

Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern

Modellaktualisierung 2019

Schlussbericht

Februar 2023

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

Friedaustasse 18

Monbijoustrasse 14

Samstagernstrasse 41

4600 Olten

3011 Bern

8832 Wollerau

Impressum

Auftraggeber: Bau- und Verkehrsdirektion (BVD) des Kantons Bern

Katrin Richter
Till Hofstetter
Barbara Kocher
Fiona Baumgartner

Kerngruppe

Adrian Weber
Andri Sinzig
Anouk Allenspach
Arnold Trümpi
Bernhard Künzler
Carla Laub
Daniel Rossel
Eric Lanz
Gabriele Leonardi
Max Leyck
Matthias Fischer
Pascal Gamper
Thomas Jenne

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

Download Bericht, weitere Informationen und Kontakt: www.be.ch/gvm

Inhalt

1	Ausgangslage	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzungen	2
3	Modellzustände	3
4	Daten und Modelle	4
5	Strukturdaten	5
5.1	Wohnbevölkerung und Altersstruktur	5
5.1.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	5
5.1.2	Aufbereitung	5
5.2	Erwerbstätige und Beschäftigte	5
5.2.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	5
5.2.2	Datenaufbereitung	6
5.3	Auszubildende	6
5.3.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	6
5.3.2	Datenaufbereitung	7
5.4	Verkaufsflächen und Einkaufszentren	7
5.4.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	7
5.4.2	Datenaufbereitung	8
5.5	Kulturangebot	8
5.5.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	8
5.5.2	Datenaufbereitung	9
5.6	Freizeitangebot	9
5.6.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	9
5.6.2	Datenaufbereitung	10
5.7	Gastronomie (Hotels und Restaurants)	10
5.7.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	10
5.7.2	Datenaufbereitung	11
5.8	Bestand an Personenwagen	11
5.8.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	11
5.8.2	Datenaufbereitung	11

5.9	Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz	11
5.9.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	11
5.9.2	Datenaufbereitung	12
5.10	Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr	12
5.10.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	12
5.10.2	Datenaufbereitung	12
5.11	Touristische Anlagen	13
5.11.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	13
5.11.2	Datenaufbereitung	13
5.12	Weitere Daten	13
5.12.1	Spitaldaten	13
5.12.2	Flughafendaten	14
6	Verkehrsangebot	15
6.1	MIV-Netz	15
6.2	ÖV-Netz	15
7	Nachfragemodell 2019	17
7.1	DWV-Modell	18
7.1.1	Erzeugungsmodell	19
7.1.2	Modellparameter	24
7.1.3	Matrixerstellung: Vorgehen	25
7.1.4	Validierung der Matrixstruktur (Binnenmatrix)	29
7.1.5	Umlegung und Validierung der Netzbelastungen	36
7.2	Spitzenstundenmodelle und durchschnittlicher Tagesverkehr	40
8	Modellkalibration	41
8.1	Zähldaten	41
8.1.1	MIV	41
8.1.2	ÖV	43
8.2	Kalibration des DWV-Modells	44
8.2.1	Vorgehen	44
8.2.2	Ergebnisse Eckwerte	45
8.2.3	Ergebnisse Netzbelastungen	47
8.3	Kalibration des DTV-Modells	52

8.3.1	Ergebnisse Netzbelastungen	52
8.4	Kalibration des MSP-Modells.....	55
8.4.1	Ergebnisse Netzbelastungen	55
8.5	Kalibration des ASP-Modells.....	59
8.5.1	Ergebnisse Netzbelastungen	59
9	Prognosezustand 2040	63
9.1	Prognoseannahmen.....	64
9.2	Verkehrsangebot 2040	65
9.2.1	MIV.....	66
9.2.2	ÖV.....	68
9.2.3	Fuss- und Veloangebot.....	68
9.3	Strukturdaten	69
9.3.1	Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2040	69
9.3.2	Erwerbstätige	74
9.3.3	Beschäftigte.....	75
9.3.4	Auszubildende.....	79
9.3.5	Verkaufsflächen und Einkaufszentren.....	81
9.3.6	Spitäler	81
9.3.7	Kulturangebot	82
9.3.8	Freizeitangebot	82
9.3.9	Gastronomie (Hotels und Restaurants).....	82
9.3.10	Bestand an Personenwagen	82
9.3.11	Verfügbarkeit von Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz	82
9.3.12	Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr	82
9.3.13	Weitere Daten	83
9.4	Berechnung der Verkehrsnachfrage	84
9.4.1	Binnenströme.....	86
9.4.2	Binnen- und Aussenströme (Gesamtverkehr 2040).....	89
9.4.3	Spitzenstunden.....	91
9.4.4	Netzbelastungen	92
10	Schlussfolgerung und Empfehlungen	102

Abbildungen

Abbildung 1	ÖV-Netz 2019: Anzahl Kurse pro Werktag	16
Abbildung 2	VISUM: Vorauswahl u. Parameter für die Widerstandsfunktion bei der Kenngrössenberechnung	27
Abbildung 3	Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur	29
Abbildung 4	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke	32
Abbildung 5	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Arbeit.....	33
Abbildung 6	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Ausbildung.....	33
Abbildung 7	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Einkauf.....	33
Abbildung 8	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Nutzfahrt	34
Abbildung 9	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Freizeit.....	35
Abbildung 10	VISUM: Parameter für die ÖV-Umlegung.....	37
Abbildung 11	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – MIV (ohne Kalibration)	39
Abbildung 12	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration).....	39
Abbildung 13	Verlässliche MIV-Zählungen 2019	42
Abbildung 14	ÖV-Zählungen 2019 (Ausschnitt westliches Modellgebiet)	43
Abbildung 15	Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand	46
Abbildung 16	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	48
Abbildung 17	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	49
Abbildung 18	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration).	49
Abbildung 19	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration).....	50
Abbildung 20	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	50
Abbildung 21	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration).....	51
Abbildung 22	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration).....	52
Abbildung 23	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	53
Abbildung 24	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	53
Abbildung 25	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration).....	54
Abbildung 26	Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration).....	54
Abbildung 27	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	55
Abbildung 28	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	56
Abbildung 29	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	56
Abbildung 30	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration).....	57
Abbildung 31	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	57
Abbildung 32	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration).....	58

Abbildung 33	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	59
Abbildung 34	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	60
Abbildung 35	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	60
Abbildung 36	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration).....	61
Abbildung 37	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	61
Abbildung 38	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)	62
Abbildung 39	Prognosemassnahmen MIV 2040.....	67
Abbildung 2-1	Vorgehen für Aufteilung des Bevölkerungswachstums auf VMZ	72
Abbildung 2-3	Bevölkerungswachstum im Modellgebiet des GVM BE.....	73
Abbildung 2-3	Wachstum der Erwerbstätigen im Modellgebiet des GVM BE	75
Abbildung 2-4	Vorgehen für Aufteilung des Beschäftigungswachstums auf VMZ.....	78
Abbildung 2-5	Beschäftigungswachstum im Modellgebiet des GVM BE	79
Abbildung 2-6	Auszubildende Wachstum im Modellgebiet des GVM BE	81
Abbildung 45	Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2040.....	85
Abbildung 46	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Basisszenario)	92
Abbildung 47	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Szenario Moderat)	93
Abbildung 48	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Basisszenario)	94
Abbildung 49	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Szenario Moderat)	95
Abbildung 50	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Basis-Szenario).....	96
Abbildung 51	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Szenario Moderat)	97
Abbildung 52	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Basisszenario)	98
Abbildung 53	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Szenario Moderat)	99
Abbildung 54	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Basisszenario)	100
Abbildung 55	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Szenario Moderat)	101

Tabellen

Tabelle 1	Definition der Quelle-Ziel-Gruppen (QZG)	20
Tabelle 2	Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) und massgebende Strukturgrößen	21
Tabelle 3	Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG).....	22
Tabelle 4	Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2015.....	24
Tabelle 5	Komponenten der Nutzenfunktionen.....	26
Tabelle 6	Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quelle-Ziel-Ströme.....	28
Tabelle 7	Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen.....	30
Tabelle 8	Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, interzonale Wege [%].....	30
Tabelle 9	Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel	31
Tabelle 10	Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015	31
Tabelle 11	Besetzungsgrad PW nach Fahrtzweck	45
Tabelle 12	Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration.....	46
Tabelle 13	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)	47
Tabelle 14	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DTV)	52
Tabelle 15	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (MSP).....	55
Tabelle 16	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)	59
Tabelle 17	Input-Sets für die Prognoseszenarien 2040	64
Tabelle 18	Veränderung Mobilitätsraten 2019-2040 nach Fahrtzwecken	65
Tabelle 9-19	Wachstum der wirtschaftlichen Bevölkerung zwischen 2019 und 2040 nach Cluster	70
Tabelle 9-20	Wachstum der Beschäftigung (VZÄ 2. und 3. Sektor) zwischen 2019 und 2040 nach Cluster	77
Tabelle 21	Vergleich des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 im Szenario Basis und Moderat (Binnenwege DWV)	86
Tabelle 22	Vergleich der Fahrtzweckanteile 2019 – 2040 (Binnenwege DWV).....	86
Tabelle 23	Veränderung des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 (Binnenwege DWV).....	87
Tabelle 24	Veränderung der Verkehrsleistung 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)	87

Tabelle 25	Veränderung der Anteile am Verkehrsaufkommen 2015 –2040 (Binnenwege DWV)	88
Tabelle 26	Veränderung der Anteile an der Verkehrsleistung 2015 – 2030 / 2040 (Binnenwege DWV, Nachfragesegmente CH)	88
Tabelle 27	Veränderung der Verkehrsnachfrage 2040 gegenüber 2019 (Binnen- und Aussenströme DWV)	89
Tabelle 28	Entwicklung des Binnen- und Aussenverkehrs 2019 – 2040 (DWV)	90
Tabelle 29	Entwicklung des Binnen- und Aussenverkehrs 2019 – 2040 (DWV)	91

1 Ausgangslage

Die letzte Aktualisierung des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Bern (GVM BE) wurde im Sommer 2018 fertiggestellt und beinhaltet Modellzustände für die Jahre 2016 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 2016);
- Anpassung der Netz- und Siedlungsentwicklung bis 2040 bzw. 2050 (entsprechend den Verkehrsperspektiven 2050 des Bundes, BFS-Bevölkerungsprognosen und Bevölkerungsprojektion Kanton Bern).
- Anpassung der Annahmen über zukünftige Verhaltensveränderungen sowie Entwicklung des Aussenverkehrs anhand der aktuellen Verkehrsperspektiven 2050

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 kritisch zu evaluieren.

Bei den letzten zwei Aktualisierungen des GVM BE (2012 und 2016) wurde auch eine Aktualisierung des Nachfragemodells auf die Erhebungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (2010 und 2015) inkl. Stated-Preference Befragungen und daraus abgeleiteten Verhaltensparametern durchgeführt. Die für das Jahr 2020 geplanten Erhebungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) wurden wegen der Corona-Pandemie erst im Jahr 2021 abgeschlossen. Damit standen diese Daten zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Nachfragemodells einerseits nicht zur Verfügung und andererseits ist es zu erwarten, dass die Erhebungen 2021 und die daraus abgeleiteten Verhaltensgesetzmässigkeiten noch immer durch die Pandemie direkt oder indirekt stark beeinflusst werden. Die durch die Corona-Pandemie beeinflussten Verhaltensveränderungen sind zudem für die mittel- und langfristigen Verkehrsprognosen nicht geeignet, da solche kurzfristigen und unvorhersehbaren Einflussfaktoren in den Verkehrsprognosen nicht berücksichtigt werden können.

Damit ist 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 wird 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.

Der vorliegende Bericht deckt die Modellaktualisierung ab. Weiterführende Informationen zum Modellaufbau können dem Schlussbericht über die Modellerstellung vom Juni 2010, der Modellaktualisierung von 2012 sowie der Modellaktualisierung von 2016 entnommen werden (www.be.ch/gvm).

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 Bern 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:

- Aktualisierung der Angebotsveränderungen im Strassen- und öffentlichen Verkehr nach 2016;
- 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 für:

- den durchschnittlichen Werktagesverkehr (DWV);
- den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV);
- die Morgen- und Abendspitzenstunde des durchschnittlichen Werktagesverkehrs (MSP und ASP);

Da hier nur eine Aktualisierung der Eingangsdaten und der Modellergebnisse vorgesehen ist, bleiben das Modellkonzept sowie die im GVM BE 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, ÖV-Passagiere;
- Morgen- und Abendspitzenstundenmodell, MSP- und ASP-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge, ÖV-Passagiere;
- Nicht auf die Querschnittszählungen kalibrierte Quelle-Ziel-Matrizen für Fuss- und Veloverkehr (DWV);
- Nachfragemodell (EVA) für den durchschnittlichen Werktagesverkehr.

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, ÖV-Passagiere;
- Morgen- und Abendspitzenstundenmodell, MSP- und ASP-Modell mit folgenden Nachfragesegmenten: Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen und Last-/Sattelzüge, ÖV-Passagiere;
- Nicht auf die Querschnittszählungen kalibrierte Quelle-Ziel-Matrizen für Fuss- und Veloverkehr (DWV);
- Nachfragemodell (EVA) für den durchschnittlichen Werktagesverkehr.
- Zusätzliches Prognoseszenario 2040 mit DWV-, DTV-, ASP- und MSP-Modellzuständen sowie Nachfragemodell EVA

4 Daten und Modelle

Die Modellaktualisierung baut im Wesentlichen auf folgenden Daten auf:

- Vorhandene Modellzustände des GVM BE
- Nationales Personenverkehrsmodell 2017 und 2040/2050 (inkl. Strassengüterverkehrsmatrizen)
- 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).
- HAFAS-Fahrplandatenbank 2019, SBB-Systemfahrplan 2019 und STEP 2035
- Zählraten MIV: ASTRA (Automatische Verkehrszählungen), Strassenverkehrszählungen Kanton Bern (OIK), Kanton Solothurn und Kanton Luzern, Zusatzerhebungen der Städte (Bern, Biel/Bienne, Burgdorf, Thun, Interlaken) und weiterer Gemeinden (über OIK), Ingenieurbüros die Verkehrszählungen im Auftrag des TBA durchgeführt haben.
- Zählraten ÖV: Transportunternehmungen (SBB, BLS, RBS, Bernmobil und weitere Verkehrsbetriebe)
- Siedlungs- und soziodemographische Daten 2050: Bundesamt für Statistik und kantonale Statistiken
- Hektarrasterdaten des Bundesamtes für Statistik
- Daten der Strassenverkehrsämter zum PW-Besitz
- ÖV-Abonnemente (SBB und Tarifverbände)
- 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 BE 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. Nachfolgend werden die einzelnen Variablen und deren Aufbereitung kurz erläutert.

5.1 Wohnbevölkerung und Altersstruktur

5.1.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Die Wohnbevölkerung gilt innerhalb einer Verkehrsmodellzone (VMZ) als wichtigster Verkehrserzeuger an Werktagen. Damit auch Wochenaufenthalter und Studenten im Verkehrsmodell entsprechend berücksichtigt werden, ist jedoch nicht der juristische Wohnsitz, sondern der wirtschaftliche Wohnsitz massgebend. Zudem werden die Einwohner differenziert nach einzelnen Altersklassen betrachtet, um den Unterschieden im Verkehrsverhalten der einzelnen Altersklassen gerecht zu werden. Im Strukturdatensatz sind deshalb folgende sechs Variablen zur Wohnbevölkerung (Jahr 2019) auf Ebene der VMZ enthalten:

- Einwohner < 15 Jahre
- Einwohner 15 – 24 Jahre
- Einwohner 25 – 59 Jahre
- Einwohner 60 – 79 Jahre
- Einwohner > 80 Jahre
- Total Einwohner (Summe der obigen Altersklassen)

5.1.2 Aufbereitung

Die Daten aus der STATPOP wurden als geokodierte Punktdaten (für alle Kantone im Modellgebiet) vom Bundesamt für Statistik (BFS) bereitgestellt. Die Einwohnerzahlen für die einzelnen Punkte wurden auf die VMZ aggregiert. Die wirtschaftliche Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung wird in der neuen Statistik nicht mehr geführt. Als Näherung wird deswegen die wirtschaftliche Wohnbevölkerung aus der Summe der ständigen Wohnbevölkerung am Hauptwohnsitz, der nichtständigen Wohnbevölkerung am Hauptwohnsitz und der Wohnbevölkerung am letzten Nebenwohnsitz ermittelt.

5.2 Erwerbstätige und Beschäftigte

5.2.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Die Zahl der Erwerbstätigen und die Zahl der beschäftigten Personen sind ebenfalls wichtige Grundlagen für die Erzeugung des Verkehrsaufkommens in einer VMZ, insbesondere des Pendlerverkehrs. Die Zahl der Erwerbstätigen ist wohnortgebunden und Basis für die Bestimmung des Pendlerverkehrs aus der Verkehrsmodellzone hinaus

(Startort). Die Zahl der Beschäftigten bezieht sich hingegen auf den Arbeitsort (Zielort) und liefert einen guten Hinweis für die Anziehungskraft einer Verkehrsmodellzone. Folgende Variablen werden ermittelt:

- Erwerbstätige pro VMZ im Jahr 2016 (entspricht Pooling der SE 2014-2018)
- Beschäftigte: Vollzeitäquivalente (VZÄ) im 2. Sektor und 3. Sektor pro VMZ im Jahr 2018

Im Jahr 2020 hat aufgrund der Corona-Pandemie die Zahl der Beschäftigten, die von zu Hause aus arbeitet (Homeoffice) stark zugenommen. Aus diesem Grund wurde für die Arbeitsplätze resp. die Beschäftigten auch das Homeoffice-Potenzial (maximaler Anteil der Arbeitszeit, der unter normalen Umständen von zu Hause aus verrichtet werden kann) berechnet. Hierzu wurde auf Daten der Uni Basel zurückgegriffen, welche das Homeoffice-Potenzial für verschiedene Branchen widerspiegeln (auf Stufe NOGA 2-Steller). Damit ergibt sich eine zusätzliche Variable:

- Erwerbstätige Homeoffice-Potenzial: Erwerbstätige mit Homeofficepotenzial am Wohnort pro VMZ im Jahr 2016 (Pooling der SE 2014-2018)
- Beschäftigte mit Homeoffice-Potenzial: Vollzeitäquivalente (VZÄ) im 2. Sektor und 3. Sektor mit Homeoffice-Potenzial pro VMZ im Jahr 2018

5.2.2 Datenaufbereitung

Angaben zu Erwerbstätigen liegen aus der Strukturhebung (SE) des BFS als gepoolte Schätzung für die Jahre 2014-2018 auf Ebene Gemeinde vor. Auf Basis der ständigen Wohnbevölkerung im Erwerbsalter (15-64 Jahre) wurde die Zahl der Erwerbstätigen pro Gemeinde auf die VMZ heruntergebrochen.

Die Daten zur Beschäftigung liegen aus der STATENT 2018 als geocodierte Punktdaten vor. Diese Punktdaten wurden auf Ebene NOGA 6-Steller pro VMZ aggregiert. Es liegt damit einerseits die Zahl der Arbeitsstätten und andererseits die Zahl der Vollzeitäquivalente (VZÄ) vor. Die Zahl der VZÄ im 2. und 3. Sektor ergeben sich als Summe der NOGA 6-Steller zwischen 08110 und 960900 (d.h. ohne NOGA Abteilung A).

5.3 Auszubildende

5.3.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Ist innerhalb einer VMZ eine Schule vorhanden, dann generiert diese VMZ Zielverkehr. Das Ausmass dieses Auszubildungsverkehrs ist im Wesentlichen von der Anzahl der Standortschüler, d.h. der Zahl der Schüler am Standort der Schule, abhängig. Zusätzlich zur obligatorischen Schule müssen ebenfalls die Schüler der Maturitätsklassen (Sekundarstufe II) sowie der Berufsbildung berücksichtigt werden. Von Bedeutung sind auch die Studenten an Universitäten und Fachhochschulen. Kindergärten und Vorschulen werden hingegen aufgrund derer starken dezentralen Verteilung und der geringeren Klassenzahl/-grössen nicht berücksichtigt.

Es wird die folgende Strukturvariable im Datensatz geführt:

- Anzahl Auszubildende (Obligatorische Schule, Sek. II, Berufsschulen, Studenten an Universitäten, Studenten an Fachhochschulen) pro VMZ im Schuljahr 2019/20

Die Zahl der Standortschüler innerhalb des Kantons Bern wird von der Erziehungsdirektion des Kantons Bern auf Ebene Schulhaus zur Verfügung gestellt. Die Anzahl der Standortschüler ausserhalb des Kantons Bern und die

Anzahl der Studierenden an Fachhochschulen im Modellgebiet und nach Fachbereich stammen aus Spezialauswertungen des BFS. Die Zahlen für Studierende an Universitäten konnten direkt von der BFS Website bezogen werden. Für die Zuordnung der Schülerzahlen zu den VMZ ausserhalb des Kantons Bern wurden zudem die VZÄ (Beschäftigte) im Bereich Bildung aus der STATENT 2018 verwendet.

5.3.2 Datenaufbereitung

Für den Kanton Bern wurden den Schulhäusern mittels Geocoding die exakten Koordinaten zugewiesen, wodurch sie den einzelnen VMZ zugeordnet werden können. Anschliessend wurde die Zahl der Standortschüler pro VMZ aggregiert. Da in den Datengrundlagen ausserhalb des Kantons Bern (Spezialauswertung BFS) keine exakten Standortangaben zu den Schulstandorten vorliegen, wäre eine exakte Zuteilung und Aggregation der Schüler pro Schule zu den VMZ mit einem grossen Aufwand verbunden. Die Anzahl Standortschüler wurde deshalb für die Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern anhand der VZÄ im Bereich Bildung (aus der STATENT 2018) auf die einzelnen VMZ verteilt. Für Berufsschüler wurde berücksichtigt, dass diese nur wenige Tage pro Woche zur Schule gehen. Es wird davon ausgegangen, dass die Berufsschüler an zwei Tagen die Schule besuchen. Dabei ist nicht relevant, ob es sich um einen Halbtage oder um einen ganzen Schultage handelt, da sowieso pro Tag zwei Wege zurückgelegt werden.

Für die Studenten an Universitäten erfolgte die Zuteilung zu den VMZ gemäss dem Hauptvorlesungsort (meist der Standort des Instituts) des entsprechenden Fachbereichs. Für die Universität Bern wurde die Anzahl der Studenten zusätzlich gemäss den Hörsaalkapazitäten auf einzelne VMZ aufgeteilt, falls der betroffene Fachbereich (z.B. Wirtschaftswissenschaften oder Jura) an mehreren Standorten Vorlesungen hält.

Die Fachhochschulen sind in der Regel als regionale Hochschulen mit mehreren Standorten auch innerhalb einer Studienrichtung organisiert. Dieser Umstand erschwert wesentlich die Aufteilung der Anzahl Studierenden an Fachhochschulen und Pädagogischen Hochschulen auf die einzelnen VMZ. Dank einer Spezialauswertung des BFS, welche nicht nur nach Fachhochschule und Fachbereich, sondern zusätzlich nach Standort der Teilschulen und nach einzelnen Ausbildungsgängen differenziert, konnte das Problem der Zuteilung für die ausserkantonalen Fachhochschulen und die PH Bern befriedigend gelöst werden. Für die im Kanton Bern bedeutende Berner Fachhochschule BFH wurden von der BFH adressscharfe Hörsaalkapazitäten zur Verfügung gestellt. Mittels Geocoding wurden diese Adressen den VMZ zugeordnet und die Studenten proportional zu den Hörsaalkapazitäten auf die VMZ verteilt.

5.4 Verkaufsflächen und Einkaufszentren

5.4.1 Erhobene Variablen und Datenquellen.

Nach dem Freizeit- und dem Pendlerverkehr, stellt der Einkaufsverkehr bezüglich der Distanz, der Reisezeit und der Anzahl Wege, den dritt wichtigsten Verkehrszweck dar. Besonders viel Zielverkehr wird dabei von den grossen Einkaufszentren mit entsprechendem Angebot an Parkplätzen generiert. Im Verkehrsmodell wird für die Einkaufszentren deshalb mehrheitlich eine eigene Verkehrsmodellzone erstellt. Für den Einkaufsverkehr werden folgende zwei Strukturvariablen erhoben:

- Totale Verkaufsfläche in m² pro VMZ im Jahr 2019
- Verkaufsfläche in m² in Einkaufszentren (> 7'000 m²) pro VMZ im Jahr 2019

Als Grundlagen werden Daten der Firma Wüst und Partner verwendet, die durch den Kanton Bern aktualisiert wurden.¹ In diesem umfassenden Datensatz ist für jede Gemeinde die Verkaufsfläche (inkl. Einkaufszentren) in Quadratmetern aufgeführt. Für die Aufteilung der Gemeindedaten auf die VMZ werden die VZÄ (Beschäftigte) im Bereich Verkauf verwendet.

5.4.2 Datenaufbereitung

Die Zuordnung der Einkaufszentren zu den einzelnen VMZ erfolgt manuell. Die übrige Einkaufsfläche wurde mit Hilfe der VZÄ im Bereich «Detailhandel (ohne Handel mit Automobilen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern» auf die einzelnen VMZ aufgeteilt. Für jede einzelne VMZ wurde dafür in einem ersten Schritt der prozentuale Anteil aller VZÄ in diesem Bereich innerhalb der Gemeinde berechnet und in einem zweiten Schritt mit der Verkaufsfläche der Gemeinde multipliziert. Wo gemäss Betriebszählung einer Gemeinde keine VZÄ für den Bereich Verkauf aufgeführt waren, wurde die ausgewiesene Verkaufsfläche manuell einer VMZ zugeteilt.²

5.5 Kulturangebot

5.5.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Gemäss der Auswertung des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 entfallen von allen Fahrtzwecken die längsten Wege auf die Freizeit. Damit dieser dominierende Verkehrszweck im Verkehrsmodell abgebildet werden kann, wurde im Rahmen der Strukturdatenerhebung eine Vielzahl von Variablen gesammelt, die Hinweise auf Freizeitaktivitäten liefern. Diese lassen sich grundsätzlich in drei Gruppen aufteilen: Kulturangebote, grössere und kleinere Freizeitanlagen (z.B. Sportstätten oder Fitnesscenter) sowie Hotels und Restaurants.

Im Rahmen der Kulturangebote werden folgende Daten erhoben:

- Anzahl Kinos, Sitzplätze und Säle pro VMZ für das Jahr 2018; durchschnittliche Kino-Besucherzahlen pro Tag und VMZ für das Jahr 2019
- Anzahl Theater und Ballettgruppen pro VMZ für das Jahr 2018; durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Theater für die Saison 2018/19
- Anzahl Museen pro VMZ für das Jahr 2018; durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Museen für das Jahr 2019
- Anzahl botanische und zoologische Gärten sowie Naturparks pro VMZ für das Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks pro VMZ für das Jahr 2018
- Anzahl Bibliotheken und Archive pro VMZ für das Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Bibliotheken und Archiven pro VMZ für das Jahr 2018

Sämtliche Zahlen zur Anzahl kultureller Einrichtungen und zur Anzahl Stellen (VZÄ) in den einzelnen Bereichen stammen aus der STATENT 2018. Die Angaben zu den Kinobesuchern für das Jahr 2019 stammen aus der Film-

¹ Es wurden grundsätzlich die Werte aus der letzten Aktualisierung (Zustand 2013) übernommen. Aktualisiert wurden insbesondere grössere Einkaufszentren.

² Falls die entsprechende Einkaufsmöglichkeit nicht mit Hilfe von Geocoding lokalisiert werden konnte, wurde die Einkaufsfläche dem vermuteten Dorfzentrum zugeordnet.

und Kinostatistik des BFS (kantonale Daten³), die Angaben zur Kinoinfrastruktur (Anzahl Kinos, Säle und Sitzplätze) stammen ebenfalls vom BFS und sind auf Gemeindeebene verfügbar. Die Angaben zu den Museumsbesuchern (pro Museum) können aus der datengeschützten Museumsstatistik des BFS gewonnen werden. Als Quelle für die durchschnittliche Anzahl Theaterbesucher dient die Zuschauerstatistik für die Saison 2018/19 des schweizerischen Bühnenverbandes.

5.5.2 Datenaufbereitung

Sämtliche Angaben zu Stellen (VZÄ) und den Betrieben wurden aus der STATENT 2018 entnommen und auf die VMZ aggregiert.

Die Zuordnung der kantonalen Zahlen der Kinobesucher erfolgte in zwei Schritten: In einem ersten Schritt wurden sämtliche Kinos und damit auch Säle und Sitzplätze mittels Geocodierung (teils auch manuell) einer VMZ zugeteilt. Anschliessend wurden die kantonalen Besucherzahlen entsprechend den Sitzanteilen der Kinos auf die einzelnen VMZ aufgeteilt. Bei diesem Vorgehen wurde angenommen, dass die Kinos unabhängig vom Standort innerhalb eines Kantons gleichmässig ausgelastet (Anzahl Besucher pro Sitzplatz) sind. Weiter wurden Wochentage und Wochenenden gleich gewichtet, da keine Angaben über die Verteilung der Besucherzahlen auf die einzelnen Wochentage vorhanden sind. Für das Update der Strukturdaten wurde die Liste soweit möglich mit Angaben zu neuen und geschlossenen Kinosälen aktualisiert.

Zahlen bezüglich der Anzahl Theaterbesucher sind nur für fünf Theater im Verkehrsmodellgebiet vorhanden. Die Stadttheater Bern sowie Biel und Solothurn⁴ sind im Datensatz enthalten. Der tägliche Durchschnitt wurde unabhängig von der Anzahl an Veranstaltungen und vom Wochentag (d.h. ungewichtet) berechnet. Die Theater mit bekannten Besucherzahlen wurden manuell der entsprechenden VMZ zugeordnet.

Museen (inkl. ihrer Besucherzahlen) wurden mittels Geocodierung den VMZ zugeteilt.

Die Besucher für die übrigen Freizeiteinrichtungen wurden wie in den bisherigen Strukturdatensets folgendermassen geschätzt:

- Anzahl Besucher in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks: 30 Besucher pro Tag und Beschäftigten (VZÄ)
- Anzahl Besucher Bibliotheken und Archiven: 20 Besucher pro Tag und Betrieb

5.6 Freizeitangebot

5.6.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Neben den kulturellen und den naturnahen Anlagen verursachen vor allem auch Sportanlagen Zielverkehr in der Freizeit. Innerhalb des Modellgebietes gibt es mehrere grosse Sportarenen und kleinere Sportanlagen. Erhoben wurden folgende Variablen:

³ Angaben zu Besucherzahlen einzelner Kinos, bzw. wenigstens auf Gemeindeebene konnten aufgrund von Datenschutzbestimmungen nicht angegeben werden.

⁴ Die Zahlen der Theater Biel und Solothurn werden gemeinsam aufgeführt (als ein Theater). Da die Sitzplatzkapazitäten der beiden Theater sich kaum unterscheiden, wurden die Besucherzahlen je zur Hälfte dem Theater Solothurn und dem Theater Biel angerechnet.

- Anzahl Sportanlagen pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Sportanlagen pro VMZ im Jahr 2018
- Anzahl Fitnesscenter pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Fitnesscenter pro VMZ im Jahr 2018
- Durchschnittliche Anzahl Besucher in grösseren Sportstätten (Fussballstadien und Eishockeystadien) an einem Werktag, Saison 2018/19
- Anzahl Besucher in Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen der Stadt Bern, Jahr 2019

Die Anzahl der Betriebe und der Stellen bezüglich der Sportanlagen und Fitnesscenter stammen aus der STATENT 2018. Die Besucherzahlen der grossen Sportstätten wurden von Sportverbänden (SFV und SIHA) erhoben. Die Eintrittszahlen zu den städtischen Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen werden im statistischen Jahrbuch der Stadt Bern (Berichtsjahr 2019) ausgewiesen.

5.6.2 Datenaufbereitung

Für die Eintritte in grosse Stadien konnte auf die Zuschauerstatistiken der Verbände zurückgegriffen werden. Für alle verfügbaren Teams wurden die Zuschauerzahlen an Werktagen aufaddiert und durch 260 (Anzahl Werktage im Jahr) geteilt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Zuschauerzahl pro Werktag.

Für die Freibäder, Hallenbäder und Kunsteisbahnen stehen keine nach Wochentag differenzierten Statistiken zur Verfügung. Es wird deshalb angenommen, dass die Anzahl der Eintritte an allen Tagen identisch ist.

Für das Total der Besucher von Sportanlagen und Fitnesscenter wurde – wie in den bisherigen Berechnungen – davon ausgegangen, dass pro Betrieb und Tag 40 Besucher generiert werden. Wenn für einen Betrieb effektive Daten vorliegen (vgl. oben für grössere Sportstätten sowie Freibäder, Hallenbäder und Eisbahnen der Stadt Bern), dann wurden die effektiven Besucherzahlen dieser Betriebe berücksichtigt.

