausibilisierung der verwendeten Eingangsdaten durchgeführt. Es werden darüber hinaus die Modellstruktur, die Funktionsformen der Ziel- und Verkehrsmittelwahl und die Modellparameter überprüft sowie eventuelle Fehler in den Angebotsvariablen korrigiert. Zusätzlich werden in den ersten Iterationsschritten die Auswirkungen der intrazonalen Angebotsvariablen bzw. der Diagonale (Angebotscharakteristiken für die Wege innerhalb einer Zone) überprüft. Die Erstellung und Eichung der Matrixstruktur ist demnach ein iterativer Prozess. Das Vorgehen ist in Abbildung 21 dargestellt. Die Kalibration der Matrizen auf die Querschnittszählungen erfolgt erst nach der Umlegung, wenn die Matrixstruktur plau-

sibel und geeicht ist. Die Eichung der Matrixstruktur erfolgt wie in Abbildung 21 dargestellt in zwei Schritten:

- Eichung der Matrixstruktur mit dem Variablensatz aus dem NPVM 2005, inklusive der Variablen Sprache und Höhendifferenz;
- Einbau von Zusatzvariablen (Parksuchzeit und -kosten, Bern-Hauptstadt und Zusatzkonstanten).

Abbildung 21 Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur



Im ersten Iterationsschritt wurde die auf die Struktur des MZMV 2010 geeichte Matrix umgelegt und die Differenzen gegenüber den Zählenden sowie des Verkehrsaufkommens zwischen den einzelnen Quelle-Ziel-Beziehungen geprüft. Hier wurde festgestellt, dass die auf den MZMV 2010 geeichte Matrixstruktur in einzelnen Korridoren sowie zwischen Grossstädten noch immer grössere Abweichungen gegenüber den Erhebungsdaten aufweist. Neben den Zählenden wurden hier vor allem die im Rahmen der ICN-Studie erstellten und aus den Erhe-

bungen abgeleiteten Quelle-Ziel-Matrizen sowie daraus abgeleitete Spinnenanalysen als Grundlage verwendet.

Aus diesem Grund wurden in einem zweiten Iterationsschritt weitere Zusatzvariablen eingebaut und kalibriert. Neben der Parksuchzeit und den Parkkosten wurden zwei weitere Variablen als Konstanten eingebaut: Bern-Hauptstadt sowie Zusatzkonstanten für den MIV und den ÖV. Die Variable Bern-Hauptstadt bildet die Bedeutung der Hauptstadt im Arbeits- und Nutz-fahrtverkehr ab. Dafür wurde für alle Zonen mit einer Einwohnerzahl über 7'500 eine Zusatzkonstante für die Beziehung von bzw. nach Bern eingefügt. Diese Konstante wird für die Verkehrsmittel MIV und ÖV berücksichtigt.

Die Reiseweitenverteilung aus dem MZMV 2010 zeigt, dass sowohl im MIV als auch im ÖV die Verteilung der Wege im Raum auf relativ kurze Distanzen beschränkt ist (siehe Abbildung 1 bis Abbildung 5, Kapitel 2.3). Dadurch liegen die Streckenbelastungen der auf den MZMV 2010 geeichten Quelle-Ziel-Matrix auf den Autobahnen sowie auf den ÖV-Fernverkehrsachsen unter den gezählten Querschnittsbelastungen. Bei der Bewertung der Differenzen gilt es zu bedenken, dass die Daten des MZMV auf einer Stichprobe beruhen, die in ihrer Grösse begrenzt ist. Dementsprechend steigt die statistische Unsicherheit, wenn Verhaltensweisen analysiert werden, die nur selten zu beobachten sind. Auch durch den Einbau zusätzlicher Variablen wie Parksuchzeit, Parkkosten und Bern-Hauptstadt konnten diese Differenzen nicht ausreichend reduziert werden. Aus diesem Grund wurde sowohl im MIV als auch im ÖV je eine zusätzliche Konstante eingebaut. Durch die Analyse der ermittelten Ströme zwischen einzelnen Quelle-Ziel-Beziehungen, Spinnenanalysen auf einzelnen Querschnitten, Vergleiche mit den Ergebnissen der ICN-Studie sowie Differenzen gegenüber den Querschnittszählungen wurden die Beziehungen bestimmt, bei denen sich eine zusätzliche Konstante kalibrieren lässt und somit zu plausibleren Ergebnissen führt. Es zeigte sich, dass sich durch diese Zusatzkonstante zwei unplausible Effekte in einzelnen Korridoren oder Quell-Ziel-Beziehungen korrigieren lassen:

- Abweichungen in den Modal-Split-Verhältnissen;
- Abweichungen in der Verkehrsverteilung (räumliche Verteilung der Verkehrsnachfrage).

Die Abweichungen in den Modal-Split-Verhältnissen sind in solch grossräumigen Modellen nicht zu vermeiden, da diese Anteile regional sehr unterschiedlich sind (z.B. ist der ÖV-Anteil im Tessin deutlich kleiner als im Grossraum Zürich, obwohl die Angebotsqualitäten recht ähnlich sind), im Nachfragemodell aber einheitliche Gesetzmässigkeiten verwendet werden.

Hier muss beachtet werden, dass diese Differenzen nicht nur durch Angebots- oder Siedlungscharakteristiken, sondern vor allem durch unterschiedliche Einstellungen der Verkehrsteilnehmer entstehen. Deshalb sind in einzelnen Korridoren oder Regionen bei sehr ähnlichen Angebotsverhältnissen die Modal-Split-Anteile stark unterschiedlich. Bei der Verkehrsverteilung wird durch die Kalibrierung auf die Reiseweitenverteilung des MZMV 2010 vor allem die Anziehungskraft zwischen den Grossstädten stark unterschätzt, da auch hier mit einheitlichen Gesetzmässigkeiten gerechnet wird. Andererseits kann im Nachfragemodell mit seinem einheitlichen Parametersatz die erwähnte Einstellungsdifferenz oder die unterschiedlichen Verteilungsgesetzmässigkeiten nicht räumlich differenziert werden, da hier mit schweizweiten Mittelwerten gearbeitet werden muss.

Durch den Einbau von Zusatzkonstanten lassen sich diese Abweichungen im Nachfragemodell aber reduzieren. Da im MIV und ÖV keine Erhebungsmatrizen als Grundlage für die Kalibrierung der Zusatzkonstanten vorhanden ist, wird hier die Konstante nur für die Beziehungen und Korridore mit erklärbaren und nachvollziehbaren Differenzen vereinfacht kalibriert. Die kalibrierten Konstanten (absoluter Wert der Variable) werden in allen Modellzuständen bzw. Modellanwendungen unverändert übernommen und beeinflussen damit die Anwendungsergebnisse bzw. die Prognosefähigkeit des Modells nicht, da die verwendeten Modellansätze auf absoluten Nutzendifferenzen basieren und diese somit im Ist- und Prognosezustand gleich sind. Mit einer gezielt erhobenen grösseren Stichprobe könnte man die Eichung der Reiseweitenverteilung verbessern, was die Modellgenauigkeit deutlich erhöhen würde.

Im Rahmen der Eichung der Matrixstruktur wurden sowohl die Modellstruktur (harte und weiche Randsummenbedingungen und Lösungsverfahren) als auch die Modellfunktionen und die einzelnen Modellparameter optimiert. Bei bestimmten Quelle-Ziel-Gruppen wurde dafür eine sogenannte Box-Turkey-Transformation verwendet, um eine nichtlineare Modellfunktion – und damit eine bessere Anpassung an die Realität – zu erreichen. Diese Funktionen lassen sich durch die Einführung von zusätzlichen Modellparametern in VISEVA sehr flexibel einbauen. Die entsprechende Transformation wurde bei den Zeit- und Kostenparametern verwendet, da diese Variablen für die Verkehrsverteilung und -aufteilung von zentraler Bedeutung sind. Durch die Modelloptimierung war es möglich, sowohl die Verkehrsmittelwahlanteile als auch die Reiseweitenverteilung der Matrizen auf die Erhebungsdaten zu eichen. Da die Stichprobengrösse des MZMV 2010 für die behandelte Fragestellung eine beschränkte Genauigkeit bedeutet, wird bei der Eichung der Matrix keine maximale Übereinstimmung mit dem MZMV 2010 angestrebt.

5.4 Validierung der Matrixstruktur (Binnenverkehrsmatrix)

Bei der Validierung der Matrixstruktur wurden gegenüber dem MZMV 2010 folgende Vergleiche durchgeführt:

- Fahrtzweckanteile;
- Verkehrsmittelwahlanteile;
- Anteil des inter- und intrazonalen Verkehrs;
- Reiseweiten- und -zeitverteilung;
- mittlere Reiseweite und -zeit;

Tabelle 25 zeigt die Eckwerte der berechneten Matrizen für alle und nur interzonale Wege im Binnenverkehr (Schweiz und Liechtenstein) aufgeteilt nach Verkehrsmittel und Fahrtzweck.

Tabelle 25 Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen

Alle Wege				
[Mio.]	MIV	ÖV	LV	Total
Arbeit	4.34	1.34	2.22	7.90
Ausbildung	0.32	0.79	1.65	2.77
Nutzfahrt	2.09	0.15	0.56	2.80
Einkauf	3.63	0.76	3.14	7.53
Freizeit	5.28	1.27	3.65	10.21
Summe	15.67	4.32	11.22	31.21
Interzonale Wege				
[Mio.]	MIV	ÖV	LV	Total
Arbeit	3.85	1.19	0.78	5.80
Ausbildung	0.31	0.73	0.38	1.42
Nutzfahrt	1.92	0.14	0.23	2.28
Einkauf	3.13	0.64	0.85	4.62
Freizeit	4.92	1.20	1.10	7.22
Summe	14.11	3.90	3.33	21.34

Von den ca. 31 Mio. Wegen werden ca. 50% mit dem MIV, 14% mit dem ÖV und 36% mit dem LV zurückgelegt. Werden nur die interzonalen Wege betrachtet, erhöht sich der MIV-Anteil auf 66% und der ÖV-Anteil auf 18%. Dementsprechend reduziert sich der Anteil der LV-Wege auf 16%. Die Betrachtung des Modal Splits nach Fahrtzwecken zeigt, dass der ÖV-Anteil bei Pendlerfahrten höher liegt als bei den übrigen Fahrtzwecken.

Die Modal-Split-Anteile nach Fahrtzwecken sowie der Vergleich mit dem MZMV 2010 sind in Tabelle 26 dargestellt. Hier ist festzustellen, dass die Übereinstimmung der Modellergebnisse mit dem MZMV 2010 bei Betrachtung aller Wege sehr gut ist. Bei Betrachtung nur interzonaler Wege ist zu beachten, dass bei der Eichung der Matrixstruktur neben den Verkehrsmittelwahlanteilen auch weitere Kriterien, wie die Reiseweitenverteilung, die Übereinstimmung mit den Querschnittszählungen etc., berücksichtigt werden.

Aus Tabelle 26 ist ersichtlich, dass der ÖV-Anteil im Modell etwas unter den Anteilen des MZMV 2010 liegt. Dieses Ergebnis entsteht aus der Analyse der Matrixstruktur und den Vergleichen der Modellbelastungen und Querschnittszählungen sowie der Reiseweitenverteilungen und wurde dementsprechend gezielt angestrebt. Trotz der tieferen ÖV-Anteile der VISEVA-Matrix gegenüber dem MZMV 2010 liegen die Streckenbelastungen über den Querschnittszählungen, was vor allem auf die Netz- und Zonendichte des Modells zurückzuführen ist.

Tabelle 26 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen und Vergleich mit dem MZMV 2010

	Alle Wege					
	MIV		ÖV		LV	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	55.0	56.8	17.0	17.8	28.1	25.4
Ausbildung	11.6	13.3	28.6	28.5	59.7	58.2
Nutzfahrt	74.6	75.3	5.5	6.0	19.9	18.7
Einkauf	48.2	48.3	10.1	10.2	41.7	41.5
Freizeit	51.7	49.7	12.5	11.8	35.8	38.6
Total	50.2	50.3	13.8	14.2	36.0	35.5
	Interzonale Wege					
	MIV		ÖV		LV	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	66.2	66.0	20.5	24.3	13.2	9.7
Ausbildung	21.6	22.6	51.7	57.6	26.7	19.8
Nutzfahrt	83.8	86.8	6.3	9.0	9.9	4.2
Einkauf	67.7	69.8	13.7	17.6	18.5	12.6
Freizeit	68.2	68.4	16.6	19.4	15.3	12.1
Total	66.1	66.6	18.3	22.3	15.6	11.1

Die ermittelten Verkehrsleistungen (Personenkilometer) und die mittleren Reiseweiten bzw. -zeiten nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel sind in den folgenden zwei Tabellen (Tabelle 27 und Tabelle 28) dargestellt. Es ist zu sehen, dass der grösste Teil der Verkehrsleistung im MIV und ÖV für die betrachtete Zonierung im interzonalen Verkehr stattfindet. Wie erwartet sind die Wege für den Fahrtzweck Nutzfahrt sowohl im MIV als auch im ÖV aufgrund der Geschäftsfahrten deutlich länger als für andere Fahrtzwecke.

Tabelle 27 Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel

[Mio. Pkm]	Alle Wege			
	MIV	ÖV	LV	Total
Arbeit	58.4	27.4	6.5	92.3
Ausbildung	5.2	13.2	4.9	23.3
Nutzfahrt	34.6	6.1	1.6	42.3
Einkauf	37.1	8.6	9.2	55.0
Freizeit	81.6	31.1	11.1	123.8
Total	216.8	86.5	33.4	336.7

[Mio. Pkm]	Interzonale Wege			
	MIV	ÖV	LV	Total
Arbeit	56.5	27.0	1.7	85.2
Ausbildung	5.2	13.0	0.8	19.0
Nutzfahrt	33.9	6.1	0.5	40.5
Einkauf	35.2	8.3	1.7	45.2
Freizeit	80.2	30.9	2.5	113.6
Total	210.9	85.3	7.3	303.6

Aus der Analyse der mittleren Reiseweiten der einzelnen Fahrtzwecke lassen sich teilweise die Gesetzmässigkeiten des Zielwahlverhaltens erkennen (siehe Tabelle 28). Wie erwartet werden vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt. Diese Wege haben einen höheren Anteil an LV-Wegen sowie am intrazonalen Verkehr. Dies wird unter anderem durch die räumliche Verteilung der Attraktionsgrössen (Ausbildungsplätze und Einkaufszentren bzw. -strassen) beeinflusst. Die grösste Differenz in der mittleren Reiseweite zwischen den Verkehrsmitteln ergibt sich bei den Nutzfahrten. Hier ist zu erwarten, dass Dienstfahrten vor allem mit dem ÖV (42 km) und Servicefahrten (abholen, bringen etc.) vorzugsweise mit dem MIV (18 km) durchgeführt werden. Die im Modell berechnete mittlere Reiseweite stimmt bei allen Fahrtzwecken sehr gut mit dem MZMV 2010 überein.

Neben der Reiseweite ist in Tabelle 28 auch die Auswertung der mittleren Reisezeiten dargestellt. Die Übereinstimmung gegenüber dem MZMV 2010 ist ähnlich wie bei den Reiseweiten, da zwischen diesen zwei Variablen eine starke Korrelation besteht. Die Reisezeitverteilung sowie die mittleren Reisezeiten im LV zeigen etwas grössere Abweichungen, die vor allem auf die tiefere Geschwindigkeit bei der Umrechnung von Distanz auf Zeit sowie den Detaillierungsgrad der Distanzbetrachtungen zurückzuführen sind.

Tabelle 28 Mittlere Reiseweite und Reisezeit der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel sowie Vergleich mit MZMV 2010

	Mittlere Weglänge [km]					
	MIV		ÖV		LV	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	14.7	14.3	22.7	20.9	2.2	2.8
Ausbildung	16.8	17.0	17.8	18.4	2.1	3.0
Nutzfahrt	17.7	16.6	42.0	40.8	2.4	2.6
Einkauf	11.3	11.3	13.1	13.5	2.0	2.3
Freizeit	16.5	16.5	23.7	24.5	2.3	2.8
Total	14.9	14.7	21.9	21.1	2.2	2.7
	Mittlere Reisezeit [min]					
	MIV		ÖV		LV	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	16.5	15.8	28.6	29.0	27.7	39.0
Ausbildung	17.4	17.4	21.6	26.8	25.7	44.0
Nutzfahrt	18.6	17.1	41.9	46.3	29.1	36.8
Einkauf	13.7	13.4	15.7	20.0	25.1	33.7
Freizeit	17.9	17.1	30.7	31.2	28.7	38.0
Total	16.6	15.9	27.2	27.1	27.2	38.0

Für die Beurteilung der Struktur der ermittelten Quelle-Ziel-Matrizen ist die Reiseweitenverteilung ein weiterer wichtiger Indikator. Sie vermittelt einen guten Eindruck über die räumliche Verteilung und Struktur der Verkehrsstrommatrix, die für die Qualität eines Verkehrsmodells entscheidend ist. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle ein Vergleich der Reiseweitenverteilung der interzonalen Verkehrsströme mit der Reiseweitenverteilung dieser Ströme im MZMV 2010 durchgeführt. Der Vergleich ist für alle fünf Fahrtzwecke in den folgenden Abbildungen (Abbildung 22 bis Abbildung 27) dargestellt. Neben den kumulierten Verteilungen (jeweils obere Grafik) werden auch die relativen Häufigkeitsverteilungen (jeweils untere Grafik) dargestellt. Es ist festzustellen, dass die hier ermittelten Verkehrsstrommatrizen be-

züglich ihrer Reiseweitenverteilung die Struktur der Fahrten im MZMV 2010 gut reproduzieren. Bei einzelnen Distanzklassen und Fahrtzwecken wurde zugunsten einer besseren Konsistenz mit den Zähldaten auf eine genauere Übereinstimmung mit dem Kurvenverlauf aus dem MZMV 2010 verzichtet.

Für die Kalibration des Nachfragemodells und auch für Modellanalysen und Umlegungen sind nur Wege zwischen den Zonen (interzonaler Verkehr) relevant. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Projekts auf eine genauere Aufteilung des intra- und interzonalen Verkehrs weniger Gewicht gelegt (Tabelle 29). Ein Vergleich mit dem MZMV zeigt auch für diesen Bereich Abweichungen an. Im ÖV ist die Übereinstimmung gut; im MIV wurde aufgrund der gegenüber den Zählungen tieferen Modellbelastungen auf eine Reduktion des interzonalen Verkehrs verzichtet. Für eine höhere Genauigkeit im LV müssten auch die Reisezeitmatrizen genauer abgebildet werden. Insgesamt ist aber für die hier betrachtete Netz- und Zonendichte sowie für die Schwerpunkte der vorgesehenen Modellanalysen die erzielte Übereinstimmung ausreichend.

Tabelle 29 Anteil interzonaler Verkehr nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel [%] sowie Vergleich mit MZMV 2010

	MIV		ÖV		LV	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	88.7	79.6	88.8	93.1	34.6	26.3
Ausbildung	95.0	68.2	92.5	80.9	22.9	13.7
Nutzfahrt	91.6	71.1	93.8	92.1	40.6	13.9
Einkauf	86.1	66.2	83.7	79.1	27.2	14.0
Freizeit	93.2	73.0	94.1	87.4	30.1	16.7
Total	90.1	73.2	90.3	87.0	29.7	17.3

