

NPVM 2016: Zonenstruktur und Verkehrsnetze

Schlussbericht



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Autoren: EBP Schweiz AG, www.ebp.ch

Nadine Rieser (Projektleitung)

Ralph Straumann

Bence Tasnády

Marco Rothenfluh

Remo Fischer

Marcus Riedi (SBB)

Projektbegleitung ARE

Andreas Justen (Projektleitung)

Nicole Mathys

Antonin Danalet

Helmut Honermann

Christian Schiller (externer Berater)

Begleitgruppe

Julie Lietha (BAV)

Dorina Markus (ASTRA)

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Einleitung.....	11
1.1 Ausgangslage	11
1.2 Zentrale Ergebnisse	12
1.3 Struktur des Berichts	12
2 Strasse: Netz Schweiz.....	13
2.1 Überblick.....	13
2.2 Eingangsprüfung TomTom-Netz	15
2.3 Anzahl Fahrstreifen	30
2.4 Verkehrssysteme	36
2.5 Modellgeschwindigkeiten	38
2.6 Kapazitäten	46
2.7 Abbiegebeziehungen	53
2.8 Streckentypen	58
2.9 Netzausdünnung und Netzvereinfachung	68
2.10 Durchgängigkeit und Netzprüfung	72
3 Öffentlicher Personenverkehr Schiene: Netz und Angebot Schweiz, inkl. Ausland	80
3.1 Überblick.....	80
3.2 Übernahme des SBB-Angebots	81
3.3 Überlagerndes Importieren des BAV-Netzes	82
3.4 Umhängen des Auslandsnetzes SBB auf Netz BAV	83
3.5 Löschen der Strecken des SBB-Netzes im Inland	83
3.6 Zuordnung der SBB-Haltestellen zu den Betriebspunkten des BAV-Netzes	84
3.7 Import Systemfahrplan Bahn.....	87
3.8 Plausibilisierung und Netzbereinigung	88
3.9 Prognosezustand.....	90
4 Öffentlicher Personenverkehr Tram & Bus: Netz und Angebot Schweiz.....	92
4.1 Überblick.....	92
4.2 Abbildung der Haltestellen und Umsteigebeziehungen	93
4.3 Import HAFAS-Angebot	96
4.4 Trassierung Tramangebot	99
4.5 Trassierung Busangebot	101
4.6 Plausibilisierung	103
5 Erstellung Zonenstruktur Schweiz	106
5.1 Überblick.....	106

5.2	Vorprozessierung der Eingangsdaten	110
5.3	Bestimmung der Grenzwerte für die Struktureinheiten	115
5.4	Bildung von Ausgangszonen	116
5.5	Automatische Aggregation von Ausgangszonen	116
5.6	Verfeinerung der Ausgangszonen	121
6	Singuläre Verkehrserzeuger	125
6.1	Überblick	125
6.2	Flughäfen	127
6.3	Einkaufsnutzungen	127
6.4	Freizeiteinrichtungen	128
6.5	Bestimmung der Zonenpolygone	130
7	Anbindungen und Kenngrößen	132
7.1	Überblick	132
7.2	Berechnung der Zonenschwerpunkte	135
7.3	Generierung der Anbindungen Strasse und ÖV	136
7.4	Plausibilisierung von Kenngrößen	138
8	Fazit	150
Anhang		151
	Benutzerdefinierte Attribute MIV	152
	Prüfung Abbiegeinformationen TomTom (Beispiele)	154
	Benutzerdefinierte Attribute ÖV Strecken	155
	Benutzerdefinierte Attribute ÖV Knoten	155
	Einstellungen „ÖV-Angebot aus VISUM importieren“	157
	Übersicht der singulären Verkehrserzeuger	160
	Zonen mit manueller Erstellung oder Korrektur der MIV Anbindung	162
	Zonen ohne ÖV Anbindung	163
	Liste der übergebenen Skripte und Dokumentationen	165
	Liste der übergebenen Datensätze	169

Zusammenfassung

Ziel der Arbeiten war die Bereitstellung der Grundlagen im Bereich von Verkehrsnetzen und Verkehrszonen zur Modellierung des nationalen Personenverkehrs. Das Projekt liefert damit wesentliche Inputs für die Erstellung des neuen nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) des UVEK. Im öffentlichen Verkehr waren verschiedene Netze der öffentlichen Verkehrsmittel zusammenzuführen und Fahrplanangebote zu integrieren. Im Strassenverkehr war das Navigationsnetz der Firma TomTom für Zwecke der Verkehrsmodellierung aufzubereiten. Die Zonenstruktur war neu zu erstellen unter Einhaltung der Vorgabe, dass die neue Zonenstruktur zur bisherigen Struktur zusammenfassbar ist.

Im Ergebnis liegt mit dem Projekt für den öffentlichen Verkehr ein integriertes ÖV-Angebotsmodell mit Stand 2015 vor, welches für den Schienenfernverkehr im In- und Ausland das Angebot gemäss SBB-Systemfahrplan abbildet und zusätzlich alle städtischen und regionalen, öffentlichen Verkehrsangebote gemäss HAFAS-Fahrplan beinhaltet. Die Übergänge zwischen den ÖV-Angeboten wurden im Netzmodell über das Einfügen entsprechender Netzelemente physisch hergestellt und die zeitlichen Übergänge validiert. Ergänzend wurde ein Prognosezustand des SBB-Systemfahrplans mit Horizont 2030 integriert. Hinsichtlich der Infrastruktur wurde das BAV-Schienennetz zu Grunde gelegt und erweitert, so dass die Routingfähigkeit der Schienenverkehrsangebote gewährleistet wurde. Zusätzlich erfolgte ein Routing der Busangebote auf dem Strassennetz.

Die Aufbereitung des Strassennetzes für einen Stand 2016 erfolgte ebenfalls mit dem Ziel ein für die Verkehrsmodellierung routingfähiges Netz bereitzustellen. Dazu wurden u.a. Verkehrssysteme und Streckentypen definiert, die Anzahl Fahrstreifen und Streckenkapazitäten bestimmt, Modellgeschwindigkeiten unter Verwendung von TomTom-Speed-Profile-Daten ermittelt und Abbiegebeziehungen festgelegt. Abschliessend erfolgte eine Netzausdünnung und Netzvereinfachung. Mit dem Projekt liegt ein schweizweites, validiertes und routingfähiges Strassennetz für die zukünftige Modellierung im neuen NPVM vor.

Des Weiteren lieferte das Projekt eine neue, detaillierte Zonenstruktur für das zukünftige Verkehrsmodell. Dazu wurden unter Verwendung vielfältiger Eingangsdaten (Infrastrukturnetze, Gewässergrenzen, Bauzonen und Strukturdaten von Bevölkerung und Beschäftigten) die bisherigen 2949 Verkehrszonen auf 7970 disaggregiert. Es wurde im GIS ein Verfahren entwickelt und angewendet, das basierend auf automatisch erzeugten Ausgangszonen, eine manuelle Festlegung der Zonen ermöglichte. Für die manuelle Bearbeitung wurden Regeln definiert, die ein schweizweit harmonisiertes Vorgehen bei der Zonenerstellung sicherstellten. Ergänzend wurden besonders verkehrsintensive Einrichtungen als eigene Zonen festgelegt.

Die Verkehrszonen wurden in die Angebotsmodelle für Strasse und ÖV jeweils integriert und unter vereinfachten Annahmen angebunden. Abschliessend wurde der Netzzusammenhang geprüft und die Validität der Angebotsmodelle über die Erstellung von verschiedenen Kenngrössenmatrizen nachgewiesen.

Résumé

L'objectif des travaux était de fournir des bases dans le domaine des réseaux de transport et des zones de trafic en vue de la modélisation du trafic voyageurs national. Le projet propose ainsi des résultats essentiels pour élaborer le nouveau Modèle national du trafic voyageurs (MNTP) du DETEC. Concernant les transports publics, il s'est agi de regrouper les réseaux de différents moyens de transport et d'intégrer l'offre des horaires des transports publics. Pour le trafic routier, il a fallu préparer le réseau de navigation de l'entreprise TomTom en vue de la modélisation du trafic. Il s'agissait également de créer une nouvelle structure des zones de trafic, en tenant compte du fait qu'elle devait être compatible avec celle en vigueur jusqu'à présent.

En fin de compte, le projet fournit un modèle d'offres de transports publics intégré (état 2015), qui représente l'offre pour le transport ferroviaire longue distance en Suisse et à l'étranger conformément à l'horaire systématique des CFF et englobe en outre toutes les offres urbaines et régionales de transports publics répertoriées dans l'horaire HAFAS. Les transferts entre les offres de transports publics ont été physiquement reproduits dans le modèle de réseau en insérant des éléments de réseau correspondants et en validant le temps consacré à ces transferts. Un état de référence de l'horaire systématique des CFF à l'horizon 2030 a en plus été intégré. Au niveau de l'infrastructure, le réseau ferroviaire de l'OFT a servi de référence et élargi de sorte que la capacité de routage de l'offre en matière de transports ferroviaires soit garantie. On a également procédé à un routage de l'offre en autobus sur le réseau routier.

La préparation du réseau routier reflétant la situation de 2016 s'est également faite dans l'optique de fournir un réseau apte pour le routage lié à la modélisation du trafic. Pour ce faire, chaque tronçon s'est vu attribué les systèmes de transport, un type de route, un nombre de voies, une capacité et une vitesse (selon les données TomTom – speed profiles) et les possibilités de tourner. Il en résulte une clarification et une simplification du réseau. Le projet fournit un réseau routier apte pour le routage et valable dans toute la Suisse pour la future modélisation dans le nouveau MNTP.

Le projet a également permis de créer une nouvelle structure détaillée des zones pour le futur modèle de transport. En recourant à différentes données (réseaux d'infrastructures, zones à bâtir et données structurelles concernant la population et la population active) il a été possible de désagréger les 2949 zones de trafic actuelles en 7970. Un processus a été développé et utilisé dans le SIG, permettant de délimiter manuellement les zones sur la base des zones de départ produites automatiquement. Le traitement manuel suit des règles définies pour garantir

un processus d'élaboration des zones harmonisé à l'échelle de la Suisse. En complément, des installations générant un trafic important ont été définies en tant que zones propres.

Les zones de trafic ont été intégrées et connectées aux modèles d'offre pour la route et les transports publics en utilisant des hypothèses simplifiées. Finalement la cohérence du réseau a été vérifiée et la validité des modèles d'offre a été attestée via l'utilisation de matrices de chiffres clés (distance, temps, nombre de transferts).

Riassunto

L'obiettivo dei lavori era approntare delle basi nell'ambito delle reti di trasporto e delle zone di traffico per la modellizzazione del traffico viaggiatori nazionale. Il progetto fornisce numerosi stimoli alla creazione del nuovo modello nazionale del traffico viaggiatori (MTVN) del DAT-EC. Nel settore dei trasporti pubblici c'era la necessità di armonizzare diverse reti e di integrare l'offerta di trasporti pubblici, mentre, per quanto riguarda il traffico stradale, andava elaborata la rete di navigazione per la società TomTom per scopi legati alla modellizzazione del traffico. Inoltre, la struttura a zone doveva essere ridisegnata, tenendo a mente che la nuova struttura deve essere compatibile con la precedente.

Il risultato è un progetto per il trasporto pubblico con un modello di offerta di trasporti integrato (stato 2015) che rappresenta l'offerta per il trasporto ferroviario a lunga distanza in Svizzera e all'estero conformemente all'orario sistematico delle FFS. Tale modello include anche l'intera offerta di trasporti pubblici regionali e cittadini HAFAS. Nel modello di rete sono stati creati degli elementi costruttivi con funzione di raccordo tra i diversi mezzi di trasporto pubblici i cui tempi di percorrenza sono stati verificati e convalidati. Inoltre la previsione dell'offerta di trasporti pubblici sistematica FFS è stata integrata con l'orizzonte 2030. Per quanto riguarda l'infrastruttura, si è presa come base la rete ferroviaria UFT, che è stata ampliata al fine di garantire la capacità di instradamento dell'offerta del traffico ferroviario. È stato inoltre effettuato un instradamento dell'offerta di autobus sulla rete stradale.

La rete stradale aggiornata al 2016 è stata anch'essa elaborata per predisporre una rete per la modellizzazione del traffico pronta all'instradamento. Sono stati inoltre definiti sistemi di trasporto e tipi di tragitti nonché un numero di corsie e capacità delle tratte. Usando i dati dei TomTom Speed-Profile sono state determinate le velocità modello e fissate le possibilità di svolta dei veicoli. La rete è stata infine snellita e semplificata. Il progetto propone una rete stradale nazionale convalidata e pronta per l'instradamento per la futura modellizzazione nel nuovo MTVN.

Il progetto ha inoltre fornito una struttura nuova e dettagliata a zone per il futuro modello di traffico. Utilizzando dati di diversa provenienza (reti infrastrutturali, limiti delle acque, zone edificabili e dati strutturali relativi alla popolazione e alla popolazione attiva), le precedenti 2949 zone di traffico sono state disaggregate in 7970. In seno al sistema di informazione geografica (SIG) è stato sviluppato e utilizzato un processo che permette di delimitare manualmente le zone basandosi su zone di partenza create automaticamente. L'elaborazione manuale di zone avviene sulla base di norme che garantiscono l'applicazione di un processo unitario a

livello nazionale. Si è inoltre proceduto all'identificazione di zone con una forte incidenza sul traffico che sono state indicate come zone a parte.

Le zone di traffico sono state inserite nel modello per strade e trasporti pubblici secondo ipotesi semplificate. Si sono infine valutate la coesione della rete e la validità del modello dell'offerta tramite l'elaborazione di diversi parametri indicatori.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) als Produkt der Verkehrsmodellierung im UVEK (VM-UVEK) beruht auf einem Basiszustand 2000, welcher für die Jahre 2005 und 2010 aktualisiert worden ist. Die aktuell gültige Version des Verkehrsmodells berücksichtigt die Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2010 sowie Raumstrukturdaten mit Stand 2010, basiert aber noch auf den ursprünglichen Zonen- und Netzstrukturen.

Eine Analyse¹⁾ der modelltechnischen Möglichkeiten der Weiterentwicklung des NPVM empfahl 2015, das NPVM als strategisches und makroskopisches Verkehrsmodell weiterzuentwickeln. Die Autoren fanden zahlreiche Gründe, die für eine grundlegende Erneuerung des NPVM anstelle einer Aktualisierung sprechen.

Dazu gehören auch die Zonen- und Netzstrukturen des NPVM. In einem ersten Schritt wird deshalb die Aufbereitung der Verkehrsnetze und Verkehrsangebote sowie die Verfeinerung der bestehenden Zonenstrukturen im Inland vorgenommen.

Zonenstruktur

In der Anwendung zeigte sich verschiedentlich, dass der räumliche Detaillierungsgrad des bestehenden NPVM 2010 limitierend wirkt. Die Varianz der Anzahl Einwohnerinnen und Einwohner sowie Beschäftigten innerhalb einer Verkehrszone ist gross. Die Grösse der Verkehrszonen, insbesondere in dichten Siedlungsräumen, führte zu einem hohen Anteil an Binnenverkehren, die nicht auf die Verkehrsnetze umgelegt wurden. Ein wesentliches Element des neuen NPVMs ist deshalb eine grössere Anzahl Zonen mit einer höheren räumlichen Homogenität.

Netzstruktur

Die Segmentierung des Verkehrsangebots reflektiert die Erhöhung des Detaillierungsgrades der Zonenstruktur. Grundlage für die Erstellung des neuen Strassennetzes ist das Navigationsnetz von TomTom, welches nur gezielt ausgedünnt wurde. Das Angebot des öffentlichen Verkehrs basiert auf dem Infrastrukturnetz des Bundesamtes für Verkehr (BAV), dem Systemfahrplan der SBB und dem HAFAS-Fahrplan für den weiteren öffentlichen Verkehr und umfasst damit neben der Schiene das gesamte Tram und Bus-Angebot in der Schweiz.

1) ARE (2015), Modelltechnische Möglichkeiten der Weiterentwicklung des nationalen Personenverkehrsmodells, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

1.2 Zentrale Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden die folgenden zentralen Produkte erarbeitet:

- ein Shape-File mit den 7'970 neuen Zonen (Schweiz) und Zonenschwerpunkten einschliesslich 50 Zonen für singuläre Verkehrserzeuger der Typen Einkauf, Freizeit und Flughäfen;
- eine VISUM-Version mit dem qualitätsgeprüften, attribuierten und (weitgehend) vollständigen Strassennetz für 2016 mit hohem Detaillierungsgrad sowie den neuen Zonen und Anbindungen gemäss Kapitel 7;
- eine VISUM-Version mit einem gemäss Kapitel 2.9.1 ausgedünnten Strassennetz für 2016 sowie den neuen Zonen und Anbindungen;
- eine VISUM-Version mit der vollständig gerouteten, fahrplanfeinen Abbildung des gesamten ÖV-Angebotes der Schweiz für das Jahr 2015 sowie den neuen Zonen und Anbindungen gemäss Kapitel 7;
- Verfahrensparameter zur Berechnung der Kenngrössen zu jeder VISUM Version;
- Skripte zur Aufbereitung der Daten gemäss Liste im Anhang.

Die Arbeiten und Modifikationen an den Grundlagendaten wurden systematisch dokumentiert. Der Nachvollzug aller realisierten Arbeiten ergibt sich aus dem vorliegenden Schlussbericht, den kommentierten Skripten und Programmen sowie aus den Produkten selbst (z.B. Attributlisten in den VISUM-Versionen).

1.3 Struktur des Berichts

Die Struktur des vorliegenden Berichts folgt den Arbeitspaketen für die Erstellung der neuen Zonenstruktur und der Verkehrsnetze. Die Aufbereitung des Strassennetzes ist in Kapitel 2 beschrieben. Die Aufbereitung des Netzes des öffentlichen Verkehrs (ÖV-Netz) ist in zwei Arbeitspaketen erfolgt. Die Aufbereitung des Bahnnetzes ist in Kapitel 3 und diejenige des Tram- und Busangebots in Kapitel 4 dokumentiert. In Kapitel 5 wird das Vorgehen zur Erstellung der Zonenstruktur erläutert. Die Herleitung der Singulären Verkehrserzeuger folgt in Kapitel 6. Die zum Abschluss des Projektes erfolgte finale Plausibilisierung der erzeugten Netze auf Grundlage eines vereinfachten Anbindungskonzepts und darauf berechneten Kenngrössen ist in Kapitel 7 beschrieben. Der Bericht schliesst mit einem Fazit in Kapitel 8.

Der vorliegende Bericht ist als technischer Bericht zu verstehen mit dessen Hilfe die erfolgten Arbeitsschritte vollständig nachvollzogen werden können. Der Detailgrad ist dementsprechend tief. Für einen Überblick über die Arbeiten je Arbeitspaket beginnt jedes Kapitel mit einer kurzen Zusammenfassung der Eingangsdaten, des Vorgehens und der Ergebnisse.

2 Strasse: Netz Schweiz

2.1 Überblick

Ziel

Das Ziel des Arbeitspakets «Strasse: Netz Schweiz» war aus einem qualitätsgeprüften und gegebenenfalls korrigierten, schweizweiten Navigationsnetz der Firma TomTom mit Stand Juni 2016 ein vereinfachtes, aber nur wenig ausgedünntes Strassennetz abzuleiten, das alle für die Verkehrsmodellierung relevanten Attribute enthält. Dazu gehört die Prüfung des TomTom-Netzes auf attributive Qualität (Vollständigkeit, Konsistenz und Genauigkeit/Aktualität), die Aufbereitung der Anzahl Fahrstreifen, die Definition der zugelassenen Verkehrssysteme, die Ermittlung der signalisierten und gefahrenen Geschwindigkeiten und die Ergänzung von Streckentypen, Kapazitäten und Abbiegebeziehungen. Abschliessend war die Durchgängigkeit des resultierenden Netzes zu prüfen und das Routing zu plausibilisieren.

Eingangsdaten

Für die Bearbeitung wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Daten verwendet:

Attribut	Quelle
Anzahl Fahrstreifen	TomTom-Netz 2011 und TomTom-Netz 2016
Functional Road Class	TomTom-Netz 2016
Signalisierte Geschwindigkeit	TomTom-Netz 2016
Tunnelstrecke	TomTom-Netz 2016
Zugelassene Verkehrssysteme	TomTom-Netz 2016
Speed-Profiles	TomTom-Netz 2016
Strasseneigentümer	MISTRA
SV-Anteil	NPVM 2010
Kanton	SwissBoundaries
Ortslage	EBP (basierend auf Siedlungsgebieten aus SwissNAMES ^{3D})
Steigung	Berechnung durch EBP (basierend auf TomTom-Netz 2016)
Kurvigkeit	Berechnung durch EBP (basierend auf TomTom-Netz 2016)
Siedlungsdichte	Berechnung durch EBP (basierend auf TomTom-Netz 2016)
Kreuzungsdichte	Berechnung durch EBP (basierend auf TomTom-Netz 2016)
Streckenlänge	TomTom-Netz 2016
Abbiegebeziehungen	TomTom-Netz 2016

Tabelle 1: Verwendete Attribute

Vorgehen

Die Aufbereitung des Strassennetzes erfolgte in neun Arbeitsschritten:

1. Eingangsprüfung TomTom-Netz;
2. Anzahl Fahrstreifen;
3. Verkehrssysteme;
4. Modellgeschwindigkeit;
5. Kapazitäten;
6. Abbiegebeziehungen;
7. Streckentypen;
8. Netzausdünnung und Netzvereinfachung;
9. Durchgängigkeit und Netzprüfung.

Da das neue Strassennetz im Wesentlichen auf dem Navigationsnetz der Firma TomTom aufbaut, wurde dieses Netz im ersten Schritt einer Eingangsprüfung unterzogen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Functional Road Classes (FRC), den signalisierten Geschwindigkeiten, der Abbildung der Tunnelstrecken und den Streckenlängen. In einem zweiten Schritt wurden die Fahrstreifeninformationen im TomTom-Netz 2016 mit denen vom ARE korrigierten Fahrstreifeninformationen aus dem TomTom-Netz 2011 abgeglichen. Ziel dieser Arbeiten war der Übertrag der korrekten Fahrstreifenanzahl auf den Netzzustand 2016. In einem dritten Schritt wurden die Verkehrssysteme auf Grundlage der in TomTom hinterlegten Vehicle Type Restrictions zugewiesen. Für die Bestimmung der Modellgeschwindigkeiten (v_0 , Schritt 4) wurden TomTom Speed-Profiles aufbereitet und zwei Klassifikationsmodelle geschätzt, eines unter der Annahme, dass die Modellgeschwindigkeit nicht grösser sein kann als die signalisierte Geschwindigkeit und eines unter Ablehnung dieser Annahme. In Schritt fünf wurden basierend auf den Schweizer Normen für Kapazitäten auf Autobahnen und Hauptverkehrsstrassen die Kapazitäten der Strecken bestimmt. Anschliessend wurden die Abbiegebeziehungen unter Berücksichtigung der nach Richtung zugelassenen Verkehrssysteme der Strecken sowie der Abbiegeverbote aus dem TomTom-Datensatz erzeugt und plausibilisiert (Schritt 6). Für die Streckentypen (Schritt 7) wurden aufgrund der Beschränkung der Anzahl Streckentypen in VISUM (auf maximal 100) zwei Varianten ermittelt und den Strecken zugewiesen: Die erste Variante ohne Berücksichtigung des Einflusses der Kurvigkeit und Steigung auf die Kapazität und die zweite unter Berücksichtigung dieses Einflusses. Anschliessend wurde in Schritt 8 das Netz bereinigt. Dabei wurden doppelte Strecken und Schleifen umkodiert, Strecken ausgedünnt und Pseudoknoten – Knoten, die weder Kreuzungen noch einen Wechsel in mindestens einem der relevanten Attribute darstellen – entfernt. Im letzten Schritt wurde die Konsistenz des Netzes mittels der VISUM-Netzprüfung und einer Plausibilisierung der Reisezeiten nachgewiesen.

Die Bearbeitung erfolgte in VISUM 15. Zur Sicherstellung eines Rückbezugs vom VISUM-Netz auf das TomTom-Netz wurden die im TomTom-Navigationsnetz verwendeten eindeutigen IDs im VISUM-Netz als benutzerdefiniertes Attribut hinterlegt.

Ergebnisse

Das Ergebnis des Arbeitspakets «Strasse: Netz Schweiz» ist ein qualitätsgeprüftes, attribuiertes und (weitgehend) vollständiges Strassennetz mit hohem Detaillierungsgrad für die Modellierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) im neuen NPVM.

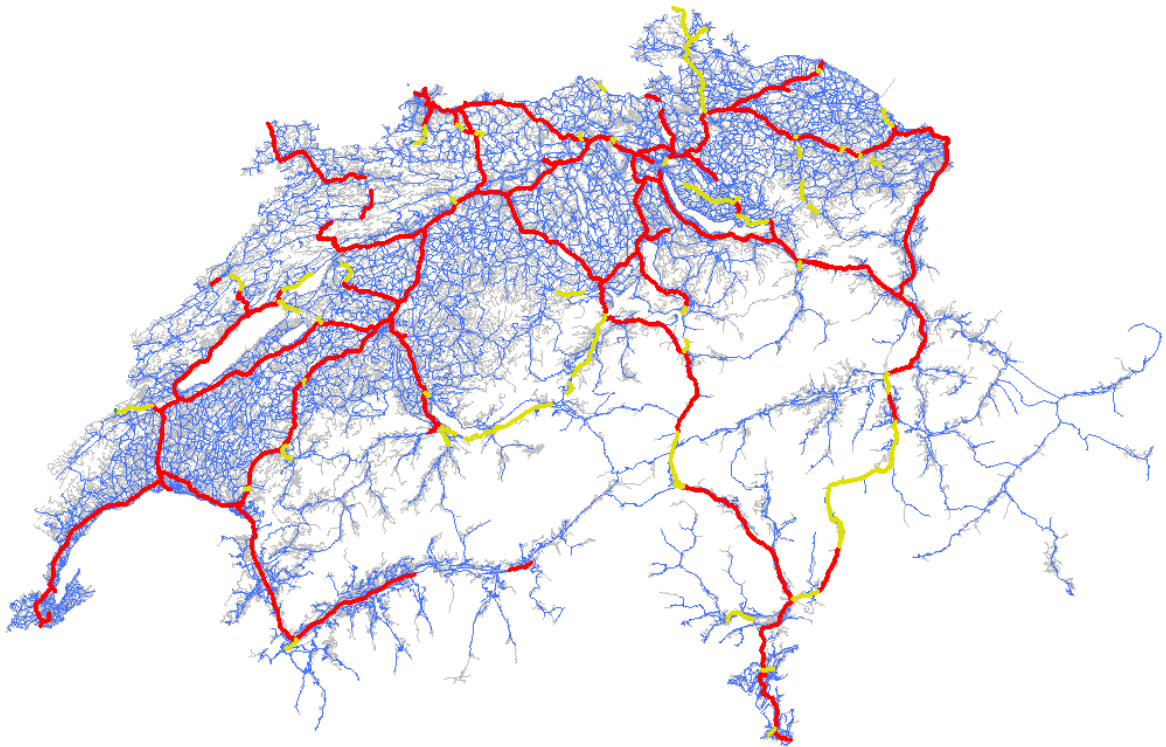


Abbildung 1: Resultierendes Streckennetz nach Obertyp (Rot: Autobahn, Gelb: Autostrasse, Blau: Hauptverkehrsstrasse, Grau: Übrige Strassen)

2.2 Eingangsprüfung TomTom-Netz

Im Rahmen der Eingangsprüfung wurde das TomTom-Netz auf seine attributive Qualität (Vollständigkeit, Konsistenz und Genauigkeit/Aktualität) geprüft. Die Qualität des Netzes wurde grundsätzlich in drei Datenqualitätsdimensionen geprüft:

- Tests auf **attributive Vollständigkeit** prüfen, ob für die zu testenden Attribute an allen Links Daten-Werte vorliegen bzw. für wie viele Links keine Daten-Werte vorliegen (etwa <NULL>, <NODATA>) bzw. Dummy-Werte (wie 0, -1, -9999).

Für die Prüfung der Vollständigkeit der Attribute werden die vorhandenen Werte bzw. Ausprägungen jeweils im gesamten Datensatz analysiert und mit der Attributdefinition bzw. den vorhandenen Metadaten verglichen. Aus diesen Analysen wird ersichtlich,

welche Attribute wie viele fehlende Werte oder Dummy-Werte enthalten. Zusätzlich werden diese Werte in ihrer räumlichen Verteilung visualisiert und geprüft.

- Zweitens wird geprüft, ob die Daten **logisch konsistent**, d.h. in sich selbst stimmig sind. Tests auf logische Konsistenz prüfen, ob „Gleiches gleich“ attribuiert wird, also ob eine Ausprägung eines Werts einer erwarteten räumlichen Verteilung folgt (ein bestimmter Strassentyp sollte zum Beispiel nicht nur in einzelnen Landesteilen auftreten) oder ob die Attribuierung benachbarter Elemente konsistent ist (beispielsweise ist es wahrscheinlich, dass eine Modellgeschwindigkeit von 30 km/h zwischen zwei Abschnitten mit 120 km/h inkonsistent ist). Dazu werden ausgewählte Attributausprägungen räumlich visualisiert und geprüft, ob eine problematische räumliche Ungleichverteilung und/oder Inkonsistenz vorliegt. Inkonsistenzen werden mit stichprobenhaften räumlichen Selektionen und Visualisierungen untersucht: Gibt es zum Beispiel Segmente mit Modellgeschwindigkeit ≤ 50 km/h, die an Segmente von ≥ 100 km/h angrenzen?
- Schliesslich wird mit Referenzdaten stichprobenhaft die **Genauigkeit bzw. Aktualität der Daten** geprüft. Die verwendeten Referenzdaten sind in den jeweiligen Unterkapiteln beschrieben.

Im Detail wurden die folgenden Attribute betrachtet:

- Functional Road Class (FRC)
- Signalisierte Geschwindigkeit
- Tunnelstrecken
- Streckenlänge

Die Plausibilisierung der im TomTom-Netz hinterlegten Anzahl der Fahrstreifen, der zugelassenen Verkehrssysteme und der SpeedProfiles erfolgte in den entsprechenden Arbeitspaketen und ist in Kapitel 2.4, 2.6 und 2.7 beschrieben.

2.2.1 Functional Road Class (FRC)

Die Eingangsprüfung der FRC beinhaltet die folgenden Schritte:

- Visueller Vergleich der räumlichen Verteilung mit dem NPVM 2010;
- Überprüfung der Durchgängigkeit des Streckentyps 0 (Autobahnen);
- Verteilung der signalisierten Geschwindigkeit pro Streckentyp; Streckentypen mit tiefer ID müssen höhere Geschwindigkeiten aufweisen;
- Vergleich der aufsummierten Streckenlänge pro Streckentyp mit Kennzahlen aus anderen Quellen (ASTRA, Kantone), sofern vorhanden.

Visueller Vergleich der räumlichen Verteilung der FRC mit dem NPVM 2010

Im TomTom Netz sind Strecken in 8 Functional Road Class (FRC) kategorisiert. Die Anzahl Strecken je FRC ist in Abbildung 2 dargestellt.

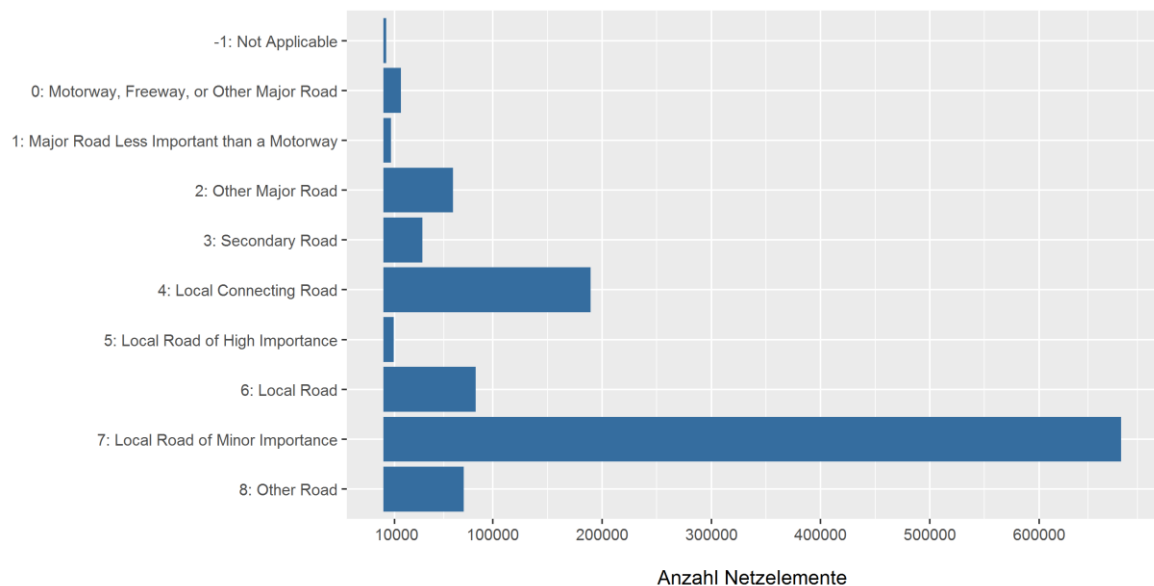


Abbildung 2: Anzahl Netzelemente pro TomTom-Streckentyp im Navigationsnetz 2016

Diese FRC wurden mit den Streckentypen des NPVM 2010² (siehe Abbildung 3) qualitativ verglichen. Ein direkter Vergleich ist nur bedingt möglich, da die Streckentypen im NPVM 2010 keinen Bezug zu den FRC ausweisen. Generell ist der Vergleich aber angebracht, um das übergeordnete Netz, also Nationalstrassen und Hauptstrassen, abzugleichen. Im NPVM 2010 sind diese Strecken hauptsächlich rot-gelb³ (—) und teilweise violett⁴ (—) visualisiert (rechts in Abbildung 3). Gemäss Definition der FRC sind Strassen mit einer kleinen FRC solchen mit einer höheren FRC übergeordnet. Daher wird davon ausgegangen, dass im TomTom-Netz Autobahnen und Autostrassen vorwiegend mit FRC 0-1⁵ (d.h. die dunkel und hellrot visualisierten Strecken (—) links in Abbildung 3) und Hauptstrassen hauptsächlich mit FRC 2⁶ (orange Strecken (—) links in Abbildung 3) attribuiert wurden.

2 Vgl. ARE (2006): Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr, Modellbeschreibung; Tabelle 4, S. 15–16.

3 NPVM 2010–Streckentypen: «≤15» CH–Autobahn 80–120/1–2, «≤18» CH–Autostrasse 80–120/1, «≤36» AB schnell–langsam/national–regional, «≤42», CH– Autobahnanschluss, CH–Verbindungsstrasse, CH–Hauptverkehrsstrasse

4 NPVM 2010–Streckentypen: «≤40» CH–Hauptverkehrsstrasse, «≤47» L,B mittel–schnell/Fernstrasse, «≤61» CH–Alpine Hauptverkehrsstrasse– Alptransitstrasse, «≤80» CH Städtische Hauptverkehr

5 FRC0 ist definiert als «Motorway, Freeway, or other Major Road», FRC1 ist definiert als «A Major Road Less Important than a Motorway»

6 FRC2 ist definiert als «Other Major Road»

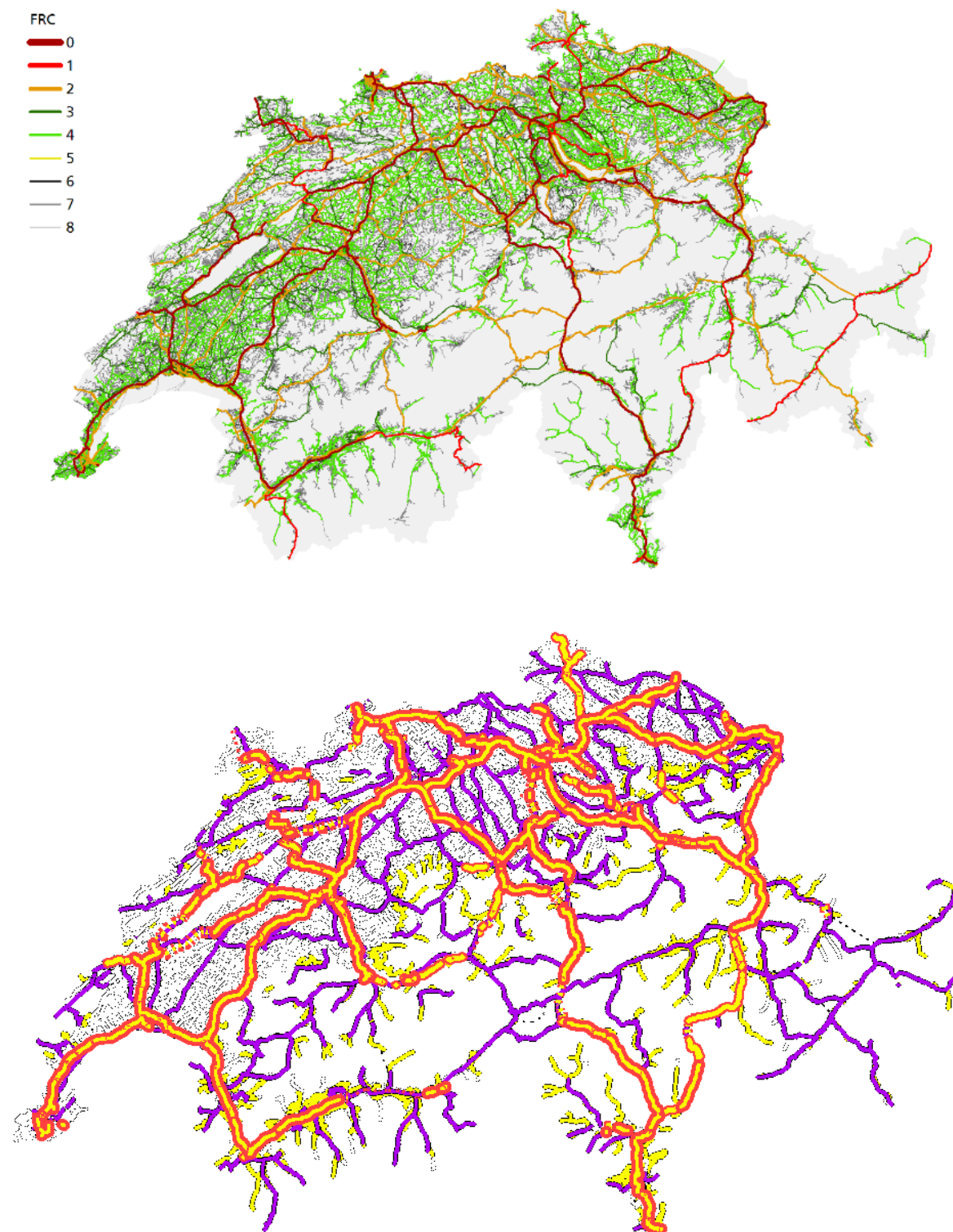


Abbildung 3: TomTom-Eingangsdaten FRC (oben) und Streckentypen NPVM 2010 (unten)

Der visuelle Vergleich zeigt, dass die beiden Netze diesbezüglich in den meisten Fällen übereinstimmen. Übereinstimmung heisst,

- FRC0-1 Strecken entsprechen den NPVM 2010 Streckentypen «≤15», «≤18», «≤36», «≤42»;
- FRC 2 Strecken entsprechen den NPVM 2010 Streckentypen «≤40», «≤47», «≤61», «≤80», «≤84», «≤87».

Auffällige Abweichungen wurden im TomTom-Netz markiert (siehe Abbildung 4).

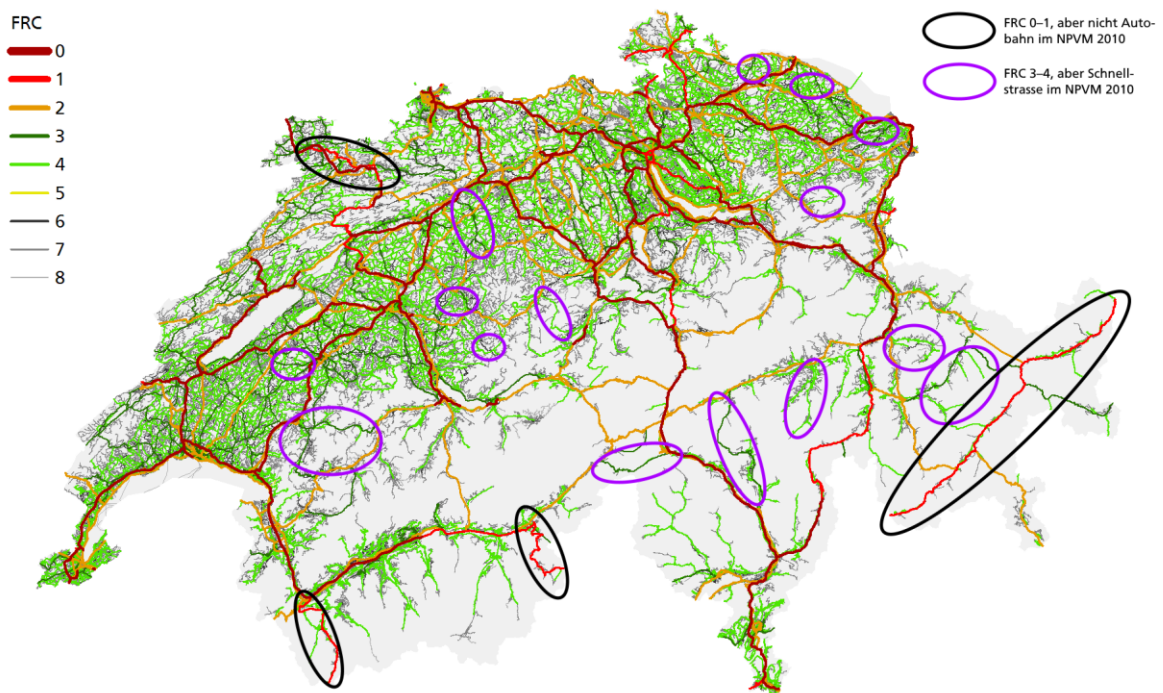


Abbildung 4: Auffällige Unterschiede NPVM 2010 und TomTom-Eingangsdaten

Schwarz umrundete Strassen sind Fälle, in denen FRC 0-1 Strecken im TomTom-Netz im NPVM 2010 Netz nicht als Autobahn klassiert wurden. Es handelt sich dabei um Hauptstrassen mit wichtiger Verbindungsfunktion (z.B. die E21 bei Martigny oder die Verlängerung der A9 südlich von Brig). Diese sind aufgrund ihrer Verbindungsfunktion als FRC 1 klassiert. Die Klassifikation ist daher korrekt. Violett umrundete Strassen weisen auf Strecken hin, die im NPVM 2010 als Hauptstrasse eingetragen, im TomTom-Netz jedoch FRC 3-4 anstatt 2 sind.

Fazit:

Da die TomTom-Klassengrenzen nicht jenen der NPVM 2010 Streckentypen entsprechen, ist der Abgleich nur bedingt durchführbar. Grundsätzlich bilden die tiefen FRC-Klassen sehr gut das entsprechende übergeordnete Strassennetz ab.

Überprüfung der Durchgängigkeit des Streckentyps FRC 0

Die Durchgängigkeit des Streckentyps FRC 0 (Autobahnen) wurde visuell überprüft und Unsicherheiten wurden unter Zuhilfenahme von Google Maps geklärt. Ein Beispiel für eine solche Unsicherheit ist in Abbildung 4 visualisiert. Die A8 ist grundsätzlich als FRC 0 und mit zwei parallelen Strecken für Hin- und Rückrichtung codiert. Es gibt jedoch einen Abschnitt, mit FRC 1 und nur einer gemeinsamen Strecke für Hin- und Rückrichtung. Die Betrachtung des Abschnitts auf Google Maps ergab, dass es sich dabei um den Leimerntunnel handelt, in dem die Strecken im Tunnel nicht baulich getrennt sind. Daher ist er im Netz korrekterweise anders klassiert. Aus dieser und ähnlich gelagerten Überprüfungen leitete sich kein Bedarf für Korrekturen ab.

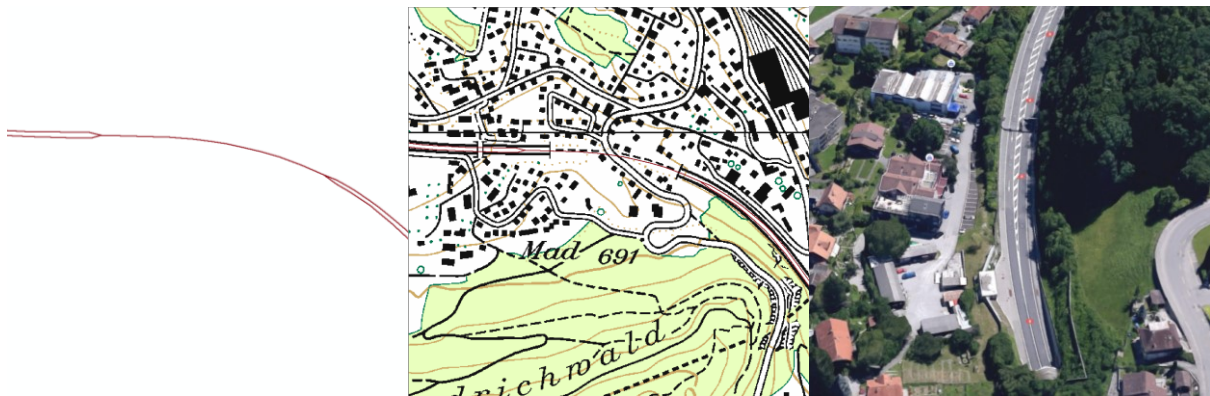


Abbildung 5: Unsicherheit der Durchgängigkeit bei Tunnel (repräsentatives Beispiel Leimerntunnel)

Fazit:

Die FRC 0 ist durchgängig und plausibel.

Verteilung der signalisierten Geschwindigkeit pro FRC

Es wird erwartet, dass Streckentypen mit tiefer FRC eine hohe Geschwindigkeit aufweisen. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde eine Kreuztabelle der signalisierten Geschwindigkeiten nach FRC erstellt (Tabelle 2). Grundsätzlich ist die Verteilung der signalisierten Geschwindigkeiten pro FRC plausibel. Auffällig sind die Strecken mit einer FRC von zwei oder höher und einer hohen signalisierten Geschwindigkeit (rot eingefärbt in Tabelle 2).

		Signalisierte Geschwindigkeit (SPEED)											
		5	10	20	25	30	40	50	60	70	80	100	120
FRC	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	51	50	436	24	2'663	4425	8'163
	1	0	0	7	0	6	65	2351	716	49	2'459	991	30
	2	0	0	23	0	131	455	31'192	1'2800	725	14'003	937	1'277
	3	0	0	51	0	205	305	20'046	4'769	304	8'666	194	256
	4	4	5	313	8	8'245	5'931	108'787	11'557	630	52'223	274	287
	5	0	0	64	0	1'836	140	6'679	149	0	302	6	3
	6	0	0	52	0	2'217	119	65'631	99	4	16'103	1	0
	7	0	138	521	0	8'133	405	458'546	232	40	195'572	15	11
	8	0	0	5	0	71	3	17	0	0	9	0	0

Tabelle 2: Kreuztabelle der signalisierten Geschwindigkeit nach FRC

Stichprobenbetrachtungen von etwa 30 Strecken mit $FRC \geq 2$ und mit einer signalisierten Geschwindigkeit von 120 km/h haben ergeben, dass es sich in diesen Fällen meist um Autobahnauffahrten bzw. -ausfahrten handelt. Ein Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 6: Visualisierung einiger $FRC \geq 2$ und $Speed = 120$ km/h, türkis gefärbt

Dies trifft in den meisten Fällen auch für Stichproben mit $FRC \geq 2$ und einer signalisierten Geschwindigkeit von 100 km/h zu. Lediglich eine der betrachteten Stichproben zeigte eine Strasse, die sich nicht in Autobahnnähe befindet (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Beispiel Autobahnauffahrt $FRC \geq 2$ und $Speed = 100$ und Beispiel $FRC \geq 2$ und $Speed = 100$ ohne Autobahnnähe⁷, türkis gefärbt

Fazit

Hohe FRC mit signalisierter Geschwindigkeit ≥ 100 sind meist Autobahnausfahrten und -auf-fahrten. Nur in sehr wenigen Fällen der betrachteten Stichproben waren Strecken mit hoher FRC und signalisierter Geschwindigkeit ≥ 100 nicht in Autobahnnähe. Aufgrund der oben be-schriebenen Beobachtungen wurden die signalisierten Geschwindigkeiten per Annahme wie folgt korrigiert:

1. $FRC \geq 2$ und $SPEED = 80$ sowie innerorts: $SPEED$ wird auf 70 km/h gesetzt
2. $FRC \geq 2$ und $SPEED \geq 100$ und innerorts: $SPEED$ wird auf 80 km/h gesetzt (siehe Tabelle 3)
3. $FRC \geq 2$ und $SPEED \geq 100$ und ausserorts: $SPEED$ wird auf 80 km/h gesetzt (siehe Tabelle 4)

Nach der Korrektur der signalisierten Geschwindigkeiten war lediglich die Plausibilität einiger weniger Beobachtungen der Kreuztabelle FRC – signalisierte Geschwindigkeit (ausserorts) mit sehr tiefen Geschwindigkeiten zu prüfen (rote Zahlen in Tabelle 3). Die manuelle Überprüfung ergab, dass diese Kombinationen durchaus in der Realität auftreten können (z.B. Hofeinfahrt ausserorts, Autobahnauffahrten/-ausfahrten) und somit nicht grundsätzlich unplausibel sind.

⁷ FRC5 SPEED100, FRC7 SPEED 100 (17560000236730), FRC7 SPEED 100 (17560000013337).

		korrigiert signalisierte Geschwindigkeit ausserorts (SPEED)											
FRC		5	10	20	25	30	40	50	60	70	80	100	120
	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	51	50	436	24	2'663	4'425	8'163
	1	0	0	7	0	6	65	2'351	716	49	2'459	991	30
	2	0	0	8	0	9	181	305	2'634	184	8'793	0	0
	3	0	0	3	0	6	28	235	968	62	5'687	0	0
	4	0	1	17	8	98	462	2'512	2'913	159	31'426	0	0
	5	0	0	0	0	2	0	30	37	0	106	0	0
	6	0	0	0	0	22	3	579	18	1	8'788	0	0
	7	0	0	1	0	108	53	6'817	52	14	99'155	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 3: Kreuztabelle der korrigierten signalisierten Geschwindigkeit ausserorts nach FRC

Innerorts zeigt die Kreuztabelle, dass sämtliche Strecken mit einer Geschwindigkeit > 80km/h korrigiert wurden.

		korrigiert signalisierte Geschwindigkeit Innerorts (SPEED)											
FRC		5	10	20	25	30	40	50	60	70	80	100	120
	-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
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	15	0	122	274	30887	10166	6933	1032	0	0
	3	0	0	48	0	199	277	19811	3801	3511	160	0	0
	4	4	4	296	0	8147	5469	106275	8644	21598	231	0	0
	5	0	0	64	0	1834	140	6649	112	196	9	0	0
	6	0	0	52	0	2195	116	65052	81	7318	1	0	0
	7	0	138	520	0	8025	352	451729	180	96454	23	0	0
	8	0	0	5	0	71	3	17	0	9	0	0	0

Tabelle 4: Kreuztabelle der korrigierten signalisierten Geschwindigkeit innerorts nach FRC

Vergleich der aufsummierten Streckenlängen pro Streckentyp mit Kennzahlen aus anderen Quellen

Zum Vergleich der Streckenlängen der FRC 0-Strecken mit der Länge der Nationalstrassen wurde in einem ersten Schritt die Streckenlängen differenziert nach FRC aufsummiert. Anschliessend wurden Infrastruktur- und Streckenlängenangaben des BFS (2014, siehe Fussnote 8) zum Vergleich hinzugezogen. Dabei ist zu beachten, dass Strecken mit richtungsgetrennten Fahrbahnen im TomTom-Netz in der Regel als zwei getrennte Strecken (eine je Richtung) abgebildet werden. Somit werden für diese Strecken die doppelten Streckenkilometer ausgewiesen. Dies betrifft insbesondere Strecken der FRC 0. In der Statistik des BFS werden hingegen beide Fahrtrichtungen als eine Strecke betrachtet.

FRC	Länge in km	Jahr
-1	120	2015
0	3'245	2015
1	783	2015
2	4'983	2015
3	3'038	2015
4	17'843	2015
5	489	2015
6	7'208	2015
7	66'624	2015
8	6'684	2015
Total	111'017	2015

Tabelle 5: Streckenlängen nach FRC-Klassen

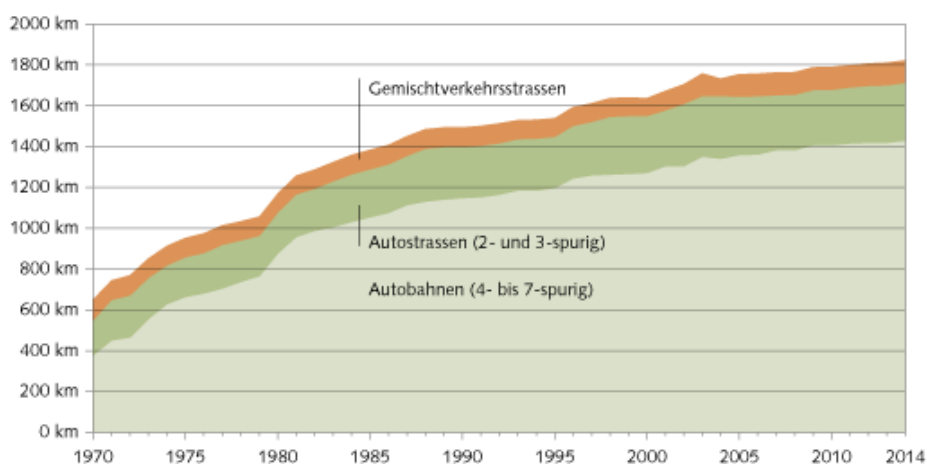


Abbildung 8: Nationalstrassenlänge⁸

Strassentyp	Länge in Km	Jahr
Nationalstrassen	1'823	2014
davon Autobahnen	1'429	2014
Kantonsstrassen	17'933	2014
Gemeindestrassen	51'797	2014
Total	71'553	2014

Tabelle 6: Kennzahlen Verkehrsinfrastruktur

8 Quelle: BFS (2015) Infrastruktur und Streckenlänge. Zuletzt abgerufen am 08.03.2017, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/streckenlaenge.html>.

Aufgrund der unterschiedlichen Streckendefinitionen im TomTom-Netz und in der Statistik des BFS ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Unter Beachtung der doppelt ausgewiesenen TomTom-Längen für Strecken mit richtungsgetrennten Fahrbahnen liegt die Länge der FRC 0 Strecken bei 1'600 km und damit zwischen der vom BFS ausgewiesenen Länge für Autobahnen und Nationalstrassen. Dies ist grundsätzlich plausibel.

Insgesamt sind im TomTom-Netz mehr Streckenkilometer erfasst als in der Statistik des BFS. Da das TomTom Netz teilweise auch Fuss- und Velowege abbildet entspricht dies den Erwartungen.

Fazit:

Die Datengrundlage erlaubt nur eine eingeschränkte Plausibilisierung. Die Gesamtlänge der FRC 0-Strecken ist grundsätzlich plausibel. Das TomTom-Netz umfasst erwartungsgemäss mehr Streckenkilometer als die Statistik des BFS.

2.2.2 Signalisierte Geschwindigkeit

Ergänzend zur Kreuztabellierung der signalisierten Geschwindigkeiten mit der FRC und der Ortslage in Kapitel 2.2.1 wurden die folgenden Plausibilisierungen vorgenommen:

- Visuelle Überprüfung anhand der räumlichen Verteilung. Entlang der Autobahnen sind Geschwindigkeiten von 80 bis 120 km/h zu erwarten, in den Städten < 60 km/h. Auffällige Geschwindigkeitsbrüche (z.B. zwischen zwei 60 km/h-Strecken eine 30 km/h-Strecke) werden überprüft.
- Boxplot des Freeflow-Speed gemäss Speed-Profile nach signalisierter Geschwindigkeit. Es wird eine hohe Korrelation erwartet, die Freeflow Speed sollte aber generell kleiner als die signalisierte Geschwindigkeit sein.

Visuelle Überprüfung anhand der räumlichen Verteilung.

Ein Überblick über die räumliche Verteilung der Geschwindigkeiten ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Resultate deuten auf eine hohe Plausibilität der Daten hin: In den Ballungsräumen finden sich durchgängig Geschwindigkeiten ≤ 50 km/h, im übergeordneten Netz zwischen ca. 80-120 km/h, in den weiteren Räumen Geschwindigkeiten zwischen diesen oberen und unteren Werten.

