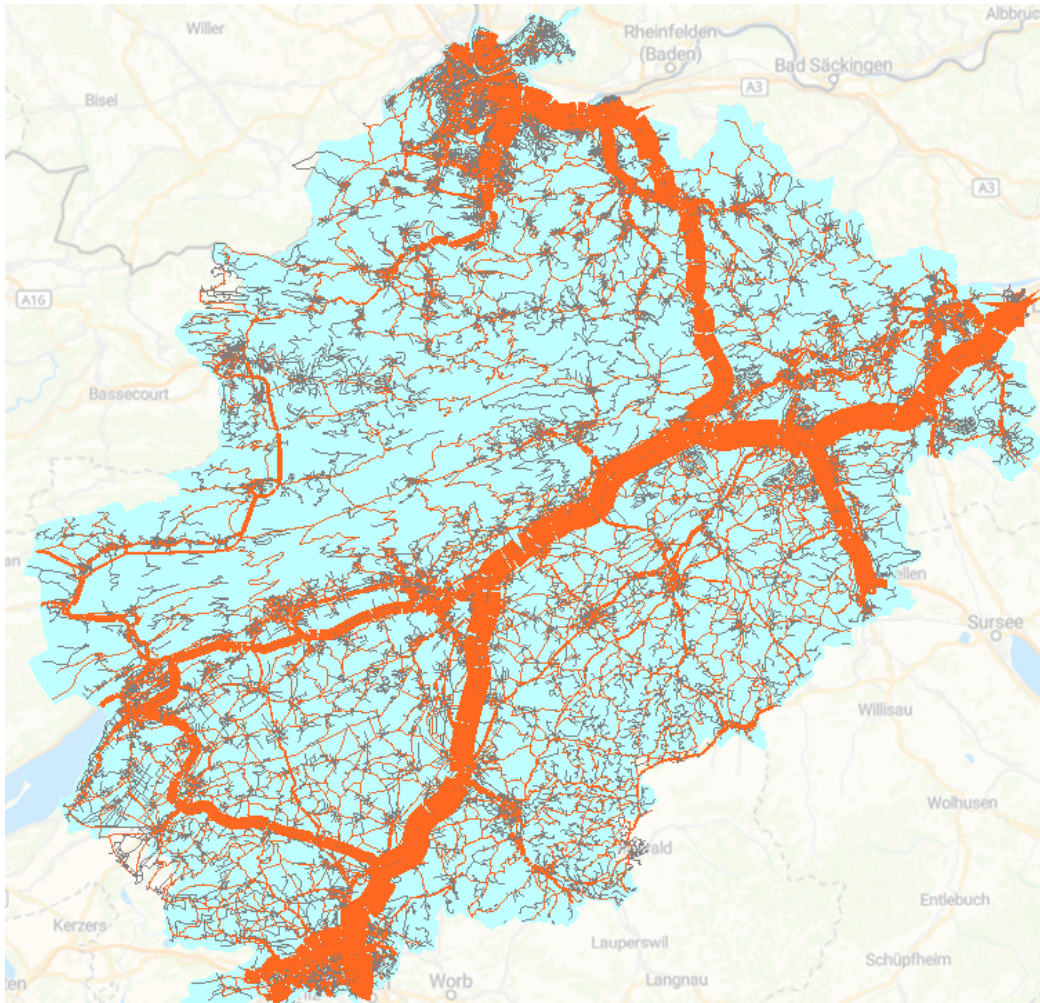




Gesamtverkehrsmodell Kanton Solothurn

Modellaktualisierung 2019

Schlussbericht

November 2023

transOPTIMA **ECOPLAN** **trans**SOL

Friedastrasse 18
4600 Olten

Monbijoustrasse 14
3011 Bern

Samstagernstrasse 41
8832 Wollerau

Impressum

Auftraggeber: Kanton Solothurn, Bau- und Justizdepartement, Amt für Verkehr und Tiefbau

Kurt Erni, AVT

Simone Hunziker Piller, AVT

Begleitgruppe

Stefan Gantenbein, AVT

Pascal Stebler, AVT

Pascal Barrière, AfU

Brigitte Schelble, ARP

Katrin Richter, Kanton BE

Michael Redle, Kanton BS

Lorenz Jordi, Kanton AG

Auftragnehmer

Projektleitung: Dr. Milenko Vrtic

TransOptima GmbH, Olten / Zürich

Dr. Milenko Vrtic

Joseph von Sury

TransSol GmbH, Wollerau

Dr. Philipp Fröhlich

Ecoplan AG, Bern

Matthias Setz

Stephan Forster

Inhalt

1	Ausgangslage	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzungen	3
3	Modellzustände	4
4	Daten und Modelle	5
5	Strukturdaten	6
6	Verkehrsangebot	8
6.1	MIV-Netz	8
6.2	ÖV-Netz	8
7	Nachfragemodell 2019	9
7.1	DWV-Modell	10
7.1.1	Erzeugungsmodell	11
7.1.2	Modellparameter	12
7.1.3	Matrixerstellung: Vorgehen	12
7.1.4	Validierung der Matrixstruktur (Binnenmatrix)	16
7.1.5	Umlegung und Validierung der Netzbelastungen	24
7.2	Spitzenstundenmodelle und durchschnittlicher Tagesverkehr	28
8	Modellkalibration	29
8.1	Zähldaten	29
8.1.1	MIV	29
8.1.2	ÖV	31
8.2	Kalibration des DWV-Modells	32
8.2.1	Vorgehen	32
8.2.2	Ergebnisse Netzbelastungen	34
8.3	Kalibration des DTV-Modells: Ergebnisse Netzbelastungen	39
8.4	Kalibration des ASP-Modells: Ergebnisse Netzbelastungen	42
9	Prognosezustand 2040	45
9.1	Prognoseannahmen	46
9.2	Verkehrsangebot 2040	48
9.2.1	Massnahmen Strassennetz	48
9.2.2	ÖV-Angebot	49
9.2.3	Fuss- und Veloangebot	49

9.3	Strukturdaten 2040.....	50
9.4	Berechnung der Verkehrsnachfrage	52
9.4.1	Binnenströme.....	54
9.4.2	Binnen- und Aussenströme (Gesamtverkehr 2040)	58
9.4.3	Spitzenstunden.....	60
9.4.4	Netzbelastungen	61
10	Schlussfolgerung und Empfehlungen	66
11	Literatur.....	67

Abbildungen

Abbildung 1	VISUM: Vorauswahl u. Parameter für die Widerstandfunktion bei der Kenngrössenberechnung	14
Abbildung 2	Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur	16
Abbildung 3	Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, alle Wege [%]	18
Abbildung 4	Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, interzonale Wege [%].....	18
Abbildung 5	Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015	19
Abbildung 6	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke	21
Abbildung 7	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Arbeit.....	21
Abbildung 8	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Ausbildung.....	22
Abbildung 9	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Einkauf.....	22
Abbildung 10	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Nutzfahrt	23
Abbildung 11	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Freizeit	23
Abbildung 12	VISUM: Parameter für die ÖV-Umlegung.....	25
Abbildung 13	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – PW (ohne Kalibration)	27
Abbildung 14	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration).....	27
Abbildung 15	Zählstellen Strasse	29
Abbildung 16	Verlässliche MIV-Zähl Daten 2019 (ca. 740 Querschnitte)	30
Abbildung 17	ÖV-Zähl Daten 2019 (Ausschnitt westliches Modellgebiet)	31
Abbildung 18	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	35
Abbildung 19	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	36
Abbildung 20	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	36
Abbildung 21	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	37
Abbildung 21	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	37

Abbildung 23	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)	38
Abbildung 24	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	39
Abbildung 25	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration) 40	
Abbildung 26	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration) 40	
Abbildung 27	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	41
Abbildung 28	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	41
Abbildung 29	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	42
Abbildung 30	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration) 43	
Abbildung 31	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	43
Abbildung 32	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	44
Abbildung 33	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	44
Abbildung 34	Massnahmen Strassennetz	48
Abbildung 35	Strukturdaten: Veränderung 2040/2019	51
Abbildung 36	Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2040	53
Abbildung 37	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Autobahnnetz)	62
Abbildung 38	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV im Grossraum Olten	63
Abbildung 39	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV im Grossraum Solothurn .	64
Abbildung 40	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV	65

Tabellen

Tabelle 1	Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2015	12
Tabelle 2	Komponenten der Nutzenfunktionen	13
Tabelle 3	Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quelle-Ziel-Ströme	15
Tabelle 4	Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen	17
Tabelle 5	Besetzungsgrad PW nach Fahrtzweck	32
Tabelle 6	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)	33
Tabelle 7	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DTV)	38
Tabelle 8	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)	41
Tabelle 9	Input-Sets für die Prognoseszenarien 2040	45
Tabelle 10	Veränderung Mobilitätsraten 2019-2040 nach Fahrtzwecken	46
Tabelle 11	Vergleich des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)	53
Tabelle 12	Vergleich der Fahrtzweckanteile 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)	53
Tabelle 13	Veränderung des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)	54
Tabelle 14	Veränderung der Verkehrsleistung 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)	54
Tabelle 15	Veränderung der Anteile am Verkehrsaufkommen 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)	55
Tabelle 16	Veränderung der Anteile an der Verkehrsleistung 2019 - 2040 (Binnenwege DWV, Nachfragesegmente CH)	56
Tabelle 17	Veränderung der Verkehrsnachfrage 2040 gegenüber 2019 (Binnen- und Aussenströme DWV, relative und absolute Differenz)	57
Tabelle 18	Entwicklung des Binnen- und Aussenverkehrs 2019 – 2040 (DWV)	58

1 Ausgangslage

Die letzte Aktualisierung des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Solothurn (GVM SO) wurde im Frühling 2018 fertiggestellt und beinhaltet Modellzustände für die Jahre 2015, 2025 und 2040.

Damit das Modell weiterhin ein zuverlässiges und aussagekräftiges Planungsinstrument bleibt, muss es periodisch auf die geänderten Netz-, Siedlungs- und Nachfragezustände aktualisiert werden. Der Aktualisierungsbedarf bezieht sich sowohl auf die Neukalibration des veränderten Ist-Zustands als auch auf die Anpassung der Annahmen in den Prognosezuständen, mit folgenden Schwerpunkten:

- Anpassung der Angebotsveränderungen und Netzbelastungen im Ist-Zustand (nach 2015);
- Anpassung der Netz- und Siedlungsentwicklung bis 2040 (entsprechend den Verkehrsperspektiven 2050 des Bundes, BFS-Bevölkerungsprognosen und Bevölkerungsprognosen Kanton Solothurn).
- Anpassung der Annahmen über die Verhaltensveränderungen bis 2040 (Auswirkung von Homeoffice, Online-Einkauf, Entwicklung Strassengüterverkehr und Aussenverkehr)

Gleichzeitig können die Erfahrungen aus den Modellanwendungen der letzten Jahre in die aktualisierten Modellzustände eingebaut werden. Neben der Genauigkeit der Basismodelle sind hier vor allem die Annahmen bezüglich Netz- und Siedlungsentwicklungen für die Prognosemodelle zu evaluieren. Zudem kann auf das in der Zwischenzeit in EVA (ein in VISUM integriertes Nachfragemodellierungstool) aufgebaute Nachfragemodell zurückgegriffen werden. EVA hat VISEVA als Software für die Nachfragemodellierung abgelöst, da VISEVA nicht mehr weiterentwickelt wird und auf neueren Rechnern ohne erheblichen Aufwand nicht mehr lauffähig ist. Die VISEVA-Nachfragematrizen konnten mit EVA soweit reproduziert werden, dass deren Verwendung nichts im Wege steht. So entstehen bei der Bearbeitung zwischen Nachfrage- und Umlegungsmodell vereinfachte Prozesse, da beide Schritte in der gleichen Software bearbeitet werden.

Bei der letzten Aktualisierung des GVM SO (2015) wurde auch eine Aktualisierung des Nachfragemodells auf die Erhebungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (2015) inkl. die aus der Stated-Preference-Befragung 2015 abgeleiteten Verhaltensparameter durchgeführt. Die für das Jahr 2020 geplanten Erhebungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) wurden wegen der Corona-Pandemie sowie den damit verbundenen Massnahmen im Hinblick auf die Mobilitätsbeschränkungen im Februar 2020 abgebrochen und ab Februar 2021 weitergeführt. Damit standen diese Daten während der Modellaktualisierung nicht zur Verfügung und andererseits ist es zu erwarten, dass die Erhebungen 2021 und die daraus abgeleiteten Verhaltensgesetzmässigkeiten noch immer direkt oder indirekt stark durch die Pandemie beeinflusst werden. Die durch die Corona-Pandemie beeinflussten Verhaltensveränderungen sind zudem für die mittel- und langfristigen Verkehrsprognosen nicht geeignet, da solch kurzfristige und unvorhersehbare Einflussfaktoren in den Verkehrsprognosen nicht berücksichtigt werden können.

Damit war die Implementierung der MZMV 2021-Daten bei der Modellaktualisierung als problematisch zu betrachten, da diese Daten sehr wahrscheinlich durch die Corona-Pandemie zusätzlich beeinflusst sind und damit keine stabilen sowie prognosefähigen Grundlagen wären. Aus diesem Grund wurde für die Entscheidungsanalysen und Verkehrsprognosen des Verkehrsverhaltens die Verwendung der MZMV 2015-Daten bevorzugt, solange solche kurzfristige/zwischenzeitliche Verhaltensänderungen infolge der Pandemie in neuen Erhebungen nicht ausgeschlossen werden können. Da die MZMV-Erhebungen im Fünfjahresrhythmus stattfinden, ist zu erwarten, dass eine Aktualisierung der Verhaltensvariablen erst mit dem MZMV 2025 möglich wird.

Des Weiteren zeichnet sich ab, dass durch die Corona-Pandemie entstandene Veränderungen wie Home-Office sowie verstärkte Online-Einkäufe teilweise auch langfristig bzw. nach der Pandemie beibehalten werden. Solche Veränderungen führen zu einem reduzierten bzw. veränderten Verkehrsaufkommen (Mobilitätsraten einzelner Fahrtzwecke und einzelner Verkehrsmittel) und sind dementsprechend in den Verkehrsprognosen zu berücksichtigen. Zudem ist die Verlagerung des Verkehrsaufkommens zwischen den einzelnen Fahrtzwecken zu berücksichtigen, wie z.B. erhöhte Mobilitätsraten des Freizeitverkehrs infolge von reduzierten Mobilitätsraten beim Fahrtzweck Arbeit (bei gleichbleibender Anzahl Wege pro Tag über alle Zwecke).

2 Aufgabenstellung und Zielsetzungen

Für verschiedene Fragestellungen wie z.B. die Bereitstellung von Grundlagen (strategische Gesamtverkehrsplanung, einzelprojektbezogene Planung, Verkehrsmanagementsystem, etc.) oder die Analyse verkehrlicher Wirkungen von Angebots-, Siedlungs- oder soziodemographischen Veränderungen, stellt ein aktuelles und auf die empirischen Grundlagen kalibriertes Verkehrsmodell eine wichtige Grundlage dar. Hier braucht der Kanton Solothurn für verschiedene Fragestellungen einen aktuellen und auf die Erhebungsdaten kalibrierten Modellzustand. Die vorgesehene Modellaktualisierung beinhaltet die Überprüfung und Anpassung aller Modellkomponenten inklusive Verkehrsangebot, Siedlungsdaten und Verkehrsnachfrage sowie Prognoseannahmen. Sie bezieht sich sowohl auf die Kalibrierung der Ist-Zustände als auch auf die Erstellung des neuen Prognosezustandes 2040.

Der Schwerpunkt der vorgesehenen Aktualisierung liegt auf folgenden Themen:

- Aktualisierung der Angebotsveränderungen im Strassen- und öffentlichen Verkehr nach 2015;
- Kalibrierung der Netzbelastungen im Strassen- und öffentlichen Verkehr auf die Zählzeiten 2019
- Aktualisierung der Siedlungsdaten nach 2016 und der dadurch notwendigen Anpassungen des Nachfragemodells
- Aktualisierung der Annahmen des Prognosemodells (Netz- und Siedlungsszenarien, Verhaltensveränderungen)
- Aktualisierung der Prognosemodelle durch die neuen Verkehrsperspektiven Schweiz 2050 sowie Bevölkerungsprognosen des Bundesamts für Statistik 2050

Damit ist das Ziel des Projekts die Kalibrierung der aktuelleren (MIV und ÖV) Ist-Modellzustände 2019 und Prognosezustände 2040 (sowie DTV, MIV 2030) für:

- den durchschnittlichen Werktagerverkehr (DWV);
- den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV, MIV);
- die Abendspitzenstunde des durchschnittlichen Werktagerverkehrs (ASP, MIV);

Da hier nur eine Aktualisierung der Eingangsdaten und der Modellergebnisse vorgesehen ist, bleiben das Modellkonzept sowie die im GVM SO eingebauten Modellkomponenten und die dahinterliegenden theoretischen Grundlagen, Modellansätze und Modellsoftware unverändert.

3 Modellzustände

Das Projekt liefert als Ergebnis folgende Modellzustände:

Ist-Zustand 2019

- Durchschnittlicher Werktagesverkehr, DWV-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge, ÖV-Passagiere;
- Durchschnittlicher Tagesverkehr, DTV-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge;
- Abendspitzenstundenmodell, ASP-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge;
- Nicht auf die Querschnittszählungen kalibrierte Quelle-Ziel-Matrizen für Fuss- und Veloverkehr (DWV);
- Nachfragemodell (EVA) für den durchschnittlichen Werktagesverkehr.

Prognosezustand 2030

- Durchschnittlicher Tagesverkehr, DTV-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge;

Prognosezustand 2040

- Durchschnittlicher Werktagesverkehr, DWV-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge, ÖV-Passagiere;
- Durchschnittlicher Tagesverkehr, DTV-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge;
- Abendspitzenstundenmodell, ASP-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge;
- Nicht auf die Querschnittszählungen kalibrierte Quelle-Ziel-Matrizen für Fuss- und Veloverkehr (DWV);
- Nachfragemodell (EVA) für den durchschnittlichen Werktagesverkehr.

4 Daten und Modelle

Die Modellaktualisierung wird im Wesentlichen auf folgenden Daten aufbauen:

- Vorhandene Modellzustände des GVM SO (2015 und 2040)
- Nationales Personenverkehrsmodell 2017 und 2040 (inkl. Strassengüterverkehrsmatrizen)
- Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2050 (ARE, 2021)
- Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2050 (ARE, 2016)
- Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015
- Modellparameter aus dem Projekt „Analyse der SP-Befragung 2015 zum Verkehrsverhalten“ (ARE, 2017)
- Modellparameter aus dem Projekt „Schätzung der Modellparameter des Zielwahlmodells für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn“ (Bern und Solothurn, 2017).
- Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern (GVM BE), Gesamtverkehrsmodell Kanton Luzern (GVM LU), Gesamtverkehrsmodell Kanton Aargau (GVM AG) und Gesamtverkehrsmodell Basel (GVM BS)
- HAFAS-Fahrplandatenbank 2019, SBB Systemfahrplan 2019 und STEP 2035
- Zählzeiten MIV: ASTRA (Automatische Verkehrszählungen), Strassenverkehrszählungen Kanton Solothurn, Strassenverkehrszählungen Kanton Bern und Kanton Aargau, Zusatzerhebungen der Städte (Solothurn, Olten, Grenchen) und Gemeinden, Ingenieurbüros die Verkehrszählungen im Auftrag des AVT durchgeführt haben.
- Zählzeiten ÖV: Transportunternehmungen (SBB, BLS, RBS und alle weiteren Verkehrsbetriebe, im Kanton SO)
- Siedlungs- und soziodemographische Daten 2021, 2020, 2050: Bundesamt für Statistik und kantonale Statistiken (STATPOP, STATENT)
- Hektarrasterdaten des Bundesamtes für Statistik
- Daten der Strassenverkehrsämter zum PW-Besitz
- ÖV-Abonnemente (SBB und Tarifverbünde)
- weitere Statistiken und Erhebungsdaten

5 Strukturdaten

Für die Erzeugung der Verkehrsströme bilden Strukturdaten eine wichtige Grundlage. Dazu gehören einerseits Daten zu den wichtigsten «Produzenten» von Verkehrsaufkommen (z.B. Wohnbevölkerung, Erwerbstätige) und zu den wichtigsten Anziehungspunkten des Verkehrs (z.B. Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Freizeitangebote), andererseits aber auch Faktoren, welche die Verkehrsmittelwahl wesentlich beeinflussen (z.B. Fahrzeugbesitz, Verfügbarkeit von Parkplätzen, Abos im ÖV).

Für das neue GVM SO wurde ein umfangreicher Strukturdatensatz mit 44 Hauptvariablen erstellt. Für die Aktualisierung des Verkehrsmodells wurden die Strukturdaten aktualisiert. Grundsätzlich wird eine Aktualisierung auf das Jahr 2019 vorgenommen, sofern eine neue Datengrundlage zur Verfügung steht. Die Daten wurden für folgenden Variablen aufbereitet:

- Wohnbevölkerung und Altersstruktur
- Erwerbstätige
- Beschäftigte
- Auszubildende
- Verkaufsflächen und Einkaufszentren
- Freizeitbesucher (Gastgewerbe, Kulturangebot, Freizeitangebot, Spitäler)
- Bestand an Personenwagen
- Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr

Grundlagen:

- Wohnbevölkerung nach Altersgruppen
 - Basis: STATPOP 2020 (Geocodierte Punktdaten für gesamtes Modellgebiet)
- Erwerbstätige
 - Basis: Strukturerhebung (2015-2019) auf Gemeindeebene (Aufteilung auf Verkehrsmodellzonen aufgrund Bevölkerung im Erwerbsalter)
- Beschäftigte
 - Basis: STATENT 2019 (Geocodiert Punktdaten für gesamtes Modellgebiet, Daten auf Ebene Arbeitsstätte und NOGA-Klassen)
- Auszubildende
 - Schüler Kanton Solothurn (Geocoding für Zuweisung auf Verkehrsmodellzonen)
 - Schüler übriges Modellgebiet (Spezialauswertung BFS auf Ebene Gemeinde, Zuteilung auf Verkehrsmodellzonen auf Basis VZÄ (Vollzeitäquivalent) Schulen)
 - Berufsschüler mit Faktor 2/5 (2 Schultage pro Woche)
 - FH Studenten → Spezial-Auswertung BFS und Daten FH
- Verkaufsflächen (Werte der letzten Aktualisierung übernommen)
- Spitäler (Kanton Solothurn: Spezifische Grundlagen (Geocodierte Daten inkl. Pflgetagen von der Solothurner Spitäler AG), Ausserhalb Kt. SO: Daten des BFS, Zuordnung durch Geocoding. Neben stationärer Pflege auch Angaben zu ambulanten Konsultationen (1-Tages-Aufenthalt) – gut 60% aller Pflgetage berücksichtigt)
- Gastgewerbe: Hotels und Gastronomie
 - Betriebe und VZÄ aus STATENT
 - Restaurants: Hochrechnung Besucher Gastrobetriebe mit VZÄ
 - Hotellerie: Aufsplittung der Gemeindedaten auf Basis VZÄ
 - Parahotellerie: NEU. Aufsplittung der Kantonsdaten auf Basis VZÄ
- Kulturangebot: Betriebe und VZÄ aus STATENT

- *Kino-Besucher*: BFS Daten zur Kinfrastruktur (Kapazitäten) und Daten Besucherstatistik von ProCinema
- Geocoding für Zuweisung auf VMZ; Zuordnung nach Sitzkapazitäten
- *Theater-Besucher*: Zuschauerstatistik für die Saison 2018/19 des schweizerischen Bühnenverbandes (SBV).
- *Museums-Besucher*: Museumsstatistik des BFS 2019
- Freizeitangebot: Betriebe und VZÄ aus STATENT
 - Besucher Stadien von Sportverbänden (Fussball / Eishockey / Unihockey)
 - Bäder, Hallenbäder, Kunsteisbahnen (Nur Stadt Solothurn)
- Weitere Kultur und Freizeitangebot: Hochrechnung aufgrund der VZÄ
- Personenwagen (Daten immatrikulierte Fahrzeuge 2020 auf Gemeindeebene, Zuteilung auf VMZ über Bevölkerungszahl)
- Parkplätze: Keine Aktualisierung
- Abo-Daten: SBB-Kundendatenbank und Daten der TNW (
- Flugverkehr: Flughafen Grenchen

6 Verkehrsangebot

Die Grundlage für die Angebotsabbildung bilden die im GVM SO vorhandenen Netzzustände 2015. In diesen Netzzuständen wurden die gesammelten Netzfehler aus durchgeführten Modellanwendungen sowie alle relevanten Angebotsveränderungen zwischen 2015 und 2019 eingebaut. Zusätzlich wurde in den Gemeinden Niederbipp, Oensingen, Derendingen und Subingen eine Zonenverfeinerung umgesetzt.

