

Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017+ Methodik-Update

Schlussbericht (März 2023)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Auftragnehmer

TransOptima GmbH, Zürich/Olten

Dr. Milenko Vrtic (Projektleiter)

Dr. Claude Weis

TransSol GmbH, Wollerau

Dr. Philipp Fröhlich

VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH, Berlin

Siegurd Müller

Robert Simon

Projektbegleitung ARE

Dr. Andreas Justen (Projektleiter)

Dr. Raphael Ancel

Dr. Nicole A. Mathys

Prof. Dr. Christian Schiller (Berater ARE)

Produktion

Michael Furger, Leiter Kommunikation ARE

© ARE, März 2023

Inhalt

1	Hintergründe und Ziele	3
2	Erneuerung Anbindungen Strasse & ÖV	5
2.1	Anbindungen Strasse	5
2.1.1	Eingangsdaten	5
2.1.2	Clusteralgorithmus	6
2.1.3	Generierung der neuen Anbindungen	8
2.2	Anbindungen ÖV	11
2.2.1	Eingangsdaten	11
2.2.2	Clusteralgorithmus	11
2.2.3	Generierung der neuen Anbindungen	12
2.3	Anbindungen Strassengüterverkehr	15
2.3.1	Eingangsdaten	15
2.3.2	Clusteralgorithmus	16
2.3.3	Generierung der neuen Anbindungen	17
2.4	Verwendung in VISUM	19
2.4.1	Erstellung der PW- und SGV-Anbindungen	19
2.4.2	Erstellung der ÖV-Anbindungen	22
2.4.3	Zusätzliche Hinweise	24
3	Weiterentwicklung Velo	25
3.1	Neuer Modus "E-Bike"	25
3.2	Anpassung der Widerstandsfunktionen	27
3.3	Differenzierung nach Fahrtzwecken	29
3.4	Weitere Anpassungen	34
4	Weiterentwicklung ÖV	35
4.1	Matrix-Tagesganglinie	35
4.2	Aktualisierung Kostenmatrix	39
5	Differenzierung Personenwagen	40
5.1	Anpassungen in der MIV-Umlegungsversion	40
5.2	Anpassungen in der Nachfrageversion	41
5.3	Anwendung in VISUM	46
5.3.1	MIV-Umlegungsversion	46
5.3.2	Nachfrageversion	48
6	Mobilitätsraten Arbeit und Nutzfahrt	51
7	Neukalibration Nachfragemodell	54
7.1	Einbezug neuer Kenngrössen	54

7.2	Interzonaler Verkehr	59
7.3	Fahrtzweckanteile.....	60
7.4	Modal-Split-Anteile	60
7.5	Mittlere Weglängen und Weglängenverteilungen.....	63
7.6	Fazit und weiteres Vorgehen.....	65
8	Neukalibration Umlegungsmodell	67
9	Option: Beschleunigung.....	69
10	Literatur	73

Zusammenfassung

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) mit Ist-Zustand 2017 ist seit 2020 in der Anwendung. Während der Etablierung und der Anwendung dieses Modells in den Verkehrsperspektiven 2050 zeigten sich Bedürfnisse für methodische Weiterentwicklungen. Im Rahmen eines «Methodik-Update» wurden nun verschiedene Ergänzungen des Modells konzipiert und umgesetzt. Damit sind erweiterte Analyse- und Prognosemöglichkeiten mit dem NPVM möglich. Hinsichtlich der zu Grunde liegenden Verkehrsverhaltensdaten (MZMV, SP-Parameter) erfolgte keine Aktualisierung, auch wurde das Modell nach der Implementation der methodischen Neuerungen wieder auf Zählraten des Jahres 2017 kalibriert. Folgende Erweiterungen und Arbeitsschritte wurden umgesetzt:

- Die wichtigste Verbesserung betrifft die Erstellung neuer Anbindungen für Strasse und den ÖV. Im Strassennetz sind nun neu für den Personen- und Güterverkehr knapp 100'000 Anbindungen umgesetzt (statt bisher 19'000 Anbindungen, jeweils Summe aus Hin- und Rückrichtung). Mehrheitlich (> 98%) lassen sich diese Anbindungen automatisiert erstellen, für eine geringe Anzahl an Verkehrszonen (v.a. singuläre Verkehrserzeuger) wurden manuelle Anbindungen gesetzt. Im ÖV sind analog dazu knapp 80'000 Anbindungen (> 98% automatisiert) realisiert worden. Vor allem für das Strassennetz bedeutet dies eine flächigere Einspeisung der Verkehre und somit eine bessere Verteilung der Auslastung in den nachgelagerten Netzhierarchien.
- Im ÖV bedeutete eine wichtige Neuerung die Umstellung auf eine zeitlich und aktivitätenspezifische Einspeisung der ÖV-Nachfrage. Dadurch erfolgt eine realistischere Verteilung von ÖV-Wegen auf ÖV-Verbindungen, in dem z.B. zeitlich unterschiedliche Lastrichtungen von Arbeitswegen berücksichtigt werden.
- Neu wurde ein eigener Modus «E-Bike» eingeführt. Dieses dynamische Nachfragesegment dürfte zukünftig weiter an Bedeutung hinzugewinnen und wird angesichts seiner spezifischen Eigenschaften (z.B. eine um im Durchschnitt 4 km/h höhere Geschwindigkeit als reguläre Velos) im NPVM nun separat modelliert.
- Zudem wurden zwei zusätzliche Nachfragesegmente für Personenwagen (PW) eingeführt: Diese bieten die Möglichkeit bei Prognoserechnungen Annahmen und Parameter für verschiedene PW-Typen zu setzen, beispielsweise wenn sich aus der Automatisierung und Elektrifizierung der Flotten unterschiedliche Nutzungseigenschaften und Nutzerkosten ergeben.
- Zu den im Umfang kleineren Arbeiten gehörte die Erstellung eines Excel-basierten Tools zur effizienten Anpassung von Mobilitätsraten von Arbeits- und Nutzfahrten und somit zur Analyse von Homeoffice-Szenarien. Des Weiteren wurden u.a. durch Anpassungen an den Berechnungsabläufen die Rechenzeiten reduziert. In einem letzten Arbeitsschritt erfolgte die neuerliche Kalibration des NPVM an Zählraten für die Strasse und den ÖV.

Die Projektergebnisse, in Form der VISUM-Versionsdateien für den ÖV, den PW und das Velo stehen auf der Plattform Zenodo als open data zur Verfügung. Die Nachfrageversion kann nach Abschluss eines Datenschutzvertrages bezogen werden. Die Dateien sind – in Abweichung zum bisherigen Zustand 2017 – als Zustand **2017+** gekennzeichnet.

Résumé

L'état de référence 2017 du modèle national de trafic voyageurs (MNTP) est en usage depuis 2020. Depuis lors, divers besoins de développements méthodologiques sont apparus. La "mise à jour méthodologique" présentée dans ce rapport a permis de concevoir et de mettre en œuvre un certain nombre d'extensions, élargissant ainsi les possibilités du MNTP en termes d'analyse et de prévision. Les données de base sur le comportement de la population en matière de transport (MRMT, paramètres SP) n'ont cependant pas été actualisées. De même, après la mise en œuvre des extensions mentionnées, le modèle a été calibré à nouveau sur les données de comptage de l'année 2017. Les tâches et extensions réalisées sont les suivantes :

- La modification la plus importante concerne la création de nouveaux connecteurs pour le trafic routier et les transports publics (TP). Près de 100 000 connecteurs (au lieu de 19'000 jusqu'à présent – en comptant séparément les deux directions possibles) ont été générés pour le trafic individuel motorisé et le transport routier de marchandises. La plupart de ces connecteurs (> 98%) sont générés de manière automatisée. Pour certaines zones (principalement des générateurs de trafic singuliers), les connecteurs ont dû être générés manuellement. De même, près de 80 000 connecteurs ont été générés pour les TP, de manière automatisée pour plus de 98% des cas. Cette forte augmentation du nombre de connecteurs permet une plus grande dispersion des origines et destinations, et, pour le trafic routier, une meilleure répartition du trafic sur les routes secondaires.
- Dans le domaine des transports publics, la mise en place d'une répartition horaire de la demande *spécifique à chaque type d'activité* représente une nouveauté importante. Cela permet une répartition plus réaliste des trajets sur les liaisons de TP, en tenant compte par exemple des variations temporelles de charge spécifiques à chaque direction pour les trajets domicile-travail.
- Un mode spécifique "E-Bike" (vélo électrique) a été introduit. Ce mode de transport devrait continuer à gagner en importance à l'avenir et il est désormais modélisé séparément dans le MNTP compte tenu de ses caractéristiques spécifiques (par ex. une vitesse supérieure de 4 km/h en moyenne à celle des vélos ordinaires).
- En outre, deux segments supplémentaires de demande ont été introduits pour les voitures particulières : cela offre la possibilité de définir des hypothèses et des paramètres pour différents types de voitures lors des calculs prévisionnels, par exemple si la conduite automatisée ou l'électrification des véhicules modifient l'usage et les coûts d'utilisation.
- Parmi d'autres extensions de moindre envergure, on peut citer la création d'un outil basé sur Excel permettant d'adapter plus simplement les taux de mobilité des trajets domicile-travail et des trajets utilitaires, et donc d'analyser divers scénarios de télétravail. Les temps de calcul ont aussi été réduits grâce à des adaptations des processus de calcul. La dernière étape de travail a consisté à calibrer le MNTP sur des données de comptage pour la route et les transports publics.

Les résultats du projet, sous la forme des fichiers de version VISUM pour les TP, les voitures et les vélos, sont disponibles en open data sur la plateforme Zenodo. Le partage du fichier de version VISUM modélisant la demande nécessite la conclusion d'un contrat de protection des données. L'état résultant de ce projet est nommé **2017+** afin de distinguer les nouveaux fichiers de ceux correspondant à l'état 2017 précédent.

1 Hintergründe und Ziele

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) wurde zwischen 2017 und 2020 neu erstellt, im Mai 2020 veröffentlicht und befindet sich seitdem in Betrieb. Im November 2021 (und in einer zweiten Etappe im April 2022) wurden auf Grundlage des NPVM die Schweizerischen Verkehrsperspektiven (VP) mit einem Horizont 2050 publiziert. Vorgängig sowie im Kontext der VP hat das NPVM bereits methodische Weiterentwicklungen erfahren, z.B. eine Beschleunigung der ÖV-Auslastungsberechnung sowie den Einbau von Parametern im Strassennetzmodell, die in Prognoseanwendungen verhindern, dass bei zunehmender IV-Nachfrage zu schnell, zu viel Verkehr vom Nationalstrassen- ins untergeordnete Netz verlagert wird.

Mit dem Projekt «Methodik-Update» wurden weitere, für wichtig und praktisch umsetzbar erachtete methodische Weiterentwicklungen angegangen. Der Fokus lag dabei auf einem Update der Methoden, eine Aktualisierung der Datenbasis des NPVM (Strukturdaten, Verhaltensdaten, Zählzeiten) war nicht Teil des Projekts. Folglich liegt auch nach Abschluss dieses Projekts ein auf Zählzeiten 2017 kalibrierter Zustand vor, aber eben auf Grundlage eines methodisch erweiterten NPVM.

Nachstehend sind die Hintergründe und Ziele für die wichtigsten Anpassungen aufgeführt:

Erneuerung der Anbindungen Strasse und ÖV: Während der Etablierung des NPVM verhinderten die damalig langen Umlegungszeiten Strasse in einem Modell der Grösse des NPVM die Umsetzung von Mehrfachanbindungen. Folglich wurden die Zonen vorwiegend einfach angebunden (> 90% der Zonen). Diese führte dazu, dass trotz der hohen Netzdichte viele Strecken im untergeordneten Netz nicht oder tendenziell unrealistisch belastet wurden. Gleichzeitig besteht der Anspruch für z.B. die Berechnung von Lärmemissionen den Verkehr auch auf tieferer Netzebene realistisch(er) abzubilden. Auch im ÖV wurde während der Etablierung des NPVM überwiegend einfach angebunden. Ziel der hier dokumentierten Arbeiten war folglich die Etablierung von Mehrfachanbindungen für Strasse und ÖV und v.a. eine gleichmässige Auslastung des untergeordneten Strassennetzes. Eine spezifische Lösung wurde, auf methodisch vergleichbarer Grundlage, für den Strassengüterverkehr umgesetzt. Aufgrund der Umsetzung fixer Anteile für die Anbindungen im Strassennetz waren gleichwohl höhere Rechenzeiten zu erwarten und eine geeignete, maximale Anzahl an Mehrfachanbindungen zu ermitteln. Über die Verwendung von STATPOP und STATENT (sowie GWR für den Strassengüterverkehr) als Datengrundlagen sowie die Entwicklung automatisierter Skripte zur Erstellung der Anbindungen können diese bei Vorlage neuerer Datengrundlagen aufwandswarm aktualisiert werden.

Weiterentwicklung Velo: Eine strukturelle Erweiterung erfährt das NPVM über die Einführung des Modus «E-Bike». Die dynamische Entwicklung des Segments schon vor der Corona-Pandemie, die unterschiedlichen Eigenschaften (Velo mit z.B. 13 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit vs. 17 km/h beim E-Bike) sowie die sich ändernden Rahmenbedingungen mit verstärkter Velo-Förderung und dem Ausbau von Velo-Routen stellen den Anspruch an Verkehrsmodelle diese Unterschiede auch abzubilden. Gleichzeitig ermöglicht die Stichprobe des MZMV zumindest hinsichtlich zentraler Kennwerte (Modal Split-Anteil, mittlere Weglängen) die Verhaltenseigenschaften im Modell entsprechend abzubilden. Wenn auch weitergehende Arbeiten notwendig sind, v.a. hinsichtlich entscheidungsrelevanter Attribute in den Velonetzmodellen und deren Parametrisierung, ermöglicht die separate Betrachtung des E-Bikes die präzisere Untersuchung von z.B. verkehrsverlagernden Effekten zum MIV und ÖV.

Weiterentwicklungen ÖV: Neben der Neuerstellung der Anbindungen war das primäre Ziel im ÖV die Umstellung auf eine zeitlich und quell-zielgruppenspezifische Einspeisung der ÖV-Nachfrage. Zwar war das vorliegende NPVM bereits sehr gut auf streckenbezogene Belastungen, v.a. des Schienenverkehrs, kalibriert, es zeigten sich jedoch bei Detailauswertungen auf Zugsebene weiterhin grössere Abweichungen. Über die realistischere Einspeisung, so dass z.B. Lastrichtungen von Arbeitswegen am Morgen in Richtung auf die Städte bzw. am Abend aus diesen heraus ins Umland präziser abgebildet werden, ergibt sich auch eine der Realität besser entsprechende Auslastung des Rollmaterials. Da die Auslastung im NPVM ebenfalls bewertet wird und, wenn auch den Kenngrössen von Zeit und Kosten untergeordneten, Einfluss auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl nimmt, ergeben sich aus der beschriebenen Umstellung auch validere Kenngrössen die im Modell Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl ausüben.

PW-Ausdifferenzierung: Die mit Verkehrsperspektiven oder allgemein Verkehrsprognosen verbundenen Ansprüche sind häufig die erwarteten Entwicklungen und Auswirkungen einer sich automatisierenden Flotte dezidiert abzubilden. Gleichzeitig bestehen kaum belastbare empirische Erkenntnisse, um die Verkehrsmodelle mit Eingangsdaten und Verhaltensparametern auszustatten. Im Kontext des Projekts wurden für das NPVM strukturell und mit Blick auf die genannten Ansprüche Ausdifferenzierungen des Nachfragemodells vorgenommen, ohne dass diese bereits eine Wirkung im Ist-Zustand entfalten. Dies ermöglicht es dem Modell zukünftig, bei Vorlage entsprechender Kenntnisse oder Annahmen weitere PW-Typen als eigenständige Modi in Prognoserechnungen abzubilden.

Vom Umfang her nachgeordnete Arbeiten betrafen die Erstellung eines (modellexternen) **Tools zur Modifikation und Integration der Aufkommensraten von Arbeitswegen**. Im Kontext der Corona-Pandemie wurde deutlich, dass aus dem Umfang, in dem Erwerbstätige vom Homeoffice Gebrauch machen, substantielle verkehrliche Effekte resultieren. Dies sowohl in Bezug auf die Gesamtwegeaufkommen, wenn Arbeitswege ganz obsolet werden sowie bei einer zeitlichen Verschiebung der Abfahrtszeit zum Arbeitsplatz. Verbunden mit dem Tool ist das Ziel, Modifikationen der Wegeaufkommen von Aktivitätenpaaren mit Bezug zum Arbeitsplatz einfach ändern und nach VISUM wieder einlesen zu können. Das Tool ermöglicht also für Homeoffice-Szenarien eine zügige und weniger fehleranfällige Ausrüstung des Nachfragemodells.

Die Kehrseite methodischer Weiterentwicklungen und der damit oft verbundenen Ausdifferenzierung des Modells sind längere Rechenzeiten. Beispielsweise ergeben sich aus der Ausdifferenzierung der Anbindungen mehr mögliche IV-Routen, die zum einen berechnet und zum anderen final gespeichert werden müssen. Dies erhöht Rechenzeiten sowie den Speicherbedarf umgelegter Versionen. Entsprechend befasste sich ein Arbeitspaket mit der **Identifikation und Umsetzung von Möglichkeiten zur Beschleunigung** des NPVM.

2 Erneuerung Anbindungen Strasse & ÖV

2.1 Anbindungen Strasse

2.1.1 Eingangsdaten

Als Datengrundlage für die Erstellung der neuen PW-Anbindungen werden die Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP) und die Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) jeweils für das Bezugsjahr 2017 verwendet.

Im STATPOP-Datensatz ist jede Person der schweizerischen Wohnbevölkerung als einzelner Geokoordinatenpunkt im Landeskoordinatensystem LV95 (CH1903+) verortet. Zusätzlich liegen die in Abbildung 1 dargestellten Variablen vor. Der Umfang von 19 Variablen und deren Reihenfolge (STATDATE → INDIC_EGID) ist bei der Anwendung des Skriptes zur Erstellung der PW-Anbindungen beizubehalten.

	Person 1	Person 2	Person 3	Person ...
STATDATE	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2017	...
SEX	2	2	1	...
MARITALSTATUS	1	2	2	...
REPORTINGMUNICIPALITYID	6461	2206	6455	...
POPULATIONTYPE	1	1	2	...
AGE	16	39	62	...
CLASSAGEFIVEYEARS	15	35	60	...
CLASSAGECATEGORY1	0	26	45	...
CLASSAGECATEGORY2	15	30	60	...
CLASSAGECATEGORY3	16	25	45	...
NATIONALITYCATEGORY	2	2	2	...
MUNICIPALITYSTAYDURATION	2	4	4	...
federalBuildingIdPseudo	S41AYX3exqajUY/X4bBJZ7R1uirAkjDu01DQ39hQ/Yc=	NjulbkBWqNTfoqQanJETvLL+jzwL6Gtx6y8q1ruAFPg=	kGy6chxk5ISyrOVp9cgvTsPiWwCLe/UuPx9mOKZwhiE=	...
GEOCOORD	2566304	2578160	2571978	...
GEOCOORDN	1206680	1181454	1211702	...
QUARTIER	-8	-8	-8	...
DPLZ4	2074	1723	2525	...
DPLZZ	0	0	0	...
INDIC_EGID	1	1	1	...

Abbildung 1 Beispiel Variablen STATPOP 2017 (transponiert dargestellt und mit Zusatzvariable «Person» aus Übersichtsgründen versehen)

Der STATPOP-Datensatz wird für die Weiterverwendung gefiltert und auf die Geokoordinaten reduziert. Die Filterbedingungen sind «POPULATIONTYPE» = 1 und «INDIC_EGID» = 1. Damit wird für die Erstellung der PW-Anbindungen nur die ständige Wohnbevölkerung (siehe Abbildung 2)

1	Ständige Wohnbevölkerung	Personen mit typeOfResidence = 3 finden sich hier bei den Ausprägungen 3 oder 4 wieder.
2	Nichtständige Wohnbevölkerung	Um eine Person für den Zweitwohnsitz nicht doppelt zu zählen, muss
3	Wohnbevölkerung am letzten Nebenwohnsitz	populationType = 3 gewählt werden.
4	Wohnbevölkerung an anderen Nebenwohnsitzen	

Abbildung 2 Details STATPOP-Variable «POPULATIONTYPE»

sowie Personen berücksichtigt, die adressscharf verortet und nicht einer Sammelkoordinate zugeordnet wurden (siehe Abbildung 3).

1	EGID GWS	Diese Variable präzisiert, ob das Wert für federalBuildingId in der GWS existiert, ob die Person nicht einem in der GWS existierenden Gebäude zugeordnet werden konnte (federalBuildingId = -9) oder ob die Person zum administrativen Gebäude zugeordnet wurde, denn aus dem pseudonymisierten federalBuildingId kann dies nicht mehr unterschieden werden.
0	EGID = -9	
2	EGID administratif (sans adresse)	

Abbildung 3 Details STATPOP-Variable «INDIC_EGID»

Der STATENT-Datensatz beinhaltet die schweizerischen Arbeitsstätten («institutionelle Einheit») als einzelne Geokoordinatenpunkte, verortet im Landeskoordinatensystem LV95 (CH1903+). Für die Arbeiten lagen insgesamt die in Abbildung 4 dargestellten Variablen vor. Der Umfang von 11 Variablen und deren Reihenfolge (STATENT_YEAR → NOGA08_CD) ist bei der Anwendung des Skriptes zur Erstellung der PW-Anbindungen beizubehalten.

STATENT_YEAR	ANONYM_ENT_ID	ANONYM_LOCAL_ID	METER_X	METER_Y	GKODSSCE	EMPTOT	EMPSTE	FTE_M_SOURCE_CD	FTE_W_SOURCE_CD	NOGA08_CD
2017	8.51382E+11	7.03643E+11	2583520	1105539	0	2	1.3891585	2	2	477805
2017	8.30957E+11	7.59939E+11	2682294	1227611	0	1	0.1459004	2	2	683200
2017	8.46667E+11	7.91103E+11	2510056	1141219	0	1	0.8205974	2	2	265201
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 4 Beispiel Variablen STATENT 2017

Für die Weiterverwendung wird der STATENT-Datensatz ebenfalls gefiltert. Die Filterbedingungen sind «GKODSSCE» = 0 oder 1. Damit werden für die Erstellung der PW-Anbindungen nur Arbeitsstätten berücksichtigt, für die Gebäudekoordinaten vorliegen oder die im eidgenössischen Gebäudeidentifikator (EGID) verortet sind (siehe Abbildung 2).

GKODSSCE	0: EGID 1: nach den Koordinaten des Gebäudes, ohne Bezugnahme auf das RegBL 2: aus der Adresse errechneter Wert (Straßenname) 3: aus der Postleitzahl errechneter Wert 4: aus den zentralen Koordinaten der Gemeinde errechneter Wert
----------	---

Abbildung 5 Details STATENT-Variable «GKODSSCE»

Die Arbeitsstätten werden anschliessend jeweils auf Basis der STATENT-Variable «EMPTOT», welche die Anzahl der Beschäftigten je Arbeitsstätte beinhaltet, aufgesplittet. Ergebnis ist ein Datensatz mit einzelverorteten Beschäftigten. Es folgt eine Reduktion auf Geokoordinaten.

Abschliessend werden die jeweils angepassten STATPOP- und STATENT-Datensätze zu einem Datensatz verkettet. Die entstehende Liste von geokodierten Datenpunkten (ca. 14 Mio.) bildet die Grundlage für die Erstellung der PW-Anbindungen. Die ausschliessliche Verwendung der STATPOP- und STATENT-Daten für die Erstellung der Anbindungen ist eine Vereinfachung. Lokal dominante Strukturgrössen (z.B. Schulen, Hospitäler, Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen) sorgen in der Realität für sehr spezifische Schwerpunkte des ein- und ausgehenden Verkehrs in einer Verkehrszone. Über die Ausweisung singulärer Verkehrserzeuger und die Auswahl weiterer Zonen mit entsprechenden, singulären Charakteristika sowie deren manuelle Anbindung an das Verkehrssystem wird dem im NPVM zumindest teilweise Rechnung getragen.

2.1.2 Clusteralgorithmus

Auf Basis der geokodierten Datenpunkte werden Cluster gebildet. Dabei werden die Zonengrenzen im Modell berücksichtigt und von den Clustern nicht überschritten. Der Clusteralgorithmus wird also für jede Zone einzeln ausgeführt.

Eine Vorarbeit ist die Zuordnung der Datenpunkte zu den Zonen. Jeder Datenpunkt bekommt dabei jeweils die Zonennummer zugeordnet. Gleichzeitig werden nur Datenpunkte und Zonen innerhalb des Schweizer Staatsgebietes (= Untersuchungsgebiet) berücksichtigt.

Als Clusteralgorithmus wird der K-Means-Clusteralgorithmus als Teil der freien Python-Bibliothek „scikit-learn“ verwendet. Die Python-Bibliothek „scikit-learn“ besitzt folgende Abhängigkeiten zu anderen Bibliotheken:

Dependency	Minimum Version	Purpose
numpy	1.14.6	build, install
scipy	1.1.0	build, install
joblib	0.11	install
threadpoolctl	2.0.0	install
cython	0.29.24	build
matplotlib	2.2.3	benchmark, docs, examples, tests
scikit-image	0.14.5	docs, examples, tests
pandas	0.25.0	benchmark, docs, examples, tests
seaborn	0.9.0	docs, examples
memory_profiler	0.57.0	benchmark, docs
pytest	5.0.1	tests
pytest-cov	2.9.0	tests
flake8	3.8.2	tests
black	21.6b0	tests
mypy	0.770	tests
pyamg	4.0.0	tests
sphinx	4.0.1	docs
sphinx-gallery	0.7.0	docs
numpdoc	1.0.0	docs
Pillow	7.1.2	docs
sphinx-prompt	1.3.0	docs
sphinxext-opengraph	0.4.2	docs

Abbildung 6 Übersicht notwendiger Python-Bibliotheken (Stand scikit-learn-Version 1.0.2, Januar 2022)

Der K-Means-Clusteralgorithmus besteht vereinfacht aus drei Schritten¹:

1. Auswahl der initialen Clusterschwerpunkte.
2. Zuordnung der POI-Datenpunkte aus STATENT/STATPOP zum jeweils nächstliegenden Clusterschwerpunkt (Clusterbildung).
3. Bestimmung der aktualisierten Clusterschwerpunkte auf Basis des Mittelwertes der zugeordneten POI-Datenpunkte.

Die Iterationsschleife läuft zwischen Schritt 2 und 3 bis sich die Clusterschwerpunkte unterhalb eines Grenzwertes nicht mehr ändern oder eine vorgegebene Anzahl an Iterationen erreicht wird.

Für eine Ausführung des K-Means-Clusteralgorithmus muss die Anzahl der Cluster, die pro Zone gefunden werden soll, vorgegeben werden. Jedes Cluster besitzt einen Clusterschwerpunkt («Centroid»). Die ermittelten Koordinaten des Clusterschwerpunktes müssen dabei nicht auf einem der eingegebenen Datenpunkte liegen, sondern können einen beliebigen Punkt im Raum darstellen.

Die vorzugebende Anzahl der Cluster je Zone wird über eine definierte Obergrenze von 30'000 Anbindungen (Summe aus Hin- und Rückrichtung) im Untersuchungsgebiet, also der gesamten Schweiz und das Attribut «SE» gebildet, welches die Summe der gewichtungsrelevanten Struktureinheiten (SE) in Form der Anzahl der ständigen

¹ Für weitergehende Informationen siehe <https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html#k-means>, Stand Oktober 2022.

Wohnbevölkerung (nur EGID = 1) und der Beschäftigten in einer Zone umfasst. Die 30'000 möglichen Anbindungen werden dabei in Abhängigkeit des SE-Anteils einer Zone an der Gesamtsumme der SE im Untersuchungsgebiet auf die Zonen aufgeteilt. Aufgrund der Rundung auf ganze Anbindungen, liegt die Anzahl der später ins Modell eingelesenen Anbindungen zunächst bei über 30'000 (durch das Zusammenfallen von Anbindungen zwischen Zonenschwerpunkt und Knoten reduziert sich die Anzahl nach dem Einlesen in VISUM wieder). Mindestens werden nach Möglichkeit drei Cluster innerhalb einer Zone gebildet. Falls weniger als drei Datenpunkte vorliegen, wird die entsprechende Anzahl an Datenpunkten als Anzahl an Cluster gesetzt.

Zudem werden folgende weitere Parameter für den Algorithmus gesetzt:

- Initialisierungsmethode (Init) = 'k-means++'
- Anzahl der Iterationen mit unterschiedlichen initialen Clusterschwerpunkten (n_init) = 10
- Anzahl der Iterationen innerhalb eines Laufes (max_iter) = 300
- Grenzwert für die zulässige Abweichung zwischen den Iterationen hinsichtlich der Lage der Clusterschwerpunkte (tol) = 0.0001
- K-Means-Variante (algorithm) = "lloyd"

Die genannten Werte sind die gegenwärtig (Stand Oktober 2022) vorgegebenen Standardwerte in der genutzten Python-Bibliothek.

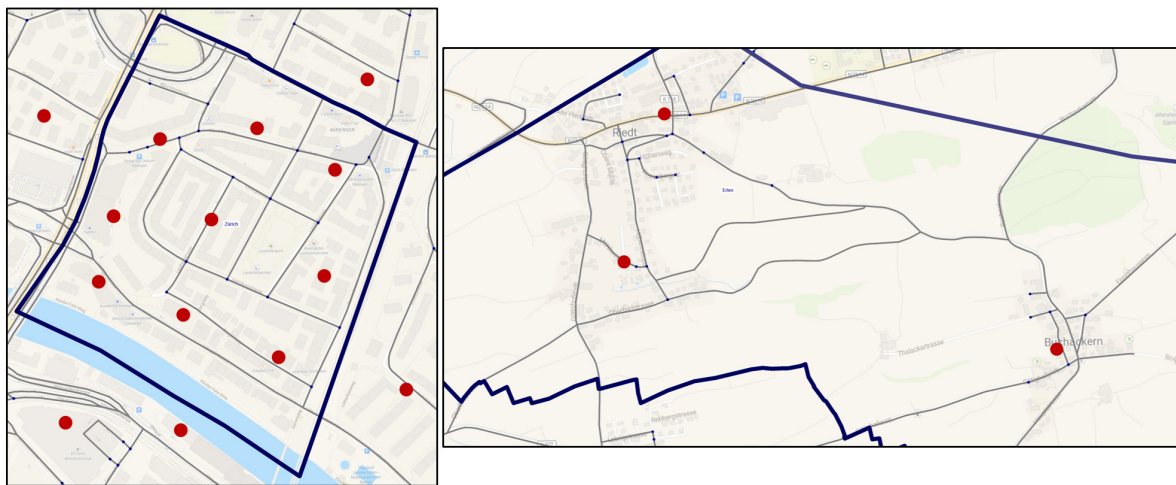


Abbildung 7 Ergebnis Clusterbildung einer städtischen (links) und ländlichen (rechts) Zone

Ergebnis des Clusteralgorithmus sind Clusterschwerpunkte (siehe Abbildung 7) mit Geokoordinaten und Informationen über die Clusterzugehörigkeit der Datenpunkte. Auf Basis dieser Zugehörigkeitsinformation wird jedem Clusterschwerpunkt das Gewichtungsattribut «SE» mit der Summe aller relevanten Struktureinheiten in den Datenpunkten des Clusters sowie die Zonennummer der Datenpunkte des Clusters zugeordnet.

2.1.3 Generierung der neuen Anbindungen

Die geokodierten Clusterschwerpunkte bilden zusammen mit ausgewählten potenziellen Anbindungsknoten im Strassennetz die Grundlage für die Generierung der neuen Anbindungen.

☒ Filter verwenden ☐ Komplement						
Anzahl: 8	Verknüpfung	Kompl.	Relation	Attribut	Operation	Operand
1	Und	☐	Knoten	ZONE	> Wert	0
2	Und	☐	Knoten	TypNr	Ist enthalten in	4,40,41,42,43,49 ...
3	Und	☐	Knoten	Ort	> Wert	0
4	Und	☒	Knoten	Anbindungsg geeignet	= Wert	Nein
5	Und	☐	Knoten	AnzAktive:Eingangsstrecken	> Wert	0
6	Und	☐	Knoten	AnzAktive:Ausgangsstrecken	> Wert	0
7	Und	☐	Knoten	SumAktive:Ausgangsstrecken\AnzAktive:Ausgangsabbieger	> Wert	0
8	Und	☐	Knoten	SumAktive:Eingangsstrecken\AnzAktive:Eingangsabbieger	> Wert	0

Abbildung 8 Filter für potenzielle PW-Anbindungsknoten

Eine Liste an potenziellen PW-Anbindungsknoten wird über einen Knotenfilter aus den im Modell bestehenden Knoten erzeugt. Für den in Abbildung 8 dargestellten Knotenfilter für potenzielle Anbindungsknoten gelten folgende Ergänzungen:

- Das Attribut „Zone“ markiert, ob die Zone in der sich der Knoten befindet innerhalb der Schweiz liegt. Grundsätzlich kann dieses Attribut auch zur Auswahl von Zonen eingesetzt werden für die keine automatisch generierten Anbindungen gesetzt werden sollen.
- Das Attribut „TypNr“ markiert Knoten, die sich im Nebennetz befinden (Obertyp: Übrige Strasse (ao/io)).
- Das Attribut „Ort“ markiert Knoten, die gemäss der Information zu Siedlungsflächen des swisstopo-Produkts «swissNAMES3D» (Typ = Ort) innerhalb von Ortschaften liegen.
- Das Attribut „Anbindungsg geeignet“ markiert Knoten, die trotz Einhaltung der restlichen Bedingungen nicht für Anbindungen geeignet sind. Zu diesen zählen Knoten, die beispielsweise aufgrund ihrer Lage im weiteren Netzzusammenhang nicht für den Quell- und Zielverkehr gleichzeitig routingfähig sind.
- Aktive Strecken und Abbieger sind jeweils für alle IV-Verkehrssysteme, also Personenwagen wie Fahrzeuge des Strassengüterverkehrs freigegeben.

Die potenziellen PW-Anbindungsknoten werden durch Knotennummer, Typnummer, Geokoordinaten und Zonennummer beschrieben. Zusätzlich sind sie mit einem Attribut («DISTINCT:OUTLINKS\TONODENO») mit Informationen über die Knotennummern aller benachbarten Knoten versehen. Benachbarte Knoten sind solche, über die der potenzielle Anbindungsknoten per Strecke verbunden ist.

Der Anbindungsalgorithmus ermittelt die Anbindungen je Zone und berücksichtigt dabei nur die Clusterschwerpunkte und die potenziellen PW-Anbindungsknoten innerhalb der Zone. Jedem Clusterschwerpunkt wird grundsätzlich der nächstliegende potenzielle PW-Anbindungsknoten innerhalb der Zone zugeordnet. Es wird jeweils geprüft, ob

- ein Mindestabstand von 100m zu bereits gefundenen Anbindungsknoten anderer Cluster besteht. Bei Unterschreitung wird die Anbindung auf den für ein anderes Cluster bereits gefundenen Anbindungsknoten in Distanz > 100m gelegt.
- der potenzielle Anbindungsknoten über nur eine Strecke mit schon gefundenen Anbindungsknoten verbunden ist. Wenn dies der Fall ist, wird die Anbindung auf den für ein anderes Cluster bereits gefundenen Anbindungsknoten gelegt.

Als Ergebnis des Anbindungsalgorithmus entstehen Anbindungen (siehe Abbildung 9) mit den Attributen Zonennummer, Knotennummer, Richtung, Typnummer, Verkehrssysteme sowie der Länge als benutzerdefiniertes Attribut «LAENGE_PW» und dem Gewichtsattribut als benutzerdefiniertes Attribut «GEWICHT_PW». Die automatisch generierten PW-Anbindungen werden mit der Typnummer «1» versehen. Als Anbindungslänge wird die Distanz zwischen Clusterschwerpunkt und Anbindungsknoten gesetzt. In das Gewichtsattribut «GEWICHT_PW» wird das Attribut «SE» der Clusterschwerpunkte übertragen.