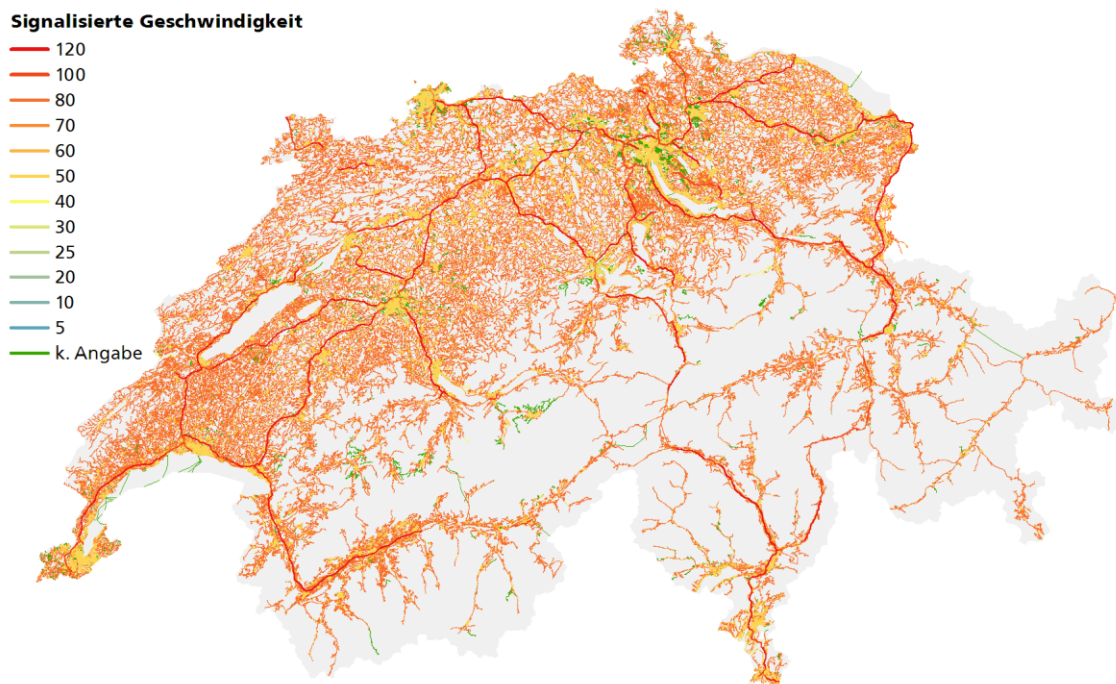


Abbildung 9: Räumliche Verteilung der signalisierten Geschwindigkeiten

Zusätzlich wurden für die signalisierten Geschwindigkeiten nach deren Korrektur in Abhängigkeit von der FRC flächendeckend grosse Sprünge ausgewiesen und stichprobenartig durch zufällige Auswahl von Sprüngen an verschiedenen Stellen in der Schweiz plausibilisiert. Insgesamt wurden 25 Fälle betrachtet mit Geschwindigkeitssprüngen zwischen 40km/h und 80km/h. Sämtliche betrachtete Sprünge sind nachvollziehbar. Hohe Geschwindigkeitssprünge (60-80km/h) in den signalisierten Geschwindigkeiten sind vor allem bei Autobahnausfahrten, die in einer Kurve liegen oder an Dorfrändern aufgrund des Wechsels innerorts–ausserorts zu finden.



Abbildung 10: Differenz 80km/h aufgrund einer Ausfahrt in einer Kurve (40km/h) anknüpfend an die Autobahn (120km/h).



Abbildung 11: Differenz 40km/h aufgrund des Wechsels von ausserorts zu innerorts



Abbildung 12: Differenz 60km/h aufgrund des Zolls



Abbildung 13: Differenz 55 km/h aufgrund von Hauseinfahrten

Boxplot des Freeflow Speed nach signalisierter Geschwindigkeit

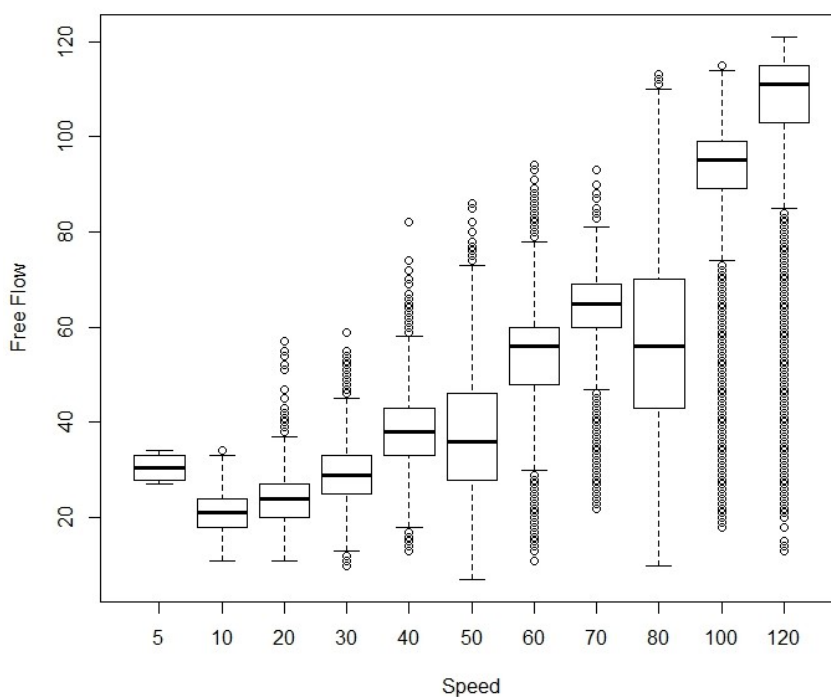


Abbildung 14: Boxplot des Freeflow Speed nach signalisierter Geschwindigkeit

Der Boxplot des Freeflow-Speed gemäss Speed-Profil («Freeflow») nach signalisierter Geschwindigkeit («Speed») in Abbildung 14 zeigt die erwartete hohe Korrelation zwischen der signalisierten und der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit im unbelasteten Netz. Der Median der gefahrenen Geschwindigkeiten liegt in der Regel unter der signalisierten Geschwindigkeit, wobei es grosse Unterschiede in der Streuung gibt. Eine Ausnahme bilden Strecken mit einer signalisierten Geschwindigkeit von maximal 20 km/h. Die gefahrene Geschwindigkeit liegt hier über der signalisierten Geschwindigkeit. Da die Stichprobe der Speed-Profil Daten

hier sehr klein ist, ist dies weniger aussagekräftig. Für diese Strecken wurde die Modellgeschwindigkeit in den folgenden Bearbeitungsschritten gleich der signalisierten Geschwindigkeit gesetzt.

Fazit

Unter Berücksichtigung der genannten Korrekturen sind die signalisierten Geschwindigkeiten plausibel. Einzelne lokale Fehler sind nicht vollends auszuschliessen aber vom Umfang und der Wirkung her vernachlässigbar.

2.2.3 Tunnelstrecken

Die Eingangsprüfung der Tunnelstrecken erfolgt durch eine visuelle räumliche Überprüfung der grössten Autobahntunnels (Baregg, Uetliberg, Gubrist etc.). Die Tabelle 7 zeigt sämtliche überprüfte Strassentunnel. Die Überprüfung, d.h. der Abgleich der Tunnel der TomTom-Netzdaten mit jenen von Google Maps, ergab keine Auffälligkeiten.

Name	Zusatz	Eröffnung	Länge
Gotthard	A2 Göschenen–Airolo	1980	16918
Seelisberg	A2 Beckenried–Seedorf UR	1980	9280
Kerenzerberg (2. Röhre)	A3 Weesen–Mühlehorn	1986	5760
Sachsln	A8 Umfahrung Sachsln	1997	5213
Islisberg	A4 Knonaueramt	2009	4950
Uetliberg	A3 Südumfahrung Zürich	2009	4410
Mont Terri	A16 St-Ursanne–Courgenay	1998	4078
Bözberg	A3 Schinznach Dorf–Effingen	1996	3702
Giessbach	A8 Brienz	1988	3340
Gubrist	A1/A4 Zürich Nordring	1985	3250
Raimeux	A16 Roches–Moutier	2007	3211
Belchen	A2 Egerkingen–Sissach	1970	3180
Pomy	A1	2001	3005
Arrissoules	A1	2001	2990
Gorgier	A5	2002	2720
Neuchâtel Est	A5, Neuchâtel	1993	2650
Flüelen	A4 Umfahrung Flüelen	2005	2593
Kirchenwald	A2 Hergiswil	2008	2500
Isla Bella	A13 Bonaduz–Rothenbrunnen	1983	2449
Küblis (im Bau)	A28 Umfahrung Küblis	2016	2255
Leissigen	A8 Umfahrung Leissigen	1994	2200

Name	Zusatz	Eröffnung	Länge
Vignes	A1 Münchenwiler–Courgevaux	1997	2180
Aescher	A3/A4 Westumfahrung Zürich	2009	2175
Crapteig	A13 Thusis–Rongellen	1996	2171
Pierre Pertuis	A16 Sonceboz–Tavannes	1997	2129
Giswil	A8 Umfahrung Giswil	2004	2066
Baregg	A1/A3	1970	1148

Tabelle 7: Überprüfte Strassentunnel

Fazit

Es wurden keine Auffälligkeiten bei den überprüften Tunneln gefunden.

2.2.4 Streckenlänge

Die Eingangsprüfung der Tunnelstrecken erfolgt durch einen Vergleich der in TomTom hinterlegten Streckenlängen mit den anhand der Geodaten berechneten geometrischen Längen. Von 1.15 Mio. Segmenten weisen lediglich 6 eine Differenz zwischen den beiden Längen auf, die 1m übersteigt. Der Mittelwert der Differenzen liegt bei -0.003663 Metern und die Standardabweichung bei 0.349 Metern.

Fazit

Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Polygonlängen und den Längen von TomTom festgestellt. Es werden daher die Polygonlängen verwendet, da diese auch bei späteren Netzanpassungen neu berechnet werden können.

2.3 Anzahl Fahrstreifen

Grundlage für die Bestimmung der Anzahl Fahrstreifen (≥ 2) war die Fahrstreifenangabe im TomTom-Netz 2016. Da die Prüfung der Anzahl Fahrstreifen im aktuellen Netz 2016 zeigte, dass die Datenlage immer noch nicht befriedigend ist, wurden die durch das ARE für das TomTom-Navigationsnetz Stand März 2011 korrigierten bzw. ergänzten Fahrstreifenangaben hinzugezogen. Wenn im Netz Stand 2011 Fahrstreifeninformationen vorhanden waren, wurden diese verwendet.

2.3.1 Übertragung der Fahrstreifenzahl aus dem Netz 2011

Die Übertragung von Angaben zur Fahrstreifenzahl aus dem Netz 2011 auf das Netz Stand Juni 2016 erfolgte teilautomatisiert. Da keine attributiven Bezüge zwischen den Netzen 2011 vorhanden sind, wurde der Bezug auf geometrischer Basis hergestellt.

Der räumliche Bezug zwischen dem TomTom-Netz 2011 und dem TomTom-Netz 2016 wurde mit ϵ -Bändern hergestellt. Dabei wurden die Strecken mit mehr als einem Fahrstreifen im Netz 2011 zuerst isoliert und dann vereinigt (Dissolve). Anschliessend wurden Strecken aus dem Netz 2016 extrahiert, die innerhalb von 100 Metern um die Strecken aus dem Netz 2011 liegen.

Mit den vereinigten Streckenzügen aus dem Netz 2011 wurden verschiedene Distanzwerte (ϵ -Werte) getestet: Die Streckenzüge wurden mit diesen Distanzen gepuffert und anschliessend wurde mittels räumlicher Selektion geprüft, wie viele bzw. welche Streckenzüge im Netz 2016 innerhalb der derart gepufferten Bereiche liegen. Die Distanz von 10 Metern erzielte eine gute Balance hinsichtlich des Zielkonflikts, alle Strecken 2016 abzudecken, die potenziell mehr als einen Fahrstreifen aufweisen (Minimierung der *False Negatives*), und nicht zu viele irrelevante Strecken 2016 zu tangieren (Minimierung der *False Positives*). Das räumliche Matching wurde dann mit 10 Meter Pufferdistanz über eine räumliche Abfrage mit topologischen Kriterien vollzogen.

Die Anzahl Fahrstreifen gemäss Netz 2011 wurde anschliessend als neues Attribut im Netz 2016 angelegt. Die Netze 2011 und 2016 weisen zum Teil deutliche geometrische, seltener auch topologische Abweichungen voneinander auf, weshalb eine signifikante manuelle Nachbearbeitung der übertragenen Fahrstreifendaten erfolgte. Abbildung 17 zeigt einige problematische Fälle, die manueller Eingriffe bedurften: Lageungenauigkeiten führen bei zwischen Fahrtrichtungen alternierendem Vorhandensein von zwei Fahrstreifen sehr häufig zu Fehlzubeisungen (Abbildung 17, oben). Stark unterschiedliche Geometrien z.B. im Kreisel oder auch auf der Autobahn führen bei Vorhandensein von parallel verlaufenden, oft kurz segmentierten Strassen häufig zu falschen Zubeisungen (*False Positives*) und/oder fehlenden Zubeisungen (*False Negatives*) (Abbildung 15, Mitte und unten).

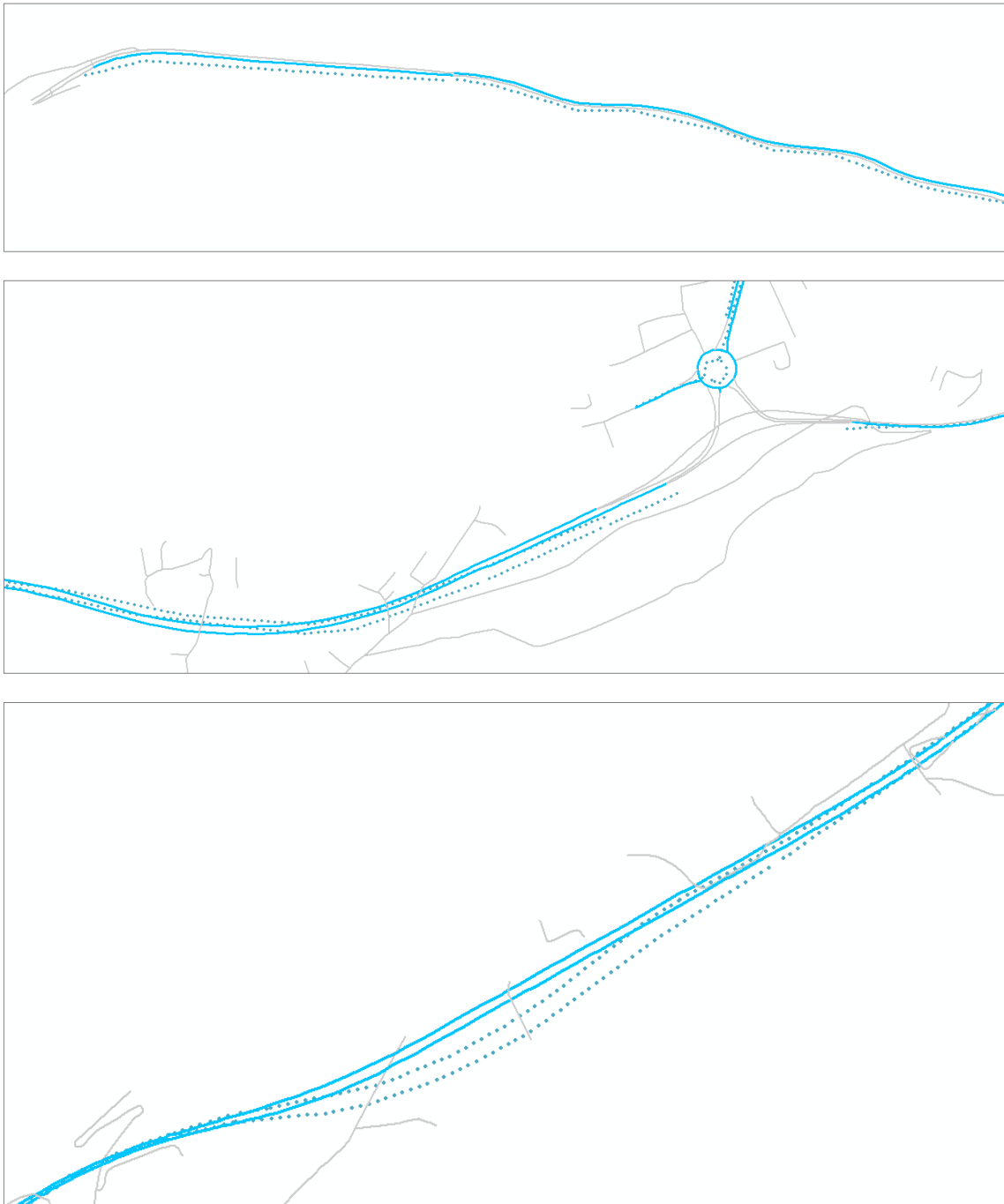


Abbildung 15: Strecken mit mehr als einem Fahrstreifen in blau (durchgezogene Linien: Netz 2016; punktierte Linien: Netz 2011)

2.3.2 Zusammenführung der Fahrstreifenangaben

Nach der Zuordnung der Fahrstreifen aus dem Netz 2011 verblieben im Netz etwa 53'600 Strecken, für die weder im Netz 2011 noch im Netz 2016 Fahrstreifenangaben vorliegen und ca. 6'800 Strecken für die im Netz 2011 keine Fahrstreifenangaben vorliegen, im Netz 2016 hingegen schon.

Anschliessend wurden daher für diese Strecken die Fahrstreifeninformationen der beiden Netze zum finalen Attribut Fahrstreifen kombiniert. Für Strecken mit fehlenden Angaben im Netz 2011 wurden Zuordnungsregeln definiert, die in Tabelle 8 zusammengefasst sind:

Netz 2011	Netz 2016	FRC	Fahrstreifen
Keine Angabe	Keine Angabe		1
Keine Angabe	1		1
Keine Angabe	> 1	0, 1	Netz 2016
Keine Angabe	> 1	> 1	1*
* Vorbehaltlich einer manuellen Prüfung längerer zusammenhängender Streckenabschnitte			

Tabelle 8: Regeln zur Zuordnung von Fahrstreifenangaben bei fehlenden Angaben

Für Strecken ohne Angaben in einem der beiden Netze wurde die Zahl der Fahrstreifen pauschal auf 1 gesetzt. Für Strecken, für die im Netz 2011 keine Angaben vorliegen und im Netz 2016 mit einem Fahrstreifen attribuiert sind, wurde die Angabe aus dem Netz 2016 übernommen. Strecken für die im Netz 2011 keine Fahrstreifenangaben vorliegen, im Netz 2016 aber zwei oder mehr Fahrstreifen ausgewiesen sind, wurden differenziert nach FRC betrachtet. Für Strecken mit FRC 0 oder 1 wurden die Fahrstreifenangaben aus dem Netz 2016 übernommen. Für Strecken mit FRC grösser als eins wurde für längere zusammenhängende Streckenabschnitte eine manuelle Plausibilisierung unter Zuhilfenahme von Orthofotos durchgeführt. Die Anzahl Fahrstreifen der übrigen Strecken dieser Kategorie wurde auf eins gesetzt, da eine stichprobenartige Überprüfung ergab, dass es sich zumeist um Spuraufweitungen vor Knoten handelt.

Abschliessend wurden die Fahrstreifenangaben für alle Strecken mit mehr als einem Fahrstreifen visuell mithilfe von diversen in der Darstellung optimierten Layern und Orthofotos überprüft. Diese Prüfung betraf die Qualität des Netzmatchings ebenso wie die Kontrolle der aus den beiden Netzen zusammengeführten Fahrstreifenangaben. Abbildung 16 zeigt einige Beispiele der optimierten Layer. Die Anwendung (Kombination/Überlagerung) dieser Darstellungen erfolgte je nach Bedarf dynamisch.



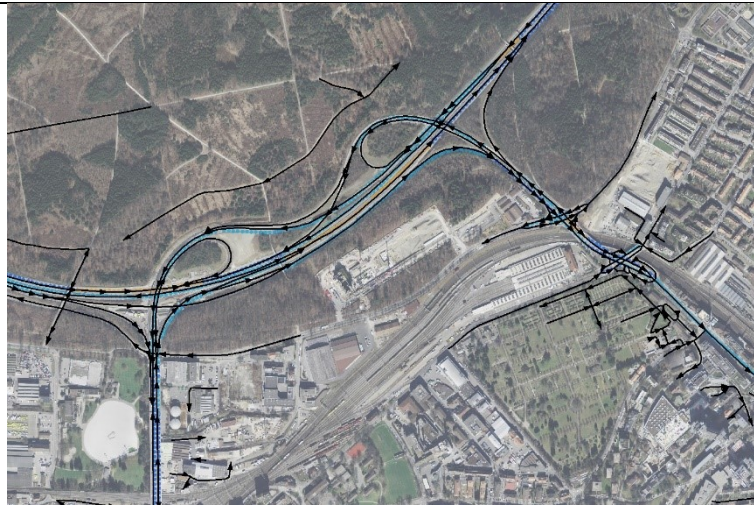
Überlagerung der beiden Netze als kontinuierliche Linien, nach Fahrstreifenanzahl visualisiert



Überlagerung der beiden Netze mit unterscheidbarer Darstellung, nach Fahrstreifenanzahl visualisiert, zum Teil attributiv gefiltert



Überlagerung der beiden Netze mit unterscheidbarer Darstellung, nach Fahrstreifenanzahl visualisiert, zum Teil attributiv gefiltert



Darstellung mit überlagerter Digitalisierungsrichtung, impliziter Fahrtrichtung



Hervorhebung einzelner Attributkonstellationen für die QS und/oder effiziente Behebung wahrscheinlicher Fehlzuordnungen, durch Visualisieren von mehrteiligen Attributkombinationen oder Anwendung attributbasierter Filter

Abbildung 16: Screenshots der verwendeten Darstellungen zur Plausibilisierung der Fahrstreifeninformationen

Im Rahmen dieser Überprüfung wurde zusätzlich die Aufteilung der Fahrspuren vor grossen Knoten adressiert. Im TomTom-Netz sind hier oft mehrere Fahrstreifen kodiert. Diese ins NPVM zu übernehmen, wurde für nicht sinnvoll befunden, da es zu einer Erhöhung der Streckenkapazität vor Knoten führt und im Modell damit zu sinkenden Aufwänden. In der Realität haben grosse Knoten jedoch tendenziell einen gegenteiligen Effekt im Sinne steigender Aufwände aufgrund von Wartezeiten an Lichtsignalanlagen oder beim Abbiegen. Da im neuen NPVM keine Knotenwiderstände dezidiert abgebildet werden wurden die Spuraufteilungen vor grossen Knoten nur dann übernommen, wenn nach dem Knoten die gleiche Anzahl Fahrspuren erhalten bleibt oder die Aufteilung vor dem Knoten länger als 250 Meter war.

Das Ergebnis der Fahrstreifenzuordnung ist in Abbildung 17 dargestellt.

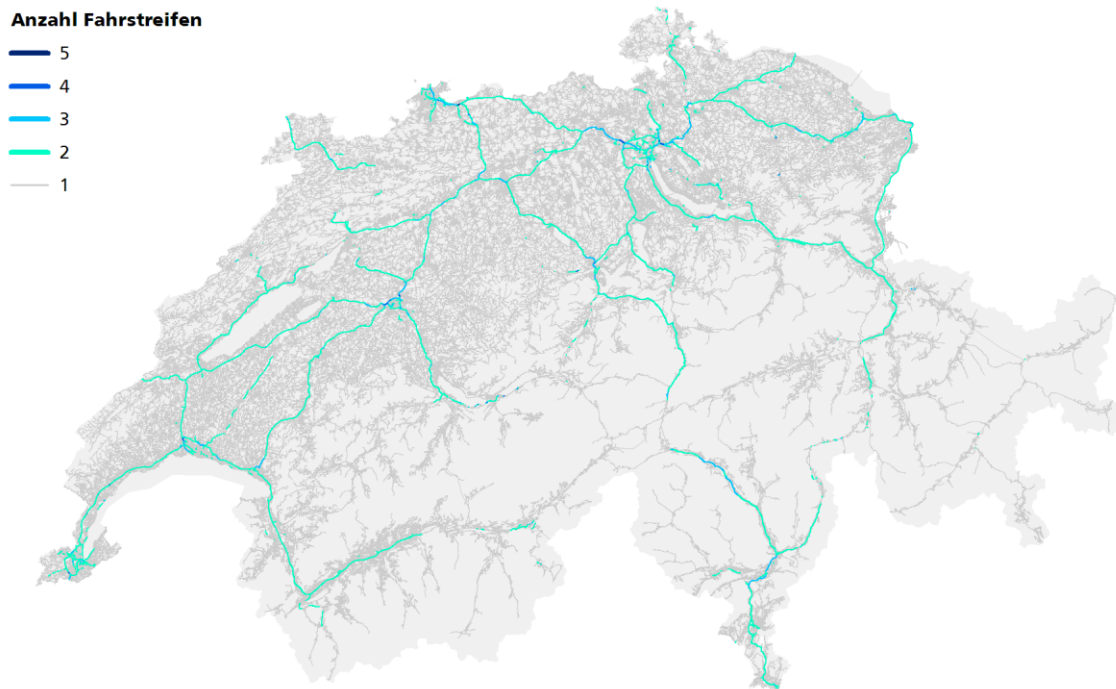


Abbildung 17: Anzahl Fahrstreifen je Strecke

2.4 Verkehrssysteme

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurden die zugelassenen Verkehrssysteme (MIV, ÖV, Fussverkehr, Velo, E-Bikes, Lieferwagen, Lastwagen/Lastzüge/Sattelzüge) pro Strecke definiert. Basis bildet der «Restriction Table» des TomTom-Netzes. Über das Attribut «VT: Vehicle Type» sind Angaben zu den nicht-zugelassenen Verkehrsmitteln einer Strecke verfügbar.

Zunächst wurde versucht, die Attribute des TomTom-Streckennetzes zu verwenden. Es zeigte sich jedoch (vgl. Tabelle 9) die limitierte Aussagekraft der verfügbaren Daten, welche die angestrebte Differenzierung nicht erlauben. Insbesondere fehlen Angaben zu den Verkehrssystemen Fussverkehr, E-Bikes, Lieferwagen und Lastwagen/Lastzüge/Sattelzüge. Zudem sind für das Schweizer Netz unter «Bicycle» keine Fahrverbote vorhanden.

Typ-Nr.	Restriction Vehicle Type (VT)
-1	Not Applicable
0	All Vehicle Types
11	Passenger Cars
12	Residential Vehicles
16	Taxi
17	Public Bus
24	Bicycle

Tabelle 9: Typisierung im TomTom-Netz

Es wurden daher nur die Restriktionen für alle Verkehrssysteme (0), PW (11) und Busse (17) berücksichtigt. Fahrverbote für Taxis (16) und PW von Anwohnern (12) werden vernachlässigt. Aufgrund dieser Datenlage werden die verfolgten Verkehrssysteme zu vier Kategorien vereinfacht:

- Bus (B)
- PW (P), inkl. Lieferwagen, Lastwagen/Lastzüge/Sattelzüge
- Velo (V), inkl. E-Bikes
- Fussverkehr (F)

Die Fahrverbote des TomTom-Netzes werden nach Richtung differenziert (vgl. Tabelle 10).

Typ-Nr.	Restriction Direction
-1	Keine Angabe, offen
1	In beide Richtungen gesperrt
2	In Erstrichtung gesperrt
3	In Gegenrichtung gesperrt

Tabelle 10: Typisierung im TomTom-Netz

Die Frage nach den zugelassenen Verkehrssystemen (Attribut VSysSet) einer Strecke kann nun gemäss Tabelle 14 für PW (P) und Busse (B) beantwortet werden. Hierbei ist die Orientierung der Strecke massgebend (VISUM: Erstrichtung TYP=0, Gegenrichtung TYP=1). Eine Strecke darf von einem PW befahren werden (zugelassen), sofern eine der Kombinationen gemäss Tabelle 11 gilt (für Busse: anstatt «Passenger Car» werden Fahrverbote für «Public Bus» verwendet). Dabei werden die Fahrverbote additiv betrachtet.

In Erstrichtung		In Gegenrichtung	
All Vehicle Types	Passenger Car	All Vehicle Types	Passenger Car
-1	-1	-1	-1
-1	3	-1	2
3	-1	2	-1
3	3	2	2

Tabelle 11: Anwendung der Attribute

Stichproben zeigen, dass die Fahrverbote der Strecken des TomTom-Netzes für die Verkehrssysteme PW (P) und Busse (B) Lücken aufweisen. In Bezug auf den PW wurden Strecken gefunden, die im TomTom-Netz als für PW befahrbar ausgewiesen sind, dies in der Realität jedoch nicht gegeben ist. Für Busse hingegen werden Strecken im TomTom Netz als nicht befahrbar ausgewiesen, auf denen in der Realität Buslinien verkehren.

Da keine Vergleichsdatenquelle zur Verfügung steht konnte diese Kontrolle nur unter Einbringung von Lokalkenntnissen erfolgen. Daher und aufgrund der Grösse des Netzes ist eine Abschätzung des Umfangs dieses Fehlers nicht möglich. Er beschränkt sich aber auf das untergeordnete Strassennetz, da auf dem HLS-Netz eine vollständige Plausibilisierung der zugelassenen Verkehrsmittel durchgeführt wurde.

In einem zweiten Schritt wird in Ergänzung zu den Verkehrssystemen gemäss TomTom-Daten Fuss- und Veloverkehr nur auf Hauptverkehrsstrassen und Übrigen Strassen zugelassen (vgl. Tabelle 12). Da der Streckentyp «Anschluss/Verzweigung» nur im Zusammenhang mit Autobahnen respektive Autostrassen definiert wurde, wird auf diesen Strassen kein Langsamverkehr zugelassen.

Streckentyp	P	B	V	F
Autobahn	x	x		
Autostrasse	x	x		
Anschluss/Verzweigung	x	x		
Hauptverkehrsstrasse	x	x	x	x
Übrige Strassen	x	x	x	x

Tabelle 12: Ergänzende Zuordnung der Verkehrssysteme

Ausgenommen von diesem Vorgehen ist das Verkehrssystem ÖV. Dieses wird nach der Erstellung des ÖV-Netzes zugewiesen. Wie in Kapitel 4 beschrieben wird bei der Ergänzung des BAV-Netzes um die notwendigen Strecken für Buslinien auf das MIV-Netz zurückgegriffen und eine Verknüpfung über die Strecken-IDs hergestellt. So können anschliessend die Strecken, die im ÖV-Netz verwendet werden, im MIV Netz für das Verkehrssystem ÖV freigegeben werden.

2.5 Modellgeschwindigkeiten

Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten erfolgte keine finale Zuweisung der Modellgeschwindigkeiten. Es wurden die notwendigen Grundlagen ermittelt, die es erlauben, geeignete Modellgeschwindigkeiten während des weiteren Aufbaus des NPVM festzulegen. Zunächst wurden die Stundenwerte aus den TomTom Speed-Profiles (MO-FR) – wo vorhanden – auf das TomTom-Navigationsnetz Stand Juni 2016 übertragen.

Das Vorgehen gliederte sich in zwei Schritte:

1. Definition der Modellgeschwindigkeit v_0 für Strecken mit vorhandenem Speed-Profile;
2. Übertragung der Modellgeschwindigkeit v_0 auf sämtliche Strecken im Netz ohne Speed-Profile mittels eines Klassifikationsverfahrens.

2.5.1 Definition der Modellgeschwindigkeit und Datenverfügbarkeit

Die Speed-Profile-Daten geben für jede Strecke nach Wochentagen differenziert eine von rund 300 verschiedenen Speed-Profile-ID an. Jede Speed-Profile-ID wiederum gibt pro TIME_SLOT (5-Minuten-Intervalle ab Mitternacht) eine relative Geschwindigkeit (in %) des SPFREEFLOW⁹ an. Die SPFREEFLOW sind gemäss Definition nahe an den zulässigen Geschwindigkeiten.

Folgende Abbildung 18 zeigt beispielhaft den Geschwindigkeitsverlauf über den Tag der Speed-Profile-ID Nr. 50 an. Es handelt sich hierbei offenbar um eine Strecke, auf der in der Morgenspitze die Geschwindigkeiten auf rund 70% der SPFREEFLOW-Geschwindigkeit abfallen, während in der Abendspitze eine deutlich geringere Geschwindigkeitsabnahme festzustellen ist.

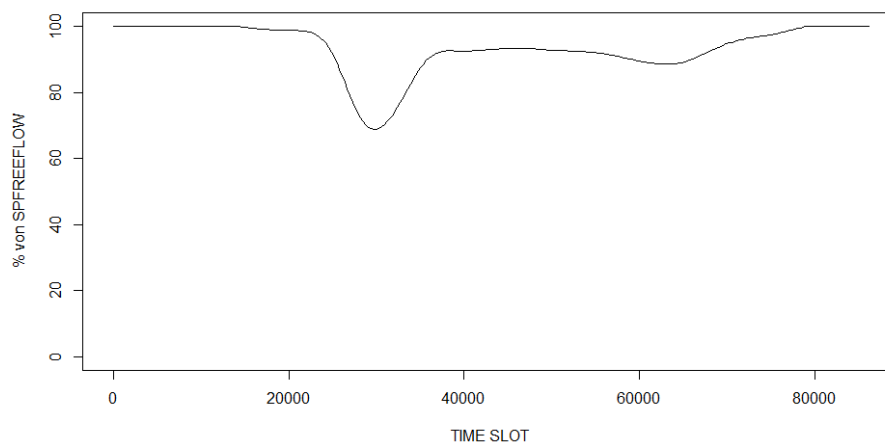


Abbildung 18: Geschwindigkeitsverlauf der Speed-Profile-ID Nr. 50, Zeit in Sekunden

Für die Modellgeschwindigkeit v_0 ist eine Geschwindigkeit im eher unbelasteten Netz relevant, die jedoch unterhalb der zulässigen Geschwindigkeit liegt, aufgrund der Berücksichtigung von Einflüssen durch Lichtsignalanlagen und querenden Fussgängern¹⁰. Da in der Nacht weniger Fussgänger unterwegs sind und viele städtische Lichtsignalanlagen ausgeschaltet werden, empfiehlt es sich, die Modellgeschwindigkeit v_0 als die Geschwindigkeit in der Nebenverkehrszeit zu definieren in der diese Einflüsse noch geschwindigkeitsmindernd wirken. Als Nebenverkehrszeit wird die Uhrzeit von 19.00 bis 20.00 Uhr (TIME_SLOT = 68400 bis 72000) von Montag bis Freitag (PROFILE_2 bis PROFILE_6) definiert. Die Auswertungen im Folgenden beziehen sich

9 In der Spezifikation wird Freeflow Speed wie folgt definiert : Used as a limit to Maximum speed values. Any probe value exceeding this speed is topped to the Freeflow Speed. This speed reflects the average speed measured during a period of least traffic congestion; most often these reflect nighttime speeds.

10 Die Modellgeschwindigkeit liegt daher nahe bei der Freeflow Speed, aber immer darunter.

auf diese Nebenverkehrszeit. Die Multiplikation des SPFREEFLOW mit der relativen Geschwindigkeit gemäss Speed-Profile-ID ergibt die Modellgeschwindigkeit v_0 .

Die Modellgeschwindigkeiten wurden für das gewählte Zeitintervall und über beide Richtungen gemittelt sowie auf 5 gerundet ($\rightarrow$ Variable « v_0_kat »).

Speed-Profile-Daten liegen nur für einen Teil aller Strecken vor: 243'329 von 778'482 Strecken des vereinfachten Netzes (siehe Kapitel 2.9) verfügen über entsprechende Daten, was rund 31% entspricht. Es gilt zu beachten, dass die Abdeckung mit Speed-Profile-Daten über die FRC schwankt. Während für die Klassen 0 bis 5 jeweils über 80% der Strecken über entsprechende Daten verfügen, existieren für FRC 7 bei weniger als 10% der Strecken Speed-Profile-Daten (Abbildung 19).

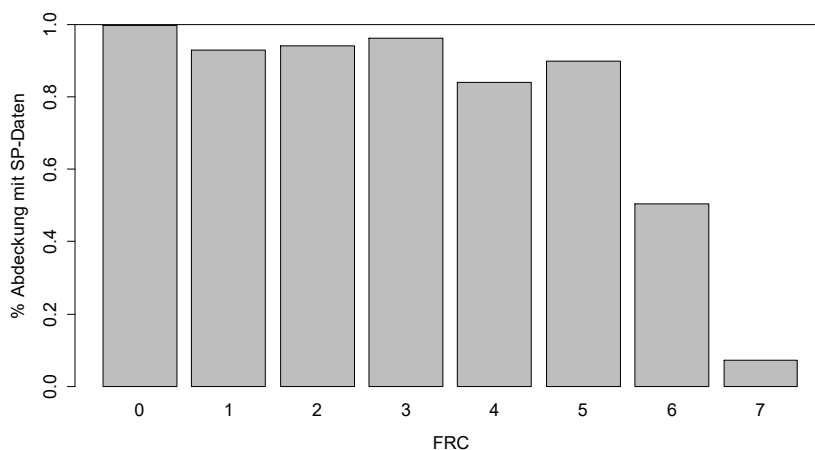


Abbildung 19: Abdeckung der Speed-Profile-Daten nach FRC

2.5.2 Modellschätzung und Übertragung der Modellgeschwindigkeit

Modellstruktur

Um die Modellgeschwindigkeit der Nebenverkehrszeit von 19h-20h von den Strecken mit verfügbaren Daten auf das gesamte Streckennetz zu übertragen, wurden zwei Klassifikationsmodelle geschätzt. Das erste Modell «cut» begrenzt die maximale Modellgeschwindigkeit auf die signalisierte Geschwindigkeit. Das zweite Modell «nocut» verzichtet auf diese Begrenzung. Als Klassifikationsmodell wurde der Random Forest¹¹ gewählt. Zielvariable ist die tatsächlich gemessene Geschwindigkeit (v_0_kat), die Prädiktoren des Modells sind folgende Attribute, die für das gesamte Streckennetz bestimmt wurden:

11 Ein Random Forest ist ein Klassifikationsverfahren, welches aus mehreren verschiedenen, unkorrelierten Entscheidungsbäumen besteht. Alle Entscheidungsbäume sind unter einer bestimmten Art von Randomisierung

- Functional Road Class (FRC);
- Ortslage (innerorts, ausserorts);
- Anzahl Fahrstreifen;
- Siedlungsdichte: Die Siedlungsdichte pro Streckensegment wird operationalisiert als die Summe der Einwohner und Vollzeitäquivalente innerhalb von 150 m um das Segment dividiert durch die Segmentlänge in Metern.
- Steigung;
- Kurvigkeit;
- Kreuzungsdichte: Für die Kreuzungsdichte werden anhand des TomTom-Netzes echte Knoten abgeleitet (der TomTom-Datensatz Junctions erlaubt das Filtern der zahlreichen Pseudoknoten nicht). Anschliessend wird die Kreuzungsdichte pro Streckensegment berechnet als die Anzahl Knoten innerhalb von 100/200/300/500 m um das Segment dividiert durch die Segmentlänge in Kilometern.
- Signalisierte Geschwindigkeit (v_{sig});
- Streckenlänge (bzw. Segmentlänge).

Die Inputdaten wurden vor der Modellberechnung wie folgt gefiltert bzw. modifiziert:

- Für Strecken mit $v_{sig} \leq 20$ km/h setze $v0_{kat} = v_{sig}$. Diese Strecken wurden aus der Klassifikation ausgeschlossen (ca. 400 Strecken).
- Modell «cut»: Für Strecken mit $v0_{kat} > v_{sig}$ setze $v0_{kat} = v_{sig}$. Im Modell «nocut» wurde diese Restriktion nicht durchgeführt.

Abbildung 20 zeigt die Verteilungen der tatsächlich gemessenen und gerundeten Geschwindigkeiten $v0_{kat}$ bei vorhandenen Speed-Profile-Daten differenziert nach signalisierter Geschwindigkeit (mit Deckelung der Modellgeschwindigkeit bei der signalisierten Geschwindigkeit).

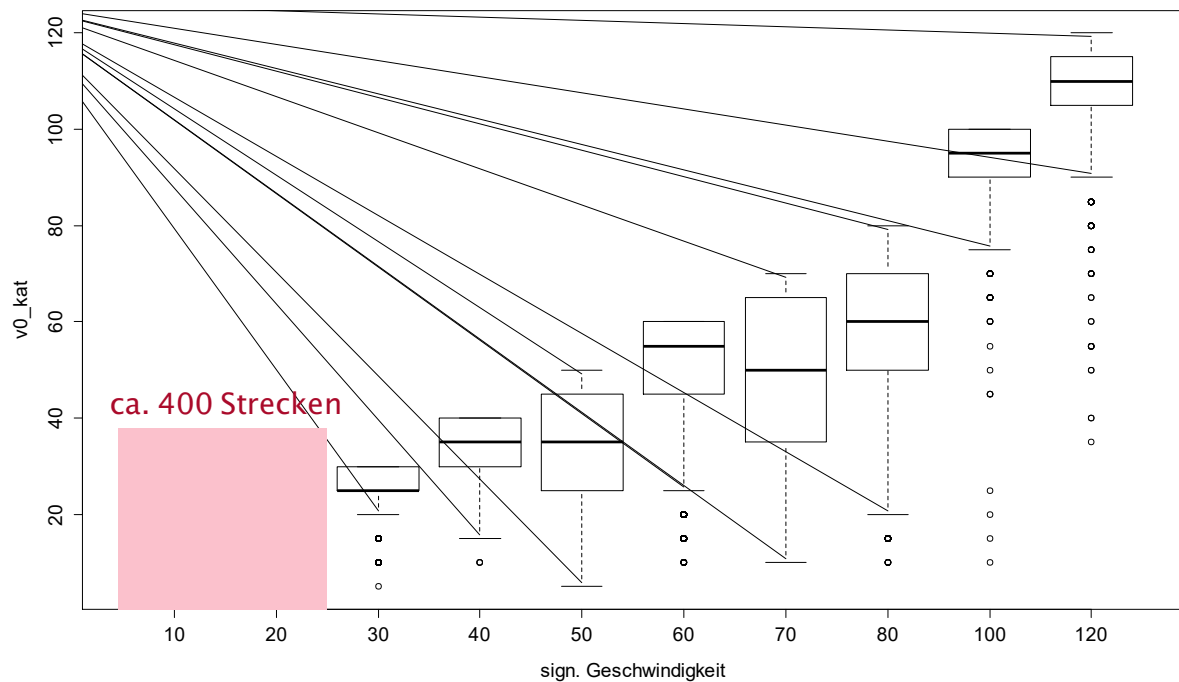


Abbildung 20: Verteilung (Boxplot) $v0_kat$ differenziert nach signalisierter Geschwindigkeit

Modellschätzung

Die Modellschätzung wurde mit der Software R durchgeführt. Es wurden jeweils 500 Bäume gerechnet. Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen, dass 500 Bäume für beide Modelle ausreichend sind. Bereits ab ungefähr 100 Bäumen sind keine nennenswerten Reduktionen in den Fehlerraten festzustellen.

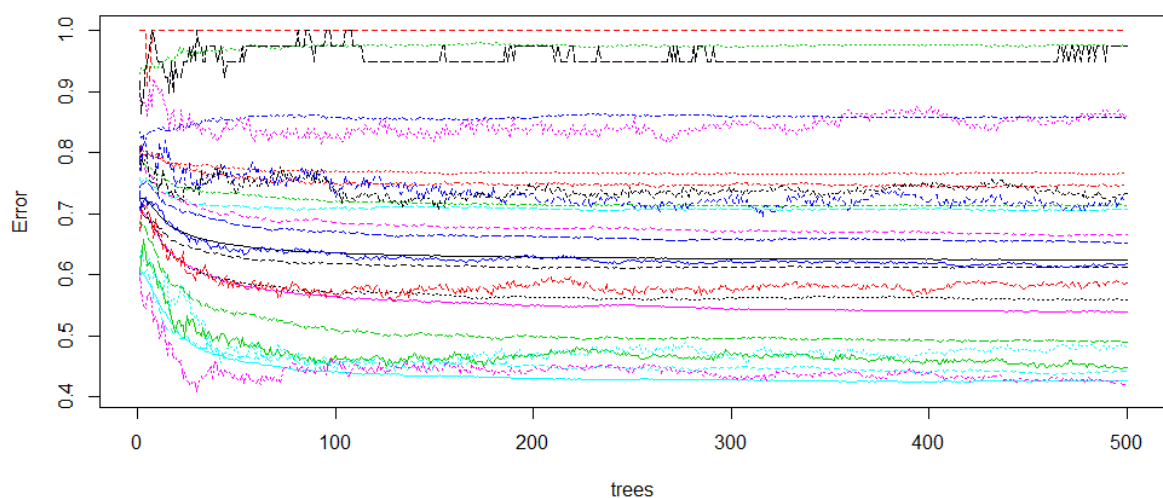


Abbildung 21: Prüfung der Anzahl Bäume (Modell «cut»)

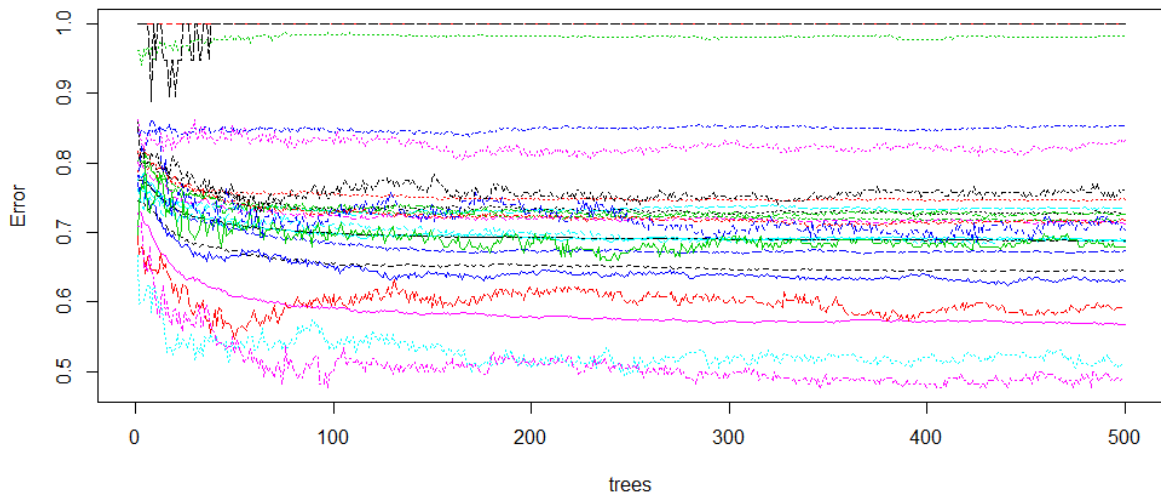


Abbildung 22: Prüfung der Anzahl Bäume (Modell «nocut»)

Das Klassifikationsmodell weist mit 24 Geschwindigkeitsklassen eine hohe Anzahl auf. Eine genaue Schätzung der Modellgeschwindigkeit ist damit sehr schwierig. Eine Annäherung (± 5 km/h) an die wahre Klasse (gemäss der gemessenen Speed-Profile-Daten) wird aber bereits als zufriedenstellend eingestuft. Die Beurteilung des Klassifikators erfolgte daher nicht auf Basis der Out-of-bag-Fehlerrate¹², sondern anhand der Konfusionsmatrix und einer daraus abgeleiteten Trefferrate. Als Treffer wurde eine Klassifikation definiert, wenn die korrekte Klassenzugehörigkeit um maximal eine Klasse (± 5 km/h) verfehlt wurde. Beispiel: Die wahre Modellgeschwindigkeit v_{0_kat} beträgt auf einer Strecke 50 km/h. Gemäss obiger Definition gelten geschätzte Modellgeschwindigkeiten von 45 km/h bis 55 km/h als Treffer. Abbildung 23 zeigt die Konfusionsmatrix der Klassifikation für das Modell «cut», Abbildung 24 für das Modell «nocut». In Abbildung 25 und Abbildung 26 sind die Trefferraten der beiden Modelle visualisiert. Im Modell «cut» wird die Streuung der Daten verringert und gleichzeitig die Wichtigkeit der signalisierten Geschwindigkeit als Prädiktor erhöht. Dadurch werden im Modell «cut» bessere Trefferraten erreicht als im Modell «nocut».

¹² Die Out-of-bag-Fehlerrate (OOB) misst den Vorhersagefehler eines Random-Forest-Klassifikationsmodells. Die OOB-Fehlerrate wird berechnet, indem für jede Beobachtung der mittlere Vorhersagefehler bestimmt wird, in dem nur diejenigen Bäume verwendet werden, in deren Bootstrap-Stichprobe die jeweilige Beobachtung nicht vorkommt.

geschätztes v0_kat

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	trefferrate	
wahres v0	5	0	0	0	6	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
	10	0	18	164	255	178	48	24	11	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.9
	15	0	42	739	2032	1531	471	182	74	37	18	3	8	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	54.7
	20	0	19	575	4970	7133	2574	821	433	229	107	39	26	7	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74.8
	25	0	14	205	3381	14042	7959	2052	1317	820	449	66	74	28	22	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	83.4
	30	0	7	74	1369	9052	13265	4392	2791	1857	973	155	137	45	62	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	78.1
	35	0	1	24	528	3722	5892	6493	5154	3281	1982	244	194	87	76	22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	63.3
	40	0	0	13	212	1638	2771	4172	7939	6059	3803	534	345	109	144	27	16	0	0	0	0	0	0	0	0	65.4
	45	0	0	3	70	589	1087	1863	4649	9554	7488	952	696	253	200	44	19	0	1	0	0	0	0	0	0	79.0
	50	0	0	2	36	144	434	739	1732	5208	16591	1910	1289	398	345	62	19	0	0	1	0	0	0	0	0	82.0
	55	0	0	0	9	40	90	145	250	514	1163	3183	2692	684	602	126	37	0	0	0	0	2	0	0	0	73.8
	60	0	0	2	7	26	76	109	158	264	607	2094	4805	1214	1181	245	76	0	0	1	0	0	0	0	0	74.7
	65	0	0	0	3	11	25	39	55	86	207	443	1118	1570	1955	517	152	2	0	1	0	0	0	0	0	75.1
	70	0	0	0	2	3	9	26	33	48	90	225	602	1195	3687	967	322	1	4	2	0	0	0	1	0	81.0
	75	0	0	0	0	0	6	11	8	6	19	44	126	382	890	1405	764	4	7	8	1	1	1	0	0	83.1
	80	0	0	0	0	0	4	5	9	13	4	11	38	118	295	808	1732	19	13	16	10	4	2	1	0	82.5
	85	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	4	31	24	31	40	28	8	3	0	0	0	48.9
	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	16	23	88	123	65	2	6	4	0	0	70.9
	95	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	8	9	66	241	209	16	24	6	0	0	88.7
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	17	175	354	27	45	18	0	86.9
	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	12	80	127	62	0	75.8
	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	45	264	187	0	97.8
	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	16	184	283	2	95.9
	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10	26	1	0	69.2

Abbildung 23: Konfusionsmatrix (Modell «cut»)

geschätztes v0_kat

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	trefferrate
wahres v0_kat	5	0	1	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.1
	10	0	7	103	144	103	30	13	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.8
	15	0	19	352	892	771	221	79	39	12	5	5	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	52.6
	20	0	16	321	1895	2959	1223	417	193	67	32	18	13	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	72.3
	25	1	10	119	1471	5439	3310	1099	587	332	107	42	29	15	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	81.3
	30	0	4	41	641	3617	4914	2170	1268	698	276	96	52	31	11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	77.4
	35	0	3	11	257	1695	2736	3141	2393	1389	538	132	69	56	14	14	3	0	0	0	0	0	0	0	66.4
	40	0	0	7	89	640	1332	2177	3224	2423	1007	282	137	81	31	19	2	0	0	0	0	0	0	0	68.3
	45	0	0	2	28	237	479	1049	2258	3422	1945	574	272	135	50	19	9	0	0	0	0	0	0	0	72.8
	50	0	0	1	16	110	178	409	989	2299	2691	1094	432	234	80	46	8	1	0	0	0	0	0	0	70.8
	55	0	0	0	9	16	70	129	250	747	1461	1658	809	389	153	73	8	2	0	0	0	0	0	0	68.0
	60	0	0	0	1	12	40	70	89	225	469	995	1143	686	270	153	21	2	0	1	0	0	0	0	67.6
	65	0	0	0	0	5	15	24	45	76	170	370	693	887	525	268	59	6	1	0	0	0	0	0	67.0
	70	0	0	0	1	1	7	11	29	26	50	140	299	601	676	484	126	11	2	0	0	0	0	0	71.5
	75	0	0	0	1	0	4	10	8	9	31	56	115	303	479	780	283	23	4	1	3	1	1	0	73.0
	80	0	0	0	1	0	1	2	3	7	3	8	27	97	169	434	375	54	7	12	4	3	1	0	71.4
	85	0	0	1	0	0	0	1	3	0	2	0	7	21	34	77	144	68	22	14	4	4	3	0	57.8
	90	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	3	10	6	19	25	25	55	60	17	3	2	0	60.6
	95	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	5	11	10	12	36	109	60	5	12	3	76.8
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	5	14	71	66	19	20	6	0	75.7
	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	9	22	50	58	27	0	76.9
	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	4	33	126	89	0	96.1
	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	95	112	1	94.5
	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13	0	68.4

Abbildung 24: Konfusionsmatrix (Modell «nocut»)

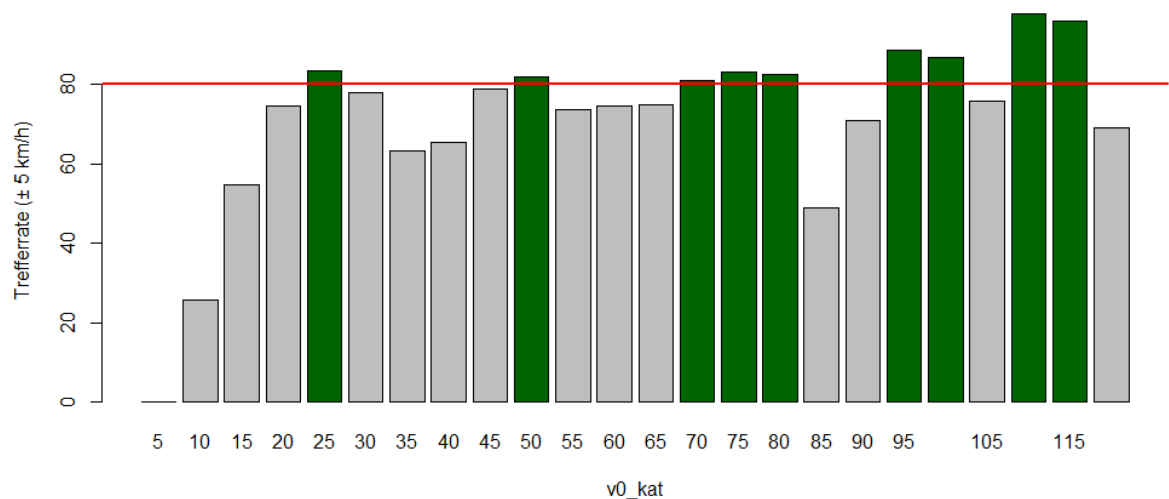


Abbildung 25: Trefferrate pro v0_kat (Modell «cut», grün = Trefferrate > 80%)

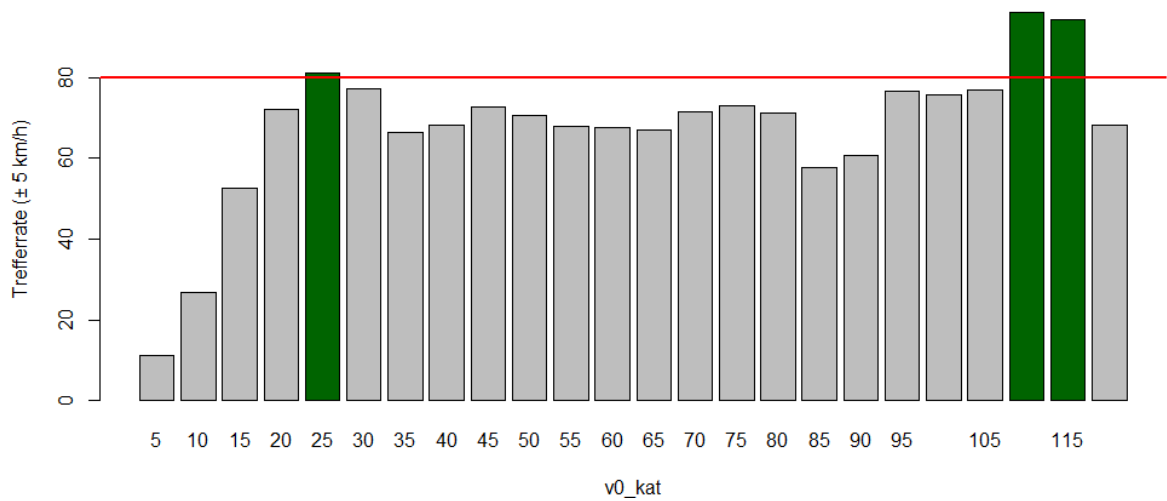


Abbildung 26: Trefferrate pro v0_kat (Modell «nocut», grün = Trefferrate > 80%)

Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen den Variable-Importance-Plot. Die beiden Modelle sind bezüglich der Wichtigkeit der Variablen für die Klassifikation qualitativ identisch, d.h. die Rangfolge der Wichtigkeit der Variablen ist gleich.

Aufgrund der geringeren Streuung und besseren Treffergenauigkeit sowie der modelltechnisch sinnvollen Annahme, dass die signalisierte Geschwindigkeit nicht übertreten werden darf, wird empfohlen für die weiteren Arbeiten die Modellgeschwindigkeiten des Modells «cut» zu verwenden.