Abbildung 22 Reiseweitenverteilung Modell und MZMV 2010: Alle Fahrtzwecke

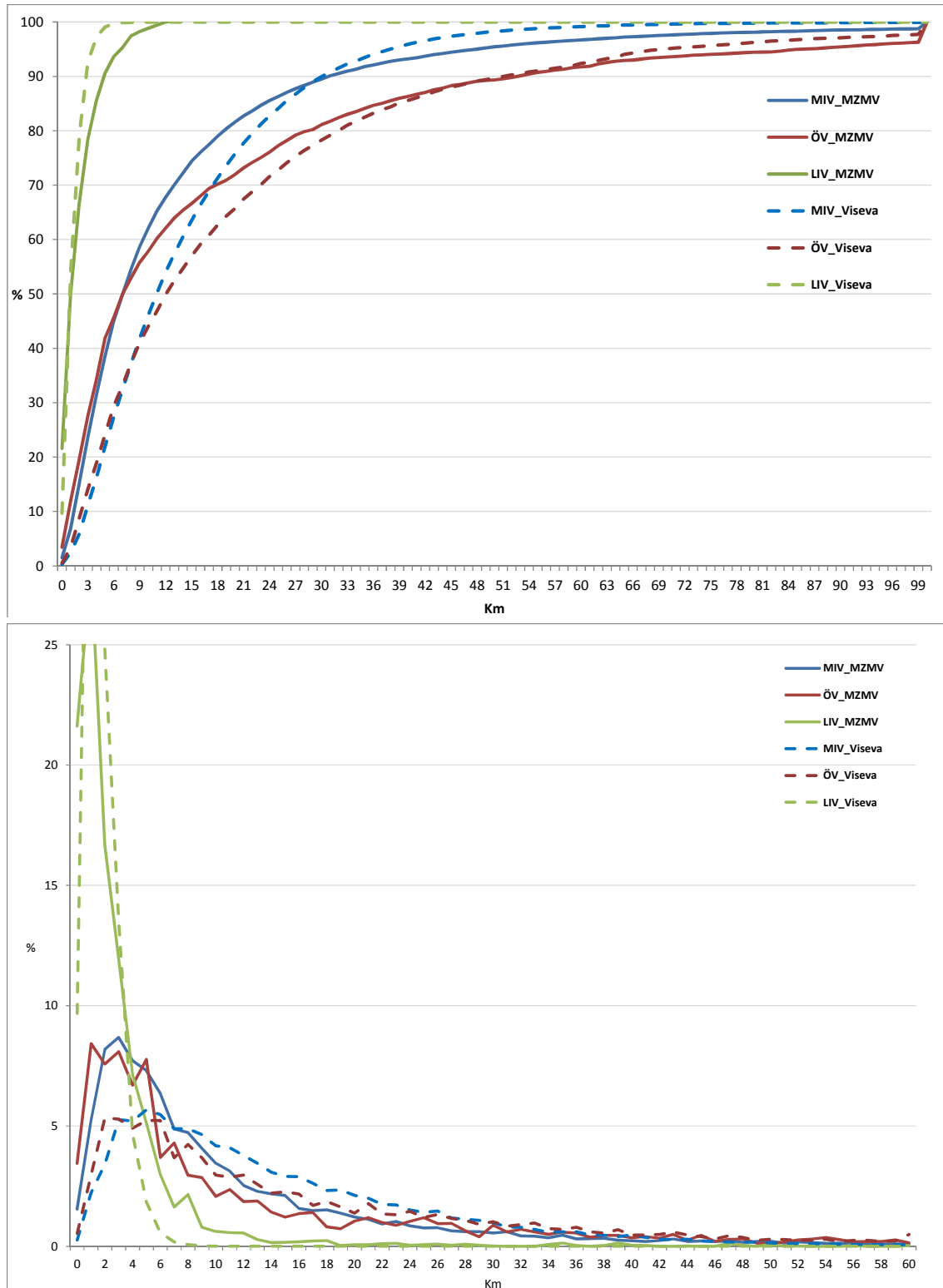


Abbildung 23 Reiseweitenverteilung Modell und MZVM 2010: Fahrtzweck Arbeit

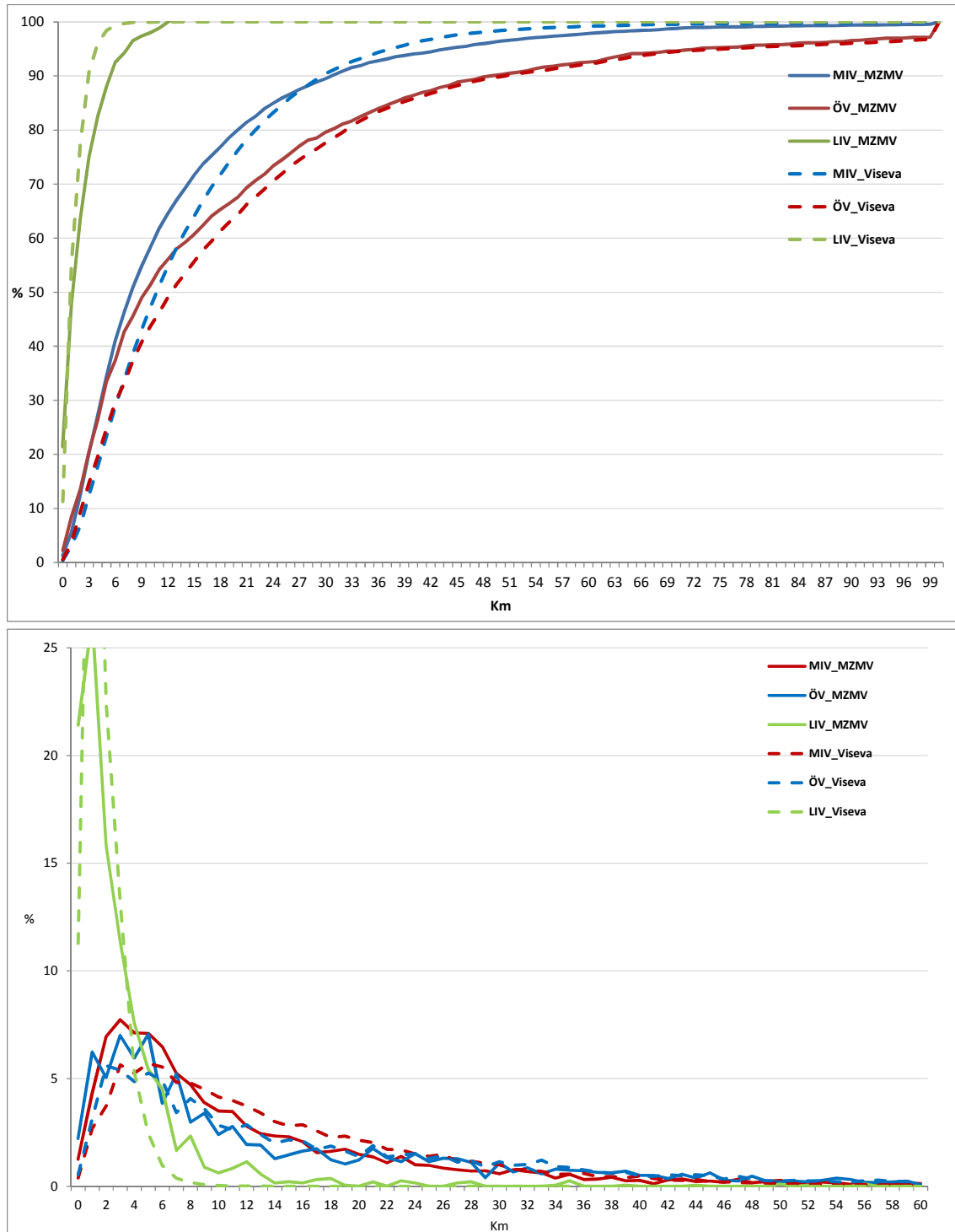


Abbildung 24 Reiseweitenverteilung Modell und MZVM 2010: Fahrtzweck Ausbildung

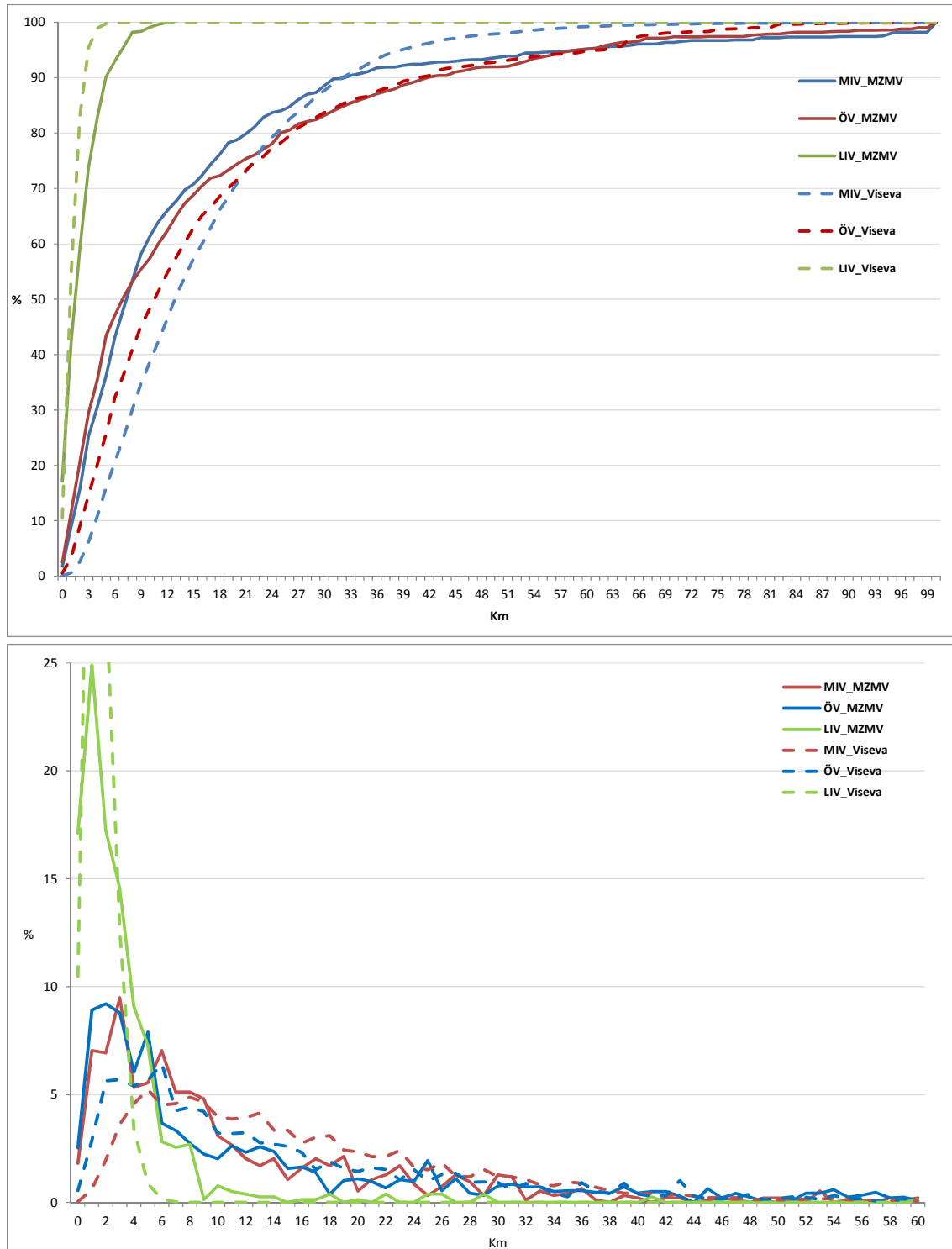


Abbildung 25 Reiseweitenverteilung: Modell und MZVM 2010: Fahrtzweck Nutzfahrt

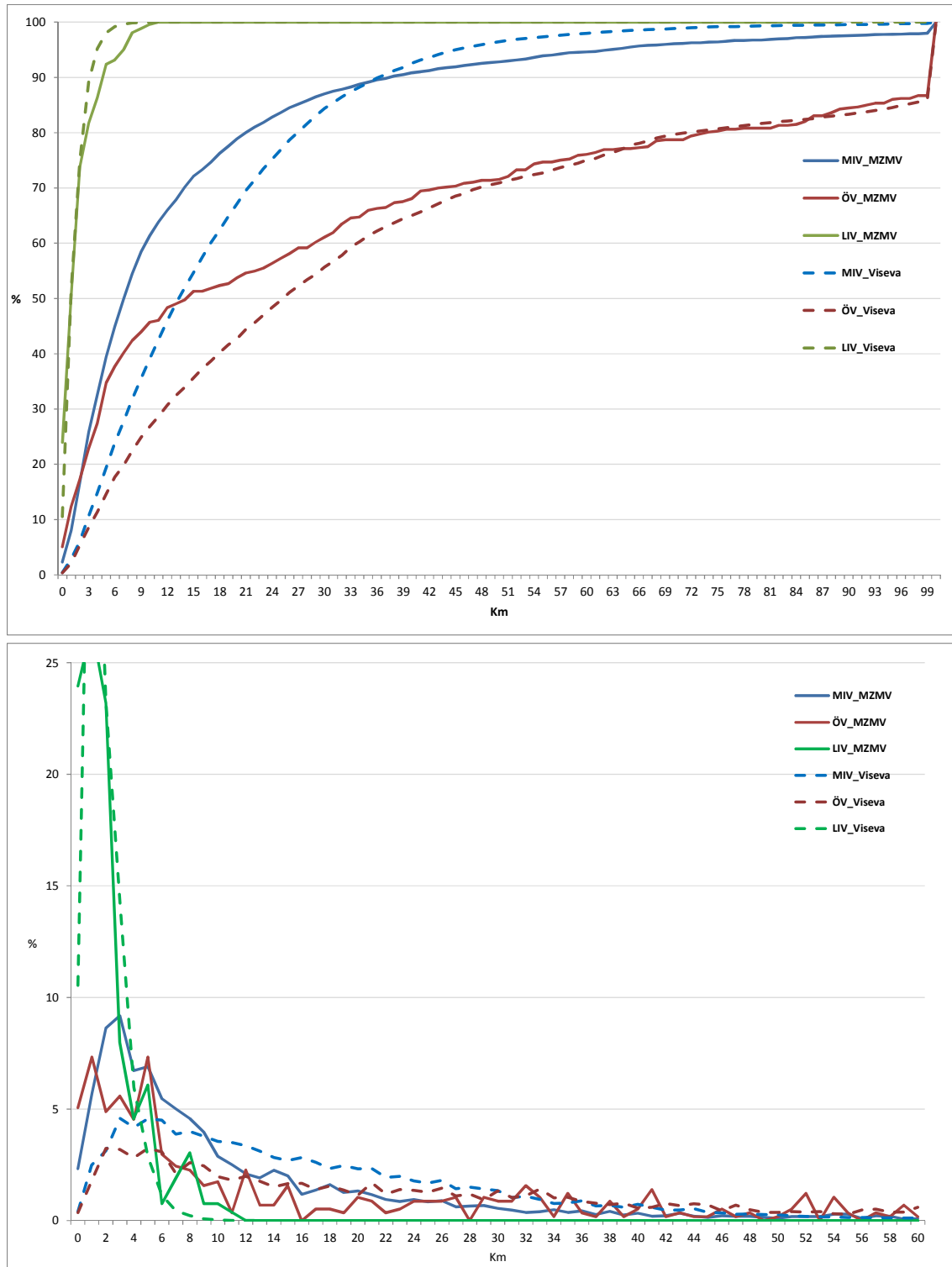


Abbildung 26 Reiseweitenverteilung: Modell und MZVM 2010: Fahrtzweck Einkauf

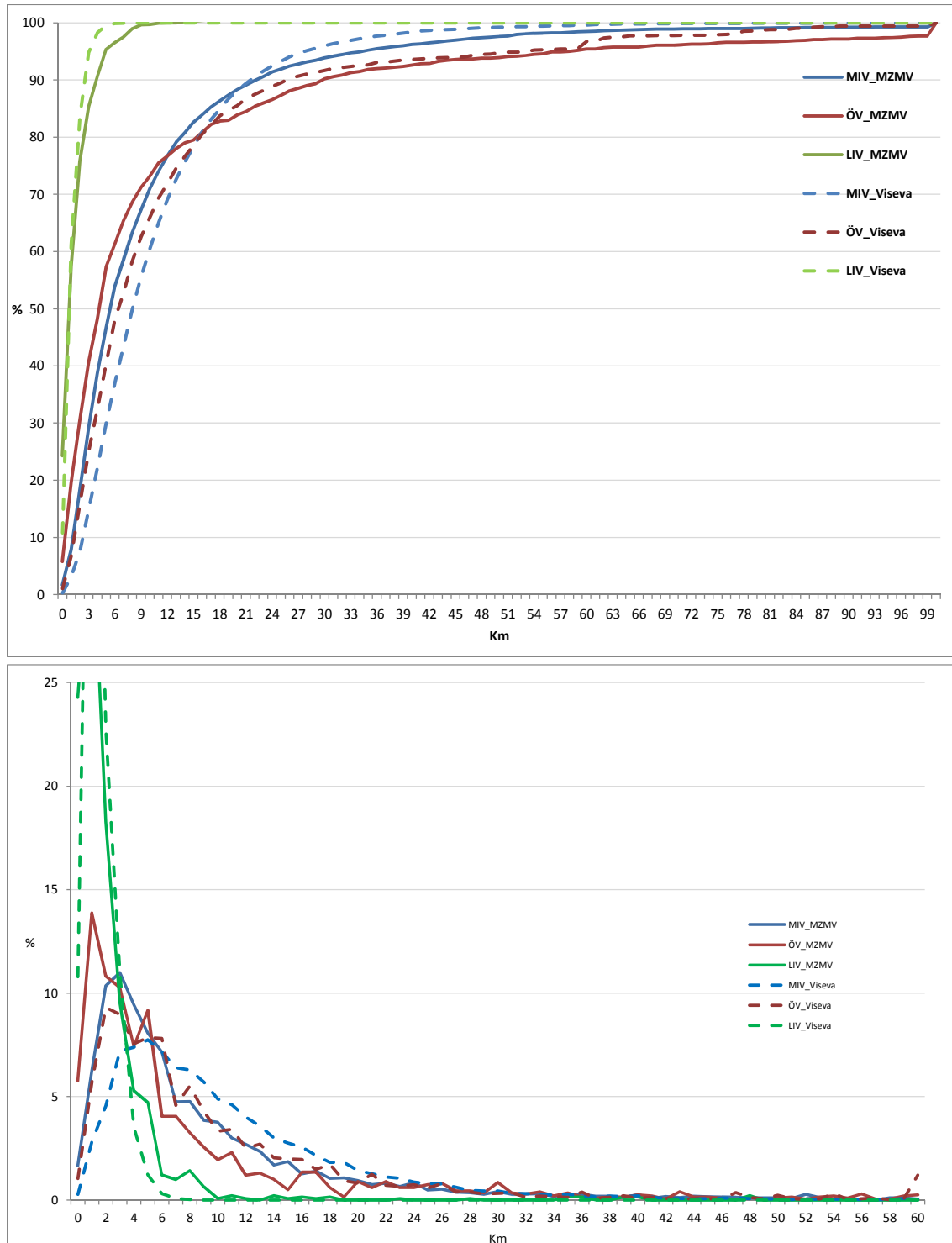


Abbildung 27 Reiseweitenverteilung: Modell und MZVM 2010: Fahrtzweck Freizeit

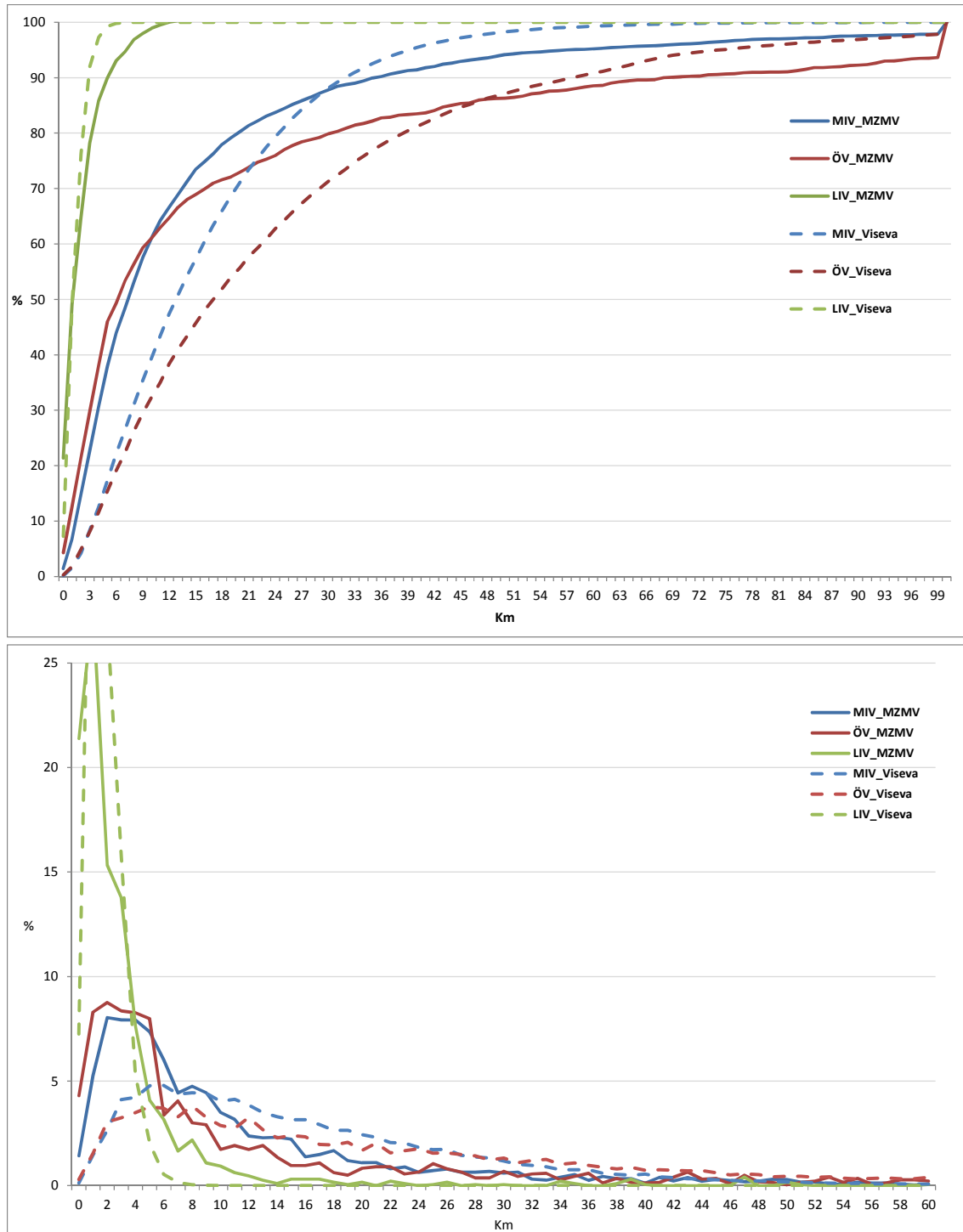
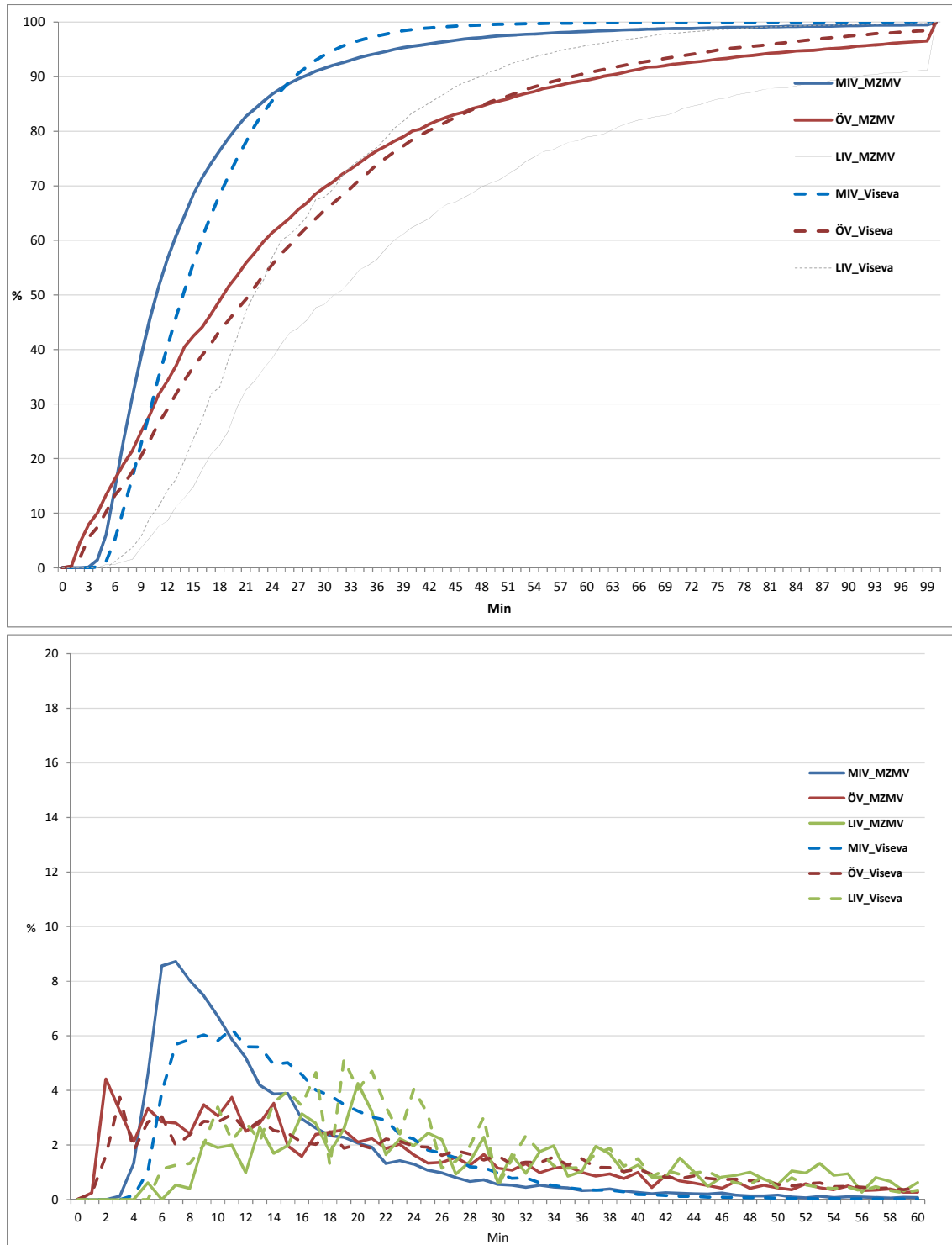


Abbildung 28 Reisezeitverteilung Modell und MZMV 2010: Alle Fahrtzwecke



Für die weitere Beurteilung der Verhaltensgesetzmässigkeiten wurden die Reiseweiten- und Modalsplit-Anteile in Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31 gemeinsam dargestellt. Es ist festzustellen, dass mit wachsender Entfernung die ÖV-Anteile zu- und die MIV-Anteile abnehmen. Dieser Effekt ist insbesondere ab einer Entfernung von ca. 60 km zu sehen. Wie erwartet nimmt der Anteil der LV-Wege ab einer Entfernung von ca. 2 km sehr stark ab.