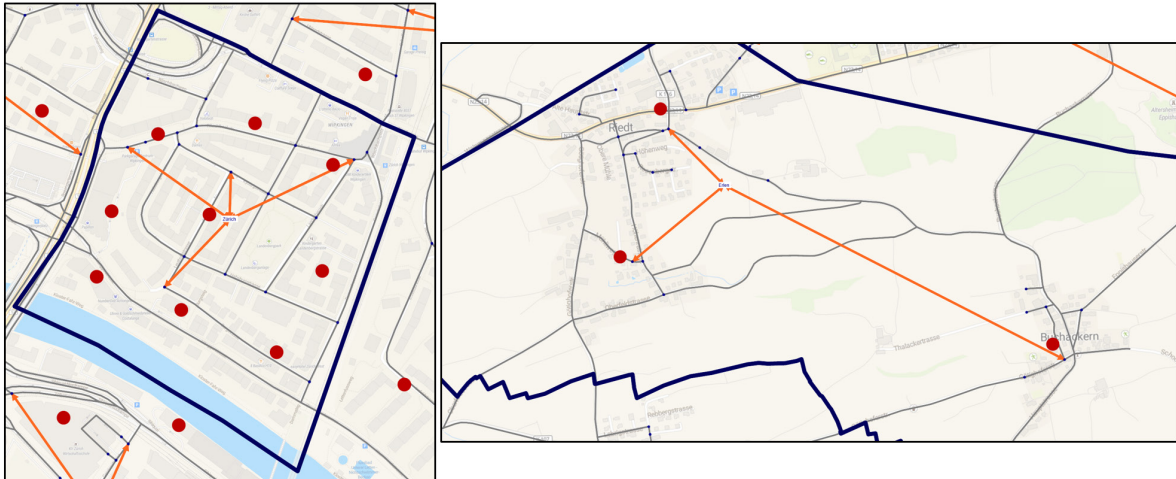


Abbildung 9 Ergebnis PW-Anbindungserstellung einer städtischen (links) und ländlichen (rechts) Zone

Abschliessend folgt eine Korrektur für die Anbindungsängen und die Gewichtsattribute «GEWICHT_PW» der Anbindungen, die beim Einlesen in VISUM zusammenfallen. Dies betrifft Anbindungen einer Zone mit identischen Anbindungsknoten und führt zu einer Reduktion der Anzahl der PW-Anbindungen um ca. 20 %. Dabei wird das Gewichtsattribut «GEWICHT_PW» entsprechend neu aufsummiert und die Anteile für alle Anbindungen neu gesetzt. Eine gemeinsame Anbindungsänge wird als gewichtetes Mittel über das Gewichtsattribut «GEWICHT_PW» berechnet und für alle entsprechenden Anbindungen gesetzt. Zum Vergleich besitzen die in Abbildung 9 dargestellten Zonen in der bisherigen NPVM 2017 folgenden Anbindungen:

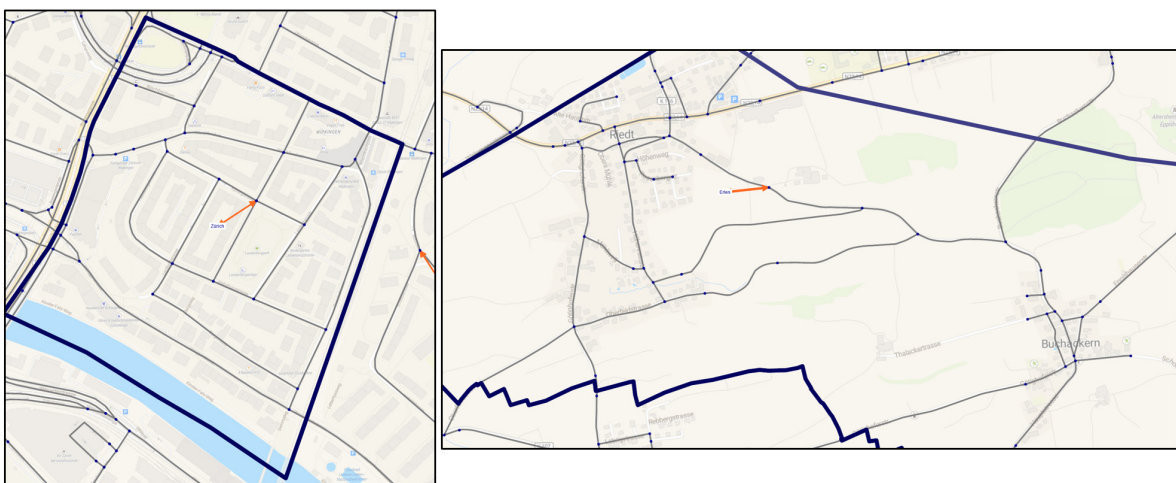


Abbildung 10 Anbindungen der Beispielzonen im bisherigen NPVM 2017

Für ausländische Zonen oder Zonen ohne Datenpunkte (im jetzigen Stand betrifft dies keine Zone) werden keine neuen Anbindungen generiert, sondern die bisherigen Anbindungen (Typnummer = «0») beibehalten. Für 149

Zonen, u.a. mit singulären Verkehrserzeugern (SVE), werden manuell Anbindungen gesetzt. Anbindungen, die manuell gesetzt wurden erhalten die Typnummern «2», «3», «4», «5» und «7». Sie ersetzen in den jeweiligen Zonen die automatisch generierten PW-Anbindungen. Bei den singulären Verkehrserzeugern (SVE) halt es sich um Festlegungen aus dem Etablierungsprojekt NPVM (Zonen differenziert nach Typ 2=Einkauf, Typ=3 Freizeit und Typ=4 Flughäfen). Die vergebenen Anbindungstypnummern 2-4 entsprechen den SVE-Typen. Zusätzlich wurden im gegenständlichen Projekt noch weitere 82 Zonen (Anbindungstyp 5) mit Einkaufszentren mit mehr als 12'000qm Verkaufsfläche definiert und manuell angebunden. Die Grenze bei 12'000qm wurde gesetzt, um darüber die Anzahl von 100 der grössten Einkaufszentren der Schweiz berücksichtigen zu können. Dabei handelt sich meist um Zonen mit gemischter Nutzung (z.B. Wohngebiet mit Einkaufszentrum). Zudem sind im Rahmen der Kalibrierung Anpassungen an den Anbindungen vorgenommen worden (Anbindungstyp 7). Über einen Zonenfilter auf Basis des benutzerdefinierten Attributs (BDA) ANB_ERSTELLUNG = Manuell können alle Zonen mit manuellen PW-Anbindungen angezeigt werden. Eine Übersicht der Anbindungstypen ist in Tabelle 1 bzw. inkl. Zonen in Tabelle 3 dargestellt.

Anbindungstyp (für Zonen ANB_ERSTELLUNG = Manuell)	Beschreibung	Anzahl Anbindungen
2	SVE-Typ 2 (Einkauf)	126
3	SVE-Typ 3 (Freizeit)	172
4	SVE-Typ 4 (Flughäfen)	96
5	Sonstige SVE (z.B. Einkaufszentren)	1152
7	Anpassung bei Kalibrierung	58
Gesamt		1604 (von 98110)

Tabelle 1 Übersicht der PW-Anbindungstypen für manuell angebundene Zonen

2.2 Anbindungen ÖV

2.2.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten zur Erstellung der ÖV-Anbindungen sind identisch mit denen zur Erstellung der PW-Anbindungen (siehe Abschnitt 2.1).

2.2.2 Clusteralgorithmus

Die Anwendung des Clusteralgorithmus zur Erstellung der ÖV-Anbindungen ist identisch mit der zur Erstellung der PW-Anbindungen (siehe Abschnitt 2.1). Ergänzt werden die erzeugten Clusterschwerpunkte um ein zugeordnetes Attribut «SL3» zur Differenzierung zwischen städtischen (= «1») und intermediären/ländlichen (im Folgenden als «ländlich» bezeichnet) Bereichen (≠ «1»). Das Attribut wird über eine Verschneidungsoperation von der Ebene der Zonen an die Clusterschwerpunkt gespielt.

2.2.3 Generierung der neuen Anbindungen

Die geokodierten Clusterschwerpunkte bilden zusammen mit ausgewählten potenziellen ÖV-Anbindungsknoten die Grundlage für die Generierung der neuen Anbindungen.

Anzahl: 4	Verknüpfung	Kompl.	Relation	Attribut	Mengenoperation	Operation	Operand
1	Und	☐	Knoten	Anz.Haltestellenbereiche		> Wert	0
2	Und	☐	Knoten	Sum:Haltestellenbereiche\NUMSERVICETRIPS		> Wert	0
3	Oder	☐	Knoten	IST_Zugangsknoten_Hafas_Angelot		= Wert	☒
4		☐	Knoten	IST_ZUGANGSKNOTEN_SBB_OHNE_FV		= Wert	☒

Filterausdruck
1 Und 2 Und (3 Oder 4)

Abbildung 11 Filter für ÖV-Anbindungsknoten

Eine Liste an potenziellen ÖV-Anbindungsknoten wird über einen Knotenfilter aus den im Modell bestehenden Knoten erzeugt. Es gelten die in Abbildung 11 dargestellten Filterbedingungen. Die Anzahl der dem Knoten zugeordneten Haltestellenbereiche sowie die Summe der ÖV-Abfahrten in den Haltestellenbereichen muss grösser als 0 sein. So wird sichergestellt, dass es sich um aktive ÖV-Zugangsknoten handelt.

Die potenziellen ÖV-Anbindungsknoten werden durch Knotennummer, Typnummer, Geokoordinaten und Zonennummer beschrieben. Zusätzlich sind sie mit den Attributen «IST_ZUGANGSKNOTEN_HAFAS_ANGEBOT» und «IST_ZUGANGSKNOTEN_SBB_OHNE_FV» zur Unterscheidung zwischen HAFAS- (bzw. Andere-) und SBB-Zugangsknoten ohne Fernverkehrshalt sowie einem Attribut («Sum:Haltestellenbereiche\NUMSERVICETRIPS») mit der Anzahl der ÖV-Abfahrten versehen. Durch das Attribut «IST_ZUGANGSKNOTEN_SBB_OHNE_FV» wird sichergestellt, dass keine direkten Anbindungen an die grossen Bahnhöfe mit Fernverkehrshalt erzeugt werden, sondern nur an die Bus oder Tram-Haltestellen am Bahnhof. Somit wird eine bessere Verteilung der Nachfrage auf Zubringerlinien und Anbindungen erreicht. Über die an den grossen Bahnhöfen definierten Gehzeiten zwischen den Bus oder Tram-Haltestellen und Bahnsteig werden dadurch auch realistischere Zu- und Abgangszeiten für eigentlich direkt auf den Bahnhof ausgerichtete Zu- und Abgänge via Fuss- und Veloverkehr angenähert.

Der ÖV-Anbindungsalgorithmus ermittelt die ÖV-Anbindungen je Zone und berücksichtigt dabei die Clusterschwerpunkte innerhalb der Zone. Im Gegensatz zur Umsetzung im IV, werden als potenzielle ÖV-Anbindungsknoten solche inner- wie ausserhalb der Zone betrachtet. Jedem Clusterschwerpunkt werden grundsätzlich die drei nächstliegenden, potenziellen HAFAS- (bzw. Andere-) Anbindungsknoten sowie der nächstliegende SBB-Anbindungsknoten zugeordnet. Die dafür berücksichtigte Distanz wird um ein Gewicht erweitert, welches den gewichteten Kehrwert der Anzahl der ÖV-Abfahrten darstellt. Hintergrund ist die Annahme, dass zu ÖV-Haltestellen mit nur wenigen täglichen Abfahrten als eher unattraktiv wahrgenommen werden und damit ihre Auswahl als ÖV-Anbindungsknoten nur unter sehr günstigen Bedingungen (z.B. Distanz < 50 m zum Clusterschwerpunkt) erfolgen sollte. Es entsteht folgender Widerstand für die Auswahl der ÖV-Anbindungsknoten:

$$\text{Widerstand} = \text{Distanz} + \frac{\text{Gewichtungsattribut}}{\text{Abfahrten}}$$

Gleichzeitig wird ein maximal zulässiger Widerstand für jeweils HAFAS- (bzw. Andere-) und SBB-Anbindungsknoten definiert. Die maximale Anzahl an vier ÖV-Anbindungen je Clusterschwerpunkt reduziert sich entsprechend, falls keine ausreichende Anzahl an ÖV-Anbindungsknoten innerhalb des durch den maximal zulässigen Widerstand vorgegebenen Radius vorhanden ist.

Es wird zur Sicherung der ÖV-Erreichbarkeit der Zone mindestens eine HAFAS- (bzw. Andere-) bzw. SBB-Anbindung für die Zone erstellt. In diesem Fall werden der Clusterschwerpunkt und der ÖV-Anbindungsknoten mit dem kleinsten Widerstand zwischen einander gewählt. Dies ist zur Zeit bei ca. 108 Zonen notwendig.

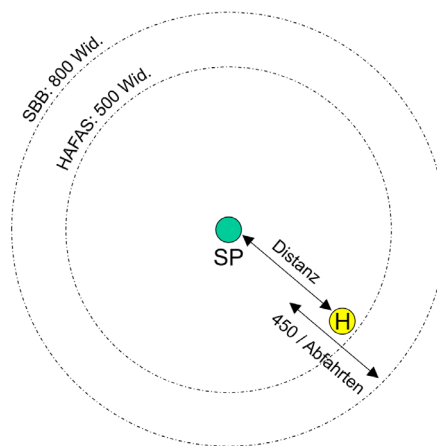


Abbildung 12 Widerstand für die Auswahl der ÖV-Anbindungsknoten (ländliche Zone)

Die Parameter für die Auswahl der ÖV-Anbindungsknoten werden auf Basis des Attributes «SL3» (städtisch = «1» und ländlich ≠ «1») der Clusterschwerpunkte wie folgt differenziert:

- Städtische Zone: Gewichtsattribut = 350, max. Widerstand Hafas (bzw. Andere) = 400, max. Widerstand SBB = 600.
- Ländliche Zone: Gewichtsattribut = 450, max. Widerstand Hafas (bzw. Andere) = 500, max. Widerstand SBB = 800.

In Abbildung 12 ist die Vorgehensweise für die Parameter einer ländlichen Zone grafisch verdeutlicht. Über die Addition des Kehrwerts der ÖV-Abfahrten können ÖV-Anbindungsknoten mit grösserem ÖV-Angebot bevorzugt berücksichtigt (bzw. in der vorliegenden Berechnungsmethode weniger bestraft) werden. Das Gewichtsattribut stellt sicher, dass grundsätzlich auch ÖV-Anbindungsknoten im Nahbereich (> 50m) des Clusterschwerpunktes mit sehr wenigen ÖV-Abfahrten (> 2) noch berücksichtigt werden können und nicht automatisch über dem maximal zulässigen Widerstand liegen. Die gewählten Parameter für die Gewichtsattribute leiten sich demnach aus dem max. zulässigen Widerstand für Hafas (bzw. Andere)-Haltestellen ab. Es soll gelten, dass auch ÖV-Haltestellen mit sehr wenigen Abfahrten (>2) prinzipiell angebunden werden können, wenn der Clusterschwerpunkt im direkten Nahbereich der Haltestelle liegt. Der Nahbereich wurde mit < 50m festgelegt.

Als Ergebnis des ÖV-Anbindungsalgorithmus entstehen ÖV-Anbindungen mit den Attributen Zonennummer, Knotennummer, Richtung, Typnummer, Verkehrssysteme, Länge und Gewichtsattribut ÖV. Die automatisch generierten ÖV-Anbindungen werden mit der Typnummer «9» versehen. Als Anbindungslänge wird die Distanz

zwischen Clusterschwerpunkt und Anbindungsknoten gesetzt. In das Gewichtungsattribut ÖV wird das Attribut «SE» der Clusterschwerpunkte übertragen. Aufgrund der Mehrfachanbindungen je Clusterschwerpunkt auch über Zonengrenzen hinweg ist das Gewichtungsattribut ÖV nicht wie im IV nutzbar. Das Attribut «SE» wird auf alle ÖV-Anbindungen des Clusterschwerpunktes gesetzt und damit eine Gleichverteilung angenommen. Die derart ermittelten Anbindungsanteile werden später nur für eine geringe Anzahl an Zonen, die mit aktiven Anbindungsanteilen arbeiten, übernommen.

Abschliessend folgt eine Korrektur für die Anbindungslängen und die Gewichtungsattribute ÖV der Anbindungen, die beim Einlesen in VISUM zusammenfallen. Dies betrifft Anbindungen einer Zone mit identischen Anbindungsknoten. Dabei wird das Gewichtungsattribut ÖV entsprechend neu aufsummiert und die Anteile für alle entsprechenden Anbindungen neu gesetzt. Eine gemeinsame Anbindungslänge wird als gewichtetes Mittel über das Gewichtungsattribut ÖV berechnet und für alle entsprechenden Anbindungen gesetzt.

Für ausländische Zonen oder Zonen ohne Datenpunkte werden keine neuen Anbindungen generiert, sondern die bisherigen Anbindungen (Typnummer = «0») beibehalten.

Im ÖV-Modell wurden zwei zusätzliche Kategorien von singulären Verkehrserzeugern (SVE) mit besonders hoher ÖV-Affinität definiert. Dies sind der Typ 5 für grosse Spitäler (11 Zonen) und der Typ 6 für Universitäten und Hochschulen (30 Zonen). Für diese Zonen und den Zonen mit den Typen 2 bis 4 (Einkauf, Freizeit, Flughäfen, siehe oben), in Summe 100 Zonen, werden manuell Anbindungen und Anbindungsanteile gesetzt (Typnummer = «2», «3», «4», «5» und «6»). Sie ersetzen in den jeweiligen Zonen die automatisch generierten Anbindungen.

Als Gesamtübersicht ergibt sich für die ÖV-Anbindungen folgendes Ergebnis:

Zonen	Anzahl Zonen	Typnummer der Anbindung	Anzahl Anbindungen
Ausland	753	0	1602
Zonen ohne Datenpunkte	0	0	0
Automatisch	7865	1	76728
Manuell			
SVE Einkauf (SINGVE = 2)	19	2	54
SVE Freizeit (SINGVE = 3)	30	3	92
SVE Flughäfen (SINGVE = 4)	8	4	30
SVE Spitäler (SINGVE = 5)	79	5	170
SVE Universität und Hochschulen (SINGVE = 6)	15	6	466
	8718 (von 8718)		79142 (von 79142)

Tabelle 2 Übersicht Zonen und Anbindungen für ÖV

Zur entsprechenden Filterung der Zonen ist ein Zonenattribut (= Ausland, Automatisch und Manuell) erstellt worden.

2.3 Anbindungen Strassengüterverkehr

2.3.1 Eingangsdaten

Ziel ist es, Anbindungen zwischen den Zentroiden der Verkehrszonen und den wichtigsten Quellen und Zielen innerhalb der Zone im Hinblick auf den Strassengüterverkehr (SGV) zu erzeugen. Als Datengrundlage für die Erstellung der neuen SGV-Anbindungen werden die Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) für das Bezugsjahr 2017 und das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) verwendet. Beide Quellen liefern Informationen über die Grösse der Unternehmen (jeweils in Bezug auf die Anzahl der Arbeitsplätze und die Gebäudefläche).

Der STATENT-Datensatz beinhaltet die schweizerischen Arbeitsstätten («institutionelle Einheit») als einzelne Geokoordinatenpunkten, verortet im Landeskoordinatensystem LV95 (CH1903+). Es liegen insgesamt die in Abbildung 4 dargestellten Variablen vor. Der Umfang von 11 Variablen und die Reihenfolge (STATENT_YEAR → NOGA08_CD) der dargestellten Variablen ist bei der Anwendung des Skriptes zur Erstellung der SGV-Anbindungen beizubehalten.

Der STATENT-Datensatz wurde zunächst auf Basis der allgemeinen Systematik der Wirtschaftszweige (NOGA 2008) gewichtet. Konkret wurden erst die einzelne NOGA-Branchen durch ein vom -ARE erstelltes Mapping in vier Grossbranchen aggregiert. Jeder STATENT-Datenpunkt wird dabei über die STATENT-Variable «NOGA08_CD» eine der folgenden vier Grossbranchen mit ihren jeweiligen Gewichtungsfaktoren zugeordnet:²

- Industrial: 6.871
- Trade: 6.495
- Transport: 4.113
- Service: 0

Die STATENT-Variable «EMPSTE» (Anzahl Beschäftigte in Vollzeitäquivalenten) wird anschliessend mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multipliziert. Es entsteht eine für den Güterverkehr mit Blick auf die branchenspezifische Erzeugung von Fahrten schwerer Nutzfahrzeuge relevanzgewichtete Variable «EMPSTE».

Für die Weiterverwendung wird der STATENT-Datensatz gefiltert. Die Filterbedingungen sind «GKODSSCE» = 0 oder 1. Damit werden für die Erstellung der SGV-Anbindungen nur Arbeitsstätten berücksichtigt, für die Gebäudeaußenkoordinaten vorliegen oder die im eidgenössischen Gebäudeidentifikator (EGID) verortet sind (siehe Abbildung 2).

Die Arbeitsstätten werden anschliessend jeweils auf Basis der gewichteten Variable «EMPSTE» auf eine ganze Anzahl an gewichteten Beschäftigten gerundet und aufgesplittet. Das Ziel ist, dass jeder einzelne Punkt die glei-

² Dieses Gewicht ist das Produkt aus zwei Koeffizienten: Ein erster Koeffizient gibt die Anzahl der Fahrten schwerer Nutzfahrzeuge pro Vollzeitäquivalent (Arbeitsplätze, STATENT) an (Koeffizient geschätzt anhand einer linearen Regression unter Verwendung von GTE-Erhebungen mehrerer Jahre, die auf Postleitzahlenebene aggregiert wurden). Der zweite Koeffizient entspricht dem Gewicht, das sich aus der auf Arbeitsplätzen basierenden Regression im Verhältnis zur Regression schwerer Nutzfahrzeuge pro Gebäudefläche (GWR) ergibt (Ensemble Regression).

che Bedeutung hat, da der verwendete Clustering-Algorithmus keine Gewichte berücksichtigen kann. Arbeitsstätten der Grossbranche «Service» werden entsprechend gelöscht. Ergebnis ist ein Datensatz mit einzelverorteten gewichteten Beschäftigten. Es folgt eine Reduktion auf Geokoordinaten.

Das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) wird auf Basis der Gebäudeklasse (GKLAS) gewichtet. Jedem GWR-Datenpunkt wird dabei über die GWR-Variable «GKLAS» eine der folgenden Gewichtungsfaktoren zugeordnet:³

- GKLAS = 1230: 0.3164
- GKLAS = 1251: 0.2194
- GKLAS = 1252: 0.3851
- Sonstige GKLAS: 0

Die GWR-Variable «GAREA» (Gebäudefläche in Quadratmetern) wird anschliessend mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multipliziert. Es entsteht eine gewichtete Variable «GAREA».

Für die Weiterverwendung wird der GWR-Datensatz gefiltert. Die Filterbedingungen sind «GKLAS» = 1230, 1251 oder 1252. Damit werden für die Erstellung der SGV-Anbindungen nur Gebäude der genannten Klassen berücksichtigt. Die Gebäude werden anschliessend jeweils auf Basis der Variable «GAREA» auf eine ganze Anzahl an Quadratmetern an Gebäudefläche gerundet und aufgesplittet. Ergebnis ist ein Datensatz mit einzelverorteten gewichteten Quadratmetern an Gebäudefläche. Es folgt eine Reduktion auf Geokoordinaten.

Abschliessend werden die jeweils angepassten STATENT- und GWR-Datensätze zu einem Datensatz verkettet. Die entstehende Liste von geokodierten Datenpunkten (ca. 32 Mio.) bildet die Grundlage für die Erstellung der SGV-Anbindungen.

2.3.2 Clusteralgorithmus

Die Anwendung des Clusteralgorithmus zur Erstellung der SGV-Anbindungen ist identisch mit der zur Erstellung der PW-Anbindungen (siehe Abschnitt 2.1).

Die vorzugebende Anzahl der Cluster je Zone wird über eine definierte Obergrenze von 30'000 Anbindungen im Untersuchungsgebiet und das Attribut «SE» gebildet, welches die Summe der gewichtungsrelevanten Struktureinheiten (SE) in Form der gewichteten Anzahl der Beschäftigten und Gebäudeflächen in Quadratmetern in einer Zone umfasst. Die 30'000 möglichen Anbindungen werden dabei in Abhängigkeit des SE-Anteils einer Zone an der Gesamtsumme der SE auf die Zonen aufgeteilt. Mindestens werden nach Möglichkeit zwei Cluster und somit mindestens zwei Anbindungen pro Zone gebildet.

Ergebnis des Clusteralgorithmus sind Clusterschwerpunkte mit Geokoordinaten und Informationen über die Clusterzugehörigkeit der Datenpunkte. Auf Basis dieser Zugehörigkeitsinformation wird jedem Clusterschwerpunkt

³ Diese Gewichte sind auch das Produkt zweier Faktoren: Der erste Faktor resultiert aus einer linearen Regression auf der Ebene der Verkehrszonen zwischen der Anzahl der in den GTE-Erhebungen beobachteten Fahrten schwerer Nutzfahrzeuge und der Gesamtfläche pro Gebäudeklasse. Der zweite Faktor gibt das relative Gewicht an, das dieser Regression im Verhältnis zu der mit den STATENT-Daten durchgeführten zugewiesen wurde.

das Gewichtsattribut «SE» mit der Summe aller relevanten Struktureinheiten in den Datenpunkten des Clusters sowie die Zonennummer der Datenpunkte des Clusters zugeordnet.

2.3.3 Generierung der neuen Anbindungen

Die geokodierten Clusterschwerpunkte bilden zusammen mit ausgewählten potenziellen SGV-Anbindungsknoten die Grundlage für die Generierung der neuen SGV-Anbindungen.

☒ Filter verwenden
☐ Komplement

Anzahl: 7	Verknüpfung	Kompl.	Relation	Attribut	Operation	Operand
1	Und	☐	Knoten	ZONE	> Wert	0
2	Und	☐	Knoten	TypNr	Ist enthalten in	3,30,31,32,33,39 ...
3	Und	☒	Knoten	Anbindungsg geeignet	= Wert	Nein
4	Und	☐	Knoten	AnzAktive:Eingangsstrecken	> Wert	0
5	Und	☐	Knoten	AnzAktive:Ausgangsstrecken	> Wert	0
6	Und	☐	Knoten	SumAktive:Ausgangsstrecken\AnzAktive:Ausgangsabbieger	> Wert	0
7	Und	☐	Knoten	SumAktive:Eingangsstrecken\AnzAktive:Eingangsabbieger	> Wert	0

Abbildung 13 Filter für potenzielle SGV-Anbindungsknoten

Eine Liste an potenziellen SGV-Anbindungsknoten wird über einen Knotenfilter aus den im Modell bestehenden Knoten erzeugt. Für den in Abbildung 8 dargestellten Knotenfilter für potenzielle SGV-Anbindungsknoten gelten folgende Ergänzungen:

- Das Attribut „Zone“ markiert, ob die Zone in der sich der Knoten befindet innerhalb der Schweiz liegt. Grundsätzlich kann dieses Attribut auch zur Auswahl von Zonen eingesetzt werden für die keine automatisch generierten Anbindungen gesetzt werden sollen.
- Das Attribut „TypNr“ markiert Knoten, die sich im Hauptverkehrsstrassennetz befinden (Obertyp: Hauptverkehrsstrasse (ao/io)).
- Das Attribut „Anbindungsg geeignet“ markiert Knoten, die trotz Einhaltung der restlichen Bedingungen nicht für Anbindungen geeignet sind. Die markierten Knoten sind identisch mit denen der PW-Anbindungen.
- Aktive Strecken und Abbieger sind jeweils für alle IV-Verkehrssysteme freigegeben.

Die potenziellen SGV-Anbindungsknoten werden durch Knotennummer, Typnummer, Geokoordinaten und Zonennummer beschrieben. Zusätzlich sind sie über das Attribut («DISTINCT:OUTLINKS\TONODENO») mit Informationen über die Knotennummern aller benachbarten Knoten versehen.

Der Anbindungsalgorithmus ermittelt die SGV-Anbindungen je Zone identisch zu den PW-Anbindungen (siehe Abschnitt 2.1). Es wird jeweils geprüft, ob

- ein Mindestabstand von 100m zu bereits gefundenen Anbindungsknoten besteht. Bei Unterschreitung wird die Anbindung auf den erstgefundenen Anbindungsknoten in Distanz > 100m gelegt.
- der potenzielle Anbindungsknoten über nur eine Strecke mit schon gefundenen Anbindungsknoten verbunden ist. Wenn dies der Fall ist, wird die Anbindung auf den erstgefundenen Anbindungsknoten gelegt, der dieses Kriterium nicht erfüllt.

Als Ergebnis des Anbindungsalgorithmus entstehen SGV-Anbindungen mit den Attributen Zonennummer, Knotennummer, Richtung, Typnummer, Verkehrssysteme sowie der Länge als benutzerdefiniertes Attribut «LÄNGE_SGV» und dem Gewichtsattribut als benutzerdefiniertes Attribut «GEWICHT_SGV». Die automatisch generierten SGV-Anbindungen werden mit der Typnummer «3» versehen. Als Anbindungslänge wird die Distanz zwischen Clusterschwerpunkt und Anbindungsknoten gesetzt. In das Gewichtsattribut «GEWICHT_SGV» wird das Attribut «SE» der Clusterschwerpunkte übertragen.

Abschliessend folgt eine Korrektur für die Anbindungsängen und die Gewichtsattribute «GEWICHT_SGV» der Anbindungen, die beim Einlesen in VISUM zusammenfallen. Dies betrifft Anbindungen einer Zone mit identischen Anbindungsknoten und führt zu einer Reduktion der Anzahl der SGV-Anbindungen um ca. 38 %. Dabei wird das Gewichtsattribut «GEWICHT_SGV» entsprechend neu aufsummiert und die Anteile für alle Anbindungen neu gesetzt. Eine gemeinsame Anbindungsänge wird als gewichtetes Mittel über das Gewichtsattribut «GEWICHT_SGV» berechnet und für alle entsprechenden Anbindungen gesetzt.

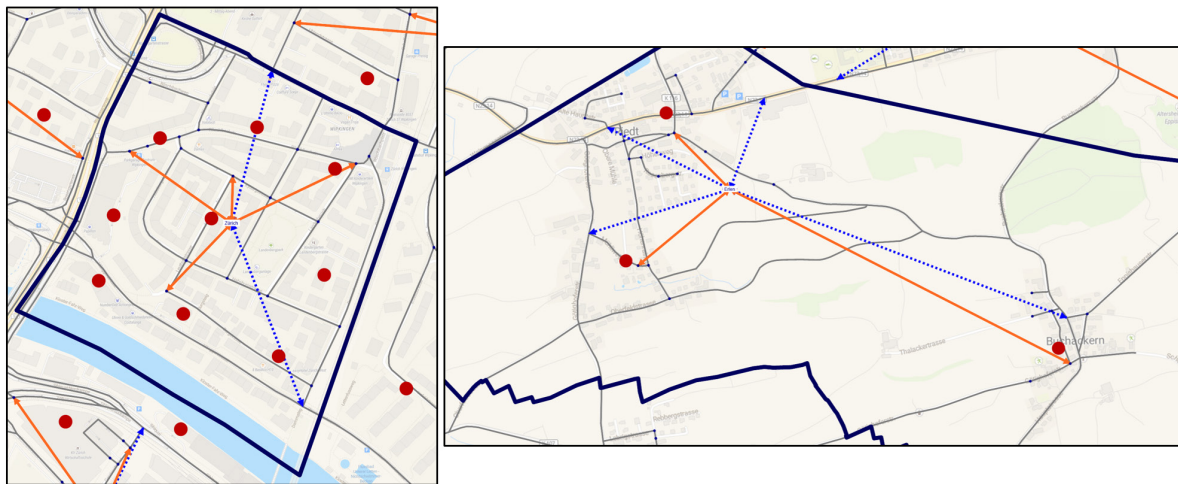


Abbildung 14 Ergebnis SGV-Anbindungserstellung (blau gestrichelt) einer städtischen (links) und ländlichen (rechts) Zone

Für ausländische Zonen werden keine neuen Anbindungen generiert, sondern die bisherigen Anbindungen (Typnummer = «0») beibehalten. Für 15 Zonen (Zonenattribut «ANB_ERSTELLUNG = Manuell_SGV»), u.a. mit singulären Verkehrserzeugern (SVE) speziell für SGV oder Industriezonen, wurden durch das ARE manuell Anbindungen gesetzt (Typnummer = «6»). Sie ersetzen in den jeweiligen Zonen die automatisch generierten Anbindungen. Für 149 Zonen (Zonenattribut «ANB_ERSTELLUNG = Manuell», u.a. mit Einkaufszentren etc.) werden manuell für PW und für SGV gesetzte Anbindungen verwendet (Typnummern «2», «3», «4», «5» und «7»).

Für Zonen ohne generierte SGV-Clusterschwerpunkte und automatischer Anbindungserstellung werden die bestehenden Anbindungen (Typnummer = «1») verwendet. Dies betrifft insgesamt 6 Zonen.

2.4 Verwendung in VISUM

2.4.1 Erstellung der PW- und SGV-Anbindungen

Zur Erstellung der PW- und SGV-Anbindungen wird der Verfahrensablauf der MIV-Umlegungsversion um die Verfahrensschritte in Abbildung 15 erweitert.

▶	☐	Gruppe Automatische	...	13			Automatische Erstellung neuer Anbindungen AUSSCHALTEN (standardmässig aus)
	☐	Skript ausführen	...				
	☐	Gruppe OPTIONAL: A	...	15 - 21			OPTIONAL: Automatische Erstellung neuer Anbindungen
	☐	Alle Filter initialisieren	...				
	☐	Skript ausführen	...				Aufbereitung Datengrundlagen
	☐	Skript ausführen	...				Zuordnung Zonen
	☐	Skript ausführen	...				Berechnung Clusterschwerpunkte (KMeans)
	☐	Skript ausführen	...				Erstellung PW-Anbindungen
	☐	Skript ausführen	...				Erstellung SGV-Anbindungen
	☐	Skript ausführen	...				Finalisierung

Abbildung 15 Verfahrensschritte zur Erstellung der PW- und SGV-Anbindungen

In einer ersten Gruppe wird der Verfahrensschritt 13 ausgeführt, der die nachfolgende Verfahrensgruppe zur Erstellung der neuen Anbindungen im Rückkopplungsprozess mit der Nachfrageversion standardmässig ausschaltet.

In der Verfahrensgruppe zur Erstellung der neuen Anbindungen (Schritte 15-21) werden nach der Initialisierung aller Filter folgende Schritte ausgeführt:

- **Aufbereitung Datengrundlage:** Aus den jeweiligen Datengrundlagen für die Erstellung der PW- und SGV-Anbindungen werden geokodierte Datenpunkte erzeugt (siehe Abschnitte 2.1.1 und 2.3.1). Standardmässig erwartet das Skript die Ablage der Datengrundlagen als unverpackte CSV-Dateien im VISUM-Projektverzeichnis «Befragungsdaten». Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Attributdatei, die eine Liste an geokodierte Datenpunkten beinhaltet.
- **Zuordnung Zonen:** In einem Zwischenschritt werden die geokodierten Datenpunkte als POIs «PW_Datenpunkte (10)» und «SGV_Datenpunkte (11)» in VISUM eingelesen und mit den Zonen verschnitten. Datenpunkten innerhalb einer Zone mit automatischer Anbindungserstellung (ANB_ERSTELLUNG = «Automatisch») wird dabei die Nummer der Zone zugeordnet. Datenpunkte innerhalb einer Zone mit manueller Anbindungserstellung (ANB_ERSTELLUNG = «Manuell» oder «Manuell SGV») wird «0» als Nummer der Zone zugeordnet. Dies erfolgt aus Konsistenzgründen, da grundsätzlich alle Datenpunkte innerhalb des schweizerischen Staatsgebietes als gewichtungsrelevante Struktureinheiten (SE) für die Bestimmung der Anzahl der möglichen Clusterschwerpunkte je Zone im Vorfeld der Berechnung relevant sind (siehe Aufteilung der Anbindungen in Abschnitt 2.1.2). Datenpunkte im Ausland werden entsprechend gelöscht.

Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Attributdatei, die eine Liste an geokodierten Datenpunkten mit zugeordneter Zonennummer beinhaltet. Die in VISUM erstellten POI-Listen werden aus Speicherplatzgründen anschliessend initialisiert.

- **Berechnung Clusterschwerpunkte:** Auf Basis der geokodierten Datenpunkte mit zugeordneter Zonennummer werden die Clusterschwerpunkte je Zone mit Hilfe des K-Means-Algorithmus berechnet (siehe Abschnitte 2.1.2 und 2.3.2). Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Net.-Datei und eine

CSV-Datei, die jeweils die Liste der berechneten geokodierten Clusterschwerpunkte mit zugeordneter Zonennummer und Struktureinheiten (SE) beinhaltet.

Zur Ausführung dieses Verfahrensschrittes muss die Installation der benötigten Python-Bibliothek «scikit-learn» (siehe Abschnitt 2.1.2) unter Beachtung der entsprechenden Abhängigkeiten (siehe Abbildung 6) sichergestellt sein.

- **Erstellung PW-Anbindungen:** In diesem Verfahrensschritt erfolgt zunächst die Ermittlung der möglichen Anbindungsknoten für PW auf Basis eines gewählten Knotenfilters (siehe Abbildung 8). Der Knotenfilter ist nach jeder Netzänderung auf einen weiterhin bestehenden Netzzusammenhang zu prüfen. Bei Bedarf kann hier das Knotenattribut «Anbindungsg geeignet» entsprechend angepasst werden.

