

Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK

Zeitscheiben und Spitzenstundenmodelle für den Basiszustand
2010 und den Referenzzustand 2040



IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bundesamt für Verkehr (BAV)

Autoren

Dr. Milenko Vrtic, TransOptima GmbH, Olten

Dr. Claude Weis, TransOptima GmbH, Olten

Dr. Philipp Fröhlich, TransSol GmbH, Wollerau

Begleitung

Dr. Helmut Honermann (ARE)

Dr. Matthias Kowald (ARE)

Dorina Markus (ASTRA)

Julie Lietha (BAV)

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

Bezugsquellen

Elektronische Version: www.are.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergründe	13
2	Problemanalyse und Ziele	14
2.1	Problemanalyse	14
2.2	Ziele	14
3	Methodik	15
3.1	Zeitscheiben Personenverkehr Basiszustand 2010	17
3.1.1	Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen nach Quelle-Ziel-Gruppen	17
3.1.2	Berechnung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und Erstellung von dynamischen Umlegungsmodellen.....	20
3.1.3	Plausibilisierung und Validierung der Matrixstruktur und Umlegungsergebnisse.....	28
3.2	Erstellung von Spitzenstundenmodellen MSP und ASP (Basiszustand 2010) für den Personen- und Güterverkehr auf der Strasse und den Personenverkehr auf der Schiene	40
3.2.1	Aufbereitung der Quell-Ziel-Matrizen für Spitzenstundenmodelle	40
3.2.2	Spitzenstundenmodelle: Zählzeiten.....	47
3.2.3	Kalibration auf die Querschnittszählungen	49
3.2.4	Spitzenstundenmodelle mit Fahrtzweckmatrizen	63
3.3	Stundenfeine Quelle-Ziel-Matrizen und dynamische Umlegungsmodelle 2040.....	64
3.4	Spitzenstundenmodelle 2040 (Morgen- und Abendspitzenstunde).....	67
4	Literatur	72
5	Anhang.....	73

Abstract

Deutsch

Die Spitzenstundenmodelle (Abend- und Morgenspitzenstunde) und die stundenfeinen dynamischen Umlegungsmodelle des Nationalen Personenverkehrsmodells des UVEK wurden für den motorisierten Individualverkehr (MIV) und den öffentlichen Verkehr (ÖV) auf den Basiszustand 2010 und den Prognosezustand 2040 aktualisiert. Die Quelle-Ziel-Matrizen wurden neu für den Basiszustand 2010 erstellt und auf die Zählraten der Spitzenstunden kalibriert. Anhand der im Rahmen der Verkehrsperspektiven erstellten Modelle 2040 für den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) wurden anschliessend auch die Spitzenstundenmodelle und die dynamischen Umlegungsmodelle 2040 erstellt. Diese Modelle stehen als Grundlage für die Analyse von Infrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen mit Nachfragevariationen während des Werktages sowie für die Untersuchung von Kapazitätsengpässen und dynamischen Angebots- und Preismassnahmen zur Verfügung.

Français

Les modèles des heures de pointe (en matinée et en soirée) et les modèles dynamiques de répartition par heure du Modèle national du trafic voyageurs du DETEC ont été mis à jour pour le transport individuel motorisé (TIM) et les transports publics (TP) selon l'état de base 2010 et les pronostics 2040. Les matrices origine-destination ont été refaites pour l'état de base 2010 et calibrées selon les données de comptage des heures de pointe. Ensuite, les modèles des heures de pointe et les modèles dynamiques de répartition 2040 ont été établis en recourant aux modèles 2040 du trafic journalier moyen des jours ouvrables (TJMO) créés dans le cadre des Perspectives d'évolution du transport. Ces modèles sont utiles pour l'analyse des mesures en matière de politique des infrastructures et des transports, en lien avec les variations de la demande les jours ouvrables ainsi que pour l'examen des problèmes de capacité et des mesures dynamiques reposant sur l'offre et sur les prix.

Italiano

I modelli delle ore di punta (del mattino e della sera) e quelli di ripartizione dinamici su base oraria proposti dal Modello del traffico viaggiatori a livello nazionale del DATEC sono stati aggiornati per il trasporto individuale motorizzato (TIM) e il trasporto pubblico (TP), prendendo in considerazione lo stato di base 2010 e quello di riferimento 2040. Le matrici di origine-destinazione sono state realizzate per la prima volta per lo stato di base 2010 e calibrate ai dati di conteggio relativi alle ore di punta. Sulla base del Modello 2040 per il traffico lavorativo giornaliero medio (TLGM), elaborato nell'ambito delle Prospettive di traffico, sono stati in seguito compilati anche i modelli delle ore di punta e i modelli di ripartizione dinamici 2040. Essi sono disponibili come base per l'analisi di misure infrastrutturali e di politica dei trasporti con variazioni della domanda durante i giorni feriali e per l'individuazione dei problemi di capacità, nonché delle misure di offerta e dei prezzi dinamiche.

Zusammenfassung

Für Verkehrsprognosen und Nachfrageschätzungen stellen die im Verkehrsmodell abgebildeten Wirkungszusammenhänge sowie die Angebots-, Siedlungs- und Nachfragedaten eine wesentliche Grundlage dar.

In statischen Tagesverkehrsmodellen werden die Variationen der Verkehrsnachfrage sowie über den Tag variierende Reisezeiten nicht abgebildet. Durch die konstante Nachfrageverteilung im betrachteten Zeitraum wird hier eine zeitlich gleichmässige Kapazitätsauslastung angenommen. Damit können Auswirkungen von Massnahmen zum Abbau der Spitzenbelastungen und zur besseren Auslastung der vorhandenen Angebotskapazitäten (wie z.B. zeitabhängige Gebühren) nicht modelliert bzw. prognostiziert werden. Weiterhin werden Massnahmenwirkungen in hochbelasteten Netzen in einem Tagesmodell nicht mit ausreichender Genauigkeit abgebildet. Aus diesem Grund müssen bei bestimmten Massnahmen und vor allem bei der Analyse von Kapazitätsengpässen oder Kostenmassnahmen, die Spitzenstundenmodelle oder dynamische (stundenfeine) Umlegungsmodelle angewendet werden.

Um für zukünftige Planungen geeignete und aktuelle Modellgrundlagen zur Verfügung zu haben, wurden in diesem Projekt auf Grundlagen von bestehenden Modellzuständen des durchschnittlichen Werktagverkehrs (DWV) 2010 und 2040 des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) sowie weiteren verfügbaren Datengrundlagen die dynamischen (stundenfeinen) Spitzenstundenmodelle, die Morgenspitzenstunde (MSP) von 7 bis 8 Uhr und die Abendspitzenstunde (ASP) von 17 bis 18 Uhr, für den Basiszustand 2010 und den Referenzzustand 2040 neu erstellt. Der Modellaufbau wurde in drei Arbeitspaketen durchgeführt:

- 1) Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodellen 2010;
- 2) Erstellung der statischen Spitzenstundenmodelle 2010 MSP und ASP;
- 3) Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodellen 2040 sowie die statischen Spitzenstundenmodelle 2040 MSP und ASP.

Die stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodelle wurden anhand von den Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (MZMV 2010), dem DWV-Modell 2010 sowie verfügbaren Zählraten abgeleitet und plausibilisiert. Die räumlichen und zeitlichen Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage wurden basierend auf Daten des MZMV 2010 und nach den im DWV-Modell differenzierten Quelle-Ziel-Gruppen (Aktivitäten) abgeleitet. Anschliessend wurden aus den stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und Netzmodellen des DWV-Modells die dynamischen Umlegungsmodelle im MIV und ÖV erstellt und validiert.

Aus den stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dem DWV-Modell 2010 wurden anschliessend die Spitzenstundenmodelle 2010 für den motorisierten Individualverkehr (MIV) und den öffentlichen Verkehr (ÖV) erstellt. Die erstellten Modelle wurden anhand verfügbarer Erhebungsdaten verifiziert. Dabei wurden sowohl die Netzmodelle und das Routenwahlverhalten als auch die ermittelte Verkehrsnachfrage kalibriert und validiert. Eine Eichung der Matrix

wurde sowohl auf der Ebene der Matrixstruktur als auch auf der Ebene der Querschnittsbelastungen durchgeführt. Somit ist die Erklärungskraft des Modells sowie seine Anwendbarkeit für konkrete Massnahmenplanungen und Verkehrsprognosen sichergestellt.

Die Kalibrierung der Netzbelastungen auf die Zählraten der Basismodelle 2010 hat insgesamt zu sehr guten Ergebnissen geführt; die mittleren relativen Differenzen zwischen den Zählraten und dem ASP- und MSP-Modell liegen durchgehend unter 5%. Insbesondere für hoch belastete Strecken stimmen die modellierten Belastungen und die Querschnittszählungen sehr gut überein. Mit der erreichten Modellgenauigkeit ist die Anwendbarkeit beider Spitzenstunden Modelle sowohl im MIV als auch im ÖV sichergestellt. Die mittleren relativen Differenzen von 3% im ÖV und 4.5% im Strassenverkehr ist erfahrungsgemäss für Modellanwendungen mehr als ausreichend. Die höhere Genauigkeit des ÖV-Modells im Vergleich mit dem MIV-Modell, ist vor allem auf eine bessere Konsistenz und Homogenität der Zählraten sowie eine kleinere Anzahl von Zählstellen zurückzuführen.

Aus den validierten Modellzuständen 2010 und dem DWV-Referenzzustand 2040 wurden anschliessend die dynamischen Umlegungsmodelle und Spitzenstundenmodelle 2040 erstellt. Da für beide Modelle die Tagesganglinien aus dem Zustand 2010 abgeleitet und unverändert übernommen wurden, entspricht das Nachfragewachstum 2010-2040 bei den Stundenfein- und Spitzenstundenmodellen überwiegend dem Nachfragewachstum des DWV-Modells. Die Unterschiede sind vor allem auf die etwas veränderte Fahrtzweckstruktur der Verkehrsnachfrage sowie durch Angebotsänderungen (Kapazitätsengpässe) verursachte Routenwahlverlagerungen zurückzuführen.

Résumé

Le modèle de transport contient des données sur l'offre, l'urbanisation et la demande et intègre les relations causales entre ces différents éléments. Il constitue une base essentielle pour les prévisions de trafic et l'analyse de la demande.

Les modèles de trafic journalier statiques ne reflètent pas les variations de la demande de transport ni les durées de déplacement variant au cours de la journée. La demande y étant répartie de manière régulière sur la période analysée, les capacités y sont considérées comme étant utilisées uniformément au fil de cette période. De ce fait, les incidences de mesures visant à alléger la charge de trafic des heures de pointe et à mieux exploiter les capacités de l'offre existante (p. ex. par des taxes basées sur moment de la journée) ne peuvent être ni modélisées ni pronostiquées. De plus, les incidences des mesures sur des réseaux à forte charge de trafic ne sont pas rendues avec la précision suffisante dans un modèle journalier. Pour cette raison, il faut utiliser les modèles des heures de pointe ou les modèles dynamiques de répartition (à précision horaire) pour certaines mesures et surtout pour l'analyse des problèmes de capacité ou des mesures liées aux coûts.

Afin de disposer de bases de modélisation appropriées et actuelles pour de futures planifications, les auteurs du présent projet se sont appuyés sur :

- des modèles existants du trafic journalier moyen des jours ouvrables (TJMO) 2010 et 2040 du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP);
- d'autres bases de données disponibles.

Ainsi, ils ont élaboré de nouveaux modèles dynamiques des heures de pointe (par heure), pour les heures de pointe en matinée (MHP, de 7 h à 8 h) et en soirée (SHP, de 17 h à 18 h) pour l'état de base 2010 et l'état de référence 2040. L'élaboration du modèle a été menée en trois volets:

- 1) élaboration de matrices origine-destination et de modèles dynamiques de répartition par heure 2010;
- 2) élaboration de modèles statiques pour heures de pointe 2010, MHP et SHP;
- 3) élaboration de matrices origine-destination par heure et de modèles dynamiques de répartition 2040 MHP et SHP.

Les matrices origine-destination et les modèles dynamiques de répartition par heure reposent sur les données du microrecensement mobilité et transport 2010 (MRMT 2010), sur le modèle TJMO 2010 et sur des données de comptage disponibles. Ces données ont également été utilisées pour le contrôle de plausibilité. Les données spatiales et temporelles réelles de la demande en transport ont été obtenues à partir des données du MRMT 2010, organisées selon les matrices origines-destination (activités) du modèle TJMO. Ensuite, les matrices origine-destination par heure et les modèles de réseau du modèle TJMO ont été utilisées pour créer et valider les modèles dynamiques de répartition pour les TIM et les TP.

Enfin, les modèles des heures de pointe 2010 pour le transport individuel motorisé (TIM) et les transports publics (TP) ont été établis à partir des matrices origine-destination par heure et du

modèle TJMO 2010. Les modèles élaborés ont été vérifiés au moyen de données de relevés disponibles. Pour cela, tant les modèles de réseau et les comportements en matière de choix d'itinéraires que la demande en transport obtenue ont été calibrés et validés. La matrice a été soumise à une vérification (jaugeage) au niveau de sa structure comme au niveau des charges en section. Il est ainsi assuré que le modèle produit des résultats pertinents et qu'il est utilisable pour des mesures de planification concrètes et des pronostics d'évolution des transports.

Le calibrage des charges de réseau selon les données de comptage des modèles de base 2010 a fourni au total de très bons résultats; les différences relatives moyennes entre les données de comptage et le modèle SHP et MHP sont largement inférieures à 5 %. Pour les tronçons à forte charge en particulier, les charges modélisées et les charges en section issues du comptage coïncident très bien. Grâce à l'exactitude atteinte avec les modèles, l'applicabilité des deux modèles pour les heures de pointe est parfaitement assurée, tant pour le TIM que pour les TP. Pour le trafic routier, les différences relatives moyennes de 3 % pour le TIM et de 4,5 % pour les TP est, d'après l'expérience, plus que suffisant pour les applications de modèles. L'exactitude supérieure du modèle des TP comparée à celle du modèle du TIM est due avant tout à une meilleure consistance et une plus grande homogénéité des données de comptage, ainsi qu'à un nombre inférieur de postes de comptage.

Ensuite, les modèles dynamiques de répartition et les modèles des heures de pointe 2040 ont été établis à partir des états des modèles 2010 validés et de l'état de référence TJMO 2040. Comme les courbes de variation journalière ont, pour les deux modèles, été reprises de l'état 2010 sans changement, la croissance de la demande entre 2010 et 2040 dans les modèles par heure et les modèles des heures de pointe correspond majoritairement à la croissance de la demande du modèle TJMO. Les différences s'expliquent principalement par la structure quelque peu modifiée du motif du déplacement dans la demande en transport ainsi que par les reports de choix d'itinéraires causés par les modifications de l'offre (problèmes de capacité).

Riassunto

Una base essenziale per poter elaborare previsioni sul traffico e ipotesi sulla domanda è data dalle interazioni illustrate nei modelli di traffico e dai dati relativi all'offerta, all'insediamento e alla domanda.

Nei modelli di traffico giornaliero statici non sono rappresentate né le variazioni della domanda di trasporto, né i diversi tempi di percorrenza che si riscontrano nell'arco della giornata. In tali modelli, attraverso una costante distribuzione della domanda nel lasso di tempo considerato, si presuppone un utilizzo delle capacità costante nel tempo. In questo modo non è possibile modellizzare o prevedere gli effetti delle misure volte a ridurre i carichi nelle ore di punta e a migliorare lo sfruttamento delle capacità attualmente disponibili (ad es. le tasse basate sull'orario). Inoltre, in un modello giornaliero non è possibile rappresentare con sufficiente precisione gli effetti delle misure su reti molto sollecitate. Per questo motivo, per determinati provvedimenti e, soprattutto, per l'analisi dei problemi di capacità o delle misure relative ai costi, è necessario ricorrere a modelli delle ore di punta o a modelli di ripartizione dinamici (su base oraria).

Per disporre di modelli adatti e attuali volti all'allestimento di pianificazioni future, nel presente progetto, sulla base dei modelli esistenti di traffico lavorativo giornaliero medio (TLGM) 2010 e 2040 del modello del traffico viaggiatori a livello nazionale, nonché di altri dati disponibili, sono stati elaborati i modelli delle ore di punta dinamici (su base oraria), gli orari di punta del mattino (dalle 7 alle 8) e quelli della sera (dalle 17 alle 18) per lo stato di base 2010 e lo stato di riferimento 2040. Il compimento della realizzazione del modello è avvenuto in tre pacchetti di lavoro:

- 1) elaborazione di matrici di origine-destinazione su base oraria e di modelli di ripartizione dinamici 2010;
- 2) elaborazione di modelli delle ore di punta statici 2010 (ore di punta del mattino e della sera);
- 3) elaborazione di matrici di origine-destinazione su base oraria e di modelli di ripartizione dinamici 2040, nonché di modelli delle ore di punta statici (ore di punta del mattino e della sera) 2040.

Le matrici di origine-destinazione su base oraria e i modelli di ripartizione dinamici sono stati dedotti e resi plausibili sulla base dei dati del Microcensimento mobilità e trasporti 2010 (MCMT 2010), del modello TLGM 2010 e dei dati dei conteggi disponibili. La legalità spaziale e temporale della domanda di trasporto si evince sulla base di dati estrapolati dal Microcensimento mobilità e trasporti 2010 e di domande di trasporto del modello TLGM, suddivise secondo gruppi di origine-destinazione (attività). Successivamente, dalle matrici di origine-destinazione su base oraria e dai modelli di rete derivanti dal modello TLGM vengono realizzati e confermati modelli di ripartizione dinamici nel trasporto individuale motorizzato (TIM) e nel trasporto pubblico (TP).

Dalle matrici di origine-destinazione su base oraria e dal modello TLGM 2010 sono stati in seguito elaborati i modelli delle ore di punta 2010 per il TIM e per il TP. I modelli concepiti sono stati esaminati mediante i dati rilevati a disposizione e sono stati altresì calibrati e confermati sia i modelli di rete e la scelta dei tragitti, sia la domanda di trasporti determinata. La matrice è

stata calibrata sia sul piano strutturale che su quello del numero medio di passeggeri rilevati per tratto di linea. In questo modo, è garantita la validità del modello e la sua applicabilità ai fini di pianificare concretamente misure e di effettuare previsioni del traffico.

Nel complesso, la calibrazione del carico delle reti secondo i dati dei conteggi dei modelli di base 2010 ha portato ottimi risultati: le differenze relative medie tra i dati dei conteggi e il modello delle ore di punta del mattino e della sera si attesta costantemente sotto al cinque per cento. In particolare per quanto riguarda i tratti molto sollecitati, la modellizzazione dei carichi e i conteggi per sezione sono ben armonizzati. Con la precisione raggiunta è assicurata l'applicabilità dei due modelli relativi alle ore di punta sia nel TIM che nel TP. Le differenze relative medie del 3 per cento nel TP e del 4,5 per cento nel traffico stradale sono, per esperienza, più che sufficienti per le applicazioni in modelli. La maggiore precisione del modello relativo al TP rispetto a quello del TIM è da ricondurre soprattutto a una migliore coerenza e omogeneità dei dati dei conteggi e a un minor numero di punti di rilevazione.

Dai modelli 2010 confermati e dallo stato di riferimento TLGM 2040 sono stati successivamente elaborati modelli di ripartizione dinamici e modelli delle ore di punta 2040. Poiché, per entrambi i modelli, il diagramma di carico giornaliero è stato tratto e ripreso senza modifiche dallo stato del 2010, la crescita della domanda 2010-2040 nei modelli su base oraria e in quelli relativi alle ore di punta corrisponde principalmente alla crescita della domanda del modello TLGM. Le differenze sono da ricondurre essenzialmente al leggero cambiamento della struttura degli scopi di spostamento relativi alla domanda di trasporto e ai trasferimenti nella scelta del tragitto, in conseguenza delle modifiche dell'offerta (problemi di capacità).

1 Einleitung und Hintergründe

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK beinhaltet beim motorisierten Individualverkehr (MIV) und öffentlichen Verkehr (ÖV) neben den Modellen für den durchschnittlichen Werktagverkehr (DWV) und den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) auch Zeitscheiben- und Spitzenstundenmodelle am Morgen (MSP) von 7:00 bis 8:00 Uhr und am Abend (ASP) von 17:00 bis 18:00 Uhr. Das Modell wurde ursprünglich für den Basiszustand 2000 und den Prognosezustand 2030 etabliert. Inzwischen wurden die DWV- und DTV-Modelle 2000 bzw. 2005 auf den Basiszustand 2010 aktualisiert. Des Weiteren wurden in einem separaten Projekt auch die Matrizen des Güterverkehrs auf den Basiszustand 2010 aktualisiert. Im Rahmen der Erarbeitung der Verkehrsperspektiven wurde der DWV-Prognosezustand 2040 erstellt.

Für die Planung und den Betrieb von Verkehrsanlagen sowie für die Beurteilung von infrastrukturellen und verkehrspolitischen Massnahmen stellen Spitzenstundenmodelle sowie die Abbildung von zeitlichen Nachfragevariationen eine sehr wichtige Grundlage dar. In bisherigen Anwendungen wurden diese Modellgrundlagen vor allem für die Analyse von Engpassbeseitigungen und der Auswirkungen von Mobility-Pricing-Massnahmen angewendet. Durch solche Modellzustände lassen sich sowohl die Verhältnisse der Verkehrsnachfrage und der verfügbaren Kapazitäten sowie die daraus entstehenden Nachfrageauswirkungen als auch die zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage und der Nachfrageverschiebungen durch veränderte Angebotsverhältnisse (inkl. dynamischer Preise) abbilden.

Um für zukünftige Planungen geeignete und aktuelle Modellgrundlagen zur Verfügung zu haben, haben die Bundesämter für Raumentwicklung (ARE), Strassen (ASTRA) und Verkehr (BAV) die Stundenfeinen- und Spitzenstundenmodelle für den Basiszustand 2010 und den Referenzzustand 2040 neu erstellen lassen.

2 Problemanalyse und Ziele

2.1 Problemanalyse

In statischen Tagesverkehrsmodellen, wie den DWV-Modellen, werden die über den Tag variierende Verkehrsnachfrage sowie über den Tag variierende Reisezeiten nicht abgebildet. Durch die konstante Nachfrageverteilung im betrachteten Zeitraum wird hier eine zeitlich gleichmässige Kapazitätsauslastung angenommen. Somit können Auswirkungen von Massnahmen zum Abbau der Spitzenbelastungen und zur besseren Auslastung der vorhandenen Angebotskapazitäten (wie z.B. zeitabhängige Gebühren) nicht modelliert bzw. prognostiziert werden. Des Weiteren werden Massnahmenwirkungen in hochbelasteten Netzen in einem DWV-Modell nicht mit ausreichender Genauigkeit abgebildet. Aus diesem Grund müssen bei bestimmten Massnahmen und vor allem bei der Analyse von Kapazitätsengpässen Spitzenstundenmodelle oder dynamische (stundenfeine) Umlegungsmodelle angewendet werden.

Um die Angebots- und Nachfragedynamik während des Tages bei der Planung und beim Betrieb von Verkehrsanlagen zu berücksichtigen, ist eine stundenfeine Aufteilung der Quelle-Ziel-Matrizen sowie die Erstellung und Kalibrierung von Spitzenstundenmodellen notwendig. Dabei werden das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage sowie deren Abhängigkeiten auf die Stundenbasis disaggregiert. Auf dieser Grundlage können die Spitzenbelastungen im Strassen- und Schienenverkehr und ihre Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten sowie die daraus resultierenden Kenngrössen im Verkehrsmodell realitätsnäher abgebildet werden. Die so erstellten Matrizen können dann sowohl im statischen als auch im dynamischen Umlegungsverfahren (Tagesmodell mit zeitlicher Angebots- und Nachfragevariabilität unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Abhängigkeiten) angewendet werden. Durch die Kalibrierung der Spitzenstundenmodelle werden die Kapazitätsauslastungen und damit auch die Reisezeiten den realen Nachfrage-Angebots-Verhältnissen angepasst und eine geeignete Grundlage für Kapazitäts- und Engpassanalysen erstellt.

2.2 Ziele

Das wesentliche Ziel dieser Untersuchung ist es, aus dem aktuellen NPVM die stundenfeinen Fahrtenmatrizen und Spitzenstundenmodelle für die Zustände 2010 und 2040 im MIV und ÖV zu erstellen. Die Meilensteine wurden wie folgt definiert:

- Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodellen 2010;
- Erstellung der statischen Spitzenstundenmodelle 2010 MSP und ASP;
- Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodellen 2040 sowie statischen Spitzenstundenmodellen 2040 MSP und ASP.

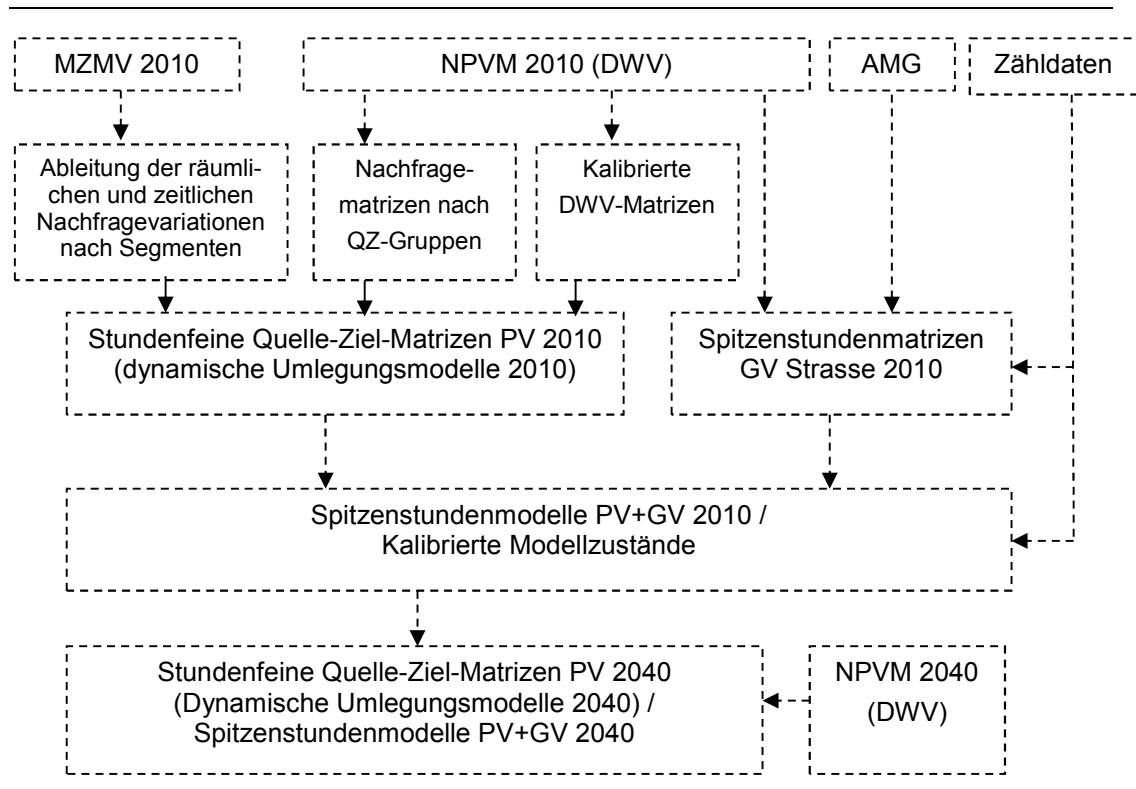
3 Methodik

Das Vorgehen sowie die für die Modelletablierung verwendeten Datengrundlagen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Dabei sind folgende wichtige Meilensteine zu nennen:

- Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodellen 2010:
 - Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen nach Quelle-Ziel-Gruppen;
 - Berechnung von Stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und Erstellung von dynamischen Umlegungsmodellen;
 - Plausibilisierung und Validierung der Matrixstruktur und der Umlegungsergebnisse mit Zähl-daten und dem MZMV 2010.
- Erstellung der Spitzenstundenmodelle 2010 MSP und ASP:
 - Ableitung der Güterverkehrsmatrizen für die Spitzenstundenmodelle 2010;
 - Aufbereitung der Personenverkehrsmatrizen für die Spitzenstundenmodelle 2010;
 - Eichung der Personen- und Güterverkehrsmatrizen auf die verfügbaren Zähl-daten und Plausibilisierung.
- Erstellung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und dynamischen Umlegungsmodellen 2040 sowie der Spitzenstundenmodelle 2040 MSP und ASP:
 - stundenfeine Quelle-Ziel-Matrizen und dynamische Umlegungsmodelle 2040;
 - Spitzenstundenmodelle 2040 (Morgen- und Abendspitzenstunde).

Abbildung 1: Vorgehen zur Erstellung der Modellzustände 2010 / 2040



Die erste Aufgabe in diesem Projekt ist die Ableitung der zeitlichen (Tagesvariationen nach Stunden) und räumlichen Nachfragevariationen. Hier werden aus dem MZMV 2010 die Stundenanteile am Tagesverkehr für die einzelnen Verkehrsmittel (PW und ÖV) und Nachfragesegmente bzw. Quelle-Ziel-Gruppen abgeleitet. Parallel dazu sind aus den verfügbaren Daten und Modellen auch die Stundenanteile für den Aussenverkehr (Quell-, Ziel- und Transitverkehr aus der bzw. in die Schweiz) aus Zählzeiten abzuleiten. Aus den berechneten Nachfragevariationen (Anteilmatrizen), den nach Quelle-Ziel-Gruppen differenzierten Matrizen aus dem Nachfragemodell VISEVA, den unterschiedlichen Besetzungsgraden und den kalibrierten DWV-Matrizen des NPVM 2010 werden die Stundenmatrizen für die einzelnen Verkehrsmittel berechnet. Anschliessend werden aus den DWV-Modellen (MIV und ÖV) die Umlegungsmodelle für die dynamische Umlegung aufbereitet, die stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen importiert und die Umlegungsparameter eingestellt. Die Umlegungsergebnisse werden plausibilisiert und die Streckenbelastungen über die Zeitachse analysiert.

Im zweiten Arbeitspaket erfolgt die Erstellung und Kalibrierung der Spitzenstundenmodelle MSP und ASP für den MIV und den ÖV. Hier werden die Angebotskomponenten und das Routenwahlmodell überarbeitet und plausibilisiert sowie die Quelle-Ziel-Matrizen auf die verfügbaren Zählzeiten geeicht. Die Eingangsmatrizen im Personenverkehr werden vorgängig aus den stundenfeinen Matrizen abgeleitet. Im Strassengüterverkehr erfolgt die Berechnung der Spitzenstundenmatrizen anhand der verfügbaren Zählzeiten, den Datengrundlagen der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) sowie den alpen- und grenzquerenden Erhebungen 2007. Das Ergebnis dieses Arbeitspakets sind die kalibrierten (statischen) Modellzustände für die

Morgen- und Abendspitzenstunde im MIV (PW, Lieferwagen, Lastwagen und Last- und Sattelzug) und im ÖV (Personenfahrten) für das Jahr 2010.

Im dritten Arbeitspaket werden die stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und Spitzenstundenmodelle für das Prognosejahr 2040 erstellt. Die Grundlage dafür sind die Nachfragevariationen bzw. Stundenanteile der einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen am Tagesverkehr im Basismodell 2010 sowie die DWV-Matrizen aus dem NPVM 2040. Auch für die Spitzenstundenmodelle werden die fahrtzweckspezifischen Anteile am Tagesverkehr aus dem Basismodell übernommen. Somit werden die Tagesganglinien aus dem Basiszustand für den Prognosezustand übernommen und das Verkehrsaufkommen der einzelnen Stunden neben dem Gesamtwachstum vor allem durch das unterschiedliche Wachstum der einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen bzw. Fahrtzwecken beeinflusst.

Die Arbeiten werden mit der Modellsoftware PTV VISEVA (Version 4.5.3) und VISUM (Version 12.5-64bit) durchgeführt.

3.1 Zeitscheiben Personenverkehr Basiszustand 2010

In diesem Arbeitspaket werden die stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und die dynamischen Umlegungsmodelle im Personenverkehr erstellt. Die durchzuführenden Arbeiten beziehen sich auf den Personenverkehr des MIV und ÖV. Als Ergebnis stehen stundenfeine Quelle-Ziel-Matrizen und dynamische Umlegungsmodelle (MIV und ÖV) für das Basisjahr 2010 zur Verfügung. Es sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

- Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen nach Quelle-Ziel-Gruppen;
- Berechnung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und Erstellung von dynamischen Umlegungsmodellen;
- Plausibilisierung und Validierung der Matrixstruktur und der Umlegungsergebnisse.

3.1.1 Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen nach Quelle-Ziel-Gruppen

Für die Erstellung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen müssen in einem ersten Schritt die räumlichen und zeitlichen Variationen der Verkehrsnachfrage bestimmt werden. Durch die räumlichen Variationen werden die zusätzlichen Unterschiede in der Verkehrsstärke einer Quelle-Ziel-Beziehung nach Richtungen innerhalb eines Zeitintervalls beschrieben. Da innerhalb eines stündlichen Zeitintervalls die Verkehrsnachfrage einer Relation nach Richtungen sehr unterschiedlich sein kann, müssen diese zwei Variationen simultan betrachtet werden. Diese Abhängigkeiten können am Beispiel der Pendlerströme gezeigt werden. In der Morgenspitze finden vor allem Verkehrsströme zu grossen oder mittleren Zentren statt, am Abend entsprechend in der Gegenrichtung. Ohne Berücksichtigung der räumlichen Charakteristiken der Zonen oder Nachfragesegmente könnten solche Gesetzmässigkeiten und Ableitungen der Richtungsstärke nur bedingt abgebildet werden.

Die Grundlage für die Abbildung der räumlichen Charakteristiken stellt die entsprechende Differenzierung der Nachfragesegmente bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen dar. Somit sind die im Rahmen des NPVM 2010 erstellten Verkehrsstrom-Matrizen nach Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) die wesentliche Grundlage für die Beschreibung der räumlichen Nachfragevariationen. In den Quelle-Ziel-Gruppen werden neben den Verhaltensähnlichkeiten auch die räumlichen Ähnlichkeiten (durch die Bildung von Produktions- und Attraktionsmerkmalen) berücksichtigt. So wird z.B. die räumliche Verteilung bei der QZG Wohnen-Arbeit (WA) durch die Erwerbstätigen als Produktionsgrösse und die Arbeitsplätze als Attraktionsgrösse bestimmt. Diese Ströme zeigen auch eine sehr ähnliche zeitliche Verteilung (Wohnen-Arbeit: Morgenspitze mit Ziel Arbeitsplatz, Arbeit-Wohnen: Abendspitze mit Ziel Wohnort).

Es wird mit dem gleichen Datensatz (MZVM 2010) wie bei der Aktualisierung des NPVM 2010 gearbeitet. Für die Codierung der Zeitscheiben wurde folgende Vorgangsweise verwendet:

Code 0: Abfahrtszeit 00:00-00:59

Code 1: Abfahrtszeit 01:00-01:59

...

Code 23: Abfahrtszeit 23:00-23:59

Die 17 QZG aus VISEVA wurden zuerst zu 11 QZG aggregiert, um Gruppen mit einer kleinen Stichprobe und ähnlichem Verhalten zusammenzufassen. Tabelle 1 zeigt die Typisierung aus VISEVA und die Aggregation zu 11 QZG.