Abbildung 29 Modal-Split Anteile und Reiseweitenverteilung: MIV (interzonale Wege)

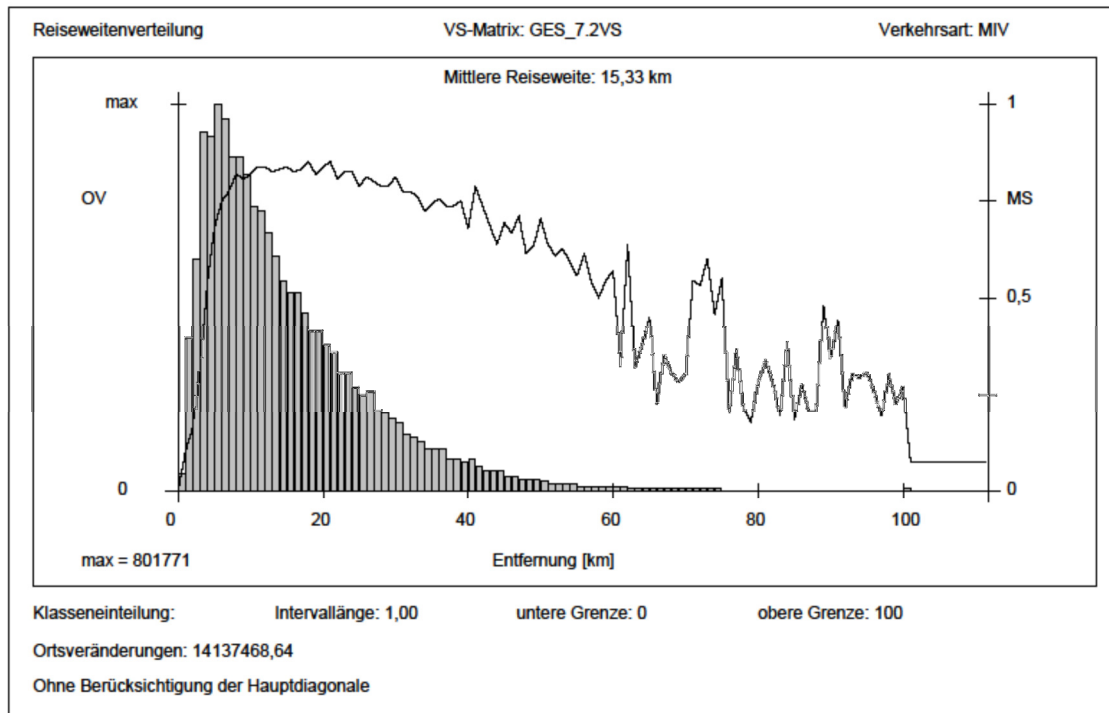


Abbildung 30 Modal-Split Anteile und Reiseweitenverteilung: ÖV (interzonale Wege)

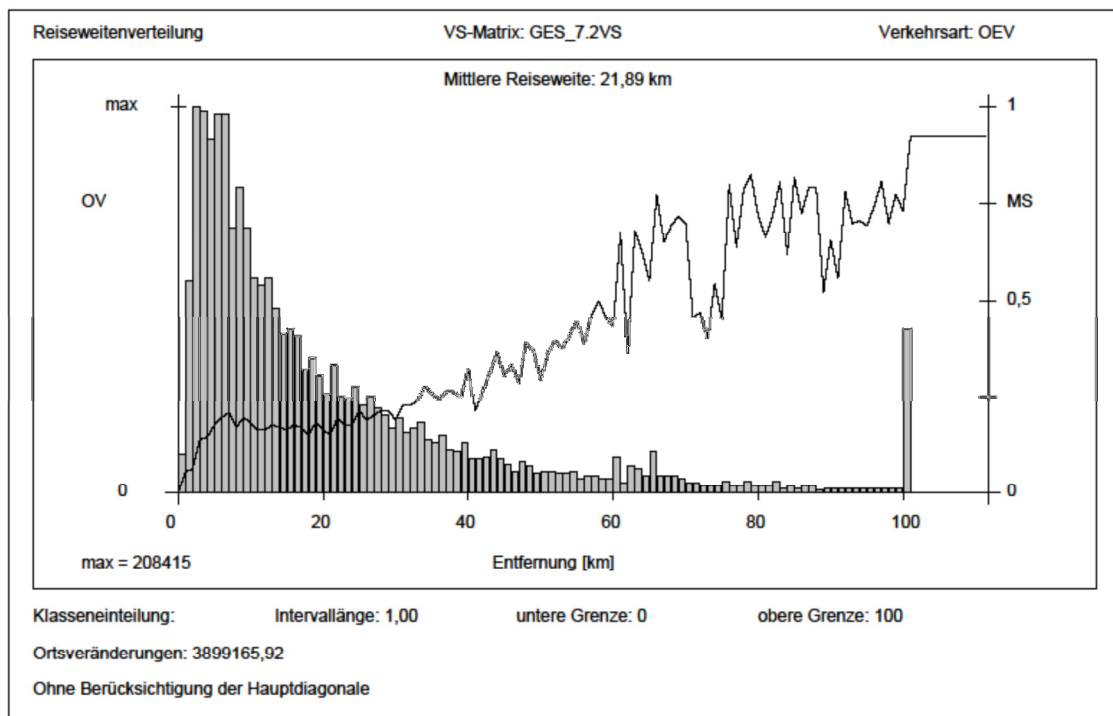
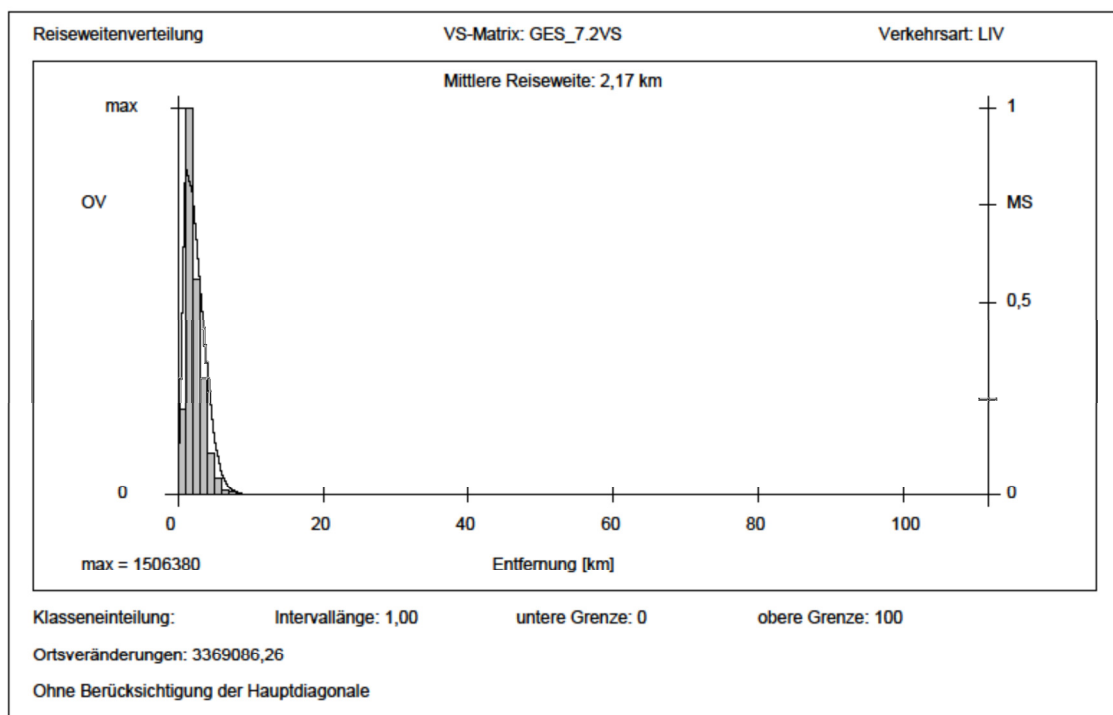


Abbildung 31 Modal-Split Anteile und Reiseweitenverteilung: LV (interzonale Wege)

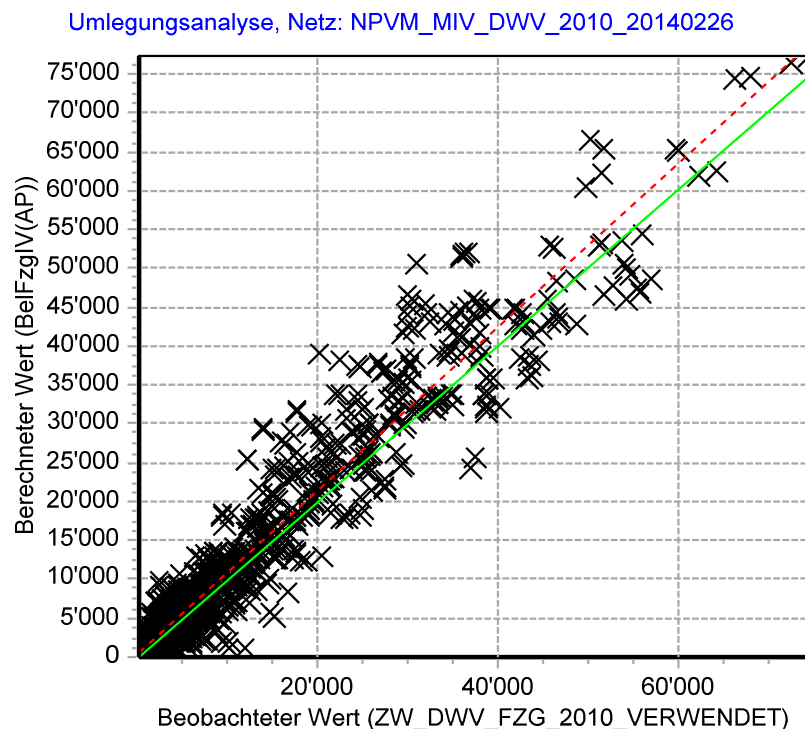


Als letztes Kriterium für die Validierung der Matrixstruktur wird der Vergleich der ermittelten Modellbelastungen gegenüber den Querschnittszählungen dargestellt. Das erstellte Strassen- bzw. ÖV-Netz 2010 wurde dafür auf das Routenwahlverhalten plausibilisiert. Die Umlungsverfahren sowie die Parameter der Widerstandsfunktion im ÖV wurden unverändert aus dem 2005-Modell übernommen. Durch die Analyse des Routenwahlverhaltens konnten einige Fehler im Netz und bei den Zählungen festgestellt und korrigiert werden.

Die aus dem Nachfragemodell VISEVA ermittelten Matrizen wurden mit den aus den alpen- und grenzquerenden Erhebungen im Personenverkehr 2007 (A+GQPV 07) erstellten Auslenmatrizen (siehe Kapitel 6) zusammengefügt. Dafür wurden die VISEVA-Matrizen auf die Verkehrsmittel aggregiert und im MIV durch die Besetzungsgrade (Tabelle 13) auf PWFahrten umgerechnet.

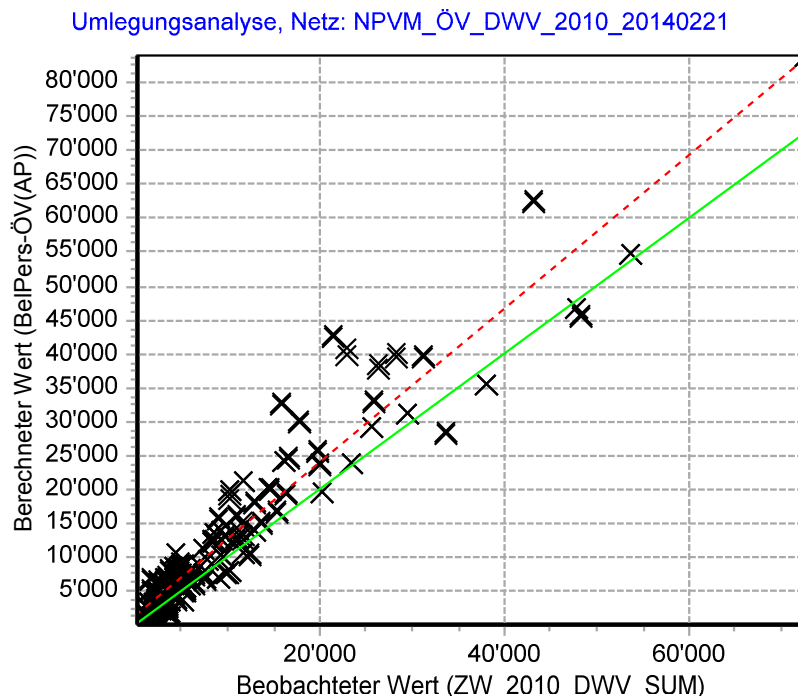
Die ermittelten Modellbelastungen im MIV stimmen, wie in Abbildung 32 und Abbildung 34 zu sehen ist, sehr gute mit den Querschnittszählungen überein. Etwas grössere Abweichungen sind nur im Korridor Freiburg-Bern festzustellen; diese sind auf die Netz- und Zonendichte im Verkehrsmodell und auf Verhaltensunterschiede (Erzeugung, Ziel- und Verkehrsmittelwahl) zurückzuführen.

Abbildung 32 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – MIV (ohne Kalibration)



Im ÖV ist die Übereinstimmung mit den Querschnittszählungen im Vergleich mit dem MIV etwas tiefer. Wie in Abbildung 33 und Abbildung 35 zu sehen ist, sind die Modellbelastungen generell höher als die Querschnittszählungen. Dieses Ergebnis entsteht aus der Tatsache, dass im Modell nur das Schienenverkehrsnetz inklusive Zubringerlinien zum Bahnhof umgelegt wird, im Nachfragemodell aber das gesamte Verkehrsaufkommen im ÖV berechnet wird. Zudem bestehen Verhaltensunterschiede in Bezug auf die Angebotsverhältnisse und die Verkehrsmittelwahl, die regional vorhanden sind, in einem grossräumigen Modell wie dem NPVM aber nicht differenziert werden können, da hier mit einem einheitlichen Parametersatz gerechnet wird. Somit sind in Korridoren mit relativ gutem ÖV-Angebot und tiefem ÖV-Anteil an der Verkehrsmittelwahl die Modellbelastungen in der Regel höher als die Querschnittszählungen (z.B. Jurasüdfuss, Goldküste Zürichseeufer etc.). Des Weiteren zeigte sich auch, dass durch die sehr grobe Zonierung und den nicht abgebildeten Stadtverkehr (vor allem im ÖV) und aufgrund der Festlegung der Diagonalen und fixen Angebotswerten zwischen den Zonen der Verkehr innerhalb der Grossstädte im Modell unterschätzt wird. Als Folge davon wird der interzonale Verkehr zwischen Grossstädten und den umliegenden Zonen etwas überschätzt.

Abbildung 33 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration)



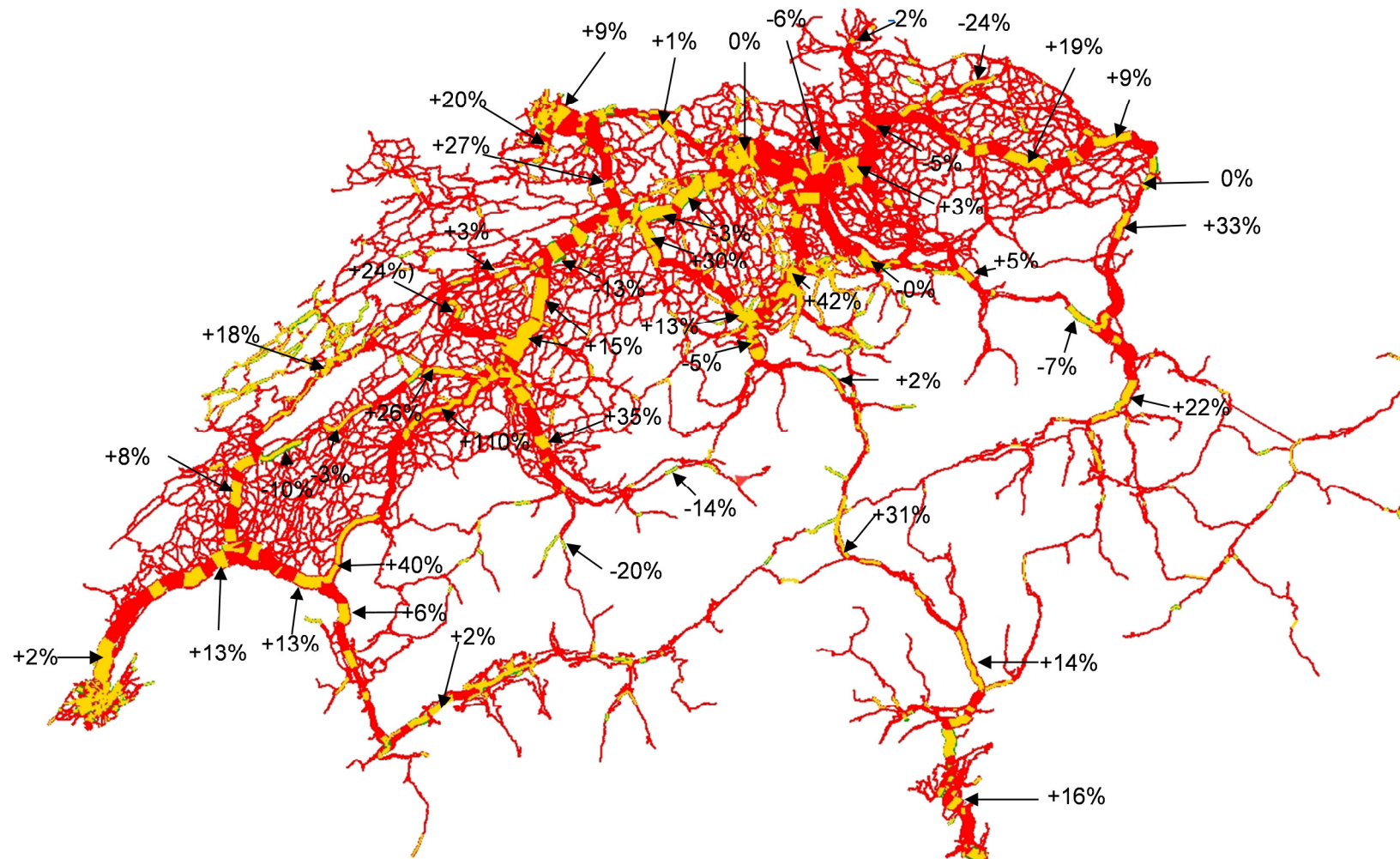
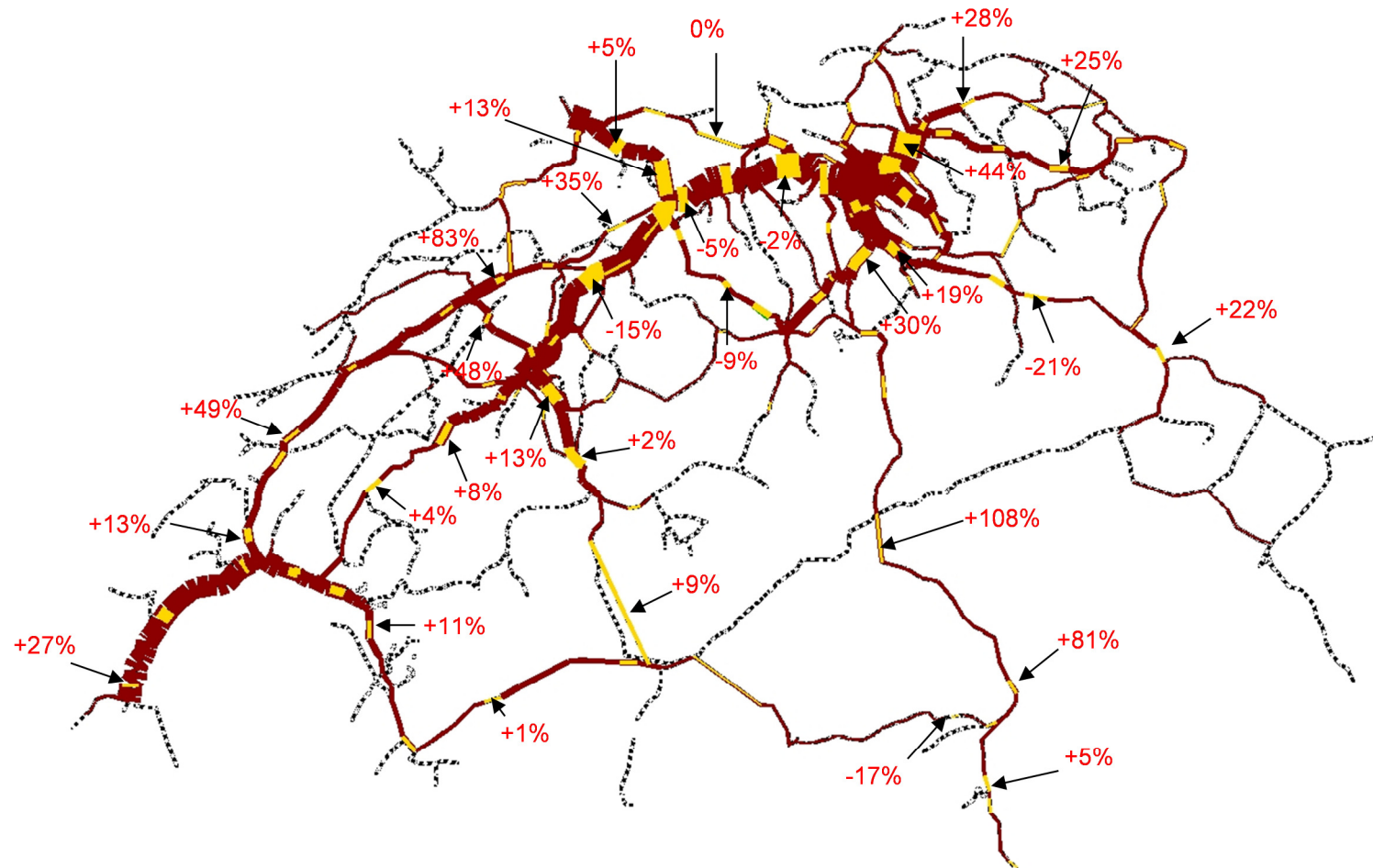


Abbildung 35 Vergleich zwischen Modellbelastungen und Querschnittszählungen im ÖV (Quelle-Ziel-Matrix vor Kalibration)



6 Aussen- und Umfahrungsströme

Der Aussenverkehr wurde aus der Alpen- und Grenzquerenden Personenverkehrserhebung 2007 (A+GQPV 07; BFS, 2009) errechnet. Dafür wurde der relevante Verkehr nach den folgenden Kriterien aus der Gesamterhebung extrahiert:

- nur Werktagsverkehr;
- Personenfahrten (hochgerechnet mit Faktor laut A+GQPV 07);
- Auswertung Grenze;
- nur Einreise;
- MIV: PW und Motorräder;

Die detaillierte Fahrtzweckaufteilung in der A+GQPV wurde mit folgendem Vorgehen auf die fünf Fahrtzwecke im NPVM aggregiert:

- Typ 1: Arbeit;
- Typ 2: Ausbildung;
- Typ 3: Einkauf;
- Typ 4 bis 6: Nutzfahrt;
- Typ 7 bis 9: Freizeit.