Auf Basis der Anbindungsknoten und der Clusterschwerpunkte für PW werden anschliessend die PW-Anbindungen erstellt (siehe Abschnitt 2.1.3). Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Net.-Datei, die eine Anbindungsliste mit den benutzerdefinierten Attributen «LAENGE_PW» und «GEWICHT_PW» beinhaltet. Diese beinhalten die Gewichtsattribute IV und Längen der PW-Anbindungen.

- **Erstellung SGV-Anbindungen:** In diesem Verfahrensschritt erfolgt zunächst die Ermittlung der möglichen Anbindungsknoten für SGV auf Basis eines gewählten Knotenfilters (siehe Abbildung 13). Der Knotenfilter ist nach jeder Netzänderung auf einen weiterhin bestehenden Netzzusammenhang zu prüfen. Bei Bedarf kann hier das Knotenattribut «Anbindungsg geeignet» entsprechend angepasst werden.

Auf Basis der Anbindungsknoten und der Clusterschwerpunkte für SGV werden anschliessend die SGV-Anbindungen erstellt (siehe Abschnitt 2.3.3). Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Net.-Datei, die eine Anbindungsliste mit den benutzerdefinierten Attributen «LAENGE_SGV» und «GEWICHT_SGV» beinhaltet. Diese beinhalten die Gewichtsattribute IV und Anbindungsängen der SGV-Anbindungen.

- **Finalisierung:** Im finalen Verfahrensschritt werden zunächst die Clusterschwerpunkte für PW und SGV als POIs «PW_Clusterschwerpunkte (8)» und «SGV_Clusterschwerpunkte (9)» in VISUM eingelesen und mit den Zonen mit automatischer Anbindungserstellung (ANB_ERSTELLUNG = «Automatisch») verschnitten. Dabei wird die Anzahl an PW- und SGV-Clusterschwerpunkten innerhalb einer Zone in die benutzerdefinierten Zonenattribute «ANZ_CLUSTER_PW» und «ANZ_CLUSTER_SGV» geschrieben. Damit kann differenziert werden, welche Zonen mit automatischer Anbindungserstellung keine PW- und SGV-Clusterschwerpunkte besitzen und wo somit auf bestehende Anbindungen zurückgegriffen werden muss.

Das Einlesen der PW- und SGV-Anbindungen in VISUM erfolgt nacheinander. Zuerst werden für alle Zonen mit automatischer Anbindungserstellung und mit PW- und SGV-Clusterschwerpunkten die bestehenden Anbindungen gelöscht. Anschliessend werden die PW-Anbindungen mit der VISUM-Importoption «Überlesen» eingelesen. Die SGV-Anbindungen werden danach mit der VISUM-Importoption «Attribute überschreiben» ebenfalls eingelesen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass auch bei identischen Anbindungen für PW und SGV ein Übertrag der entsprechenden SGV-Attribute «LAENGE_SGV» und «GEWICHT_SGV» erfolgt. Durch die gewählten Knotenfilter (PW: Nebennetz und SGV: Hauptnetz) für PW- und SGV tritt diese Überschneidung in der bestehenden Version für automatische erstellte Anbindungen nicht auf.

Anzahl: 98,110	BezNr	KnotNr	Richtung	TypNr	VSysSet	Länge	GEWICHT_PW	GEWICHT_SGV	LAENGE_PW	LAENGE_SGV
1	101001	445790	Q		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	179	0	0.101	0.000
2	101001	445790	Z		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	179	0	0.101	0.000
3	101001	446565	Q		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	879	0	0.077	0.000
4	101001	446565	Z		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	879	0	0.077	0.000
5	101001	446638	Q		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	0	405	0.000	0.106
6	101001	446638	Z		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	0	405	0.000	0.106
7	101001	447045	Q		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	0	614	0.000	0.100
8	101001	447045	Z		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	0	614	0.000	0.100
9	101001	447337	Q		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	430	0	0.125	0.000
10	101001	447337	Z		1 LI,LW,LZ,P,P_Mod1,P_Mod2	0.000km	430	0	0.125	0.000

Abbildung 16 Ausschnitt aus kombinierter PW- und SGV-Anbindungsliste

Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine Anbindungsliste in VISUM, welche die benutzerdefinierten Attributen «LAENGE_PW», «GEWICHT_PW», «LAENGE_SGV» und «GEWICHT_SGV» beinhaltet (siehe Abbildung 16).

Die Anbindungsängen und Gewichte werden vor den jeweiligen Umlegungsrechnungen für PW und SGV aus den benutzerdefinierten Attributen «LAENGE_PW» und «GEWICHT_PW» bzw. «LAENGE_SGV» und «GEWICHT_SGV» in die von VISUM für die Umlegung verwendeten Attribute «Länge» und «Gewicht(IV)» übertragen (siehe Abbildung 17). Dadurch wird sichergestellt, dass nur die jeweils für PW oder SGV relevanten Anbindungen samt Gewichten aktiv sind.

Gruppe LKW+QZD-Umlegung	...	59 - 73		LKW+QZD-Umlegung (einmalig)
Init Umlegung	...		IV	
Attribut ändern	...	Strecken - VORBELASTUNG_Umlegung_PW		Vorbelastung Initialisieren
Attribut ändern	...	Anbindungen - Gewicht(IV)		Gewicht LW, LZ
Attribut ändern	...	Anbindungen - Länge		Länge LW, LZ
Attribut ändern	...	Anbindungen - t0-VSys(LW)		LW
Attribut ändern	...	Anbindungen - t0-VSys(LZ)		LZ
IV-Umlegung	...	LW Lastwagen, LZ Lastzug	...	Sukzessivumlegung
Attribut ändern	...	Strecken - VORBELASTUNG_Umlegung_PW		Vorbelastung für QZD-Verkehre setzen
Attribut ändern	...	Anbindungen - Gewicht(IV)		Gewicht PW, LI
Attribut ändern	...	Anbindungen - Länge		Länge PW, LI
Attribut ändern	...	Anbindungen - t0-VSys(P)		PW
Attribut ändern	...	Anbindungen - t0-VSys(LI)		LI
Attribut ändern	...	Anbindungen - t0-VSys(P_Mod1)		P_Mod1
Attribut ändern	...	Anbindungen - t0-VSys(P_Mod2)		P_Mod2
IV-Umlegung	...	PW_QZD PW Aussenverkehr, P_Mod1_QZD P...	Gleichgewichtsumlegung E	PW_QZD, PW_Mod1_QZD, PW_Mod2_QZD

Abbildung 17 LKW+QZD-Umlegung inklusive Verfahrensschritt zur Übertagung der Längen und Gewichte

Auf Bezirksebene wird für alle Zonen innerhalb der Schweiz die Verwendung der Methode «jede einzelne Bezirksbeziehung» für Anbindungsanteile festgelegt.

Als Gesamtübersicht ergibt sich nach der Erstellung der neuen PW- und SGV-Anbindungen in VISUM folgendes Ergebnis:

Zonen	Anzahl Zonen	Typnummer der Anbindung	Anzahl Anbindungen
Ausland	933	0	1772
Zonen ohne Datenpunkte	0	0	0
Automatisch	7801	1	94562
Manuell			
SVE Einkauf (SINGVE = 2)	19	2	126
SVE Freizeit (SINGVE = 3)	30	3	172
SVE Flughäfen (SINGVE = 4)	8	4	96

Sonstige SVE (z.B. Einkaufszentren)	79	5	1152
SVE für SGV (Manuell_SGV)	15	6	172
Anpassung Kalibrierung	13	7	58
8898 (von 8898)			98110 (von 98110)

Tabelle 3 Übersicht Zonen und Anbindungen für PW und SGV

Zur entsprechenden Filterung der Zonen existiert das Zonenattribut «ANB_ERSTELLUNG» (= Ausland, Automatisch, Manuell und Manuell_SGV).

2.4.2 Erstellung der ÖV-Anbindungen

Zur Erstellung der ÖV-Anbindungen wird der Verfahrensablauf der ÖV-Umlegungsversion um Verfahrensschritte gemäss Abbildung 18 erweitert.

	☐ Gruppe Automatische I ...	8		Automatische Erstellung neuer Anbindungen AUSSCHALTEN (standardmässig aus)
	☐ Skript ausführen ...			
	☐ Gruppe OPTIONAL: At ...	10 - 15		OPTIONAL: Automatische Erstellung neuer Anbindungen
	☐ Alle Filter initialisieren ...			
	☐ Skript ausführen ...			Aufbereitung Datengrundlagen
	☐ Skript ausführen ...			Zuordnung Zonen
	☐ Skript ausführen ...			Berechnung Clusterschwerpunkte (KMeans)
	☐ Skript ausführen ...			Erstellung ÖEV-Anbindungen
	☐ Skript ausführen ...			Finalisierung

Abbildung 18 Verfahrensschritte zur Erstellung der ÖV-Anbindungen

In einer ersten Gruppe wird der Verfahrensschritt 8 ausgeführt, der die nachfolgende Verfahrensgruppe zur Erstellung der neuen Anbindungen im Rückkopplungsprozess mit der Nachfrageversion standardmässig ausschaltet.

In der Verfahrensgruppe zur Erstellung der neuen Anbindungen (Schritte 10-15) werden nach der Initialisierung aller Filter folgende Schritte ausgeführt:

- **Aufbereitung Datengrundlage:** Aus den jeweiligen Datengrundlagen für die Erstellung der ÖV-Anbindungen werden geokodierte Datenpunkte erzeugt (siehe Abschnitte 2.2.1). Standardmässig erwartet das Skript die Ablage der Datengrundlagen als unverpackte CSV-Dateien im VISUM-Projektverzeichnis «Befragungsdaten». Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Attributdatei, die eine Liste an geokodierten Datenpunkten beinhaltet.
- **Zuordnung Zonen:** In einem Zwischenschritt werden die geokodierten Datenpunkte als POIs «ÖEV_Datenpunkte (6)» in VISUM eingelesen und mit den Zonen verschnitten. Datenpunkten innerhalb einer Zone mit automatischer Anbindungserstellung (ANB_ERSTELLUNG = «Automatisch») wird dabei die Nummer der Zone zugeordnet. Datenpunkten innerhalb einer Zone mit manueller Anbindungserstellung (ANB_ERSTELLUNG = «Manuell») wird «0» als Nummer der Zone zugeordnet. Dies erfolgt aus Konsistenzgründen, da grundsätzlich alle Datenpunkte innerhalb des schweizerischen Staatsgebietes als gewichtungsrelevante Struktureinheiten (SE) für die Bestimmung der Anzahl der möglichen Clusterschwerpunkte je Zone im Vorfeld der Berechnung relevant sind (siehe Aufteilung der Anbindungen in Abschnitt 2.2.2). Datenpunkte im Ausland werden entsprechend gelöscht.

Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Attributdatei, die eine Liste an geokodierten Datenpunkten mit zugeordneter Zonennummer beinhaltet. Die in VISUM erstellten POI-Listen werden aus Speicherplatzgründen anschliessend initialisiert.

- **Berechnung Clusterschwerpunkte:** Auf Basis der geokodierten Datenpunkte mit zugeordneter Zonennummer werden die Clusterschwerpunkte je Zone mit Hilfe des K-Means-Algorithmus berechnet (siehe Abschnitt 2.2.2). Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Net.-Datei und eine CSV-Datei, die jeweils die Liste der berechneten geokodierten Clusterschwerpunkten mit zugeordneter Zonennummer und Struktureinheiten (SE) beinhaltet.

Zur Ausführung dieses Verfahrensschrittes muss die Installation der benötigten Python-Bibliothek «scikit-learn» (siehe Abschnitt 2.1.2) unter Beachtung der entsprechenden Abhängigkeiten (siehe Abbildung 6) sichergestellt sein.

- **Erstellung ÖV-Anbindungen:** In diesem Verfahrensschritt erfolgt zunächst die Ermittlung der möglichen Anbindungsknoten für ÖV auf Basis des gewählten Knotenfilters (siehe Abbildung 11).

Auf Basis der Anbindungsknoten und der Clusterschwerpunkte für ÖV werden anschliessend die ÖV-Anbindungen erstellt (siehe Abschnitt 2.2.3). Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine VISUM-Net.-Datei, die eine Anbindungsliste mit den Gewichtsattributen ÖV und Anbindungslängen der ÖV-Anbindungen beinhaltet.

- **Finalisierung:** Im finalen Verfahrensschritt werden zunächst die Clusterschwerpunkte für ÖV als POIs «OEV_Clusterschwerpunkte (5)» in VISUM eingelesen und mit den Zonen mit automatischer Anbindungserstellung (ANB_ERSTELLUNG = «Automatisch») verschnitten. Dabei wird die Anzahl an ÖV-Clusterschwerpunkten innerhalb einer Zone in das benutzerdefinierte Zonenattribut «ANZ_CLUSTER_OEV» geschrieben. Damit kann differenziert werden, welche Zonen mit automatischer Anbindungserstellung keine OEV-Clusterschwerpunkte besitzen und wo somit auf bestehende Anbindungen zurückgegriffen werden muss.

Zum Einlesen der OEV-Anbindungen in VISUM werden zuerst für alle Zonen mit automatischer Anbindungserstellung und mit PW- und SGV-Clusterschwerpunkten die bestehenden Anbindungen gelöscht. Anschliessend werden die ÖV-Anbindungen mit der VISUM-Importoption «Überlesen» eingelesen.

Anzahl: 79,142	BezNr	KnotNr	Richtung	TypNr	VSysSet	Länge	Gewicht(ÖV)
1	101001	38502771	Q		1 F	0.159km	1623
2	101001	38502771	Z		1 F	0.159km	1623
3	101001	38503697	Q		1 F	0.077km	430
4	101001	38503697	Z		1 F	0.077km	430
5	101001	38573717	Q		1 F	0.176km	107
6	101001	38573717	Z		1 F	0.176km	107
7	101001	38573732	Q		1 F	0.081km	164
8	101001	38573732	Z		1 F	0.081km	164
9	101001	38573733	Q		1 F	0.146km	388
10	101001	38573733	Z		1 F	0.146km	388

Abbildung 19 Ausschnitt aus kombinierter PW- und SGV-Anbindungsliste

Als Ergebnis dieses Verfahrensschrittes entsteht eine Anbindungsliste in VISUM mit gesetzten Anbindungslänge und ÖV-Anbindungsgewichten (siehe Abbildung 16).

Für die automatisch erstellten ÖV-Anbindungen ist hinsichtlich Anbindungsgewichten zu beachten, dass im ÖV je Clusterschwerpunkt mehrere Anbindungen erstellt werden. Die Aufteilungen der gewichtsrelevanten Struktureinheiten (SE) auf diesen Anbindungen eines Clusterschwerpunktes wird nicht ermittelt, sodass das Gewicht eines Clusterschwerpunktes auf alle Anbindungen dieses Clusterschwerpunktes äquivalent wirkt.

2.4.3 Zusätzliche Hinweise

Die aufgeführten Verfahrensschritte für die Erstellung der PW-, SGV- und ÖV-Anbindungen greifen zum Einlesen der Datengrundlagen sowie zum Schreiben und Einlesen der Zwischenergebnisse (wie z.B. Attribut- oder Net.-Dateien) auf die VISUM-Projektverzeichnisse «Attribute», «Netz» und «Befragungsdaten» zu. Eine entsprechende Zugriffsmöglichkeit von VISUM auf diese Verzeichnisse ist bei Verwendung der Verfahrensschritte im Vorfeld sicherzustellen.

Zur detaillierteren Dokumentation sind die jeweiligen Skripte innerhalb der Verfahrensschritte zusätzlich kommentiert (siehe Abbildung 20).

Skript ausführen

Skript-Umgebung: Python 3.9

☐ Skript-Datei angeben

☒ Skript-Code direkt eingeben:

```
import pandas as pd
import numpy as np

#####
# Functions (Einzelne Verfahrensschritte)
# Ergebnisse der einzelnen Verfahrensschritte werden jeweils exportiert und bei Bedarf an entsprechender Stelle wieder importiert
#####

def CA_Einlesen_Einzeln():
    '''
    Vorbereitung der OEV-Datengrundlagen fuer das Einlesen in VISUM als POIs
    '''

    #####
    ##### **Eingangsdaten/Variablen**
    #####
    FILE_NAME_STATPOP_LIST = r"STATPOP_2017_new.csv"
    FILE_NAME_STATENT_LIST = r"DSV-210821-STATENT_2017.csv"
    FILE_NAME_POIS = r"OEV-Datenpunkte" # Name muss identisch mit der entsprechenden VISUM-POI-Kategorie sein
    POI_CATEGORY = 6 # Nummer muss identisch mit der entsprechenden VISUM-POI-Kategorie sein

    #####
    ##### Einlesen der Datensätze als CSV (aus Ordner Befragungsdaten)
    #####
```

Abbildung 20 Beispiel der Kommentierung innerhalb der Skripte

3 Weiterentwicklung Velo

Die Weiterentwicklungen des NPVM zur verbesserten Abbildung des Veloverkehrs betreffen beide Ebenen:

- das Nachfragemodell;
- das Velo-Umlegungsmodell.

Die Arbeiten umfassen einerseits eine differenziertere Segmentierung des Veloverkehrs (hinsichtlich der abgebildeten Modi und der unterschiedlichen Parametrisierung nach Fahrtzwecken), und andererseits eine detailliertere Abbildung des Routenwahlverhaltens bzw. der dieses beeinflussenden Widerstandskomponenten.

Es ergeben sich somit drei Arbeitsschritte:

- Einbau des neuen Modus "E-Bike" ins Nachfrage- und Umlegungsmodell;
- Anpassung der Widerstandsfunktion im Umlegungsmodell;
- Differenzierung der Routenwahl-Streuung und somit der Kenngrößen nach den Fahrtzwecken "Pflicht" (Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt) und "übrige" im Umlegungs- und Nachfragemodell.

3.1 Neuer Modus "E-Bike"

Sowohl im Nachfrage- als auch im Velo-Umlegungsmodell ist neu ein zusätzlicher Modus "E-Bike" enthalten. Dessen Modal-Split-Anteil wurde aus dem MZMV 2015 abgeleitet und anteilmässig vom (bei der Etablierung des NPVM gegenüber dem MZMV modifizierten) Modal Split des bisherigen Modus "Velo" abgesplittet. Tabelle 4 zeigt die resultierenden neuen Modal-Split-Anteile (nach Quelle-Ziel-Gruppen), welche im Analysezustand des Nachfragemodells hinterlegt sind. Die Anteile des E-Bike bezogen auf die Wegeaufkommen aller Modi liegen hierbei grösstenteils unter 1%, im Split zwischen Velo und E-Bike macht das E-Bike 7% aus.

Der neue Modus wurde im Nachfragemodell eingefügt und dessen Parametrisierung vom Velo übernommen. Zusätzlich wurden die neu entstehenden Kenngrössenmatrizen (cf. Abschnitt 3.3) sowie die Besitzrate (cf. Abschnitt 3.4) berücksichtigt.

Im Velo-Umlegungsmodell wurde ebenfalls ein neuer Modus "E-Bike" definiert und die Netzattributierung zunächst vom Velo übernommen. Anschliessend wurden fahrtzweck- und modusspezifische Widerstandsfunktionen definiert (cf. Abschnitt 3.2).

Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)	Modal-Split-Anteil [%]				
	Fuss	Velo	E-Bike	MIV	ÖV
W_A(A)	12.9	12.0	0.9	49.4	24.8
W_A(SK)	15.0	9.7	0.8	59.4	15.1
W_B(S)	52.1	16.1	0.2	7.5	24.1
W_B(U)	11.5	14.7	0.7	16.3	56.8
W_E(k)	37.5	6.7	0.6	45.3	9.9
W_E(l)	21.4	5.8	0.6	59.9	12.3
W_N	12.1	5.7	1.6	63.6	16.9
W_Bg(K)	36.0	3.4	0.8	56.0	3.7
W_F(k)	46.3	8.8	0.6	37.3	7.0
W_F(l)	2.4	6.3	0.8	69.5	21.0
A(A)_W	13.6	12.2	0.9	49.6	23.7
A(SK)_W	16.2	10.2	0.6	59.8	13.2
B(S)_W	54.2	16.3	0.2	5.9	23.5
B(U)_W	13.2	10.2	0.4	19.4	56.8
E(k)_W	35.6	7.4	0.8	47.2	9.0
E(l)_W	20.5	6.3	0.9	59.1	13.2
N_W	12.4	5.0	1.2	66.3	15.1
Bg(K)_W	36.4	3.7	0.8	55.4	3.7
F(k)_W	43.3	8.8	0.6	39.5	7.8
F(l)_W	2.0	6.3	0.6	69.3	21.8
A_S	13.8	3.9	0.8	65.4	16.1
S_A	14.3	3.4	1.0	70.6	10.7
A_E(k)F(k)	46.0	6.2	0.5	36.3	11.0
E(k)F(k)_A	59.6	4.3	0.2	30.5	5.4
E(k)F(k)_E(k)F(k)	46.1	4.5	0.5	41.6	7.3
S_S	32.8	4.0	0.4	50.6	12.2
Total	32.4	7.7	0.6	45.8	13.4

Tabelle 4 Modal-Split Anteile nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)

3.2 Anpassung der Widerstandsfunktionen

Seit der Erstellung des NPVM konnten im Rahmen verschiedener kantonaler Modelle Erfahrungen bezüglich einer optimierten Parametrisierung der Velo-Umlegung gemacht werden. Beispielsweise konnte mit einer weniger stark negativen Bewertung grosser Steigungen eine bessere Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den Zählwerten erzielt werden, so dass diese hier auch übernommen wird. So konnte eine Funktion konzipiert werden, welche die Streckenwiderstände in Abhängigkeit vom Streckentyp (im NPVM aufgrund der fehlenden Grundlage zur umfassenden Netzattributierung noch nicht enthalten), von der Steigung und von der MIV-Belastung⁴ abbildet. Siehe dazu auch Abbildung 21 (Steigung) und Abbildung 22 (MIV-Belastung), welche jeweils den Vergleich zwischen der bisher im NPVM verwendeten Widerstandsfunktion und der neuen enthalten.

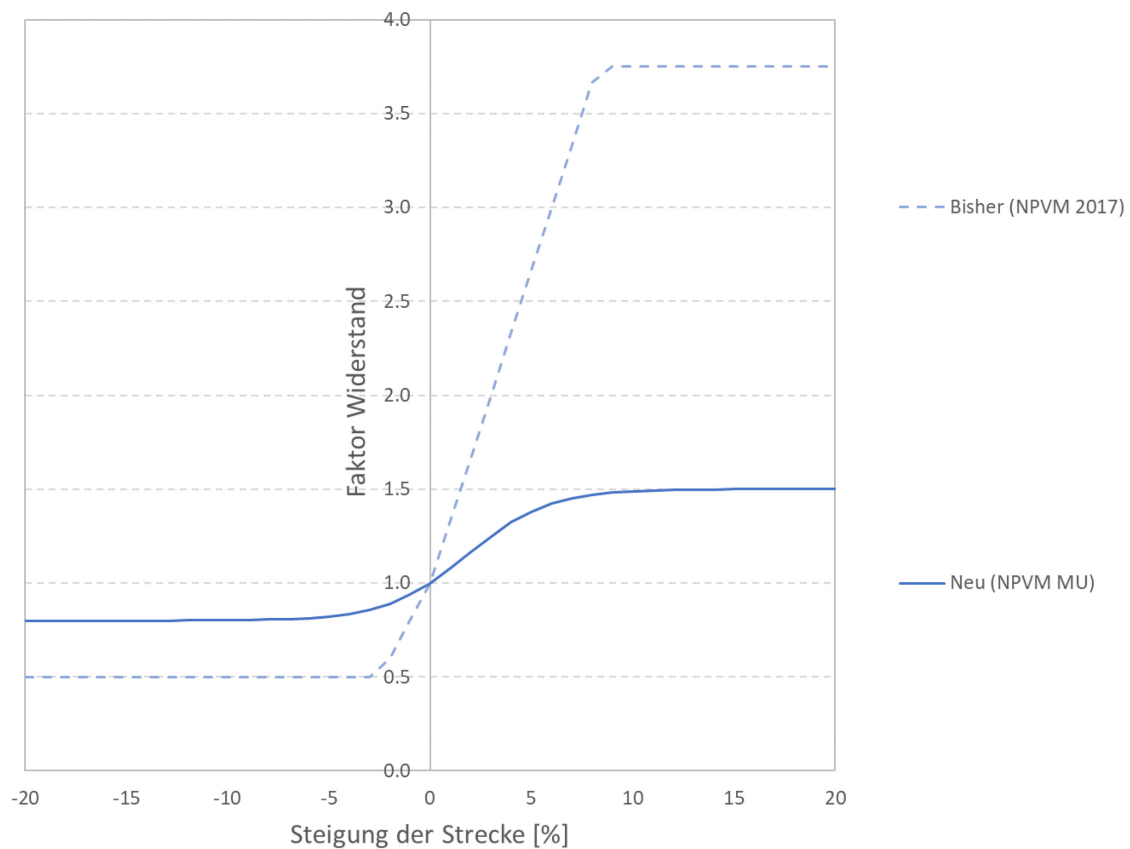


Abbildung 21 Streckenwiderstand für Velos im Umlegungsmodell: Abhängigkeit von der Steigung

⁴ Für die Abschätzung der Velo-Nachfrage besteht über die MIV-Belastung eine Abhängigkeit zur (iterierenden) Nachfrage im IV. Die MIV-Belastung wird allerdings nicht mit jeder Iteration ins Velo-Umlegungsmodell übertragen. Zur Ermittlung des Velo-Widerstands wurde initial die MIV-Belastung aus dem etablierten NPVM übernommen und anschliessend unverändert belassen.

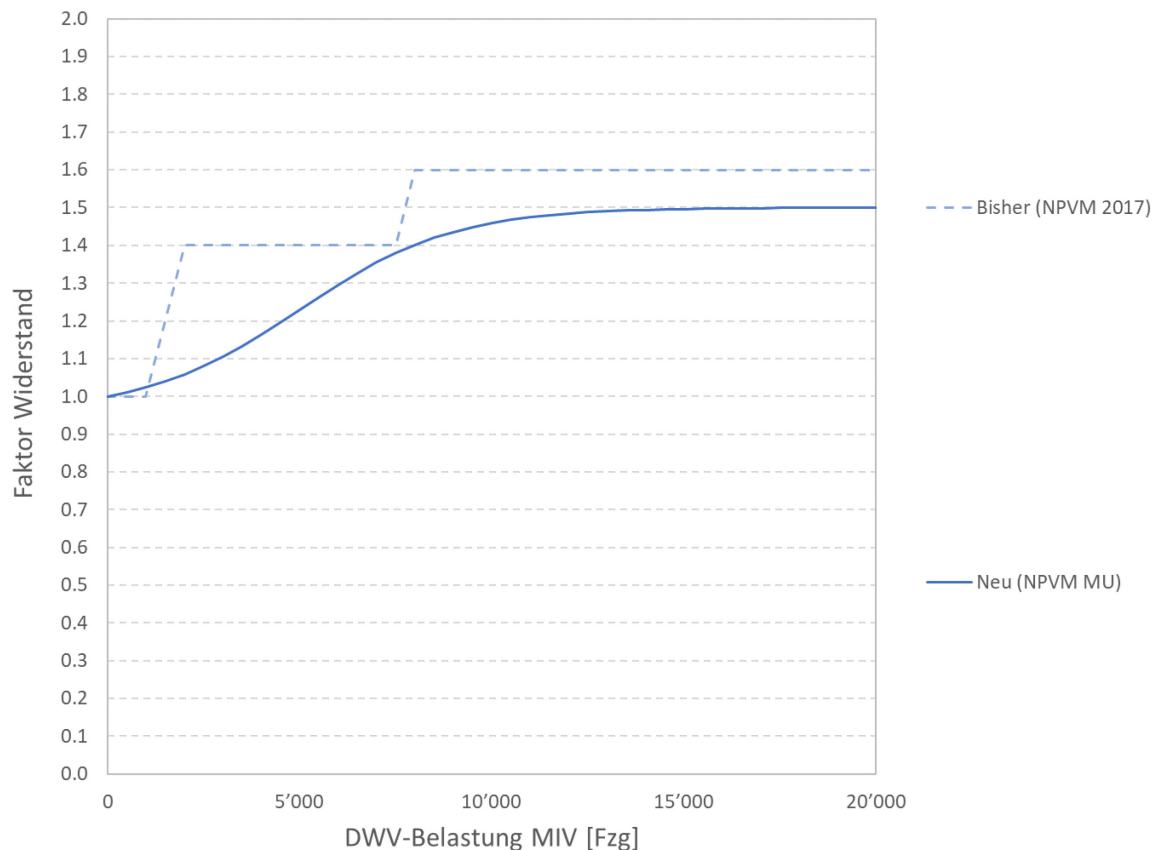


Abbildung 22 Streckenwiderstand für Velos im Umlegungsmodell: Abhängigkeit von der MIV-Lastung

Die Widerstände für Velo und E-Bike sind im Umlegungsmodell als benutzerdefinierte Streckenattribute hinterlegt, welche abhängig von den beeinflussenden Merkmalen automatisch aktualisiert werden. Der Widerstand einer Route ergibt sich aus der Summe der Widerstände der einzelnen befahrenen Strecken (cf. Abbildung 23 für den Modus Velo).

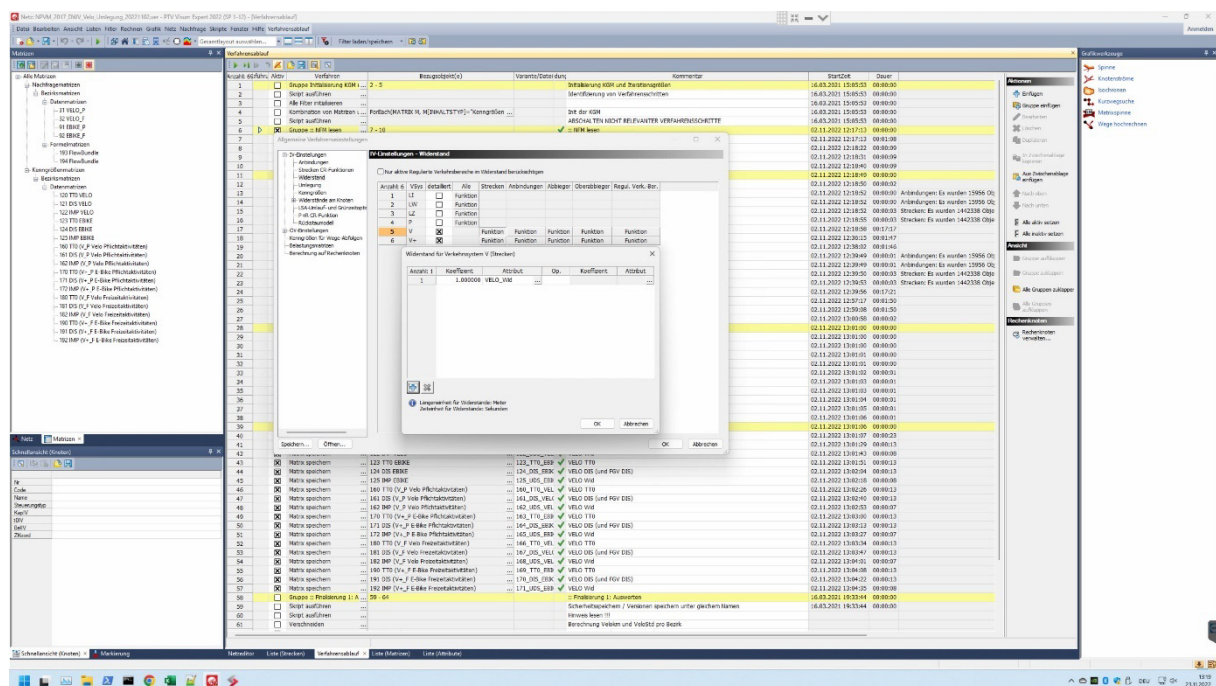


Abbildung 23 Widerstandsrechnung Velo im Umlegungsmodell

Die Implementierung der Widerstände erlaubt eine flexible Gestaltung und Aktualisierung der Funktionen, z.B. hinsichtlich des Einbaus von eventuellen zukünftig aus empirischen Daten hergeleiteten fahrtzweckspezifischen Parametern.

Die neue Setzung der Widerstandsfunktionen und Parametrisierung der stochastischen Umlegung bewirkt Veränderungen der Kenngrößenmatrizen. Hier wird wie bis anhin nicht die reine Fahrtzeit, sondern der gesamte Widerstand, ausgeschrieben und im Nachfragemodell verwendet. So wirken sich die oben beschriebenen Änderungen bei der Berechnung der Widerstandskomponenten wie bis anhin auf die Routen- und auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl aus.

3.3 Differenzierung nach Fahrtzwecken

Basierend auf der Annahme, dass für Freizeitwege die Fahrtzeit, bzw. der aus dem Netz abgeleitete Widerstand, für die Wahl der Route weniger relevant ist als für Pflichtaktivitäten (hier die Fahrtzwecke Arbeit, Ausbildung, Einkauf und Nutzfahrt) und es somit mehr unbeobachtete Verhaltensunterschiede gibt, wird die Streuung bei der stochastischen Umlegung für Freizeitwege erhöht.⁵ Abbildung 24 zeigt die Parametrisierung der stochastischen Velo- und E-Bike-Umlegung für beide Zwecke. Die unterschiedlichen β -Parameter bewirken hier, dass die Routenwahl bei Pflichtwegen etwas deterministischer erfolgt (d.h., Widerstandsdifferenzen stärker bewertet werden) als bei den übrigen Wegen.

Abbildung 24 Parametrisierung der stochastischen Velo- und E-Bike-Umlegung für Pflicht- und übrige Aktivitäten

⁵ Für die Velo-Routenwahl im Freizeitverkehr wichtige Faktoren, wie z.B. der Reiz naturnahe Strecken mit Erholungscharakter zu nutzen, sind im NPVM bisher nicht berücksichtigt. Über die angenommene höhere Streuung bei der Umlegung werden auch Strecken mit höherem Widerstand (also höherer Steigung und/oder höherer MIV-Belastung) vermehrt gewählt. Da bisher keine freizeit-spezifischen Streckenattribute vorhanden sind, werden die vorhandenen Attribute als Proxy genutzt. Realistischer wäre die explizite Attributierung genannter Faktoren mit Wirkung auf Freizeitwege sowie die damit verbundene fahrtzweckspezifische Bewertung über z.B. sinkende Gesamtwiderstände.

Aus der entsprechenden Umlegung werden neue Kenngrössenmatrizen abgeleitet, welche wiederum in die Nachfrageberechnung einfließen. Anstatt wie bisher einer Kenngrössenmatrix (Fahrzeit Velo) entstehen neuerdings vier (Widerstände für Velo und E-Bike, jeweils differenziert nach Pflicht- und übrigen Aktivitäten). Deren Einbezug ins Nachfragemodell bedingt auch dort eine Aufsplittung (Vervierfachung) der Kenngrössen- und Nachfragematrizen (Abbildung 25). Letztere werden wiederum separat ins Umlegungsmodell eingelesen und dort auch separat umgelegt (Abbildung 26).