6.1 MIV-Netz

Als Ausgangszustand wurde das Netz 2015 verwendet. In dieses Netz wurde eine Liste von Massnahmen / Netzkorrekturen eingearbeitet, welche zwischen 2015 und 2019 implementiert worden sind. Diese beinhalten v.a. neue Angebotsmassnahmen, Anpassungen an der Knotengeometrie (LSA/Kreisverkehr), Reduktion der signalisierten Höchstgeschwindigkeit und Korrekturen von Netzfehlern aus früheren Modellen.

6.2 ÖV-Netz

Die generelle Vorgehensweise bei der Erstellung des ÖV-Netzes orientiert sich an jener bei der Erstellung des Modellzustandes 2015 und 2010. Der Hafas-Datensatz 2019 wurde für den nicht-Bahnverkehr für Donnerstag, 19. September 2019 aufbereitet und auf dem GVM ÖV-Netz 2040 geroutet. Zusätzlich wurde der SBB-Systemfahrplan 2019 auf dem Bahnnetz eingepflegt.

7 Nachfragemodell 2019

Die Verkehrsnachfrage des GVM SO setzt sich aus folgenden Nachfragesegmenten zusammen:

- Personenverkehr:
 - Binnenverkehr;
 - Aussenverkehr;
- Strassengüterverkehr.

Im Personenverkehr werden alle vier Verkehrsmittel modelliert: Personenwagen inkl. Motorräder, öffentlicher Verkehr, Velo- und Fussverkehr. Zweiräder werden nicht separat aufgeführt, da für deren detaillierte Modellierung die entsprechenden Datengrundlagen (MZ-Daten, Nachfragemodell etc.) fehlen. Mit dem Verkehrsnachfragemodell (EVA) werden die Quelle-Ziel-Ströme innerhalb des Modellperimeters d.h. in den Nachfrageperimeter vollständig generiert. Die Aussenströme, d.h. Quelle-Ziel-Ströme zwischen dem Nachfrageperimeter und den Aussenzonen sowie der Transitverkehr durch den Modellperimeter, werden aus dem nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) übernommen.

Im Strassengüterverkehr (SGV) werden die Fahrten als einzelne Matrizen abgebildet und nicht als fixe Vorbelastung auf dem Strassennetz betrachtet. Da bei fixen Vorbelastungen die Wirkung einer strassenseitigen Massnahme auf das Routenwahlverhalten beim SGV nicht modelliert werden kann, werden separate Matrizen aus dem Nationalen Güterverkehrsmodell erstellt. Anhand vorhandener Strukturdaten werden die Matrizen des Nationalen Güterverkehrsmodells auf die Zonierung des GVM SO disaggregiert und ergänzt. Im letzten Schritt werden diese Matrizen anhand der SGV Zählraten im Modellgebiet kalibriert. Durch die Umlegungen dieser Matrizen wird es möglich, den Einfluss des SGV auf das Routenwahlverhalten im MIV bei Modellanwendungen zu berücksichtigen. Die Segmentierung wird nach den drei SGV-Klassen Lieferwagen, LKW und Last-/Sattelzüge differenziert. Bei dieser Aktualisierung wurden die bestehenden SGV-Matrizen des GVM SO (Aktualisierung 2015) durch die neuen SGV-Matrizen aus dem NPVM 2017 vollständig ersetzt.

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage erfolgt mit der Verkehrsplanungssoftware EVA. Dies ist ein makroskopisches, simultanes Verkehrsnachfragemodell zur Berechnung von:

- Verkehrserzeugung – mit (nach Aktivitäten und Personengruppen) disaggregierten Quelle-Ziel-Gruppen und einem verhaltensorientierten Kennwertmodell;
- Verkehrsverteilung (Zielwahl) – mit differenzierter Berechnung von Bewertungswahrscheinlichkeiten (Nutzenfunktionen);
- Verkehrsaufteilung (Verkehrsmittelwahl).

Die Ergebnisse der Berechnung sind die Fahrtenmatrizen der Verkehrsarten Fuss, Velo, ÖV und MIV. Die Konkurrenz zwischen den Verkehrssystemen wird bei deren Erstellung berücksichtigt. Die Änderungen in einem Verkehrssystem wirken immer auch auf die Nachfrage der konkurrierenden Systeme. Für die verschiedenen Verkehrsarten kann eine unterschiedliche Anzahl von Kenngrössen benutzt werden. So ist es z.B. üblich, für den ÖV die Beförderungszeit, Zu-/Abgangszeit, Takt, Umsteigehäufigkeit etc. zu verwenden.

Durch eine Differenzierung nach Aktivitäten entstehen 17 Quelle-Ziel-Gruppen (z.B. Wohnung-Arbeit, Wohnung-Einkauf, Arbeit-Einkauf, etc.; vollständige Auflistung siehe Seite 15). Für jede Quelle-Ziel-Gruppe werden separate Fahrtenmatrizen erstellt, welche später zu Fahrtzwecken sowie Gesamtmatrizen der einzelnen Verkehrsmittel zusammengefasst werden.

Die Nachfrageberechnung erfolgt in mehreren Schritten:

- Erstellung und Eichung der Quelle-Ziel-Matrizen für den durchschnittlichen Werktagerverkehr (DWV);
- Ableitung der Quelle-Ziel-Matrizen für die Spitzenstundenmodelle (ASP);
- Eichung der Spitzenstundenmodelle.

Die Nachfrageberechnung beinhaltet damit neben der Matrixerstellung und der Matrixplausibilisierung auch die Eichung auf die Querschnittszählungen, einschliesslich einer Plausibilisierung des Routenwahlverhaltens.

7.1 DWV-Modell

Basierend auf dem erstellten Verkehrsangebot und der Zonierung werden die nach Fahrtzwecken getrennten Quelle-Ziel-Matrizen im MIV, ÖV, Fuss und Velo für den durchschnittlichen Werktagerverkehr (DWV) erzeugt. Eine Quelle-Ziel-Matrix beinhaltet die Verkehrs- bzw. Quelle-Ziel-Ströme zwischen den Verkehrsmodellzonen. Ein Verkehrsstrom F_{ijk} gibt dabei an, wie viele Fahrten zwischen den Verkehrszellen i und j mit dem Verkehrsmittel k im gegebenen Zeitraum durchgeführt werden.

Die Erstellung von Matrizen erfolgt in vier grösseren Arbeitsschritten:

- Bestimmung des Verkehrspotentials: Verkehrserzeugung und Verkehrsanziehung der Zonen;
- Festlegung der Modellparameter für die Nachfrageverteilung und -aufteilung (Ziel- und Verkehrsmittelwahl);
- Berechnung der Quelle-Ziel-Matrizen und Validierung der Matrixstruktur;
- Kalibration der Matrixstruktur, mit Rückkoppelung.

Zur Bestimmung des Verkehrspotentials werden für die einzelnen Verkehrszellen eines Planungsraumes die einströmenden und die ausströmenden Verkehrsstärken als Summe der Zielverkehre (Z_i), respektive der Quellverkehre (Q_j) mit Hilfe von Raumstrukturdaten bestimmt. Die Raumstrukturdaten charakterisieren dabei die Attraktivität der jeweiligen Verkehrszelle. Das Verkehrsaufkommen wird bestimmt, indem z.B. jedem Einwohner einer verhaltenshomogenen Gruppe eine gewisse Anzahl an Wegen für einen Fahrtzweck zugewiesen wird. Hierfür werden sogenannte Quelle-Ziel-Gruppen gebildet, welche zu Fahrtzwecken zusammengefasst werden.

Es werden folgende Fahrtzwecke unterschieden:

- Arbeit;
- Ausbildung;
- Nutzfahrt;
- Einkauf;
- Freizeit und Sonstiges.

Die Kennwerte zum spezifischen Verkehrsaufkommen pro Quelle-Ziel-Gruppe und verhaltenshomogener Gruppe werden auf Grundlage des MZMV 2015 ermittelt. Aus der gesamten Befragungsstichprobe werden die für den Modellperimeter relevanten Beobachtungen herausgefiltert.

Für die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage wurde ein simultanes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell verwendet (Weis *et al.*, 2017), das die räumliche und modale Konkurrenz angemessen abbildet. Die Schätzungen werden getrennt für die fünf Verkehrszwecke (Pendler, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkauf, Freizeit und Sonstiges) vorgenommen.

Die ermittelten Parameter dienen als Input für die Berechnung der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmitteln für die einzelnen Verkehrsbeziehungen. Dafür wird das Nachfragemodell EVA verwendet, welches Logit Modelle umsetzen kann. Mit diesem Programm werden sowohl die ÖV- als auch die MIV- und Fuss- und Velo-Quelle-Ziel-Matrizen erstellt. Da in der Realität sowohl Ziel- als auch Verkehrsmittelwahl-Entscheidungen unter Berücksichtigung alternativer Verkehrsmittel getroffen werden, kann die Verkehrsverteilung nur unter Berücksichtigung alternativer Verkehrsmittel konsistent und plausibel modelliert werden. Daher können die Quelle-Ziel-Matrizen der einzelnen Verkehrsträger nur simultan erstellt werden. Für jede Quelle-Ziel Gruppe werden vollständige Matrizen erstellt, welche sowohl interzonale (Wege zwischen zwei Zonen) und intrazonale (Wege beginnen und enden innerhalb derselben Zone) Wege beinhalten. Insgesamt werden mit EVA 68 Matrizen erstellt, die in einem weiteren Schritt zu Fahrtzwecken aggregiert werden.

Die Matrizen werden anschliessend mit vorhandenen Erhebungsdaten aus dem MZMV 2015 überprüft.

7.1.1 Erzeugungsmodell

Als erster Baustein des Nachfragemodells wird das gesamte Verkehrsaufkommen der Zonen ermittelt, unterteilt nach Verkehrserzeugung (Produktionsaufkommen oder Quellverkehrsaufkommen) und Verkehrsanziehung (Attraktionsaufkommen oder Ziel-Verkehrsaufkommen). Das Verkehrsaufkommen einer Zone ist vor allem von der Flächennutzung, den Strukturgrössen (wie z.B. Einwohnerzahlen, Arbeitsplätzen, Schülern, Verkaufsflächen, Freizeiteinrichtungen etc.), den soziodemographischen Merkmalen (z.B. Altersstruktur, PW-Besitz oder ÖV-Abonnemente) und der Lagegunst bzw. Erschliessungsqualität der Zone abhängig. Dabei sind die räumlichen Strukturgrössen und die soziodemographischen Charakteristiken, die das Verkehrsverhalten beschreiben, die entscheidenden Merkmale. Bei einer entsprechenden Segmentierung der Strukturgrössen und des spezifischen Verkehrsaufkommens bzw. der Erzeugungsraten, lassen sich die räumlichen und die das Verkehrsverhalten beschreibenden Charakteristiken der Zone, durch die berechnete Verkehrserzeugung bzw. Verkehrsanziehung quantifizieren.

Die Erzeugungsraten besagen, dass gemäss MZMV 2015 durchschnittlich:

- 1.73 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 1.87 Ausbildungswege pro Auszubildendem und Werktag;
- 0.24 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 0.93 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag;
- 1.23 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag

zurückgelegt werden. Insgesamt werden durchschnittlich 3.58 Wege pro Werktag und Einwohner (Binnenwege d.h. Wege innerhalb Modellperimeter) durchgeführt.

Im Erzeugungsmodell wird nur das Verkehrsaufkommen der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Struktur- und Attraktionsgrössen ermittelt. Der Verkehr von ausserhalb des Modellperimeters wohnhaften Personen (Aussenverkehr) wird nicht berücksichtigt. Dieser Verkehr wird aus dem Nationalen Personenverkehrsmodell übernommen.

Durch die Zuordnung des Verkehrsaufkommens der Quelle-Ziel-Gruppen zu den einzelnen Fahrtzwecken werden die Fahrtzweckanteile ermittelt und mit den Ergebnissen des MZMV 2015 verglichen. Das Ergebnis ist in Tabelle 1 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass in den Zonen innerhalb des Modellperimeters an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 5.35 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spezifisches Verkehrsaufkommen von 3.58 Wegen pro Person (für den Binnenverkehr innerhalb des Modellperimeters, ohne Aussenverkehr). Damit stimmen die anhand der Verkehrsaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen ermittelten Fahrtzweckanteile gut mit den Ergebnissen des MZMV 2015 überein.

Tabelle 1 Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2015

	Berechnete Anzahl Wege [Mio./Werktag]	Anteil der berechneten Wege [%]	Anteil der Wege im MZMV 2015 [%]	Differenz
Arbeit	1.40	26.2	26.5	-0.3%
Ausbildung	0.47	8.9	8.9	±0.0%
Einkauf	1.41	26.3	26.3	±0.0%
Nutzfahrt	0.19	3.5	3.5	±0.0%
Freizeit	1.88	35.1	34.8	+0.3%
Total	5.35	100.0	100.0	

7.1.2 Modellparameter

Die durch die Verkehrserzeugung berechneten Quell- und Zielverkehrsaufkommen werden im nächsten Schritt auf die Verkehrsmittel und die Zonen verteilt. Ziel der dazu verwendeten Modelle der Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung ist die Ermittlung der Verkehrsströme v_{ijk} zwischen allen möglichen Quellen i und Zielen j mit den Verkehrsmitteln k . Dafür müssen zunächst die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsverteilung (Zielwahl) und Verkehrsaufteilung (Verkehrsmittelwahl) bestimmt werden. Da die Zielwahl auch von der Verkehrsmittelverfügbarkeit und dem Verkehrsangebot abhängig ist, können diese zwei Modellschritte nicht getrennt behandelt werden. Bei einem sequentiellen Verfahren kann eine Rückkoppelung stattfinden, was zu einer sehr komplexen Modellstruktur und zumeist auch nicht zu einer konsistenten Lösung führen würde. Daher werden in diesem Projekt die Quelle-Ziel-Matrizen mit Hilfe eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells erstellt. Die Struktur dieses Modells sowie das Vorgehen zur Ermittlung der Modellparameter können im Bericht zur Erstellung des GVM SO 2010 eingesehen werden und sind in dieser Aktualisierung 2019 unverändert geblieben.

7.1.3 Matrixerstellung: Vorgehen

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

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

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

Damit werden in EVA neben den Strukturdaten für das Erzeugungsmodell auch die Angebots-, Soziodemographie- und Attraktionsvariablen sowie die geschätzten Modellparameter für das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell importiert. Die Angebotsvariablen werden aus den zuvor erstellten Verkehrsnetzen abgeleitet. Die berücksichtigten Angebots-, soziodemographischen- und Attraktionsvariablen nach Verkehrsart sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2	Komponenten der Nutzenfunktionen			
	MIV	ÖV	Velo	zu Fuss
Verkehrsangebot	Reisezeit	Reisezeit	Reisezeit	Reisezeit
	Reisekosten	Reisekosten	Höhe	Höhe
		Zugangszeit		
		Abgangszeit		
		Umsteigezahl		
		Bedienungshäufigkeit		
Soziodemographie	PW-Besitz	Jahresabonnement		
		Halbtaxabonnement		
		Alter		
Attraktion	Einwohner	Einwohner	Einwohner	Einwohner
	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze
	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze
	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche
	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot
	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige
	Parkkosten	Zusatzkonstante		
	Parksuchzeit			
	Zusatzkonstante			

Für das ÖV-Modell wurde eine fahrplanfeine Umlegung und für den MIV eine Gleichgewichtsumlegung verwendet. Die Fuss- und Veloreisezeiten werden aus dem MIV-Netz, anhand von mittleren Reisegeschwindigkeiten (4km/h für Fuss- und 12km/h für Velowege) ermittelt. Die Reisekosten im ÖV werden mit 0.20 CHF/km und im MIV mit 0.16 CHF/km berechnet. Alle weiteren Variablen wurden direkt aus VISUM abgeleitet. Die Bedienungshäufigkeit im ÖV wird als mittlere Fahrzeugfolgezeit einer Quelle-Ziel-Beziehung definiert. Diese Variable wird aus der (über dem Reisezeitäquivalent) gewichteten Anzahl Verbindungen in der betrachteten Umlegungsperiode berechnet.

Für die Erstellung der ÖV-Angebotskenngrossen werden die gleichen Parametereinstellungen verwendet wie bei der Umlegung. Die verwendeten Einstellungen sind in Abbildung 1 dargestellt. Weiterhin wird für die Berechnung der MIV-Reisezeit, im Gegensatz zur Umlegung, bei den Anbindungen eine konstante CR-Funktion angenommen.

Abbildung 1 VISUM: Vorauswahl u. Parameter für die Widerstandfunktion bei der Kenngrössenberechnung

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein

Basis | Suche | Vorauswahl | Widerstand | Wahl | Kenngrößenmatrizen | Iterationen | Auslastungsabhängiger Widerstand

Bei Beziehungen, für die Verbindungen sowohl mit ÖV (Linien-, Zusatz- oder Sharing-VSys) als auch ohne ÖV (nur Zugang, Abgang, Fußwege) gefunden wurden:

Alle Verbindungen ohne ÖV löschen

☐ Verbindungen löschen, die vollständig im Vor- oder Nachlauf liegen

☐ Für abfahrtszeitbezogene NSeg Verbindungen löschen, die schon vor Beginn des Umlegungszeitraums abfahren

☐ Für ankunftszeitbezogene NSeg Verbindungen löschen, die erst nach Ende des Umlegungszeitraums ankommen

1. Eine Verbindung wird gelöscht, wenn

SuchWid > 1.50 * minimaler SuchWid + 10.00

SuchWid wird entsprechend den Suchparametern berechnet.

2. Für alle verbleibenden Verbindungen: Eine Verbindung wird gelöscht, wenn

Reisezeit > 1.50 * minimale Reisezeit + 10min

und Umsteigehäufigkeit nicht minimal

oder

Umsteigehäufigkeit > minimale Umsteigehäufigkeit + 1

und Reisezeit nicht minimal

3. ☐ Für alle verbleibenden Verbindungen: Eine Verbindung wird gelöscht, wenn

empf. Reisezeit ERZ > 2.00 * mittlere ERZ + 0min

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein

Basis | Suche | Vorauswahl | Widerstand | Wahl | Kenngrößenmatrizen | Iterationen | Auslastungsabhängiger Widerstand

empf. Reisezeit ERZ =

zahl:	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda
	1.00	Fahrzeit im Fzg	* 1.0	☐	1.00
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	* 1.0	☐	1.00
+	2.10	Zugangszeit		☐	1.00
+	2.10	Abgangszeit		☐	1.00
+	2.10	Gehzeit		☐	1.00
+	1.20	Startwartezeit	Parameter	☐	1.00
+	0.00	Umsteigewartezeit	Parameter	☐	1.00
+	6min	Umsteigehäufigkeit	* Formel	☐	1.00
+	0min	Anzahl Betreiberwechs	Parameter	☐	1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstan	Parameter	☐	1.00

Um eine plausible Matrixstruktur im interzonalen Verkehr ermitteln zu können, ist es wichtig, dass auch der Anteil des intrazonalen Verkehrs soweit wie möglich plausibel geschätzt wird. Der Anteil des intrazonalen Verkehrs wird vor allem durch die Angebotsvariablen auf den Diagonalen, d.h. den mittleren Widerstand für einen Weg innerhalb einer Zone, beeinflusst. Da es in VISUM nicht möglich ist, eine plausible Besetzung der Hauptdiagonalen der Aufwandsmatrizen zu generieren, wurden die Diagonalen der entsprechenden Matrizen aus dem Nachfragemodell 2015 übernommen.

Charakteristisch für das Modell ist, dass die Verkehrsverteilung und die Verkehrsaufteilung simultan und nach gleichen Grundsätzen vorgenommen werden. In allen Fällen ergeben sich für die gesuchten Verkehrsströme n-

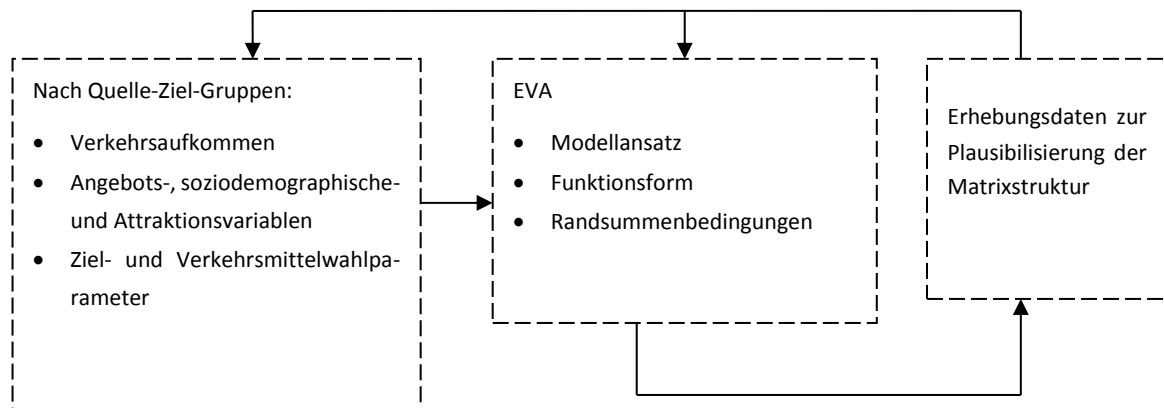
lineare Gleichungssysteme (bei harten Randsummenbedingungen) oder Ungleichungen (bei weichen Randsummenbedingungen), die mit geeigneten Iterationsverfahren zu lösen sind. Die Berechnung der Verkehrsströme wird für alle 17 Quelle-Ziel-Gruppen und die vier Verkehrsmittel durchgeführt. Damit werden insgesamt 68 Verkehrsstrommatrizen erstellt. Da zwischen einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen Abhängigkeiten vorhanden sind, werden die jeweiligen Verkehrsströme teilweise mit harten oder weichen Randsummenbedingung berechnet (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quelle-Ziel-Ströme

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

Die Erstellung der Quelle-Ziel-Ströme wird durch eine Rückkoppelung zwischen der Matrixerstellung und der Plausibilisierung der Matrixstruktur optimiert. Wie im folgenden Kapitel beschrieben, wird aus einem Vergleich der ermittelten Matrixstruktur mit den vorhandenen Erhebungsdaten eine Plausibilisierung der verwendeten Eingangsdaten durchgeführt. Es werden darüber hinaus die Modellstruktur, die Funktionsformen der Ziel- und Verkehrsmittelwahl und die Modellparameter sowie eventuelle Fehler bei den Angebotsvariablen überprüft. Zusätzlich werden in den ersten Iterationsschritten die Auswirkungen der intrazonalen Angebotsvariablen (Angebotscharakteristiken für die Wege innerhalb einer Zone) überprüft. Damit erfolgen die Erstellung und Eichung der Matrixstruktur in einem iterativen Prozess. Das Vorgehen ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Kalibration der Matrizen auf die Querschnittszählungen erfolgt erst nach der Umlegung, wenn die Matrixstruktur plausibel und geeicht ist.