5.7 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

5.7.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Das Gastronomie- und Hotelangebot in einer VMZ liefert ebenfalls Hinweise auf die Attraktivität dieser Zone im Freizeitverkehr. Um das Angebot des Gastgewerbes innerhalb der Zonen möglichst gut abzubilden, werden im Rahmen der Strukturdatenerhebung folgende Variablen verwendet:

- Anzahl Restaurants pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Restaurants pro VMZ im Jahr 2018
- Anzahl Bars und Diskotheken pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Bars und Diskotheken pro VMZ im Jahr 2018
- Anzahl Kantinen pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Kantinen pro VMZ im Jahr 2018
- Anzahl Hotels und Campingplätze (Hotellerie) pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Hotels und auf Campingplätzen (Hotellerie) pro VMZ im Jahr 2018
- Anzahl Kollektivunterkünfte und Ferienwohnungen (Parahotellerie) pro VMZ im Jahr 2018; Anzahl Stellen (VZÄ) in Kollektivunterkünften und Ferienwohnungen (Parahotellerie) pro VMZ im Jahr 2018
- Durchschnittliche Anzahl Übernachtungen (Logiernächte) in der Hotellerie und der Parahotellerie pro Tag und VMZ im Jahr 2019

Aus der STATENT 2018 konnten für alle betrachteten Angebote im Gastgewerbe die Anzahl Betriebe sowie die Anzahl Stellen (VZÄ) gewonnen werden. Zudem wurden Spezialauswertungen der HESTA (Hotelleriostatistik; Daten auf Gemeindeebene) und PASTA (Parahotellerie; Daten auf Kantonsebene) des BFS verwendet. Daraus stehen uns Daten zur Anzahl der Ankünfte und zu den Übernachtungen (Logiernächte) zur Verfügung.

5.7.2 Datenaufbereitung

Die Anzahl Betriebe und die Anzahl Stellen pro VMZ konnten aus der STATENT 2018 entnommen und auf die VMZ aggregiert werden. Die Angaben zu den VZÄ dienen als Indikator für die Grösse der Betriebe.

Die Aufteilung der Ankünfte und Übernachtungen auf die einzelnen VMZ unterscheidet sich je nach Verfügbarkeit der Daten:

- Für die Hotellerie stehen Daten auf Gemeindeebene zur Verfügung. Die Logiernächte wurden deshalb entsprechend den VZÄ auf die einzelnen VMZ einer Gemeinde heruntergebrochen.
- Für die Parahotellerie stehen Daten auf Kantonsebene zur Verfügung. Die Logiernächte wurden deshalb entsprechend den VZÄ auf die VMZ des jeweiligen Kantons heruntergebrochen.

Für die Schätzung der Anzahl Besucher pro Tag im Gastgewerbe Total ergibt sich aus der Zahl der Logiernächte (Hotellerie und Parahotellerie) sowie der Hochrechnung der Besucherzahlen für Restaurants (50 Besucher pro Tag und Betrieb) sowie Bars und Diskotheken (25 Besucher pro Tag und Betrieb).

5.8 Bestand an Personenwagen

5.8.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Um die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl zu schätzen, wurden weitere Strukturdaten erhoben. Dazu gehören neben dem Bestand der Personenwagen auch Faktoren wie die Verfügbarkeit von Parkplätzen und der Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr.

Die Verfügbarkeit eines eigenen Autos wird mittels der Anzahl registrierter Personenwagen pro VMZ abgebildet:

- Anzahl registrierter Personenwagen pro VMZ im Jahr 2019

Die Datengrundlage hierfür bildet die BFS-Statistik zum Bestand der Strassenfahrzeuge (MFZ) nach Gemeinden.

5.8.2 Datenaufbereitung

Da die Daten auf Gemeindeebene vorliegen, wurden sie anhand der Bevölkerungsanteile (Personen über 15 Jahre) auf die VMZ innerhalb der einzelnen Gemeinden aufgeteilt.⁵

5.9 Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz

5.9.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Das Vorhandensein eines Parkplatzes am Wohn- und am Arbeitsort spielt eine zentrale Rolle bei der Verkehrsmittel- und Zielwahl. Die Zahl der Parkplätze wurde auf mehrere Arten ermittelt. Einerseits wurde mit Hilfe kommunaler Statistiken versucht, grössere Parkplatzansammlungen als spezieller Anziehungspunkt für Verkehr in grösseren Gemeinden (ab 10'000 Einwohnern) zu lokalisieren und mit der entsprechenden Anzahl Parkmöglichkeiten einer VMZ zuzuordnen. Andererseits wurden durch Auswertungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr

⁵ Bei mehr als 1.0 und weniger als 0.4 Personenwagen pro Einwohner wurden die Zahlen auf ihre Plausibilität überprüft.

(2005) Durchschnittswerte für die verfügbaren Parkplätze am Wohn- und am Arbeitsort ermittelt (differenziert nach Raumtypen) und mit Hilfe der Bevölkerungs- bzw. Beschäftigtenzahlen für die einzelnen Zonen hochgerechnet. Insgesamt ergeben sich dadurch vier Strukturvariablen:

- Total öffentlich zugängliche Parkplätze (effektiv) pro VMZ für das Jahr 2007 (für die Stadt Bern Jahr 2017)
- Private Parkplätze (effektiv) pro VMZ (nur für Bern) für das Jahr 2007
- Anzahl Parkplätze an der Wohnadresse gemäss MZ05 Auswertung pro VMZ für das Jahr 2019
- Anzahl Parkplätze am Arbeitsort gemäss MZ05 Auswertung pro VMZ für das Jahr 2018

5.9.2 Datenaufbereitung

Effektive Parkplatzzahlen wurden von den Gemeinden Bern, Thun, Köniz, Spiez, Langenthal, Burgdorf, Worb und Steffisburg aufbereitet, wobei es sich mit Ausnahme von Bern ausschliesslich um Angaben zu öffentlichen Parkplätzen (meist in Parkhäusern) handelt. Diese Angaben wurden manuell einer spezifischen VMZ zugeordnet. Die Stadt Bern besitzt als einzige Gemeinde genauere Zahlen zu öffentlichen und privaten Parkplätzen pro Stadtbezirk. Diese wurden innerhalb des Bezirks gemäss dem Bevölkerungsanteil den VMZ zugeteilt.

Für die Hochrechnungen auf Basis des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2005 wurde in einem ersten Schritt die durchschnittliche Parkplatzzahl pro Einwohner bzw. der Anteil der Beschäftigten mit Parkgelegenheit am Arbeitsort auf Ebene der BFS-Raumtypen ermittelt. Auf Basis dieser Durchschnittswerte wurde anschliessend die entsprechende Anzahl Parkplätze pro VMZ berechnet.

Die Parkplatzzahlen zu den privaten Parkplätzen wurden im Rahmen des Updates nicht angepasst, da keine aktualisierten Zahlen verfügbar waren.

5.10 Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr

5.10.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Ein weiteres relevantes Merkmal für die Verkehrsmittelwahl ist die Verfügbarkeit eines Abonnements für den öffentlichen Verkehr. Neben den SBB-Abonnements spielen im Kanton Bern vor allem die Tarifverbunde libero und BeoAbo eine wichtige Rolle. Im Datensatz werden deshalb folgende Angaben zum Abobesitz gemacht:

- Anzahl Generalabonnements pro VMZ im Jahr 2019; Anzahl Halbtax-Abonnements pro VMZ im Jahr 2019
- Anzahl Abonnements der Tarifverbunde libero und BeoAbo pro VMZ im Jahr 2019

Angaben zur Anzahl GA-, Halbtax- sowie Regional-Abonnements nach Postleitzahl (PLZ) wurden von der SBB aus der Kundendatenbank geliefert.

5.10.2 Datenaufbereitung

Die Daten sind nur auf Ebene PLZ vorhanden und mussten deshalb den Gemeinden zugewiesen werden. Eine PLZ kann nicht immer 1:1 einer Gemeinde zugewiesen werden (teilweise gilt die PLZ für mehrere Gemeinden oder nur für einen Bezirk einer Gemeinde). Die Aufteilung auf die politischen Gemeinden erfolgte über die Gebäudeanteile innerhalb eines Postleitzahlgebiets. Die Zahlen wurden pro Gemeinde aufsummiert und entsprechend der Bevölkerungsanteile der über 15-Jährigen auf die VMZ aufgeteilt.

Ein Spezialfall bilden die regionalen Abos für die VMZ ausserhalb des Kantons Bern. In diesen Gemeinden bestehen weitere regionale Abos, die nicht berücksichtigt werden konnten. Für die ausserkantonalen Gemeinden

wurde die Zahl der regionalen Abos darum mit einem Analogieschluss bestimmt: Innerhalb des Kantons Bern wurde für jeden BFS-Gemeindetyp (9er-Typologie) bestimmt, wie viele regionale Abos im Verhältnis zur Bevölkerung (Personen über 15 Jahre) vorhanden sind. Auf Basis der Bevölkerung (Personen über 15 Jahre) in den ausserkantonalen VMZ und dem Raumtyp-spezifischen Anteil regionaler Abos wurde so die absolute Zahl der regionalen Abos in diesen VMZ geschätzt.

5.11 Touristische Anlagen

5.11.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Touristische Anlagen lösen bedeutenden Freizeitverkehr aus. Zu nennen sind insbesondere Bergbahnen (Seilbahnen, Sesselbahnen, Skilifte, etc.) und generell die wichtigen Tourismusorte im Berner Oberland. Während die Anziehungskraft der Tourismusregionen zu einem gewissen Teil bereits durch die Anzahl der Übernachtungen abgebildet wird, fehlt noch eine Angabe zum Tagestourismus in den Bergen. Ein Hinweis auf die Bedeutung der Region für den Tagestourismus liefern die Kapazitäten der Bergbahnen. Folgende Indikatoren sind im Datenset enthalten:

- Anzahl (Stand-)Seilbahnen pro VMZ im Jahr 2019 (nur Kanton Bern)
- Kapazität pro Stunde der in den VMZ enthaltenen (Stand-)Seilbahnen im Jahr 2019

5.11.2 Datenaufbereitung

Die Kapazitäten pro Stunde sind für rund 100 Bahnen verfügbar. Zugeteilt wurden diese Kapazitäten jeweils derjenigen VMZ, bei der ein Einstieg- bzw. Ausstiegspunkt der Bahn mit Anschluss an das übrige Verkehrsnetz besteht. Nur wenn diese Verbindung mit dem übrigen Verkehrsnetz vorhanden ist, kann von einem Anziehungspunkt für den Verkehr gesprochen werden. Diese Bedingung ist bei der Talstation einer Seilbahn erfüllt, weshalb die Kapazitäten grundsätzlich der VMZ der Talstation angerechnet wurden. Verfügen die Berg- bzw. Zwischenstation ebenfalls über einen entsprechenden Anschluss an das Strassen- bzw. Schienennetz, wurden die Kapazitäten ebenfalls der VMZ der Berg- bzw. der Zwischenstation angerechnet (Bspw. Marzilibahn in der Stadt Bern). Verfügt eine Bergbahn über mehrere Anschlussseilbahnen ohne eigene Zufahrt, wurden nur die Kapazitäten der ersten Teilstrecke berücksichtigt.

5.12 Weitere Daten

5.12.1 Spitaldaten

Aufgrund der grossen Besucherzahlen stellen Spitäler ebenfalls einen wichtigen Anziehungspunkt für den Verkehr dar. Es existieren zwar keine Angaben über Spitalbesucher, aufgrund der Anzahl Pflagetage eines Spitals können aber Annahmen zu dessen Grösse und der Besucherzahl getroffen werden. Im Datensatz enthalten sind:

- Anzahl Spitäler pro VMZ im Jahr 2019; Anzahl Pflagetage (ambulant und stationär) im Jahr 2019

Für die Bestimmung der Anzahl Spitäler und Pflagetage im Kanton Bern wurden vom Spitalamt des Kantons Bern als geocodierte Einzeldaten zu den Spitälern zu Verfügung gestellt. Ausserkantonal wurden vom BFS Einzeldaten mit Adressen zur Verfügung gestellt. Mittels Geocoding wurden die Daten den VMZ zugewiesen.

Die Zahl der Besucher pro Tag wurde auf Basis der Pflagetage geschätzt. Dabei wurde – wie in den bisherigen Strukturdatensets – davon ausgegangen, dass ein Patient im Durchschnitt sechs Pflagetage im Spital verbleibt

und während dieser Zeit vier Besucher empfängt. Zudem wurde bei den ambulanten 1-Tages-Aufenthalten davon ausgegangen, dass neben der Hin- und Rückfahrt des Patienten keine Besuchsfahrten anfallen.

Unter der Kategorie der Spitäler wurden zusätzlich auch die SVSA (Strassenverkehrs- und Schifffahrtsamt) in Bern und Biel erfasst, da diese zu den Spitälern vergleichbare Besucherzahlen generieren.

5.12.2 Flughafendaten

Einen besonderen Anziehungspunkt für den Verkehr stellt der einzige Flughafen mit Linienverkehr im Modellgebiet dar (Flughafen Bern-Belp). Um das durch den Flughafen generierte Verkehrsaufkommen im Verkehrsmodell abzubilden, werden folgende Strukturdaten erhoben:

- Tägliche Anzahl Passagiere, gewerbsmässiger und nicht gewerbsmässiger Flugverkehr im Jahr 2019

Die jährlichen Passagierdaten können aus Geschäftsbericht der Betreiberfirma Flughafen Bern AG entnommen werden. Der Tagesdurchschnitt wurde ohne Gewichtung gerechnet, es wurde also davon ausgegangen, dass sich das Passagieraufkommen zwischen einzelnen Tagen nicht unterscheidet.

6 Verkehrsangebot

Die Grundlage für die Angebotsabbildung bilden die im GVM BE vorhandenen Netzzustände 2016. In diesen Netzzuständen wurden die gesammelten Netzfehler aus durchgeführten Modellanwendungen sowie alle relevanten Angebotsveränderungen zwischen 2016 und 2019 eingebaut.

6.1 MIV-Netz

Als Ausgangszustand wurde das Netz 2016 inkl. Verfeinerung Stadt Biel aus dem Jahr 2019 verwendet. In dieses Netz wurde eine Liste von ca. 140 Massnahmen / Netzkorrekturen eingearbeitet, welche zwischen 2016 und 2019 implementiert worden sind. Diese beinhalten v.a. neuen 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 2016, 2012 und 2007. 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.

Der Vorteil dieses Vorgehens ist, dass alle Anpassungen aus den vorherigen Projekten inkl. Zonenanbindungen erhalten bleiben und weiterhin kompatibel sind. Im Kanton Bern wurden zudem alle Buskurse per Hand zu Linien mit Betreibername aggregiert.

Einige Eckdaten ÖV-Modell 2019:

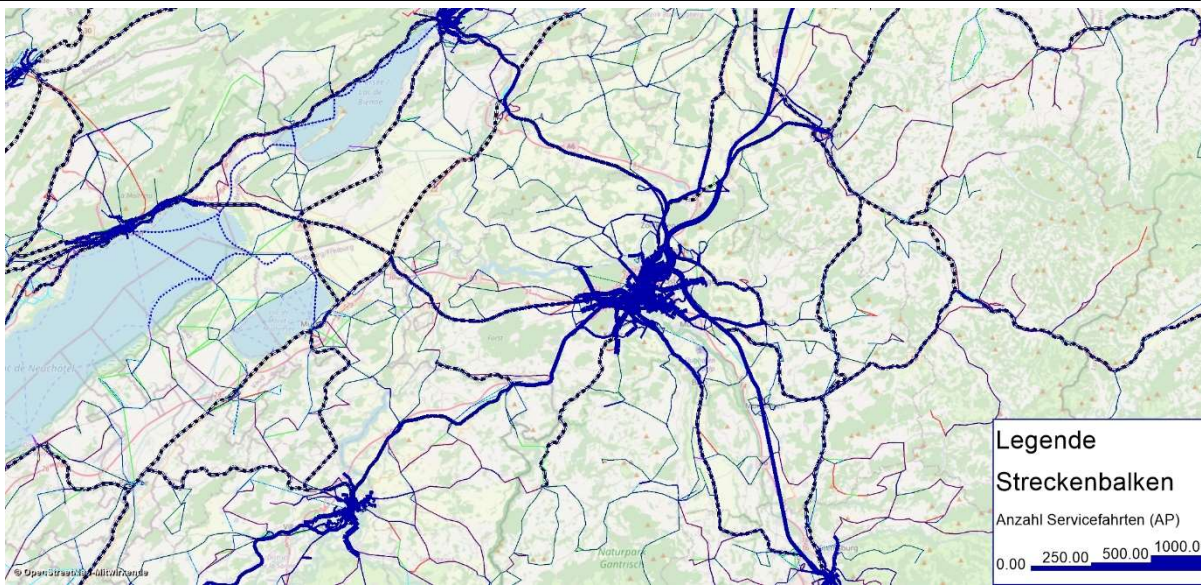
2`495 Linien

2`936 Linienrouten

41`203 Servicefahrten (Kurse)

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Übersicht.

Abbildung 1 ÖV-Netz 2019: Anzahl Kurse pro Werktag



Detaillierte Auswertungen können nach ÖV-Verkehrssystem (Bus, Tram, Fernverkehr etc.) oder über Linienauswahl (einzeln) der Betreibernamen (z.B. alle PostAuto Linien) erfolgen.

7 Nachfragemodell 2019

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

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

Im Personenverkehr werden alle vier Verkehrsmittel modelliert: Personenwagen, 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 BE disaggregiert und ergänzt. Im letzten Schritt werden diese Matrizen anhand der SGV Zählzahlen im Modellgebiet kalibriert. Durch die Umlagen 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 BE (Aktualisierung 2016) 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 Tabelle 1). 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 Werktagsverkehr (DWV);
- Ableitung der Quelle-Ziel-Matrizen für die Spitzenstundenmodelle (MSP und 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 Werktagsverkehr (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 hier verwendete Methodik für die Verkehrserzeugung basiert auf dem EVA-Modell von Lohse (Schnabel und Lohse, 1997), welches in der Software EVA implementiert ist. Mit diesem Software-Tool werden die ersten drei Modellstufen (Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung) berechnet. Es wird versucht, reales Verkehrsverhalten von Menschen in Verkehrssystemen weitgehend adäquat nachzubilden. Der Modellansatz gehört zu den disaggregierten, makroskopischen Gruppenverhaltens- und Verkehrsstrommodellen. Die Modellierung des Verkehrsgeschehens erfolgt separat für jede verhaltenshomogene Personengruppe sowie jeden Fahrtzweck. Die konkreten Bedingungen des Raum-Zeit-Systems werden eingehalten. Die Abbildung des zu erwartenden mittleren Verkehrsgeschehens geschieht durch speziell abgeleitete und begründete mathematische Algorithmen sowie Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der Aktivitäten der verhaltenshomogenen Personengruppen mit ihren typischen Merkmalen.

In diesem Projekt wird das Verkehrsaufkommen für einen durchschnittlichen Werktag berechnet. Die Auswahl der betrachteten Strukturgrössen steht in engem Zusammenhang mit der Einteilung in Quelle-Ziel-Gruppen. Wesentlich ist eine Zerlegung der Menge aller Verkehrsteilnehmer in weitgehend elementare und homogene Schichten (Personengruppen bzw. Bezugspersonengruppen). Jeder Quelle-Ziel-Gruppe sind eine oder mehrere Personengruppen als „massgebende Bezugspersonengruppen“ zugeordnet.

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

- Typ 1: Beginn (Quelle) der Ortsveränderung am "Heimatstandort";

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

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

Grundlage für die Einteilung der Quelle-Ziel-Gruppen bilden die Aktivitäten, die jeweils am Quell- oder Zielort von den Personen durchgeführt werden und die mit der betrachteten Ortsveränderung im Zusammenhang stehen. Aus der Kombination dieser Aktivitäten und teilweiser Aggregation ergeben sich insgesamt 17 Quelle-Ziel-Gruppen, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Der Gruppen-Typ jeder Quelle-Ziel-Gruppe ist in Klammern aufgeführt. Für jede Quelle-Ziel-Gruppe wurden entsprechende Strukturdaten und Erzeugungsraten definiert.

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

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

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

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

- einen räumlich-funktionellen Bezug der Quellen und Ziele der Ortsveränderungen zur Flächennutzung;
- einen soziodemographischen Bezug zu wesentlichen Personengruppen;
- einen verkehrssoziologischen Bezug zum Verkehrsgeschehen (Mobilitätsanforderungen).

So ist für die Quelle-Ziel-Gruppen Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) allein die Bezugspersonengruppe „Erwerbstätige“, die allerdings in weitere Untergruppen zerlegt werden kann, massgebend, während für die Quelle-Ziel-Gruppen Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) im Allgemeinen alle Personengruppen berücksichtigt werden können. Die Grössen aller massgebenden Personengruppen in den einzelnen Zonen bilden einen Teil der Strukturgrössen, welche für die Betrachtung einer bestimmten Quelle-Ziel-Gruppe wesentlich sind. Weitere massgebende Strukturgrössen werden durch die Aktivitäten an den Quellen oder Zielen festgelegt. Die Zuordnung der massgebenden Strukturgrössen zu den einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen ist in Tabelle 2 dargestellt. Massgebend sind diejenigen Strukturgrössen, welche die von Personen durchgeführten Ortsveränderungen verursachen. Somit sind die in Kapitel 5 beschriebenen Strukturdaten für die nachfolgend erläuterte Berechnung der Erzeugungsraten von grosser Bedeutung.

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

QZG	Quelle-Ziel-Gruppe	Strukturgrösse (SQ _i) der Quell-Verkehrsmodellzone Q _i	Strukturgrösse (SZ _j) der Ziel-Verkehrsmodellzone Z _j
WA	Wohnen – Arbeit	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WB	Wohnen – Ausbildung	Auszubildende	Ausbildungsplätze
WE	Wohnen – Einkauf	Einwohner nach Altersklasse	Verkaufsfläche
WN	Wohnen – Nutzfahrt	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WS	Wohnen – Sonstiges	Einwohner nach Altersklasse	Kulturangebot, Freizeiteinrichtungen, Spitäler, Gastronomie, Einwohner
AW	Arbeit – Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
BW	Ausbildung – Wohnen	Ausbildungsplätze	Auszubildende
EW	Einkauf – Wohnen	Verkaufsfläche	Einwohner nach Altersklasse
NW	Nutzfahrt – Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
SW	Sonstiges – Wohnen	Kulturangebot, Freizeiteinrichtungen, Spitäler, Gastronomie, Einwohner	Einwohner nach Altersklasse
AS	Arbeit – Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen
SA	Sonstiges – Arbeit	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Arbeitsplätze
ES	Einkauf – Sonstiges	Verkaufsfläche	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen
SE	Sonstiges – Einkauf	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Verkaufsfläche
NS	Nutzfahrt – Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen
SN	Sonstiges – Nutzfahrt	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Arbeitsplätze
SS	Sonstiges – Sonstiges	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen

Die Erzeugungsraten (oft auch spezifische Verkehrsaufkommen genannt) werden für jede Quelle-Ziel-Gruppe und jede massgebende Strukturgrösse festgelegt bzw. geschätzt. Erzeugungsraten sind definiert als die Anzahl an Ortsveränderungen pro Tag und Einheit der Strukturgrösse. Sie werden berechnet aus der Anzahl an Wegen, die in einer Quelle-Ziel-Gruppe durch die Strukturgrössen verursacht werden, geteilt durch die Zahl der massgebenden Strukturgrössen der Quelle-Ziel-Gruppe. Dabei müssen die Erzeugungsraten so kalibriert werden, dass

die Summe der Quellaufkommen gleich der Summe der Zielaufkommen ist. Weiterhin muss zwischen den Quell- und Zielverkehrsaufkommen von zwei gegensätzlichen Quelle-Ziel-Gruppen, z.B. WA und AW, vollständige Konsistenz erreicht werden. Das bedeutet in diesem Beispiel, dass sichergestellt werden muss, dass das Quellaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppe WA gleich dem Zielaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppe AW ist.

Für das Quellaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 1 und das Zielaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 2 werden die Erzeugungsraten aus der Aktualisierung des GVM BE 2016 verwendet, welche in jenem Projekt aus dem MZMV 2015 abgeleitet worden waren.

Die resultierenden Erzeugungsraten sind, geordnet nach Quelle-Ziel-Gruppen, in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)

QZG	Erwerbs- tätige	Auszubil- dende	Einwohner < 15 J.	Einwohner 15 – 24 J.	Einwohner 25 – 55 J.	Einwohner 56 – 80 J.	Einwohner > 80 J.
WA, AW	0.57						
WB, BW		0.97					
WE, EW			0.15	0.16	0.34	0.43	0.40
WN, NW	0.06						
WS, SW			0.49	0.43	0.47	0.44	0.30
AS, SA	0.24						
ES, SE			0.04	0.07	0.10	0.14	0.11
NS, SN	0.04						
SS			0.08	0.11	0.09	0.09	0.05

Die Erzeugungsraten besagen, dass gemäss MZMV 2015 durchschnittlich:

- 1.58 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 1.77 Ausbildungswege pro Auszubildendem und Werktag;
- 0.23 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 0.77 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag;
- 1.10 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag

zurückgelegt werden. Insgesamt werden durchschnittlich 3.09 Wege pro Werktag und Einwohner (Binnenwege d.h. Wege innerhalb Modellperimeter) durchgeführt.

Um Verhaltensunterschiede aufgrund von Raumcharakteristiken genauer abbilden zu können, wurden die Erzeugungsraten der einzelnen Zonen zusätzlich in Abhängigkeit von der Raumdichte gewichtet. Die Raumdichte berechnet sich aus dem Verhältnis der Summe der Einwohner und Arbeitsplätze gegenüber der Zonenfläche. Die dicht besiedelten Zonen ($(\text{Einwohner} + \text{Arbeitsplätze}) / \text{Fläche} > 6$) erhalten damit eine höhere Erzeugungsrate. Damit wird städtischen Zonen eine höhere Mobilitätsrate zugewiesen als ländlichen Zonen, was durch Verhaltenshebungen bestätigt wird. In der Summe bleiben die Mittelwerte des spezifischen Verkehrsaufkommens aber unverändert.

Die Differenzierung nach Quelle-Ziel-Gruppen und das beschriebene Vorgehen ermöglichen im Rahmen von Verkehrsprognosen die Berechnung der Auswirkungen von Angebots- und Verhaltensänderungen unter Berücksich-

tigung von Veränderungen aller hier einbezogenen Einflussgrössen. Die Veränderungen von Siedlungs- und soziodemographischen Charakteristiken und die sich daraus ergebenden Nachfrageveränderungen, können damit im Erzeugungsmodell vollständig berücksichtigt werden.

Im nächsten Schritt werden für jede Quelle-Ziel-Gruppe aus den massgebenden Strukturdaten und den Erzeugungsraten die Quell- und Zielverkehrsaufkommen berechnet. Dies erfolgt für jede Quelle-Ziel-Gruppe c stufenweise. Zunächst wird die Anzahl der durch die Bezugspersonen r der Verkehrsbezirke verursachten Ortsveränderungen bzw. das Quellverkehrsaufkommen (Verkehrsproduktion) nach folgenden Formeln ermittelt:

QZG c des Typs 1 mit quellseitig heimgebundenen Ortsveränderungen:

$$Q_e^c = \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c \quad V = \sum_e Q_e^c = \sum_e \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c$$

QZG c des Typs 2 mit zieleseitig heimgebundenen Ortsveränderungen:

$$Z_e^c = \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c \quad V = \sum_e Z_e^c = \sum_e \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c$$

QZG c des Typs 3 mit nicht heimgebundenen Ortsveränderungen:

$$V^c = \sum_e \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c$$

Q	Quellverkehrsaufkommen
Z	Zielverkehrsaufkommen
V	Gesamtverkehrsaufkommen
c	Index für Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)
e	Index für Verkehrsbezirke
r	Index für Personengruppen
SV	Spezifisches Verkehrsaufkommen (Mobilitätsrate oder Erzeugungsraten) der Bezugsperson BP für die betrachtete QZG c in [OV/(Pers., Zeiteinheit)]
BP	Anzahl der Personen in der massgebenden Bezugspersonengruppe p
u	Binnenverkehrsanteil (Faktor, der angibt, wie hoch der Anteil der Ortsveränderungen ist, welche das betrachtete Untersuchungsgebiet verlassen)

Im nächsten Schritt wird das Gesamtverkehrsaufkommen V auf die nicht heimgebundenen Zielverkehrsaufkommen und/oder auf die nicht heimgebundenen Quellverkehrsaufkommen der Verkehrsbezirke „konkurrierend“ je nach „Verkehrattraktion“ aufgeteilt. Dafür wird zunächst das Attraktions-/Strukturpotential SP_e des jeweiligen Verkehrsbezirkes e bestimmt und anschliessend das Verkehrsaufkommen für harte und weiche Randsummenbedingungen (RSB) ermittelt.

$$SP_e^c = \sum_s ER_{es}^c \cdot SG_{es}^c \cdot v_{es}^c \quad SP_{max}_e^c = \sum_s \dot{U}_{es}^c \cdot ER_{es}^c \cdot SG_{es}^c \cdot v_{es}^c$$

ER	Erzeugungsraten pro Strukturgrösse
SG	Strukturgrösse
V	Gesamtverkehrsaufkommen

Bei harten Randsummenbedingungen ergibt sich das Verkehrsaufkommen direkt aus den Strukturpotentialen. Die Lagegunst spielt für die Bestimmung der Verkehrsaufkommen keine Rolle. Dies trifft für diejenigen Quelle-Ziel-Gruppen zu, bei denen „Pflichtaktivitäten“ realisiert werden (Arbeit, Schule etc.).

Bei weichen Randsummenbedingungen nimmt die konkurrierende Lagegunst zusätzlich Einfluss auf die Grösse der Verkehrsaufkommen. Allerdings können die maximal möglichen Verkehrsaufkommensmengen – trotz sehr

guter Erreichbarkeit – nicht überschritten werden (z.B. beim Einkaufsverkehr bei den Einkaufsstätten). Die „weichen“ Verkehrsaufkommen können erst mittels des Modellschritts Verkehrsverteilung/Verkehrsaufteilung bestimmt werden.

Offene Randsummenbedingungen realisieren sich ebenfalls erst im Zusammenhang mit der Verkehrsverteilung/Verkehrsaufteilung. Die Verkehrsaufkommen sind von der gemeinsamen Wirkung der Attraktionspotentiale und der Lagegunst abhängig. Restriktive Randsummenbedingungen wirken nicht (= „offene“ RSB). Die Bestimmung der Attraktionspotentiale entspricht der Vorgehensweise bei harten Randsummenbedingungen.

Das erzeugte Verkehrsaufkommen gilt zunächst allgemein für alle Verkehrsarten gemeinsam, wenn nicht a priori eine Einschränkung vorgenommen wurde. Wie gross die einzelnen Aufkommen der Verkehrsarten der Verkehrsbezirke sind, ergibt sich erst im Modellschritt Verkehrsverteilung/Verkehrsaufteilung aus den konkurrierenden Angeboten der Verkehrsarten.

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 4 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass in den Zonen innerhalb des Modellperimeters an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 5.42 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spezifisches Verkehrsaufkommen von 3.09 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 4 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	1.41	25.9	25.9	±0.0%
Ausbildung	0.53	9.8	9.7	+0.1%
Einkauf	1.36	25.0	25.0	±0.0%
Nutzfahrt	0.20	3.8	3.9	-0.1%
Freizeit	1.92	35.5	35.5	±0.0%
Total	5.42	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 Aktualisierung des GVM BE 2016 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.

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

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 5 dargestellt.

	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	Affinität Stadt Bern	Affinität Stadt Bern
	Parksuchzeit	Affinität Stadt Bern		
	Parkkosten Flughafen			
	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. Ausnahmen sind die Vorauswahl des Verbindungssets und die Bewertung der Zugangs- und Gehzeiten in der Widerstandsfunktion. Da bei der Berechnung der Kenngrössen die prozentualen Anbindungsanteile in VISUM nicht berücksichtigt werden konnten, war eine höhere Bewertung der Zugangs- und Gehzeiten sinnvoll, um die Nachfrage über mehrere Anbindungen zu verteilen. Die verwendeten Einstellungen sind in Abbildung 2 dargestellt. Weiterhin wird für die Berechnung der MIV-Reisezeit, im Gegensatz zur Umlegung, bei den Anbindungen eine konstante CR-Funktion angenommen.

Abbildung 2 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	<input type="checkbox"/>	1.00
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	* 1.0	<input type="checkbox"/>	1.00
+	2.10	Zugangszeit		<input type="checkbox"/>	1.00
+	2.10	Abgangszeit		<input type="checkbox"/>	1.00
+	2.10	Gehzeit		<input type="checkbox"/>	1.00
+	1.20	Startwartezeit	Parameter	<input type="checkbox"/>	1.00
+	0.00	Umsteigewartezeit	Parameter	<input type="checkbox"/>	1.00
+	6min	Umsteigehäufigkeit	* Formel	<input type="checkbox"/>	1.00
+	0min	Anzahl Betreiberwechs:	Parameter	<input type="checkbox"/>	1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstan	Parameter	<input type="checkbox"/>	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 2016 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-

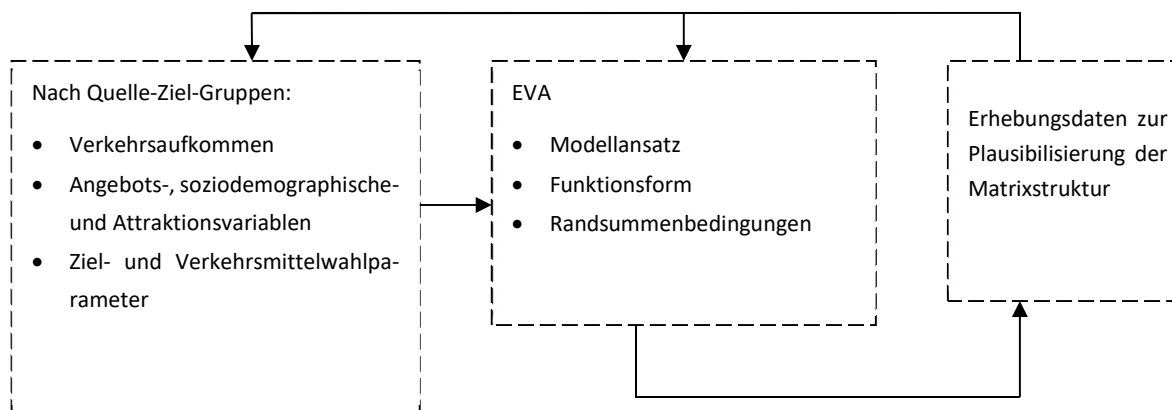
lineare Gleichungssysteme (bei harten Randsummenbedingungen) oder Ungleichungen (bei weichen Randsummenbedingungen), die mit geeigneten Iterationsverfahren zu lösen sind. Die Berechnung der Verkehrsströme wird für alle 17 Quelle-Ziel-Gruppen und die vier Verkehrsmittel durchgeführt. Damit werden insgesamt 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 6).