Somit wurden für die beiden Verkehrsmittel MIV und ÖV je fünf Matrizen erstellt. Die räumliche Auflösung der A+GQPV 07 auf NUTS-Definition wurde auf die NPVM-Zonierung umkodiert, dafür mussten auch die grösseren Städte in der Schweiz auf die Stadtkreise aufgesplittet werden. Das Fürstentum Liechtenstein wird in der A+GQPV-Erhebung, wie auch im NPVM, als Binnenverkehr definiert.

Danach wurden die zehn verschiedenen Matrizen auf den jeweiligen Maximalstrom symmetrisiert um ausgeglichene Ströme zu erhalten. Der Maximalstrom bei der Symmetrisierung wurde verwendet, weil in der Erhebung zu wenige Wege erfasst sind, da im ÖV der Regionalverkehr und im MIV kleine Grenzübergänge fehlen. Die in den Matrizen vorhandenen Binnenwege (Wege von einer Schweizer Gemeinde zu einer Schweizer Gemeinde mit Querung der Schweizer Landesgrenze) wurden gelöscht, weil sie in VISEVA berechnet werden.

Zum Umgehungsverkehr liegen keine neuen Daten vor, daher wurde dieser Verkehr aus dem NPVM 2005 übernommen und mit den Verkehrswachstumsraten laut BFS von 2.8% pro Jahr im ÖV und 1.7% pro Jahr im MIV erhöht.

Im MIV wurden die Zählraten an den Grenzübergängen aus der A+GQPV 07 Erhebung eingebaut. Im ÖV konnte die SBB keine Angaben zu den Belastungen an den Grenzstrecken liefern, alternativ stellten die Stadt Basel und der Kanton Genf Zählraten zur Verfügung.

Mit diesen Daten wurde die Kalibrierung der Matrizen vorgenommen, wobei auch ein Abgleich mit der Grenzgängererhebung 2010 des BFS versucht wurde, um insbesondere die fehlenden ÖV-Pendler im Regionalverkehr zu eruieren. Dies war nicht überall erfolgreich, da regional, z.B. im Kanton Thurgau, erhebliche Differenzen in den Daten vorlagen. Auch ist die Pendlererhebung im Ausland nicht georeferenziert. Die laut Zählung fehlenden ÖV-Wege mit dem überwiegenden Fahrzweck Arbeit wurde mit der räumlichen Verteilung aus der MIV Arbeitsmatrix erzeugt und zur ÖV-Matrix addiert. Der MIV ist in der A+GQPV 07 gut abgebildet, daher ist dieses Verkehrsmittel von der Problematik nicht betroffen.

Tabelle 30 vergleicht die Ergebnisse aus dem NPVM mit den Angaben aus der A+GQPV 2007.

Tabelle 30 Vergleich Aussenströme NPVM und A+GQPV

	NPVM	A+GQPV 07
PW-Fahrten		
Quelle/Ziel	610'662	648'374
Transit	43'773	33'143
Umfahrung	234'834	keine Angabe
ÖV-Fahrten		
Quelle/Ziel	39'680	37'818
Transit	5'432	5'364
Umfahrung	35'222	keine Angabe

7 Kalibration des Modells auf die Querschnittszählungen

7.1 Zähldaten

7.1.1 Zähldaten MIV

Die Datengrundlage für die Kalibration des MIV-Modells sind Querschnittszählungen aus dem Jahr 2010, welche aus 2 Quellen stammen: einerseits die Zählstellen des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), und andererseits jene der Kantone, welche Zähldaten zur Verfügung gestellt haben. Letztere wurden in einem separaten Auftrag des ARE aufbereitet (ARE, 2013) und im vorliegenden Projekt plausibilisiert und weiter aufbereitet. Die Aufbereitung der Zähl-
daten des ASTRA wurde vollumfänglich durch den Auftragnehmer durchgeführt. Die für die Aufbereitung notwendigen Schritte werden hier kurz beschrieben.

ASTRA-Zähldaten

Bei den Daten der schweizerischen automatischen Strassenverkehrszählung (SASVZ) liegen die Rohdaten pro Zählstelle, Richtung, Tag, Stunde und Lastklasse (in 10 Kategorien) vor. Hier wurde zunächst die richtungsgetrennte Berechnung der Jahreswerte vorgenommen. Dann wurden die SWISS10-Kategorien zu den im NPVM verwendeten Lastklassen (PW, LI, LW, LZ) aggregiert. Anschliessend wurden die Zählstellen den entsprechenden Streckenabschnitten im NPVM zugeteilt, die Werte ins Netz eingebaut und plausibilisiert.

Kantonale Zähldaten

Die aufbereiteten kantonalen Daten wurden weiter disaggregiert und für den Einbau ins NPVM-Netz formatiert. Hier musste zunächst die Richtungstrennung der Werte vorgenommen werden (da in den gelieferten Daten jeweils eine Datenzeile pro Querschnitt vorlag, für den Einbau ins Netz aber eine Zeile pro Querschnitt und Richtung vonnöten ist). Anschliessend wurden die Daten bereinigt:

- Entfernung doppelt belegter Strecken (ca. 10 Querschnitte);
- Korrektur von Strecken- und Knotennummern mit fehlerhaften Einträgen (Tippfehler, Zahlendreher; ca. 20 Querschnitte);
- Löschung von Zählstellen ohne Zuordnung zum Netz;

- Bereinigung von Widersprüchen zwischen berechneten Schwerverkehrs-Zahlen und den in den Rohdaten ausgewiesenen Schwerverkehrs-Anteilen (Löschung falscher Werte);
- Berechnung von PW-Zahlen dort, wo nur die Gesamtanzahl Fahrzeuge und der Schwerverkehrs-Anteil ausgewiesen waren;

Zudem wurden 13 wichtige Strecken mit Zählwerten eingebaut, welche noch nicht im NPVM-Netz vorhanden waren.

Datenlage

Die Datenlage nach der Aufbereitung der MIV-Zähldaten ist in Tabelle 31 dargestellt (hier nur DWV-Zahlen relevant).

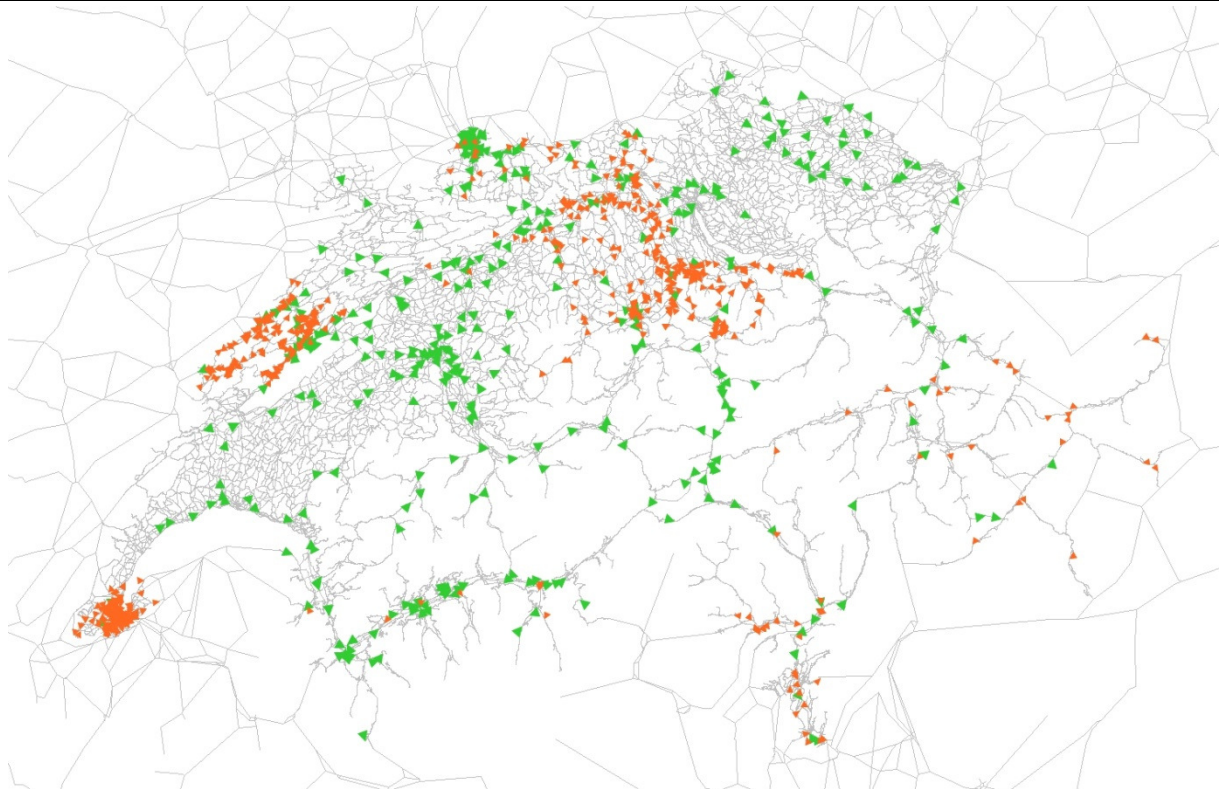
Tabelle 31 Zähldaten MIV – Datenlage

	Fahrzeugklasse				
	Fahrzeuge	PW	LI	LW	LZ
DTV	2'272	1'310	600	782	678
DWV	1'946	916	532	714	610
MSP	2'272	908	532	714	610
ASP	2'272	908	532	714	610

Es liegen also 782 Werte mit (zumindest teilweiser) Differenzierung nach Lastklassen vor. Davon liegen 669 ausserhalb der Siedlungsgebiete und sind somit für die Kalibration des NPVM relevant. Es ist anzumerken, dass die Schwerverkehrs-Zahlen teilweise auf Schätzungen basieren, deren Annahmen teilweise zu Verzerrungen führen können (Aufteilung der Lastklassen nach räumlicher Lage, und nicht nach Strassentyp; siehe ARE, 2013). Dies führt auch zu den oben erwähnten Widersprüchen zwischen den berechneten Werten und den in den Rohdaten vorhandenen Schwerverkehrs-Anteile, die aber hier grösstenteils bereinigt wurden.

Abbildung 36 zeigt die räumliche Verteilung der MIV-Zähldaten.

Abbildung 36 Zählstellen MIV – Verteilung



grün = Zählstellen mit Differenzierung nach Fahrzeugkategorie; orange = Zählstellen ohne Differenzierung

Die Daten zu den Zählstellen und -werten sind in der abgegebenen VISUM-Versionsdatei als benutzerdefinierte Streckenattribute kodiert. Die Variablen sind in Tabelle 32 aufgelistet.

Tabelle 32 Streckenattribute MIV-Zählstellen

Streckenattribut	Beschreibung
ZST_AMT	für die Zählung zuständiges Amt
ZST_ID	Nummer der Zählstelle
ZST_FZG_KAT	Fahrzeugklassifizierung vorhanden (1: ja; 0: nein)
ZST_NAME	Name der Zählstelle
ZW_JAHR	Jahr, in dem die Zählung durchgeführt wurde
ZW_DWV_FZG_2010	Zählwert DWV (alle Fahrzeuge)
ZW_DWV_LI_2010	Zählwert DWV (Lieferwagen)
ZW_DWV_LW_2010	Zählwert DWV (Lastwagen)
ZW_DWV_LZ_2010	Zählwert DWV (Last- und Sattelzug)
ZW_DWV_PW_2010	Zählwert DWV (Personenwagen)
ZW_DWV_SV_2010	Zählwert DWV (Schwerverkehr)

Um die plausiblen und für die Kalibration verwendeten Zähldaten von den nicht plausiblen zu unterscheiden, wurden zusätzlich mit dem Suffix „_VERWENDET“ versehene Streckenattribute (z.B. ZW_DWV_FZG_2010_VERWENDET) erzeugt.

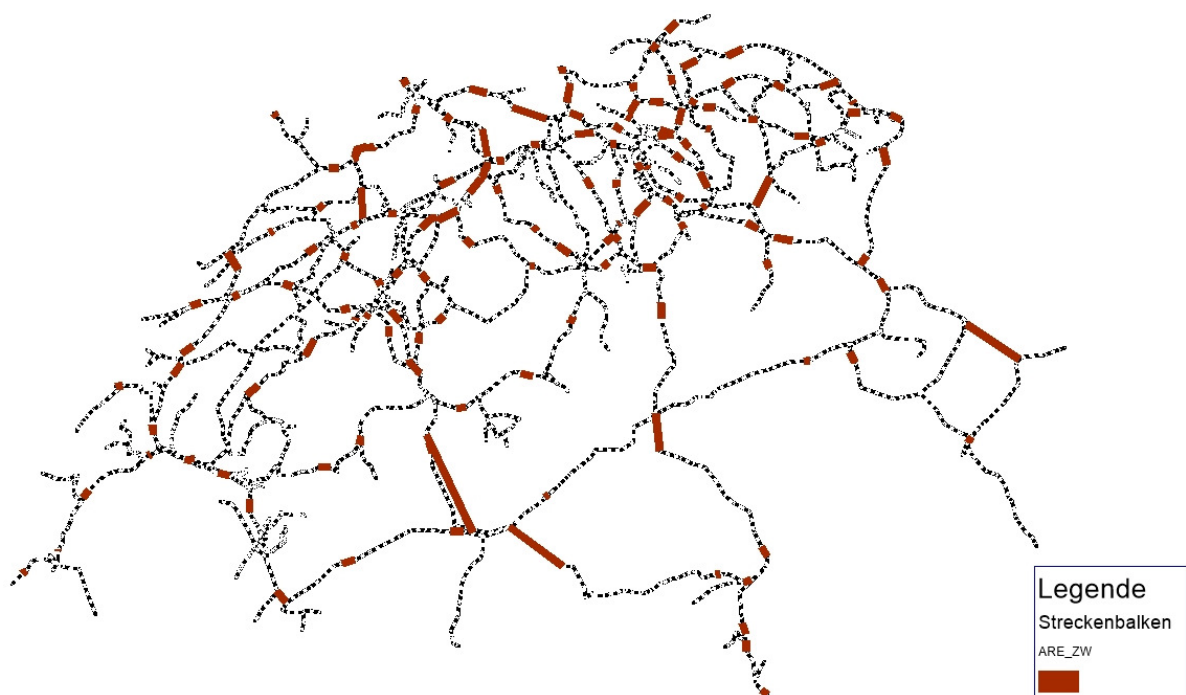
7.1.2 ÖV-Zähldaten

Für die ÖV-Zählwerte wurde nur der Schienenverkehr berücksichtigt und die Auswahl der Querschnitte mit folgenden Kriterien festgelegt:

- landesweite Abdeckung;
- stärkere Gewichtung von Agglomerationen und Hauptstrecken;
- eindeutige Querschnitte mit wenig oder keiner Buskonkurrenz;
- falls zwei Alternativrouten vorliegen, Querschnitte auf beiden Routen;
- keine vom städtischen ÖV betroffene Querschnitte;
- räumliche Nähe zur Sprachgrenze (D-F);
- bei komplexen Knoten, wie z.B. Olten, möglichst alle Zulaufstrecken abdecken.

Insgesamt wurden für 137 Querschnitte richtungsgetrennte Zählwerte von der SBB zur Verfügung gestellt (Abbildung 37).

Abbildung 37 ÖV-Zählquerschnitte im NPVM



Es wurden sowohl die für dieses Projekt benötigten DWV-Zählwerte als auch für zukünftige Anwendungen voraussichtlich notwendige Daten (DTV, MSP und ASP) hinterlegt. Die Zählwerte sind als Streckenattribute gemäss Tabelle 33 codiert.

Tabelle 33 Streckenattribut ÖV-Zählwerten

Streckenattribut	Beschreibung
ARE_ZW	SBB-Zählwert vorhanden (1: ja; 0: nein)
ARE_ZW_SPITZENSTUNDE	SBB-Zählwert für Spitzenstunden vorhanden (1: ja; 0: nein)
SBB_STRECKE	Streckennummer SBB-Modell
SBB_VONKNOTNR	Von Knotennummer SBB-Modell
SBB_NACHKNOTNR	Nach Knotennummer SBB-Modell
ZW_2010_ASP_FV	Zählwert Abendspitze DWV Fernverkehr
ZW_2010_ASP_RV	Zählwert Abendspitze DWV Regionalverkehr
ZW_2010_ASP_SUM	Zählwert Abendspitze DWV
ZW_2010_DTV_FV	Zählwert DTV Fernverkehr
ZW_2010_DTV_RV	Zählwert DTV Regionalverkehr
ZW_2010_DTV_SUM	Zählwert DTV
ZW_2010_DWV_FV	Zählwert DWV Fernverkehr
ZW_2010_DWV_RV	Zählwert DWV Regionalverkehr
ZW_2010_DWV_SUM	Zählwert DWV
ZW_2010_MSP_FV	Zählwert Morgenspitze DWV Fernverkehr
ZW_2010_MSP_RV	Zählwert Morgenspitze DWV Regionalverkehr
ZW_2010_MSP_SUM	Zählwert Morgenspitze DWV

Des Weiteren wurden von der SBB Daten zu den Ein- und Aussteigern an zwanzig wichtigen Bahnhöfen zur Verfügung gestellt.

7.2 Vorgehen und Ergebnisse

Neben der Struktur der Quelle-Ziel-Matrix ist es wichtig, dass die mit der Matrix erzeugten Querschnittsbelastungen den erhobenen Belastungen (Zählwerten) entsprechen. Auf die Zählwerten umgelegt und kalibriert werden das MIV- und das ÖV-Modell. Neben plausiblen Zählwerten ist für die Kalibration der Matrix eine plausible bzw. fehlerfreie Abbildung des Routenwahlverhaltens (d.h. ein plausibles Umlegungsmodell) die wesentliche Voraussetzung. Aus diesem Grund wurde das Routenwahlverhalten sowohl im Strassenverkehr als auch im ÖV plausibilisiert.

Als Umlegungsverfahren wird im MIV das deterministische Gleichgewichtsverfahren verwendet. Wie in Kapitel 3.1 erwähnt wurden hier vor allem die Parameter der CR-Funktionen überarbeitet. Für die Umlegung des Strassengüterverkehrs wurde ebenfalls von der Sukzessiv- zur Gleichgewichtsumlegung gewechselt. Während eine Gleichgewichtsumlegung hier zu verlängerten Rechenzeiten führt, ist sie für kleinräumige Untersuchungen dennoch zu empfehlen. Die Verwendung einer Sukzessivumlegung führt dazu, dass die im Modell eingestellten Anbindungsanteile nicht berücksichtigt werden und somit die kleinräumige Verteilung der Verkehrsströme nicht korrekt abgebildet werden kann.

Für die Nachfrageverteilung im ÖV wird das fahrplanfeine Umlegungsverfahren verwendet. Die Parameter der Widerstandsfunktion und der Verteilungsansatz wurden unverändert aus dem bestehenden 2005-Modell übernommen.

Die in den vorherigen Arbeitsschritten erstellten und plausibilisierten Matrizen werden nun auf die Querschnittszählungen geeicht. Die Kalibration der Quelle-Ziel-Matrizen kann erst durchgeführt werden, wenn die Zähldaten als plausibel und verlässlich betrachtet werden können. Dafür wurde eine Vorab-Analyse der ermittelten Zähldaten durchgeführt. Die unplausiblen und vor allem mit anderen Querschnitten inkonsistenten Zählstellen werden bei der Kalibration der Matrix nicht berücksichtigt. Ein Teil der unsicheren Zähldaten wird bei der Analyse der Umlegungsergebnisse berücksichtigt, bei der Kalibration der Matrix aber ausgeschlossen.

Für die Validierung der Modellergebnisse ist die Dichte und Qualität der Zähldaten von zentraler Bedeutung. Neben der Anzahl der Zählstellen ist hier vor allem die Konsistenz der erhobenen Querschnittsbelastungen wichtig. In diesem Projekt musste vor allem der zweite Punkt, d.h. die Konsistenz der erhobenen Querschnittsbelastungen, kritisch validiert werden. Es hat sich gezeigt, dass vor allem im MIV bestimmte Zählwerte bei der Modellkalibration ausgeschlossen werden müssen (siehe Abschnitt 7.1.1). Aus diesem Grund wurden zusätzlich zu den in Abschnitt 7.1.1 beschriebenen Zähldaten auch weitere Querschnitte zur Validierung herangezogen. Dafür wurden Belastungswerte (blaue Balken in Abbildung 38 und Abbildung 39) aus verschiedenen Projekten, Publikationen und Datenquellen sowie im Internet verfügbare Zähldaten gesammelt und die Modellbelastungen dementsprechend validiert. Im Strassenverkehr wurde diese zusätzliche Validierung nur in Bezug auf die Gesamtbelastungen (alle Fahrzeuge) durchgeführt, ohne Differenzierung nach Fahrzeugklassen. Die zusätzlich validierten Strecken sind im MIV-Modell mit dem Zusatz-Streckenattribut `FZG_2010_VALIDIERT` und im ÖV-Modell mit `BELASTUNGEN_2010_VALIDIERT` versehen (bei den entsprechenden Querschnitten ist der Wert des jeweiligen Attributs gleich 1).