Abbildung 2 Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur



Im Rahmen der Eichung der Matrixstruktur wird sowohl die Modellstruktur (harte und weiche Randsummenbedingungen, Lösungsverfahren) als auch Modellfunktionen und einzelne Modellparameter optimiert. Bei bestimmten Quelle-Ziel-Gruppen wird dafür eine sog. Box-Tukey-Transformation verwendet, um eine nichtlineare Modellfunktion – und damit eine bessere Anpassung an die Realität – zu erreichen. Diese lässt sich durch die Einführung von zusätzlichen Modellparametern in EVA sehr flexibel einbauen. Die Transformation wird bei den Zeit- und Kostenparametern verwendet, da diese Variablen für die Verteilung und Aufteilung von zentraler Bedeutung sind. Durch die Modelloptimierung ist es möglich, sowohl die Verkehrsmittelwahlanteile als auch die Reiseweiteverteilung der Matrizen auf die Erhebungsdaten zu eichen.

Da für die Ströme mit Quelle oder Ziel ausserhalb des Modells, die so genannten Aussenströme, kein genauer Verkehrswiderstand aus dem Modell ermittelt werden kann, werden diese aus dem NPVM übernommen. Zu diesem Zweck wurde eine Zuordnung der Zonen des NPVM zu den Zonen des GVM SO erstellt. Bei der Aufteilung des Verkehrsaufkommens wurden Arbeitsplätze und Einwohner als massgebende Variablen verwendet. Bei der Eichung der Matrixstruktur werden nur die Binnenströme, d.h. die Ströme mit Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes, berücksichtigt.

7.1.4 Validierung der Matrixstruktur (Binnenmatrix)

Die Validierung der Binnenverkehrsmatrix wird anhand des MZMV 2015 durchgeführt. Die Überprüfung und Eichung der Aufteilung zwischen inter- und intrazonalen Fahrten, der Modal-Split-Anteile und der Reiseweiteverteilung ist im Folgenden beschrieben.

Tabelle 4 zeigt die Eckwerte der berechneten inter- und intrazonalen Matrizen im Binnenverkehr für alle vier Verkehrsmittel und nach Fahrtzwecken geordnet.

Tabelle 4 Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen

[Mio. Wege / Werktag]					
Alle Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0,70	0,29	0,19	0,22	1,40
Ausbildung	0,05	0,13	0,10	0,20	0,47
Einkauf	0,66	0,16	0,14	0,44	1,41
Nutzfahrt	0,14	0,02	0,02	0,02	0,19
Freizeit	0,91	0,29	0,23	0,45	1,88
Summe	2,46	0,89	0,68	1,33	5,35
Interzonale Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0,67	0,28	0,16	0,13	1,25
Ausbildung	0,05	0,12	0,06	0,09	0,32
Einkauf	0,51	0,15	0,12	0,27	1,04
Nutzfahrt	0,13	0,02	0,01	0,01	0,18
Freizeit	0,87	0,27	0,19	0,27	1,60
Summe	2,23	0,83	0,56	0,77	4,38

Von den ca. 4.4 Mio. interzonalen Wegen werden ca. 51% mit dem MIV, 19% mit dem ÖV, 13% mit dem Velo und 17% zu Fuss zurückgelegt. Wird der Modal Split nach Fahrtzwecken betrachtet, ist der ÖV-Anteil bei Pendler- (22%) und insbesondere bei Ausbildungswegen (38%) höher und bei den übrigen Fahrtzwecken tiefer als im Gesamtdurchschnitt. Die Modal-Split-Anteile nach Fahrtzwecken und Wegen sowie der Vergleich mit dem MZMV 2015 sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 3 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, alle Wege [%]

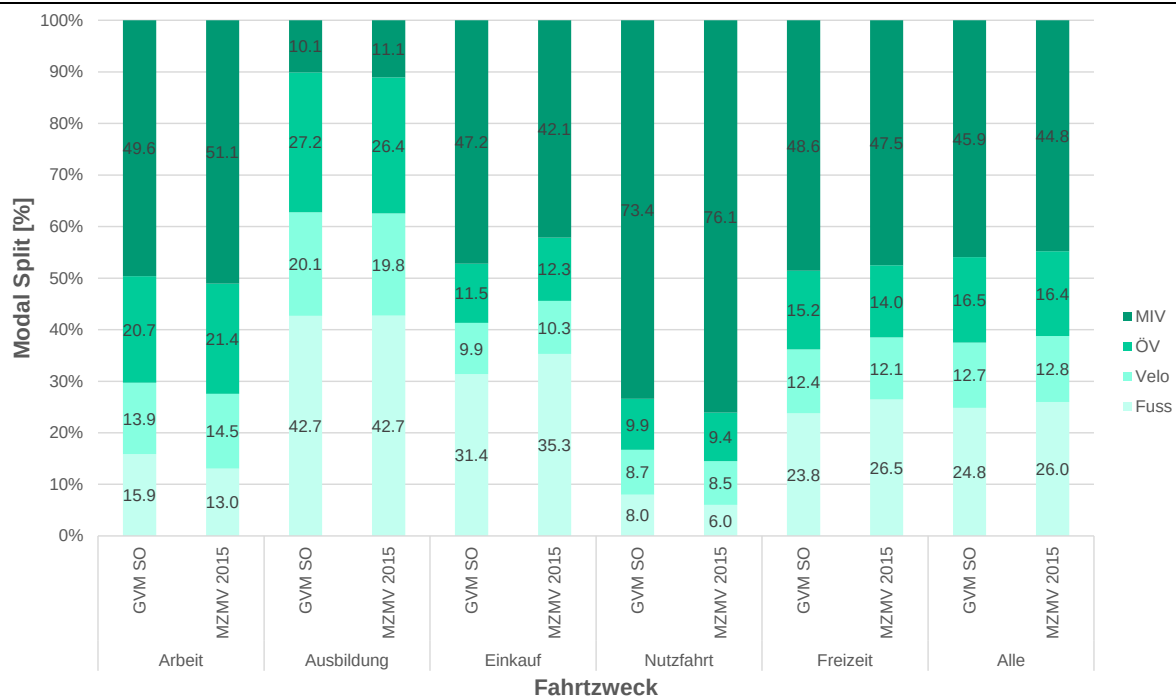
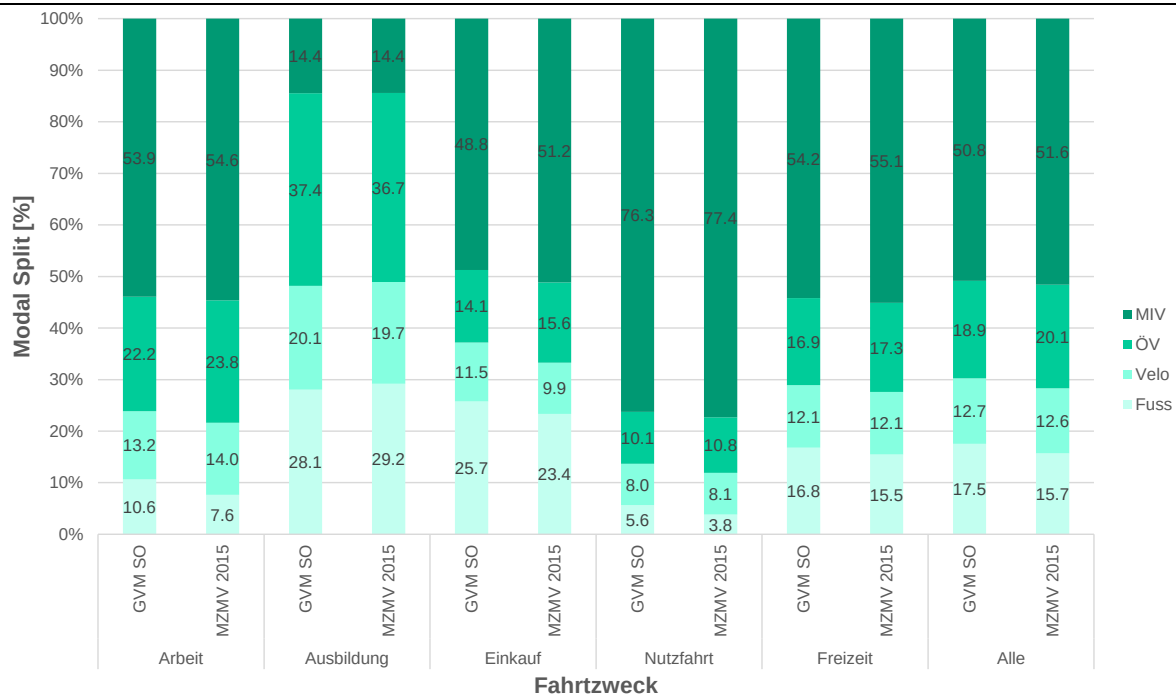


Abbildung 4 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, interzonale Wege [%]



Aus der Analyse der Reiseweiten der einzelnen Fahrtzwecke lassen sich teilweise die Gesetzmässigkeiten des Zielwahlverhaltens erkennen (siehe Abbildung 5). Wie erwartet werden vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt. Diese Wege haben einen höheren Anteil an den LV-Wege sowie am intrazonalen Verkehr. Dies wird unter anderem durch die räumliche Verteilung der Attraktionsgrössen (Ausbildungsplätze und Einkaufszentren bzw. Einkaufsstrassen) beeinflusst.

Abbildung 5 Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015

[km]	Fuss		Velo		MIV		ÖV	
	GVM SO	MZMV 2015	GVM SO	MZMV 2015	GVM SO	MZMV 2015	GVM SO	MZMV 2015
Arbeit	1,1	1,1	3,4	3,4	11,5	11,6	16,2	16,1
Ausbildung	1,1	1,1	2,4	2,2	8,3	7,9	10,6	10,5
Einkauf	1,3	1,0	2,3	2,2	8,1	6,5	9,1	6,8
Nutzfahrt	1,2	1,2	3,2	3,2	16,3	16,2	21,9	23,9
Freizeit	1,4	1,4	2,8	2,8	8,7	8,9	11,6	11,3
Summe	1,3	1,1	2,8	2,8	9,9	9,5	12,8	12,3

Für die Beurteilung der ermittelten Quelle-Ziel-Matrizen ist die Reiseweitenverteilung ein weiterer wichtiger Indikator. Sie gibt einen ersten Überblick über die räumliche Verteilung und Struktur der Verkehrsstrommatrix, die für die Qualität eines Verkehrsmodells entscheidend ist. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle ein Vergleich der Reiseweitenverteilung der interzonalen Verkehrsströme mit der Reiseweitenverteilung dieser Ströme im MZMV 2015 durchgeführt. Der Vergleich ist für alle Wege sowie getrennt für die fünf betrachteten Fahrtzwecke in den folgenden Abbildungen (

Abbildung 6 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke

bis Abbildung 11) dargestellt. Hier werden jeweils die kumulierten Verteilungen dargestellt. Es ist festzustellen, dass die hier ermittelten Verkehrsstrommatrizen bezüglich ihrer Reiseweitenverteilung die Struktur der Fahrten im MZMV 2015 gut reproduzieren. Bei einzelnen Distanzklassen und Fahrtzwecken wurde auf eine genauere Übereinstimmung mit dem Kurvenverlauf aus dem MZMV 2015 zugunsten einer besseren Konsistenz mit den vorliegenden Zähl­daten verzichtet.