Tabelle 6 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 3 dargestellt. Die Kalibration der Matrizen auf die Querschnittszählungen erfolgt erst nach der Umlegung, wenn die Matrixstruktur plausibel und geeicht ist.

Abbildung 3 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 BE 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 7 zeigt die Eckwerte der berechneten inter- und intrazonalen Matrizen im Binnenverkehr für alle vier Verkehrsmittel und nach Fahrtzwecken geordnet.

Tabelle 7 Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen

[Mio. Wege / Werktag]					
Alle Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0,79	0,24	0,14	0,23	1,41
Ausbildung	0,06	0,14	0,10	0,23	0,53
Einkauf	0,71	0,12	0,10	0,42	1,36
Nutzfahrt	0,17	0,01	0,01	0,01	0,20
Freizeit	1,07	0,19	0,17	0,50	1,92
Summe	2,80	0,71	0,52	1,40	5,42
Interzonale Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0,74	0,24	0,12	0,10	1,19
Ausbildung	0,06	0,14	0,08	0,09	0,36
Einkauf	0,64	0,12	0,09	0,19	1,03
Nutzfahrt	0,16	0,01	0,01	0,01	0,19
Freizeit	0,99	0,18	0,14	0,25	1,56
Summe	2,59	0,69	0,42	0,63	4,34

Von den ca. 4.3 Mio. interzonalen Wegen werden ca. 60% mit dem MIV, 16% mit dem ÖV, 10% mit dem Velo und 15% zu Fuss zurückgelegt. Wird der Modal Split nach Fahrtzwecken betrachtet, ist der ÖV-Anteil bei Pendler- (20%) 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 Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, interzonale Wege [%]

	MIV		ÖV		Velo		Fuss	
	EVA	MZMV	EVA	MZMV	EVA	MZMV	EVA	MZMV
Arbeit	62.2	61.3	19.8	20.6	9.7	10.5	8.3	7.6
Ausbildung	17.0	16.0	37.8	38.4	21.8	19.8	23.4	25.9
Einkauf	83.1	82.2	7.6	8.6	4.4	4.9	4.9	4.3
Nutzfahrt	61.8	60.2	11.2	12.3	8.3	7.2	18.7	20.2
Freizeit	63.6	62.8	11.8	13.2	8.7	8.4	15.9	15.5
Alle Fahrtzwecke	59.7	58.8	15.9	16.9	9.8	9.5	14.6	14.7

Die ermittelten Personenkilometer (Pkm) und die mittleren Reiseweiten nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel werden in den folgenden zwei Tabellen präsentiert. Es ist zu sehen, dass der grösste Teil der Verkehrsleistung im MIV und ÖV für die betrachtete Zonierung im interzonalen Verkehr stattfindet (Tabelle 9). Wie erwartet sind die Wege für den Fahrtzweck Nutzfahrten sowohl im MIV als auch im ÖV aufgrund der Geschäftsfahrten deutlich

länger als für andere Fahrtzwecke. Durch die sehr kleinen Zonen und damit auch die niedrigen Anteile an intrazonalem Verkehr sind die Unterschiede zwischen den mittleren Reiseweiten aller Wege und denen der interzonalen Wege sehr klein. Es ist zu beachten, dass wegen der fehlenden empirischen Datengrundlage eine genauere Eichung des intrazonalen Verkehrs nicht möglich ist. Eine Korrektur der hier berechneten Anteile im MIV und ÖV ist aber im Rahmen der Kalibration auf die Querschnittszählungen möglich.

Aus der Analyse der Reiseweiten der einzelnen Fahrtzwecke lassen sich teilweise die Gesetzmässigkeiten des Zielwahlverhaltens erkennen (siehe Tabelle 10). Wie erwartet werden vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt. Diese Wege haben einen höheren Anteil an den LV-Weegen sowie am intrazonalen Verkehr. Dies wird unter anderem durch die räumliche Verteilung der Attraktionsgrössen (Ausbildungsplätze und Einkaufszentren bzw. Einkaufsstrassen) beeinflusst.

Tabelle 9 Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel

[Mio Pkm]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Alle Wege					
Arbeit	9,44	3,88	0,52	0,32	14,16
Ausbildung	0,74	2,26	0,24	0,40	3,64
Einkauf	2,51	0,25	0,02	0,02	2,81
Nutzfahrt	5,57	0,94	0,25	0,58	7,34
Freizeit	11,29	2,75	0,50	0,82	15,36
Total	29,54	10,09	1,53	2,15	43,31
Interzonale Wege					
Arbeit	9,32	3,88	0,46	0,11	13,76
Ausbildung	0,74	2,26	0,19	0,10	3,29
Einkauf	2,49	0,25	0,02	0,01	2,78
Nutzfahrt	5,43	0,94	0,22	0,22	6,80
Freizeit	11,10	2,74	0,43	0,33	14,60
Total	29,07	10,07	1,32	0,78	41,23

Tabelle 10 Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015

[km]	MIV		ÖV		Velo		Fuss	
	EVA	MZMV	EVA	MZMV	EVA	MZMV	EVA	MZMV
Arbeit	12,5	12,4	16,4	17,3	4,0	3,9	1,1	1,0
Ausbildung	11,9	9,6	16,4	14,4	2,4	2,4	1,2	1,1
Einkauf	8,5	8,2	8,1	8,8	2,5	2,5	1,2	1,0
Nutzfahrt	16,0	16,2	17,6	18,6	2,7	2,8	1,5	1,7
Freizeit	11,2	10,8	14,9	15,9	3,2	3,4	1,3	1,3
Total	11,2	10,9	14,6	14,9	3,1	3,2	1,2	1,1

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 4 bis Abbildung 9) 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 4 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke

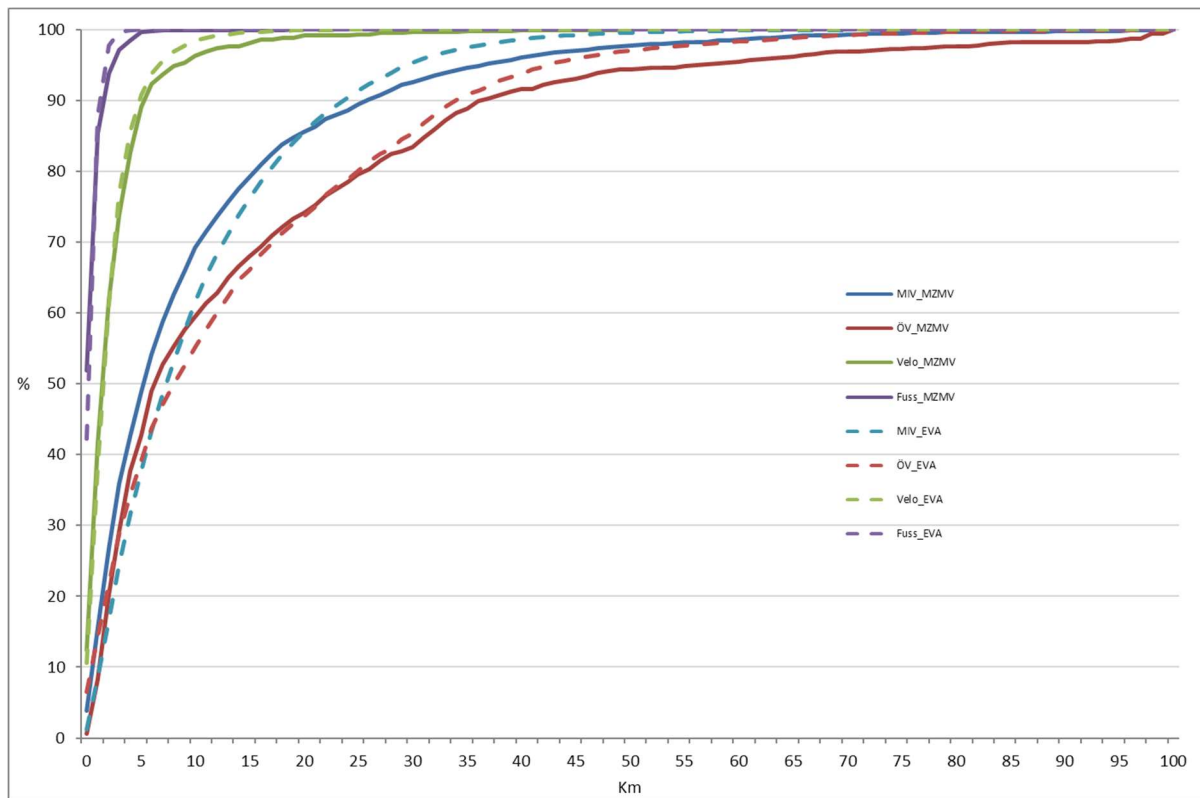


Abbildung 5 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Arbeit

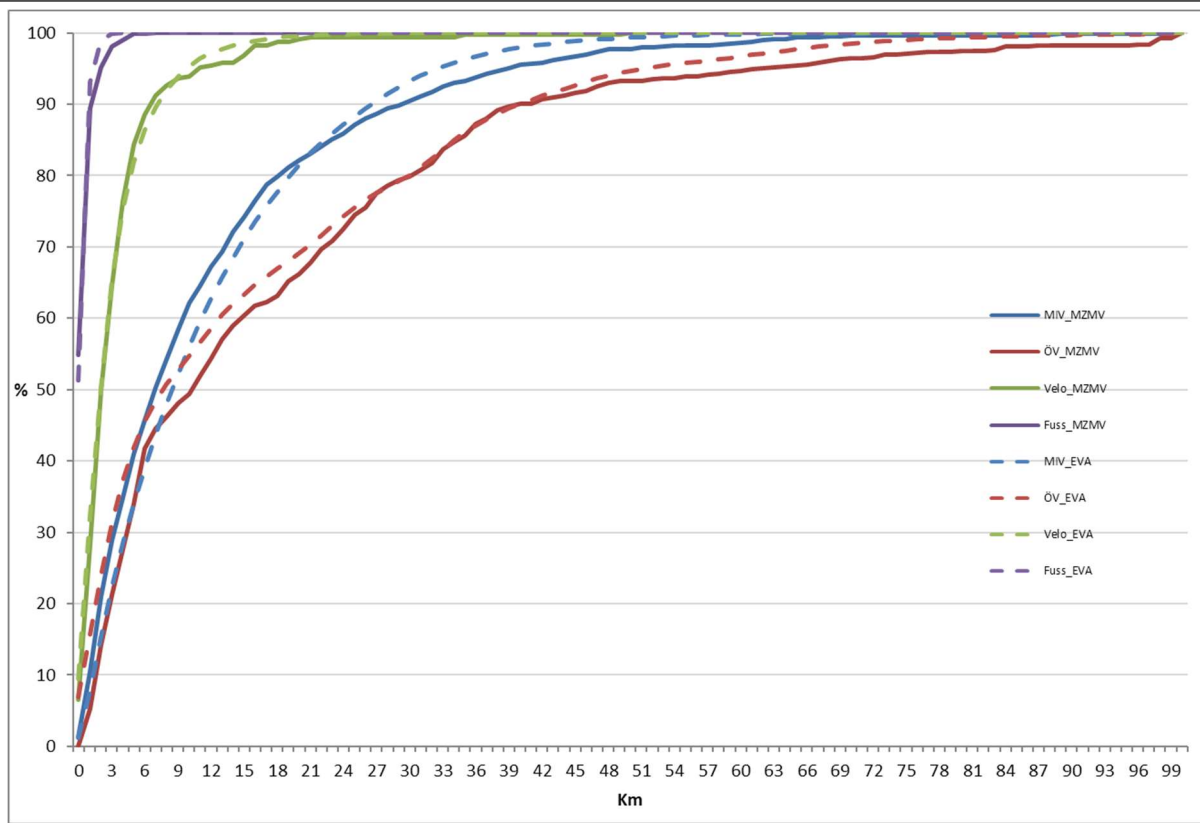


Abbildung 6 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Ausbildung

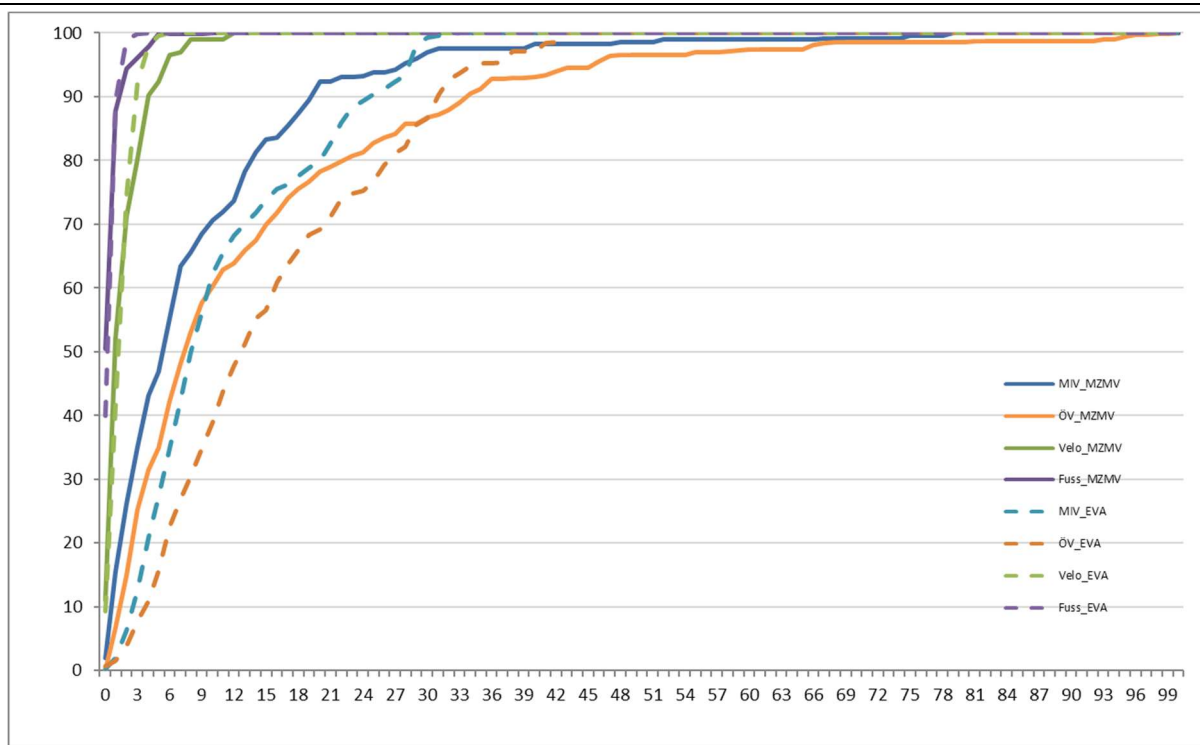


Abbildung 7 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Einkauf

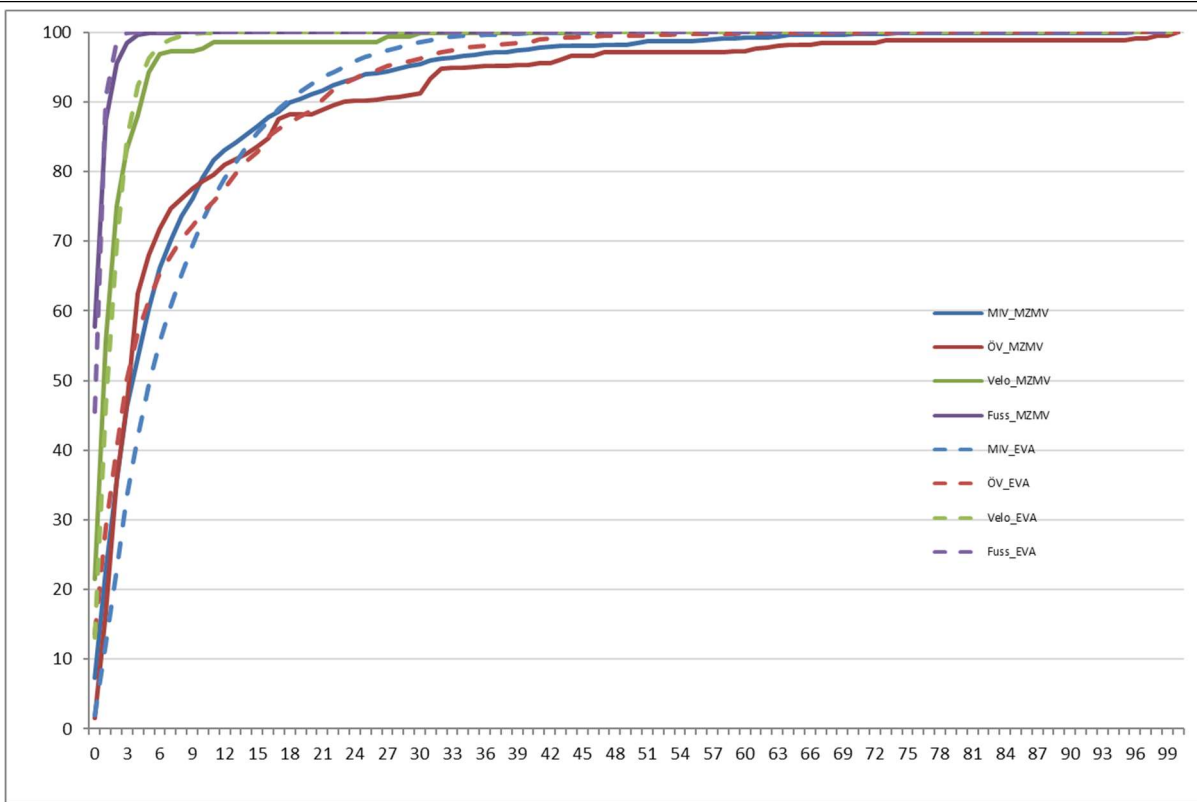


Abbildung 8 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Nutzfahrt

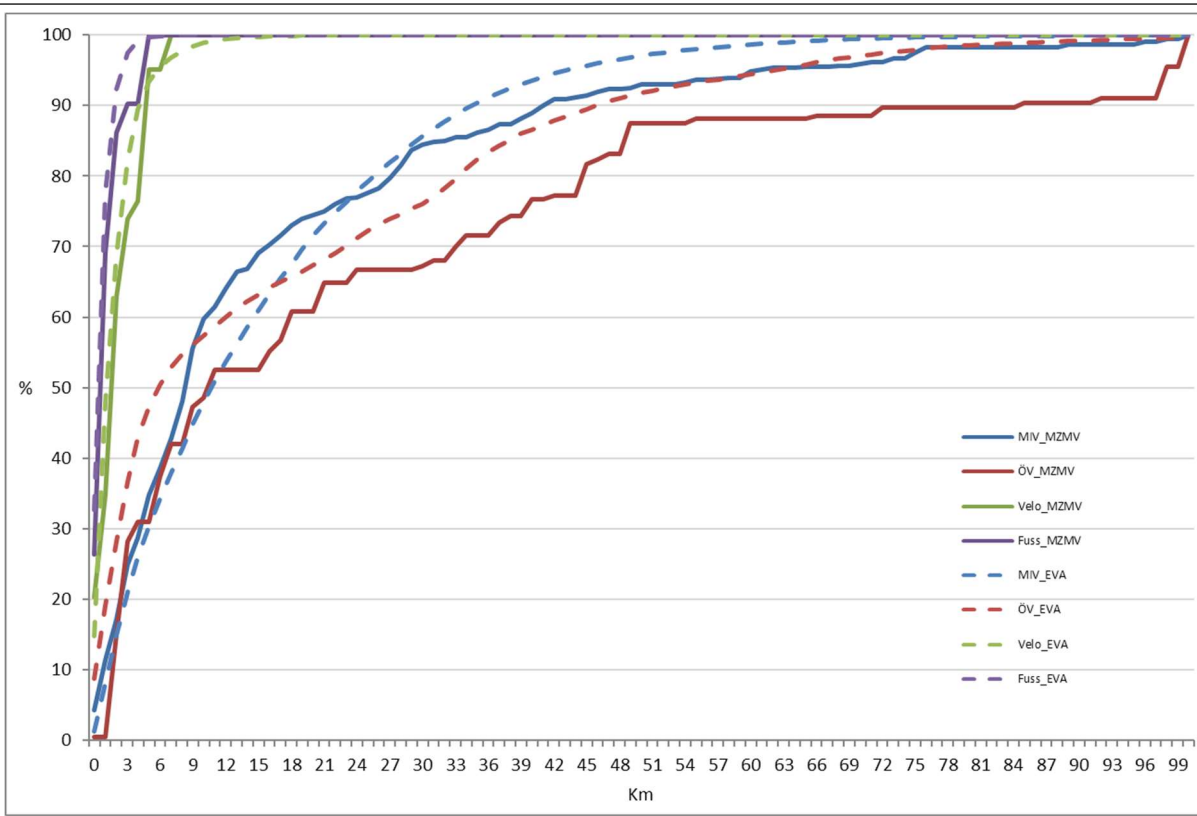
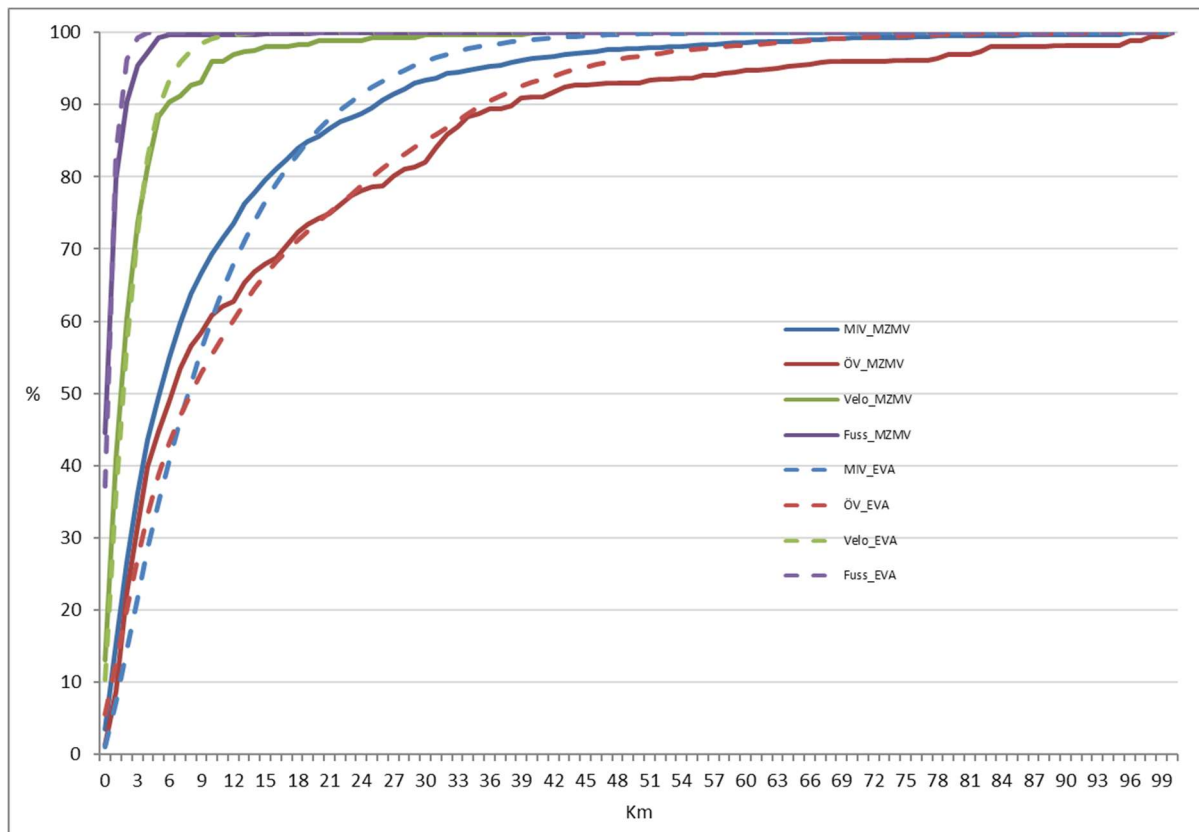


Abbildung 9 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Freizeit



Neben der Kalibrierung der Modal-Split-(MS)-Anteile für den Modellperimeter des GVM Bern wurde im Rahmen dieser Aktualisierung auch eine separate Kalibrierung der MS-Anteile für die Stadt Bern vorgenommen. Die MS-Anteile für die Bevölkerung der Stadt Bern wurden aus dem MZMV 2015 ausgewertet und durch die Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün der Stadt Bern zur Verfügung gestellt. Hier wurde festgestellt, dass die erhobenen MS-Werte für die Stadt Bern starke Unterschiede gegenüber den MS-Anteilen des gesamten Modellperimeters ausweisen und eine Nachkalibrierung notwendig ist. Um die MS-Anteile im Nachfragemodell des GVM Bern auf die MZMV 2015-Werte zu kalibrieren, wurden zusätzliche Affinitätsfaktoren für die Verkehrsmittel ÖV, Fuss und Velo kalibriert. Die Festlegung der Affinitätsfaktoren basiert auf den berechneten Differenzen zwischen den MS-Anteilen aus dem Nachfragemodell und dem MZMV 2015 für die Stadt Bern (die aus dem Nachfragemodell berechneten MIV-Anteil waren höher und die ÖV-, Fuss- und Velo-Anteile tiefer als im MZMV 2015). Durch einen iterativen Kalibrationsprozess wurden die zusätzlichen Affinitätsparameter für die Verkehrsmittel ÖV (Parameter=1.6), Fuss (Parameter=1.8) und Velo (Parameter=1.2) ermittelt. Mit dem Nachfragemodell wurden anschliessend folgende MS-Anteile für Stadt Bern ermittelt:

- MIV 22.1% (MZMV 2015 = 22.0%)
- ÖV 32.2% (MZMV 2015 = 31.6%)
- Velo 13.0% (MZMV 2015 = 14.8%)
- Fuss 32.7% (MZMV 2015 = 30.3%)
- Übrige nicht vorhanden (MZMV = 1.3%)

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. Bei der Auswahl der Umlegungsmethode im MIV wurde auch das stochastische Umlegungsverfahren getestet. Da die Umlegungen mit diesem Verfahren in VISUM eine sehr lange Rechenzeit benötigen, wird auf dessen Anwendung verzichtet, auch wenn es für die städtischen MIV-Netze ein besser geeignetes Umlegungsverfahren darstellt. 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 Lohse-Ansatz berechnet:

$$P_j = \frac{e^{-\left[\beta \left(\frac{W_j}{W^*} - 1\right)\right]^2}}{\sum_i^N e^{-\left[\beta \left(\frac{W_i}{W^*} - 1\right)\right]^2}}$$

Hierbei ist $W^* = \min_j(W_j)$ der minimale auftretende Widerstand und β ein Parameter zur Streuung der Widerstandsempfindlichkeit.

Da das hier erstellte Modell sowohl kürzere (städtische) als auch längere Wege (Regional- und Fernverkehr) beinhaltet, wurde der Lohse Ansatz als die am besten geeignete Methode gewählt. Dieser Ansatz stellt eine Alternative zum Logit-Ansatz (Berechnung der Widerstandsdifferenzen, besser geeignet für Modelle mit kürzeren d.h. städtischen Wegen) und zum Kirchhoff-Ansatz (Berechnung der Widerstandsverhältnisse, besser geeignet für Modelle mit längeren Wegen d.h. für Regional- und Fernverkehrsmodelle) dar. Der Widerstand einer Verbindung wird auf den minimalen Widerstand aller Verbindungen der Verkehrsbeziehung gesetzt, d.h., es werden die relativen Abweichungen vom Optimum gemessen. Aus den Analysen der Umlegungsergebnisse, der Verteilung der Verkehrsströme auf die Verbindungen und den Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen, wurde bei früheren Arbeiten der β -Parameter auf $\beta=4$ kalibriert und hier übernommen.

Zusätzlich zu den in Abbildung 10 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 10 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	<input type="checkbox"/> 1.00
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	*	1.0	<input type="checkbox"/> 1.00
+	2.10	Zugangszeit			<input type="checkbox"/> 1.00
+	2.10	Abgangszeit			<input type="checkbox"/> 1.00
+	2.10	Gehzeit			<input type="checkbox"/> 1.00
+	1.20	Startwartezeit	Parameter		<input type="checkbox"/> 1.00
+	0.92	Umsteigewartezeit	Parameter		<input type="checkbox"/> 1.00
+	6min	Umsteigehäufigkeit	*	Formel	<input type="checkbox"/> 1.00
+	0min	Anzahl Betreiberwechs:	Parameter		<input type="checkbox"/> 1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstan	Parameter		<input type="checkbox"/> 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]			<input type="checkbox"/> 1.00
+	0.00	Fahrpreis			<input type="checkbox"/> 1.00
+	1.00	DeltaT(früh) [min]			<input type="checkbox"/> 1.00
+	1.00	DeltaT(spät) [min]			<input type="checkbox"/> 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 auf Gemeinden aggregiert und im GVM BE 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 BE 2016.

Um bereits bei der Aktualisierung des Modellzustandes 2016 berücksichtigte Korrekturen auch im hier vorliegenden Modellzustand 2019 einzubeziehen, werden die Quelle-Ziel-Matrizen zudem wie folgt korrigiert:

$$QZ_{2019} = QZ_{2019,EVA} + (QZ_{2016,kalibriert} - QZ_{2016,VISEVA})$$

Es wird also die Differenz zwischen dem kalibrierten und dem unkalibrierten Zustand 2016 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 11 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 12 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 11 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – MIV (ohne Kalibration)

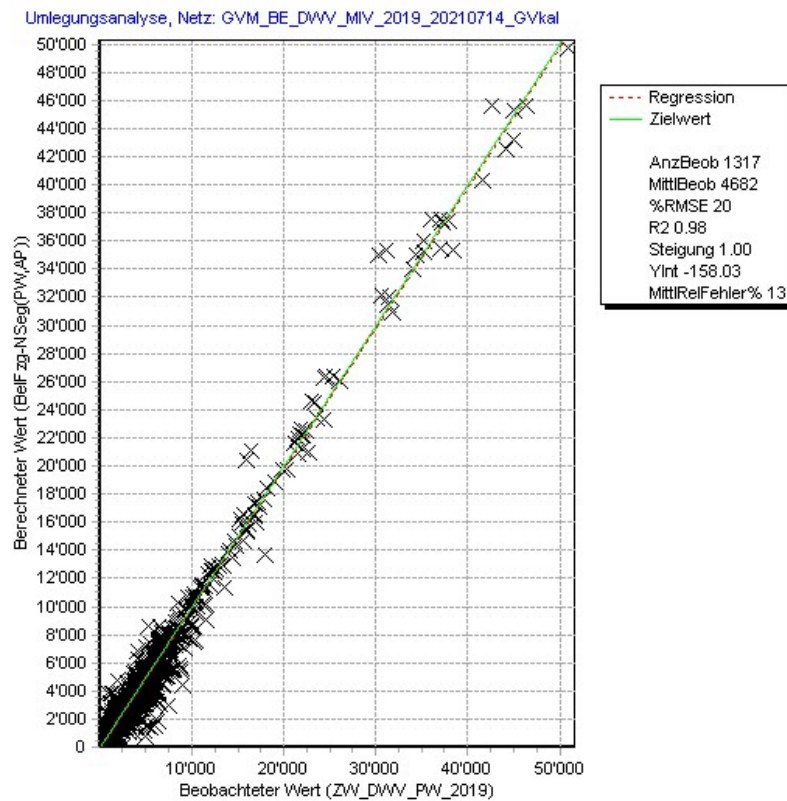
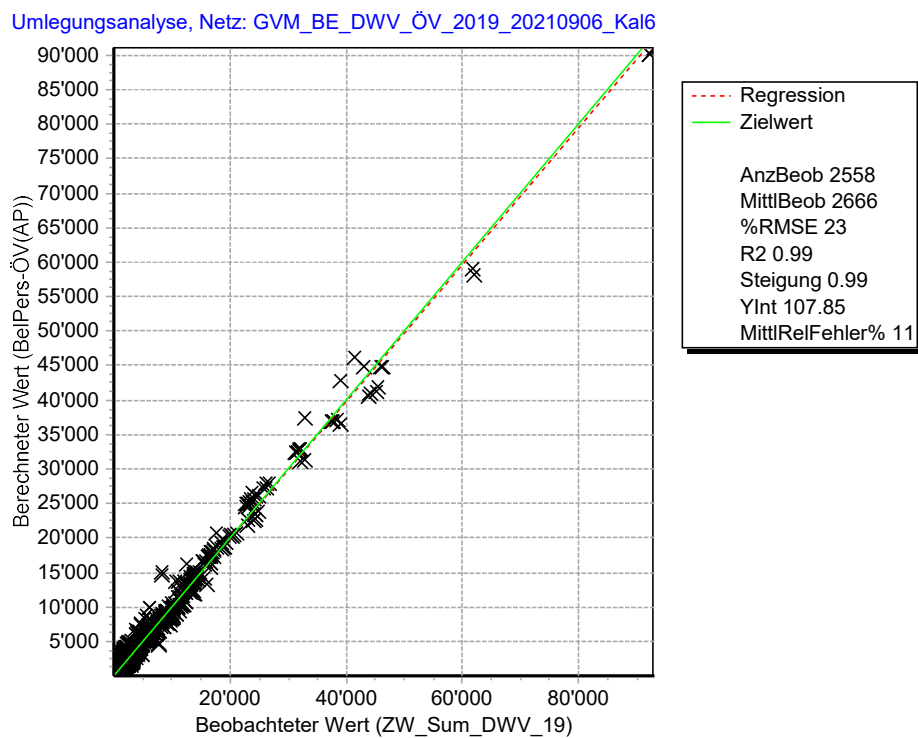


Abbildung 12 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration)



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 BE 2016
- Eichung und Kalibration der Matrizen auf die vorhandenen Zählraten

Die zugrundeliegende Methodik wurde seit der Aktualisierung des GVM BE 2016 nicht angepasst, weshalb die Tagesganglinien nicht neu berechnet werden mussten. Details zum Vorgehen, welches in der Aktualisierung 2016 angewandt wurde, können im letzten Bericht zur Aktualisierung des GVM BE 2016 eingesehen werden.