Tabelle 1 Aggregation der 17 QZG aus VISEVA zu 11 QZG

Bezeichnung	Typnummer VISEVA	Aggregierte Typnummer
Wohnen-Arbeit, Sonstiges-Arbeit	1, 12	10
Wohnen-Bildung	2	30
Wohnen-Nutz, Sonstiges-Nutz	3, 16	50
Wohnen-Einkauf, Sonstiges-Einkauf	4, 14	70
Wohnen-Sonstige	5	90
Arbeit-Wohnen, Arbeit-Sonstige	6, 11	20
Bildung-Wohnen	7	40
Nutz-Wohnen, Nutz-Sonstiges	8, 15	60
Einkauf-Wohnen, Einkauf-Sonstiges	9, 13	80
Sonstige Wohnen	10	100
Sonstiges-Sonstiges	17	110

Nach einer eingehenden Analyse der Daten des MZMV 2010 wurde eine zweigeteilte Segmentierung nach Weglänge (< 30km vs. ≥ 30km) und Raumtyp der Quelle- bzw. Zielzone verwendet.

Die gewählte Grenze von 30 km ist natürlich arbiträr; sie basiert auf den Erfahrungen mit dem NPVM 2000 und geographischen Überlegungen. So sollte z.B. der Weg von Winterthur nach Zürich noch als „kurzer“ Weg gezählt werden.

Für die Kombination der Raumtypen wurde unterschieden zwischen Agglomerations- und sonstigen Gemeinden (als rural bezeichnet). Dafür wurden nach der alten BFS-Definition (aufgrund der Volkszählung 2000, ab 2014 neue Definition), welche auch im MZVM hinterlegt ist, folgende Typen zu einer Klasse „**Agglo**“ aggregiert:

- Agglomerationskerngemeinde;
- übrige Gemeinde der Agglomerationskernzone;
- übrige Agglomerationsgemeinde.

Die übrigen Zonentypen wurden zu einer Klasse „**rural**“ zusammengefasst:

- isolierte Stadt;
- periurbane ländliche Gemeinde;
- alpine Tourismuszentren ausserhalb der Agglomerationen;
- periphere ländliche Gemeinde.

Diese Unterteilung in „Agglo“ und „rural“ führt zu 4 möglichen Typenbeziehungen.

Die MZMV-Stichprobe ist für eine räumliche Differenzierung bei den Zwecken Arbeit und Sonstige (Freizeit) ausreichend. Bei einzelnen Werten mit aufgrund von geringer Anzahl von Messwerten stark zufallsbeeinflussten Anteilen wurden Anpassungen vorgenommen.

Die für die Erzeugung der stundenfeinen Matrizen verwendeten Stundenwerte nach den 11 aggregierten Quelle-Ziel-Gruppen sind im Anhang (für den MIV in Abbildung 50 und für den ÖV in Abbildung 51) dargestellt. Die grün hinterlegten Zellen geben die angepassten Werte wider. Die Anpassungen sind in SPSS-Skripten dokumentiert. Bei der Anpassung wurde auf Konsistenz und die Verhältnisse zu den anderen Zeitscheiben geachtet. Im Anhang sind auch die detaillierten Auswertungen zum MZMV 2010 aufgeführt.

Bei den Zwecken Bildung, Nutzfahrt und Einkauf ist die Stichprobe zu klein, daher wurde dort keine räumliche Differenzierung vorgenommen.

Die Stundenanteile für die Aussenverkehre (Quell-, Ziel- und Transitverkehr) werden aus den bestehenden stundenfeinen Modellen 2005 abgeleitet und mit dem DWV-Aussenverkehr 2010 multipliziert.

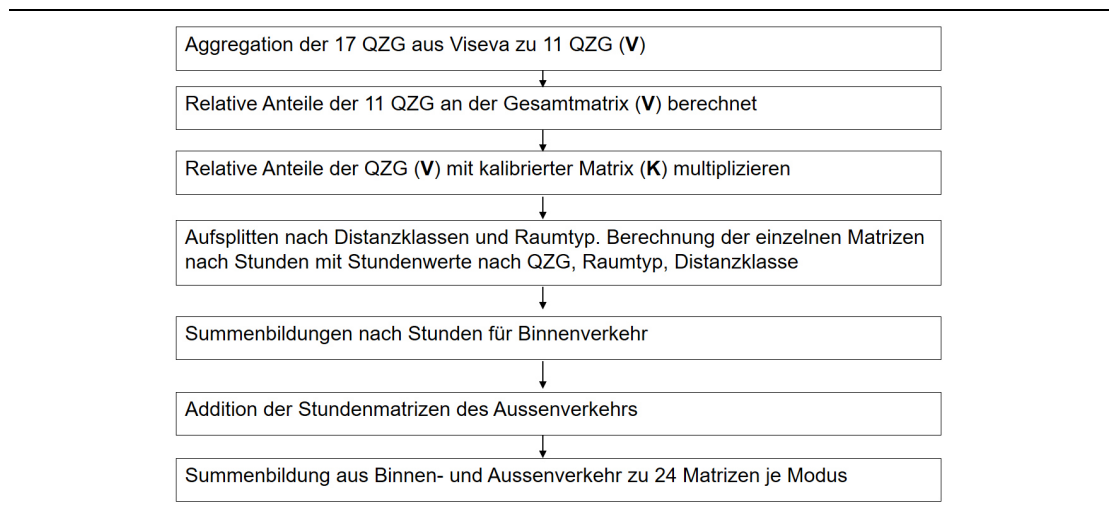
Das Ergebnis dieses Arbeitsschritts sind die Stundenanteile an der Nachfrage eines Werktages für die beiden Nachfragesegmente nach 11 Quelle-Ziel-Gruppen.

3.1.2 Berechnung von stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen und Erstellung von dynamischen Umlegungsmodellen

Die in Kapitel 3.1.1 nach aggregierten QZG berechneten Nachfragevariationen während eines Werktages und die Verkehrsstrommatrizen nach QZG sowie die kalibrierten DWV-Matrizen aus dem NPVM stellen die Grundlage für die Generierung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen dar. Dafür werden die nach Verkehrsmitteln kalibrierten Matrizen weiter (anhand der VI-SEVA-Ausgangsmatrizen) auf die aggregierten QZG (Anzahl Typen: 11), Distanzklassen (Anzahl Typen: 2) und Raumtypenbeziehung (Anzahl Typen: 4) disaggregiert.

Aus den nach Segmenten disaggregierten Tagesmatrizen und den im vorherigen Arbeitsschritt berechneten Stundenanteilen nach Segmenten werden die Stundenmatrizen erstellt. Diese werden in einem weiteren Schritt auf die gesamte Stundenmatrix aggregiert. Als Ergebnis werden im Binnenverkehr pro Verkehrsmittel 24 Stundenmatrizen sowie je eine Gesamtmatrix erstellt. Die Aussenmatrizen werden wie vorher beschrieben aus den Stundenanteilen und den kalibrierten DWV-Matrizen 2010 berechnet und stundenfein zu den Binnenmatrizen addiert. In Abbildung 2 ist der Ablauf graphisch dargestellt.

Abbildung 2: Ablauf Erstellung stundenfeine Matrizen



Die Arbeiten wurden als vbs-Skript, welches auf VISUM-Muuli zugreift, programmiert. Dieses Programm hat sich bei der Bewältigung von sehr grossen Matrizenmengen (sowohl bezüglich der Matrizenanzahl als auch der Dimensionen der einzelnen Matrizen) gut bewährt.

Aus den DWV-Umlegungsmodellen 2010 werden die dynamischen Umlegungsmodelle erstellt. Dafür sind die Analysezeiträume, Nachfragedaten, Umlegungseinstellungen und Netze entsprechend zu bearbeiten und die stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen in VISUM zu importieren.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Einstellungen.

Abbildung 3: Einstellungen in VISUM (Nachfrage → Nachfragedaten)

Nachfragedaten

Standardganglinien | Nachfrageganglinien | Nachfragesegmente

Nr	Name	Typ	von	bis
1	neue Standardganglinie	2 Ganglinie von Matrixnummern	00:00:00	24:00:00

Einfügen Bearbeiten Löschen

OK Abbrechen

Ganglinie bearbeiten

Nummer: 1

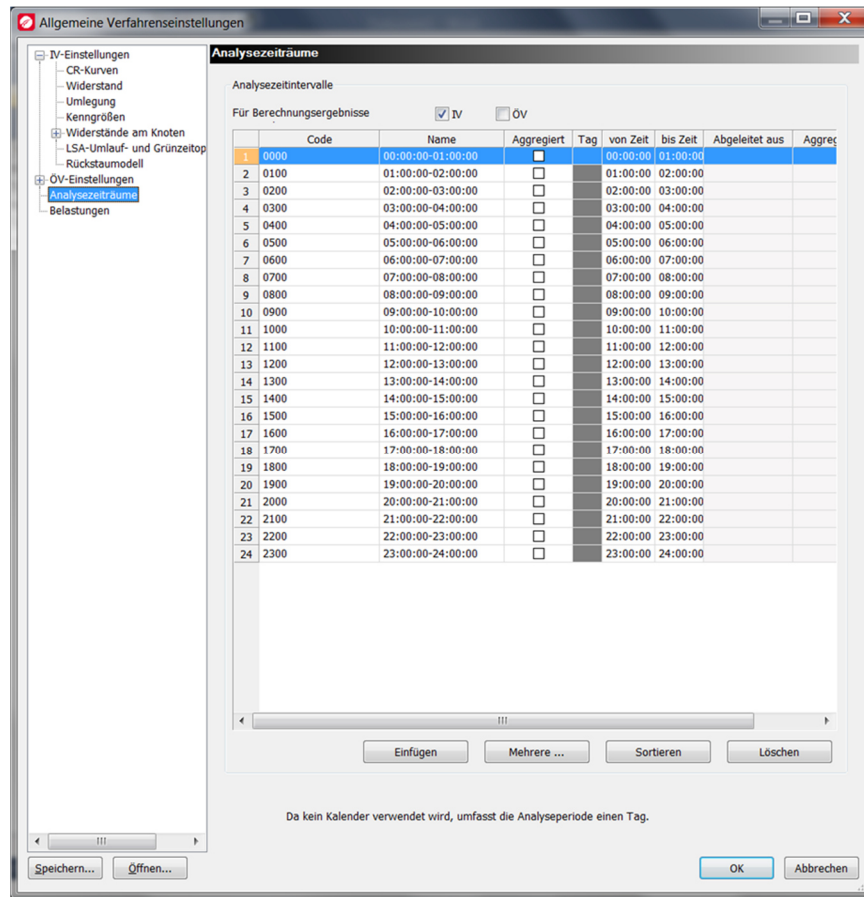
Name: neue Standardganglinie

	VonTag	VonZeit	BisTag	BisZeit	Matrix
1	1	00:00:00	1	01:00:00	1 PW_0
2	1	01:00:00	1	02:00:00	2 PW_1
3	1	02:00:00	1	03:00:00	3 PW_2
4	1	03:00:00	1	04:00:00	4 PW_3
5	1	04:00:00	1	05:00:00	5 PW_4
6	1	05:00:00	1	06:00:00	6 PW_5
7	1	06:00:00	1	07:00:00	7 PW_6
8	1	07:00:00	1	08:00:00	8 PW_7
9	1	08:00:00	1	09:00:00	9 PW_8
10	1	09:00:00	1	10:00:00	10 PW_9
11	1	10:00:00	1	11:00:00	11 PW_10
12	1	11:00:00	1	12:00:00	12 PW_11
13	1	12:00:00	1	13:00:00	13 PW_12
14	1	13:00:00	1	14:00:00	14 PW_13
15	1	14:00:00	1	15:00:00	15 PW_14
16	1	15:00:00	1	16:00:00	16 PW_15
17	1	16:00:00	1	17:00:00	17 PW_16
18	1	17:00:00	1	18:00:00	18 PW_17
19	1	18:00:00	1	19:00:00	19 PW_18
20	1	19:00:00	1	20:00:00	20 PW_19
21	1	20:00:00	1	21:00:00	21 PW_20
22	1	21:00:00	1	22:00:00	22 PW_21
23	1	22:00:00	1	23:00:00	23 PW_22
24	1	23:00:00	2	00:00:00	24 PW_23

Einfügen Mehrere ... Löschen

OK Abbrechen

Abbildung 4: Rechnen → Allgemeine Verfahrenseinstellungen → Analysezeiträume



Für die stundenfeine Umlegung der so berechneten Matrizen müssen im MIV-Modell auch die Angebotsattribute angepasst werden. Hier sind sowohl die Streckenkapazitäten als auch die Geschwindigkeitsfunktionen (CR-Funktionen) auf Stundenwerte zu setzen.

Die Erstellung des stundenfeinen Netzes 2010 erfolgt aus dem DWV-Netz 2010 mit folgenden Kapazitätsanpassungen (vergleiche ARE, 2006 und Vrtic und Axhausen, 2003):

- Streckentyp 10-29 Autobahnen Faktor 14;
- alle anderen Streckentypen Faktor 12;
- Abbieger Faktor 12.

Bei den CR-Funktionen (vgl. Abbildung 5) wurden gegenüber dem DWV-Modell folgende Anpassungen vorgenommen, welche auf Erfahrungswerten (siehe ARE, 2007) beruhen :

- Alpha +0,2;
- Beta bei Anbindungen = 8.

Abbildung 5: Einstellungen CR-Kurven

IV-Einstellungen - CR-Kurven

Streckentypen

	*0	*1	*2	*3	*4	*5	*6	*7	*8	*9
0*	1	8	8	8	8	8	8	8	1	1
1*	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1
2*	1	1	1	1	2	2	8	8	8	1
3*	1	1	3	1	2	3	3	8	8	8
4*	3	3	2	2	3	3	3	1	8	8
5*	1	1	1	1	1	1	7	1	1	1
6*	3	3	3	1	8	8	8	8	8	8
7*	1	7	1	1	8	8	8	8	8	8
8*	1	1	8	6	1	1	1	6	6	1
9*	8	7	7	7	8	8	8	8	8	1

Kurve für selektierte Felder:

prozentuale Anbindungen:

Streckentypen: ☐ vMin berücksichtigen

CR-Kurven

Nr	Funktion
1	LOHSE (0.70 4.00 1.00 1.00)
2	LOHSE (0.70 3.60 1.00 1.00)
3	LOHSE (1.20 3.40 1.00 1.00)
4	LOHSE (1.40 3.00 1.00 1.00)
5	LOHSE (1.60 2.60 1.00 1.00)
6	LOHSE (1.20 2.40 1.00 1.00)
7	LOHSE (1.40 2.40 1.00 1.00)
8	konstant

Einfügen Bearbeiten Löschen

Speichern... Öffnen... OK Abbrechen

Die Belastungen des Strassengüterverkehrs werden bei der Umlegung als Vorbelastungen berücksichtigt. Dazu wurden in den beiden MIV-Spitzenstundenmodellen 2005 die Lieferwagen (LI) mit +8,5% und die Lastwagen- und Lastzüge (LW & LZ) mit +5% auf 2010 hochgerechnet. Diese Hochrechnungsfaktoren stammen vom BFS (BFS – Gütertransportstatistik (GTS) Stand Dezember 2015). Danach wurden aus den umgelegten Spitzenstundendateien der Maximalwert in PW-Einheiten nach Richtung ermittelt, als benutzerdefiniertes Attribut (ZWert3) im stundenfeinen MIV-Modell gespeichert und als Vorbelastung in der Umlegung verwendet. Eine Umlegung von stundenfeinen Strassengüterverkehrs-Matrizen wäre aufgrund der dabei anfallenden längeren Rechenzeiten nicht zielführend.

Die Zählraten der ASTRA-Zählstellen für 2010 wurden eingelesen und als Streckenzusatzattribute mit der Bezeichnung ZW_H00_PW_2010 bis ZW_H23_PW_2010 im MIV-Netz gespeichert. Insgesamt konnten 490 gerichtete Strecken mit Zählraten versehen werden. Damit sind 64% aller DWV-Zählwerte am Strassennetz mit Stundenwerten versehen.

Nach verschiedenen Tests (Anbindungs- und Streckenbelastungen) wurde das dynamisch stochastische Umlegungsverfahren dem dynamisch deterministischen Verfahren vorgezogen, da bei dieser Methode die Anbindungsgewichte wie im DWV-Modell berücksichtigt werden.

Ursprünglich war aufgrund der geringeren Rechenzeit und konsistenteren Resultaten die Verwendung des dynamisch deterministischen Verfahrens favorisiert worden. Die Nichtberücksichtigung der Anbindungsgewichte, welche die Verteilung der Nachfrage auf das Netz definieren, führt jedoch zu Ungenauigkeiten bei den Vergleichen der Modellbelastungen mit den Zählwerten.

Dynamisch stochastisches Umlegungsverfahren

Die Routenwahlparameter wurden aus dem 2000er-Modell übernommen, da für deren Veränderung keine empirischen Grundlagen vorlagen. Dabei wird beim Aufteilungsmodell (Logit) eine geringe Streuung ($\text{Beta}=1$) angenommen, um die kurzen Routen zu bevorzugen. Dies ist ähnlich dem deterministischen Gleichgewichtsverfahren im DWV.

Um Rechenzeit zu sparen, wurde die Eigenständigkeit anstatt mit dem exakten Verfahren nach Cascetta mit dem heuristischen Verfahren von Ben-Akiva ermittelt. Wegen den langen Rechenzeiten (ca. 13h) wurde die Umlegung auf vier Iterationen beschränkt. Bei dieser Entscheidung standen arbeitsökonomische Überlegungen im Vordergrund – so kann die Umlegung bei Arbeitsende gestartet werden und ist jeweils am nächsten Morgen durchgelaufen. Versuchsweise Modellläufe mit 20 Iterationen beim ARE ergaben Rechenzeiten von 131h. Mit vier Iterationen konnte aber für die hier vorgesehene Analyse von stundenfeinen Modellbelastungen sowie spätere Spitzenstundenmatrizen eine ausreichende Genauigkeit erreicht werden. Hier muss auch beachtet werden, dass jede Iteration noch drei innere Ausgleichsiterationen beinhaltet. Vergleichsrechnungen zu den verschiedenen Iterationszahlen und Sensibilitätstests der Parametrisierung waren im Rahmen des Projektes nicht vorgesehen, wären aber ein interessantes Forschungsthema.

ÖV-Modell

Für das ÖV-Modell wird das Verkehrsangebot vollständig aus dem Tagesmodell übernommen und bei den Nachfragedaten, Ganglinien und Analysezeiträumen die gleichen Anpassungen wie beim MIV vorgenommen. Die Umlegungszeit bei den fahrplanfeinen Verfahrensparametern wurde auf 0-24 Uhr eingestellt, die sonstigen Parameter wurden unverändert übernommen.

Die Stundenwerte 2010 wurden aus den Stundenanteilen 2014 und den Zählwerten des DWV 2010 errechnet. Durch einen Vergleich mit den Spitzenstundenwerten 2010, welche aus einem früheren Projekt vorlagen, konnten die Daten validiert werden. Abweichungen ergaben sich vorwiegend an Hauptstrecken abseits von Siedlungsgebieten, wie z.B. am Gotthard. Insgesamt konnten an 360 gerichteten Streckenwerten Stundenzählwerte im Modell hinterlegt werden (damit sind 82% aller DWV-Zählwerte am Bahnnetz mit Stundenwerte versehen), welche wiederum als benutzerdefinierte Streckenattribute mit der Bezeichnung ZW_2010_00 bis ZW_2010_24 in der Versionsdatei gespeichert wurden.

In Abbildung 6 sind die Anzahl MIV-Fahrten und -Wege bzw. ÖV-Wege je Stundenscheibe aufgeführt. Der Modal Split zeigt, dass der MIV über den ganzen Tag dominiert. In den Abend

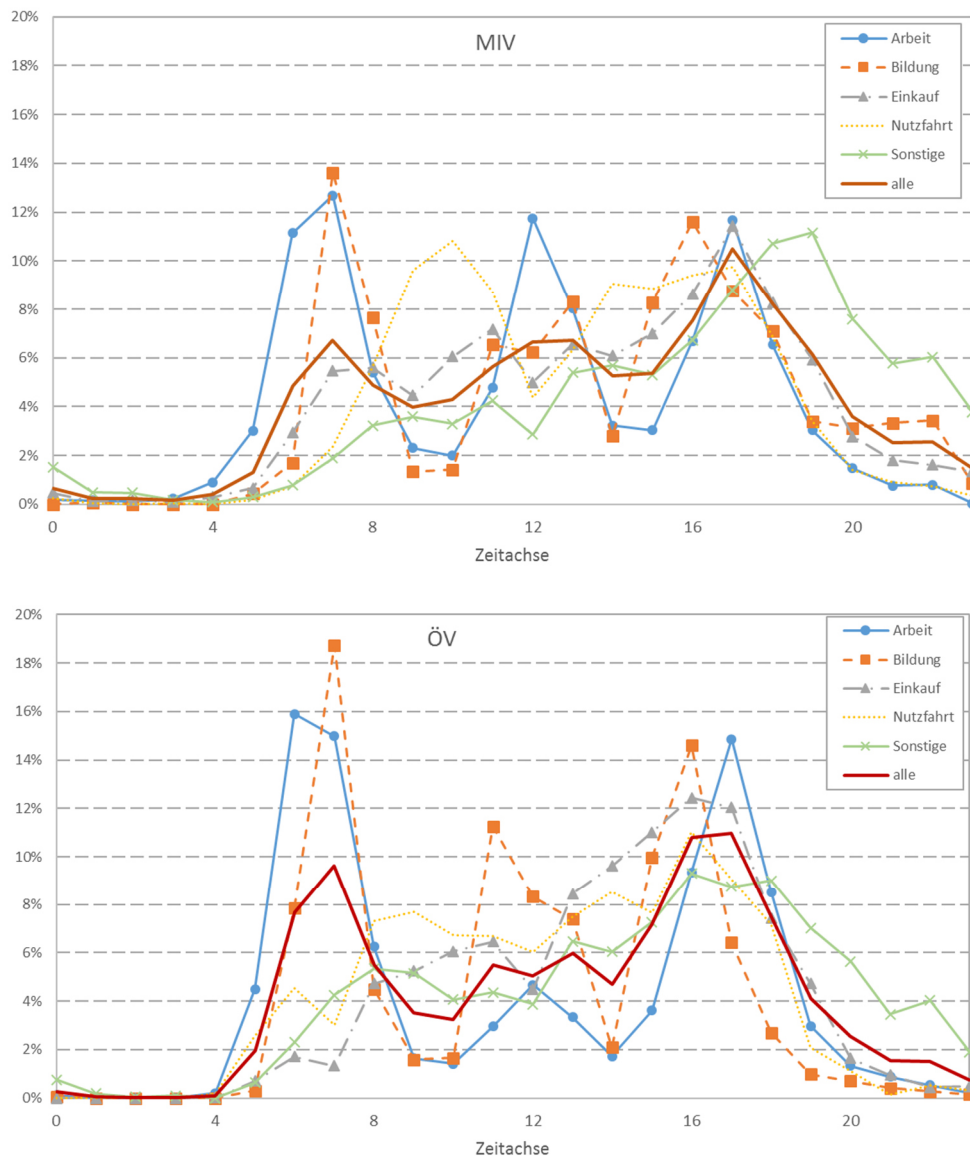
und Nachtstunden liegt der MIV-Anteil bei 90% und darüber. Nur während der Morgen- und Abendspitzenstunden weist der ÖV einen Anteil von über 20% auf.

Abbildung 6: Randsummen der stundenfeinen Matrizen und Modalsplit-Anteile

Zeitscheibe	MIV-Fahrten	MIV-Wege	ÖV-Wege	Summe	Modalsplit MIV	Modalsplit ÖV
0	79'213	109'314	8'208	117'522	93%	7%
1	29'069	40'115	1'886	42'001	96%	4%
2	22'989	31'724	431	32'155	99%	1%
3	17'298	23'871	1'035	24'906	96%	4%
4	43'757	60'385	2'265	62'650	96%	4%
5	138'082	190'553	55'050	245'603	78%	22%
6	602'420	831'339	223'246	1'054'585	79%	21%
7	804'168	1'109'752	297'299	1'407'050	79%	21%
8	534'876	738'130	162'188	900'317	82%	18%
9	439'801	606'925	101'925	708'850	86%	14%
10	534'473	737'573	94'947	832'519	89%	11%
11	604'166	833'750	159'560	993'310	84%	16%
12	750'645	1'035'891	152'264	1'188'154	87%	13%
13	722'148	996'564	176'497	1'173'061	85%	15%
14	583'190	804'803	139'211	944'014	85%	15%
15	628'087	866'760	204'133	1'070'893	81%	19%
16	862'398	1'190'109	336'389	1'526'498	78%	22%
17	1'154'185	1'592'776	321'128	1'913'904	83%	17%
18	886'705	1'223'653	218'308	1'441'961	85%	15%
19	664'502	917'013	117'810	1'034'823	89%	11%
20	394'384	544'249	73'277	617'527	88%	12%
21	279'178	385'266	46'049	431'315	89%	11%
22	285'140	393'493	45'523	439'016	90%	10%
23	173'004	238'745	24'165	262'911	91%	9%
Summe	11'233'877		2'962'796			
DWV	11'239'101		2'961'880			

Nachfolgende Abbildung 7 zeigt die Stundenanteile der Fahrzwecke im MIV und ÖV aus der Modellberechnung.

Abbildung 7: Stundenanteile der Fahrzwecke für MIV und ÖV aus Modellberechnung



Die Zwecke Arbeit und Bildung haben sowohl im MIV als auch im ÖV deutlich Spitzen am Morgen und Abend. Hinzu kommt jeweils eine Mittagsspitze, die im MIV beim Zweck Arbeit und im ÖV beim Zweck Bildung deutlich ausfällt.

Für die Nutzfahrt ist ein deutlich unterschiedliches Muster je nach Verkehrsmittel zu erkennen. Während im ÖV der Verlauf ähnlich dem der Arbeitsfahrten mit deutlichen Morgen- und Abendspitzen ist, ist im MIV vor allem die Abendspitze, ausgelöst durch die Rückfahrten zu erkennen, während sich die Hinfahrten gleichmässiger über den Vormittag, Mittag und frühen Nachmittag verteilen.

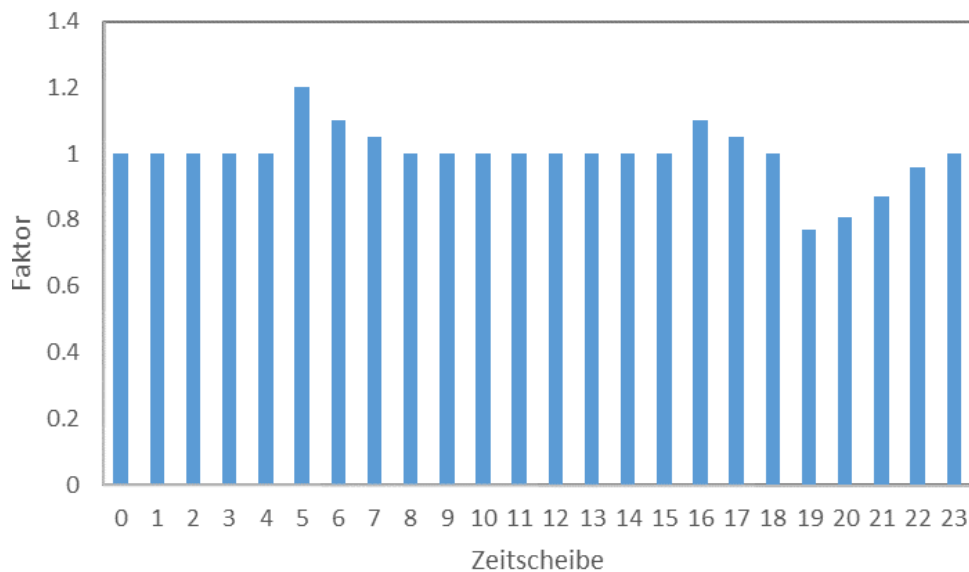
Der Einkaufsverkehr findet hauptsächlich in den Nachmittagsstunden statt, wobei die höchsten Stundenwerte zur gleichen Zeit stattfinden wie die Abendspitze.

Der Hauptteil der Freizeitaktivitäten beginnt am Nachmittag oder frühen Abend. Zudem ist insbesondere im MIV ein relativ hoher Anteil an späten Heimkehrern zu erkennen. Der Verlauf der Gesamtverkehrsnachfrage ist insbesondere durch den Freizeit- und Arbeitsverkehr gekennzeichnet, die auch das grösste Verkehrsaufkommen produzieren. Dabei wird gemäss den Anteilen der Fahrtzwecke am Verkehrsaufkommen der ÖV stärker von den Arbeits- und Bildungsfahrten geprägt, der MIV hingegen stärker von den Freizeitfahrten. Dadurch sind sowohl die Morgen- als auch die Abendspitze im ÖV sehr deutlich zu sehen, während im MIV die Abendspitze stärker dominiert.

3.1.3 Plausibilisierung und Validierung der Matrixstruktur und Umlegungsergebnisse

Die stundenfeinen Streckenbelastungen im MIV und ÖV wurden anhand der Zählzeiten validiert und die Umlegungsanalysen ausgewertet. Dabei stellte sich im ÖV die Nachfrage pro Zeitscheibe als derart gut heraus, dass auf globale Anpassungsfaktoren verzichtet werden konnte. Im MIV wurde geringfügig Nachfrage von den Abendstunden zu den Stunden am Morgen verschoben (vergleiche Abbildung 8)

Abbildung 8: MIV: Anpassungen der Stundenmatrizen mit Faktoren MIV



Kalibrierungsverfahren

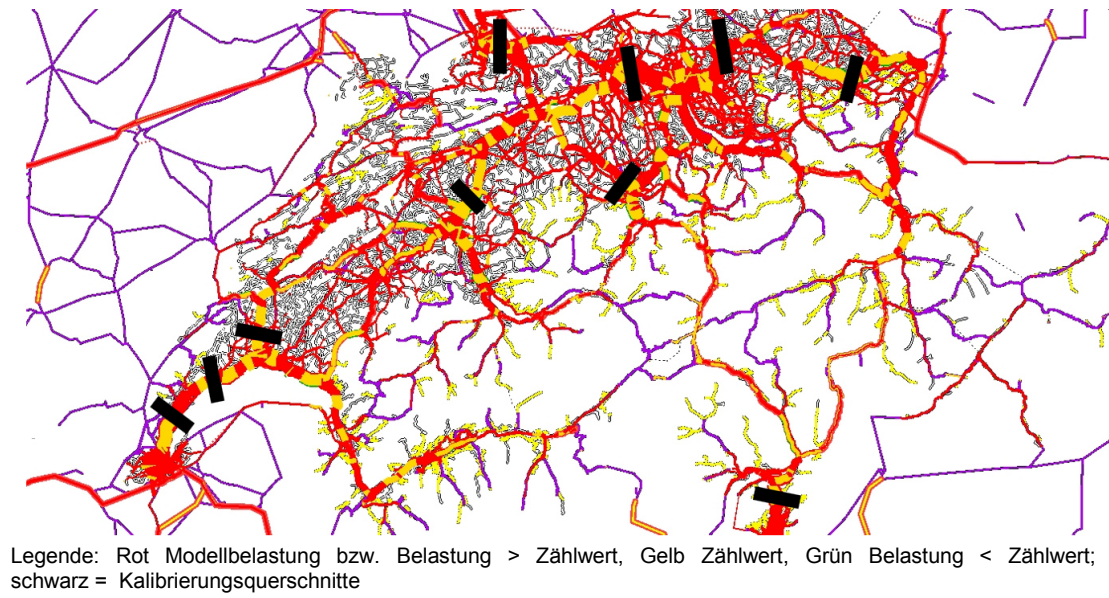
Im MIV sind die grossen ausländischen Zonen problematisch; daher wurde für diese die Anbindungsmethode im Laufe der Kalibrationsarbeiten auf relationsspezifisch umgestellt. Bei den oberitalienischen Zonen musste die Anbindungsmethode wieder auf die Gewichtung des gesamten Q/Z-Verkehrs umgestellt werden, da sonst zu viel Verkehr auf den Autobahnen im Tessin auftreten würde.

Die Spinnenanalyse funktioniert im dynamischen Visummodell nur für den Tagesverkehr, nicht aber für die einzelnen Stunden. Dieses Problem wurde teilweise umgangen, indem für einzelne (Doppel-)Stunden eigene Umlegungen erzeugt wurden, um die Spinnen zu berechnen.

Für die Matrixkorrektur wird zunächst ermittelt, welche Verkehre an einem Querschnitt in welche Richtung und Stunden abgezogen werden sollen. Danach werden mittels Spinnenanalyse die negativen Korrekturmatrizen ermittelt. Diese werden in den Stunden mit überzähligem Verkehr abgezogen. Danach werden die positiven Korrekturmatrizen berechnet und zu den Stunden dazugeschlagen, wo Verkehr fehlt. Damit bleibt die Tagesbelastung, welche durch das DWV Modell vorgegeben wird, konstant und die Nachfrage wird nur zwischen Stunden verschoben.

In Abbildung 9 sind die wichtigsten Kalibrierungsquerschnitte aufgeführt. Hier ist ersichtlich, dass die Querschnitte dort gewählt wurden, wo viele verschiedene Ströme zusammenfließen.

Abbildung 9: Hauptkalibrierungsquerschnitte



In Abbildung 10 ist das Bestimmtheitsmass zwischen den Modell- und Zählwerten für die verschiedenen Stunden im MIV dargestellt. Man muss hier anmerken, dass durch das dynamisch stochastische Verfahren bei jeder Umlegung leicht unterschiedliche Umlegungsergebnisse entstehen. Es ist ersichtlich, dass insbesondere bei der Verteilung der Nachfrage über den Tag und somit in den Randstunden Verbesserungen erfolgten. In den Spitzenstunden sind die Veränderungen eher gering.

Abbildung 10: MIV: Bestimmtheitsmass vor/nach Kalibrierung

Zeitscheibe	Bestimmtheitsmass	
	vorher	nachher
6	0,76	0,84
7	0,86	0,90
8	0,85	0,88
9	0,91	0,92
10	0,92	0,90
11	0,93	0,89
12	0,91	0,92
13	0,90	0,91
14	0,86	0,92
15	0,87	0,88
16	0,88	0,91
17	0,88	0,88
18	0,90	0,88
19	0,88	0,86
20	0,91	0,88
21	0,77	0,85
22	0,82	0,87

In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind die Umlegungsanalysen für die Morgen- bzw. Abendstunden dargestellt. Auffallend ist, dass die Qualitätsmerkmale für die frühen Stunden tendenziell schlechter sind als jene der übrigen Stunden. Hier dominieren sehr stark die Zwecke Arbeit- und Bildung, welche am Morgen oft durch lokal spezifische Zeitrestriktionen (z.B. Schichtbeginn oder Schulbeginn) bestimmt werden. Diese Differenzierung wird jedoch im Modell nicht abgebildet. Im Tagesverlauf überlagern sich die verschiedene Zwecke, was zu einer entsprechenden Glättung führt. Die Abbildung 15 das Endresultat für das MIV-Modell der Abendspitzenstunde zwischen 17 und 18 Uhr.