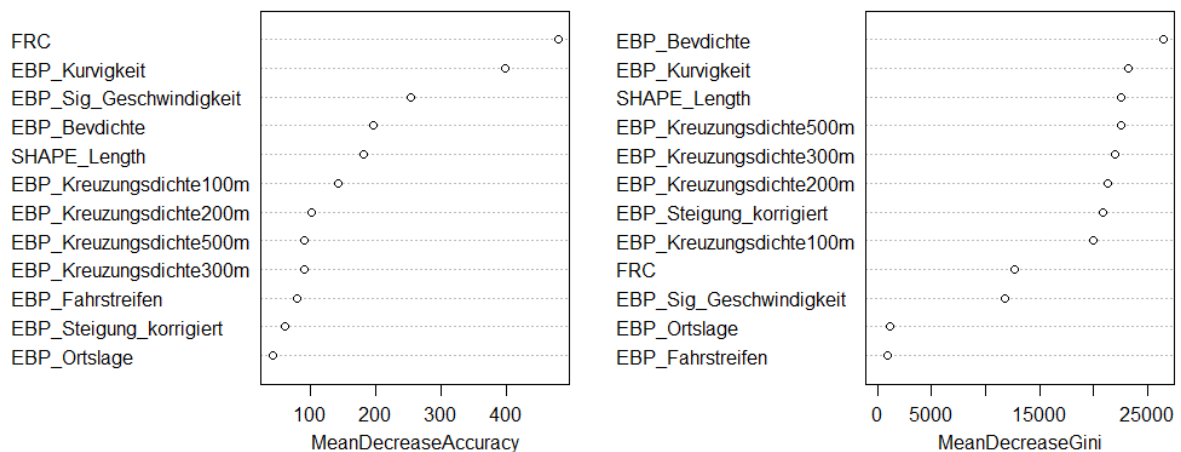


Abbildung 27: Variable Importance (Modell «cut»)

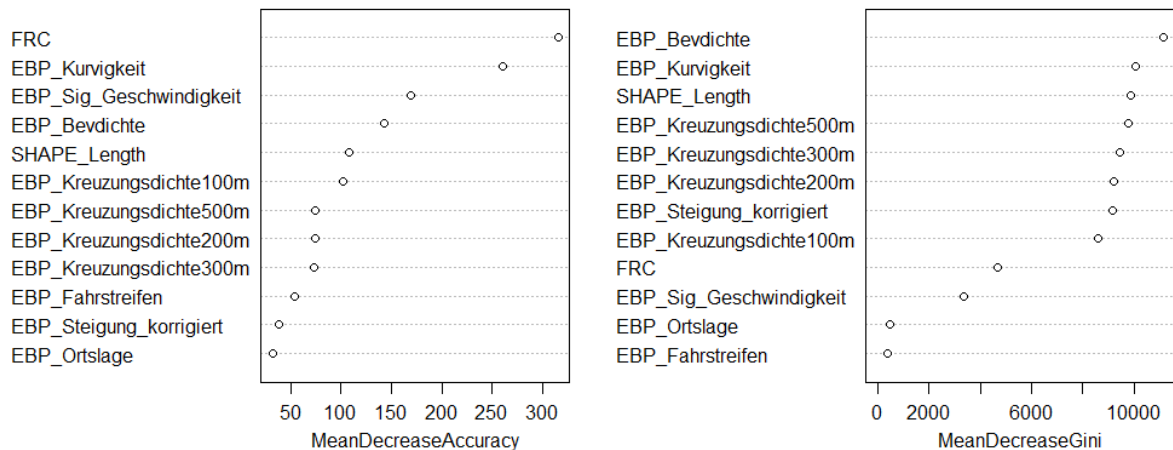


Abbildung 28: Variable Importance (Modell «nocut»)

Übertragung auf das Streckennetz

Um die Zahl der Geschwindigkeitsbrüche zu minimieren, wurde die Modellgeschwindigkeit für sämtliche Strecken (d.h. auch für diejenigen mit vorhandenem Speed-Profile) anhand des Klassifikationsmodells bestimmt.

2.6 Kapazitäten

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes erfolgt die Zuweisung von Stundenkapazitäten [Fz/h] zu allen Strecken bzw. Streckentypen. Grundlage bildet das vereinfachte Strassennetz (Kapitel 2.9). Basierend auf den Schweizer Normen SN 640 018a und SN 640 020a werden für die Streckentypen HLS (Hochleistungsstrassen, d.h. Autobahn und Autostrasse), HVS (Hauptverkehrsstrassen) sowie Anschluss/Verzweigung die Kapazitäten bestimmt. Für die übrigen Strassen werden die Kapazitäten in Anlehnung an das NPVM 2010 definiert. Eingangs wurde für die HLS und HVS ein jeweiliger Schwerverkehrsanteil abgeschätzt.

Ermittlung des Schwerverkehr-Anteils

Der Schwerverkehrsanteil hat gemäss Norm einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Kapazitäten von HLS und HVS. Mit zunehmendem Schwerverkehrsanteil nimmt die Kapazität auf der Autobahn ab. Die Abnahme ist dabei nicht linear: Die Leistungsfähigkeit einer 3-streifigen ebenen Autobahn bei signalisierter Geschwindigkeit von 120 km/h beträgt bei einem SV-Anteil <5% 5'800 Fz/h. Bei einem SV-Anteil von 5-<15% reduziert sich die Leistungsfähigkeit auf 5'450 Fz/h, d.h. um rund 6%. Bei einem SV-Anteil von 15-<25% reduziert sich die Leistungsfähigkeit auf 5'100 Fz/h, d.h. um rund 12%. Die Reduktion nimmt mit zunehmender Steigung einer Strecke zu.

Das Attribut „SV-Anteil“ wurde anhand der Streckenattribute des NPVM 2010 bestimmt (Zustand DWV 2010). Diese SV-Anteile gehen auf ASTRA-Zählstellen zurück, weitere Datenquellen sind nicht verfügbar.

Das Matching des Streckennetzes NPVM 2010 auf das TomTom-Netz wird automatisiert mittels räumlicher Interpolation durchgeführt (ausschliesslich Autobahn, Autostrasse, HVS ausserorts):

- Streckensegment TomTom liegt zu mind. 60% innerhalb von 50 m rund um das Streckensegment des bestehenden NPVM (und nur für ein Streckensegment zutreffend);
- Mittelpunkt der Streckensegmente TomTom liegt max. 20 m vom Mittelpunkt der Streckensegmente NPVM entfernt.

Mit dieser Zuordnung werden 36'952 (87%) von 42'537 Links erfasst. Für Strecken ohne Zuordnung wird der durchschnittliche SV-Anteil des entsprechenden Streckentyps angenommen:

- Autobahn (vgl. Abbildung 29): 3'589 von 4'116 Strecken mit zugeordnetem SV-Anteil (87%), Mittelwert HLS 4.4%;
- Autostrasse (vgl. Abbildung 30): 927 von 1'320 Strecken mit zugeordnetem SV-Anteil (70%), Mittelwert HLS 4.4%;
- Hauptverkehrsstrasse ausserorts (vgl. Abbildung 31): 32'386 von 37'386 Strecken mit zugeordnetem SV-Anteil (87%), Mittelwert 2.5%.

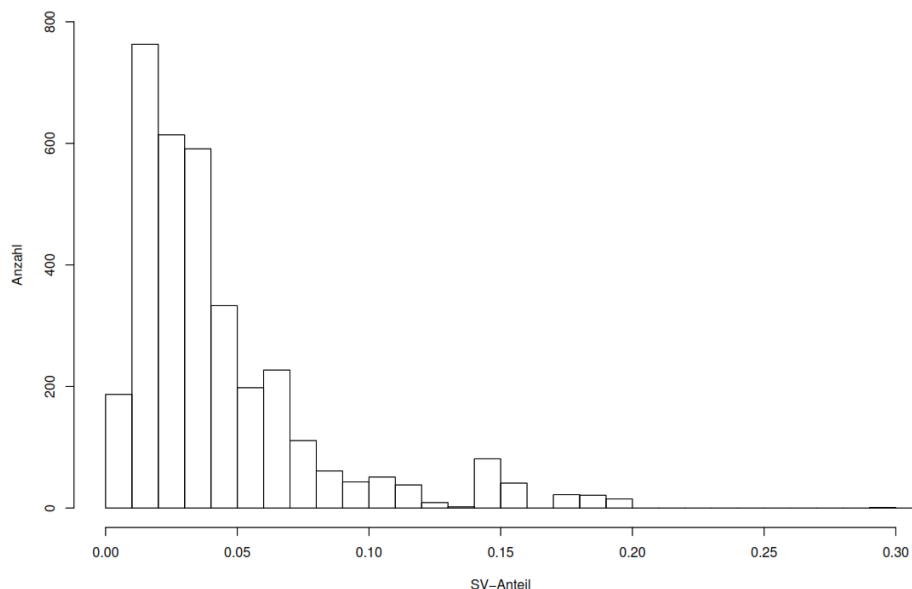


Abbildung 29: Histogramm des SV-Anteils von Autobahnen

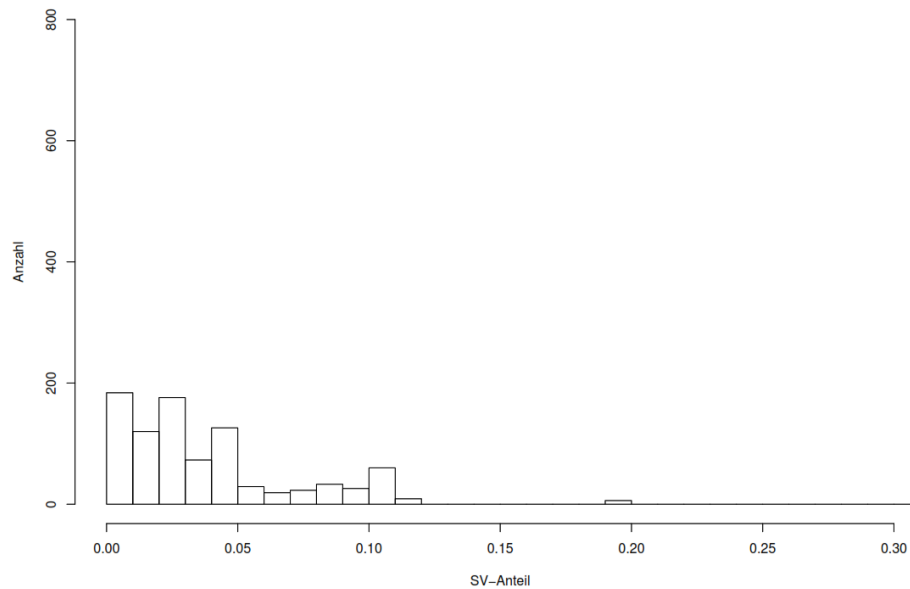


Abbildung 30: Histogramm des SV-Anteils von Autostrassen

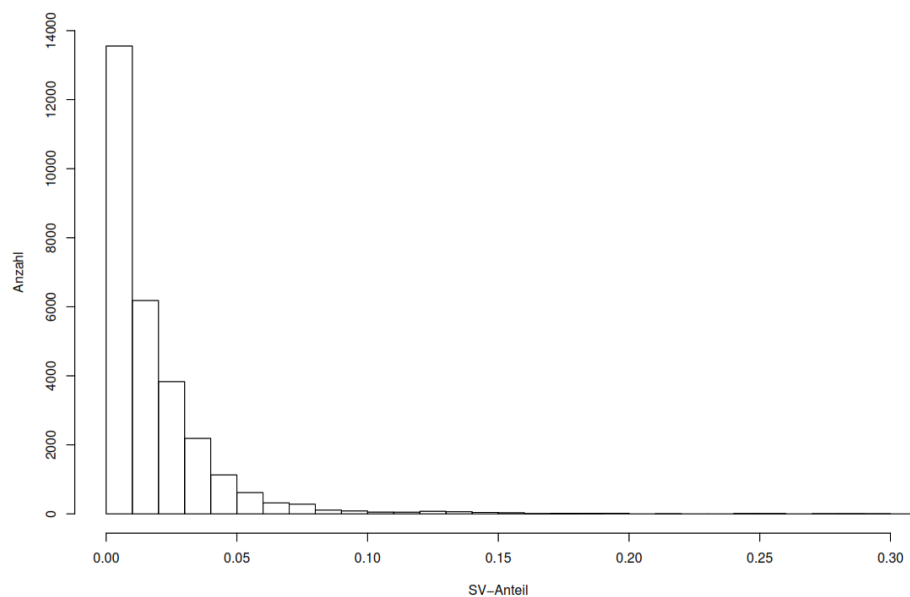


Abbildung 31: Histogramm des SV-Anteils von HVS ausserorts (angepasste Skala)

2.6.1 Autobahn/Autostrasse/Anschluss/Verzweigung

Die Kapazität auf HLS ist gemäss Norm SN 640 018a von folgenden Parametern abhängig (vgl. Tabelle 13).

- Anzahl Fahrstreifen je Richtung;
- Steigung (TomTom-Netz);
- Signalisierte Geschwindigkeit (TomTom-Netz);

- Schwerverkehrsanteil;
- Kurvigkeit (TomTom-Netz, nur für einstreifige Strassen auf Basis SN 640 020a).

Leistungsfähigkeit L [Mfz/h] für eine zweistreifige Autobahn in Abhängigkeit von zulässiger Höchstgeschwindigkeit V_{zul} , Schwerverkehrsanteil SVA und Steigung gemäss [15] <i>Capacité L [vhca/h] d'une autoroute à deux voies de circulation en fonction de la vitesse maximale autorisée V_{aut}, du pourcentage de véhicules lourds SVA et de la rampe selon [15]</i>									
Schwerverkehrsanteil SVA <i>Pourcentage de véhicules lourds SVA</i>	$V_{\text{zul}} / V_{\text{aut}}$								
	120 km/h			100 km/h			80 km/h		
	Steigung / <i>Rampe</i>								
	< 2%	2...4%	> 4%	< 2%	2...4%	> 4%	< 2%	2...4%	> 4%
	≤ 5%	4000	3800	3550	4000	3800	3600	4000	3800
> 5...15%	3800	3500	3150	3800	3600	3350	3800	3700	3450
> 15...25%	3600	3200	2800	3600	3400	3000	3600	3500	3200

Leistungsfähigkeit L [Mfz/h] für eine dreistreifige Autobahn in Abhängigkeit von zulässiger Höchstgeschwindigkeit V_{zul} , Schwerverkehrsanteil SVA und Steigung gemäss [15] <i>Capacité L [vhca/h] d'une autoroute à trois voies de circulation en fonction de la vitesse maximale autorisée V_{aut}, du pourcentage de véhicules lourds SVA et de la rampe selon [15]</i>									
Schwerverkehrsanteil SVA <i>Pourcentage de véhicules lourds SVA</i>	V_{zul} / V_{aut}								
	120 km/h			100 km/h			80 km/h		
	Steigung / <i>Rampe</i>								
	< 2%	2...4%	> 4%	< 2%	2...4%	> 4%	< 2%	2...4%	> 4%
≤ 5%	5800	5450	5050	5800	5600	5250	5800	5650	5500
> 5...15%	5450	5050	4500	5550	5250	4950	5600	5500	5200
> 15...25%	5100	4600	4000	5400	5000	4300	5500	5300	4550

Tabelle 13: Leistungsfähigkeit HLS, Auszug SN 640 018a

Bei der Anwendung der Kapazitäten gemäss Norm mussten weitere Annahmen getroffen werden:

- Für Abschnitte mit 1 Fahrstreifen pro Richtung gilt die SN 640 020a («Zweistreifige Strassen ohne bauliche Richtungstrennung», siehe HVS ausserorts).
- Für Abschnitte mit 4 Fahrstreifen pro Richtung wird die Leistungsfähigkeit von dreistreifigen HLS verwendet und um 35% erhöht (auf Basis HBS 2015).
- Es ist ein Abschnitt mit 5 Fahrstreifen vorhanden. Aufgrund der geringen Länge (<500m) und den erwarteten Spurwechselmanövern wird dieser in Bezug auf die Kapazität wie ein Abschnitt mit 4 Fahrstreifen behandelt.
- Die SV-Anteile werden in 2 Klassen angegeben (0-15% und > 15%). Hierfür werden die Kapazitätsklassen ≤5% und 15-25% verwendet.¹³

¹³ Bei der späteren Netzmodellierung ergibt sich die Belastung des Strassengüterverkehrs, und damit eine entsprechende Reduktion der Streckenkapazität, direkt aus der umgelegten Nachfrage. Daher wird davon ausgegangen, dass in der Regel die höchste Kapazität gemäss Norm (bei SV-Anteil ≤ 5%) anzunehmen ist.

Die Kapazitätsverteilung der HLS werden in Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt. Erwartungsgemäss liegt die Mehrheit der Autobahnen im Bereich von 3'000-4'000 Fz/h (zweistreifig) und die Mehrheit der Autostrassen im Bereich von 1'000-2'000 (einstreifig).

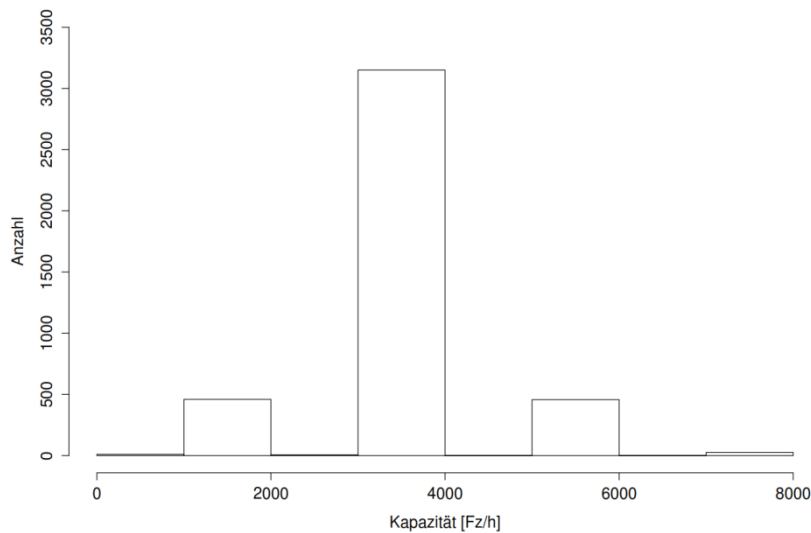


Abbildung 32: Histogramm der Kapazitäten von Autobahn-Strecken

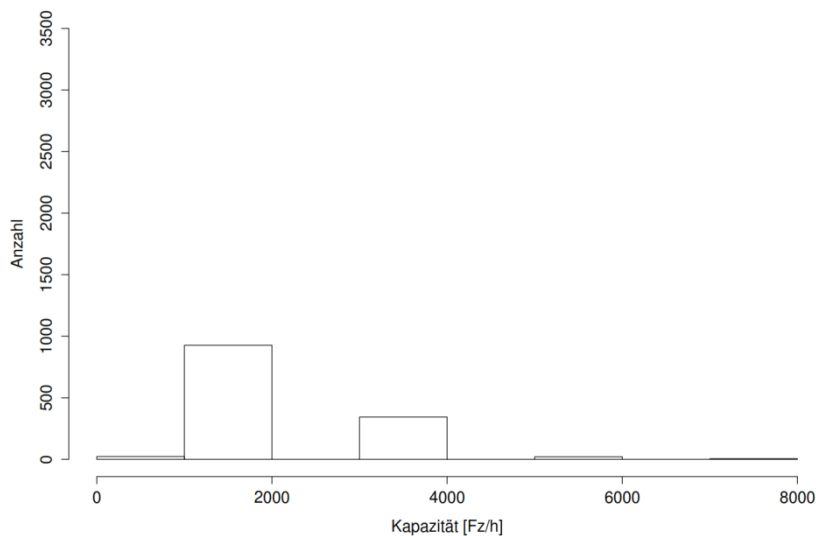


Abbildung 33: Histogramm der Kapazitäten von Autostrassen-Strecken

2.6.2 Hauptverkehrsstrasse ausserorts

Die Kapazität auf HVS ausserorts ist gemäss Norm SN 640 020a von folgenden Parametern abhängig (vgl. Tabelle 14).

- Anzahl Fahrstreifen je Richtung;

- Steigungsklasse: Bestimmung über die massgebende Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens nach SN 640 138. Der Einfluss kurzer Strecken wird vernachlässigt. Damit kann die Steigungsklasse in direkter Abhängigkeit der Längsneigung bestimmt werden (vgl. Tabelle 18). Basis hierzu liefert das TomTom-Netz.
- Schwerverkehrsanteil (Berechnung siehe oben);
- Kurvigkeit (TomTom-Netz).

Leistungsfähigkeit L (in beiden Fahrrichtungen) für zweistreifige HVS/RVS ausserorts in Abhängigkeit von Kurvigkeit, Schwerverkehrsanteil und Steigungsklasse <i>Capacité L (dans les deux sens de circulation) des RP/RLR, hors des espaces bâtis, à deux voies de circulation en fonction de la sinuosité, du pourcentage de véhicules lourds et de la classe de rampe</i>					
Kurvigkeit <i>Sinuosité</i> KU [gon · km ⁻¹]	Schwerverkehrs- anteil <i>Pourcentage de véhicules lourds</i> SVA [%]	Steigungsklassen <i>Classes de rampe</i> [–] [Mfz · h ⁻¹] / [vhca · h ⁻¹]			
		1, 2	3	4	5
≤ 75	0 10 20	2500 2500 2500	2500 2350 2240	2500 2190 2080	2500 2090 1940
> 75...150	0 10 20	2490 2490 2490	2450 2290 2180	2400 2100 2000	2350 1970 1840
> 150...250	0 10 20	2280 2280 2280	2280 2220 2150	2270 2050 1950	2270 1830 1670
> 250	0 10 20	2080 2080 2080	2080 1940 1870	2080 1790 1710	2050 1630 1520

Tabelle 14: Leistungsfähigkeit HVS, Auszug SN 640 020a

Massgebende Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens gemäss [13] [km/h]	Steigungsklasse	Längs- neigung [%]
> 70	1	< 2.3
60–70	2	2.3 – 3.2
45–60	3	3.2 – 5.0
30–45	4	5.0 – 8.3
< 30	5	> 8.3

Tabelle 15: Zuordnung von Steigungsklassen nach der massgebenden Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens gemäss SN 640 138, Auszug SN 640 018a

Bei der Anwendung der Kapazitäten gemäss Norm mussten weitere Annahmen getroffen werden:

- Für negative Längsneigungen (fallend) wird die Steigungsklasse 1 angewendet.
- Für Abschnitte mit mehr als 1 Fahrstreifen pro Richtung wird für zusätzliche Fahrstreifen die Kapazität auf 85% eines Einzelstreifens angesetzt (auf Basis der Verhältnisse von HLS, SN 640 018a).

- Die SV-Anteile werden in 2 Klassen angegeben (0-15% und >15%). Für die Klasse 0-15% wird die Kapazitätsklasse 0 verwendet, für die Klasse > 15% eine Interpolation zwischen den Klassen 10 und 20.

2.6.3 Hauptverkehrsstrassen innerorts und übrige Strassen

In Anlehnung an das NPVM 2010¹⁴ werden die Kapazitäten für übrige Strassen wie folgt definiert:

- 1 Fahrstreifen: 1'100 Fz/h;
- 2 Fahrstreifen: 1'700 Fz/h;
- 3 Fahrstreifen: 2'800 Fz/h;
- 4 Fahrstreifen: nur 10 Strecken betroffen (Längen < 40 m), wie 3 Fahrstreifen behandelt.

Auf Strassen innerorts mit hoher Verkehrsregeldichte ist nicht die Kapazität auf der freien Strecke leistungsbestimmend, sondern die Streckenkapazität wird massgebend von den Knotenkapazitäten bestimmt. Da Widerstände an Knoten nicht detailliert abgebildet werden, erfolgt die Reduktion der Kapazität durch hohe Verkehrsregeldichten indirekt über eine reduzierte Modellgeschwindigkeit v_0 basierend auf den Speed-Profile-Daten.

Die Kapazitätsverteilung aller HVS (innerorts und ausserorts) wird in Abbildung 34 dargestellt. Erwartungsgemäss liegt die deutliche Mehrheit im Bereich von 1'000-2'000 Fz/h, was einstreifigen Strecken entspricht.

¹⁴ Vgl. ARE (2006): Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr, Modellbeschreibung; Tabelle 4, S. 15–16.

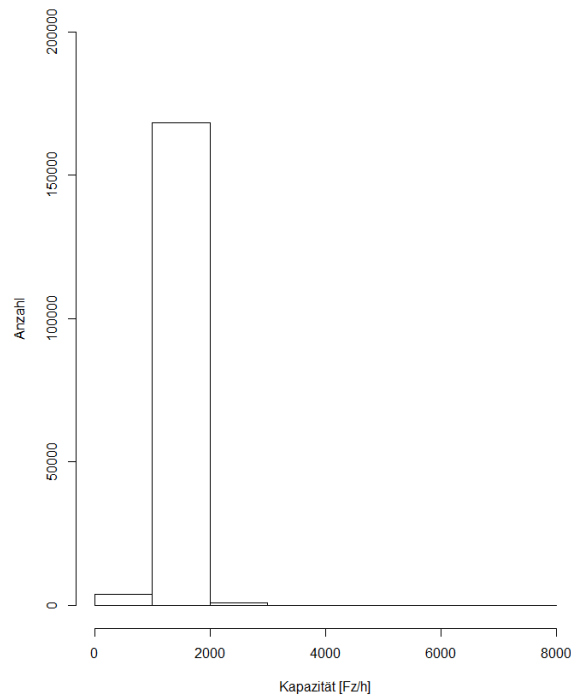


Abbildung 34: Histogramm der Kapazitäten aller HVS

2.7 Abbiegebeziehungen

Die Abbiegebeziehungen wurden in drei Teilschritten erstellt:

1. Definition der Abbiegebeziehungen auf Basis der nach Richtung zugelassenen Verkehrssysteme der Strecken (nach Übertrag des TomTom-Netzes in VISUM). Abbieger sind jeweils nur offen, falls sowohl vorgelagerte als auch nachgelagerte Strecken in der entsprechenden Richtung für die Verkehrssysteme befahrbar sind.
2. Ergänzung der unterbundenen Abbiegebeziehungen gemäss TomTom-Netz. Hierfür wurden die Abbiegeverbote im Datensatz berücksichtigt und die entsprechenden Verkehrssysteme (PW, Busse) auf den Abbiegebeziehungen nicht zugelassen.
3. Überprüfung der Abbiegebeziehungen an den Anschlüssen des HLS-Netzes (Autobahnen, Autostrassen, Anschlüsse/Verzweigungen): Sofern verbotene bzw. unmögliche Abbiegebeziehungen vorhanden sind (Bsp. Linksabbiegen bei Auffahrt), werden diese korrigiert. Alle Änderungen wurden systematisch dokumentiert.

Für den Veloverkehr werden alle Abbiegebeziehungen an den Knoten geöffnet, da Fahrverbote über die Strecken definiert sind und weitere Angaben fehlen. Für den Fussverkehr werden keine Abbiegebeziehungen definiert.

2.7.1 Verkehrssysteme

Die Herleitung der für den ersten Teilschritt benötigten Streckeninformationen bzgl. Verkehrssysteme ist in Abschnitt 2.4 aufgeführt. Beim Import des Netzes in die VISUM-Umgebung wurden die Abbiegebeziehungen für die betroffenen Verkehrssysteme gesperrt.

2.7.2 Verbotene Fahrmanöver

Beim zweiten Teilschritt wurden die TomTom-Informationen zu verbotenen Fahrmanövern verwendet (Kategorien «prohibited maneuver» bzw. «calculated/derived prohibited maneuver»). Die geprüften Beispiele zeigen auf, dass beide Kategorien Fahrverbote repräsentieren (siehe Anhang).

Die verbotenen Fahrmanöver betreffen jeweils das Befahren einer Streckensequenz. Diese besteht aus mindestens zwei und maximal sieben Strecken. 98.3% der verbotenen Fahrmanöver weisen eine Sequenz bestehend aus zwei Strecken auf. Verbotenen Fahrmanöver über mehr als zwei Strecken können nicht direkt über die Abbieger in VISUM abgebildet werden. Dazu sind die Definition von Oberknoten und die Sperrung von Oberabbiegern notwendig. Darauf wurde im vorliegenden Projekt verzichtet. In Abschnitt 0 wird aufgezeigt, wie dies umzusetzen wäre.

Die Fahrverbote wurden mittels Anpassung der erlaubten Verkehrssysteme auf den entsprechenden Abbiegebeziehungen übernommen (Aufhebung für Verkehrssystem PW). Aufgrund der vollständigen Prüfung des HLS-Netzes im folgenden Teilschritt (Abschnitt 2.7.3) wurden nur Fahrverbote für Hauptverkehrsstrassen und übrige Strassen übernommen. Total wurden so 28'804 Abbieger angepasst.

2.7.3 Prüfung und Anpassungen

Die systematische Prüfung der Abbiegebeziehungen (dritter Teilschritt) erfolgte bezogen auf die Streckentypen Autobahn, Autostrasse, Anschluss/Verzweigung:

- Automatisierte Aufhebung von U-Turns durch Anpassung der Verkehrssysteme (VSysSet) auf Abbiegebeziehungen, für die gilt: VonStrecke\Nr = NachStrecke\Nr und Typ = [Autobahn, Autostrasse, Anschluss/Verzweigung]
- Manuelle Überprüfung sämtlicher Abbiegebeziehungen an Knoten der Streckentypen Autobahn und Autostrasse sowie bei Bedarf deren Korrektur. An 230 Knoten waren Korrekturen von Abbiegebeziehungen notwendig (Anpassung Attribut VSysSet), insbesondere in den folgenden Fällen:

- Die Typologie der Autobahnen und Autostrassen ist im TomTom-Netz nicht einheitlich. Über 90% des Schnellstrassennetzes wird durch zwei parallele Einrichtungsstrecken repräsentiert, teilweise sind jedoch einfache Strecken im Gegenrichtungsbetrieb vorhanden (vgl. Abbildung 35). Die Anschlüsse der letztgenannten können mit dem Import der TomTom-Daten nicht korrekt abgebildet werden, da sich Abbiegebeziehungen nach den zulässigen Fahrrichtungen orientieren, somit sind alle Abbiegebeziehungen offen.
- Übergänge zwischen den Autostrassen-Abschnitten mit unterschiedlicher Streckenanzahl (vgl. Abbildung 35 rechts).
- Fehlerhafte Knotenanbindungen bei Über-/Unterführungen (Knoten weisen fälschlicherweise eine Anbindung an Autobahn/Autostrasse-Strecken auf, vgl. Abbildung 36 links);
- Betriebseinfahrten / Betriebsausfahrten als Anschluss (vgl. Abbildung 36 rechts).

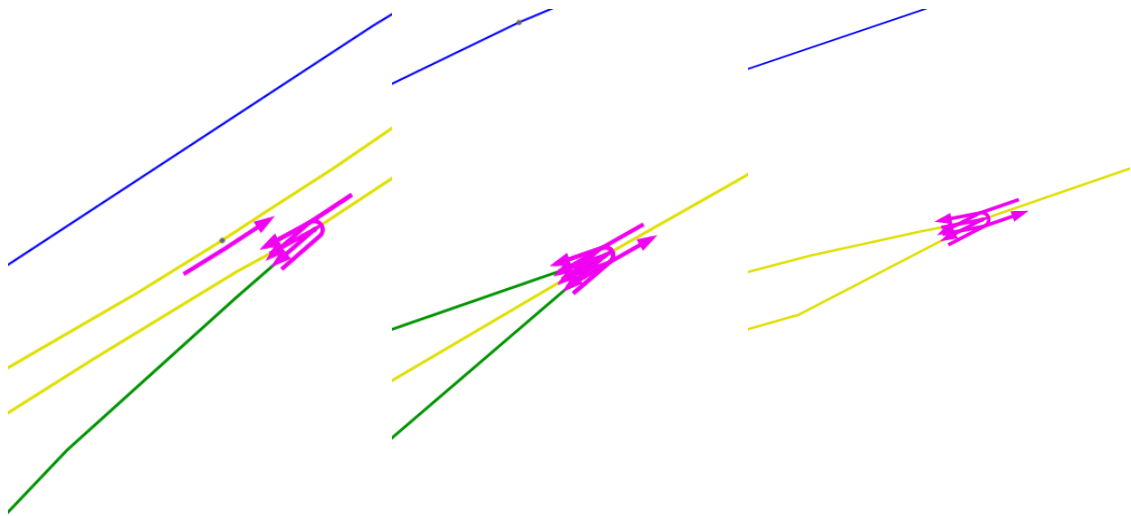


Abbildung 35: Notwendige Abbiegeverbote (pink) bei Anschlüssen mit zwei Strecken (links), Anschlüssen mit einer Strecke (Mitte) sowie Übergangsstellen (rechts)

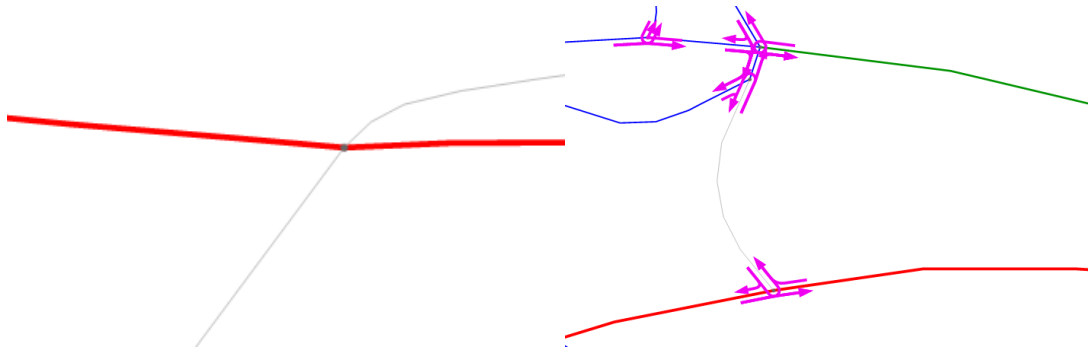


Abbildung 36: Fehlerquellen Knoten mit Über-/Unterführung (links), Betriebseinfahrten / Betriebsausfahrten (rechts)

2.7.4 Ausblick: Oberabbieger

Verbotene Fahrmanöver über eine Sequenz von mehr als zwei Strecken müssen über Oberknoten und Oberabbieger in VISUM implementiert werden (vgl. Abbildung 38). Für die Schweiz sind rund 430 verbotene Fahrmanöver verfügbar (404 mit 3 Strecken, 26 mit mehr als 3 Strecken). Auf eine Implementierung wurde im Rahmen dieser Arbeiten verzichtet. Ein mögliches Vorgehen zur Berücksichtigung dieser Informationen ist im Folgenden beschrieben.

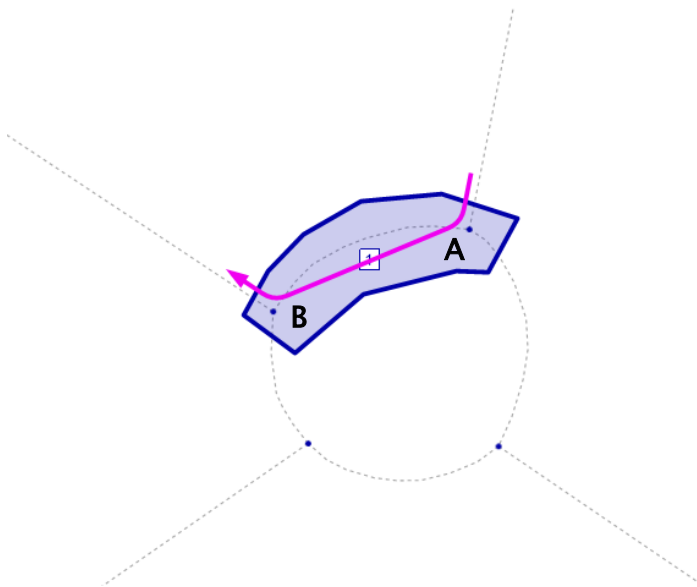


Abbildung 37: Beispiel eines gesperrten Oberabbiegers

1. **Übernahme Liste der verbotenen Fahrmanöver:** Aus dem TomTom-Datensatz werden diejenigen Fahrverbote extrahiert, welche eine Sequenz von mindestens 3 Strecken aufweisen.

ID Fahrverbot	SE-QNR	ID Strecke	
17560000614864	1	17560000554172	
17560000614864	2	17560000614865	
17560000614864	3	17560000675683	
...			

Tabelle 16: Beispiel einer TomTom-Sequenz zu einem verbotenen Fahrmanöver

2. **Erstellung von Oberknoten:** Für jede Streckensequenz wird ein Oberknoten definiert. Über die ID der Eingangs- und Ausgangsstrecken wird die Knotenliste nach den Knoten der betroffenen Streckensequenz gefiltert. Mit den räumlichen Angaben kann der Koordinatenschwerpunkt des Oberknotens aus den gefilterten Knoten gebildet werden. Die Knoten werden dem Oberknoten über die Oberknoten-Nr. zugeordnet.

Nr.	Schwerpunkt x-Koordinate	Schwerpunkt y-Koordinate	Knoten
1	698'973	220'511	A, B
...			

Tabelle 17: Struktur Attribute Oberknoten

Nr.	Eingangsstrecken: ID	Ausgangsstrecken: ID	Oberknoten: Nr.
A	17560000554172,	17560000614865,	1
	...	...	
B	17560000614865,	17560000675683,	1
	...	...	
...			

Tabelle 18: Struktur Attribute Knoten

3. **Anpassung Oberabbieger:** Für die definierten Oberknoten können nun die Fahrverbote auf den betroffenen Oberabbiegern bestimmt werden. Hierzu wird nach der ersten und letzten Strecke der Fahrverbotssequenz gefiltert und hierfür das Verkehrssystem P entfernt.

Oberknoten: Nr.	VonStrNr	NachStrNr	VSysSet
1	17560000554172	1756000067568	V
...			

Tabelle 19: Struktur Attribute Oberabbieger

2.8 Streckentypen

In diesem Arbeitsschritt wurde allen Strecken ein Streckentyp zugeordnet. Ausgangspunkt ist neuerlich die FRC-Typisierung der TomTom-Daten, welche jedoch für die Attributierung eines Verkehrsmodells zu wenig differenziert ist. So wird darin zum Beispiel nicht zwischen den nationalen Netzhierarchiestufen Autobahnen, Autostrassen und Hauptstrassen unterschieden (vgl. Tabelle 20).

Typ-Nr.	Functional Road Class
-1	Not Applicable
0	Motorway, Freeway, or other Major Road
1	A Major Road Less Important than a Motorway
2	Other Major Road
3	Secondary Road
4	Local Connecting Road
5	Local Road of High Importance
6	Local Road
7	Local Road of Minor Importance
8	Other Road

Tabelle 20: Typisierung im TomTom-Netz

Eine Differenzierung der Streckentypen erfolgt nach den folgenden Gesichtspunkten:

- Den Streckentypen werden in einem späteren Schritt Capacity-Restraint-Funktionen (CR-Funktionen) zugeordnet, wobei identische CR-Funktionen zu verschiedenen Streckentypen gehören können. Strecken, die unterschiedliche CR-Funktionen aufweisen, müssen zwingend unterschiedliche Streckentypen haben.
- Die Streckentypen erlauben eine schnelle Auswahl von Strecken für eine differenzierte Modellauswertung (z.B. Fahrleistung auf Autobahnen).
- Jedem Streckentyp sind die zugelassenen Verkehrssysteme eindeutig zugeordnet.

- Streckentypen sind in der Regel eine Funktion der Anzahl Fahrstreifen, Modellgeschwindigkeit, Kapazität etc. Eine feine Differenzierung der Streckentypen erleichtert die Modellierung von neuen Strecken.

Zur Ermittlung der Streckentypen werden die FRC gemäss TomTom-Netz über die nachfolgenden Parameter weiter differenziert:

- Obertypen: Autobahn, Autostrasse, Anschluss/Verzweigung, Hauptverkehrsstrasse, Übrige Strassen;
- Anzahl Fahrstreifen;
- Signalisierte Geschwindigkeit;
- Ortslage (innerorts/ausserorts, basierend auf SwissNAMES3D).

Die gemäss Normen¹⁵ relevanten Eigenschaften für die Kapazitätsberechnung sind in den Streckenattributen enthalten, können aber nicht für eine vollständige Differenzierung der Streckentypen verwendet werden. Der Grund dafür liegt bei der Maximalanzahl der im VISUM-Modell verwendbaren Streckentypen, die auf 100 limitiert ist. Die hier aufgeführte Liste nimmt somit nur die zusammen mit Auftraggeber definierten wichtigsten Attribute auf. Zur erweiterten Abdeckung der relevanten Eigenschaften für die Kapazitätsberechnung wurde zusätzlich das Streckenattribut STRECKENTYP_ERW (= erweiterter Streckentyp) bestimmt. Hierfür werden Steigung und Kurvigkeit berücksichtigt und darauf basierend über 100 Streckentypen definiert.

Ermittlung der Ortslage

Für das Attribut „Ortslage“ wird auf die Siedlungsgebiete gemäss SwissNAMES^{3D} (aus SwissTLM^{3D} der Swisstopo) zurückgegriffen. Strassensegmente, deren Mittelpunkt innerhalb des Siedlungsgebiets liegt, werden als „innerorts“ klassifiziert. Bei dieser räumlichen Zuweisung wird zusätzlich eine Toleranz von 50m rund um das Siedlungsgebiet verwendet. So lassen sich Situationen wie in Abbildung 38 realistischer handhaben.

¹⁵ Gemäss SN 640 018a und SN 640 020a sind für HLS und HVS ausserorts folgende Attribute erforderlich: Anzahl Fahrstreifen je Richtung, Längsneigung, Signalisierte Geschwindigkeit (nur HLS), Schwerverkehrsanteil, Ortslage und Kurvigkeit (nur HVS).

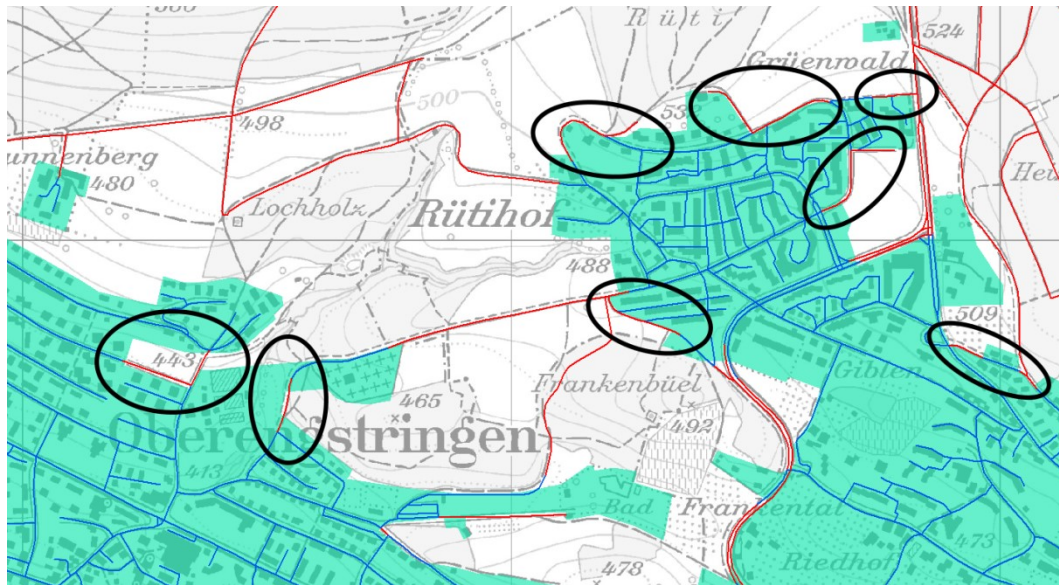


Abbildung 38: Die räumliche Zuweisung der Ortslage ohne Verwendung einer Toleranz rund um das Siedlungsgebiet resultiert in diversen False Negatives für „innerorts“ (schwarz markiert). türkis: Siedlungsgebiet gemäss Swisstopo; rote Strassensegmente: klassiert als ausserorts; blaue Strassensegmente: klassiert als innerorts.

Von der räumlichen Zuweisung ausgenommen werden Strassensegmente mit FRC 0 oder 1. Diese Strecken werden stets als „ausserorts“ kategorisiert.

2.8.1 Ermittlung der Obertypen

Zunächst werden die Strecken in die Obertypen Autobahn/Autostrasse, Hauptverkehrsstrasse und übrige Strassen sortiert. Die Zuordnung erfolgt auf Grundlage der FRC, der signalisierten Geschwindigkeit sowie der Ortslage. Die dabei verwendeten Regeln sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

FRC	Sign. Geschwindigkeit	Ortslage	Obertyp
0	-	ausserorts	Autobahn
1	> 100 km/h	ausserorts	Autobahn
1	> 80 km/h, <= 100 km/h	ausserorts	Autostrasse
1	<= 80 km/h	ausserorts	Hauptverkehrsstrasse
2	-	ausser-/innerorts	Hauptverkehrsstrasse
3/4	> 50 km/h	ausser-/innerorts	Hauptverkehrsstrasse
3/4	< 50 km/h	innerorts	Übrige Strassen
3/4	50 km/h	innerorts	Übrige Strassen
3/4	<= 50 km/h	ausserorts	Übrige Strassen
5-8	-	-	Übrige Strassen

Tabelle 21: Zuordnungsregeln zur Bestimmung der Obertypen

Für eine genauere Abgrenzung zwischen Hauptverkehrsstrasse und übrigen Strassen wären weitere Attribute wie Strassenbreite, seitliche Hindernisfreiheit, Fahrbahnmarkierung und Vorhandensein von Trottoirs notwendig, welche bei den verwendeten Grundlagen nicht vorlagen.

Gemäss den verwendeten Regeln wird insbesondere in der FRC 4 tendenziell die Menge der Strecken der Kategorie Hauptverkehrsstrassen gegenüber übrigen Strassen überschätzt. Dies ist insofern vertretbar, da für diese eine differenziertere Kapazitätsbetrachtung möglich ist als für die übrigen Strassen.

In einem zweiten Schritt wird die Zuordnung stichprobenmässig plausibilisiert. Darin enthalten ist die Prüfung des gesamten Schnellstrassennetzes der Schweiz, bestehend aus nationalen und kantonalen Autobahnen sowie Autostrassen (vgl. Abbildung 39). Der Abgleich erfolgt über Abschnittslisten der Autobahnen und Autostrassen in der Schweiz. Die Zuordnung des Obertyps wird bei Bedarf manuell angepasst, zudem wird das Attribut «EBP_Eigentum» für alle Strecken des Schnellstrassennetzes manuell definiert. In diesem Attribut ist gespeichert, ob es sich um eine nationale oder kantonale Autobahn/Autostrasse handelt.

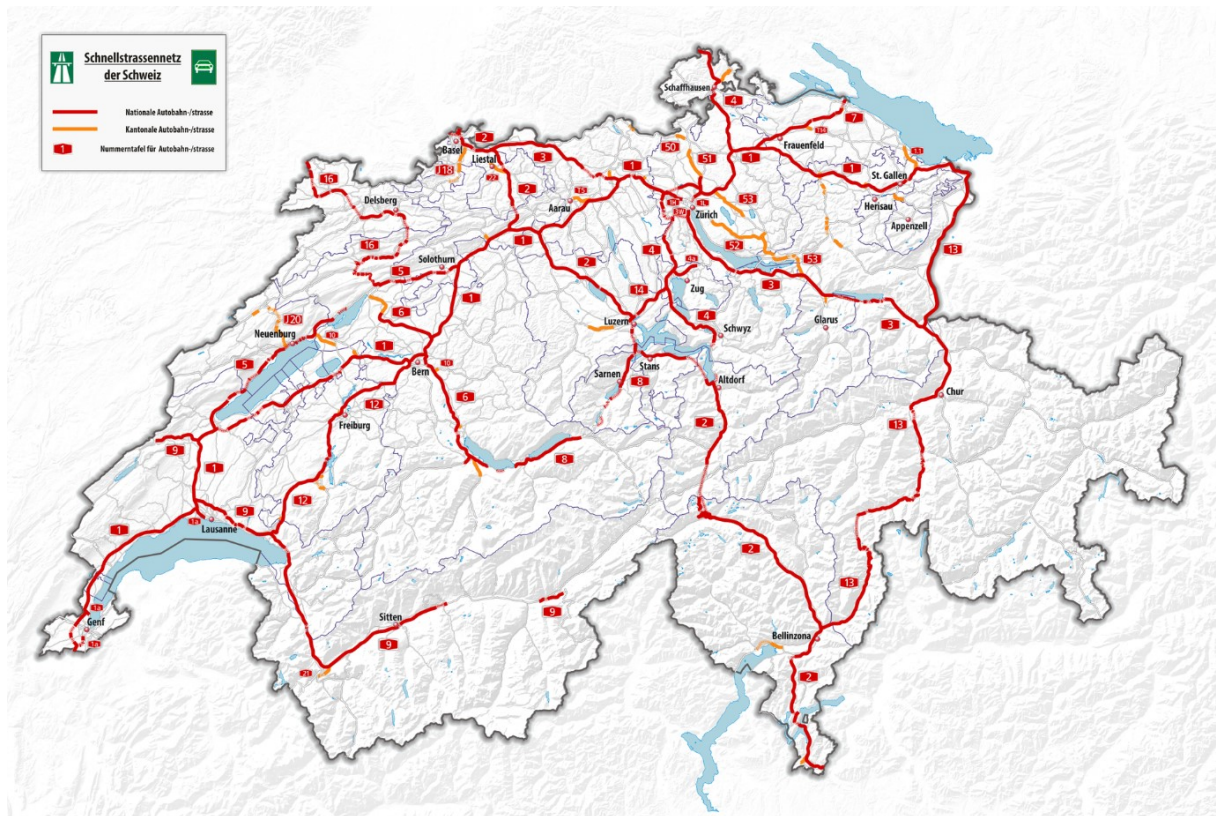


Abbildung 39: Übersicht HLS-Netz (Autobahnen, Autostrassen) nach Eigentümer (rot: Bund, orange: Kantone)

In einem dritten Schritt werden Strecken dem zusätzlichen Obertyp «Anschluss/Verzweigung» zugeordnet. Dies geschieht teilautomatisiert. Zunächst erfolgt eine automatische Zuweisung für alle Strecken vom Typ HVS oder übrige Strassen, die an einen Knoten anschliessen an dem mindestens 1 Autobahn- oder Autostrassen-Strecke (beide Richtungen) angebunden ist. Von dort ausgehend werden max. 4 Strecken bis zum nächsten Knoten von mind. 3 Strecken dem Obertyp «Anschluss/Verzweigung» zugeordnet (die Zahl 4 hat sich aufgrund der Anzahl betroffener Strecken als sinnvoll erwiesen). Die daraus resultierende Zuordnung ist in Abbildung 40 veranschaulicht. Die grünen Strecken erhalten den Obertyp «Anschluss/Verzweigung» und stellen die Verbindung zwischen der Autobahn (rot) und dem HVS-Netz (blau) her.

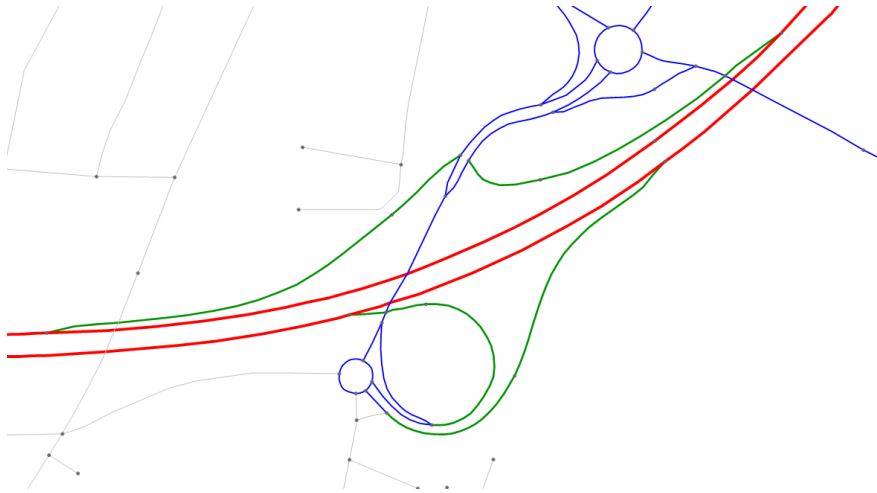


Abbildung 40: Illustration der Bestimmung des Typs Anschluss/Verzweigung; rote Strecken: Autobahn, blaue Strecken HVS, grüne Strecken: Anschluss/Verzweigung

Mit dem Ausführen der Abbiegekontrolle (gemäss Kapitel 2.7) wurden auf dem Schnellstrassennetz sowie in dessen unmittelbarer Umgebung allfällig nötige Anpassungen des Obertyps manuell vorgenommen (insgesamt 510 Korrekturen). Hierzu gehören insbesondere Betriebseinfahrten und Betriebsausfahrten (keine Anschlüsse), Anschlüsse mit mehr als 4 Strecken (vereinzelt) und fehlerhafte Knoten aufgrund von Über-/Unterführungen (fälschlicherweise als Knoten mit Autobahn/Autostrasse-Strecken definiert).

2.8.2 Zuweisung der Streckentypen

Auf der Basis der Obertypen und der oben beschriebenen Attribute werden folgende Streckentypen gebildet (total 74 Streckentypen):

- **Autobahn:** alle Kombinationen der zwei Parameter (12 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 80 / 100 / 120;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3 / 4;
 - (Ortslage: stets ausserorts).
- **Autostrasse:** alle Kombinationen der zwei Parameter (8 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 80 / 100;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3 / 4;
 - (Ortslage: stets ausserorts).
- **Anschluss/Verzweigung:** alle Kombinationen der zwei Parameter (12 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 50 / 60 / 80 / 100;

- Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3;
 - (Ortslage: stets ausserorts).
- Hauptverkehrsstrasse: alle Kombinationen der drei Parameter (18 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 50 / 60 / 80;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3;
 - Ortslage: innerorts / ausserorts.
- Übrige Strassen: alle Kombinationen der drei Parameter (24 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3;
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 30 / 50 / 60 / 80;
 - Ortslage: innerorts / ausserorts.

Bei fehlendem Attribut «Signalisierte Geschwindigkeit» wird das Attribut «V0IV» verwendet. Zudem wird die signalisierte Geschwindigkeit differenzierter (5 km/h Intervall) als die Klassifikation der Streckentypen angegeben. Bei der Zuordnung wurde deshalb folgende Vereinfachung bzgl. Geschwindigkeit getroffen: 30 km/h (5-35 km/h), 50 km/h (40-50 km/h), 60 km/h (55-65 km/h), 80 km/h (70-85 km/h), 100 km/h (90-105 km/h), 120 km/h (≥ 110 km/h).