Abbildung 25 Matrixliste Nachfragemodell

Netz KPMV_NW1_DWV_Velo_Umlegung_20220531-ver1 - PTV Visum Expert 2022 - [Liste (Matrizen)]

Datei Bearbeiten Ansicht Listen Filter Rechner Grafik Netz Nachfrage Sample Fenster Hilfe Liste (Matrizen)

Filter laden/speichern

Matrizen

Liste (Matrizen)

Alle Matrizen

- Nachfragegeneration
 - Bestimmungsmatrix
 - Datenmatrizen
 - 31 VELO_P
 - 32 VELO_P
 - 33 VELO_P
 - 34 VELO_P
 - 35 VELO_P
 - 36 VELO_P
 - 37 VELO_P
 - 38 VELO_P
 - 39 VELO_P
 - 40 VELO_P
 - 41 VELO_P
 - 42 VELO_P
 - 43 VELO_P
 - 44 VELO_P
 - 45 VELO_P
 - 46 VELO_P
 - 47 VELO_P
 - 48 VELO_P
 - 49 VELO_P
 - 50 VELO_P
 - 51 VELO_P
 - 52 VELO_P
 - 53 VELO_P
 - 54 VELO_P
 - 55 VELO_P
 - 56 VELO_P
 - 57 VELO_P
 - 58 VELO_P
 - 59 VELO_P
 - 60 VELO_P
 - 61 VELO_P
 - 62 VELO_P
 - 63 VELO_P
 - 64 VELO_P
 - 65 VELO_P
 - 66 VELO_P
 - 67 VELO_P
 - 68 VELO_P
 - 69 VELO_P
 - 70 VELO_P
 - 71 VELO_P
 - 72 VELO_P
 - 73 VELO_P
 - 74 VELO_P
 - 75 VELO_P
 - 76 VELO_P
 - 77 VELO_P
 - 78 VELO_P
 - 79 VELO_P
 - 80 VELO_P
 - 81 VELO_P
 - 82 VELO_P
 - 83 VELO_P
 - 84 VELO_P
 - 85 VELO_P
 - 86 VELO_P
 - 87 VELO_P
 - 88 VELO_P
 - 89 VELO_P
 - 90 VELO_P
 - 91 VELO_P
 - 92 VELO_P
 - 93 VELO_P
 - 94 VELO_P
 - 95 VELO_P
 - 96 VELO_P
 - 97 VELO_P
 - 98 VELO_P
 - 99 VELO_P
 - 100 VELO_P
 - 101 VELO_P
 - 102 VELO_P
 - 103 VELO_P
 - 104 VELO_P
 - 105 VELO_P
 - 106 VELO_P
 - 107 VELO_P
 - 108 VELO_P
 - 109 VELO_P
 - 110 VELO_P
 - 111 VELO_P
 - 112 VELO_P
 - 113 VELO_P
 - 114 VELO_P
 - 115 VELO_P
 - 116 VELO_P
 - 117 VELO_P
 - 118 VELO_P
 - 119 VELO_P
 - 120 VELO_P
 - 121 VELO_P
 - 122 VELO_P
 - 123 VELO_P
 - 124 VELO_P
 - 125 VELO_P
 - 126 VELO_P
 - 127 VELO_P
 - 128 VELO_P
 - 129 VELO_P
 - 130 VELO_P
 - 131 VELO_P
 - 132 VELO_P
 - 133 VELO_P
 - 134 VELO_P
 - 135 VELO_P
 - 136 VELO_P
 - 137 VELO_P
 - 138 VELO_P
 - 139 VELO_P
 - 140 VELO_P
 - 141 VELO_P
 - 142 VELO_P
 - 143 VELO_P
 - 144 VELO_P
 - 145 VELO_P
 - 146 VELO_P
 - 147 VELO_P
 - 148 VELO_P
 - 149 VELO_P
 - 150 VELO_P
 - 151 VELO_P
 - 152 VELO_P
 - 153 VELO_P
 - 154 VELO_P
 - 155 VELO_P
 - 156 VELO_P
 - 157 VELO_P
 - 158 VELO_P
 - 159 VELO_P
 - 160 VELO_P
 - 161 VELO_P
 - 162 VELO_P
 - 163 VELO_P
 - 164 VELO_P
 - 165 VELO_P
 - 166 VELO_P
 - 167 VELO_P
 - 168 VELO_P
 - 169 VELO_P
 - 170 VELO_P
 - 171 VELO_P
 - 172 VELO_P
 - 173 VELO_P
 - 174 VELO_P
 - 175 VELO_P
 - 176 VELO_P
 - 177 VELO_P
 - 178 VELO_P
 - 179 VELO_P
 - 180 VELO_P
 - 181 VELO_P
 - 182 VELO_P
 - 183 VELO_P
 - 184 VELO_P
 - 185 VELO_P
 - 186 VELO_P
 - 187 VELO_P
 - 188 VELO_P
 - 189 VELO_P
 - 190 VELO_P
 - 191 VELO_P
 - 192 VELO_P
 - 193 VELO_P
 - 194 VELO_P
 - 195 VELO_P
 - 196 VELO_P
 - 197 VELO_P
 - 198 VELO_P
 - 199 VELO_P
 - 200 VELO_P
 - 201 VELO_P
 - 202 VELO_P
 - 203 VELO_P
 - 204 VELO_P
 - 205 VELO_P
 - 206 VELO_P
 - 207 VELO_P
 - 208 VELO_P
 - 209 VELO_P
 - 210 VELO_P
 - 211 VELO_P
 - 212 VELO_P
 - 213 VELO_P
 - 214 VELO_P
 - 215 VELO_P
 - 216 VELO_P
 - 217 VELO_P
 - 218 VELO_P
 - 219 VELO_P
 - 220 VELO_P
 - 221 VELO_P
 - 222 VELO_P
 - 223 VELO_P
 - 224 VELO_P
 - 225 VELO_P
 - 226 VELO_P
 - 227 VELO_P
 - 228 VELO_P
 - 229 VELO_P
 - 230 VELO_P
 - 231 VELO_P
 - 232 VELO_P
 - 233 VELO_P
 - 234 VELO_P
 - 235 VELO_P
 - 236 VELO_P
 - 237 VELO_P
 - 238 VELO_P
 - 239 VELO_P
 - 240 VELO_P
 - 241 VELO_P
 - 242 VELO_P
 - 243 VELO_P
 - 244 VELO_P
 - 245 VELO_P
 - 246 VELO_P
 - 247 VELO_P
 - 248 VELO_P
 - 249 VELO_P
 - 250 VELO_P
 - 251 VELO_P
 - 252 VELO_P
 - 253 VELO_P
 - 254 VELO_P
 - 255 VELO_P
 - 256 VELO_P
 - 257 VELO_P
 - 258 VELO_P
 - 259 VELO_P
 - 260 VELO_P
 - 261 VELO_P
 - 262 VELO_P
 - 263 VELO_P
 - 264 VELO_P
 - 265 VELO_P
 - 266 VELO_P
 - 267 VELO_P
 - 268 VELO_P
 - 269 VELO_P
 - 270 VELO_P
 - 271 VELO_P
 - 272 VELO_P
 - 273 VELO_P
 - 274 VELO_P
 - 275 VELO_P
 - 276 VELO_P
 - 277 VELO_P
 - 278 VELO_P
 - 279 VELO_P
 - 280 VELO_P
 - 281 VELO_P
 - 282 VELO_P
 - 283 VELO_P
 - 284 VELO_P
 - 285 VELO_P
 - 286 VELO_P
 - 287 VELO_P
 - 288 VELO_P
 - 289 VELO_P
 - 290 VELO_P
 - 291 VELO_P
 - 292 VELO_P
 - 293 VELO_P
 - 294 VELO_P
 - 295 VELO_P
 - 296 VELO_P
 - 297 VELO_P
 - 298 VELO_P
 - 299 VELO_P
 - 300 VELO_P
 - 301 VELO_P
 - 302 VELO_P
 - 303 VELO_P
 - 304 VELO_P
 - 305 VELO_P
 - 306 VELO_P
 - 307 VELO_P
 - 308 VELO_P
 - 309 VELO_P
 - 310 VELO_P
 - 311 VELO_P
 - 312 VELO_P
 - 313 VELO_P
 - 314 VELO_P
 - 315 VELO_P
 - 316 VELO_P
 - 317 VELO_P
 - 318 VELO_P
 - 319 VELO_P
 - 320 VELO_P
 - 321 VELO_P
 - 322 VELO_P
 - 323 VELO_P
 - 324 VELO_P
 - 325 VELO_P
 - 326 VELO_P
 - 327 VELO_P
 - 328 VELO_P
 - 329 VELO_P
 - 330 VELO_P
 - 331 VELO_P
 - 332 VELO_P
 - 333 VELO_P
 - 334 VELO_P
 - 335 VELO_P
 - 336 VELO_P
 - 337 VELO_P
 - 338 VELO_P
 - 339 VELO_P
 - 340 VELO_P
 - 341 VELO_P
 - 342 VELO_P
 - 343 VELO_P
 - 344 VELO_P
 - 345 VELO_P
 - 346 VELO_P
 - 347 VELO_P
 - 348 VELO_P
 - 349 VELO_P
 - 350 VELO_P
 - 351 VELO_P
 - 352 VELO_P
 - 353 VELO_P
 - 354 VELO_P
 - 355 VELO_P
 - 356 VELO_P
 - 357 VELO_P
 - 358 VELO_P
 - 359 VELO_P
 - 360 VELO_P
 - 361 VELO_P
 - 362 VELO_P</

Abbildung 26 Matrixliste Velo-Umlegungsmodell

Die Verfahrensabläufe beider Modelle wurden entsprechend den so entstandenen neuen Bedürfnissen angepasst.

Abbildung 27 zeigt die entsprechenden Verfahrensschritte in der Umlegungsversion auf: in der Gruppe "Umlegung" werden die stochastischen Umlegungen für beide Fahrtzweckgruppen berechnet und in der Gruppe "Kenngrößen berechnen" daraus die Kenngrößenmatrizen gewonnen, welche anschliessend für die Weiterverwendung im Nachfragemodell in der Gruppe "KGM schreiben" auf die Festplatte gespeichert werden.

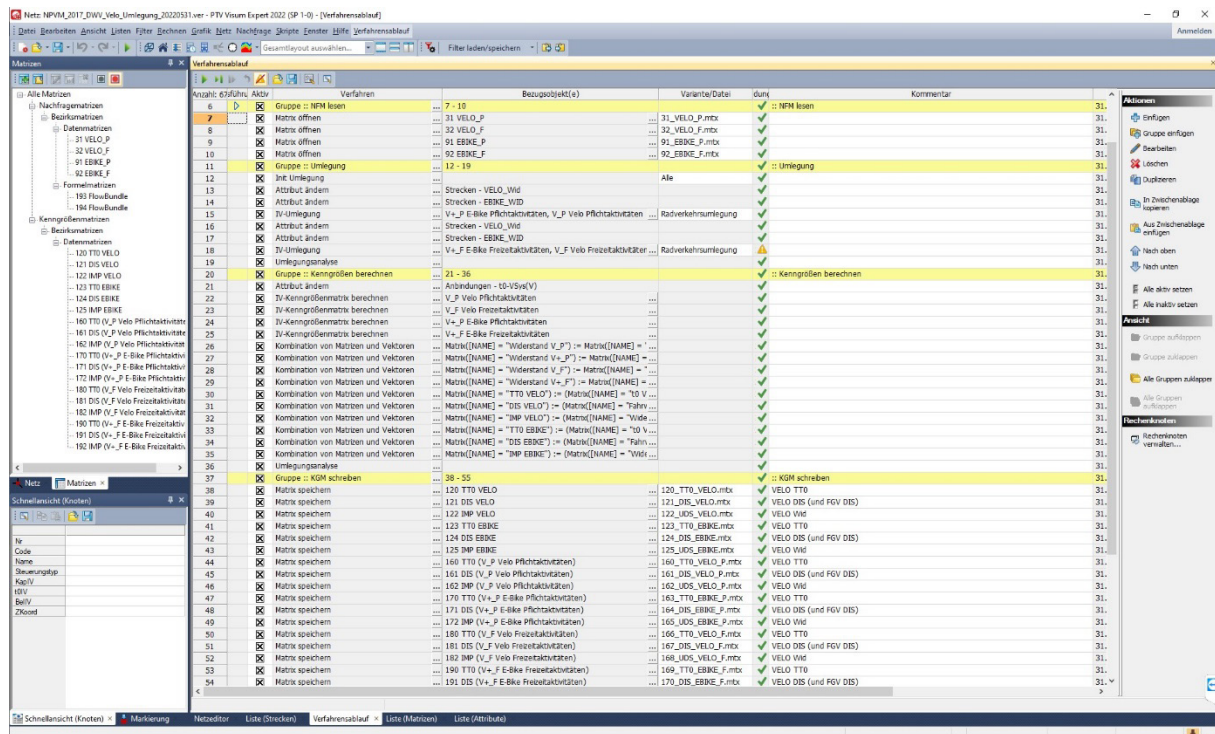


Abbildung 27 Umlegungsmodell Velo: Verfahrensschritte für Widerstandsberechnung und stochastische Umlegung

Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen die gegenüber der Etablierung des NPVM zunehmende Komplexität des Verfahrensablaufs im Nachfragemodell:

- Zunächst werden die aus der Umlegung gewonnenen fahrtzweckspezifischen Kenngrößen eingelesen (Abbildung 28).
- Anschliessend werden diese, wie die übrigen Kenngrößenmatrizen auch, bearbeitet (Symmetrisierung, Setzen der Diagonale; Abbildung 29).
- Schliesslich werden daraus die für die Bewertung benötigten raumtypspezifischen Kenngrößen erzeugt (Abbildung 30).
- Diese fahrtzweck- und raumtypspezifischen Kenngrößenmatrizen werden dann in den entsprechend definierten Bewertungsfunktionen für die betreffenden Modi eingesetzt (Abbildung 31).

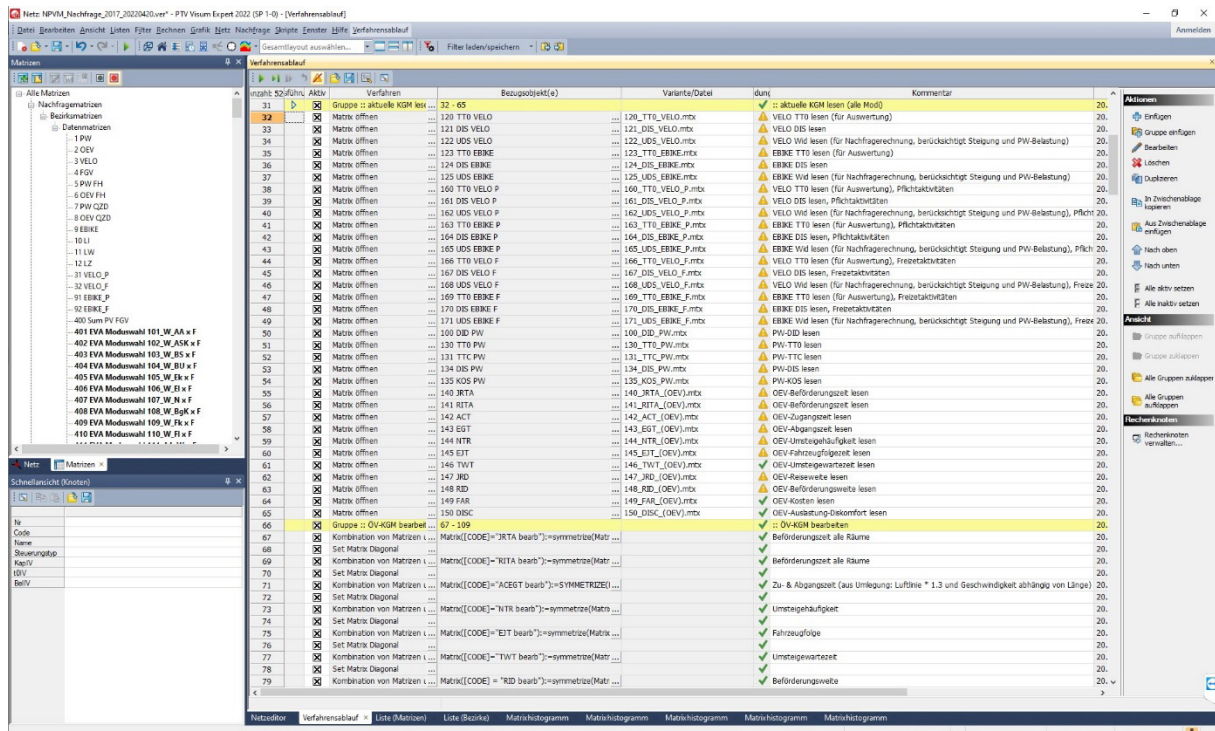


Abbildung 28 Verfahrensablauf Nachfragemodell: Einlesen der fahrtzweckspezifischen Kenngrößenmatrizen (Verfahrensschritte 38 – 49)

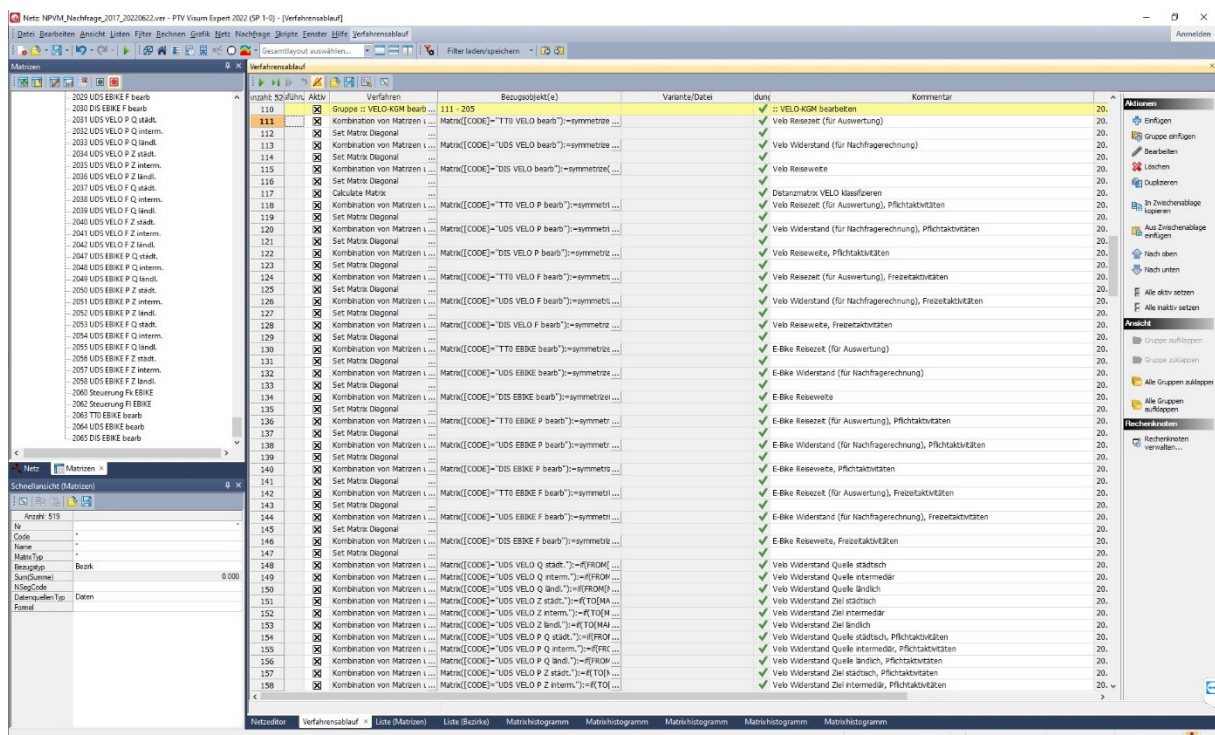


Abbildung 29 Verfahrensablauf Nachfragemodell: Bearbeiten der fahrtzweckspezifischen Kenngrößenmatrizen (Verfahrensschritte 118 – 147)

The screenshot shows the 'Verfahrensablauf' window. The left pane shows a tree structure with categories like 'Nachfragefunktion', 'Beurteilungsfunktion', and 'Schlüssel'. The main pane lists 148 steps, each with a checkbox, a description, and a 'Variante/Dat' column. The right sidebar contains a list of actions like 'Anfragen', 'Gruppen anfragen', 'Bearbeiten', 'Löschen', 'Duplizieren', etc.

Abbildung 30 Verfahrensablauf Nachfragemodell: Raumtypspezifische Differenzierung der fahrtzweckspezifischen Kenngrößenmatrizen (148 – 196)

The screenshot shows the 'Parameter EVK-Bewertung' window. It contains a table with 148 rows of data. The columns are: Schlüssel, Nachfragefunktion, Typ, Modus, Modusverfügbarkeit, Kapazitätsauslastung, Aufwandssart, Gen. Kosten, KennMat / BezAttr / Unkomb, Transformationsfunktion, a, b, c, Max. Wd., PKF, and Alle Mod. The table lists various evaluation steps and their associated parameters.

Abbildung 31 Verfahrensablauf Nachfragemodell: Bewertungsfunktionen mit raumtypspezifischer Parametrisierung und fahrtzweckabhängigen Kenngrößen

3.4 Weitere Anpassungen

Um das Verhalten der Verkehrsteilnehmer auch hinsichtlich der Velo-Moduswahl besser abbilden zu können, wurden (analog zum PW-Besitz und der ÖV-Aboverfügbarkeit) auch im Veloverkehr Verfügbarkeitsvariablen in die Bewertungsfunktion implementiert. Die empirische Grundlage dafür bietet eine MZMV-Auswertung des ARE, welche Besitzraten pro Kanton ausweist. Diese sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Kanton	Besitzrate [%]	
	Velo	E-Bike
ZH	76.2	6.4
BE	81.4	7.0
LU	75.9	8.4
UR	84.7	11.3
SZ	77.3	7.1
OW	81.5	10.0
NW	88.1	7.4
GL	83.1	7.7
ZG	85.5	7.0
FR	58.7	5.2
SO	76.6	9.1
BS	77.4	3.9
BL	71.7	8.2
SH	72.4	8.9
AR	67.9	11.3
AI	98.3	1.8
SG	81.6	8.8
GR	78.8	8.0
AG	76.2	8.8
TG	83.0	12.2
TI	47.5	3.3
VD	53.6	3.7
VS	56.3	2.8
NE	56.4	3.9
GE	51.6	6.0
JU	72.7	7.5
Total	76.2	6.4

Tabelle 5 Velo- und E-Bike-Besitzraten nach Kanton

Die Parametrisierung der entsprechenden Nutzenkomponente im Bewertungsmodell erfolgt analog zu den Parameterwerten für den PW-Besitz. Diese kann zu einem späteren Zeitpunkt, beim allfälligen Vorliegen entsprechender Entscheidungsmodellschätzungen, entsprechend angepasst werden.

Ebenfalls angepasst wurden die mittleren Geschwindigkeiten (abgeleitet aus dem MZMV 2015) – diese betragen im neuen NPVM 13km/h für das Velo und 17km/h für das E-Bike.

Im Anschluss an die Modellanpassungen wurde das Nachfragemodell wiederum auf die Kenngrößen des MZMV 2015 (insbesondere auf die Weglängenverteilungen für Velo und E-Bike) kalibriert – siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 7.

4 Weiterentwicklung ÖV

4.1 Matrix-Tagesganglinie

Bei der Etablierung des NPVM wurden für die ÖV-Umlegung sechs verschiedene prozentuale Ganglinien nach drei Zonentypen (SL3: städtisch, intermediär, ländlich) und zwei Sprachregionen (Deutschschweiz und Lateinische Schweiz) definiert. Diese Ganglinien geben bezogen auf die Ausgangszone eines ÖV-Weges an, welcher Anteil der Tagesnachfrage in welcher Stunde beginnt. Der Nachteil dieses Vorgehens ist, dass die zeitliche Verteilung des Fahrgastaufkommens, also z.B. wechselnde Lastrichtungen unterschiedlicher Fahrtzwecke, nicht berücksichtigt wird. Mit der Umstellung des Verfahrens auf eine so genannte Matrixtagesganglinie (MTG) wird bei der Umlegung der ÖV-Nachfrage implementiert, dass Unterschiede in Abhängigkeit der Quelle-Ziel-Relation bestehen. Entsprechend gibt es verschiedene Ganglinien, welche z.B. die zeitliche Verteilung der ÖV-Nachfrage für Wege von zu Hause zur Arbeit (WA) oder von der Freizeit nach Hause (FW) beschreiben.

Im Projekt wurde nun neu ein Verfahren mit einer MTG implementiert. Dafür wurden die aus dem Projekt zur Etablierung des NPVM erstellten stundenfeine Modelle (jede Tagesstunde hat eine eigene Nachfragematrix) verwendet. Dort wurden die 26 QZG des Binnenverkehrs aus dem Nachfragemodell zunächst zu 10 QZG aggregiert, und diese 10 aggregierten QZG-Gruppen und Stundenscheiben nach Sprachregion (Deutschschweiz und lateinische Schweiz) und zwei Distanzklassen (< 30km und ≥ 30km) differenziert ausgewertet. Für die Flughafenwege wurde aufgrund der geringen Stichprobe im MZMV keine Unterscheidung nach Modi, Sprachregion und Distanz verwendet. Für den QZD-Verkehr wurden aufgrund der Fahrtzweckverteilung laut A+GQPV-Erhebung nach Sprachregion und Richtung sowie den entsprechenden QZG-(aggregiert)-Anteilen für lange Fahrten pro Stundenscheibe die stundenfeinen QZD-Matrizen berechnet. Mit den ÖV stundenfeinen Matrizen wurde nun hier folgende weitere Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Aggregation der drei Nachfragematrizen Binnen, Flughafen und QZD zu einer Gesamtnachfragematrix
2. Erstellung ÖV-Gesamtmatrizen je Stunde als Summe aus den jeweiligen Binnen-, Flughafen- und QZD-Matrizen
3. Berechnung der Gesamtanteilmatrizen je Stunde aus den jeweiligen ÖV-Gesamtmatrizen je Stunde und der DWV Gesamtnachfragematrix

4. Einlesen der Gesamtanteilmatrix nach Visum und Definition der Verfahrensschritte zur Berechnung der einzelnen Stundenmatrizen (siehe Abbildung 32) aus den Gesamtanteilmatrix und der Gesamtnachfragematrix
5. Definition der Matrixtagesganglinien mit den einzelnen Stundenmatrizen (siehe Abbildung 33)

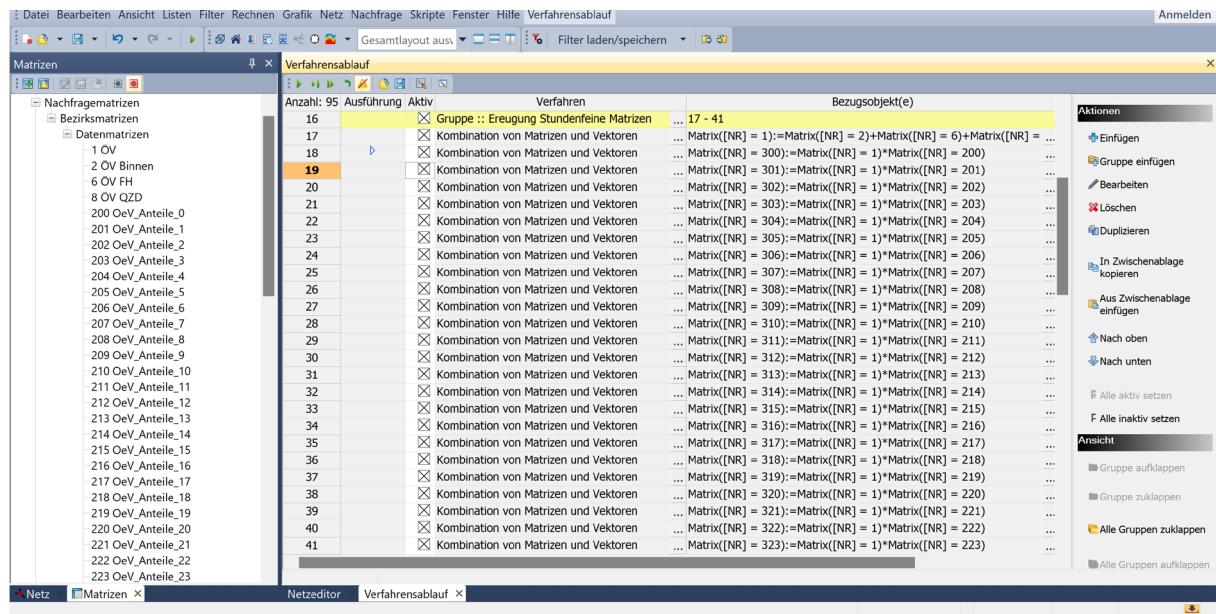


Abbildung 32 Berechnung der Stundenmatrizen aus Anteils- und Gesamtnachfragematrizen

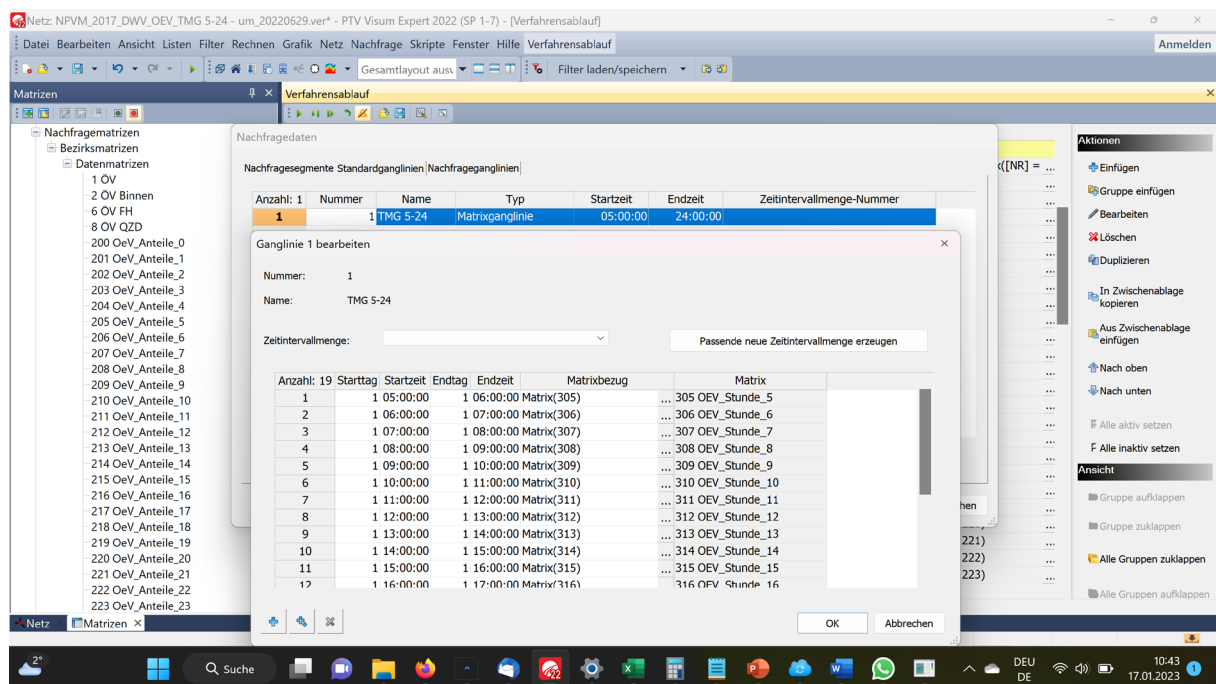


Abbildung 33 Definition der Stundenfeinen Matrizen als MTG in Visum unter Rechnen-Nachfragedaten

Bei der Berechnung der Kenngrößenmatrizen (wie z.B. Beförderungszeit, Anzahl Umsteigen, Zugangs- und Abgangszeit,...) zeigte sich, dass die Matrixsummen praktisch identisch blieben. Nur bei der ÖV-Auslastung war ein deutlicher Unterschied zwischen den Ergebnissen mit prozentualer Ganglinie und TMG zu erkennen.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Wirkung der MTG anhand der Auslastung nach Richtung und Kurse für die S1 in Bern analysiert.

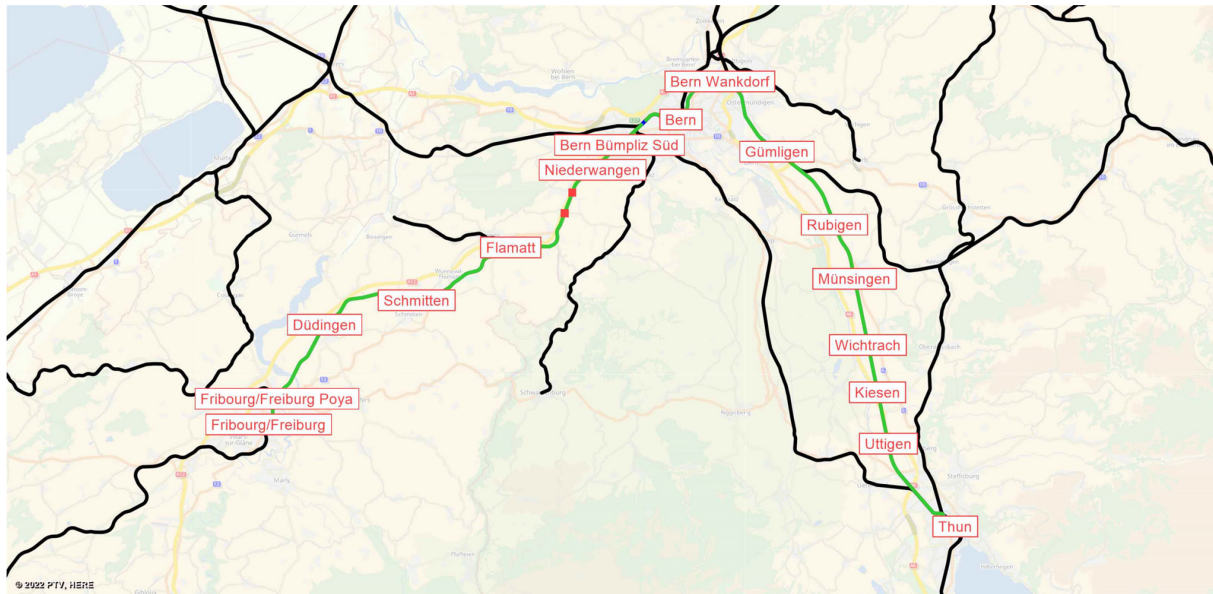


Abbildung 34 Linienverlauf S-Bahn Bern S1

Als a priori Erwartung wird angenommen, dass die Lastrichtung gezeigt an der ÖV-Auslastung nach Bern in der Früh stärker belegt ist als in die Gegenrichtung bzw. in den Nachmittagsstunden dann umgekehrt. In den folgenden zwei Abbildungen wird zuerst die ÖV-Auslastung mit prozentualer Ganglinie gezeigt, also dem bisher im NPVM etablierten Vorgehen. Hier zeigt sich, dass in Richtung Bern sowohl in der Früh als auch am Nachmittag eine starke Auslastung auftritt (Münsingen bis Bern und umgekehrt). Dies widerspricht der obengenannten Erwartung.

Ab	06:13	07:13	08:13	09:13	10:13	11:13	12:13	13:13	14:13	15:13	16:13	17:13	18:13	19:13
Thun	12%	21%	25%	14%	11%	11%	15%	14%	14%	14%	20%	29%	33%	20%
Uttigen	13%	23%	25%	14%	12%	12%	16%	14%	15%	14%	22%	31%	33%	20%
Kiesen	15%	24%	25%	14%	12%	13%	16%	15%	15%	15%	23%	33%	34%	20%
Wichtrach	20%	30%	27%	15%	13%	15%	19%	17%	17%	17%	28%	38%	35%	21%
Münsingen	32%	43%	35%	19%	17%	22%	26%	24%	23%	24%	42%	56%	45%	26%
Rubigen	35%	47%	35%	19%	17%	24%	26%	25%	24%	25%	43%	59%	45%	25%
Gümligen	35%	48%	34%	18%	17%	24%	25%	24%	23%	25%	45%	62%	45%	23%
Ostermundigen	38%	50%	33%	19%	17%	24%	25%	24%	23%	26%	47%	65%	45%	23%
Bern Wankdorf	34%	45%	30%	16%	16%	22%	23%	22%	21%	24%	43%	58%	41%	21%
Bern	22%	34%	25%	13%	13%	17%	17%	17%	18%	20%	30%	43%	36%	22%
Bern Europaplatz	24%	36%	27%	13%	14%	18%	18%	18%	19%	22%	32%	46%	39%	23%
Bern Bümpliz Süd	22%	31%	22%	11%	11%	16%	15%	15%	17%	19%	29%	40%	34%	19%
Niederwangen	21%	29%	20%	9%	11%	15%	14%	14%	16%	18%	28%	39%	32%	18%
Thörishaus Dorf	18%	24%	15%	9%	8%	12%	11%	10%	12%	14%	23%	33%	27%	15%
Flamatt	17%	25%	15%	10%	8%	13%	12%	11%	13%	15%	23%	31%	25%	17%
Wünnewil	17%	24%	14%	9%	8%	13%	11%	11%	12%	14%	22%	30%	23%	16%
Schmittlen	17%	24%	13%	8%	7%	11%	10%	10%	9%	11%	19%	24%	16%	15%
Düdingen	18%	22%	12%	7%	6%	9%	9%	8%	8%	12%	21%	24%	14%	7%
Fribourg/Freiburg Poya	18%	19%	10%	6%	7%	9%	9%	8%	8%	13%	20%	21%	12%	6%
Fribourg/Freiburg														

Abbildung 35 Auslastung ÖV mit prozentualer Ganglinie: S-Bahn 1 Thun-Fribourg

Ab	06:13	07:13	08:13	09:13	10:13	11:13	12:13	13:13	14:13	15:13	16:13	17:13	18:13	19:13
Fribourg/Freiburg	12%	21%	11%	7%	5%	9%	9%	10%	9%	9%	16%	22%	13%	8%
Fribourg/Freiburg Po	14%	22%	11%	7%	6%	10%	10%	11%	10%	10%	18%	24%	14%	8%
Düdingen	16%	23%	12%	7%	5%	11%	9%	10%	9%	9%	19%	26%	14%	7%
Schmitten	20%	28%	15%	8%	6%	12%	10%	12%	9%	10%	20%	27%	14%	8%
Wünnewil	22%	30%	15%	8%	6%	13%	11%	12%	10%	11%	22%	29%	14%	8%
Flamatt	24%	33%	16%	10%	6%	16%	13%	16%	10%	14%	26%	31%	15%	11%
Thörishaus Dorf	28%	39%	20%	11%	8%	20%	15%	19%	14%	18%	31%	38%	18%	12%
Niederwangen	30%	39%	20%	11%	9%	21%	16%	20%	15%	20%	34%	39%	19%	13%
Bern Bümpliz Süd	35%	40%	20%	13%	12%	23%	18%	21%	18%	25%	40%	42%	20%	14%
Bern Europaplatz	33%	36%	19%	12%	12%	21%	17%	19%	17%	24%	39%	39%	19%	12%
Bern	36%	35%	23%	16%	18%	23%	23%	23%	22%	30%	46%	42%	32%	15%
Bern Wankdorf	40%	38%	24%	18%	20%	24%	24%	24%	24%	34%	52%	46%	35%	14%
Ostermundigen	40%	36%	23%	17%	20%	24%	24%	23%	24%	35%	51%	43%	34%	13%
Gümligen	38%	35%	23%	17%	20%	23%	23%	21%	23%	34%	50%	41%	32%	13%
Rubigen	37%	32%	20%	15%	19%	22%	22%	20%	22%	34%	49%	38%	30%	11%
Münsingen	26%	20%	13%	10%	12%	14%	14%	13%	15%	22%	33%	23%	14%	8%
Wichtrach	23%	16%	10%	8%	11%	12%	12%	11%	13%	20%	29%	19%	11%	7%
Kiesen	22%	15%	9%	8%	11%	11%	11%	11%	12%	19%	28%	18%	10%	6%
Uttigen	21%	14%	9%	7%	10%	11%	11%	10%	12%	19%	27%	16%	9%	5%
Thun														

Abbildung 36 Auslastung ÖV mit prozentualer Ganglinie: S-Bahn 1 Fribourg-Thun

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen die Auslastung mit der neu verwendeten Matrixtagesganglinie. Hier zeigt sich, dass die Lastrichtung in der Früh zur Stadt führt und am Nachmittag in der Gegenrichtung auftritt. Die Auslastung des ÖVs kann mit der MTG realistischer als mit der prozentualen Ganglinie abgebildet werden.