8 Modellkalibration

8.1 Zähldaten

8.1.1 MIV

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

- ASTRA;
- Tiefbauamt des Kantons Bern;
- Städte Bern, Thun, Biel;
- verschiedene Gemeinden;
- Kantone Solothurn und Luzern

Die Daten wurden soweit wie möglich nach Verkehrstyp (DWV, DTV, MSP, ASP) und nach Lastklassen aufbereitet und plausibilisiert.

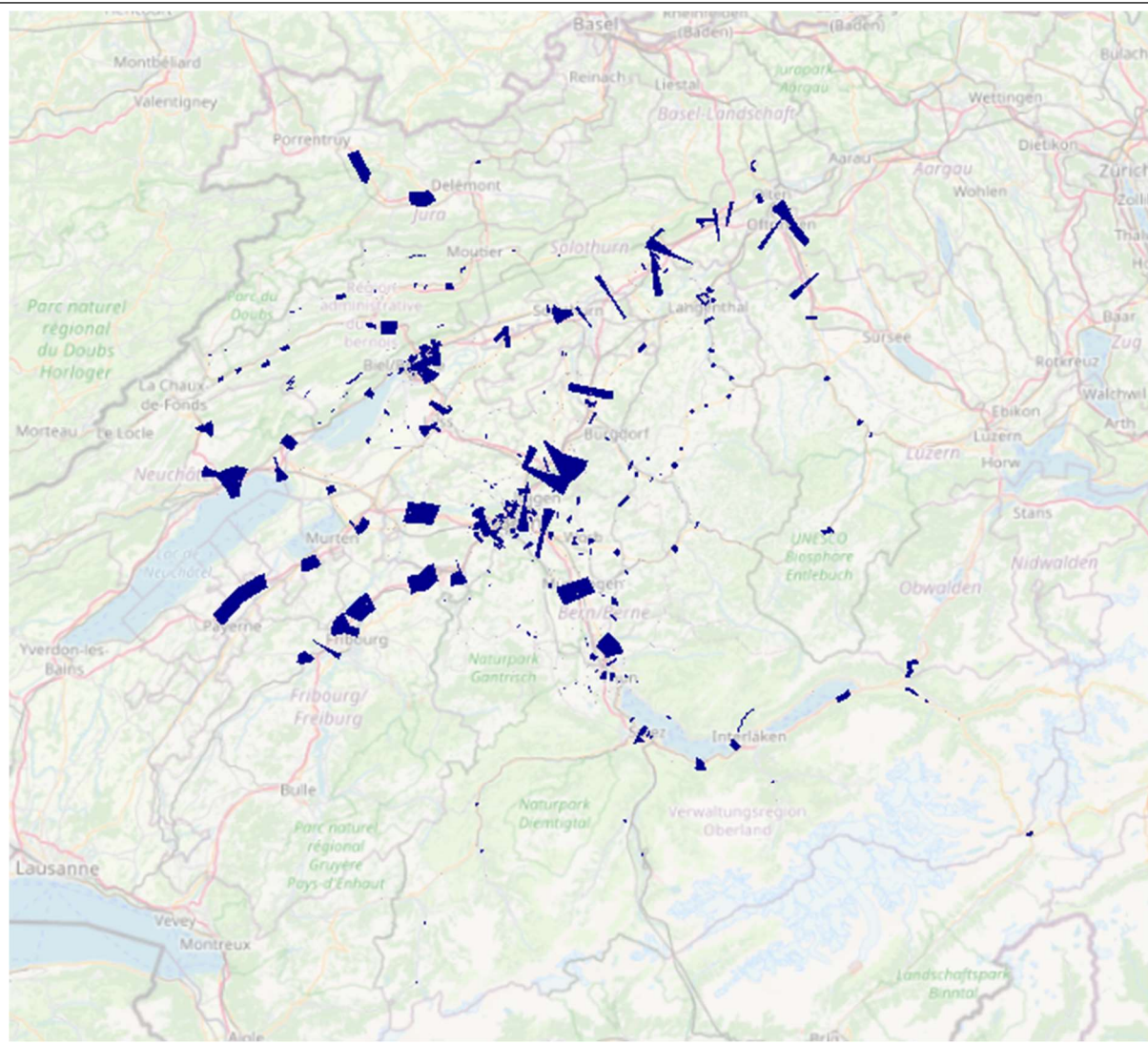
Es wurden alle Zähldaten durch den Auftragnehmer aufbereitet. Bei den ASTRA-Zählstellen, bei den kantonalen Zählstellen und bei den Zählstellen der Stadt Bern liegt ein Grossteil nach Verkehrsmitteln (PW, LI, LW und LZ) klassifiziert vor.

Die Anzahl der gezählten Tage ist bei den ASTRA-Zählstellen und bei den Zählstellen der Stadt Bern mehrheitlich über 200 Tage und somit sehr verlässlich. Beim Kanton Bern sind nur ca. 5% über 200 Tage, der Grossteil sind periodische Erhebungen von 14 Tagen.

Nach gründlicher Plausibilisierung aller Zähldaten liegen ca. 840 Querschnitte, davon etwa 620 mit Differenzierung, mit als verlässlich angesehenen MIV-Zähldaten vor. Diese sind in Abbildung 13 dargestellt. Bei 170 dieser Querschnitte wurden die Zählwerte an mehr als 200 Tagen erhoben.

Zusätzlich sind von Geschwindigkeitsmessungen mit Seitenradar ca. 100 Querschnitte vorhanden, wo der DTV-Wert erhoben wurde.

Abbildung 13 Verlässliche MIV-Zähldaten 2019

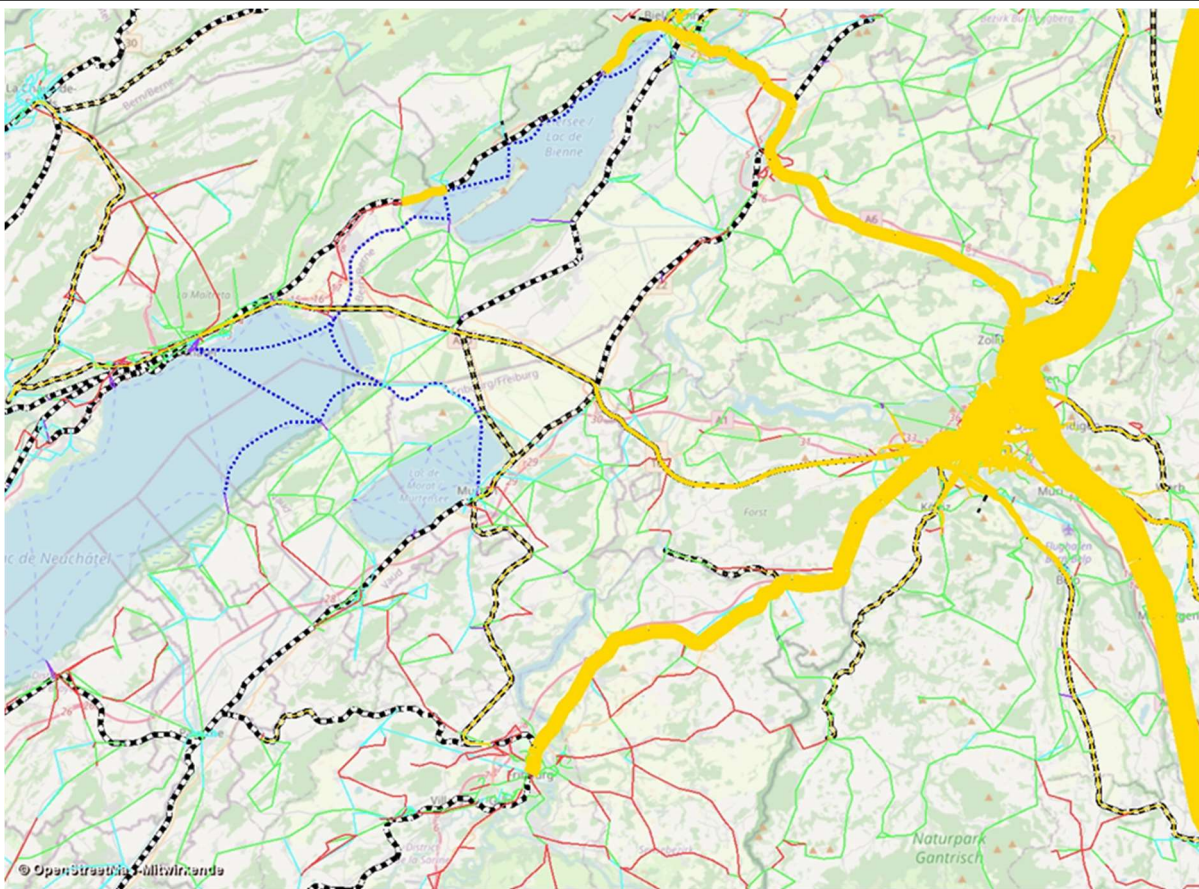


8.1.2 ÖV

Die ÖV-Zähldaten 2019 liegen teilweise als Linienwerte (BLS, BMO, RBS-Bus, RBS, STI, VBB, Zentralbahn, TPF ReR) und teilweise als Streckenwerte (SBB Fernverkehr, ASM, Busland, GWB, CJ, AFA, MIB, BOB) 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 2'670 richtungsgenaue Zähldaten vor, welche in Abbildung 14 gezeigt werden.

Abbildung 14 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 (Abbiegerverbote, 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 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.

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

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

8.2.2 Ergebnisse Eckwerte

Zur Berechnung der PW-Fahrten für das MIV-Modell wurden die in Tabelle 11 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 11 Besetzungsgrad PW nach Fahrtzweck

Fahrtzweck	Besetzungsgrad [Personen/PW]
Arbeit	1,10
Ausbildung	1,40
Einkauf	1,38
Nutzfahrt	1,22
Freizeit	1,64
Alle	1,36

Kalibriert wurde für alle Nachfragesegmente die gesamte Matrix (inkl. Aussenverkehr) ohne Unterscheidung des Fahrtzwecks. Die Eckwerte der Ausgangsmatrizen (vor der Kalibration) sowie der kalibrierten Matrizen sind in Tabelle 12 dargestellt.

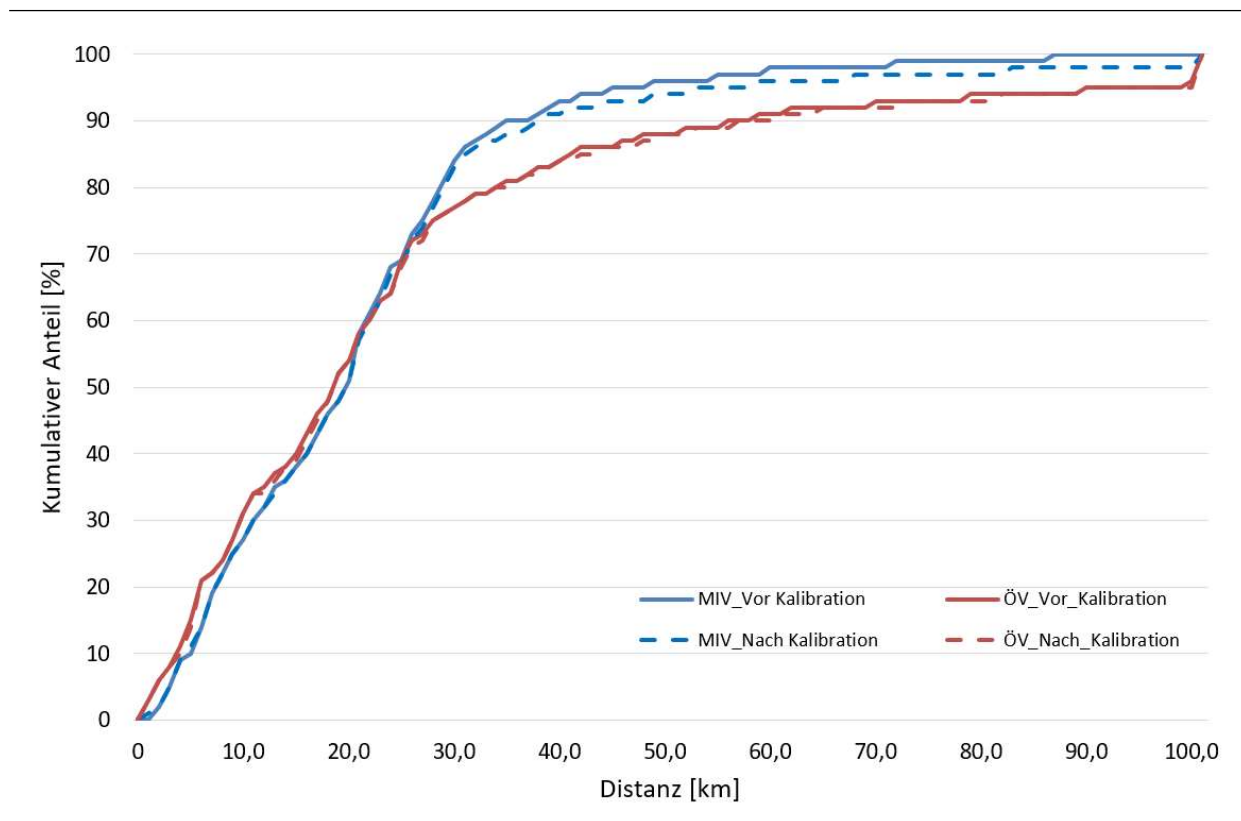
Tabelle 12 Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration

Verkehrsmittel	Vor Kalibration	Nach Kalibration	Veränderung [%]
MIV (PW-Fahrten)	5'751'223	5'850'690	+1.7%
ÖV (Personenwege)	2'758'380	2'747'187	-0.4%

Wie zu sehen ist, wurde die PW-Matrix um ca. +1.7% und die ÖV-Matrix nur um ca. -0.4% gegenüber der erstellten Ausgangsmatrix verändert. Diese Veränderungen sind vor allem auf die Feinkorrektur der Streckenbelastungen auf lokalen Strecken zurückzuführen.

Abbildung 15 zeigt, dass sich die Matrixstruktur im MIV und ÖV durch die Kalibration nicht wesentlich verändert hat; die Weglängenverteilungen beider Zustände sind praktisch identisch.

Abbildung 15 Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand



8.2.3 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 13 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);
- die Regressionskoeffizienten zwischen Zählwerten und Belastungen;
- und die Gütemasse (R^2) der Regressionsrechnungen.

Tabelle 13 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R^2
PW	1'239	4'690	5.8%	1.00
Lieferwagen	1'224	499	1.8%	1.00
Lastwagen	1'233	166	3.1%	1.00
Last- und Sattelzüge	1'237	158	4.1%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'671	4'963	5.3%	1.00
ÖV	2'520	2'670	4.5%	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 BE 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.

Abbildung 16 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

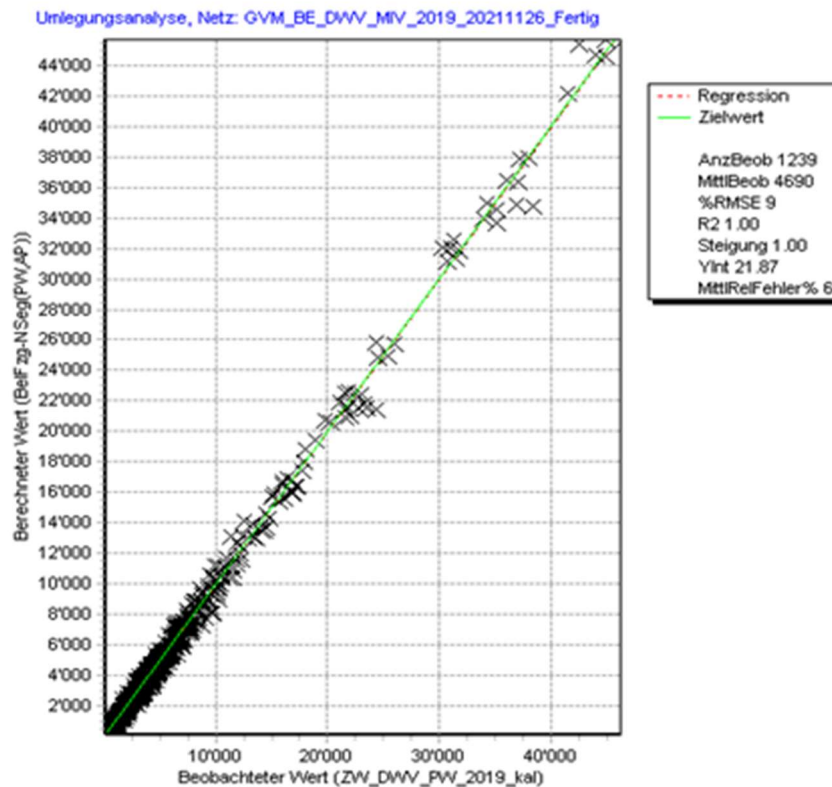


Abbildung 17 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

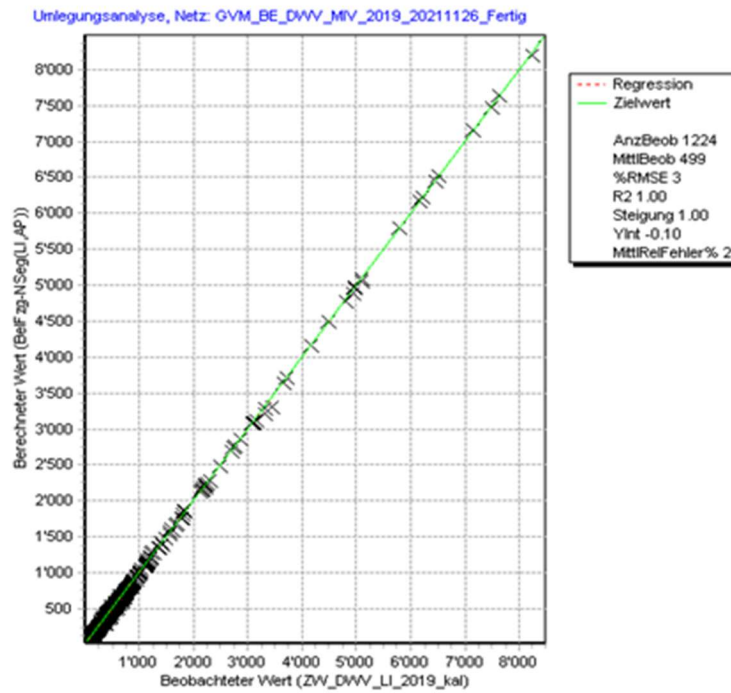


Abbildung 18 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

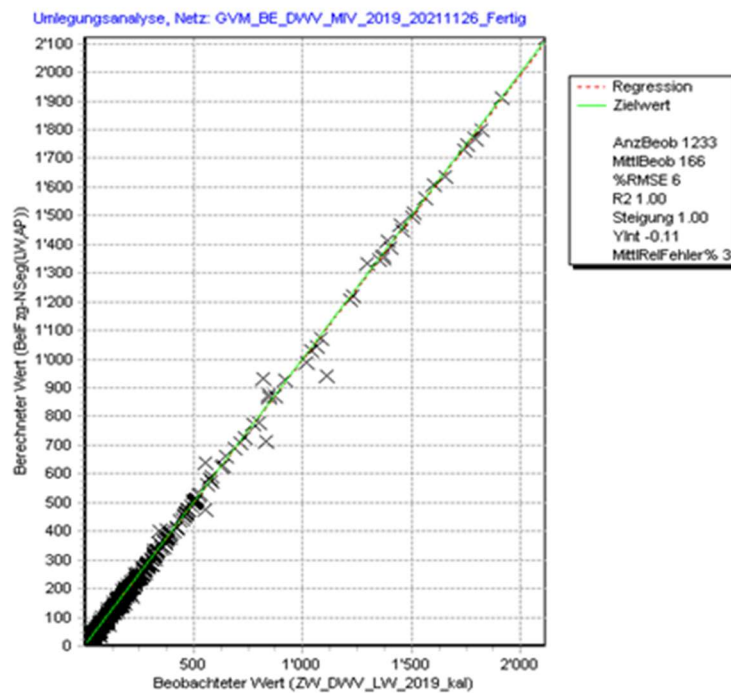


Abbildung 19 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

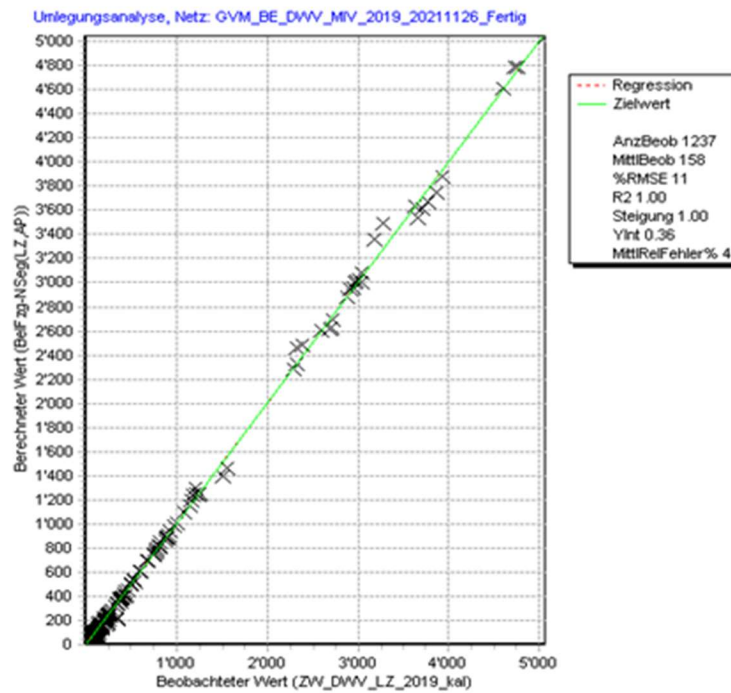


Abbildung 20 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

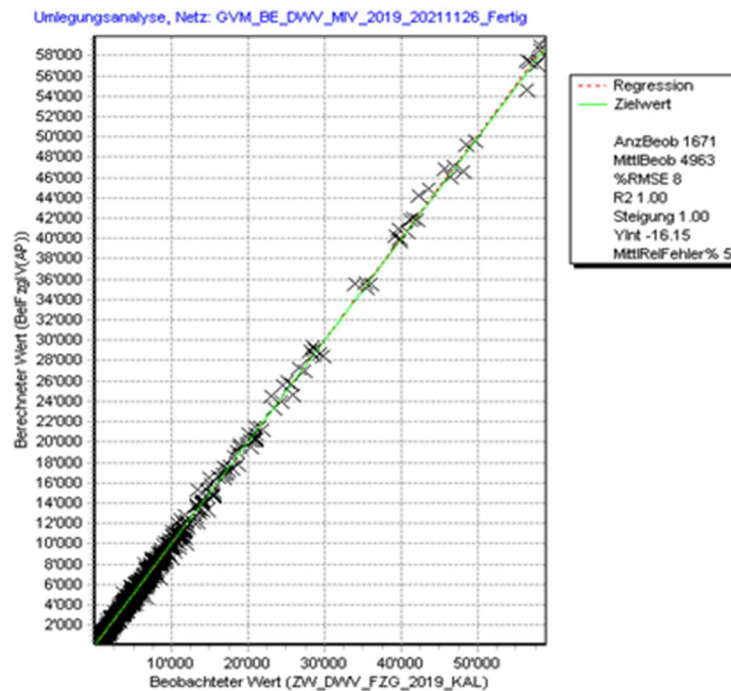
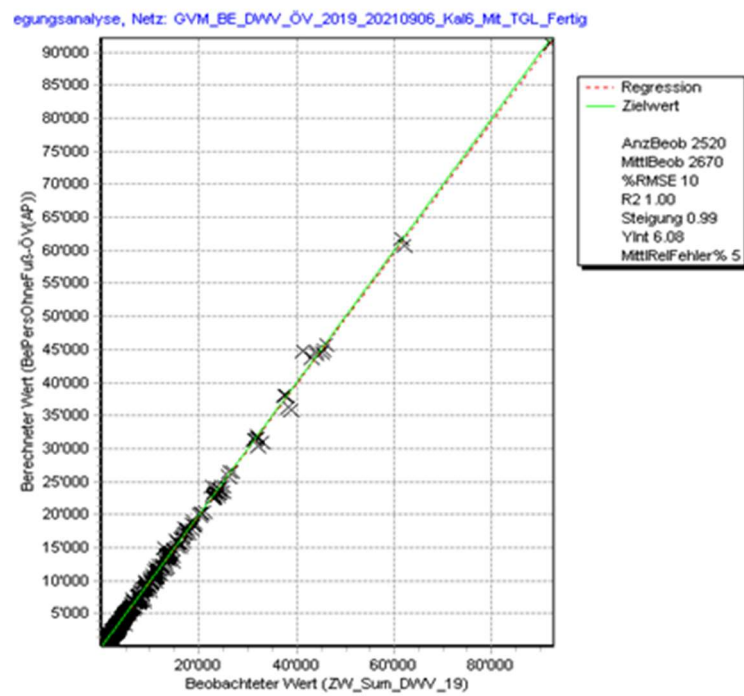


Abbildung 21 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



8.3 Kalibration des DTV-Modells

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

8.3.1 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 14 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DTV)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	1'874	3'734	4.9%	1.00
Lieferwagen	1'855	351	3.2%	1.00
Lastwagen	1'824	103	4.0%	1.00
Last- und Sattelzüge	1'786	89	3.8%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'866	4'365	4.4%	1.00
ÖV	1'874	3'734	4.9%	1.00

Abbildung 22 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

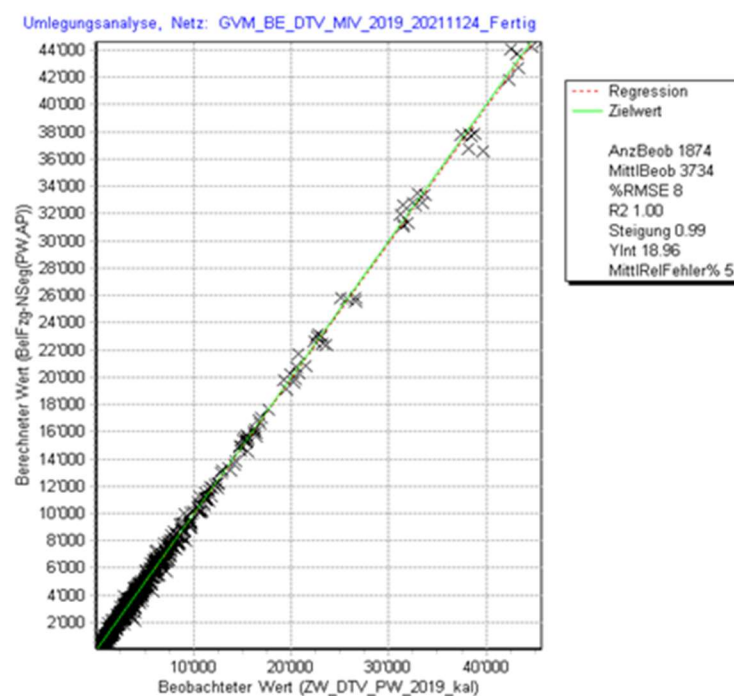


Abbildung 23 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

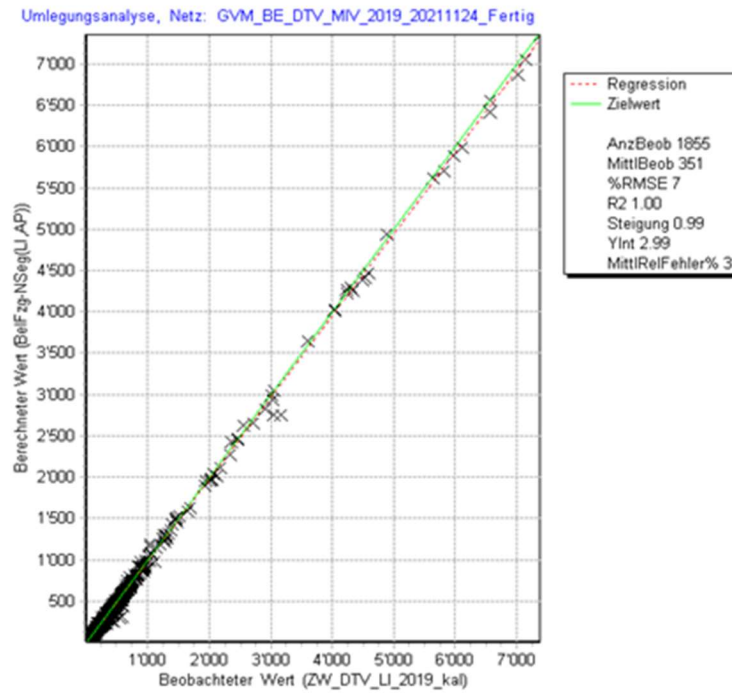


Abbildung 24 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

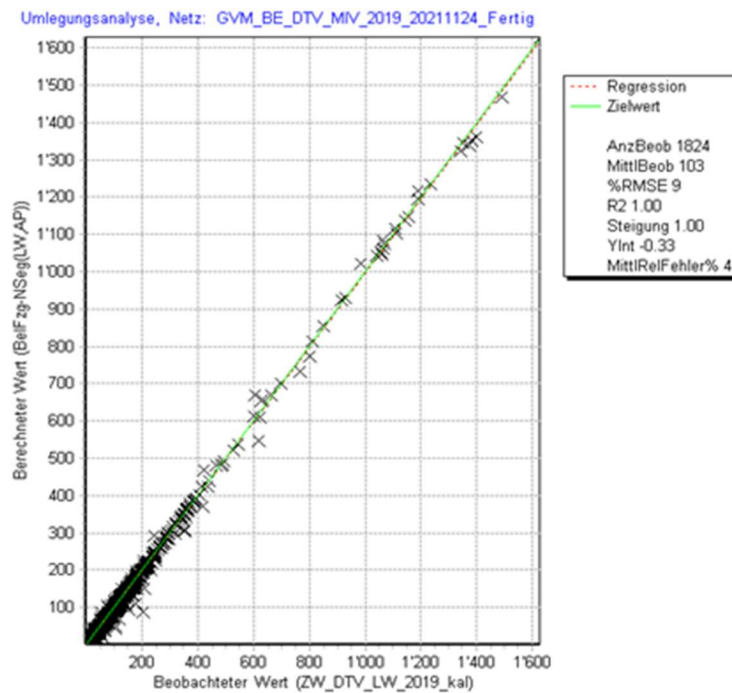


Abbildung 25 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

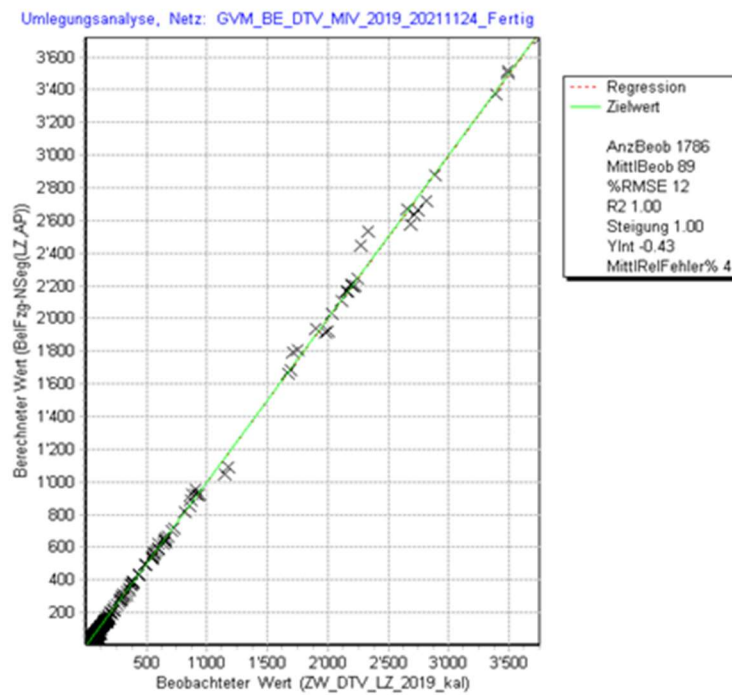
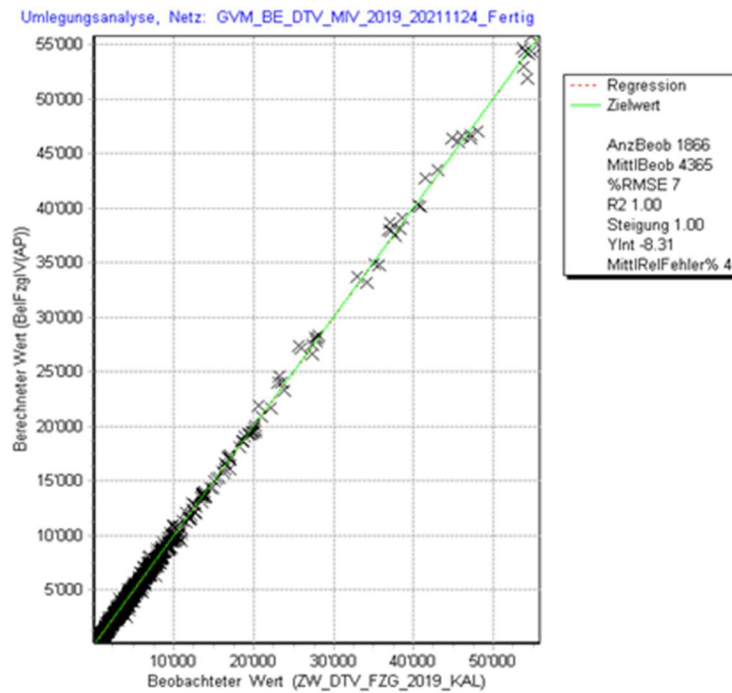