Strecken- typ	Anzahl Fahrstreifen	Sign. Geschwindigkeit	Obertyp	Ortslage
0	1	80km/h	Autobahn	ausserorts
1	2	80km/h	Autobahn	ausserorts
2	3	80km/h	Autobahn	ausserorts
3	4	80km/h	Autobahn	ausserorts
4	1	100km/h	Autobahn	ausserorts
5	2	100km/h	Autobahn	ausserorts
6	3	100km/h	Autobahn	ausserorts
7	4	100km/h	Autobahn	ausserorts
8	1	120km/h	Autobahn	ausserorts
9	2	120km/h	Autobahn	ausserorts
10	3	120km/h	Autobahn	ausserorts
11	4	120km/h	Autobahn	ausserorts
12	1	80km/h	Autostrasse	ausserorts
13	2	80km/h	Autostrasse	ausserorts
14	3	80km/h	Autostrasse	ausserorts
15	4	80km/h	Autostrasse	ausserorts
16	1	100km/h	Autostrasse	ausserorts
17	2	100km/h	Autostrasse	ausserorts
18	3	100km/h	Autostrasse	ausserorts
19	4	100km/h	Autostrasse	ausserorts
20	1	50km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
21	2	50km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
22	3	50km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
23	1	60km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
24	2	60km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
25	3	60km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
26	1	80km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
27	2	80km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
28	3	80km/h	Hauptverkehrsstrasse	ausserorts
29	1	50km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
30	2	50km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
31	3	50km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts

Strecken- typ	Anzahl Fahrstreifen	Sign. Geschwindigkeit	Obertyp	Ortslage
32	1	60km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
33	2	60km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
34	3	60km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
35	1	80km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
36	2	80km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
37	3	80km/h	Hauptverkehrsstrasse	innerorts
38	1	30km/h	Übrige Strassen	ausserorts
39	2	30km/h	Übrige Strassen	ausserorts
40	3	30km/h	Übrige Strassen	ausserorts
41	1	50km/h	Übrige Strassen	ausserorts
42	2	50km/h	Übrige Strassen	ausserorts
43	3	50km/h	Übrige Strassen	ausserorts
44	1	60km/h	Übrige Strassen	ausserorts
45	2	60km/h	Übrige Strassen	ausserorts
46	3	60km/h	Übrige Strassen	ausserorts
47	1	80km/h	Übrige Strassen	ausserorts
48	2	80km/h	Übrige Strassen	ausserorts
49	3	80km/h	Übrige Strassen	ausserorts
50	1	30km/h	Übrige Strassen	innerorts
51	2	30km/h	Übrige Strassen	innerorts
52	3	30km/h	Übrige Strassen	innerorts
53	1	50km/h	Übrige Strassen	innerorts
54	2	50km/h	Übrige Strassen	innerorts
55	3	50km/h	Übrige Strassen	innerorts
56	1	60km/h	Übrige Strassen	innerorts
57	2	60km/h	Übrige Strassen	innerorts
58	3	60km/h	Übrige Strassen	innerorts
59	1	80km/h	Übrige Strassen	innerorts
60	2	80km/h	Übrige Strassen	innerorts
61	3	80km/h	Übrige Strassen	innerorts
62	1	50km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
63	2	50km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts

Strecken- typ	Anzahl Fahrstreifen	Sign. Geschwindigkeit	Obertyp	Ortslage
64	3	50km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
65	1	60km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
66	2	60km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
67	3	60km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
68	1	80km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
69	2	80km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
70	3	80km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
71	1	100km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
72	2	100km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts
73	3	100km/h	Anschlüsse/Verzweigungen	ausserorts

Tabelle 22: Streckentypen 0-73

2.8.3 Zuweisung der erweiterten Streckentypen

Zur weiteren Differenzierung der Streckentypen wird das Attribut STRECKENTYP_ERW erstellt (Wert: 0-154). Die Klassifizierung erfolgt gemäss folgenden Kriterien (total 155 Streckentypen):

- Autobahn: alle Kombinationen der drei Parameter (36 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 80 / 100 / 120;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3 / 4;
 - Steigung: <2% / 2-4% / >4%;
 - (Ortslage: stets ausserorts).
- Autostrasse: Kombinationen von jeweils drei Parametern (26 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 80 / 100;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3 / 4;
 - Kurvigkeit (in Kombination mit 1 Fahrstreifen): <75gon/km / 75 – 150gon/km / 150 – 250gon/km / >250gon/km;
 - Steigung (in Kombination mit 2-4 Fahrstreifen): <2% / 2-4% / >4%;
 - (Ortslage: stets ausserorts).
- Anschluss/Verzweigung: alle Kombinationen der drei Parameter (24 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 50 / 60 / 80 / 100;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3;

- Kurvigkeit: <150gon/km / >150gon/km;
 - (Ortslage: stets ausserorts).
- Hauptverkehrsstrasse: Kombinationen von zwei bis drei Parametern (45 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 50 / 60 / 80;
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3;
 - Kurvigkeit (in Kombination mit ausserorts): <75gon/km / 75 – 150gon/km / 150 – 250gon/km / >250gon/km;
 - Ortslage: innerorts / ausserorts.
- Übrige Strassen: alle Kombinationen der drei Parameter (24 Streckentypen), wobei folgende Parameterwerte möglich sind:
 - Anzahl Fahrstreifen: 1 / 2 / 3;
 - Signalisierte Geschwindigkeit: 30 / 50 / 60 / 80;
 - Ortslage: innerorts / ausserorts.

2.9 Netzausdünnung und Netzvereinfachung

Das TomTom-Netz ist ein hochaufgelöstes Netz, welches das gesamte Strassennetz der Schweiz abbildet. Während für das neue NPVM grundsätzlich ein hoher Detaillierungsgrad angestrebt wird, sollen dennoch gezielte Ausdünnungen und Vereinfachungen vorgenommen werden, um die Netzgrösse angemessen zu reduzieren. Im Rahmen der Ausdünnung werden Strecken nach festgelegten Kriterien aus dem Netz entfernt. Anschliessend werden in der Netzvereinfachung nebeneinanderliegende Strecken, für die es keinen inhaltlichen Grund – wie die Einmündung einer weiteren Strecke oder ein Wechsel in den Attributen – für eine separate Haltung gibt, zusammengefasst.

2.9.1 Netzausdünnung

Erster Ansatzpunkt für die Ausdünnung ist die FRC der Strecken. Die Mehrheit der circa 1.2 Millionen Strecken im TomTom-Navigationsnetz (zusammen circa 64% aller Strecken) ist den Typen 7 (Local Road of Minor Importance) und 8 (Other Road) zugeordnet. Da die Strecken mit FRC 8 vor allem Feldwege und unbefestigte Strassen abbilden, wurden diese in einem ersten Schritt gelöscht.

Strecken mit FRC 7 dienen der Erschliessung. Im städtischen Raum sind es vor allem Quartiersstrassen, im ländlichen Raum aber neben Quartiersstrassen auch Erschliessungsstrassen in Nebentäler wie in Abbildung 41 dargestellt.

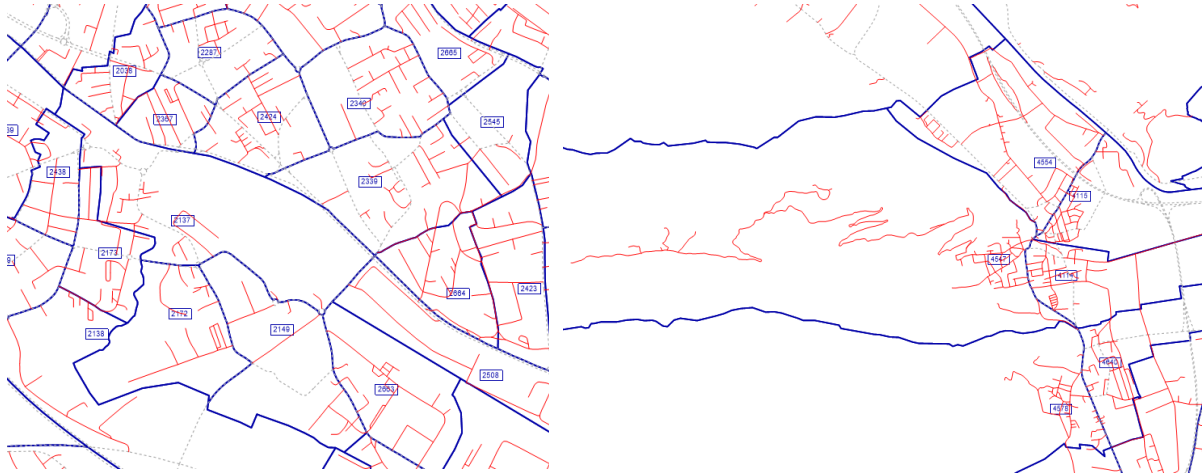


Abbildung 41: FRC 7 Strecken in Lausanne und bei Niederurnen; blaue Linien = Zonengrenzen, rote Linien = FRC 7, grau gestrichelte Linien = FRC < 7

Viele von diesen Strecken sind für ein nationales Personenverkehrsmodell nicht relevant. Ausnahmen sind Strecken,

- die für das Busrouting benötigt werden oder
- die für die Generierung von allfälligen Anbindungen und damit die Erschliessung signifikanter Anteile der Bevölkerung bzw. von Arbeitsplätzen relevant sind.

Die Notwendigkeit der Beibehaltung einer Strecke aufgrund der Verwendung im Busrouting mittels einer Streckennummer aus dem ÖV-Netz ist bekannt. Eine systematische Prüfung der Notwendigkeit der Beibehaltung mit Blick auf das Anbindungskonzept ist schweizweit nicht möglich, da das finale Anbindungskonzept nicht Gegenstand der beauftragten Arbeiten ist. Es wurden jedoch in jeder Zone FRC 7 Strecken erhalten, so dass eine Anbindung auf das untergeordnete Netz möglich bleibt.

Es wurde festgestellt, dass ein substanzieller Anteil der FRC 7 Strecken im städtischen wie im ländlichen Raum kurze Sackgassen sind. Die Ausdünnung setzt daher vor allem bei diesen Sackgassen an. Dabei wird technisch unterschieden zwischen Sackgassen, die in einem Knoten enden und solchen die in einer Schlaufe enden.

Vorgehen

Zunächst wurden die Sackgassen entfernt, die in einer Schlaufe enden. Wie im Kapitel 2.9.2 beschrieben sind diese Schleifen im TomTom-Netz in der Regel als eine Strecke hinterlegt, welche im Rahmen der Netzbereinigung gesplittet wurden, damit sie in VISUM eingelesen werden können. Die entsprechenden Strecken weisen eine Streckennummer > 850'000 auf und können darüber gefiltert werden.

Diese Schleifen wurden über ihre Streckennummer gefiltert und gelöscht, sofern es noch weitere FRC 7 Strecken in der Zone gibt und die Strecken keine Einbahnstrassen darstellen, d.h. das Verkehrsmittel PW in beide Richtungen zugelassen ist.

Anschliessend wurden die Sackgassen, die an einem Knoten enden mit einem iterativen Verfahren entfernt. Dabei wird sichergestellt, dass

- Strecken, die für das Busrouting im ÖV verwendet werden, bestehen bleiben,
- durch Ausdünnung keine isolierten Netzteile entstehen, und
- in jeder Zone, in der vor der Ausdünnung FRC 7 Strecken enthalten waren, auch nach der Ausdünnung noch mindestens ein Streckenzug mit FRC 7 verbleibt.

Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

1. Verschneiden der Strecken mit den Zonen und speichern der Anzahl FRC 7 Zonen je Zone;
2. Markieren der Sackgassenknoten (= Knoten mit nur 2 eingehenden Strecken);
3. Zusammenfassung der Strecken bis zum nächsten Knoten mit 3 oder mehr Armen zu einem Strassenzug. Je Strassenzug wird die Länge (= Distanz) definiert;
4. Ablegen der Strassenzüge in einer nach Distanz geordneten Liste; dabei werden Strassenzüge, die für das Busrouting benötigt werden oder deren Distanz den «Grenzwert für kurze Sackgassen» überschreitet, gefiltert und von der Löschung ausgeschlossen;
5. Beginnend mit dem kürzesten Strassenzug wird durch die Liste iteriert (und sukzessive gelöscht):
 - a. Prüfen, ob nach Löschen des Strassenzugs noch weitere FRC 7 Strecken bzw. Strassenzüge in der jeweiligen Zone liegen:
 - i. Falls Ja: Weiter mit Schritt b;
 - ii. Falls Nein: der Strassenzug wird aus der Liste entfernt, die Strecken des Strassenzugs nicht gelöscht, weiter mit Schritt a;
 - b. Löschen des Strassenzugs (wenn Kriterien dies zulassen);
 - c. Vor Löschung: Prüfung, ob am Endknoten des gelöschten Strassenzugs ein weiterer Strassenzug endet, der in der Liste gespeichert ist, falls ja:
 - i. Herausnahme des Strassenzugs aus der Liste;
 - ii. Neuberechnung des Strassenzugs bis zum nächsten Knoten;
 - iii. Einfügen des neuen Strassenzugs in die Liste mit zu löschenden Netzelementen, falls die Filterkriterien nicht erfüllt sind;
6. Beenden der Ausdünnung, wenn die Liste der zu löschenden Strassenzüge leer ist.

Bestimmung des «Grenzwertes für kurze Sackgassen»:

Für zwei Netzausschnitte (Bern und Glarnerland) wurde der Algorithmus mit verschiedenen Grenzwerten für die Länge der Strassenzüge zwischen 300 und 700 Metern getestet. Der Anteil ausgedünnter Strecken für die beiden Netzausschnitte ist in Tabelle 23 dargestellt. Es ist zu sehen, dass im Glarnerland deutlich mehr Sackgassen ausgedünnt werden als in Bern, wo das Netz dichter ist und daher weniger Sackgassen vorhanden sind. Zudem sind die Sackgassen eher kurz, so dass in Bern mit einem steigenden Grenzwert nur wenig mehr Strecken gelöscht werden.

Grenzwert	Anteil ausgedünnter Strecken	
	Bern	Glarnerland
300 m	12%	26%
400 m	13%	27%
500 m	13%	28%
600 m	13%	29%
700 m	13%	30%

Tabelle 23: Anteil ausgedünnter Strecken je Netzausschnitt

Anders sieht dies im Glarnerland aus. Hier werden mit steigendem Grenzwert auch mehr Strecken gelöscht. Eine visuelle Evaluation der Strecken, die bei einem Grenzwert von 700 Metern zusätzlich gelöscht werden, ergab, dass auch mit diesem Grenzwert keine Strecken gelöscht werden, die für ein nationales Personenverkehrsmodell relevant sind. Es wurde daher in Rücksprache mit dem Auftraggeber festgelegt den Grenzwert von 700 Metern zu verwenden.

Knoten

Durch die Ausdünnung der Strecken entstehen einerseits isolierte Knoten und andererseits werden aus bisher regulären Knoten neu Pseudoknoten. Die isolierten Knoten wurden gelöscht. Die neu geschaffenen Pseudoknoten wurden vorerst im Netz belassen, da über eine Löschung neue Streckennummern entstehen würden und so die Konsistenz mit dem Strassennetz, welches zum Bus-Routing verwendet wurde, nicht mehr gegeben wäre.

Ergebnis

Durch Anwendung dieses Ausdünnungsverfahrens wurden 388'138 Strecken von 1'566'092 gelöscht. Dies entspricht 24.8% der Strecken. Das ausgedünnte Netz umfasst damit 1'177'954 Strecken. Im vollständigen Streckennetz wurden diese Strecken mit der Variable «Ausdünnung» (Wert = 1) markiert.

2.9.2 Netzvereinfachung

Für die Vereinfachung werden unnötige Knoten (Knoten mit nur zwei angebundenen Strecken, welche keine Unterschiede bei relevanten Attributen der angebundenen Strecken repräsentieren) entfernt und die angrenzenden Strecken vereinigt. Dieser Arbeitsschritt wurde nachvollziehbar ausgeführt und dokumentiert (Tabelle mit IDs entfernter Knoten, IDs der vereinigten Strecken mit Referenz auf die ID der neuen Strecke).

Darüber hinaus mussten insbesondere Schleifen (ca. 500 Strecken mit gleichem Anfangs- und Endpunkt und 1'500 parallele Strecken) korrigiert werden, da diese im VISUM-Modell nicht zulässig sind (vgl. Abbildung 42). Für die Korrektur dieser Punkte wurden die fraglichen Strecken in feinere Strecken unterteilt unter Wahrung der korrekten Topologie des Netzwerks.

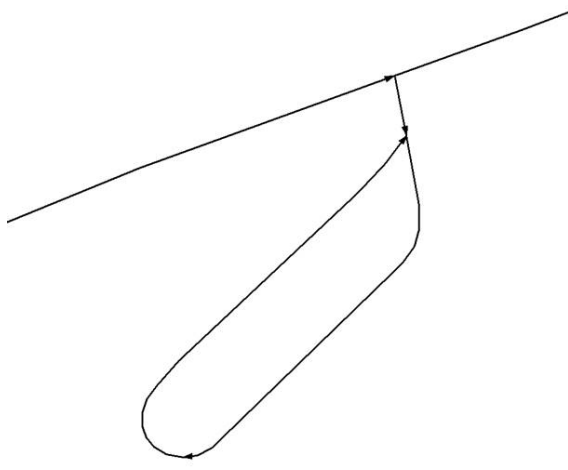


Abbildung 42: Beispiel paralleler Strecken (Richtung spielt bei Parallelität keine Rolle, da VISUM für jeden Link Hin- und Rückrichtung führt)

2.10 Durchgängigkeit und Netzprüfung

Im letzten Arbeitsschritt wurden die Durchgängigkeit des Netzes und die Korrektheit der Netzelemente in VISUM geprüft und allenfalls verbessert. Neben der VISUM-Netzprüfung wurden für 30 Quell-Zielverbindungen die Reisezeiten zwischen repräsentativen Knoten im Netz betrachtet. Dazu wurde ein Vergleich zwischen den Angaben der VISUM-Kurzwegsuche und Google Maps durchgeführt. Weitergehende Netzprüfungen fanden über die Analyse von Kenngrößen statt und sind in Kapitel 3 dokumentiert.

2.10.1 VISUM-Netzprüfung

Die in einem GIS-Format (Esri File Geodatabase Feature Class) gehaltenen Geodaten wurden in ein in VISUM importierbares Austauschdatenformat (Esri Shape-Files) überführt und in VISUM eingelesen. Im Rahmen des Imports wird die VISUM-Netzprüfung verwendet, um Fehler und Netzlücken zu finden und zu beheben. Dies wurde iterativ durchgeführt.

Des Weiteren wurde nach der Zusammenführung von Zonen und finalisiertem Strassennetz die VISUM-Netzprüfung ausgeführt. Die Resultate dieser Funktion sowie der anschliessenden Kontrolle werden in Tabelle 24 aufgeführt. Mit den beschriebenen Anpassungen wurden aufgefundene Inkonsistenzen eliminiert und das Netz erfolgreich geprüft.

Kriterium	Resultat	Anzahl	Umgang
Allgemein			
Isolierte Knoten	ok	-	
Sinnlose Abbieger und Oberabbieger	nicht ok	50'313	Nicht weiter untersucht, da dies keine Beeinträchtigung darstellt (Abbieger für ein Verkehrssystem geöffnet, für das Von- oder Nach-Strecke gesperrt ist).
Mehrfache Geradeaus-Abbieger und -Oberabbieger	nicht ok	45'331	Nicht weiter untersucht, da dies keine Beeinträchtigung darstellt (mehr als einen Geradeaus-Abbieger/-Oberabbieger je Eingangs-Strecke am Knoten).
Individualverkehr (IV)			
Nicht für IV angebundene Bezirke	Nicht ok -> ok	10	Geprüft und manuell ergänzt (ausschliesslich Distanzkriterium und autofreie Tourismusgebiete betroffen) Bezirke: 1521, 1587, 1975, 2563, 2564, 2565, 2751, 6528, 6650, 7766
Netzzusammenhang	Nicht ok -> ok	15'934	Überprüft: ausschliesslich Quell-/Zielbeziehungen Velo des Bezirks 6984 (Bargen), wird beim untergeordneten Netz über Ausland erschlossen
Sackgassen	Nicht ok -> ok	21	Überprüft: alles gerichtete Grenzstrecken (HLS, HVS)
Strecken ohne Nachfolger	Nicht ok -> ok	8	Überprüft: Betriebstor, Pässe, Zollparkplatz Thayngen (gelöscht)
Strecken mit Kapazität IV=0 oder v0=0	ok		
Tauglichkeit für ICA ¹⁶	ok		
Knotengeometrien prüfen	ok		

Tabelle 24: Resultat der Netzprüfung

2.10.2 Plausibilisierung der Reisezeiten

Definition der Ausgangs- und Zielpunkte

Die Plausibilisierung der Reisezeiten erfolgte für alle Verbindungen zwischen 30 Gemeinden in der Schweiz (entspricht 900 Relationen). Es wurden repräsentative Knoten in den 10 grössten

¹⁶ Knotenwiderstandsberechnung nach Highway Capacity Manual (Intersection Capacity Analysis, ICA).

Schweizer Städten, in 10 Agglomerationsgemeinden (>15'000 EW, verteilt über verschiedene Räume der Schweiz) und in 10 grossen Tourismusgebieten definiert (vgl. Tabelle 25). Die VISUM-Abfrage verwendet diese Knoten, die Google Maps-Anwendung erfolgt auf Basis der entsprechenden Koordinaten.

Stadt	Agglomeration	Tourismus
Zürich	Emmen	Zermatt
Genève	Wil (SG)	Davos
Basel	Baar	St. Moritz
Bern	Meyrin	Grindelwald
Lausanne	Wädenswil	Montreux
Winterthur	Renens (VD)	Arosa
Luzern	Wettingen	Engelberg
St. Gallen	Nyon	Ascona
Lugano	Reinach (BL)	Saanen
Biel/Bienne	Burgdorf	Scuol

Tabelle 25: Ausgangs- bzw. Zielpunkte der Netzprüfung

Vergleich der Reisezeiten

Die VISUM-Kurzwegsuche sowie die Google Maps-Abfrage wurden automatisiert zwischen allen Ausgangs- und Zielpunkten ausgeführt. Da das Routing in VISUM im unbelasteten Netz erfolgt, wurde für die Google Maps-Abfrage eine Ankunftszeit um 2 Uhr nachts gewählt, um Einflüsse der Netzbelastung zu reduzieren. Das Resultat ist in Abbildung 43 aufgeführt. Mit dem Streckennetz werden grundsätzlich vergleichbare Reisezeiten erreicht wie mit Google Maps. Die VISUM-Reisezeiten liegen im Schnitt 5-10% darunter.

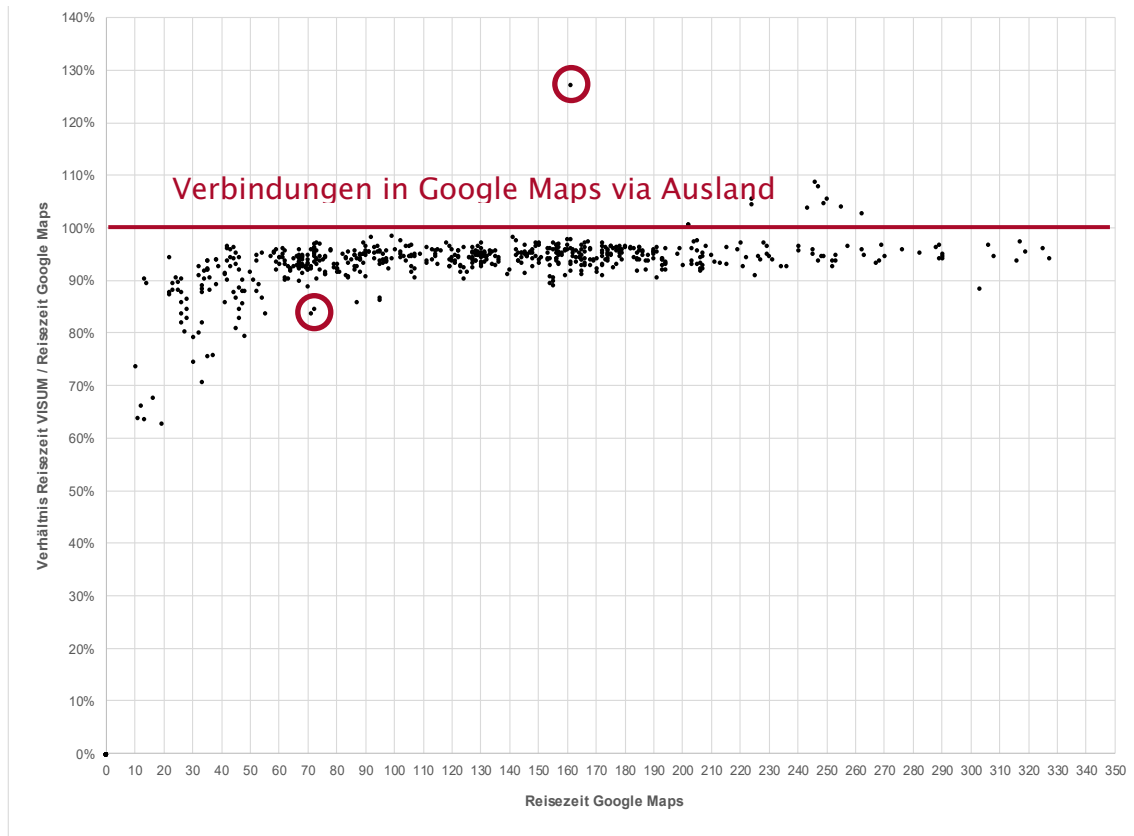


Abbildung 43: Vergleich der Reisezeiten der VISUM-Kurzwegsuche mit Google Maps

Bei sämtlichen Verbindungen, die gemäss VISUM länger dauern als gemäss Google Maps (Verhältnis >100% in Abbildung 43) handelt es sich um Fahrtbeziehungen, welche von Google Maps über ausländische Strecken geroutet werden, die im NPVM-Streckennetz bisher nicht abgedeckt sind. Folgende Abbildung 44 zeigt beispielhaft eine solche Route via Ausland. Gemäss Google Maps dauert die Fahrt von Ascona nach Zermatt via Ausland 162 Minuten, in VISUM im Inland 207 Minuten.

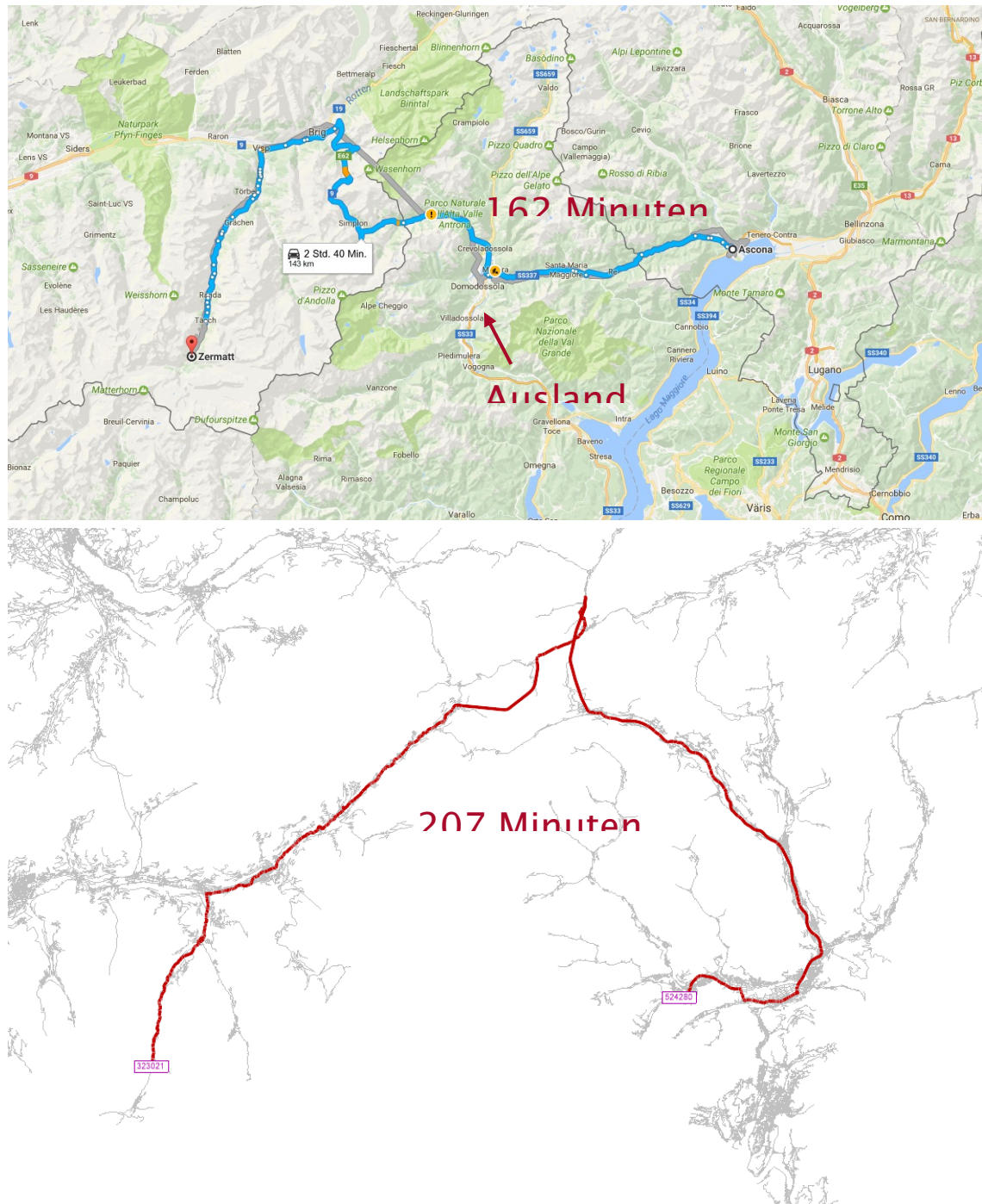


Abbildung 44: Vergleich Routing via Ausland in Google Maps mit VISUM Kurzwegsuche

Als zweites Beispiel zeigt Abbildung 45 das Routing Basel – Zürich in Google Maps und in VISUM. In VISUM ist die Beziehung mit 60 Minuten Fahrzeit 10 Minuten schneller als gemäss Google Maps.



Abbildung 45: Vergleich Routing Basel – Zürich

Der detaillierte Routenvergleich ist in Abbildung 46 dargestellt. Die Schleife, die in Zürich im Routing von Google Maps gefahren wird, erklärt 5 Minuten der Differenz zwischen den beiden Routings. Die restlichen 5 Minuten sind auf die kleinen Routenwahlabweichungen zurückzuführen und/oder eine abweichende Modellgeschwindigkeit.

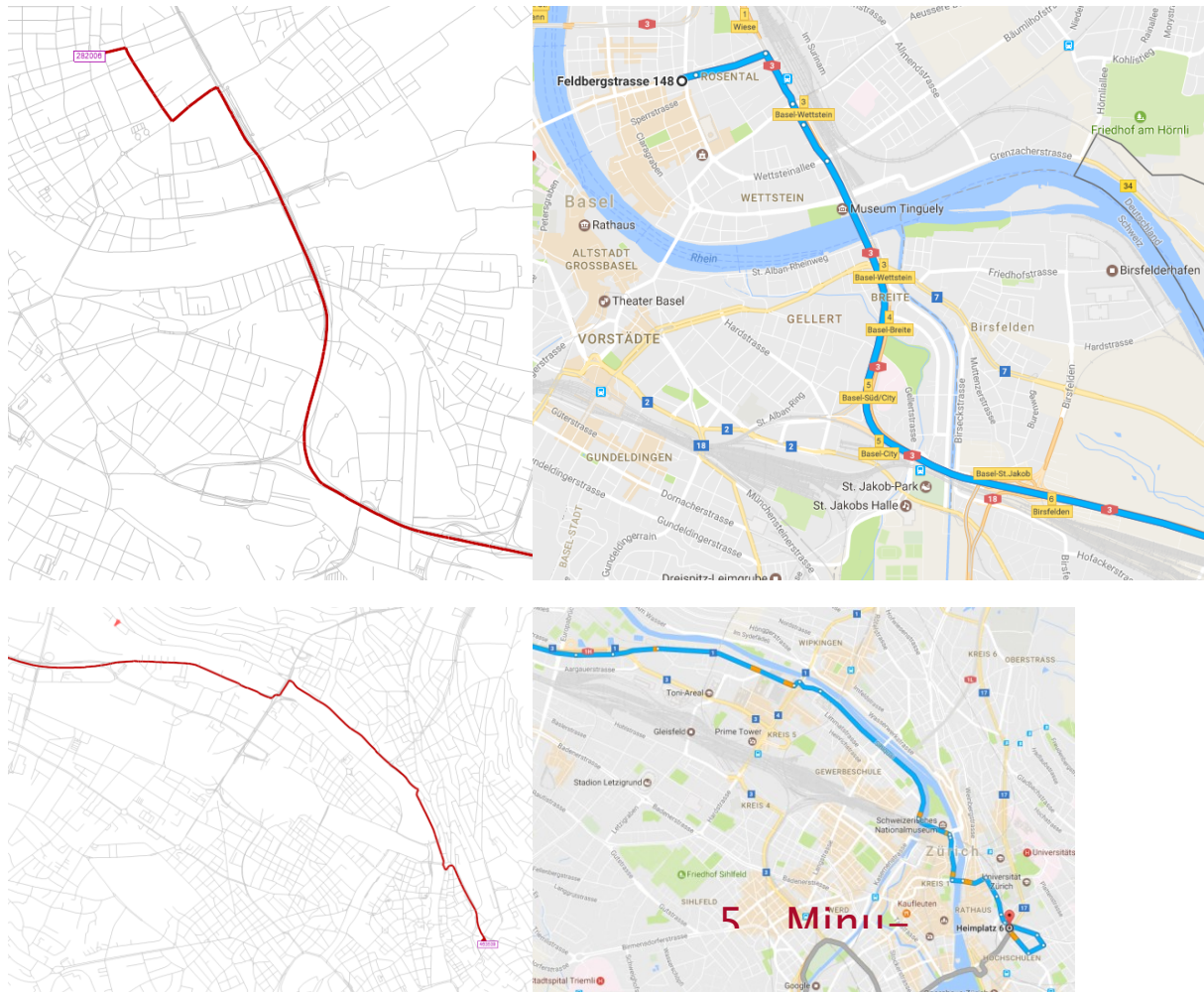


Abbildung 46: Detailvergleich Routing Basel – Zürich

Die Verbindungsvergleiche wie auch die punktuellen Prüfungen lassen schlussfolgern, dass das Strassennetz plausible Aufwandswerte für die Reisezeiten liefert. Die tendenziell etwas geringeren Reisezeiten im Netz gegenüber den Google Maps-Abfragen sind vor dem Hintergrund des vollkommen unbelasteten Netzes und der Kurzwegsuche nachvollziehbar.

3 Öffentlicher Personenverkehr Schiene: Netz und Angebot Schweiz, inkl. Ausland

3.1 Überblick

Ziel

Das ÖV-Angebot wird in zwei Teilschritten erstellt. Im ersten Teilschritt wird das Schienenangebot abgebildet und im zweiten Schritt das Nahverkehrsangebot zugespielt. Die Abbildung des Schienenangebots erfolgt durch Übertrag des Systemfahrplans der SBB auf das Schienennetz des BAVs. Das Ziel ist ein vollständiges, durchgängiges und korrekt geroutetes Schienenverkehrsangebot im In- und Ausland für den Ist- und den Prognosezustand.

Eingangsdaten

Für die Bearbeitung wurden die folgenden Daten verwendet:

- BAV-Netz inkl. Überarbeitungen durch das ARE (Stand 15.12.2016)
- SBB-Netz;
- SBB-Systemfahrpläne für die Jahre 2015 (Ist-Zustand, Planungsstand Januar 2017) und 2030 (Prognose; CH30Prognose_MigVis16_v02, Planungsstand Februar 2017).

Für die Verwendung des BAV-Netzes für das neue NPVM wurde das Netz durch das ARE aufbereitet mit dem Ziel das Netz zu komplettieren und routingfähig zu machen. Die Überarbeitungen am ARE umfassten den Schluss von Lücken im Netz mittels einfügen neuer Netzsegmente (z.B. in Kurven, an denen zwei Schienenstränge zu verbinden waren), sowie die Verknüpfung des Schienennetzes mit den Betriebspunkten des BAVs, welche die Haltestellen darstellen. Die BAV-Betriebspunkte liegen in der Regel auf den Zugangsgebäuden, d.h. den Bahnhöfen, und sind nicht mit dem Schienennetz verbunden. Die Streckenelemente, welche neu die Betriebspunkte mit dem Schienennetz verbinden, werden dabei als separate Netzelemente behandelt, damit bei der späteren Modellierung auf diesen Ästen keine Belastungen angezeigt werden.

Vorgehen

Die Grundlage für das Schienenangebot innerhalb der Schweiz bildet das BAV-Netz. Das Schienennetz im Ausland wird aus dem SBB-Netz übernommen. Die beiden Netze wurden als Datenbanken in VISUM eingelesen und anschliessend miteinander verknüpft. Dazu wurden die folgenden Arbeitsschritte vorgenommen:

1. Übernahme des SBB-Angebots;
2. Überlagerndes Importieren des BAV-Netzes;
3. Umhängen des Auslandsnetzes SBB auf Netz BAV;
4. Löschen der Strecken des SBB-Netzes im Inland;
5. Zuordnung der SBB-Haltepunkte zu den Betriebspunkten des BAV-Netzes;
6. Import SBB-Systemfahrplan 2015 Bahn;
7. Plausibilisierung und Netzbereinigung;
8. Prognosezustand.

Im ersten Schritt wurden die Grundeinstellungen aus dem Modell Simba.Model.CH und das SBB-Angebot miteinander verknüpft. Dann wurde das BAV-Netz aus dem zur Verfügung gestellten Shape-File des ARE überlagernd importiert. Anschliessend wurden an der Landesgrenze die Auslandsstrecken des SBB-Netzes auf das BAV-Netz umgehängt und dann die Strecken des SBB-Netzes im Inland gelöscht. Im nächsten Schritt erfolgt das Umhängen des Fahrplans auf das BAV-Netz durch Zuordnung der SBB-Haltepunkte zu den BAV-Betriebspunkten und damit auch den Netzknoten des BAV-Netzes. Anschliessend wurde der SBB-Systemfahrplan neu eingelesen, trassiert und plausibilisiert. Abschliessend wurde der Prognosezustand 2030 erstellt. Dazu wird der Systemfahrplan für den Prognosezustand eingelesen, trassiert und plausibilisiert. Das Nahverkehrsangebot aus HAFAS wird für die Prognose nicht angepasst, sondern direkt vom Ist-Zustand übernommen (siehe Kapitel 3.9).

Ergebnisse

Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist je ein Schienennetz für den Ist-Zustand und den Prognosezustand, welche über die Schweizer Landesgrenzen hinaus routingfähig sind mit den von der SBB zur Verfügung gestellten Systemfahrplänen. Die beiden Angebote (Ist- und Prognosezustand) sind in der gleichen Version enthalten. Die Zuordnung zum jeweiligen Horizont ist über die Linienattribute (Ja/Nein) „Angebot2015“ bzw. „AngebotProg“ definiert.

3.2 Übernahme des SBB-Angebots

In einem ersten Schritt wurden die Grundeinstellungen (Verkehrssysteme, Betreiber, Richtungen) aus dem Modell Simba.Model.CH eingelesen. Es wird keine Fahrzeugdimensionierung vorgenommen. Das System wird so aufgesetzt, dass diese bei Bedarf in späteren Arbeiten ergänzt werden kann.

Im zweiten Schritt wurde das SBB-Angebot aus einer von der SBB zur Verfügung gestellten Datenbank in VISUM importiert. Ein benutzerdefiniertes Attribut für die Quelle des Angebots („DATENHERKUNFT“) wurde gefüllt und enthält die Bezeichnung «SBB_Simba.CH_2015».

3.3 Überlagerndes Importieren des BAV-Netzes

Das BAV-Netz wurde aus den beiden vom ARE zur Verfügung gestellten Shape-Files importiert. Die beiden Shape-Files sind unterteilt in Liniensegmente BAV-Strecken und Liniensegmente der BAV-Verbindungsstrecken zu den Betriebspunkten (BP). Die entsprechenden Strecken sind in der Versionsdatei unter dem benutzerdefinierten Attribut DATENHERKUNFT als «Netz_BAV» und «Netz_BAV_BP» gekennzeichnet.

Die mit «Netz_BAV_BP» markierten Strecken stellen eine Verbindung zwischen dem Schienen-netz und den Bahnhofsgebäuden dar und werden nicht von den Zuglinien befahren. Über die Koordinaten der jeweiligen VonKnotenNr. und NachKnotenNr. dieser Strecken kann der Bahnhofs- respektive Gleisknoten identifiziert werden. Derjenige Endknoten, welcher dieselbe Ko-ordinate wie einer der beiden Endknoten der «Netz_BAV» Strecke aufweist, wird als Gleiskno-ten festgelegt. Der andere Endknoten repräsentiert folglich den Bahnhofsknoten.

Nach dem Import liegen wie in Abbildung 47 zu sehen zunächst die beiden Streckennetze nebeneinander. Die blauen Strecken stammen aus dem SBB-Netz, die gelben aus dem BAV-Netz. Die roten Knoten entsprechen den Betriebspunkten des BAV, die grünen den Haltestellen des SBB-Netzes.

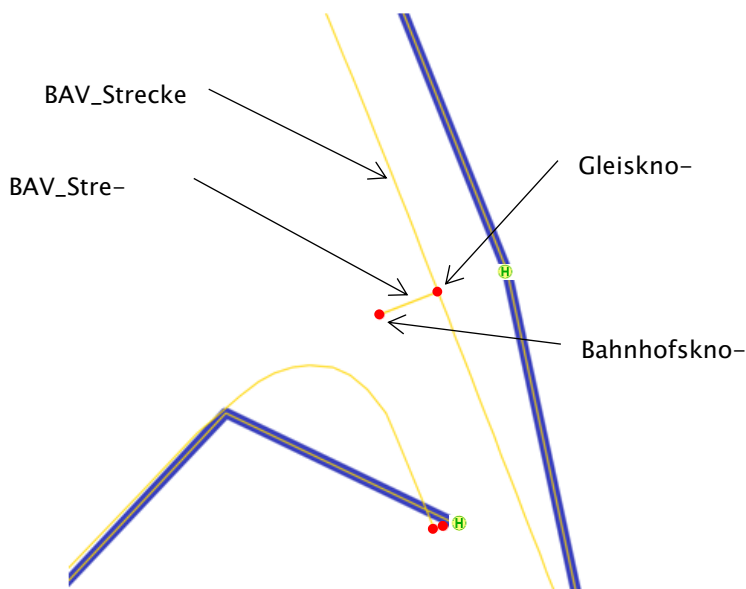


Abbildung 47 Ausschnitt mit den parallel eingelesenen Netzen SBB (blau) und BAV (gelb)

Beim Import des BAV-Netzes wurde folgendes Problem beobachtet: In den Shape-Files sind vereinzelt zwischen 2 Knoten mehrere Strecken vorhanden. Das ist in VISUM nicht zulässig und musste nachträglich angepasst werden. Die nicht eingelesenen Strecken wurden im GIS identifiziert und mit neuen Knoten separat eingefügt. Anschliessend wurden die Strecken in VISUM

gesplittet und die Anfangs- und Endknoten auf die bestehenden Knoten des BAV-Netzes umgehängt. Die vorgenommenen Änderungen am Streckennetz sind in der Versionsdatei im Feld DATENHERKUNFT entsprechend gekennzeichnet.

Anschließend wurden die Streckenlängen in VISUM gesetzt. Die Streckenlängen berechnen sich aus den Polygonlängen. Durch die Import-Funktion „ÖV Angebot aus VISUM importieren“ ist ein Justieren von Geschwindigkeiten, um die realen Linienverläufe zu produzieren, nicht mehr notwendig, da die durchfahrenen Haltepunkte für die Trassierung berücksichtigt werden.

3.4 Umhängen des Auslandsnetzes SBB auf Netz BAV

Das Auslandsnetz wurde von der SBB übernommen. Die Strecken im Ausland wurden deshalb mit den Strecken des BAV verknüpft. Aufgrund der kleinen Zahl an Verbindungsstellen zum Ausland geschah dies manuell. Damit eine Verknüpfung des Liniennetzes möglich ist, wurden vorgängig alle Linien des SBB-Fahrplans gelöscht. Anschließend konnten die Grenzknoten im SBB-Netz mit dem nächstgelegenen Knoten des BAV-Netzes mithilfe einer zusätzlichen Verbindungsstrecke verknüpft werden (siehe Abbildung 48).

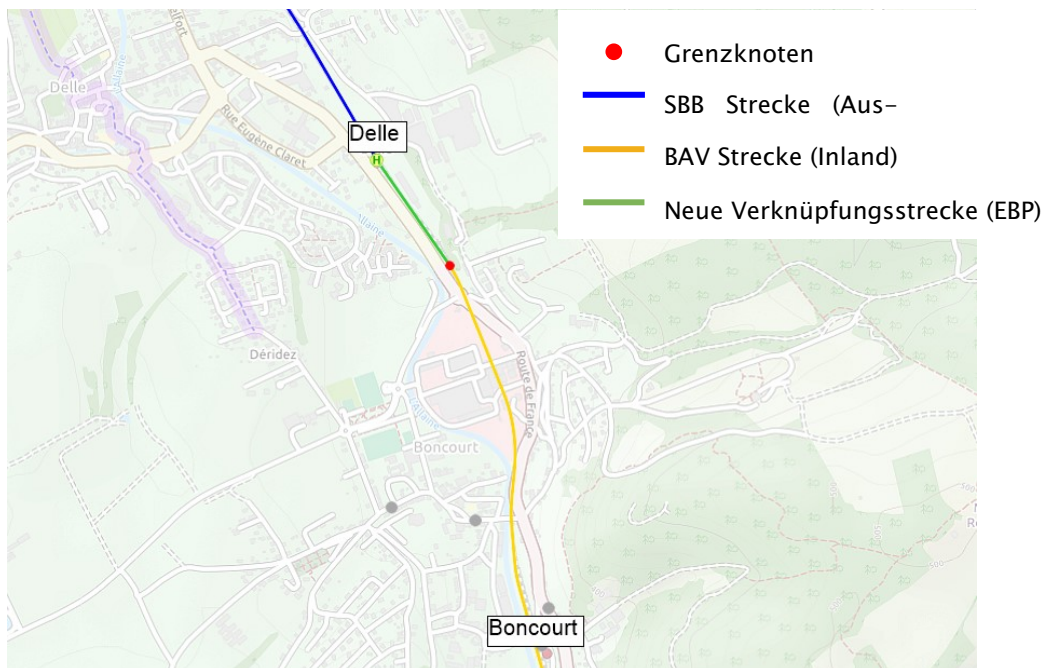


Abbildung 48 Verknüpfung BAV-Netz mit dem Ausland am Beispiel Boncourt

3.5 Löschen der Strecken des SBB-Netzes im Inland

Alle Strecken des SBB-Netzes im Inland wurden gelöscht. Die Knoten und Haltestellen (inkl. Haltestellenbereiche und Haltepunkte) blieben für die spätere Verknüpfung mit dem HAFAS-Netz erhalten.

3.6 Zuordnung der SBB-Haltestunkte zu den Betriebspunkten des BAV-Netzes

Die Modellierung von ÖV-Haltestellen in VISUM ist in Abbildung 49 und Abbildung 50 dargestellt.

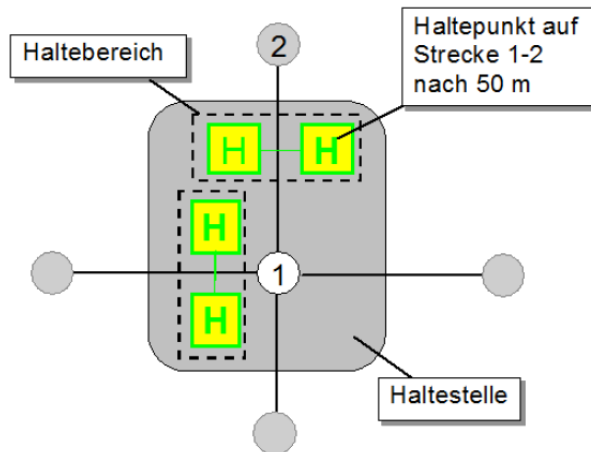


Abbildung 49 Haltestellenhierarchie (Quelle: Handbuch VISUM 15)

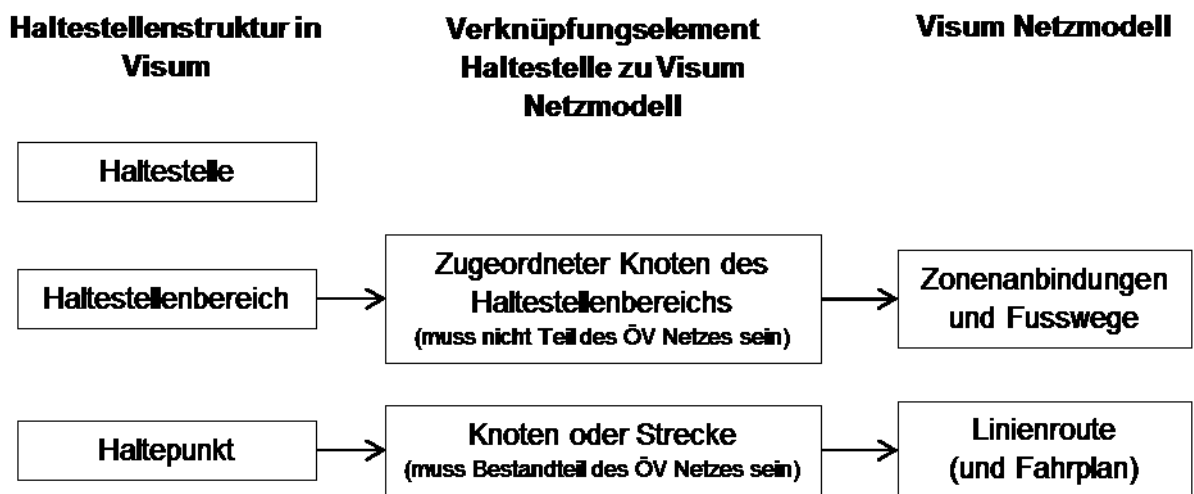
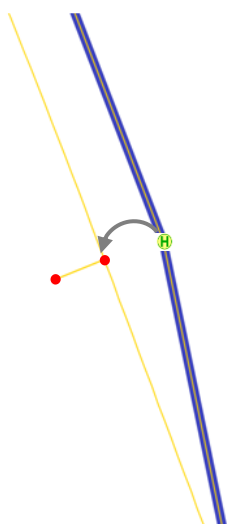


Abbildung 50 Modellierung von ÖV Haltestellen in VISUM

Zu jeder Haltestelle gehört mindestens ein Haltestellenbereich und zu jedem Haltestellenbereich mindestens ein Haltepunkt. Der Zugang von den Zonen zum ÖV-Angebot erfolgt über die zugeordneten Knoten des Haltestellenbereiches. Auch Fusswege von Haltestelle zu Haltestelle müssen zu diesen Zugangsknoten führen. Die zugeordneten Knoten des Haltestellenbereichs müssen nicht Teil des ÖV-Netzes sein. Im ÖV-Angebotsmodell sind alle Haltestellenbereiche einer Haltestelle dem gleichen Knoten zugeordnet. Alle Zonenanbindungen und Fusswege werden an diesen einen Knoten angebunden.

Jeder Haltepunkt ist entweder einem Knoten zugeordnet oder liegt auf einer Strecke. Haltepunkte stellen die Verbindung zwischen den Haltestellen und den ÖV Linien her. Die ÖV-Fahrzeuge fahren von Haltepunkt zu Haltepunkt. Der Knoten oder die Strecke auf der ein Haltepunkt liegt muss daher zwingend Element des ÖV-Netzes sein.

Beim Übertragen der Haltestellen vom SBB-Netz auf das BAV-Netz wird der BAV-Bahnhofsknoten als zugeordneter Knoten (Zugangsknoten) des Haltestellenbereiches und der Gleisknoten als Knoten des Haltepunktes übernommen. So kann gewährleistet werden, dass alle Haltestellenbereiche eines Bahnhofs denselben Zugangsknoten aufweisen. Über eine Schlüsseltablelle (Haltestellen ID und Didok-Nr.) werden die Haltepunkte SBB den Gleisknoten des BAV-Netzes zugeordnet (siehe Abbildung 51).



1. Identifikation des Gleis- respektive Bahnhofsknotens über Schlüsseltablelle mit Didok-Nr.
2. Zuordnung der SBB Haltepunkte auf den Gleisknoten des BAV-Netzes
3. Zuordnung des Zugangsknotens des Haltestellenbereichs auf den Bahnhofsknoten

Abbildung 51 Zuordnung der SBB Haltepunkte auf das BAV-Netz

Nicht zugeordnete Haltepunkte des SBB Netzes wurden iterativ von Hand übertragen. Dies betrifft insbesondere bereits aufgehobene Haltestellen oder zukünftig bediente Haltestellen. Zukünftig bediente Haltepunkte sind über das Attribut «Code» mit einem Unterstrich gekennzeichnet (z.B. _BAAS für Baar Sennweid). Falls am Ort des Haltepunktes SBB kein Knoten im BAV Netz vorhanden war, wird der Haltepunkt auf die Strecke positioniert. Beim darauffolgenden Einlesen des Fahrplanes wird das SBB-Angebot auf das BAV-Netz trassiert.

Durch die Zuordnung des SBB-Haltepunkts auf den Gleisknoten des BAV-Netzes und des Zugangsknotens des Haltestellenbereichs auf den BAV-Bahnhofsknoten verbleiben der Haltestellenbereich und die Haltestelle an der ursprünglichen Lage (siehe Abbildung 52). Die BAV-Verbindungsstrecken stellen die Verbindung zwischen dem Schienennetz und den Bahnhofsgebäuden dar und weisen kein Fahrplanangebot auf. Die Strecken sind kodiert durch das benutzerdefinierte Attribut «BAV_Netz_BP» und der Streckennummer $> 990'000'000 < 991'000'000$.

Dank dieser Verknüpfung über einen einheitlichen Zugangsknoten wird eine korrekte Netztopologie des SBB-Angebots gewährleistet.

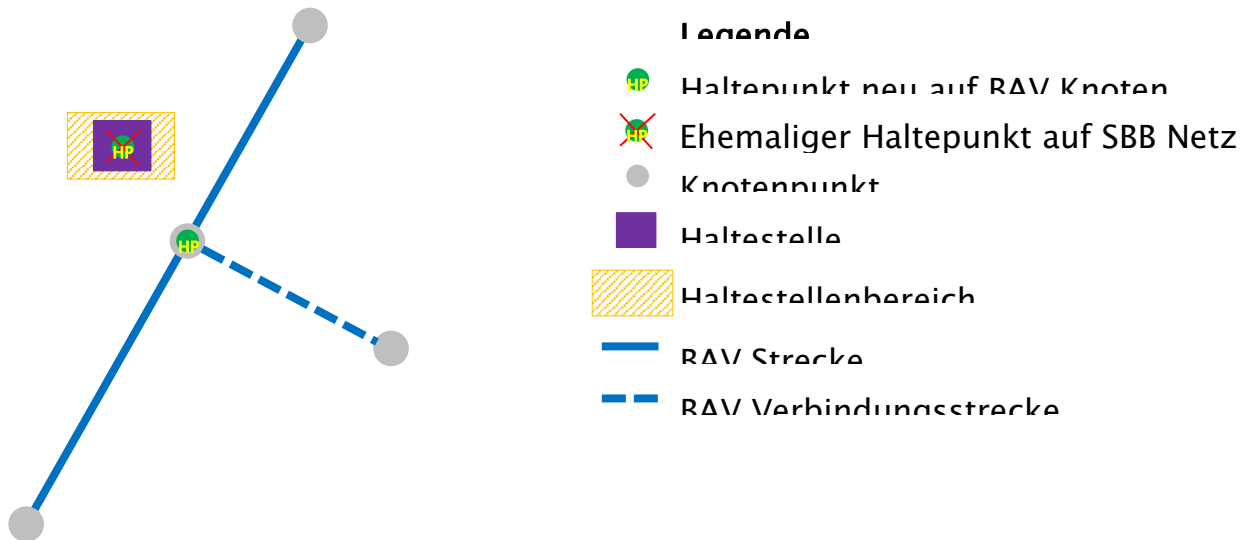


Abbildung 52 Netztypologie nach Zuordnung auf BAV-Netz

An einzelnen Stellen im Bahnnetz weist das SBB-Netz eine Vereinfachung der Infrastruktur auf. An diesen Stellen ist im ÖV-Angebotsmodell ein zusätzlicher Haltepunkt eingefügt worden, welcher einem bereits bestehenden Haltestellenbereich zugeordnet ist. Beim Import wurde dabei die Bedingung formuliert, dass der Haltestellenbereich im Zielnetz mit dem Quellnetz übereinstimmen muss, der Haltepunkt aber innerhalb der vorhandenen Haltepunkte des Haltestellenbereiches gewählt werden kann. Auf diese Weise wurde erreicht, dass beim Einlesen des SBB Angebotes im Beispiel Chur die Arosabahn auf dem Bahnhofsvorplatz am eigenen Haltepunkt halten kann (siehe Abbildung 53).

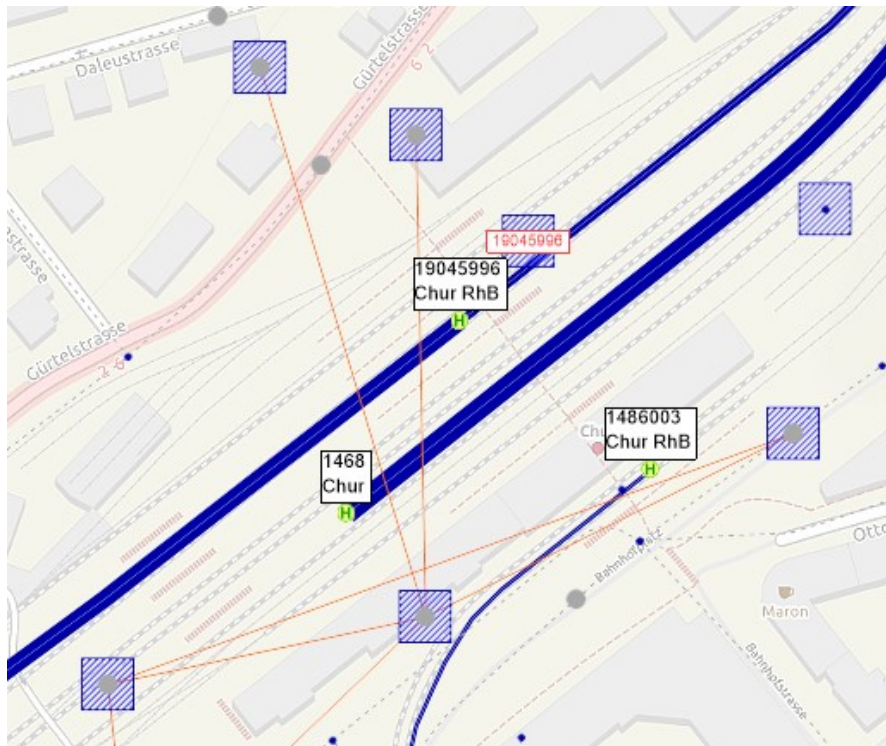


Abbildung 53 Zusätzlicher Haltepunkt 1486003 für die Arosabahn in Chur

Zusätzliche Haltepunkte wurden an folgenden Stellen eingefügt:

1460003	19045970	La Chaux-de-Fonds TRN,CJ	0	☐	41000388	SBB_Simba_ergänzt EBP
1486003	19045996	Chur RhB	0	☐	41003033	SBB_Simba_ergänzt EBP
1987003	19045983	Interlaken Ost BOB,ZB	0	☐	41001632	SBB_Simba_ergänzt EBP
2085003	19045985	Solothurn RBS,ASM	0	☐	41001108	SBB_Simba_ergänzt EBP
2331003	19045978	Montreux MVR/MOB	0	☐	41000483	SBB_Simba_ergänzt EBP
2656002	2656	Sargans	0	☐	41002985	SBB_Simba_ergänzt EBP
3254002	3254	Zermatt	0	☐	41001541	SBB_Simba_ergänzt EBP
3297002	3297	Zweisimmen	0	☐	41000867	SBB_Simba_ergänzt EBP

3.7 Import Systemfahrplan Bahn

Der Import des SBB-Angebots erfolgte mittels VISUM Funktion «ÖV Angebot aus VISUM». Dabei wurden aus dem Ausland nur die Angebote übernommen, welche auch im SBB-Netz enthalten sind. Dies umfasst alle Angebote mit Teilabschnitten innerhalb der Schweiz. Angebote, die vollständig im Ausland liegen, sind nicht enthalten. Durchbindungen der Zuglinien werden beim Import berücksichtigt. Die Trassierung der Zuglinien erfolgte über die durchfahrenen Haltepunkte, einschliesslich der von der Linie nicht bedienten Haltepunkte. Zwischen zwei Haltepunkten wurde über die kürzeste gefahrene Strecke geroutet.