Abbildung 38 Validierte Streckenbelastungen MIV

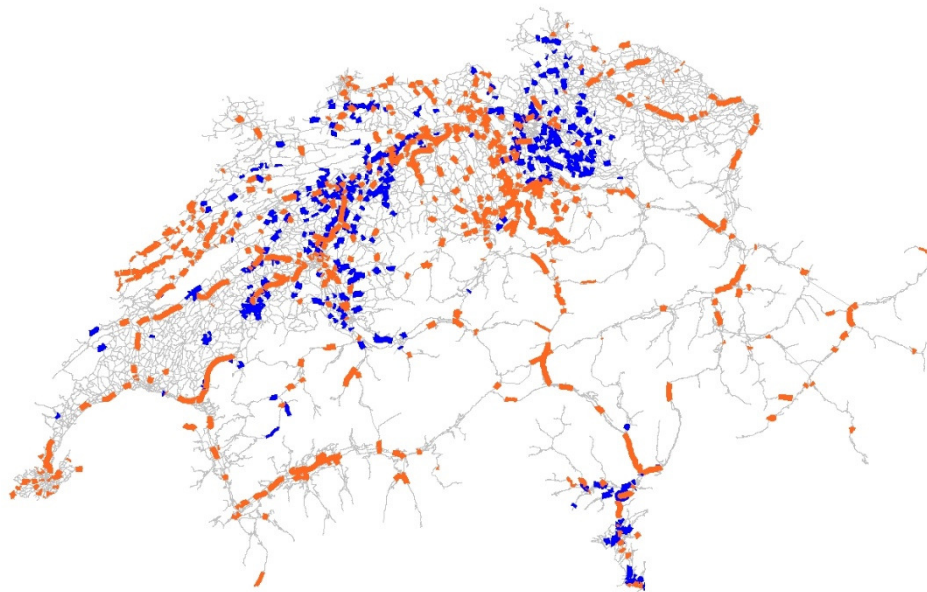
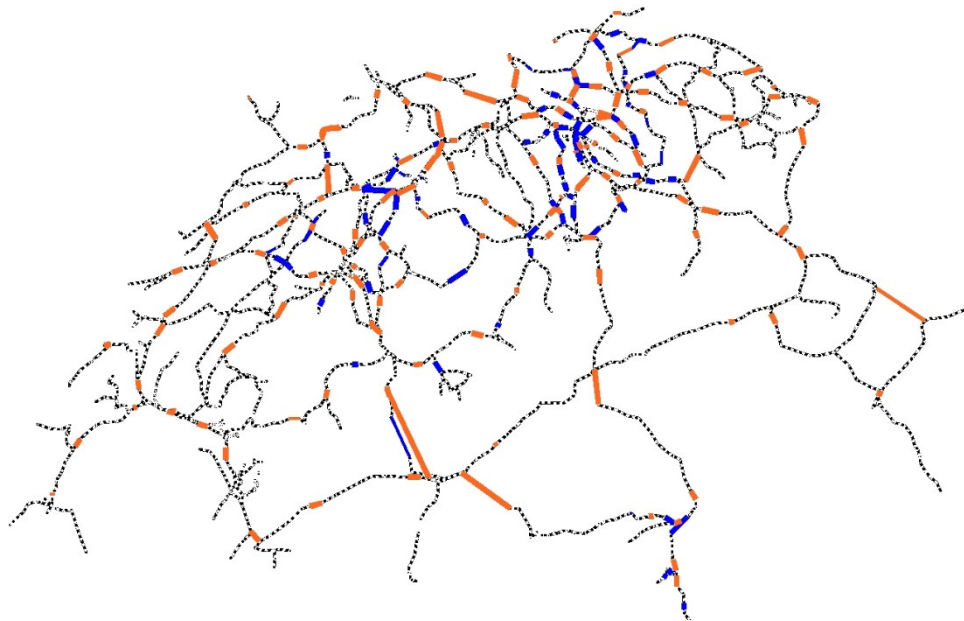


Abbildung 39 Validierte Streckenbelastungen ÖV



Da die inhaltliche Struktur der erstellten Matrizen den Erhebungsdaten sehr gut entspricht und die Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen relativ ausgeglichen und klein sind, wird in diesem Projekt auf die Verwendung von automatischen Kalibrationsverfahren verzichtet. Die Differenzen zwischen den Umlegungsergebnissen und den Querschnittszählungen werden stattdessen durch ein sukzessives Optimierungsverfahren an einzelnen Querschnitten und Korridoren korrigiert. Ein solches Vorgehen hat den wesentlichen Vorteil, dass die struk-

turellen Veränderungen der Matrix kontrolliert werden können. Damit kann eine unplausible Veränderung der Matrixstruktur verhindert werden.

Die theoretischen Grundlagen für die Kalibrationsverfahren sind in der Studie von Vrtic *et al.* (2004) zu finden. Der Ansatz "Path Flow Estimator" von Bell und Grosso (1999) stellt eine Grundlage dar, die durch die Festlegung der Methodik für die Beibehaltung der Ausgangsstruktur der Quelle-Ziel-Matrix sowie die Berücksichtigung der Siedlungsstruktur erweitert wird.

Diese Art des Vorgehens ist allerdings nur möglich, wenn die Ausgangsstruktur der Matrix korrekt ist und die Differenzen zwischen den Umlegungsbelastungen und den Querschnittszählungen über das gesamte Netz konsistent sind. Dies bedeutet, dass durch die Korrektur der Teilmatrix auf einem Querschnitt die Differenzen zwischen der Umlegungsbelastung und dem Zählwert auf einem anderen Querschnitt nicht erhöht werden dürfen. Der Nachteil eines solchen Vorgehens ist, dass es einen grösseren Zeitaufwand erfordert.

Nachdem alle Fehler im Verkehrsangebot und in den Zonenanbindungen korrigiert worden sind, wurde ersichtlich, auf welchen Querschnitten die Matrix geeicht werden muss. Diese Abweichungen können bei Verkehrsmodellen, in denen mit einem durchschnittlichen Verkehrsverhalten (einheitliche Modellparameter für alle Quelle-Ziel-Beziehungen) gerechnet wird, nicht verhindert werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Kalibration sowie die dadurch ermittelten Veränderungen der Matrix und der Querschnittsbelastungen dargestellt. Dafür wurden die nachstehenden Auswertungen der kalibrierten bzw. endgültigen Matrizen durchgeführt:

- Eckwerte der einzelnen Matrizen und Reiseweitenverteilungen vor (VISEVA-Ausgangsmatrix) und nach der Kalibration;
- Netzbelastungen und Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen;
- Analyse der Quelle-Ziel-Ströme bzw. Spinnenanalyse auf einzelnen Querschnitten.

7.2.1 Strassengüterverkehr

Die Quelle-Ziel-Matrizen für die drei Klassen des Strassengüterverkehrs wurden aus dem Basismodell 2005 übernommen und auf die Querschnittszählungen 2010 kalibriert. Die Kalibration erfolgt in zwei Schritten:

- Hochrechnung mit einheitlichen Wachstumsfaktoren anhand von mittleren Belastungsveränderungen aus den Querschnittszählungen;

- Kalibration auf die Zähldaten mit einem kombinierten Verfahren aus dem in VISUM vorhandenen V-Strom-Fuzzy-Verfahren und einem sukzessiven Optimierungsverfahren.

Die Modellbelastungen konnten auf den meisten Strecken mit Zählwerten sehr gut geeicht werden. Auf wenigen Strecken, wie z.B. dem Grenzübergang Basel, zeigen die Zählwerte eine extrem starke Asymmetrie nach Richtungen, welche mit der bestehenden Zonen- und Netzdichte sowie den vorhandenen Anbindungen im Modell nicht reproduzierbar ist. Auf diesen Abschnitten sind die Abweichungen zwischen Modellbelastungen und Zählungen grösser, da die Quelle-Ziel-Matrizen und die Modellbelastungen symmetrisch sind.

7.2.2 Ergebnisse Eckwerte

Kalibriert wurde für alle Nachfragesegmente die gesamte Matrix ohne Unterscheidung nach Fahrtzwecken. Aus den kalibrierten PW- und ÖV-Matrizen wurden dann in einem weiteren Schritt die Matrizen nach Fahrtzweck berechnet. Die Fahrtzweckanteile jeder Quelle-Ziel-Beziehung wurden dabei aus der Ausgangsmatrix übernommen. Die Eckwerte der Ausgangsmatrizen (aus VISEVA und Aussenverkehr) sowie der kalibrierten Matrizen sind in Tabelle 34 aufgeführt.

Tabelle 34 Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration

Verkehrsmittel	Vor Kalibration	Nach Kalibration	Veränderung [%]
MIV (PW-Fahrten)	12'128'831	11'239'101	-7.4
ÖV (Personenwege)	4'009'897	2'961'880	-26.1

Wie zu sehen ist, wurde die Randsumme der ÖV-Matrix um ca. 26% und jene der MIV-Matrix um ca. 7% gegenüber der erstellten Ausgangsmatrix reduziert. Diese Veränderungen wurden nicht durch die Modellkalibration verursacht, sondern beinhalten die Korrekturfaktoren, die sich aus der Inkonsistenz zwischen der Netzdichte und der Verkehrsnachfrage ergeben. Da sowohl die ÖV- als auch die MIV-Ausgangsmatrix die Gesamtnachfrage beinhalten (inkl. Verkehrsnachfrage auf Strecken, die im Modell nicht abgebildet sind, wie z.B. die städtischen Verkehrsbetriebe etc.) und die Belastungen somit über den Querschnittszählungen liegen müssen, wurden beide Binnenmatrizen zuerst auf wenigen Korridoren mit deutlichen Abweichungen mit einem Korrekturfaktor reduziert und anschliessend auf die Zähldaten kalibriert, da im Modell das Gesamtangebot nicht abgebildet wird. Dies betrifft insbesondere den städtischen ÖV (hier übernimmt das im Modell abgebildete Schienennetz teilweise Belastungen der Trams und Busse; z.B. Zürich HB – Oerlikon) sowie untergeordnete Strassen (deren

Belastung im Modell vom übergeordneten Netz aufgenommen wird). Durch die Kalibration an sich hat sich die Anzahl Fahrten um weniger als 5% verändert.

Die gesamte Anzahl an Wegen sowie die berechneten Personenkilometer und die mittlere Reiseweite der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzwecken sind in Tabelle 35 dargestellt. Die hier dargestellten Kenngrößen sind aus der Summe der Binnenverkehrsmatrix und der Aussenströme berechnet. Es ist zu beachten, dass im ÖV neben dem Schienenpersonenverkehr nur der Zubringerverkehr zu den Bahnhöfen abgebildet ist und damit der ÖV nicht vollständig im Modell enthalten ist. Auch im MIV muss die im Modell abgebildete Netzdichte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Durch die Berücksichtigung der Aussenströme haben sich die mittleren Reiseweiten einzelner Fahrtzwecke gegenüber der Binnenmatrix aus VISEVA vor allem im MIV leicht verändert, bleiben aber insgesamt relativ stabil. Hier werden nur die Verkehrsleistungen auf dem Schweizer Netz betrachtet.

Tabelle 35 Personenfahrten und Verkehrsleistungen der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen (Binnen- und Aussenströme)

[Mio.]	Personenwege	Verkehrsleistung Modellgebiet-CH [Personen-km]	mittlere Weglänge (Km)
Fahrtzweck	MIV		
Arbeit	4.13	46.47	11.2
Ausbildung	0.28	3.85	13.7
Einkauf	4.18	34.94	8.4
Nutzfahrt	1.77	28.21	16.0
Freizeit	5.39	81.82	15.2
Alle	15.74	195.28	12.4
Fahrtzweck	ÖV (*)		
Arbeit	0.94	20.70 (16.84)	22.1
Ausbildung	0.47	6.97 (5.63)	14.9
Einkauf	0.50	5.42 (4.75)	10.8
Nutzfahrt	0.13	6.12 (4.96)	47.2
Freizeit	0.92	24.95 (20.65)	27.0
Alle	2.96	64.15 (52.84)	21.7

(*) Nur Schienennetz CH

Zur Berechnung der PW-Fahrten für das MIV-Modell wurden die in Tabelle 36 dargestellten Besetzungsgrade (aus dem MZMV 2010 abgeleitet) verwendet. Hier sollte beachtet werden, dass die Besetzungsgrade pauschal für das gesamte Modellgebiet gelten und nicht für einzelne

Gebietsteile verwendet werden sollten. Die aus den angenommenen Besetzungsgraden berechneten Fahrzeugfahrten und Fahrzeugkilometer für das betrachtete Modellgebiet sind ebenfalls in Tabelle 36 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass im Modellgebiet ca. 11 Mio. PW-Fahrten und ca. 139 Mio. PW-Kilometer pro Tag erzeugt werden.

Tabelle 36 Verkehrsaufkommen, Verkehrsleistungen und Fahrleistungen im MIV (abgebildetes Strassennetz)

[Mio.]	Besetzungsgrad [Personen/PW]	Personenwege	PW-Fahrten	Fahrleistung Modellgebiet-CH [PW-km]
Arbeit	1.12	4.13	3.69	41.49
Ausbildung	1.26	0.28	0.22	3.05
Einkauf	1.41	4.17	2.58	21.57
Nutzfahrt	1.62	1.76	1.25	20.00
Freizeit	1.54	5.39	3.50	53.13
Alle	1.38	15.74	11.24	139.25

Die Fahrtzweckanteile in Bezug auf das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistungen sind in Tabelle 37 dargestellt. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Verkehrsleistung des Ausenverkehrs nur innerhalb der Schweiz und nicht für den vollständigen Weg berechnet wird. Es ist festzustellen, dass im MIV die Arbeits- und Freizeitwege dominierend sind und ca. 66% aller Personenkilometer übernehmen. Ein ähnliches Verhalten ist auch im ÖV festzustellen. Hier erhöht sich der Anteil der Freizeitwege von 31% bei den Personenwegen auf 39% bei den Personenkilometern. Diese Veränderungen sind auf die Wegelänge zurückzuführen. Andererseits reduziert sich der Verkehrsleistungs-Anteil des Ausbildungs- und Einkaufsverkehrs, da bei diesen Zwecken die Weglänge im ÖV kürzer ist.

Tabelle 37 Fahrtzweckanteile [%] in Bezug auf die Personenfahrten und Personenkilometer der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrix

	Personenwege	Personenkilometer: Modellgebiet-CH
Fahrtzweck	MIV	
Arbeit	26.2	23.8
Ausbildung	1.8	2.0
Einkauf	26.5	17.9
Nutzfahrt	11.2	14.4
Freizeit	34.2	41.2
Alle	100.0	100.0
Fahrtzweck	ÖV	
Arbeit	31.7	32.3
Ausbildung	15.8	10.9
Einkauf	17.0	8.5
Nutzfahrt	4.4	9.5
Freizeit	31.2	38.9
Alle	100.00	100.00

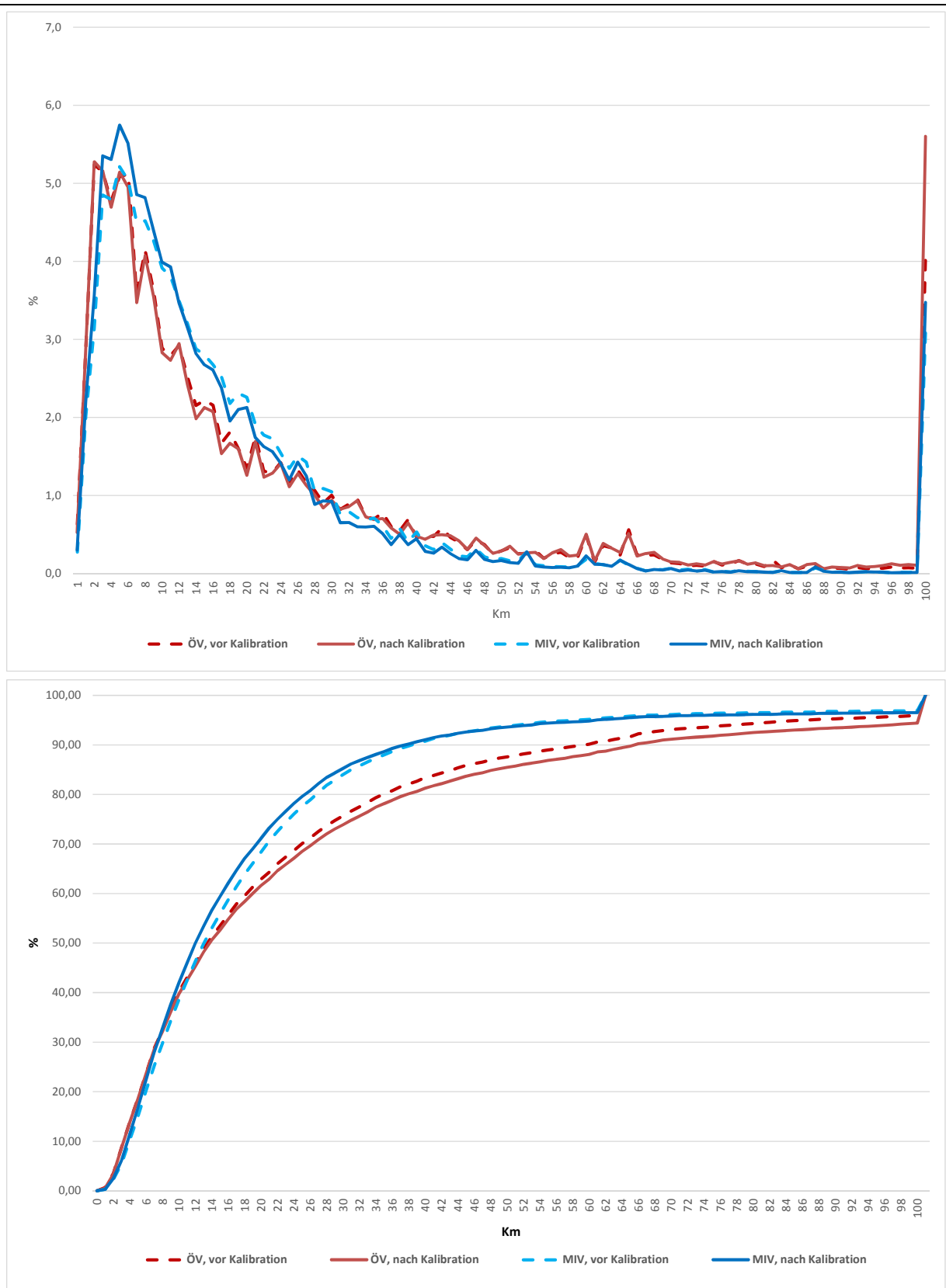
Die Modal-Split-Anteile zwischen MIV und ÖV (ohne Fuss- und Fahrradverkehr) der kalibrierten Matrix (inklusive Aussenverkehr) sind in Tabelle 38 dargestellt. Bezogen auf das Verkehrsaufkommen (Personenwege) beträgt der MIV-Anteil bei allen Fahrtzwecken, mit Ausnahme des Ausbildungsverkehrs, über 80%. Durch deutlich längere Arbeits-, Nutzfahrt- und Freizeitwege im ÖV steigt der ÖV-Anteil bei den Personenkilometern im Vergleich zum Verkehrsaufkommen im Arbeitsverkehr von 19% auf 31% und im Freizeitverkehr von 15% auf 23%. Insgesamt erhöht sich der ÖV-Anteil in Bezug auf die Personenkilometer gegenüber den Personenwegen von 16% auf 25%.

Tabelle 38 MIV- und ÖV-Anteile [%] in Bezug auf die Personenfahrten und Personenkilometer der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrix

	MIV	ÖV
Fahrtzweck	Personenwege	
Arbeit	81.5	18.5
Ausbildung	37.6	62.4
Einkauf	89.2	10.8
Nutzfahrt	93.1	6.9
Freizeit	85.4	14.6
Alle	84.2	15.8
Fahrtzweck	Personenkilometer	
Arbeit	69.2	30.9
Ausbildung	35.6	64.4
Einkauf	86.6	13.4
Nutzfahrt	82.2	17.8
Freizeit	76.6	23.4
Alle	75.3	24.7

Wie in den vorherigen Abschnitten schon erwähnt ist für die Qualität des Verkehrsmodells die räumliche Struktur der Quelle-Ziel-Matrizen sehr entscheidend. Aus diesem Grund wird in Abbildung 40 die Reiseweitenverteilung der Ausgangsmatrix vor der Kalibration mit jener der kalibrierten Matrix verglichen. Aus diesem Vergleich ist ersichtlich, dass die Matrixstruktur durch die Kalibration der Modellbelastungen auf die Querschnittszählungen nicht verändert wurde.

Abbildung 40 Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand (Binnen- und Aussenmatrix)



7.2.3 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 39 zeigt die wichtigsten Kennzahlen der Kalibration für jedes Nachfragesegment:

- die Anzahl Zählstellen, welche als plausibel angesehen und somit zum Vergleich mit den ermittelten Streckenbelastungen herangezogen wurden;
- die Mittelwerte der Querschnittszählungen auf diesen Strecken;
- die mittleren relativen Differenzen zwischen Belastungen und Zählwerten (über alle Strecken);
- die Korrelation zwischen Zählwerten und Belastungen;
- und die Gütemasse (R^2) der Regressionsrechnungen (empirische vs. modellbasierte Belastung).

Tabelle 39 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)

Nachfragesegment	Anzahl Zählwerte	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	Korrelationskoeffizient	R^2
PW	755	11'359	5.3%	1.00	0.99
Lieferwagen	501	1'868	5.4%	0.99	0.99
Lastwagen	582	540	3.9%	1.00	0.99
Last- und Sattelzüge	581	692	3.6%	1.00	1.00
MIV (Fahrzeuge)	1'267	10'202	5.8%	1.03	0.99
ÖV	312	8'620	2.5%	1.00	1.00

Die folgenden Abbildungen zeigen für jeden Netzzustand und jedes Nachfragesegment die Detailauswertungen der Kalibrationen. Aufgezeichnet sind jeweils die Zählwerte gegen die aus dem Modell resultierenden Streckenbelastungen; die rot gestrichelte Gerade entspricht der ermittelten Regressionsgeraden, die grüne Linie dem „Idealfall“, in welchem alle Streckenbelastungen genau den Querschnittszählungen entsprechen würden.

Es ist ersichtlich, dass die Kalibration insgesamt zu sehr guten Ergebnissen geführt hat; die mittleren relativen Differenzen für das DWV-Modell liegen im MIV und im ÖV durchgehend unter 6%. Insbesondere für hoch belastete Strecken, welche bei Anwendungen des NPVM im Vordergrund stehen, stimmen die modellierten Belastungen und die Querschnittszählungen sehr gut überein.

Neben dem hier dargestellten Vergleich mit den verfügbaren Zählwerten wurden die Modellbelastungen auch mit Erfahrungswerten aus früheren Projekten plausibilisiert. Insgesamt konn-

ten die Modellbelastungen im Strassenverkehr auf ca. 450 und im ÖV auf ca. 100 zusätzliche Querschnitte plausibilisiert werden.

Die Qualität der Modellkalibration ist stark von der Anzahl, Dichte und räumlichen Verteilung der Zählstellen abhängig. Durch die zusätzliche Plausibilisierung der Modellbelastungen mit den Erfahrungswerten konnte die Qualität der Modellkalibration deutlich erhöht werden. Dadurch reicht die Dichte der plausibilisierten Streckenbelastungen vor allem in der deutschsprachigen Schweiz und im Tessin für die im Modell vorhandene Netz- und Zonendichte aus. Andererseits beschränkt sich die Anzahl Zählstellen in der Ostschweiz und im Kanton Waadt sehr stark auf die Hauptkorridore. Dementsprechend ist zu empfehlen, bei Modellanwendungen in diesen Regionen die Zählstellendichte und die betrachteten Massnahmen bzw. die Notwendigkeit von zusätzlichen Zähldaten und einer Modellplausibilisierung zu überprüfen.

Da die Dichte der Zählstellen räumlich unterschiedlich ist, ist auch die Verlässlichkeit der Modellergebnisse nicht flächendeckend vergleichbar. Im Strassenverkehr konnten, vor allem wegen der fehlenden Netzdichte im grenznahen Ausland und in den Schweizer Grossstädten (Basel, Genf, Chiasso) sowie fehlenden Zähldaten, die Streckenbelastungen weniger plausibilisiert werden. Des Weiteren decken die verfügbaren Zählstellen in der Ostschweiz (Kanton St. Gallen und Thurgau) das Autobahnnetz nur soweit ab, dass die Netzbelastungen noch grob mit auf dem Internet verfügbaren DTV-Zählungen validiert werden mussten bzw. konnten. Auch in der Westschweiz ist ausserhalb des Nationalstrassennetzes die Verfügbarkeit der Zähldaten für eine Modellplausibilisierung nicht ausreichend.