Abbildung 26 Vergleich der Streckenbelastungen (DTV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)



8.4 Kalibration des MSP-Modells

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

8.4.1 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 15 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (MSP)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	1'217	328	5.8%	1.00
Lieferwagen	1'195	43	5.0%	1.00
Lastwagen	1'189	14	6.6%	1.00
Last- und Sattelzüge	1'121	11	8.3%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'449	391	5.4%	1.00
ÖV	2'453	276	5.4%	1.00

Abbildung 27 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)

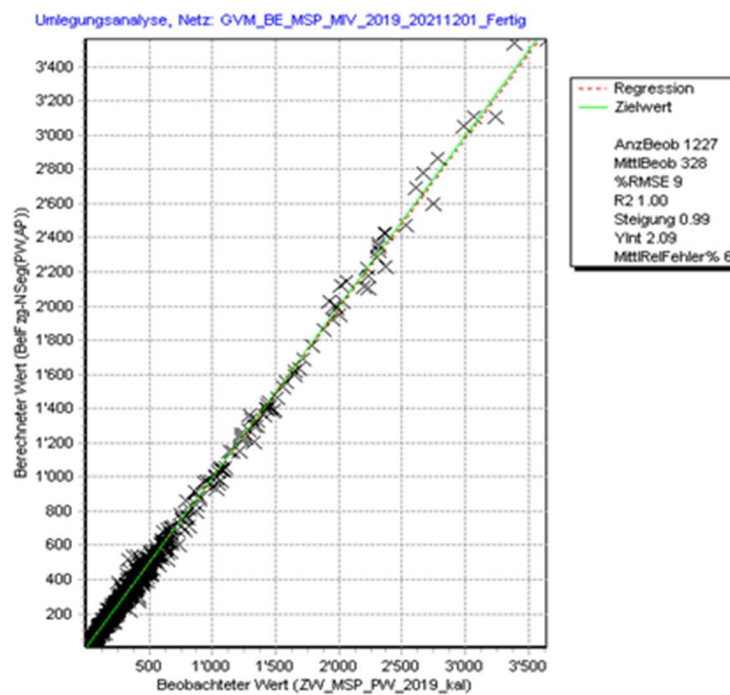


Abbildung 28 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

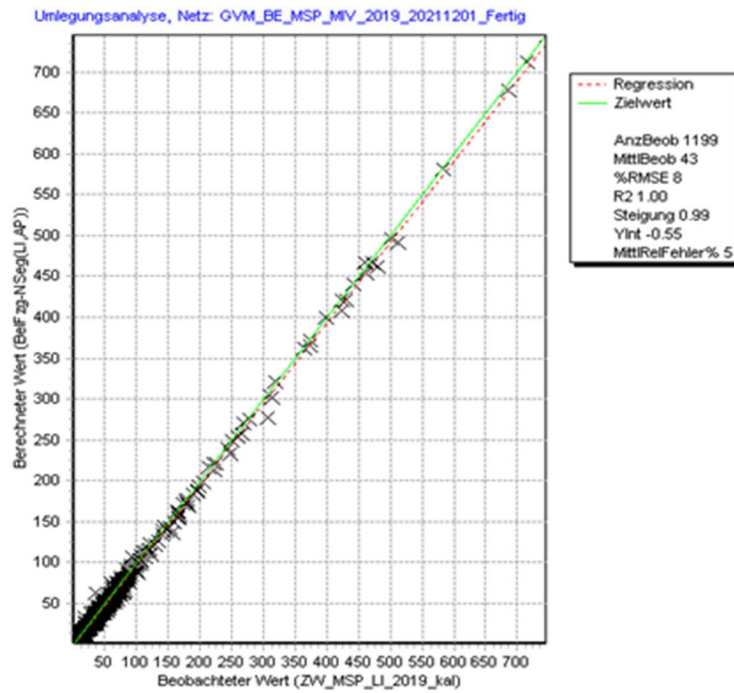


Abbildung 29 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

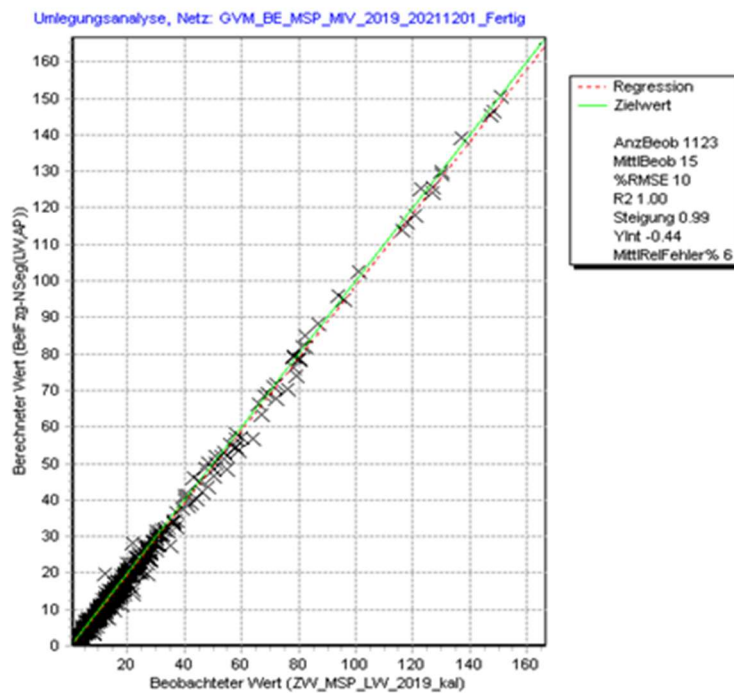


Abbildung 30 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

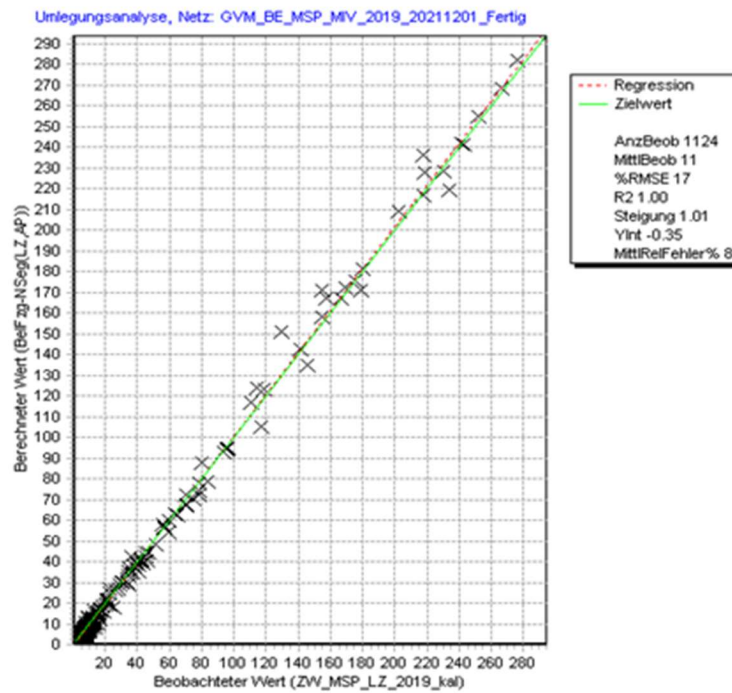


Abbildung 31 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

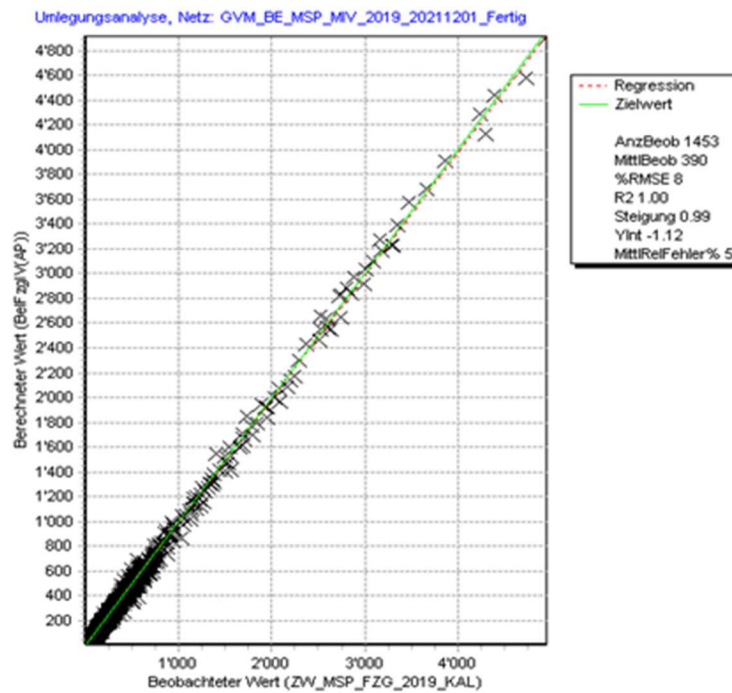
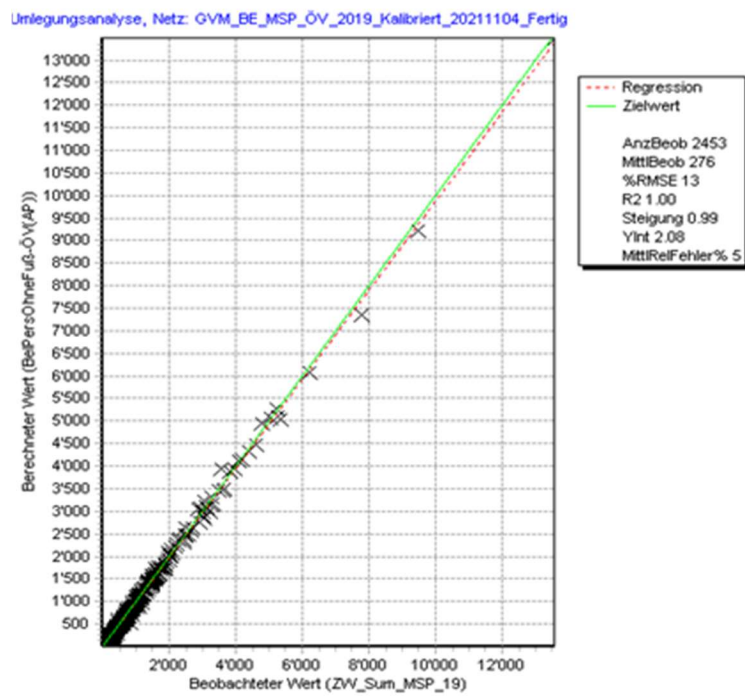


Abbildung 32 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



8.5 Kalibration des ASP-Modells

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

8.5.1 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 16 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	1'213	424	4.8%	1.00
Lieferwagen	1'197	36	4.5%	1.00
Lastwagen	1'152	6	6.9%	0.99
Last- und Sattelzüge	1'028	7	6.8%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'445	465	4.7%	1.00
ÖV	2'488	301	4.0%	1.00

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

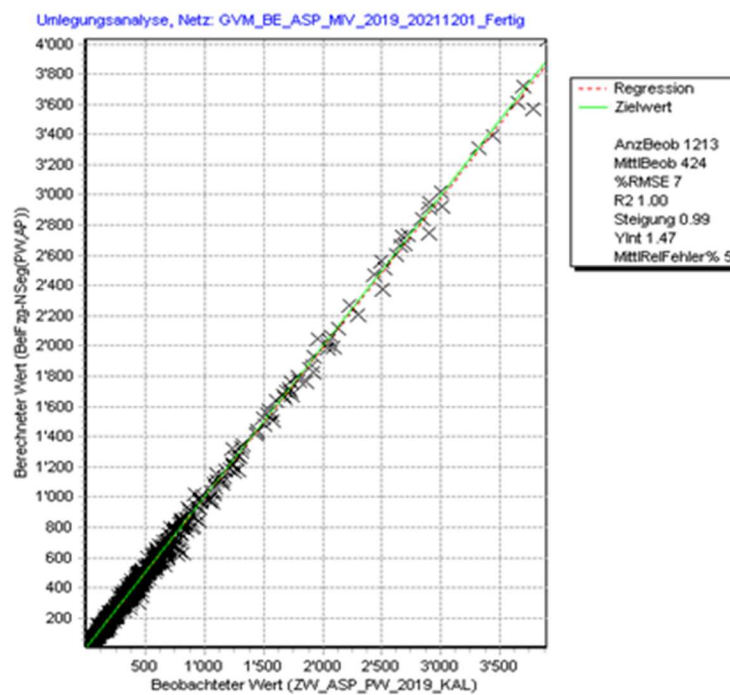


Abbildung 34 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

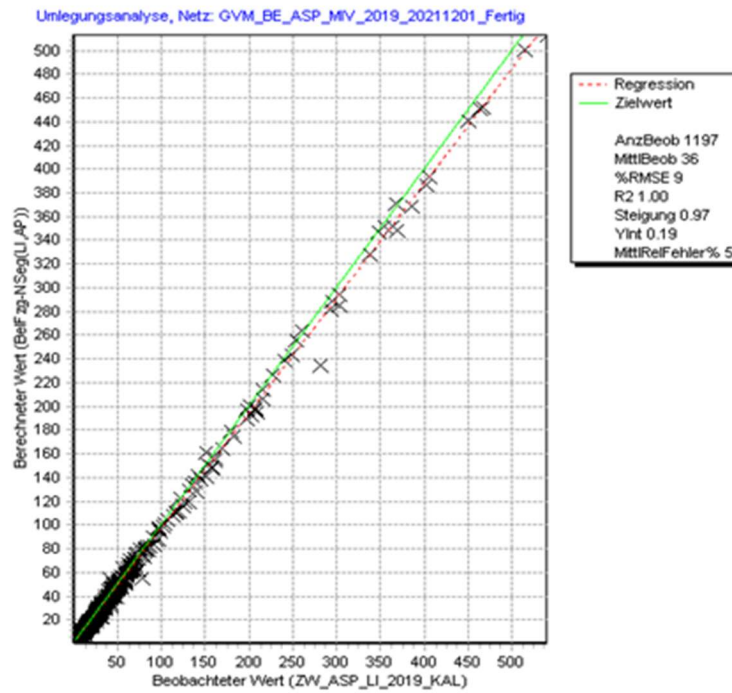


Abbildung 35 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

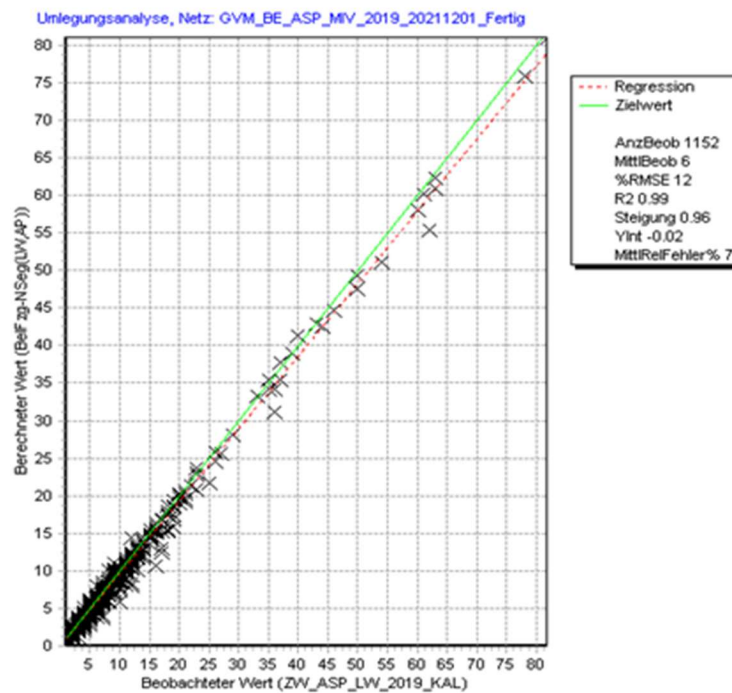


Abbildung 36 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

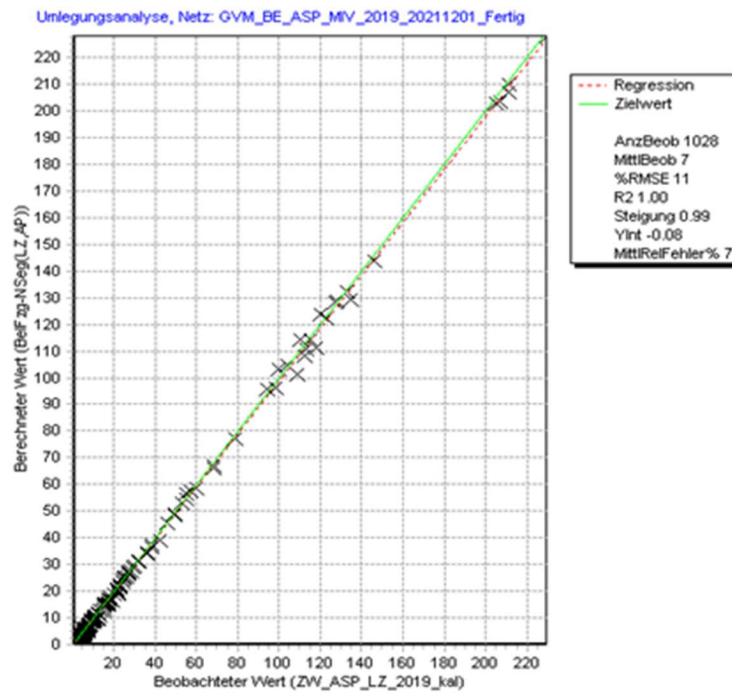


Abbildung 37 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

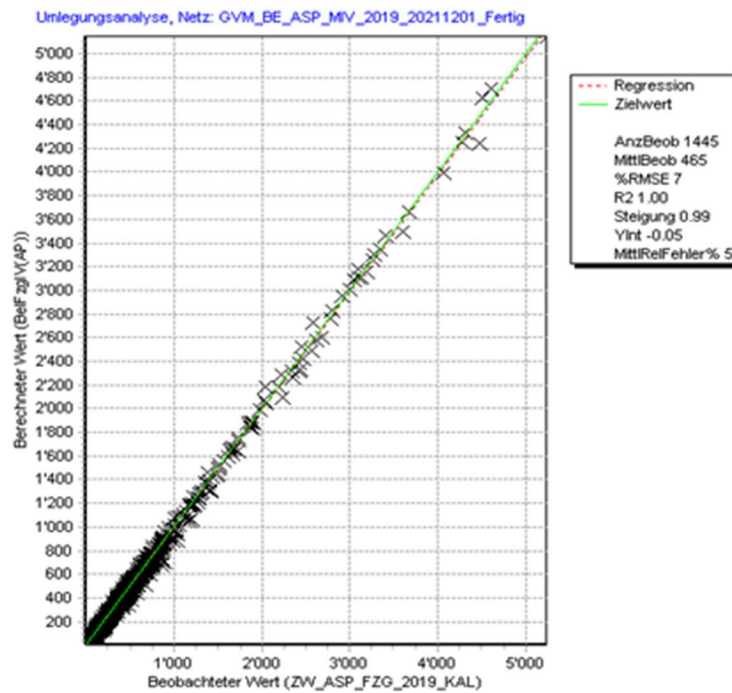
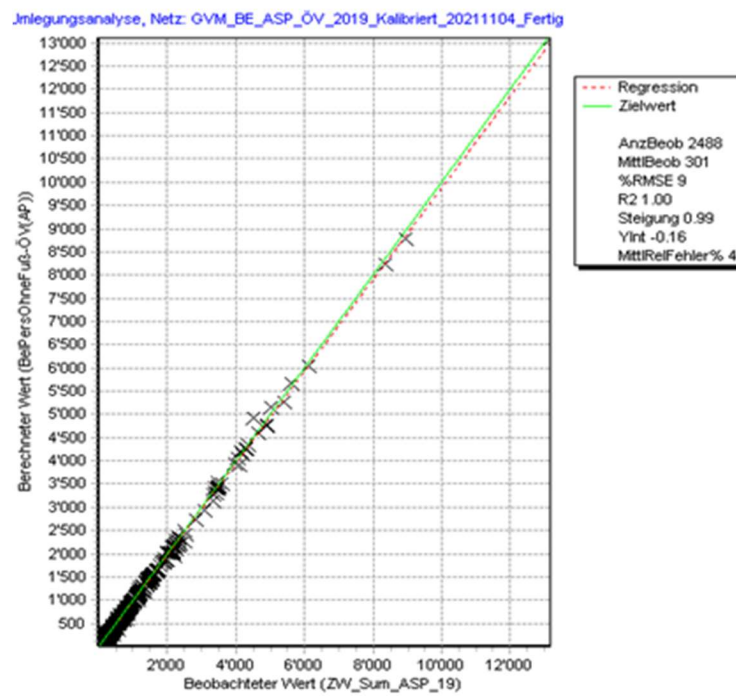


Abbildung 38 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



9 Prognosezustand 2040

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

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

Es werden zwei Prognosezustände 2040 erstellt:

- Basisszenario
- Szenario Moderat

9.1 Prognoseannahmen

Die wesentlichen Annahmen sowie Unterschiede bei den Annahmen der zwei betrachteten Szenarien sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 17 Input-Sets für die Prognoseszenarien 2040

Input-Grösse	Szenario Basis	Szenario Moderat	In beide Szenarien gleich
Siedlungsentwicklung	Kantonale Prognose	Kantonale Prognose	JA
Strassennetz	Kantonale Prognose	Kantonale Prognose	JA
ÖV-Netz	Kantonale Prognose	Kantonale Prognose	JA
Velogeschwindigkeit	+13%	+8%	NEIN
Reisezeit Fuss	Wie 2019	Wie 2019	JA
Parkplatzkosten	+16% Stadt, + 7% ausserhalb Stadt	Wie 2019	NEIN
Parksuchzeit	-1.3%	Wie 2019	NEIN
PW-Besetzungsgrad	Wie 2019	Wie 2019	JA
PW-Kosten	+2.2%	-6.7%	NEIN
ÖV-Kosten	Wie 2019	Wie 2019	JA
Mobilitätsraten	Gestützt auf Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Basisszenario	Gestützt auf Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: WWB-Szenario	NEIN
Entwicklung Strassengüterverkehr	Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Basisszenario	Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: WWB-Szenario	NEIN
Entwicklung Aussenverkehr	Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Basisszenario	Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: WWB-Szenario	NEIN
Verhaltensparameter	Wie 2019	Wie 2019	JA
Verkehrsverhalten Stadt Bern	Wie 2019	Wie 2019	JA

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

Tabelle 18 Veränderung Mobilitätsraten 2019-2040 nach Fahrtzwecken

	Szenario Basis (%)	Szenario Moderat (%)
Arbeit	-14.6	-5.0
Ausbildung	-4.5	-2.2
Einkauf	-12.7	-8.3
Nutzfahrt	-7.2	-2.7
Freizeit	+12.8	+15
Gesamt Anzahl Wege/Person	-4.6	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 im Basisszenario 38% der homeofficefähigen Arbeiten im Homeoffice durchgeführt werden, was ca. zwei 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 reduziert sich die Gesamtmobilität bzw. Anzahl Wege pro Person gegenüber 2019 um -4.6%.

Im Szenario Moderat wird die Annahme getroffen, dass die Gesamtmobilität bzw. Anzahl Wege pro Person gegenüber 2019 unverändert bleibt bzw. nicht reduziert wird. Dementsprechend wurden die Veränderungen der Mobilitätsraten aller Fahrtzwecke gegenüber den Veränderungen in den Verkehrsperspektiven Schweiz leicht angepasst.

Die Entwicklung des Strassengüterverkehrs wird auch aus den schweizerischen Verkehrsperspektiven übernommen. Die Wachstumsraten für die drei betrachteten Fahrzeugkategorien betragen:

- Lieferwagen: Basisszenario +37%, Szenario Moderat +36%
- Lastwagen: Basisszenario +15%, Szenario Moderat +19%
- Last- und Sattelzug: Basisszenario +27%, Szenario Moderat +32%

Die Entwicklung des Aussenverkehrs im Personenverkehr wird aus den schweizerischen Verkehrsperspektiven übernommen. Hier ist zu beachten, dass die Wachstumsraten der zwei Szenarien für Personenwagen und für den öffentlichen Verkehr unterschiedlich sind. Die Eckwerte des Verkehrsaufkommens für den Perimeter des GVM BE verändern sich wie folgt:

- PW: Basisszenario +4.8%, Szenario Moderat +15.6%
- ÖV: Basisszenario +25.0%, Szenario Moderat +20.6%

9.2 Verkehrsangebot 2040

Die Kriterien für die Auswahl der für die Nachfrageprognose zu berücksichtigenden Infrastrukturprojekte und Angebotsveränderungen bis 2040 wurden durch die BVD 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 MIV

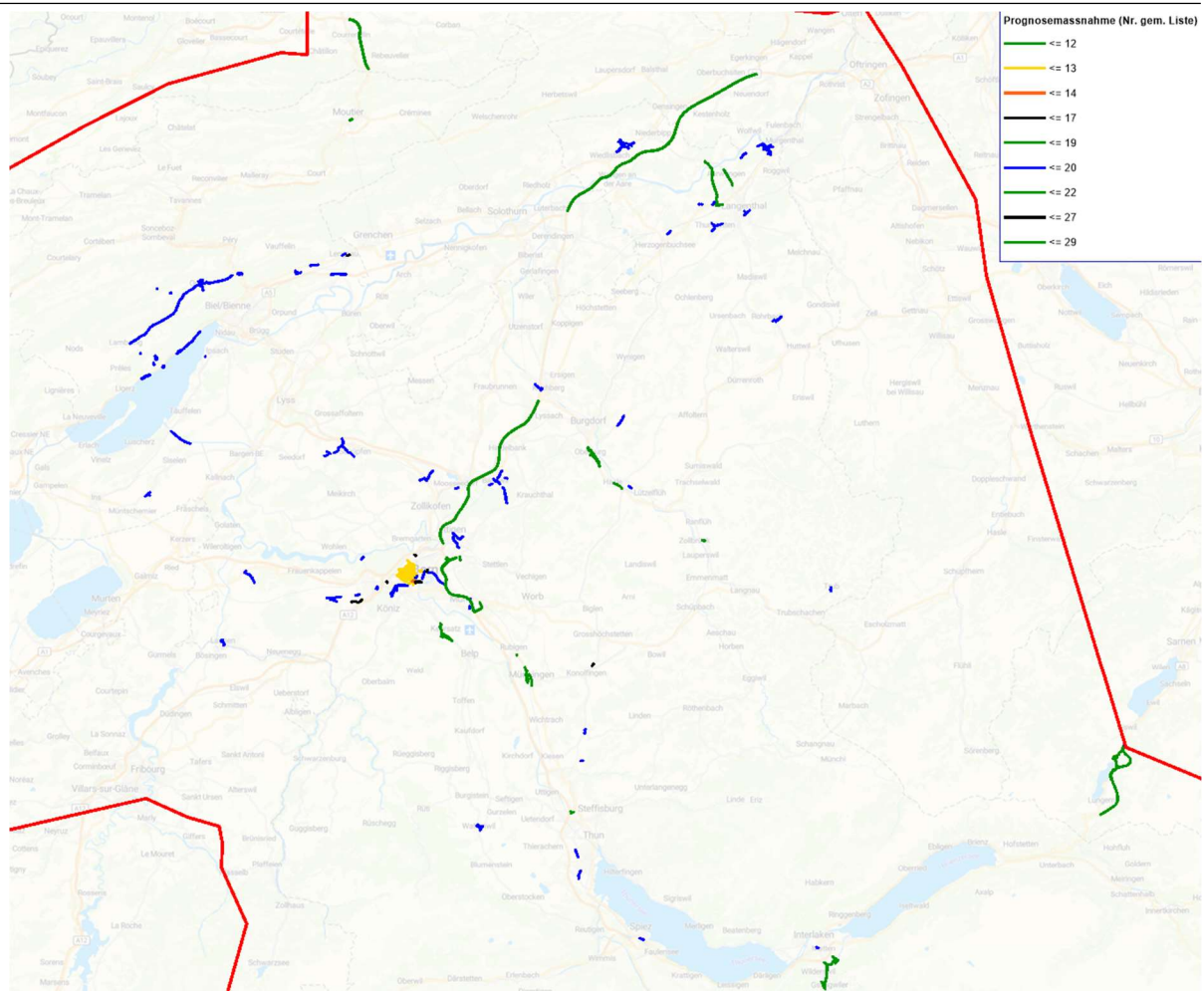
Das kalibrierte DWV-Umlegungsmodell 2019 bildete die Grundlage für das MIV-Prognosenetz 2040. In dieses wurde in einem ersten Schritt der Ausschnitt der Stadt Biel aus dem Prognosemodell, das für die Stadt Biel erstellt wurde, übernommen. So konnte sichergestellt werden, dass einerseits die Netzanpassungen aus der Kalibration des Ist-Zustandes und andererseits die Prognosemassnahmen der Stadt Biel weiter berücksichtigt werden.

Nicht in das Prognosemodell 2040 eingeflossen ist der Neubau Bypass Bern Ost (ByBO), da dieser nach aktuellem Kenntnisstand erst später als 2040 in Betrieb genommen wird. Zusätzlich wurden folgende Massnahmen für das Prognosenetz 2040 berücksichtigt (alphabetisch):

- Änderung Fahrtregime Moutier
- Anschluss Thun Nord
- Bolligenstrasse Nord, Rückbau von 2 Kreiseln
- Einbahnregime Auengasse Zollbrück
- Entlastungsstrasse Münsingen inkl. flankierender Massnahmen
- Erweiterung A1 auf 6 Spuren Luterbach-Härkingen
- Erweiterung A1 auf 6 Spuren Schönbühl-Kirchberg
- Erweiterung A1 auf 8 Spuren Wankdorf-Schönbühl
- Fertigstellung A16 Moutier-Delémont
- Gegenverkehr Kochergasse
- Kapazitätsbeschränkung Feldstrasse/Tannackerstrasse Muri
- Kapazitätserhöhung Kreisel Belpstrasse/Thunstrasse, Anschluss A6 Rubigen
- Pannestreifenumnutzung Wankdorf-Muri (Spitzenstunden)
- Sperrung Gotthelfstrasse Bern
- Sperrung Hochstrasse Konolfingen
- Sperrung Nerbenstrasse Lengnau
- Sperrung Rehhagstrasse Bern
- Sperrung Studerstrasse Bern
- Sperrung Unterführung Steigerhubel Bern
- Sperrung Unterführung Stöckacker Bern
- Umfahrung Aarwangen
- Umfahrung Kaiserstuhl (Lungern)
- Umfahrung Kehrsatz
- Umfahrung Oberburg-Hasle
- Umfahrung Wilderswil
- Umgestaltung Anschluss Wankdorf
- Verschiedene Geschwindigkeitsreduktionen
- Zentrale Verkehrsachse (ZVA) Stadt Bern inkl. flankierender Massnahmen Länggasse
- Zukunft Bahnhof Bern (ZBB)

Alle MIV-Massnahmen sind in einer Excel-Tabelle zusammengefasst. Jedes Projekt ist in den Visum-Dateien unter dem Userattribut «Prognosemassnahme» mit einer Projektnummer versehen, welche mit der Exceltabelle korrespondiert. Das Userattribut ist je nach Massnahme im MIV für Strecken, Knoten und Oberknoten definiert.

Abbildung 39 Prognosemassnahmen MIV 2040



9.2.2 ÖV

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:

- SBB AK 2035: Die Netzgrafik AK 2035 wurde dem Amt für öffentlichen Verkehr zur Überprüfung zur Verfügung gestellt und einige Korrekturen bei den RBS S-Bahnen vorgenommen
- Die neue S-Bahnstation Kleinwabern wurde berücksichtigt
- Das Tram Region Bern von Bern nach Ostermundigen implementiert
- Tramverlängerung zur neuen S-Bahn-Station Kleinwabern
- Neuer Tangentialbus Ostermundigen – Guisanplatz
- Trolleybus 12 Verlängerung nach Warmbächli
- VBB (Biel) Fahrplan wurde komplett neu aus Hafas 2022 erstellt
- Bahnersatz Interlaken Ost-Spiez Bus 31.060 aus Hafas 2022 eingefügt
- Tangentiallinie Thun-Nord 15min-Takt eingebaut
- Neue Bahnhaltestelle Matten bei Interlaken definiert.