3.8 Plausibilisierung und Netzbereinigung

Anzahl Fahrten pro Strecke

Das resultierende Bahnangebot wurde mit der Anzahl Servicefahrten pro Strecke und pro Werktag mit der Modellierung SBB grafisch verglichen (siehe Abbildung 54 und Abbildung 55). Die Kontrollen anhand der kartografischen Darstellung und den Anzahl Fahrten je Linie deuten darauf hin, dass keine Abweichungen zur SBB Modellierung vorhanden sind. Der Abgleich erfolgte nur visuell, da ansonsten ein Matching der Strecken SBB auf das BAV-Netz notwendig gewesen wäre. Korrekturen waren bei folgenden Trassierungsfehlern nötig:

- Zürich-Thalwil, Züge welche durch den Paralleltunnel Zürich-Thalwil verkehren;
- Sargans, Züge via Schlaufe nach Buchs;
- Durchmesserlinie Zürich (Züge Löwenstrasse nach Oerlikon).

Die Übereinstimmung der Angebote zeigen die nachfolgenden Abbildungen.

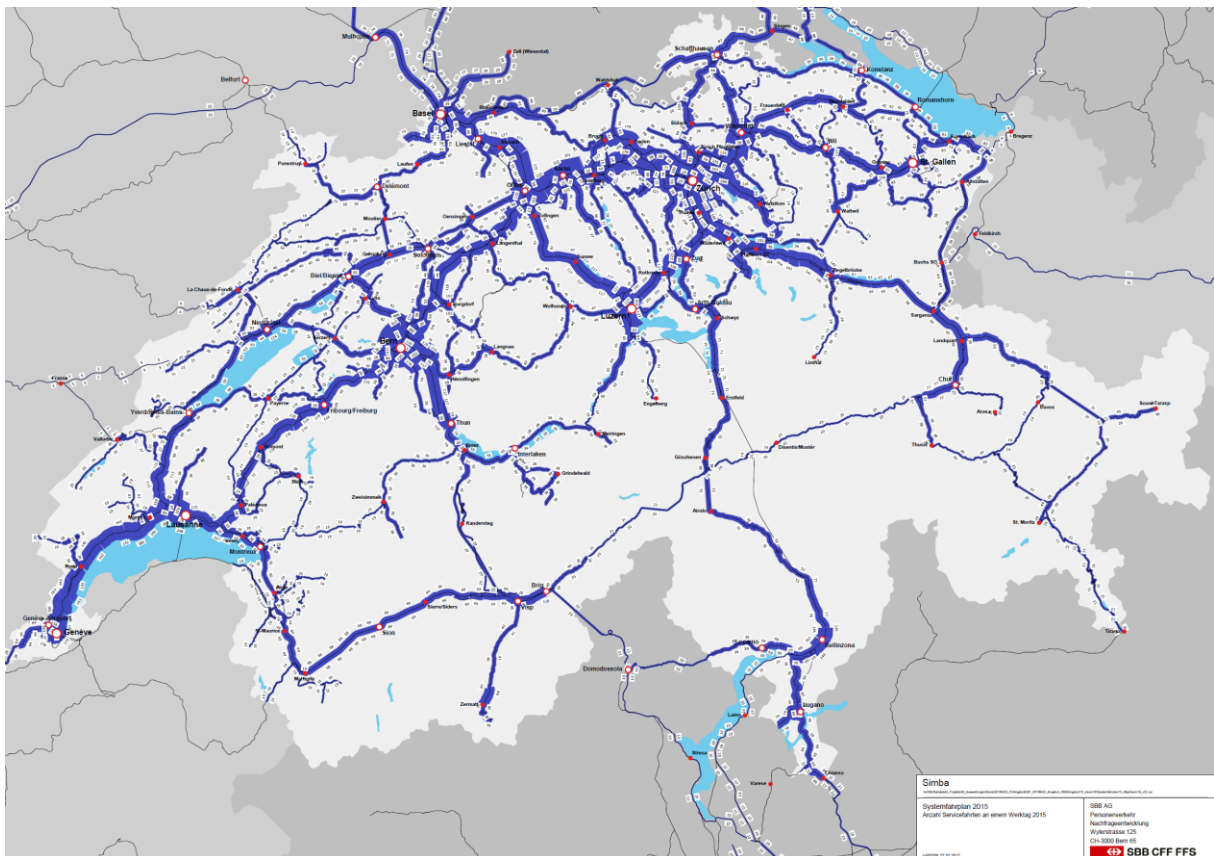


Abbildung 54 Anzahl Servicefahrten im Modell SBB an einem Werktag 2015

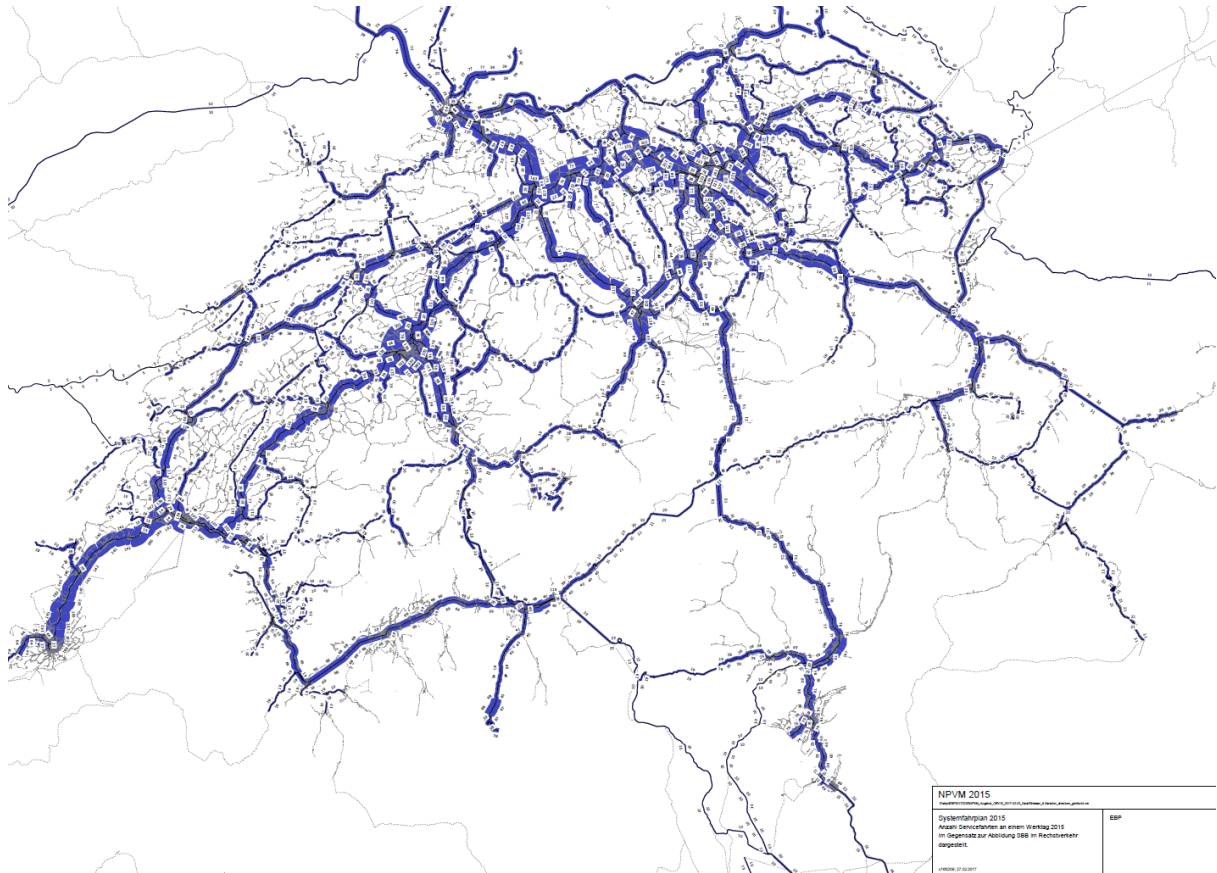


Abbildung 55 Anzahl Servicefahrten im ÖV-Angebotsmodell an einem Werktag 2015

Fahrzeitenvergleich:

Analog zu den Korridorprüfungen im MIV wird über 40 Bahnhalttestellen sowie 10 Haltestellen des übrigen öffentlichen Verkehrs eine Fahrzeitenmatrix erstellt und mit dem Systemfahrplan (SBB-Version) bzw. dem HAFAS-Fahrplan verglichen. Dazu wurde das Auswertungstool «Tool_Auswertung_Teilwege_NPVM.mdb» erstellt.

Abbildung 56 zeigt einen Auszug aus der Matrix der Differenzen zwischen den Fahrtzeiten in Simba und dem NPVM 2016. Es ist zu sehen, dass im NPVM die gleichen Fahrtzeiten wie im SBB Modell gefunden werden. Abweichungen bestehen dort, wo ergänzende HAFAS-Angebote im NPVM genutzt werden und somit die Fahrzeit von gewissen QZ-Beziehungen kürzer ausfällt.

Fahrzeitenvergleich Simba - NPVM (hh:mm:ss)												
QBEZNR	Bezeichner	Huttwil 203	Romont 225	Morges 314	Neuchâtel-Serrières 357	Porrentruy 366	Solothurn 602	Ostermundigen 678	Bern 832	Vevey 846	Fribourg/Freiburg Poya 875	La Chaux-de-Fonds-Est 988
203	Huttwil		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:05:00	00:00:00
225	Romont	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:05:30	00:00:00	00:00:00	00:05:00	00:00:00
314	Morges	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
357	Neuchâtel-Serrières	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:01:30	00:02:00
366	Porrentruy	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:05:00	00:00:00
602	Solothurn	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:05:00	00:00:00
678	Ostermundigen	00:09:30	00:10:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
832	Bern	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00	00:00:00
846	Vevey	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00
875	Fribourg/Freiburg Poya	00:04:30	00:01:30	00:00:00	00:00:00	00:04:30	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00
988	La Chaux-de-Fonds-Est	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	

Abbildung 56 Auszug aus der Matrix der Fahrtzeitdifferenzen Simba - NPVM

Ein Beispiel (nicht in der Tabelle) für eine grosse Fahrzeitabweichung ist die Verbindung von Chur nach Lugano, welche im NPVM über die Postautostrecke Chur-Bellinzona geroutet wird. Der Fahrzeitgewinn gegenüber der SBB-Verbindung beträgt dort 1h 30min.

Anzahl Fahrten je Linie:

Es wird ein Vergleich zwischen den Anzahl Fahrten und Haltestellenabfahrten je Linie vorgenommen. Der Vergleich geschieht über Listen, welche die Anzahl Fahrplanfahrten pro Linie im NPVM mit den Fahrplanfahrten aus dem untrassierten HAFAS Angebot und SBB Modell gegenüberstellt. Die Prüfung zeigt, dass keine Abweichungen vorhanden sind. Dies bedeutet, dass im NPVM Linienangebote übernommen wurden und keine Fahrplanfahrten verloren gingen.

3.9 Prognosezustand

Der Prognosezustand beinhaltet den aktuellen Planungsstand der SBB für das Jahr 2030 vom 27.02.2017 und dient im Kontext dieses Auftrags als Beispiel, um aufzuzeigen, dass der Import technisch funktioniert.

Im ersten Schritt wurde abgeklärt, ob alle Haltepunkte, welche im Prognosenetz vorhanden sind, auch im NPVM Netz bereits vorgesehen sind. Falls dem nicht so ist, müssen diese Haltepunkte und allenfalls dazugehörige Haltestellenbereiche und Haltestellen in das ÖV-Netz des NPVMs eingefügt werden.

In einem zweiten Schritt wurde sichergestellt, dass alle neuen Streckenabschnitte im Netz vorhanden sind. Dazu eignet sich ein Export, der dazugehörenden Strecken und Knoten aus dem

Quellnetz und ein additives Einlesen dieser Elemente in das Zielnetz. Damit auf den Neubau-strecken trassiert werden kann, müssen diese an den entsprechenden Stellen verknüpft werden.

Für den Prognosezustand 2030 waren alle Haltepunkte bereits im Angebot 2015 enthalten. Der Haltepunkt Genève Les Grottes ist im Netz 2015 enthalten, war aber noch nicht einer Infrastruktur BAV zugeordnet. Nach Übernahme der neu benutzten Strecken und Knoten für den unterirdischen Bahnhof in Genf ist der Haltpunkt nun einem dieser Knoten zugeordnet. Die Zufahrten zum unterirdischen Bahnhof wurden mit dem bestehenden Netz verknüpft.

Folgende Infrastrukturausbauten sind für das Prognoseangebot hinzugefügt worden:

- Genève les Grottes;
- Gotthard Basistunnel;
- Ceneri Basistunnel;
- Eppenbergtunnel.

Anschliessend wurde mittels des VISUM-Assistenten „ÖV Angebot aus VISUM importieren“ das Prognoseangebot übernommen. Durch iteratives Einlesen konnte das komplette Prognoseangebot eingelesen werden. Nach dem Import wurden analog zum Angebot 2015 die Anzahl Servicefahrten und die Anzahl Linien pro Strecke mit der SBB Modellierung visuell plausibilisiert. Die neu eingefügten Strecken sind im Attribut Datenherkunft als «SBB_Prognose» gekennzeichnet.

In der Prognose können sich Umsteigezeiten zwischen HAFAS- und SBB-Angebot verändern. Um den Umfang veränderter Umsteigezeiten zwischen Ist-Zustand und Prognose abschätzen zu können, werden im Rahmen der Kenngrössenberechnung die Umsteigematrix des Ist-Zustands und des Prognosezustands erzeugt und verglichen (siehe Kapitel 7.4).

4 Öffentlicher Personenverkehr Tram & Bus: Netz und Angebot Schweiz

4.1 Überblick

Ziel

Das Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es das Schienenangebot um das Angebot im Nahverkehr zu ergänzen. Grundlage dafür ist der HAFAS-Fahrplan 2015 mit allen Nahverkehrsangeboten einschliesslich Bussen, Trams, Schiffsverbindungen etc. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Umsteigebeziehungen zwischen Nahverkehr und Schiene gelegt, welche über Fusswege modelliert werden.

Eingangsdaten

Für die Bearbeitung wurden die folgenden Daten verwendet:

- Konsolidiertes Bahn-Netz gemäss Kapitel 3;
- Konsolidiertes Strassennetz gemäss Kapitel 2;
- HAFAS-Fahrplan 2015;
- Haltestellenkoordinaten aus OpenStreetMap (OSM).

Vorgehen

Die Modellierung des Nahverkehrsangebots erfolgt in fünf Schritten:

1. Abbildung der Haltestellen und Umsteigebeziehungen
2. Import HAFAS-Angebot
3. Trassierung Tramangebot
4. Trassierung Busangebot
5. Plausibilisierung

Im ersten Schritt erfolgte die Modellierung der Umsteigebeziehungen zwischen dem Schienen-Angebot und dem HAFAS-Angebot. Dazu wurden die Haltestellen aus HAFAS eingelesen und die Fusswege zu den Bahnhöfen halbautomatisiert auf das Schienenangebot umgehängt. Damit wurde die Grundlage für den Import des HAFAS-Angebots gelegt. Anschliessend wurde der HAFAS-Fahrplan mittels der entsprechenden VISUM-Schnittstelle importiert. Das Tram-Angebot wurde anschliessend auf der im BAV-Netz enthaltenen Schieneninfrastruktur trassiert. Für die Trassierung des Bus-Angebots wurde das in Kapitel 2 erstellte Strassennetz importiert und die Busse unter Zuhilfenahme von Haltestellenkoordinaten aus OpenStreetMap trassiert.

Abschliessend wurden das resultierende Nahverkehrsangebot plausibilisiert und notwendige Korrekturen vorgenommen.

Ergebnisse

Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist eine vollständig geroutete, fahrplanfeine Abbildung des gesamten ÖV-Angebotes der Schweiz für das Jahr 2015 (Abbildung 57). Dargestellt ist die Anzahl Fahrplanfahrten je Strecke aus dem SBB-Angebot (rot) und dem HAFAS-Angebot (blau).

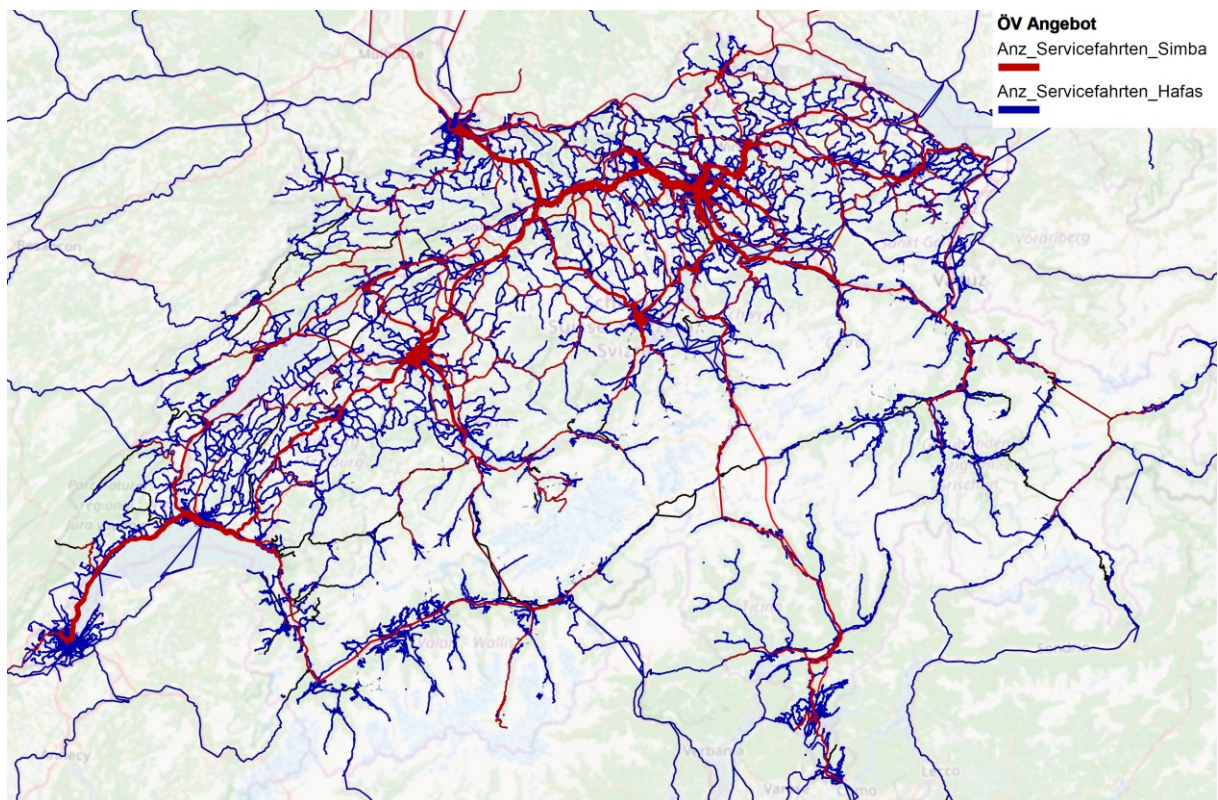


Abbildung 57 Resultierendes Netz: Anzahl Fahrplanfahrten¹⁷

4.2 Abbildung der Haltestellen und Umsteigebeziehungen

Haltestellen in HAFAS enthalten keine Informationen über Haltestellenbereiche, wie sie in der Planung des Fahrplans verwendet werden. Die Haltestellenhierarchie, wie sie von VISUM vorgegeben wird (siehe Kapitel 3.6), wird in HAFAS nicht umgesetzt. Im neuen ÖV-Netz wird daher jede Haltestelle aus HAFAS mit genau einem Haltestellenbereich und einem Haltepunkt modelliert.

¹⁷ Deutlich zu sehen ist im HAFAS-Angebot neben dem dichten Nahverkehrsangebot in den Städten die hohe Frequenz der Seilbahnen in den Berggebieten.

Dadurch wird die Haltestellenstruktur aus HAFAS übernommen und es kann sichergestellt werden, dass die Mindestumsteigezeiten entsprechend den Definitionen in HAFAS korrekt übernommen werden. Umsteigebeziehungen zwischen Haltestellen werden mit Fusswegen zwischen den Haltestellen ebenfalls genau wie in HAFAS abgebildet.

Die Fusswege zwischen den Haltestellen werden in HAFAS in der Datei METABHF abgebildet. Diese ist im Original in zwei Informationsblöcke aufgeteilt. Der erste Block enthält die Umsteigezeiten zwischen den Haltestellen. Im zweiten Block sind die Haltestellen zu Gruppen zusammengefasst, welche für die Fahrplanauskunft als äquivalent (für Start oder Ziel einer Fahrplanabfrage) ausgegeben werden.

Eine automatische Übernahme dieser Struktur in VISUM würde dazu führen, dass diese Umsteigebeziehungen als Haltestellenbereiche und Haltepunkte modelliert und den erstgenannten Haltestellen zugeordnet werden. Dadurch würden die Haltestellen in ihrer Struktur gegenüber dem Datenmodell in HAFAS verändert. Eine Statistik zu Ein- und Aussteigenden je Haltestelle würde dann auch Einsteigende von umliegenden Haltestellen beinhalten. Zudem sind die Haltestellen nicht nach ihrer Bedeutung geordnet. Dies könnte dazu führen, dass einem Bahnhof der Name der davorliegenden Bushaltestelle zugeordnet wird.

Aus diesen Gründen wurde die Haltestellenzuordnung beim Import in VISUM nicht berücksichtigt. So bleiben die im HAFAS vorgegebenen Haltestellendefinitionen erhalten. Aus der Datei METABHF wurden somit nur Umsteigebeziehungen über Fusswege übernommen. Es wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- Die Struktur der Haltestellen wurde aus HAFAS übernommen.
- Die Umsteigezeiten innerhalb einer Haltestelle wurden aus HAFAS übernommen.
- Fusswegbeziehungen wurden als Fusswege in VISUM übernommen. Die Umsteigebeziehungen vom HAFAS-Angebot auf das SBB-Angebot werden überall dort gewährleistet, wo ein Fussweg zu einem Bahnhof in HAFAS vorhanden ist. Diese Fusswege wurden auf den Zugangsknoten des Haltestellenbereichs des BAV-Netzes umkodiert. Für Umsteigebeziehungen von einem HAFAS-Angebot auf ein anderes (z.B. Tram auf Bus, sofern als zwei verschiedene Haltestellen im Modell abgebildet) können die Fusswege ebenfalls auf die jeweiligen Zugangsknoten der Haltestellenbereiche belassen werden.

Ein Schema der Haltestellenhierarchie und ein entsprechendes Beispiel aus VISUM sind in Abbildung 58 und Abbildung 59 veranschaulicht.

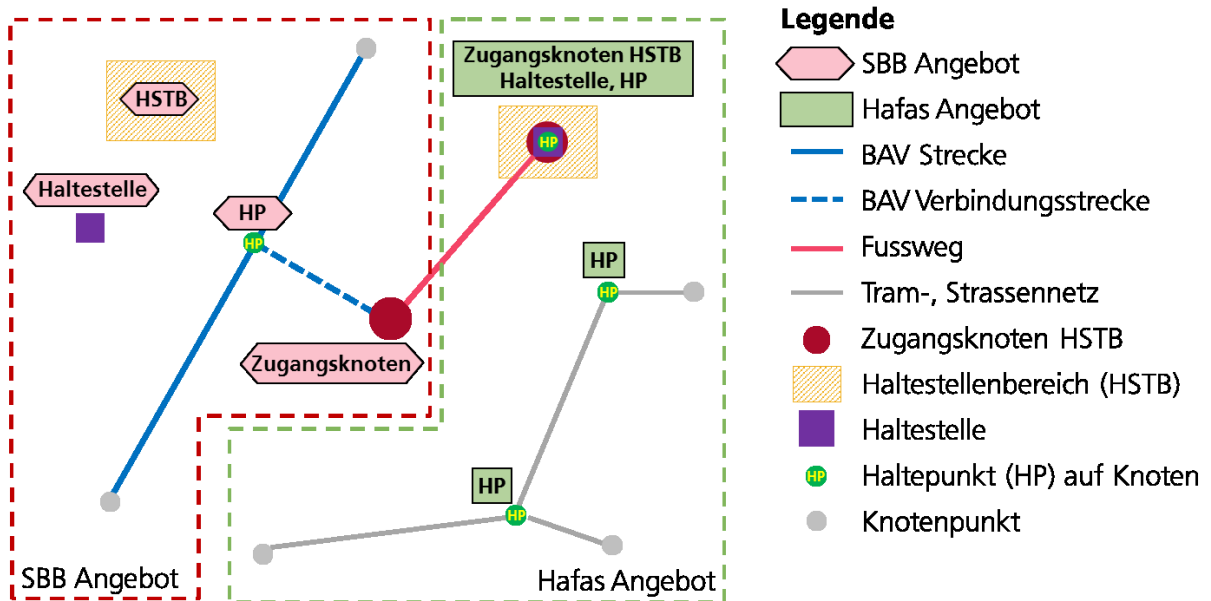


Abbildung 58 Schematische Darstellung Netzhierarchie

Die Linien aus dem HAFAS-Angebot bedienen die mit HP beschriebenen Haltepunkte. Sie gehören zum Haltestellenbereich aus HAFAS (oben rechts). Die Haltestelle, der Haltestellenbereich und der ursprüngliche Haltepunkt aus HAFAS befinden sich an derselben Lage. Der entsprechende Knotenpunkt stellt den Zugangsknoten zum HAFAS Angebot dar. Der Übergang zwischen HAFAS-Angebot und dem SBB-Angebot erfolgt über Fusswege von Zugangsknoten HAFAS zu Zugangsknoten SBB. Somit führt nur der Fussweg, welcher das Umsteigen von den Tram- und Buslinien zur Bahn ermöglicht, vom Zugangsknoten HAFAS zum BAV Betriebspunkt.

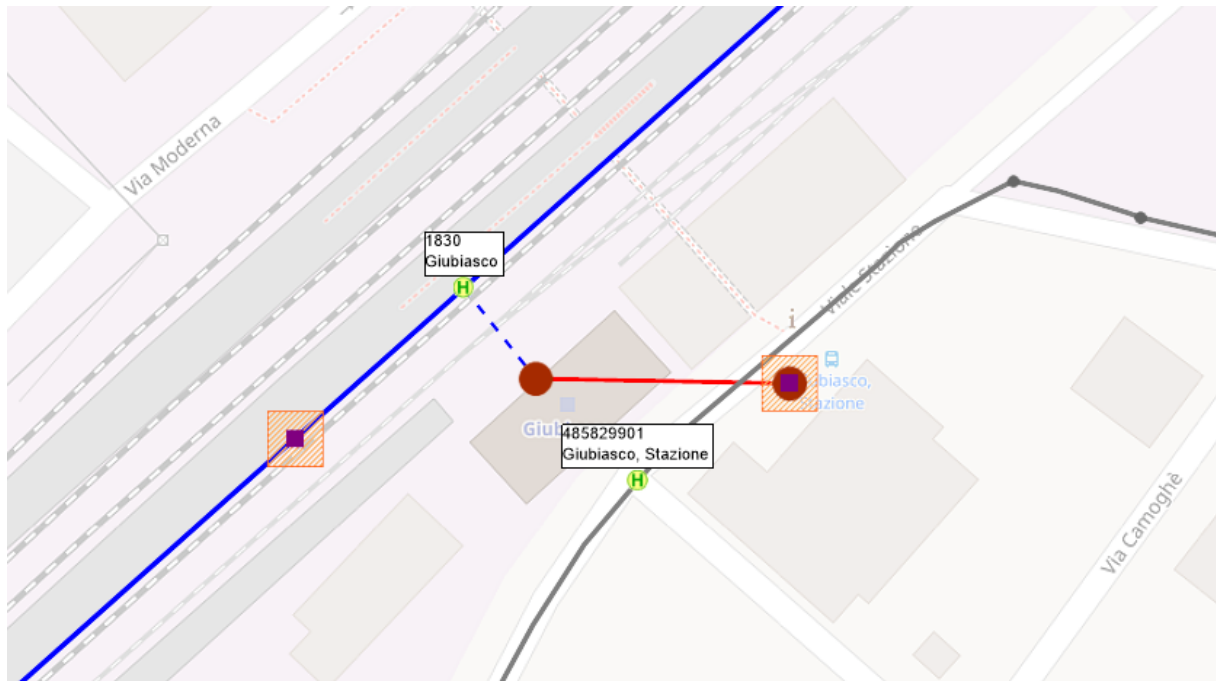


Abbildung 59 Netzhierarchie in VISUM am Beispiel Giubiasco TI

4.3 Import HAFAS-Angebot

Die Netzgrundlage für das Tramangebot bildet das BAV-Netz. Die Busse werden auf dem Strassennetz und unter zusätzlicher Berücksichtigung von Haltestellenkoordinaten aus OpenStreet-Map (OSM) geroutet.

Der Fahrplan wurde mit der entsprechenden VISUM-Schnittstelle aus HAFAS importiert. Ein benutzerdefiniertes Attribut für die Quelle des Angebots („DATENHERKUNFT“) wurde gefüllt und enthält die Bezeichnung «HAFAS_2015». Obwohl durch die neue Import-Funktion die Durchbindungen berücksichtigt werden können, ist dies für den HAFAS-Import nicht von Relevanz, weil im HAFAS-Angebot keine Durchbindungen hinterlegt sind. Die Mindestumsteigezeiten wurden so übernommen wie sie in HAFAS definiert sind.

Der HAFAS-Fahrplan wird mit dem in VISUM vorhandenen Assistenten eingelesen. Die dabei vorgenommenen Einstellungen werden in einer eigenen Datei gespeichert. Es wurde folgende Zuordnung der HAFAS-Dateien umgesetzt (siehe Tabelle 26):

HAFAS Dateiert	Dateiname
Verkehrsgattungen	ZUGART
Haltestellenverzeichnis	BAHNHOF
Koordinaten der Haltestellen	BFKOORD_GEO

Verbindungen zu den Haltestellen	METABHF_ohneZuordnungen.txt
Haltestellenbezogene Umsteigezeiten	UMSTEIGB
Eckdaten	ECKDATEN
Verkehrstage der Fahrten	BITFELD
Betreiberinformationen	BETRIEB_DE
Durchbindungen	DURCHBI
Fahrplandatei(en)	FPLAN

Tabelle 26 Zuordnung HAFAS-Dateien zu Dateiartern im HAFAS Import Assistent

Verkehrsgattungen

Die Datei ZUGART kann benutzt werden um die Verkehrssysteme auszuwählen, die aus HAFAS übernommen werden sollen. Es wurden folgende Verkehrssysteme im NPVM übernommen (Tabelle 27). Eine vollständige Zuordnung der HAFAS Verkehrssysteme zu den SBB Verkehrssystemen ist nicht zweckmässig, da bei der SBB diverse Verkehrssysteme nur im Ausland betrieben werden.

Übernahme in NPVM		Keine Übernahme in NPVM	
Kürzel	Name	Kürzel	Name
BAT	Schiff	AG	Agenturzug
BAV	Dampfschiff	AIR	Flugzeug
BAV*	Dampfschiff	ALS	Alaris
BUS	Bus	ALV	Alvia
EB*	Eilbus	ARC	Arco
FAE	Fähre	ARZ	Autoreisezug
FUN	Standseilbahn	AT	Autotunnelzug
GB	Gondelbahn	ATR	Altaria
EXB	Express-Bus	ATZ	Autotunnelzug
ICB*	InterCity-Bus	AVA	Avant
KAT*	Katamaran	AVE	Alta Velocidad ES
KB	Kleinbus	BEX	Bernina Express
LB	Luftseilbahn	CAT	City Airport Train
M	Metro	CNL	CityNightLine
NB*	Nacht-Bus	D	Schnellzug
NFB	Niederflur-Bus	DZ	übrige DienstZ (Infra)
NFO	Niederflur-Trolleybus	E	Eilzug
NFT	Niederflur-Tram	EC	EuroCity
SB*	Schul-Bus	EM	Euromed

Übernahme in NPVM		Keine Übernahme in NPVM	
Kürzel	Name	Kürzel	Name
STB*	Stadtbahn	EN	EuroNight
SZ*	Stadtbahn Zürich	ES	Eurostar Italia
T	Tram	EST	Eurostar
TRO*	Trolleybus	EXT	Extrazug
		FYR	FYRA Schnellzug
		GEX	Glacier Express
		IC	InterCity
		ICE	InterCityExpress
		ICN	IC-Neigezug
		IN	InterCityNacht
		IR	InterRegio
		IRE	Interregio-Express*
		IT	Italo
		JAT	Jail train
		KUT	Pferdekutsche
		L	Lokzug
		MAT	LeermaterialZ (Reisezugswagen)
		MP	LeermaterialZ Personenbeförd
		NZ	Nacht-Zug
		OEC	ÖBB EuroCity
		OIC	ÖBB InterCity
		P	Zug ohne Gewähr
		R	Regio
		RB	Regionalbahn
		RE	RegioExpress
		RJ	Railjet
		RSB	Regio-S-Bahn
		S	S-Bahn
		SL	Sesselbahn
		SN	Nacht-S-Bahn
		TAL	Talgo
		TE2	TER200
		TER	Train Express Regional
		TGV	Train à grande vit.
		THA	Thalys
		TLK	Twoje Linie Kolejowe
		TX	Taxi

Übernahme in NPVM		Keine Übernahme in NPVM	
Kürzel	Name	Kürzel	Name
		UEX	UrlaubsExpress
		VAE	Voralpen-Express
		WB	Westbahn
		X	InterConnex
		X2	X2000 Neigezug
		ZUG	Zugskategorie unbekannt

* Verkehrssysteme ohne Angebot in HAFAS 2015

Tabelle 27 Auswahl der Verkehrsmittelarten in HAFAS zum Import als Nahverkehrsmittel

Beim Import des eigentlichen Fahrplans wurden für eine bessere Übersicht im Nahverkehr neue Liniennummern erzeugt, die sich aus Betreiber und Liniennummer zusammensetzen. Da die Datenmenge beim Fahrplanimport so gross ist, dass ein Speichern der VISUM Version nicht mehr möglich ist, wurden in diesem Schritt die Linien soweit wie möglich aggregiert. Die Aggregation erfolgte auf der Ebene der Fahrtzeitprofile und der Linienrouten.

Besondere Beachtung wurde dabei auf Linien gelegt, welche in beiden Fahrplänen enthalten sind (z.B. Forchbahn, Appenzellerbahn). Die Herkunft der Fahrplandaten wurde wie oben erwähnt mithilfe eines benutzerdefinierten Attributs dokumentiert. Nicht aus dem SBB Angebot übernommen wurden die Linien der BLT und die Tramlinie 6 Bern-Gümligen-Worb, welche sehr stark mit dem jeweiligen Tramnetz in Basel und Bern vernetzt sind.

Das auf diese Weise importierte Angebot des Nahverkehrs für Tram und Busse ist noch nicht trassiert. Für jeden neuen Haltestellenabschnitt wird beim Einlesen in VISUM eine neue Strecke erstellt. In den folgenden Schritten wurden die Angebote auf die Infrastruktur Tram und Strasse trassiert.

4.4 Trassierung Tramangebot

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es die HAFAS-Haltepunkte auf das korrekte Netzelement des BAV-Netzes zu legen. Die Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte aus HAFAS, welche von Trams bedient werden, erhielten als Haltestellennummer eine Nummer 30'000'000 + entsprechende Didok-Nummer. Analog zum Schienennetz sind die Haltestellen über eine «Netz_BAV_BP» Verbindungsstrecke mit dem BAV-Tramnetz verbunden. Für eine korrekte Trassierung wurde ein zusätzlicher Haltepunkt auf dem entsprechenden Gleisknoten hinzugefügt. Die Haltepunktnummer setzt sich folgendermassen zusammen: 50'000'000 + Didok-Nummer + Endziffer 1 (siehe Abbildung 60).

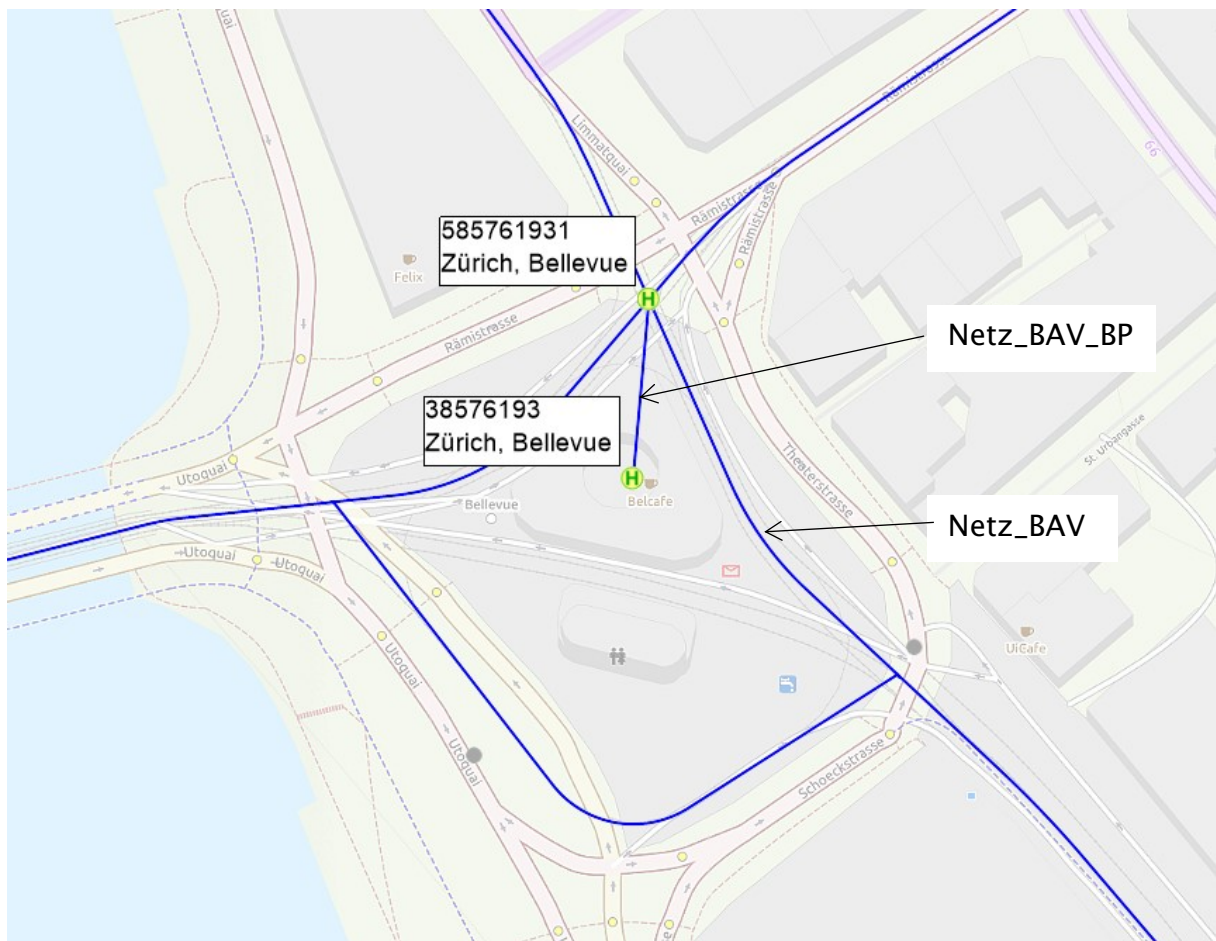


Abbildung 60 Duplikat des HAFAS-Tramhaltepunkts auf BAV-Gleisknoten

Durch die Duplizierung des Haltepunkts wird gewährleistet, dass die Trams nicht über die Verbindungsstrecke zum ursprünglichen HAFAS-Haltepunkt geroutet werden. Die Duplizierung erfolgte dabei nur für die Haltepunkte selbst. Die Haltestelle und der Haltestellenbereich verbleiben am ursprünglichen Haltepunkt aus dem HAFAS-Netz. Um das korrekte Routing zu ermöglichen musste das Tramangebot anschliessend erneut aus der HAFAS-VISUM-Version mit dem Importassistenten „ÖV Angebot aus VISUM importieren“ eingelesen werden. Für den Import wurde festgehalten, dass der Haltestellenbereich im Quell- und im Zielnetz übereinstimmen muss, der Haltepunkt aber gewählt werden kann. Damit keine Bushaltestellen beim Trassieren benutzt werden, wurden diese per Filter inaktiv gesetzt.

Für nicht importierte Linien oder dort wo der Haltepunkt nicht erreicht werden kann musste das BAV-Netz händisch angepasst werden. Ein Beispiel dazu ist die Tramhaltestelle Basel, Markthalle, bei welcher im BAV-Netz aufgrund durchgehender Strecken keine Abbiegebeziehungen möglich waren. Entsprechend wurden die BAV-Strecken gesplittet und der Haltepunkt auf den Kreuzungspunkt der Strecken verschoben (siehe Abbildung 61).

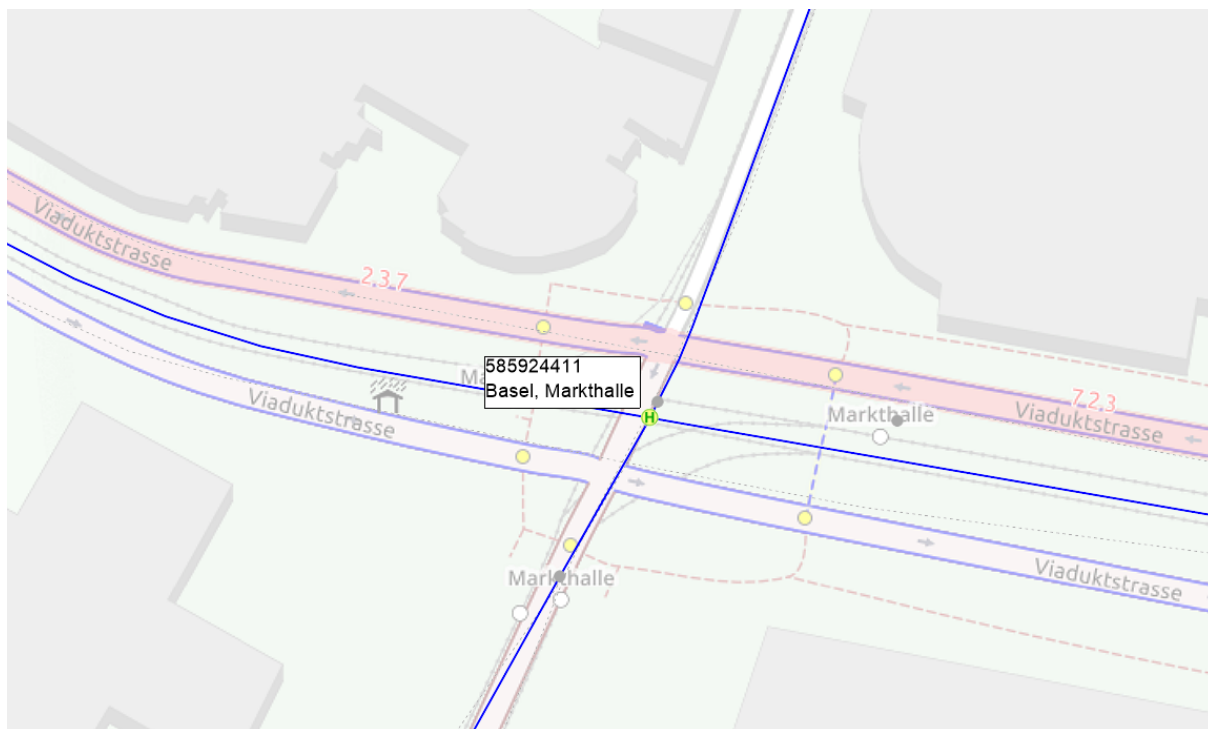


Abbildung 61 Korrektur BAV-Netz am Beispiel Basel, Markthalle

In Basel mussten 16 Tram Haltepunkte manuell eingefügt werden, da die BLT und die BVB für gleiche Haltestellen unterschiedliche Haltecodes benützen. Im NPVM wurden beide Haltepunkte auf das BAV-Netz zugeordnet. Beim Römerhof in Zürich wurde ein zusätzlicher Haltepunkt eingefügt, da der vorhandene Haltepunkt bereits der Talstation der Dolderbahn zugewiesen wurde. Entsprechend wird der zusätzliche Haltepunkt der Tramhaltestelle Römerhof zugewiesen.

Damit die Netzkorrekturen im Linienvverlauf übernommen wurden, mussten die entsprechenden Linien aus dem HAFAS-Netz erneut eingelesen werden.

4.5 Trassierung Busangebot

Zum konsolidierten Bahnnetz gemäss Kapitel 3 wurde das bereinigte Strassennetz gemäss Kapitel 2 additiv importiert. Die Strecken des Strassennetzes erhielten eine Nummerierung $> 970'000'000$ und die Datenherkunft wurde als benutzerdefiniertes Attribut «Netz_TomTom» hinterlegt. Zudem wurde die ID aus der VISUM Version des Strassennetzes als benutzerdefiniertes Attribut gespeichert.

Die Fahrzeit des Busses wurde mittels Division der Streckenlänge durch die Geschwindigkeit v_0 berechnet. Da es in der Realität Busse gibt, die Einbahnstrassen entgegen der Fahrtrichtung befahren, wurden diese für das Busrouting nicht grundsätzlich gesperrt, aber die Fahrzeit mit einem Penalty-Faktor von 1.8 (eigene Annahme) multipliziert. Erst wenn der Umweg grösser ist

als das 1.8fache der Strecke unter Nutzung der Einbahnstrasse, wird die Einbahnstrasse als trassierte Strecke verwendet.

Die Zuordnung der Haltestellen aus HAFAS zum Strassennetz wurde unter Zuhilfenahme der Haltestellenkoordinaten für Busse aus OpenStreetMap (OSM) durchgeführt. Während in HAFAS für jede Haltestelle jeweils nur eine zentrale Koordinate enthalten ist, sind in OSM vielfach die Haltepunkte verortet (siehe gelbe Kreise in der Hintergrundkarte in Abbildung 61). Die Verwendung der Haltepunkte ermöglicht ein realistischeres Busrouting.

Die HAFAS-Haltestellen sind wie in Kapitel 4.2 erläutert mit je einem ortsidentischen Haltestellenbereich und Haltepunkt versehen. Die OSM-Haltestellen wurden in VISUM als Knoten (OSM-Haltepunkte) hinterlegt. Die Zuordnung der OSM-Haltepunkte zu den Haltestellen erfolgte über den Haltestellennamen. Bis auf 66 Haltepunkte, konnten alle HAFAS-Haltepunkte den OSM Haltepunkten zugeordnet werden. Dabei bleibt für alle neuen OSM-Haltepunkte der Zugangsknoten an der ursprünglichen Lage des HAFAS-Haltepunktes.

Die räumliche Zuordnung zum Netz erfolgte iterativ über ein Spatial Matching. Ausgangspunkt für das Matching ist ein Umkreis von 100m um die OSM-Haltepunkte. Folgende Priorisierungskriterien für die Zuordnung auf den nächstgelegenen Knoten bzw. nächstgelegene Strecke wurden verwendet:

- Distanz OSM-Haltepunkt zu nächstem Knoten im Strassennetz < 25m: Zuordnung auf nächstgelegenen Knoten;
- Distanz OSM-Haltepunkt zu nächstem Knoten im Strassennetz > 25m: Zuordnung im Lot auf nächstgelegene Strecke;

Falls innerhalb von 100m zum OSM-Haltepunkt kein Netzelement gefunden wurde, wurde die Zuordnung über die Lage des bestehenden HAFAS-Haltepunkt gewählt. Dabei wird der Suchradius auf 300m um den HAFAS-Haltepunkt erhöht. Der Haltepunkt wird über das Lot der nächstgelegenen Strecke zugeordnet. Für den Fall, dass die nächstgelegene Strecke ein Anfangs- bzw. Endpunkt des Netzes (Stichstrasse) ist, wurde der Haltepunkt auf den entsprechenden Knotenpunkt zugeordnet. Für die Fälle, bei welchen innerhalb von 300m weder ein Knoten noch eine Strecke gefunden werden konnte, wurde der Haltepunkt manuell auf das nächstgelegene Netzelement zugeordnet.

Die neu auf dem Netz gelegenen Bushaltepunkte sind gekennzeichnet durch die Nummer $50'000'000 + \text{Didok-Nummer} + \text{Endziffer} = \text{Nummerierung der neuen Haltepunkte}$.

Anschliessend wurde das Busangebot erneut eingelesen. Dabei wurde die Option gewählt, dass automatisch alle Abbieger für die Buslinien geöffnet werden. Da das Strassennetz nur im Inland vorhanden ist, ist für grenzüberquerende Buslinien im Ausland kein durchgehend korrektes

Routing möglich. Für diese Fälle wurden durch VISUM automatisch neue Strecken von Haltepunkt zu Haltepunkt generiert (siehe Abbildung 62).



Abbildung 62 Automatische Streckengenerierung im Ausland am Beispiel Ramsen SH

Die Trassierung der Linien erfolgte über die Kurzwegsuche. Busse ignorieren dabei Abbiegeverbote und Einbahnstrassen auf dem Strassennetz, da in der Realität Busse vielerorts Abbiegeverbote ignorieren und Einbahnstrassen in Gegenrichtung befahren dürfen. Es wird für ein nationales Verkehrsmodell dabei in Kauf genommen, dass es im Einzelfall Abweichungen von der Realität gibt. Ein weiteres Beispiel dafür ist, wenn die Haltestellen der beiden Fahrtrichtungen real nicht in derselben Strasse liegen und deshalb beim Routing im Modellnetz kleine, ggf. falsche Umwege entstehen.

4.6 Plausibilisierung

Trassierung Bus

Mit der Übernahme der Haltestellen, der Trassierung und dem Einlesen der Fahrpläne wurden die entstehenden Fahrdistanzen überprüft. Es wurde ein Attribut «Umwegfaktor» erstellt, welches aus der Abweichung zwischen der Luftdistanz zwischen zwei HAFAS-Haltepunkten und der Wegdistanz zwischen zwei OSM-Haltepunkten resultiert. Als zweites Plausibilisierungskriterium wurde die zwischen zwei OSM Haltepunkten benötigte Fahrtgeschwindigkeit ausgelesen. Es wurden primär Buslinien mit einem Umwegfaktor > 5 bei einer minimalen Luftliniendistanz von 100 Metern zwischen den zwei betroffenen HAFAS Haltestellen manuell überprüft.

Einige Buslinien mit hohem Umwegfaktor mussten nicht angepasst werden, da auf Bergstrassen die Streckendistanz durchaus um Faktor 5 grösser sein kann als die direkte Luftdistanz. In den übrigen ca. 90 Fällen entstanden die Abweichungen in der Regel durch einen der folgenden Fehler:

- Haltepunkt ist fälschlicherweise der Autobahnstrecke zugeordnet worden --> Haltepunkt wurde händisch auf das untergeordnete Strassennetz verschoben.
- Haltepunkt ist auf sehr langen Strassenabschnitt zugeordnet --> Haltepunkt wurde auf den nächstgelegenen Knotenpunkt verschoben.
- Haltepunkt ist auf Serpentinenstrassen der falschen Strecke zugeordnet worden --> Verschieben des Haltepunkts auf den korrekten Strassenabschnitt.
- Falsche Lokalisation des Haltepunktes in HAFAS --> Verschieben des HAFAS Haltepunkts (+ Haltestelle und Haltestellenbereich) an die korrekte Lage.

Diese Fehler konnte ohne weitere Veränderung an der Topologie des Strassennetzes korrigiert werden. Die betroffenen Linien und vorgenommenen Änderungen wurden in einer Excel-Tabelle dokumentiert.

Um die Genauigkeit des Busroutings abschätzen zu können, wurden die Trassierungen Bus und Tram im NPVM mit den Längen der Haltestellenabschnitte der VBZ verglichen. Der Vergleich über 79 VBZ Linien ergab durchschnittlich eine Abweichung von unter 1%. Dabei gibt es sowohl länger als auch kürzer trassierte Linien. Betrachtet man daher den Absolutwert der Abweichungen so liegt dieser im Durchschnitt bei 3%. 78% der absoluten Abweichungen liegen bei bis zu 5% und die maximale absolute Abweichung beträgt 18%. Die Genauigkeit des Routings im Vergleich zu den Halteabschnittslängen der VBZ kann als repräsentativ für Gesamtnetz angenommen werden, da bei der Plausibilisierung kein spezieller Fokus auf dem Liniennetz der VBZ lag.

Fusswege

Alle Fusswege mit Gesamtlänge > 300m und einer resultierenden Gehgeschwindigkeit von grösser 5 km/h wurden identifiziert und markiert («FUSSWEG_UNKLAR»). In einem zweiten Schritt wurden alle Fusswege, welche nur in eine Richtung freigeschaltet sind ermittelt und ebenfalls als «FUSSWEG_UNKLAR» markiert. Total 119 Fusswege (richtungsgetrennt) wurden so markiert. Dabei handelt es sich um Fusswege, die zwar in der Fahrplanauskunft vorhanden sind, jedoch nur in Spezialfällen benutzt werden (z.B. letzte Servicefahrt, bei der ein Bus in ein Depot fährt und ein Umsteigen am Bahnhof nicht mehr möglich ist). Deshalb wirken sich die

Fusswege bei der Umlegung und in der Fahrplanauskunft in HAFAS nicht negativ aus und werden beibehalten. Höhere Gehgeschwindigkeiten können durch ungenaue Kodierungen der Haltestellen und einer falschen Luftliniendistanz entstehen.

Anschliessend wurden für alle Bahnhöfe die Anzahl Fusswegverbindungen gezählt. Bahnzugangsknoten ohne Fusswegverbindungen und mit einem HAFAS-Haltestellenbereich innerhalb von 100m wurden identifiziert und mit einem Fussweg von Zugangsknoten Bahn zu Zugangsknoten HAFAS ergänzt. Der Fussweg erhielt eine pauschale Mindestumsteigezeit von 2min. Der vorangehende Schritt wurde mit einem Suchradius von 200m nochmals wiederholt und die Mindestumsteigezeit auf 3min angepasst. Total 216 Fusswege (nicht richtungsgetrennt) konnten durch dieses Vorgehen ergänzt und mit dem Attribut Datenherkunft = «EBP_Fussweg_ergänzt» gekennzeichnet werden. 120 Fusswege erhielten eine Mindestumsteigezeit von 2min, 96 Fusswege eine Mindestumsteigezeit von 3min.

Anpassung Strassennetz

Neben diesen Fällen gab es einzelne Stellen im Netz, an welchen Anpassungen am Strassennetz nötig waren. Folgende zwei Kategorien von Fehlern waren dabei betroffen:

- Haltepunkt ist auf sehr langem Strassenabschnitt zugeordnet ohne, dass ein Knoten in näherer Distanz gelegen ist --> Die Strecke wurde am tatsächlichen Halteort gesplittet und der Haltepunkt auf den neuen Knoten verschoben (Beispiel Weggis, Schiffstation).
- Haltepunkt ist dem Endknoten einer Strecke zugeordnet worden --> Sofern es sich nicht um eine Endhaltestelle des Busses handelt, wurde die Lücke im Strassennetz mithilfe einer neuen Strecke ergänzt (Beispiel Wangen, Flugsicherungsstrasse).

Insgesamt mussten 7 Strecken gesplittet und 14 Strecken hinzugefügt werden. Diese Strecken wurden im ÖV-Netz mit den Attributen Datenherkunft = «EBP_gesplittet_Bus» und Datenherkunft = «EBP_hinzugefügt_Bus» gekennzeichnet.

Abschliessend wurden alle Strecken des Strassennetzes gelöscht, welche nicht von mindestens einer Buslinie benutzt werden. Zudem werden HAFAS Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte und isolierte Knoten ohne Angebot aus dem NPVM gelöscht. SBB Netzelemente werden beibehalten, da sie für Prognoseangebote oder Angebote ins Ausland eventuell notwendig werden.