Abbildung 6 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke

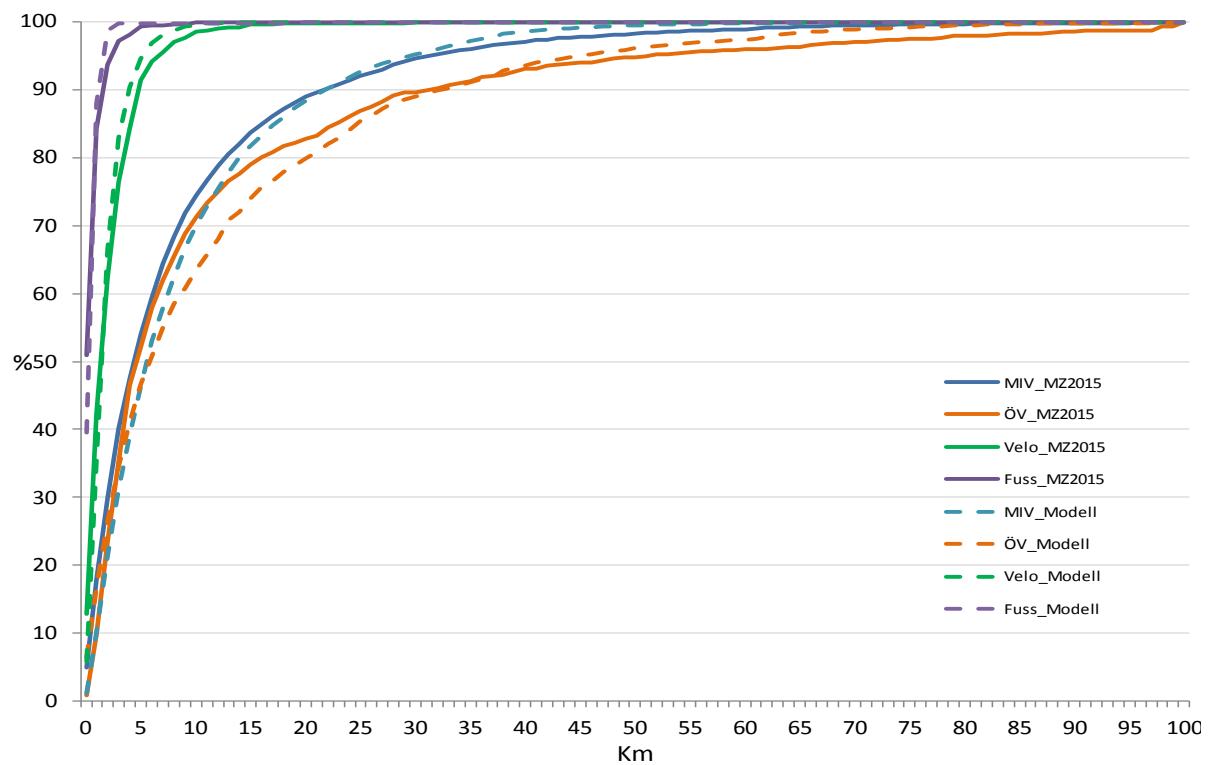


Abbildung 7 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Arbeit

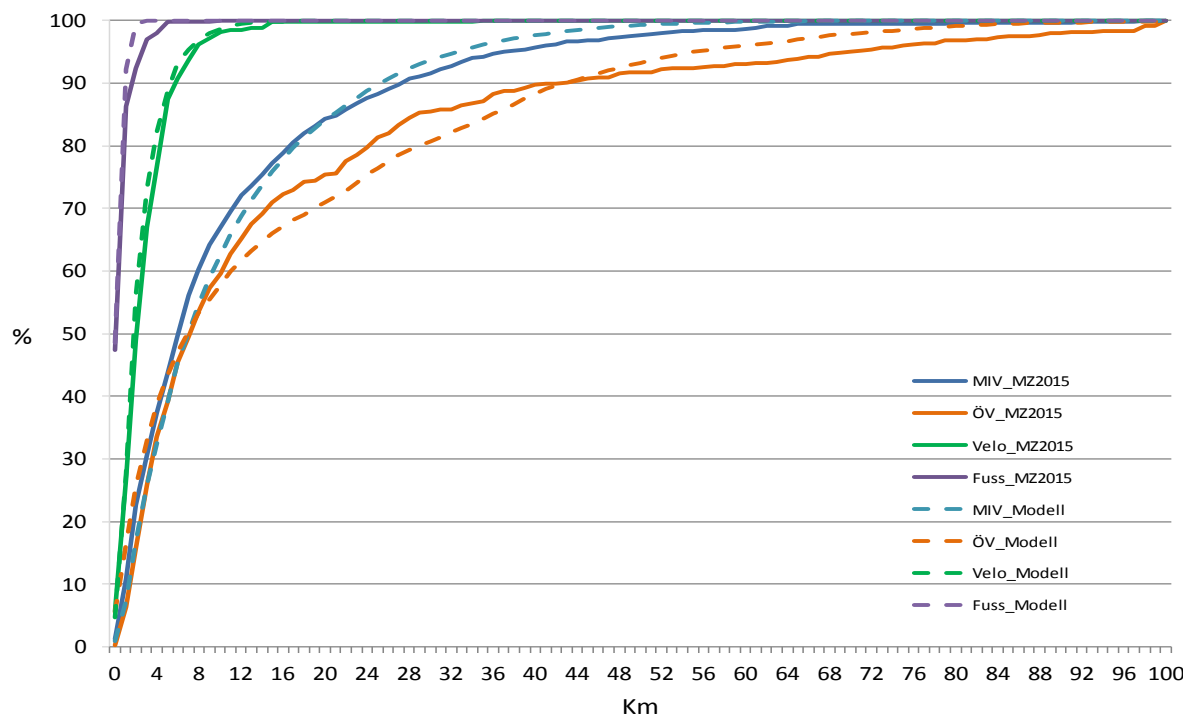


Abbildung 8 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Ausbildung

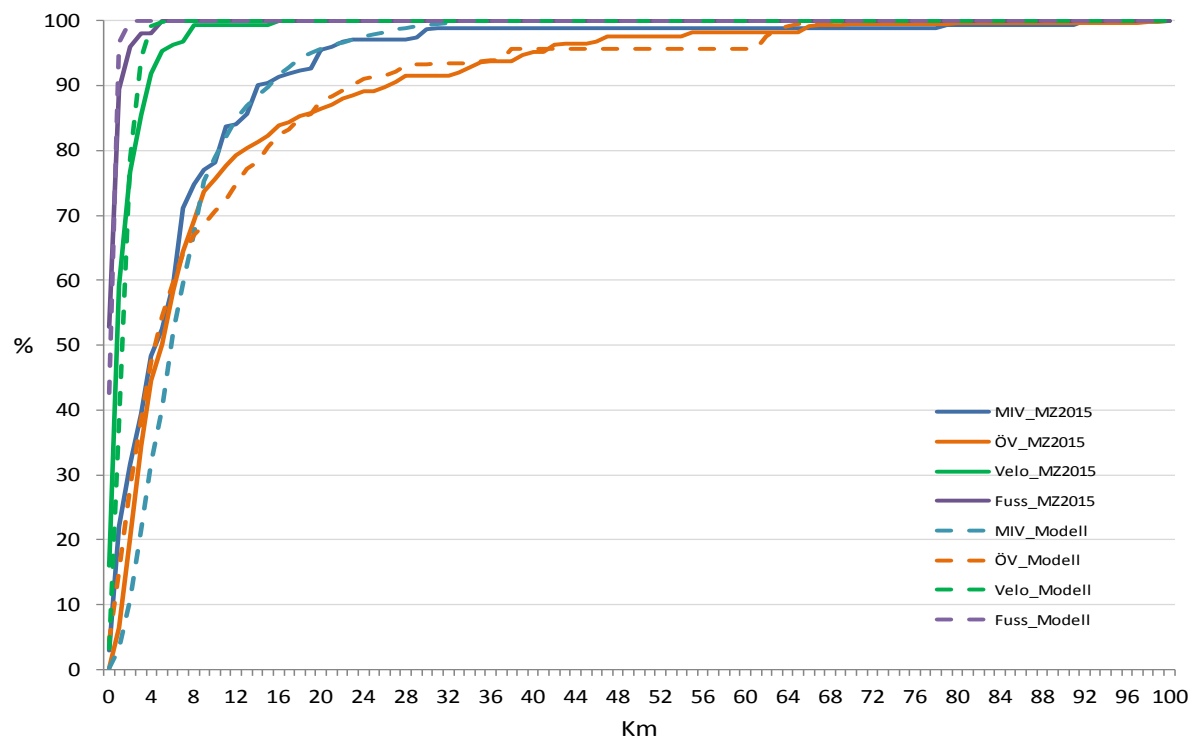


Abbildung 9 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Einkauf

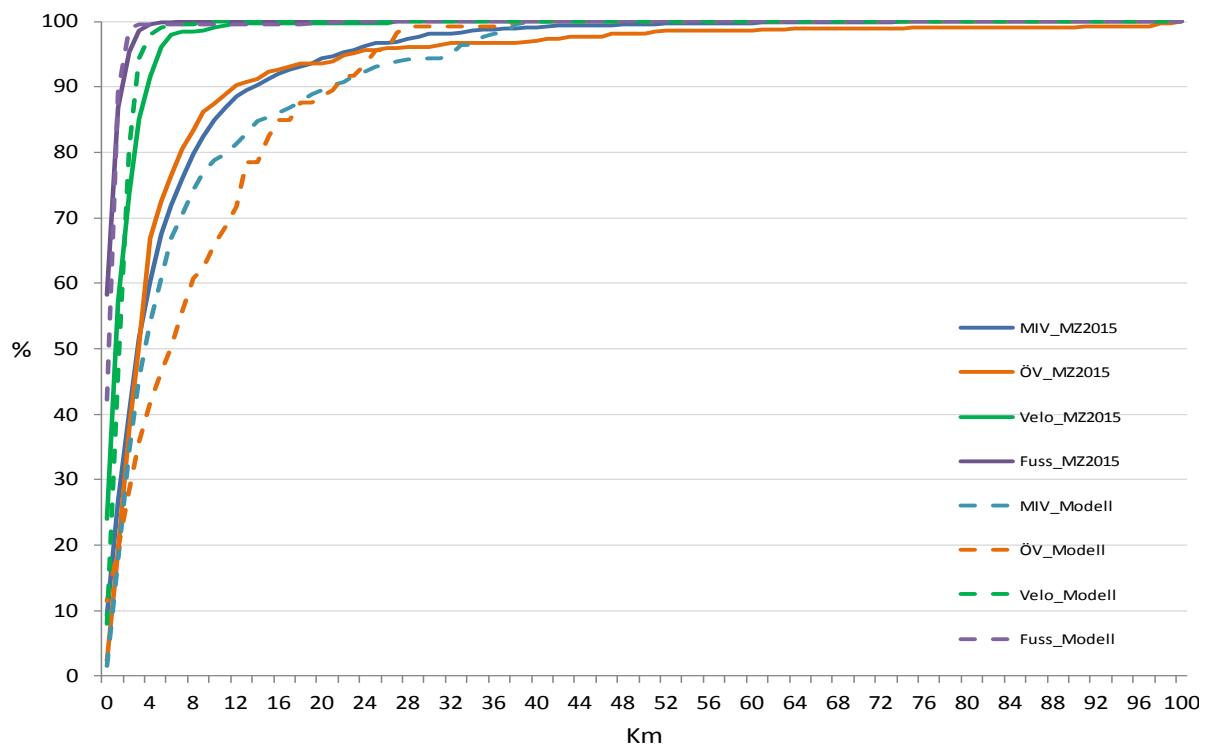


Abbildung 10 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Nutzfahrt

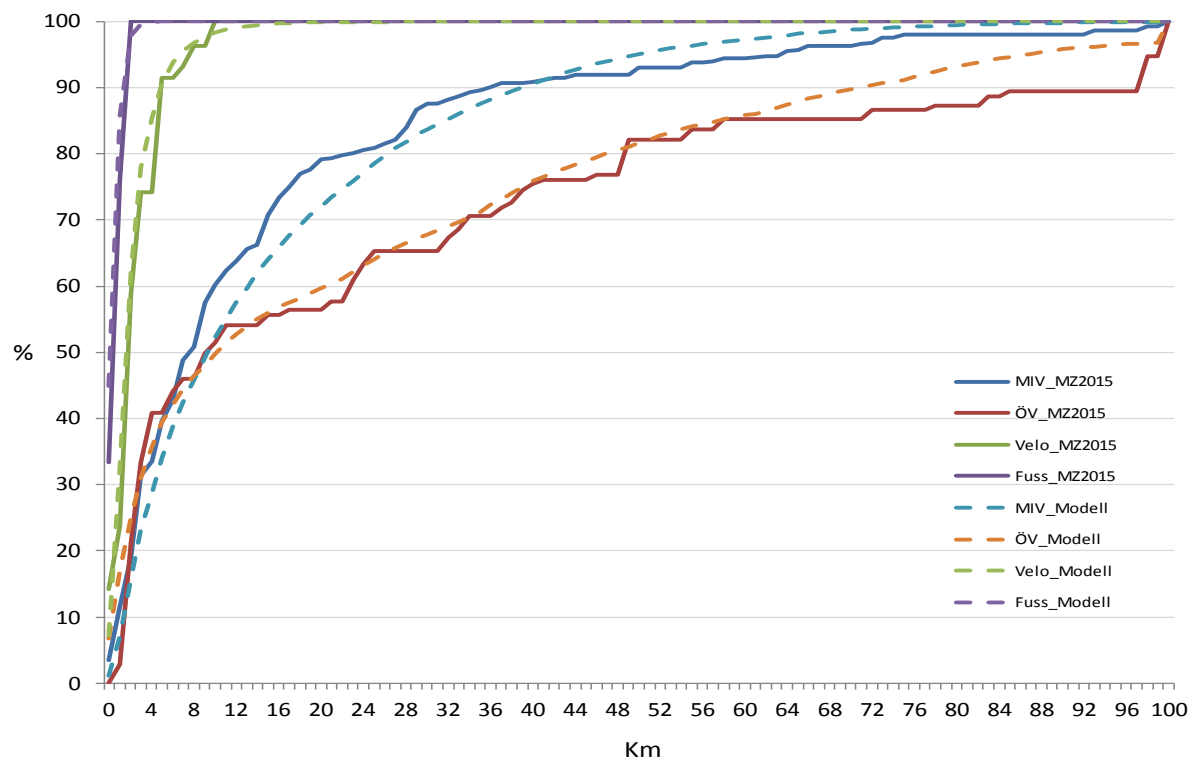
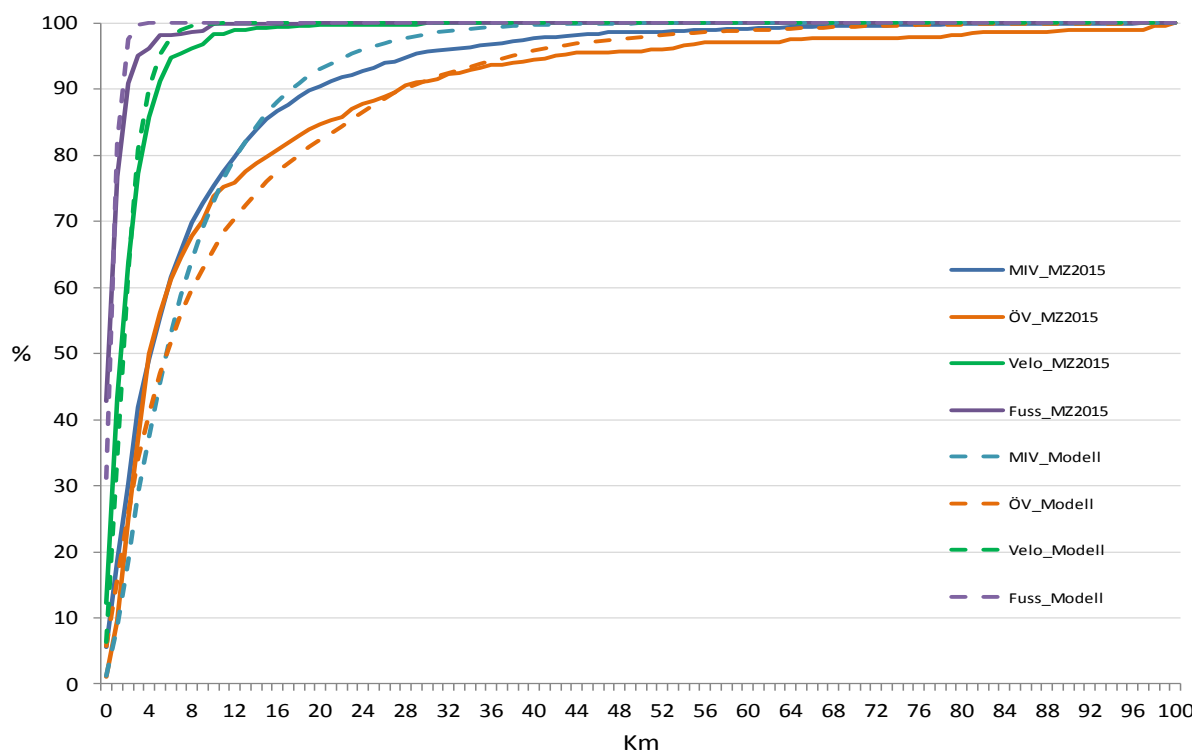


Abbildung 11 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Freizeit



7.1.5 Umlegung und Validierung der Netzbelastungen

7.1.5.1 Umlegungsverfahren

Die erstellten Nachfragematrizen werden im nächsten Schritt auf das Verkehrsangebot umgelegt und anhand von Querschnittszählungen überprüft.

Im MIV-Modell wird als Umlegungsmethode ein deterministisches Nutzergleichgewicht verwendet. Das deterministische Nutzergleichgewicht wird im MIV für alle Nachfragesegmente (PW, LI, LW und LZ) verwendet.

Im ÖV-Modell wird als Umlegungsmethode ein fahrplanfeines Verfahren verwendet. Die Parameter und die Bewertung der einzelnen Routenwahlkomponenten wurden aus der Stated Preference Befragungen 2015 übernommen (siehe Bericht Weis *et al.*, 2017). Die Nachfrageaufteilung auf die Route bzw. Verbindung im ÖV wird mit dem sogenannten Logit-Ansatz berechnet:

$$p_i^a := \frac{e^{-\beta \cdot R_i^a}}{\sum_j e^{-\beta \cdot R_j^a}}$$

Alle Parameter erklären

Der Parameter β hat die Funktion, die Empfindlichkeit der Verkehrsteilnehmer gegenüber erhöhten Widerständen abzubilden.

Zusätzlich zu den in Abbildung 12 dargestellten Angebotsparametern wurde in der Widerstandsfunktion auch ein Komfortfaktor berücksichtigt. Dafür wurden die aus den SP-Befragungen 2004 (siehe Bericht OeVM-AFV, Vrtic *et al.*, 2005) ermittelten Komfortparameter ein zusätzlicher Malusfaktor von 0.25mal Fahrzeit für das Verkehrsmittel Bus eingeführt.

Abbildung 12 VISUM: Parameter für die ÖV-Umlegung

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein

Basis | Suche | Vorauswahl | Widerstand | Wahl | Kenngrößenmatrizen | Iterationen | Auslastungsabhängiger Widerstand

empf. Reisezeit ERZ =

zahl:	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda
	1.00	Fahrzeit im Fzg	* 1.0	☐	1.00
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	* 1.0	☐	1.00
+	2.10	Zugangszeit		☐	1.00
+	2.10	Abgangszeit		☐	1.00
+	2.10	Gehzeit		☐	1.00
+	1.20	Startwartezeit	Parameter	☐	1.00
+	0.92	Umsteigewartezeit	Parameter	☐	1.00
+	6min	Umsteigehäufigkeit	* Formel	☐	1.00
+	0min	Anzahl Betreiberwechsel	Parameter	☐	1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstand	Parameter	☐	1.00

DeltaT = Zeitabstand von gewünschter und tatsächlicher Abfahrts- bzw. Ankunftszeit
☒ Verbindungen mit DeltaT > 0 berücksichtigen, wenn Verb. mit DeltaT = 0 existiert

Widerstand =

zahl:	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda
	1.00	ERZ [min]		☐	1.00
+	0.00	Fahrpreis		☐	1.00
+	1.00	DeltaT(früh) [min]		☐	1.00
+	1.00	DeltaT(spät) [min]		☐	1.00

OK Abbrechen

7.1.5.2 Strassengüterverkehrsmatrizen

Der Schwerverkehr wird als separate Matrizen zugespielt und nicht als fixe Vorbelastung auf dem Strassennetz betrachtet. Da bei fixen Vorbelastungen die Wirkung einer strassenseitigen Massnahme auf das Routenwahlverhalten bei LKWs nicht modelliert werden kann, wurden die Lieferwagen-, LKW- und Last- und Sattelzug-Matrizen aus dem NPVM 2017 verwendet. Die Matrizen wurden im NPVM 2017 auf Gemeinden aggregiert und im GVM SO wieder auf die Verkehrsmodellzonen disaggregiert. Die Lieferwagen wurden proportional zu Einwohnern und Arbeitsplätzen, und die LKW und Last- und Sattelzüge proportional zu Arbeitsplätzen auf die GVM-Zonen disaggregiert. Im letzten Schritt wurden diese Matrizen umgelegt (deterministisches Gleichgewicht) und auf die Zähl-daten kalibriert.

7.1.5.3 Umlegungsergebnisse

Die Quelle-Ziel-Matrizen für die Umlegung und Ermittlung von Netzbelastungen werden aus je zwei Teilmatrizen erstellt:

- Binnenverkehrsmatrix aus EVA;
- Aussenmatrix (Quell-, Ziel- und Transitmatrix) aus dem GVM SO 2015.

Um bereits bei der Aktualisierung des Modellzustandes 2015 berücksichtigte Korrekturen auch im hier vorliegenden Modellzustand 2019 einzubeziehen, werden die Quelle-Ziel-Matrizen zudem wie folgt korrigiert:

$$QZ_{2019} = QZ_{2019,EVA} + (QZ_{2015,kalibriert} - QZ_{2015,EVA})$$

Es wird also die Differenz zwischen dem kalibrierten und dem unkalibrierten Zustand 2015 auf die unkalibrierte Matrix 2019 addiert, um einen verbesserten Ausgangszustand für die folgende Modellkalibration vorliegen zu haben.

Der Vergleich der Modellbelastungen mit den Zählwerten im MIV ist in Abbildung 13 dargestellt. In dieser Abbildung ist zu sehen, dass die Abweichungen zwischen den Modellbelastungen und den Querschnittszählungen relativ klein sind. Eine ähnliche Qualität weisen auch die ÖV-Matrizen auf. Der Vergleich der ermittelten Modellbelastungen mit den verfügbaren Querschnittszählungen ist hier in Abbildung 14 dargestellt. Hier ist zu beachten, dass in beiden Abbildungen nicht plausible Zählwerte noch nicht ausgeschlossen worden sind. Diese Filtrierung wurde im Verlauf der Modellkalibration durchgeführt. Durch diese Plausibilisierung und die Modellkalibration werden diese Differenzen weiter reduziert.

Abbildung 13 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – PW (ohne Kalibration)

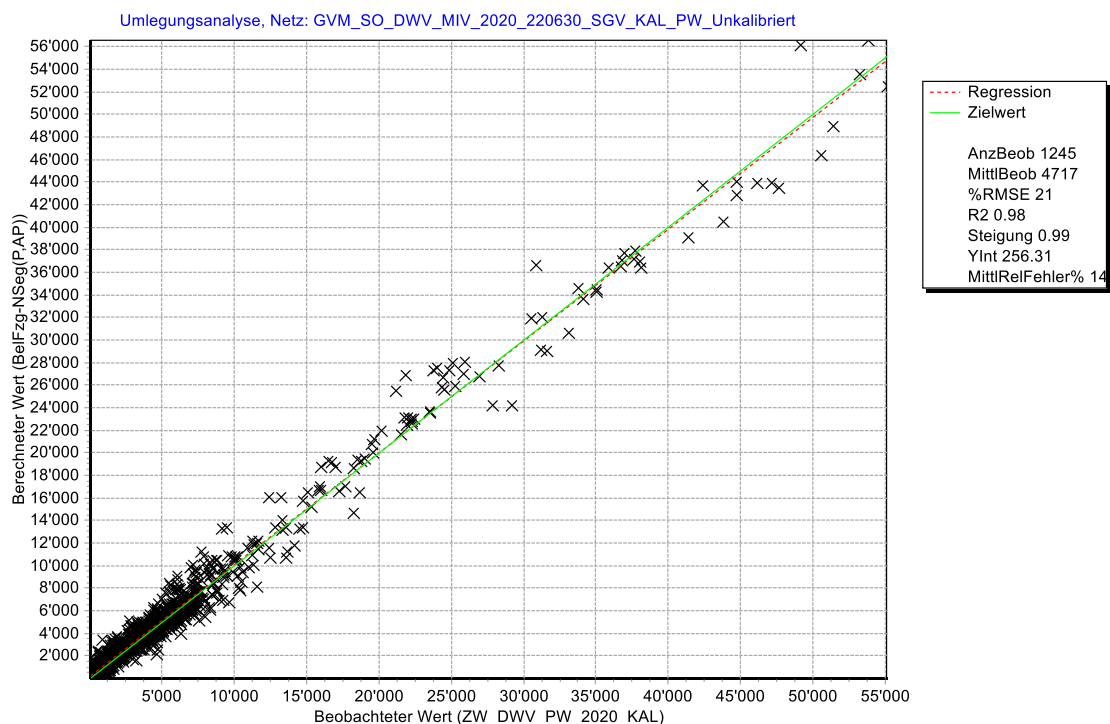
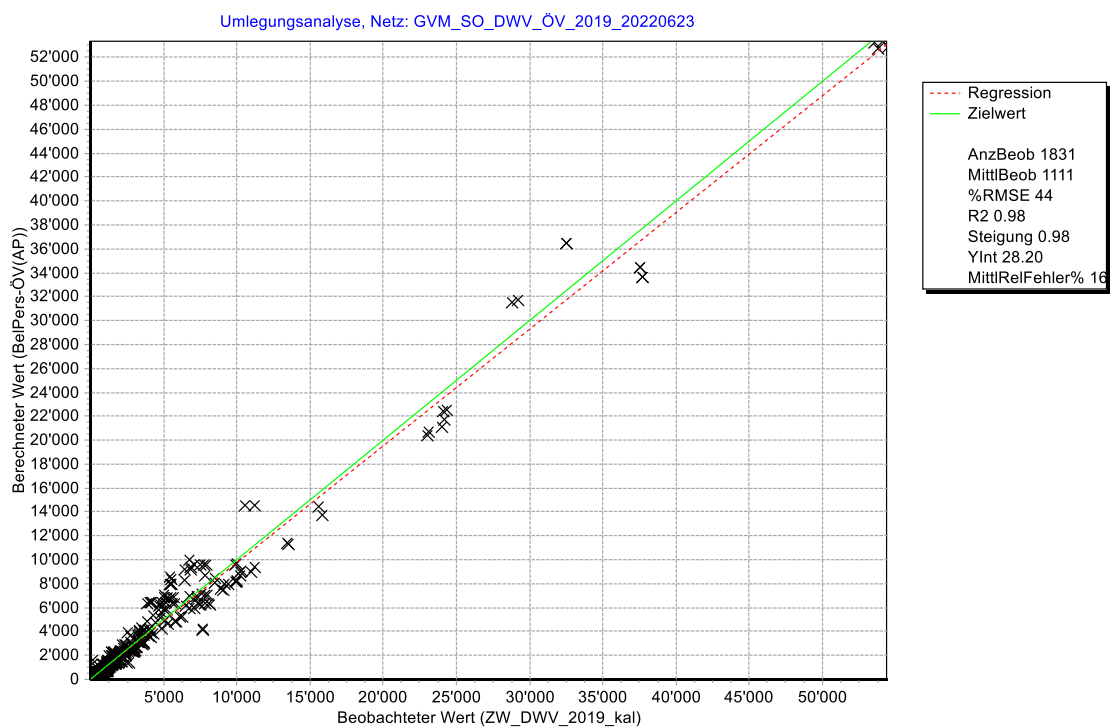


Abbildung 14 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration)



7.2 Spitzenstundenmodelle und durchschnittlicher Tagesverkehr

Für die Erstellung der Spitzenstunden- und DTV-Modelle für das Jahr 2019 werden die Arbeiten in zwei Schritten durchgeführt:

- Berechnung der Spitzenstunden- bzw. DTV-Matrix über Anteilsmatrix GVM SO 2015
- Eichung und Kalibration der Matrizen auf die vorhandenen Zählraten

Die zugrundeliegende Methodik wurde seit der Aktualisierung des GVM SO 2015 nicht angepasst, weshalb die Tagesganglinien nicht neu berechnet werden mussten. Details zum Vorgehen, welches in der Aktualisierung 2015 angewandt wurde, können im Bericht zur Erstellung des GVM SO 2010 eingesehen werden.

8 Modellkalibration

8.1 Zähldaten

8.1.1 MIV

Für die Kalibration des MIV-Modells wurden Zähldaten von verschiedenen Stellen gesammelt:

- ASTRA;
- Kanton Solothurn;
- Städte Solothurn, Olten, Grenchen;
- Kantone Bern, Aargau und Baselland

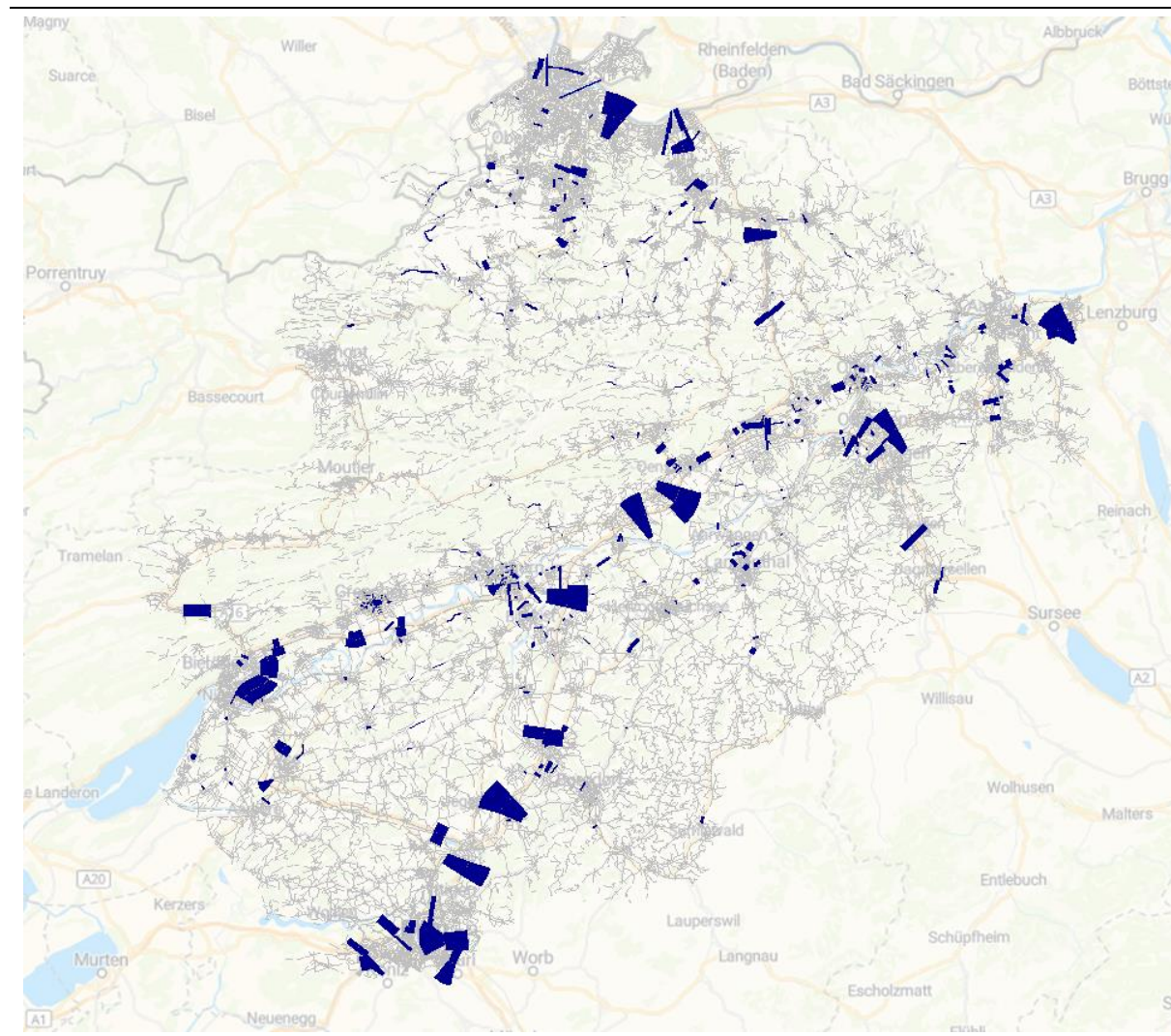
Die Daten wurden soweit wie möglich nach Verkehrstyp (DWV, DTV, ASP) und nach Lastklassen aufbereitet und plausibilisiert. Die im Jahr 2020 erhobenen Zähldaten wurden zusätzlich wegen Pandemieeinfluss noch auf 2019-Werte hochgerechnet.