Die restlichen 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 wie folgt verändert:

- Basisszenario 2040: + 13.3%
- Szenario Moderat 2040: + 8%

9.3 Strukturdaten

Für die Aktualisierung 2019 des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Bern wird nur ein Trendszenario berechnet, auf ein Zielszenario wurde verzichtet.

9.3.1 Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2040

Die Aufbereitung der Wohnbevölkerung für den Zustand 2040 erfolgt in mehreren Schritten. Ziel ist es, dass unsere Prognosen im Einklang mit den nationalen und kantonalen Prognosen stehen. Als Grundlage dienen:

- Kantonale Bevölkerungsprognosen des BFS⁶ und darauf aufbauend
 - die regionalisierten Bevölkerungsszenarien des Kantons Bern⁷ sowie
 - die regionalisierten Bevölkerungsszenarien aus den Verkehrsperspektiven 2050 des ARE (Grundlage für NPVM 2017)⁸
- Gemeindetypologien basierend auf dem kantonalen Richtplan
- Geocodierte Daten zu den Entwicklungsgebieten gemäss kantonaalem Richtplan⁹
- Geocodierte Daten zu den unüberbauten Bauzonen im Kanton Bern

9.3.1.1 Bevölkerungswachstum Kanton Bern

Für die Gemeinden im Kanton Bern erfolgt die Bevölkerungsprognose 2040 auf Basis der regionalisierten Bevölkerungsszenarien des Kantons (Szenario Mittel). Gemäss diesem Trendszenario verfügt der Kanton Bern im Jahr 2040 über eine ständige Wohnbevölkerung von 1.14 Mio. Personen. Dies entspricht einem Wachstum zwischen 2019 und 2040 von 9.6% (Ständige Wohnbevölkerung 2019: 1.04 Mio. Personen). Da es sich bei den Prognosen um die ständige Wohnbevölkerung handelt, wird im GVM BE aber die wirtschaftliche Wohnbevölkerung betrachtet, werden die Prognosen auf Basis der Anteile im Jahre 2019 skaliert. Es wird also angenommen, dass sich das Verhältnis zwischen der ständigen Wohnbevölkerung und der Summe aus nichtständiger Wohnbevölkerung und der Wohnbevölkerung am letzten Nebenwohnsitz nicht verändert.¹⁰

Die prognostizierte Gesamtbevölkerung wird auf Basis der kantonalen Bevölkerungsprojektionen, die auf Gemeindebasis vorhanden sind, auf sogenannte «Cluster» aufgeteilt. Die Notwendigkeit einer Clusterung ergibt sich aus dem Umstand, dass die Prognose erst ab einer Gemeinde-Aggregatsgrösse von 10'000 Einwohnern genügend zuverlässig ist. Die Cluster sind definiert durch die Regionalkonferenzen (Bern-Mittelland, Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois, Emmental, Oberaargau, Oberland-Ost, Thun Oberland-West) und den Gemeindetypen gemäss Richtplan (vgl. untenstehende Tabelle)

⁶ BFS (2020), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020-2050, Online: <https://www.viz.bfs.admin.ch/assets/01/ga-01.03.01/de/index.html>

⁷ Statistikkonferenz des Kantons Bern (2020), Regionalisierte Bevölkerungsszenarien für den Kanton Bern bis zum Jahr 2050, Bern.

⁸ ARE (2021), Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Schlussbericht, Bern.

⁹ Es handelt sich um folgende Gebietskategorien: Schwerpunkt Wohnen, Umstrukturierungs- und Verdichtungsgebiet, Vorranggebiet Siedlungserweiterung (Arbeiten, Wohnen, Andere).

¹⁰ Die wirtschaftliche Wohnbevölkerung steigt im gleichen Zeitraum von 1.06 Mio. Personen auf 1.17 Mio. Personen, was einem Zuwachs von 9.8% entspricht.

Abkürzung	Raumtyp
UK	Städte; Urbane Kerngebiete der Agglomerationen
AE	Agglomerationsgürtel und Entwicklungsachsen ohne Zentralität; Tourismuszentren
ZL	Zentrumsnahe ländliche Gebiete
HB	Hügel- und Berggebiete

Innerhalb jeder Regionalkonferenz bilden die Gemeinden des gleichen Gemeindetyps ein Cluster. Gemeinden mit einer wirtschaftlichen Bevölkerung grösser 10'000 (im Jahr 2019) werden separat berücksichtigt und bilden pro Gemeinde ein eigenes Cluster. Tabelle 9-19 zeigt das resultierende Wachstum pro Cluster.

Tabelle 9-19 Wachstum der wirtschaftlichen Bevölkerung zwischen 2019 und 2040 nach Cluster

Regionalkonferenz	Cluster	Bevölkerung		Wachstum	
		2019	2040	2019-2040	in %
Bern-Mittelland	UK	6'406	6'559	153	2.4%
Bern-Mittelland	AE	89'732	96'948	7'216	8.0%
Bern-Mittelland	ZL	37'664	40'166	2'502	6.6%
Bern-Mittelland	HB	8'626	8'844	218	2.5%
Bern-Mittelland	<i>Belp</i>	11'661	13'240	1'579	13.5%
Bern-Mittelland	<i>Bern</i>	143'965	164'286	20'321	14.1%
Bern-Mittelland	<i>Ittigen</i>	11'517	12'656	1'139	9.9%
Bern-Mittelland	<i>Köniz</i>	43'001	48'082	5'081	11.8%
Bern-Mittelland	<i>Münchenbuchsee</i>	10'544	11'790	1'246	11.8%
Bern-Mittelland	<i>Münsingen</i>	13'032	14'777	1'745	13.4%
Bern-Mittelland	<i>Muri bei Bern</i>	13'233	13'802	569	4.3%
Bern-Mittelland	<i>Ostermundigen</i>	18'132	22'161	4'029	22.2%
Bern-Mittelland	<i>Worb</i>	11'572	11'900	328	2.8%
Bern-Mittelland	<i>Zollikofen</i>	10'710	11'588	878	8.2%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	UK	19'117	20'806	1'689	8.8%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	AE	81'002	89'803	8'801	10.9%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	ZL	55'889	61'293	5'404	9.7%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	HB	5'872	6'032	160	2.7%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	<i>Biel/Bienne</i>	56'634	67'405	10'771	19.0%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	<i>Lyss</i>	15'650	17'988	2'338	14.9%
Emmental	AE	46'350	50'502	4'152	9.0%
Emmental	ZL	27'854	29'383	1'529	5.5%
Emmental	HB	8'067	7'700	-367	-4.5%
Emmental	<i>Burgdorf</i>	17'065	19'177	2'112	12.4%
Oberaargau	AE	25'818	29'185	3'367	13.0%
Oberaargau	ZL	33'731	35'024	1'293	3.8%
Oberaargau	HB	7'954	7'936	-18	-0.2%
Oberaargau	<i>Langenthal</i>	15'779	17'690	1'911	12.1%
Oberland-Ost	UK	16'059	18'171	2'112	13.2%
Oberland-Ost	AE	20'042	21'098	1'056	5.3%
Oberland-Ost	ZL	9'045	10'209	1'164	12.9%
Oberland-Ost	HB	4'361	4'861	500	11.5%
Thun Oberland-West	UK	6'969	7'900	931	13.4%
Thun Oberland-West	AE	45'904	47'124	1'220	2.7%
Thun Oberland-West	ZL	31'629	33'350	1'721	5.4%
Thun Oberland-West	HB	9'974	9'937	-37	-0.4%
Thun Oberland-West	<i>Spiez</i>	13'072	13'750	678	5.2%
Thun Oberland-West	<i>Steffisburg</i>	15'863	17'251	1'388	8.7%
Thun Oberland-West	<i>Thun</i>	44'280	47'454	3'174	7.2%

Aufteilung auf die VMZ

Um das Bevölkerungswachstum in den verschiedenen VMZ innerhalb des Kantons Bern zu modellieren, werden drei Komponenten verwendet: Ein gleichmässiges Bevölkerungswachstum in allen VMZ eines Clusters, ein verstärktes Wachstum in den unüberbauten Bauzonen und ein verstärktes Wachstum in den Entwicklungsgebieten. Für die Aufteilung des Bevölkerungswachstum innerhalb eines Clusters wird ein dreistufiges Verfahren angewendet (vgl. auch Abbildung 9-40):

1. **Entwicklungsgebiete:** Maximal 80% des Wachstums werden den Entwicklungsgebieten (Wohnschwerpunkte WSP, Umstrukturierungs- und Verdichtungsgebiete UV, Vorranggebiete) innerhalb des jeweiligen Clusters zugewiesen. Zu diesem Zweck wurden die Regionalkonferenzen mittels eines Erfassungssheets¹¹ zum erwarteten Wachstum (bis 2040) in ihren Regionen befragt.
 - Falls die Angaben der Regionen den maximalen Clusterwert übersteigen, werden die Werte linear auf den Clusterwert runterskaliert.
 - Falls die Angaben der Regionen den maximalen Clusterwert nicht erreichen, wird das restliche Wachstum anhand der unüberbauten Bauzonen und der heutigen Bevölkerung (2019) verteilt (vgl. nachfolgend).
2. **Unüberbaute Bauzonen:** Vom verbleibenden Clusterwachstum werden maximal 80% auf unüberbaute Bauzonen (Wohn-, Misch- und Zentrumszonen) im jeweiligen Clustergebiet verteilt.¹² Hierbei wird sowohl die heutige Bebauungsdichte im bebauten Gebiet (Annahme: künftig maximal 1.5-mal so starke Bebauung wie heute) als auch die Art der jeweiligen Bauzonen berücksichtigt (z.B. 3x dichtere Bevölkerung in Wohnzonen mit 3 Geschossen als in Wohnzonen mit 1 Geschoss).
 - Falls das potenzielle Wachstum den maximalen Clusterwert übersteigt, werden die Werte linear auf den Clusterwert runterskaliert.
 - Falls das potenzielle Wachstum tiefer liegt als der maximale Clusterwert, wird das verbleibende Wachstum auf das Restgebiet verteilt (vgl. nachfolgend).
3. **Restgebiet:** Das verbleibende Clusterwachstum wird auf das «Restgebiet» (Raum ausserhalb von Entwicklungsgebieten und unüberbauten Bauzonen) aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgt relativ zur aktuell in diesen Gebieten lebenden Bevölkerung, d.h. das relative Bevölkerungswachstum wird innerhalb all dieser Gebiete als gleich hoch angenommen (in Bezug auf den jeweiligen Cluster).

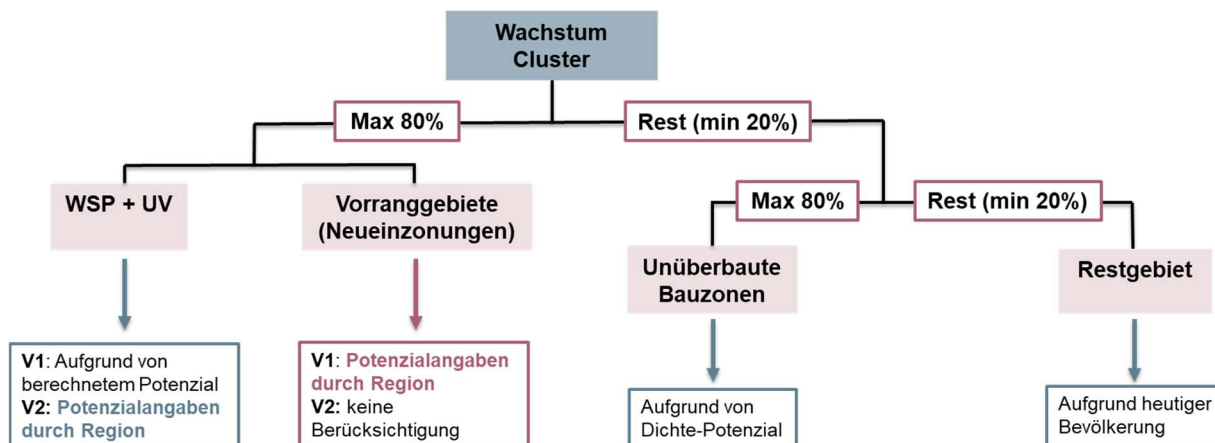
Resultat der Aufteilung: Das maximal mögliche Wachstum von 80% in den Entwicklungsgebieten wird mit einem Anteil von 56% nicht vollständig ausgeschöpft. Entsprechend entfällt ein grösserer Teil des Wachstums auf die unüberbauten Bauzonen (34%). Da das Wachstum auch von den unüberbauten Bauzonen nicht vollständig ausgeschöpft wird¹³, entfallen auf das Restgebiet 11% des Gesamtwachstums.

¹¹ Excel mit Detailinformationen (Gebietsart, ESP-Angaben, Strukturdaten 2019, Dichte 2019) zu den einzelnen Gebieten, gegliedert nach Cluster. Zudem wurde den Regionen ein Vorschlag anhand einer Modellberechnung unterbreitet. Hierbei wurde von der heutigen Bebauungsdichte im bebauten Gebiet (Wohn-, Misch- und Zentrumszonen exkl. unüberbaute Bauzonen) multipliziert mit einem Faktor von 1.5 (Annahme: dichtere Bebauung in Zukunft) ausgegangen. Das potenzielle Wachstum ergibt sich entsprechend aus der Differenz zur aktuellen Bebauungsdichte im jeweiligen Entwicklungsgebiet.

¹² Zum Teil liegen die unüberbauten Bauzonen in Entwicklungsgebieten oder überschneiden diese. Da die Entwicklungsgebiete bereits im ersten Schritt berücksichtigt wurden, werden solche unüberbauten Bauzonen nicht resp. nur anteilmässig (Fläche ausserhalb von Entwicklungsgebieten) berücksichtigt.

¹³ In folgenden Städten resp. Clustern wird das Wachstum nicht vollständig ausgeschöpft: Belp, Ostermundigen, Biel, Burgdorf.

Abbildung 9-40: Vorgehen für Aufteilung des Bevölkerungswachstums auf VMZ



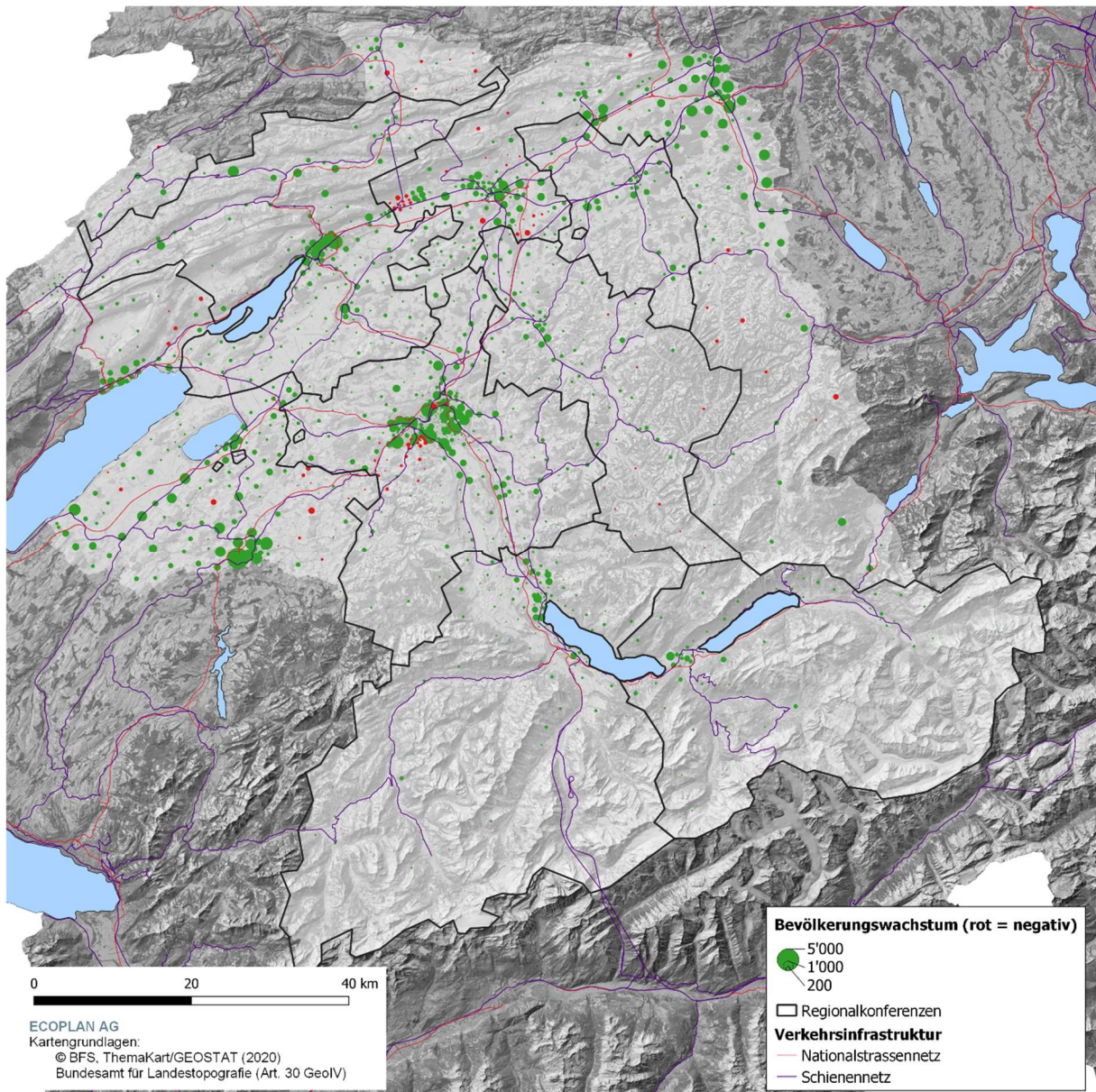
9.3.1.2 Prognose ausserkantonale Gemeinden

Für die Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern wird grundsätzlich die Bevölkerungsprognose gemäss NPVM (Szenario Basis) übernommen. Da es sich bei den Prognosen gemäss NPVM um die ständige Wohnbevölkerung handelt, wird im GVM BE aber die wirtschaftliche Wohnbevölkerung betrachtet, werden die Prognosen des NPVM auf Basis der Anteile im Jahre 2019 skaliert. Es wird also angenommen, dass sich das Verhältnis zwischen der ständigen Wohnbevölkerung und der Summe aus nichtständiger Wohnbevölkerung und der Wohnbevölkerung am letzten Nebenwohnsitz nicht verändert.

Für die Aufteilung des Bevölkerungswachstums auf die verschiedenen VMZ innerhalb einer Gemeinde wird davon ausgegangen, dass das relative Wachstum in allen VMZ gleich stark ausfällt (d.h. das Wachstum wird auf Basis der Bevölkerung im Ist-Zustand verteilt).¹⁴

¹⁴ Für die ausserkantonalen Gebiete sind keine Informationen zu Siedlungsschwerpunkten oder unüberbauten Bauzonen vorhanden, weshalb das Wachstum ausschliesslich gemäss der bisherigen Bevölkerung verteilt wird.

Abbildung 9-41: Bevölkerungswachstum im Modellgebiet des GVM BE



9.3.1.3 Wirtschaftliche Bevölkerung und Aufteilung auf Altersklassen in beiden Szenarien

In einem weiteren Schritt wird das Bevölkerungswachstum auf Alterskohorten aufgeteilt. Dabei müssen die sich verändernden Anteile der Alterskohorten berücksichtigt werden.

- Für den Kanton Bern wird wiederum die regionalisierten Bevölkerungsszenarien zurückgegriffen. Hierbei werden die gleichen Cluster wie beim Gesamtwachstum verwendet (vgl. oben).
- Für die ausserkantonalen Gemeinden wird die Aufteilung auf dem Strukturdatenset des NPVM aufgebaut. Als Aggregationsgrösse werden die Gemeinden verwendet.

In einem ersten Schritt wird die Veränderungen der Anteile der Altersklassen auf Ebene der Aggregatsgrössen bestimmt (Kanton Bern: Cluster, Restgebiet: Gemeinden). In einem zweiten Schritt werden die Veränderungen unter Berücksichtigung der heutigen Altersstruktur auf die einzelnen VMZ angewandt.

9.3.2 Erwerbstätige

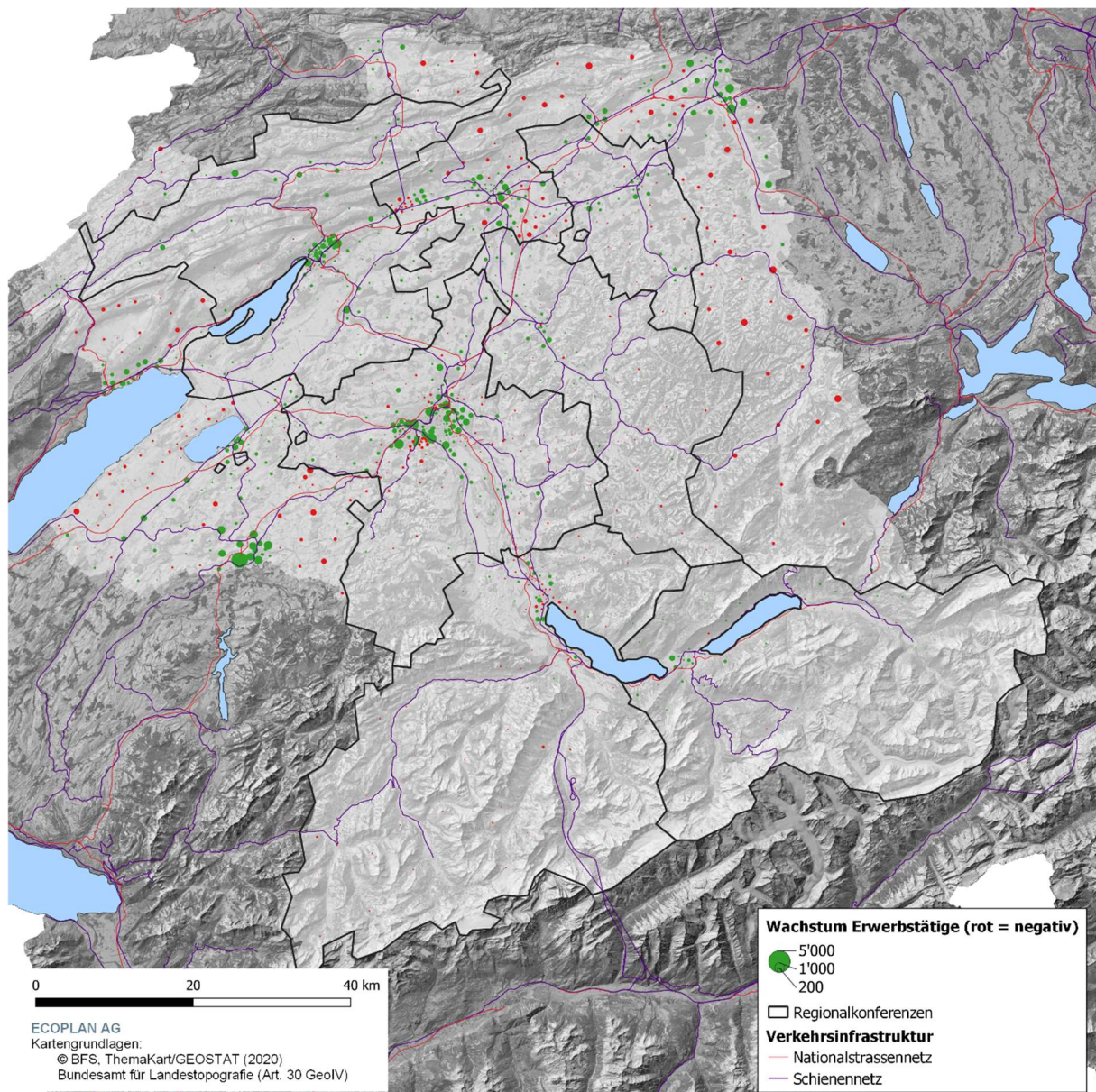
Für die Hochrechnung der Erwerbstätigen für die Jahre 2019 bis 2040 gilt es zu berücksichtigen, dass die Bevölkerung bis 2040 deutlich altern wird. Gleichzeitig ist aber zu erwarten, dass die Erwerbsbeteiligung der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter etwas zunehmen wird. Diese und weitere Entwicklungen werden in den kantonalen Szenarien des BFS¹⁵ berücksichtigt. Auf diesen Szenarien baut wiederum das NPVM resp. die Verkehrsperspektiven des ARE auf und differenziert die Werte mittels Flächennutzungsmodell nach Verkehrsmodellzonen resp. Gemeinden.¹⁶

Für die Hochrechnung auf das Jahr 2040 wird das Erwerbstätigenwachstum aus dem NPVM auf das GVM BE übertragen. Hierzu wird das Wachstum im Kanton Bern anhand der heutigen Erwerbsquote (Anteil der Erwerbstätigen an der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter) und dem Bevölkerungswachstum der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter auf die VMZ aufgeteilt. Im Restgebiet werden die Wachstumsraten auf Gemeindeebene aus dem NPVM verwendet.

¹⁵ Vgl. BFS (2020), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020-2050, Online: <https://www.viz.bfs.admin.ch/assets/01/ga-01.03.01/de/index.html>

¹⁶ ARE (2021), Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Schlussbericht, Bern.

Abbildung 9-42: Wachstum der Erwerbstätigen im Modellgebiet des GVM BE



9.3.3 Beschäftigte

Grundlage für die Prognose 2040 bei den Beschäftigten bilden:

- Regionalisierte Szenarien zur Erwerbstätigkeit aus den Verkehrsperspektiven 2050 des ARE (Grundlage für NPVM 2017)¹⁷
- STATENT des BFS 2011 und 2019
- Prognostiziertes Bevölkerungswachstum zwischen 2019 und 2040
- Gemeindetypologien basierend auf dem kantonalen Richtplan

¹⁷ ARE (2021), Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050: Schlussbericht, Bern.

- Geocodierte Daten zu den Entwicklungsgebieten gemäss kantonalem Richtplan¹⁸
- Geocodierte Daten zu den unüberbauten Bauzonen im Kanton Bern

Die Hochrechnung erfolgt auf der Basis der Annahme, dass sich das Beschäftigungswachstum analog zum Wachstum der Erwerbstätigen verhält (gemäss Verkehrsperspektiven 2050, Basisszenario). Dies impliziert, dass die Pendleranteile in und aus dem Modellgebiet bzw. in und aus dem Kanton Bern über die Jahre konstant bleiben.

9.3.3.1 Beschäftigungswachstum Kanton Bern

in den einzelnen Regionalkonferenzen (Cluster)

Auf Basis der obigen Annahmen, ergibt sich für den Kanton Bern zwischen 2019 und 2040 ein Erwerbstätigen- resp. Beschäftigungswachstum von 5.4% (Vollzeitäquivalente (VZÄ) im 2. Sektor und 3. Sektor). Die Aufteilung des Beschäftigtenwachstums erfolgt wiederum in mehreren Schritten. In einem ersten Schritt wird analog zum Vorgehen bei der Bevölkerungsentwicklung der Kanton Bern in Cluster aufgeteilt. Diese orientieren sich an den Regionalkonferenzen (jede Regionalkonferenz ist ein Cluster). Um das gesamte Beschäftigtenwachstum auf die einzelnen Cluster aufzuteilen, werden zwei Gewichtungsfaktoren zu jeweils 50% berücksichtigt:

- Anteil am Beschäftigtenwachstum zwischen 2011 und 2019 (Annahme: Trendwachstum der letzten Jahre setzt sich auch in Zukunft fort).
- Anteil am Bevölkerungswachstum zwischen 2019 und 2040 (Annahme: Wo Personen leben, entstehen auch Arbeitsplätze. Zudem wird durch die nationalen und kantonalen Planungsinstrumente ein Leben und Arbeiten in derselben Region angestrebt).

Regionen mit einem erhöhten Beschäftigtenwachstum in der Vergangenheit oder einem hohen erwarteten Bevölkerungswachstum wird somit ein erhöhtes Beschäftigungswachstum prognostiziert. Daraus ergeben sich die in Tabelle 9-20 abgebildeten Wachstumswerte für die Regionalkonferenz-Cluster.

¹⁸ Es handelt sich um folgende Gebietskategorien: Schwerpunkt Arbeiten, Umstrukturierungs- und Verdichtungsgebiet, Vorranggebiet Siedlungserweiterung (Arbeiten, Wohnen, Andere).

Tabelle 9-20 Wachstum der Beschäftigung (VZÄ 2. und 3. Sektor) zwischen 2019 und 2040 nach Cluster

Regionalkonferenz	Arbeitsplätze		Wachstum	
	2019	2040	2019-2040	in %
Bern-Mittelland	238'134	251'555	13'420	5.6%
Biel/Bienne-Seeland-Jura bernois	85'755	91'883	6'128	7.1%
Emmental	33'948	35'392	1'444	4.3%
Oberaargau	29'770	30'859	1'089	3.7%
Oberland-Ost	20'447	21'477	1'030	5.0%
Thun Oberland-West	57'964	60'129	2'164	3.7%
Total	466'020	491'295	25'275	5.4%

Aufteilung auf die VMZ

Um das Beschäftigungswachstum in den verschiedenen VMZ innerhalb des Kantons Bern zu modellieren, wird grundsätzlich analog zum Bevölkerungswachstum vorgegangen, wobei anstelle der Wohn- nun die Arbeitsgebiete stärker berücksichtigt werden (vgl. auch Abbildung 9-40):

1. **Entwicklungsgebiete:** Maximal 80% des Wachstums werden den Entwicklungsgebieten (Arbeitsschwerpunkten ASP, Umstrukturierungs- und Verdichtungsgebiete UV, Vorranggebiete) innerhalb des jeweiligen Clusters zugewiesen. Zu diesem Zweck wurden die Regionalkonferenzen mittels eines Erfassungssheets¹⁹ zum erwarteten Wachstum (bis 2040) in ihren Regionen befragt.
 - Falls die Angaben der Regionen den maximalen Clusterwert übersteigen, werden die Werte linear auf den Clusterwert runterskaliert.
 - Falls die Angaben der Regionen den maximalen Clusterwert nicht erreichen, wird das restliche Wachstum anhand der unüberbauten Bauzonen und der heutigen Bevölkerung (2019) verteilt (vgl. nachfolgend).
2. **Unüberbaute Bauzonen:** Vom verbleibenden Clusterwachstum werden maximal 80% auf unüberbaute Bauzonen (Arbeits-, Misch- und Zentrumszonen) im jeweiligen Clustergebiet verteilt.²⁰ Hierbei wird sowohl die heutige Bebauungsdichte im bebauten Gebiet (Annahme: künftig maximal 1.5-mal so starke Bebauung wie heute) als auch die Art der jeweiligen Bauzonen berücksichtigt.
 - Falls das potenzielle Wachstum den maximalen Clusterwert übersteigt, werden die Werte linear auf den Clusterwert runterskaliert.
 - Falls das potenzielle Wachstum tiefer liegt als der maximale Clusterwert, wird das verbleibende Wachstum auf das Restgebiet verteilt (vgl. nachfolgend).

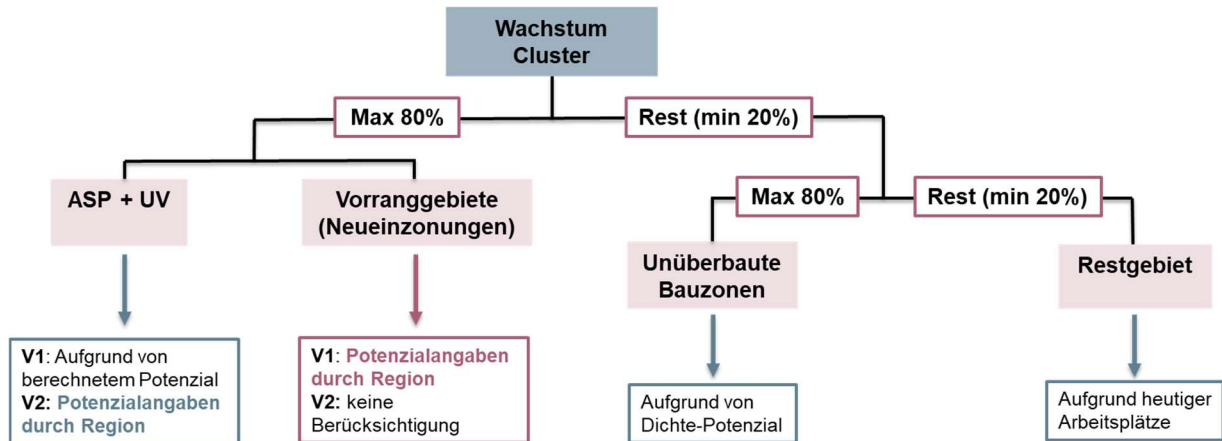
¹⁹ Excel mit Detailinformationen (Gebietsart, ESP-Angaben, Strukturdaten 2019, Dichte 2019) zu den einzelnen Gebieten, gegliedert nach Cluster. Zudem wurde den Regionen ein Vorschlag anhand einer Modellberechnung unterbreitet. Hierbei wurde von der heutigen Bebauungsdichte im bebauten Gebiet (Arbeitszonen exkl. unüberbaute Bauzonen) multipliziert mit einem Faktor von 1.5 (Annahme: dichtere Bebauung in Zukunft) ausgegangen. Das potenzielle Wachstum ergibt sich entsprechend aus der Differenz zur aktuellen Bebauungsdichte im jeweiligen Entwicklungsgebiet.

²⁰ Zum Teil liegen die unüberbauten Bauzonen in Entwicklungsgebieten oder überschneiden diese. Da die Entwicklungsgebiete bereits im ersten Schritt berücksichtigt wurden, werden solche unüberbauten Bauzonen nicht resp. nur anteilmässig (Fläche ausserhalb von Entwicklungsgebieten) berücksichtigt.