Abbildung 11: MIV-Modell: Umlegungsanalyse Morgenstundenzeitscheiben 6, 7 und 8 Uhr

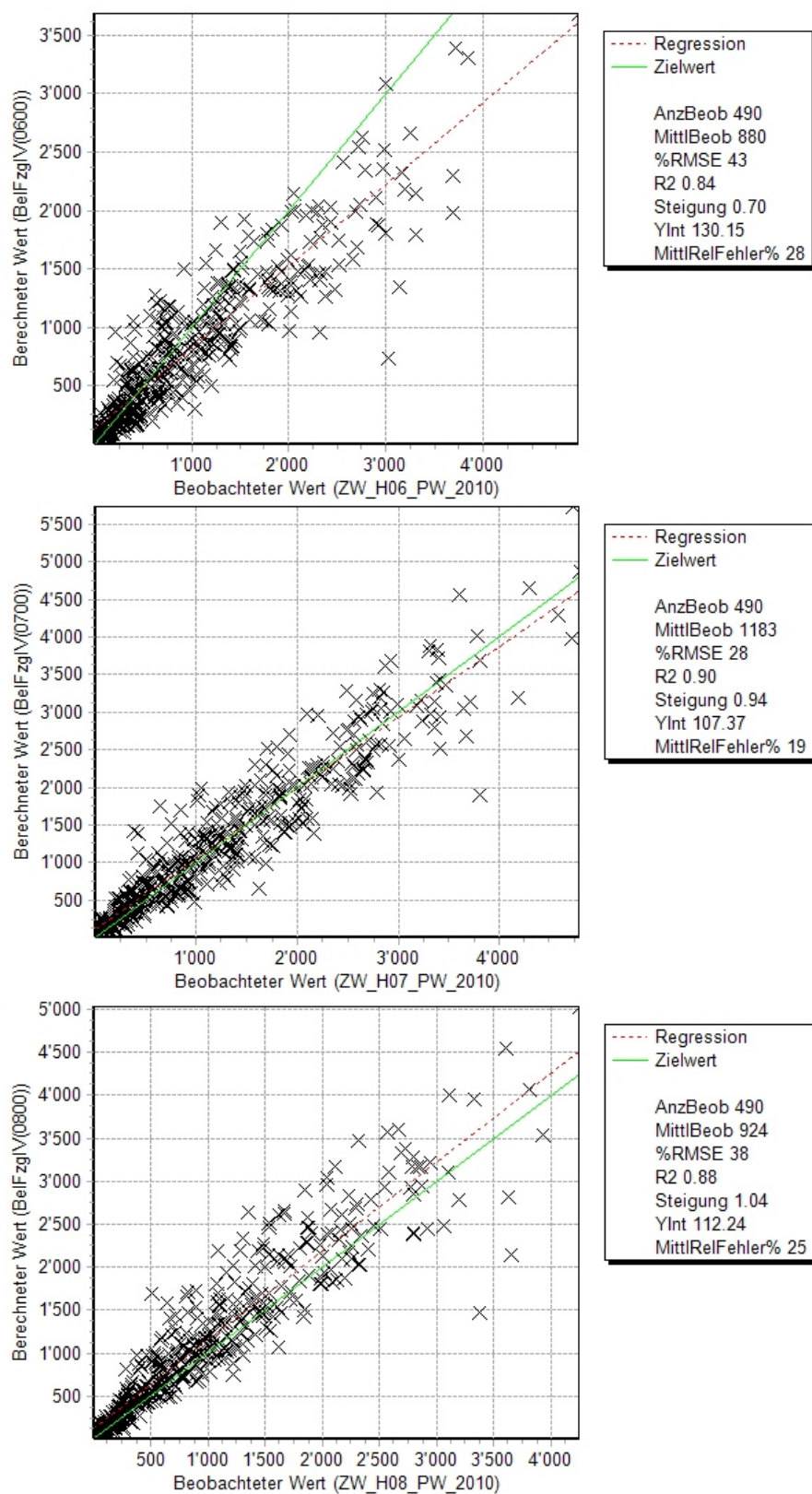


Abbildung 12: MIV-Modell: Umlegungsanalyse Abendstundenzeitscheiben 16, 17 und 18 Uhr

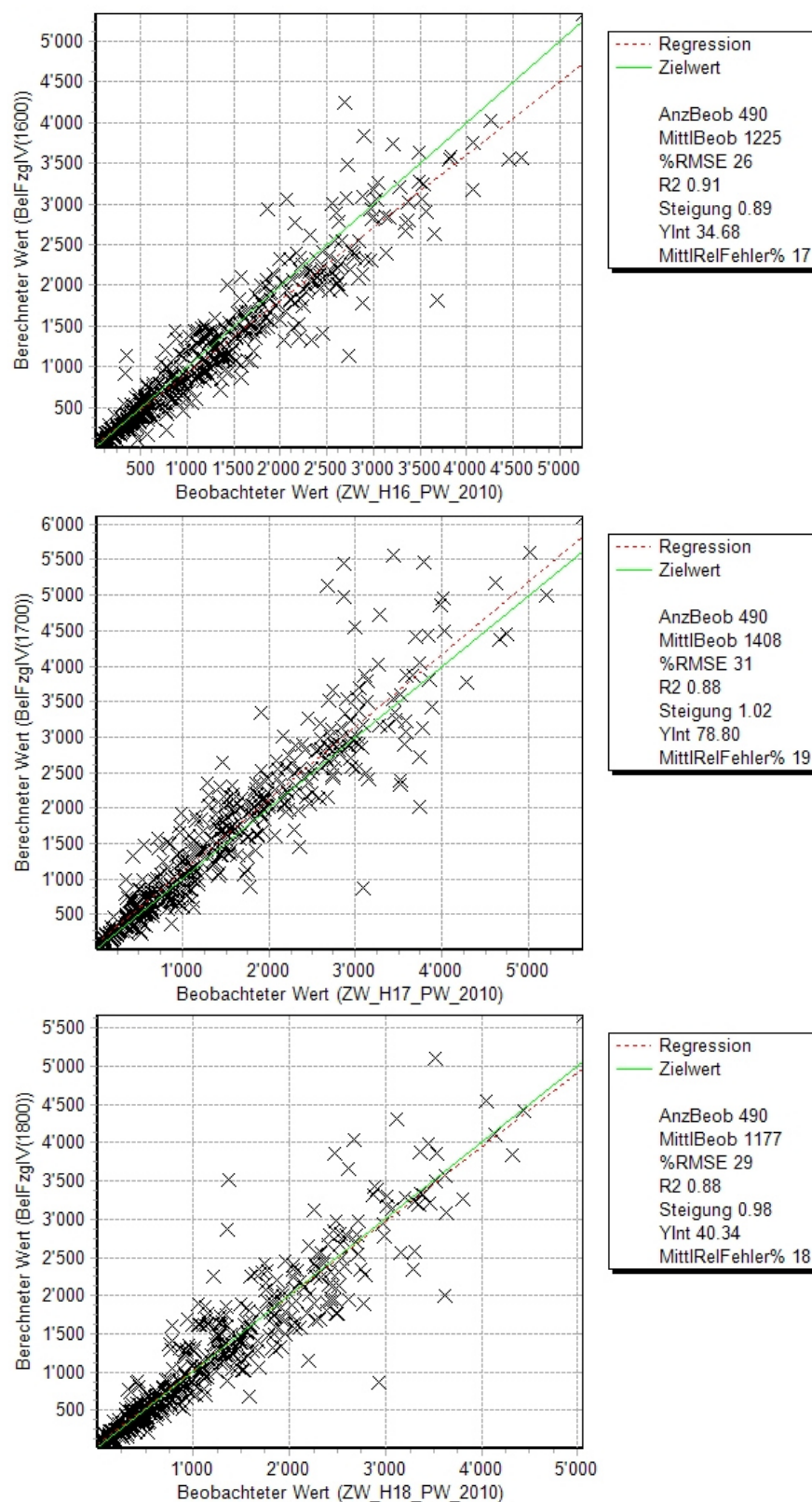
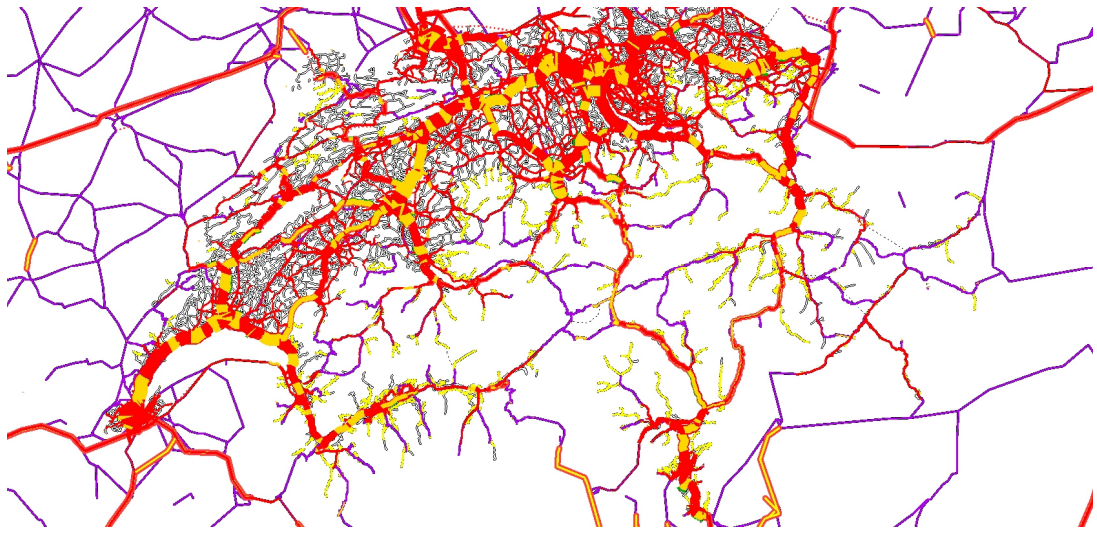


Abbildung 13: Endresultat MIV-Modell: 17 bis 18 Uhr



Legende: Rot Belastung > Zählwert, Gelb Zählwert, Grün Belastung < Zählwert

In Abbildung 14 sind die statischen Kennzahlen für das ÖV-Modell vor und nach der Kalibration aufgeführt. Dabei ist ersichtlich, dass die Übereinstimmung schon vor der Kalibrierung gut war und insbesondere für die Spitzenstunden sehr hohe Werte erreicht wurden. Anders als im MIV konnte aufgrund der guten Übereinstimmung auf globale Anpassungsfaktoren verzichtet werden.

Abbildung 14: ÖV: Bestimmtheitsmass vor/nach Kalibrierung

Zeitscheibe	Bestimmtheitsmass	
	vorher	nachher
6	0,87	0,91
7	0,90	0,95
8	0,91	0,94
9	0,93	0,94
10	0,93	0,94
11	0,91	0,91
12	0,91	0,92
13	0,94	0,94
14	0,93	0,94
15	0,94	0,95
16	0,94	0,97
17	0,96	0,98
18	0,92	0,97
19	0,91	0,94
20	0,90	0,91
21	0,87	0,88
22	0,85	0,85

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind die Umlegungsanalysen für die Morgen- bzw. Abendstunden dargestellt. Auch beim ÖV ist die Übereinstimmung am Abend besser als am Morgen, befindet sich aber insgesamt auf einem sehr hohen Niveau. Bei der ÖV-Umlegung handelt es sich um ein deterministisches Verfahren, d.h. eine Wiederholung der Umlegung führt zu exakt identischen Ergebnissen. Insbesondere beim ÖV, schwächer aber auch beim MIV, war auffällig, dass insbesondere um den Genfersee die Belastungen der generierten stundenfeinen Matrizen gegenüber den Zählwerten in den Morgenstunden zu früh auftreten. Dies könnte auf einen späteren Tagesbeginn insbesondere in der Genferregion hinweisen. Es wäre überlegenswert, dies bei zukünftigen Modellentwicklungen zu berücksichtigen. Die Abbildung 17 zeigt das Umlegungsergebnis des ÖV-Modells für die Spitzenstunde 17 bis 18 Uhr.

Abbildung 15: ÖV-Modell: Umlegungsanalyse Morgenstundenzeitscheiben 6, 7 und 8 Uhr

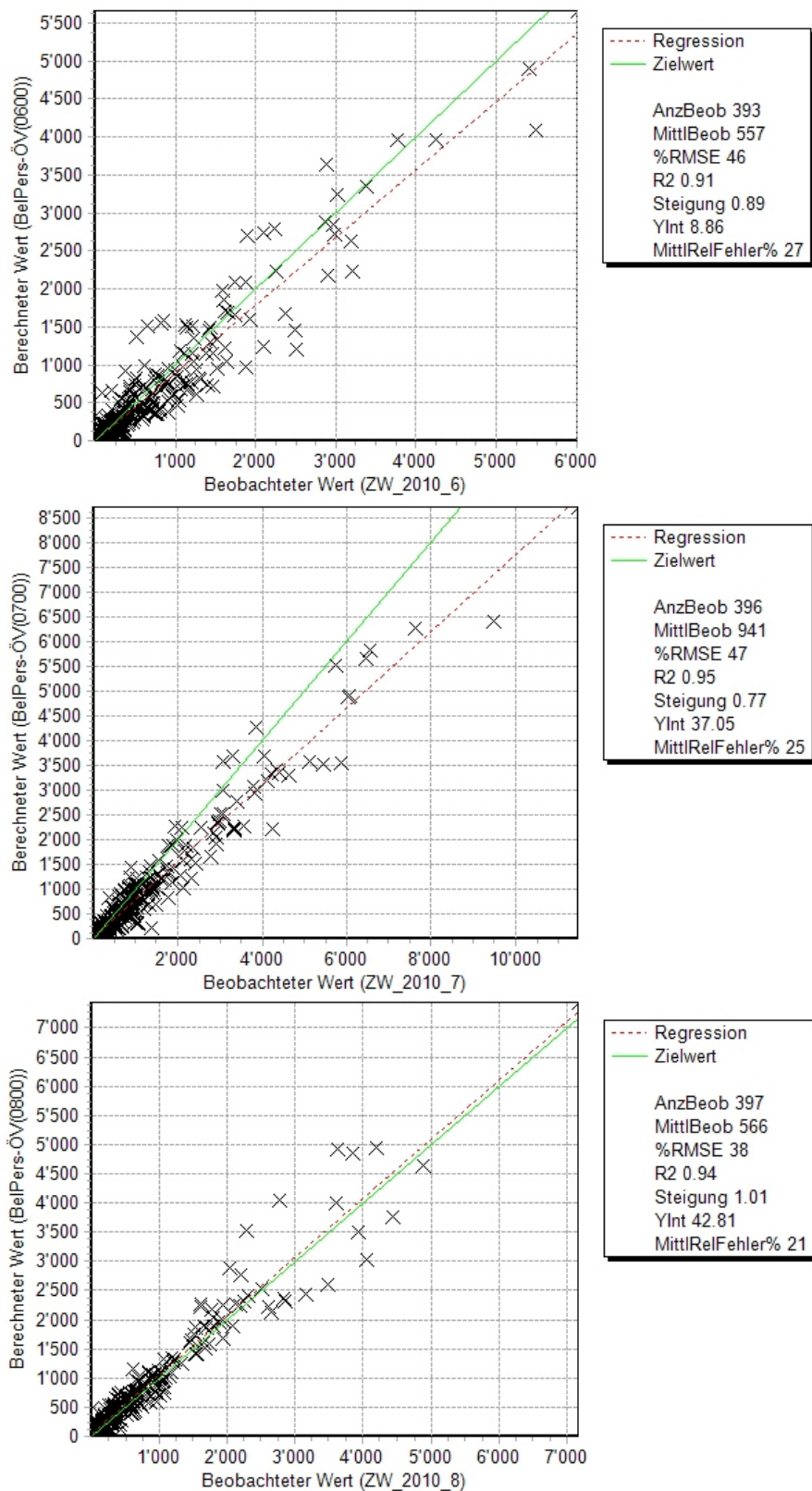


Abbildung 16: ÖV -Modell: Umlegungsanalyse Abendstundenzeitscheiben 16, 17 und 18 Uhr

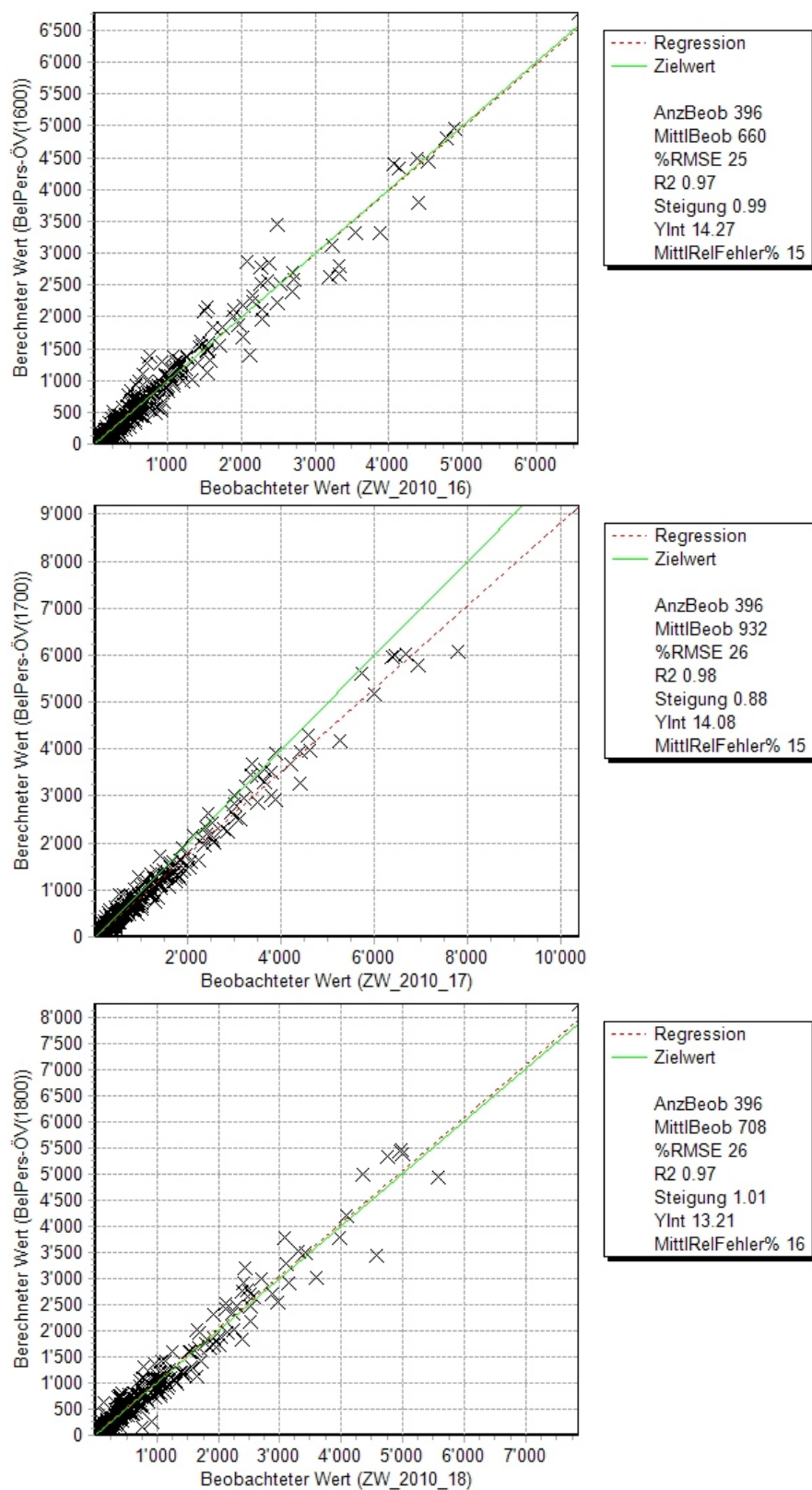
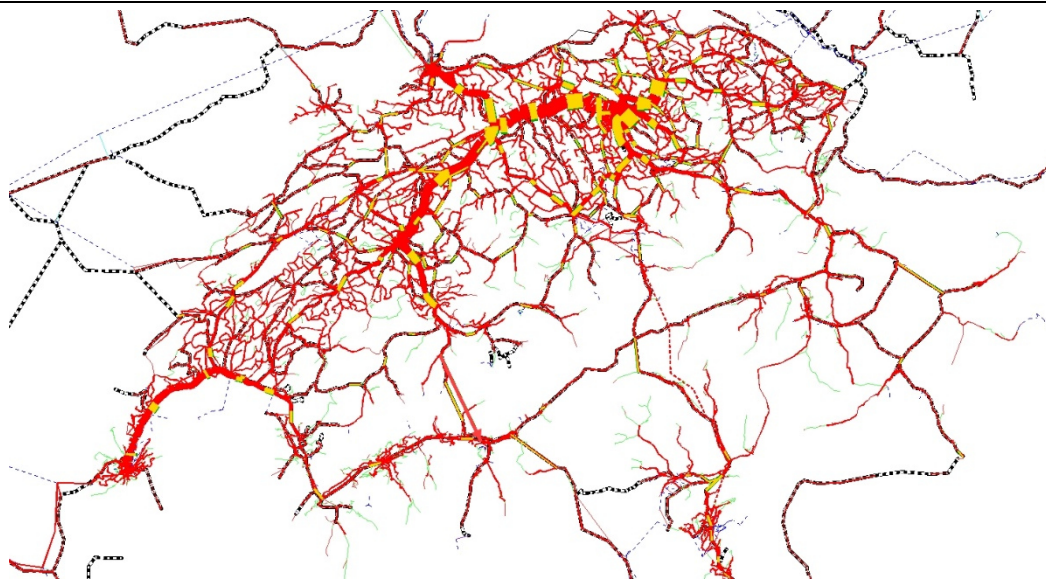


Abbildung 17: Endresultat ÖV-Modell: 17 bis 18 Uhr



Legende: Rot Belastung > Zählwert, Gelb Zählwert, Grün Belastung < Zählwert

In Abbildung 18 sind die Randsummen und der Modal Split der einzelnen Zeitscheiben im MIV und ÖV nach der Kalibration aufgeführt.

Abbildung 18: Randsummen der stundenfeinen Matrizen und Modalsplit-Anteile nach Kalibration

Zeitscheibe	MIV-Fahrten	MIV-Wege	ÖV-Wege	Summe	Modalsplit MIV	Modalsplit ÖV
0	87'032	120'104	8'182	128'286	94%	6%
1	31'627	43'645	1'881	45'526	96%	4%
2	25'037	34'551	413	34'964	99%	1%
3	18'624	25'701	1'032	26'733	96%	4%
4	47'769	65'921	2'231	68'152	97%	3%
5	176'085	242'997	55'902	298'899	81%	19%
6	733'391	1'012'080	224'848	1'236'928	82%	18%
7	931'903	1'286'026	299'760	1'585'786	81%	19%
8	577'333	796'720	161'310	958'030	83%	17%
9	482'040	665'215	101'751	766'966	87%	13%
10	488'399	673'991	94'776	768'767	88%	12%
11	521'937	720'273	159'280	879'553	82%	18%
12	824'075	1'137'224	152'006	1'289'230	88%	12%
13	791'603	1'092'412	176'229	1'268'641	86%	14%
14	640'762	884'252	138'993	1'023'245	86%	14%
15	562'854	776'739	203'218	979'957	79%	21%
16	1'043'145	1'439'540	334'899	1'774'439	81%	19%
17	1'231'158	1'698'998	321'065	2'020'063	84%	16%
18	634'819	876'050	217'659	1'093'709	80%	20%
19	397'200	548'136	117'612	665'748	82%	18%
20	280'209	386'688	73'121	459'809	84%	16%
21	217'969	300'797	45'925	346'722	87%	13%
22	303'273	418'517	45'435	463'952	90%	10%
23	190'668	263'122	24'082	287'204	92%	8%
Summe	11'238'912	15'509'699	2'961'610	18'471'309	84%	16%
DWV	11'239'101		2'961'880			

In Abbildung 19 sind die Veränderungen der Anzahl Wege in den Zeitscheiben durch die Kalibration dokumentiert. Im MIV sind die Veränderungen viel stärker als im ÖV. In den Morgenstunden mussten Fahrten hinzugefügt werden, welche von den frühen Abendzeitscheiben abgezogen wurden (vergleiche Abbildung 8). Warum die zeitlichen Abweichungen über den Werktag im Mikrozensus gegenüber den Zählzeiten im MIV stärker als im ÖV sind, kann nur mit einer vertiefenden Untersuchung analysiert werden.

Abbildung 19: Veränderung Nachfrage MIV und ÖV je Zeitscheibe durch Kalibration

Zeitscheibe	Differenz MIV-Fahrten		Differenz ÖV-Wege	
	abs.	rel.	abs.	rel.
0	10'790	13,6%	-26	-0,3%
1	3'531	12,1%	-5	-0,3%
2	2'827	12,3%	-18	-4,2%
3	1'830	10,6%	-3	-0,3%
4	5'537	12,7%	-34	-1,5%
5	52'444	38,0%	852	1,5%
6	180'741	30,0%	1'602	0,7%
7	176'274	21,9%	2'461	0,8%
8	58'590	11,0%	-878	-0,5%
9	58'290	13,3%	-174	-0,2%
10	-63'582	-11,9%	-171	-0,2%
11	-113'477	-18,8%	-280	-0,2%
12	101'333	13,5%	-258	-0,2%
13	95'848	13,3%	-268	-0,2%
14	79'449	13,6%	-218	-0,2%
15	-90'022	-14,3%	-915	-0,4%
16	249'431	28,9%	-1'490	-0,4%
17	106'222	9,2%	-63	0,0%
18	-347'602	-39,2%	-649	-0,3%
19	-368'877	-55,5%	-198	-0,2%
20	-157'561	-40,0%	-156	-0,2%
21	-84'469	-30,3%	-124	-0,3%
22	25'024	8,8%	-88	-0,2%
23	24'376	14,1%	-83	-0,3%

Schlussfolgerungen

- Die dynamischen Modelle zeigen eine sehr gute Übereinstimmung im Binnenverkehr.
- In den Grenzgebieten würde eine feinere Zonierung der ausländischen Agglomerationen mit gleicher Nachfrageberechnung wie im Binnenverkehr zu einer deutlichen Verbesserung führen. Auch ist in den Grenzgebieten die Zähldatensituation verbesserungswürdig.
- Aufgrund der vielen Probleme mit der MIV-Anbindungsmethodik „Gewichtung des gesamten Quell-Ziel-Verkehrs“ (insbesondere in den grenznahen Gebieten) wäre bei einer zukünftigen Modellaktualisierung eine Umstellung auf relationsfeine Anbindungsgewichte überlegenswert.
- Durch die stochastische (Zufallskomponente) und belastungsabhängige MIV-Umlegung sind die MIV-Anpassungen der Nachfrage (Kalibrierung) weniger effizient als beim ÖV.

3.2 Erstellung von Spitzenstundenmodellen MSP und ASP (Basiszustand 2010) für den Personen- und Güterverkehr auf der Strasse und den Personenverkehr auf der Schiene

In diesem Arbeitspaket werden die statischen Morgen- und Abendspitzenstundenmodelle (MIV und ÖV) für den Basiszustand 2010 erstellt. Im Strassenverkehr sind neben den PW-Matrizen auch die Matrizen für Lieferwagen, Lastwagen sowie Last- und Sattelzüge zu erstellen und auf die Querschnittszählungen zu eichen. Im ÖV wird die Personenwegematrix auf die SBB-Spitzenstundenzählungen geeicht. Dabei ist zu beachten, dass in statischen Modellen alle Fahrten, die in den betrachteten Spitzenstunden stattfinden bzw. durch die Verkehrszählungen erfasst werden, auch in der Matrix in der entsprechenden Stunde abgebildet werden, unabhängig davon, ob die Abfahrtszeit in der entsprechenden Stunde, oder früher stattgefunden hat.

3.2.1 Aufbereitung der Quell-Ziel-Matrizen für Spitzenstundenmodelle

Die Erstellung der Quell-Ziel-Matrizen für die Spitzenstundenmodelle erfolgt in zwei getrennten Arbeitsschritten:

- Quell-Ziel-Matrizen für Personenverkehr (MIV und ÖV);
- Quell-Ziel-Matrizen für Strassengüterverkehr.

Die Grundlagen für die Erstellung von Personenverkehrsmatrizen stellen die im vorherigen Arbeitsschritt berechneten stundenfeinen Quell-Ziel-Matrizen dar. Da es sich jedoch bei der Abbildung der Spitzenstunden um ein statisches Modell handelt, müssen hier alle Fahrten zwischen 7 und 8 Uhr bzw. 17 und 18 Uhr, die auf den Strassen oder im ÖV stattfinden auch in der Matrix abgebildet werden. Dafür sind alle Fahrten der vorherigen Stunden, die bis 7 bzw. 17 Uhr nicht beendet werden sowie Abfahrten zwischen 7h und 8h bzw. 17h und 18h die länger als eine Stunde dauern, bei der Erstellung der Matrix entsprechend zu berücksichtigen. Für die Zusammensetzung der Fahrten in der betrachteten Spitzenstunde wurde anhand der Reisezeit der betrachteten Quelle-Ziel-Beziehung ein Ansatz für die Filtrierung der Wege, die in den Spitzenstundenzeiten noch dauern bzw. stattfinden, entwickelt. Die Filtrierung der Wege $F_{ij} = P \cdot F_{ij} \text{ Zeitscheibenmatrix}$ erfolgt über die Berechnung der Anteile (P) der einzelnen Quell-Ziel-Beziehung in Abhängigkeit der Reisezeit (t) und der betrachteten Abfahrtszeit:

- Spitzenstundenmatrix (7h-8h und 17h-18h)
 - wenn $t \leq 60 \text{ min}$ $P = 1 - (t / 120)$
 - wenn $t > 60 \text{ min}$ $P = 30 / t$
- Vorherige Stunde (6h-7h und 16h-17h)
 - wenn $t \leq 90 \text{ min}$ $P = t / 120$
 - wenn $t > 90 \text{ min}$ $P = 60 / t$
- Wege innerhalb der Spitzenstundenzeit mit einer Abfahrtszeit von zwei und mehreren Stunden vorher (vor 6h und vor 16h)
 - $P = 60 / t$

Zusätzlich wurden die filtrierte MIV-Wege aus den vorherigen Stunden bzw. nicht Spitzenstunden noch mit dem Faktor 0.5 multipliziert (aus dem Vergleich Umlegung/Zählung abgeleitet), da die ermittelten Streckenbelastungen durch zu viele längere Wege über den Zählorten lagen. Das hier angewendete Vorgehen, stellt wie erwartet eine Näherung dar, hat sich aber bei der Plausibilisierung als geeignet gezeigt, da die Abweichungen zwischen den Modellbelastungen und Zählorten dadurch reduziert wurden und die Matrixstruktur /Reiseweitenverteilung mit dem MZMV 2010 gut übereinstimmt (siehe Abbildung 20 bis Abbildung 23).

Die Validierung der berechneten Matrizen des Personenverkehrs erfolgt durch den Vergleich der ermittelten Modellbelastungen gegenüber den Verkehrszählungen sowie durch den Vergleich der Reiseweitenverteilung gegenüber dem MZMV 2010. Die Vergleiche der Modellbelastungen und Querschnittszählungen sind in den folgenden vier Abbildungen dargestellt.

Abbildung 20: ÖV-Modell (ohne Kalibration): Umlegungsanalyse Abendspitzenstunde

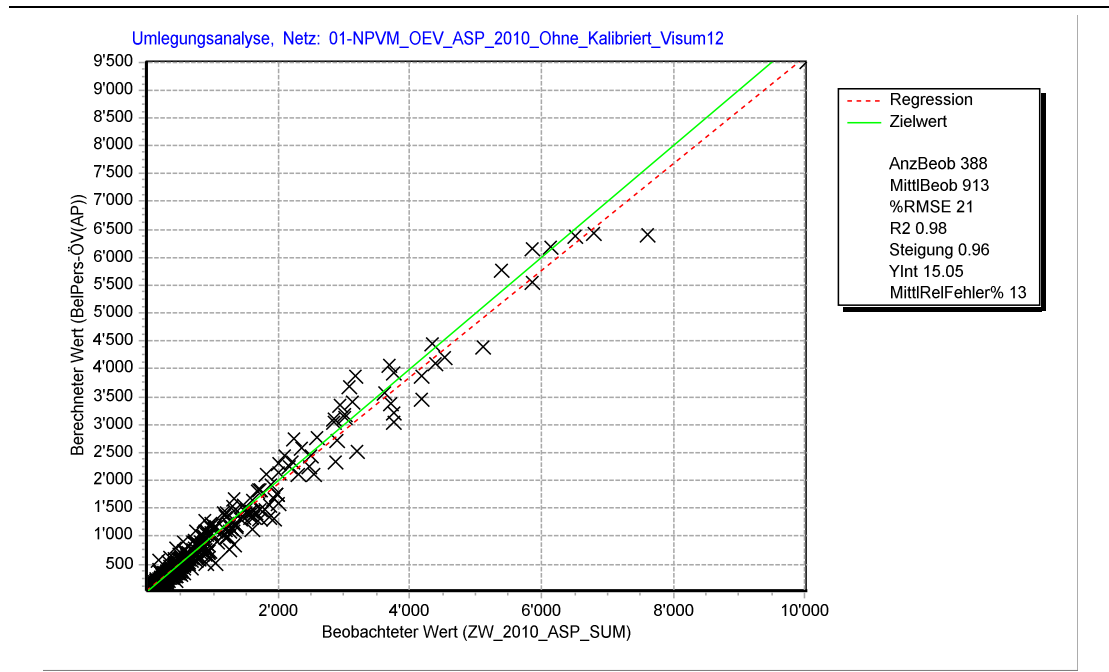


Abbildung 21: ÖV-Modell (ohne Kalibration): Umlegungsanalyse Morgenspitzenstunde

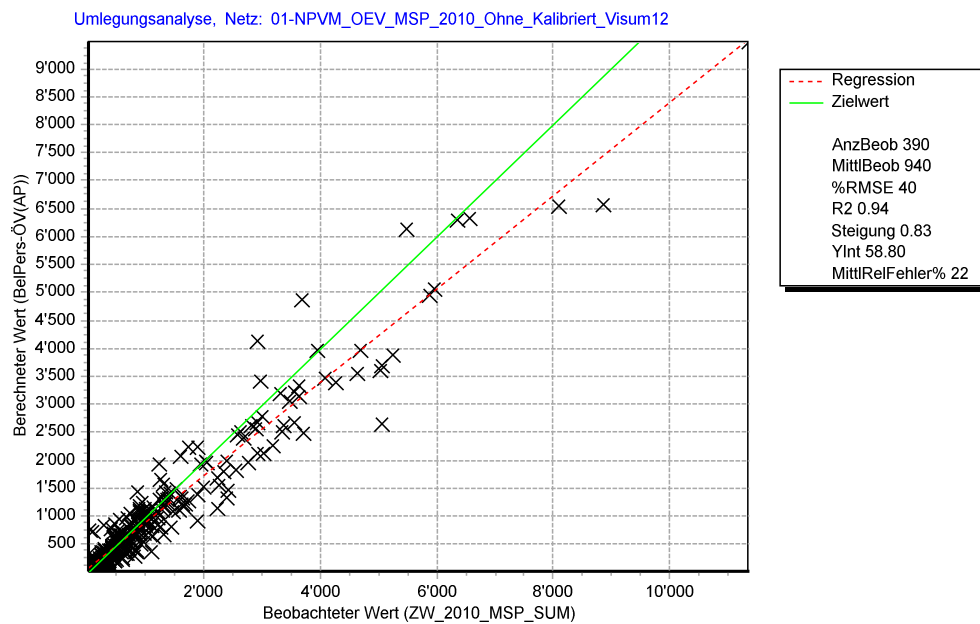


Abbildung 22: MIV-Modell (ohne Kalibration): Umlegungsanalyse Abendspitzenstunde

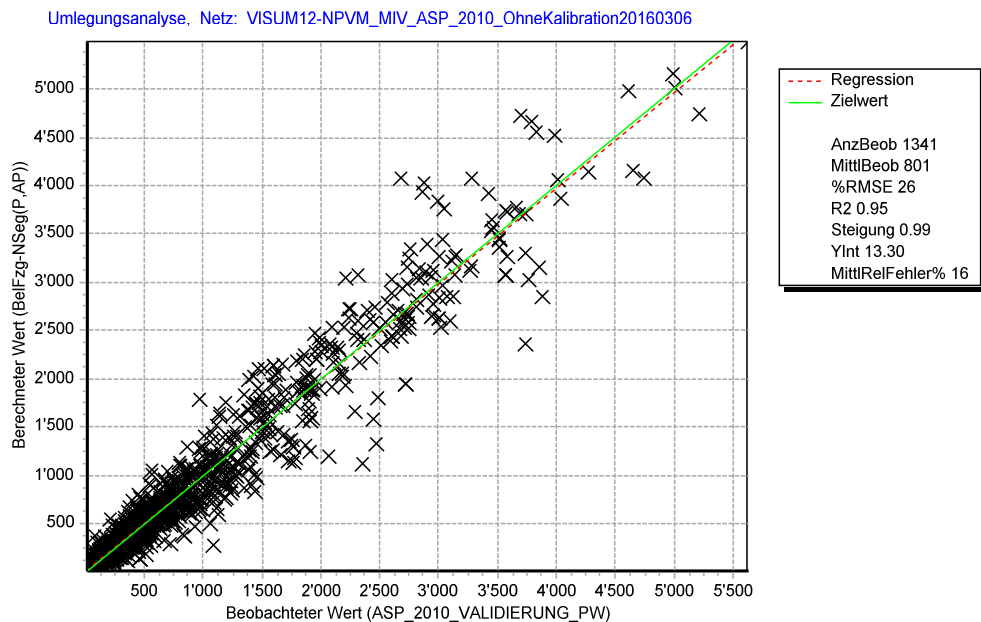
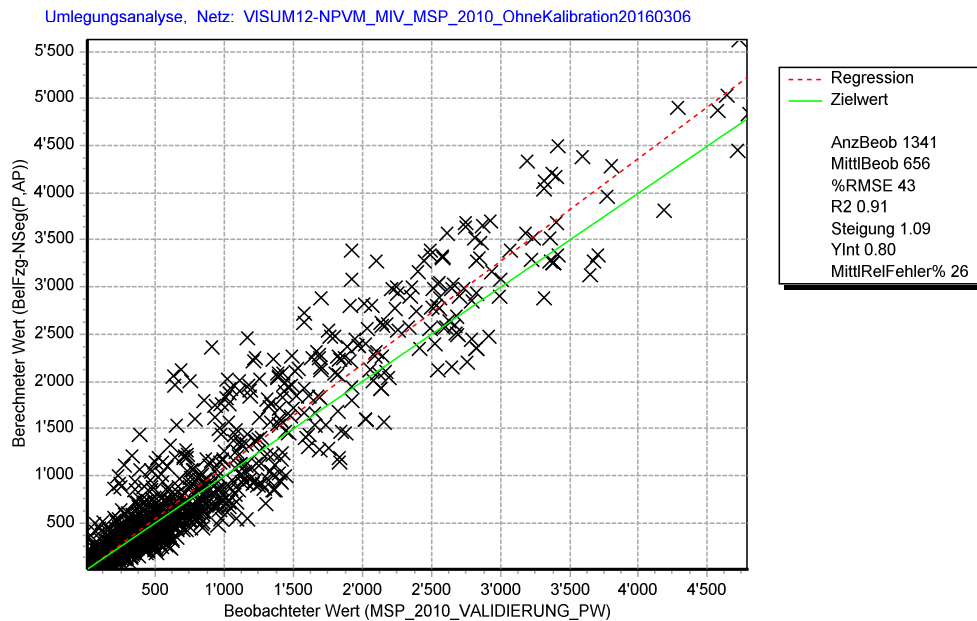


Abbildung 23: MIV-Modell (ohne Kalibration): Umlegungsanalyse Morgenspitzenstunde



Aus den Abbildungen 22 bis 25 ist zu sehen, dass die Abendspitzenstundenmodelle eine höhere Übereinstimmung zeigen als die Morgenspitzenstundenmodelle. Die unterschiedliche Qualität ist wahrscheinlich überwiegend auf eine etwas tiefere Repräsentativität der Stichprobe der Zählstellen in den Morgenstunden zurückzuführen.