Die Zählstellenverfügbarkeit sowie Zählmethodik ist in folgende Abbildung dargestellt.

Abbildung 15 Zählstellen Strasse

Amt	Jahr	Zählstellen	365 Tage	1 Tag	Methode	Klassifizierung
ASTRA	2019	118	95	0	SWISS10	Ja
Kanton SO	2020	412	50	362	AVZ, SR, Handzählungen	Ja
Stadt Solothurn	2020	205	0	205	Handzählungen	Ja
Stadt Olten	2020	219	0	219	Handzählungen	Ja
Stadt Grenchen	2020	260	0	260	Handzählungen	Ja
Kanton BE	2019 (GVM BE)	110				
Kanton AG	2019/2020 (KVM AG)	54				
Kanton BL	2019	152				
BFS	2021	4				

Abbildung 16 Verlässliche MIV-Zähldaten 2019 (ca. 740 Querschnitte)

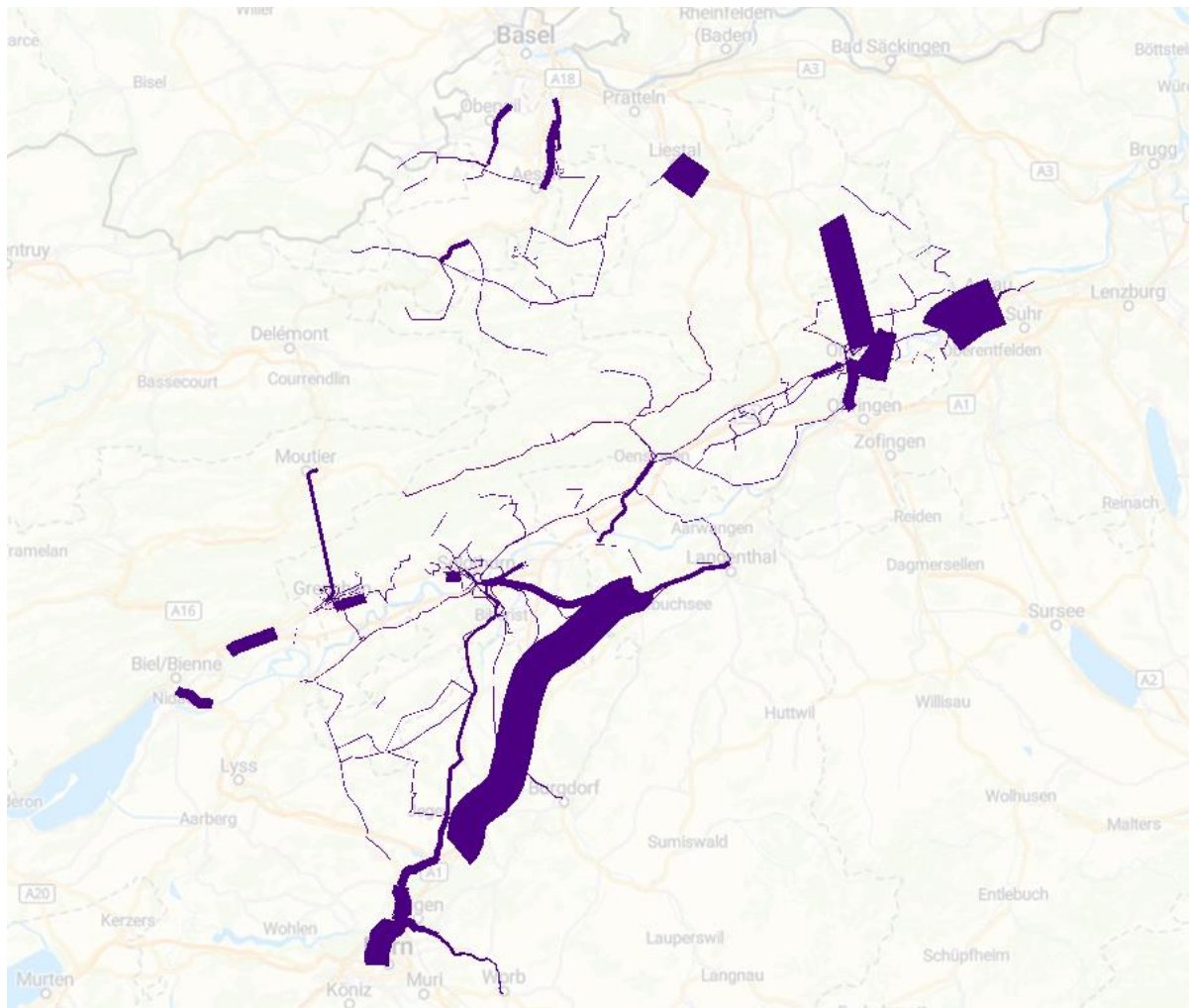


8.1.2 ÖV

Die ÖV-Zähldaten 2019 liegen teilweise als Linienwerte und teilweise als Streckenwerte vor. Die Linienwerte müssen hier mit einem Zwischenschritt auf Streckenwerte aufsummiert werden, da bei der Kalibration die Werte je Streckenabschnitt vonnöten sind und nicht linienfein kalibriert wird. Die vorliegenden Werte wurden für den DWV, den DTV und die Spitzenstunden (MSP und ASP) zu Richtungswerte aufbereitet.

Im ÖV liegen 850 richtungsgenaue Zähldaten vor, welche in Abbildung 17 gezeigt werden.

Abbildung 17 ÖV-Zähldaten 2019 (Ausschnitt westliches Modellgebiet)



8.2 Kalibration des DWV-Modells

8.2.1 Vorgehen

Die in den vorherigen Arbeitsschritten erstellten und plausibilisierten Matrizen werden nun auf die Querschnittszählungen geeicht. Die Kalibration der Quelle-Ziel-Matrix kann erst durchgeführt werden, wenn die Zähldaten als plausibel und verlässlich betrachtet werden können. Dafür wird eine Vorab-Analyse der vorhandenen Zähldaten durchgeführt.

Die unplausiblen und vor allem mit anderen Querschnitten inkonsistenten Zählstellen werden bei der Kalibration der Matrix nicht berücksichtigt. Ein Teil der unsicheren Zähldaten wird bei der Analyse der Umlegungsergebnisse berücksichtigt, bei der Kalibration der Matrix aber ausgeschlossen (d.h. auf diesen Querschnitten wird die Matrix nicht auf die Zählwerte kalibriert). Durch die Filtrierung der unplausiblen Zähldaten wird eine Verfälschung der Quelle-Ziel-Matrix verhindert.

Neben plausiblen Zähldaten ist für die Kalibration der Matrix eine plausible bzw. fehlerfreie Abbildung des Routenwahlverhaltens eine wesentliche Voraussetzung. Ein verfälschtes Routenwahlverhalten wird in der Regel durch folgende Faktoren verursacht:

- Fehler im abgebildeten Verkehrsangebot (Abbiegeverbote, zugelassene Geschwindigkeit, Streckenkapazität, Einbahnstrassen, Linienverlauf etc.);
- nicht der Realität entsprechende Zonenanbindungen oder fehlerhafte Anbindungsanteile;
- Inkonsistenz in Netz- und Zonendichte;
- unplausible Routenwahlparameter und Ansätze für die Nachfrageaufteilung.

Für die Validierung der Modellergebnisse hat die Dichte und Qualität der Zähldaten eine zentrale Bedeutung. Neben der Anzahl von Zählstellen, respektive ihrer Dichte, ist hier vor allem die Konsistenz der erhobenen Querschnittsbelastungen wichtig. In diesem Projekt musste vor allem der zweite Punkt, d.h. die Konsistenz der erhobenen Querschnittsbelastungen, kritisch validiert werden. Es hat sich gezeigt, dass sowohl im ÖV als auch im MIV bestimmte Zählwerte bei der Modellkalibration ausgeschlossen werden müssen. Im MIV liegt die Ursache vor allem bei der unterschiedlichen Erhebungsmethodik inkl. Anzahl Erhebungstagen einzelner Datenquellen sowie der Streckenzuordnung einzelner Zählstellen und temporärer Änderung im Verkehrsregime (Baustellen). Im ÖV musste vor allem die Vollständigkeit der Querschnittsbelastungen, als auch die Zuordnung der Linienbelastungen zu den Strecken, überprüft werden. Bei den einzelnen Abschnitten konnten die erhobenen Belastungen nicht nachvollzogen werden und wurden als Zählwerte ausgeschlossen.

Da die inhaltliche Struktur der erstellten Matrizen den Erhebungsdaten sehr gut entspricht und die Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen sehr ausgeglichen und relativ klein sind, wird in diesem Projekt auf die Anwendung von automatischen Kalibrationsverfahren verzichtet. Die Differenzen zwischen den Umlegungsergebnissen und den Querschnittszählungen werden stattdessen durch ein sukzessives Optimierungsverfahren an einzelnen Querschnitten (siehe unten) korrigiert. Ein solches Vorgehen hat den wesentlichen Vorteil, dass die strukturellen Veränderungen der Matrix kontrolliert werden können. Damit kann eine unplausible Veränderung der Matrixstruktur verhindert werden.

Diese Art des Vorgehens ist allerdings nur möglich, wenn die Ausgangsstruktur der Matrix korrekt ist und die Differenzen zwischen den Umlegungsbelastungen und den Querschnittszählungen über das gesamte Netz kon-

sistent sind. Dies bedeutet, dass durch die Korrektur der Teilmatrix auf einem Querschnitt die Differenzen zwischen der Umlegungsbelastung und dem Zählwert auf einem anderen Querschnitt nicht erhöht werden dürfen. Der Nachteil eines solchen Vorgehens ist, dass es einen grösseren Zeitaufwand erfordert.

Nachdem alle Fehler im Verkehrsangebot und in den Zonenanbindungen korrigiert worden sind, ist ersichtlich auf welchen Querschnitten die Matrix geeicht werden muss. Diese Abweichungen können bei Makromodellen, in denen mit einem durchschnittlichen Verkehrsverhalten (einheitliche Modellparameter für alle Quelle-Ziel-Beziehungen) gerechnet wird, nicht verhindert werden. Wegen der unterschiedlichen soziodemographischen Charakteristiken und der Unterschiede bei den Verkehrsangebotscharakteristiken ist zu erwarten, dass Abweichungen in den Gesetzmässigkeiten zwischen einzelnen Quelle-Ziel-Beziehungen vorhanden sind. Diese Abweichungen lassen sich aber durch die hier verwendeten manuellen Kalibrationsverfahren sehr plausibel korrigieren.

Da die Matrixstruktur für die Prognosefähigkeit des Modells die entscheidende Grundlage ist, wird hier ein manuelles Verfahren (als sukzessives Optimierungsverfahren) für die Eichung der Quelle-Ziel-Matrix eingesetzt. Dieses Verfahren ist zeitaufwändiger, erlaubt aber eine kontrollierbare Matrixkorrektur und damit eine verlässlichere Matrixstruktur. Die theoretischen Grundlagen für die Kalibrationsverfahren sowie Erweiterungsmöglichkeiten sind in der Studie von Vrtic *et al.* (2004) zu finden. Der Ansatz "Path Flow Estimator" von Bell und Grosso (1999) stellt eine Grundlage dar, die aber durch die Festlegung der Methodik für die Beibehaltung der Ausgangsstruktur der Quelle-Ziel-Matrix erweitert werden muss.

Zur Berechnung der PW-Fahrten für das MIV-Modell wurden die in Tabelle 5 dargestellten Besetzungsgrade (aus dem MZMV 2015 abgeleitet) verwendet. Hier sollte beachtet werden, dass die Besetzungsgrade Durchschnittswerte für das gesamte Modellgebiet darstellen und nicht pauschal für einzelne Gebietsteile verwendet werden sollten.

Tabelle 5 Besetzungsgrad PW nach Fahrtzweck

Fahrtzweck	Besetzungsgrad [Personen/PW]
Arbeit	1,10
Ausbildung	1,36
Einkauf	1,38
Nutzfahrt	1,21
Freizeit	1,63
Alle	1,35

Kalibriert wurde für alle Nachfragesegmente die gesamte Matrix (inkl. Aussenverkehr) ohne Unterscheidung des Fahrtzwecks.

8.2.2 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 6 zeigt die wichtigsten Kennzahlen der Kalibration für jedes Nachfragesegment:

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

Tabelle 6 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R^2
PW	1'122	4'820	6.5%	1.00
Lieferwagen	1'093	524	8.4%	1.00
Lastwagen	809	254	6.6%	1.00
Last- und Sattelzüge	576	344	5.6%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'467	5'036	6.0%	1.00
ÖV	1'716	1'125	6.3%	1.00

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

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

Es muss beachtet werden, dass bei der Eichung des Modells alle Modellkomponenten soweit wie möglich realitätsentsprechend dargestellt werden. Dies bedeutet, dass sowohl Inputdaten wie Netzattribute und Modellparameter als auch die Matrixstruktur und die daraus abgeleiteten Streckenbelastungen korrekt abgebildet werden sollen. Die hier berechneten Differenzen sind eine weitere Bestätigung der genügenden Konsistenz des gesamten Modells.

Des Weiteren ist zu beachten, dass bei der Erstellung von Netzmodellen eine vollständige Konsistenz mit allen Erhebungsdaten und damit auch mit den Querschnittszählungen kaum möglich ist. Die Unsicherheiten und die Fehler bei den Erhebungsdaten (sowohl bei den Zählungen als auch bei den Angebots- und anderen Nachfrage-daten) sowie die Inkonsistenz zwischen Zonengrösse und Netzdichte führen in der Regel dazu, dass eine vollständige Konsistenz kaum zu erreichen ist. Zusätzlich müssen hier auch die Grenzen der aggregierten Modelle sowie die Vielseitigkeit des Verkehrsverhaltens berücksichtigt werden. Die Umlegungsanalyse für einzelnen Nachfrage-segmente ist in folgenden Abbildungen dargestellt.

Abbildung 18 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

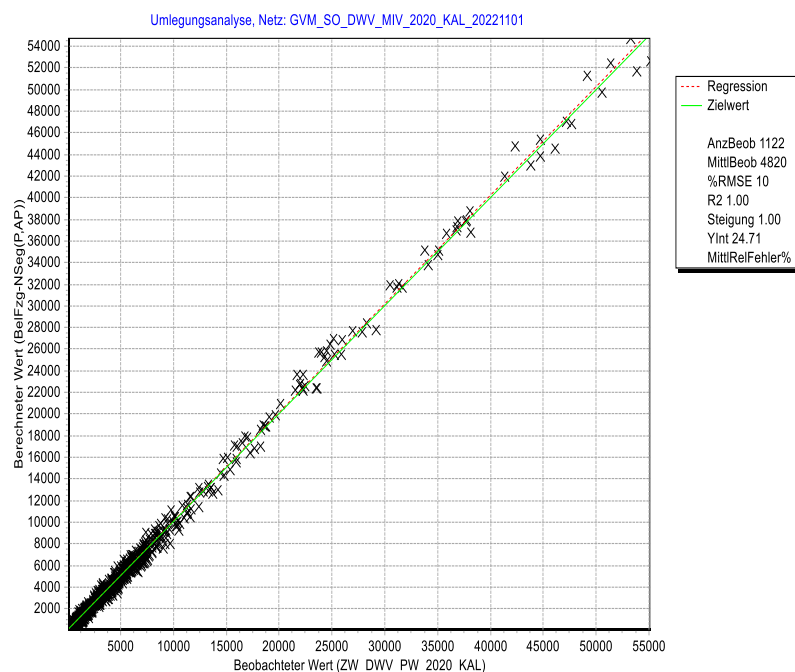


Abbildung 19 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

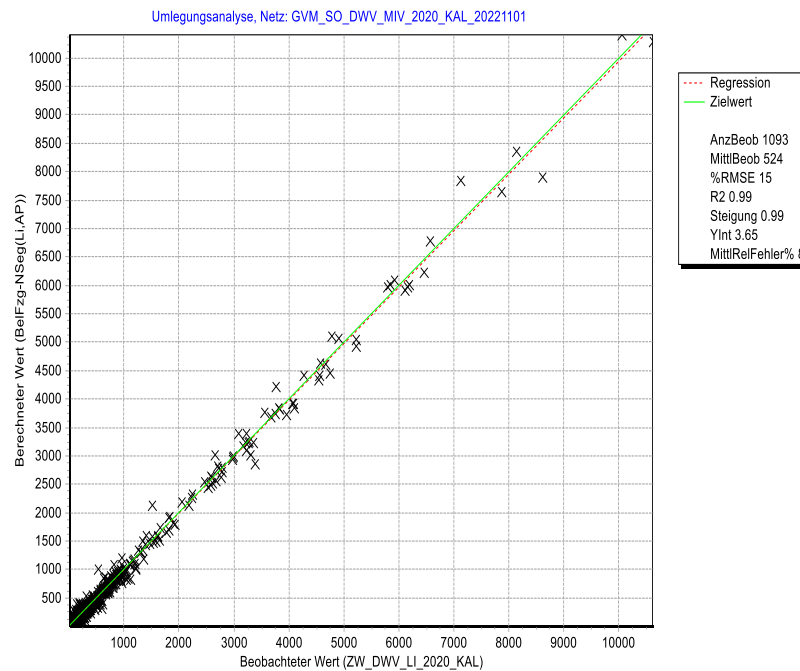


Abbildung 20 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

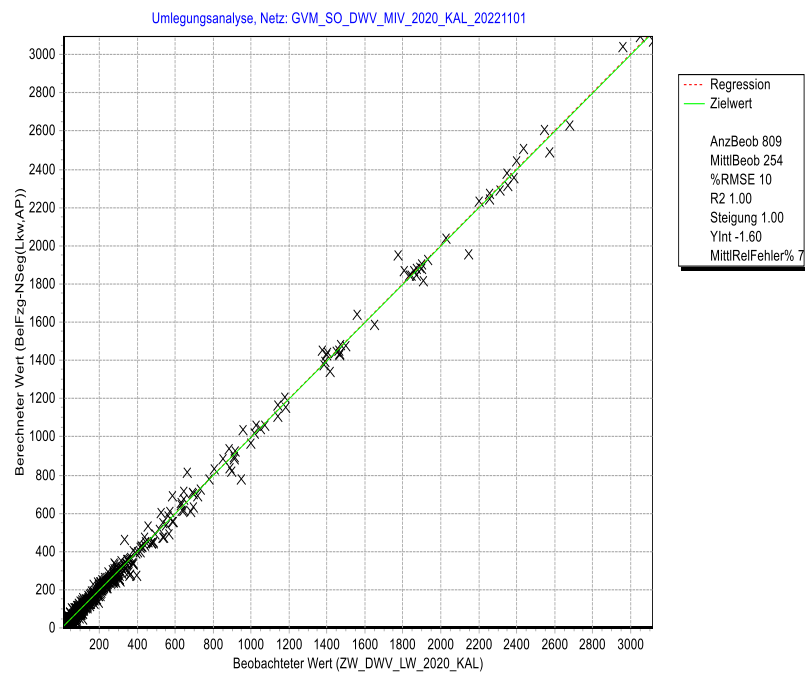


Abbildung 21 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

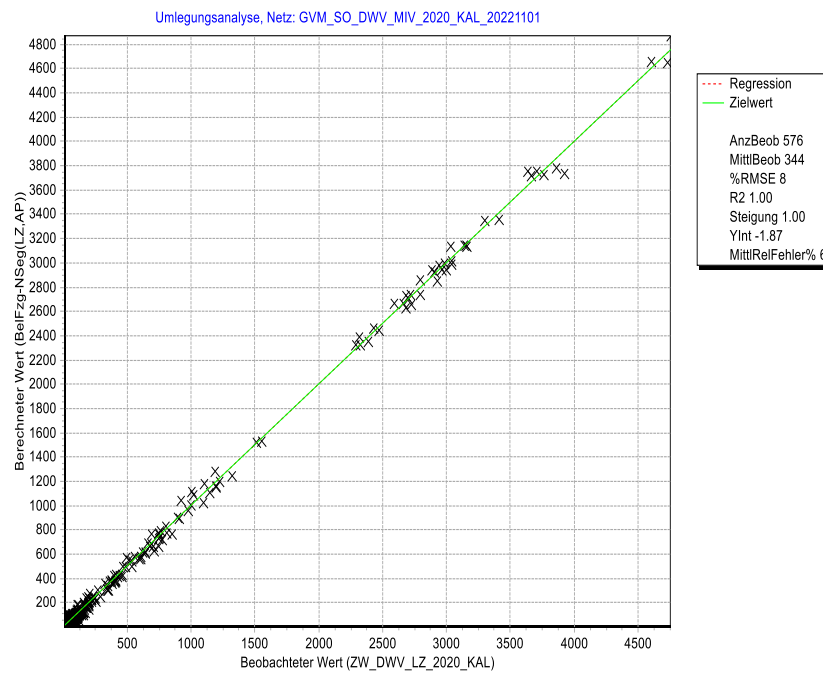


Abbildung 22 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

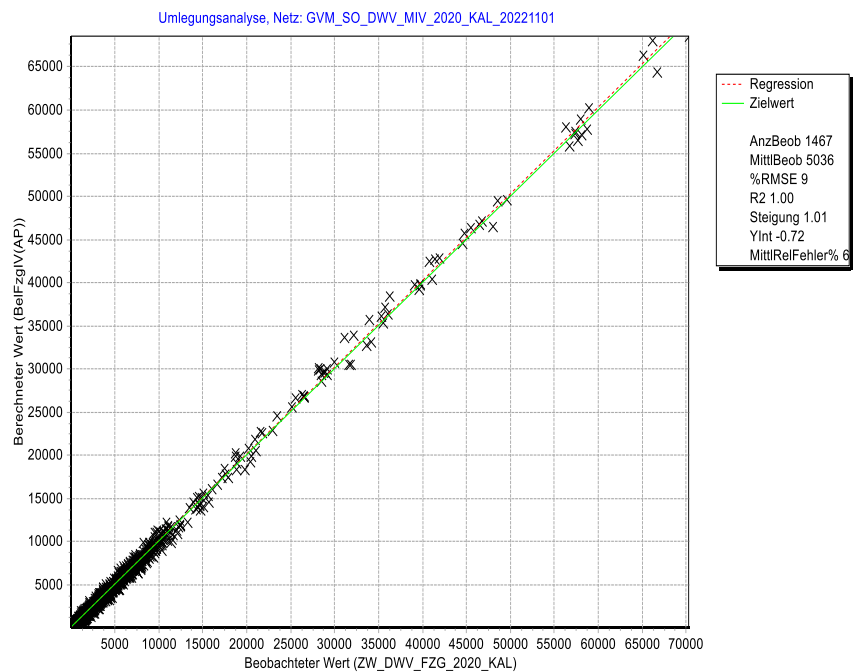
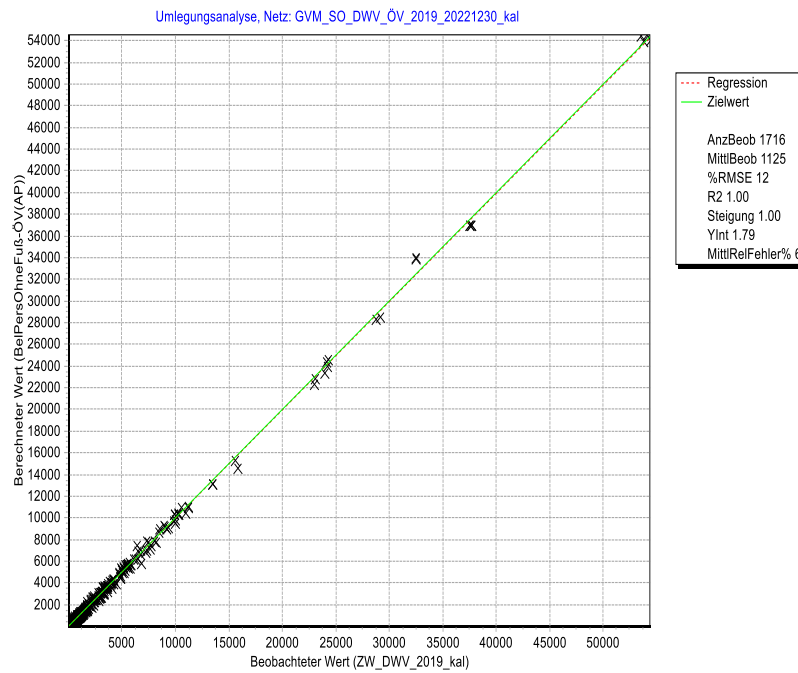


Abbildung 23 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



8.3 Kalibration des DTV-Modells: Ergebnisse Netzbelastungen

Dieser Abschnitt zeigt analog zum DWV-Modell die Ergebnisse der Kalibration des DTV-Modells.