Ab	06:13	07:13	08:13	09:13	10:13	11:13	12:13	13:13	14:13	15:13	16:13	17:13	18:13	19:13
Thun	24%	38%	31%	16%	13%	12%	14%	11%	12%	13%	18%	23%	23%	15%
Uttigen	27%	41%	33%	16%	14%	12%	14%	12%	12%	13%	18%	23%	22%	15%
Kiesen	29%	44%	34%	17%	14%	12%	14%	13%	13%	13%	19%	24%	23%	15%
Wichtrach	35%	52%	39%	19%	16%	13%	16%	16%	15%	14%	20%	27%	24%	15%
Münsingen	59%	79%	50%	23%	20%	18%	23%	24%	18%	18%	30%	37%	29%	18%
Rubigen	62%	82%	51%	23%	20%	19%	23%	25%	19%	18%	30%	39%	30%	18%
Gümligen	62%	84%	49%	22%	19%	18%	23%	25%	18%	18%	32%	41%	30%	15%
Ostermundigen	63%	82%	46%	22%	19%	19%	23%	26%	19%	19%	36%	46%	32%	16%
Bern Wankdorf	51%	67%	39%	20%	17%	18%	21%	23%	18%	19%	36%	45%	32%	16%
Bern	24%	33%	21%	11%	13%	19%	17%	15%	16%	22%	37%	46%	34%	20%
Bern Europaplatz	23%	29%	20%	11%	14%	20%	18%	15%	18%	24%	42%	54%	41%	22%
Bern Bümpliz Süd	20%	22%	15%	9%	12%	18%	16%	13%	16%	22%	39%	49%	36%	18%
Niederwangen	19%	20%	14%	8%	11%	17%	15%	12%	15%	21%	37%	47%	35%	17%
Thörishaus Dorf	19%	19%	11%	8%	9%	12%	11%	9%	11%	15%	30%	39%	30%	14%
Flamatt	19%	22%	12%	10%	9%	13%	12%	11%	12%	15%	27%	35%	27%	15%
Wünnewil	20%	24%	12%	10%	8%	11%	11%	11%	11%	13%	25%	31%	25%	14%
Schmitten	21%	27%	13%	9%	7%	9%	11%	10%	8%	10%	19%	23%	16%	13%
Düdingen	27%	38%	15%	8%	6%	8%	10%	9%	6%	9%	16%	16%	11%	5%
Fribourg/Freiburg	26%	33%	13%	7%	7%	8%	9%	8%	7%	10%	15%	15%	10%	5%
Fribourg/Freiburg														

Abbildung 37 Auslastung ÖV mit Matrix-Tagesganglinie: S-Bahn 1 Thun-Fribourg

Ab	06:41	07:41	08:41	09:41	10:41	11:41	12:41	13:41	14:41	15:41	16:41	17:41	18:41	19:41
Fribourg/Freiburg	6%	16%	10%	8%	8%	21%	15%	8%	8%	18%	24%	16%	10%	7%
Fribourg/Freiburg	7%	17%	10%	8%	8%	25%	16%	9%	9%	20%	27%	17%	11%	7%
Düdingen	15%	23%	13%	9%	8%	14%	11%	9%	8%	12%	21%	18%	12%	7%
Schmitten	21%	30%	19%	10%	8%	13%	11%	11%	9%	12%	20%	18%	13%	7%
Wünnewil	25%	33%	22%	11%	9%	12%	11%	13%	10%	12%	19%	19%	13%	7%
Flamatt	28%	39%	26%	14%	9%	13%	13%	17%	10%	13%	20%	21%	14%	9%
Thörishaus Dorf	36%	50%	34%	15%	11%	15%	15%	22%	13%	15%	22%	24%	16%	9%
Niederwangen	39%	49%	33%	16%	12%	15%	16%	22%	14%	16%	24%	25%	17%	10%
Bern Bümpliz Süd	43%	49%	32%	16%	15%	17%	18%	23%	17%	22%	32%	29%	19%	11%
Bern Europaplatz	36%	41%	28%	15%	15%	17%	16%	21%	17%	25%	35%	30%	18%	10%
Bern	24%	27%	20%	16%	22%	24%	21%	23%	26%	43%	59%	43%	30%	15%
Bern Wankdorf	23%	25%	19%	16%	24%	27%	22%	23%	30%	52%	70%	50%	34%	15%
Ostermundigen	20%	22%	17%	16%	24%	27%	21%	22%	30%	55%	71%	49%	34%	14%
Gümligen	20%	21%	16%	15%	24%	26%	21%	20%	29%	53%	70%	47%	32%	13%
Rubigen	19%	19%	15%	14%	22%	24%	20%	19%	27%	52%	68%	44%	31%	12%
Münsingen	14%	12%	10%	10%	13%	14%	13%	13%	18%	33%	45%	27%	15%	9%
Wichtrach	14%	11%	9%	8%	11%	12%	11%	11%	15%	29%	39%	22%	12%	7%
Kiesen	14%	11%	8%	8%	10%	11%	11%	10%	14%	27%	37%	21%	11%	6%
Uttigen	15%	11%	8%	7%	9%	10%	10%	9%	14%	25%	34%	19%	10%	6%
Thun														

Abbildung 38 Auslastung ÖV mit Matrix-Tagesganglinie: S-Bahn 1 Fribourg-Thun

4.2 Aktualisierung Kostenmatrix

Die Kostenmatrix im ÖV wurde bei der Etablierung des NPVM unter Berücksichtigung von distanzabhängigen Tarifen, zonenspezifischen Besitzraten der ÖV-Abonnemente sowie der Häufigkeit der jeweiligen Nutzung der Fahrkartenart (aus dem MZMV 2015) bestimmt. Zum Zeitpunkt der damaligen Erstellung der Kostenmatrix lag erst ein vorläufiger Zustand der Strukturdatenbank vor. Die minimalen Änderungen an den finalen Strukturdaten nehmen Einfluss auf die verwendete ÖV-Kostenmatrix. Für die Arbeiten zum vorliegenden Bericht wurden die aktuellen Strukturdaten zur Aktualisierung der ÖV-Kostenmatrix benutzt und die Resultate in der Nachfrageberechnung verwendet.

5 Differenzierung Personenwagen

5.1 Anpassungen in der MIV-Umlegungsversion

Die MIV-Umlegungsversion wird zur Schaffung einer Differenzierungsmöglichkeit für das bestehende Verkehrssystem Personenwagen (PW) um zwei neue Verkehrssysteme «PW_Mod1» und «PW_Mod2» ergänzt. Auf Basis dieser Verkehrssysteme werden zudem sechs neue Nachfragesegmente für jeweils Binnen-, Flughafen- und QZD-Verkehre erstellt, sodass insgesamt die Zuordnung in Abbildung 39 entsteht.

Verkehrssysteme / Modi / Nachfragesegmente

Verkehrssysteme Modi Nachfragesegmente					
Anzahl: 8	Code	Name	Typ	Modi	NSeg
1	B	Bus	ÖV	X	F
2	F	ÖEV Fuss (Vism-stan	ÖVFuß	X	F
3	LI	Lieferwagen	IV	LI	LI
4	LW	Lastwagen	IV	LW	LW
5	LZ	Lastzug	IV	LZ	LZ
6	P	PW	IV	P	PW_binnen,PW_FH,PW_QZD
7	P_Mod1	PW_Mod1	IV	P_Mod1	P_Mod1_binnen,P_Mod1_FH,P_Mod1_QZD
8	P_Mod2	PW_Mod2	IV	P_Mod2	P_Mod2_binnen,P_Mod2_FH,P_Mod2_QZD

Abbildung 39 Übersicht Verkehrssysteme, Modi und Nachfragesegmente in MIV-Umlegungsversion mit zusätzlicher PW-Differenzierung

Alle weiteren Anpassungen in der Umlegungsversion hinsichtlich Matrizen, Verfahrensablauf und benutzerdefinierter Attribute entsprechen grundsätzlich einer zweifachen Kopie der Einstellungen und Modellkomponenten des ursprünglichen PW-Verkehrssystems und seiner Nachfragesegmente (Binnen, FH und QZD).

Für jedes neue Nachfragesegment werden entsprechende Nachfragematrizen sowie zu PW identische Kenngrößenmatrizen (Fahrweite, Luftlinienweite, Kosten, t_0 , takt) erstellt.

Im Verfahrensablauf werden Verfahrensschritte zum Einlesen und zur Bearbeitung der Nachfragematrizen der neuen Nachfragesegmente eingefügt (siehe Abbildung 40).

☐ Gruppe PW-Differenzierung inkl. ...	43 - 55	PW-Differenzierung inkl. Modi	
☐ Matrix öffnen ...	15 PW_Mod1 Binnen	...	13_PW_Mod1.mtx
☐ Matrix öffnen ...	16 PW_Mod1 FH	...	15_PW_Mod1_FH.mtx
☐ Matrix öffnen ...	18 PW_Mod2 Binnen	...	14_PW_Mod2.mtx
☐ Matrix öffnen ...	19 PW_Mod2 FH	...	16_PW_Mod2_FH.mtx
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod1 Binnen") := ROU ...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod1 FH") := ROUND(...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod2 Binnen") := ROU ...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod2 FH") := ROUND(...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod1 QZD [KfzWege]" ...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod2 QZD [KfzWege]" ...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_QZD [KfzWege]") := Mi ...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod1 Binnen") := Matr ...		
☐ Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "PW_Mod2 Binnen") := Matr ...		

Abbildung 40 Einlesen und Bearbeitung der Nachfragematrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2

In der Umlegungsrechnung sind die neuen Nachfragesegmente von PW_Mod1 und PW_Mod2 mit leeren Nachfragematrizen standardmässig integriert. Die unkritische VISUM-Meldung über leere Nachfragematrizen kann

bei der Berechnung ohne die neuen Nachfragesegmente ignoriert werden. Die Binnen- und Flughafenverkehre werden auch für die neuen Nachfragesegmente von PW_Mod1 und PW_Mod2 zur Beschleunigung im Vorfeld der Umlegung addiert (siehe Kapitel 9). Dies erfolgt bereits in der Verfahrensgruppe zum Einlesen und zur Bearbeitung der Nachfragematrizen (siehe Abbildung 40).

Nach der Umlegungsrechnung sind, identisch zu PW, zwei Verfahrensgruppen zum Schreiben der Kenngrössenmatrizen eingefügt (siehe Abbildung 41).

☐	Gruppe PW-Differenzierung KC ...	95 - 101		PW-Differenzierung KGM schreiben (P_Mod1
☐	IV-Kenngrößenmatrix berechn ...	P_Mod1_binnen PW_Mod1 Binnenverkehr ...		KGM berechnen
☐	Matrix speichern	180 DID (P_Mod1_binnen PW_Mod1 Binnenv...	180_DID_PW_Mod1.mtx	
☐	Matrix speichern	181 TTD (P_Mod1_binnen PW_Mod1 Binnenv...	181_TTD_PW_Mod1.mtx	
☐	Matrix speichern	182 TTC (P_Mod1_binnen PW_Mod1 Binnenv...	182_TTC_PW_Mod1.mtx	
☐	Matrix speichern	183 DIS (P_Mod1_binnen PW_Mod1 Binnenv...	183_DIS_PW_Mod1.mtx	
☐	Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "KOS" & [NSEGCODE] = "P_...		
☐	Matrix speichern	184 KOS (P_Mod1_binnen PW_Mod1 Binnenv...	184_KOS_PW_Mod1.mtx	
☐	Gruppe PW-Differenzierung KC ...	103 - 109		PW-Differenzierung KGM schreiben (P_Mod2
☐	IV-Kenngrößenmatrix berechn ...	P_Mod2_binnen PW_Mod2 Binnenverkehr ...		✓ KGM berechnen
☐	Matrix speichern	185 DID (P_Mod2_binnen PW_Mod2 Binnenv...	185_DID_PW_Mod2.mtx	
☐	Matrix speichern	186 TTD (P_Mod2_binnen PW_Mod2 Binnenv...	186_TTD_PW_Mod2.mtx	
☐	Matrix speichern	187 TTC (P_Mod2_binnen PW_Mod2 Binnenv...	187_TTC_PW_Mod2.mtx	
☐	Matrix speichern	188 DIS (P_Mod2_binnen PW_Mod2 Binnenv...	188_DIS_PW_Mod2.mtx	
☐	Kombination von Matrizen und ...	Matrix([CODE] = "KOS" & [NSEGCODE] = "P_...		
☐	Matrix speichern	189 KOS (P_Mod2_binnen PW_Mod2 Binnenv...	189_KOS_PW_Mod2.mtx	

Abbildung 41 Schreiben der Kenngrössenmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2

Alle genannten Verfahrensgruppen werden per Skript im Verfahrensschritt «PW-Differenzierung AUSSCHALTEN» standardmässig ausgeschaltet, wodurch über die Nachfrageversion angesteuerte Rückkopplungsrechnungen ohne eine Beeinflussung durch die genannten Anpassungen durchgeführt werden können.

5.2 Anpassungen in der Nachfrageversion

Die Nachfrageversion wird zur Schaffung einer Differenzierungsmöglichkeit für den bestehenden Verkehrsmodus Personenwagen (PW) um zwei neue Modi «PW_Mod1» und «PW_Mod2» erweitert. Die entstehende Zuordnung zwischen Verkehrssystemen, Modi und Nachfragesegmenten ist in Abbildung 42 dargestellt.

Verkehrssysteme / Modi / Nachfragesegmente

Verkehrssysteme Modi Nachfragesegmente					
Anzahl: 10	Code	Name	VSys	Austauschbar	NSeg
1	F	FGV	F	☒	F
2	LI	Lieferwagen	LI	☒	LI
3	LW	Lastwagen	LW	☒	LW
4	LZ	Lastzug	LZ	☒	LZ
5	P	PW	P	☒	PKW-QZD,PW
6	P_Mod1	PW_Mod1	P_Mod1	☒	PKW-QZD_Mod1,PW_Mod1
7	P_Mod2	PW_Mod2	P_Mod2	☒	PKW-QZD_Mod2,PW_Mod2
8	V	Velo	V	☒	V
9	V+	E-Bike	V+	☒	V+
10	X	OEV	B,ZAU	☒	X,X-QZD

Abbildung 42 Übersicht Verkehrssysteme, Modi und Nachfragesegmente in der Nachfrageversion mit zusätzlicher PW-Differenzierung

Alle weiteren Anpassungen in der Nachfrageversion hinsichtlich Matrizen, Verfahrensablauf und benutzerdefinierter Attribute entsprechen grundsätzlich einer zweifachen Kopie der Einstellungen und Modellkomponenten des ursprünglichen PW-Modus.

Für jeden neuen Modus werden identisch zum ursprünglichen PW-Modus entsprechende Kenngrößen-, Nachfrage-, Bewertungs- und Auswertungsmatrizen sowie entsprechende benutzerdefinierte Attribute erstellt.

Im Verfahrensablauf werden in der Verfahrensgruppe zur Berechnung der initialen Kenngrößenmatrizen zwei zusätzliche Verfahrensschritte zur Belegung der Kenngrößenmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2 mit 99'999 eingefügt (siehe Abbildung 43). Diese Verfahrensschritte dienen zur Ausschaltung der entsprechenden Kenngrößen bei einer standardmässigen Nachfrageberechnung ohne neue Modi.

Gruppe Init 4: initiale KGM berechnen	...	29 - 33	Init 4: initiale KGM berechnen
Kombination von Matrizen und Vektoren	...	ForEach(MATRIX M, M[INHALTSTYP]="Ken ...	AUSSCHALTEN Kenngrößen PW_Mod1 (standardmässig auszuwählen!)
Kombination von Matrizen und Vektoren	...	ForEach(MATRIX M, M[INHALTSTYP]="Ken ...	AUSSCHALTEN Kenngrößen PW_Mod2 (standardmässig auszuwählen!)
Skript ausführen	...		Start externe Version: OEV-Kenngrößen schreiben
Skript ausführen	...		Start externe Version: Velo-Kenngrößen schreiben
Skript ausführen	...		Start externe Version: PW-Kenngrößen schreiben

Abbildung 43 Verfahrensschritte zur Berechnung der initialen Kenngrößenmatrizen in der Nachfrageversion mit zusätzlicher PW-Differenzierung

Anschliessend wird der Verfahrensablauf um eine Verfahrensgruppe zum Einlesen der Kenngrößenmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2 ergänzt (siehe Abbildung 44). Eine Ausführung erfolgt nur bei einer Nachfrageberechnung mit neuen Modi.

Gruppe :: aktuelle KGM lesen (Zusatz P_M ...	73 - 82	:: aktuelle KGM lesen (Zusatz P_Mod1 und P_Mod2)
Matrix öffnen	... 180 DID PW_Mod1	... 180_DID_PW_Mod1.mtx PW_Mod1-DID lesen
Matrix öffnen	... 181 TT0 PW_Mod1	... 181_TT0_PW_Mod1.mtx PW_Mod1-TT0 lesen
Matrix öffnen	... 182 TTC PW_Mod1	... 182_TTC_PW_Mod1.mtx PW_Mod1-TTC lesen
Matrix öffnen	... 183 DIS PW_Mod1	... 183_DIS_PW_Mod1.mtx PW_Mod1-DIS lesen
Matrix öffnen	... 184 KOS PW_Mod1	... 184_KOS_PW_Mod1.mtx PW_Mod1-KOS lesen
Matrix öffnen	... 185 DID PW_Mod2	... 185_DID_PW_Mod2.mtx PW_Mod2-DID lesen
Matrix öffnen	... 186 TT0 PW_Mod2	... 186_TT0_PW_Mod2.mtx PW_Mod2-TT0 lesen
Matrix öffnen	... 187 TTC PW_Mod2	... 187_TTC_PW_Mod2.mtx PW_Mod2-TTC lesen
Matrix öffnen	... 188 DIS PW_Mod2	... 188_DIS_PW_Mod2.mtx PW_Mod2-DIS lesen
Matrix öffnen	... 189 KOS PW_Mod2	... 189_KOS_PW_Mod2.mtx PW_Mod2-KOS lesen

Abbildung 44 Verfahrensschritte zum Einlesen der Kenngrössenmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2

Nachgelagert wird die Bearbeitung der Kenngrössenmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2 identisch zum ursprünglichen PW-Modus im Verfahrensablauf ergänzt (siehe Abbildung 45).

Gruppe :: PW_Mod1-KGM bearbeiten	268 - 294	:: PW_Mod1-KGM bearbeiten
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="DID PW_Mod1 bearb"):=s ...	Luftlinienentfernung
Set Matrix Diagonal	...	
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TT0 PW_Mod1 bearb"):=s ...	PW_Mod1 T0-Reisezeit alle Räume
Set Matrix Diagonal	...	
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTC PW_Mod1 bearb"):=s ...	PW_Mod1 Reisezeit alle Räume
Set Matrix Diagonal	...	
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM PW_Mod1 bearb"):=f ...	PW_Mod1 Tagesmittel Reisezeit alle Räume
Set Matrix Diagonal	...	
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="DIS PW_Mod1 bearb"):=s ...	PW_Mod1 Reiseweite
Set Matrix Diagonal	...	
Calculate Matrix	...	Distanzmatrix PW_Mod1 klassifizieren
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 bearb"):=s ...	PW_Mod1 Kosten = (Grundkosten + variable Kosten aus Umlegungsmodell) /
Set Matrix Diagonal	...	
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM Q städt. PW_Mod1"):= ...	PW_Mod1 Reisezeit Quelle städtisch
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM Q interm. PW_Mod1"):= ...	PW_Mod1 Reisezeit Quelle intermediär
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM Q ländl. PW_Mod1"):= ...	PW_Mod1 Reisezeit Quelle ländlich
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM Z städt. PW_Mod1"):= ...	PW_Mod1 Reisezeit Ziel städtisch
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM Z interm. PW_Mod1"):= ...	PW_Mod1 Reisezeit Ziel intermediär
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="TTM Z ländl. PW_Mod1"):= ...	PW_Mod1 Reisezeit Ziel ländlich
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 Q städt."):= ...	PW_Mod1-Kosten städt. Quelle
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 Q interm."):= ...	PW_Mod1-Kosten interm. Quelle
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 Q ländl."):= ...	PW_Mod1-Kosten ländl. Quelle
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 Z städt."):= ...	PW_Mod1-Kosten städt. Ziel
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 Z interm."):= ...	PW_Mod1-Kosten interm. Ziel
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="KOS PW_Mod1 Z ländl."):= ...	PW_Mod1-Kosten ländl. Ziel
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="Steuerung Fk PW_Mod1"):= ...	Steuerung Distanzverteilung Fk PW_Mod1
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="Steuerung FI PW_Mod1"):= ...	Steuerung Distanzverteilung FI PW_Mod1

Abbildung 45 Bearbeitung der Kenngrössenmatrizen für PW_Mod1

Die Berechnung der Besetzungsgradmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2 wird ebenfalls im Verfahrensablauf ergänzt (siehe Abbildung 46).

Gruppe :: PW_Mod1 Besetzungsgradmatrizen	350 - 363	:: PW_Mod1 Besetzungsgradmatrizen
Calculate Matrix	...	Distanzmatrix PW_Mod1 klassifizieren
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 AA"):= IF(N ...	AA
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 ASK"):= IF(N ...	ASK
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 BS"):= IF(N ...	BS
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 BU"):= IF(N ...	BU
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 EK"):= IF(M ...	Ek
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 EI"):= IF(Mi ...	EI
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 N"):= IF(Mi ...	N
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 BgK"):= IF(N ...	BgK
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 Fk"):= IF(M ...	Fk
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 FI"):= IF(Mi ...	FI
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 A"):= IF(Ma ...	A
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 S"):= IF(Ma ...	S
Kombination von Matrizen und Vektoren	... Matrix([CODE]="BG PW_Mod1 Flug"):= 1.4 ...	Flug

Abbildung 46 Berechnung der Besetzungsgradmatrizen für PW_Mod1

In den Verfahrensschritten EVA-Bewertung M01 und M02 werden die Aufwandsarten sowie Bewertungsfunktionen und -parameter für PW_Mod1 und PW_Mod2 identisch zum ursprünglichen PW-Modus erstellt. Für die standardmässige Bewertungsberechnung ohne PW_Mod1 und PW_Mod2 werden die Bewertungen für

PW_Mod1 und PW_Mod2 über das Setzen des VISUM-Attribut Max. Wid mit Null (siehe Abbildung 47) und das in der Verfahrensgruppe zur Berechnung der initialen Kenngrößenmatrizen bereits erfolgte Setzen der Kenngrößenmatrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2 mit 99'999 ausgeschaltet (siehe Abbildung 43). Die gewählte Vorgehensweise stellt sicher, dass die Bewertungen für PW_Mod1 und PW_Mod2 bei einer Berechnung ohne PW_Mod1 und PW_Mod2 in keiner Form Einfluss auf Bewertungen der anderen Modi nehmen.

Grp(Modus)	Grp(Aufwandsart)	rglrgl	Grp(Max. Wid.)
P PW	Steuerung Distanz		
P PW	Verfügbarkeit		
P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit interm.	*	0
P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit länd.	*	0
P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit städt.	*	0
P_Mod1 PW_Mod1	Kosten interm.	*	0
P_Mod1 PW_Mod1	Kosten ländl.	*	0
P_Mod1 PW_Mod1	Kosten städt.	*	0
P_Mod1 PW_Mod1	PW-Distanz		0

Abbildung 47 Ausschnitt aus EVA-Bewertung mit Parameter Max. Widerstand für PW_Mod1 und PW_Mod2

In der Verfahrensgruppe für die EVA-Verteilung und -Moduswahl M01 werden vor dem Verfahrensschritt zur Berechnung der EVA-Verteilung und -Moduswahl drei Verfahrensschritte zum Setzen des Modusbilanzfaktors für PW_Mod1, PW_Mod2 und dem ursprünglichen PW-Modus eingefügt (siehe Abbildung 48).

Gruppe	EVA-Verteilung/Aufteilung M01	...	404 - 445	EVA-Verteilung/Aufteilung M01 (alle Fahrtzwecke gemeinsam, mit Randsum)
Attribut ändern	...	Nachfrageschichten - Bilanzfaktor(P_Mod1)		Setzen Modusbilanzfaktor PW_Mod1 (0=Modus ausgeschaltet in Prognose)
Attribut ändern	...	Nachfrageschichten - Bilanzfaktor(P_Mod2)		Setzen Modusbilanzfaktor PW_Mod2 (0=Modus ausgeschaltet in Prognose)
Attribut ändern	...	Nachfrageschichten - Bilanzfaktor(P)		Setzen Modusbilanzfaktor PW (0=Modus ausgeschaltet in Prognose)
EVA-Verteilung/Moduswahl	...	Alle M01-NSchichten	...	EVA Verteilung/Aufteilung M01

Abbildung 48 Verfahrensschritte zur Berechnung der EVA-Verteilung und -Moduswahl in der Nachfrageversion mit zusätzlicher PW-Differenzierung

In einer standardmässigen Berechnung der EVA-Verteilung und -Moduswahl ohne PW_Mod1 und PW_Mod2 werden die Modusbilanzfaktoren für PW_Mod1 und PW_Mod2 mit Null belegt (siehe Abbildung 49). Der Verfahrensschritt zum Setzen des Modusbilanzfaktors des ursprünglichen PW-Modus ist zur Verwendung in einer Prognoserechnung mit PW_Mod1 und PW_Mod2 vorgesehen. Standardmässig wird hier lediglich der bestehende Modusbilanzfaktor für PW übertragen.

Parameter 'Attribut ändern'

Netzobjekttyp	Nachfrageschichten
Zielattribut	Bilanzfaktor (P_Mod1)
☐ Nur aktive	
Das Ergebnisattribut wird durch den nachfolgenden Ausdruck festgelegt.	
0	

Abbildung 49 Verfahrensschritt zum Setzen des Modusbilanzfaktors für PW_Mod1 (für eine EVA-Berechnung ohne die Berücksichtigung von PW_Mod1)

In der Verfahrensgruppe für die EVA-Verteilung und -Aufteilung M02 (Flughafenverkehre) muss kein erneutes Setzen der entsprechenden Bilanzfaktoren vorgenommen werden.

Der Modal Split wird für PW_Mod1 und PW_Mod2 in der EVA-Verteilung und -Moduswahl M01 und M02 mit Null belegt (siehe Abbildung 50).

Parameter EVA-Verteilung/Moduswahl

Allgemeine Parameter Verfahren Modal Split Moduswahlmatrizen										
Anzahl: 27	Nachfragegeschichte	F FGV	P PW	P_Mod1 PW_Mod1	P_Mod2 PW_Mod2	V Velo	V+ E-Bike	X OEV	Summe	
1	101_W_AA Wohnen-Arbeit A	0.12900000	0.49400000	0.00000000	0.00000000	0.12000000	0.00900000	0.24800000	1.00000000	
2	102_W_ASK Wohnen-Arbeit SK	0.15000000	0.59400000	0.00000000	0.00000000	0.09700000	0.00800000	0.15100000	1.00000000	
3	103_W_BS Wohnen-Bildung S	0.52100000	0.07500000	0.00000000	0.00000000	0.16100000	0.00200000	0.24100000	1.00000000	
4	104_W_BU Wohnen-Bildung U	0.11600000	0.16300000	0.00000000	0.00000000	0.14600000	0.00700000	0.56800000	1.00000000	
5	105_W_Ek Wohnen-Einkauf kurzfristig	0.37500000	0.45300000	0.00000000	0.00000000	0.06700000	0.00600000	0.09900000	1.00000000	
6	106_W_El Wohnen-Einkauf langfristig	0.21378621	0.59940060	0.00000000	0.00000000	0.05794206	0.00599401	0.12287712	1.00000000	
7	107_W_N Wohnen-Nutzfahrt	0.12112112	0.63663664	0.00000000	0.00000000	0.05705706	0.01601602	0.16916917	1.00000000	
8	108_W_BgK Wohnen-Begleitung (Kinder)	0.36036036	0.56056056	0.00000000	0.00000000	0.03403403	0.00800801	0.03703704	1.00000000	
9	109_W_Fk Wohnen-Freizeit kurz	0.46300000	0.37300000	0.00000000	0.00000000	0.08800000	0.00600000	0.07000000	1.00000000	
10	110_W_Fl Wohnen-Freizeit lang	0.02400000	0.69500000	0.00000000	0.00000000	0.06300000	0.00800000	0.21000000	1.00000000	
11	111_AA_W Arbeit A-Wohnen	0.13600000	0.49600000	0.00000000	0.00000000	0.12200000	0.00900000	0.23700000	1.00000000	
12	112_ASK_W Arbeit ASK -Wohnen	0.16216216	0.59759760	0.00000000	0.00000000	0.10210210	0.00600601	0.13213213	1.00000000	
13	113_BS_W Bildung Schule-Wohnen	0.54145854	0.05894106	0.00000000	0.00000000	0.16283716	0.00199800	0.23476523	1.00000000	
14	114_BU_W Bildung Uni-Wohnen	0.13113113	0.19419419	0.00000000	0.00000000	0.10210210	0.00400400	0.56856857	1.00000000	
15	115_Ek_W Einkauf kurzfristig-Wohnen	0.35600000	0.47200000	0.00000000	0.00000000	0.07400000	0.00800000	0.09000000	1.00000000	
16	116_El_W Einkauf langfristig-Wohnen	0.20500000	0.59100000	0.00000000	0.00000000	0.06300000	0.00900000	0.13200000	1.00000000	
17	117_N_W Nutzfahrt-Wohnen	0.12400000	0.66300000	0.00000000	0.00000000	0.05000000	0.01200000	0.15100000	1.00000000	
18	118_BgK_W Begleitung(Kinder)-Wohnen	0.36363636	0.55344655	0.00000000	0.00000000	0.03696304	0.00899101	0.03696304	1.00000000	
19	119_Fk_W Freizeit kurz - Wohnen	0.43300000	0.39500000	0.00000000	0.00000000	0.08800000	0.00600000	0.07800000	1.00000000	
20	120_Fl_W Freizeit lang - Wohnen	0.01901902	0.69369369	0.00000000	0.00000000	0.06306306	0.00600601	0.21821822	1.00000000	
21	121_A_S Arbeit Gesamt - Sonstiges	0.13900000	0.65400000	0.00000000	0.00000000	0.03900000	0.00700000	0.16100000	1.00000000	
22	122_S_A Sonstiges - Arbeit Gesamt	0.14300000	0.70600000	0.00000000	0.00000000	0.03400000	0.01000000	0.10700000	1.00000000	
23	123_A_EkFk Arbeit Gesamt - Einkauf kurzfristig / Freizeit	0.46046046	0.36336336	0.00000000	0.00000000	0.06106106	0.00500501	0.11011011	1.00000000	
24	124_EkFk_A Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz - Arbeit	0.59600000	0.30500000	0.00000000	0.00000000	0.04300000	0.00200000	0.05400000	1.00000000	
25	125_EkFk_EkFk Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz - Eink	0.46100000	0.41600000	0.00000000	0.00000000	0.04500000	0.00500000	0.07300000	1.00000000	
26	126_S_S Sonstiges - Sonstiges	0.32800000	0.50600000	0.00000000	0.00000000	0.04000000	0.00400000	0.12200000	1.00000000	
27	Gesamt Modal Split	0.32600869	0.45600508	0.00000000	0.00000000	0.08051453	0.00650787	0.13096384	1.00000000	

Abbildung 50 Modal Split bei einer EVA-Verteilung/Moduswahl M01 mit zusätzlicher PW-Differenzierung

Die Verfahrensschritte für modusbezogene Auswertungen im Rahmen der Finalisierung sind für PW_Mod1 und PW_Mod2 ebenfalls identisch zum ursprünglichen PW-Modus angelegt.

Bis auf die Verfahrensschritte zum Ausschalten der Kenngrössenmatrizen (siehe Abbildung 43) und Setzen der Modusbilanzfaktoren (siehe Abbildung 48) für PW_Mod1 und PW_Mod2 sind alle genannten Verfahrensschritte standardmässig ausgeschaltet.

Als Nachweis der Nullfunktionalität der vorgenommenen Erweiterungen wurden die Modusbilanzfaktoren des ursprünglichen Modus PW für Nachfrageversionen ohne und mit zusätzlich eingebauter PW-Differenzierung verglichen. Das Ergebnis in Abbildung 51 zeigt, dass die Erweiterungen zur Schaffung der Möglichkeit einer zusätzlichen PW-Differenzierung keinen Einfluss auf eine standardmässige Berechnung ohne Nutzung dieser Erweiterungen haben.

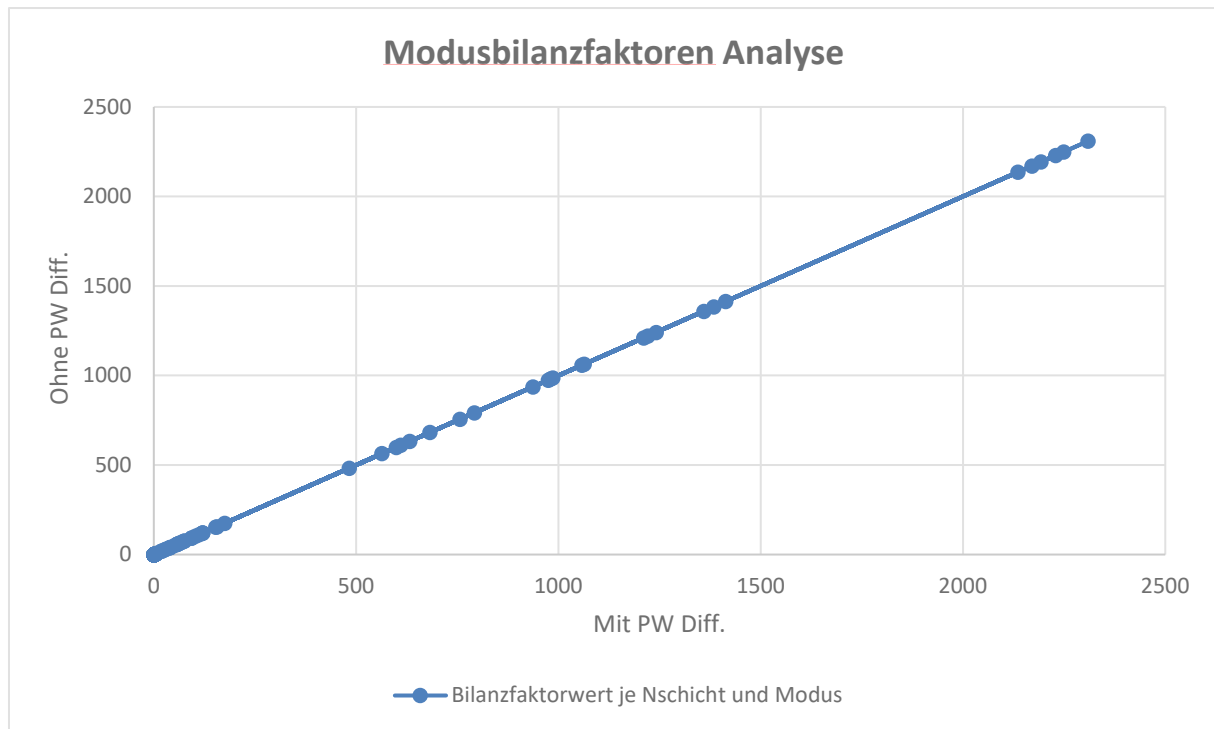


Abbildung 51 Vergleich der Modusbilanzfaktoren (Analyse) zwischen Nachfrageversionen mit und ohne zusätzliche PW-Differenzierung

5.3 Anwendung in VISUM

5.3.1 MIV-Umlegungsversion

Die zusätzliche PW-Differenzierung bietet im Rahmen der MIV-Umlegungsversion die Möglichkeit die entsprechend differenzierten Routenwahleffekte zu ermitteln, die bei einer Sperrung bestimmter Netzbereiche für ein einzelnes oder für mehrere der Verkehrssysteme PW_Mod1, PW_Mod2 oder PW auftreten.