Die Plausibilisierung des ÖV-Modells beschränkt sich auf den Schienenpersonenverkehr. Die verfügbaren Zähldaten sind räumlich relativ gleichmässig verteilt, so dass alle wichtigen und stark belasteten Korridore und Abschnitte plausibilisiert werden konnten. Betrachtet man aber das Gesamtnetz (inklusive Regionalverkehr), so ist festzustellen, dass es auch hier Korridore gibt (z.B. von und nach Payerne, Lenzburg-Luzern, einige Korridore in der Ostschweiz), die wegen fehlenden Zähldaten nicht plausibilisiert werden konnten.

Neben dem Vergleich mit den Gesetzmässigkeiten des MZMV 2010 und den Querschnittszählungen wurden die Quelle-Ziel-Matrizen auch mit den Matrixstrukturen aus früheren Studien (wie z.B. der ICN-Studie) verglichen. Hier wurden vor allem Spinnenanalysen einzelner Querschnitte, Zonen oder Knoten validiert. Einige Spinnenanalysen auf wichtigen Querschnitten sind im Anhang beigelegt.

Es muss beachtet werden, dass bei der Eichung des Modells alle Modellkomponenten soweit wie möglich realitätsentsprechend dargestellt werden. Dies bedeutet, dass sowohl die Inputdaten (wie Netzattribute und Modellparameter) als auch die Matrixstruktur und die daraus abge-

leiteten Streckenbelastungen korrekt abgebildet werden sollen. Die hier berechneten Differenzen sind eine weitere Bestätigung der genügenden Konsistenz des gesamten Modells.

Die verbliebenen Differenzen zwischen den Modellbelastungen und Zählwerten sind einerseits auf teilweise vorhandene Asymmetrien bei einigen Zählstellen sowie andererseits auf die für bestimmte Zählstellen ungenügende Netz- und Zonendichte im Verkehrsmodell zurückzuführen.

Des Weiteren ist zu beachten, dass bei der Erstellung von Netzmodellen eine vollständige Konsistenz mit allen Erhebungsdaten und damit auch mit den Querschnittszählungen kaum möglich ist. Die Unsicherheiten und die Fehler in den Erhebungsdaten (sowohl bei den Zählwerten als auch bei den Angebots- und Nachfragedaten) sowie Inkonsistenzen zwischen Zonengrösse und Netzdichte führen in der Regel dazu, dass ein vollständiger Abgleich kaum zu erreichen ist. Zusätzlich müssen hier auch die Grenzen der aggregierten Modelle sowie die Vielseitigkeit des Verkehrsverhaltens berücksichtigt werden.

Abbildung 41 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

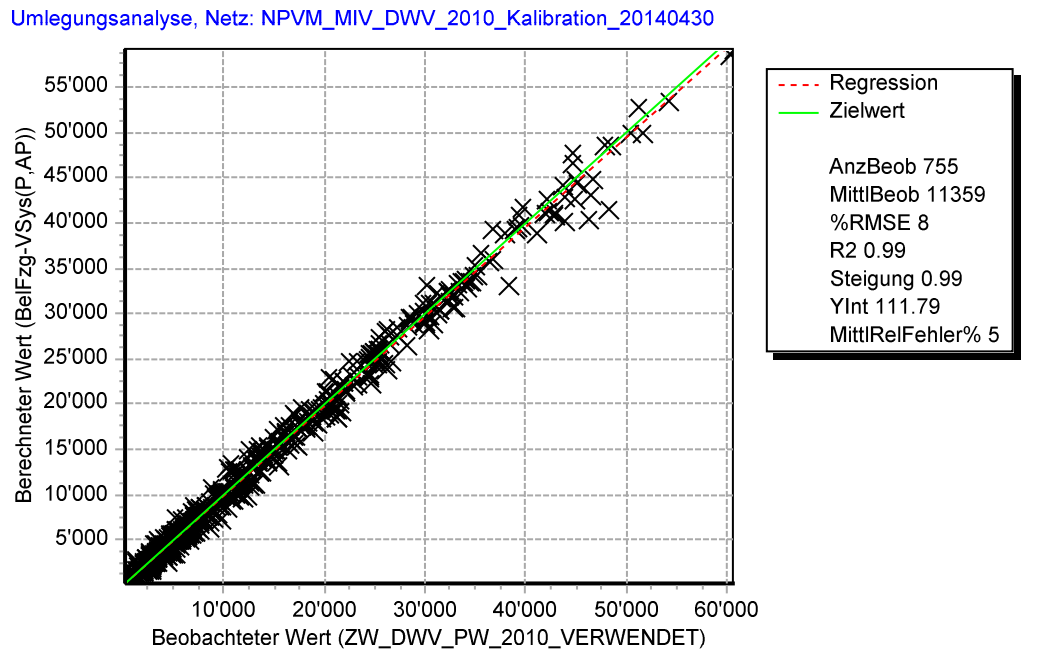
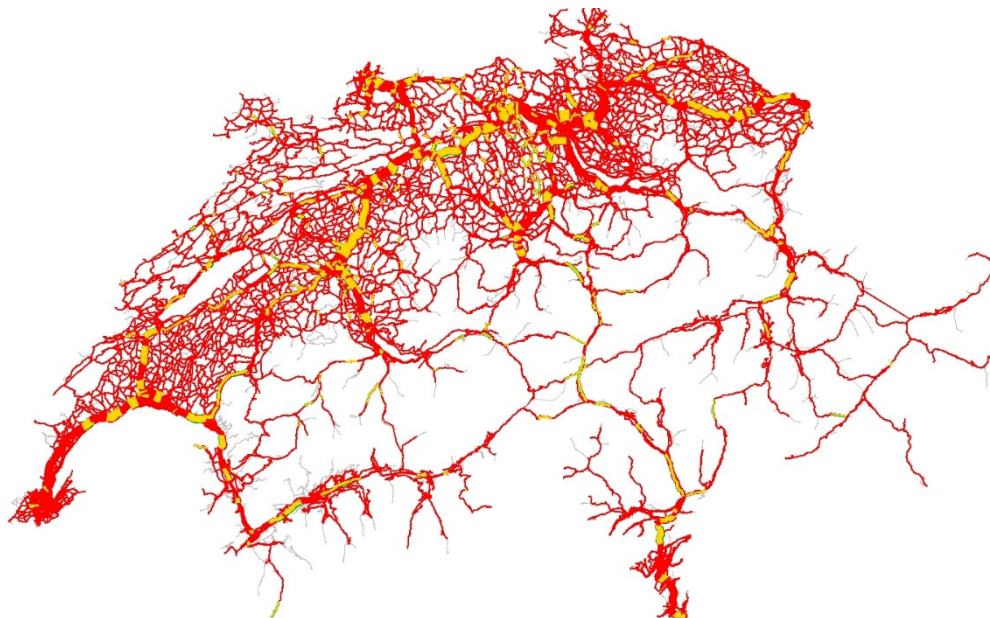


Abbildung 42 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)



Gelb: Zählwert; rot: Modellbelastung höher als Zählwert; grün: Modellbelastung tiefer als Zählwert

Abbildung 43 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen
(nach Kalibration)

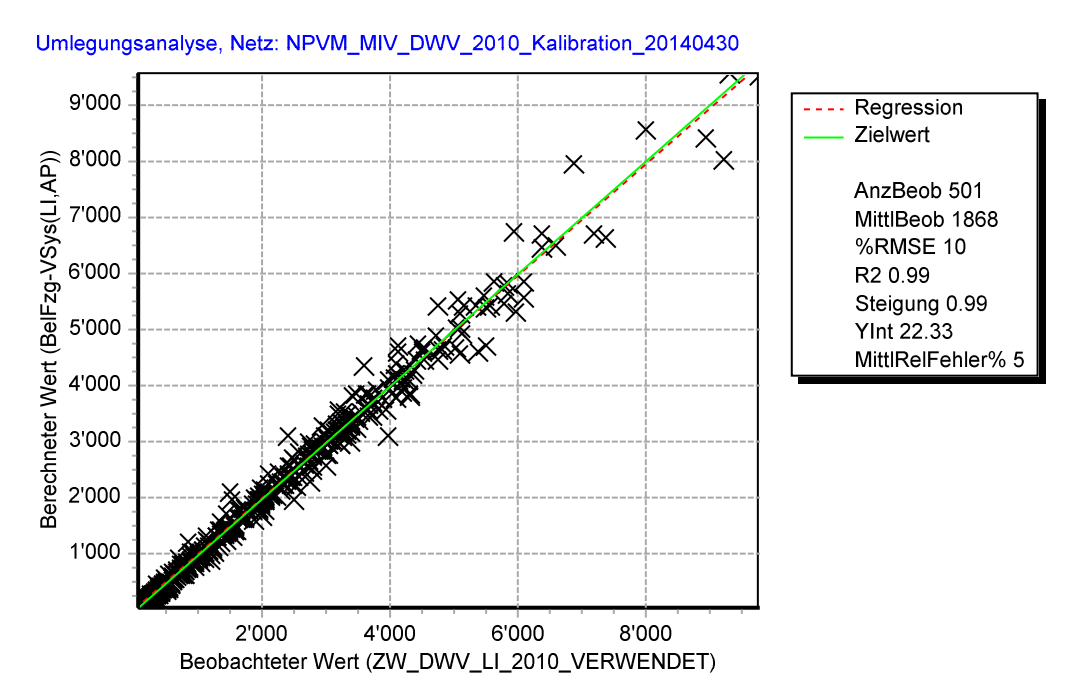


Abbildung 44 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen
(nach Kalibration)

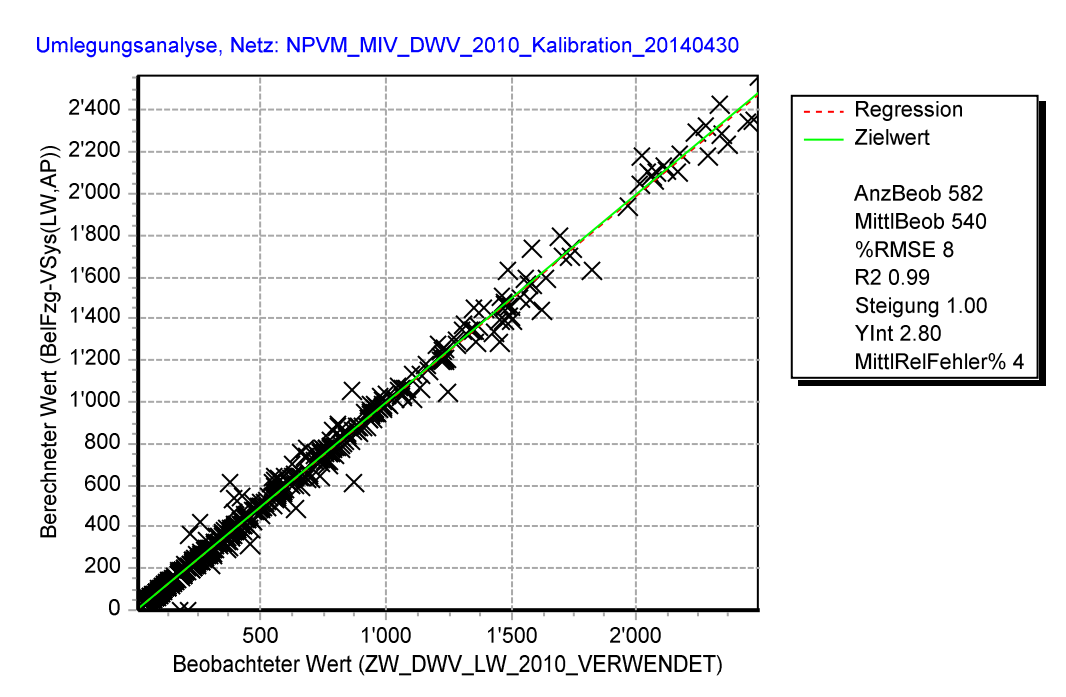


Abbildung 45 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

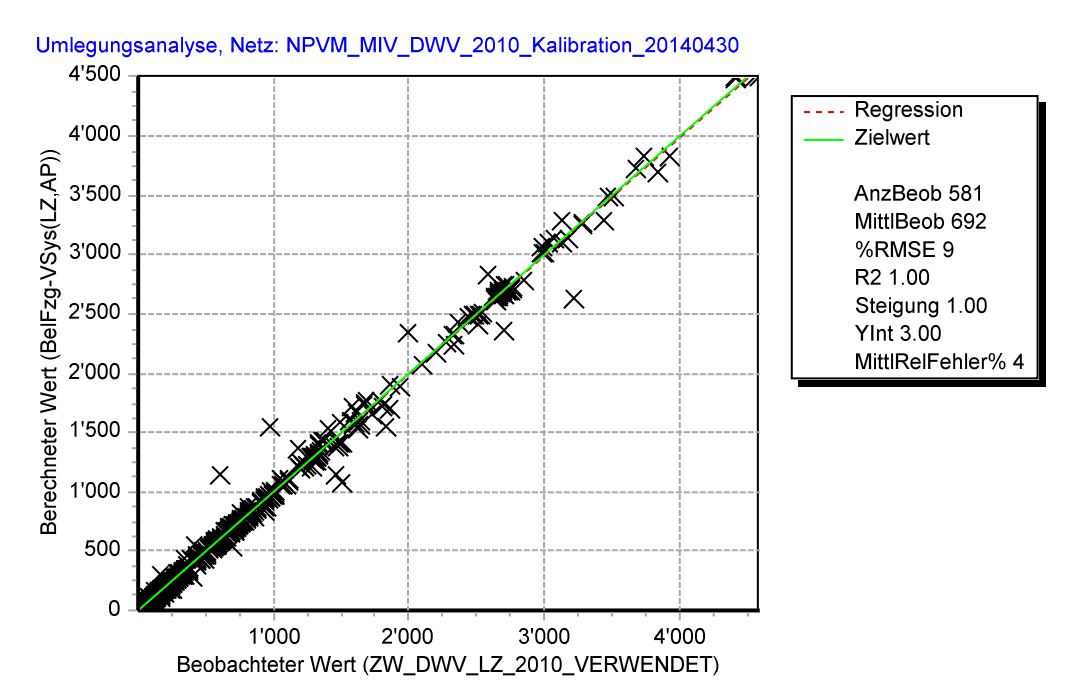


Abbildung 46 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Alle Fahrzeuge, MIV (nach Kalibration)

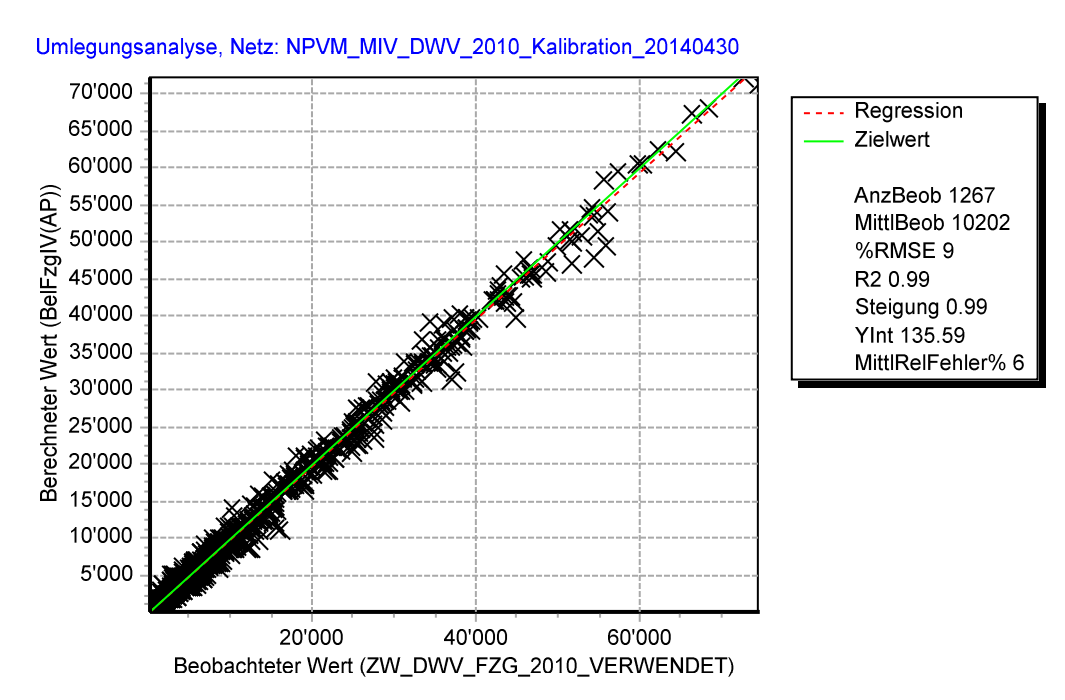


Abbildung 47 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)

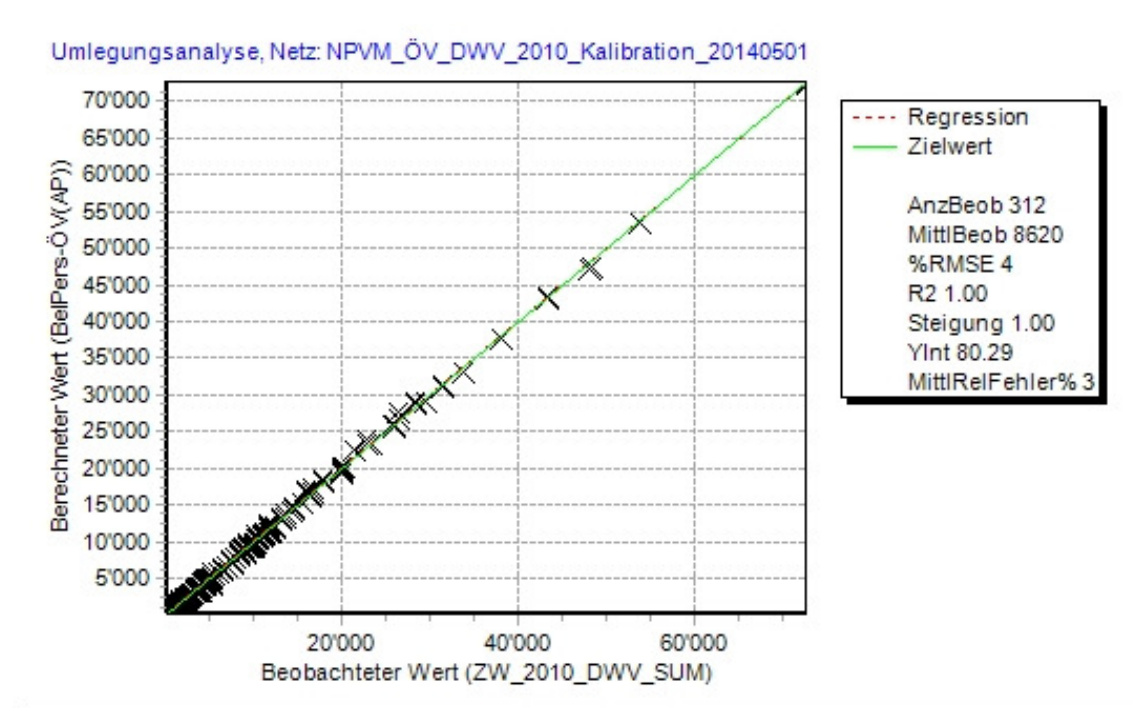
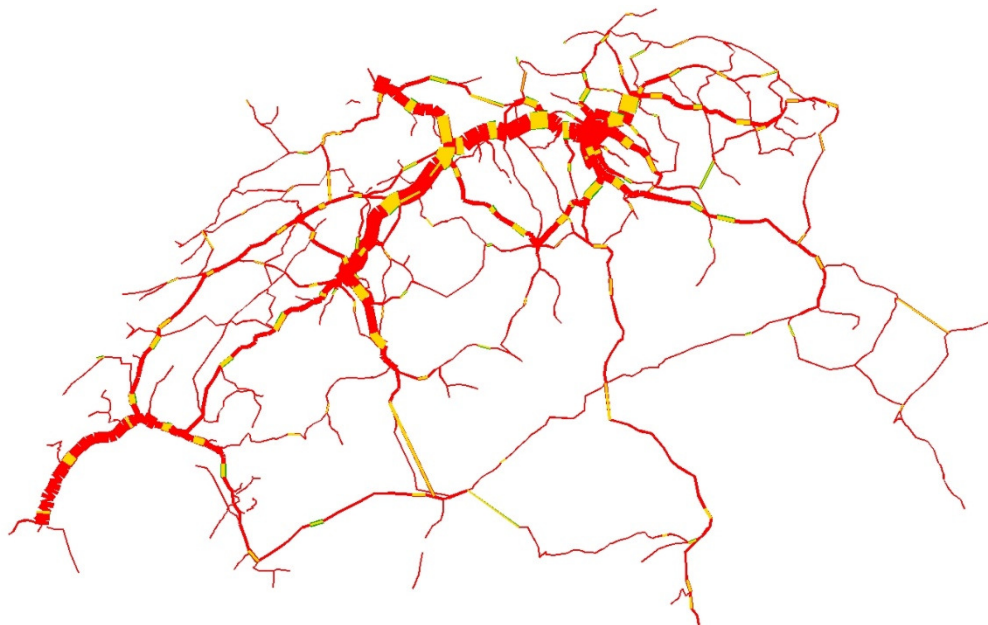


Abbildung 48 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



8 Schlussfolgerungen

Die erzielten Modellergebnisse sowie die durchgeführten Plausibilitätsanalysen belegen das vollständige Erreichen der Zielsetzungen des Projekts. Die erstellten Modelle wurden anhand der verfügbaren Erhebungsdaten verifiziert. Dabei wurden sowohl die Modellstruktur und -inputs als auch die Modellergebnisse plausibilisiert und eine Aktualisierung aller wichtigen Modellkomponenten durchgeführt.

Als wichtige Modellinputs wurden neben den Netzzuständen auch die Siedlungsdaten auf das Jahr 2010 aktualisiert und die Strukturdatenbank neu erstellt. Diese Daten können als Grundlage für die nächste Modellaktualisierung verwendet werden.

Das Erzeugungsmodell wurde neu vollständig in das Nachfragemodell (VISEVA) integriert. Das Nachfragemodell wurde sowohl durch die Inputdaten 2010 als auch in seiner Struktur aktualisiert und weiterentwickelt. Dafür wurden zusätzliche Modellkomponenten eingebaut und die Modellparameter auf die Erhebungsgrundlagen 2010 kalibriert. Dabei ergaben sich Widersprüche zwischen den verschiedenen Grundlagedaten. So liess sich die Reiseweitenverteilung aus dem MZMV 2010 nur bedingt mit den Querschnittszählungen in Einklang bringen. Um den Konflikt zu lösen wurde im Rahmen dieses Projektes und vor dem Hintergrund der beschränkten Stichprobengrösse des MZMV entschieden, dass sich die Validierung der Matrixstruktur stärker auf die Querschnittszählungen sowie verkehrsplanerische und modelltechnische Erfahrungen aus früheren Projekten stützt. Daneben wurde der MZMV 2010 für die Validierung der Fahrtzweck- und Verkehrsmittelwahlanteile sowie der Reiseweiten- und Reisezeitverteilung genutzt, auf die das Modell schliesslich geeicht wurde. In einzelnen Korridoren und Regionen wurde diese Eichung aber entsprechend den Umlegungsergebnissen und den Querschnittszählungen zusätzlich verfeinert. Für die zukünftige Validierung der Quelle-Ziel-Matrizen ist zu empfehlen, auf bestehende Quelle-Ziel-Erhebungen wie z.B. die SBB-Erhebungen im Schienenpersonenverkehr oder kantonale Erhebungen im Strassenverkehr (z.B. Kennzeichenerhebungen) zurückzugreifen sowie bei Bedarf auch weitere Erhebungen durchzuführen.