Für den Vergleich der Reiseweitenverteilung wurden die MZMV-Wege mit Abfahrtszeiten innerhalb der Spitzenstunde filtriert. Damit ist ein direkter Vergleich mit der berechneten Quell-Ziel-Matrix nur näherungsweise möglich, da im Modell auch Wege aus vorherigen Stunden berücksichtigt werden. Da aber keine anderen Daten für die Validierung der Matrixstruktur zur Verfügung stehen, wird für eine grobe Beurteilung ein Vergleich in folgenden zwei Abbildungen dargestellt. Hier ist zu sehen, dass die Übereinstimmung bei den kürzeren Wegen etwas schlechter und bei längeren Wegen (ab ca. 5 km) zufriedenstellend ist. In der Summe stimmen die Mittelwerte gut überein.

Abbildung 24: Vergleich Reiseweiteverteilung mit MZMV 2010: Abendspitzenstunde

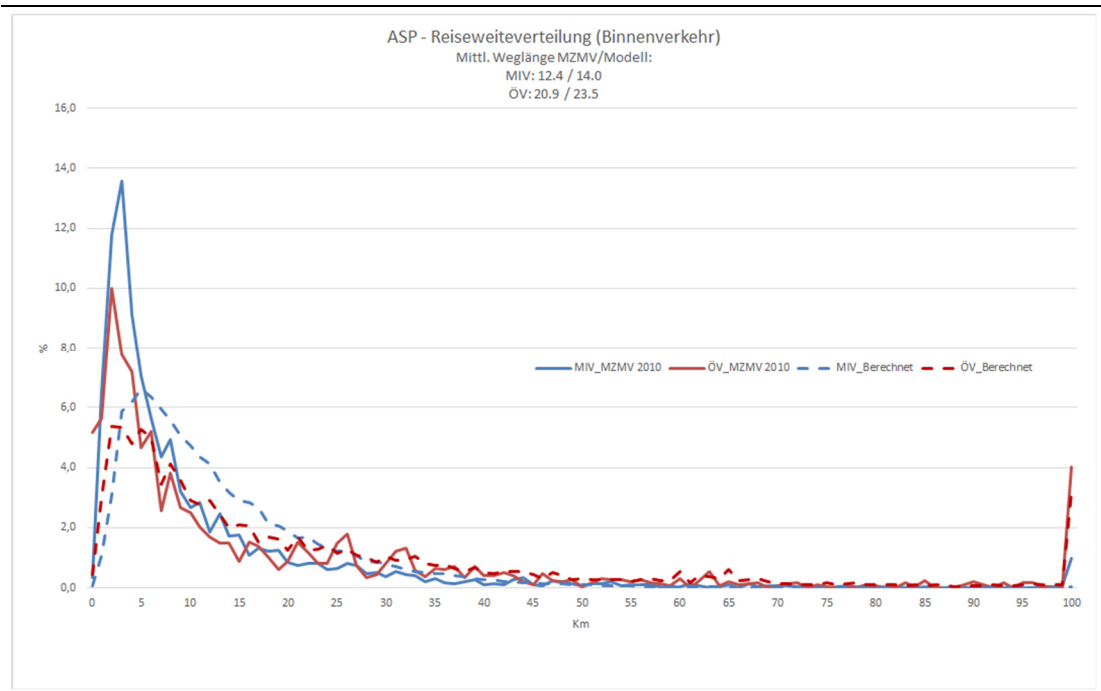
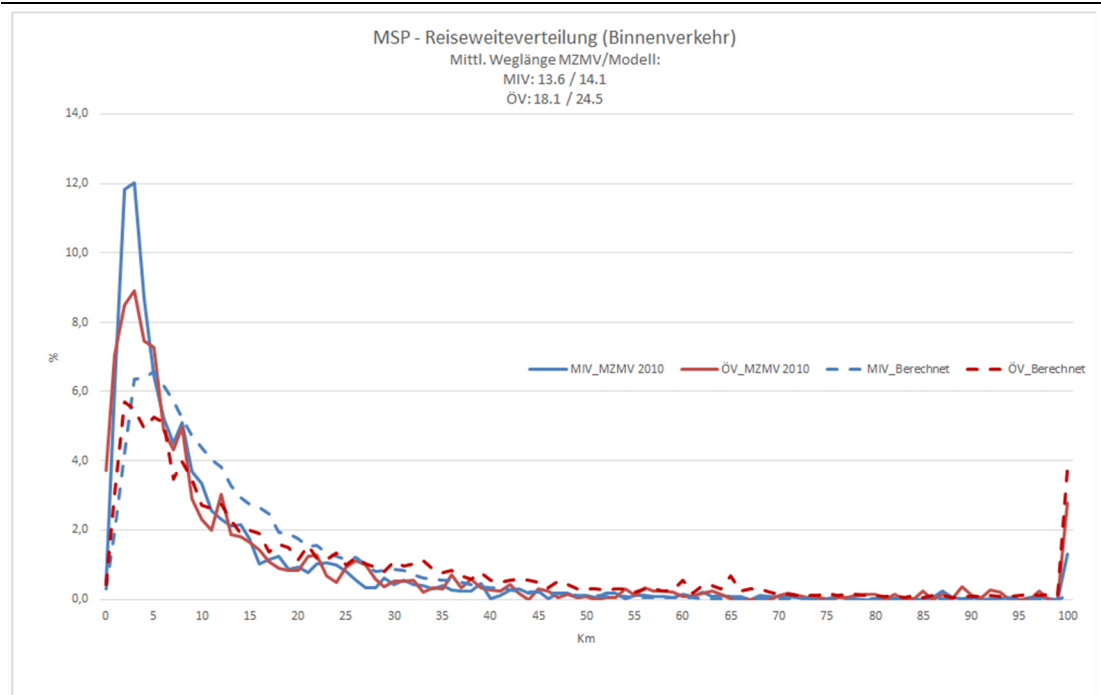


Abbildung 25: Vergleich Reiseweiteverteilung mit MZMV 2010: Morgenspitzenstunde



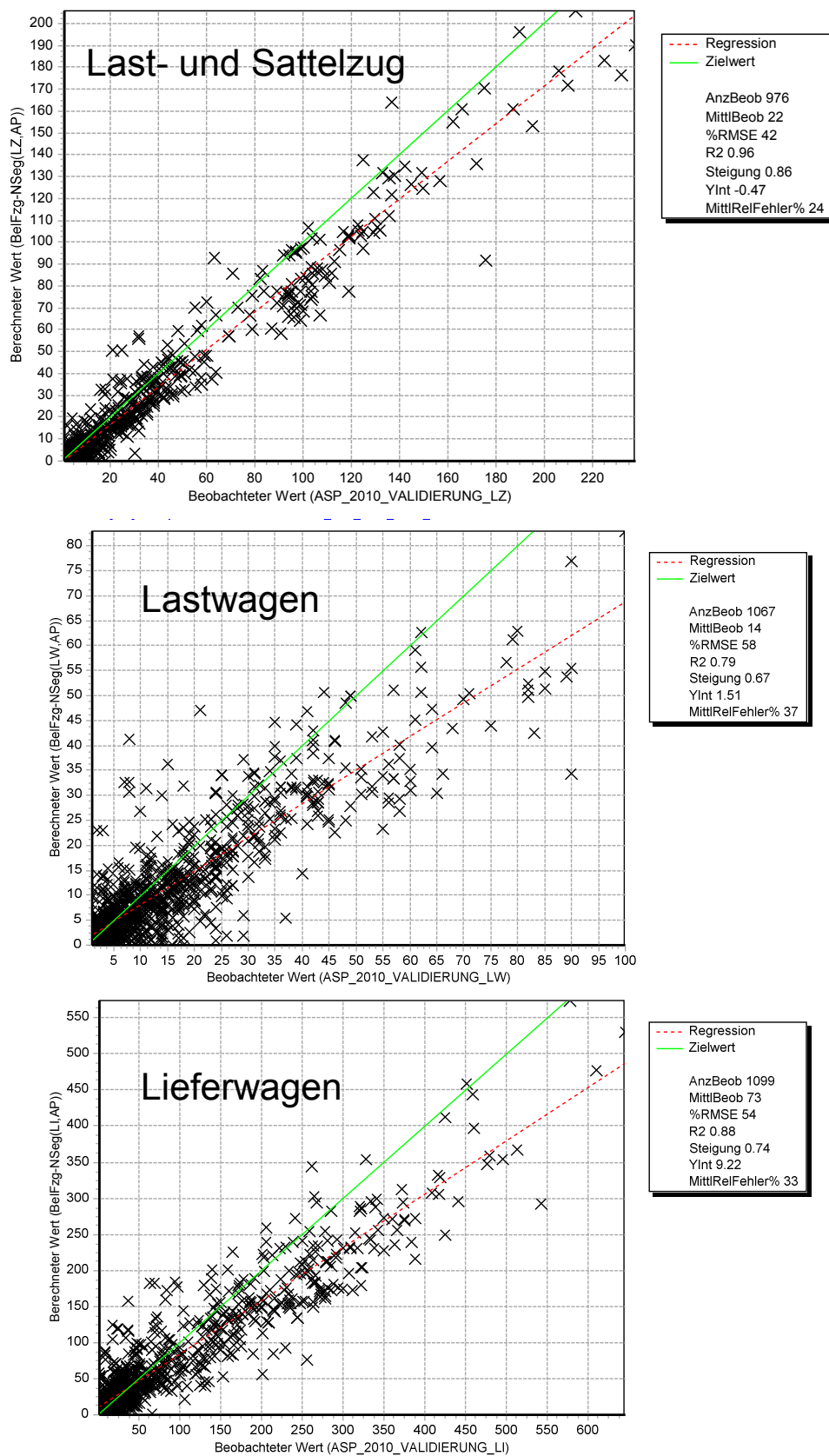
Für die Ableitung der Spitzenstundenmatrizen des Strassengüterverkehrs sind keine geeigneten empirischen Grundlagen vorhanden. Daher werden diese aus den kalibrierten Morgen- und

Abendspitzenstundenmodellen 2005 (ARE, 2010a) und dem DWV-Modell 2010 (ARE 2014) abgeleitet. Ebenso werden die Spitzenstundenanteile des Strassengüterverkehrs am Tagesverkehr aus dem 2005-Modell übernommen. Bei den Quell-Ziel-Beziehungen, bei denen sowohl Spitzenstunden 2005 als auch die Tageswerte 2010 vorhanden sind, werden die Spitzenstundenanteile aus dem 2005-Modell übernommen. Bei den Beziehungen bei denen die Spitzenstundenanteile 2005 gleich Null sind und DWV-Werte >0 sind, werden folgende Mittelwerte (aus der ASP-, MSP- und DWV-Matrixsummen 2005 berechnet) angenommen:

	MSP-Modell	ASP-Modell
Lieferwagen	8.0%	7.5%
Lastwagen	7.4%	4.2%
Last- und Sattelzug	6.4%	4.7%

Aus der Umlegungsanalyse der abgeleiteten Matrizen zeigte sich, dass die Abweichungen der Modellbelastungen gegenüber den Zählraten (siehe Abbildung 26) deutlich grösser sind als bei den Personenverkehrsmatrizen. Die Gründe dafür liegen sowohl in nicht verfügbaren Datengrundlagen für die Ableitung der Stundenanteile einzelner Quell-Ziel-Beziehungen als auch an den unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Erstellung der Matrizen des Güterverkehrs zwischen den Spitzenstundenmodellen 2005 und 2010.

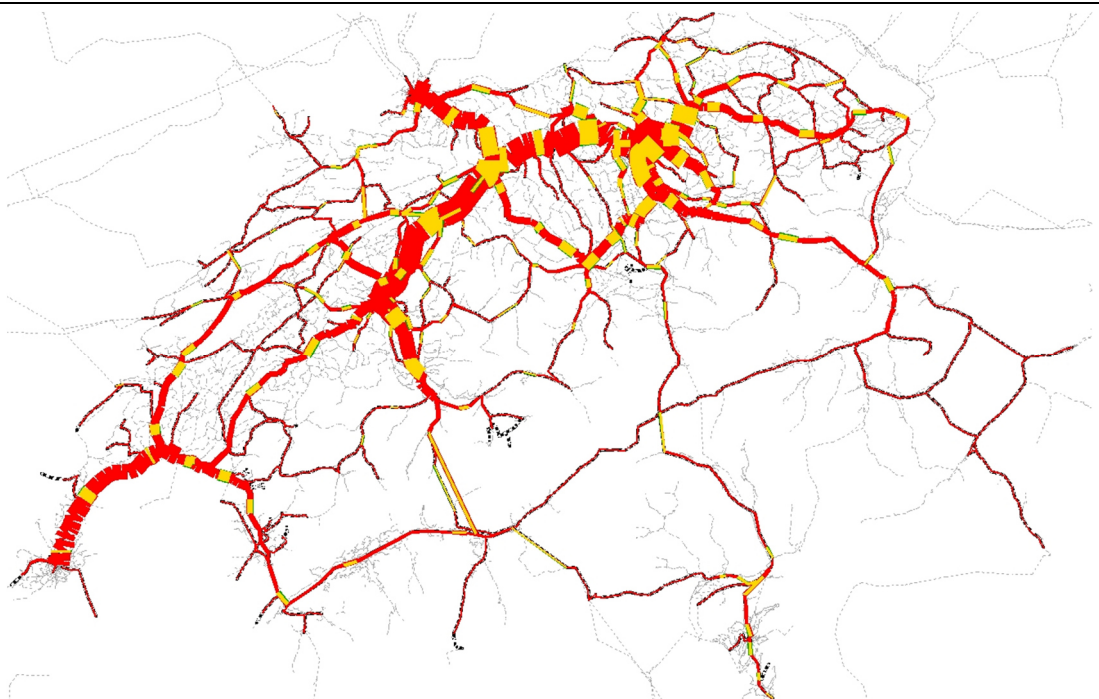
Abbildung 26: Umlegungsanalyse Strassengüterverkehr: Abendspitzenstunde



3.2.2 Spitzenstundenmodelle: Zähldaten

Die Zähldaten im ÖV wurden vom ARE zur Verfügung gestellt und beinhalten 196 SBB-Querschnitte. Hier standen für die Morgen- und Abendspitzenstunde zwei Datensätze zur Verfügung: Erhobene (Original) Werte 2010 und aus den Tagesganglinien 2014 und DWV-Belastungen 2010 berechnete Stundenwerte 2010. Bei der Plausibilisierung zeigte sich bei einzelnen Querschnitten, dass zwischen den erhobenen (Original) Spitzenstundenwerten 2010 und aus den Tagesganglinien 2014 berechneten Stundenwerten grössere Differenzen festzustellen sind. Die Differenzen sind sehr wahrscheinlich auf die Fahrplanveränderungen während der Morgen- und Abendspitzenstunde zwischen 2010 und 2014 zurückzuführen. Da bei der Umliegung auch der Fahrplan 2010 verwendet wird, wurden die Modellbelastungen mit den erhobenen Werten validiert. Die Zähldaten sind als benutzerdefiniertes Attribut ZW_2010_ASP_SUM (Abendspitzenstunde) und ZW_2010_MSP_SUM (Morgenspitzenstunde) gespeichert. Die Querschnitte mit Zählwerten sind in folgender Abbildung dargestellt.

Abbildung 27: Querschnitte mit Zähldaten im ÖV (Gelbe Balken)



Legende: Rot Belastung > Zählwert, Gelb Zählwert, Grün Belastung < Zählwert

Im Strassenverkehr werden die Zähldaten aus mehreren Quellen zusammengestellt:

- ASTRA Zählungen;
- Kantonale Zählungen;
- aus kantonalen Verkehrsmodellen abgeleitete Streckenbelastungen.

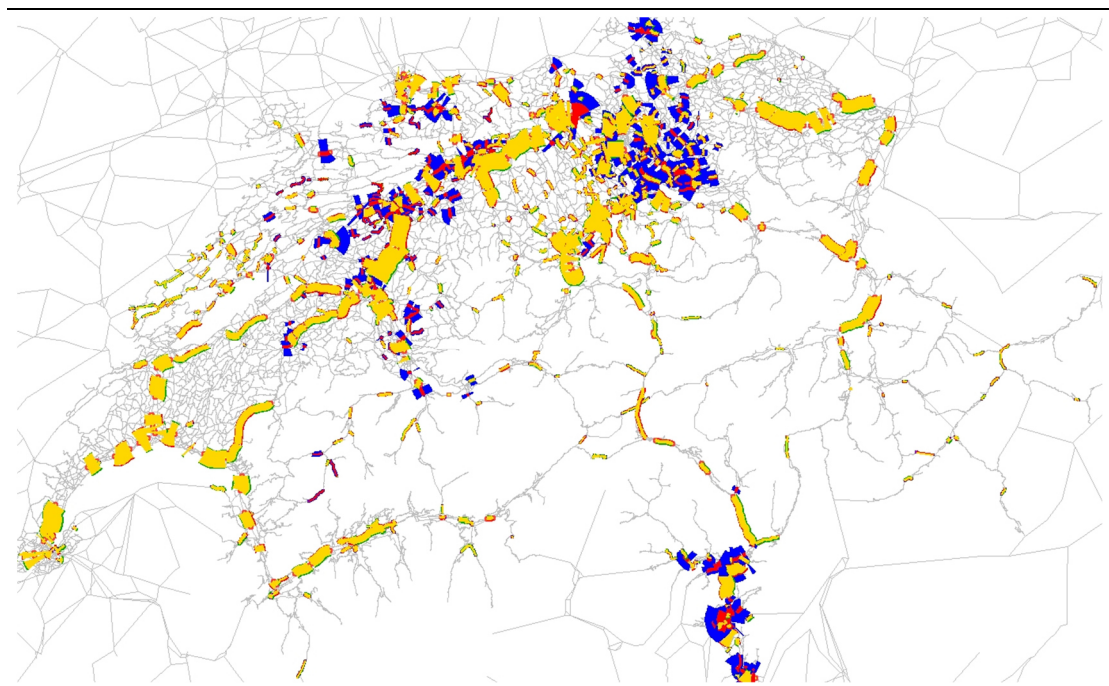
Neben der aus dem DWV-Modell übernommenen ASTRA- und kantonalen Verkehrszählungen wurden hier zusätzlich für die Plausibilisierung auch die Modellbelastungen aus den kantona-

len Verkehrsmodellen verwendet. Die Streckenbelastungen auf den Abschnitten und Korridoren ohne Zähl­daten wurden aus den kantonalen Verkehrsmodellen ZH, BE, SO, ZG und TI vom ARE zur Verfügung gestellt. Die ASTRA- und kantonalen Verkehrszählungen sind als benutzerdefiniertes Attribut z.B. ZW_ASP_PW_2010 nach Fahrzeugklassen gespeichert. Die Belastungen aus den kantonalen Verkehrsmodellen wurden auch als benutzerdefiniertes Attribut z.B. GVM_ASP_PW_2010 gespeichert. Anschliessend wurde aus den ASTRA- und kantonalen Zähl­daten sowie Belastungen aus kantonalen Verkehrsmodellen ein gemeinsam benutzerdefiniertes Attribut z.B. ASP_2010_VALIDIERUNG_PW erstellt. Bei der Validierung der Zähl­daten zeigte sich ähnlich wie bei dem DWV-Modell, dass bei kantonalen Zähl­daten einige Querschnitte nicht plausibel sind und entfernt werden müssen. Hier wurden folgende Fehler festgestellt:

- absoluter Belastungswert nicht plausibel und im Vergleich mit umliegenden Zähl­daten widersprüchlich;
- vertauschte Richtungswerte;
- Aufteilung der Strassengüterfahrzeuge nicht plausibel und widersprüchlich.

Die fehlerhaften Zähl­werte wurden isoliert oder nach Bedarf angepasst (z. B. Richtungswerte). Die fehlerhaften Zähl­stellen lassen sich durch einen Vorher/Nachher Vergleich der benutzerdefinierten Attributen mit Zähl­daten verifizieren. Die Aufteilung von Strassengüterfahrzeugen wurde teilweise durch die Belastungen aus den kantonalen Verkehrsmodellen plausibilisiert und angepasst. Die Verteilung der Zähl­stellen im Strassennetz sowie die Differenzierung zwischen Zähl­daten und Belastungen aus den kantonalen Verkehrsmodellen ist in Abbildung 28 dargestellt. Die Gesamtanzahl der validierten Querschnitte nach Fahrzeugklassen ist in der Tabelle 3 auf Seite 55 dargestellt.

Abbildung 28: Validierungsquerschnitte im Strassennetz (gelb = ASTRA- und kantonale Zähl­stellen, blau = Belastungen aus kantonalen Verkehrsmodellen)



3.2.3 Kalibration auf die Querschnittszählungen

Die in den vorherigen Arbeitsschritten erstellten und plausibilisierten Matrizen werden nun auf die Querschnittszählungen geeicht. Die Kalibrierung der Quell-Ziel-Matrix kann erst durchgeführt werden, wenn die Zähldaten und Netzattribute als plausibel und verlässlich betrachtet werden können. Dafür wird, wie im vorherigen Arbeitsschritt beschrieben, eine Analyse der vorhandenen Zähldaten einerseits als auch des Routenwahlverhaltens andererseits durchgeführt.

Die Netzgrundlagen für die Spitzenstundenmodelle sind die vorhandenen DWV-Modelle 2010. Im ÖV wird der gleiche Fahrplan sowie Verfahrensparameter (Fahrplanfeine Umlegungsverfahren) für die Umlegung verwendet. Hier wird nur der Umlegungszeitraum an die betrachtete Spitzenstunde angepasst und weitere Angebots- und Umlegungskomponenten unverändert aus dem DWV-Modell übernommen.

Im MIV-Modell wird auch das Netz sowie das Umlegungsverfahren aus dem DWV-Modell übernommen. Die Kapazitäten des Strassennetzes wurden auf die Stundenkapazitäten angepasst (gleiche Kapazitäten wie beim Stundenfeinenmodell, siehe Kapitel 3.1.2.) und weitere Attribute und Verfahrenseinstellungen plausibilisiert. Bei der Analyse des Routenwahlverhaltens wurden folgende Netzfehler festgestellt:

- Grenzübergang Basel St. Louis: Die Wartezeiten für Strassengüterfahrzeuge am Grenzübergang St. Louis sind höher als am Grenzübergang Weil am Rhein. Dadurch wird zwischen Mülhausen und Basel im Strassengüterverkehr die Route via Grenzübergang Weil am Rhein und nicht via St. Louis gewählt, was nicht plausibel ist.
- Autobahnanschluss Genf: Nicht gesperrte Abbiegerbeziehung von Strecke Nr. 1991 und 463 nach Strecke Nr. 100001126. Die Abbiegefehler sind nur kleinräumig innerhalb des Autobahnanschlusses relevant, sollte aber trotzdem korrigiert bzw. gesperrt werden.

Da zwischen dem DWV- und Spitzenstundenmodell eine Konsistenz notwendig ist, wurde in Absprache mit dem ARE entschieden, diese Netzfehler im Spitzenstundenmodell nicht zu korrigieren, da diese Korrektur gleichzeitig auch in den anderen Modellen, wie z. B. dem DWV-2010 und dem DWV-2040, gemacht werden müsste. Falls diese Netzfehler aber bei der Modellanwendung relevant sind, sollten sie im Rahmen des Projekts auch korrigiert werden. Bei der MIV-Umlegung werden sowohl PW- als auch Strassengüterfahrten mit einem Gleichgewichtsverfahren umgelegt.

Nach Abschluss der Netzvalidierung und Plausibilisierung der Netzbelastungen wird aus den ermittelten Streckenbelastungen ersichtlich, auf welchen Querschnitten die Matrix noch genauer geeicht werden muss.

Da die Matrixstruktur für die Prognosefähigkeit des Modells die entscheidende Grundlage ist, wird für die Eichung der Quell-Ziel-Matrizen im Personenverkehr ein manuelles Verfahren eingesetzt. Bei diesem Vorgehen wird zur Korrektur der vorhandenen Differenzen zwischen den Umlegungsbelastungen und den Zählwerten eine Spinnenanalyse der einzelnen Querschnitte

durchgeführt. Aus der Analyse der Verkehrsstromverteilung und dem Vergleich der Abweichungen auf anderen Zählstellen über die die Spinnenströme verlaufen, ist es möglich zu bestimmen, welche Ströme unter- bzw. überschätzt sind. Bei einer korrekten Matrixstruktur sollten, durch die Korrektur aller über den Querschnitt fahrenden Ströme, die Abweichungen auf anderen Querschnitten nicht erhöht werden. Wäre dies der Fall, dürften nur Teilströme (für diese wird eine neue Spinnenanalyse erstellt) korrigiert werden. Das folgende Vorgehen wird bei der Kalibration angewendet:

Für die Querschnitte mit Abweichungen wird eine Spinnenmatrix erstellt und entsprechend der Differenz zwischen der Umlegungsbelastung und dem Zählwert korrigiert. Welche Ströme korrigiert werden sollen und mit welchem Korrekturfaktor dies geschehen soll, wird aus den Abweichungen am betrachteten Querschnitt und aus der Stromverteilung der betroffenen Zählstellen ermittelt.

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.

Die Plausibilisierung des Kalibrationsprozesses erfordert neben modelltechnischem Know-How auch die örtliche Kenntnis der verkehrlichen Gegebenheiten. Hier wurde auf die Erfahrungen aus bisherigen Projekten sowie kantonalen Verkehrsmodellen zurückgegriffen.

Bei den Matrizen des Strassengüterverkehrs sind die Abweichungen gegenüber den Zähldaten deutlich höher als bei der PW-Matrix. Hier sind die Abweichungen nur bei den ASTRA-Zählstellen ähnlich wie bei der PW-Matrix, gegenüber den kantonalen Zähldaten bzw. den Belastungen aus den kantonalen Verkehrsmodellen aber ungewöhnlich gross. Der Grund liegt daran, dass die Strassengüterverkehrsmatrizen im DWV-Modell nicht so gut auf die Zähldaten bzw. Belastungen der kantonalen Verkehrsmodelle kalibriert sind und dort grosse Abweichungen gegenüber DWV-Zählwerte aufweisen. Dadurch werden die Abweichungen aus dem DWV-Modell in die MSP- und ASP-Modelle übertragen.

Wegen den grösseren und inhomogenen Abweichungen gegenüber den Zähldaten, wird es durch die Matrixkalibration nicht möglich, die Ausgangsstruktur der Strassengüterverkehrsmatrizen beizubehalten, da hier starke Anpassungen notwendig sind. Aus diesem Grund wurde entschieden, die Matrizen des Strassengüterverkehrs mit einem automatischen Kalibrationsverfahren (VStromFuzzy) zu kalibrieren.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Kalibration sowie die dadurch ermittelten Veränderungen der Matrix und der Querschnittbelastungen dargestellt.

Die Eckwerte der Ausgangsmatrizen (vor Kalibration) sowie der kalibrierten Matrizen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Vergleich der Eckwerte der Quell-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibrierung

Verkehrsmittel	Vor Kalibrierung	Nach Kalibrierung	Veränderung [%]
MIV (PW-Fahrten) - ASP	1'041'613	1'049'467	+0.8
MIV (PW-Fahrten) - MSP	797'901	809'799	+1.5
ÖV (Personenwege) - ASP	322'360	329'111	+2.1
ÖV (Personenwege) - MSP	291'029	309'030	+6.2

Wie zu sehen ist, wurde die MIV-Matrix nur um ca. 1% und die ÖV-Matrix um ca. 2% bzw. 6% gegenüber der erstellten Ausgangsmatrix erhöht. Diese Veränderungen sind vor allem auf die Feinkorrektur der Streckenbelastungen auf lokalen Strecken zurückzuführen.

Abbildung 29 zeigt, dass sich die Matrixstruktur im MIV und ÖV durch die Kalibrierung nicht wesentlich verändert hat, die Weglängenverteilungen beider Zustände (Vor- und Nach Kalibrierung) sind praktisch identisch.

Abbildung 29: Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand: ASP

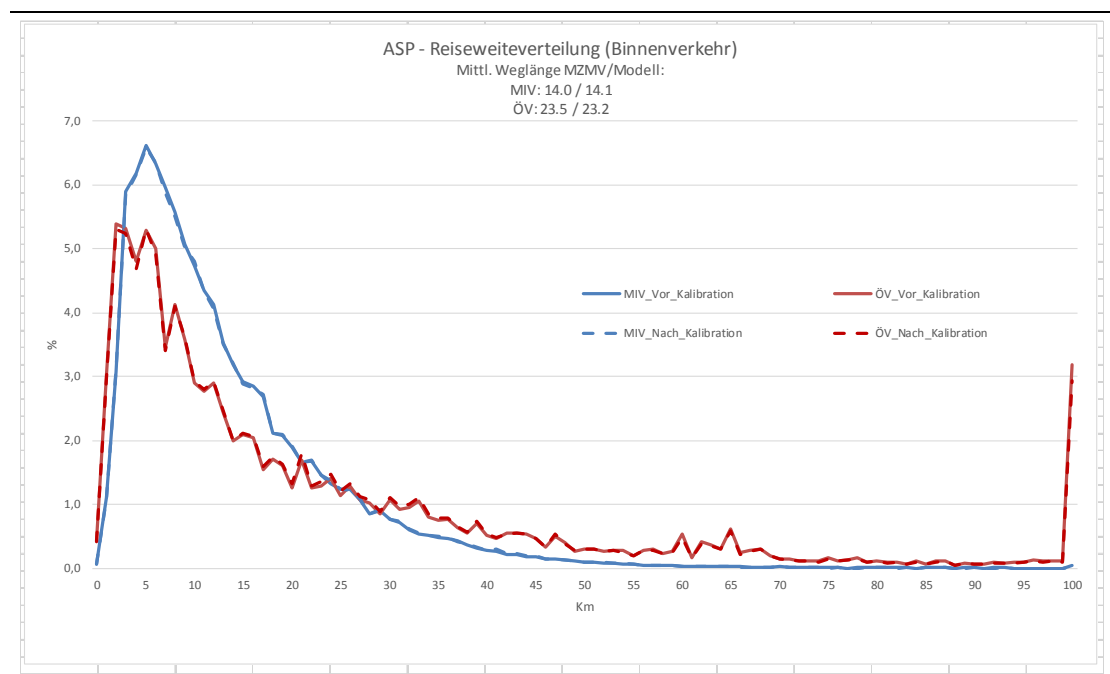
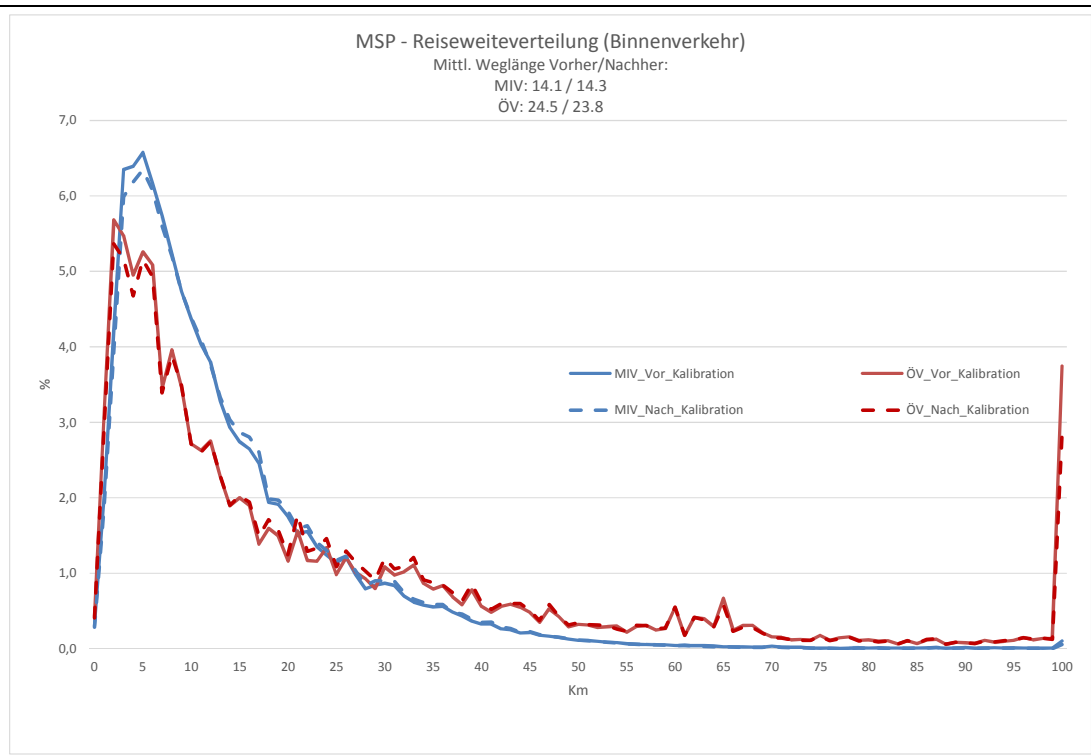


Abbildung 30: Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand: MSP



Neben dem Vergleich der Reiseweiteverteilung wurden auch die Delta-Matrizen (Differenzmatrix nach Kalibration – vor Kalibration) analysiert und ausgewertet. Hier wurden folgende Indikatoren analysiert:

- Anzahl veränderter Quell-Ziel-Beziehungen bzw. Anteil;
- Absoluter Mittelwert der veränderten Fahrtenzahl (Mittelwert);
- Minimale und Maximale Veränderung.