5 Erstellung Zonenstruktur Schweiz

5.1 Überblick

Ziel

Das Ziel des Arbeitspakets «Erstellung der Zonenstruktur Schweiz» war die Verfeinerung der aktuellen Zonenstruktur des NPVM 2010 in feinere und homogenere Zonen. Die zentrale Messgrösse für die Homogenität sind die Strukturdaten (im vorliegenden Fall die Zahl der Einwohner und Vollzeitäquivalente) der Zonen. Gleichzeitig sollten allgemeingültige Grundsätze zur Erstellung von Zonenstrukturen für Verkehrsmodelle berücksichtigt und schweizweit harmonisiert umgesetzt werden.

Eingangsdaten

Für die Bearbeitung wurden die folgenden Daten verwendet:

1. Bestehende NPVM-Zonengrenzen (Gemeinden Stand 2000 und Untergliederung in Quartiere für die 10 grössten Städte);
2. Schieneninfrastruktur (Netz und Haltestellen) gemäss BAV-Netz 2015;
3. Strasseninfrastruktur gemäss TomTom-Netz 2016 und MISTRA-Netz 2016;
4. Stehende Gewässer und Fliessgewässer aus TLM und Vector25 (Swisstopo) 2016;
5. Hektarraster Bevölkerung und Beschäftigte (BBTOT aus STATPOP 2015 und VZAT aus STATENT 2014 provisorisch des BFS);
6. Bauzonen gemäss Bauzonenstatistik Schweiz 2012.

Vorgehen

Die Erstellung der Zonenstruktur erfolgte in fünf Schritten.

1. Vorprozessierung der Eingangsdaten;
2. Bestimmung der Grenzwerte für die Struktureinheiten;
3. Bildung von Ausgangszonen;
4. Automatische Aggregation von Ausgangszonen;
5. Verfeinerung der Ausgangszonen.

Im Rahmen der Vorprozessierung wurden die Eingangsdaten so aufbereitet, dass sie für die anschliessende Bildung der Ausgangszonen geeignet sind. Dazu wurden die Seeflächen mit den Zonen verschnitten, die Struktureinheiten den Zonen zugeordnet und die Verkehrsnetze,

das Gewässernetz sowie die Bauzonen vereinfacht. Da die Zonen im aktuellen NPVM auf administrativen Grenzen beruhen, beinhalten eine Reihe der Zonen so wenige Struktureinheiten, dass eine Verfeinerung dieser Zonen nicht notwendig ist. Im zweiten Schritt wurde daher eine minimale Anzahl an Struktureinheiten festgelegt, die eine Zone mindestens aufweisen muss um verfeinert zu werden. Anschliessend wurden für die NPVM-Zonen die Ausgangszonen durch Verschneiden der Gewässer und Verkehrsnetze gebildet. Im vierten Schritt wurden die so entstandenen, sehr feingliedrigen Ausgangszonen zunächst automatisch zusammengefasst. Die automatische Zusammenfassung erfolgte iterativ unter Berücksichtigung der Struktureinheiten, einer Liste an Grenzen, über die hinweg keine Aggregation erfolgen sollte (z.B. aktuelle NPVM-Zonengrenzen, Bahnlinien, grosse Strassenachsen oder Fliessgewässer). Zudem wurde möglichst über die längste Grenze aggregiert um möglichst wenige langgezogene Zonen zu erzeugen. Im letzten Schritt wurden die automatisch aggregierten Zonen durch Sachbearbeiter manuell verfeinert. Auf Grundlage eines priorisierten Regelwerks wurden die Zonen weiter aggregiert, seltener disaggregiert oder mit angepassten Zonengrenzen versehen.

Ergebnisse

Es liegt ein schweizweiter Datensatz von Verkehrszonen vor. Dieser umfasst einzelne Zonen für singuläre Verkehrserzeuger, deckt – anders als das NPVM 2010 – die Schweiz lückenlos, d.h. inklusive Seeflächen ab, und ist insofern kompatibel mit den bestehenden NPVM-Zonen, als dass neue Zonen stets vollständig innerhalb einer bestehenden Zone liegen, bestehende Zonengrenzen also nie überlappen.

Mit dem gewählten Vorgehen resultieren 7'970 Zonen für das Gebiet der Schweiz. Diese neuen NPVM-Zonen sind in Abbildung 63 dargestellt. Sie weisen folgende statistischen Lage- und Streuungsmasse bezüglich den Strukturdaten und Flächen aus:

Strukturdaten (Summe aus Bevölkerung und Vollzeitäquivalenten)

Mittelwert: 1'552

Standardabweichung: 744

Fläche

Mittelwert: 5.2 km²

Standardabweichung: 12.8 km²

Pro bestehender NPVM-Zone verfügt der neue Datensatz im Mittel über 2.7 ± 4.2 neue Zonen (im Minimum 1 neue Zone, im Maximum 48), vgl. Abbildung 64.

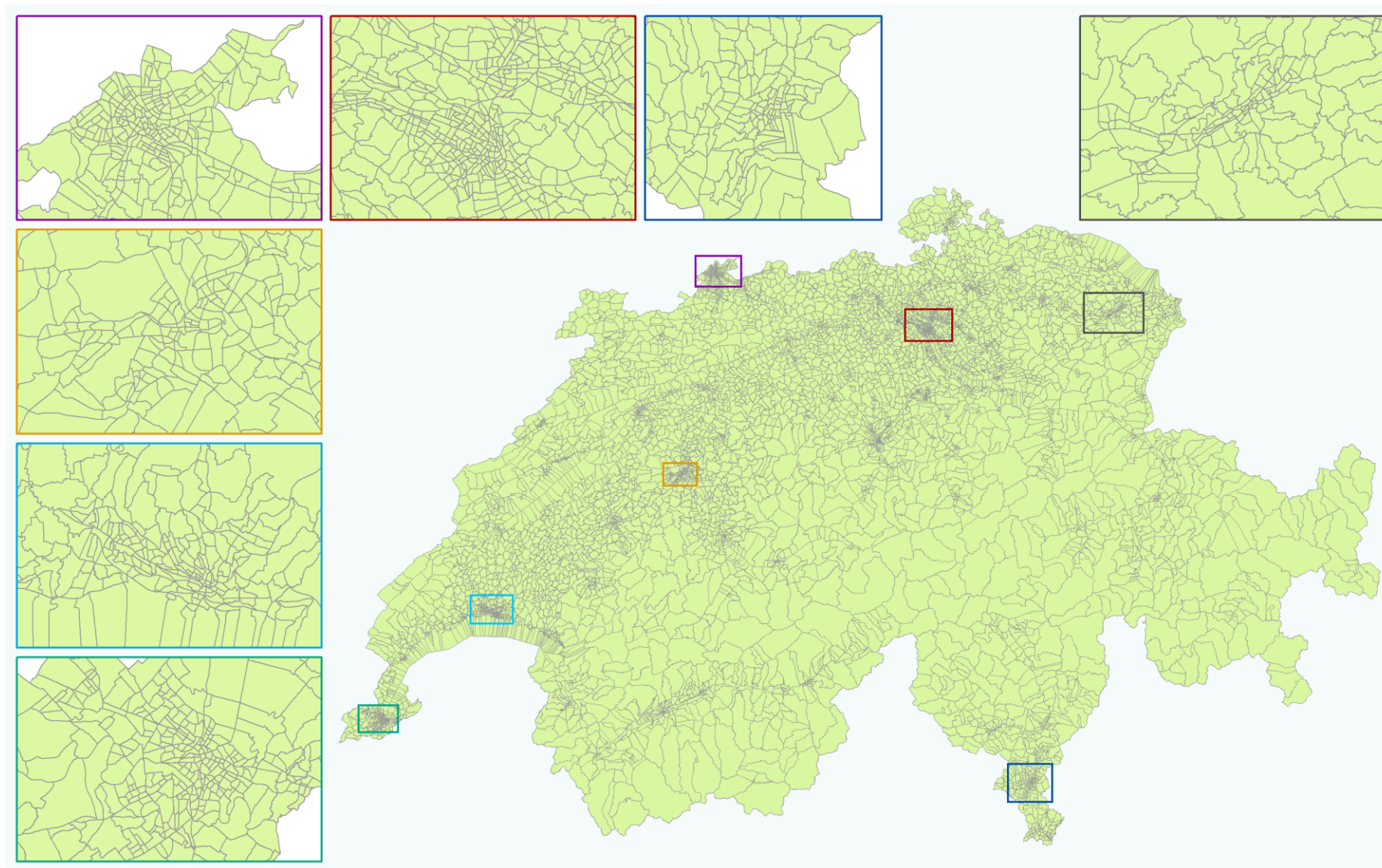


Abbildung 63: Resultierende Zonenstruktur

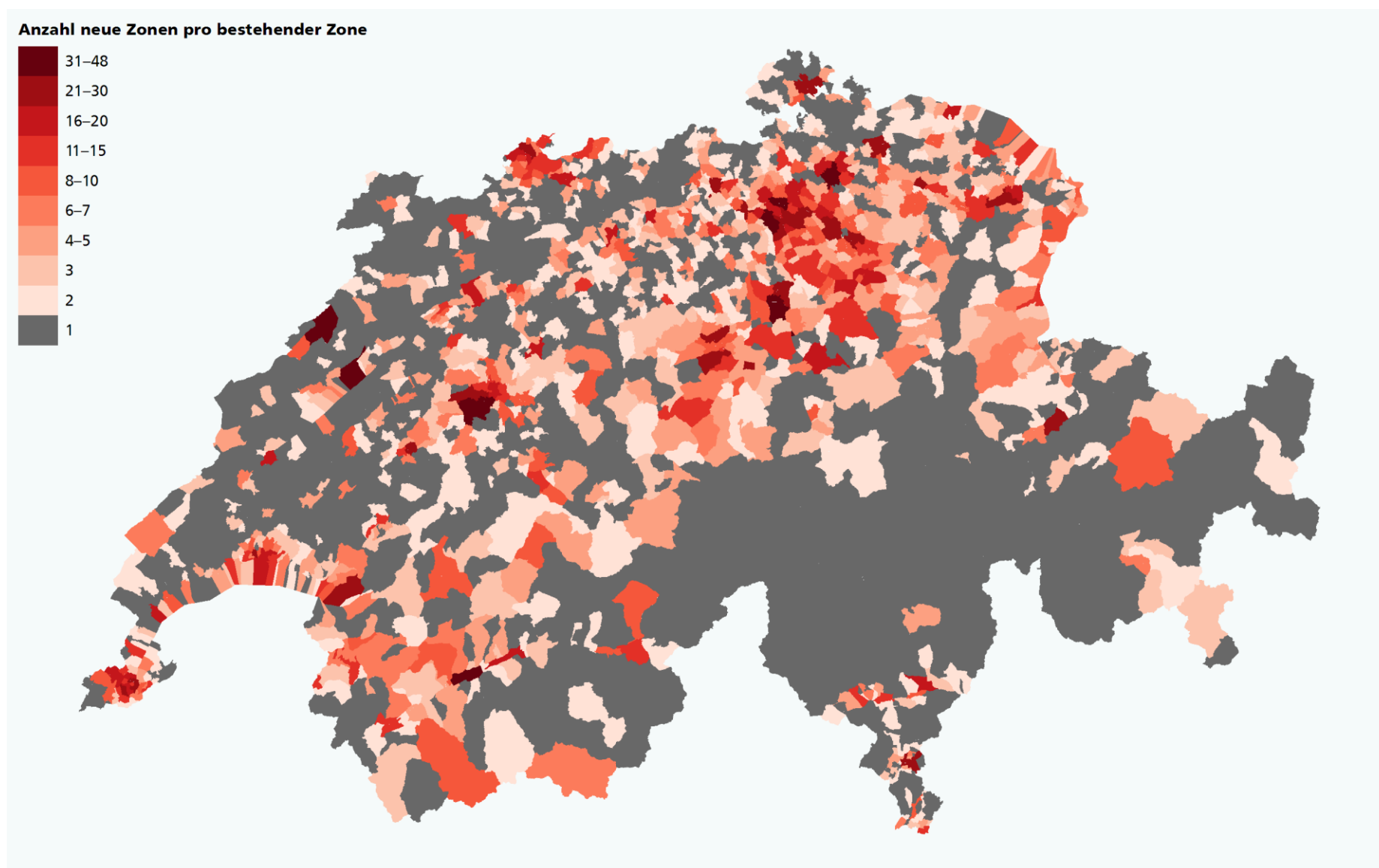


Abbildung 64: Aufteilung bestehender Zonen in neue Zonen

5.2 Vorprozessierung der Eingangsdaten

Vorprozessierung Verkehrszonen und Struktureinheiten

Die bestehenden Zonen des NPVM umfassen nicht die Seen. Diese sollen aber in den neu zu erstellenden Zonen mit enthalten sein. Bei der Arbeit am ARE mit den NPVM 2010-Zonen zeigte sich, dass sobald eine Zuweisung von Informationen auf Ebene Hektare erfolgt, mehrere Hektare in nicht vorhandene Seeflächen fallen, die dann stets manuell zugeordnet werden mussten. Dies ist mit den neu die Seen einschliessenden Zonenpolygonen nicht mehr der Fall. Die Seen wurden folglich als neue Geometrien in den Datensatz eingefügt durch Differenzbildung zwischen der Landesfläche der Schweiz und den bestehenden NPVM-Zonen (vgl. Abbildung 65).

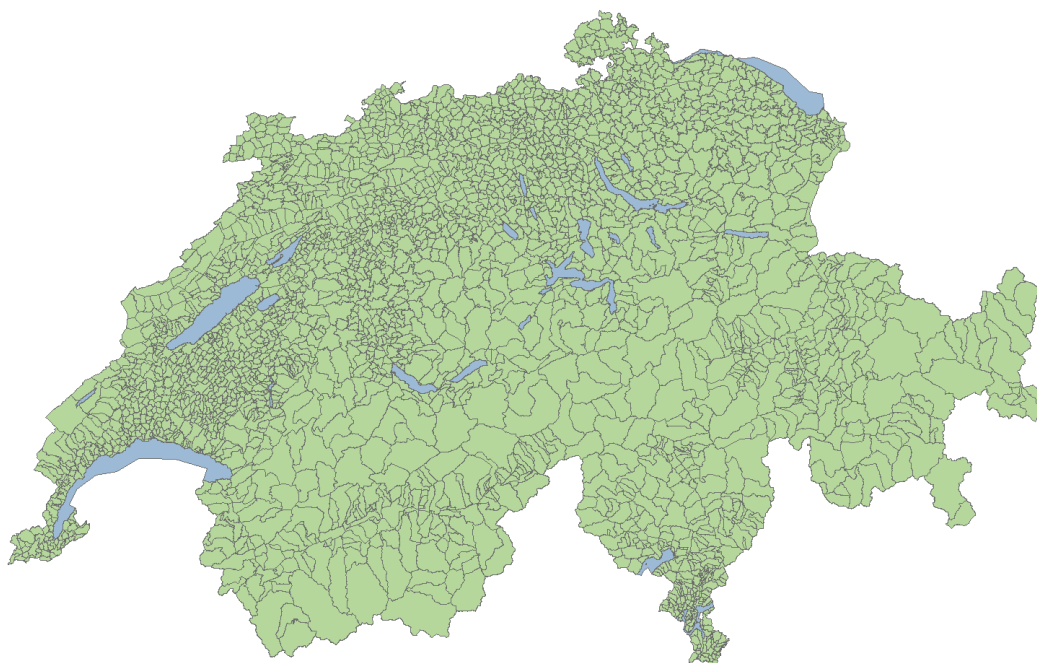


Abbildung 65: Vorprozessierter Datensatz der Verkehrszonen (grün: bestehende Zonen, blau: neu anstelle der Seen eingefügte Zonen).

In einem zweiten Schritt wurden den bestehenden Verkehrszonen (ohne Seen) die Struktureinheiten anhand der durch das ARE bereitgestellten Daten zu Einwohnern und Vollzeitäquivalenten auf Stufe Hektare mit einem Spatial Join angefügt. Dazu wurde jedem Hektarrasterpunkt die ihn enthaltende oder die nächstgelegene Verkehrszone zugewiesen. Anschliessend wurden die Struktureinheiten pro Verkehrszone summiert und dem Datensatz der Verkehrszonen angespielt. Dieser Prozess ist so umgesetzt, weil manche Hektarrasterpunkte in Seeflächen oder

auch im Ausland liegen. Mit der beschriebenen Methodik wurde sichergestellt, dass Struktureinheiten an solchen Hektarrasterpunkten nicht verloren gingen, sondern ebenfalls in das Ergebnis (der nächstgelegenen Verkehrszone) einfließen.

Vorprozessierung Bahnlinien

Die Bahnlinien aus dem Datensatz zur Schieneninfrastruktur des BAV wurden grob ausgedünnt. Beispielsweise wurden in Rangierbahnhöfen sehr detaillierte Gleisverläufe und in Tramnetzen sehr kleingliedrige Wendekreise gelöscht, um die Bildung unnötiger Kleinstzonen zu minimieren.

Vorprozessierung Strassen

Die Strassenachsen aus MISTRA wurden wegen ihrer vorteilhaft geringeren Komplexität für das übergeordnete Netz verwendet. Für das untergeordnete Netz (Functional Road Class FRC > 1) wurden die TomTom-Strassenachsen genutzt.

Die Strassenachsen aus MISTRA wurden so ausgedünnt, dass pro Strasse möglichst nur eine Linie (statt zwei Linien, eine pro Fahrtrichtung) übernommen wurde. Komplexe Knoten und Rampen wurden ebenfalls möglichst vereinfacht.

Vor der Verwendung der TomTom-Daten wurden die kleinsten Strassen (FRC = 8) aus dem Netz ausgeschlossen, ebenfalls um die resultierende Zahl von Kleinstzonen möglichst gering zu halten.

Vorprozessierung Gewässer

Im Datensatz der Fliessgewässer der Swisstopo (aus dem Topografischen Landschaftsmodell TLM) sind sehr viele Kleinstgewässer enthalten, so dass auch hier eine Ausdünnung vorzusehen wäre. Leider ist eine solche innerhalb des Datenmodells der TLM-Fliessgewässer effizient kaum möglich, da keine Attributinformation zur Grösse der Fliessgewässer vorhanden ist.

Statt der Fliessgewässer aus dem TLM der Swisstopo wurde in der Folge vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Tabelle der Flussordnungszahlen von Gewässerabschnitten bezogen¹⁸. Diese Tabelle ist laut Auskunft des BAFU nicht in einer Form erhältlich, die kompatibel mit den TLM-Fliessgewässerdaten ist. Sie lässt sich aber auf die Fliessgewässer aus dem Datensatz Vector25 der Swisstopo anwenden.

¹⁸ <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13462/13496/16044/index.html?lang=de>

Mit der Tabelle des BAFU wurde via GEWISS-ID¹⁹ die Flussordnungszahl auf die Gewässerabschnitte in Vector 25 übertragen. Somit konnten Gewässer nach deren Wichtigkeit gefiltert werden: mittlere und grössere Gewässer (mit Flussordnungszahl 3 oder höher) – aber keine Kleinstflüsse und keine kleinen Bäche – fanden so Eingang in die Erstellung der Ausgangszonen.

FLOZ	Anzahl Features	Anteil Features	Kommentar
NULL	50'261	18.18%	NULL-Werte liegen in der grossen Mehrheit im Ausland. Zum Teil handelt es sich dabei auch um Ufer- und Seelinien, vgl. Abbildung 66.
1	107'606	38.93%	I.d.R. sehr kleine Bäche, detailliert erfasst
2	55'423	20.05%	I.d.R. kleine Bäche, detailliert erfasst
3	28'773	10.41%	
4	18'070	6.54%	
5	9'078	3.28%	
6	4'125	1.49%	
7	1'885	0.68%	
8	777	0.28%	
9	424	0.15%	
Summe	276'422	100%	

Tabelle 28: Übersicht über Flussordnungszahlen von Fliessgewässern in der Schweiz und im angrenzenden Ausland (FLOZ: Flussordnungszahl).

¹⁹ <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13462/13496/15866/index.html?lang=de>

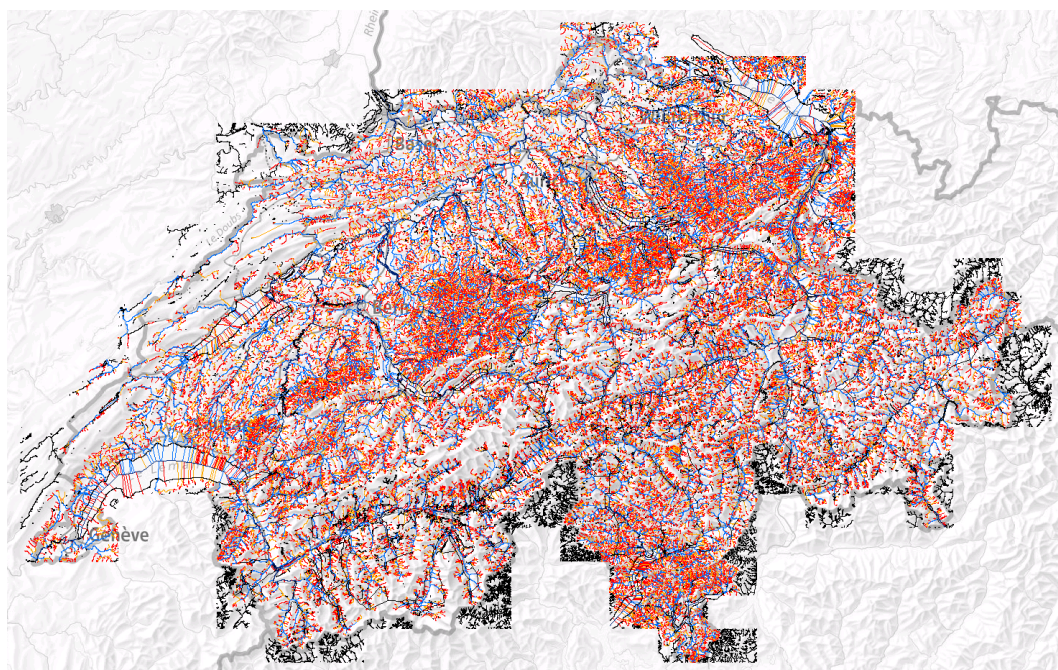


Abbildung 66: Gewässernetz der Schweiz mit Flussordnungszahlen: 3 und höher in blau, 2 in orange, 1 in rot, NULL in schwarz.

Im gesamten Datensatz sind 10'645 Features der Objektart „Seeachse“ enthalten. Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass ein Teil der Seeachsen die Flussordnungszahl NULL hat (vgl. Kommentar in Tabelle 28), wurden diese zusätzlich zu den oben genannten Features in die Erstellung der Ausgangszonen einbezogen. Der resultierende Datensatz wurde mit der Landesfläche verschnitten, um Gewässer im Ausland zu eliminieren. Daraus ergibt sich das in Abbildung 67 dargestellte Gewässernetz mit 63'236 Features.

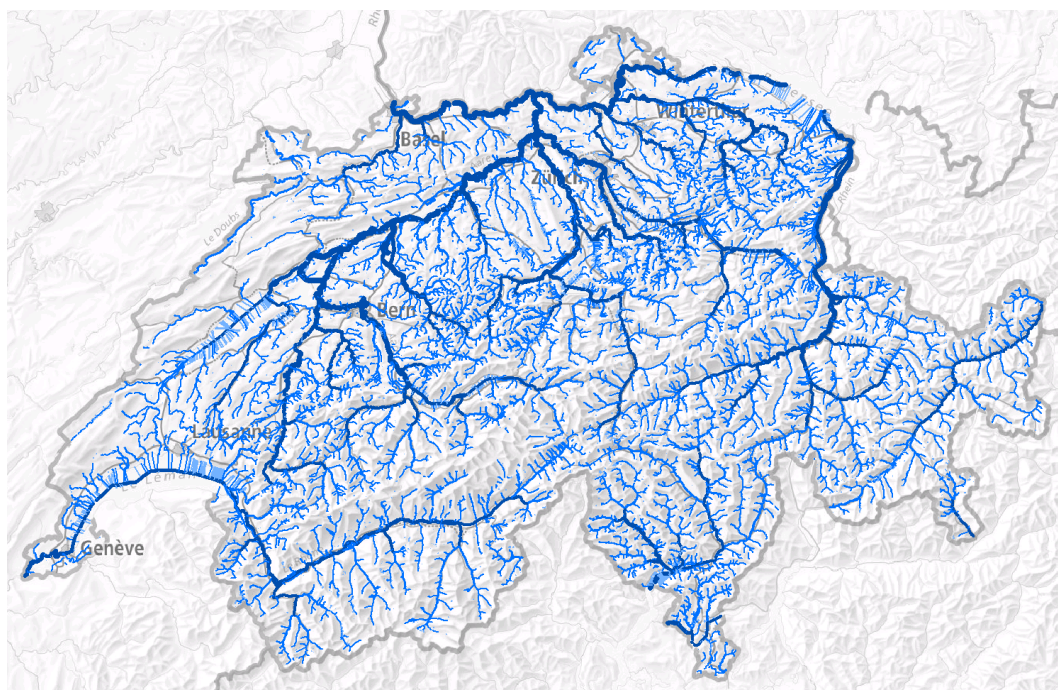


Abbildung 67: Vorprozessiertes Gewässernetz der Schweiz (inklusive Seeachsen) dargestellt in Abstufungen gemäss Flussordnungszahlen.

Vorprozessierung Bauzonen

Der Datensatz des ARE mit harmonisierten Bauzonen enthält oftmals angrenzende Zonen gleichen Typs (vgl. Abbildung 68). Um die Daten für die manuelle Bearbeitung der Verkehrszonen zu vereinfachen, wurden angrenzende Bauzonen gleichen Typs miteinander verschmolzen. Dies reduzierte die Anzahl Objekte von 274'074 auf 184'972.

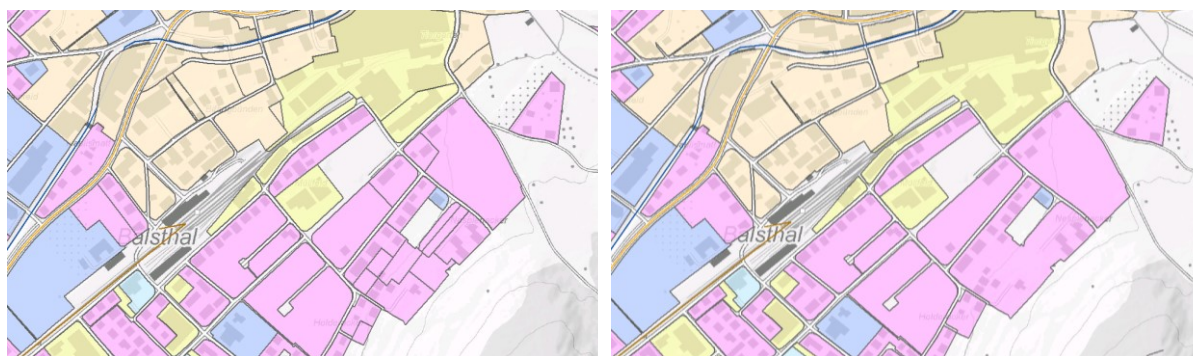


Abbildung 68: Datensatz der harmonisierten Bauzonen der Schweiz vor (oben) und nach (unten) Vereinfachung.

5.3 Bestimmung der Grenzwerte für die Struktureinheiten

Der Datensatz der NPVM 2010-Verkehrszonen umfasst ohne Seen 2'944 Zonen innerhalb der Schweiz. Auf theoretisch bis zu 10'000 Verkehrszonen sind insgesamt 12'345'272 Struktureinheiten (Summe Einwohner und Vollzeitäquivalente) möglichst homogen zu verteilen. Damit resultiert ein theoretischer Mittelwert der Struktureinheiten pro Zone von 1'235.

Ausgehend von diesem anzustrebenden Mittelwert wurde eine minimale Anzahl Struktureinheiten berechnet, unterhalb der die Zonen nicht automatisch feiner unterteilt werden. Dazu wurde definiert, dass die Abweichung der mittleren zonenspezifischen Struktureinheiten vom anzustrebenden Mittelwert gleich gross sei wie die Abweichung der mittleren zonenspezifischen Struktureinheiten vom anzustrebenden Mittelwert, wenn die Zone zweigeteilt würde. Als Gleichungssystem ausgedrückt und aufgelöst nach x , dem gesuchten Schwellenwert:

$$x - 1'235 \stackrel{\text{def}}{=} 1'235 - \frac{x}{2} \Leftrightarrow x = 2'470 - \frac{x}{2} \Leftrightarrow \frac{3x}{2} = 2'470 \Leftrightarrow x \approx 1'650$$

Damit wurden 1'637 Verkehrszonen von der automatischen Verfeinerung ausgeschlossen (gelb in Abbildung 69). Diese bleiben unverändert auch im neuen NPVM bestehen.

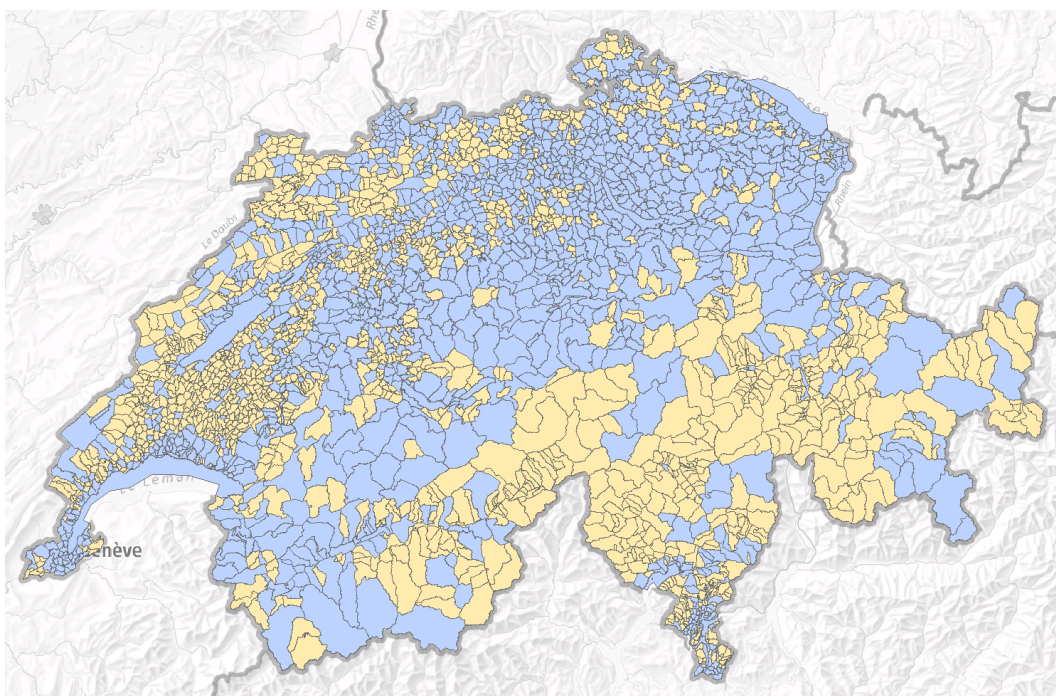


Abbildung 69: Verkehrszonen eingefärbt nach der Anzahl Personen (Einwohner und Vollzeit-äquivalente). Gelb: bis zu 1'650 Personen, blau: mehr als 1'650 Personen. Nicht betroffen vom Schwellenwert sind Seen, da ihnen mit der beschriebenen Methodik keine Personen zugewiesen werden.

Für die übrigen 1'307 Zonen des NPVM 2010 wurden im nächsten Schritt die Ausgangszonen gebildet.

5.4 Bildung von Ausgangszonen

Die wie in Kapitel 5.2 beschriebenen, aufbereiteten Datensätze zu Bahnlinien, Strassen, Gewässern und bestehenden Verkehrszonen dienen als Eingangsdaten für die Bildung der sogenannten Ausgangszonen. Um die Berechnungskomplexität zu begrenzen, wurden Linienzüge in den vorprozessierten Datensätzen zu Strassen, Gewässern und Bahnlinien in einem einzigen Datensatz zusammengefasst. Anschliessend wurden Linien (Kandidaten für Zonengrenzen) in den Verkehrszonen unterhalb des oben definierten Personen-Schwellenwerts gelöscht (da diese Zonen nicht weiter unterteilt werden). Nachfolgend wurden die derart aufbereiteten Linienzüge mittels ET GeoWizard miteinander verschnitten, um die Polygone der Ausgangszonen zu bilden.

5.5 Automatische Aggregation von Ausgangszonen

Mit dem beschriebenen Verfahren entstanden für das Gebiet der Schweiz 171'328 Ausgangszonen. Diese Ausgangszonen sind sehr feingliedrig (Abbildung 71). Die Ausgangszonen wurden anschliessend innerhalb der bestehenden NPVM-Zonen, aber nicht über bestehende Zonengrenzen hinweg auf eine für die weitere Bearbeitung sinnvolle Grösse aggregiert.

Für die Aggregation der sehr zahlreichen kleinen Zonen wurden verschiedene Methoden getestet und schliesslich ein mittels Python und arcpy implementiertes, für geeignet befundenes Vorgehen mit dem Tool «Eliminate» umgesetzt.

Mit «Eliminate» wurden kleine Ausgangszonen in einem iterativen Verfahren zu grösseren Zonen zusammengefasst. «Eliminate» (vgl. Abbildung 70) erlaubt:

- die Selektion von zu aggregierenden Zonen (Zonen mit zu geringen Strukturdaten-Werten);
- die Selektion von nicht zu verändernden Zonen (Zonen mit zu hohen Strukturdaten-Werten);
- die Angabe von Grenzen, über die hinweg keine Aggregation erfolgen soll. Hierfür wurden:
 - die bestehenden NPVM-Zonengrenzen;
 - Bahnlinien;
 - MISTRA-Strassenachsen;

- (nicht bereits in den MISTRA-Daten enthaltene) TomTom-Strassenachsen mit FRC 2-5 und
 - Fließgewässer mit Fließordnungszahl 8 oder 9
- aufbereitet und verwendet.

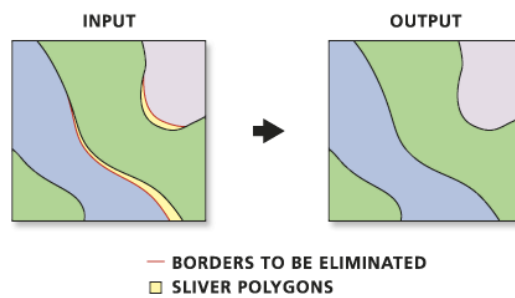


Abbildung 70: Automatisierte Zusammenfassung von Kleinstzonen zu „kleinen“ Zonen mit Nachbarzonen mittels «Eliminate».



Abbildung 71: Ansichten von (zum Teil sehr kleinen) Ausgangszonen in verschiedenen Zoomstufen in der Stadt Basel

Von allen genannten Möglichkeiten des Tools «Eliminate» wurde Gebrauch gemacht. Vorbehaltlich der Einschränkung via Selektion von nicht zu verändernden Zonen erfolgten die Aggregationen jeweils über die längste gemeinsame Kante (vgl. Abbildung 70).

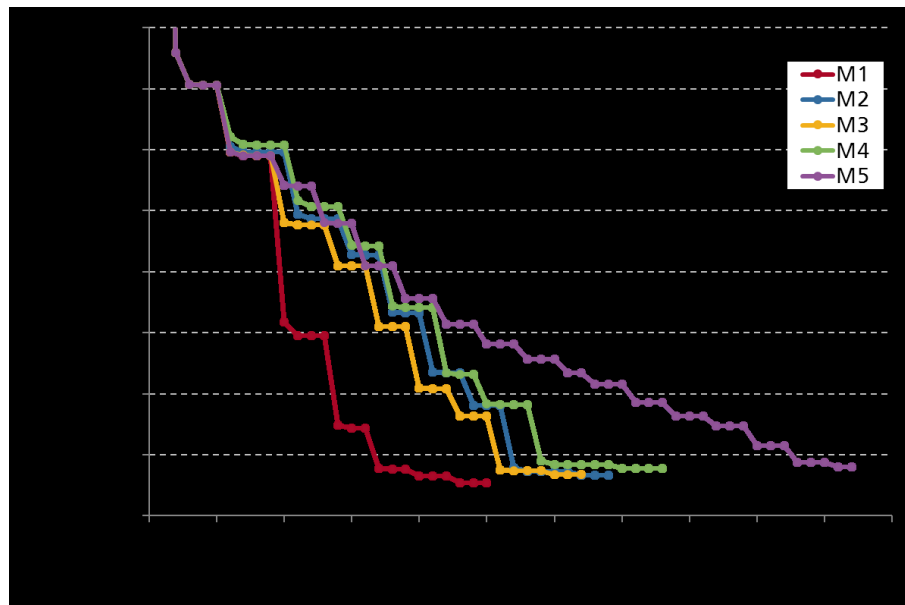


Abbildung 72: Zonenanzahl pro Iterationsschritt bei der automatischen Aggregation gemäss fünf unterschiedlichen Methoden

Für die Strukturdaten-Schwellenwerte bei der iterativen Aggregation wurden verschiedene Verfahren getestet und hinsichtlich ihrer Konvergenz zu einem stabilen Ergebnis sowie hinsichtlich der resultierenden Werte der Strukturdaten auf Zonenebene verglichen (vgl. Abbildung 72). Insgesamt wurden 5 verschiedene Aggregationsmethoden programmiert und ausgeführt, die sich in der Anzahl und der Ausprägung der verwendeten Schwellenwerte unterschieden. Daraus resultierten Aggregationsläufe mit zwischen 24 und 51 Iterationen. Die Methode M5 zeigt einen kontinuierlichen und langsamen Aggregationsverlauf auf, während die anderen Verläufe sprunghafter sind. Eine Verwendung der Methoden 1-4 hätte einen relativ arbiträren Ausgangszustand bedeutet, während bei M5 die Änderungen zwischen zwei Iterationen geringer sind und damit der notwendige, manuelle Abbruch der Iterationen kontrollierter erfolgt. Daher wurde Umsetzung mit der Methode M5 durchgeführt und nach 56 Iterationen abgebrochen.

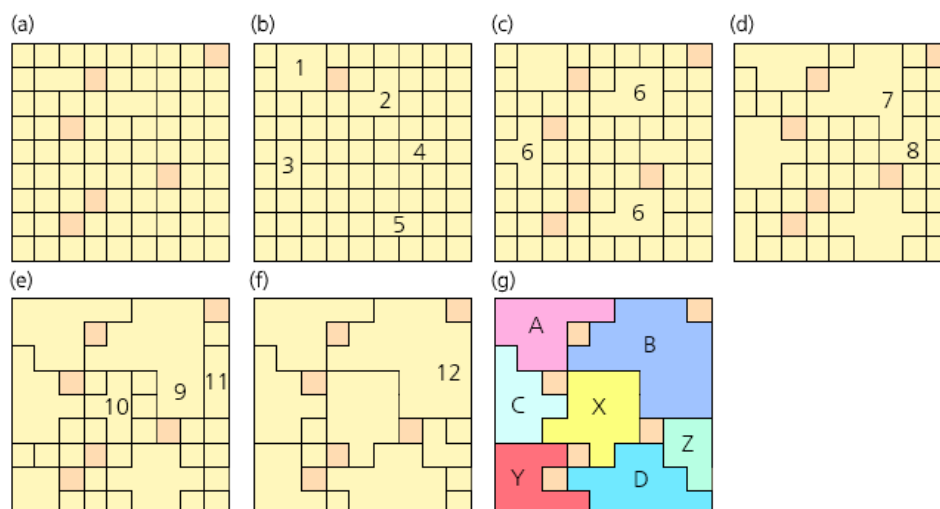


Abbildung 73: Die Grafik zeigt sieben Zustände der Zonenaggregation. Gelbe Zonen sollen aggregiert werden, orange sind von der Aggregation ausgeschlossen. Restliche Beschreibung: vgl. Text.

Es wurde ein iteratives Vorgehen mit klar definierten, strukturdatenbezogenen Schwellenwerten etabliert, weil sich durch Zusammenfassung von Kleinstzonen in frühen Schritten genügend grosse Zonen etablieren können, welche später andere Kleinstzonen absorbieren. Das bedeutet, dass ein iteriertes Vorgehen mit ansteigenden Schwellenwerten ein anderes Resultat ergibt als die direkte Anwendung des grössten Schwellenwerts.

Dies und das generelle Funktionieren des Aggregationsalgorithmus kann vereinfachend mit Verweis auf Abbildung 73 erläutert werden. Darin sind sieben Zustände (a bis g, von links nach rechts) der ZonenAggregation gezeigt. In Zustand (b) werden erste Kleinstzonen (bezüglich Struktureinheiten) mit benachbarten Zonen aggregiert: 1, 2, 3, 4 und 5. In Zustand (c) werden drei dieser leicht aggregierten Zonen weitere Nachbarzonen zugeschlagen. Zone 4 aus Zustand (b) wächst im Zustand (d) nochmals leicht und touchiert die ebenfalls leicht gewachsene Zone 7. In Zustand (e) verschmelzen diese beiden Zonen, da offenbar keine der beiden Zonen hinsichtlich Struktureinheiten zu gross war, um weiter aggregiert zu werden. Gleichzeitig entstehen Zone 10 und Zone 11 im Zustand (e) neu. Dies kann nur aus dem Grund geschehen, dass in Zustand (e) der Schwellenwert der Strukturdaten, wie im vorangehenden Abschnitt erläutert, angehoben worden ist, so dass die Zonen neu Kandidaten für die Aggregation geworden sind. In Zustand (f) werden Zonen 9 und 11 zur Zone 12 aggregiert. Zone 10 werden unterdessen weitere Nachbarzonen zugeschlagen. Zone 10 wird dadurch genügend gross bezüglich Strukturdaten, sodass sie nicht mit einer anderen Zone aggregiert wird; sie bleibt auch in Zustand (g) als eigenständige Zone erhalten. In Zone (g) sehen wir: Die Zonen A, B, C und D entstanden aus «Proto-Zonen», die bereits nach der ersten Aggregation in Zustand (b) vorhanden waren,

nämlich 1, 2, 3 und 5. Demgegenüber sind die Ursprünge der Zonen X, Y und Z später im Aggregationsprozess entstanden. Deren Ursprungszonen sind aber bezüglich der Strukturdaten genügend schnell gewachsen und/oder von genügend grossen Nachbarzonen umgeben worden, sodass sie nicht aggregiert wurden. Dies im Gegensatz zu den Zonen 8 und 11, die im Prozess der Aggregation von Nachbarzonen absorbiert wurden.

Iterativ musste das Vorgehen auch erfolgen, weil «Eliminate» in jedem Durchlauf nur eine «Ebene» von Zonen aggregiert. Wenn z.B. eine Ansammlung von Zonen aggregiert werden soll, wird eine zu aggregierende Zone, die nur von anderen zu aggregierenden Zonen umgeben ist im ersten Durchlauf *nicht* aggregiert.

Das automatisierte Vorgehen wurde daher derart umgesetzt, dass dieselben Schwellenwerte solange angewendet wurden, bis keine zu aggregierenden Zonen übrigblieben oder bis die Zahl der verbleibenden zu aggregierenden Zonen konstant blieb. Nach einem solchen erfolgreichen Abarbeiten einer Konfiguration von Schwellenwerten wurden den neu entstandenen Zonen die Strukturdaten erneut angespielt und die nächste Konfiguration von Schwellenwerten bearbeitet.

5.6 Verfeinerung der Ausgangszonen

Im letzten Arbeitsschritt wurden die automatisch aggregierten Ausgangszonen manuell weiterverarbeitet. Dabei wurden Zonen weiter aggregiert, seltener disaggregiert (zerschnitten) oder mit angepassten Zonengrenzen versehen.

Automatisierung der Berechnung von Strukturdaten pro Zone und Aufteilung in Regionen

Während der manuellen Bearbeitung war es immer wieder nötig, nach Veränderungen der Zonengeometrien die Struktureinheiten pro Zone nachzuführen. Zu diesem Zweck wurde mit Python und arcpy ein Skript programmiert, das die Berechnung innerhalb einer ArcGIS-Session durchführt.

Um eine effiziente parallele Bearbeitung von Zonen zu ermöglichen, wurden die automatisch aggregierten Ausgangszonen in schweizweit sechs Regionen unterteilt. Dazu wurden die in den einzelnen ArcGIS-Projekten verwendeten Datenquellen vollständig voneinander entkoppelt, damit keine Zugriffssperren bei der gemeinsamen und gleichzeitigen Nutzung eines Datensatzes durch mehrere Bearbeitende auftreten konnten.

Manuelle Bearbeitung der Zonen

Für die manuelle Bearbeitung wurde pro Region ein ArcGIS-Projekt aufgesetzt, das alle relevanten Daten enthielt: Ausgangszonen mit speziell gelabelten Strukturdaten, Hintergrunddaten wie die vereinfachten Bauzonen, ÖV-Haltestellen und das Strassennetz, die bestehenden NPVM-Zonen und die Strukturdaten im Hektarraster.

Die manuelle Bearbeitung wurde in engem Austausch mit der ARE-Projektleitung und unter Beachtung des folgenden priorisierten Regelwerks durchgeführt:

1. Zonen werden in keinem Fall über die NPVM-Zonierung 2010 übergreifend fusioniert;
2. Die Zonen für singuläre Verkehrserzeuger werden in keinem Fall fusioniert;
3. Es dürfen keine «isolierten» (Zonen innerhalb von Zonen) und «Nuller-Zonen» (= Null Struktureinheiten) entstehen;
4. Neue Zonen im ländlichen Raum sollen möglichst nahe an 1'230 Struktureinheiten (Summe aus Einwohnern und Arbeitsplätzen) aufweisen; im urbanen Raum wurde eine höhere Anzahl an Struktureinheiten pro Zone erlaubt;
5. «Harte» Grenzen (d.h. grössere Gewässer, Schienen und grosse Strassen) verlaufen nicht durch Zonen sondern werden als Zonengrenzen genutzt;
6. Bahnhöfe sind in unterschiedlichen Zonen, andere ÖV Haltestellen werden nach Möglichkeit in unterschiedliche Zonen gefasst;
7. Neue Zonen sind möglichst homogen bezüglich Bauzonentypen;
8. Umgreifenden Geometrien sind, wenn möglich, zu vermeiden;
9. Falls es dafür sinnvolle Gründe gibt, darf eine Zonengrenze ausnahmsweise losgelöst von Strassen, Gewässer oder Schienen gezogen werden.

Einige beispielhafte manuelle Bearbeitungen sind in Abbildung 74 ersichtlich. Beim obersten Beispiel (Fribourg) waren die Verteilung der Struktureinheiten zu optimieren und die automatisch entstandenen relativ verwinkelten Formen zu minimieren. Zudem mussten wichtige natürliche Grenzen wie Geländekanten und der Fluss beachtet werden.



Abbildung 74: Beispiele manueller Bearbeitung von Zonen (gelb: Ausgangszonen, rot: manuell erstellte Zonen, türkis: NPVM 2010-Zonen)

Beim mittleren Beispiel in Abbildung 74 waren Herausforderungen, dass mit der Eisenbahnlinie eine harte Grenze sehr nahe am Gewässer verlief (was zu einer sehr langen Zonenform führte) und dass die bestehende NPVM-Zone (in türkis) diverse Landnutzungen (vor allem Landwirtschaft und Siedlung) in einem polyzentralen Muster enthielt. Die manuelle Neuaufteilung trug diesen Umständen angemessen Rechnung.

Beim unteren Beispiel in Abbildung 74 waren nach der automatischen Aggregation eine substantielle Varianz bezüglich der Strukturdaten, grosse Gebäudekomplexe mit sehr vielen Personen und zum Teil sogenannte «umgreifende» Zonen vorhanden. Zudem wurde aufgrund der urbanen Struktur ein höherer Mittelwert der Struktureinheiten angestrebt. Alle diese Punkte wurden soweit möglich mit der manuellen Überarbeitung adressiert.

Zu Qualitätssicherungszwecken wurden während und nach der manuellen Bearbeitung Quervergleiche zwischen Zonen und Regionen angestellt, komplexe Situationen zwischen den Projektleitenden diskutiert und gelöst sowie quantitative Qualitätsmasse basierend auf der bestehenden und neuen Zonenzahl und Lage- und Verteilungsmasse der Strukturdaten berechnet.

Mit dieser Vorgehensweise konnte eine qualitativ gleichbleibende Bearbeitung sichergestellt werden, welche auch die zusätzlichen Randbedingungen der Flächennutzung, der ÖV-Infrastruktur und des Strassennetzes berücksichtigt.

6 Singuläre Verkehrserzeuger

6.1 Überblick

Bei singulären Verkehrserzeugern handelt es sich um sogenannte verkehrsintensive Einrichtungen (VE), die aufgrund ihres grossen induzierten Verkehrs im neuen NPVM als eigene Zonen umgesetzt wurden. Dazu zählen insbesondere:

- Flughäfen,
- grosse Einkaufsnutzungen (Einkaufszentren und Fachmärkte oder Cluster davon) und
- Freizeitnutzungen (z.B. Multiplexkinos, Erlebnisbäder, Zoos, touristische Highlights).

Charakteristisch für VE ist, dass ein Grossteil des Verkehrs von den Besucherinnen und Besuchern erzeugt wird und dieser ausgeprägte Spitzen aufweisen kann, die nicht unbedingt mit den allgemeinen Verkehrsspitzen zusammenfallen.

Wie die Studien des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des ARE²⁰⁾ gezeigt haben, liegen keine schweizweit einheitlichen Definitionen und Systematiken zu VE vor.

6.1.1 Ziel

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war die Identifikation der Flughäfen, Einkaufsnutzungen und Freizeitnutzungen, die im NPVM 2015 durch eigene Verkehrszonen repräsentiert werden sollen, sowie die Integration dieser Zonen in die neue Zonenstruktur.

6.1.2 Eingangsdaten

Aufgrund der grossen Unterschiede in der inhaltlichen Charakterisierung und der Datenverfügbarkeit zu den drei Typen von verkehrsintensive Einrichtungen (Flughäfen, Einkaufsnutzungen und Freizeitnutzungen) werden die Eingangsdaten hier jeweils separat ausgewiesen:

Für die *Flughäfen* wurden die folgenden Eingangsdaten verwendet:

- Passagierzahlen;
- Verkehrsaufkommenszahlen aus dem aktuellen NPVM;
- Luftverkehrsprognosen²¹⁾.

Für die *Einkaufsnutzungen* standen die folgenden Datenquellen zur Verfügung:

20) BAFU/ARE (2012): Effektivität und Effizienz von verkehrslenkenden Massnahmen bei verkehrsintensiven Einrichtungen

21) Intraplan (2015): Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose

- UVEK-Liste zu Einkaufsnutzungen mit 195 Objekten («Shopping-Center») der Schweiz;
- Fachmärkte und Cluster wurden nicht berücksichtigt, da keine Datengrundlage vorhanden ist.

Eine schweizweite Übersicht bzw. ein harmonisierter Katalog grosser *Freizeitanlagen* ist nicht verfügbar. Zudem ist die Datenlage zu Besucherströmen vieler Freizeiteinrichtungen unbefriedigend, da vorhandene Zahlen zu diesem Thema in der Regel nicht publiziert werden. Auf der Basis der Funktionstypen der Arbeit SVI 2004/079 wurde daher eine Internetrecherche zur Zusammenstellung von Freizeitanlagen durchgeführt, die potentiell in der Zonenstruktur zu berücksichtigen sind. Quellen für diesen Schritt sind:

- Ergebnisse aus SVI 2004/079 „Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen“ (2012);
- Liste zu Sportstadien und deren Kapazitäten, ARE (2016);
- Übersicht zu Spielbanken, Schweizer Casino Verband (2016);
- Museumsbesuche, Verband der Museen der Schweiz (2009);
- Multiplex-Kinos, Opernhäuser, Messegelände und Sportstadien der Schweiz, Wikipedia (2016);
- Auflistungen von Freizeiteinrichtungen regionaler Tourismusplattformen (2016);
- Veranstaltungslokale, GoodNews (2016);
- Badeanlagen der Schweiz, Badi-Info (2016).

6.1.3 Vorgehen

Im ersten Schritt wurden für jeden Typ der verkehrsintensiven Einrichtungen die verfügbaren Eingangsdaten zusammengetragen. Anschliessend wurden diese gesichtet und für jeden Typ relevante Kriterien und Grenzwerte für die Schaffung einer eigenen Verkehrszone festgelegt. Als Massstab für relevante verkehrsintensive Einrichtungen wurde dabei eine Verkehrserzeugung in ähnlicher Grössenordnung wie von durchschnittlichen Verkehrszonen angesetzt (vgl. Kapitel 5.3, Mittelwert von 1'230 Struktureinheiten mit ihrer Verkehrserzeugung). Abschliessend wurden die so bestimmten verkehrsintensiven Einrichtungen geokodiert und Zonenpolygone mit Grenzen entlang der umliegenden Strassen geschaffen.

6.1.4 Ergebnisse

Es wurden insgesamt 50 Zonen für verkehrsintensive Einrichtungen in die Zonenstruktur des NPVM 2015 integriert. Für Flughäfen wurden fünf Zonen geschaffen. Diese Zonen sind bereits

im aktuellen NPVM enthalten, haben neu aber auch zugehörige Polygonflächen. Für Einkaufsnutzungen wurden weitere 21 Zonen hinzugefügt. Es wurden insgesamt 34 relevante Freizeiteinrichtungen identifiziert. 20 davon weisen eine für den DWV relevante Verkehrserzeugung auf und wurden als eigenständige Zonen umgesetzt. Weitere vier Zonen (v.a. grosse Stadien) wurden für einen möglichen Modellzustand geschaffen, bei dem auch der Einfluss grosser Sonderevents berücksichtigt werden kann. Die übrigen zehn relevanten Freizeiteinrichtungen sind verbunden mit anderen verkehrsintensiven Einrichtungen. Für sie wurden keine neuen Zonen geschaffen. Sofern notwendig wurden die Polygongrenzen angepasst.

6.2 Flughäfen

Zunächst wurden die relevanten Flughäfen ausgewählt. Gemäss Eingangsdaten handelt es sich um die fünf grössten Flughäfen, d.h. die drei Landesflughäfen Zürich, Genf und Basel-Mülhausen sowie die beiden grössten Regionalflughäfen Lugano-Agno und Bern-Belp.

Der nächstkleinere Flughafen St. Gallen-Altenrhein ist mit einer Frequenz von weniger als 100'000 Passagieren pro Jahr und der Prognose, wonach das Passagieraufkommen bis 2040 nicht spürbar zunehmen wird, von untergeordneter Bedeutung und wird nicht als eigene Zone umgesetzt.

6.3 Einkaufsnutzungen

Die Auswahl der Einkaufsnutzungen erfolgte aufgrund der folgenden Metriken:

- mindestens 900 Parkplätze (Attribut „Anzahl Parkplätze“);
- mindestens 20'000m² Verkaufsfläche (Attribut „Verkaufsfläche 2015“);
- Einkaufsnutzungen, die als „nicht-urban“ eingestuft sind (Attribut „CenterArt“): Einkaufsnutzungen in peripheren oder isolierten Lagen sind relevant. Einkaufsnutzungen an zentralen Lagen, die in eine urbane Struktur integriert sind, werden nicht separiert, da sie sich bezüglich ihrer Verkehrserzeugung von ihrer Umgebung weniger klar abgrenzen. Die Kategorisierung von einigen wenigen Einkaufsnutzungen (beispielsweise das initial als urban kategorisierte Westside in Bern) wurde vor der Auswahl jedoch manuell übersteuert.

Nicht verwendet werden unter anderem die Attribute „Anzahl Besucher“ und „Umsatz“. Diese wären an sich ebenfalls gut geeignete Metriken zur Bewertung von Einkaufsnutzungen, weisen aber für viele Einkaufsnutzungen (60% bzw. 21%) keine Werte auf.

Mit diesem Vorgehen resultierten 21 relevante Einkaufsnutzungen gemäss Abbildung 75. Sie liegen wie erwartet vorwiegend im Mittelland sowie im Tessin.

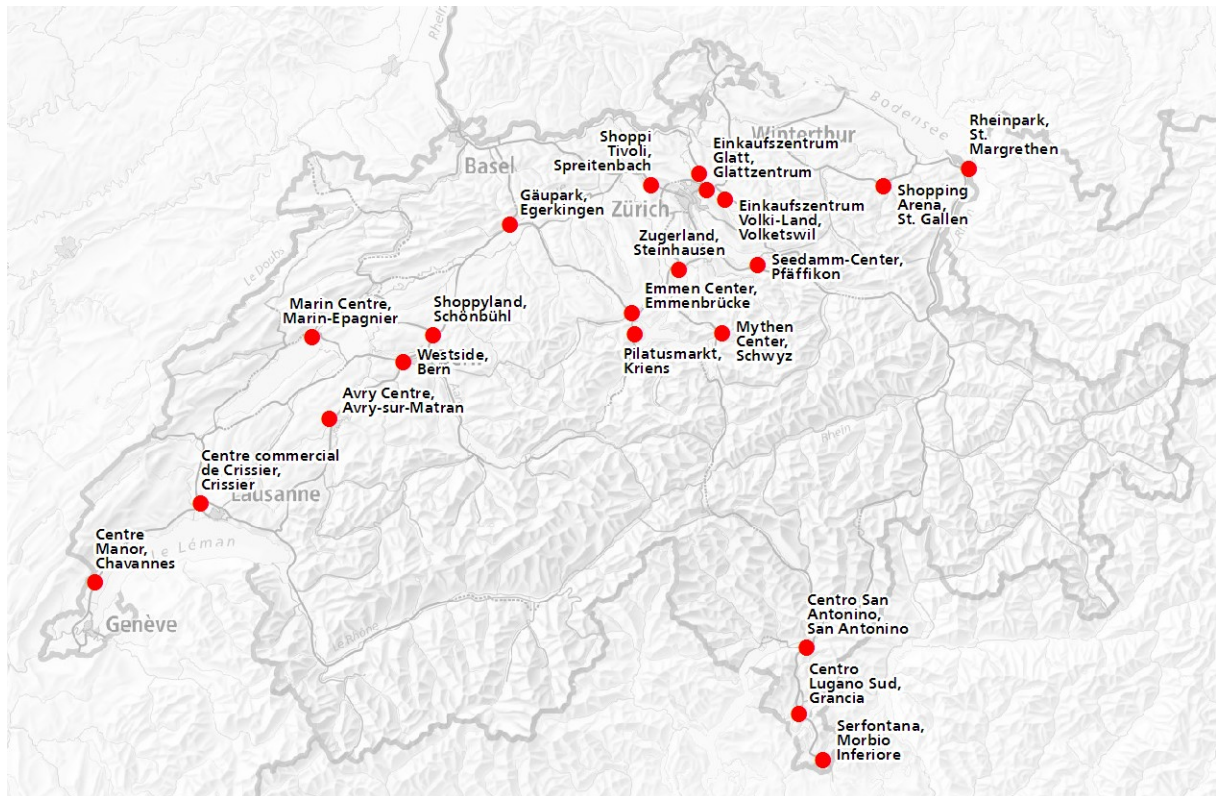


Abbildung 75: Relevante Einkaufsnutzungen, die eine eigene Verkehrszone erhalten.