Die Validierung der Matrixstruktur hat auch in diesem Projekt die Modellgrenzen eines schweizweiten Nachfragemodells gezeigt. Die Verhaltensunterschiede vor allem in Bezug auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl in einzelnen Regionen und Korridoren lassen sich im bestehenden Nachfragemodell mit nur einem (einheitlichen) Parametersatz nicht vollständig abbilden. Wenngleich dafür zusätzliche Variablen eingebaut wurden, besteht hier weiterer Opti-

mierungsbedarf, der aber den Rahmen dieses Projektes weit überschreiten würde. Hier ist zu empfehlen, die Festlegung der zukünftigen Modellstruktur, mit den zu verwendenden Variablenätzen und Funktionsformen im Nachfragemodell einerseits und der Parameterschätzung andererseits, zu koordinieren und konsistent durchzuführen.

Für die Kalibrierung der Quelle-Ziel-Matrizen auf die Querschnittszählungen war der zur Verfügung gestellte Satz an Querschnittszählungen nicht ausreichend, so dass hier weitere Plausibilisierungsgrundlagen gesucht werden mussten. Es ist zu empfehlen, sowohl im Strassenverkehr als auch im ÖV die Zählstellendichte für die Modellkalibration bei zukünftigen Modellaktualisierungen zu erhöhen.

Die Modellbelastungen konnten sowohl im Strassenverkehr als auch im ÖV sehr genau auf die Zähldaten geeicht werden. Die mittlere Differenz gegenüber den Querschnittszählungen liegt bei allen betrachteten Verkehrsmitteln unter sechs Prozent, was für die Modellanwendungen eine mehr als ausreichende Genauigkeit ist. Dabei muss beachtet werden, dass die räumliche Verteilung der Zählstellendichte im Modell und damit auch die Modellqualität regional unterschiedlich ist. Im Strassenverkehr beschränken sich vor allem in der Ost- und Westschweiz die verfügbaren Zählstellen sehr stark auf die Hauptachsen (Autobahnen). Im ÖV konnten alle wichtigen Bahnachsen mit Ausnahme von wenigen Abschnitten im Regionalverkehr gut plausibilisiert werden.

Die Modellkalibration sowie die Plausibilisierung der Netzbelastungen und des Routenwahlverhaltens haben gezeigt, dass durch die bestehende Netz- und Zonendichte die Modellqualität stark beeinträchtigt wird. Hier ist vor allem das bestehende Strassennetz in Bezug auf die Netzdichte und -genauigkeit nicht ausreichend, was für die Abbildung des Routenwahlverhaltens im untergeordneten Strassennetz sehr entscheidend ist. Aufgrund des nicht plausiblen Routenwahlverhaltens lässt sich in diesen Netzteilen auch keine Kalibrierung der Streckenbelastungen auf die Zähldaten durchführen. Deswegen ist bei Modellanwendungen die Relevanz der Netz- und Zonendichte für die betrachteten Massnahmen im Voraus zu überprüfen und dementsprechend auch die Entscheidung über eine eventuell notwendige Netzverfeinerung oder Nachkalibration festzulegen. Insbesondere für die Bewertung von Strassenbauprojekten im untergeordneten Netz ist die Netzdichte des NPVM vermutlich selten ausreichend. Hier sollte dann nach Möglichkeit auf die in der Regel detaillierteren kantonalen Verkehrsmodelle zurückgegriffen werden. Die Anwendbarkeit des NPVM ist je nach Anwendungsfall bedarfsgerecht zu prüfen; pauschale Regeln können hier nicht festgelegt werden, mit zunehmendem räumlichem Detaillierungsgrad nimmt die Genauigkeit des NPVM aber tendenziell ab, und es sollte hauptsächlich für Projekte im übergeordneten Netz verwendet werden.

Im ÖV-Modell stellen vor allem die Zonendichte und der nicht abgebildete bzw. nicht plausibilisierte Zubringerverkehr zum Schienennetz die Rahmenbedingungen für die Modellgenauigkeit der Modellanwendungen dar. Die Modellbelastungen sowie das Routenwahlverhalten im Schienennetz und vor allem auf den Fernverkehrskorridoren konnten ausreichend plausibilisiert werden.

9 Literatur

Bell, M.G.H. und S. Grosso (1999) Estimating path flows from traffic counts, in W. Brilon, F. Huber, M. Schreckenberg und H. Wallentowitz (Hrsg.) *Traffic and Mobility*, 85-102, Springer, Berlin.

Bundesamt für Raumentwicklung (2006) Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr – Modellbeschreibung, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2010) Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK – Basiszustand 2005, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2011) SP-Befragung zum Verkehrsverhalten 2010, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2012) Nationales Personen- und Güterverkehrsmodell des UVEK: Durchschnittlicher Tagesverkehr 2011 für den Personen- und Güterverkehr, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2013) Aufbereitung kantonaler Zählstellen 2010, ARE, Ittigen.

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

Bundesamt für Statistik (2009) Alpen- und Grenzquerender Personenverkehr 2007 (A+GQPV07), Schlussbericht, Bundesamt für Statistik, Neuenburg.

GfK Switzerland AG (2012), Shopping-Center Markt Schweiz 2012, Hergiswil.

Schnabel, W. und D. Lohse (1997) Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Straßenverkehrsplanung, **2**, Verlag für Bauwesen, Berlin.

Vrtic, M., K.W. Axhausen, M.G.H. Bell, S. Grosso und W. Matthews (2004) Methoden zur Erstellung und Aktualisierung von Wunschlinienmatrizen im motorisierten Individualverkehr, Schlussbericht für SVI 2000/379, *Schriftenreihe*, **1066**, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

Vrtic M., K.W. Axhausen, F. Rossera und R. Maggi (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und USI Lugano.

Vrtic, M., P. Fröhlich, C. Schulze, S. Erne und M. Arendt (2010) Gesamtverkehrsmodell Kanton Zürich, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Zürich.

Vrtic, M., P. Fröhlich, R. Neuenschwander, P. Walker und D. Amstadt (2010]) Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern, Bau- Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Bern.

Vrtic, M., C. Weis, P. Fröhlich, B.R. Bodenmann, A.J. Zeiler (2013) Gesamtverkehrsmodell Kanton Solothurn, Zwischenbericht, Amt für Verkehr und Tiefbau, Kanton Solothurn, Solothurn.

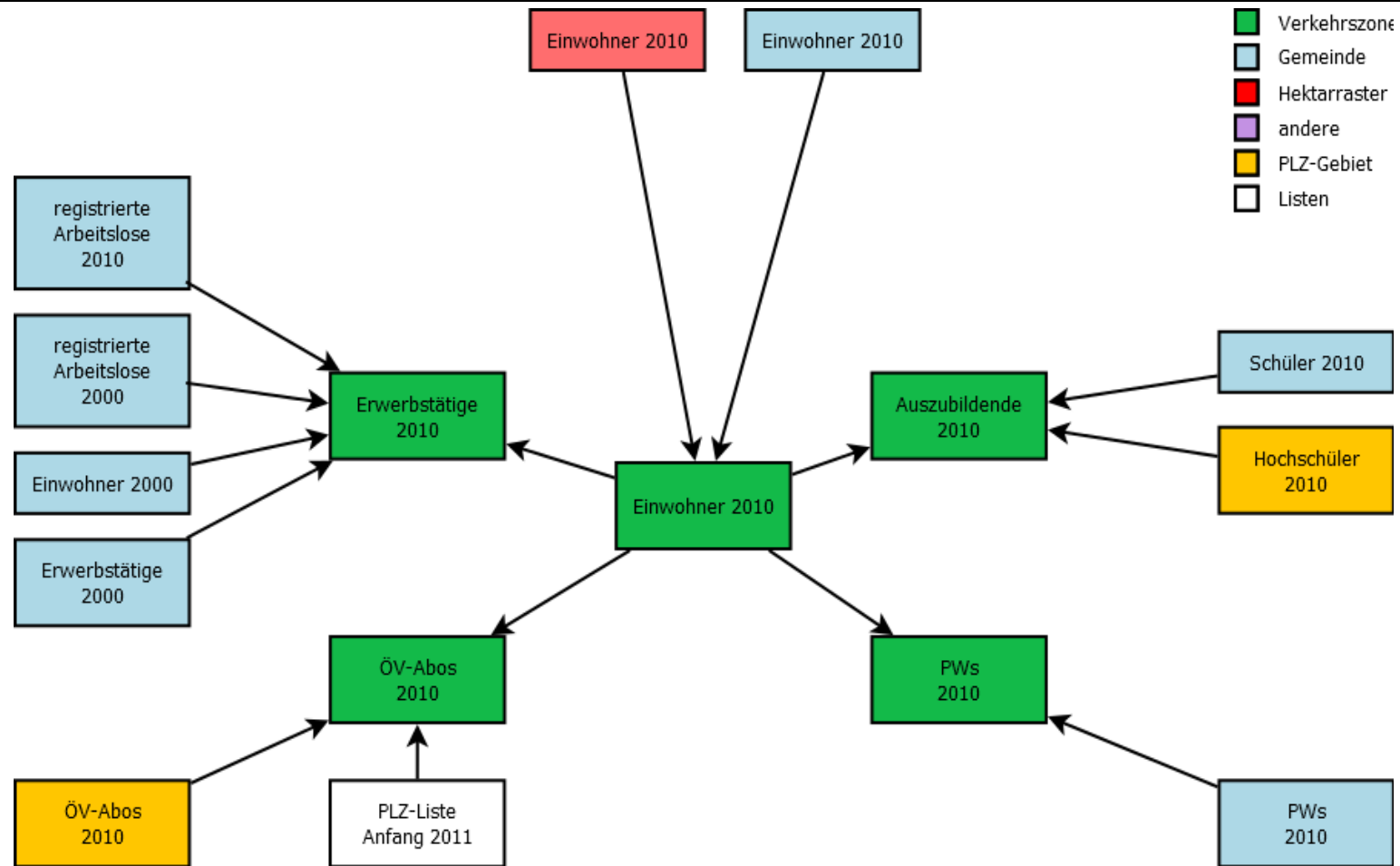
Widmer P., M. Vrtic, Weis C., Montini L. und K.W. Axhausen (in Arbeit) Einfluss des Parkierungsangebotes auf das Verkehrsverhalten und den Energieverbrauch, Forschungsauftrag SVI 2008/002.

10 Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFS	Bundesamt für Statistik
EVA	Erzeugung, Verteilung, Aufteilung
GA	Generalabonnement
HTA	Halbtaxabonnement
MOFIS	Automatisiertes Fahrzeug- und Fahrzeughalterregister
MZMV 2010	Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010
NOGA	General Classification of Economic Activities
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK
QZG	Quelle-Ziel-Gruppe
RP	Revealed Preference
SP	Stated Preference
STATPOP	Statistik der Bevölkerung und der Haushalte
STAT-TAB	Interaktive Datenbank des Bundesamtes für Statistik (statistische Tabellen)