3. **Restgebiet:** Das verbleibende Clusterwachstum wird auf das «Restgebiet» (Raum ausserhalb von Entwicklungsgebieten und unüberbauten Bauzonen) aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgt relativ zu den aktuell in diesen Gebieten angesiedelten Arbeitsplätzen, d.h. das relative Beschäftigungswachstum wird innerhalb all dieser Gebiete als gleich hoch angenommen (in Bezug auf den jeweiligen Cluster).

Resultat der Aufteilung: Das maximal mögliche Wachstum von 80% in den Entwicklungsgebieten wird vollständig ausgeschöpft.²¹ Gleiches gilt auch für die unüberbauten Bauzonen, auf die 16% des Wachstums entfallen. Entsprechend findet im Restgebiet 4% des Gesamtwachstums statt.

Abbildung 9-43: Vorgehen für Aufteilung des Beschäftigungswachstums auf VMZ

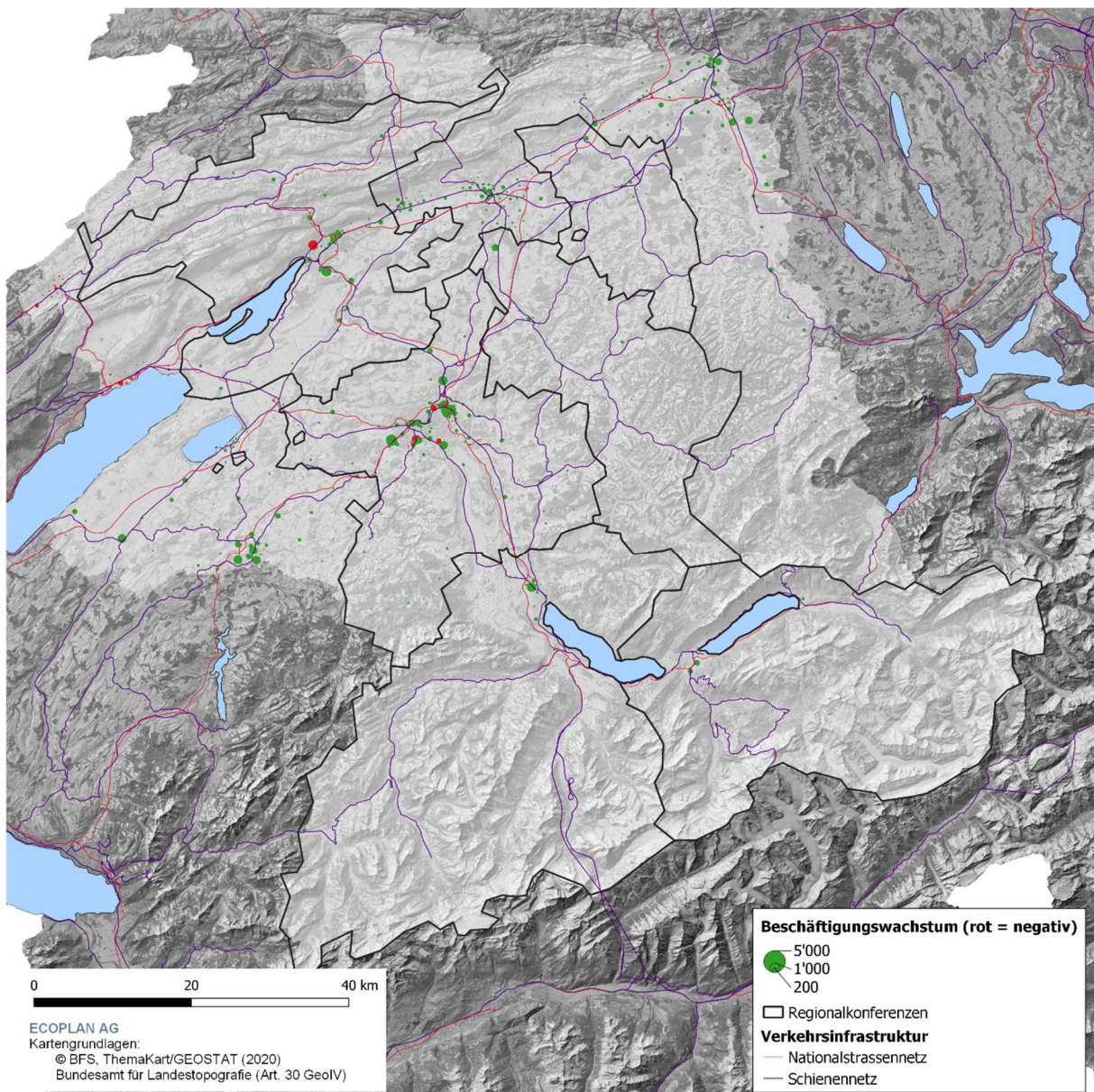


9.3.3.2 Prognose ausserkantonale Gemeinden

Ausserhalb des Kantons Bern bilden die Kantone ein Cluster. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Beschäftigtenwachstum innerhalb dieser Cluster jeweils gleich entwickelt, d.h. relativ zu den heutigen Arbeitsplätzen.

²¹ Das von den Regionen angegebene Potenzialwachstum lag jeweils rund 3-4 mal so hoch wie der vorgegebene Clusterwert. Von zahlreichen Regionalkonferenzen wurde schriftlich auf diese Problematik hingewiesen.

Abbildung 9-44: Beschäftigungswachstum im Modellgebiet des GVM BE



9.3.4 Auszubildende

Für die Prognose 2040 werden die Zahl der Standortschüler und jene der Studenten an den Universitäten und Fachhochschulen angepasst.

Standortschüler: Die Zahl der Standortschüler wird mit Hilfe der Bevölkerungsentwicklung berechnet. Dabei werden die Wachstumsraten zwischen 2019 und 2040 der Alterskohorten der bis 15-Jährigen auf Gemeindebasis ermittelt und die Zahl der Standortschüler im Jahr 2019 pro Verkehrsmodellzone mit der entsprechenden Gemeinde-Wachstumsrate multipliziert. Dies führt insgesamt zu einer Zunahme der Schülerzahlen im Kanton Bern und im übrigen Modellgebiet.

Hinsichtlich der Schulstandorte gehen wir grundsätzlich von den heutigen Standorten aus. Ausnahmen bilden einzelne bereits bekannte Ausbauprojekte (Gymnasium Liebefeld, Gymnasium Thun), für welche neue Standorte integriert wurden.

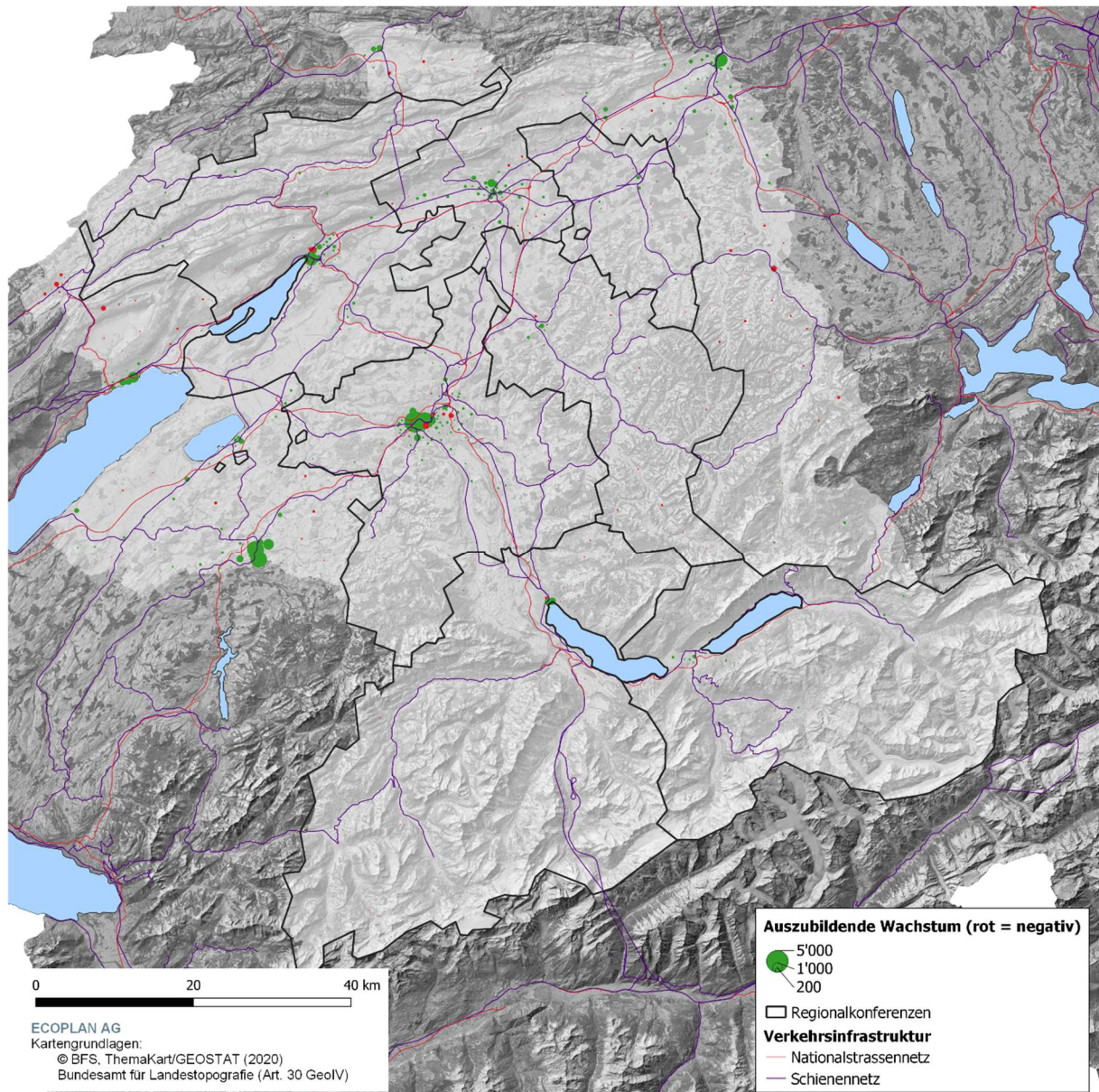
Universitäten und Fachhochschulen: In den letzten 20 Jahren (1999-2019) ist die Zahl der Studierenden an den Universitäten um 64% gestiegen, an den Fachhochschulen hat sich die Studierendenanzahl im gleichen Zeitraum mehr als verdreifacht. In den nächsten 10 Jahren rechnet das BFS mit einem weiteren Anstieg der Studierenden von rund 14%.²² Da sich das Bevölkerungswachstum gemäss den Szenarien des BFS in den Folgejahren (2030-2040) etwas verlangsamen dürfte, gehen wir für den Zeitraum 2019-2040 von einem Gesamtwachstum von 25% aus. Zur Vereinfachung verwenden wir für sämtliche Universitäten und Fachhochschulen das gleiche Wachstum.

Zudem gehen wir grundsätzlich von den heutigen Standorten aus. Eine Ausnahme bilden die beiden neuen BFH-Campus Bern und Biel, die zugunsten der alten Standorte (Auflösung / Abmiete) ins Modell integriert wurden.²³

²² BFS (2021), Szenarien 2020-2029 für das Bildungssystem, Neuchâtel 2021

²³ Auf Basis der Unterlagen der BFH werden im Modell die FH-Studenten der voraussichtlich zu schliessenden Standorte an die neuen Campus transferiert.

Abbildung 9-45: Auszubildende Wachstum im Modellgebiet des GVM BE



9.3.5 Verkaufsflächen und Einkaufszentren

Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand grundsätzlich übernommen. Für den Kanton Bern werden Ausnahmen gemacht, falls bereits grössere Bauprojekte (insbesondere ViV) bekannt sind und von deren Realisierung vor 2040 ausgegangen werden kann.

9.3.6 Spitäler

Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand grundsätzlich übernommen. Für den Kanton Bern werden Ausnahmen gemacht, falls bereits grössere Bauprojekte (insbesondere ViV) bekannt sind und von deren Realisierung vor 2040 ausgegangen werden kann.

9.3.7 Kulturangebot

Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.3.8 Freizeitangebot

Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.3.9 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.3.10 Bestand an Personenwagen

Das Wachstum der Personenwagen bis 2040 in einer VMZ entspricht im Wesentlichen dem Wachstum der Personenwagen pro Einwohner im NPVM, multipliziert mit dem Wachstum der Einwohner. Das NPVM antizipiert je nach Gemeindetyp eine andere Wachstumsrate. Zudem unterscheiden sich die hinterlegten Annahmen innerhalb des NPVM je nach Szenario. Da für das GVM BE aus verkehrlicher Sicht zwei Prognosezustände berechnet werden – auf Basis der NPVM-Szenarien «Basis» und «WWB» (weiter wie bisher) –, unterscheiden wir auch bei den Strukturdaten zwischen diesen beiden Szenarien.

Um den Bestand der Personenwagen per 2040 zu berechnen, werden die Personenwagen im Jahr 2019 mit dem (angepassten) Wachstum der Personenwagen pro Einwohner und der Veränderung der ständigen Wohnbevölkerung multipliziert.

9.3.11 Verfügbarkeit von Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz

Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.3.12 Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr

Für die Berechnung des Wachstums der Abos im öffentlichen Verkehr wird wie beim Bestand an Personenwagen auf die Annahmen aus dem NPVM zurückgegriffen. Mit dem NPVM können die Anteile der ÖV-Abos pro Einwohner für 2017 und 2040 und eine entsprechende Wachstumsrate ermittelt werden. Da für das GVM BE aus verkehrlicher Sicht zwei Prognosezustände berechnet werden – auf Basis der NPVM-Szenarien «Basis» und «WWB» (weiter wie bisher) –, unterscheiden wir auch bei den Strukturdaten zwischen diesen beiden Szenarien

Um den Bestand der ÖV-Abos per 2040 zu errechnen, werden die Abos im Jahr 2019 mit dem (angepassten) Wachstum der Abos pro Einwohner und der Veränderung der ständigen Wohnbevölkerung multipliziert.²⁴

²⁴ Da die Regional-Abonnements im NPVM auf Gemeindeebenen grosse Schwankungen hinsichtlich der Wachstumsraten aufweisen, wird für Regional-Abonnements das Wachstum der Generalabonnements für die Skalierung verwendet.

9.3.13 Weitere Daten

- Spitäler: Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen. Als Sonderfälle wurde einerseits das SVSA Bern verschoben (neuer Standort in Münchenbuchsee) und andererseits das geplante Polizeizentrum in Köniz (Juch) neu aufgenommen.²⁵
- Seilbahnen: Für die Prognose 2040 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.
- Flughafendaten: Für den Zustand 2040 wurde aufgrund der Unsicherheit der Wachstumsprognosen der Ist-Zustand übernommen.

²⁵ Diese Anlagen verursachen ähnliche Besucherströme wie Spitäler und wurden deshalb dieser Kategorie zugeordnet.

9.4 Berechnung der Verkehrsnachfrage

Die **Verkehrsnachfrageveränderungen** (Prognose 2040, Basis- und Szenario Moderat) 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 9.1 beschrieben.

Aus dem zukünftigen Verkehrsangebot und dem Erzeugungsmodell werden mit dem simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell (EVA) die neuen fahrtzweckspezifischen Prognosematrizen 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.

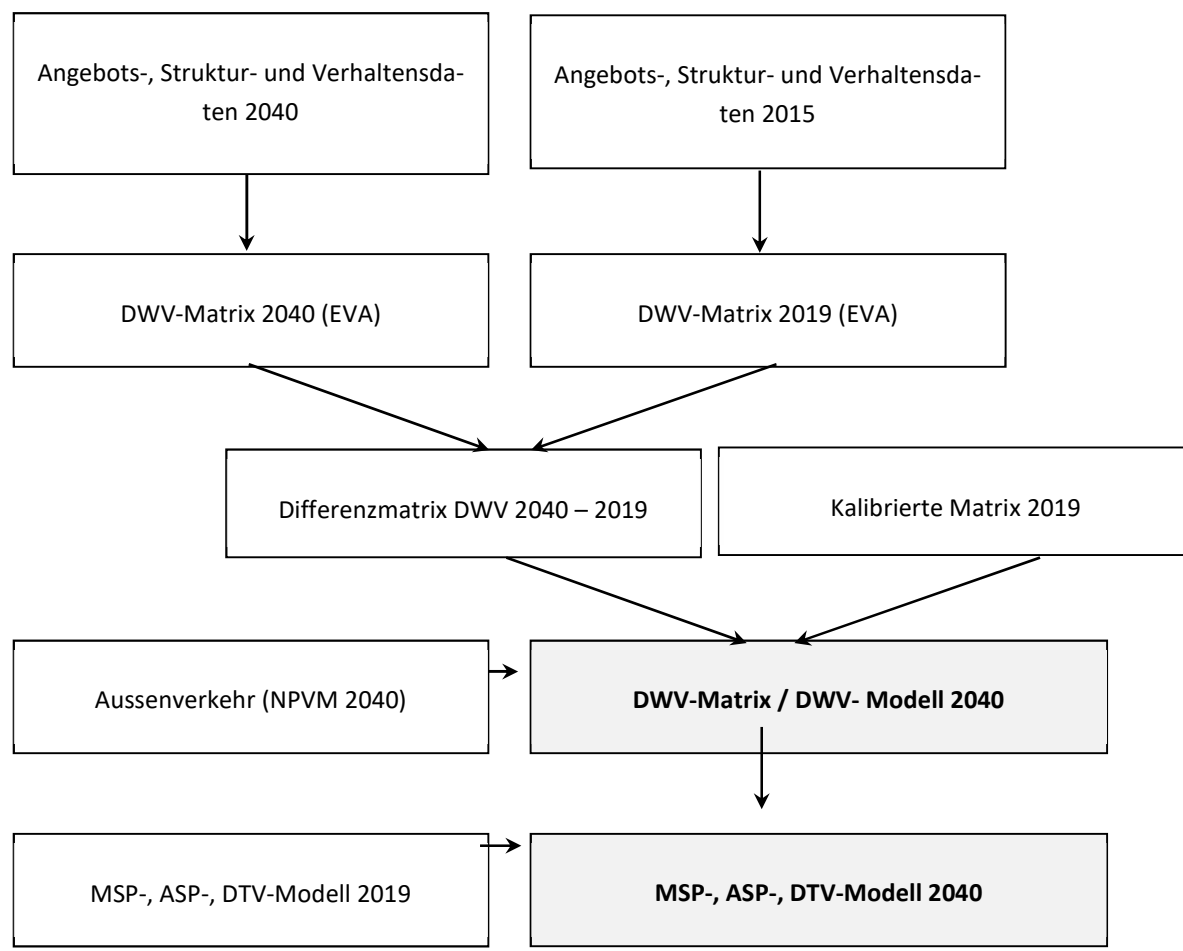
Die Erstellung der Gesamtnachfrage für das Prognosejahr 2040 wird in zwei Schritten durchgeführt:

- 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 47). 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 2015-Matrix hochgerechnet.

Abbildung 46 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 21 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 6.5% (Basis) bzw. 11.7% (Moderat). Dieses Wachstum resultiert einerseits aus dem Bevölkerungswachstum und andererseits aus den leicht veränderten Erzeugungsraten sowie der veränderten Altersstruktur der Bevölkerung. Der überproportionale Anstieg bei den Einkaufs- und Freizeitwegen ist dadurch bedingt, dass die Bevölkerung insgesamt älter wird und dadurch eine Verschiebung der Fahrtzweckanteile stattfindet.

Tabelle 21 Vergleich des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 im Szenario Basis und Moderat (Binnenwege DWV)

	Berechnete Anzahl Wege 2019 [Mio]	Berechnete Anzahl Wege 2040 Basis / Moderat [Mio]	Veränderung [%]
Arbeit	1.41	1.26 / 1.41	-10.0 / 0.0
Ausbildung	0.53	0.56 / 0.58	6.7 / 9.2
Nutzfahrt	0.20	0.20 / 0.21	-2.2 / 2.5
Einkauf	1.36	1.32 / 1.39	-2.6 / 2.4
Freizeit	1.92	2.42 / 2.47	26.0 / 28.4
Gesamt	5.42	5.78 / 6.05	6.5 / 11.7

Die Verschiebung der Fahrtzweckanteile an der Gesamtverkehrsnachfrage zwischen 2019 und 2040 ist aus Tabelle 22 ersichtlich. Die Pendlerwege (Arbeit und Ausbildung zusammen) betragen im Zustand 2040 nur noch einen Anteil von 31.7% im Basisszenario bzw. 32.8% im Szenario Moderat am Gesamtverkehrsaufkommen, was einer Abnahme von -4.0% bzw. -2.7% gegenüber 2019 entspricht. Der Anteil des Fahrtzwecks Einkauf nimmt ebenfalls leicht ab, während insbesondere der Anteil der Freizeitwege (+6.5% bzw. +5.3%) zunimmt.

Tabelle 22 Vergleich der Fahrtzweckanteile 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)

	Anteil der berechneten Wege 2019 [%]	Anteil der berechneten Wege 2040 Basis / Moderat [%]	Veränderung [%]
Arbeit	25.9	21.9 / 23.2	-4.0 / -2.7
Ausbildung	9.8	9.8 / 9.6	0.0 / -0.2
Nutzfahrt	3.8	3.4 / 3.4	-0.4 / -0.4
Einkauf	25.0	22.9 / 22.9	-2.1 / -2.1
Freizeit	35.5	42.0 / 40.8	6.5 / 5.3

Tabelle 23 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 ÖV-Nachfrage.

Tabelle 23 Veränderung des Verkehrsaufkommens 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)

[%]	MIV		ÖV		Velo		Fuss		Total	
	(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)	
Arbeit	-15.2 / -3.9		-6.1 / 3.8		9.9 / 13.8		-8.4 / 1.1		-10.0 / 0.0	
Ausbildung	-13.4 / -4.9		19.7 / 25.4		34.0 / 24.0		-7.7 / -3.1		6.7 / 9.2	
Nutzfahrt	-4.3 / 1.5		1.4 / 4.6		31.8 / 21.0		-5.8 / -1.5		-2.2 / 2.5	
Einkauf	-7.8 / -1.6		0.4 / 7.8		31.7 / 23.8		-3.0 / 2.3		-2.6 / 2.4	
Freizeit	19.5 / 24.0		34.1 / 37.4		57.0 / 46.5		26.5 / 28.4		26.0 / 28.4	
Gesamt	0.6 / 7.6		11.0 / 17.8		34.4 / 28.3		5.9 / 10.5		6.5 / 11.7	

Analog zum Verkehrsaufkommen (als Anzahl Wege) zeigt Tabelle 24 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 leicht zurück. Dies führt dazu, dass die Verkehrsleistungen insgesamt etwas weniger stark ansteigen als das Verkehrsaufkommen. Durch die reduzierten Reisezeiten beim Veloangebot sowie der verstärkten Siedlungsentwicklung nach innen, wird die mittlere Weglänge des Veloverkehrs erhöht.

Tabelle 24 Veränderung der Verkehrsleistung 2019 – 2040 (Binnenwege DWV)

[%]	MIV		ÖV		Velo		Fuss		Total	
	(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)		(Basis/Moderat)	
Arbeit	-18.3 / -6.1		-6.9 / -0.2		21.9 / 20.5		-7.2 / 1.8		-13.3 / -3.3	
Ausbildung	-10.4 / -6.0		24.4 / 28.6		51.7 / 32.8		-10.3 / -5.4		16.1 / 18.9	
Nutzfahrt	-6.5 / 2.0		3.2 / 2.7		42.9 / 27.1		-4.5 / -0.6		-5.2 / 2.2	
Einkauf	-7.9 / -1.7		3.7 / 8.3		44.9 / 31.4		-2.0 / 3.2		-4.1 / 1.1	
Freizeit	18.0 / 23.6		40.0 / 42.6		74.3 / 55.5		26.4 / 28.0		24.7 / 28.7	
Gesamt	-1.7 / 6.4		13.9 / 18.6		47.8 / 35.8		6.1 / 10.5		4.4 / 10.8	

Tabelle 25 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 und ÖV an den Binnenwegen insgesamt reduziert wird und im Veloverkehr zunimmt.

Tabelle 25 Veränderung der Anteile am Verkehrsaufkommen 2019 –2040 (Binnenwege DWV)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
	(Basis/Moderat)	(Basis/Moderat)	(Basis/Moderat)	(Basis/Moderat)
Arbeit	-3.3 / -2.2	0.8 / 0.7	2.2 / 1.4	0.3 / 0.2
Ausbildung	-2.3 / -1.6	3.2 / 3.8	4.9 / 2.6	-5.8 / -4.9
Nutzfahrt	-1.7 / -0.8	0.3 / 0.2	1.7 / 0.9	-0.3 / -0.3
Einkauf	-2.8 / -2.0	0.3 / 0.5	2.7 / 1.6	-0.1 / 0.0
Freizeit	-2.9 / -1.9	0.6 / 0.7	2.1 / 1.2	0.1 / 0.0
Gesamt	-2.9 / -1.9	0.5 / 0.7	2.5 / 1.4	-0.2 / -0.3

Tabelle 26 zeigt die Veränderung der Verkehrsmittelanteile an der Gesamtverkehrsleistung der einzelnen Fahrtzwecke. Auch hier nimmt der MIV-Anteil ab (um -3.9% bzw. -2.6%) und der ÖV-Anteil wird um ca. 2.3% bzw. um 1.8% und Veloanteil um 1.5% bzw. 0.8% erhöht.

Tabelle 26 Veränderung der Anteile an der Verkehrsleistung 2019 – 2040 (Binnenwege DWV, Nachfragesegmente CH)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
	(Basis/Moderat)	(Basis/Moderat)	(Basis/Moderat)	(Basis/Moderat)
Arbeit	-3.8 / -1.9	2.2 / 0.9	1.5 / 0.9	0.2 / 0.1
Ausbildung	-4.2 / -3.8	4.6 / 5.3	2.1 / 0.8	-2.5 / -2.2
Nutzfahrt	-1.3 / -0.2	0.9 / -0.0	0.4 / 0.2	0.0 / 0.0
Einkauf	-3.0 / -2.1	1.1 / 0.9	1.8 / 1.1	0.2 / 0.2
Freizeit	-3.9 / -2.9	2.4 / 2.1	1.4 / 0.7	0.1 / 0.0
Gesamt	-3.9 / -2.6	2.3 / 1.8	1.5 / 0.8	0.1 / 0.0

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 des entsprechenden Szenarios (Basisszenario 2040 für Basisszenario und WWB 2040 für Szenario Moderat) übernommen.

Tabelle 27 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 27 Veränderung der Verkehrsnachfrage 2040 gegenüber 2019 (Binnen- und Aussenströme DWV)

	Verkehrsaufkommen (gesamt)	Verkehrsleistung (Mo- dellperimeter) [km]	Verkehrsleistung (Kan- ton Bern) [km]
Basisszenario			
PW-Fahrten	+2.8% (+164'191)	+0.2% (+71'024)	-0.5% (-104'342)
Strassengüterverkehr (Fahrten)	+32.4% (+350'244)	+31.6% (+1'992'681)	+32.0% (+1'155'565)
Strassenverkehr gesamt (Fahrten)	+7.5% (+514'435)	+5.4% (+2'063'282)	+4.6% (+1'050'918)
ÖV (Wege)	+20.3% (+350'244)	+20.5% (+3'637'859)	+17.1% (+1'636'990)
Szenario Moderat			
PW-Fahrten	+11.6% (+679'636)	+7.6% (+2'447'965)	+5.8% (+1'116'350)
Strassengüterverkehr (Fahrten)	+33.5% (+351'086)	+32.5% (+2'052'956)	+32.8% (+1'184'929)
Strassenverkehr gesamt (Fahrten)	+14.9% (+1'030'722)	+11.7% (+4'500'391)	+10.1% (+2'300'984)
ÖV (Wege)	+19.5% (+379'936)	+23.1% (+4'083'109)	+19.8% (+1'903'544)

Die Nachfrage im Strassenverkehr nimmt demnach im Modellperimeter bis 2040 beim Verkehrsaufkommen um 7.5% (Basisszenario) bzw. 14.9% (Szenario Moderat) und bei der Verkehrsleistung um 5.4% (Basisszenario) bzw. 11.7% (Szenario Moderat) zu. Im ÖV beträgt die Zunahme bis 2040 beim Verkehrsaufkommen 20.3% (Basisszenario) bzw. 19.5% (Szenario Moderat), bei der Verkehrsleistung 20.5% (Basisszenario) bzw. 23.1% (Szenario Moderat). Hier ist festzustellen, dass die mittlere Weglänge im MIV (beide Szenarien) leicht abnimmt und im ÖV leicht zunimmt. Bezogen auf den Kanton Bern alleine ist die Zunahme der Verkehrsleistung im Strassenverkehr 4.6% (Basisszenario) bzw. 10.1% (Szenario Moderat) und im ÖV +17.1% (Basisszenario) bzw. 19.8% (Szenario Moderat). 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. Hier ist zu sehen, dass in beiden Szenarien das Wachstum des Aussenverkehrs höher ist als im Binnenverkehr. Das stärkere

Wachstum des Aussenverkehrs liegt wahrscheinlich vor allem an der unterschiedlichen Siedlungsentwicklung, eine detailliertere Analyse sowie Sensitivitätsberechnungen konnten im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt werden.

Tabelle 28 Entwicklung des Binnen- und Aussenverkehrs 2019 – 2040 (DWV)

[%]	2019	2040 (Szenario Basis/Szenario Moderat)	2040/2019 (%)
ÖV-Wege			
Binnenverkehr	715'065	801'234 / 841'042	12.1 / 17.6
Aussenverkehr	1'233'083	1'541'626 / 1'487'042	25.0 / 20.6
Total	1'948'148	2'342'859 / 2'328'084	20.3 / 19.5
PW-Fahrten			
Binnenverkehr	2'294'436	2'286'655 / 2'427'270	-0.3 / 5.8
Aussenverkehr	3'556'254	3'728'227 / 4'103'056	4.8 / 15.4
Total	5'850'691	6'014'882 / 6'530'326	2.8 / 11.6
Anteil (%)			
ÖV	19.7	22.3 / 20.8	+2.6 / 1.1
PW	80.3	77.7 / 79.2	-2.6 / -1.1

9.4.3 Spitzenstunden

Aus den DWV-Matrizen für das Jahr 2040 wurden mit dem oben beschriebenen Verfahren die Matrizen für die Morgen- (MSP) und 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.

Die Berechnung der Spitzenstundenmatrizen erfolgt anhand der Spitzenstundenmatrizen 2019 und den Nachfrageveränderungen zwischen 2019 und 2040. Aus den DWV-Matrizen 2040 und 2019 wird eine DWV-Differenzmatrix abgeleitet und mit den Spitzenstundenanteilen 2019 multipliziert. Daraus werden die Differenzmatrizen 2019-2040 für die einzelnen Spitzenstundenmatrizen erstellt. Aus den 2019-Spitzenstundenmatrizen und den Nachfrageveränderungen einzelner Spitzenstunden 2019-2040 (Differenzmatrizen 2019-2040) werden die Spitzenstundenmatrizen 2040 zusammengestellt.

Die Eckwerte der aus diesen Berechnungen resultierenden Nachfragematrizen sind in Tabelle 29 dargestellt. Das Gesamtwachstum im DTV sowie in den Spitzenstunden ist proportional etwa gleich wie jenes im DWV. Die Verkehrsnachfrage im motorisierten Verkehr nimmt in den Spitzenstunden zwischen 2019 und 2040 um ca. 4% (Basisszenario) bzw. 12% (Szenario Moderat) und im ÖV ca. 20% (Basisszenario) bzw. 19% (Szenario Moderat) zu. Im DTV (PW) beträgt die Zunahme bis 2040 ca. 3% (Basisszenario) bzw. 12% (Szenario Moderat).