6.4 Freizeiteinrichtungen

In einem ersten Schritt wurde eine Liste der Freizeiteinrichtungen aus zahlreichen Quellen zusammengestellt. Diese umfasst 314 Einträge mit den Attributen «Quelle», «Name», «Ort», «Funktionstyp» und – sofern verfügbar – «Besucherzahlen» und «Fassungsvermögen».

Im zweiten Schritt wurden durch eine Einschätzung von räumlichen und funktionalen Einflüssen Kriterien bzw. Schwellenwerte für die Erstellung von Verkehrszone definiert. Der Fokus lag dabei zunächst auf Freizeiteinrichtungen, die eine für den DVW relevante Verkehrserzeugung verursachen.

- Museen: peripher und mindestens 300'000 Besuche pro Jahr;
- Freizeitbäder: peripher und mindestens 300'000 Besuche pro Jahr;
- Zoos: peripher und mindestens 300'000 Besuche pro Jahr;
- Stadien: mindestens 30'000 Plätze und Mantelnutzung;
- Freizeitparks: nicht berücksichtigt aufgrund vergleichsweise geringer Kapazitäten und Spitzenbelastung am Wochenende;

- Sportanlagen: nicht berücksichtigt aufgrund vergleichsweise geringer Kapazitäten;
- Grossdiskotheken und Veranstaltungsorte: nicht berücksichtigt aufgrund ungenügender Datengrundlage;
- Casinos: nicht berücksichtigt aufgrund ungenügender Datengrundlage;
- Messgelände: nicht berücksichtigt aufgrund schwankenden Aufkommens (Spitzenbelastung eher am Wochenende) und meist urbaner Lage;
- Multiplex-Kinos: nicht berücksichtigt aufgrund vergleichsweise geringer Kapazitäten und meist urbaner Lage;
- Theater: nicht berücksichtigt aufgrund von ausschliesslich urbaner Lage.

Skigebiete wurden nicht berücksichtigt, da sie nur zu einer saisonalen und eventähnlichen Nachfrageerhöhung führen.

Im nächsten Schritt wurde evaluiert, welche Freizeiteinrichtungen zusätzlich für einen Modellzustand, bei dem auch der Einfluss grosser Sonderevents berücksichtigt wird, einzubeziehen sind. Dies sind insbesondere Einrichtungen für Grossveranstaltungen wie Sportstadien oder Messegelände. Dafür werden die Kriterien und Schwellenwerte wie folgt angepasst:

- *Stadien*: mindestens 25'000 Plätze;
- *Messgelände*: mindestens 100'000 m² Ausstellungsfläche.

Die Objekte wurden einzeln auf die Einhaltung der Kriterien überprüft. Insbesondere bei der Lage («urban» bzw. «peripher») bestand Ermessensspielraum. Zudem liegen Freizeiteinrichtungen teilweise in unmittelbarer Nähe von Einkaufsnutzungen oder anderen Freizeiteinrichtungen, wodurch die verkehrliche Wirkung gemeinsam betrachtet werden muss. Für derartige Objekte werden – sofern in der Summe relevant – gemeinsame Verkehrszonen erstellt («verbunden»).

34 Freizeiteinrichtungen erfüllen die Anforderungen der Prüfung. Eine Übersicht der berücksichtigten Freizeiteinrichtungen ist in Abbildung 76 ersichtlich.

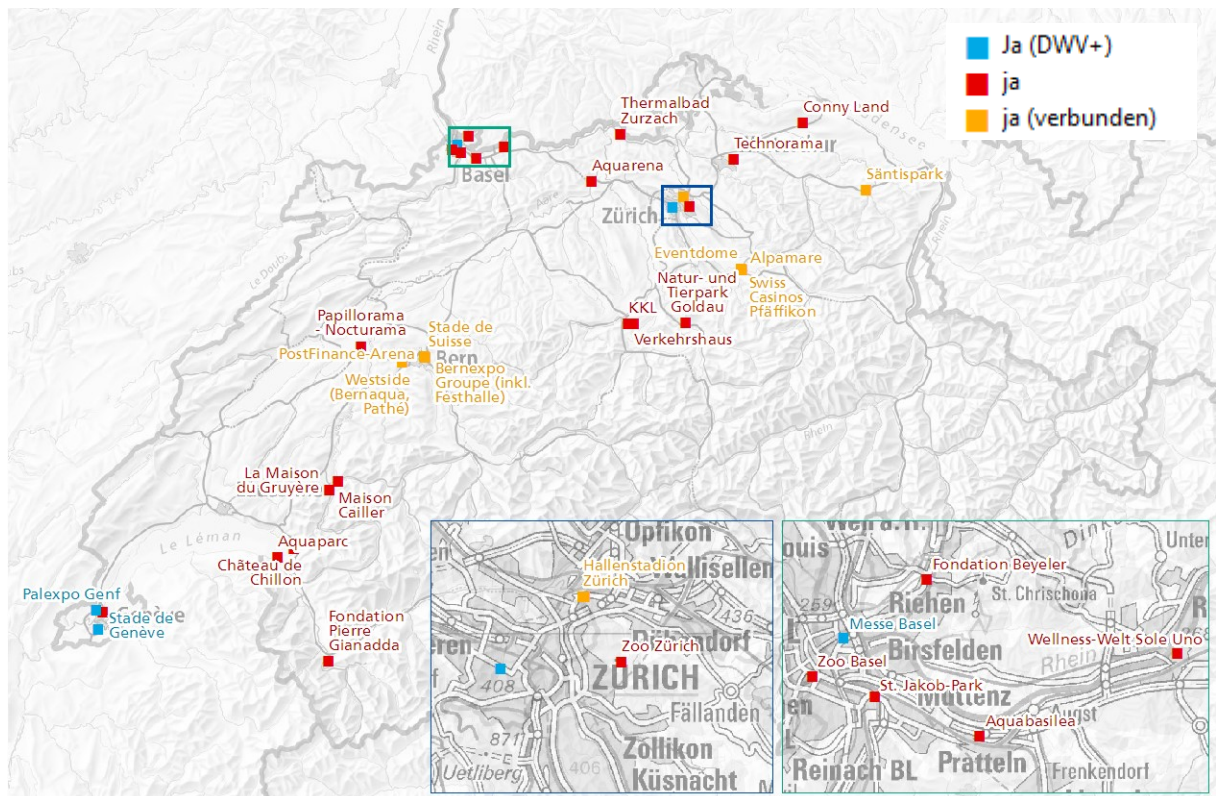


Abbildung 76: Relevante Freizeiteinrichtungen, die eine eigene Verkehrszone erhalten (z.T. mit anderen Einrichtungen verbunden oder nur für einen gesonderten Modellzustand „DWV+“ – im Sinne der Berücksichtigung von Sonderevents)

6.5 Bestimmung der Zonenpolygone

Abschliessend wurden die ausgewählten verkehrsintensiven Einrichtungen geocodiert und räumlich visualisiert. Dabei ist zu beachten, dass manche verkehrsintensiven Einrichtungen aufgrund von falschen oder nicht-standardisierten Adressangaben (z.B. Adresse der Holding) oder wegen zu erwartenden Unsicherheiten der Geocodierung eine falsche Lage²² erhalten. In diesen Fällen wurde die Lage manuell korrigiert. Auch die Lage der korrekt geocodierten verkehrsintensiven Einrichtungen wurde zum Teil mithilfe einer Hintergrundkarte manuell justiert, da die Lage des in der Geocodierung zur Anwendung kommenden postalischen Referenzpunkts oft nicht repräsentativ für Lage und Ausdehnung war. Die derart aufbereiteten VE wurden anschliessend manuell von ihren Ursprungszonen abgetrennt. Angrenzende Strassen bildeten jeweils die Grenzen der neu erstellten Zonenpolygone.

²² Betroffen waren: Glattzentrum, Wallisellen; Centre Manor, Chavannes; Rheinpark, St. Margrethen; Zugerland, Steinhausen; Centro Lugano Sud, Grancia.

Für die Flughäfen Genf und Zürich wurden jeweils drei Zonen erzeugt, da sie neben ihrer speziellen Bedeutung für Flugpassagiere auch sehr grosse Arbeitgeber sind und daher viele Struktureinheiten beinhalten. Dies wird in der Übersicht zu den Struktureinheiten je Verkehrserzeugertyp in Tabelle 29 deutlich.

Typ	Anzahl Zonen	Struktureinheiten		
		Durchschnitt	Minimum	Maximum
Einkauf	19	965	108	2136
Freizeit	30	806	4	2360
Flughafen	9	2614	118	9767
Gesamt	58	1101	4	9767

Tabelle 29: Struktureinheiten der singulären Verkehrserzeuger

Insgesamt wurden auf diese Weise 58 Zonen für singuläre Verkehrserzeuger generiert. Eine Übersicht über diese Zonen findet sich im Anhang.

7 Anbindungen und Kenngrössen

7.1 Überblick

Ziel

Das Ziel dieses Arbeitsschritts ist die Zusammenführung der Zonen mit den Verkehrsnetzen und die abschliessende Plausibilisierung auf der Grundlage von Kenngrössen. Dazu müssen für jede Verkehrszone der über Wohn- und Arbeitsbevölkerung definierte Zonenschwerpunkt berechnet, Anbindungen erzeugt und die Kenngrössen berechnet und plausibilisiert werden. Die Erzeugung der Anbindungen erfolgte mittels eines vereinfachten Vorgehens und ausschliesslich zur Plausibilisierung der Netze und zur Berechnung von Kenngrössen. Ein inhaltliches Anbindungskonzept war nicht Ziel dieses Projektes.

Eingangsdaten

Für die Bearbeitung wurden die folgenden Daten verwendet:

- Automatisch erstellte und manuell verfeinerte Verkehrszonen (Kapitel 5);
- Hektarrasterdaten zu Wohn- und Arbeitsbevölkerung (STATPOP 2015 und STATENT 2014 des BFS);
- VISUM-Versionen mit Netzen und Zonen für MIV und ÖV (Kapitel 2 bis 4).

Die STATPOP- und STATENT-Daten wurden durch das ARE in Rohform zur Verfügung gestellt und dann für den in Kapitel 5.6 beschriebenen Arbeitsschritt, «Verfeinerung der Ausgangszonen», aufbereitet. Sie wurden im aktuellen Arbeitsschritt wiederverwendet.

Vorgehen

Die Bearbeitung dieses Arbeitspakets erfolgte in den folgenden Schritten:

1. Berechnung der Zonenschwerpunkte;
2. Generierung der Anbindungen Strasse und ÖV;
3. Plausibilisierung von Kenngrössen.

Zunächst wurden die Zonenschwerpunkte als Mittelpunkt der Koordinaten der Hektarrasterpunkte gewichtet nach der Anzahl Einwohner und Vollzeitäquivalenten berechnet. Falls die Schwerpunkte nicht innerhalb der Grenzen der Zone lagen, wurden sie manuell dorthin verschoben. Anschliessend wurden die Zonen nach VISUM importiert und die Anbindungen automatisch generiert. Im MIV wurde je Zone eine Anbindung zum nächstgelegenen Knoten im untergeordneten Netz erzeugt. Im ÖV wurden in Abhängigkeit ein oder zwei Anbindungen

zum nächsten Bahnhof respektive zur nächsten Bus- oder Tramhaltestelle erzeugt. Abschliessend wurden für beide Verkehrsnetze Kenngrössen berechnet und plausibilisiert.

Ergebnisse

Mit Abschluss dieses Arbeitspakets liegen personengewichtete Zonenschwerpunkte für alle Verkehrszonen (vgl. Abbildung 77) und Anbindungen jeder Zone an mindestens einen Knoten des jeweiligen MIV-Netzes respektive an mindestens eine Haltestelle des ÖVs vor. Zudem liegt eine Reihe von Kenngrössen für den MIV und den ÖV vor, anhand derer die beiden Netze plausibilisiert wurden.

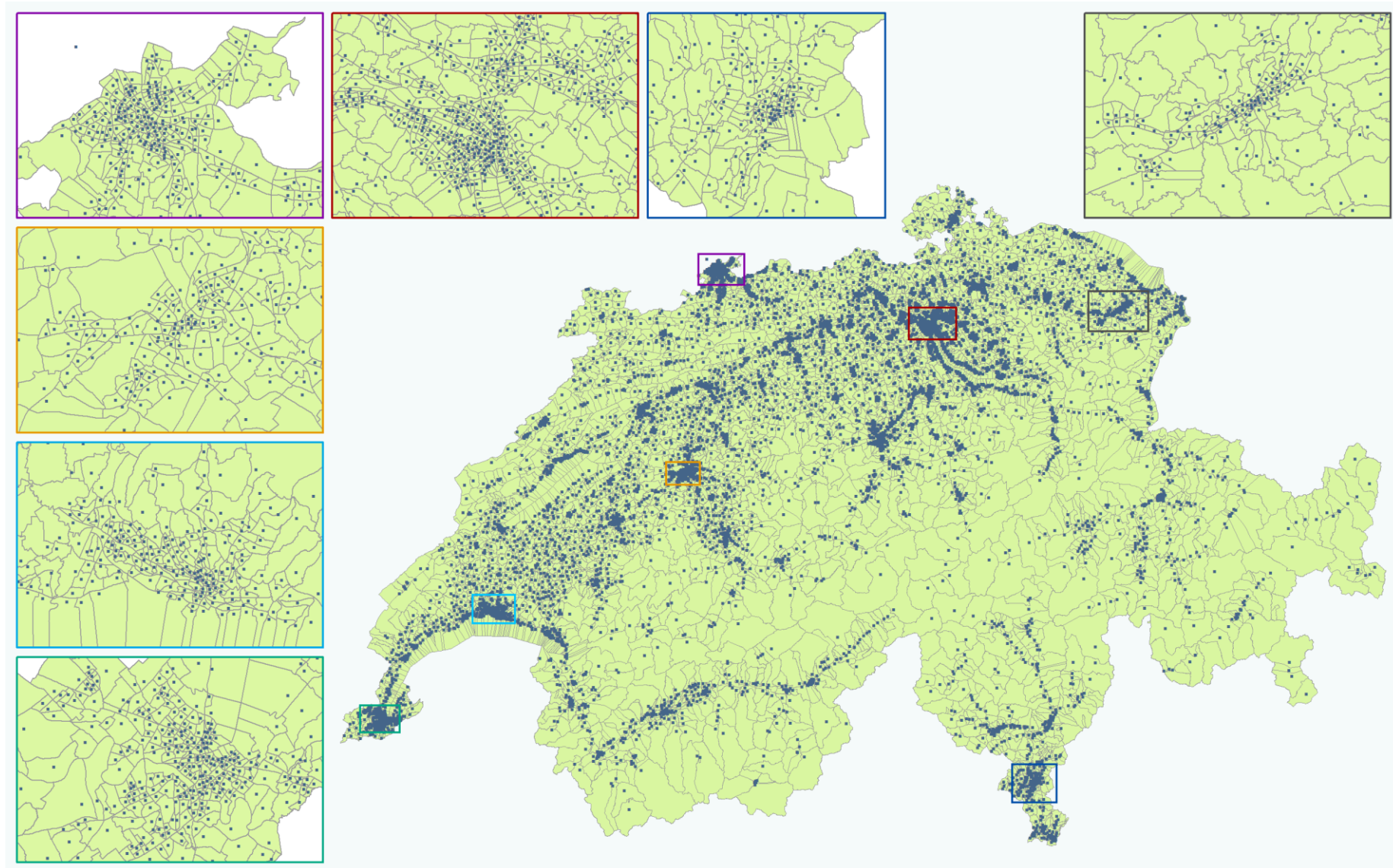


Abbildung 77: Bevölkerungsgewichtete Zonenzentroide, mit 54 manuellen Korrekturen

7.2 Berechnung der Zonenschwerpunkte

Initial wird jede Zone so mit den Hektarraster-Referenzpunkten verschnitten, dass jeder Referenzpunkt eindeutig einer Verkehrszone zugeordnet ist. Anschliessend werden die Koordinaten (x_Z , y_Z) der Zonenschwerpunkte wie folgt als mit der Summe der Einwohner und Vollzeit-äquivalente gewichteter Schwerpunkt berechnet:

$$x_Z = \frac{\sum_{H \text{ in } Z} (EW_H + VZA_H) \cdot x_H}{\sum_{H \text{ in } Z} (EW_H + VZA_H)}$$

und

$$y_Z = \frac{\sum_{H \text{ in } Z} (EW_H + VZA_H) \cdot y_H}{\sum_{H \text{ in } Z} (EW_H + VZA_H)}$$

wobei:

x_Z, y_Z :	x- bzw. y-Koordinate des Zonenschwerpunkts
H :	Hektare
Z :	Zone
x_H, y_H :	x- bzw. y-Koordinate der Hektare H
EW_H :	Anzahl Einwohner in der Hektare H , entspricht dem Attribut BBTOT aus STAT-POP
VZA_H :	Anzahl Beschäftigte [Vollzeitäquivalente] in der Hektare H , entspricht dem Attribut VZAT aus STATENT

Bei speziell geformten (teil-konkave Aussengrenzen oder mehrere Zonenteile) und speziell mit Einwohnern und Arbeitsplätzen besetzten Verkehrszonen kann es vorkommen, dass der derart personengewichtete Schwerpunkt ausserhalb der zugehörigen Verkehrszone zu liegen kommt. Dies war bei circa 7'970 Zonen in 54 Zonen der Fall.

In diesen Fällen wurde in einem Nachprozessierungsschritt der berechnete Zonenschwerpunkt manuell in die Verkehrszone verschoben (Abbildung 78). Die Heuristik für diesen Schritt orientiert sich am bezogen auf die Strukturdaten bedeutendsten Zentrum.

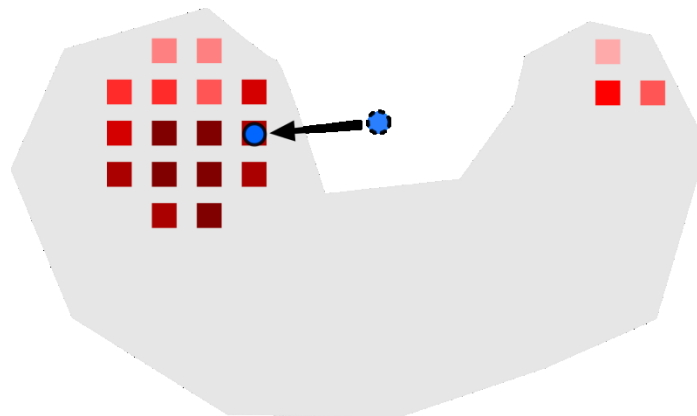


Abbildung 78: Manuelle Korrektur eines zonenexternen, personengewichteten Zonenschwerpunkts (rot: bevölkerte Hektaren, blau: Zonenschwerpunkt vor und nach Korrektur).

Abschliessend wurden die Zonenpolygone als Bezirke in VISUM importiert und die berechneten Schwerpunkte als Koordinaten dieser Bezirke gesetzt.

7.3 Generierung der Anbindungen Strasse und ÖV

Im Rahmen dieses Projektes wurden keine inhaltlichen Anbindungskonzepte entwickelt. Die erzeugten Anbindungen dienen ausschliesslich zur Plausibilisierung der Netze und zur Berechnung von Kenngrössen. Es wurde daher ein automatisches, regelbasiertes Verfahren zur Erzeugung der Anbindungen verwendet, das sicherstellt, dass jede Zone an zumindest einen Knoten der Netze angebunden ist.

Für den **MIV** wurde eine Anbindung je Zone gemäss folgenden, automatisierten Kriterien erzeugt:

- Anbindung vom Zonenschwerpunkt zum nächstgelegenen Knoten (maximaler Abstand 1 km);
- Der nächstgelegene Knoten liegt nicht zwischen Strecken der Obertypen Autobahn, Autostrassen oder Anschluss/Verzweigung;
- Beim nächstgelegenen Knoten ist das Verkehrssystem PW bei den Ausgangsstrecken zulässig (F, V bei allen Strecken der Obertypen HVS und Übrige Strecken offen).

Mit Hilfe der Anbindungsfunktion der Netzprüfung konnte aufgezeigt werden, dass mit diesen Kriterien für 10 Bezirke keine Anbindungen automatisiert erstellt werden können. Dies liegt ausschliesslich am Distanzkriterium (Bergzonen) und an autofreien Tourismusgebieten ohne entsprechendes Strassennetz (Braunwald, Zermatt). Diese Anbindungen wurden manuell ergänzt. Eine Übersicht über diese Anbindungen und die im Rahmen der Netzprüfung manuell korrigierten Anbindungen (vgl. Tabelle 24) findet sich im Anhang.

Im **ÖV** wurden in Abhängigkeit von der Struktur des vorhandenen ÖV-Angebots ein oder zwei Anbindungen je Zone erzeugt. Die Anbindungen wurden schrittweise erzeugt. Dabei wurden den im Rahmen eines Schrittes neu geschaffenen Anbindungen jeweils ein Anbindungstyp zugewiesen. Die folgenden Schritte wurden nacheinander ausgeführt:

- Typ 9: SBB Haltepunkt innerhalb 750m (für alle Zonen);
- Typ 8: HAFAS Haltepunkt mit maximalem Angebot innerhalb der Zone (für alle Zonen);
- Typ 7: HAFAS Haltepunkt innerhalb von 500m (für verbleibende Zonen);
- Typ 6: HAFAS Haltepunkt innerhalb von 1km (für verbleibende Zonen);
- Typ 5: SBB oder HAFAS Haltepunkt innerhalb 1.5km (für verbleibende Zonen);
- Typ 4: Sofern SBB Anbindung bereits vorhanden, zusätzliche Anbindung auf HAFAS Haltepunkt innerhalb von 500m (für verbleibende Zonen).

Durch die schrittweise Erweiterung der Anbindungsoptionen wird gewährleistet, dass effektiv nur Zonen fernab von einem ÖV-Angebot keine Anbindung erhalten. Die Abstufung ist nötig, da durch die Lage des Zonenschwerpunktes die Distanz zum ÖV Haltepunkt nicht immer der effektiven Luftdistanz entspricht (Beispiel Zonenschwerpunkt abseits des Siedlungsgebiets in der Mitte zwischen den beiden Orten Sumvitg und Rabius). Insgesamt verbleiben 49 Zonen ohne ÖV Erschließung. Diese sind in Abbildung 10 dargestellt. Eine Auflistung dieser Bezirke findet sich im Anhang.

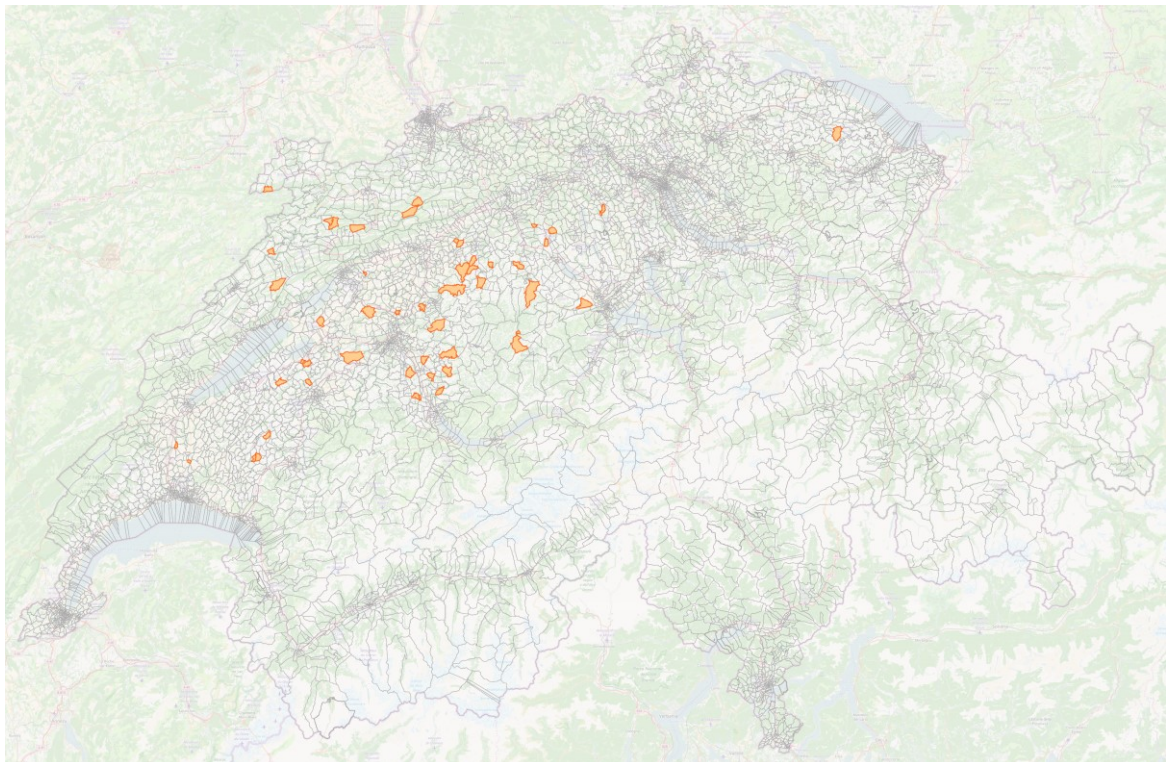


Abbildung 79 Zonen ohne ÖV Anbindungen

7.4 Plausibilisierung von Kenngrössen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden Methoden zum Aufbau der Netze und der Zonenstruktur aufgezeigt. Im vorliegenden Projekt wurden die einzelnen Elemente, die in die Netze und die Zonenstruktur eingehen, plausibilisiert, nicht jedoch das zusammengesetzte Ganze der VISUM-Versionen mit Netzen, Zonen und Anbindungen für MIV und ÖV. Durch das Zusammensetzen der einzelnen Elemente, können neue Wirkungen entstehen (Emergenz). So würde sich eine bestimmte Zonenstruktur erst im Zusammenwirken mit den Netzen als ungünstig gewählt erweisen.

Für MIV und ÖV sind die Kenngrössenmatrizen zu bestimmen und zu plausibilisieren. Dafür wurde eine Einer-Matrix (Matrix mit je einer Fahrt für alle Quell-Ziel-Beziehungen) umgelegt. Dabei wurden die folgenden Kenngrössen – differenziert nach MIV und ÖV generiert und plausibilisiert:

Kenngrössen MIV

- Geschwindigkeit im unbelasteten Netz;
- Reisezeit im unbelasteten Netz;
- Verhältnis Fahrweite/Luftlinienweite.

Kenngrössen ÖV

- Beförderungszeit;
- Anzahl Umsteigevorgänge;
- Umsteigezeiten;
- Bedienungshäufigkeit;
- Fahrtweiten.

Die Kenngrössen im MIV wurden auf dem vollständigen – nicht ausgedünnten – Netz berechnet.

Im ÖV wurden die Kenngrössen für zwei Zeitzustände (Abfahrt morgens in der Hauptverkehrszeit zwischen 7 Uhr und 8 Uhr und morgens in der Nebenverkehrszeit zwischen 10 Uhr und 11) Uhr berechnet und miteinander verglichen.

Die Plausibilisierung erfolgte auf Grundlage von Histogrammen für alle Kenngrössen. Diese werden jeweils im Vergleich mit dem Histogramm für die gleiche Kenngrösse im NPVM 2010 dargestellt. Die Auswertung der Kenngrössen im NPVM 2010 erfolgte nur für Quell-Ziel-Beziehungen innerhalb der Schweiz.

7.4.1 Kenngrößen MIV

Die Histogramme der Geschwindigkeit im unbelasteten Netz sind in Abbildung 80 (neues NPVM) und in Abbildung 81 (NPVM 2010) dargestellt. Die Verteilung der Geschwindigkeiten ist in beiden Modellen sehr ähnlich. Im neuen NPVM ist der Anteil der Quell-Ziel-Beziehungen mit einer Geschwindigkeit > 100 km/h kleiner als im NPVM 2010. Dies war zu erwarten, da im neuen NPVM durch die feinere Zonenstruktur und das detailliertere Netzwerk mehr Quell-Ziel-Beziehungen nur Strecken des untergeordneten Netzes nutzen, welche tiefere Geschwindigkeiten aufweisen.

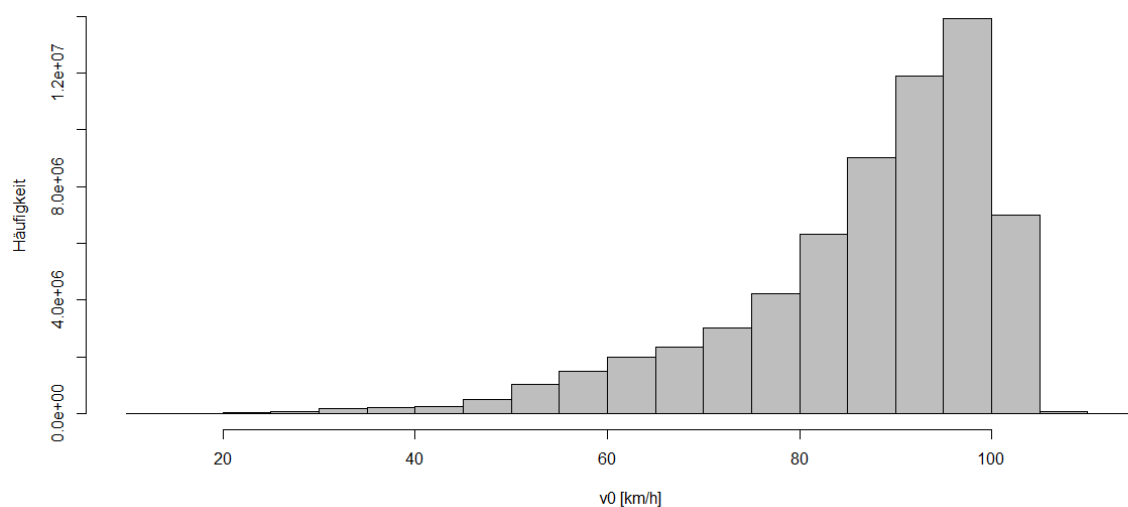


Abbildung 80: Histogramm MIV-Geschwindigkeit neues NPVM

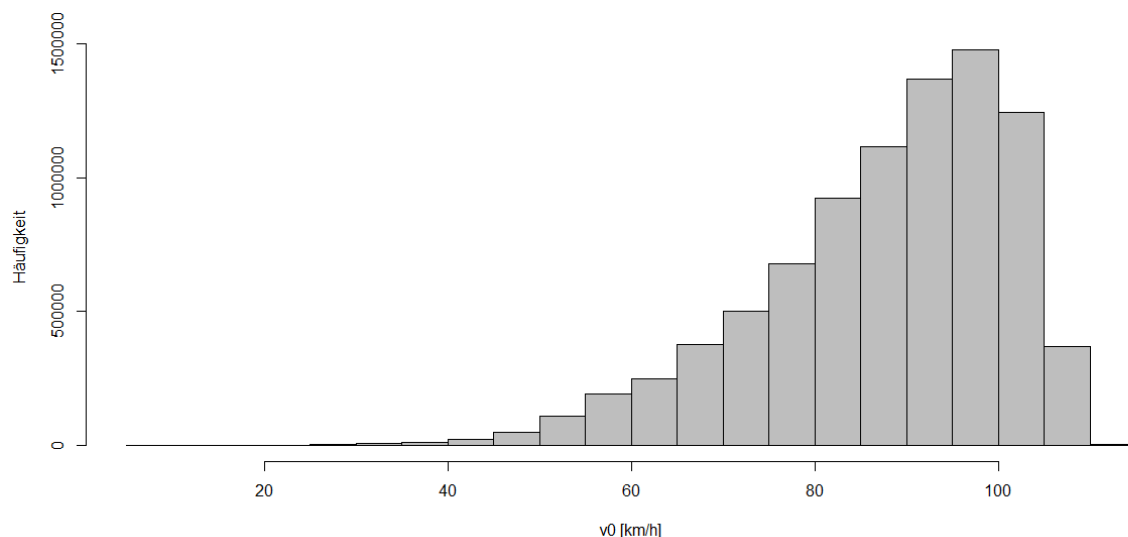


Abbildung 81: Histogramm MIV-Geschwindigkeit NPVM 2010

Die Histogramme der Reisezeit im unbelasteten Netz sind in Abbildung 82 (neues NPVM) und in Abbildung 83 (NPVM 2010) dargestellt. Auch für diese Kenngrösse sind die Verteilungen sehr ähnlich. Im neuen NPVM sind die Anteile der Quell-Ziel-Beziehungen mit Reisezeiten von mehr als 200 Minuten leicht grösser. Dies deckt sich mit der Beobachtung, dass im NPVM 2010 der Anteil Beziehungen mit Geschwindigkeiten > 100 km/h höher ist. Dies steht wieder im Zusammenhang zur Netzdichte: das fehlende untergeordnete Netz im NPVM 2010 führt dazu, dass relativ gesehen, schnellere Beziehungen auf dem übergeordneten Netz eine höhere Bedeutung erlangen.

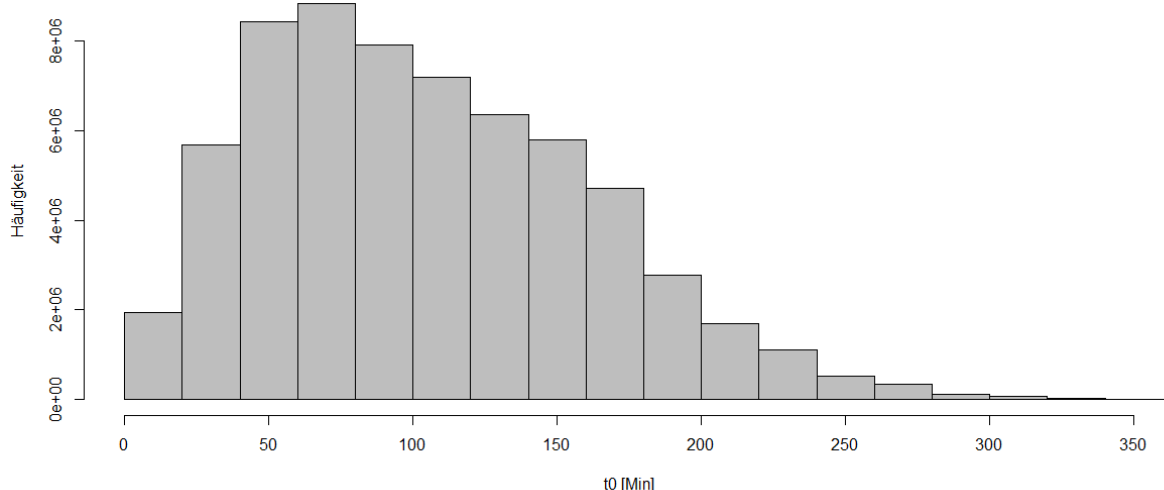


Abbildung 82: Histogramm MIV-Reisezeit neues NPVM

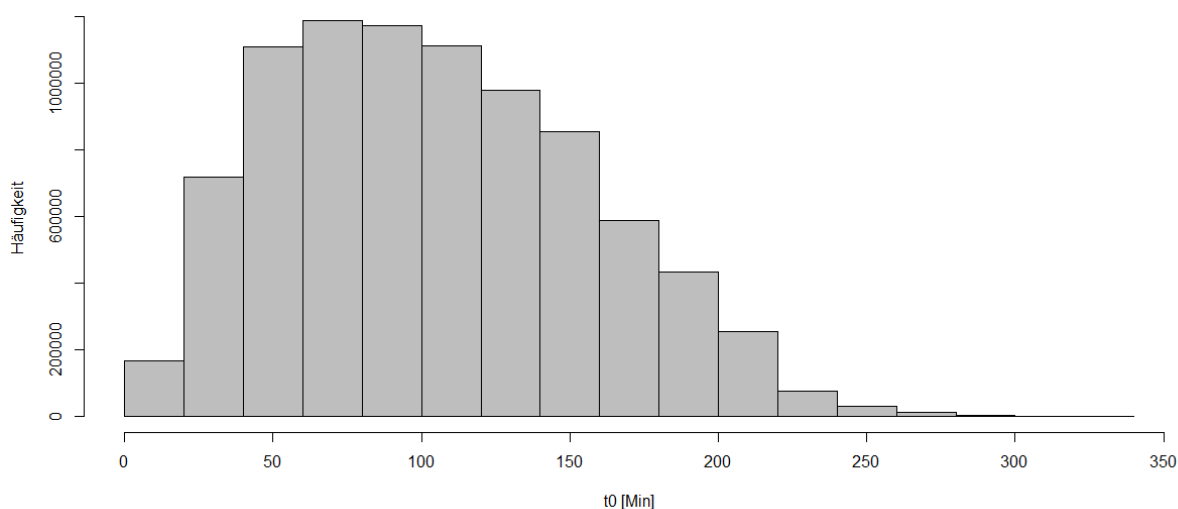


Abbildung 83: Histogramm MIV-Reisezeit NPVM 2010

Die Histogramme des Verhältnisses zwischen Fahrweite und Luftlinienweite sind in Abbildung 84 (neues NPVM) und in Abbildung 85 (NPVM 2010) dargestellt. Auch hier ist die Übereinstimmung der Verteilungen grundsätzlich gegeben.

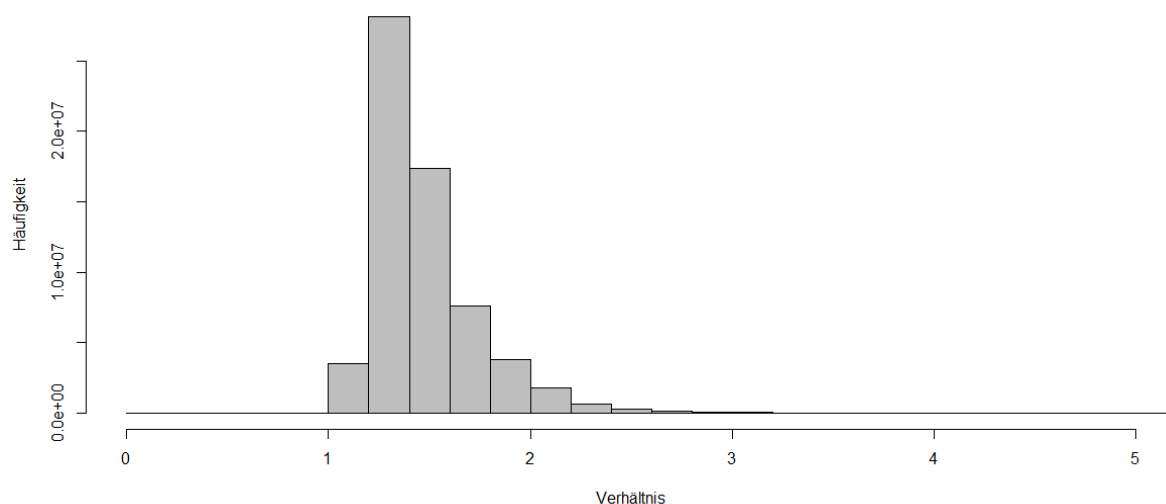


Abbildung 84: Histogramm MIV Verhältnis geroutete zu Luftliniendistanz neues NPVM

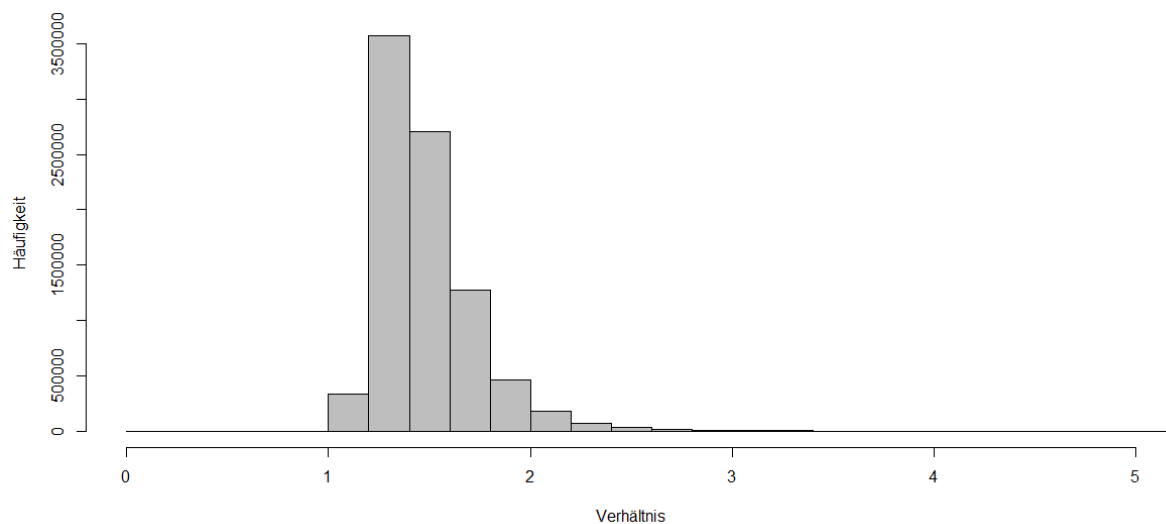


Abbildung 85: Histogramm MIV Verhältnis geroutete zu Luftliniendistanz NPVM 2010

Der Vergleich der Kenngrößen im MIV zeigt, dass die grundsätzlichen Eigenschaften des Straßennetzes des neuen NPVM mit denjenigen des NPVM 2010 vergleichbar sind. Es wurden keine

systematischen Unterschiede oder Unplausibilitäten festgestellt. Das übergebene Strassennetz kann somit für die Modellierung der Verkehrsnachfrage verwendet werden.

7.4.2 Kenngrößen ÖV

Der Vergleich der Beförderungszeiten ist in Abbildung 86 (neues NPVM 7-8 Uhr), Abbildung 87 (neues NPVM 10-11 Uhr) und Abbildung 88 (NPVM 2010) dargestellt. Die Verteilungen weisen grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf auf, insbesondere zwischen den Beförderungszeiten zu den unterschiedlichen Abfahrtszeitpunkten im neuen NPVM ist kein substantieller Unterschied festzustellen.

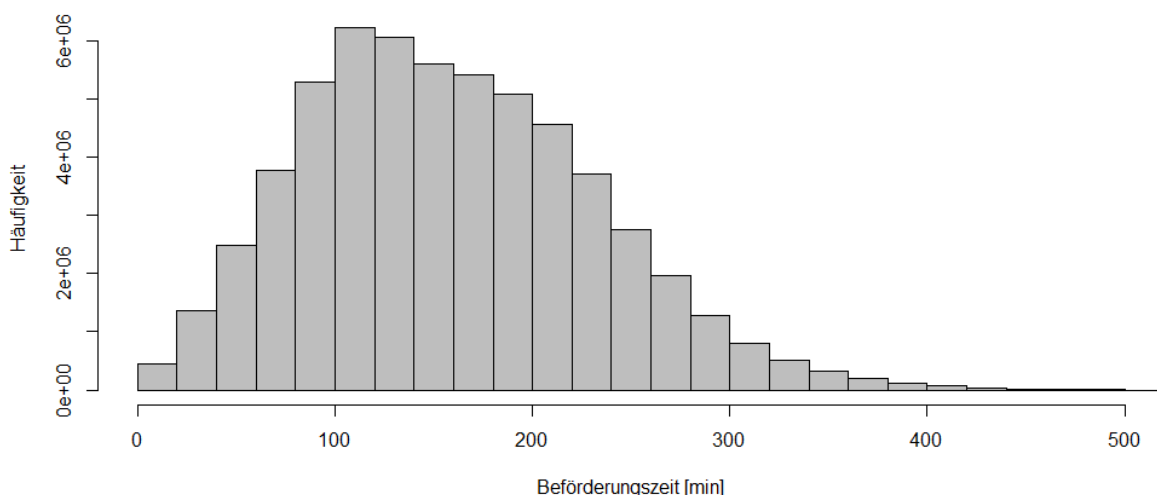


Abbildung 86: Histogramm ÖV-Beförderungszeit neues NPVM, 7 bis 8 Uhr

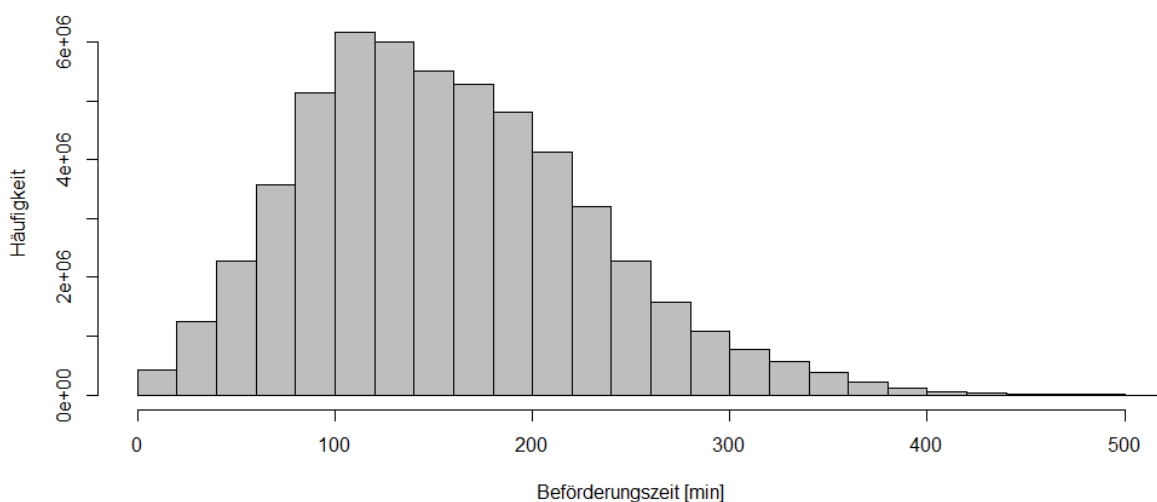


Abbildung 87: Histogramm ÖV-Beförderungszeit neues NPVM, 10 bis 11 Uhr

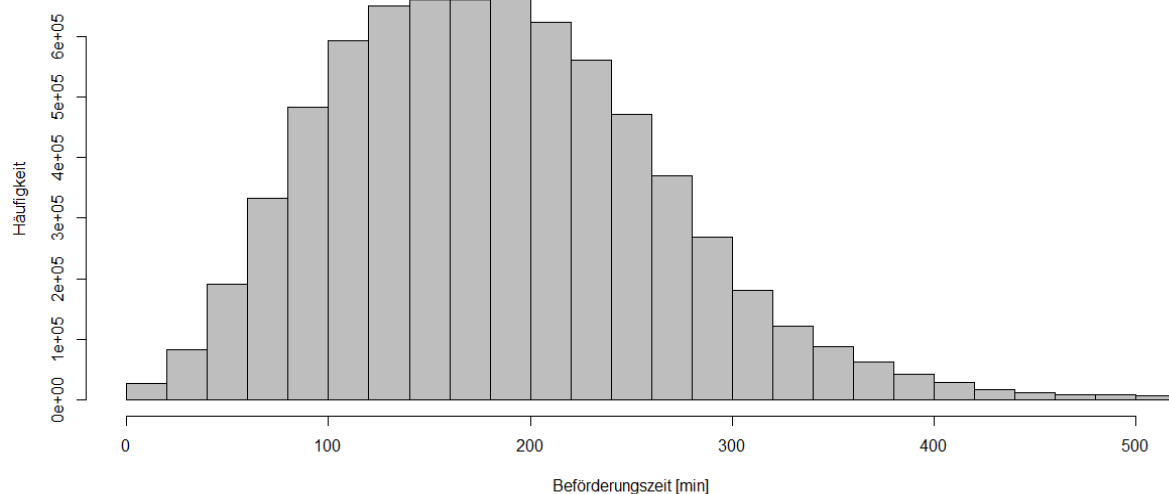


Abbildung 88: Histogramm ÖV-Beförderungszeit NPVM 2010

Der Vergleich der Anzahl Umsteigevorgänge ist in Abbildung 89 (neues NPVM 7-8 Uhr), Abbildung 90 (neues NPVM 10-11 Uhr) und Abbildung 91 (NPVM 2010) dargestellt. Es ist wiederum kein substantieller Unterschied zwischen den Verteilungen der unterschiedlichen Abfahrtszeitpunkte im neuen NPVM festzustellen. Im Vergleich zum NPVM 2010 weist das neue NPVM deutlichere Spitzen bei den geraden Zahlen auf. Dies ist jedoch vor allem der Tatsache zuzuschreiben, dass im neuen NPVM nur eine 1er-Nachfragematrix umgelegt wurde.

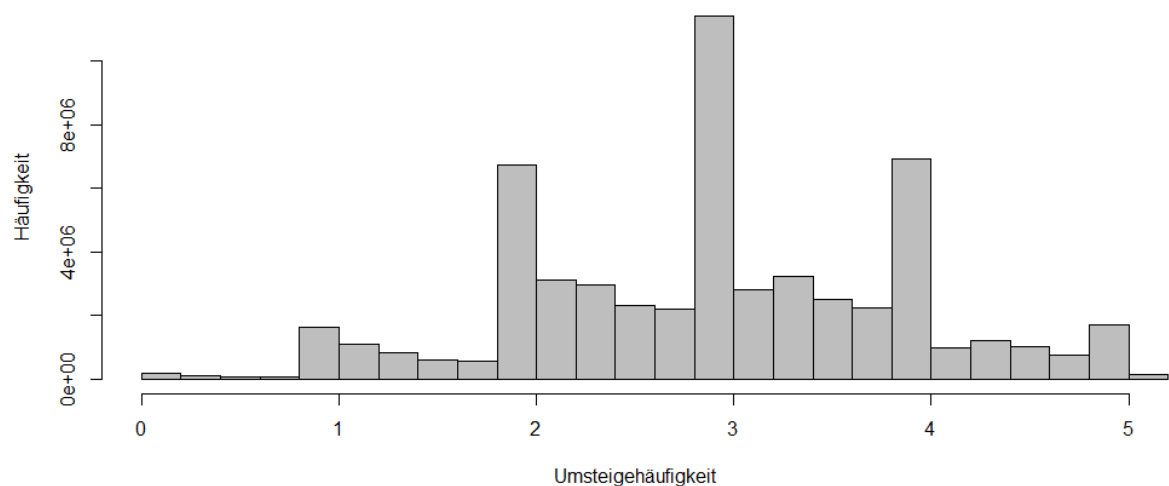


Abbildung 89: Histogramm Anzahl Umsteigevorgänge neues NPVM, 7 bis 8 Uhr

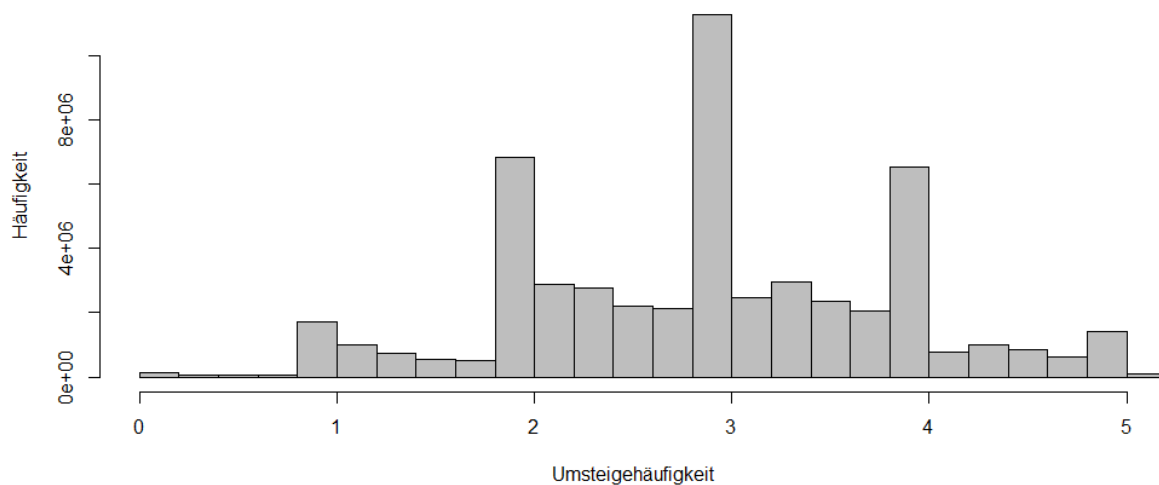


Abbildung 90: Histogramm Anzahl Umsteigevorgänge neues NPVM, 10 bis 11 Uhr

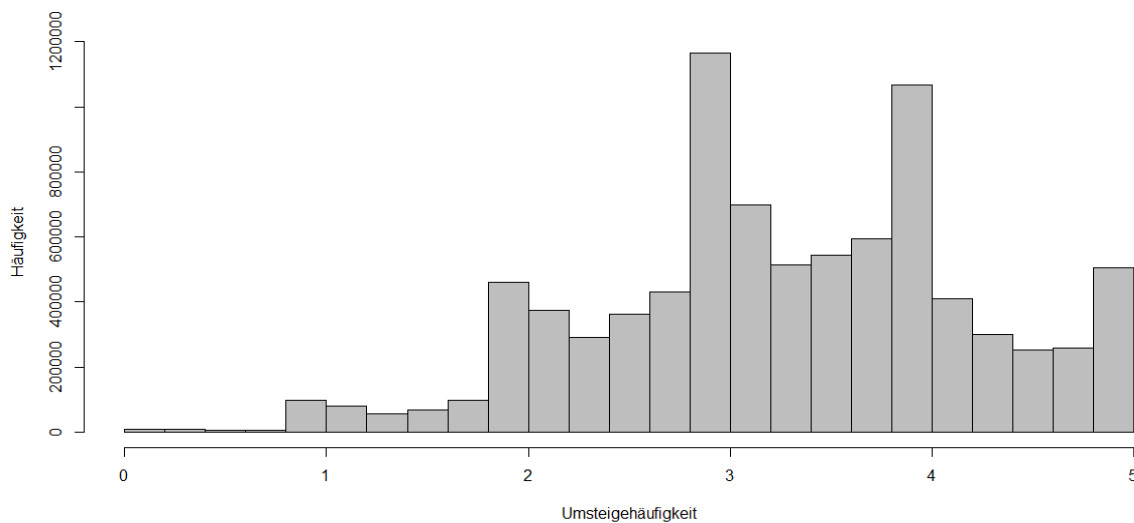


Abbildung 91: Histogramm Anzahl Umsteigevorgänge NPVM 2010

Der Vergleich der Anzahl Umsteigevorgänge ist in Abbildung 92 (neues NPVM 7-8 Uhr), Abbildung 93 (neues NPVM 10-11 Uhr) und Abbildung 94 (NPVM 2010) dargestellt. Zwischen den Verteilungen der unterschiedlichen Abfahrtszeitpunkte im neuen NPVM sind kleine Unterschiede festzustellen. So ist erwartungsgemäss in der Hauptverkehrszeit der Anteil Verbindungen mit sehr kurzen Umsteigewartezeiten kleiner, da die ÖV-Linien in einem dichteren Takt verkehren. Im Vergleich mit dem NPVM 2010 ergibt sich tendenziell eine Verkürzung der Umsteigewartezeiten. Auch dies entspricht den Erwartungen, da das neue Angebot die in der Realität gute Abstimmung der verschiedenen ÖV-Angebote aufeinander besser abbildet als das NPVM 2010.