Die Darstellung der Anteile der veränderten Quell-Ziel-Beziehungen der gesamten Anzahl Quell-Ziel-Beziehungen sowie der Quell-Ziel-Beziehungen mit Fahrtvolumen >0 ist in Abbildungen 33 bis 36 dargestellt. Weiter wurden auch die minimalen und maximalen Veränderungswerte sowie der Mittelwert der Veränderungen ausgewertet.

Daraus ist zu sehen, dass durch die Matrixkalibration ein relativ kleiner Anteil der Quell-Ziel-Beziehungen verändert wurde. Im MIV sind es 13% bzw. 14.5% und im ÖV 6% bzw. 8% der Beziehungen mit Anzahl Fahrten höher als Null die verändert wurden. Da im MIV die Zählstellendichte grösser ist, ist auch der Anteil veränderter Quell-Ziel-Beziehungen entsprechend höher.

Der Mittelwert der Veränderungen pro veränderter Quell-Ziel-Beziehung beträgt max. 1.1 Fahrt. Das ist eine weitere Bestätigung dafür, dass die Matrixstruktur nach der Kalibration unverändert geblieben ist.

Zusätzlich wurden auch die minimalen und maximalen Veränderungen analysiert. Alle höheren Veränderungen wurden vor allem innerhalb oder in der Nähe von Grossstädten festgestellt. Da

im Grossraum von Städten wie Basel, Zürich oder Bern, die Belastungen durch städtischen Verkehr stärker zunehmen, muss auch das absolute Volumen der korrigierten Fahrten höher sein. Andererseits ist die Netz-, Zonen- sowie Zählstellendichte in solchen Räumen auch nicht ausreichend dicht, so dass hier auch zusätzliche Informationen für die räumliche Aufteilung der korrigierten Verkehrsvolumen bei der Modellkalibration fehlen. Da innerhalb von Grossstädten Zählraten aufgrund der fehlenden Netzdichte nicht verwendet werden können, ist es hier nicht möglich die Quelle oder das Ziel der fehlenden Fahrten genauer zu bestimmen, so dass diese über eine Spinnenanalyse der betrachteten Querschnitte gleichmässig verändert werden. Die Analysen für alle vier Personenverkehrsmatrizen sind in folgenden Abbildungen dargestellt.

Abbildung 31: Analyse der Delta-Matrix (Nach Kalibration - Vor Kalibration): MIV (ASP)

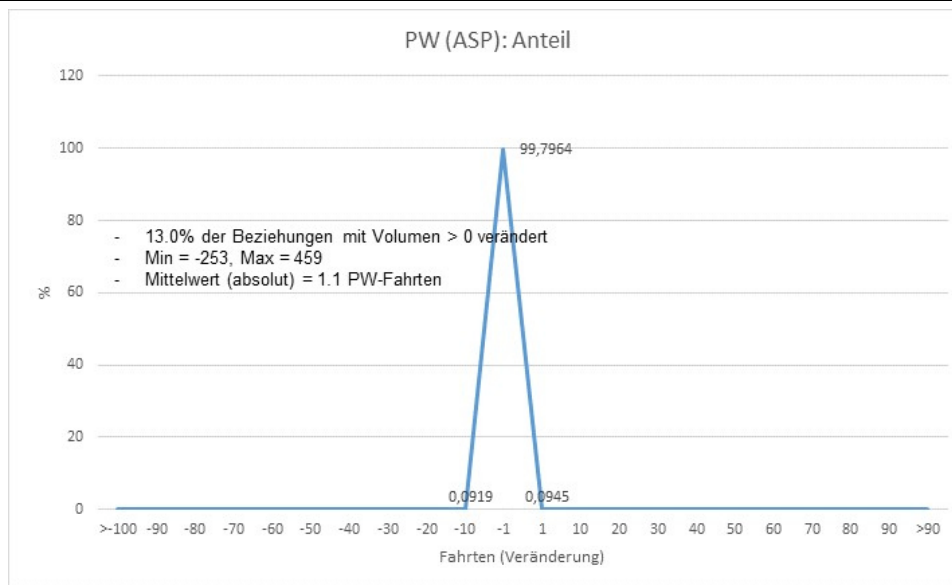


Abbildung 32: Analyse der Delta-Matrix (Nach Kalibration - Vor Kalibration): MIV (MSP)

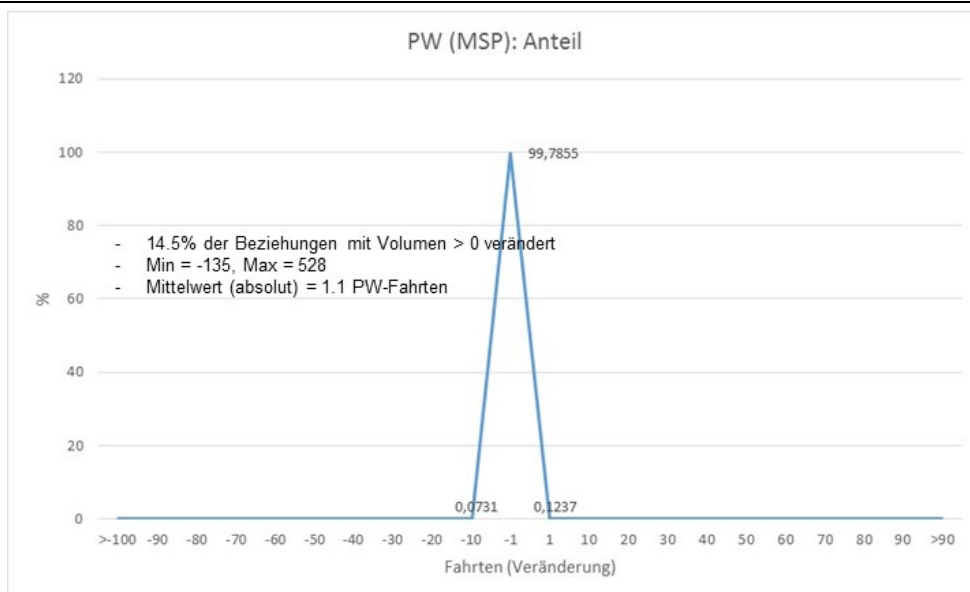


Abbildung 33: Analyse der Delta-Matrix (Nach Kalibration - Vor Kalibration): ÖV (ASP)

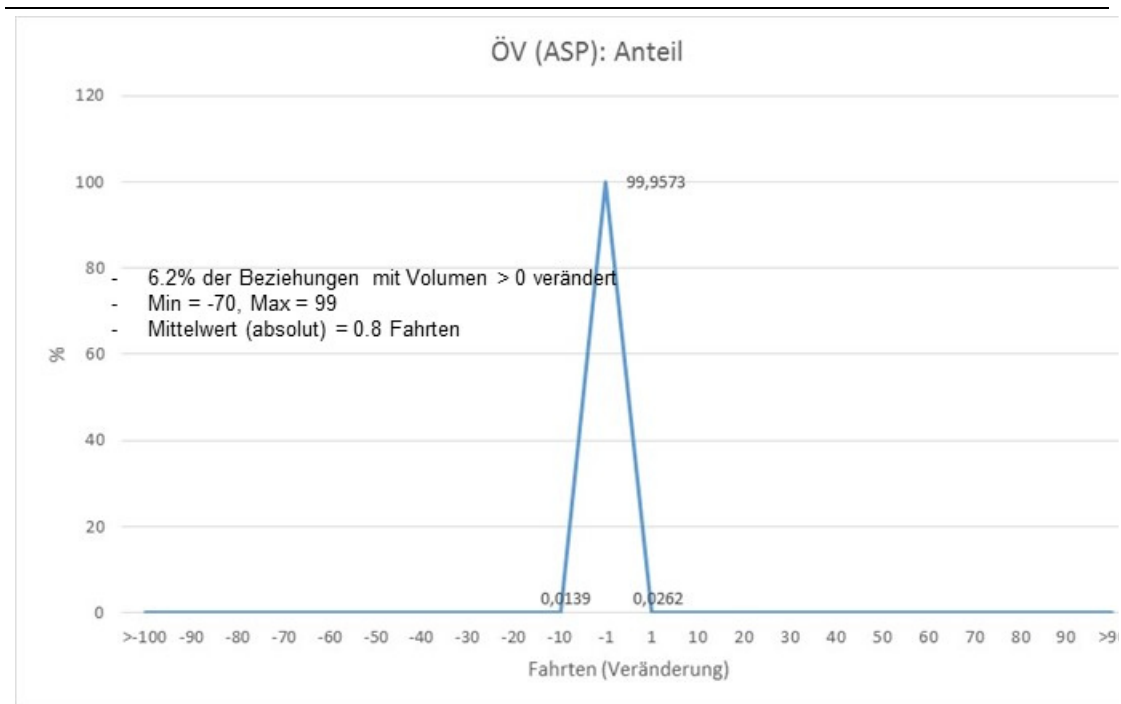


Abbildung 34: Analyse der Delta-Matrix (Nach Kalibration - Vor Kalibration): ÖV (MSP)

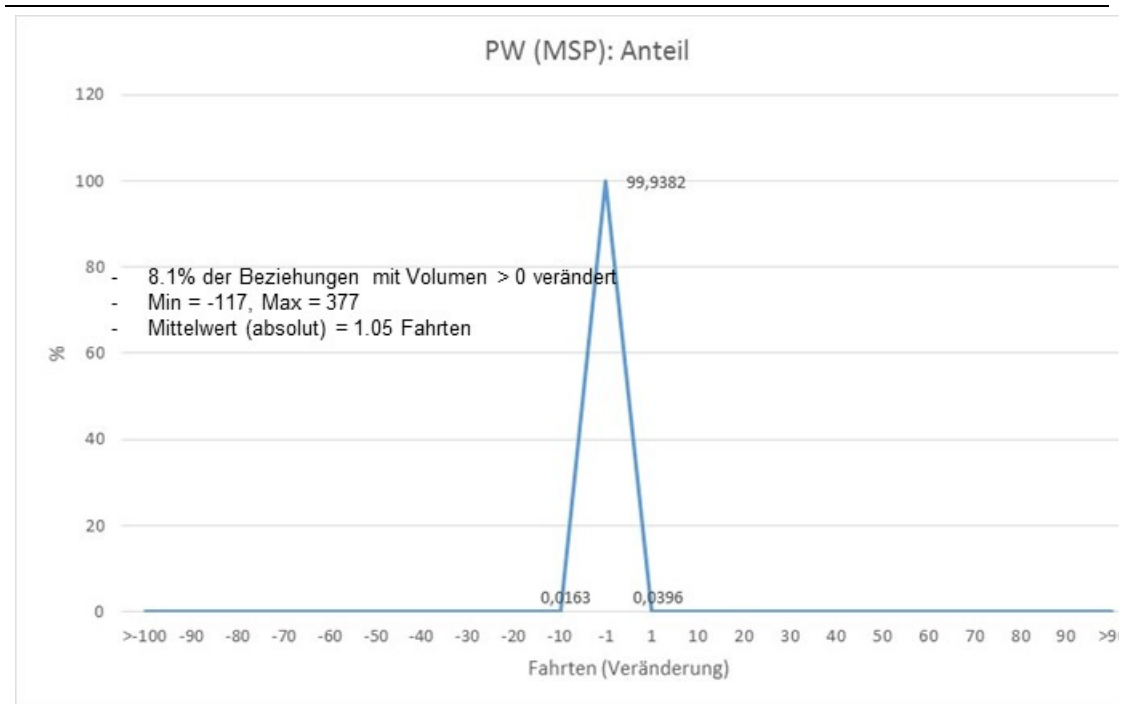


Tabelle 3: zeigt die wichtigsten Kennzahlen der Kalibrierung für jedes Nachfragesegment:

- die Anzahl Zählwerte, welche 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 Gütemasse (R^2) der Regressionsrechnungen;
- und Anteil Objekte mit akzeptablem GEH-Wert (unter 5%).

Tabelle 3 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen: ASP und MSP

Nachfragesegment	Anzahl Zählwerte	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	Regressions-koeffizient	Anteil Akz GEH (5)
Abendspitzenstunde (ASP)					
PW	1'341	800	4.8%	0.99	0.96
Lieferwagen	1'031	77	4.4%	1.00	1.00
Lastwagen	945	15	4.0%	1.00	1.00
Last- und Sattelzüge	877	24	5.4%	1.00	1.00
MIV total – alle Zählstellen	1'822	770	4.8%	0.99	0.96
ÖV	393	912	2.7%	1.00	0.99
Morgenspitzenstunde (MSP)					
PW	1'341	655	4.2%	1.00	0.98
Lieferwagen	1'159	84	3.2%	1.00	1.00
Lastwagen	1'087	29	3.1%	1.00	1.00
Last- und Sattelzüge	1'006	29	5.0%	1.00	1.00
MIV total – alle Zählstellen	1'852	662	4.2%	0.99	0.98
ÖV	390	940	3.0%	1.00	0.99

Die Abbildungen 35 bis 46 zeigen auch für jeden Netzzustand und jedes Nachfragesegment die Detailauswertungen der Kalibrierungen. 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 Kalibrierung insgesamt zu sehr guten Ergebnissen geführt hat; die mittleren relativen Differenzen für das ASP-Modell liegen im MIV und im ÖV durchgehend unter 5%. Insbesondere für hoch belastete Strecken stimmen die modellierten Belastungen und die Querschnittszählungen sehr gut überein. Dabei ist zu beachten, dass die Streckenbelastungen in den Spitzenstunden deutlich tiefere absolute Belastungen haben als Tagesmodelle, so dass z.B. die relative Differenz von 5% im ASP-Modell ca. 37 Fahrzeuge entspricht. Mit dieser erreichten Modellgenauigkeit ist die Anwendbarkeit beider Spitzenstunden Modelle sowohl im

MIV als auch im ÖV sichergestellt. Die mittleren relativen Differenzen von 3% im ÖV und 4.5% im Strassenverkehr sind erfahrungsgemäss für Modellanwendungen mehr als ausreichend. Die höhere Genauigkeit des ÖV-Modells im Vergleich zu dem MIV-Modell, ist vor allem auf eine bessere Konsistenz und Homogenität der Zähl- und Zählstellen 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 bei den Erhebungsdaten (sowohl bei den Zähl- und Zählstellen als auch bei den Angebots- und anderen Nachfragedaten) sowie die Inkonsistenz zwischen Zonengrösse und Netzdichte führen in der Regel dazu, dass eine vollständige Konsistenz kaum zu erreichen ist. Zusätzlich müssen hier auch die Grenzen der aggregierten Modelle sowie die Vielseitigkeit des Verkehrsverhaltens berücksichtigt werden.

Abendspitzenstundenmodell

Abbildung 35 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibrierung)

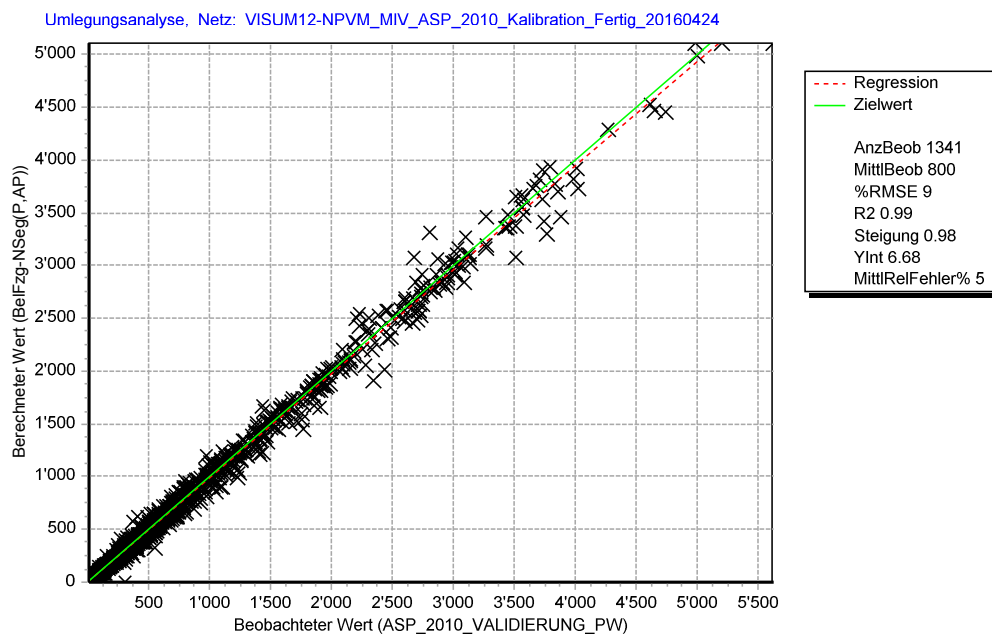


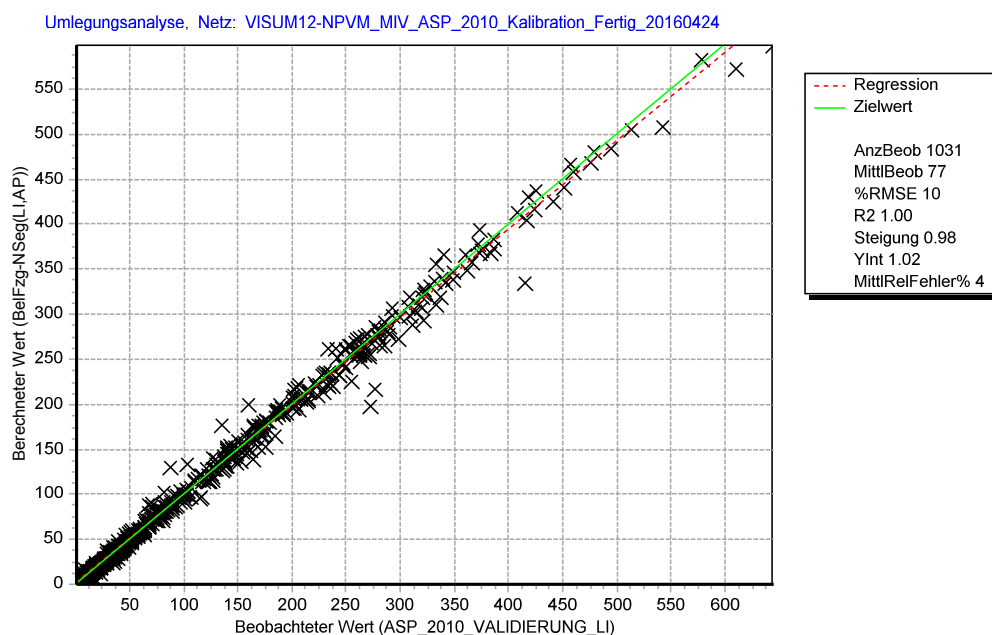
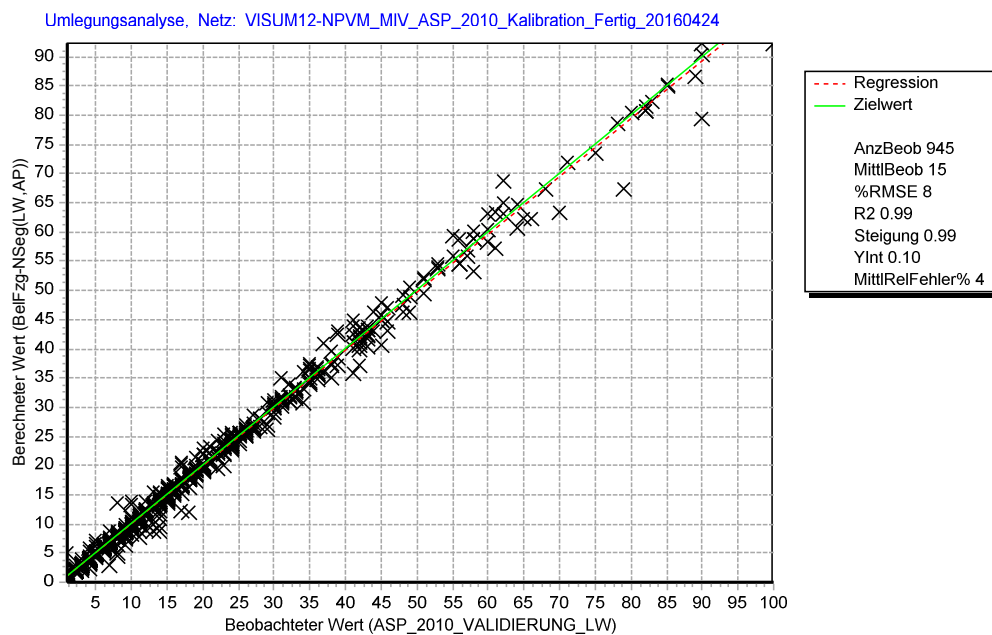
Abbildung 36 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen
(nach Kalibrierung)Abbildung 37 Vergleich der Streckenbelastungen ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen
(nach Kalibrierung)

Abbildung 38 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibrierung)

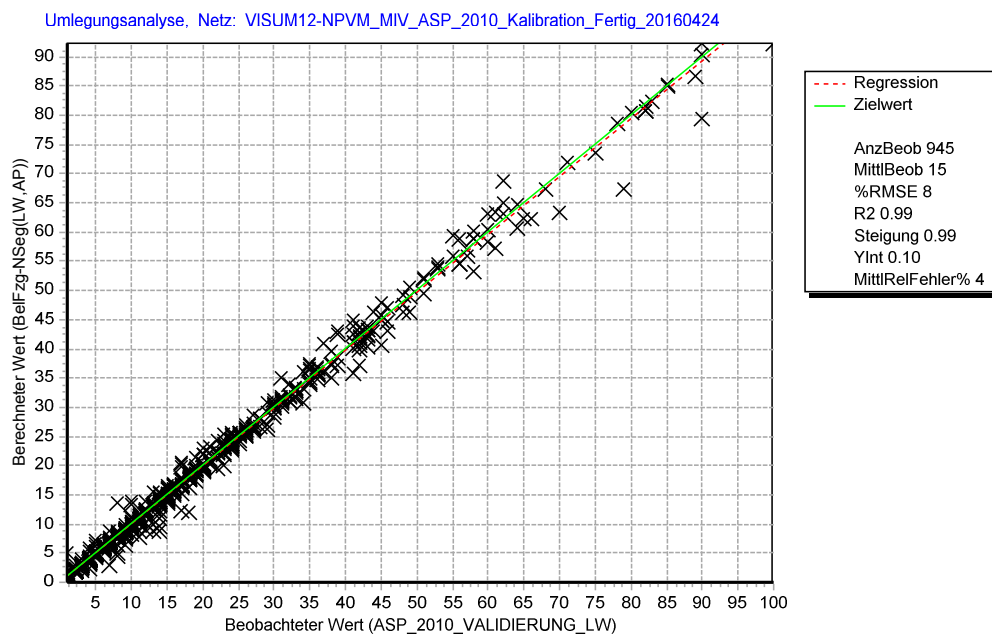


Abbildung 39 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Alle MIV-Fahrzeuge (nach Kalibrierung)

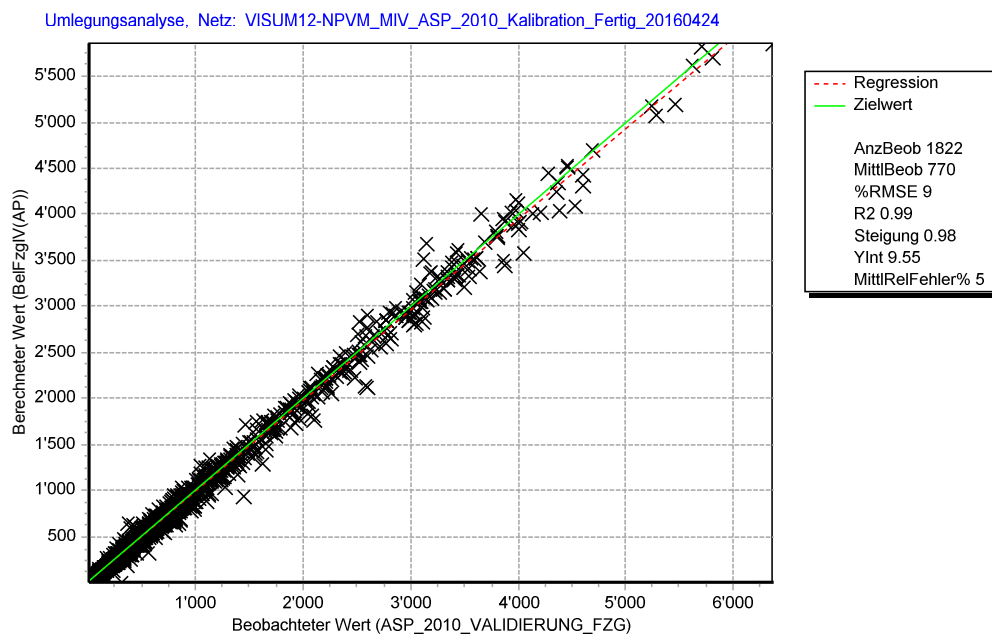
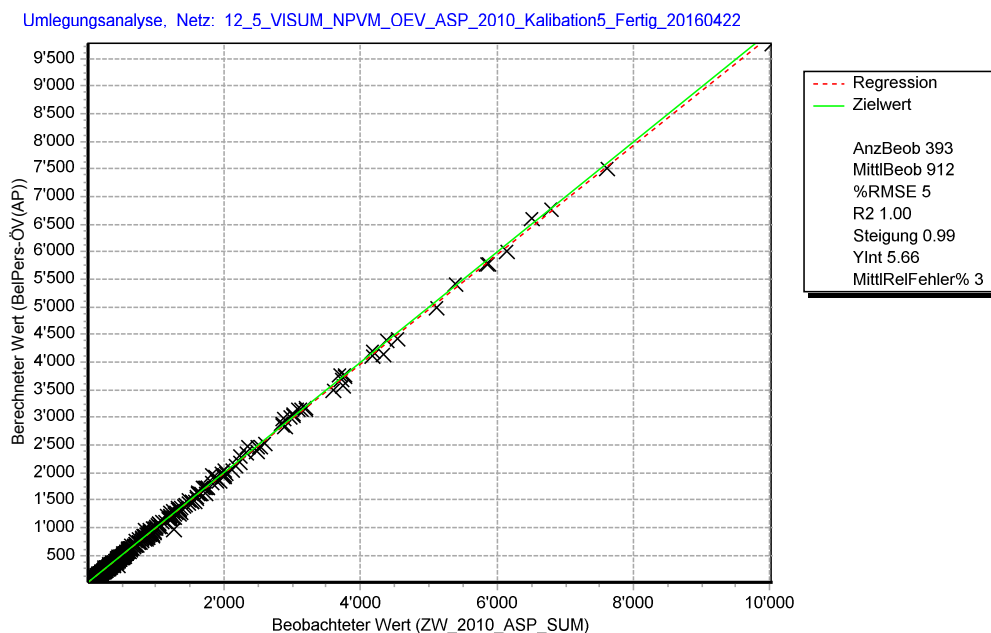


Abbildung 40 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibrierung)



Morgenspitzenstundenmodell

Abbildung 41 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibrierung)

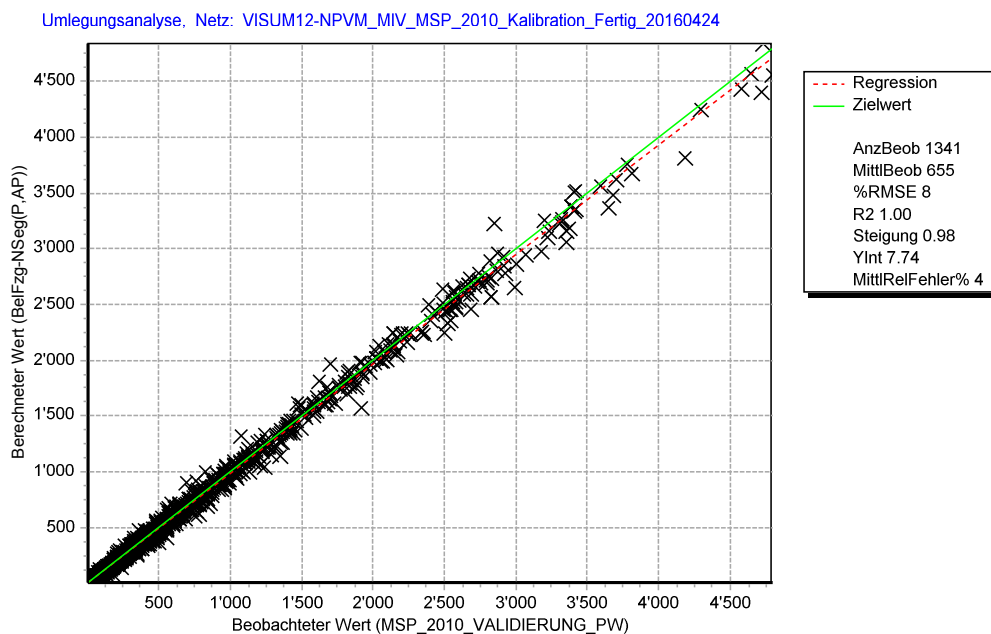


Abbildung 42 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen
(nach Kalibrierung)

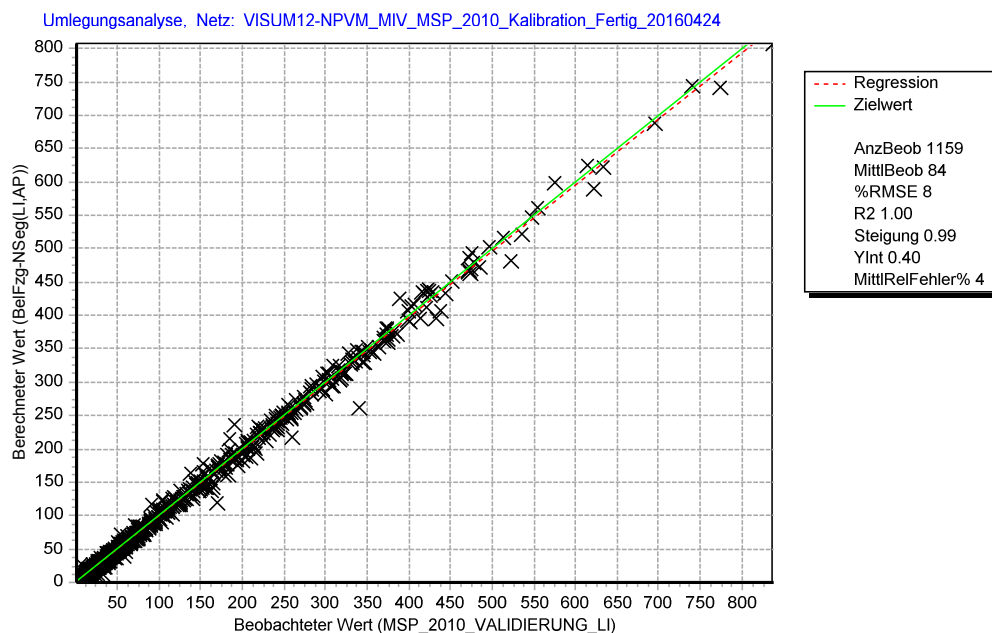


Abbildung 43 Vergleich der Streckenbelastungen MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen
(nach Kalibrierung)

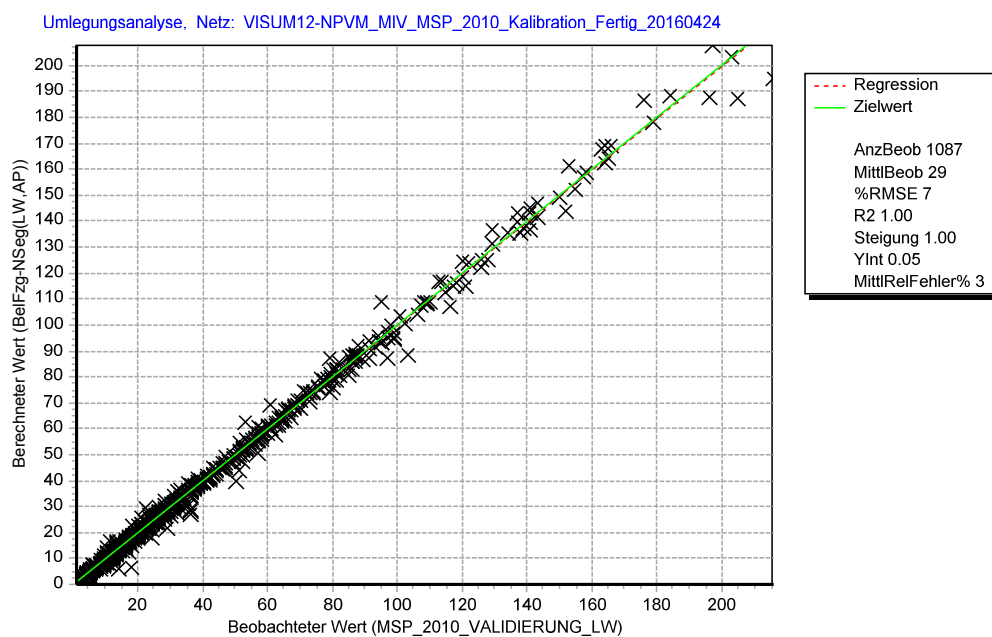


Abbildung 44 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibrierung)