Tabelle 7 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DTV)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	1'124	4'445	4.3%	1.00
Lieferwagen	1'068	449	6.6%	1.00
Lastwagen	806	205	5.9%	1.00
Last- und Sattelzüge	591	275	3.2%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'479	4'544	5.0%	1.00

Abbildung 24 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

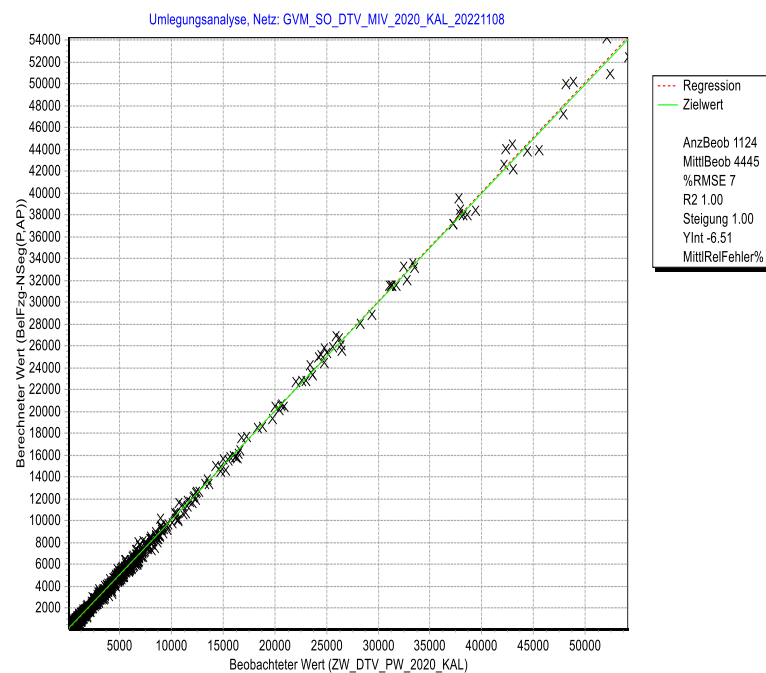


Abbildung 25 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

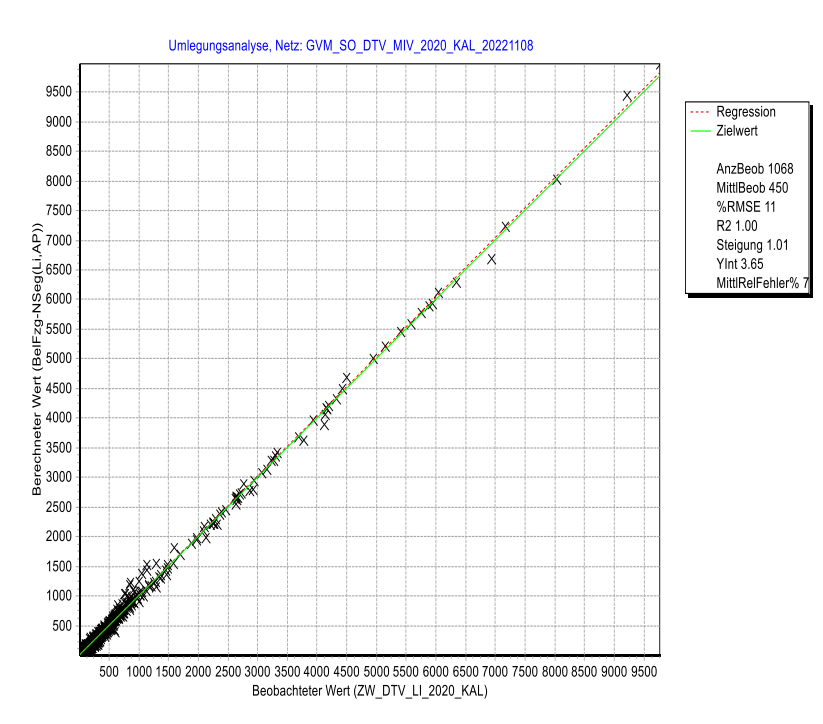


Abbildung 26 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

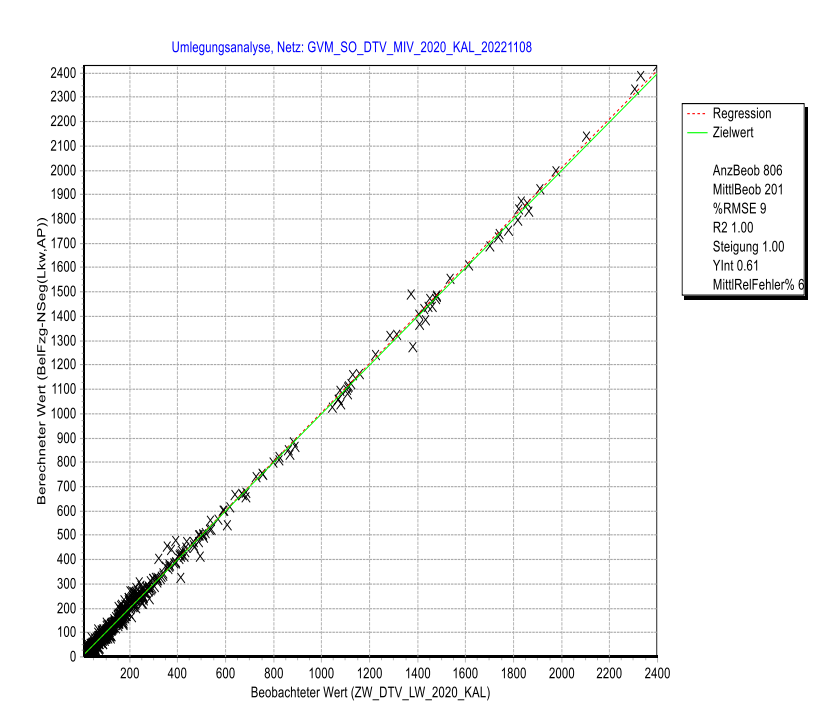


Abbildung 27 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

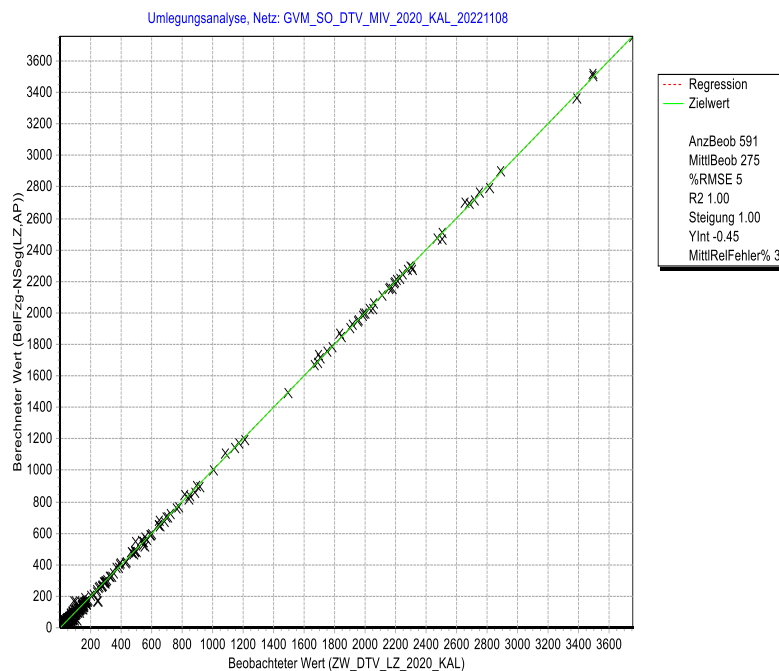
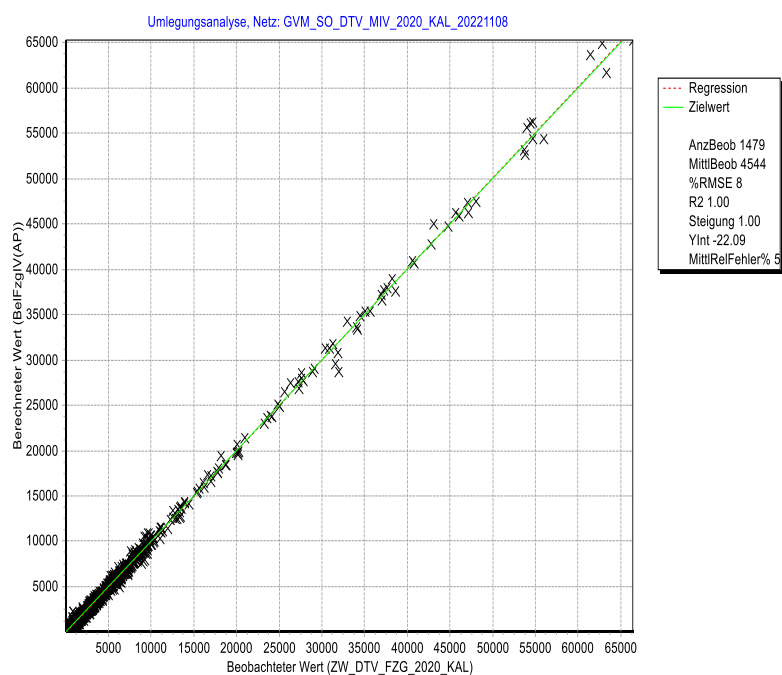


Abbildung 28 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)



8.4 Kalibration des ASP-Modells: Ergebnisse Netzbelastungen

Dieser Abschnitt zeigt analog zum DWV-Modell die Ergebnisse der Kalibration des ASP-Modells.

Tabelle 8 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	490	679	6.2%	1.00
Lieferwagen	554	56	2.5%	1.00
Lastwagen	452	15	1.4%	1.00
Last- und Sattelzüge	374	23	2.8%	1.00
Strassenfahrzeuge total	732	612	5.6%	1.00

Abbildung 29 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

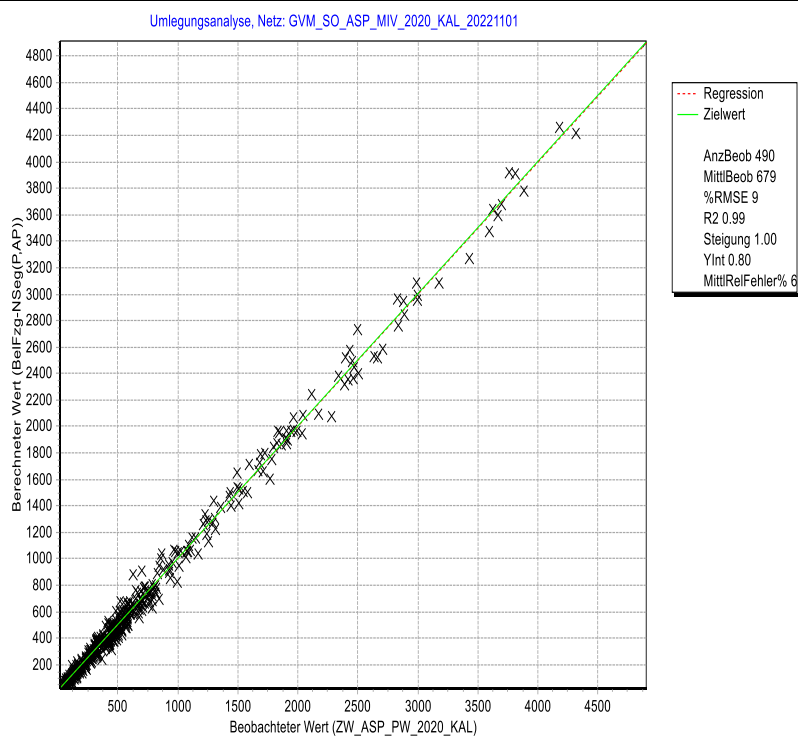


Abbildung 30 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

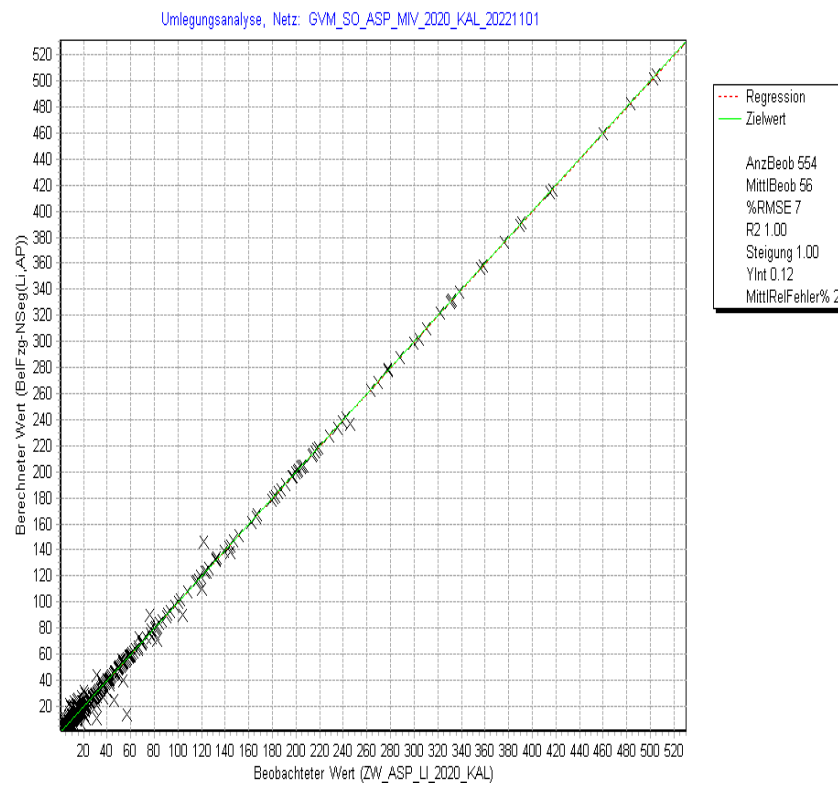


Abbildung 31 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

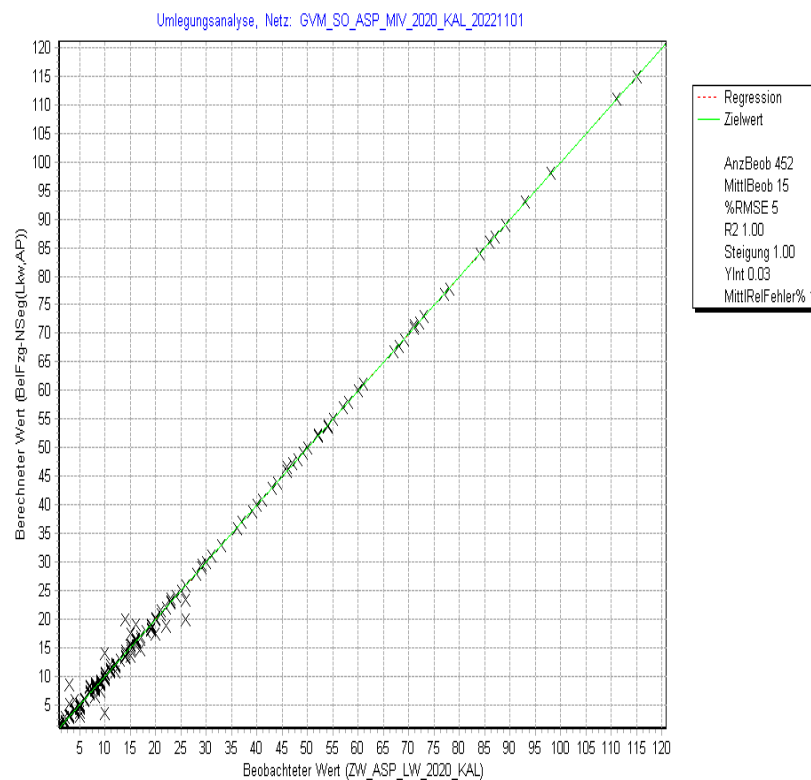


Abbildung 32 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

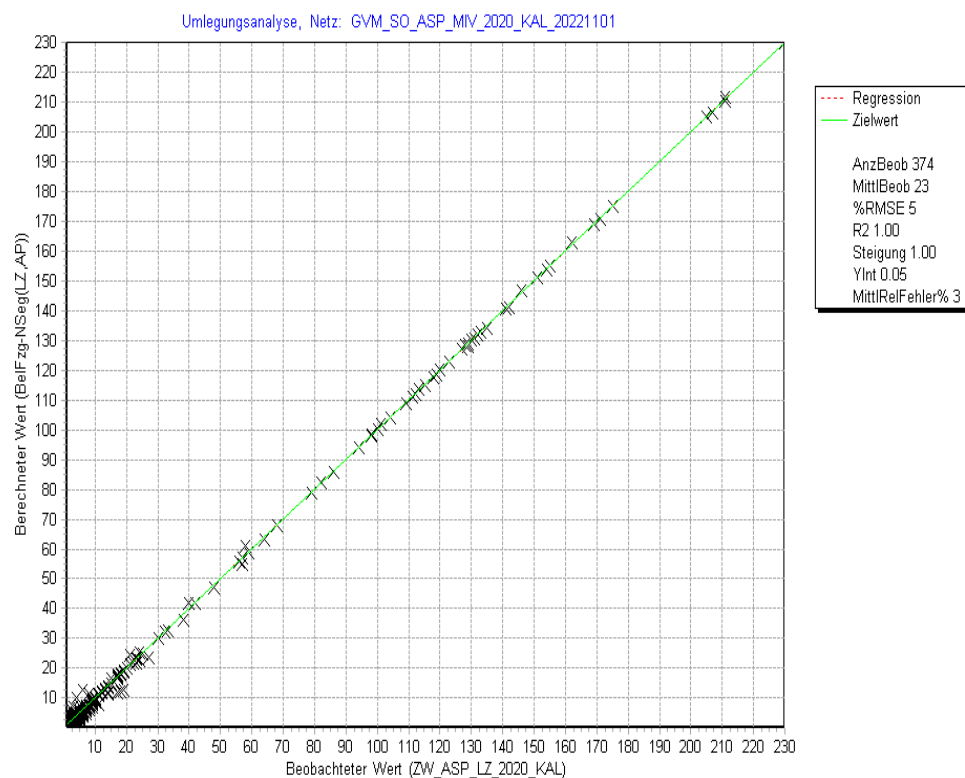
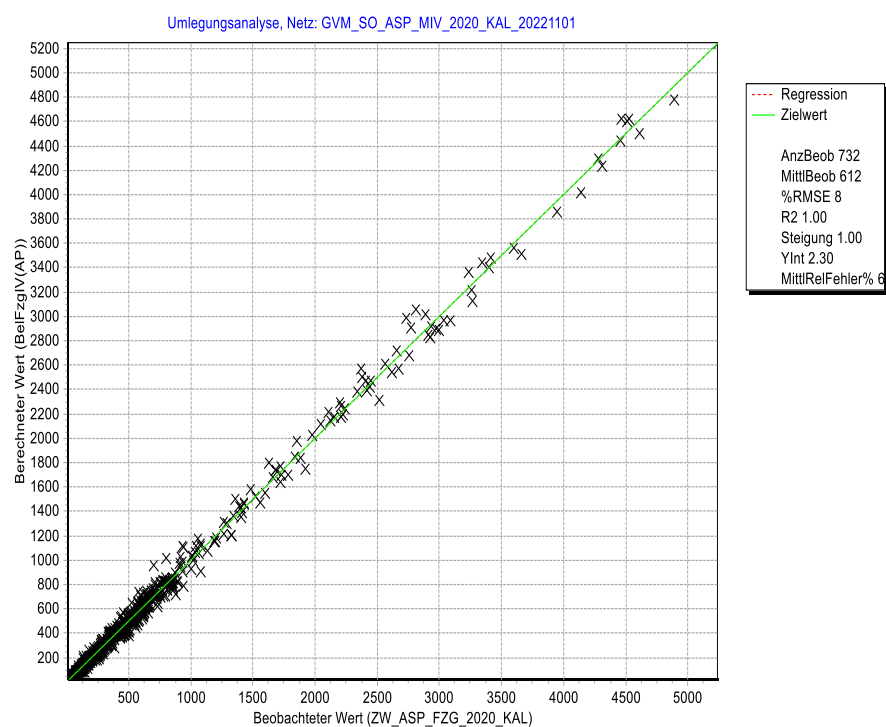


Abbildung 33 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)



9 Prognosezustand 2040

Für die Erstellung der Verkehrsprognosen 2040 sind die Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand 2019 zu erarbeiten:

- Verkehrsangebot (MIV, ÖV);
- Siedlungsprognose;
- Verkehrsnachfrage.