Tabelle 29 Entwicklung des Binnen- und Aussenverkehrs 2019 – 2040 (DWV)

	Basisszenario [Mio.] (Veränderung 2040/2019)		Szenario Moderat [Mio.] (Veränderung 2040/2019)	
	PW-Fahrten	ÖV-Wege	PW-Fahrten	ÖV-Wege
MSP	0.43 (3.0%)	0.25 (18.9%)	0.47 (11.3%)	0.25 (17.5%)
ASP	0.53 (2.4%)	0.27 (19.9%)	0.57 (11.2%)	0.27 (18.5%)
DTV	5.69 (2.8%)	-	6.18 (11.6%)	-

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 47 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Basisszenario)

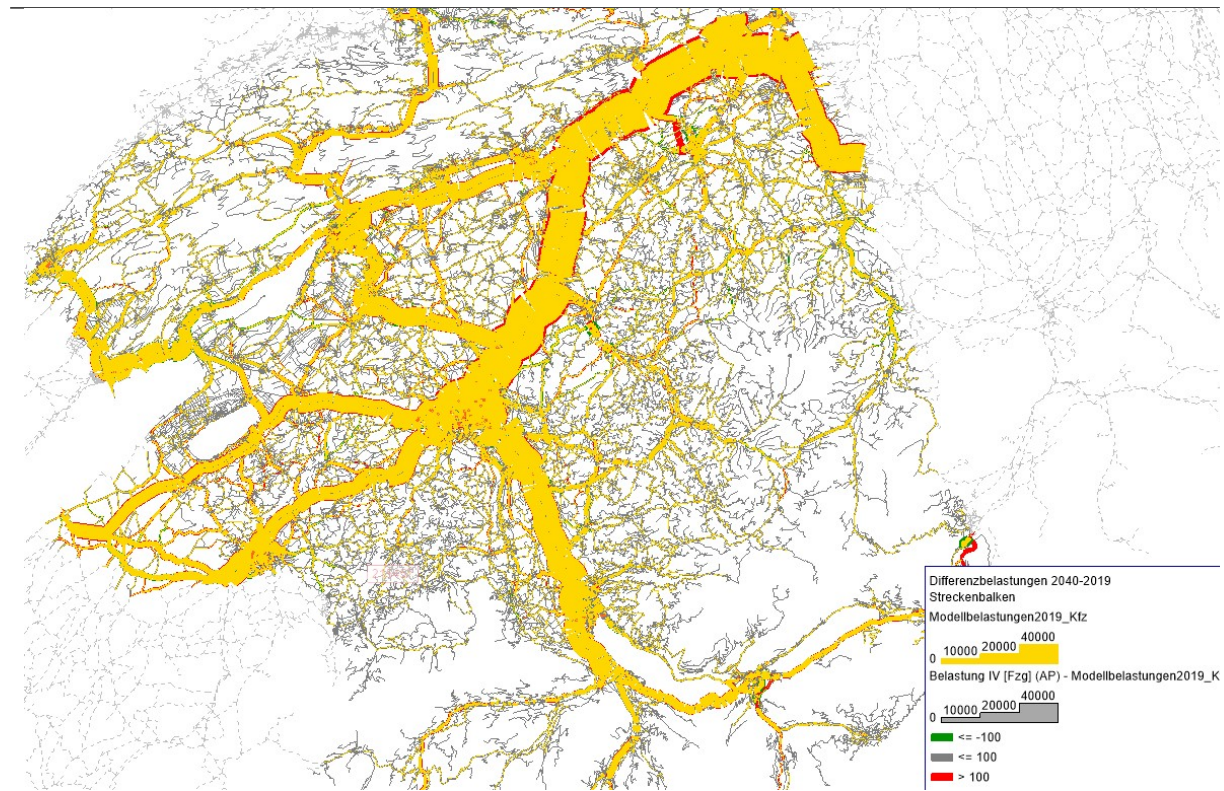


Abbildung 48 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Szenario Moderat)

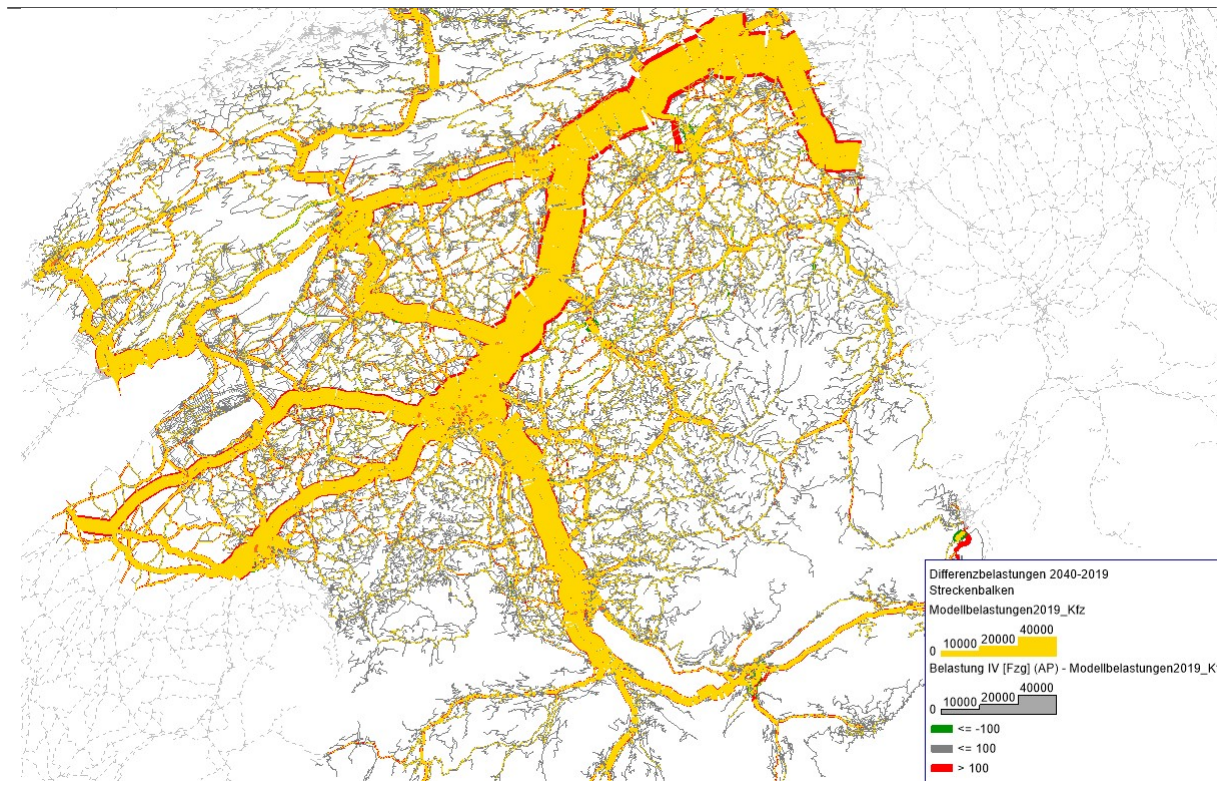


Abbildung 49 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Basisszenario)

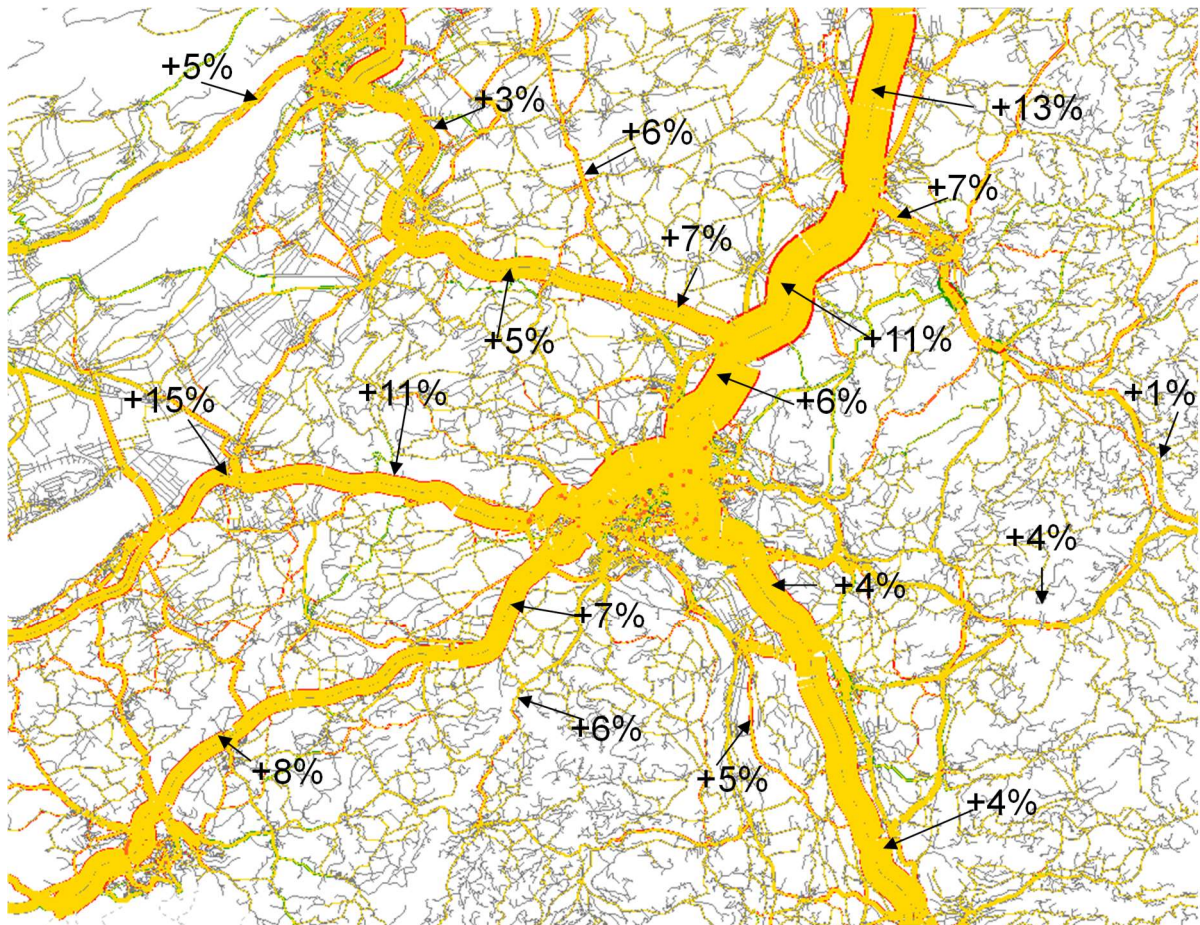


Abbildung 50 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Szenario Moderat)

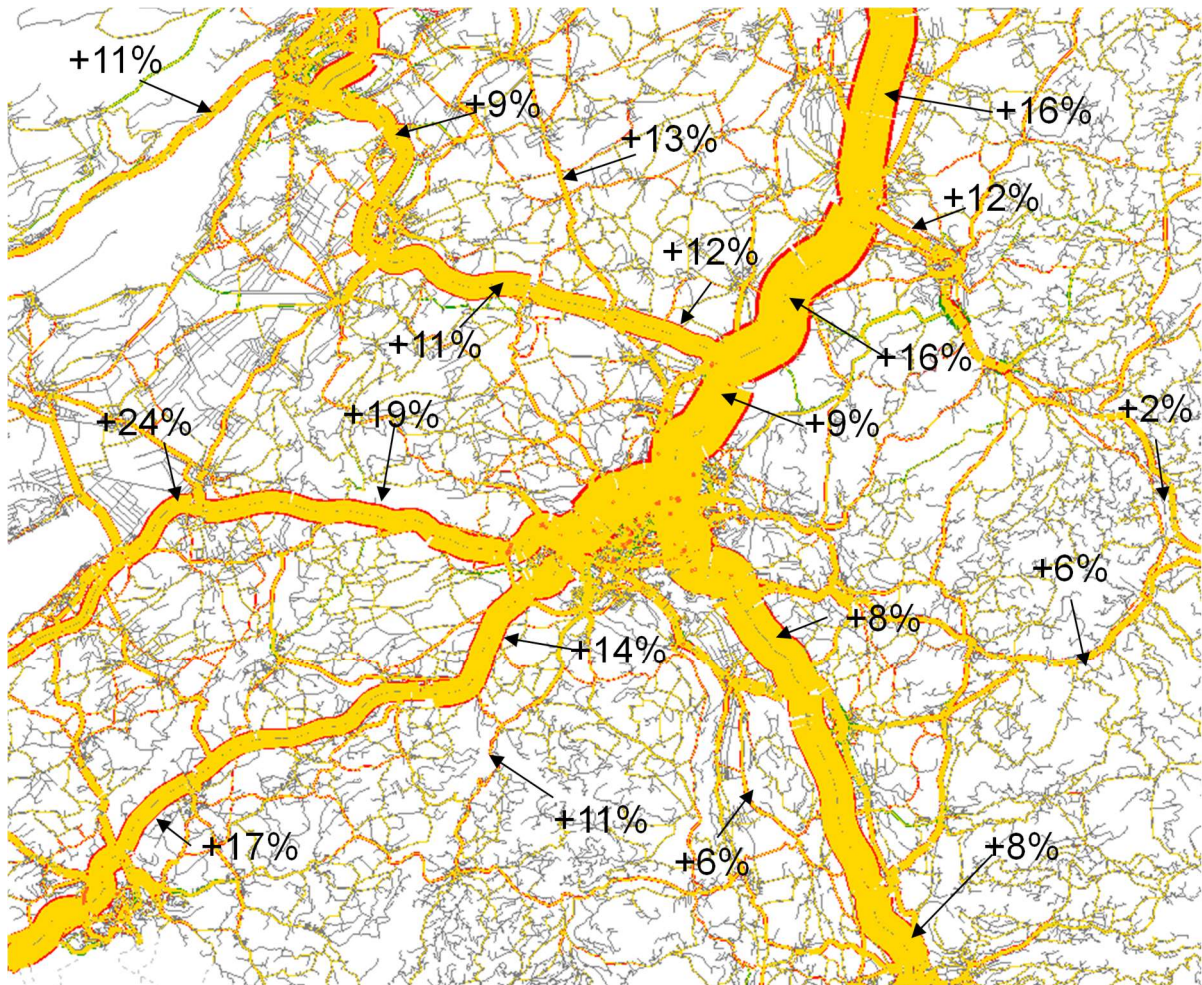


Abbildung 51 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Basis-Szenario)

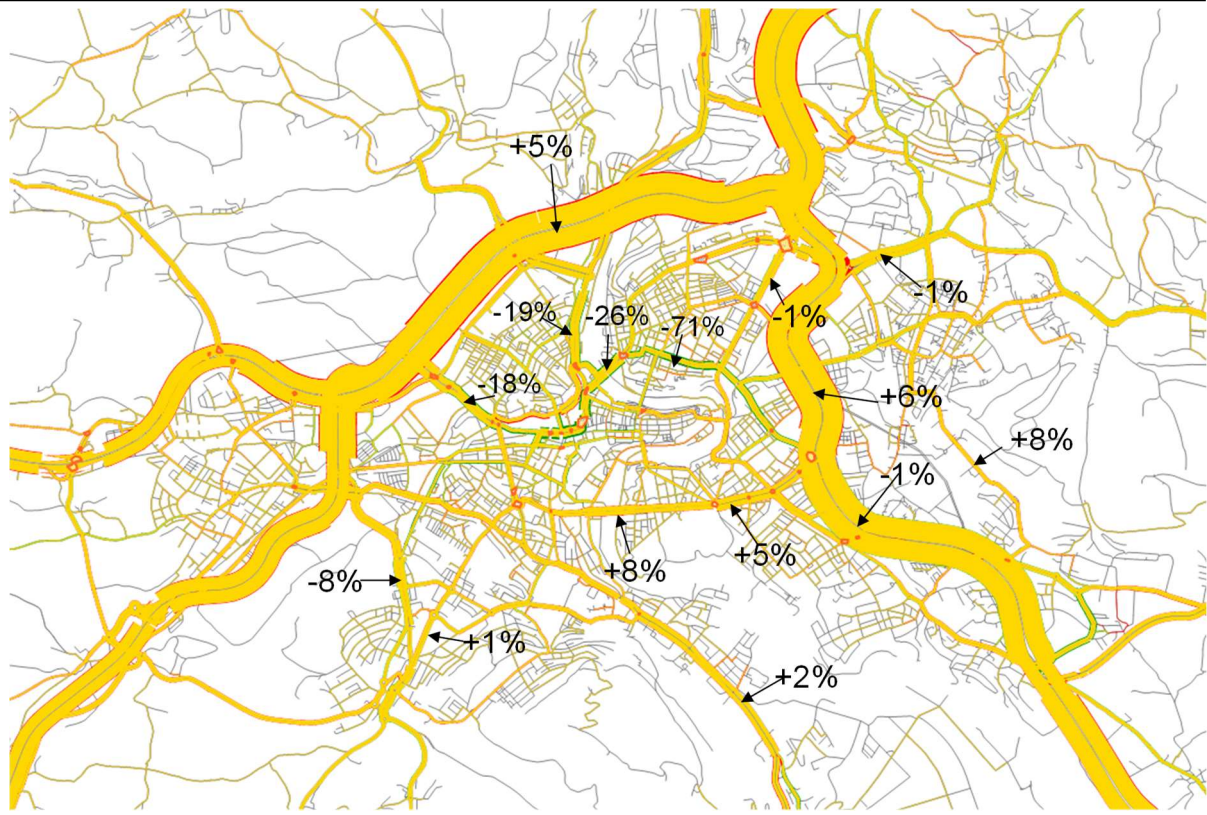


Abbildung 52 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – MIV (Szenario Moderat)

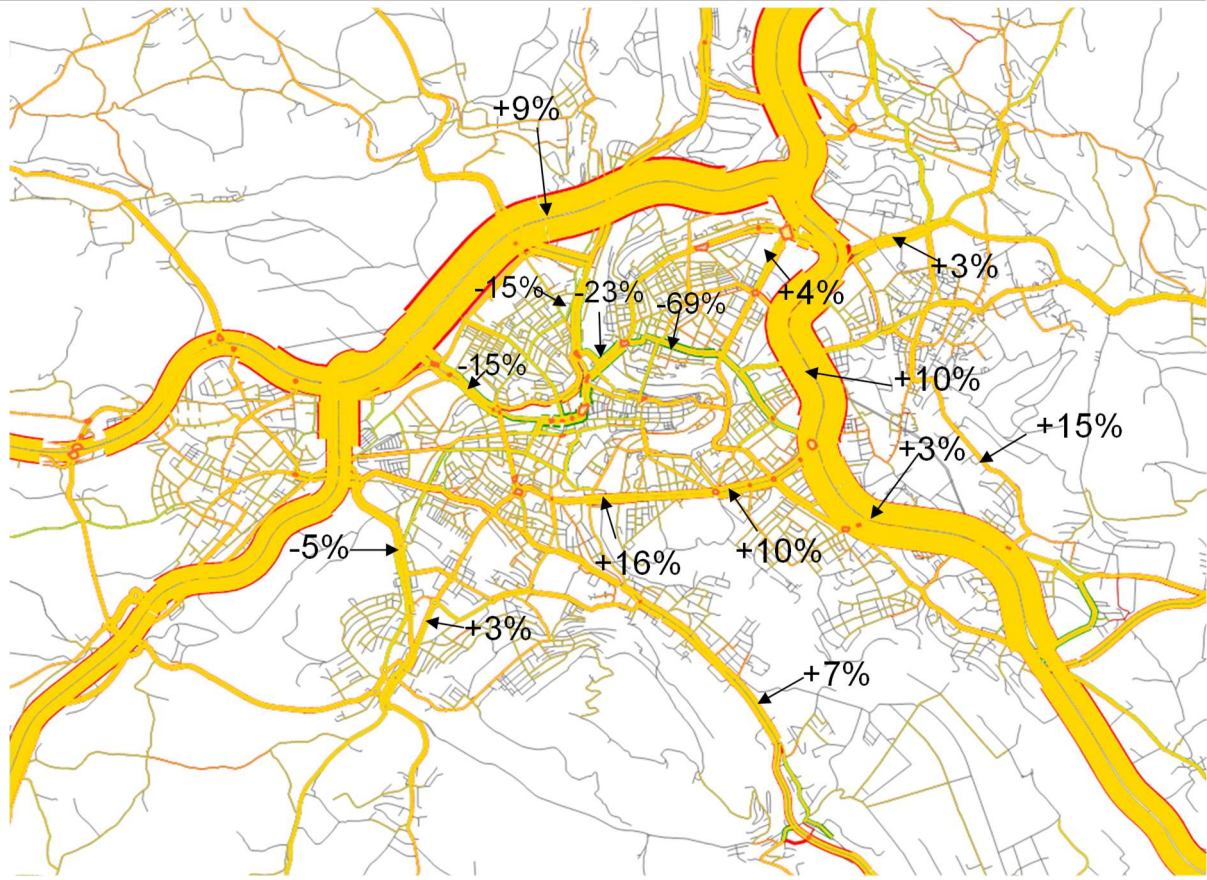


Abbildung 53 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Basisszenario)

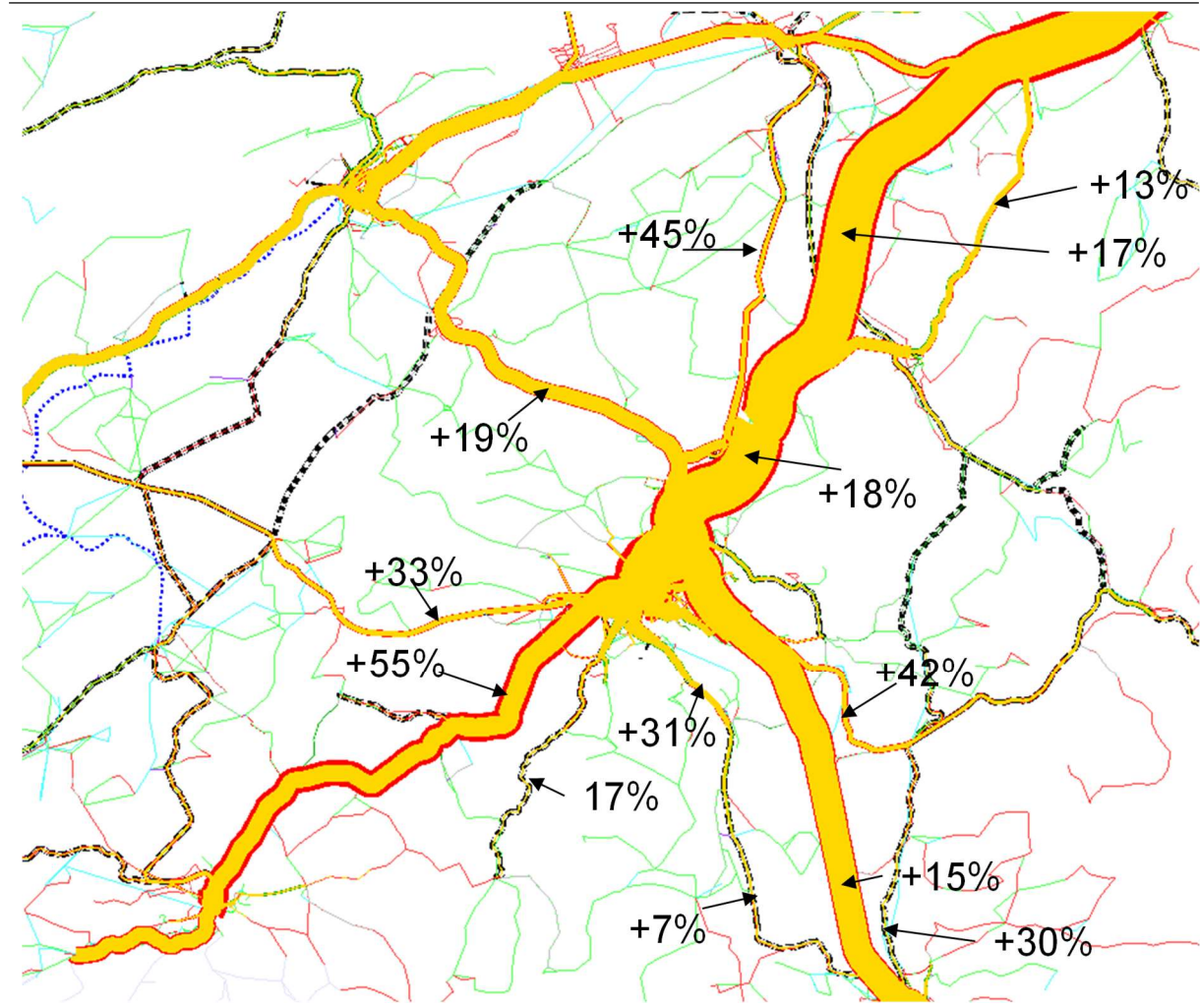


Abbildung 54 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Szenario Moderat)

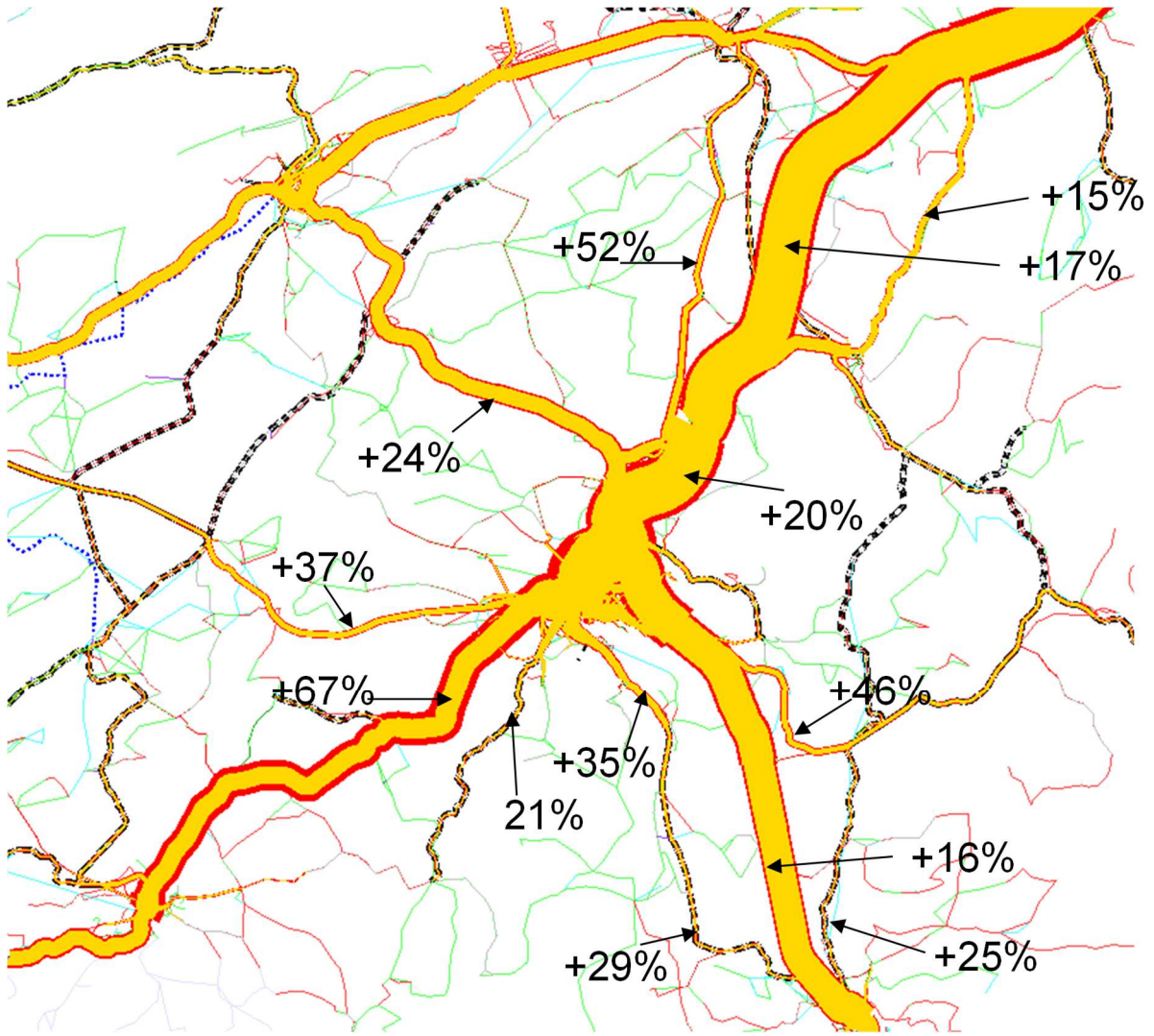


Abbildung 55 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Basisszenario)

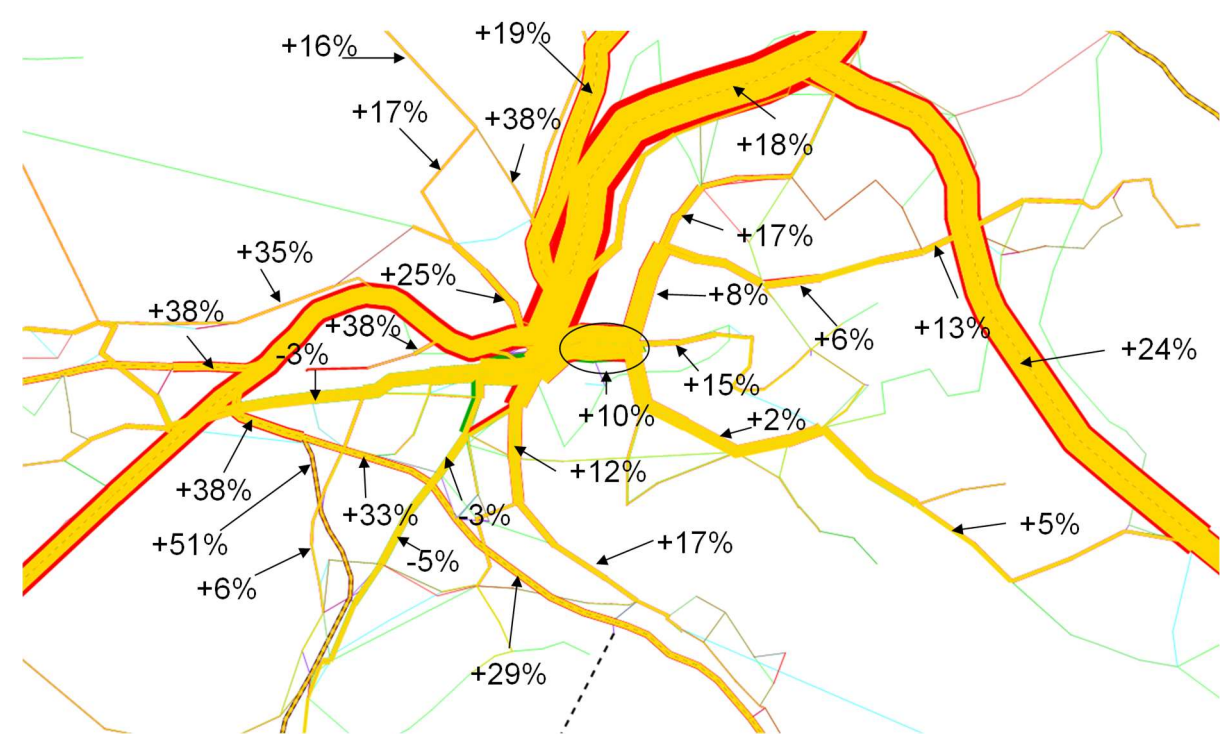
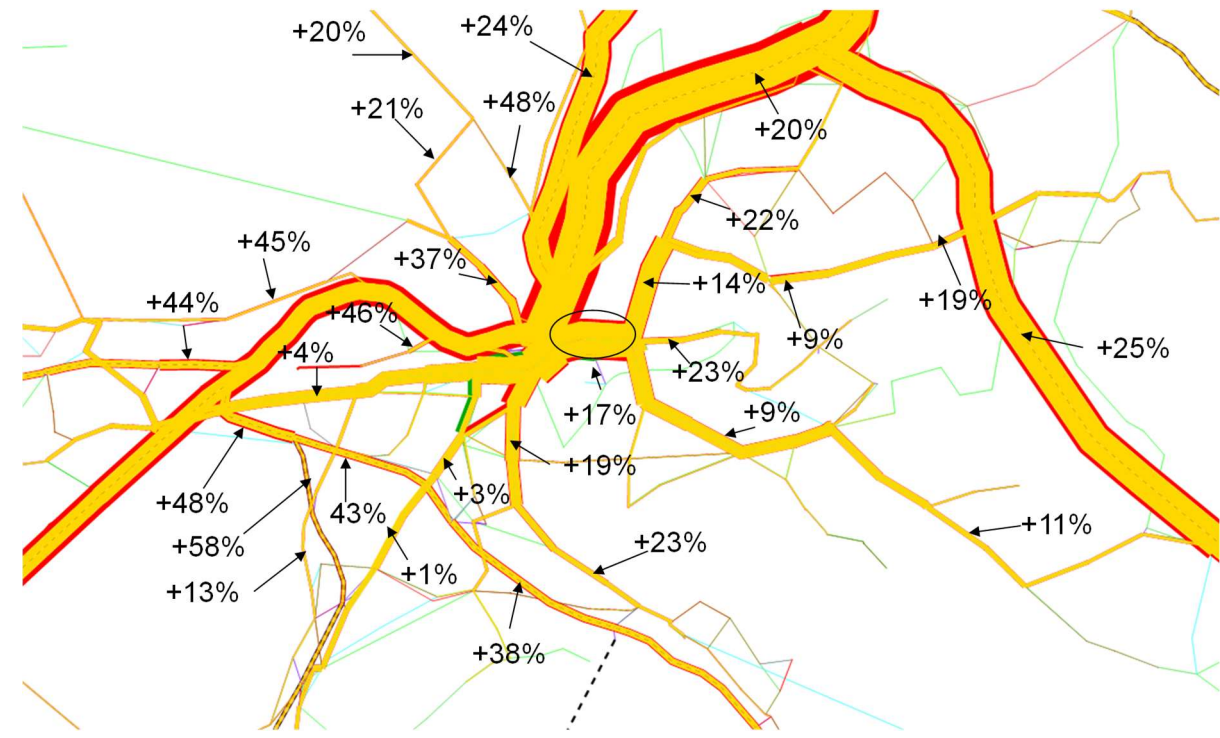


Abbildung 56 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2019 – ÖV (Szenario Moderat)



10 Schlussfolgerung und Empfehlungen

In diesem Projekt konnten die Eingangsdaten und Ergebnisse des GVM BE 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 Angebotszenarien als auch die Annahmen über die Verkehrsverhaltensveränderungen. Für die zwei erstellten Prognoseszenarien wurden hier durch den Kanton Bern 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 in beiden Szenarien berechneten Nachfrageentwicklungen sowie Unterschiede gegenüber vorherigen Verkehrsprognosen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Siedlungsentwicklung: Unterschiedliche Gesamtentwicklung sowie räumliche Verteilung und Abhängigkeit Siedlungsentwicklung/Angebotsqualität
- Entwicklung von Mobilitätsraten einzelner Fahrtzwecke
- Wachstum Aussenverkehr (Schweizerische Verkehrsperspektiven)
- Entwicklung Veloangebot
- Unverändertes Verkehrsverhalten Stadt Bern

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 (Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050) sind und ihre Entwicklung 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.