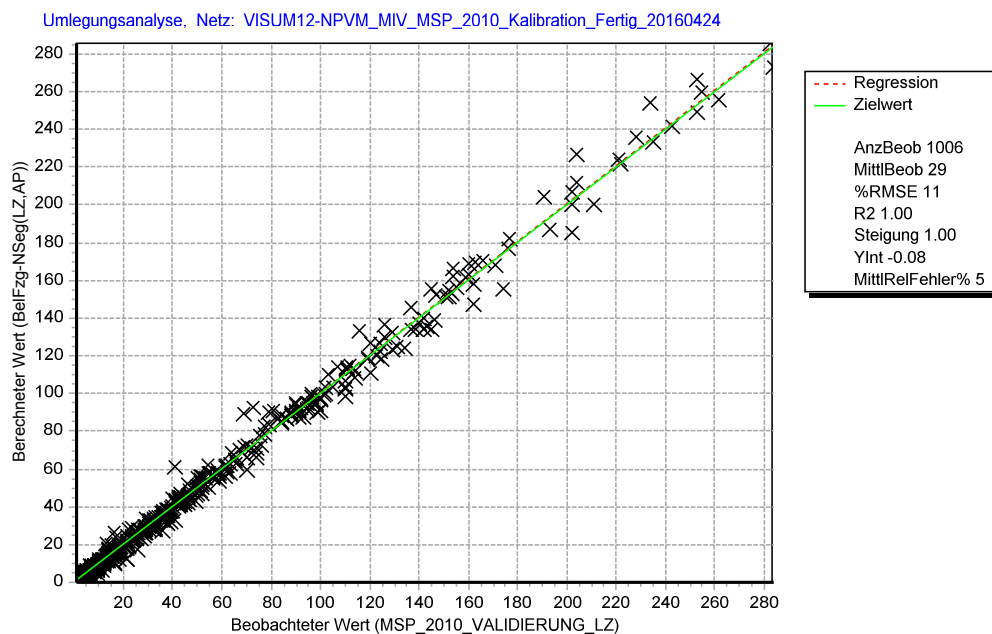


Abbildung 45 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Alle MIV-Fahrzeuge (nach Kalibrierung)

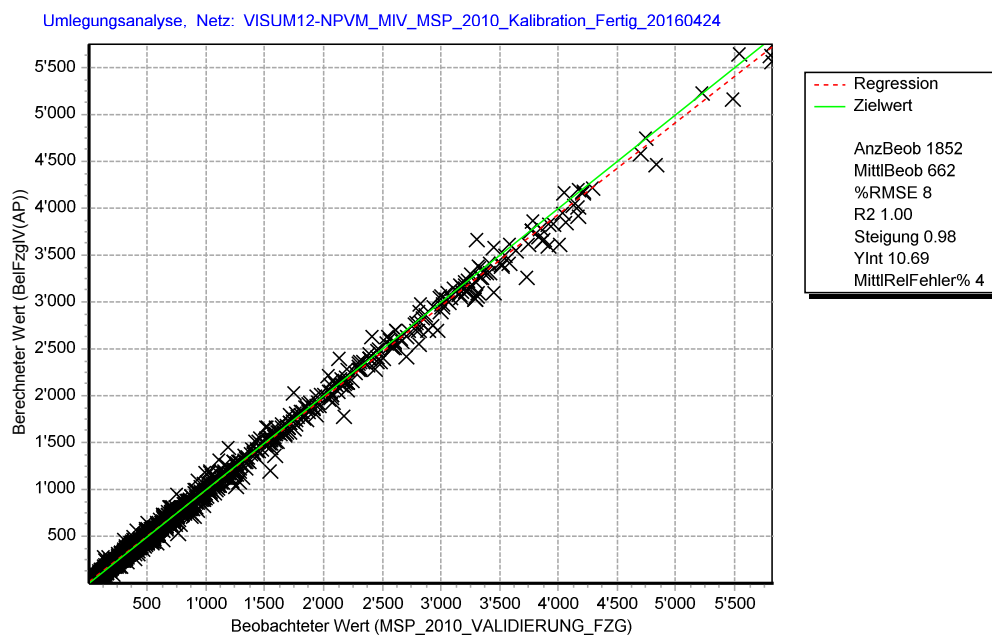
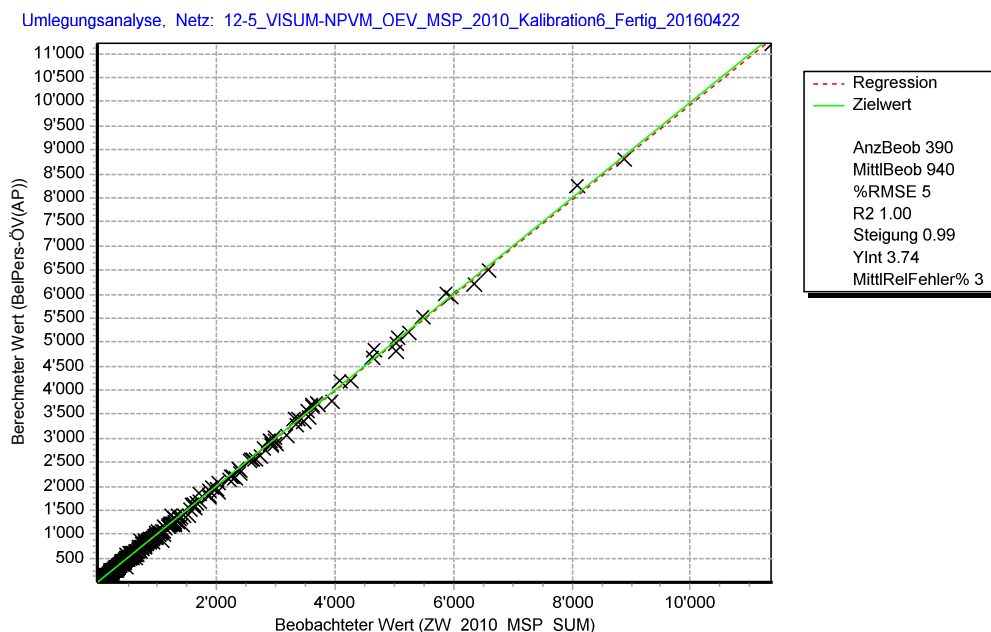


Abbildung 46 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibrierung)



Der Anteil der Spitzenstundennachfrage (Verkehrsaufkommen) an der Tagesnachfrage (DWV) ist in folgender Tabelle dargestellt. Hier ist festzustellen, dass sowohl bei der PW- als auch bei der ÖV-Nachfrage der Abendspitzenstundenanteil höher ist als bei der Morgenspitzenstunde, was vor allem auf höhere Anteile des Einkaufs- und Freizeitverkehrs in der Abendspitze zurückzuführen ist. Andererseits ist der Anteil beim schweren Strassengüterverkehr in der Morgenspitzenstunde höher als in der Abendspitzenstunde.

Tabelle 4 Anteil der Spitzenstundenmatrix an Tagesmatrix (DWV, 2010) in %

%	MSP	ASP
PW	7.2	9.3
Lieferwagen	8.0	7.9
Lastwagen	7.7	4.5
Last- und Sattelzug	7.6	5.3
ÖV (Personenwege)	10.4	11.1

3.2.4 Spitzenstundenmodelle mit Fahrtzweckmatrizen

Die Grundlagen für die Erstellung von fahrtzweckspezifischen Spitzenstundenmatrizen stellen die kalibrierten Spitzenstundenmatrizen und die berechneten Fahrtzweckanteile einzelner Spitzenstunden dar. Die Berechnung der Fahrtzweckanteile im Binnenverkehr erfolgt auf Grundlage des MZMV 2010 und daraus erzeugten und nach QZG differenzierten Stundenmatrizen (siehe Kapitel 3.1.1). Hier werden die QZG auf Fahrtzwecken aggregiert und anschliessend die Anteile einzelner Fahrtzwecke an der Gesamtmatrix berechnet. Damit wird für jede Quell-Ziel-Beziehung ein differenzierter Fahrtzweckanteil ermittelt. Hier muss aber beachtet werden, dass die Stichprobengrösse pro Quell-Ziel-Beziehung und Fahrtzweck für einzelne Stunden extrem klein und damit auch die Repräsentativität beschränkt ist. Anschliessend werden die auf Querschnitzählungen kalibrierten Stundenmatrizen mit Anteilsmatrizen einzelner Fahrtzwecke multipliziert und damit die Fahrtzweckmatrizen generiert.

Im Aussenverkehr stehen keine empirischen Grundlagen für die Berechnung der Fahrtzweckanteile der Spitzenstunden zur Verfügung. Hier wurden anhand der im DWV-Modell berechneten Fahrtzweckanteile (Grundlagen: Alpen- und Grenzquerende Erhebungen) die vereinfachten Annahmen für die Fahrtzweckanteile einzelner Spitzenstunden getroffen (siehe Tabelle 5). Damit werden die Fahrtzweckanteile im Aussenverkehr nach Quell-Ziel-Beziehung nicht differenziert, sondern für alle Quell-Ziel-Beziehungen einheitliche Anteile angenommen.

Tabelle 5 Die angenommenen Fahrtzweckanteile im Aussenverkehr

Anteil [%]	DWV (PW / ÖV)	MSP (PW / ÖV)	ASP (PW / ÖV)
Arbeit	22.8 / 18.4	45.0 / 30.0	35.0 / 25.0
Ausbildung	1.3 / 3.6	2.0 / 5.0	2.0 / 5.0
Nutzfahrt	12.7 / 15.8	15.0 / 25.0	15.0 / 20.0
Einkauf	21.1 / 3.9	8.0 / 2.0	15.0 / 5.0
Freizeit	42.1 / 58.2	30.0 / 38.0	33.0 / 45.0

Die zusammengestellten Binnen- und Aussen-Quell-Ziel-Matrizen werden anschliessend in einzelne Spitzenstundenmodelle importiert, entsprechende Nachfragesegmente und Verfahrensparameter eingestellt und umgelegt.

Die aus den Eckwerten der Quelle-Ziel-Matrizen berechneten Fahrtzweckanteile sind in Tabelle 76 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass in der Morgenspitzenstunde die Pendlerfahrten (Arbeit + Ausbildung) einen dominierenden Anteil haben. Vor allem im ÖV sind die Pendlerströme sowohl in den Morgenspitzenstunden mit ca. 78% als auch in der Abendspitzenstunde mit 60% ein entscheidendes Nachfragesegment. Der Anteil des Freizeit- und Einkaufsverkehrs hat in der Abendspitzenstunde eine wichtigere Bedeutung.

Tabelle 6 Fahrtzweckanteile der Morgen- und Abendspitzenstunde 2010

Anteile in %	Morgenspitzenstunde		Abendspitzenstunde	
	MIV	ÖV	MIV	ÖV
Arbeit	61,7	49,5	37,1	48,7
Ausbildung	3,7	28,5	1,7	11,1
Nutzfahrt	5,4	1,8	10,4	4,4
Einkauf	17,3	7,0	24,7	7,4
Freizeit	11,9	13,2	26,2	28,3
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0

3.3 Stundenfeine Quelle-Ziel-Matrizen und dynamische Umlegungsmodelle 2040

Die stundenfeinen Matrizen und die dynamischen Umlegungsmodelle des Referenzzustandes 2040 werden auf Basis den Ergebnissen und der Methodik des Basiszustands 2010 sowie der DWV-Modelle 2040 (Referenzzustand) erstellt.

Aus den Nachfragematrizen des DWV-Modells 2040 und den berechneten Stundenanteile am Tagesverkehr, werden die stundenfeinen Matrizen 2040 im MIV und ÖV berechnet. Die Stundenanteile 2040 werden aus den endgültigen stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen 2010 und DWV-Matrizen 2010 berechnet. Damit werden die Stundenanteile 2040 gegenüber den Stundenanteilen 2010 unverändert übernommen. Auf eine Neuberechnung der Stundenanteile aus dem MZMV 2010 und der VISEVA-Matrizen 2040 wurde verzichtet, da sich die Anteile einzelner Quelle-Ziel-Gruppen am Gesamtverkehr 2040 gegenüber 2010 sehr wenig verändert haben und damit auch die Fahrtzweckstruktur stabil geblieben ist. Dafür wurde auch ein Vergleich der Anteile der QZG 2010 und 2040 am Gesamtverkehr durchgeführt.

Da eine Prognose der Veränderung der Tagesganglinien einzelner Fahrtzwecke bzw. QZG in verkehrswissenschaftlichen Untersuchungen nicht verfügbar ist, werden die Tagesganglinien 2040 aus den 2010-Modellzuständen bzw. dem MZMV 2010 übernommen. Durch unveränderte Tagesganglinien werden sich die Gesamtanteile der einzelnen Stunden 2040 gegenüber den Anteilen von 2010 nur durch die unterschiedlichen Wachstumsraten der einzelnen Fahrtzwecke verändern.

Das Vorgehen für die Erstellung der Stundenfeinenmatrizen 2040 ist wie folgt: Aus den DWV-Matrizen 2040 und 2010 wird eine Delta-DWV-Matrix erstellt. Aus der Delta-DWV-Matrix und den Stundenanteilen werden anschliessend 24-Delta-Stundenmatrizen berechnet. Aus den Stundenfeinenmatrizen 2010 und den 24-Delta-Stundenmatrizen werden anschliessend die endgültigen Stundenfeinenmatrizen 2040 zusammengestellt. Die Eckwerte der einzelnen Stunden sowie Veränderungen gegenüber 2010 und Anteile am Tagesverkehr (Eckwerte) sind in Abbildung 47 dargestellt.

Im Vergleich gegenüber 2010 haben sich die Stundenanteile in 2040 nur marginal verändert. Das Nachfragewachstum der einzelnen Zeitscheiben gegenüber 2010 entspricht überwiegend

den Veränderungen des DWV-Modells. Bei den Zeitscheiben mit sehr geringem Verkehrsaufkommen (zwischen 01 Uhr und 04 Uhr) sind die Veränderungen wegen Rundungseffekten tiefer als bei anderen Zeitscheiben. Weiterhin liegen die Wachstumsraten in der Abendspitzenstunde sowohl im MIV als auch im ÖV leicht über den Durchschnittswerten, was sehr wahrscheinlich auf eine stärkere Zunahme des Freizeitverkehrs zurückzuführen ist. Im ÖV ist das relative Wachstum in den Abendstunden stärker als während des Tages.

Die Netzmodelle für die dynamischen Umlegungsmodelle wurden aus dem DWV-Modell 2040 (Referenzzustand) übernommen. Die Netzattribute wurden entsprechend überarbeitet und die Modellparameter für die dynamischen Umlegungsverfahren aus dem Basiszustand übernommen. Im Strassenverkehr werden vor allem die Tageskapazitäten aus dem DWV-Modell auf die Stundenkapazitäten umgerechnet. Im ÖV wird der Tagesfahrplan aus dem DWV-Modell 2040 unverändert übernommen und für die Festlegung der Analysezeiten (24 Zeitscheiben) verwendet. Im Strassennetz wurden die Netzfehler beim Bypass Bern (Anschluss Muri) korrigiert. Weitere Korrekturen, wie z.B. die N5 Umfahrung Vingelz oder die Entlastungsstrasse Olten wurden aber aus Konsistenzgründen gegenüber den DWV-Modellzuständen 2040 nicht vorgenommen.

Die Güterverkehrsbelastungen auf der Strasse wurden aus dem DWV-Modell 2040 in drei Fahrzeugklassen entnommen, in PW-Einheiten (wie in den bisherigen NPVM-Modellzuständen: Last- und Sattelzug als 2.5 PW-Einheiten, Lastwagen als 2 PW-Einheiten und Lieferwagen als eine PW-Einheit) umgerechnet und als benutzerdefiniertes Attribut (Strecken) ZWert 3 in das dynamische Umlegungsmodell importiert. Bei der Umlegung der stundenfeinen PW-Matrizen werden diese als Vorbelastungen berücksichtigt.

Die Umlegungsverfahren sowie Parametereinstellungen für die dynamische Umlegung wurden aus den Basismodellen 2010 übernommen.

Abbildung 47 Randsummen der stundenfeinen Matrizen 2040, Veränderung 2010/2040 und Stundenanteile am Tagesverkehr

Zeitscheibe	PW-Fahrten	2010-2040 (In %)	Stundenanteil	ÖV-Wege	2010-2040 (In %)	Stundenanteil
0	106'162	22,0	0,8%	10'583	29,3	0,3%
1	32'818	3,8	0,2%	1'905	1,3	0,0%
2	27'828	11,1	0,2%	426	3,1	0,0%
3	18'933	1,7	0,1%	1'031	0,0	0,0%
4	53'661	12,3	0,4%	2'450	9,8	0,1%
5	211'323	20,0	1,6%	80'649	44,3	1,9%
6	869'619	18,6	6,4%	322'425	43,4	7,7%
7	1'111'029	19,2	8,2%	421'643	40,7	10,0%
8	694'301	20,3	5,1%	228'645	41,7	5,4%
9	578'057	19,9	4,3%	145'174	42,7	3,5%
10	588'337	20,5	4,3%	134'228	41,6	3,2%
11	639'219	22,5	4,7%	222'878	39,9	5,3%
12	986'425	19,7	7,3%	212'428	39,7	5,1%
13	954'897	20,6	7,0%	249'082	41,3	5,9%
14	771'330	20,4	5,7%	197'152	41,8	4,7%
15	684'337	21,6	5,0%	286'869	41,2	6,8%
16	1'250'359	19,9	9,2%	469'453	40,2	11,2%
17	1'494'866	21,4	11,0%	457'520	42,5	10,9%
18	783'603	23,4	5,8%	311'215	43,0	7,4%
19	489'898	23,3	3,6%	168'776	43,5	4,0%
20	340'563	21,5	2,5%	104'957	43,5	2,5%
21	265'445	21,8	2,0%	66'498	44,8	1,6%
22	367'822	21,3	2,7%	65'876	45,0	1,6%
23	231'015	21,2	1,7%	35'357	46,8	0,8%
Summe	13'551'847	20,6	100,0%	4'197'220	41,7	100,0%

3.4 Spitzenstundenmodelle 2040 (Morgen- und Abendspitzenstunde)

Die Grundlagen für die Erstellung der Spitzenstundenmodelle 2040 (MSP und ASP) sind die Spitzenstundenmodelle 2010 und die DWV-Modelle des Referenzzustandes 2040. Die Netzmodelle wurden aus dem DWV-Zustand 2040 übernommen und entsprechend überarbeitet. Auch hier wurden im Strassenverkehr die DWV-Strassenkapazitäten auf die Stundenkapazität (gleich wie im Basiszustand) angepasst, Umlegungszeiten und Standardganglinien entsprechend überarbeitet. Weiter wurde auch hier wie bei den stundenfeinen Modellen der Netzfehler beim Bypass Bern (Anschluss Muri) korrigiert, Weitere Korrekturen wurden aus Konsistenzgründen mit dem DWV-Modell 2040 nicht vorgenommen.

Die Berechnung der Quelle-Ziel-Matrizen pro Nachfragesegment erfolgt anhand der DWV-Matrizen 2040 und den Anteilen der einzelnen Spitzenstunden am Tagesverkehr. Da für den Zustand 2040 keine Angaben zu Spitzenstundenanteilen bzw. Tagesganglinien vorhanden sind, werden hier die berechneten Spitzenstundenanteile aus den 2010-Modellzuständen übernommen. Damit wird angenommen, dass die Tagesganglinien 2040 gegenüber 2010 unverändert bleiben.

Die Berechnung der Spitzenstundenmatrizen erfolgt anhand der Spitzenstundenmatrizen 2010 und den Nachfrageveränderungen zwischen 2010 und 2040. Aus den DWV-Matrizen 2040 und 2010 wird eine DWV-Differenzmatrix abgeleitet und mit den Spitzenstundenanteilen 2010 multipliziert. Daraus werden die Differenzmatrizen 2010-2040 für die einzelne Spitzenstundenmatrizen erstellt. Aus den 2010-Spitzenstundenmatrizen und den Nachfrageveränderungen einzelner Spitzenstunden 2010-2040 (Differenzmatrizen 2010-2040) werden die Spitzenstundenmatrizen 2040 zusammengestellt.

Die Umlegungsparameter sowohl im MIV- als auch im ÖV-Modell werden aus den Basiszuständen 2010 unverändert übernommen.

Die Eckwerte der Verkehrsnachfrage des Spitzenstundenmodells sind in Tabelle 7 dargestellt. Die PW-Nachfrage in der Morgenspitze wächst um ca. 20% und in der Abendspitze um 22%. Ein etwas höheres Wachstum in der Abendspitze ist vor allem auf den höheren Anteil des Freizeitverkehrs, der ein stärkeres Wachstum ausweist als andere Fahrtzwecke, zurückzuführen. Im ÖV wächst sowohl der Morgenspitzenstunden- als auch der Abendspitzenstundenverkehr um ca. 41%. Das Wachstum des Lieferwagenverkehrs liegt mit ca. 16.5% unter dem Wachstum des Lastwagenverkehrs und Last- und Sattelzugverkehrs (30%).

Der Anteil des Morgenspitzenstundenverkehrs am Tagesverkehr (DWV), beträgt im MIV (PW) 7.2% und im ÖV 10,4%, der Abendspitzenstundenverkehr im MIV 9.4% und im ÖV 11.0%. Die Anteile am Tagesverkehr haben sich gegenüber dem Ist-Zustand 2010 durch die veränderte Fahrtzweckstruktur der Prognosematrix nur marginal geändert.

Tabelle 7 Nachfrageveränderungen und Eckwerte Spitzenstundenmodelle 2040/2010

Anzahl Fahrten	2010	2040	Veränderung 2040/2010 in %
Morgenspitzenstunde			
PW	809'799	971'414	20,0
Lieferwagen	180'731	211'064	16,8
Lastwagen	18'061	23'695	31,2
Last- und Sattelzug	6'430	8'423	31,0
ÖV-Personenfahrten	309'030	436'872	41,4
Abendspitzenstunde			
PW	1'049'467	1'281'950	22,2
Lieferwagen	176'738	205'165	16,1
Lastwagen	10'541	13'622	29,2
Last- und Sattelzug	4'423	5'713	29,2
ÖV-Personenfahrten	329'111	465'351	41,4

In einem weiteren Schritt wurden die Spitzenstundenmatrizen 2040 auf die Fahrtzwecke disaggregiert. Die Grundlage dafür stellen die berechneten Spitzenstundenmatrizen 2040 und die aus den 2010-Zuständen berechneten Fahrtzweckanteile einzelner Spitzenstunden. Die Anteile der einzelnen Fahrtzwecke im MIV und ÖV für die zwei betrachteten Spitzenstunden 2040 sind in folgender Tabelle dargestellt. Im Vergleich mit dem 2010-Zustand haben sich die Fahrtzweckanteile sehr wenig verändert. Die grössten Veränderungen sind in der ÖV-Morgenspitzenstunde festzustellen. Hier erhöht sich der Anteil beim Fahrtzweck Arbeit um +0.7% und der Fahrtzweck Freizeit um +0.8%, gleichzeitig reduziert sich beim Fahrtzweck Ausbildung der Anteil um -1.2% anderseits.

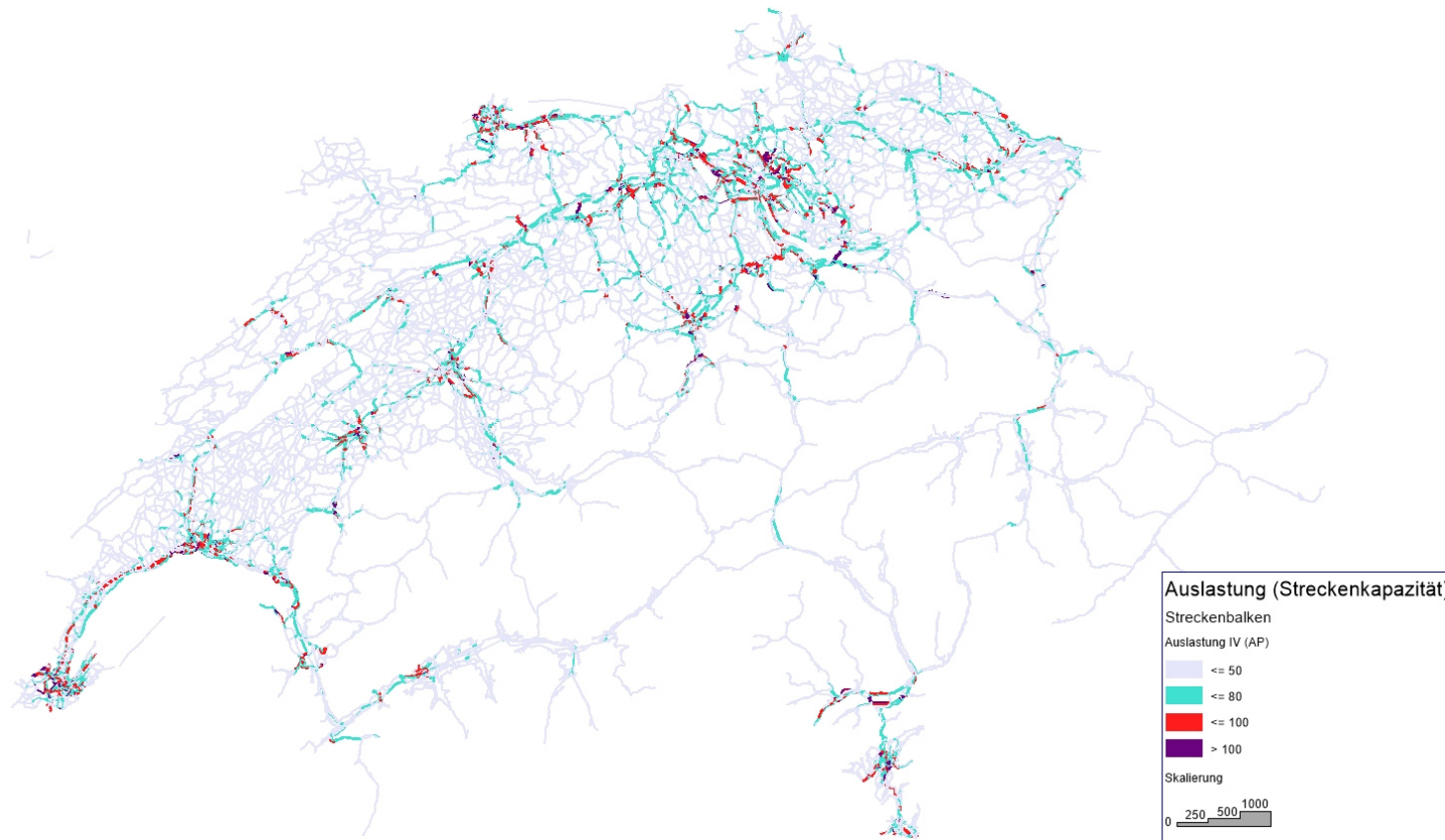
Tabelle 8 Fahrtzweckanteile der Morgen- und Abendspitzenstunde 2040

Anteile in %	Morgenspitzenstunde		Abendspitzenstunde	
	MIV	ÖV	MIV	ÖV
Arbeit	61,5	50,1	36,8	49,4
Ausbildung	3,8	27,2	1,8	10,6
Nutzfahrt	5,2	1,9	10,1	4,3
Einkauf	17,6	6,7	25,0	7,2
Freizeit	11,8	14,0	26,3	28,5
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0

Das Nachfragewachstum zwischen 2040 und 2010 führt vor allem in den Spitzenstunden zu einer höheren Auslastung der Infrastrukturkapazitäten. Die Auslastung der Strassenkapazität in der Abend- und Morgenspitzenstunde ist in der Abbildung 48 und der Abbildung 49 dargestellt. Hier ist festzustellen, dass vor allem in den Agglomerationen die Anzahl Strecken mit einer Auslastung > 80% deutlich zugenommen hat. Die Anzahl Strecken mit einer Auslastung

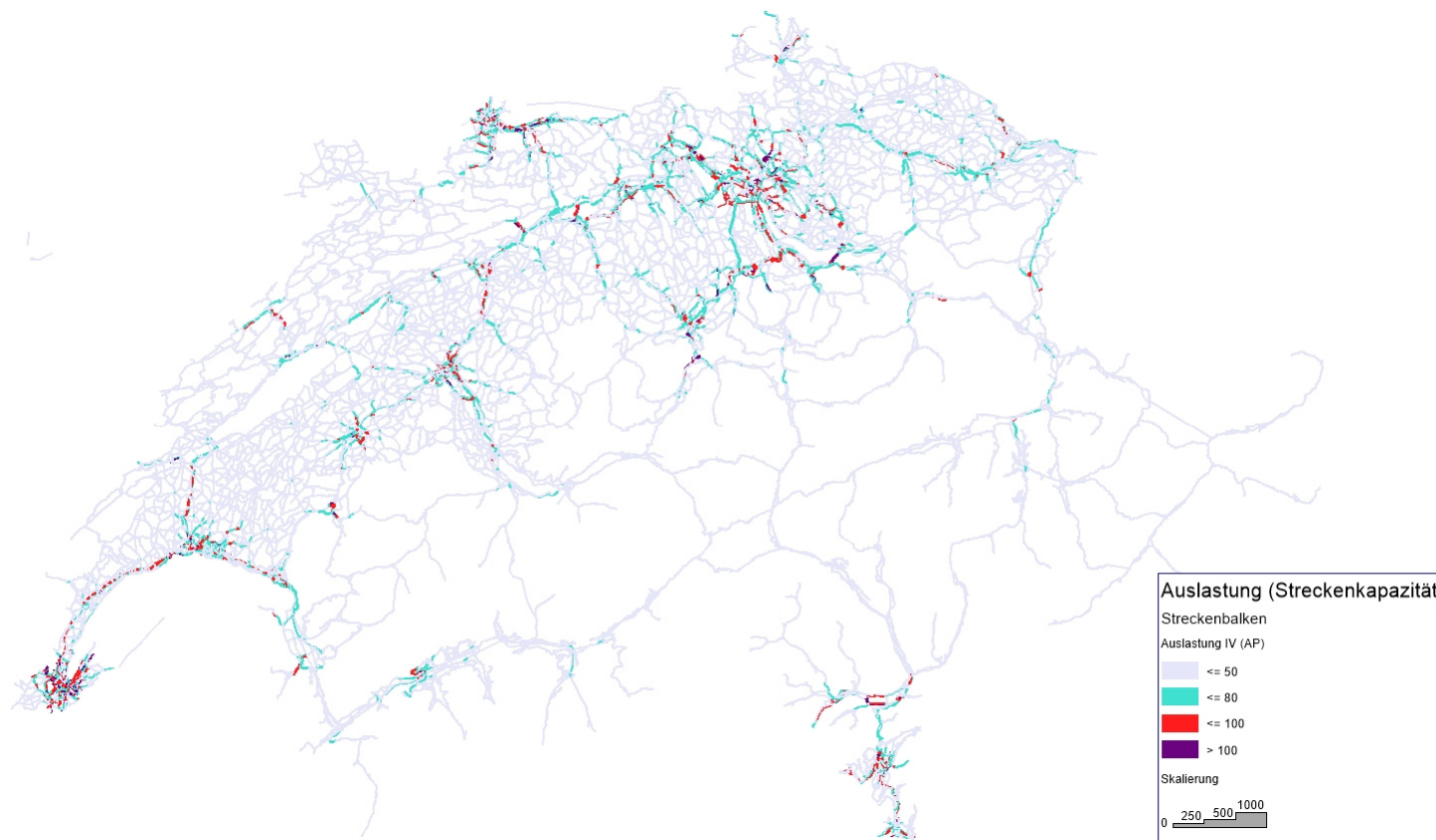
von > 80% erhöht sich im Referenzzustand 2040 sowohl in der Morgen- als auch in der Abendspitzenstunde gegenüber 2010 um ca. 50%. Die Länge der Strecken mit einer Auslastung > 80% in der Abendspitzenstunde erhöht sich in 2040 auf ca. 1'940 km gegenüber 1'351 km in 2010, was einer Zunahme von ca. 44% entspricht. Weiterhin ist auch zu sehen, dass vor allem in der Grossagglomeration Zürich und auf den Autobahnkorridoren die Anzahl Strecken mit höherem Auslastungsgrad überproportional sind. Im ÖV ist eine solche Analyse wegen fehlenden Kapazitätsangaben im Verkehrsmodell nicht möglich.

Abbildung 48 Auslastung der Kapazität in der Abendspitzenstunde: MIV 2040



Legende: Grau: ≤ 50%, Blau: > 50% und ≤ 80%, Rot: > 80% und ≤ 100%, Dunkelrot > 100%

Abbildung 49 Auslastung der Kapazität in der Morgenspitzenstunde: MIV 2040



Legende: Grau: <= 50%, Blau: > 50% und <= 80%, Rot: > 80% und <= 100%, Dunkelrot >100%

4 Literatur

- ARE (2006) Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr – Modellbeschreibung, Bern.
- ARE (2007) Tageszeitliche Fahrtenmatrizen im Personenverkehr an Werktagen im Jahr 2000, Bern.
- ARE (2010a) Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK – Basiszustand 2005, Bern.
- ARE (2010b) Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK – Referenzzustand 2030, Bern.
- ARE (2012b) Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK – Referenzzustand 2030⁺, Bern.
- ARE (2014) Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, Aktualisierung auf den Basiszustand 2010, Bern.
- ARE (2016) Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040, Bern.
- BFS/ARE (2012) Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, Neuchâtel.
- BFS (2009): Alpen- und Grenzquerender Personenverkehr 2007, Neuchâtel
- Bell, M.G.H. und S. Grosso (1999) Estimating path flows from traffic counts, in *Traffic and Mobility*, Springer, Berlin, 85-105.
- Fröhlich P., M. Vrtic und P. Kern (2007) Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung, Bundesamt für Strassen, UVEK, (Verkehrsconsult Fröhlich/Transoptima GmbH/EBP AG) Bern.
- Vrtic, M. und K. W. Axhausen (2003) Experiment mit einem dynamischen Umlegungsverfahren, *Strassenverkehrstechnik*, 47 (3) 121-126.
- Vrtic, M., C. Weis, P. Fröhlich, L. Passardi und D. Marconi (2015) Gesamtverkehrsmodell Kanton Tessin, Modellaktualisierung 2013, Stato del Cantone Ticino, Bellinzona.
- Vrtic, M., C. Weis, P. Fröhlich, B. Bodenmann und A. Zeiler (2013) Gesamtverkehrsmodell Kanton Solothurn, Amt für Verkehr und Tiefbau, Kanton Solothurn, Solothurn.
- Vrtic, M., P. Fröhlich und C. Weis (2015) Gesamtverkehrsmodell Kanton Zürich: Modellaktualisierung 2013, Amt für Verkehr, Zürich.
- Vrtic, M., P. Fröhlich, C. Weis und P. Walker (2015) Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern: Modellaktualisierung 2012, Bau- Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Bern.
- Vrtic, M., C. Weis, P. Fröhlich, B. Bodenmann und A. Zeiler (2015) Gesamtverkehrsmodell Kanton Zug, Amt für Raumplanung, Zug.
- Vrtic, M., D. Lohse, P. Fröhlich, C. Schiller, N. Schüssler, H. Teichert und K.W. Axhausen (2007) A simultaneous two-dimensionally constraint disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: Theory and application for a Swiss national model, *Transportation Research Part A*, 41 (9) 857-873
- Vrtic, M. (2004) Simultanes Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell, Dissertation, Fakultät für Verkehrswissenschaften, TU Dresden, Dresden.
- 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.