9.1 Prognoseannahmen

Die wesentlichen Annahmen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 9 Input-Sets für die Prognoseszenarien 2040

Input-Grösse	Prognosezustand 2040
Siedlungsentwicklung	Kantonale Prognose
Strassennetz	Kantonale Prognose
ÖV-Netz	Kantonale Prognose
Velogeschwindigkeit	+8%
Reisezeit zu Fuss	Wie 2019
Parkplatzkosten	Wie 2019
Parksuchzeit	Wie 2019
PW-Besetzungsgrad	Wie 2019
PW-Kosten	+2.2%
ÖV-Kosten	Wie 2019
Mobilitätsraten	Gestützt auf Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: WWB-Szenario
Entwicklung Strassengüterverkehr	Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Basisszenario
Entwicklung Aussenverkehr	Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: WWB-Szenario
Verhaltensparameter	Wie 2019

Die Veränderung der Mobilitätsraten der einzelnen Fahrtzwecke zwischen 2019 und 2040 wurde durch den Kanton Solothurn und gestützt auf die schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 wie folgt festgelegt:

Tabelle 10 Veränderung Mobilitätsraten 2019-2040 nach Fahrtzwecken

	(%)
Arbeit	-4.6
Ausbildung	-2.1
Einkauf	-8.1
Nutzfahrt	-2.4
Freizeit	+17.6
Gesamt (Anzahl Wege/Person)	0.0

Die Grundlagen für die Reduktion der Mobilitätsraten sind vor allem der verstärkte Einfluss des Homeoffice und des Online-Einkaufs auf das Verkehrsverhalten. Der Einfluss des Homeoffice bezieht sich auf die Fahrtzwecke Arbeit, Ausbildung und Nutzfahrt. Hier wird angenommen, dass ca. 11% der homeofficefähigen Arbeiten im Homeoffice durchgeführt werden, was ca. 0.5 Tagen pro Woche entspricht. Zu beachten ist, dass sich diese Reduktion nur auf die homeofficefähigen Arbeitsplätze bezieht. Dafür wurden bei der Aufbereitung der Strukturdaten die homeofficefähigen Erwerbstätigen zonenfein berechnet. Mit den getroffenen Annahmen bleibt die Gesamtmobilität bzw. Anzahl Wege pro Person gegenüber 2019 unverändert.

Die Entwicklung des Strassengüterverkehrs wird auch aus den schweizerischen Verkehrsperspektiven übernommen. Die Wachstumsraten für die drei betrachteten Fahrzeugkategorien betragen (Grundlagen: Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Basisszenario):

- Lieferwagen: +37%
- Lastwagen: +15%
- Last- und Sattelzug: +27%

Die Entwicklung des Aussenverkehrs im Personenverkehr wird aus den schweizerischen Verkehrsperspektiven übernommen. Die Eckwerte des Verkehrsaufkommens für den Perimeter des GVM SO verändern sich wie folgt (Grundlagen: Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: WWB):

- PW: +11.5%
- ÖV: +14.7%

9.2 Verkehrsangebot 2040

Die Kriterien für die Auswahl der für die Nachfrageprognose zu berücksichtigenden Infrastrukturprojekte und Angebotsveränderungen bis 2040 wurden durch Kanton Solothurn vorgegeben. Sie besagen, dass nur Projekte, die beschlossen und finanziert sind, berücksichtigt werden sollen. In beiden Prognoseszenarien wird das gleiche Infrastrukturangebot im Strassenverkehr und im ÖV betrachtet.

9.2.1 Massnahmen Strassennetz

Abbildung 34 Massnahmen Strassennetz

Strassenprojekte		Prognosejahr			
Nr.	Projektname	2025	2030	2040	nach 2040
1	A1 Härkingen – Luterbach (6-Streifenausbau)			x	
2	Sanierung Anschluss Egerkingen mit direkter Anbindung (Bypass) an die H5 (Kreisel Winterlen)		x	x	
3a	Ausbau Autobahnanschluss Oensingen mit VEBO-Knoten		x	x	
3b	Ausbau Knoten Nordring-/Dünnerstr. (Grosskreisel Dünner) und Autobahnavanschluss Süd			x	
4	Umfahrung Oensingen (Linienführung Oltenstr.-Jurastr.-Werkhofstr.-Nordringstr.-Solothurnstr.)			x	
5	Verkehrsentslastung Klus / Zubringer Thal				(x)
6	Zubringer Dornach/Aesch an H18				(x)
7	Vollanschluss Aesch	x	x	x	
8	Tropfenkreisel Aarmatt, Solothurn	x	x	x	
9	Optimierung/Ausbau Knoten Obach, Westtangente Solothurn		x	x	
10	Optimierung/Ausbau Anschluss Bürenstrasse, Solothurn	x	x	x	
11	Elektronische Busspur Weissensteinstrasse, Solothurn	x	x	x	
12	Ausbau Knoten Lackenhof Westtangente Solothurn (Rechts-Rechts System)				(x)
13	Ausbau Anschluss Grenchen				x
14a	Bypass Zufahrt Anschluss Grenchen		x	x	
14b	Kreisel Arch-/Flughafenstrasse				x
15	Nordumfahrung Gerlafingen				(x)
16	Tunnel Bleichenberg, Biberist				(x)

9.2.2 ÖV-Angebot

Das ÖV-Angebot 2040 wurde auf dem Basisnetz 2019 aufgebaut. Mit dem Filter auf dem Linienattribut «Fahrplan 2040» können die entsprechenden Linien ausgewählt werden.

Das ÖV-Zustand 2040 enthält folgende Massnahmen:

- Fahrplan SBB AS 2035
- Busangebot 2019 (Prognose noch nicht vorhanden)

Die Bus- und Tramlinien wurden aus dem Basismodell 2019 konstant gehalten. Die Züge aus dem AS35-Fahrplan wurden zur besseren Unterscheidbarkeit mit dem Suffix „40_“ am Anfang des Liniennamens versehen.

9.2.3 Fuss- und Veloangebot

Die Reisezeiten für den Fussverkehr wurden gegenüber dem 2019-Zustand unverändert beibehalten. Die Velogeschwindigkeiten des Veloverkehrs wurden gegenüber dem 2019-Zustand um +8% erhöht.

9.3 Strukturdaten 2040

Grundlagen und Vorgehen:

- Bevölkerung:
 - Kanton SO (+18%): Bevölkerungsprognosen Kt. SO (Auf Gemeindeebene)
 - Kanton BE: GVM BE 2040 (oder wie übrige Gebiete)
 - Übrige Gebiete: Wachstum NPVM 2040 auf Gemeindeebene (Basis)
- Arbeitsplätze: Übernahme Wachstum NPVM 2040 (Basis)
 - Kanton Solothurn (+11%)
 - Abschätzung pro ESP (durch Kanton)
 - Cluster nach Wirtschaftsregionen
 - 50% prognostiziertes Bevölkerungswachstum
 - 50% historisches Arbeitsplatzwachstum
 - Kanton Bern: GVM BE 2040 (oder wie übrige Gebiete)
 - Übrige Gebiete: Kantonebene
- Erwerbstätige: Übernahme Wachstum NPVM 2040 (Basis)
 - Verteilung aufgrund Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter
 - Kanton Solothurn (+4%): Gleiche Cluster wie bei Bevölkerung
 - Übrige Gebiete: Gemeindeebene
 - Auszubildende
 - Schüler: Wachstum analog Alterskohorte bis 15-jährig auf Gemeindeebene; gleiche Standorte wie IST-Zustand
 - Studierende: +25% an gleichen Standorten wie IST-Zustand
- Spitäler, Einkaufsflächen: Angaben Kanton (ansonsten IST-Zustand)
- Freizeit, Kultur, Sport, Gastronomie: Übernahme IST-Zustand
- ÖV-Abos / PKW-Besitz: Übernahme Wachstumsraten (Stk. / Person) NPVM 2040 auf Gemeindeebene
- Entwicklungsgebiete: Vorgehen
 - Prognoseannahmen
 - Max. 80% in Entwicklungsgebieten
 - Max. 80% des Restwachstums in unüberbauten Bauzonen
 - Min. 4% im Restgebiet (flächig, wo heute bereits bebaut)
 - Grundlagen Solothurn
 - 41 Entwicklungsgebiete mit Wachstumsangabe
 - 34 mit Arbeitsplatzwachstum
 - 30 mit Bevölkerungswachstum
 - Unüberbaute Bauzonen von Kanton
 - Arbeitsplatzwachstum: 16%
 - Bevölkerungswachstum: 55% (da nur 31% in Entwicklungsgebieten)

Die Veränderung der Strukturdatenvariablen 2019-2040 ist in folgende Abbildung dargestellt.

Abbildung 35 Strukturdaten: Veränderung 2040/2019

Indikator	2020	2040	Wachstum	Wachstum in %			Quelle
	Kt. SO	Kt. SO	Kt. SO	Kt. SO	Rest	Total	
Wohnbevölkerung Total	282'905	332'189	49'284	17%	12%	13%	Bevölkerungsprognose Wüest Partner (Gemeinde)
Anzahl Beschäftigte (VZÄ)	111'105	122'126	11'021	10%	4%	5%	Verkehrsperspektiven ARE (Kanton)
Erwerbstätige	143'183	160'663	17'480	12%	7%	8%	Verkehrsperspektiven ARE (Kanton)
Auszubildende	41'978	53'572	11'594	28%	15%	17%	Aufgrund Bevölkerungsprognose
Verkaufsfläche in m2	1'085'977	1'085'977	0	0.0%	0.8%	0.6%	Keine Veränderung (Ausnahme: Kanton Bern)
Freizeitbesucher	42'063	42'063	0	0.0%	0.5%	0.4%	Keine Veränderung (Ausnahme: Kanton Bern)
PW-Besitzrate	0.568	0.531	-0.04	-7%	-5%	-5%	Verkehrsperspektiven ARE
GA-Besitzrate	0.075	0.084	0.01	12%	7%	8%	Verkehrsperspektiven ARE
HTA-Besitzrate	0.289	0.303	0.01	5%	6%	5%	Verkehrsperspektiven ARE
Verbundabo	0.077	0.085	0.01	10%	6%	6%	Verkehrsperspektiven ARE

9.4 Berechnung der Verkehrsnachfrage

Die **Verkehrsnachfrageveränderungen** (Prognose 2040) werden durch zwei wesentliche Rahmenbedingungen bestimmt:

- Nachfragewachstum und -veränderungen aus soziodemographischen und wirtschaftlichen Veränderungen (angebotsunabhängige Nachfrageveränderungen)
- Verkehrsmittel-, Ziel- und Routenwahlveränderungen auf Grundlage von Angebotsveränderungen (**angebotsabhängige** Nachfrageveränderungen)

Aufgrund der soziodemographischen und siedlungsstrukturellen Veränderungen wird basierend auf dem Erzeugungsmodell des Basisjahrs ein entsprechendes Modell für den Prognosezustand erstellt. Neben den prognostizierten Strukturdaten sind die spezifischen Mobilitätsraten wichtige Eingangsgrössen. Die Veränderung der Mobilitätsraten ist im vorherigen Kapitel beschrieben.

Aus dem zukünftigen Verkehrsangebot und dem Erzeugungsmodell werden mit dem simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell (EVA) die neuen fahrtzweckspezifischen Prognosematrizen im Binnenverkehr erstellt. Ansatz, Segmentierung, Nutzenfunktion und Modellparameter werden aus dem Basisjahrsmodell übernommen. Die Berechnung wird auf die gleiche Weise wie im Ist-Zustand für die 17 Quelle-Ziel-Gruppen durchgeführt.

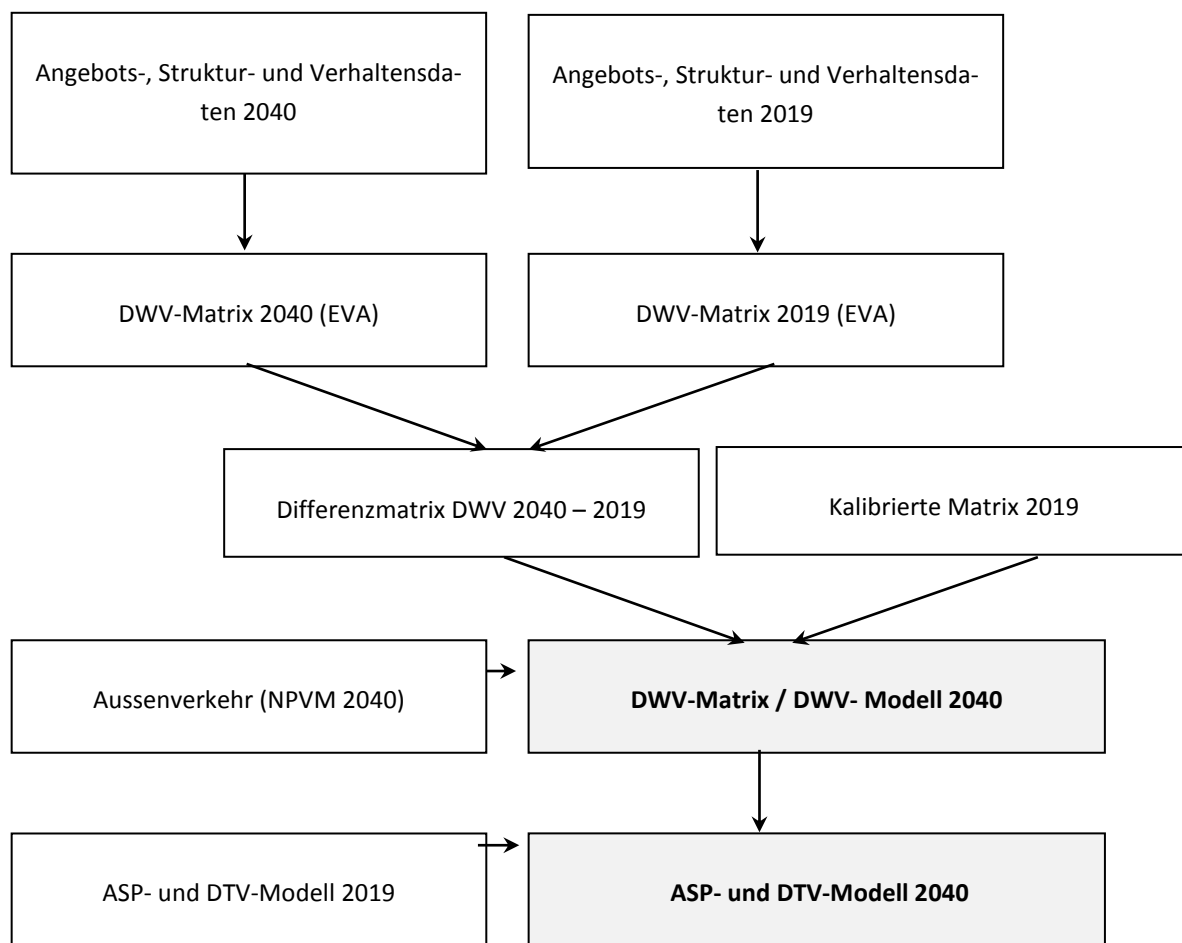
Die Erstellung der Gesamtnachfrage für das Prognosejahr 2040 wird in zwei Schritten durchgeführt:

- Binnenverkehr: Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen im Binnenverkehr 2040 (EVA) und Ableitung der Nachfrageveränderungen;
- Hochrechnung der Gesamtmatrix 2040 inklusive Aussenverkehr: Hochrechnung der Nachfrageveränderungen aus den ermittelten Nachfrageveränderungen Prognosejahr/Basisjahr (EVA) und aus der kalibrierten Matrix 2019.

Wie bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2019, kann auch die Matrix für das Jahr 2040 nicht in ihrer Gesamtheit auf einmal erstellt werden. Stattdessen müssen wiederum eigenständige Berechnungen für die Binnen- und Aussenverkehre durchgeführt werden. Das Nachfragewachstum im Aussenverkehr wird aus dem Prognosemodell des NPVM 2040 (Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050) übernommen.

Aus den ermittelten Quelle-Ziel-Matrizen (EVA) für das Jahr 2040 und 2019 werden zunächst die Veränderungen des Verkehrsaufkommens für jede Quelle-Ziel-Beziehung berechnet. Diese werden als Differenzmatrizen dargestellt. Grundlage für die Erstellung der endgültigen Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2040 sind die auf die Querschnittszählungen kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2019 und die neu berechneten Differenzmatrizen zwischen dem Prognosejahr 2040 und 2019 (EVA). Aus der Summe der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2019 und der Differenzmatrizen „Prognosejahr – 2019“ ergeben sich die neuen Quelle-Ziel-Matrizen 2040 (siehe auch Abbildung 36). Damit findet hier eine Hochrechnung der Differenzmatrix aus dem Nachfragemodell (EVA) 2040-2019 auf die kalibrierte Quell-Ziel-Matrix 2019 statt. Dafür wird die Differenzmatrix aus der relativen und absoluten Veränderung als arithmetisches Mittel ermittelt und auf die kalibrierte 2019-Matrix hochgerechnet.

Abbildung 36 Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2040



Für die Ableitung der Spitzenstundenmodelle, stellen die Anteile der betrachteten Stunde am Tagesverkehr die entscheidende Grundlage dar. Hier werden die Anteile der einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen bzw. Fahrtzwecke am Tagesverkehr aus dem Ist-Zustand übernommen. Die Verhaltensparameter für die Verkehrsnachfrageberechnungen (und die Umlegung) werden unverändert aus dem Zustand 2019 übernommen.

9.4.1 Binnenströme

Tabelle 11 zeigt die Entwicklung der Gesamtverkehrsnachfrage (Verkehrsaufkommen) innerhalb des Modellperimeters von 2019 bis 2040. Die Gesamtanzahl zurückgelegter Wege im Modellperimeter steigt demnach zwischen 2019 und 2040 um 13.3%. Dieses Wachstum resultiert einerseits aus dem Bevölkerungswachstum und andererseits aus den leicht veränderten Erzeugungsraten sowie der veränderten Altersstruktur der Bevölkerung.

Tabelle 11 Vergleich des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)

	Berechnete Anzahl Wege 2019 [Mio.]	Berechnete Anzahl Wege 2040 [Mio.]	Veränderung [%]
Arbeit	1.40	1.44	+2.5
Ausbildung	0.47	0.52	+10.0
Einkauf	1.41	1.46	+3.7
Nutzfahrt	0.19	0.20	+4.7
Freizeit	1.88	2.45	+30.1
Gesamt	5.35	6.06	+13.3

Die Verschiebung der Fahrtzweckanteile an der Gesamtverkehrsnachfrage zwischen 2019 und 2040 ist aus Tabelle 12 ersichtlich. Die Pendlerwege (Arbeit und Ausbildung zusammen) betragen im Zustand 2040 nur noch einen Anteil von 32.3% am Gesamtverkehrsaufkommen, was einer Abnahme von -2.3% gegenüber 2019 entspricht. Der Anteil des Fahrtzwecks Einkauf nimmt ebenfalls ab (-2.2%), während insbesondere der Anteil der Freizeitwege (+5.2%) zunimmt.

Tabelle 12 Vergleich der Fahrtzweckanteile 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)

	Anteil der berechneten Wege 2019 [%]	Anteil der berechneten Wege 2040 [%]	Veränderung [%]
Arbeit	26.2	23.7	-2.0
Ausbildung	8.9	8.6	-0.3
Einkauf	26.3	24.0	-2.2
Nutzfahrt	3.5	3.3	-0.3
Freizeit	35.1	40.4	+5.2

Tabelle 13 zeigt die Veränderung der Verkehrsnachfrage innerhalb des Modellgebiets, aufgeteilt nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel. Hier ist zu sehen, dass die wesentliche Zunahme des Verkehrsaufkommens vor allem im Veloverkehr stattfindet. Die flächendeckende Zunahme der Velogeswindigkeit einerseits als auch der unterschiedliche Einfluss der reduzierten Mobilitätsraten auf das Verkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsmittel führen zu einem stärkeren Wachstum des Veloverkehrs und zu einem tieferen Wachstum der MIV- und ÖV-Nachfrage.

Tabelle 13 Veränderung des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)					
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	-1.6	8.4	13.0	-1.1	2.5
Ausbildung	-3.7	6.8	26.3	7.7	10.0
Nutzfahrt	-3.3	6.1	51.0	-1.6	3.7
Einkauf	2.7	12.5	18.1	-1.2	4.7
Freizeit	25.8	38.6	44.4	26.1	30.1
Gesamt	8.3	17.6	33.6	9.2	13.3

Analog zum Verkehrsaufkommen (als Anzahl Wege) zeigt Tabelle 14 die Entwicklung der Verkehrsleistung (in Personenkilometern) zwischen 2019 und 2040, wiederum aufgeteilt nach Verkehrsmittel und Fahrtzweck. Durch die veränderte Siedlungs- und Angebotsentwicklung geht die mittlere MIV-Weglänge im Binnenverkehr zurück. Dies führt dazu, dass die Verkehrsleistungen insgesamt weniger stark ansteigen als das Verkehrsaufkommen. Durch die reduzierten Reisezeiten beim Veloangebot sowie verstärkte Siedlungsentwicklung nach innen, wird die mittlere Weglänge des Veloverkehr erhöht.

Tabelle 14 Veränderung der Verkehrsleistung 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)					
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	-9.3	7.8	22.3	-0.3	-1.8
Ausbildung	-16.8	-21.6	32.3	7.8	-13.0
Nutzfahrt	-2.0	14.4	27.5	1.2	1.3
Einkauf	-14.0	11.1	63.1	-4.7	-4.0
Freizeit	18.4	45.9	57.7	28.0	28.1
Gesamt	0.0	16.2	42.8	10.9	7.2

Tabelle 15 zeigt die Entwicklung der Anteile der einzelnen Verkehrsmittel (in Prozent) am Verkehrsaufkommen für die einzelnen Fahrtzwecke. Es ist zu sehen, dass der Anteil des MIV an den Binnenwegen insgesamt reduziert wird und der Veloverkehr zunimmt.

Tabelle 15 Veränderung der Anteile am Verkehrsaufkommen 2019 –2040 (Binnenwege DWV)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-2.0	1.2	1.4	-0.6
Ausbildung	-1.3	-0.8	3.0	-0.9
Nutzfahrt	-3.2	0.3	4.5	-1.6
Einkauf	-1.4	0.7	1.1	-0.4
Freizeit	-1.6	1.0	1.4	-0.7
Gesamt	-2.0	0.6	2.3	-0.9

Tabelle 16 zeigt die Veränderung der Verkehrsmittelanteile an der Gesamtverkehrsleistung der einzelnen Fahrtzwecke. Auch hier nimmt der MIV-Anteil ab (um -4.2%) und der ÖV-Anteil wird um ca. 2.6% und Veloanteil um 1.5% erhöht.

Tabelle 16 Veränderung der Anteile an der Verkehrsleistung 2019 - 2040 (Binnenwege DWV, Nachfragesegmente CH)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-4.5	3.4	1.1	0.0
Ausbildung	-0.8	-6.2	4.7	2.3
Nutzfahrt	-2.6	2.2	0.4	0.0
Einkauf	-6.8	3.9	2.9	0.0
Freizeit	-4.9	3.7	1.1	0.0
Gesamt	-4.2	2.6	1.5	0.1

9.4.2 Binnen- und Aussenströme (Gesamtverkehr 2040)

Die Aussenströme für das Jahr 2040 wurden wegen fehlender soziodemographischer Daten für die Aussenzonen mit einem vereinfachten Verfahren und ohne Anwendung des für die Binnenmatrizen angewendeten Ansatzes (vollständiges Nachfragemodell) berechnet. Die Aussenmatrizen für das Jahr 2040 wurden aus den Quelle-Ziel-Strömen 2019 und den ermittelten Wachstumsfaktoren pro Quelle-Ziel-Beziehung und Verkehrsmittel berechnet. Das Nachfragewachstum der Aussenzonen wurde aus Verkehrsperspektiven 2050 des NPVM (WWB-Szenario) übernommen.