Anhang 1: Abhängigkeit von Einwohnern

Abbildung 49 Abhängigkeit von Einwohnern



Anhang 2: Abhängigkeit von Beschäftigten

Anhang 3: Spinnenanalysen

Abbildung 51 Spinnenanalyse PW: Baregg

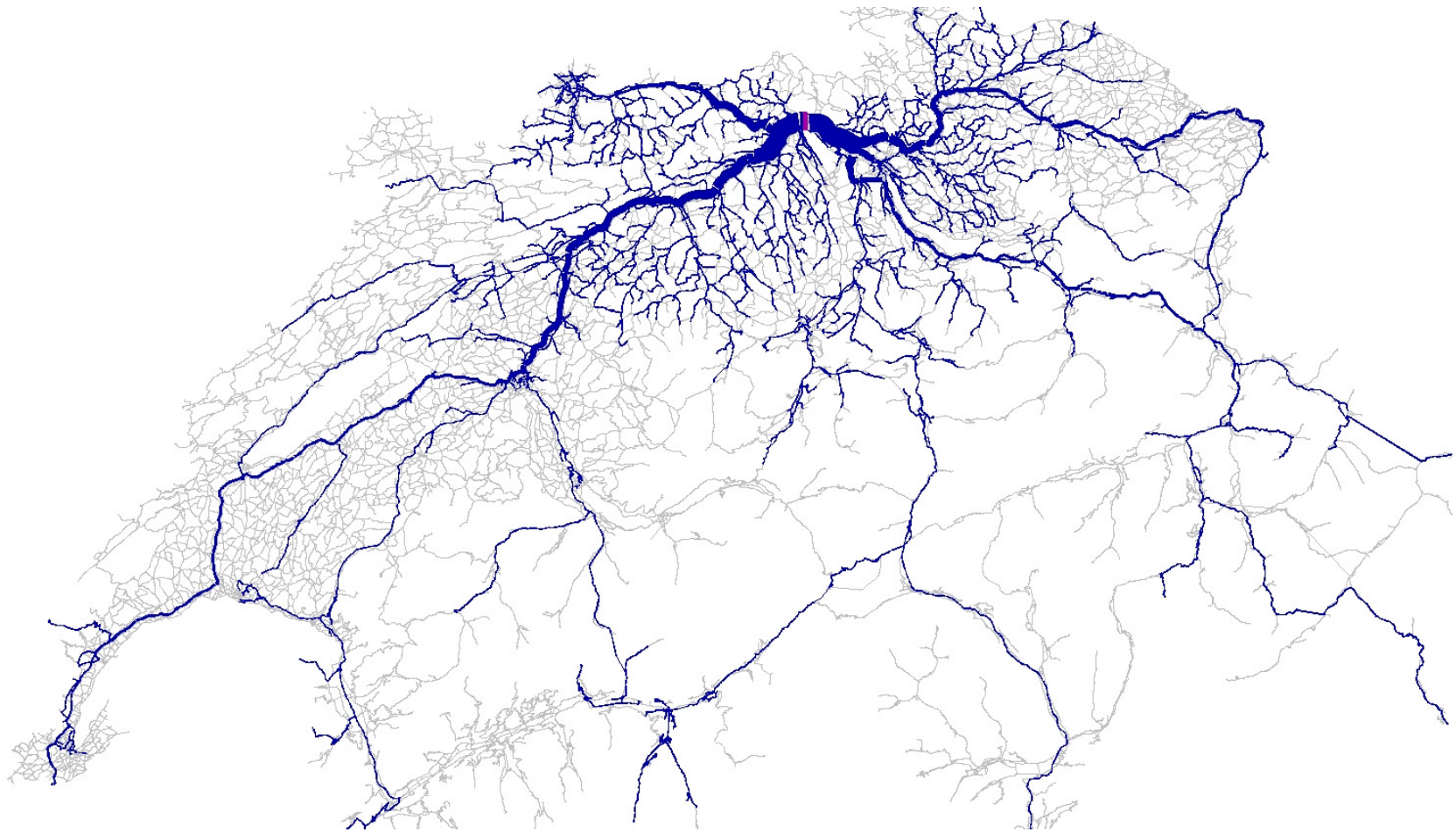


Abbildung 52 Spinnenanalyse PW: Gunzgen

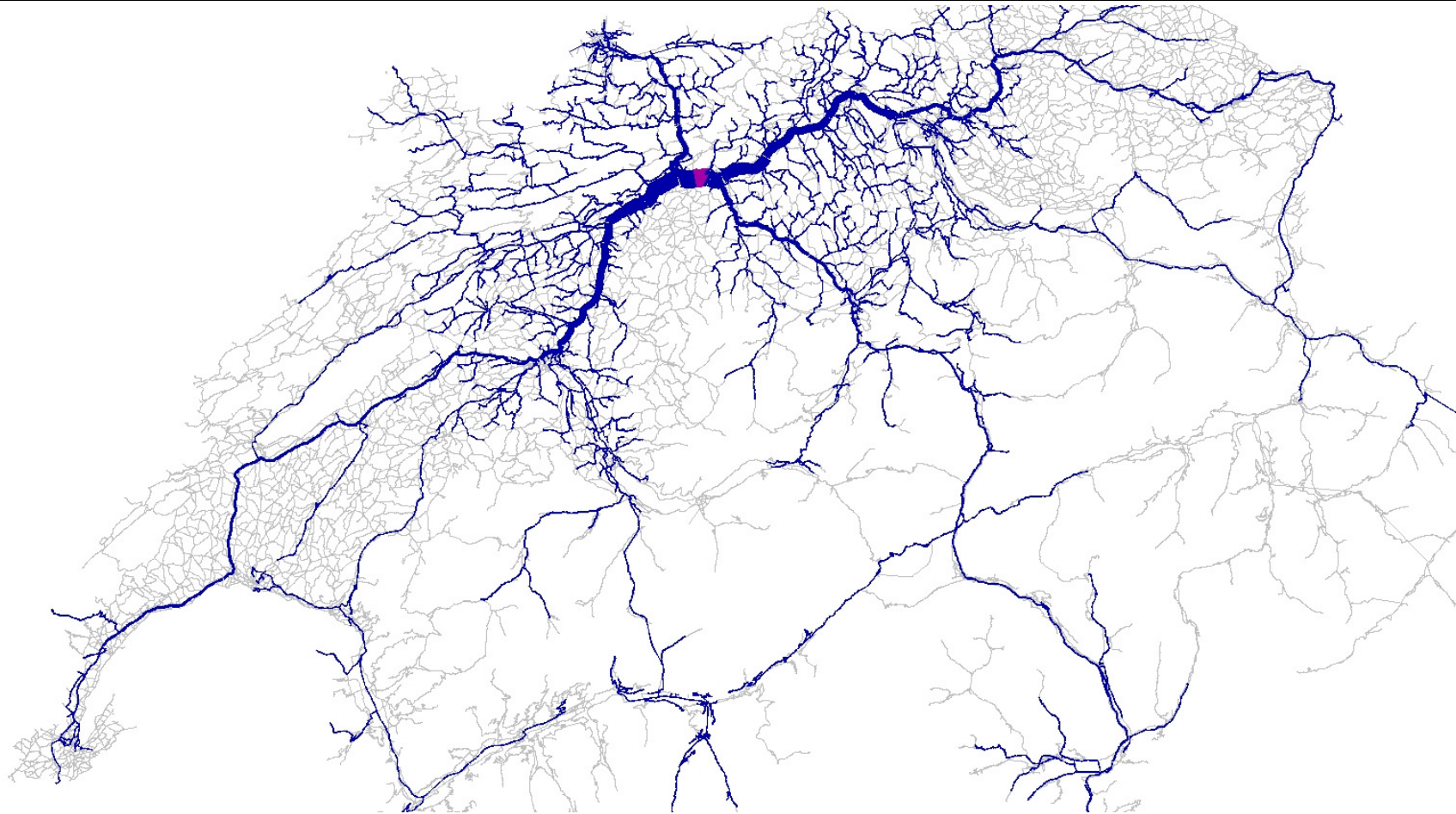


Abbildung 53 Spinnenanalyse PW: Niederbipp

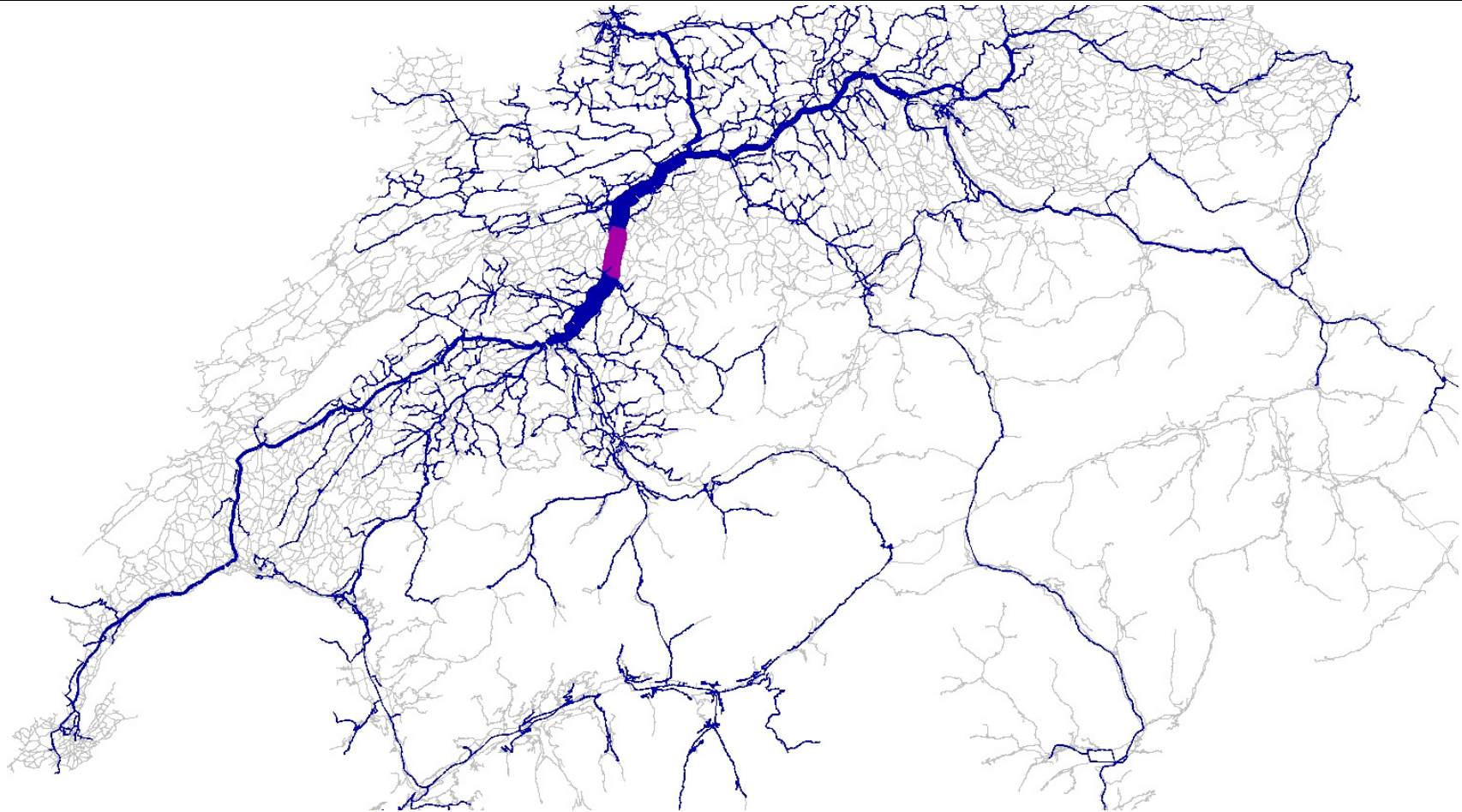


Abbildung 54 Spinnenanalyse PW: MuttENZ

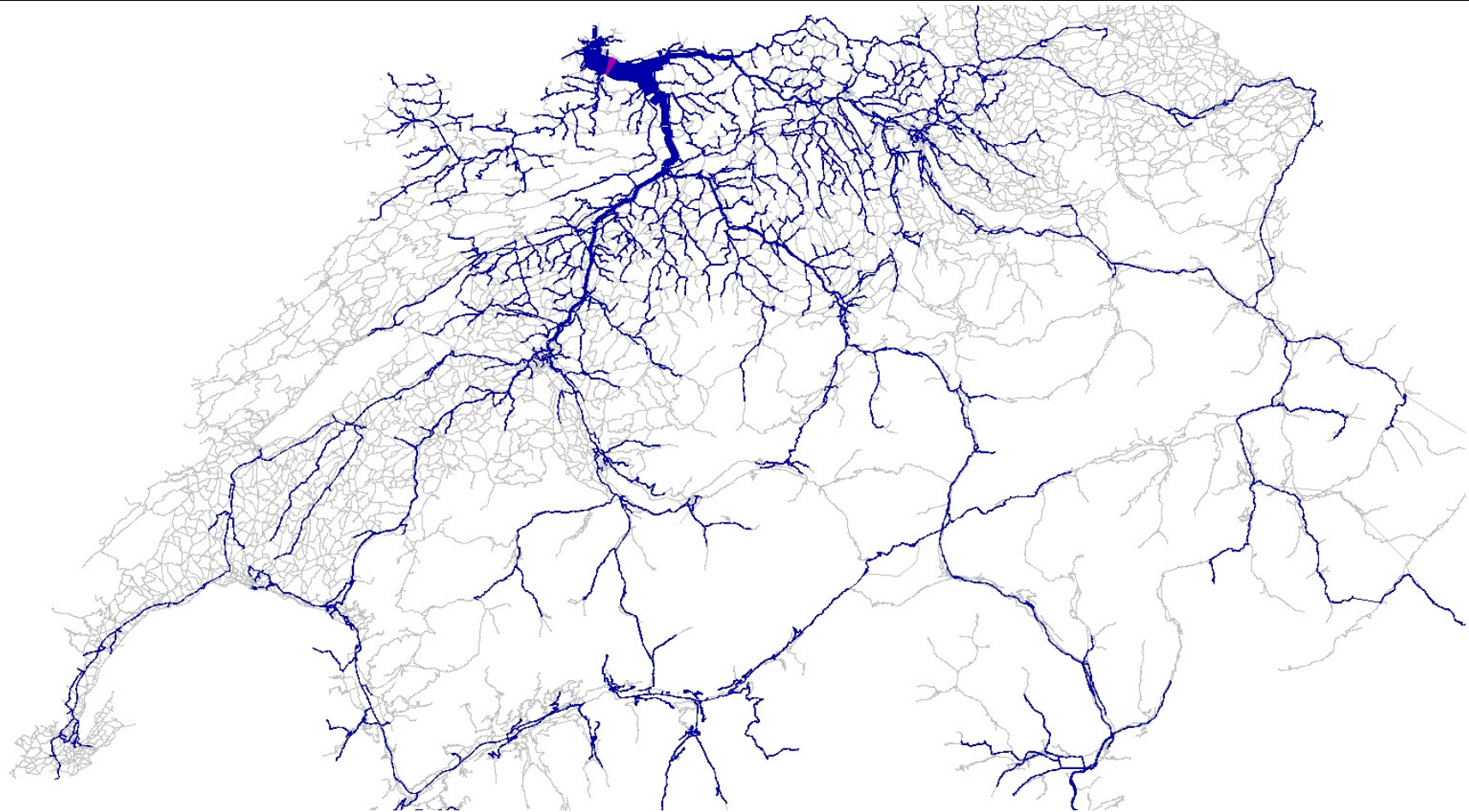


Abbildung 55 Spinnenanalyse ÖV: Schlieren

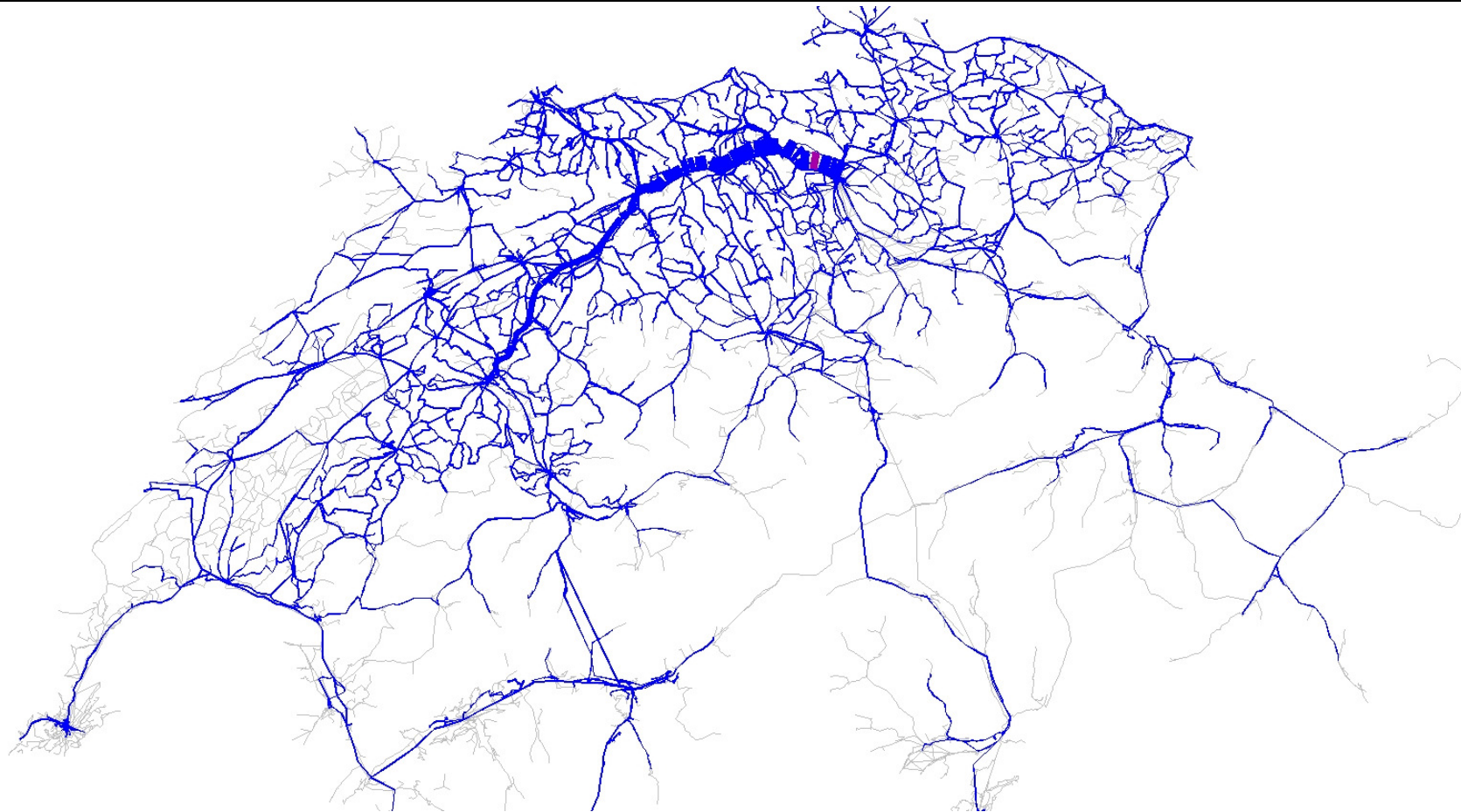


Abbildung 56 Spinnenanalyse ÖV: Tecknau

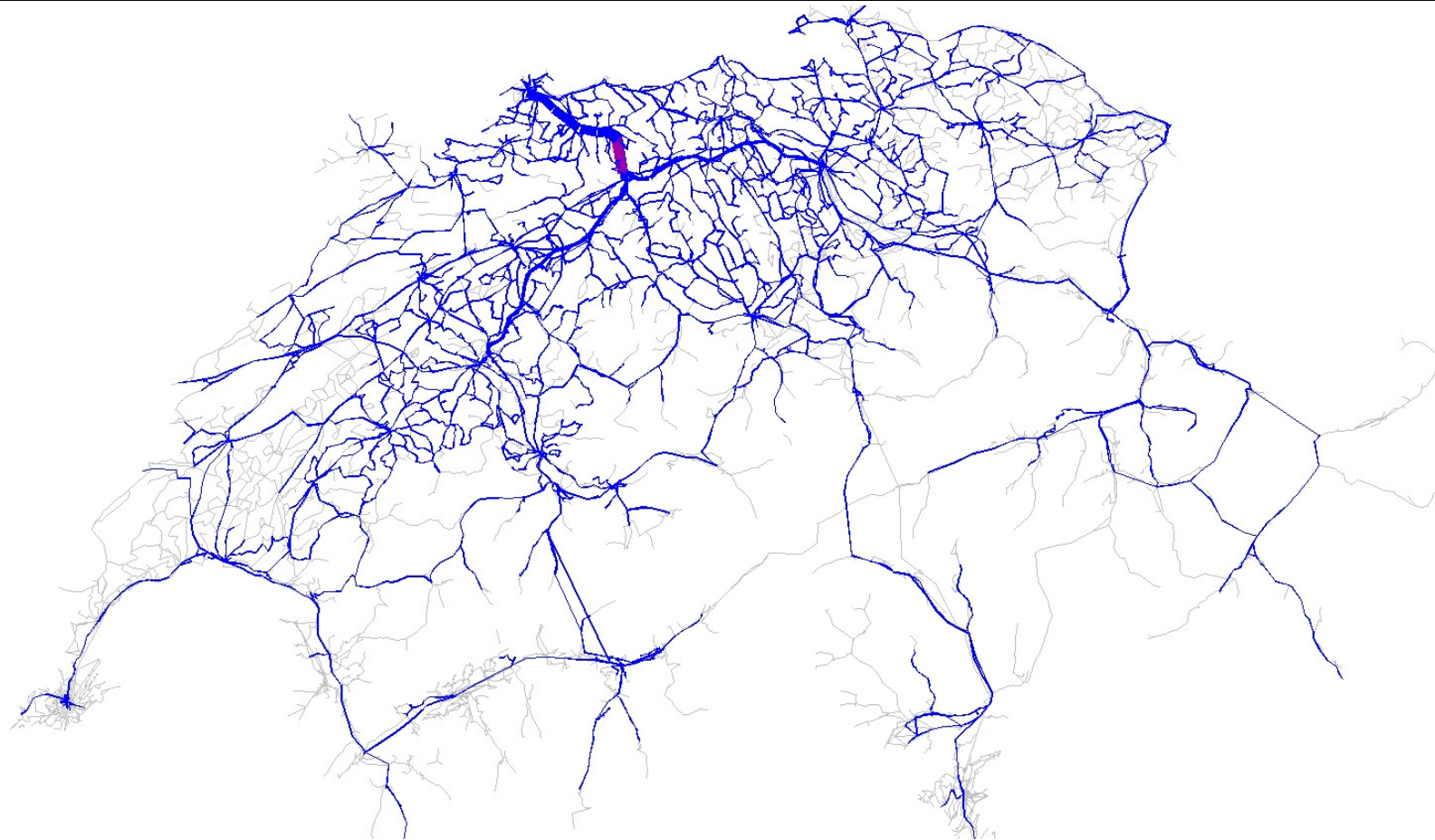


Abbildung 57 Spinnenanalyse ÖV: Bern

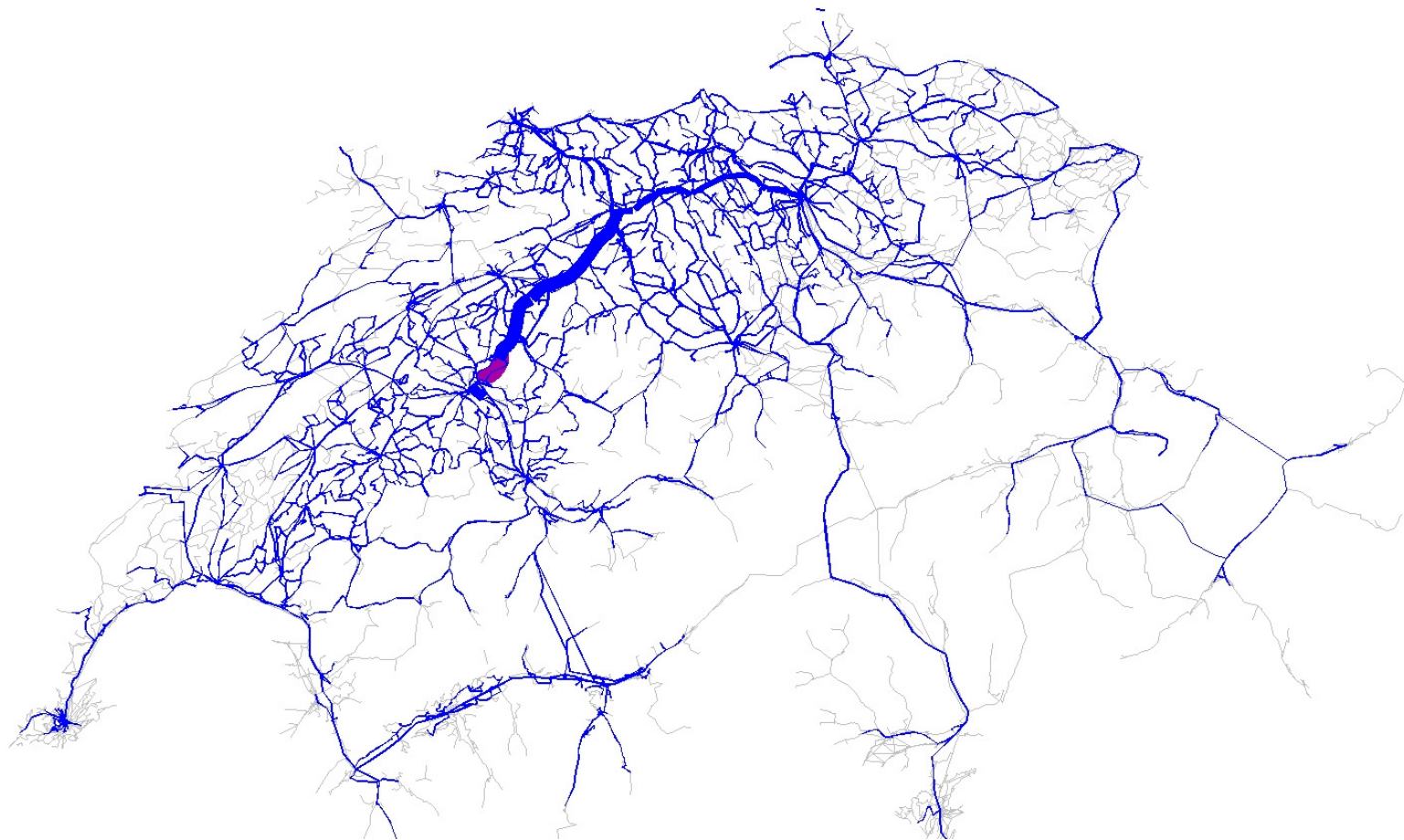


Abbildung 58 Spinnenanalyse ÖV: Zimmerbergtunnel

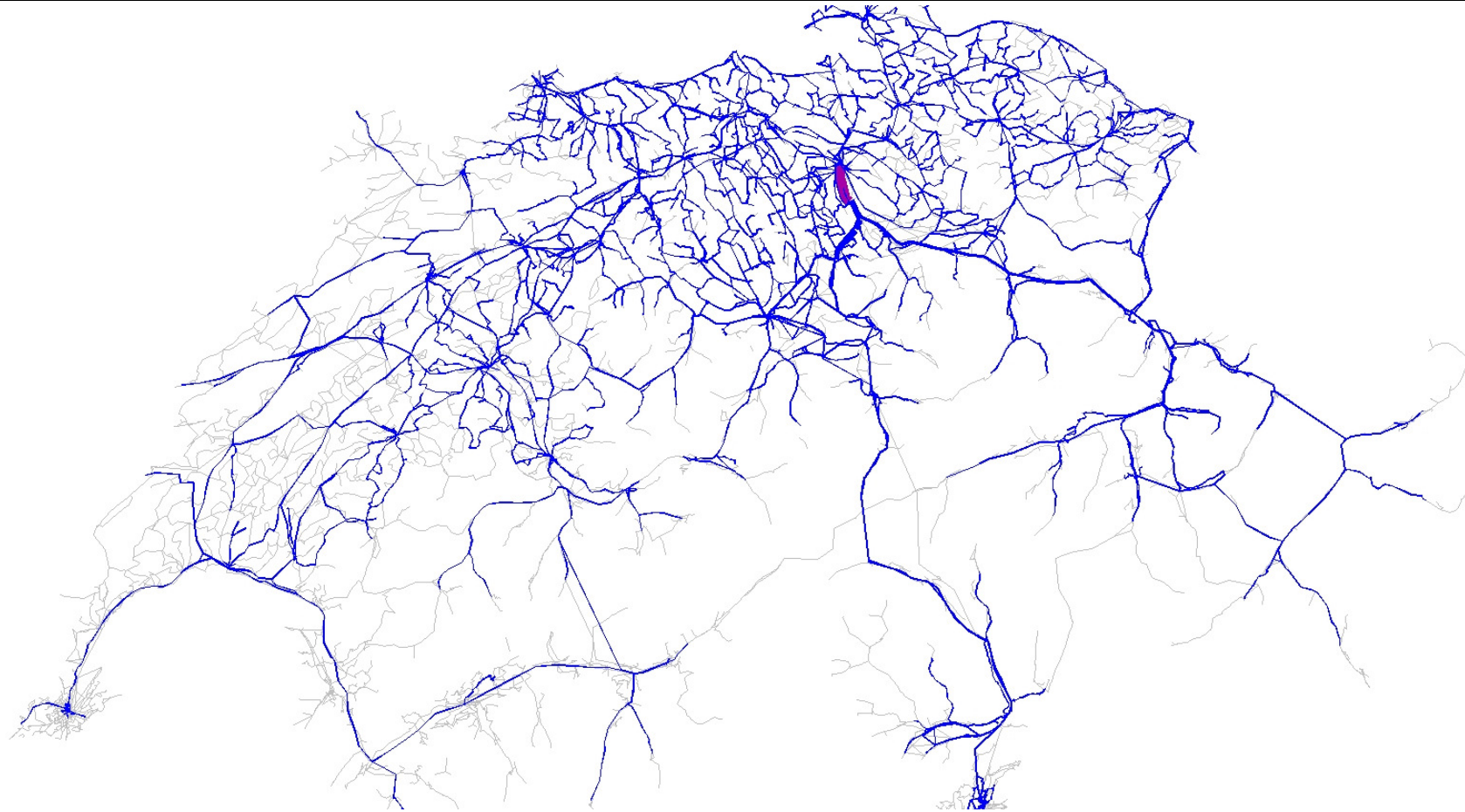


Abbildung 59 Spinnenanalyse ÖV: Zürich HB

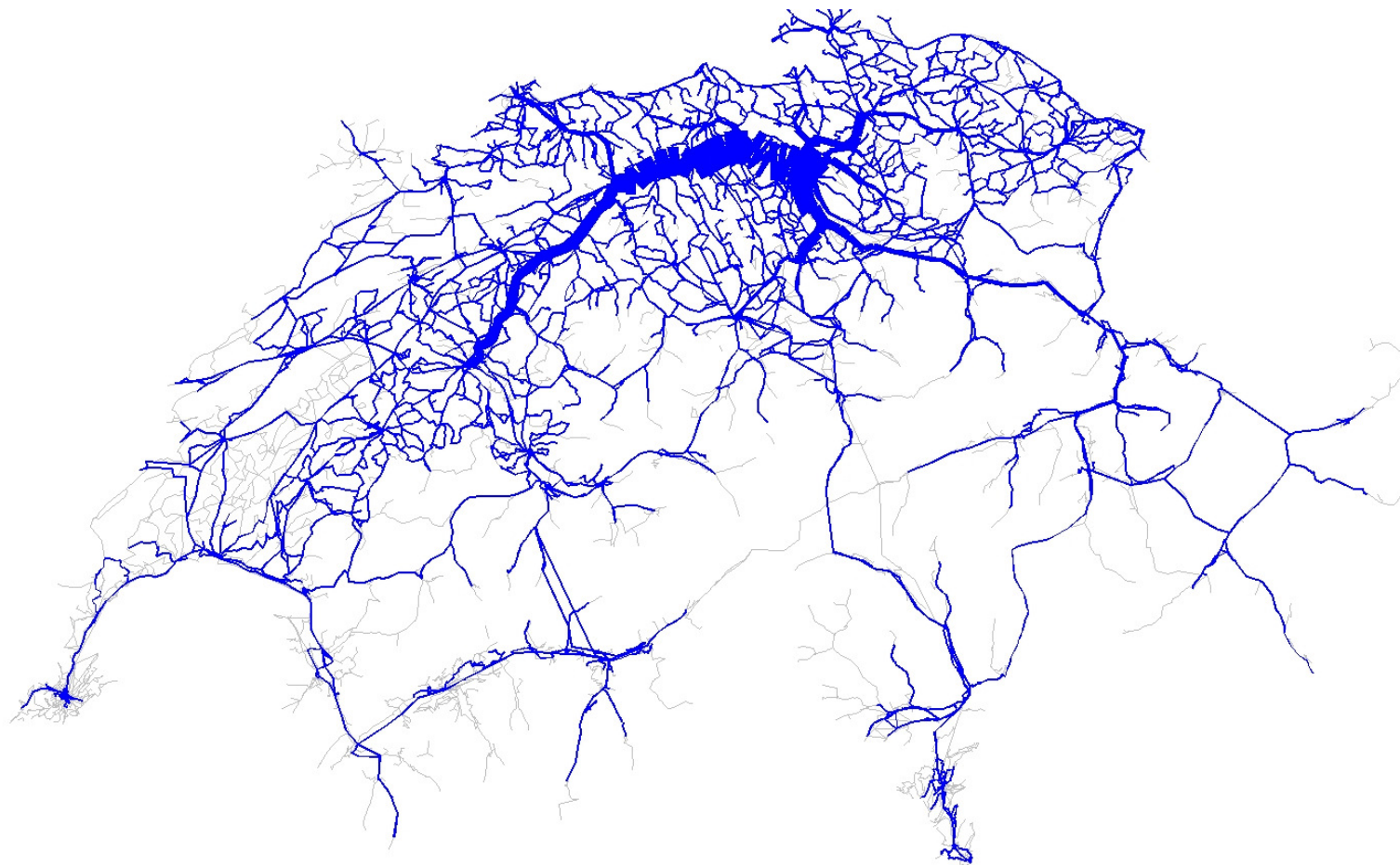


Abbildung 60 Spinnenanalyse ÖV: Bahnhof Bern