Für die Nutzung im Rahmen der MIV-Umlegungsversion sind im Vorfeld folgende Einstellungen vorzunehmen:

1. **Einschaltung der Verfahrensschritte:** Der Verfahrensschritt zur Ausschaltung der PW-Differenzierung bei einer standardmässigen Berechnung (siehe Abbildung 52) muss angepasst werden.

☐ Gruppe PW-Differenzie ...	41	PW-Differenzierung AUSSCHALTEN (standardmässig aus)
☐ Skript ausführen	...	

Abbildung 52 Verfahrensschritt «PW-Differenzierung ausschalten»

Innerhalb des Skriptes des Verfahrensschrittes sind dabei die Werte der den drei Verfahrensguppen der PW-Differenzierung zugeordneten Netzattribute von Null (siehe Abbildung 53)

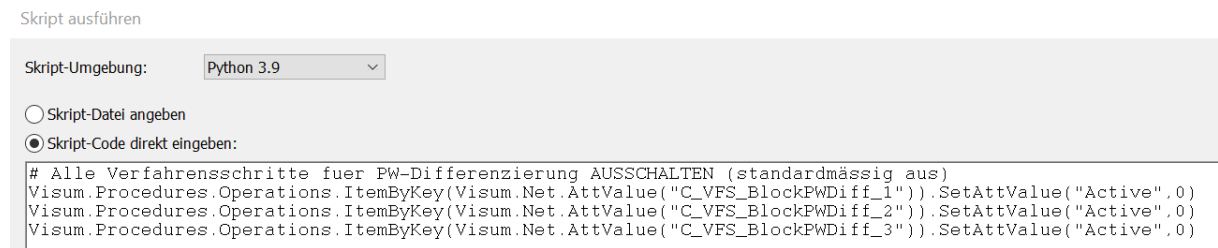


Abbildung 53 Setzen der Netzattribute für die Schaltung der Verfahrensgruppen der PW-Differenzierung (mit ausgeschalteter PW-Differenzierung)

auf Eins (siehe Abbildung 54) zu ändern.

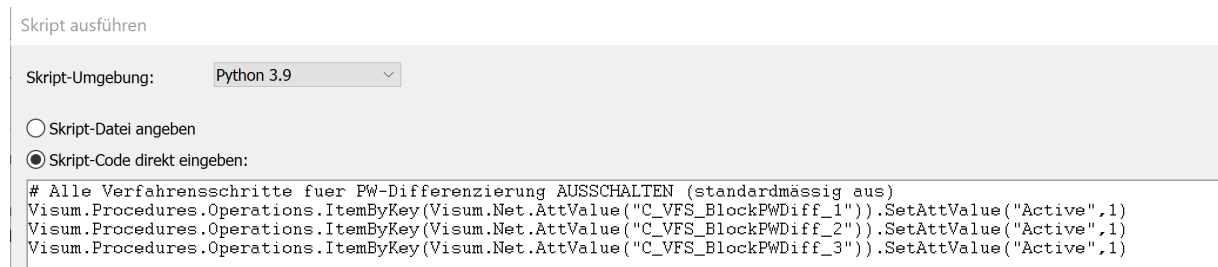


Abbildung 54 Setzen der Netzattribute für die Schaltung der Verfahrensgruppen der PW-Differenzierung (mit eingeschalteter PW-Differenzierung)

2. **Umgang mit QZD-Verkehren:** Die Aufteilung der QZD-Verkehre zwischen den Verkehrssystemen PW_Mod1, PW_Mod2 und PW muss festgelegt werden. In der vorliegenden Version ist als Platzhalter eine Drittelung der QZD-Verkehrsnachfrage zwischen den Verkehrssystemen vorgesehen (siehe Abbildung 55).

Formel für Matrix bearbeiten

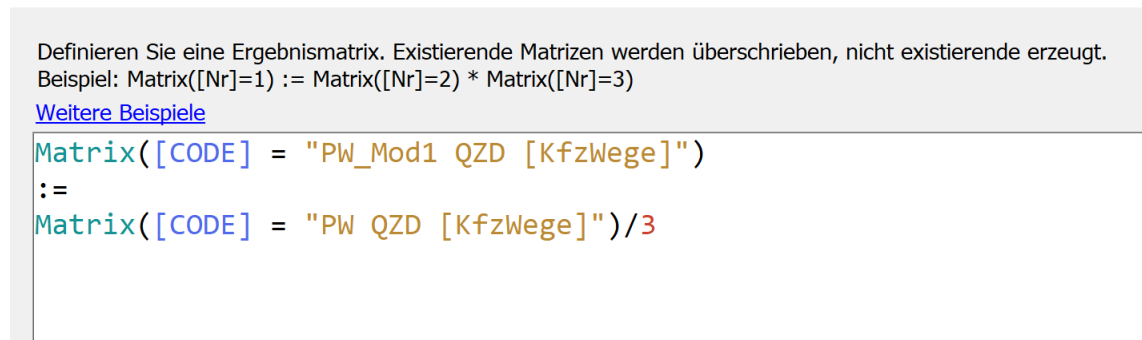


Abbildung 55 Berechnung der QZD-Verkehrsnachfrage für PW_Mod1 (Beispiel)

3. **(Optional) Aufteilung der Verkehrsnachfrage:** Falls ohne eine PW-Differenzierung in der Nachfrageversion gerechnet werden soll, müssen Annahmen über die Aufteilung der Verkehrsnachfrage zwischen Nachfrage-segmenten für PW_Mod1, PW_Mod2 und PW getroffen werden. Das Einlesen entsprechend erstellter Nachfragematrizen kann über die Verfahrensschritte in Abbildung 56 erfolgen. Die Dateinamen- und pfade sind ggf. anzupassen.

Gruppe PW-Differenzierung	...	43 - 55	
Matrix öffnen	...	15 PW_Mod1 Binnen	... 13_PW_Mod1.mtx
Matrix öffnen	...	16 PW_Mod1 FH	... 15_PW_Mod1_FH.mtx
Matrix öffnen	...	18 PW_Mod2 Binnen	... 14_PW_Mod2.mtx
Matrix öffnen	...	19 PW_Mod2 FH	... 16_PW_Mod2_FH.mtx

Abbildung 56 Einlesen der Nachfragematrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2

4. **Anpassungen im Netzmodell:** Die Strecken- und Abbiegerfreigaben der Verkehrssysteme PW_Mod1 und PW_Mod2 im Netzmodell sind identisch zu PW gesetzt. Je nach gewünschtem Szenario können entsprechende Anpassungen an den Freigaben (z.B. Brückensperrung für ein Verkehrssystem) vorgenommen werden.

5.3.2 Nachfrageversion

Die zusätzliche PW-Differenzierung bietet im Rahmen einer Prognoserechnung in der Nachfrageversion die Möglichkeit die entsprechend differenzierten Ziel- und Moduswahlentscheide zu ermitteln, die bei einer Veränderung der Aufwände und Bewertungsfunktionen bzw. -parameter für einen oder mehrere der Verkehrsmodi PW_Mod1, PW_Mod2 oder PW auftreten. Eine Anwendung empfiehlt sich nur im Zusammenhang mit einer Nutzung der zusätzliche PW-Differenzierung in der MIV-Umlegungsversion.

Für die Nutzung im Rahmen einer Prognoserechnung sind im Vorfeld folgende Einstellungen vorzunehmen:

1. **(Optional) Nachfragematrizen initialisieren:** Ausführen der Verfahrensgruppe «Init 3: leere NFM schreiben» zur Erstellung der leeren Nachfragematrizen für PW_Mod1 und PW_Mod2.
2. **Einschaltung der Verfahrensschritte:** Einschaltung der Verfahrensgruppen «aktuelle KGM lesen (Zusatz P_Mod1 und P_Mod2)», «PW_Mod1-KGM bearbeiten», «PW_Mod2-KGM bearbeiten», «PW_Mod1 Besetzungsgradmatrizen», «PW_Mod2 Besetzungsgradmatrizen» und «NFM (nur PW_Mod1 und PW_Mod2) schreiben» (siehe Abbildung 57).

Anzahl: 752	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)
1	☐	Gruppe Init 1: Altdaten löschen ...	2 - 14
15	☐	Gruppe Init 2: POI-Tabellen initialisieren ...	16 - 17
18	☐	Gruppe Init 3: leere NFM schreiben ...	19 - 27
28	☒	Gruppe Init 4: initiale KGM berechnen ...	29 - 33
34	☐	Gruppe :: Start Rückkopplung ***** ...	35 - 36
37	☒	Gruppe :: aktuelle KGM lesen (alle Modi) ...	38 - 71
72	☒	Gruppe :: aktuelle KGM lesen (Zusatz P_Mod1 und P_Mod2) ...	73 - 82
83	☒	Gruppe :: ÖV-KGM bearbeiten ...	84 - 126
127	☒	Gruppe :: VELO-KGM bearbeiten ...	128 - 222
223	☒	Gruppe :: FGV-KGM bearbeiten ...	224 - 238
239	☒	Gruppe :: PW-KGM bearbeiten ...	240 - 266
267	☒	Gruppe :: PW_Mod1-KGM bearbeiten ...	268 - 294
295	☒	Gruppe :: PW_Mod2-KGM bearbeiten ...	296 - 322
323	☒	Gruppe :: Sonstige KGM berechnen ...	324 - 333
334	☒	Gruppe :: PW Besetzungsgradmatrizen ...	335 - 348
349	☒	Gruppe :: PW_Mod1 Besetzungsgradmatrizen ...	350 - 363
364	☒	Gruppe :: PW_Mod2 Besetzungsgradmatrizen ...	365 - 378
379	☐	Gruppe :: Rückkopplungsstatistik Kenngrößen ...	380 - 381
382	☐	Gruppe :: Nachfrage Personenverkehr M01 ...	...
383	☒	Gruppe EVA-Erzeugung mit Teilräumen M01 ...	384 - 388
389	☒	Gruppe EVA-Erzeugung für Teilräume der Schulbezirke M01 ...	390 - 394
395	☒	Gruppe EVA-Erzeugung ohne Teilräume M01 ...	396 - 397
398	☐	Gruppe EVA Bewertung M01 und M02 ...	399 - 402
403	☐	Gruppe EVA-Verteilung/Aufteilung M01 (alle Fahrtzwecke gemeinsam, mit Randsummenausgleich) ...	404 - 445
446	☐	Gruppe EVA-Matrizen ausschreiben ...	447 - 498
499	☐	Gruppe EVA-Matrizen (nur PW_Mod1 und PW_Mod2) ausschreiben ...	500 - 551
552	☐	Gruppe :: EVA-Nachfrage Flughafenverkehr M02 ...	553 - 571
572	☒	Gruppe :: NFM schreiben ...	573 - 583
584	☒	Gruppe NFM (nur PW_Mod1 und PW_Mod2) schreiben ...	585 - 588
589	☐	Gruppe :: Rückkopplungsstatistik Nachfrage ...	590 - 591
592	☐	Gruppe :: PW- & ÖV-Umlegungen mit Gleichgewichtsprüfung ...	593 - 599
600	☐	Gruppe :: Ende Rückkopplung ***** ...	601

Abbildung 57 Ausschnitt Verfahrensablauf Nachfrageversion mit zusätzlicher PW-Differenzierung eingeschaltet

Bei Bedarf kann zum Schreiben der EVA-Bewertungsmatrizen zusätzlich die Verfahrensgruppe «EVA-Matrizen (nur PW_Mod1 und PW_Mod2) ausschreiben» eingeschaltet werden.

3. **Freischaltung der Aufwandsbewertungen:** In den Verfahrensschritten der EVA-Bewertung M01 und M02 ist jeweils für alle Aufwände für PW_Mod1 und PW_Mod2 im Aufwandsparameter Max. Widerstand die gesetzte Null zu entfernen (siehe Abbildung 58).

Grp(Modus)	Grp(Aufwandsart)	Grp(Max.)		Grp(Modus)	Grp(Aufwandsart)	Grp(Max.)
P PW	Steuerung Distanz			P PW	Steuerung Distanz	
P PW	Verfügbarkeit			P PW	Verfügbarkeit	
P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit interm.	0		P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit interm.	
P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit länd.	0		P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit länd.	
P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit städt.	0		P_Mod1 PW_Mod1	Fahrtzeit städt.	
P_Mod1 PW_Mod1	Kosten interm.	0		P_Mod1 PW_Mod1	Kosten interm.	
P_Mod1 PW_Mod1	Kosten ländl.	0		P_Mod1 PW_Mod1	Kosten ländl.	
P_Mod1 PW_Mod1	Kosten städt.	0		P_Mod1 PW_Mod1	Kosten städt.	
P_Mod1 PW_Mod1	PW-Distanz	0		P_Mod1 PW_Mod1	PW-Distanz	

...

Abbildung 58 Notwendige Anpassung des Parameters Max. Widerstand für PW_Mod1 und PW_Mod2 in einem Ausschnitt der EVA-Bewertung

4. **Anpassung der Modusbilanzfaktoren:** In den Verfahrensschritten zum Setzen der Modusbilanzfaktoren für PW_Mod1, PW_Mod2 und PW (siehe Abbildung 48) sind die Modusbilanzfaktoren entsprechend der getroffenen Prognoseannahmen über die Aufteilung zwischen den Modi zu wählen. Zu beachten ist, dass die Modusbilanzfaktoren für PW_Mod1, PW_Mod2 und PW nach der Aufteilung in Summe immer dem Wert

des ursprünglichen Modusbilanzfaktors für PW entsprechen müssen. Ansonsten werden auch die Modusbilanzfaktoren der anderen Modi (ÖV, Velo, Velo+, FGV, LI, LW, LZ) beeinflusst. In Abbildung 59 ist als Beispiel eine Drittelung des ursprünglichen Modusbilanzfaktor PW dargestellt.

Parameter 'Attribut ändern'

Netzobjektyp

Nachfrageschichten

Zielattribut

Bilanzfaktor (P_Mod1)

☐ Nur aktive

Das Ergebnisattribut wird durch den nachfolgenden /

[BILANZFAKTOR(P)]/3

Parameter 'Attribut ändern'

Netzobjektyp

Nachfrageschichten

Zielattribut

Bilanzfaktor (P_Mod2)

☐ Nur aktive

Das Ergebnisattribut wird durch den nachfolgenden /

[BILANZFAKTOR(P)]/3

Parameter 'Attribut ändern'

Netzobjektyp

Nachfrageschichten

Zielattribut

Bilanzfaktor (P)

☐ Nur aktive

Das Ergebnisattribut wird durch den nachfolgenden /

[BILANZFAKTOR(P)]/3

Abbildung 59 Aufteilung des Modusbilanzfaktors PW (Beispielfall Drittelung)

Als Ergebnis des Beispiels und als Funktionsnachweis ergibt sich die zu erwartende Drittelung der Verkehrsnachfrage (siehe Abbildung 60).

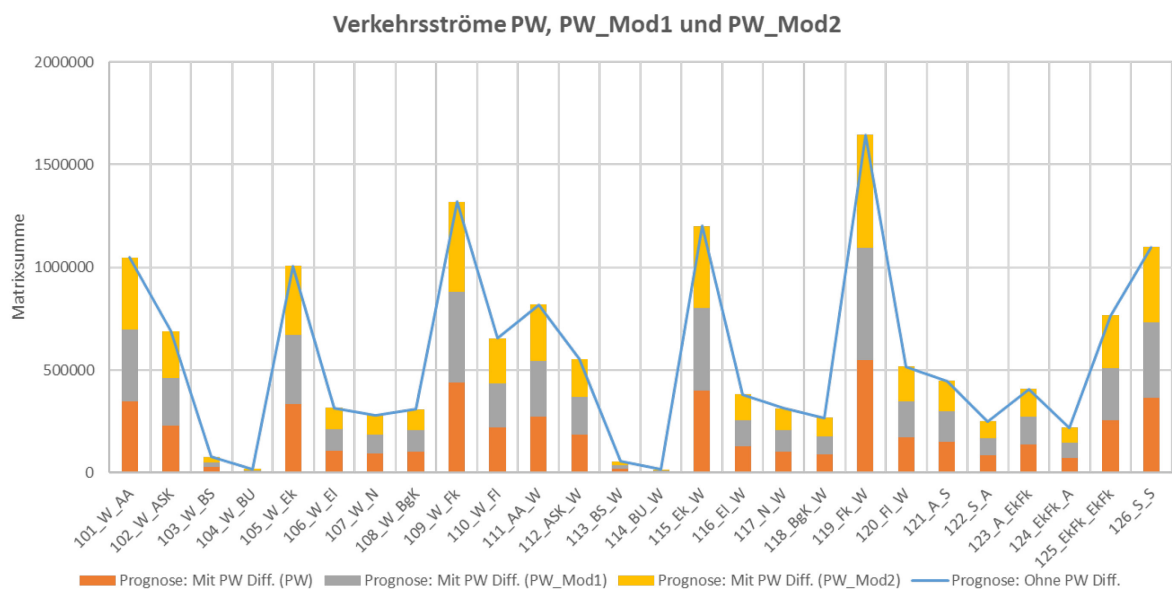


Abbildung 60 Beispielergebnis bei Drittelung der Modusbilanzfaktor zwischen PW_Mod1, PW_Mod2 und PW bei identischer Parametrisierung der Modi.

5. **Umstellung auf Prognoserechnung:** Die Verwendung der zusätzlichen PW-Differenzierung ist nur im Rahmen einer Prognoserechnung vorgesehen. Die Verfahrensschritte «EVA Verteilung/Aufteilung M01» und «EVA Verteilung/Aufteilung M02» sind deshalb auf Prognose umzustellen.

6 Mobilitätsraten Arbeit und Nutzfahrt

Das «Mobilitätsraten-Tool» bietet die Möglichkeit zur externen Anpassung der Mobilitätsraten für die Zwecke «Arbeit» und «Nutzfahrt» inklusive einer Abschätzung der entstehenden vorläufigen Heimatverkehrsaufkommen. Diese bilden in Summe das Gesamtwegeaufkommen. Der Einfluss von vermehrter «Homeoffice»-Nutzung und sich damit verändernder Mobilitätsraten auf die vorläufigen Heimatverkehrsaufkommen kann so vereinfacht abgeschätzt werden. Die veränderten Mobilitätsraten können mit Hilfe des Werkzeuges direkt nach VISUM importiert werden.

Konkret berücksichtigt das Werkzeug die Nachfrageschichten W_AA, W_ASK, W_N, A_S und A_E(k)F(k) sowie die jeweiligen Rückrichtungen. Zudem wird nach Raumtyp und Sprachraum differenziert.

Das Werkzeug ist in MS-Excel erstellt und der Zugriff auf VISUM erfolgt über die VBA-Schnittstelle. Neben VISUM erfolgt ein Zugriff auf drei VISUM-Layouts «Mobilitätsraten_gruppiert_AnzP.llax», «Mobilitätsraten.llax» und «Heimataufkommen.llax» sowie einen VISUM-Zonenfilter «Mobilitätsraten_gruppiert_AnzP.fil» und die VISUM-Verfahrensparameter «MobRaten_Tool.xml». Alle genannten Grundlagen werden zusammen mit dem Werkzeug übergeben.

Die Verwendung des «Mobilitätsraten-Tool» erfolgt grundsätzlich in folgenden Schritten:

1. **Ablage der VISUM-Zusatzdateien:** Die VISUM-Zusatzdateien (Layouts, Filter, Verfahrensparameter) sind im selben Ordner wie das Werkzeug abzulegen. Bei Bedarf kann ein veränderter Dateipfad vor den Namen der VISUM-Zusatzdateien (z.B. «C:\Ordner\MobRaten_Tool.xml») im Bedienungsfeld gesetzt werden (siehe Abbildung 61).
2. **Ausfüllung des Bedienungsfelds:** Das Bedienungsfeld des Werkzeugs befindet sich im Tabellenblatt «Tool» der Excel-Datei und ist in Abbildung 61 dargestellt.

VISUM Projektpfad:	F:\Auftrag\6110549_NPVM_Methodik Update\Modell\Pfad\6110549_NPVM_Methodik Update.pfd		
VISUM-Version:	visum.visum.22		
VISUM-Versionsname:	NPVM_Nachfrage_2017_20221101_init		
Output-Name:	NPVM_Nachfrage_Test_Output		
Listenart	Mobilitätsraten_grupp	Mobilitätsraten	Heimataufkommen
Layout	Mobilitätsraten_grupp	Mobilitätsraten.llax	Heimataufkommen.llax
Filter	Mobilitätsraten_gruppiert_AnzP.fil		
Start Kopie	Q4	A1	A1
Verfahrensparameter	MobRaten_Tool.xml		

3. Erstellung neuer VISUM-Version/
Reset Tool

2. Aktualisierung Tabellen
(Export/Import VISUM)

1. Initialisierung Tabellen
(Export/Import VISUM)

Abbildung 61 Bedienungsfeld «Mobilitätsraten-Tool»

Vor einer Verwendung müssen zunächst die Felder «VISUM Projektpfad», «VISUM-Versionsname» und «Output-Name» (grün markiert) den jeweiligen lokalen Gegebenheiten angepasst werden. Das Feld «Output-Name» legt dabei den Namen der später exportierten VISUM-Attributliste und der VISUM-Version mit den neuen Mobilitätsraten fest. Weitere Felder sind nur bei Bedarf (siehe 1. Schritt) oder unter Beachtung der VBA-Skripte und Excel-Bezüge anzupassen.

Das Bedienungsfeld bietet zudem drei zentrale Steuerungsfelder, durch deren Auswahl (Linksklick) ein gewünschter Berechnungsvorgang durchgeführt werden kann. Die Beendigung eines Berechnungsvorgangs wird jeweils mit einer automatisch erscheinenden Meldung angezeigt.

- 3. Initialisierung der Tabellen:** Nach Ausfüllung des Bedienungsfelds ist zunächst das Steuerungsfeld «1. Initialisierung Tabellen» auszuwählen. Nach seiner Auswahl öffnet sich die im Feld «VISUM-Version» festgelegte Version im Hintergrund und die Tabellenblätter «VISUM_MobRaten_Import» und «VISUM_Heimataufkommen_Import» werden mit den initialen Mobilitätsraten und Heimatverkehrsaufkommen gefüllt.
- 4. Anpassung der Mobilitätsraten:** Die Mobilitätsraten können nun in der in Abbildung 62 gezeigten Liste angepasst werden. Dabei ist jeweils ein Prozentwert zu setzen, wobei initial alle Werte mit 100% belegt sind.

Änderung der Mobilitätsrate in %		Sprachraum 4 wird standardmäßig identisch zu Sprachraum 1 gesetzt									
Änderbar		RAUMTYP									
Änderbar, keine Auswertung		SPRACHRAUM									
		1	1	1	2	2	2	3	3	3	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Nachfragesicht	Personengruppe										
Wohnen-Arbeit A	RE_E_0017_CARNO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Wohnen-Arbeit A	RE_E_0017_CARTC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Wohnen-Arbeit A	RE_E_0017_NOCNO	100	100	100	100	100	100	20	100	100	100
Wohnen-Arbeit A	RE_E_0017_NOCTC	100	100	100	100	100	100	20	100	100	100
Wohnen-Arbeit A	RE_E_1824_CARNO	100	100	100	100	100	100	20	100	100	100

Abbildung 62 Ausschnitt der Liste mit Feldern zur Anpassung der Mobilitätsraten

Bei den rot markierten Feldern handelt es sich um eine «Nachfragesicht x Personengruppe x Raumtyp x Sprachraum»-Kombination ohne hinterlegte Personen. Ihre Anpassung kann aus Konsistenzgründen erfolgen, bleiben aber ohne Auswirkungen auf die Heimatverkehrsaufkommen bzw. das Modellergebnis insgesamt.

- 5. Aktualisierung der Tabellen:** Anschliessend ist das Steuerungsfeld «2. Aktualisierung Tabellen» auszuwählen. Nach seiner Auswahl wird das Tabellenblatt «VISUM_MobRaten_Import» mit den angepassten Mobilitätsraten als VISUM-Attributdatei gespeichert. Danach öffnet sich die im Feld «VISUM-Version» festgelegte Version im Hintergrund und es folgt das Einlesen der Attributdatei sowie der Verfahrensparameter «MobRaten_Tool.xml». Auf dieser Basis wird in der VISUM-Version eine Erzeugungsrechnung zur Bestimmung der vorläufigen Heimatverkehrsaufkommen durchgeführt und die Aufkommen entsprechend aus VISUM exportiert und das Tabellenblatt «VISUM_Heimataufkommen_Import» des Werkzeugs importiert.
- 6. Prüfung der Heimatverkehrsaufkommen:** Im Tabellenblatt «Übersicht» kann nach Abschluss der Aktualisierung der Tabellen das Ergebnis grafisch geprüft werden (siehe Abbildung 63).

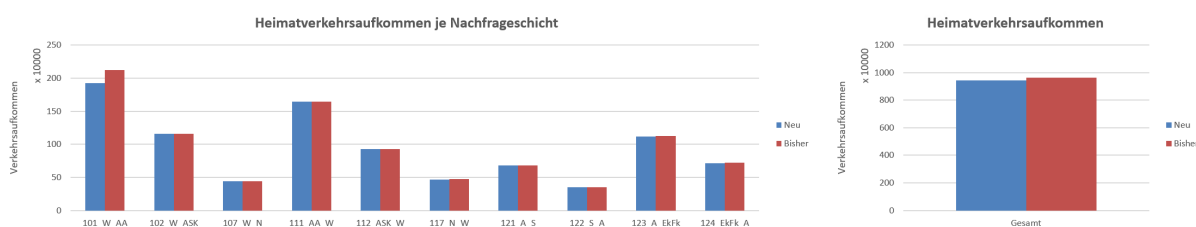


Abbildung 63 Übersicht Ergebnis der auf Basis der angepassten Mobilitätsraten entstehenden Heimatverkehrsaufkommen (inkl. Vergleich mit bisherigen Aufkommen)

Dazu besteht die Möglichkeit, die angepassten Mobilitätsraten mit Hilfe eines Pivot-Graphen zu visualisieren (siehe Abbildung 64).

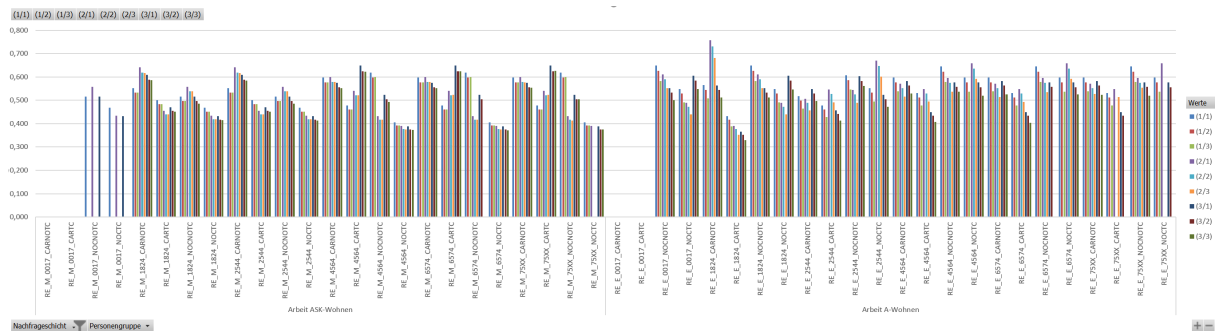


Abbildung 64 Übersicht angepasster Mobilitätsraten (Pivot-Graph, alle ausgewählt)

7. **Speichern einer neuen VISUM-Version:** Nach Abschluss der Anpassung der Mobilitätsraten können diese durch Auswahl des Steuerungsfeldes «3. Erstellung neuer VISUM-Version/Reset Tool» in eine VISUM-Version mit dem im Feld «Output-Name» festgelegten Versionsnamen abschliessend exportiert werden. Die entsprechende VISUM-Version wird automatisch gespeichert, bleibt aber zur weiteren Bearbeitung geöffnet. Das «Mobilitätsraten-Tool» wird gleichzeitig wieder in einen leeren Ausgangszustand versetzt.

7 Neukalibration Nachfragemodell

Die vielfältigen strukturellen Veränderungen der Umlegungsmodelle (insb. neues Anbindungskonzept, Velo-Erweiterungen, ÖV-Matrixtagesganglinie) führen unweigerlich zu Veränderungen der Kenngrössenmatrizen. Um eine Konsistenz zwischen den im EVA-Modell berechneten und in den Umlegungsmodellen verwendeten Matrizen sicherzustellen, wurde die Nachfrage mit den neuen Kenngrössenmatrizen nochmals berechnet. Hierbei wurden leichte Abweichungen zwischen den Modellergebnissen und den Kalibrationskenngrössen des MZMV 2015 festgestellt, weshalb das Nachfragemodell anschliessend nochmals auf den MZMV nachkalibriert wurde. Die Auswertungen dieser Kalibration werden hier, analog zu den im Bericht zur Modellerstellung gezeigten Kenngrössen, aufgezeigt.

7.1 Einbezug neuer Kenngrössen

Wie oben erwähnt wurden die aus den Umlegungsmodellen (Velo, MIV und ÖV) neu berechneten Kenngrössenmatrizen ins Nachfragemodell einbezogen. Die folgenden Abbildungen vermitteln einen Eindruck der veränderten Kenngrössen. Gezeigt werden jeweils zonenbasierte Vergleiche zwischen der Kenngrösse im Etablierungsmodell (auf der x-Achse) und jener im Methodikupdate (y-Achse). Jeder Punkt der jeweiligen Wolken stellt also eine Zonenbeziehung im Netz dar.

Wie Abbildung 65 zeigt, streuen die Werte für die MIV-Fahrtzeit in einem eher engen Bereich um die Diagonale (in Blau, welche Gleichheit der Werte aus beiden Modellzuständen bedeutet). Die sichtbare tiefer liegende Punktsammlung entspricht den Werten für eine Verkehrszone (Monthey im Wallis), bei welcher die Anbindungen deutlich korrigiert wurden, und jetzt ums Ortszentrum konzentriert sind anstatt im weiter entfernten Berggebiet. An diesem Beispiel wird deutlich, dass die neuen Anbindungen einerseits punktuell durchaus eine Wirkung entfalten, die MIV-Fahrtzeiten andererseits aber grossmehrheitlich in ähnlichen Grössenordnungen verbleiben.

Etwas breiter ist die Streuung bei der Beförderungszeit im ÖV (Abbildung 66). Hier wirken die neuen Anbindungen stärker, da diese teilweise zur Wahl anderer Verbindungen führen. Zudem spielt hier auch die zeitlich andere Verteilung der Nachfrage wegen der MTG eine Rolle. Auch hier ist jedoch ersichtlich, dass die Streuung um die Diagonale herum stattfindet, im Mittel und in der Summe also die gleichen Grössenordnungen der Kenngrösse beibehalten werden.

Wie Abbildung 67 und Abbildung 68 zeigen, sind die neuen Anbindungen für den grössten Teil der Veränderungen in der Beförderungszeit verantwortlich. Abbildung 67 zeigt den Vergleich zwischen den Werten aus der Etablierung des NPVM (mit der bisher im NPVM verwendeten prozentualen Ganglinie) und den Werten basierend auf den neuen Anbindungen. Die Streuung beim Vergleich zwischen der prozentualen Ganglinie und der MTG, die in Abbildung 68 dargestellt ist, wirkt hier etwas geringer.

Hier ist des Weiteren anzumerken, dass die Punktwolke einzelne Bezirksbeziehungen darstellt und dabei deren Relevanz bezogen auf die Nachfrage nicht berücksichtigt. Um einen besseren Eindruck über die tatsächlichen Veränderungen zu erhalten wurde eine neue Kenngrösse "Verhältnis Beförderungszeit Methodikupdate/Modelletablierung" gebildet und für diese die nachfragegewichtete Häufigkeitsverteilung ausgewertet (cf. Abbildung 69). Diese zeigt, dass für 95% aller Wege die relative Abweichung zwischen der in der Modelletablierung

und dem Methodikupdate ausgewiesenen Beförderungszeit unter 10% liegt. (Verhältnis zwischen 0.9 und 1.1). Ein Grossteil der Nachfrage findet also auf Relationen mit praktisch unveränderten Kenngrössen statt.

Ebenfalls vergleichsweise dispers (aber auch wieder in den gleichen Grössenordnungen) sind die Veränderungen bei der Anzahl Umsteigevorgänge im ÖV, die in Abbildung 70 gezeigt werden. Hier bewirkt die MTG die Wahl anderer Verbindungen, welche hier teilweise zu stärker unterschiedlichen Werten führen. Aufgrund der genaueren Abbildung der MTG sowie der durch die Clusterbildung feingliedrigeren Aufteilung der Nachfrage auf die Anbindungen (und somit auf die Haltestellen) kann davon ausgegangen werden, dass die neuen Kenngrössen aus dem Methodikupdate noch näher an einem realitätsgetreuen Tagesmittel sein sollten als die bisherigen.