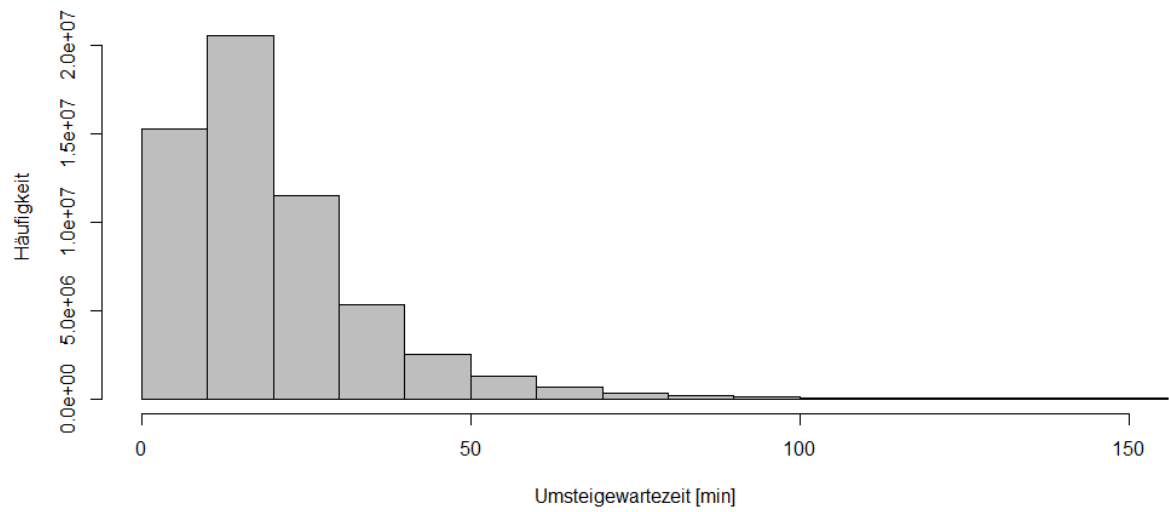


Abbildung 92: Histogramm Umsteigewartezeiten neues NPVM, 7 bis 8 Uhr

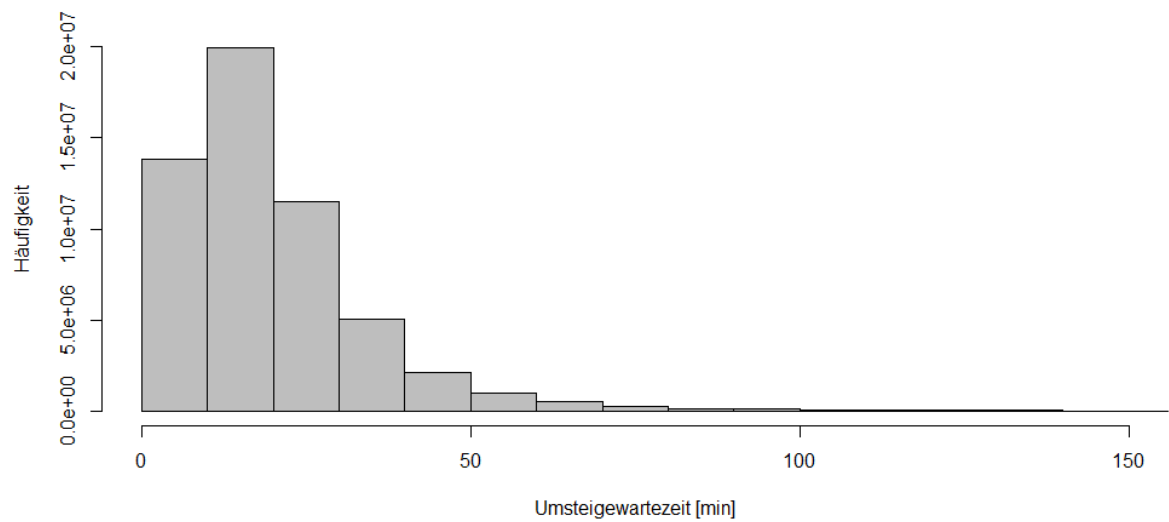


Abbildung 93: Histogramm Umsteigewartezeiten neues NPVM, 10 bis 11 Uhr

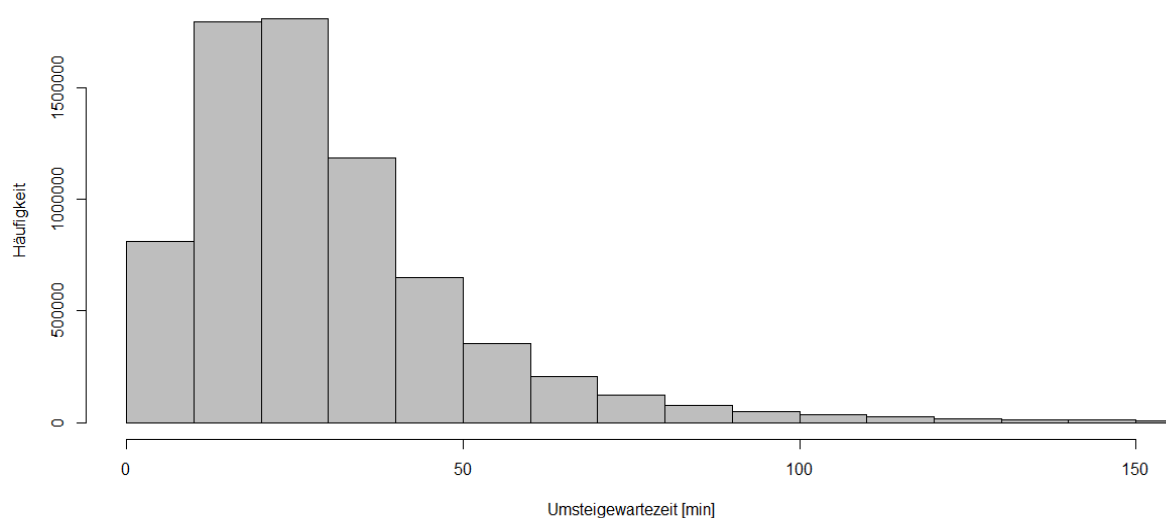


Abbildung 94: Histogramm Umsteigewartezeiten NPVM 2010

Der Vergleich der Bedienungshäufigkeit ist in Abbildung 95 (neues NPVM 7-8 Uhr), Abbildung 96 (neues NPVM 10-11 Uhr) und Abbildung 98 (NPVM 2010) dargestellt. Das neue NPVM weist erwartungsgemäss tendenziell grössere Bedienungshäufigkeiten auf als das NPVM 2010 aufgrund der feineren Abbildung des Nahverkehrs. Zudem ist die Bedienungshäufigkeit in der Hauptverkehrszeit leicht höher als in der Nebenverkehrszeit. Auch dies entspricht den Erwartungen.

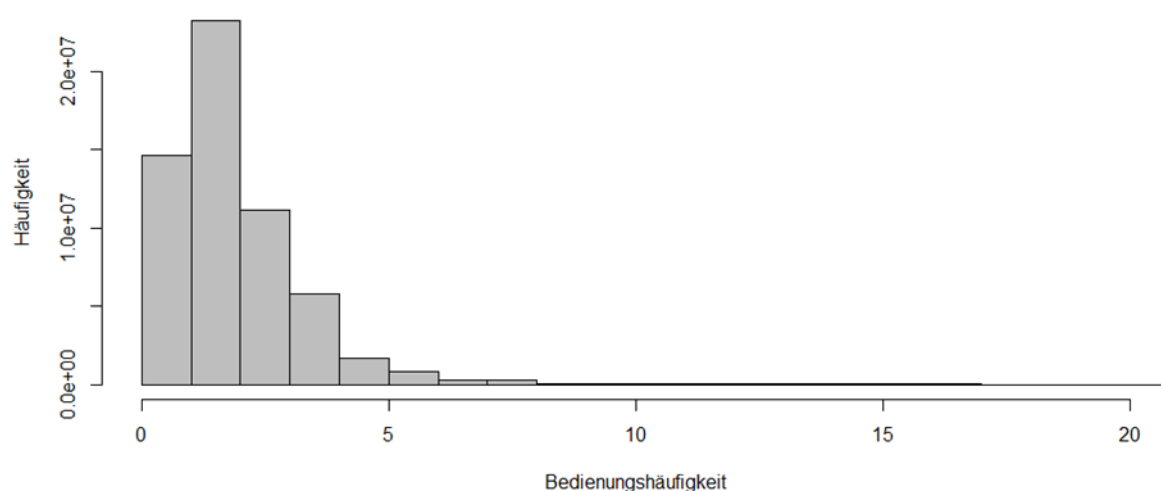


Abbildung 95: Histogramm Bedienungshäufigkeit neues NPVM, 7 bis 8 Uhr

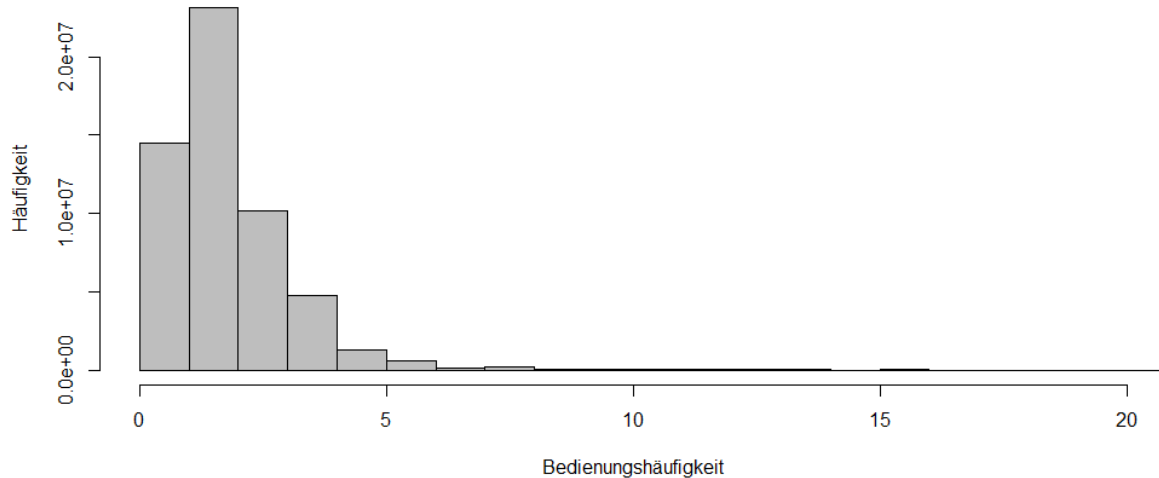


Abbildung 96: Histogramm Bedienungshäufigkeit neues NPVM, 10 bis 11 Uhr

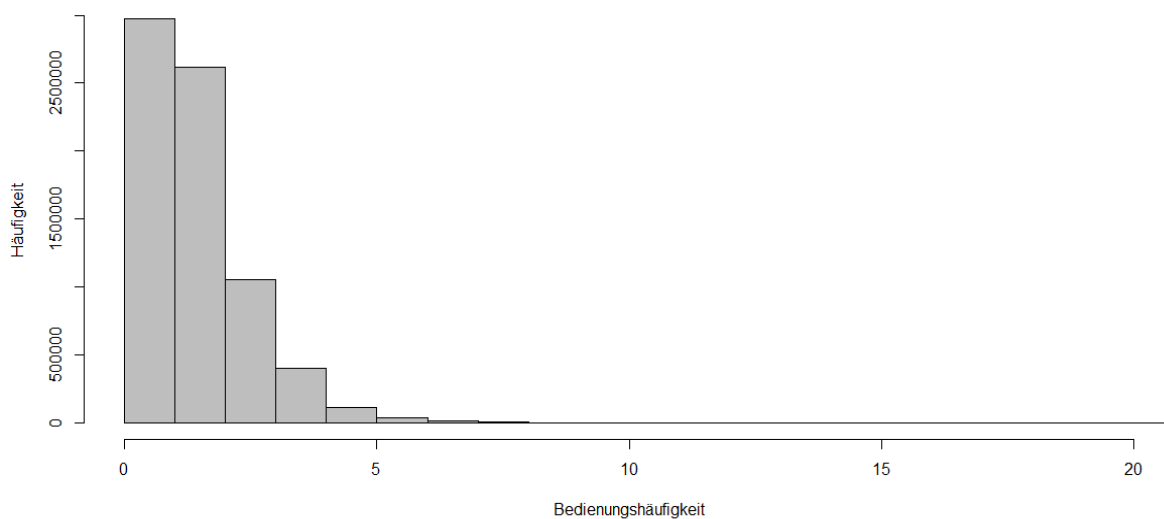


Abbildung 97: Histogramm Bedienungshäufigkeit NPVM 2010

Der Vergleich der Fahrtweiten ist in Abbildung 98 (neues NPVM 7-8 Uhr), Abbildung 99 (neues NPVM 10-11 Uhr) und Abbildung 100 (NPVM 2010) dargestellt. Es ist kein substanzieller Unterschied zwischen den Verteilungen der unterschiedlichen Abfahrtszeitpunkte im neuen NPVM festzustellen. Im Vergleich zum NPVM 2010 sind die Fahrtweiten tendenziell kürzer. Dies entspricht den Erwartungen, da aufgrund der feineren Zonenstruktur vermehrt auch kurze Wege geroutet werden.

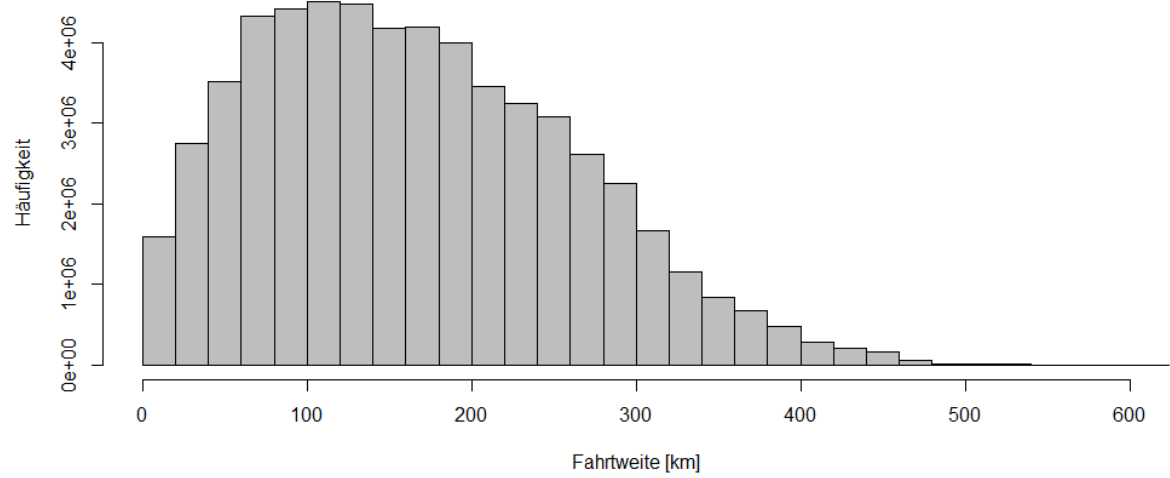


Abbildung 98: Histogramm Fahrtsweiten neues NPVM, 7 bis 8 Uhr

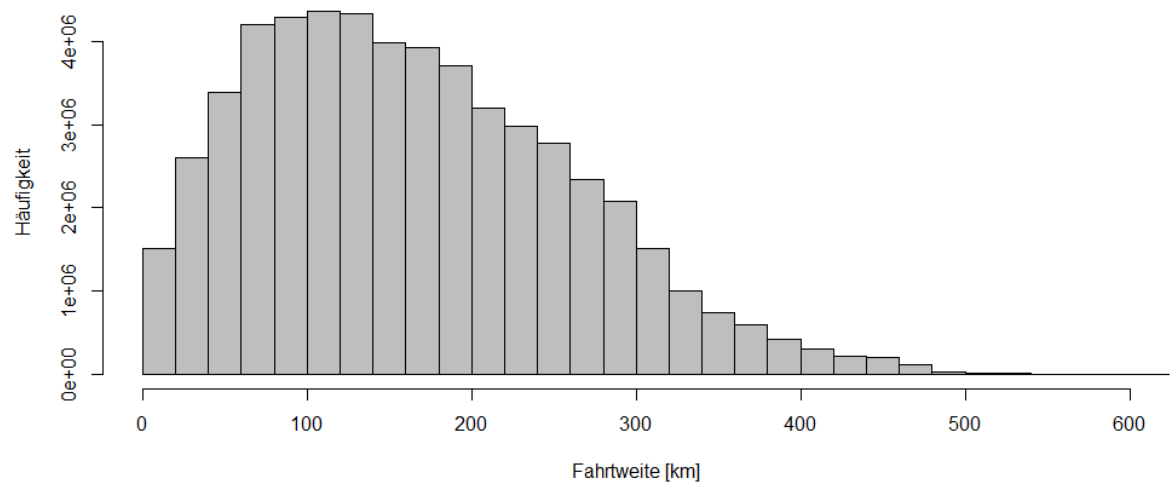


Abbildung 99: Histogramm Fahrtsweiten neues NPVM, 10 bis 11 Uhr

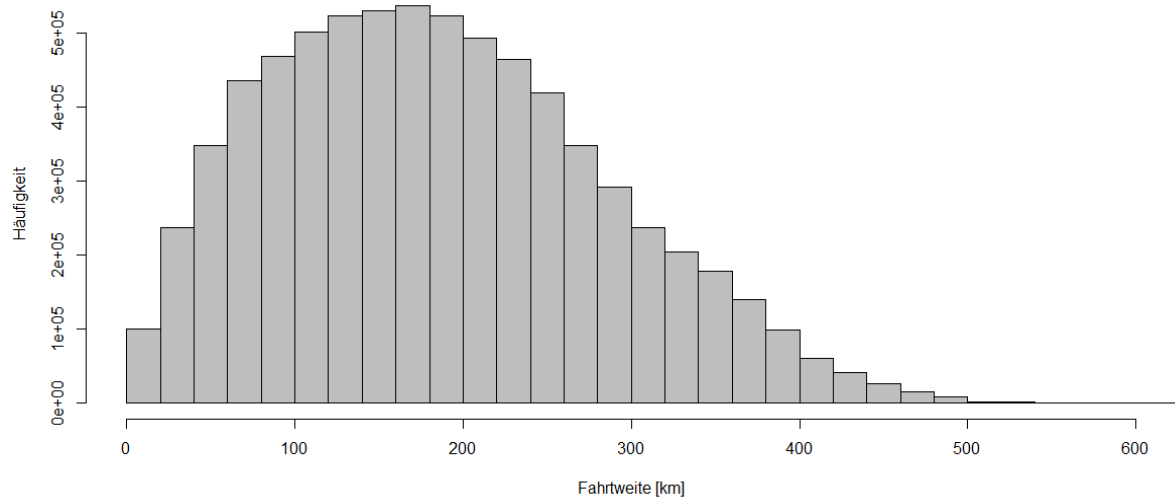


Abbildung 100: Histogramm Fahrtweiten NPVM 2010

Der Vergleich der Kenngrößen im ÖV zeigt, dass die Struktur des ÖV-Angebots des neuen NPVM mit derjenigen des NPVM 2010 vergleichbar ist. Es wurden keine systematischen Unterschiede oder Unplausibilitäten festgestellt. Das übergebene ÖV-Angebot kann somit für die Modellierung der Verkehrsnachfrage verwendet werden.

8 Fazit

Mit den in diesem Bericht beschriebenen Arbeiten wurden die Grundlagen im Bereich Verkehrsnetze und Verkehrszonen zur Modellierung des neuen NPVM gelegt. Die Schweiz ist neu in 7'970 Verkehrszonen unterteilt. Die Zonen decken die Schweiz lückenlos ab und sind kompatibel mit den Zonen des bestehenden NPVM 2010. Die neuen Zonen weisen nicht nur einen höheren Detaillierungsgrad auf, sondern sind auch homogener hinsichtlich der Anzahl der Einwohner und Arbeitsplätze je Zone. Bei der Ziehung der neuen Grenzen wurde Wert gelegt auf die allgemeingültigen Grundsätze zur Erstellung von Zonenstrukturen für Verkehrsmodelle, insbesondere auf die Berücksichtigung von Trennwirkungen grosser Infrastrukturen oder natürlicher Grenzen. Für verkehrsintensive Einrichtungen wurden insgesamt 58 Zonen in die Zonenstruktur integriert. Sie ermöglichen den Verkehr grosser Verkehrserzeuger wie Einkaufszentren, grosser Freizeiteinrichtungen und Flughäfen getrennt zu modellieren.

Die Segmentierung des Verkehrsangebots reflektiert die Erhöhung des Detaillierungsgrades der Zonenstruktur. Das Strassennetz wurde auf der Grundlage des TomTom Navigationsnetzes 2016 erstellt und nur gezielt ausgedünnt. Die für die Verkehrsmodellierung relevanten Attribute wurden zugespielt und plausibilisiert. Das Ergebnis ist ein qualitätsgeprüftes, attribuiertes und (weitgehend) vollständiges Strassennetz mit hohem Detaillierungsgrad für die Modellierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) im neuen NPVM.

Das Angebot des öffentlichen Verkehrs basiert auf dem Schienennetz des Bundesamtes für Verkehr (BAV), dem Systemfahrplan der SBB für 2015 und dem HAFAS-Fahrplan 2015 für den weiteren öffentlichen Verkehr und umfasst damit neben der Schiene das gesamte Tram und Bus-Angebot in der Schweiz. Der Schienenverkehr wurde auf dem Schienennetz des BAV geroutet, der strassenseitige Teil des ÖV-Angebotes auf dem Netz des MIV. Das Ergebnis ist eine vollständig geroutete, fahrplanfeine Abbildung des gesamten ÖV-Angebotes der Schweiz für das Jahr 2015. Das Bahnangebot ist über die Schweizer Landesgrenzen hinaus routingfähig und beinhaltet als Prognosezustand den aktuellen Planungsstand der SBB für das Jahr 2030.

Abschliessend wurden die neuen Verkehrsnetze mit den neuen Zonen zusammengeführt und auf der Grundlage von Kenngrössen plausibilisiert. Die Anbindungen wurden mittels eines vereinfachten Vorgehens und zur Plausibilisierung der Netze erzeugt. Der Vergleich der berechneten Kenngrössen mit denjenigen des bestehenden NPVM 2010 zeigt, dass die Struktur der neuen Angebote mit derjenigen des bestehenden NPVM vergleichbar ist. Die übergebenen Verkehrsnetze in Kombination mit der neuen Zonenstruktur können folglich für die Modellierung des NPVM 2016 verwendet werden.

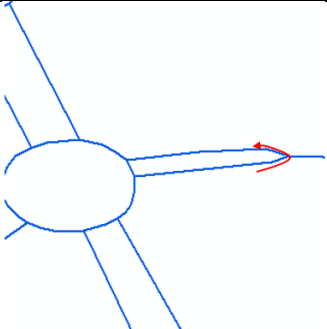
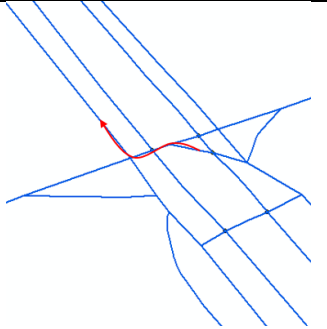
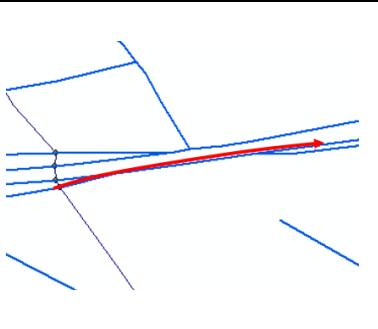
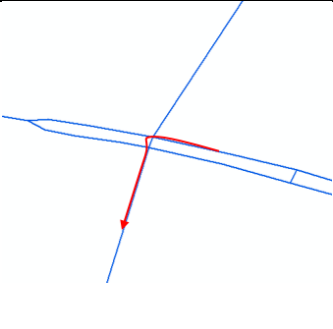
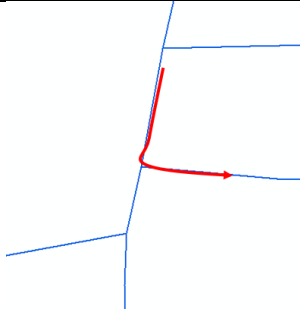
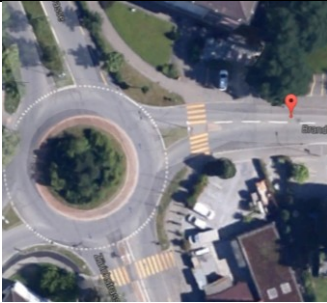
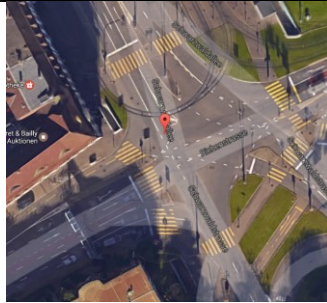
Anhang

Benutzerdefinierte Attribute MIV

Bezeichnung	Inhalt	Grundlage	Werte
AUSDUENNUNG	Markierung der ausgedünnten Strecken im vollständigen Netz	Analyse EBP	0 / 1 (nein / ja)
EIGENTUM	Eigentum von Hochleistungsstrassen (Autobahnen, Autostrassen)	https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Autobahnen_in_der_Schweiz https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Autostrassen_in_der_Schweiz	Kantonal, national, NA
FRC	Functional Road Class	TomTom	0-7
FROM_NODE	Von-Knoten-Nr. Basisdatensatz	TomTom bzw. GIS (Mischung aufgrund Manipulation)	
ID	Nr. gemäss GIS-Datensatz	GIS	
LANES	Fahrspuren	TomTom	1 - 5
ORTSLAGE	Unterscheidung inner-/ausserorts	GIS	Innerorts / ausserorts
SIGN_GESCH	Signalisierte Geschwindigkeit	TomTom	20 – 120 km/h, wenige NA
STRECKENTYP_ERW	Streckentyp gem. erweiterten Liste	Analyse EBP	0 – 152
TO_NODE	Nach-Knoten-Nr. Basisdatensatz	TomTom bzw. GIS (Mischung aufgrund Manipulation)	
TUNNEL	Tunnelstrecke	GIS	ja / nein
TYP	Strassenhierarchie	Analyse EBP	Anschluss/Verzweigung Autobahn Autostrasse Hauptverkehrsstrasse Übrige Strassen

V0_CUT	Modellgeschwindigkeit gemäss Schätzmodell mit abgeschnittenen Werte (Gesamtwerte), basierend auf der Nebenverkehrszeit 19h-20h	Analyse EBP	
V0_NOCUT	Modellgeschwindigkeit gemäss Schätzmodell, unverändert (Gesamtwerte), basierend auf der Nebenverkehrszeit 19h-20h	Analyse EBP	
VSysSet_Bus	Zulassung Bus		0 / 1 (nein / ja)
VSysSet_PW	Zulassung PW		0 / 1 (nein / ja)

Prüfung Abbiegeinformationen TomTom (Beispiele)

FEATTYP=2101 Calculated/Derived Prohibited Maneuver (Definitionsrichtung rot) Bsp. Brandstrasse, Uster	FEATTYP=2101 Calculated/Derived Prohibited Maneuver (Definitionsrichtung rot) Bsp. Schwarzwaldstrasse, Basel	FEATTYP=2103 Prohibited Maneuver (Definitionsrichtung rot) Bsp. 4 Segmente – Zürich Bucheggstrasse	FEATTYP=2103 Prohibited Maneuver (Definitionsrichtung rot) Bsp. 3 Segmente – Altendorf Schwyz	FEATTYP=2103 Prohibited Maneuver (Definitionsrichtung rot) Bsp. 2 Segmente – Langendorf Solothurn
				
				
Knotenbeziehung nicht erlaubt/sinnvoll -> für gesperrte Abbiegebeziehungen zu beachten	Knotenbeziehung nicht erlaubt -> für gesperrte Abbiegebeziehungen zu beachten	Theoretisch möglich, aber (zu) kurze Verflechtungszone -> für gesperrte Abbiegebeziehungen zu beachten	Verbotene Knotenbeziehung -> für gesperrte Abbiegebeziehungen zu beachten	Knotenbeziehung baulich unterbunden -> für gesperrte Abbiegebeziehungen zu beachten

Bilderquelle: GoogleMaps, 2017

Benutzerdefinierte Attribute ÖV Strecken

Bezeichnung	Inhalt	Grundlage	Werte
Anz_Servicefahrten_Hafas	Anzahl Servicefahrten aus dem Hafas Angebot	Hafas Angebot	
Anz_Servicefahrten_Simba	Anzahl Servicefahrten aus dem SBB Angebot	SBB Angebot	
Busrouting	Strecken auf denen Buslinien trassiert sind	Analyse EBP	0 / 1 (nein / ja)
Datenherkunft	Herkunftsangabe der Inputdaten	Diverse	SBB / SBB_Prognose / Netz_BAV / Netz_BAV_BP / Hafas_2015 / Hafas_2015 EBP_Gegenrichtung_geöffnet / Netz_TomTom / EBP_gesplittet_BAV_Netz / EBP_gesplittet_BAV_Netz_Prog / EBP_hinzugefügt_Bahn / EBP_hinzugefügt_Bus / EBP_gesplittet_Bus / EBP_Grenzstrecken / EBP_Fussweg_ergänzt
FUSSWEG_UNKLAR	Fusswege mit Gesamtlänge > 300m und Gehgeschwindigkeit > 5 km/h oder Fusswege, welche nur in eine Richtung freigeschaltet sind	Analyse EBP	Bool'sches Attribut

Benutzerdefinierte Attribute ÖV Knoten

Bezeichnung	Inhalt	Grundlage	Werte
Didokabk_Hafas	Kürzel der Didoknamen aus dem Hafas Angebot	Haltestellenverzeichnis, für Verkehr	Bundesamt Text
Didoknr_Hafas	Didoknummer aus dem Hafas Angebot	Haltestellenverzeichnis, für Verkehr	Bundesamt

IST_Zugangsknoten_Hafas_Angebot	Kennzeichnung des Zugangsknotens aus dem Hafas Angebot	Hafas Angebot	Bool'sches Attribut
IST_Zugangsknoten_SBB_Angebot	Kennzeichnung des Zugangsknotens aus dem SBB Angebot	SBB Angebot	Bool'sches Attribut
Zugang_Öv	Kennzeichnung ob Knoten ein Zugangs-knoten aus Hafas oder SBB ist	Hafas- und SBB Angebot	0 / 1 (nein / ja)
Datenherkunft	Herkunftsangabe der Inputdaten	Diverse	SBB / Hafas_2015 / Netz_BAV / Netz_BAV_BP / / Netz_TomTom / EBP_hinzugefügt

Einstellungen „ÖV-Angebot aus VISUM importieren“

Import von ÖV-Angebot

Grundeinstellungen | Haltepunkte | Routing | Verkehrssysteme | Netzobjekte

Es werden die Daten des ÖV-Angebotes aus einer Visum-Versionsdatei (Quellnetz) additiv in das bestehende Netz (Zielnetz) importiert. Optional wird dazu auch die Infrastruktur ergänzt.

Import aus Datei

☒ Nur aktive Fahrtabschnitte (und zugehörige Grunddaten) aus dem Quellnetz übernehmen
☐ Im Zielnetz aktive Linien ersetzen oder löschen

Parameter speichern Parameter öffnen Zurücksetzen OK Abbrechen

Import von ÖV-Angebot

Grundeinstellungen | Haltepunkte | Routing | Verkehrssysteme | Netzobjekte

Haltepunkte werden zunächst per Vergleich der gewählten Attribute zugeordnet, wobei es mehrere passende Haltepunkte im Zielnetz geben darf. Geographisch passende Haltepunkte im Zielnetz können optional als zusätzliche mögliche Ziele gesucht werden.

☒ Haltepunkte über Attributvergleich zuordnen

Vergleichsattribut im Quellnetz

Vergleichsattribut im Zielnetz

☐ Nur aktive Knoten, Strecken und Haltepunkte im Zielnetz berücksichtigen

☒ Nur Haltepunkte im Zielnetz unverändert verwenden

☐ Nur Haltepunkte im Zielnetz verwenden, ggf. für das Verkehrssystem öffnen

☐ Auch Haltepunkte in Zielnetz auf bestehenden Knoten einfügen

☐ Auch Haltepunkte in Zielnetz auf bestehenden Knoten oder Strecken einfügen

☐ Auch Knoten und Strecken in Zielnetz einfügen

☒ Bei bestehenden Haltepunkten nur ID-Bezüge verwenden, keine geographische Suche durchführen

Mindestabstand zwischen neuen und bestehenden Streckenhaltepunkten auf der gleichen Strecke

Attribut für Nummer des Quell-Haltepunktes, aus dem ein neuer Haltepunkt entstanden ist

Parameter speichern Parameter öffnen Zurücksetzen OK Abbrechen

Import von ÖV-Angebot

Grundeinstellungen | Haltepunkte | Routing | Verkehrssysteme | Netzobjekte

Zwischenpunkte

☒ Nur Lage der Haltepunkte berücksichtigen

☐ Auch Zwischenpunkte berücksichtigen

Kurzwegsuche

☐ Nur über geöffnete Strecken routen

☐ Nur über geöffnete Abbieger routen

Kostenattribut Strecken

Kostenattribut Abbieger

Kurzwegsuche wird abgebrochen, wenn Kosten im Zielnetz > * Kosten im Quellnetz +

Map Matching

Fangradius für geographische Kandidatensuche (Haltepunkte und Zwischenpunkte)

Maximale Anzahl Kandidaten je Halt oder Zwischenpunkt

Standardabweichung (Je größer der Wert, desto weniger genau werden Halte- und Zwischenpunkte platziert, wenn dadurch die Linienroute kürzer wird.)

☐ Linienwege im Zielnetz bündeln

☐ Linienwege auch mit Systemrouten im Zielnetz bündeln

Parameter speichern Parameter öffnen Zurücksetzen OK Abbrechen

Import von ÖV-Angebot

Grundeinstellungen | Haltepunkte | Routing | Verkehrssysteme | Netzobjekte

Anzahl:	VSysCodeQuelle	VSysNameQuelle	VSysCodeZiel	VSysNameZiel
1	A	FV - ProduktA	A	FV - ProduktA
2	B	FV - ProduktB	B	FV - ProduktB
3	C	FV-RV - ProduktC	C	FV-RV - ProduktC
4	D	RV - ProduktD	D	RV - ProduktD
5	E	Extrazüge	E	Extrazüge
6	F	FUSS	F	FUSS
7	H	IPV - HGV	H	IPV - HGV
8	I	IPV - Konvention	I	IPV - Konvention
9	L	Leerzug	L	Leerzug
10	N	IPV - Nachtzug	N	IPV - Nachtzug
11	O	OEV-ZUSATZ		
12	R	IPV - Regionalver	R	IPV - Regionalver
13	S	BUS	S	BUS
14	W	Schiff	W	Schiff

Parameter speichern Parameter öffnen Zurücksetzen OK Abbrechen

Import von ÖV-Angebot

Grundeinstellungen | Haltepunkte | Routing | Verkehrssysteme | Netzobjekte

☐ Verkehrstage nach dem Import zusammenfassen

Streckentyp neu angelegter Strecken: 99

Konfliktvermeidung

Anzahl: 11	NetzobjektTyp	Konfliktvermeidung	Versatz	Präfix
1	Verkehrstag	Versatz	1	
2	FzgEinheit	Versatz	30000000	
3	FzgKomb	Komprimieren mit Versatz		
4	Betreiber	Versatz	40000	
5	Haltestelle	Versatz	38799802	
6	Haltestellenbereich	Versatz	38799802	
7	Haltepunkt	Versatz	38799802	
8	Oberlinie	Präfix		
9	Linie	Präfix		
10	Fahrplanfahrt	Komprimieren mit Versatz		
11	Koordinierungsgruppe	Komprimieren mit Versatz		

Parameter speichern Parameter öffnen Zurücksetzen OK Abbrechen

Übersicht der singulären Verkehrserzeuger

Name	Typ	Gemeinde	Nr. NEU	Nr. ALT
Airport & Airside Center, Flughafen Zürich	Einkauf	Kloten	20062002	62
Einkaufszentrum Glatt, Glattzentrum	Einkauf	Wallisellen	20069012	69
Einkaufszentrum Volki-Land, Volketswil	Einkauf	Volketswil	20199006	199
Shoppyländ, Schönbühl	Einkauf	Moosseedorf	20544005	544
Emmen Center, Emmenbrücke	Einkauf	Emmen	21024015	1024
Pilatusmarkt, Kriens	Einkauf	Kriens	21059022	1059
Mythen Center, Schwyz	Einkauf	Schwyz	21372007	1372
Zugerland, Steinhausen	Einkauf	Steinhausen	21708001	1708
Avry Centre, Avry-sur-Matran	Einkauf	Avry	22174004	2174
Gäupark, Egerkingen	Einkauf	Egerkingen	22401004	2401
Shopping Arena, St. Gallen	Einkauf	St. Gallen	23203003	320301
Rheinpark, St. Margrethen	Einkauf	St. Margrethen	23236006	3236
Shoppi Tivoli, Spreitenbach	Einkauf	Spreitenbach	24040007	4040
Centre Manor, Chavannes	Einkauf	Chavannes-de-Bogis	24100003	4100
Centro San Antonino, San Antonino	Einkauf	Sant'Antonino	25017001	5017
Centro Lugano Sud, Grancia	Einkauf	Grancia	25186001	5186
Serfontana, Morbio Inferiore	Einkauf	Morbio Inferiore	25257001	5257
Centre commercial de Crissier, Crissier	Einkauf	Crissier	25583002	5583
Marin Centre, Marin-Epagnier	Einkauf	La Tène	26461004	6457
Technorama	Freizeit	Winterthur	30230070	23002
Letzigrund	Freizeit	Zürich	30261049	26109
Hallenstadion Zürich	Freizeit	Zürich	30261249	26111
Zoo Zürich	Freizeit	Zürich	30261293	26107
Westside (Bernaqua, Pathé)	Freizeit	Bern	30351003	35106
Stade de Suisse	Freizeit	Bern	30351091	35105
Bernexpo Groupe (inkl. Festhalle)	Freizeit	Bern	30351095	35104
KKL	Freizeit	Luzern	31061041	106103
Verkehrshaus	Freizeit	Luzern	31061059	106101
Alpamare	Freizeit	Freienbach	31322015	1322
Natur- und Tierpark Goldau	Freizeit	Arth	31362011	1362
Maison Cailler	Freizeit	Broc	32124003	2124
La Maison du Gruyère	Freizeit	Gruyères	32135002	2135
Papiliorama - Nocturama	Freizeit	Kerzers	32265003	2265
Zoo Basel	Freizeit	Basel	32701035	270104
Messe Basel	Freizeit	Basel	32701112	270106
St. Jakob-Park	Freizeit	Basel	32701138	270102
Fondation Beyeler	Freizeit	Riehen	32703008	2703
Aquabasilea	Freizeit	Pratteln	32831004	2831
Säntispark	Freizeit	Gaiserwald	33442002	3442

Name	Typ	Gemeinde	Nr. NEU	Nr. ALT
Aquarena	Freizeit	Schinznach-Bad	34114001	4114
Wellness-Welt Sole Uno	Freizeit	Rheinfelden	34258006	4258
Thermalbad Zurzach	Freizeit	Bad Zurzach	34323002	4323
Conny Land	Freizeit	Wäldi	34701001	4701
Château de Chillon	Freizeit	Veytaux	35891001	5891
Fondation Pierre Gianadda	Freizeit	Martigny	36136005	6136
Aquaparc	Freizeit	Port-Valais	36154002	6154
Conservatoire et jardin botaniques	Freizeit	Genève	36621080	662106
Palexpo Genf	Freizeit	Le Grand-Saconnex	36623004	6623
Stade de Genève	Freizeit	Lancy	36628021	6628
Zürich	Flughafen	Kloten	40062001	62
Zürich	Flughafen	Kloten	40062003	62
Zürich	Flughafen	Kloten	40062004	62
Bern	Flughafen	Belp	40861007	861
Basel-Mulhouse	Flughafen	Basel	42701001	270105
Lugano	Flughafen	Agno	45141005	5141
Genf	Flughafen	Le Grand-Saconnex	46623001	6623
Genf	Flughafen	Meyrin	46630018	6630
Genf	Flughafen	Meyrin	46630020	6623

Zonen mit manueller Erstellung oder Korrektur der MIV Anbindung

Bezirk Nr.	Problem	Umgang
16058001	Distanz	manuell ergänzt
11631001	autofrei (Braunwald)	Anbindung in andere Zone manuell ergänzt
16300006	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
16300003	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
16300007	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
16300001	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
16300005	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
16300004	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
16300002	autofrei (Zermatt)	Anbindung in andere Zone (Parkhaus) manuell ergänzt
46623001	kein Weg (P), Flughafen Genf	manuell angepasst
42701001	kein Weg (P), Flughafen Basel	manuell angepasst
12701100	kein Weg (P)	manuell angepasst
12931001	kein Weg (P,V)	manuell angepasst
13392005	kein Weg (V)	manuell angepasst

Zonen ohne ÖV Anbindung

Bezirk Nr.	Name	Gemeinde
10311001	BE-311-01	Schüpfen
10332001	BE-330-01	Madiswil
10336001	BE-336-01	Reisiswil
10339001	BE-339-01	Rohrbachgraben
10340001	BE-340-01	Rütschelen
10389001	BE-389-01	Meienried
10406001	BE-406-01	Hasle bei Burgdorf
10416001	BE-416-01	Mötschwil
10424002	BE-424-02	Wynigen
10500001	BE-500-01	Treiten
10553001	BE-553-01	Wiggiswil
10609001	BE-609-01	Häutligen
10616010	BE-631-01	Münsingen
10619003	BE-604-01	Oberdiessbach
10620001	BE-620-01	Oberthal
10629001	BE-629-01	Oberhünigen
10661001	BE-661-01	Clavaleyres
10670001	BE-670-01	Neuenegg
10683001	BE-683-01	Champoz
10708001	BE-708-01	Schelten
10709001	BE-709-01	Seehof
10716002	BE-699-01	Petit-Val
10716003	BE-710-01	Petit-Val
10861011	BE-862-01	Belp
10878001	BE-878-01	Noflen
10885001	BE-871-01	Uttigen
10972001	BE-972-01	Berken
10976001	BE-976-01	Graben
10985001	BE-985-01	Ochlenberg
11010004	LU-1003-02	Escholzmatt-Marbach
11062007	LU-1062-07	Malters
11104002	LU-1105-01	Triengen
11104006	LU-1090-01	Triengen
11143001	LU-1138-01	Schötz
11151006	LU-1148-02	Willisau

Bezirk Nr.	Name	Gemeinde
12040001	FR-2040-01	Russy
12087002	FR-2062-01	Mézières (FR)
12113001	FR-2082-01	Vuisternens-devant-Romont
12113003	FR-2100-01	Vuisternens-devant-Romont
12235002	FR-2180-01	La Sonnaz
12251001	FR-2251-01	Courlevon
14233001	AG-4233-01	Kallern
14288001	AG-4288-01	Wiliberg
14495001	TG-4495-01	Hohentannen
15511002	VD-5526-01	Assens
15541001	VD-5525-01	Goumoëns
16487018	NE-6483-01	Val-de-Ruz
16753001	JU-6755-01	Muriaux
16809003	JU-6802-01	Haute-Ajoie

Liste der übergebenen Skripte und Dokumentationen

Dateiname	Kurzbeschreibung	Input	Output
2 Strasse: Netz Schweiz			
2.2 Eingangsprüfung TomTom-Netz			
Multinet_RS_to_FGDB.fmw	Aufbereitung von TomTom-Daten für GIS und Datenanalyse	TomTom-Daten zu Restrictions	Zusammengeführte Daten in CSV- und FGDB-Format
Multinet_Shapefiles_to_FGDB.fmw	Aufbereitung von TomTom-Daten für GIS und Datenanalyse	TomTom-Daten zu Netzwerk (Links und Junctions)	Zusammengeführte Daten in FGDB-Format
Multinet_SR_to_FGDB.fmw	Aufbereitung von TomTom-Daten für GIS und Datenanalyse	TomTom-Daten zu Speed Restrictions	Zusammengeführte Daten in CSV- und FGDB-Format
Merge_ADA_and_SP_Data.fmw	Aufbereitung von TomTom-Daten für GIS und Datenanalyse	TomTom-Daten zu Adv. Data Attributes und Speed Profiles	Zusammengeführte Daten in CSV- und DBF-Format
Filter_Multinet_Junctions.fmw	Aufbereitung von TomTom-Daten für GIS und Datenanalyse	TomTom-Daten zu Junctions	Gefilterte Daten zu Junctions in FGDB-Format
eingangspruefung.R	Plausibilisierung der TomTom-Daten	Network-Daten TomTom	diverse Kreuztabellen, Histogramme etc.
Netz_Konsistenztests_Signalisierte_Geschwindigkeit.py	Prüfen der signalisierten Geschwindigkeit	Network-Daten TomTom mit korrigierten Angaben zur signalisierten Geschwindigkeit	Tabelle kritischer Knoten
2.5 Modellgeschwindigkeit (v0)			
Datenaufbereitung_SP_def.R	Aufbereitung der SP-Daten für Klassifikation	SP-Daten: hspr, hsnp	pro NETWORK_ID: v0 (NVZ), v0 für alle Stundenscheiben
Klassifizierung_RF_def.R	Klassifikation	TT_Network vereinfacht attribuiert.txt	pro NETWORK_ID: alle Inputdaten + geschätztes v0 ("predict")
Erweiterung_Kap_v0.R	Erweiterung Geschwindigkeitsattribute Streckennetz	Ergebnisse des Skripts Klassifizierung_RF_def.R	(Ergänzte Spalte EBP_SV)

Dateiname	Kurzbeschreibung	Input	Output
2.6 Kapazitäten			
Zuweisung Kapazität.R	Zuweisung Kapazitätswerte	Streckenattribute aus Visum mit EBP_Streckentyp, EBP_Fahrstreifen, EBP_Ortslage, EBP_Steigung, EBP_Kurvigkeit, EBP_Sig_Geschwindigkeit, EBP_SV TT_Network vereinfacht_attribuiert.txt	Ergänzt (Spaltenvektor Kapazität), vereinfachtes Netz: TT_Network vereinfacht_attribuiert_kap.txt Ergänzte Streckenattribute aus Visum (Spaltenvektor Kapazität)
Vereinfachtes_korrigiertes_Netz#_nach_VISUM.fmw (verschiedene Workspace für verschiedene Datenstände)	Konversion (Löschen von Attributen, Umbenennen (kürzere Attributnamen für Shapefile-Format) von Netzdaten im GIS-Format nach Shapefile für VISUM	Ergebnis Skript Streckentypen, Kapazitäten, VSys\Zuweisung Kapazität	Netzdaten für VISUM im Shapefile-Format
2.7 Abbiegebeziehungen			
Unterbundene Abbiegebeziehung.R	Übernahme der TomTom-Abbiegeverbote, Matching über ID, Einarbeitung in VISUM-Liste der Abbieger	maneuver_data_2.txt TT_Network_Zuordnungstabelle_Vereinfachung.txt TomTom-Liste NW (für Bestimmung der FRC) Abbieger-Liste aus VISUM	Angepasste Abbieger-Liste <i>abbieger_korr.att</i>
2.8 Streckentypen			
Zuweisung Obertyp.R	Bestimmung Obertyp	Daten vereinfachtes Netz mit Attributen: FRC, EBP_Sig_Geschwindigkeit, EBP_Ortslage	Ergänzt (Spaltenvektor EBP_Streckentyp), vereinfachtes Netz
Zuordnung Anschluss.R	Bestimmung Obertyp "Anschluss/Verzweigung" (Romandie: Liste, allgemein: Iteration)	VISUM-Streckennetz TT_Network_Netzprüfung.att Attribute: TYP, VONKNOTEN\ANZ:AUSGANGSSTRECKEN, VONKNOTEN\VERKETTEN:EINGANGSSTRECKEN\TYP, NACHKNOTEN\ANZ:AUSGANGSSTRECKEN,	VISUM-Streckennetz TT_Network_Netzprüfung_out.att

		NACHKNOTEN\VERKETTEN:EIN- GANGSSTRECKEN\TYP	
--	--	--	--

Dateiname	Kurzbeschreibung	Input	Output
Zuweisung SV.R	Zuweisung Schwerverkehrsanteil	CSV-File SV-Anteile NPVM Daten vereinfachtes Netz mit Attributen: EBP_Eigentum, EBP_Streckentyp, EBP_Ortslage, EBP_SVAnteil_NO	(Ergänzte Spalte EBP_SV)
Zuweisung Streckentypen Erweitert.R	Zuweisung der Kurvigkeit Zuordnung des Streckentyps (Spaltenvektor) Zuordnung des erweiterten Streckentyp-Attributs	VISUM-Streckennetz TT_Network_Zuordnung_Streckentypen_Erweitert2.att Attribute: ID, ANZFAHRSTREIFEN, VOIV, SIGN_GESCH, TYP, ORTSLAGE, SLOPE_SHP TT_Network_ID.txt	VISUM-Streckennetz TT_Network_Zuordnung_Streckentypen_Erweitert_out.att
2.9 Netzausdünnung und Netzvereinfachung			
Netz_Netzvereinfachung.py	Vereinfachung TomTom-Netz	Network-Daten TomTom mit zusätzlichen Attributen	Informationen zur Vereinfachung des Netzes
Netzausduennung.zip	Java-Skript zur Ausdünnung von Sackgassen und Schlaufen	Attributtabelle Knoten aus Visum Version mit NR,XKOORD,YKOORD Attributtabelle Strecken aus Visum Version mit NR, VONKNOTNR, NACHKNOTNR, LAENGE, FRC, BUSROUTING, ZONEID, ID, VSYSET	Attributtabelle der verbleibenden Knoten Attributtabelle der verbleibenden Strecken
2.10 Durchgängigkeit und Netzprüfung			
_Makro_Kurzwegsuche.xls	Kurzwegsuche im VISUM-Modell anhand Punkt-ID	Relationen von VISUM-Punkten (von, nach)	Reisezeiten PV in Sekunden

Kurzwegsuche_GoogleMaps_def.R	Kurzwegsuche in GoogleMaps anhand geogr. Koordinaten	Geographische Koordinaten	Reisezeiten PV (Nacht) (von allen nach allen Koordinaten)
3 Öffentlicher Personenverkehr: Schiene			
<i>ohne Skripte</i>			
4 Öffentlicher Personenverkehr: Tram & Bus			
<i>ohne Skripte</i>			

Dateiname	Kurzbeschreibung	Input	Output
5 Erstellung Zonenstruktur Schweiz			
5.5 Automatische Aggregation von Ausgangszonen			
Aggregiere_Ausgangszonen_iteriert.py	Aggregation von Ausgangszonen zu solchen, die dann manuell weiterverarbeitet werden können	Daten zu Ausgangszonen, harte Grenzen, Strukturdaten	Aggregierte Zonen, inkl. Zwischenstände
5.6 Verfeinerung der Ausgangszonen			
Neuberechnung_Bevoelkerungszahlen_fuer_manuelle_Aggregation - Region#.py (verschiedene Skripte für verschiedene Bearbeitungsregionen)	Anspielen aktueller Strukturdaten an Zonen-Zwischenstand (Aufruf aus Toolbox.tbx)	Manuell aggregierte Zonen (Zwischenstand), Strukturdaten	Manuell aggregierte Zonen mit aktualisierten Strukturdaten
Toolbox.tbx	Toolbox für Skripte Neuberechnung_Bevoelkerungszahlen_fuer_manuelle_Aggregation - Region#.py	s. oben	s. oben
6 Singuläre Verkehrserzeuger			
<i>ohne Skripte</i>			
7 Anbindungen und Kenngrößen			
7.4 Plausibilisierung von Kenngrößen			
Plausibilisierung_Kenngrößen_def.R	Histogramme der Kenngrößen	Kenngrößenmatrizen MIV und ÖV im O-Format	Histogramme der Kenngrößen

Liste der übergebenen Datensätze

Dateiname	Kurzbeschreibung
2 Strasse: Netz Schweiz	
Strassennetz_NPVM2016_vollständig.ver	Vollständiges Strassennetz vor der Ausdünnung
Strassennetz_NPVM2016_ausgeduennt.ver	Ausgedünntes Strassennetz
2.2 Eingangsprüfung TomTom-Netz	
TT_Junctions_Sig_Geschwindigkeit.shp	Junctions, an denen im TomTom-Netz auffällige Geschwindigkeitsbrüche (signalisiert) auftreten
2.5 Modellgeschwindigkeit (v0)	
RF_cut.rda	Random-Forest-Modell-Objekt (in R: rf1) für das cut-Modell
RF_nocut.rda	Random-Forest-Modell-Objekt (in R: rf2) für das nocut-Modell
2.7 Abbiegebeziehungen	
maneuver_data_2.txt	Zusammengezugene TomTom-Liste MN und MP
2.8 Streckentypen	
SVAnteil-NPVM.csv	Schwerverkehrsanteile berechnet aus dem NPVM 2010
TT_Network_ID.txt	Zuordnung Visum IDs verschiedener vor und nach Vereinfachung
2.9 Netzausdünnung und Netzvereinfachung	
TT_Network_vereinfacht_attribuiert.txt	Vereinfachtes Netz mit Attributen zu Ortslage, Fahrstreifen, Bevölkerungsdichte, Steigung, Kurvigkeit, Kreuzungsdichten, signalisierter Geschwindigkeit, shapeLength, zugelassenen Verkehrsmitteln, Obertyp, SV-Anteil, Streckentypen, Speedprofile Daten
TT_Network_Zuordnungstabelle_Vereinfachung.txt	Zuordnung zwischen den Streckennummern im TomTom Netz und den Streckennummern im vereinfachten Netz
20170512_VISUM Netzprüfung_nachAusduennung.xlsx	Kurzdokumentation der Netzprüfung nach Ausdünnung
2.10 Durchgängigkeit und Netzprüfung	
20170221_VISUM Netzprüfung.xlsx	Detaildokumentation der Netzprüfung
Plausibilisierung_Reisezeiten.xlsx	30 Koordinaten für Plausibilisierung (Sheet "Koordinaten"), manueller Übertrag der Reisezeiten in Google und VISUM (separate Skripts) (Sheet "Reisezeiten"), Histogramm der relativen Abweichungen (Sheet "Histogramm Abweichungen")

Dateiname	Kurzbeschreibung
3 Öffentlicher Personenverkehr: Schiene	
3.6 Zuordnung der SBB-Haltepunkte zu den Betriebspunkten des BAV-Netzes	
Schlüsseltabelle_SBB_Hafas_Didoknummer.xlsx	Zuordnung der Haltestellennummer SBB zur Haltestellennummer aus Hafas
3.7 Import Systemfahrplan Bahn	
Einstellungen_ÖV_Angebot aus Visum importieren.xlsx	Importeinstellungen für das Einlesen des Hafas-Angebots ebenfalls vorhanden
3.8 Plausibilisierung und Netzbereinigung	
Tool_Auswertung_Teilwege_NPVM	Vergleich der Beförderungszeiten NPVM und Simba inklusive Erklärung des Vorgehens
NPVM-2016_Anzahl_Servicefahrten_Systemfahrplan.pdf	Schweizweite Darstellung der Anzahl Servicefahrten im NPVM an einem Werktag 2015 (Rechtsverkehr)
SBB-Simba_Anzahl_Servicefahrten_Angebot_2015.pdf	Schweizweite Darstellung Anzahl Servicefahrten im Modell Simba SBB pro Strecke an einem Werktag 2015 (Linksverkehr)
4 Öffentlicher Personenverkehr: Tram & Bus	
OEVAngebot_NPVM2016.ver	Vollständiges ÖV-Angebot
4.6 Plausibilisierung	
Kontrolle Anzahl Fahrten im NPVM.xlsx	Vergleich der vorhandenen Anzahl Fahrplanfahrtelemente im NPVM zu den Fahrplanfahrtelementen aus Hafas und Simba
Plausibilisierung_Busrouting.xlsx	Auflistung der behobenen Routingprobleme von ÖV Linien mit grossen Umwegfaktoren, bzw. zu hohen Reisezeitgeschwindigkeiten zwischen zwei Haltepunkten
Distanzen_VBZ-2015.xlsx	Vergleich der Gesamtlänge aller ÖV Linien der VBZ mit den ÖV Linien im NPVM
Bearbeitung Fusswege EBP hinzugefügt.xlsx	Von EBP ergänzte Fusswege
5 Erstellung Zonenstruktur Schweiz	
5.6 Verfeinerung der Ausgangszonen	
2017-03-01 Zonen.zip	Shapefile der finalisierten Zonen

Dateiname	Kurzbeschreibung
6 Singuläre Verkehrserzeuger	
6.3 Einkaufsnutzungen	
Bewertung_Einkaufsnutzungen.xlsx	Zusammenstellung Einkaufsnutzungen auf Grundlage der Datenbank UVEK und ihrer Attribute sowie Dokumentation der Auswahl
6.4 Freizeiteinrichtungen	
Bewertung_Freizeitanlagen.xlsx	Zusammenstellung der recherchierten Freizeitanlagen und ihrer Attribute sowie Dokumentation der Auswahl
6.5 Bestimmung der Zonenpolygone	
Zuordnung_Sing_Verkehrserzeuger_Zonen.xlsx	Zuordnungen von Singuläre Verkehrserzeuger zu ZonenID EBP
7 Anbindungen und Kenngrössen	
7.2 Berechnung der Zonenschwerpunkte	
2017-03-13 Zentroide.zip	Shapefile der finalisierten Zentroide
7.3 Generierung der Anbindungen Strasse und ÖV	
Anbindungen_Strassennetz.fil	Filter für die Generierung der MIV Anbindungen
Bezirke_ohne_OEV_Verbindungen.xlsx	
7.4 Plausibilisierung von Kenngrössen	
Kenngrössen_MIV.zip	Kenngrössen MIV
Kenngrössen_OEV_7_8	Kenngrössen ÖV HVZ 7 bis 8 Uhr
Kenngrössen_OEV_10_11	Kenngrössen ÖV NVZ 10 bis 11 Uhr
MIV_Kenngrössen.par	Verfahrensparameter Kenngrössenberechnung MIV
ÖV_Umlegung_Kenngrössen_7-8_10-11_2017-05-24.par	Verfahrensparameter ÖV-Umlegung für Kenngrössenberechnung