5 Anhang

Abbildung 50 MIV: verwendete Stundenanteile zur Generierung der stundenfeinen Matrizen

Zeitscheitel	WASA			AWAS			WB		BWB		WNWSN		NWNS		WESE		EWES		WS			SW			SS		
	r	a	r	r	a	r	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	r	a	r	r	a	r	r	a	r	r	a	r
	0	1	2	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
< 30km	0	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 30km	0	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anmerkung: a für Agglo, r für rural; grün hinterlegte Zellen per Hand angepasst

Abbildung 51 ÖV: verwendete Stundenanteile zur Generierung der stundenfeinen Matrizen

Zeitscheibe	WASA			AWAS			WB			WNSN			NWNS			WESE			EWES			WS			SW			SS		
	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a		
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%		
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
4	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
5	11%	15%	21%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
6	42%	36%	33%	24%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
7	22%	30%	28%	31%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
8	3%	7%	4%	15%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
9	0%	3%	1%	3%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
10	0%	0%	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
11	0%	2%	2%	2%	8%	4%	1%	5%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
12	6%	0%	3%	4%	9%	10%	0%	7%	0%	0%	0%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
13	7%	3%	6%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
14	2%	0%	0%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
15	1%	0%	0%	0%	10%	14%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
16	2%	1%	0%	0%	12%	24%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
17	4%	0%	0%	1%	32%	26%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
18	0%	0%	0%	1%	20%	15%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
19	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
20	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
21	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
22	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
23	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		

Zeitscheibe	WASA			AWAS			WB			WNSN			NWNS			WESE			EWES			WS			SW			SS		
	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	ohne Struktur	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a	r-r	a-r	a-a		
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
4	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
5	13%	16%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
6	51%	43%	58%	46%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
7	36%	30%	16%	26%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
8	0%	5%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				

Anmerkung: a für Agglo, r für rural; grün hinterlegte Zellen per Hand angepasst

Abbildung 52 MIV Wohnen-Arbeit (inkl. Sonstiges-Arbeit) aggregierte QZG-Nummer 10

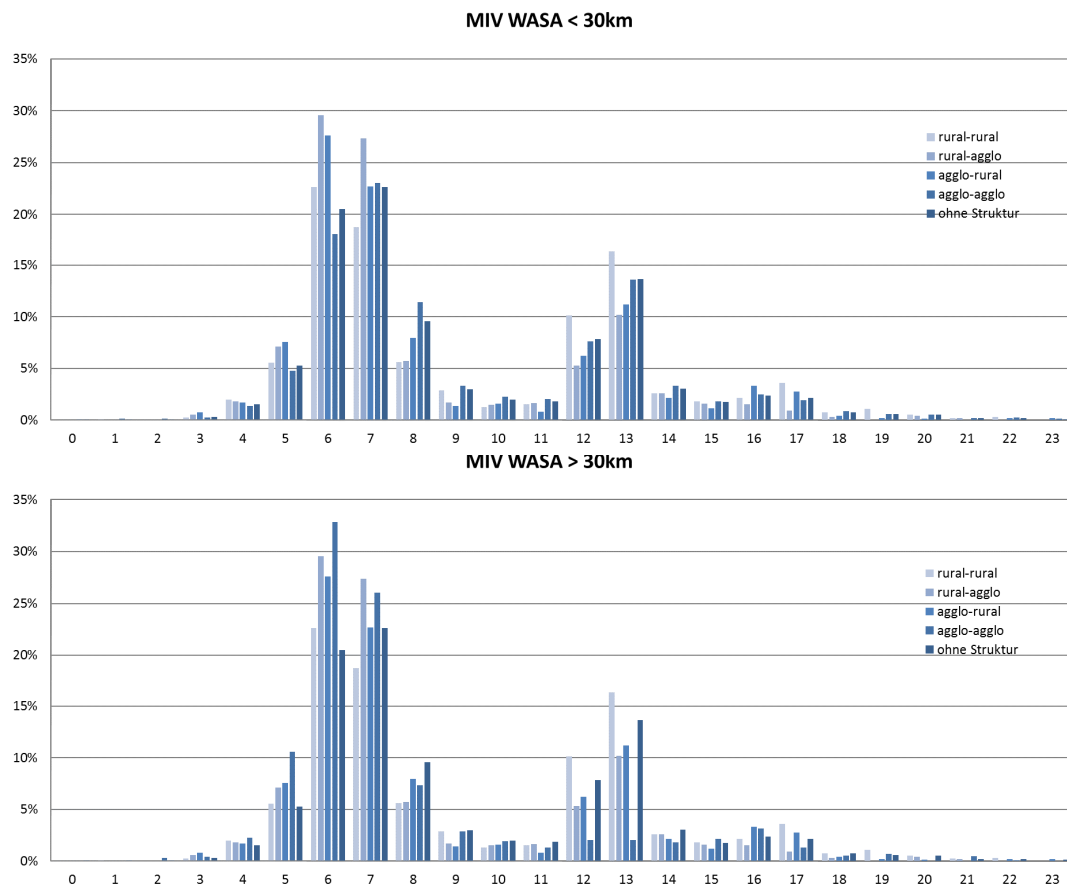


Abbildung 53 MIV Arbeit-Wohnen (inkl. Arbeit-Sonstiges) aggregierte QZG-Nummer 20

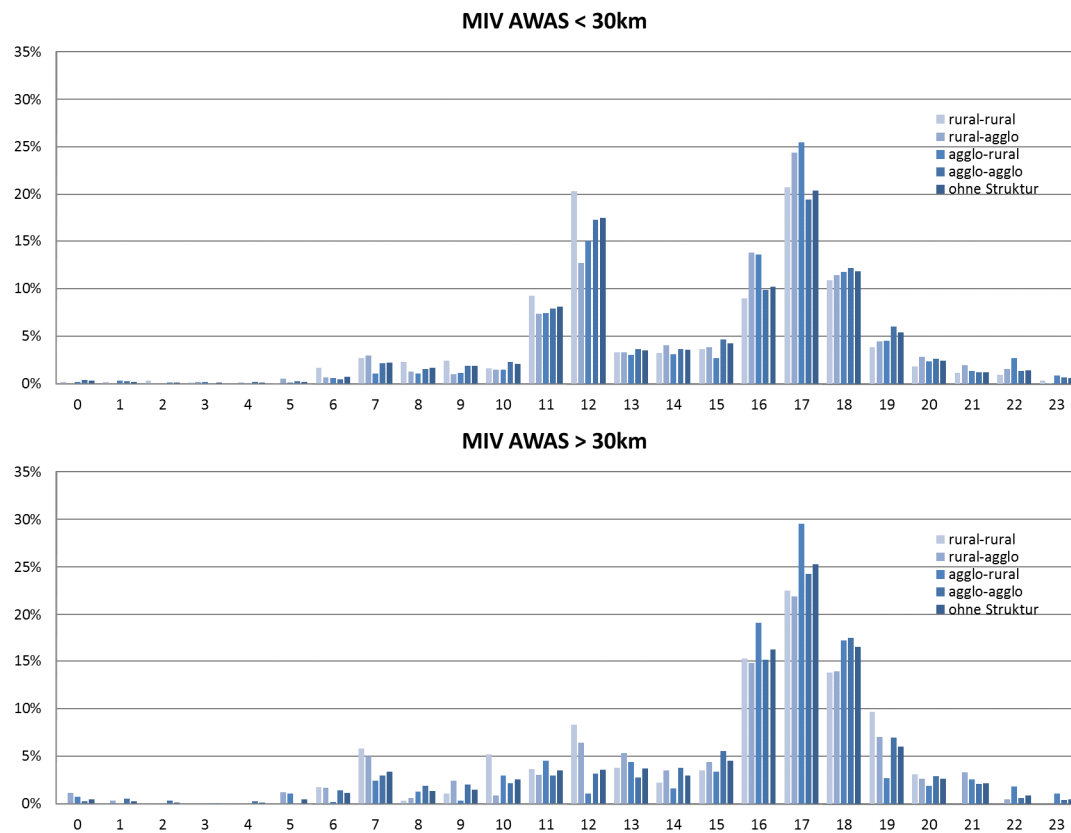


Abbildung 54 MIV Wohnen-Bildung aggregierte QZG-Nummer 30

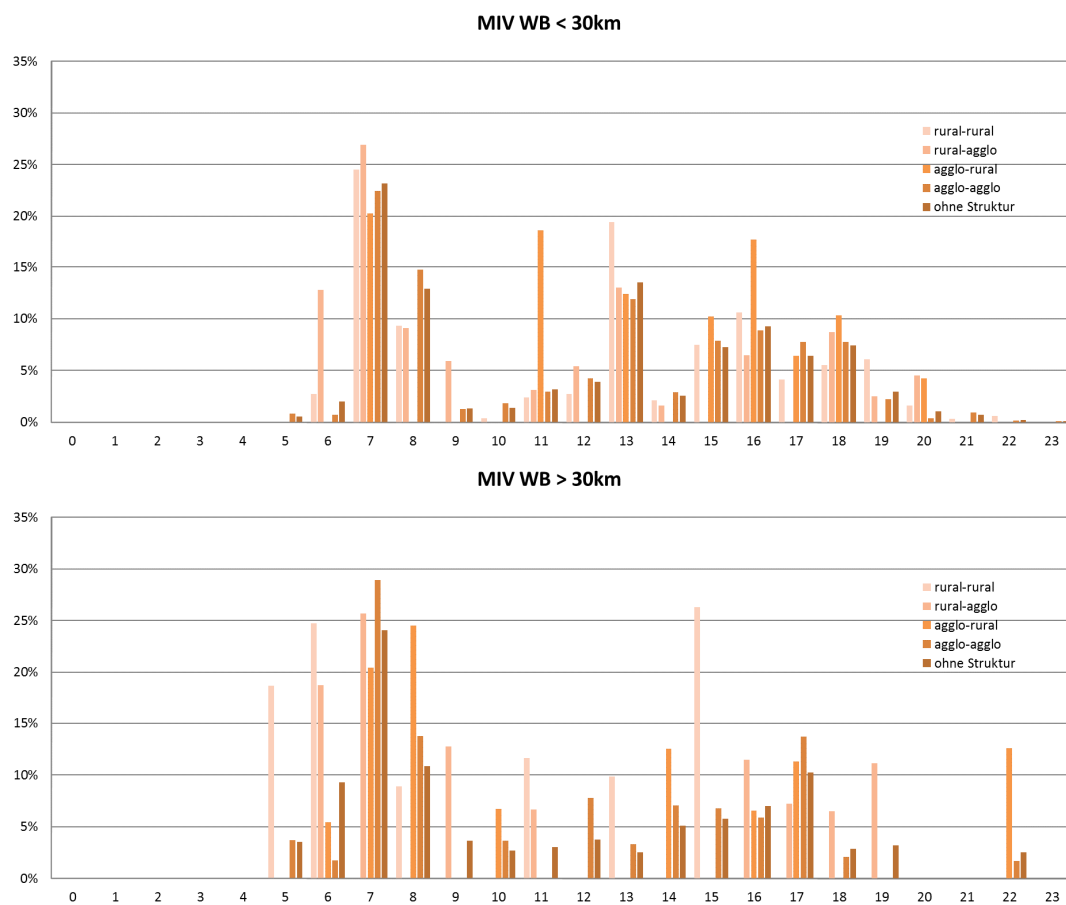


Abbildung 55 MIV Bildung –Wohnen aggregierte QZG-Nummer 40

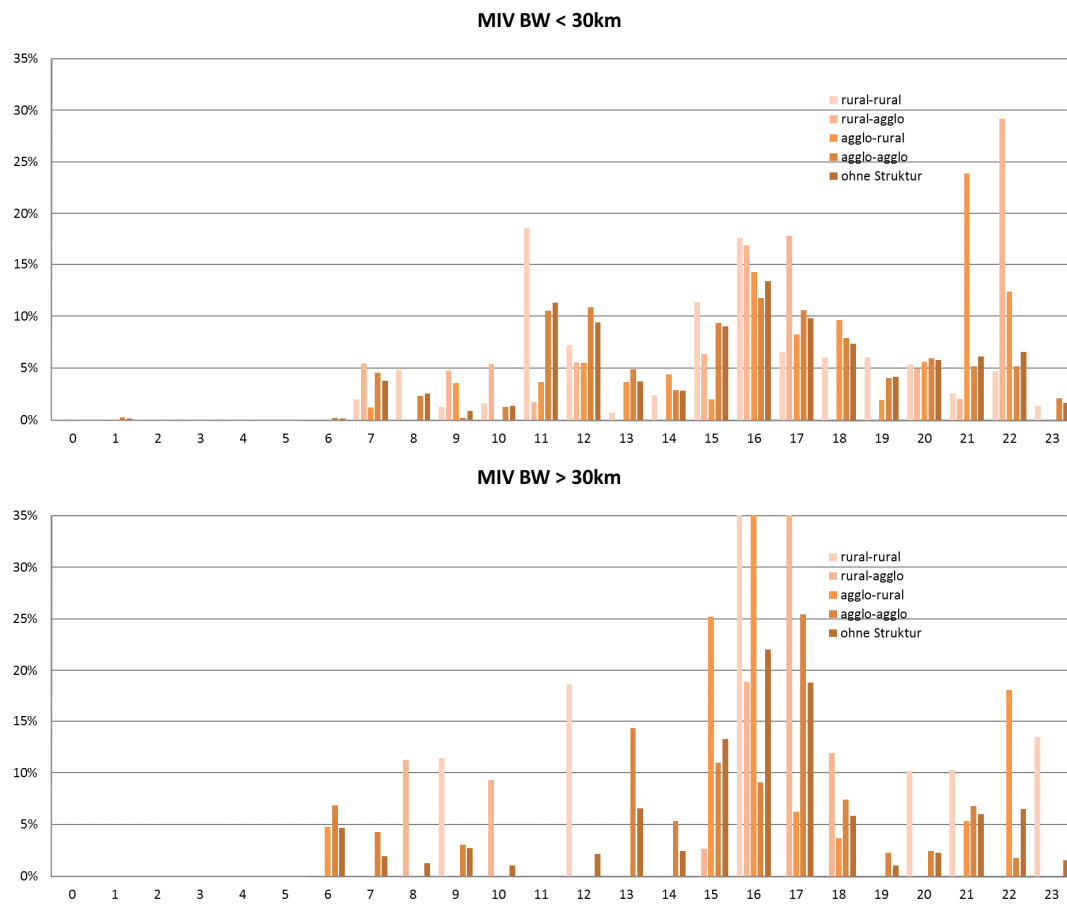


Abbildung 56 MIV: Wohnen-Nutzfahrt (inkl. Sonstiges-Nutzfahrt) aggregierte QZG-Nummer 50

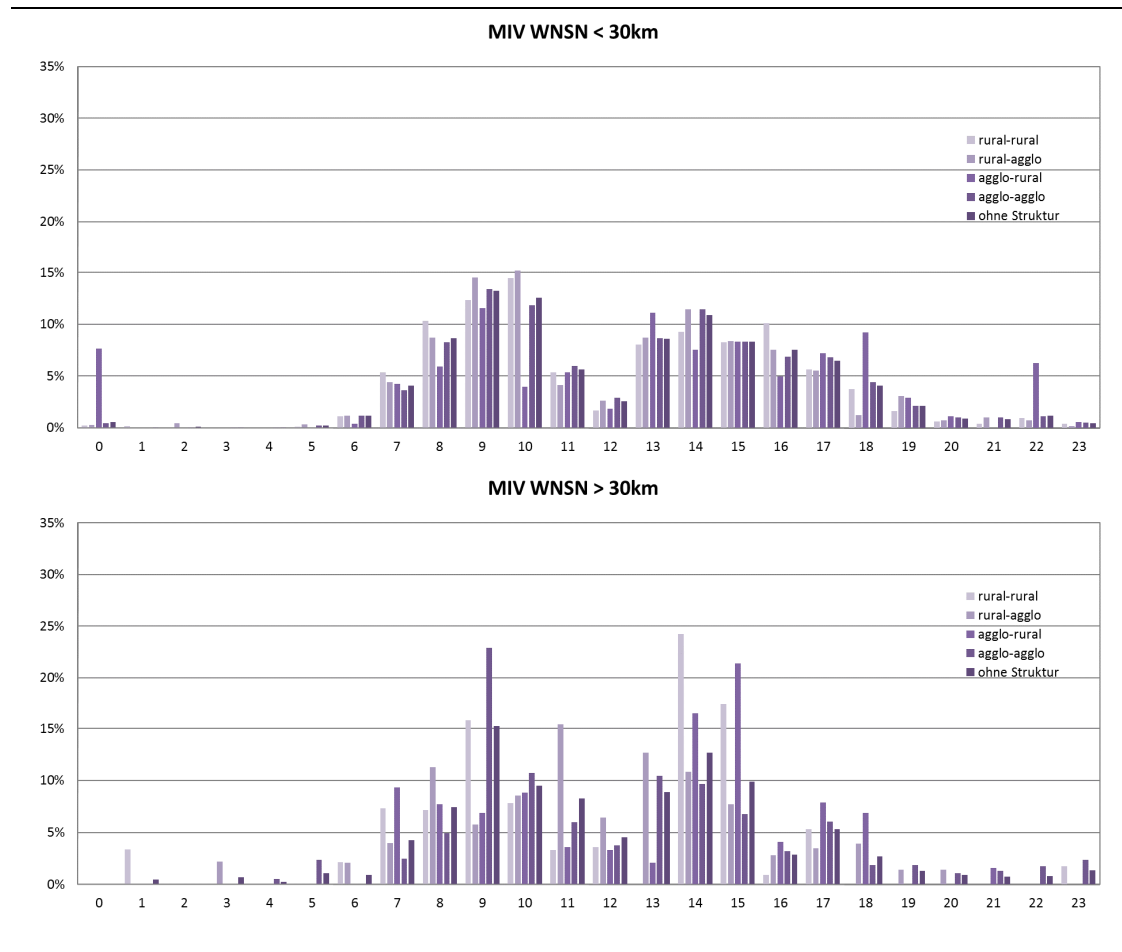


Abbildung 57 MIV: Nutzfahrt-Wohnen (inkl. Nutzfahrt-Sonstiges) aggregierte QZG-Nummer
60

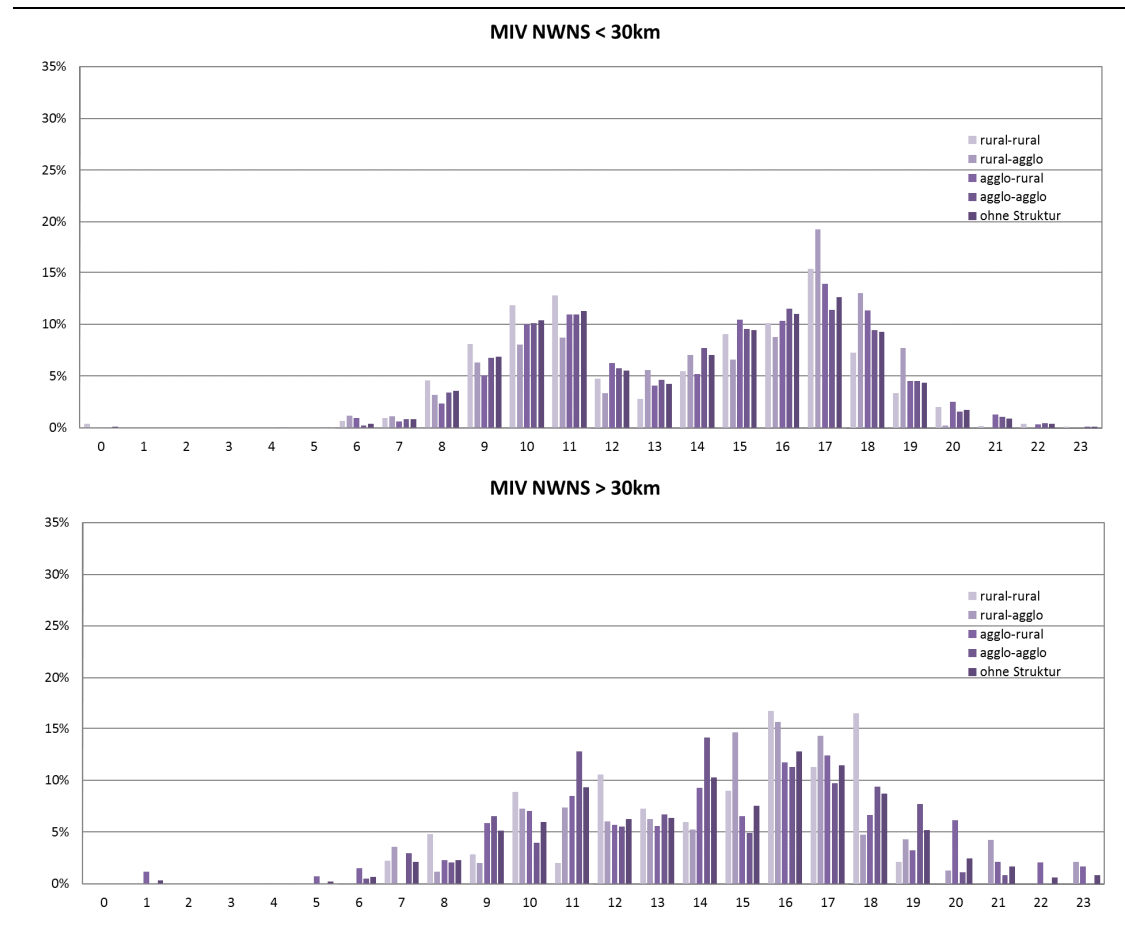


Abbildung 58 MIV: Wohnen-Einkauf (inkl. Sonstiges-Einkauf) aggregierte QZG-Nummer 70

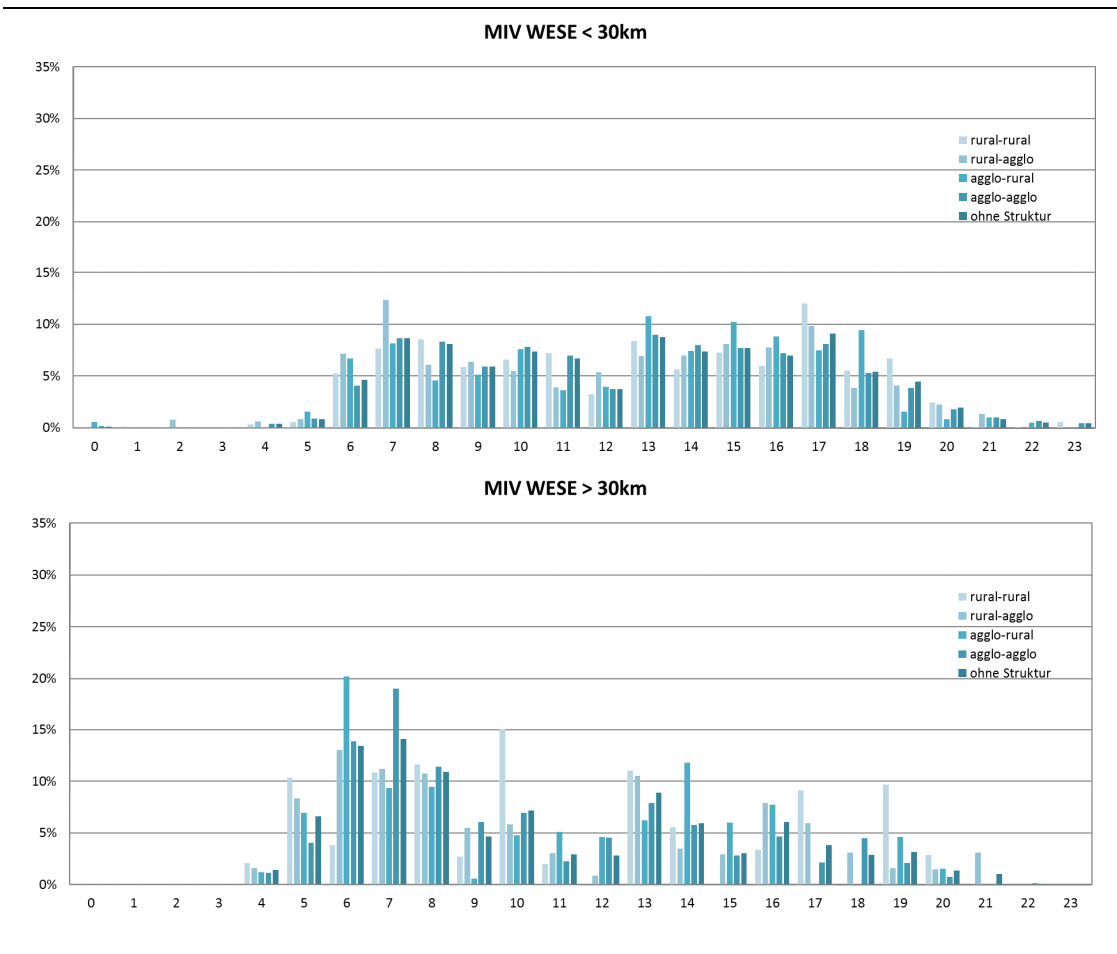


Abbildung 59 MIV: Einkauf-Wohnen (inkl. Einkauf-Sonstiges) aggregierte QZG-Nummer 80

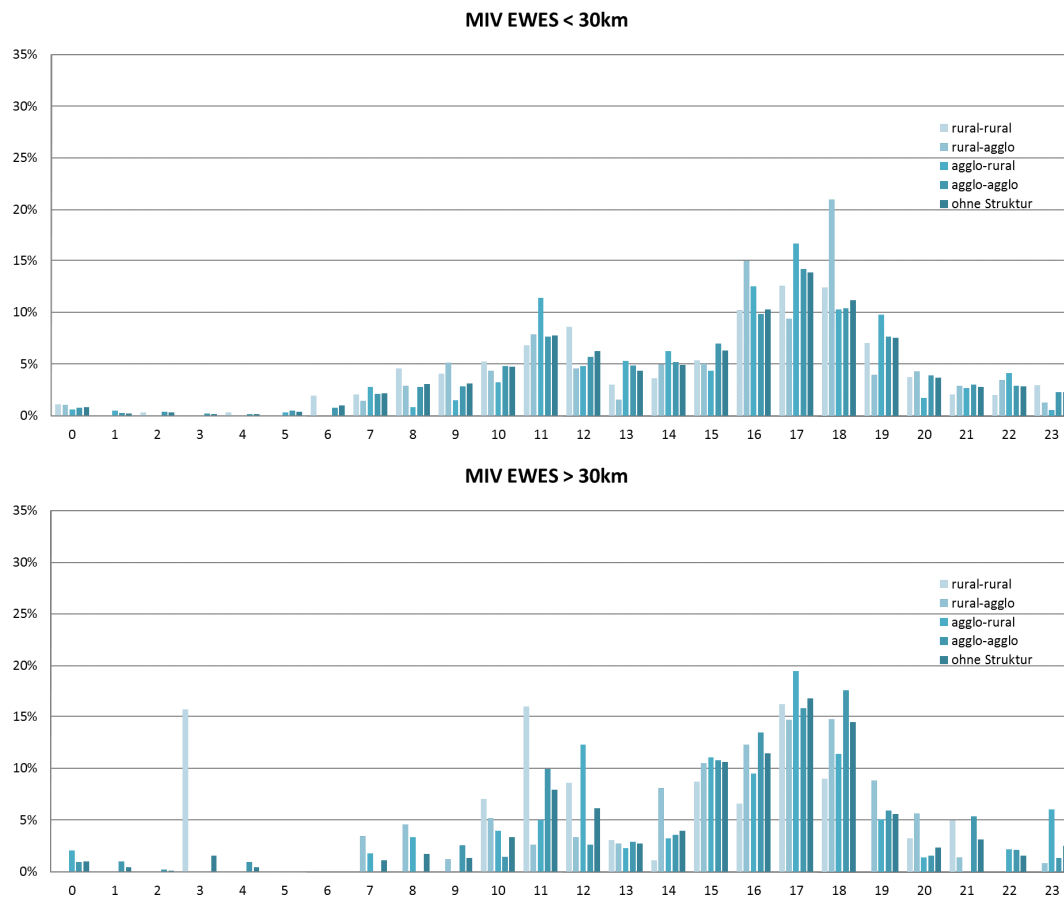


Abbildung 60 MIV: Wohnen-Sonstiges aggregierte QZG-Nummer 90

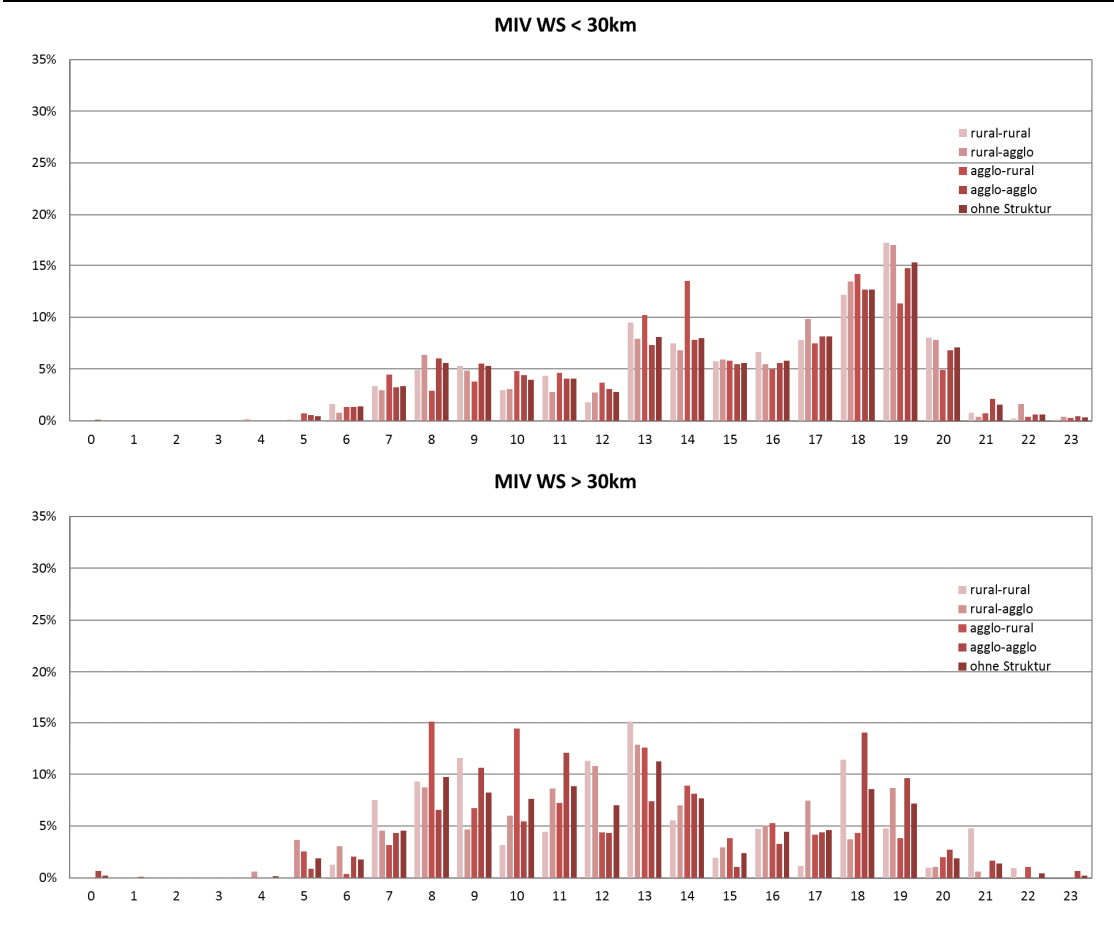


Abbildung 61 MIV: Sonstiges-Wohnen aggregierte QZG-Nummer 100

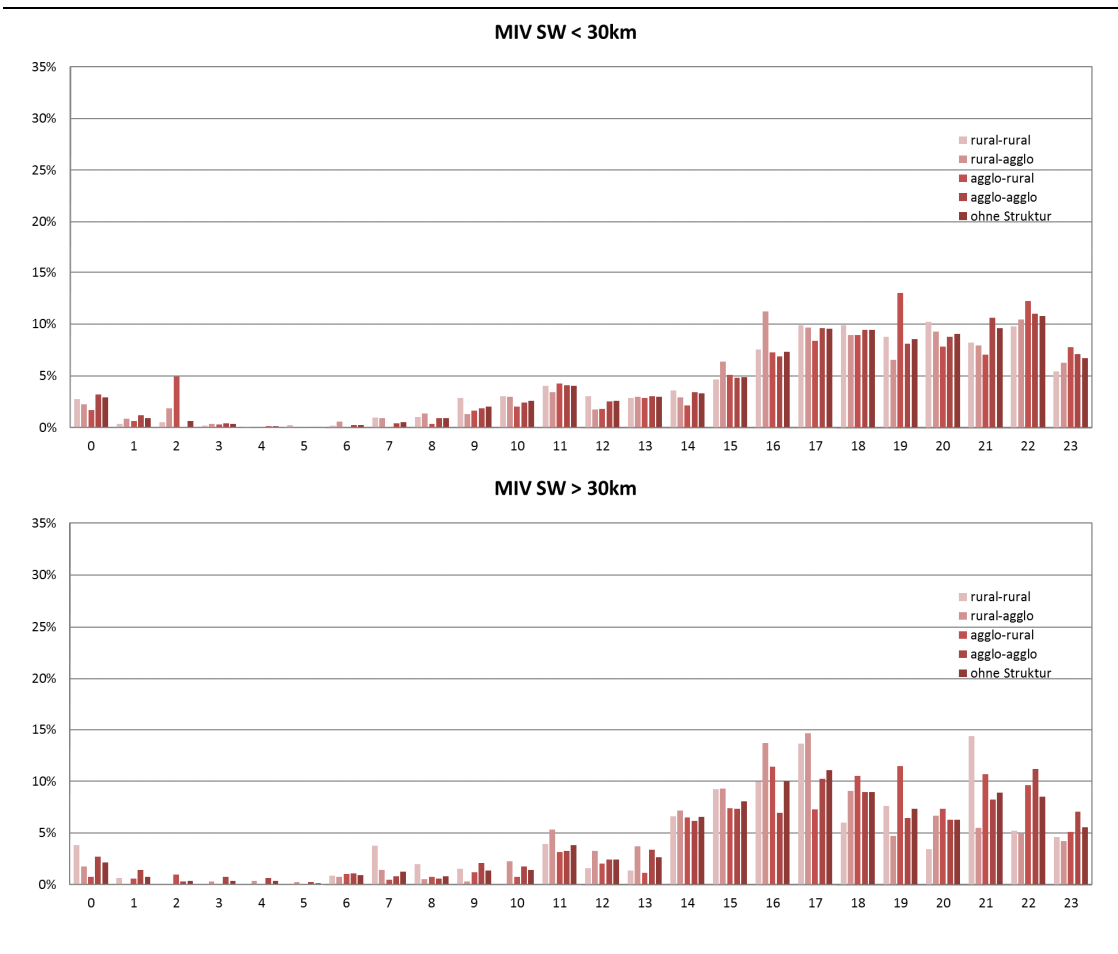


Abbildung 62 MIV: Sonstiges-Sonstiges aggregierte QZG-Nummer 110

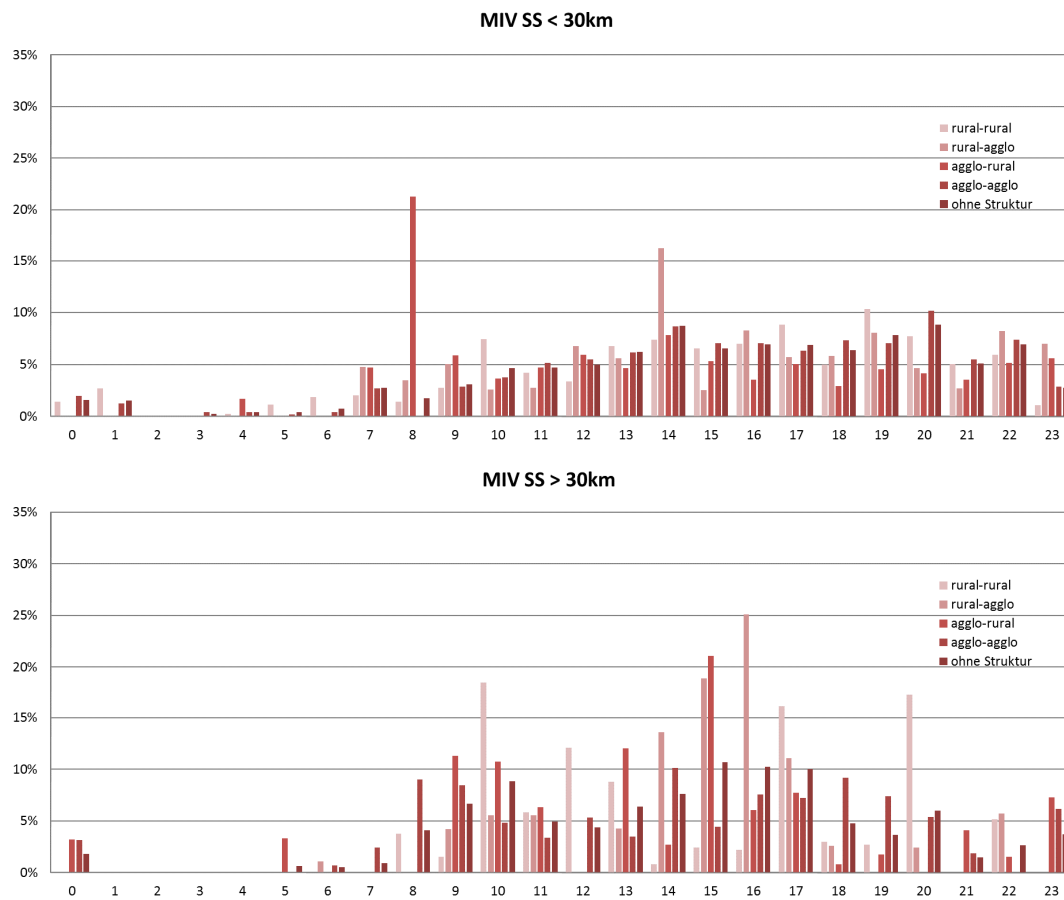


Abbildung 63 ÖV: Wohnen-Arbeit (inkl. Sonstiges-Arbeit) aggregierte QZG-Nummer 10