Die Einflüsse dieser Veränderungen der Kenngrössen auf die Nachfrage werden im Laufe der Nachkalibration ausgeglichen, so dass die Kennwerte des MZMV wieder reproduziert werden. Diese Arbeiten werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

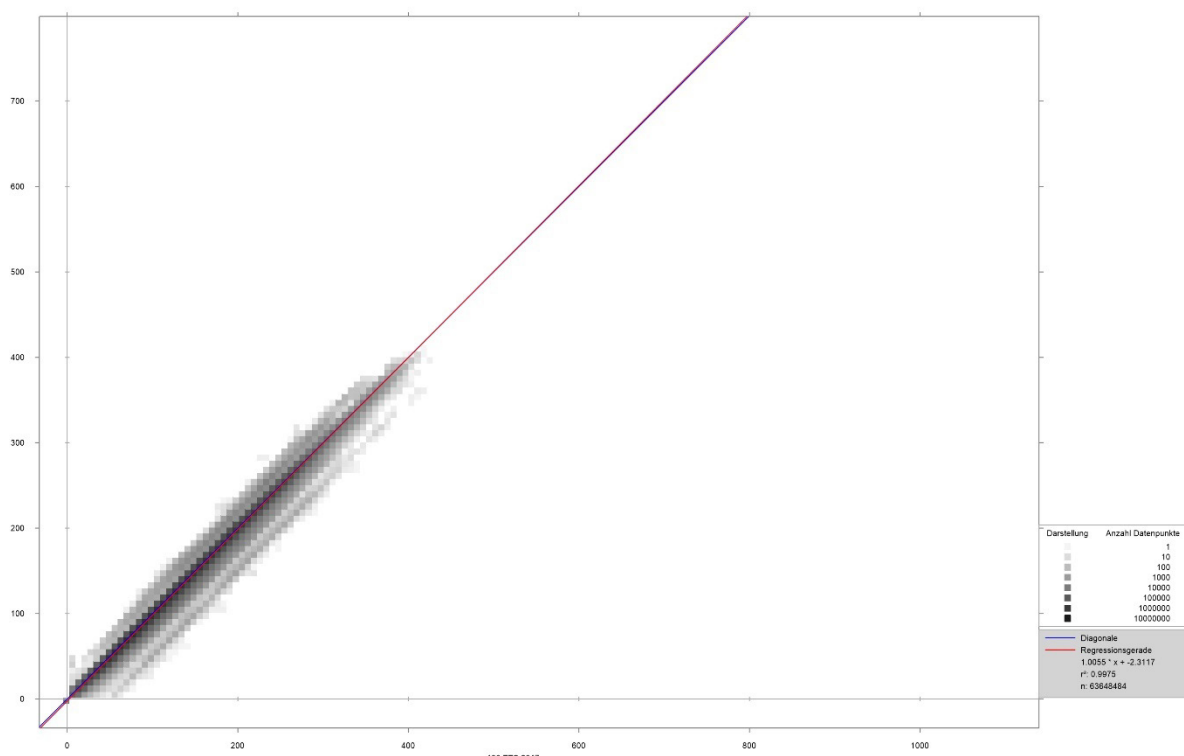


Abbildung 65 Modelletablierung vs. Methodikupdate: Vergleich Kenngrösse "Fahrzeit MIV [min]"
(x-Achse: Wert Modelletablierung; y-Achse: Wert Methodikupdate)

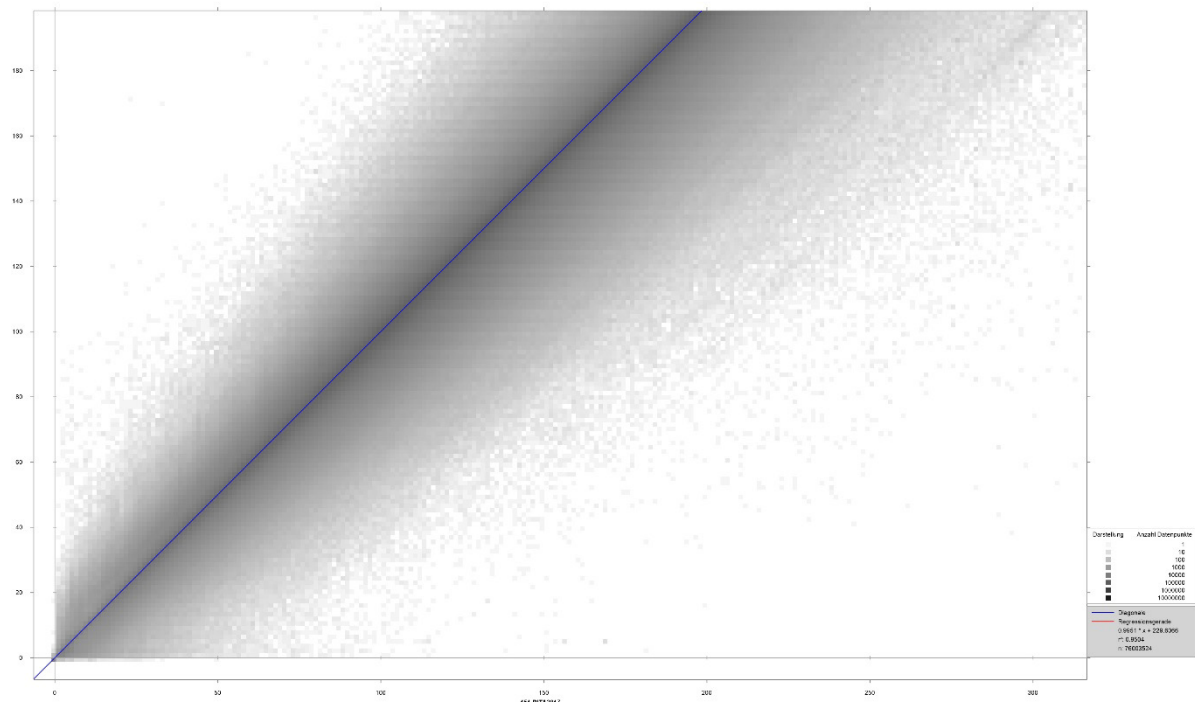


Abbildung 66 Modelletablierung vs. Methodikupdate: Vergleich Kenngrösse "Beförderungszeit ÖV [min]" (x-Achse: Wert Modelletablierung; y-Achse: Wert Methodikupdate mit MTG)

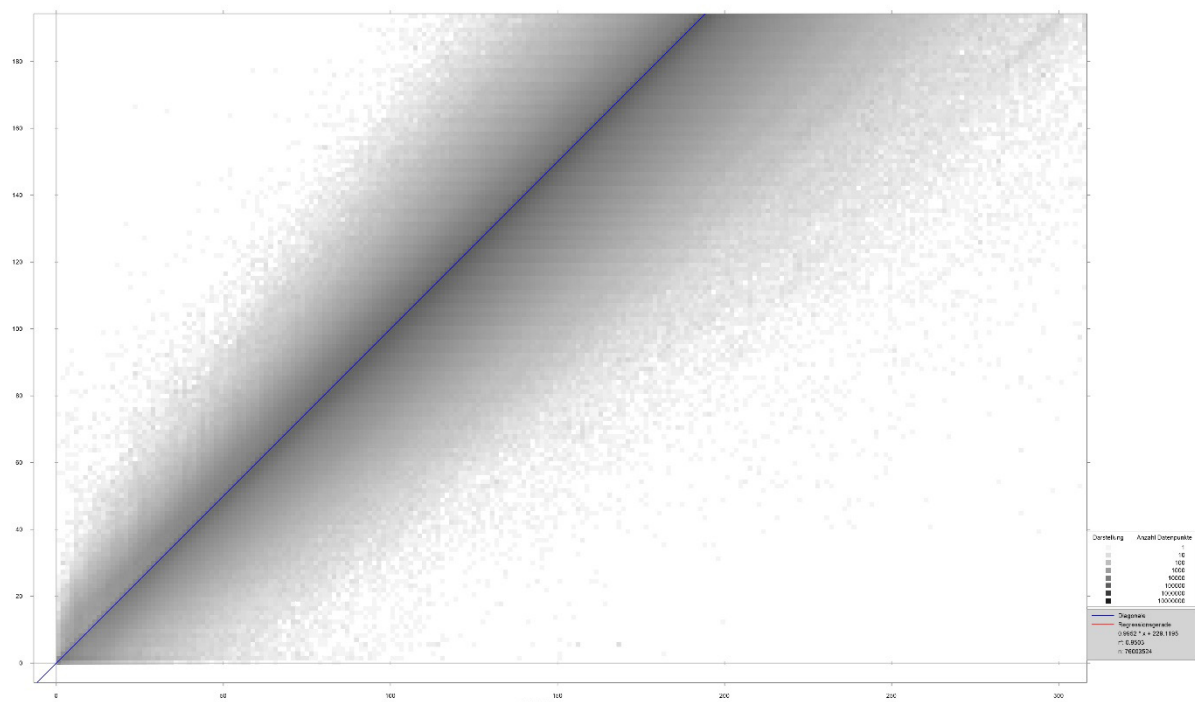


Abbildung 67 Modelletablierung vs. Methodikupdate: Vergleich Kenngrösse "Beförderungszeit ÖV [min]" (x-Achse: Wert Modelletablierung; y-Achse: Wert Methodikupdate mit prozentualer Ganglinie)

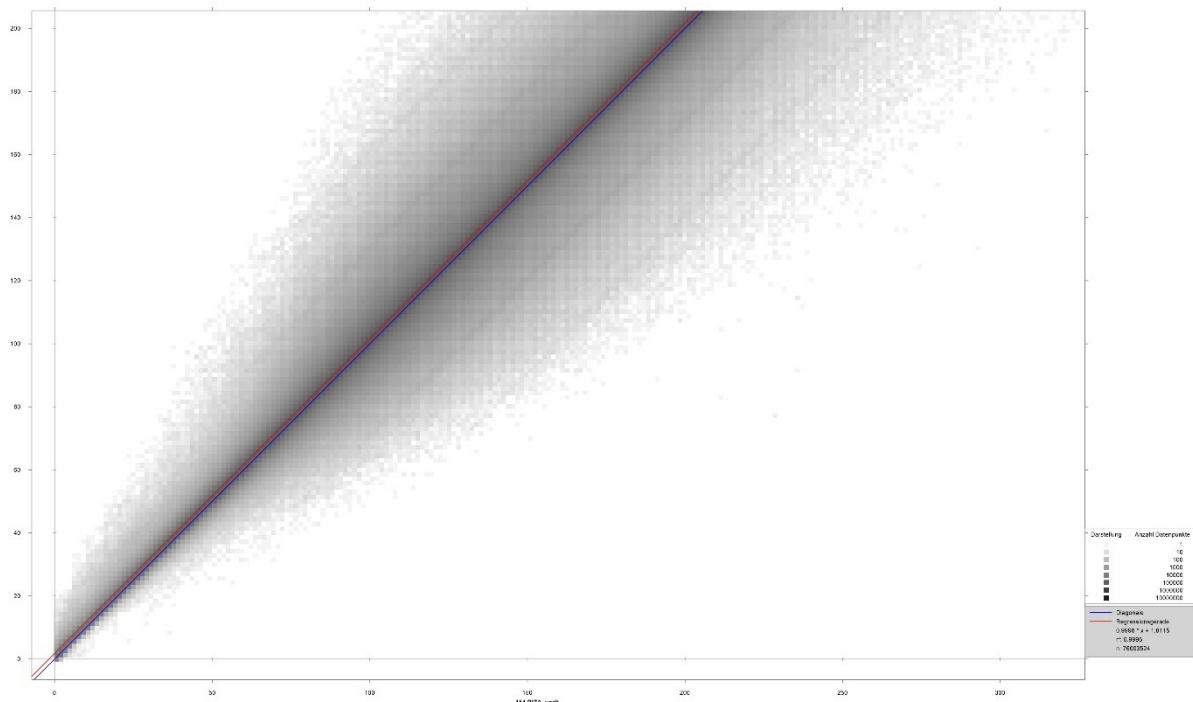


Abbildung 68 Prozentuale Ganglinie vs. MTG: Vergleich Kenngrösse “Beförderungszeit ÖV [min]”
 (x-Achse: Wert Methodikupdate mit prozentualer Ganglinie; y-Achse: Wert Methodikupdate mit MTG)

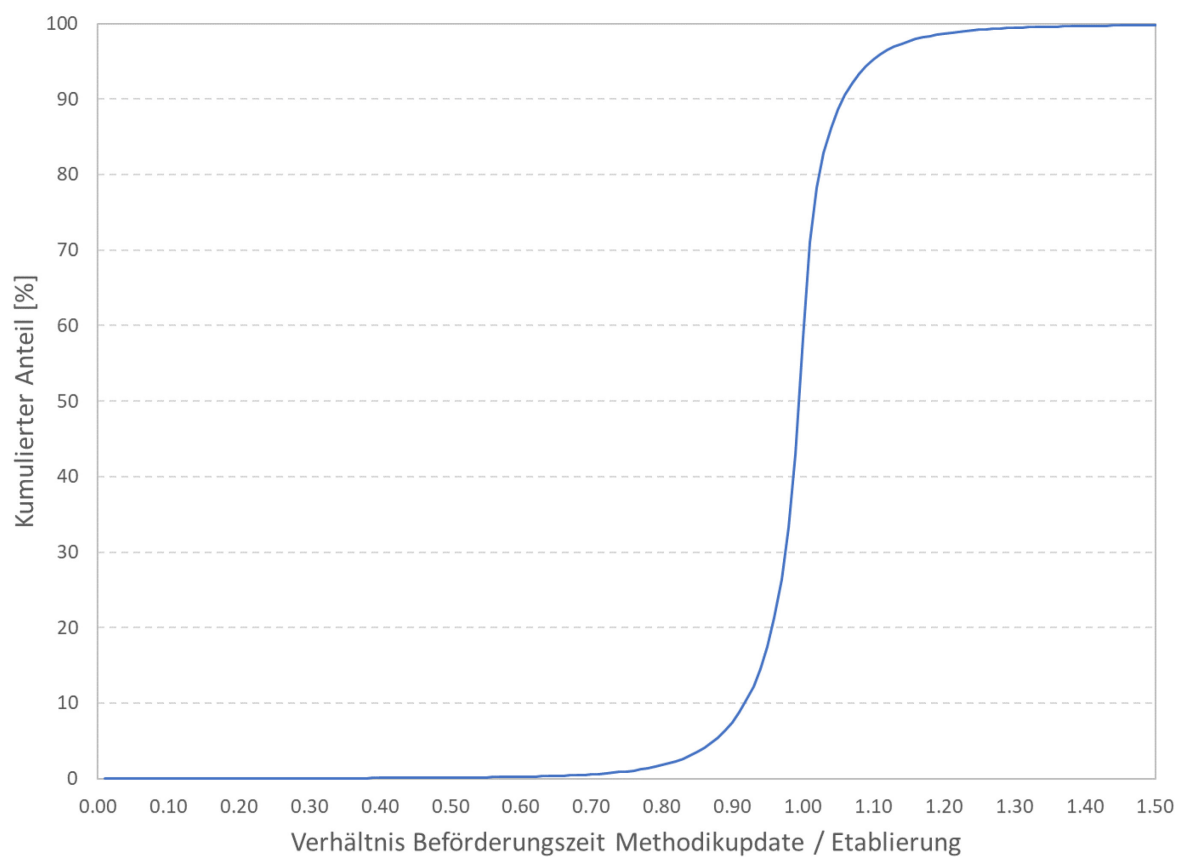


Abbildung 69 Modelletablierung vs. Methodikupdate: Vergleich Kenngrösse “Beförderungszeit ÖV [min]”
 (nachfragegewichtete Häufigkeitsverteilung der relativen Veränderungen)

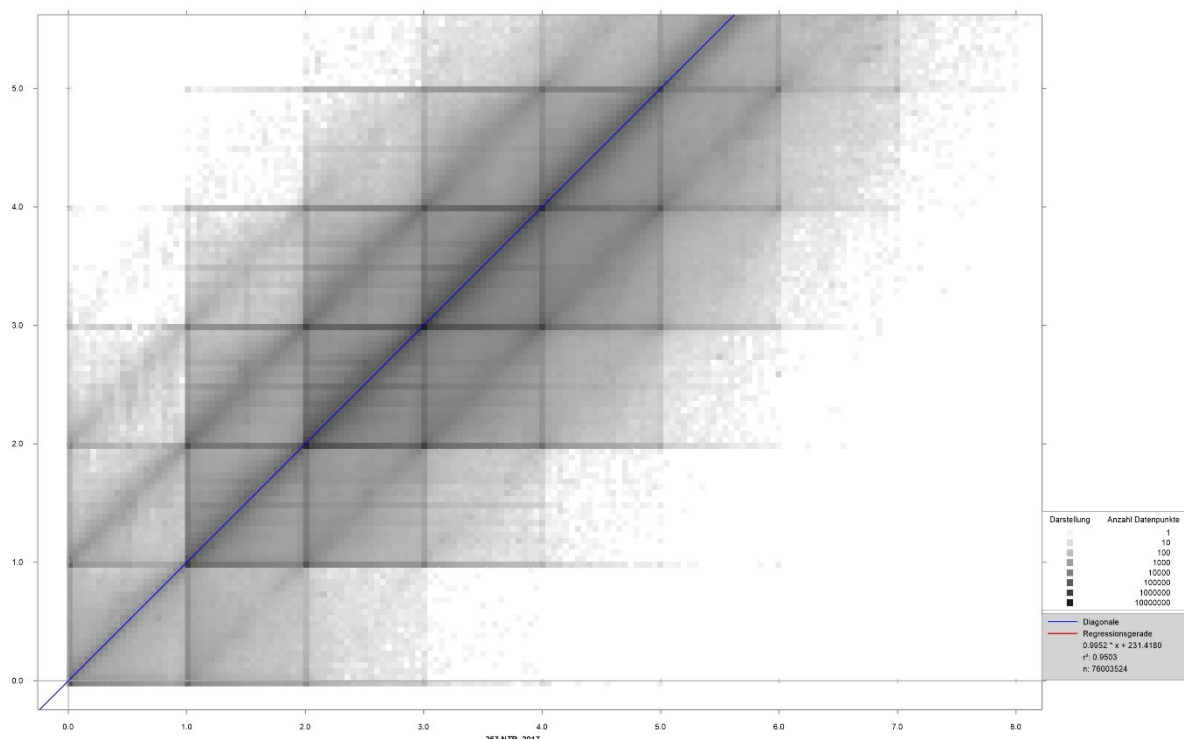


Abbildung 70 Modelltablierung vs. Methodikupdate: Vergleich Kenngrösse "Umsteigevorgänge ÖV"
 (x-Achse: Wert Modelltablierung; y-Achse: Wert Methodikupdate)

7.2 Interzonaler Verkehr

Abbildung 71 zeigt die Anteile des interzonalen Verkehrs (Wege, welche nicht innerhalb einer Zone des NPVM stattfinden) im Vergleich zwischen dem MZMV 2015 und dem NPVM. Es ist ersichtlich, dass die Struktur der Zonenbinnenverkehre sehr gut reproduziert wird und im Rahmen der Modellerstellung liegt (hinsichtlich der etwas grösseren Abweichung für Fusswege, siehe Etablierungsbericht, Kapitel 2.7.2).

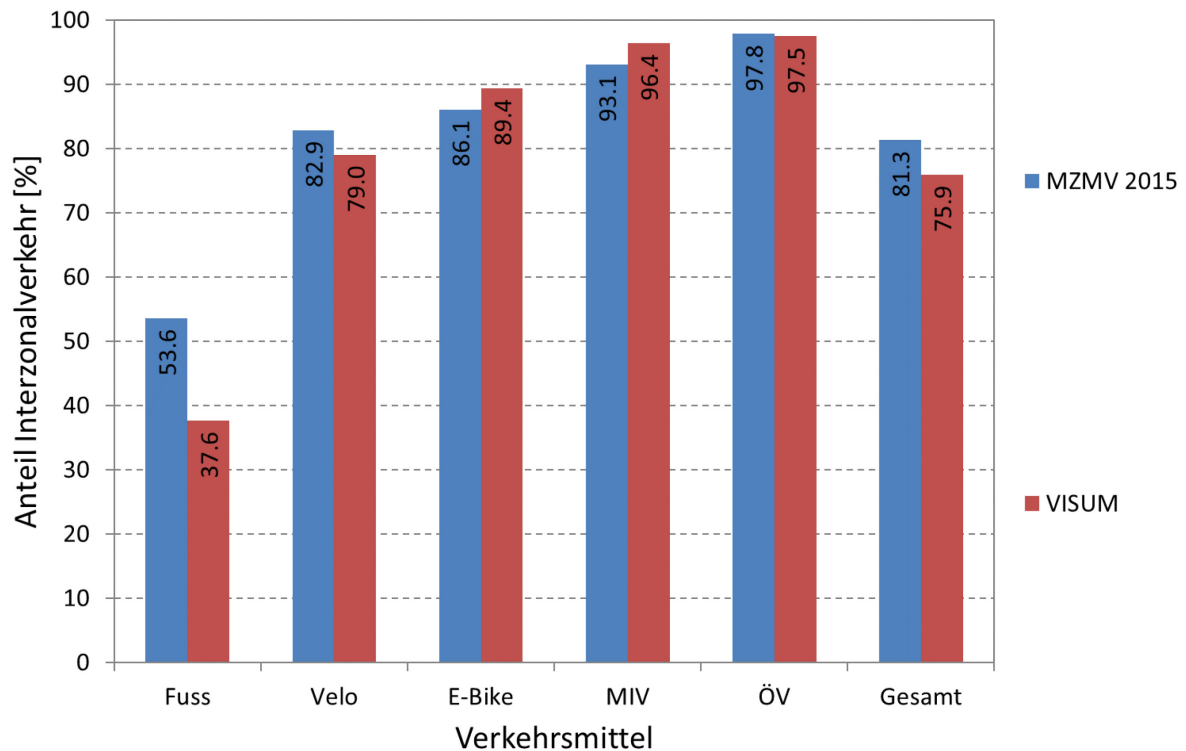


Abbildung 71 Anteile des interzonalen Verkehrs nach Verkehrsmittel

7.3 Fahrtzweckanteile

Die bei der Modellerstellung verwendeten Mobilitätsraten nach QZG und Personengruppe wurden hier unverändert aus der Modelletablierung übernommen, ebenso wie die dort hinterlegten Strukturdaten. Die aus Abbildung 72 ersichtliche exakte Übereinstimmung der Fahrtzweckanteile zwischen Modellerstellung und Methodikupdate ist ein direktes Ergebnis dieser Inputs.

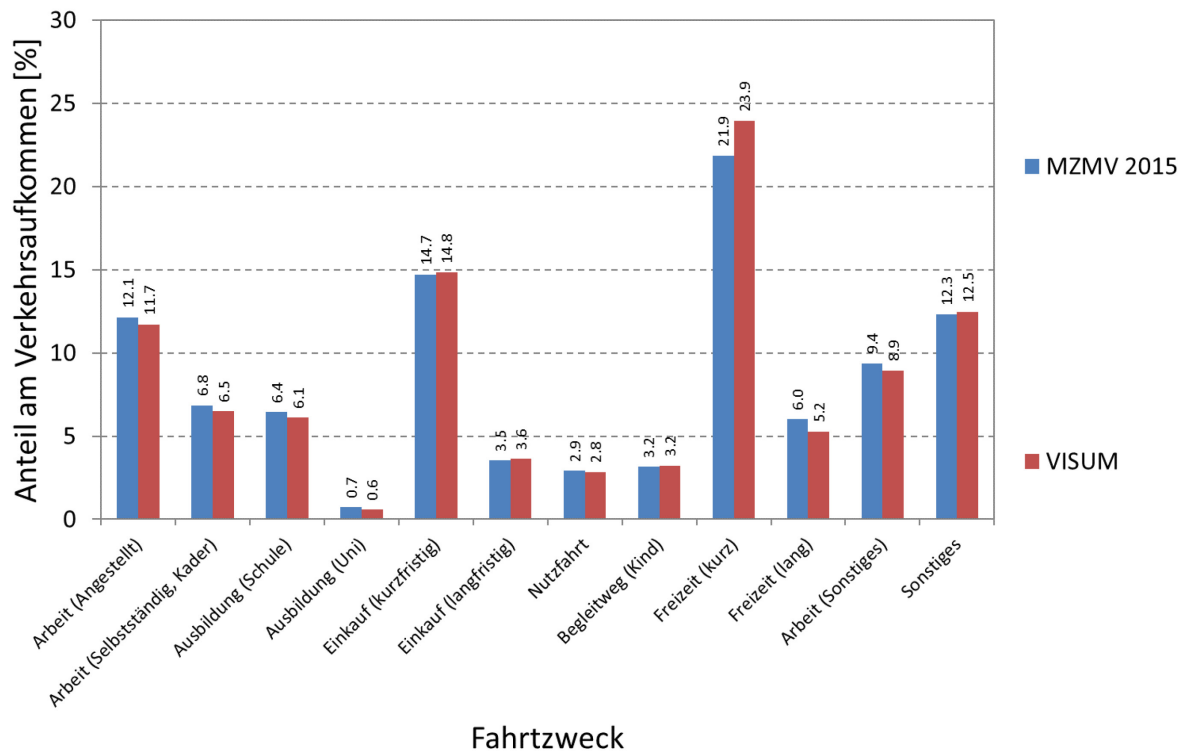


Abbildung 72 Fahrtzweckanteile

7.4 Modal-Split-Anteile

Die Modal-Split-Anteile je Quelle-Ziel-Gruppe aus dem MZMV 2015 sind eine Vorgabe im Nachfragemodell und werden aufgrund der Modelltheorie im Ist-Zustand auch genau eingehalten. Bei der Modellerstellung wurden diese Werte zwecks einer besseren initialen Übereinstimmung der Umlegungsergebnisse mit den Zähldaten leicht angepasst. Diese Anpassungen wurden hier unverändert übernommen. Einzige Änderung ist der oben erwähnte Einbezug des neuen Modus E-Bike.

Wie Tabelle 6 zeigt, konnten auch hier die Werte aus der Modellerstellung (und somit die entsprechend modifizierten MZMV-Werte) exakt reproduziert werden.

Fahrtzweck	MZMV 2015					NPVM				
	Fuss	Velo	E-Bike	MIV	ÖV	Fuss	Velo	E-Bike	MIV	ÖV
Arbeit (Angestellt)	10.8	9.8	0.7	51.7	27.0	13.2	12.1	0.9	49.5	24.3
Arbeit (Selbstständig, Kader)	13.0	8.3	0.6	62.2	15.9	15.5	9.9	0.7	59.6	14.3
Ausbildung (Schule)	50.8	15.5	0.2	7.0	26.5	53.1	16.2	0.2	6.7	23.8
Ausbildung (Uni)	8.8	9.2	0.4	18.4	63.2	12.2	12.7	0.6	17.6	56.8
Einkauf (kurzfristig)	33.9	6.6	0.7	48.3	10.5	36.5	7.1	0.7	46.3	9.4
Einkauf (langfristig)	17.9	5.2	0.6	62.1	14.2	20.9	6.1	0.8	59.5	12.8
Nutzfahrt	9.3	4.1	1.1	67.8	17.8	12.3	5.3	1.4	65.0	16.0
Begleitweg (Kind)	33.7	3.3	0.8	58.1	4.1	36.2	3.5	0.8	55.7	3.7
Freizeit (kurz)	42.6	8.4	0.6	40.2	8.3	44.7	8.8	0.6	38.5	7.4
Freizeit (lang)	0.9	2.6	0.3	72.4	23.9	2.2	6.3	0.7	69.4	21.4
Arbeit (Sonstiges)	35.0	4.3	0.5	48.2	12.0	37.9	4.8	0.5	46.0	10.8
Sonstiges	36.1	3.9	0.4	48.5	11.1	38.9	4.2	0.4	46.5	10.0
Total	29.6	7.1	0.6	47.8	14.9	32.6	8.1	0.7	45.6	13.1

Tabelle 6 Modal-Split-Anteile

In Abbildung 73 sind die Modal-Split-Anteile nach Distanz im Vergleich zum MZMV 2015 dargestellt. Auffällig sind die Unterschiede im MIV im Bereich kurzer Wege bis zu 10 km Länge. Wie bereits in der Modelletablierung wurde in der Distanzklasse von Wegen zwischen 5-10 km bewusst ein höherer Anteil interzonaler MIV-Wege im Modell gegenüber dem MZMV erzeugt, womit die Unterschiede nachvollziehbar sind. Bei den Wegen unter 5 km Länge handelt es sich häufig um intrazonale Wege. Diese werden nicht auf das Netz umgelegt und deren Länge ergibt sich aus Anbindung sowie der mittleren Weglänge gemäss Hauptdiagonale. Die Hauptdiagonale (die der Zeit) wurde bewusst derart gesetzt, um tendenziell längere Wege zu erzeugen und eine bessere Annäherung an die Zähldaten zu erreichen. Im Umkehrschluss würde eine Reduktion der Zeit (auf der Diagonalen) mehr Zonenbinnenverkehr erzeugen, der zwar eine bessere Reproduktion der Modal-Split-Anteile nach Distanz bedeuten würde, gleichwohl aber zu höheren Abweichungen gegenüber den Zähldaten führt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass grössere Abweichungen im Bereich der längeren Wege festzustellen sind; diese wurden bei der Modelletablierung hinsichtlich einer besseren Übereinstimmung mit den Zähldaten ebenfalls bewusst in Kauf genommen. Insgesamt sind die distanzabhängigen Modal-Split-Anteile praktisch deckungsgleich mit jenen aus der Modelletablierung.

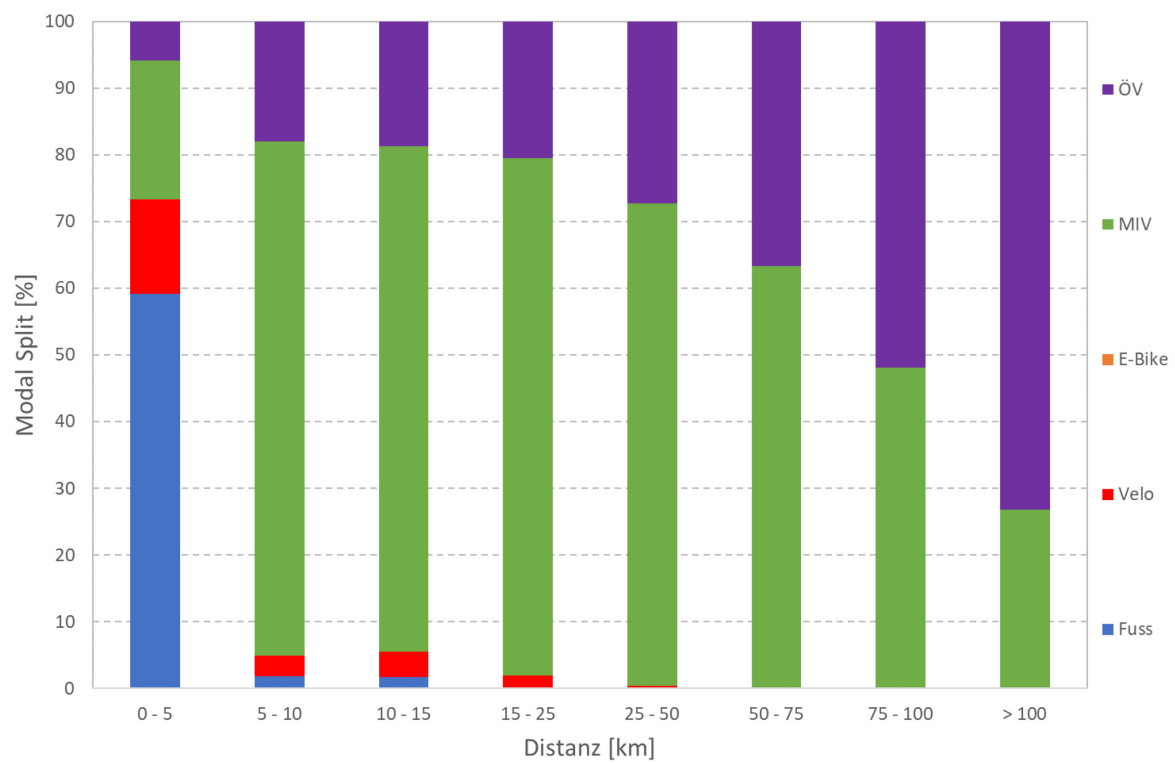
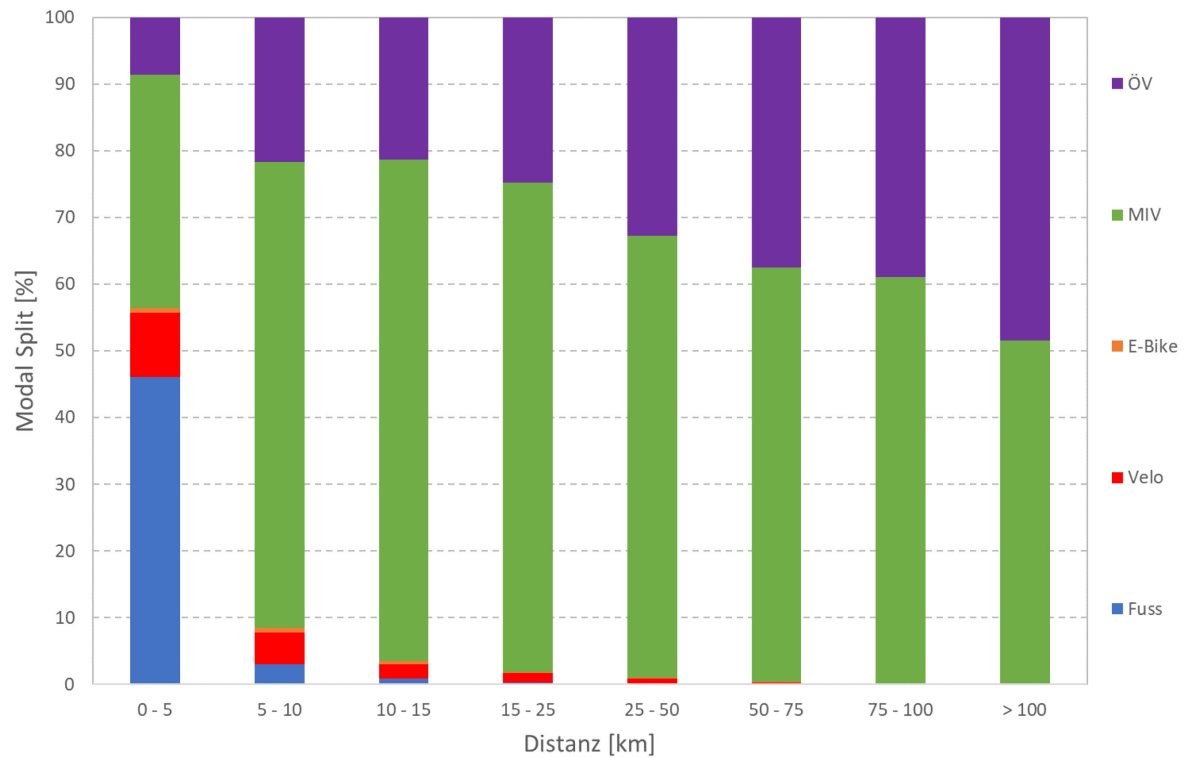


Abbildung 73 Modal-Split-Anteile nach Distanz (oben: MZMV; unten: NPVM)

7.5 Mittlere Weglängen und Weglängenverteilungen

Um die Distanzverteilungen korrekt zu reproduzieren, wurden für die Variablen „Reisezeit“ und „Kosten“ die im Bericht zur Modelletablierung beschriebenen Box-Tukey-Transformationen verwendet. Diese wurden im Rahmen des Methodikupdates modifiziert, um eine weitestgehende Übereinstimmung der Modellergebnisse (mittlere Weglängen und Weglängenverteilungen) mit dem MZMV herzustellen. Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 7 aufgeführt. Hier waren im Vergleich zur Modelletablierung einige Anpassungen notwendig, um die Weglängen nach dem Einbezug der neu berechneten Kenngrössenmatrizen wieder auf den MZMV zu eichen. Die Verschiebungen der Parameterwerte bewegen sich jedoch im Rahmen der für Modellkalibrationen üblichen Bandbreiten und liegen zwischen 0.75 und 2.50.

QZG	Städtisch					Intermediär					Ländlich				
	Fuss	Velo	E-Bike	MIV	ÖV	Fuss	Velo	E-Bike	MIV	ÖV	Fuss	Velo	E-Bike	MIV	ÖV
W_A(A)	1.30	1.46	1.25	1.27	0.89	1.25	1.26	1.07	1.22	0.93	1.41	1.41	1.21	1.22	0.79
W_A(SK)	1.34	1.18	1.11	1.33	0.84	1.30	1.58	1.48	1.16	0.89	1.45	1.52	1.44	1.22	0.79
W_B(S)	2.14	1.96	1.27	1.26	0.87	2.11	1.75	1.14	2.16	1.01	2.14	2.50	1.79	1.80	0.82
W_B(U)	1.23	1.41	1.44	1.33	1.10	1.29	2.03	2.10	1.41	1.25	1.43	1.55	1.59	1.41	1.16
W_E(k)	2.14	2.50	2.42	1.48	1.08	2.13	1.77	1.33	1.54	0.99	2.14	2.09	1.58	1.58	1.03
W_E(l)	1.57	1.58	1.47	1.26	1.01	1.52	1.22	1.13	1.38	1.17	1.68	1.58	1.47	1.43	0.98
W_N	1.19	1.66	1.76	1.14	0.77	0.99	2.45	2.50	1.09	0.82	1.30	1.18	1.25	1.20	0.77
W_Bg(K)	2.14	2.16	2.44	1.55	1.32	2.14	2.03	2.29	1.60	1.22	2.14	1.77	1.99	1.60	1.32
W_F(k)	1.89	2.27	2.25	1.77	1.32	1.89	2.13	2.11	1.58	1.00	2.00	1.73	1.71	1.63	1.32
W_F(l)	0.84	0.98	0.93	1.23	0.80	0.84	0.98	0.93	1.17	0.86	0.92	1.03	0.98	1.23	0.80
A(A)_W	1.30	1.46	1.25	1.27	0.89	1.25	1.26	1.07	1.22	0.93	1.41	1.41	1.21	1.22	0.79
A(SK)_W	1.34	1.18	1.11	1.33	0.84	1.30	1.58	1.48	1.16	0.89	1.45	1.52	1.44	1.22	0.79
B(S)_W	2.14	1.96	1.27	1.26	0.87	2.11	1.75	1.14	2.16	1.01	2.14	2.50	1.79	1.80	0.82
B(U)_W	1.23	1.41	1.44	1.33	1.10	1.29	2.03	2.10	1.41	1.25	1.43	1.55	1.59	1.41	1.16
E(k)_W	2.14	2.50	2.42	1.48	1.08	2.13	1.77	1.33	1.54	0.99	2.14	2.09	1.58	1.58	1.03
E(l)_W	1.57	1.58	1.47	1.26	1.01	1.52	1.22	1.13	1.38	1.17	1.68	1.58	1.47	1.43	0.98
N_W	1.19	1.66	1.76	1.14	0.77	0.99	2.45	2.50	1.09	0.82	1.30	1.18	1.25	1.20	0.77
Bg(K)_W	2.14	2.16	2.44	1.55	1.32	2.14	2.03	2.29	1.60	1.22	2.14	1.77	1.99	1.60	1.32
F(k)_W	1.89	2.27	2.25	1.77	1.32	1.89	2.13	2.11	1.58	1.00	2.00	1.73	1.71	1.63	1.32
F(l)_W	0.84	0.98	0.93	1.23	0.80	0.84	0.98	0.93	1.17	0.86	0.92	1.03	0.98	1.23	0.80
A_S	2.14	1.41	1.34	1.39	0.88	2.14	1.88	1.79	1.27	0.97	2.14	1.50	1.42	1.22	0.82
S_A	2.14	1.41	1.34	1.39	0.88	2.14	1.88	1.79	1.27	0.97	2.14	1.50	1.42	1.22	0.78
A_E(k)F(k)	2.14	1.41	1.34	1.39	0.88	2.14	1.88	1.79	1.27	0.97	2.14	1.50	1.42	1.15	0.82
E(k)F(k)_A	2.14	1.41	1.34	1.39	0.88	2.14	1.88	1.79	1.27	0.97	2.14	1.50	1.42	1.15	0.82
E(k)F(k)_E(k)F(k)	1.85	1.42	1.36	1.40	0.99	1.80	1.56	1.51	1.34	1.14	1.96	1.56	1.51	1.40	0.93
S_S	1.85	1.42	1.36	1.40	0.99	1.80	1.56	1.51	1.34	1.14	1.96	1.56	1.51	1.40	0.93

Tabelle 7 Im Nachfragemodell verwendete Box-Tukey-Parameter (Variablen „Reisezeit“ und „Kosten“)

Den Vergleich der mittleren Weglängen nach Verkehrsmittel zeigt Abbildung 74. Auch hier ist die Übereinstimmung durchgehend mindestens so gut wie in der Modelletablierung. Beim MIV wurden im Vergleich zum MZMV

etwas mehr längere Wege zugelassen, um eine bessere initiale Übereinstimmung der Umlegungsergebnisse mit den Zähldaten zu erzielen.