Tabelle 17 zeigt die Gesamtveränderung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung in den verschiedenen im Modell abgebildeten Nachfragesegmenten für den Binnen- und Aussenverkehr (also sowohl Verkehr innerhalb des Modellperimeters als auch Ströme von und nach den Aussenzonen).

Tabelle 17 Veränderung der Verkehrsnachfrage 2040 gegenüber 2019 (Binnen- und Aussenströme DWV, relative und absolute Differenz)

	Verkehrsaufkommen (Modellperimeter bzw. gesamt)	Verkehrsleistung (Mo- dellperimeter) [km]	Verkehrsleistung (Kan- ton Solothurn) [km]
PW-Fahrten	+8.2% (+233'072)	+7.7% (+2'136'888)	+9.6% (+512'939)
Strassengüterverkehr (Fahrten)	+33.7% (+2020'774)	+30.7% (+1'786'426)	+29.9% (+360'057)
Strassenverkehr gesamt (Fahrten)	+12.7% (+435'846)	+11.7% (+3'923'078)	+13.3% (+872'915)
ÖV (Wege)	+18.7% (+235'663)	+18.0% (+4'470'107)	+25.9% (+457'913)

Die Nachfrage im Strassenverkehr nimmt demnach im Modellperimeter bis 2040 beim Verkehrsaufkommen um 12.7% und bei der Verkehrsleistung um 11.7% zu. Im ÖV beträgt die Zunahme bis 2040 beim Verkehrsaufkommen 18.7%, bei der Verkehrsleistung 18.0%. Bezogen auf den Kanton Solothurn alleine ist die Zunahme der Verkehrsleistung im Strassenverkehr 13.3% und im ÖV +25.9%. Es ist anzumerken, dass diese Zahlen nur auf interzonale Wege bezogen sind und zur Berücksichtigung des intrazonalen Verkehrs (welcher im Umlegungsmodell nicht abgebildet ist) mit Zuschlägen gerechnet werden sollte.

Dabei ist zu beachten, dass die Wachstumsraten im Binnenverkehr (Wege innerhalb Modellperimeter) und Aussenverkehr (Quelle-, Ziel- und Durchgangsverkehr von/nach Modellperimeter) unterschiedlich sind und die Veränderungen des Aussenverkehrs aus den Verkehrsperspektiven Schweiz 2050 übernommen wurden.

Tabelle 18 Entwicklung des Binnen- und Aussenverkehrs 2019 – 2040 (DWV)

	2019	2040	2040/2019 (%)
ÖV-Wege			
Binnenverkehr	948'350	1'138'316	20.0
Aussenverkehr	309'854	355'551	14.7
Total	1'258'204	1'493'867	18.7
PW-Fahrten			
Binnenverkehr	2'055'195	2'198'890	7.0
Aussenverkehr	778'741	868'118	11.5
Total	2'833'936	3'067'008	8.2
Anteil (%)			
ÖV-Gesamt	24.6	26.4	1.8
PW-Gesamt	75.4	73.6	-1.8

9.4.3 Spitzenstunden

Aus den DWV-Matrizen für das Jahr 2040 wurden mit dem oben beschriebenen Verfahren die Matrizen für die MIV-Abendspitzenstunde (ASP) sowie für den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV, MIV) ermittelt. Die Berechnung der Quelle-Ziel-Matrizen pro Nachfragesegment erfolgt anhand der DWV-Matrizen 2040 und den Anteilen der einzelnen Spitzenstunden am Tagesverkehr. Da für den Zustand 2040 keine Angaben zu Spitzenstundenanteilen bzw. Tagesganglinien vorhanden sind, werden hier die berechneten Spitzenstundenanteile aus den 2019-Modellzuständen übernommen. Damit wird angenommen, dass die Tagesganglinien 2040 gegenüber 2019 unverändert bleiben.

Das Gesamtwachstum im DTV sowie in den Spitzenstunden ist proportional etwa gleich wie jenes im DWV. Die PW-Verkehrsnachfrage nimmt in den ASP-Spitzenstunden zwischen 2019 und 2040 um ca. 8% und im DTV beträgt die Zunahme bis 2040 auch ca. 8%.

9.4.4 Netzbelastungen

Die folgenden Abbildungen zeigen die Übersicht der DWV-Netzbelastungen im MIV und ÖV für den Prognosezustand 2040 und die Veränderungen gegenüber 2019. Die Streckenbalken zeigen jeweils in Gelb die Belastung 2019, in Rot Zunahmen und in grün Abnahmen der Belastungen zwischen 2019 und 2040.

Abbildung 37 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Autobahnnetz)

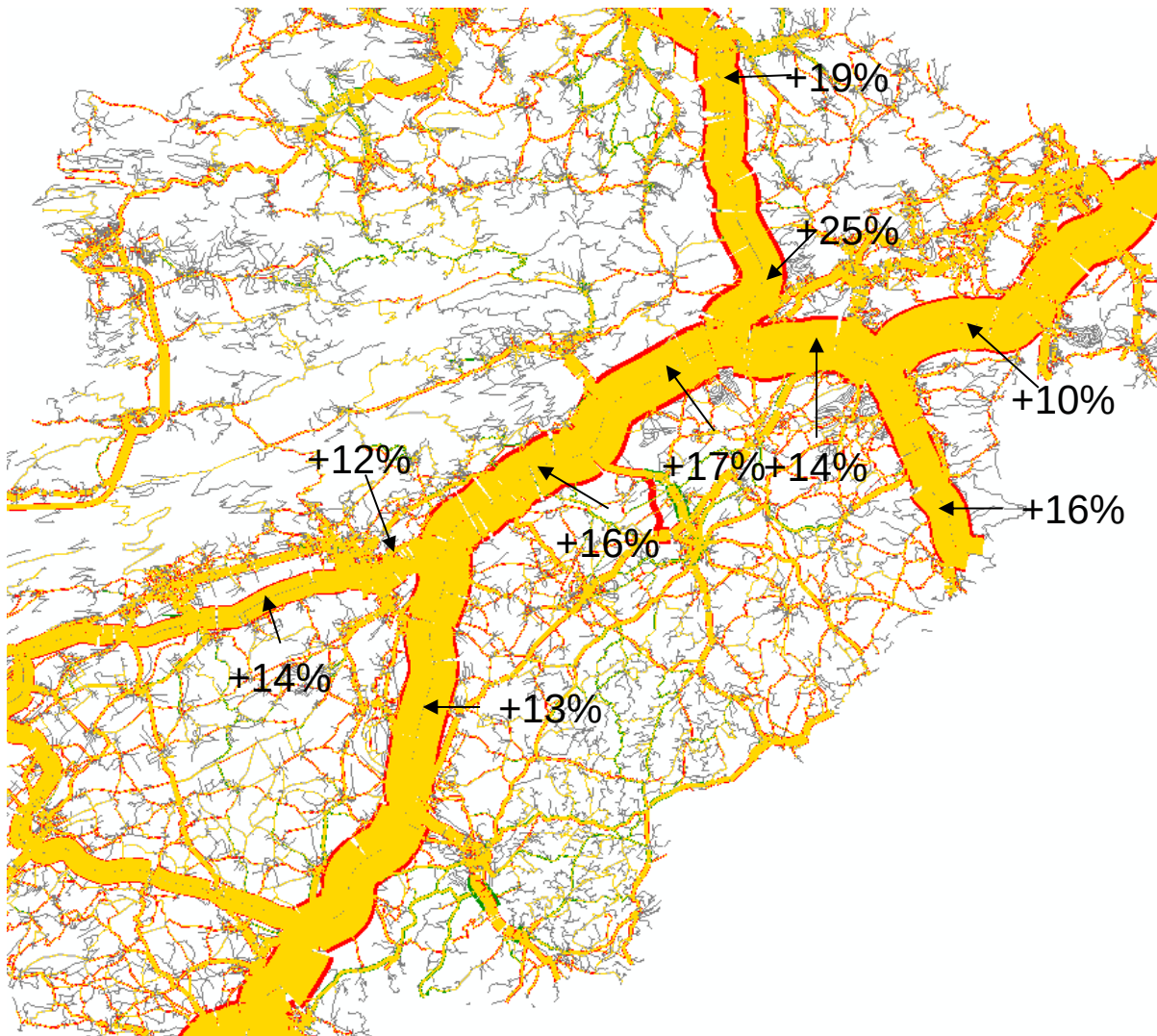


Abbildung 38 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV im Grossraum Olten

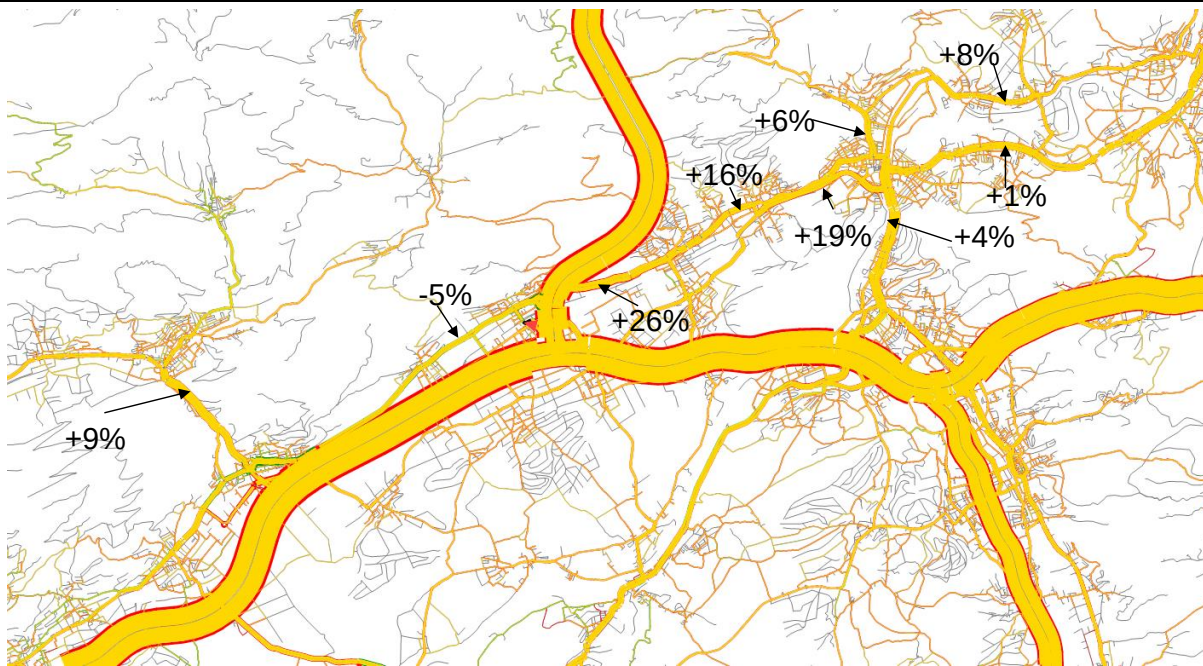


Abbildung 39 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV im Grossraum Solothurn

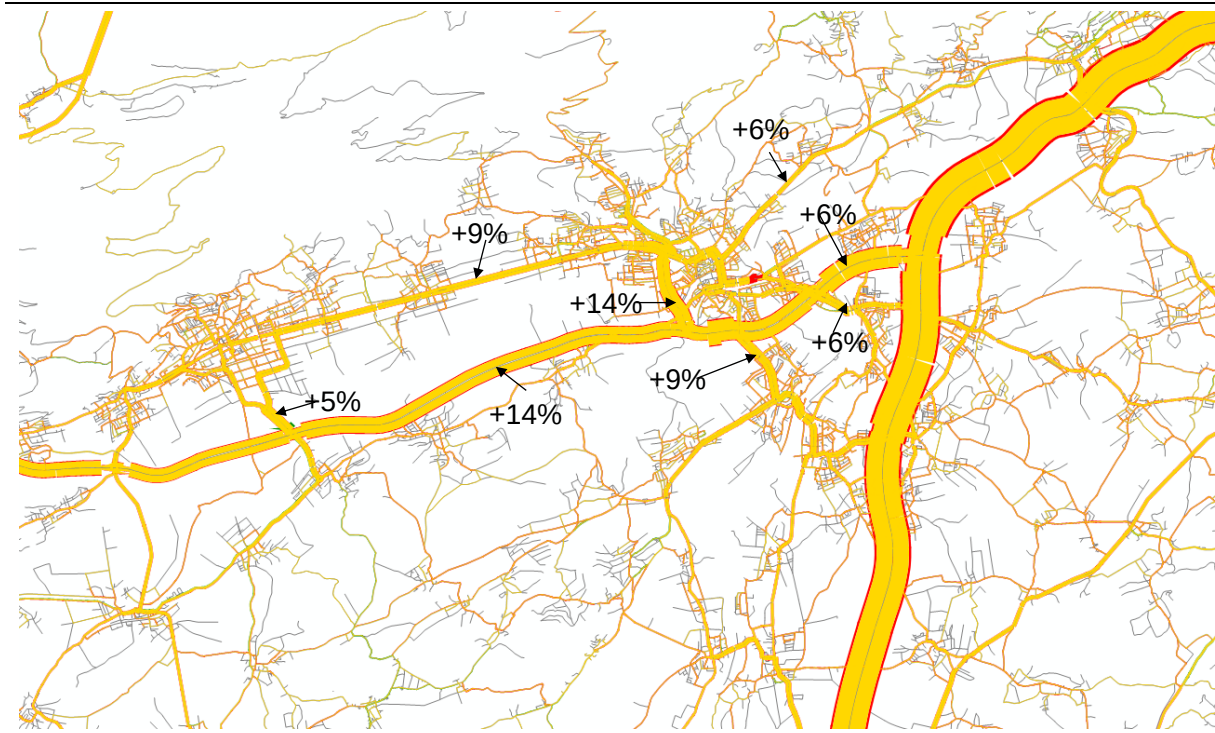
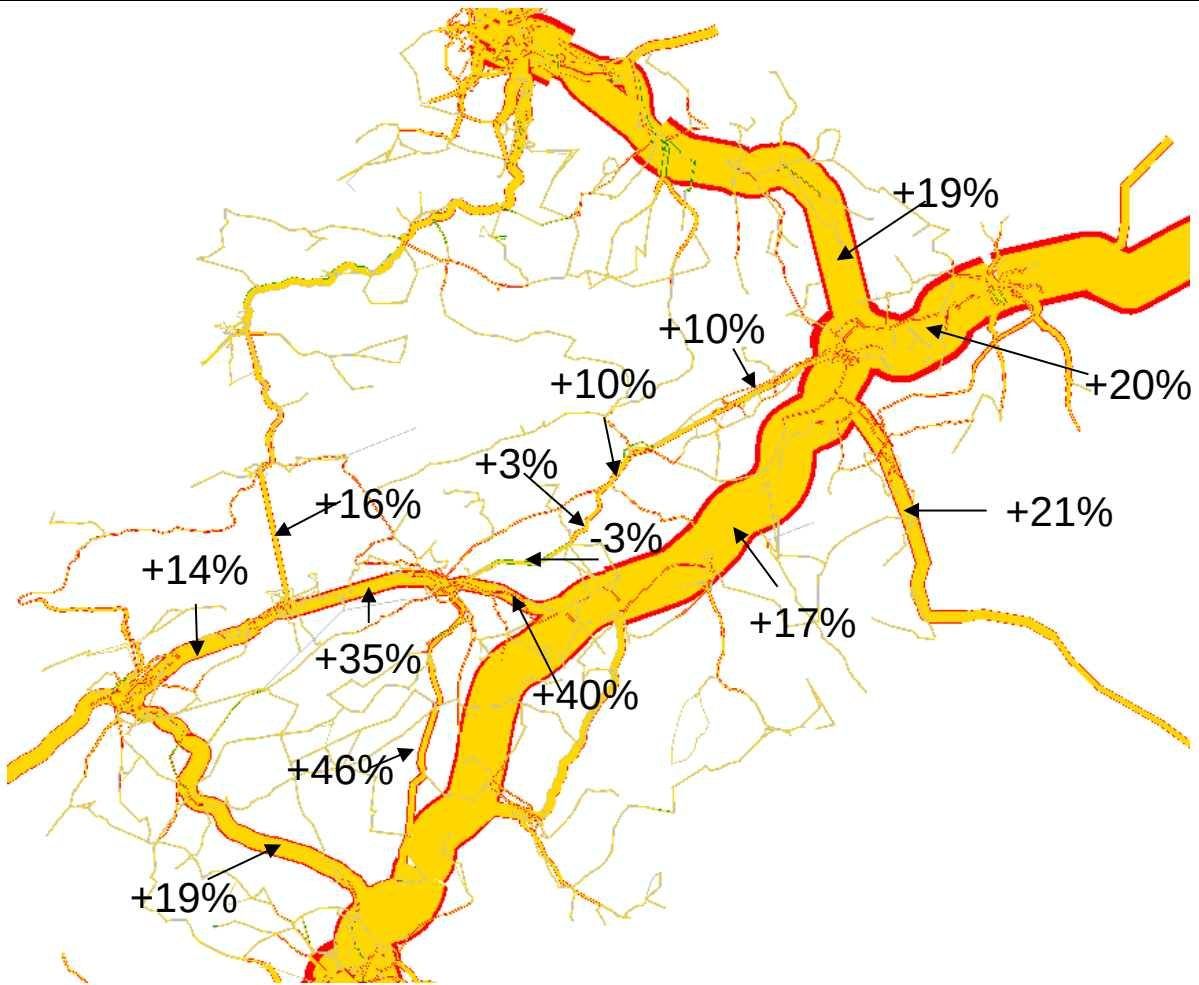


Abbildung 40 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV



10 Schlussfolgerung und Empfehlungen

In diesem Projekt konnten die Eingangsdaten und Ergebnisse des GVM SO auf die neuen Erhebungsdaten sowie Prognoseannahmen aktualisiert werden. Die Aktualisierung wurde durch zwei differenzierte Arbeitspakete umgesetzt:

- Aktualisierung der Eingangsdaten und Modellergebnisse des Ist-Zustands
- Aktualisierung der Eingangsdaten, Annahmen und Ergebnisse des Prognosemodells

Mit der Aktualisierung der Netz- und Strukturdaten des Ist-Zustands sowie der Kalibrierung des Nachfragemodells und der Umlegungsmodelle, wurden die Modellergebnisse auf das Verkehrsgeschehen 2019 kalibriert. Hier konnte eine ausreichende und mit vorherigen Modellaktualisierungen vergleichbar gute Übereinstimmungen der Modellergebnisse und empirischen Daten erreicht werden.

Die Aktualisierung der Prognosezustände 2040 beinhaltet sowohl die Erstellung von Siedlungs- und Angebotsszenarien als auch die Annahmen über die Verkehrsverhaltensveränderungen. Dafür wurden hier durch den Kanton Solothurn die notwendigen Annahmen bzw. Szenarien der zukünftigen Siedlungs-, Angebot- und Verhaltensentwicklungen erstellt. Die getroffenen Annahmen stützen sich stark auf die Annahmen bzw. Szenarien der schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050. Im Vergleich mit vorherigen Modellaktualisierungen wurden hier vor allem bedeutende Veränderungen des Verkehrsverhaltens angenommen, was dementsprechend auch andere Verkehrsnachfrageentwicklungen mit sich bringt. Die wesentlichen Faktoren für die berechneten Nachfrageentwicklungen sowie Unterschiede gegenüber vorherigen Verkehrsprognosen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Entwicklung von Mobilitätsraten einzelner Fahrtzwecke
- Wachstum Aussenverkehr (Schweizerische Verkehrsperspektiven)
- Entwicklung Veloangebot (relativ grosses Wachstum?)

Es ist zu beachten, dass die hier getroffenen Annahmen über die zukünftige Entwicklung bzw. Veränderung der Mobilitätsraten und des Veloangebots sowie damit auch die verbundene Entwicklung des Aussenverkehrs unter dem Einfluss von Pandemiemassnahmen entstanden sind (Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050) und ihre Weiterentwicklung in kommenden Jahren noch analysiert werden muss (z.B. Homeoffice, Online-Einkauf, Freizeitverhalten sowie Entwicklung des Veloverkehrs). Dementsprechend ist für die Interpretation der hier berechneten Nachfrageentwicklungen die Berücksichtigung der in dem betrachteten Szenario getroffenen Annahmen sehr wichtig.

11 Literatur

Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik (2017) Mobilität in der Schweiz – Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Bundesamt für Statistik, Bern.

Fröhlich, P., C. Weis, K.W. Axhausen und M. Vrtic (2011) Stated Preference Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten, TransSol, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich und TransOptima, im Auftrag der Bundesämter für Raumentwicklung, Strassen und Verkehr (UVEK).

Fröhlich, P., K.W. Axhausen, M. Vrtic, C. Weis und A. Erath (2012) SP-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten im Personenverkehr, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

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

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

Vrtic, M., P. Fröhlich, K.W. Axhausen, C. Schulze und P. Kern (2005), Verkehrsmodell für den öffentlichen Verkehr des Kantons Zürich, Im Auftrag des Amtes für Verkehr, Kanton Zürich, IVT, Ernst Basler + Partner und PTV Karlsruhe, Zürich.

Vrtic, M., D. Lohse, P. Fröhlich, C. Schiller, N. Schüssler, H. Teichert und K.W. Axhausen (2007) A simultaneous two-dimensionally constraint disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: Theory and application for a Swiss national model, *Transportation Research Part A*, **41** (9) 857-873.

Vrtic, M., C. Weis, P. Fröhlich und B. Bodenmann (2018), Gesamtverkehrsmodell Kanton Solothurn, Modellaktualisierung 2015, Kanton Solothurn, Solothurn.

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

Vrtic, M., J. von Sury, C. Weis, P. Fröhlich und M. Setz (2022) Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern: Zwischenaktualisierung 2019, Kanton Bern.

Vrtic, M., C. Weis, P. Fröhlich und B. Bodenmann (2018) Gesamtverkehrsmodell Kanton Solothurn, Modellaktualisierung 2015, Kanton Solothurn, Solothurn.

Weis, C., M. Vrtic und P. Fröhlich (2012) Schätzung der Modellparameter für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn, BVE, Kanton Bern und BJD, Kanton Solothurn.

Weis, C. (2017) Schätzung der Modellparameter des Zielwahlmodells für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn, BVE, Kanton Bern und BJD, Kanton Solothurn.

Weis, C., M. Vrtic, B. Schmid, und K. W. Axhausen (2017) Analyse der SP-Befragung 2015 zur Verkehrsmodus- und Routenwahl, Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern.

Widmer P., Vrtic M, C. Weis und K. Axhausen (2012) Einfluss des Parkierungsangebots auf das Verkehrsverhalten und den Energieverbrauch, Bundesamt für Strassen und SVI, Bern.