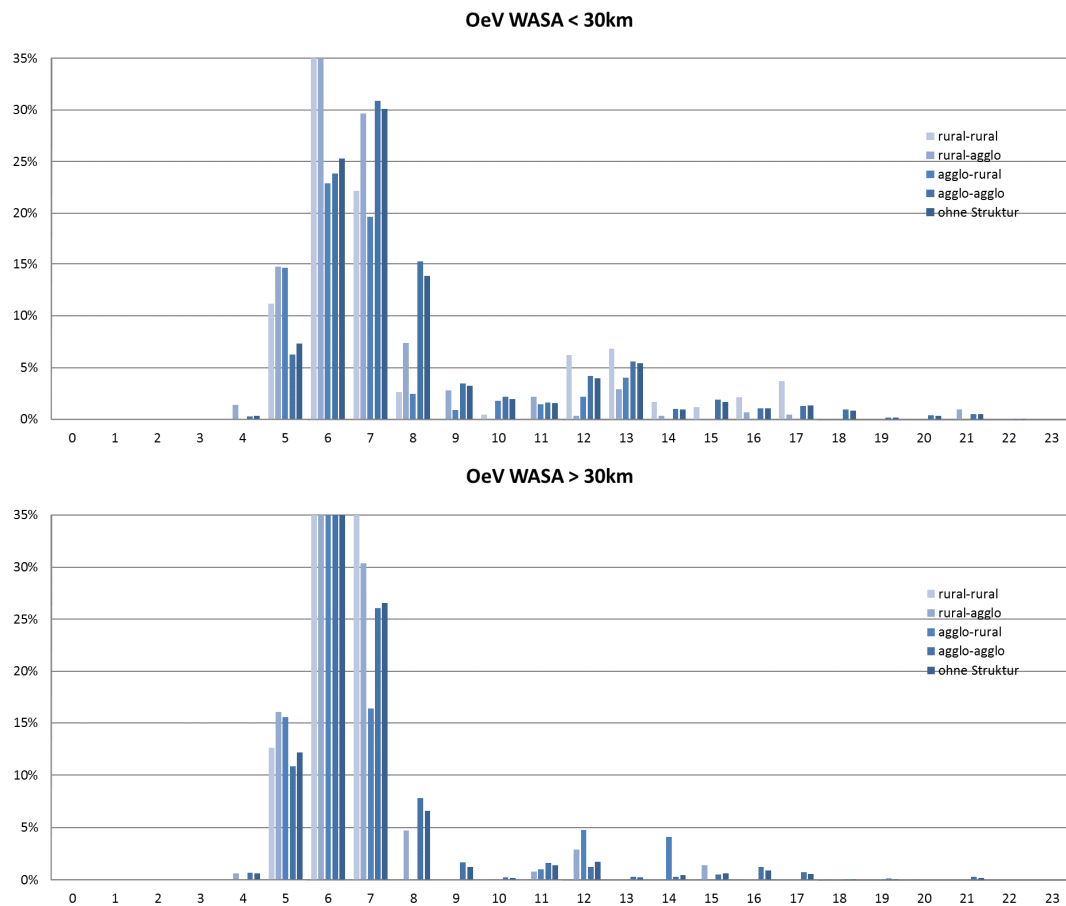


Abbildung 64 ÖV: Arbeit-Wohnen (inkl. Arbeit-Sonstiges) aggregierte QZG-Nummer 20

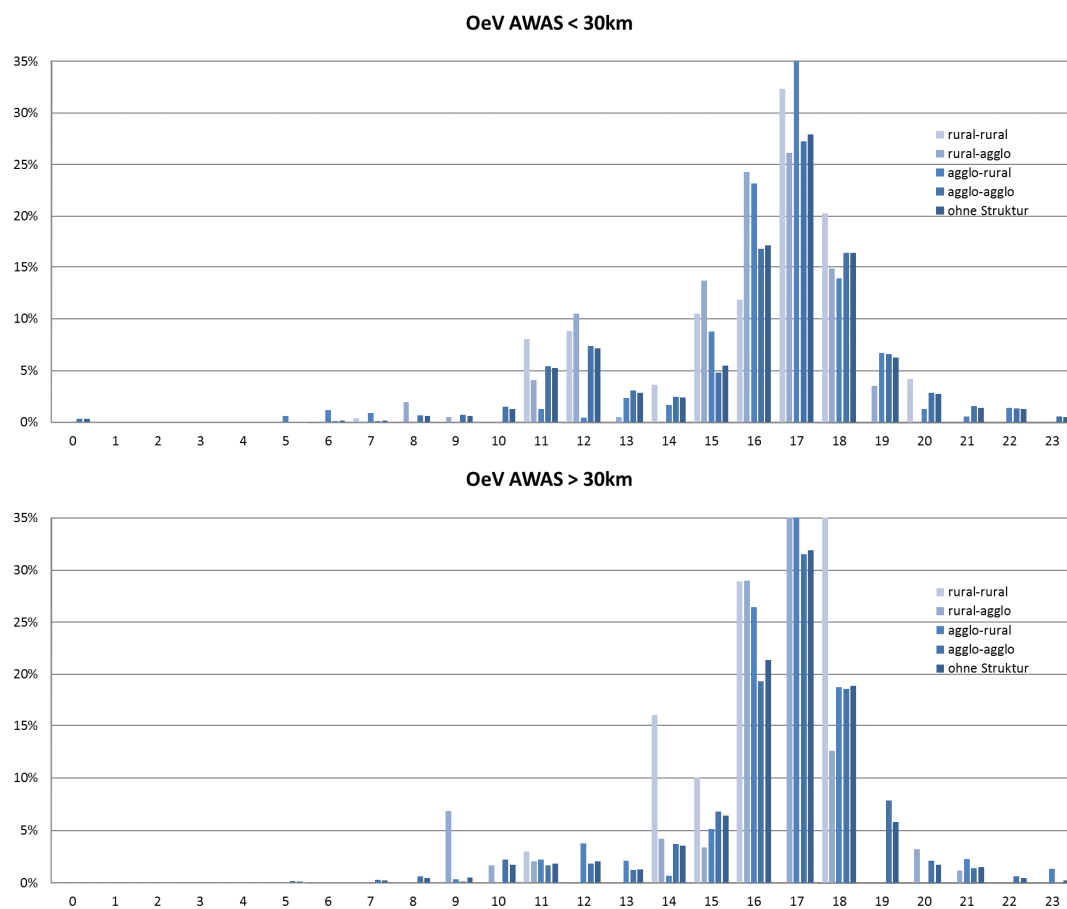


Abbildung 65 ÖV: Wohnen-Bildung aggregierte QZG-Nummer 30

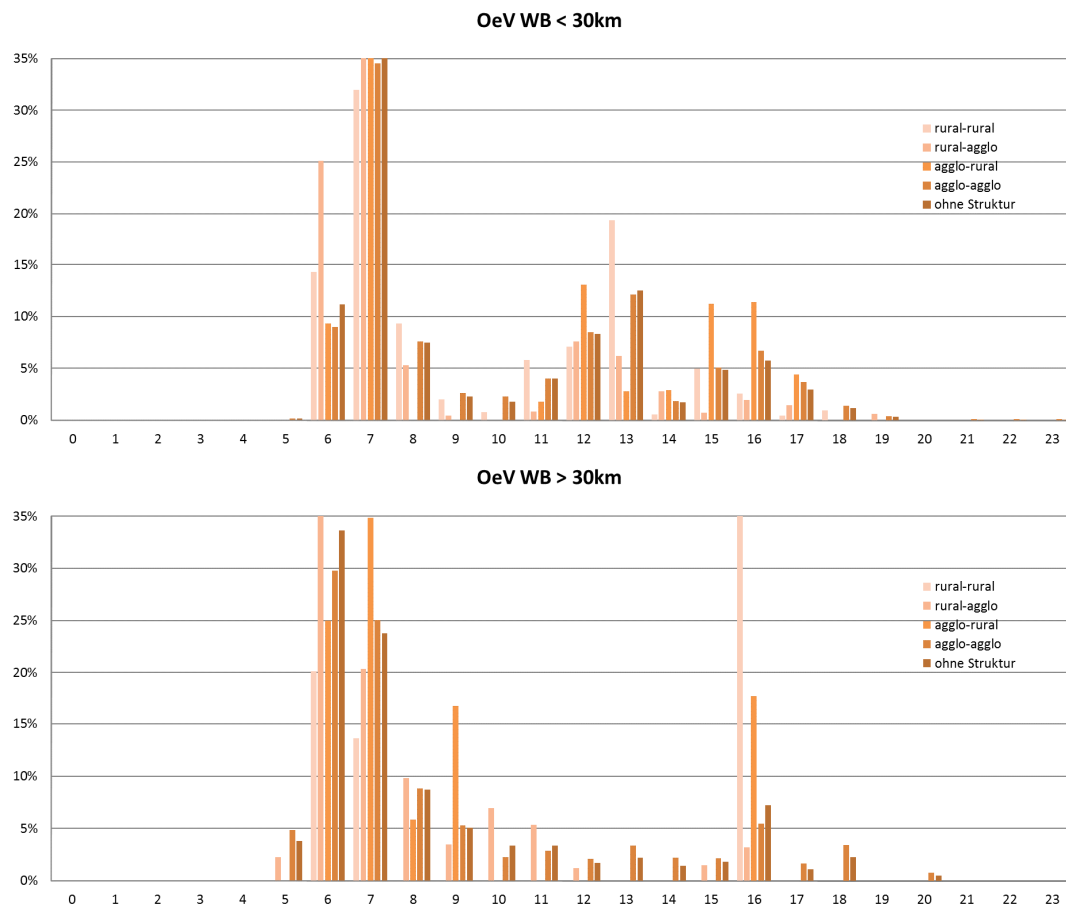


Abbildung 66 ÖV: Bildung –Wohnen aggregierte QZG-Nummer 40

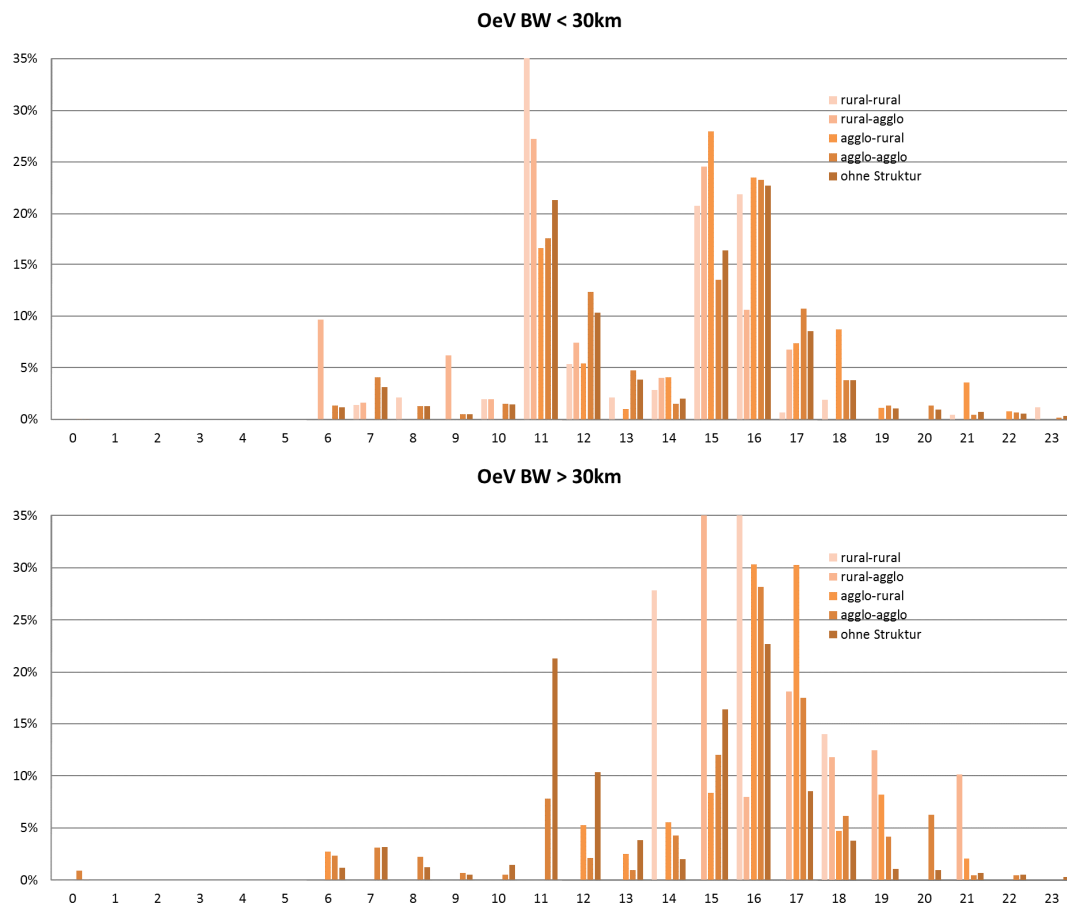


Abbildung 67 ÖV: Wohnen-Nutzfahrt (inkl. Sonstiges-Nutzfahrt) aggregierte QZG-Nummer 50

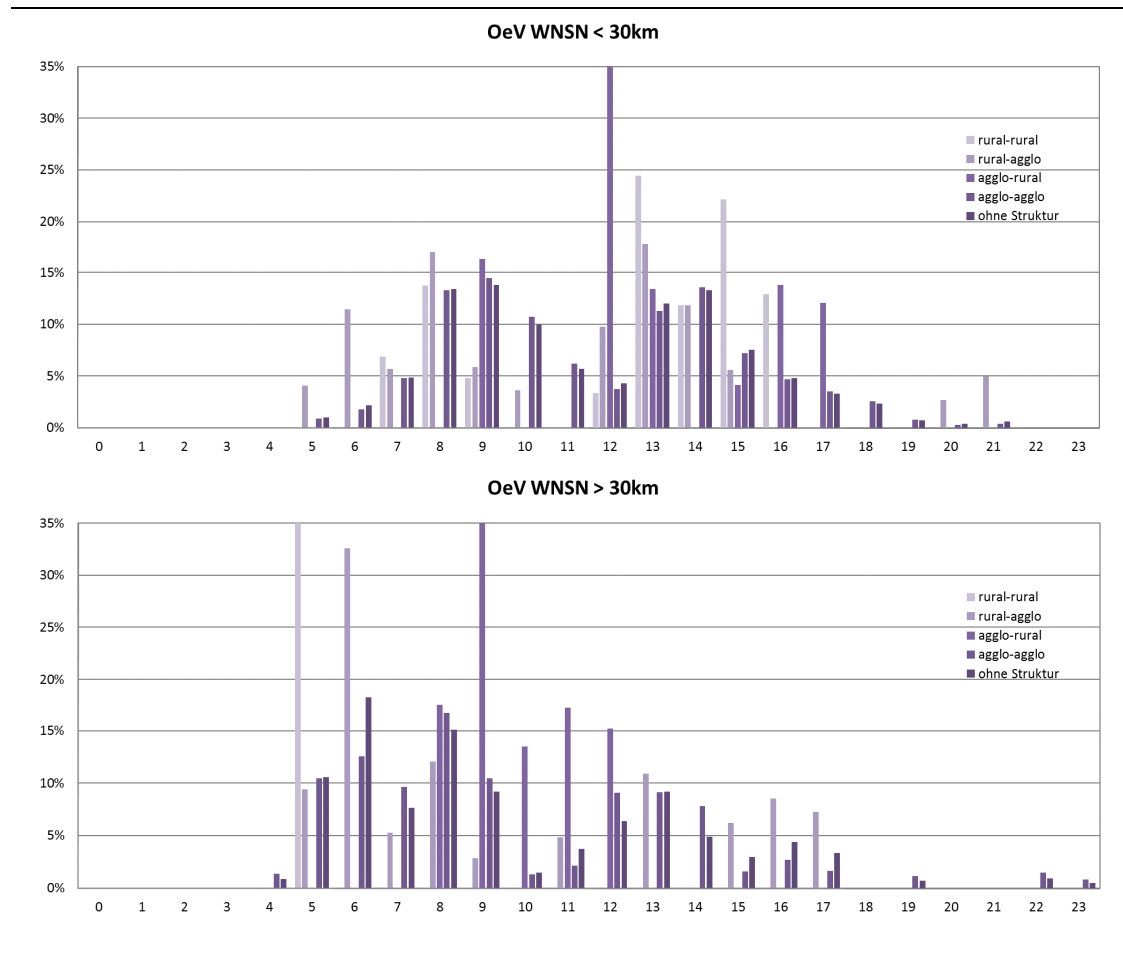


Abbildung 68 ÖV: Nutzfahrt-Wohnen (inkl. Nutzfahrt-Sonstiges) aggregierte QZG-Nummer 60

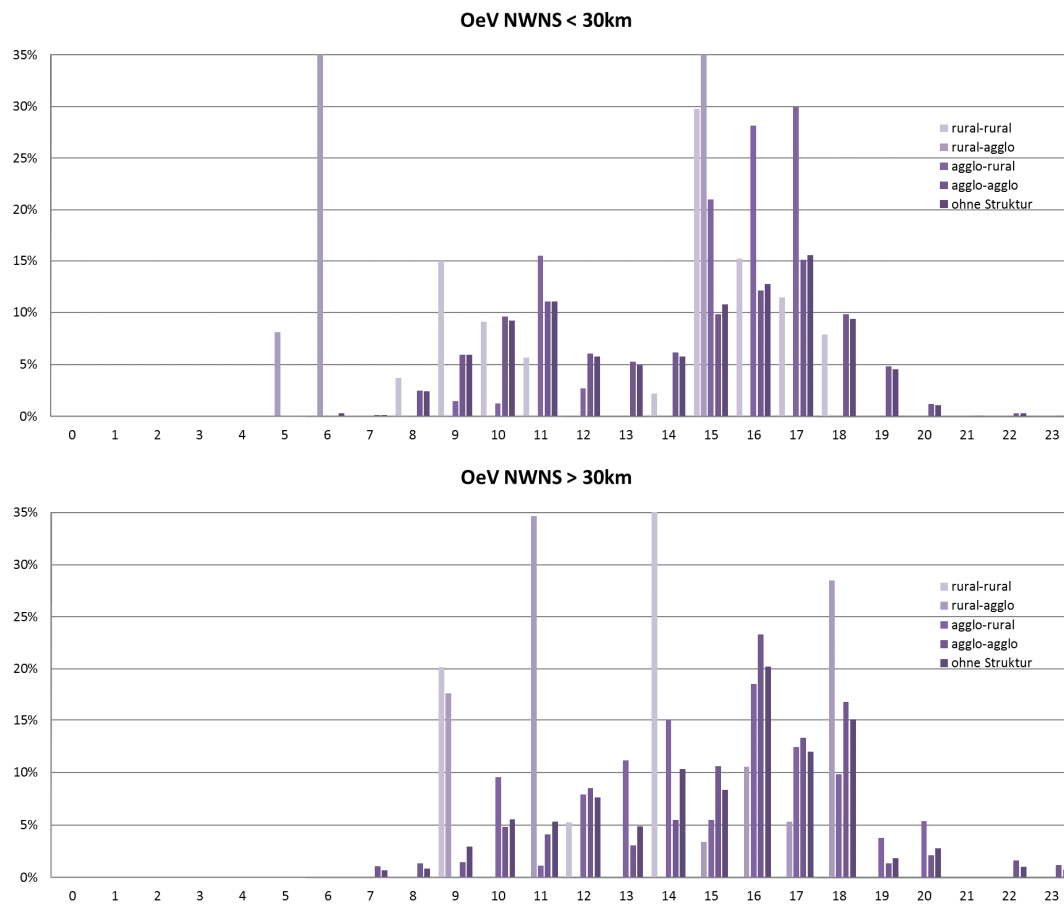


Abbildung 69 ÖV: Wohnen-Einkauf (inkl. Sonstiges-Einkauf) aggregierte QZG-Nummer 70

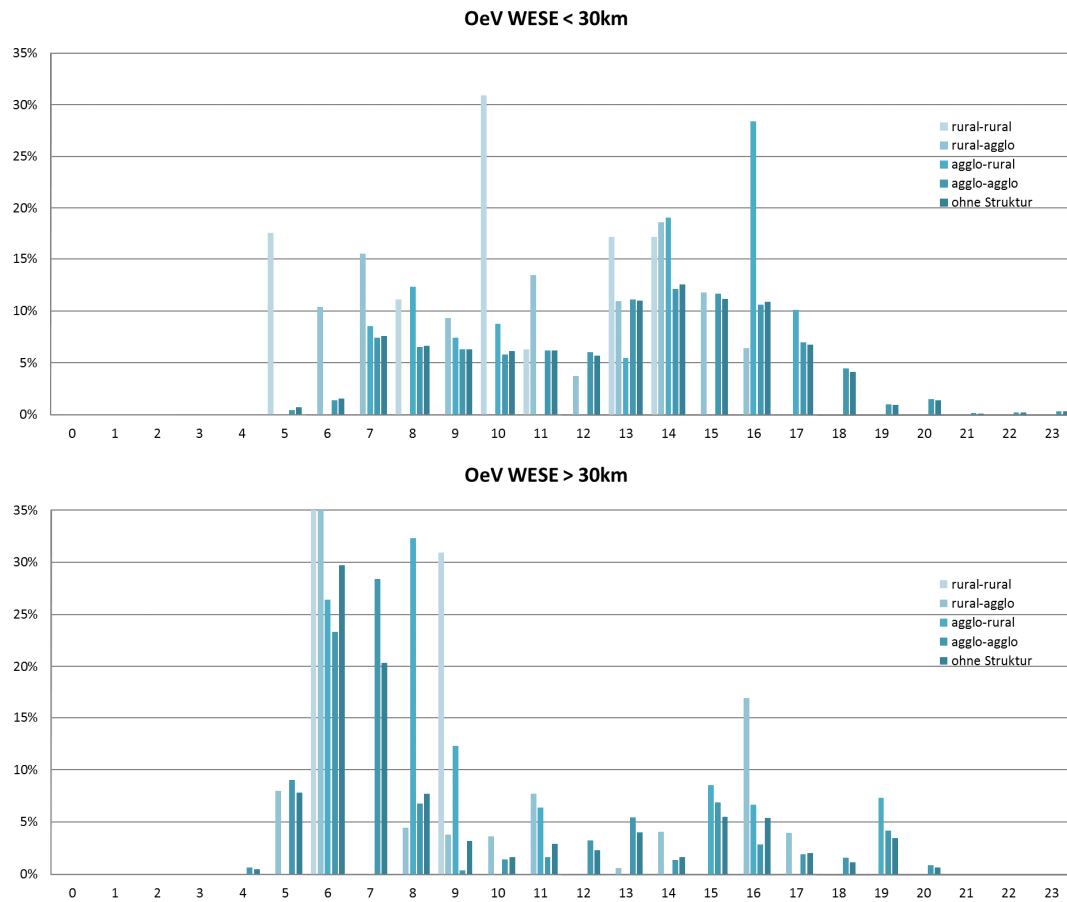


Abbildung 70 ÖV: Einkauf-Wohnen (inkl. Einkauf-Sonstiges) aggregierte QZG-Nummer 80

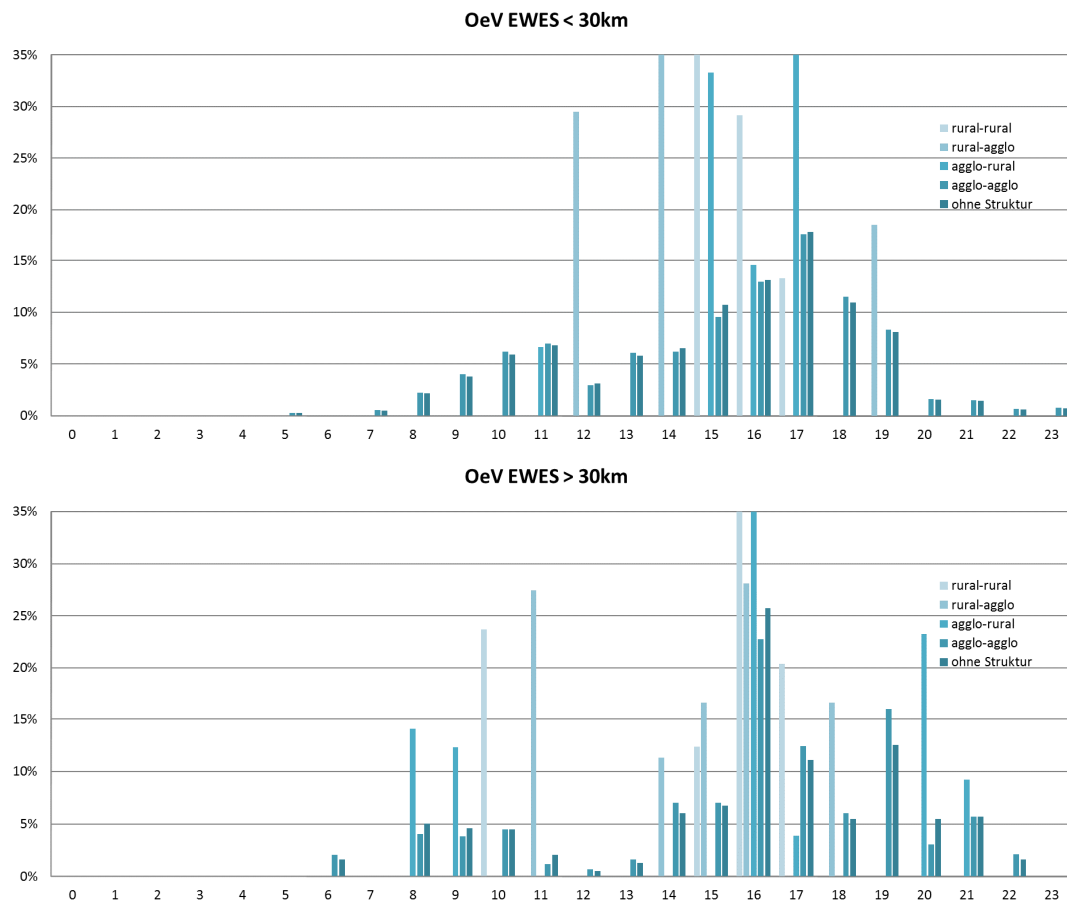


Abbildung 71 ÖV: Wohnen-Sonstiges aggregierte QZG-Nummer 90

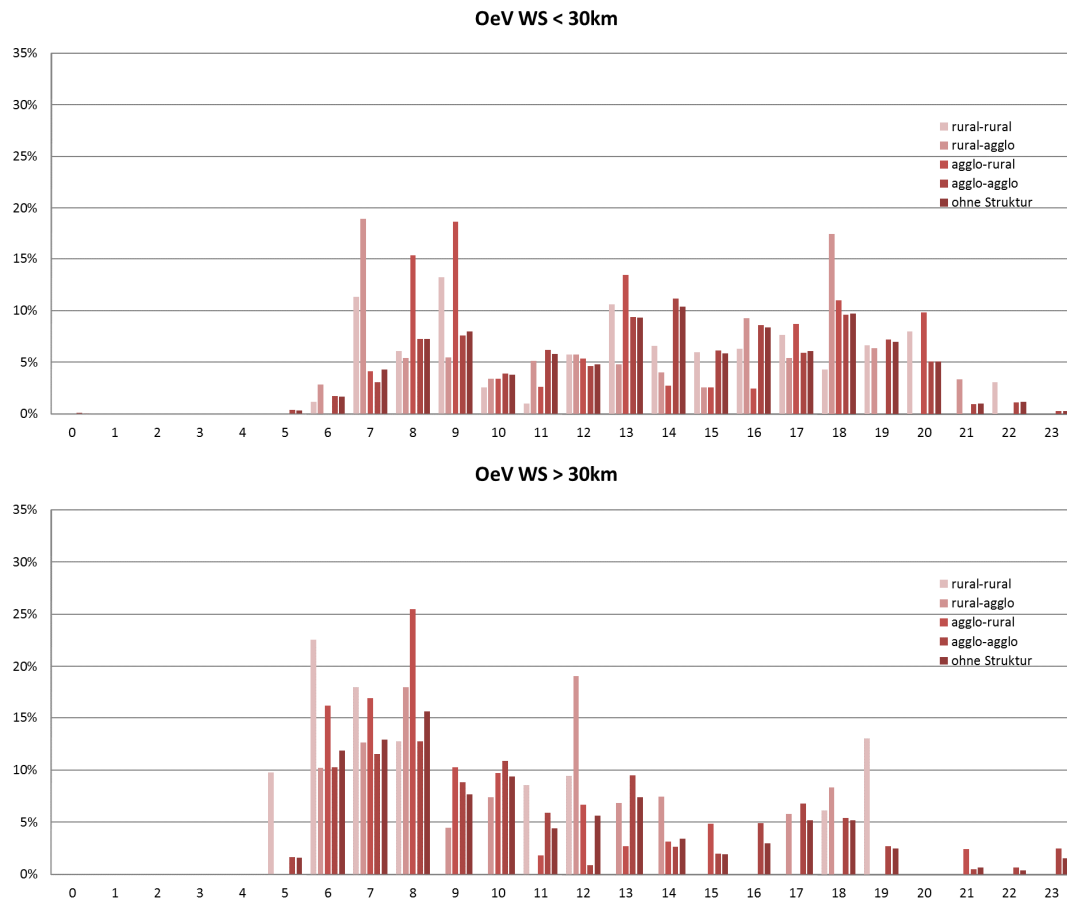


Abbildung 72 ÖV: Sonstiges-Wohnen aggregierte QZG-Nummer 100

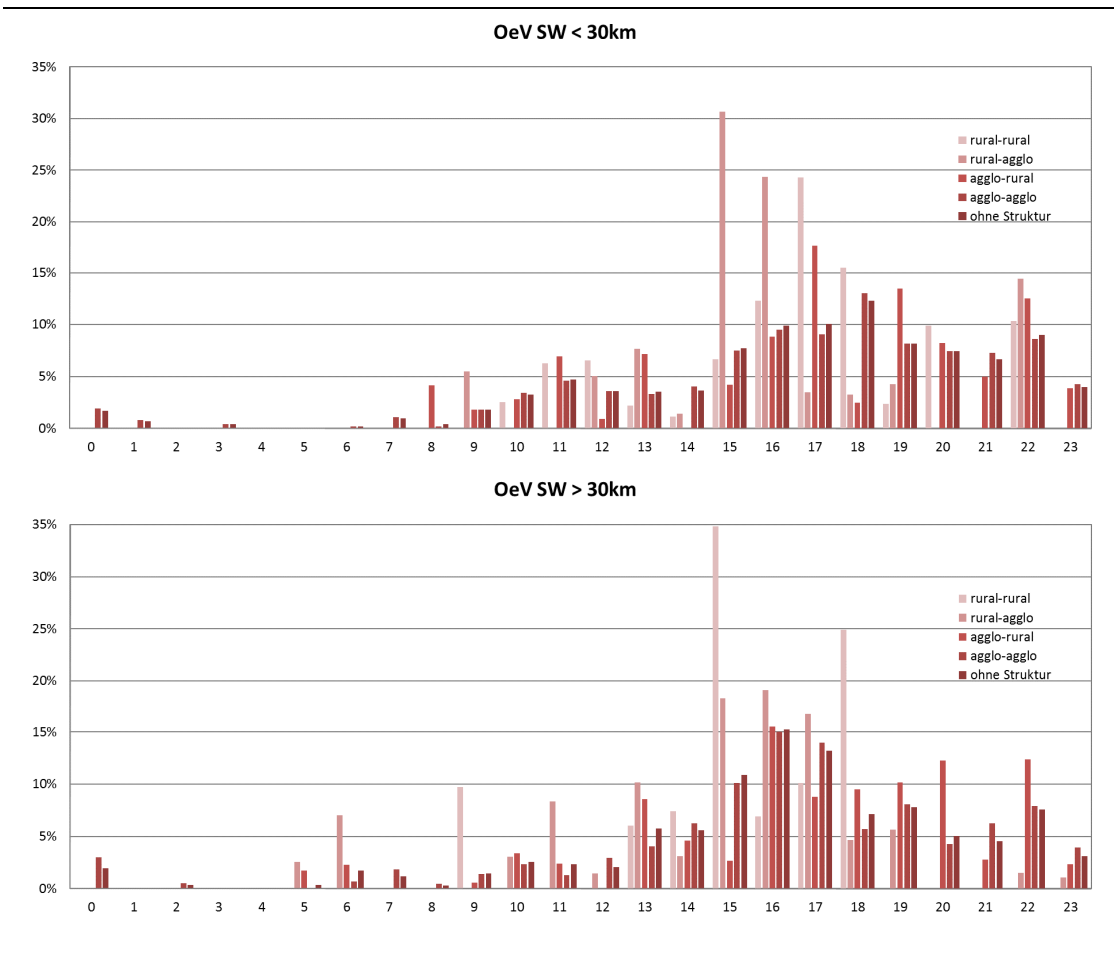


Abbildung 73 ÖV: Sonstiges-Sonstiges aggregierte QZG-Nummer 110