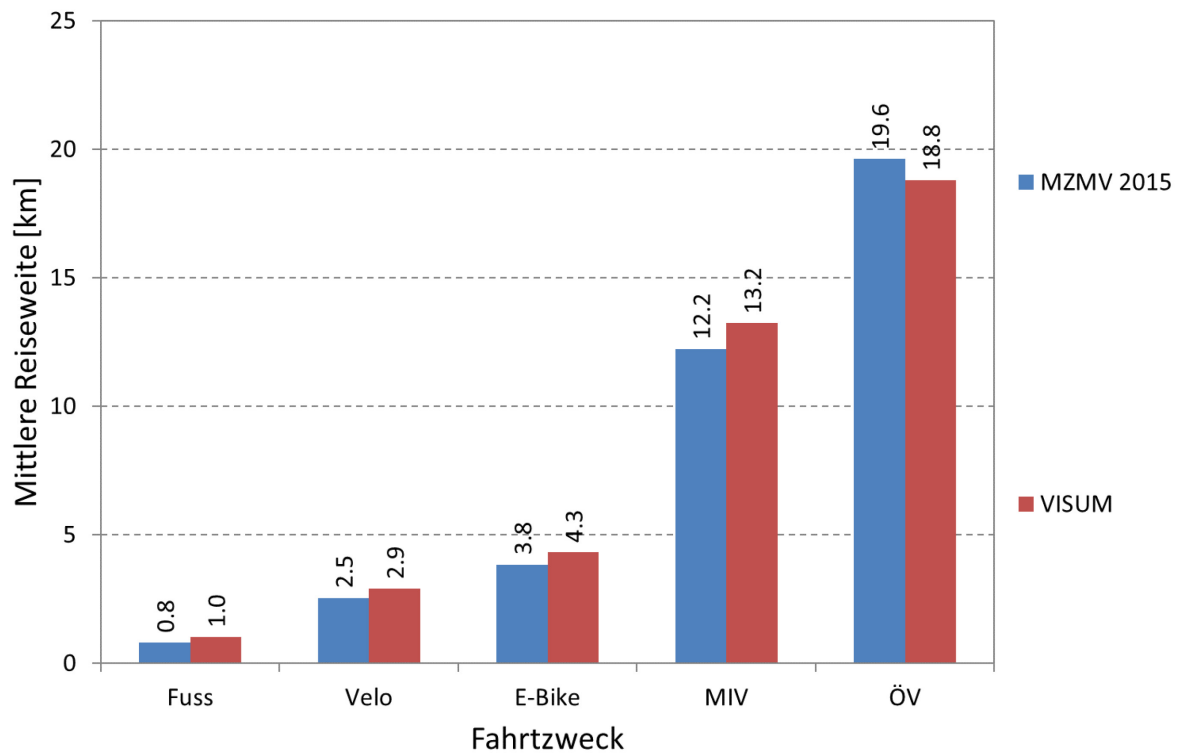


Abbildung 74 Mittlere Weglängen nach Verkehrsmittel

Den Vergleich der Weglängenverteilungen zwischen dem MZMV 2015 und dem NPVM ist aus Abbildung 75 ersichtlich. Die oben erwähnte bewusste Anpassung der mittleren Weglängen im MIV hin zu ca. 10% längeren Wegen bewirkt eine entsprechende visuelle Verschiebung der zugehörigen Verteilungskurve. Diese weist den durch die EVA-Modellfunktion vorgegebenen Verlauf auf, welcher zudem in einzelnen Punkten leicht von den empirischen Werten des MZMV abweichen kann.

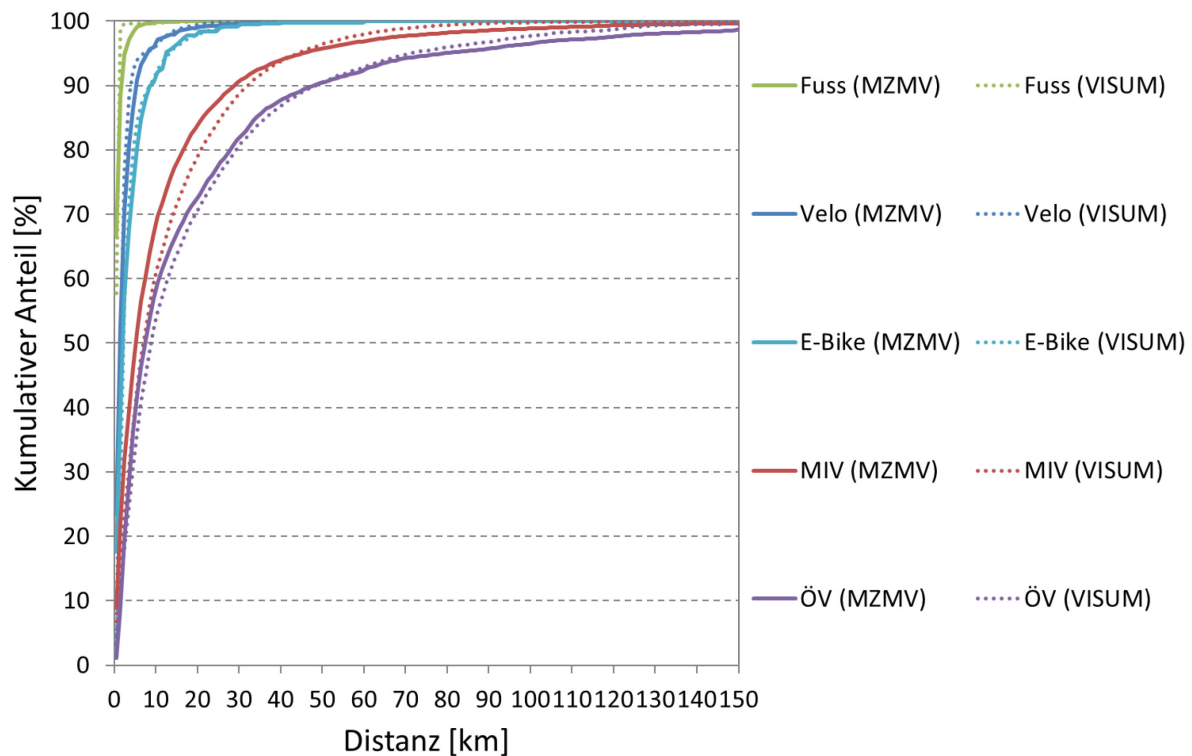


Abbildung 75 Weglängenverteilungen nach Verkehrsmittel

7.6 Fazit und weiteres Vorgehen

Das Nachfragemodell konnte den Einbezug der neu erzeugten Kenngrößenmatrizen in seiner bestehenden Struktur gut verarbeiten und wurde erfolgreich auf die Kennwerte des MZMV 2015 nachkalibriert. Hierbei waren durchwegs nur geringfügige Anpassungen der Parameter notwendig, welche insbesondere die Setzung der Box-Tukey-Parameter hinsichtlich der Kalibration der Weglängen betreffen.

Bei der Etablierung des NPVM wurden 3 Modellzustände unterschieden: M1, eine unkalibrierte Erstanwendung, M2, ein Zustand inkl. der Kalibration auf den MZMV sowie des Einbaus verschiedener Zusatzvariablen sowie M3, der finale Zustand inkl. Netzkorrekturen und (manueller) Matrixkalibration auf die Zähldaten. Die aus dem Nachfragemodell resultierenden Matrizen bilden folglich einen neuen Zustand "M2", d.h. sie sind nicht bereits auf Zähldaten kalibriert. Der fertig auf die Zähldaten kalibrierte Zustand (im MIV und ÖV) wird auch hier als "M3" bezeichnet. Die (alten) "M3"-Matrizen aus der Modelletablierung, umgelegt auf die überarbeiteten Angebotsnetze, reproduzieren die Zählwerte jedoch nicht mehr hinreichend, da die neuen Anbindungen, die vielfältigen Netzanpassungen sowie die Integration der MTG im ÖV einen bedeutenden Einfluss auf die Modellbelastungen haben.

Um bei der weiteren Kalibration der Umlegungsmodelle nicht von Grund auf beginnen zu müssen, sondern eine bereits initial kalibrierte Matrix verwenden zu können, wurden aus den neuen "M2"-Matrizen und den "M2"- und "M3"-Matrizen aus der Modelletablierung Zwischenmatrizen erzeugt, welche als Grundlage für die Herleitung der neuen "M3" dienen. Diese wurden berechnet, indem die Kalibrationsdifferenz "M3 alt" vs. "M2 alt" auf die "M2 neu" addiert wurde (bzw. analog, die Differenz zwischen "M2 neu" und "M2 alt" auf die "M3 alt"):

$$M3_{neu,initial} = M2_{neu} + (M3_{alt} - M2_{alt}) = M3_{alt} + (M2_{neu} - M2_{alt})$$

Die Umlegung der so entstandenen, initialen M3-Matrizen auf die Netze führt zu den in Abbildung 76 (MIV) und Abbildung 77 (ÖV) gezeigten Ergebnissen.

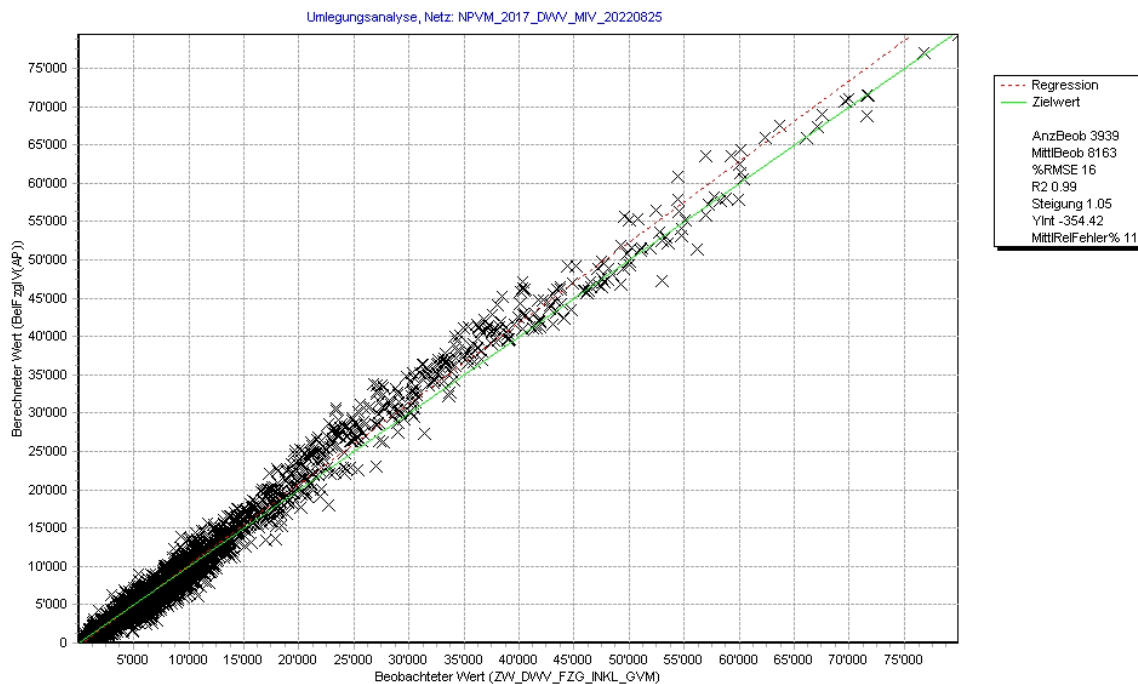


Abbildung 76 Umlegungsanalyse MIV (M3 neu, initial)

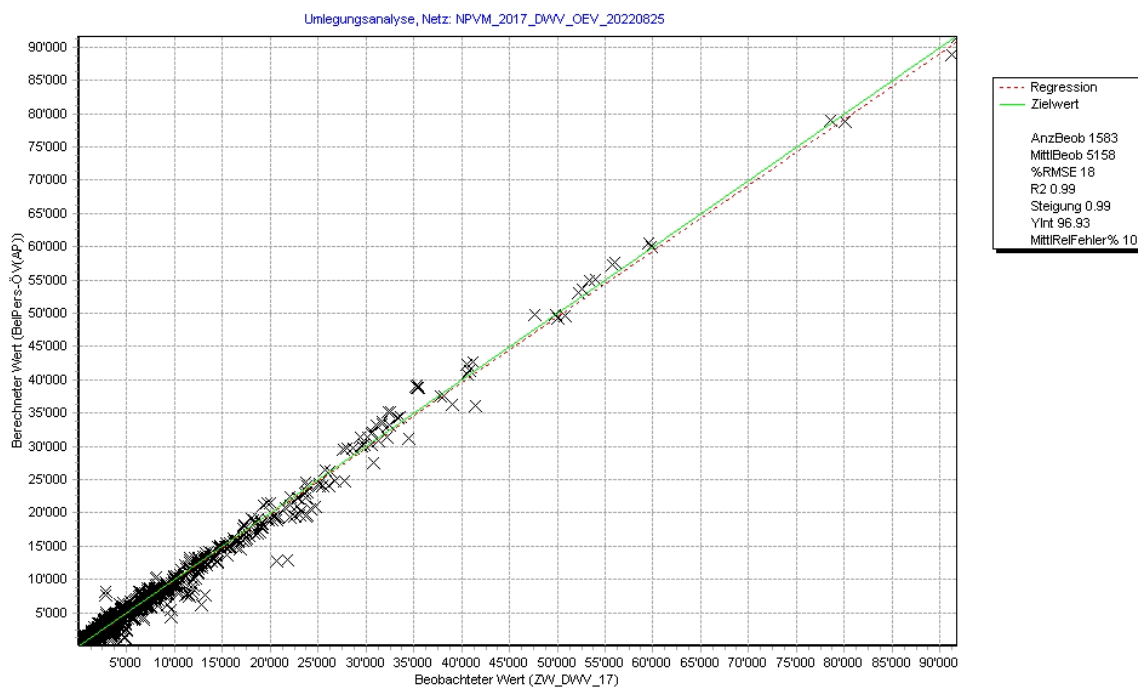


Abbildung 77 Umlegungsanalyse ÖV (M3 neu, initial)

8 Neukalibration Umlegungsmodell

Im Anschluss an die Neukalibration des Nachfragemodells auf den MZMV 2015 wurden auch die Umlegungsmodelle im MIV und ÖV mit dem Ziel einer sehr guten Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den vorhandenen Zählwerten nachkalibriert. Ausgangspunkt bildeten hier die im vorherigen Arbeitsschritt abgeleiteten initialen "M3_{neu}"-Matrizen.

Die Kalibration beinhaltet Netzkorrekturen (insbesondere Streckenattributierungen und Abbieger) zur Plausibilisierung des Routenwahlverhaltens sowie, wo notwendig, Anpassungen der Nachfragematrizen. Die angewandte Methode ist identisch mit der im Bericht über die Erstellung des NPVM beschriebenen (siehe ARE, 2020, Kapitel 2.7.3). Im MIV wurden nur die Nachfragematrizen für den PW modifiziert; die Strassengüterverkehrs-Matrizen wurden unverändert aus der Modelletablierung (bzw. aus dem Vorgängerprojekt) übernommen.

Abbildung 78 zeigt die entsprechende Umlegungsanalyse des fertig kalibrierten Modells im MIV. Hier ist ersichtlich, dass die Übereinstimmung der Modellbelastungen mit den Zählwerten gleich gut wie in der Modelletablierung wiederhergestellt werden konnte. Die mittlere relative Abweichung beträgt neu 5.2% und liegt somit sehr nahe an der Modelletablierung (4.6%).

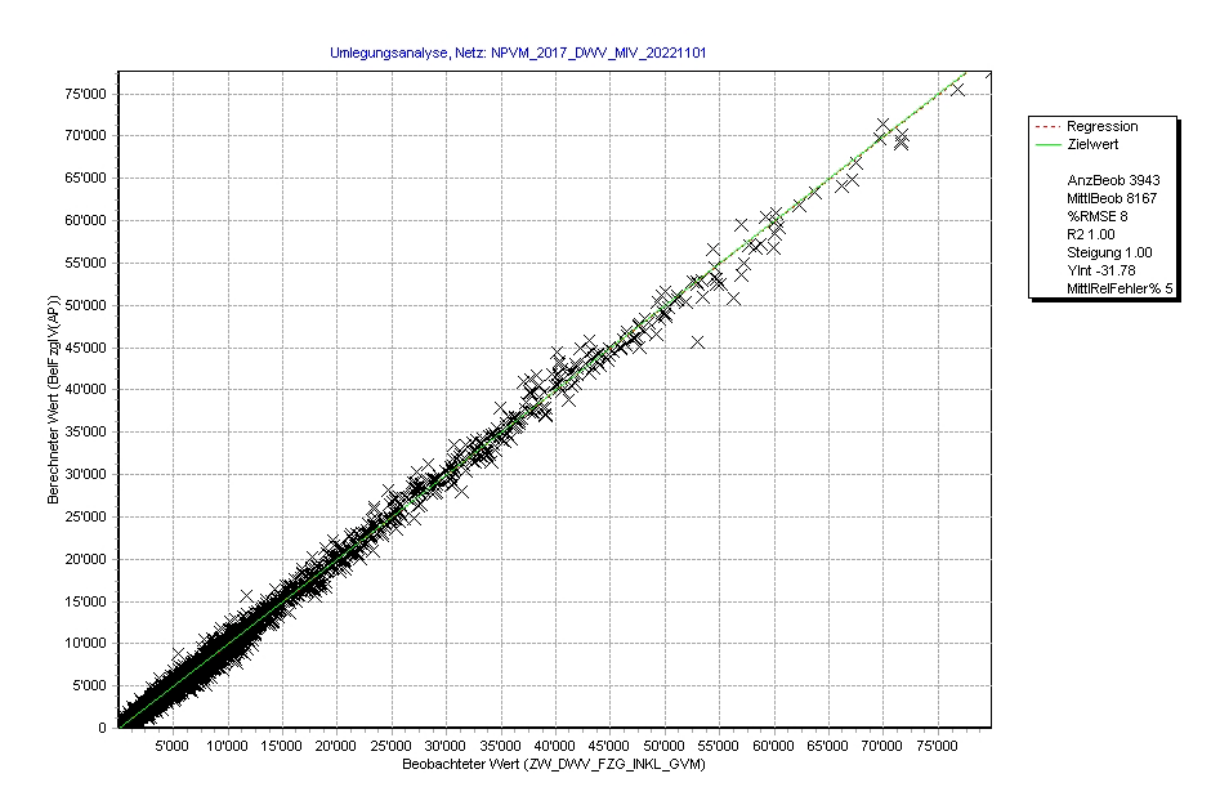


Abbildung 78 Umlegungsanalyse MIV (aklibrierte Matrix)

Die analoge Auswertung für den ÖV zeigt Abbildung 79. Wenngleich hier der mittlere relative Fehler mit 5.6% etwas höher liegt als in der Modelletablierung (4.3%), ist die Modellkalibration dennoch als sehr gut anzusehen.

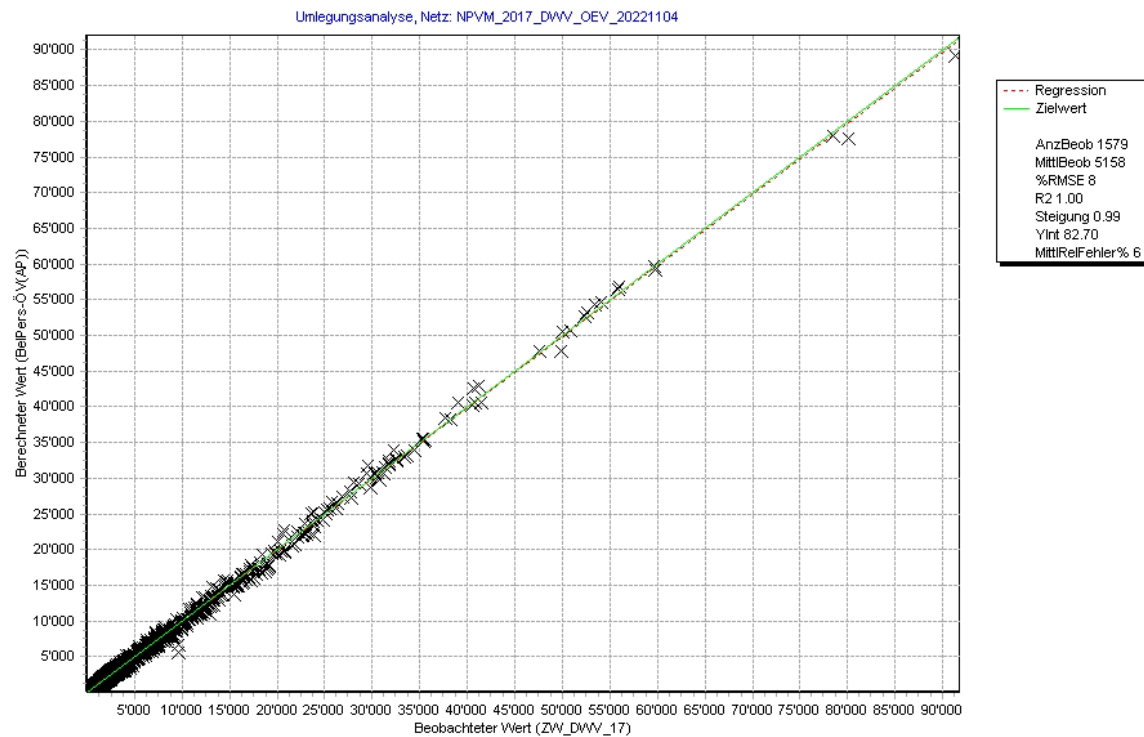


Abbildung 79 Umlegungsanalyse ÖV (kalibrierte Matrix)

9 Option: Beschleunigung

Die Untersuchungen zu möglichen Beschleunigungsoptionen wurden mit folgender Rechentechnik durchgeführt:

- Prozessor: 24 Kerne mit 48 Threads (3.00 GHz.)
- Arbeitsspeicher (RAM): 256 GB
- Systemtyp: 64-Bit-Betriebssystem und x64-basierter Prozessor
- Betriebssystem: Windows 10 Pro for Workstations

Im Rahmen der Beschleunigungsoption wurden in der MIV-Umlegungsversion folgende Massnahmen zur Reduzierung der Berechnungsdauer untersucht und anschliessend integriert:

- Die Nachfragesegmente PW Binnen und PW FH (Flughafenverkehre) werden vor der Umlegungsrechnung zu einem Nachfragesegment PW Binnen + FH zusammengelegt (siehe Abbildung 80). Gleiches wird für die im Rahmen der zusätzlichen PW-Differenzierung erstellten Nachfragesegmente PW_Mod1 und PW_Mod2 durchgeführt.

Formel für Matrix bearbeiten

Definieren Sie eine Ergebnismatrix. Existierende Matrizen werden überschrieben, nicht existierende erzeugt.

Beispiel: `Matrix([Nr]=1) := Matrix([Nr]=2) * Matrix([Nr]=3)`

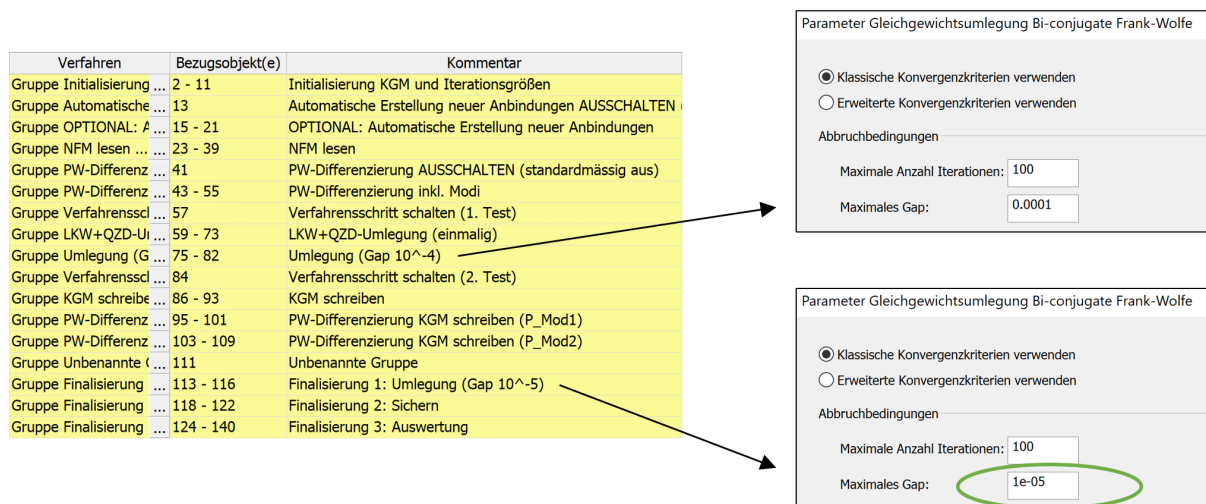
[Weitere Beispiele](#)

```
Matrix([CODE] = "PW Binnen+FH")
:=
Matrix([CODE] = "PW Binnen") + Matrix([CODE] = "PW FH")
```

Abbildung 80 Verfahrensschritt für die Zusammenlegung der Nachfragesegmente PW Binnen und PW FH

Ergebnis ist eine Reduzierung der Berechnungsdauer um ca. 10 min von 99 min auf 89 min. Eine differenzierte Ausweisung der nachfragesegmentfeinen Belastung (Binnen oder FH) ist nach der Umlegung nicht mehr möglich.

- Das „Relative Gap“ als Abbruchkriterium der Umlegung wird bei PW-Umlegungsrechnungen innerhalb der Rückkopplungsschleife mit der Nachfrageversion auf 10^{-4} erhöht. Gleichzeitig wird eine finale PW-Umlegungsrechnung mit einem Gap von 10^{-5} an das Ende der Rückkopplungsschleife gesetzt. Im Rahmen der Neukalibration wurde der Einfluss der Gap-Erhöhung auf die berechneten Kenngrössen als insignifikant eingestuft. Es entsteht der Verfahrensablauf in Abbildung 81.

Abbildung 81 Übersicht Verfahrensablauf mit einer finalen Umlegung mit Gap 10^{-5}

Ergebnis ist eine Reduzierung der Berechnungsdauer um ca. 40 min von 89 min (Finale PW-Umlegung mit 10^{-5}) auf 49 min (PW-Umlegung mit Gap 10^{-4}) je Rückkopplungsschritt.

Eine Übersicht über die Reduzierungen der Berechnungsdauer in der MIV-Umlegungsversion ist in Tabelle 8 dargestellt. Zu beachten ist, dass bei der Massnahme «Erhöhung Gap auf 10^{-4} » im finalen Rückkopplungsschritt noch eine PW-Umlegung mit Gap 10^{-5} mit einer entsprechenden Berechnungsdauer von 89 min durchgeführt werden muss.

MIV-Umlegungsversion Berechnungsdauer	Ohne Massnahme	Zusammenfassung Nachfragesegmente	Erhöhung Gap auf 10^{-4} (+ Zusam. Nseg.)
SGV-Umlegung	ca. 16 min	ca. 16 min	ca. 16 min
QZD-Umlegung	ca. 17 min	ca. 17 min	ca. 17 min
PW-Umlegung (je Schritt)	ca. 99 min	ca. 89 min	ca. 49 min
Gesamt	ca. 132 min	ca. 122 min	ca. 82 min

Tabelle 8 Übersicht Reduzierungen der Berechnungsdauer in der MIV-Umlegungsversion

In der ÖV-Umlegungsversion wurden zur Reduzierung der Berechnungsdauer folgende Massnahmen untersucht und anschliessend integriert:

- Die Berechnung des ÖV-Auslastungsskriptes innerhalb des Rückkopplungsprozesses wird auf Basis einer ÖV-Umlegung ohne verwendete Anbindungsanteile durchgeführt. Der Verfahrensablauf wird gleichzeitig um eine finale ÖV-Umlegung mit verwendeten Anbindungsanteilen ergänzt (siehe Abbildung 82).

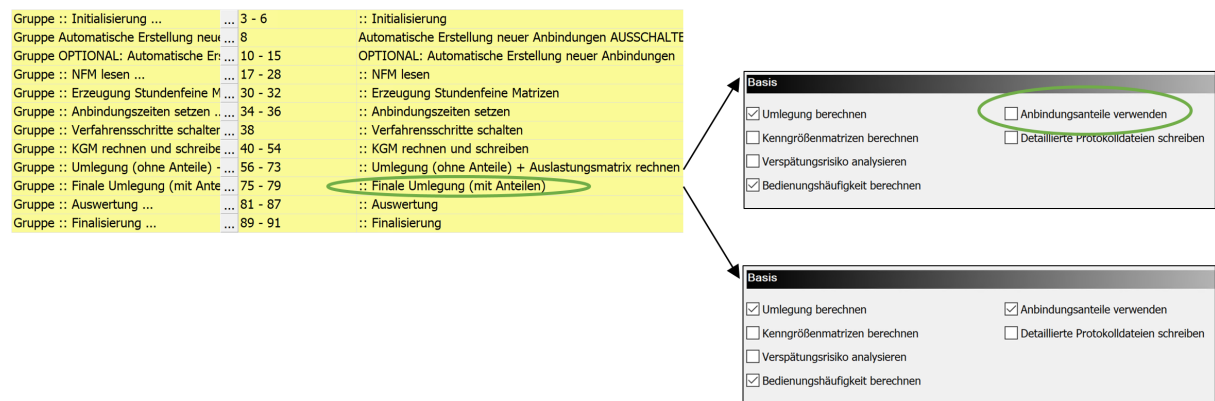


Abbildung 82 Vorgenommene Anpassungen der Verfahrensparameter für ÖV-Umlegungen ohne (innerhalb der Rückkopplung) und mit Anbindungsanteilen (finale Umlegung)

Ergebnis ist eine Reduzierung der Berechnungsdauer des ÖV-Auslastungsskriptes um ca. 9 Stunden je Rückkopplungsschritt.

Grund für die Beschleunigung ist der im Auslastungsskript notwendige und jetzt schnellere ÖV-Beziehungslisten-Export aus VISUM. In VISUM werden für Zonen ohne Anbindungsanteile die Fussweg-Kurzwege inkl. Anbindungen zwischen Zonen und Haltestellenbereichen in der Umlegung vorberechnet. Eine ÖV-Verbindung verweist dann nur auf einen entsprechend vorberechneten Fussweg-Kurzweg. Bei Zonen mit Anbindungsanteilen wird das aus Speicherplatzgründen nicht durchgeführt. Die Fussweg-Kurzwege werden erst beim Export berechnet, wodurch der Laufzeitunterschied entsteht.

- Die ÖV-Kenngrößenberechnung wird ohne gleichzeitige Umlegungsrechnung durchgeführt (siehe Abbildung 83). Die entstehenden ÖV-Kenngrößen bleiben dabei unverändert.

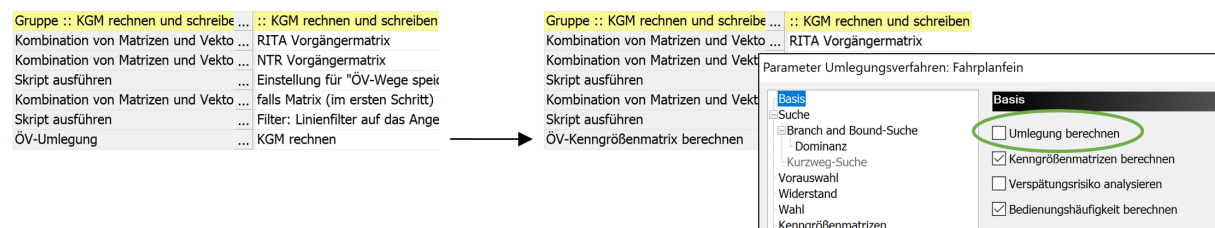


Abbildung 83 Vorgenommene Anpassung der Verfahrensparameter bei der ÖV-Kenngrößenberechnung (Haken bei Umlegung entfernt)

Ergebnis ist eine Reduzierung der Berechnungsdauer um ca. 28 min von 268 min auf 250 min.

Insgesamt wurden durch die integrierten Massnahmen in der ÖV-Umlegungsversion folgende Reduzierungen der Berechnungsdauer erzielt:

ÖV-Umlegungsversion Berechnungsdauer	Ohne Massnahme	ÖV-Auslastung ohne Anteile	ÖV-Kenngrößen ohne Umlegung (+ ÖV-Ausl. o. Ant.)
ÖV-Kenngrößen	ca. 268 min	ca. 268 min	ca. 250 min
ÖV-Umlegung (ohne Anteile)		ca. 171 min	ca. 171 min
ÖV-Auslastungsskript	ca. 720 min	ca. 185 min	ca. 720 min

ÖV-Umlegung (mit Anteilen)	ca. 209 min	(nur final)	(nur final)
Gesamt	ca. 1197 min (ca. 20 Std.)	ca. 624 min (ca. 10,4 Std.)	ca. 606 min (ca. 10,1 Std.)

Tabelle 9 Übersicht Reduzierungen der Berechnungsdauer in der ÖV-Umlegungsversion

Zu beachten ist, dass bei der Massnahme «ÖV-Auslastung ohne Anteile» im finalen Rückkopplungsschritt eine ÖV-Umlegung mit Anbindungsanteilen und einer entsprechenden Berechnungsdauer von 209 min durchgeführt werden muss.

Abschliessend ergeben sich in der Nachfrage-, MIV-Umlegungs- und ÖV-Umlegungsversion für weitere ausgewählte Verfahrensschritte folgende Berechnungsdauern:

	Berechnungsdauer
Nachfrageversion	
EVA-Bewertung (M01)	ca. 6 min
EVA-Ziel-/Moduswahl (M01)	ca. 30 min
Speichern	unter 1 min
MIV-Umlegungsversion	
Option: Anbindungserstellung	ca. 177 min
Speichern (ohne Umlegungsergebnis)	unter 1 min
Speichern (mit Umlegungsergebnis)	unter 1 min
ÖV-Umlegungsversion	
Option: Anbindungserstellung	ca. 159 min
Speichern (ohne Umlegungsergebnis)	ca. 2 min
Speichern (mit Umlegungsergebnis)	ca. 2 min

Tabelle 10 Übersicht der Berechnungsdauer für ausgewählte Schritte

Die abschliessenden Dateigrössen liegen bei:

- Nachfrageversion: ca. 180 MB (ohne Matrizen)
- MIV-Umlegungsversion: ca. 700 MB (inkl. Nachfrage- und PW-Kenngrössenmatrizen), ca. 3.4 GB (inkl. Umlegungsergebnis)
- ÖV-Umlegungsversion: ca. 7.7 GB (inkl. ÖV-Nachfrage- und ÖV-Anteilsmatrizen), ca. 18 GB (inkl. Umlegungsergebnis)

10 Literatur

ARE, 2017: Weiterentwicklung Flächennutzungsmodellierung: Wohnstandortwahl. Erweiterung des Modells FaLC: Verhaltensmodelle und synthetische Population. regioConcept AG, Fahrländer Partner Raumentwicklung, ETH Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme im Auftrag des ARE, Ittigen.

ARE, 2019a: Synthetische Population 2017. Modellierung mit dem Flächennutzungsmodell FaLC. Strittmatter Partner AG & Datatools GmbH im Auftrag von SBB und ARE, Bern und Ittigen. (www.are.admin.ch/flnm)

ARE, 2020: Modelletablierung Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017. TransOptima GmbH, TransSol GmbH, PTV Transport Consult GmbH, PTV AG, Strittmatter Partner AG im Auftrag des ARE, Ittigen. (www.are.admin.ch/npvm)

ARE, 2022a: Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050. Schlussbericht. Rapp AG, PTV Transport Consult GmbH, Strittmatter Partner AG, Prognos AG, BAK Economics AG im Auftrag von ARE, BAV, ASTRA, BAFU und BFE, Ittigen. (www.are.admin.ch/verkehrsperspektiven)

ARE (2017b): Analyse der SP-Befragung zur Verkehrsmodus- und Routenwahl, TransOptima GmbH, ETH IVT im Auftrag des ARE, Ittigen.

BFS/ARE (2017): Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015. BFS/ARE, Neuchâtel.

PTV AG (2022) *PTV Visum 22 – Handbuch*, PTV AG, Karlsruhe.