



Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern

Modellaktualisierung 2016

Schlussbericht

Juli 2019

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

Friedaustasse 18
4600 Olten

Monbijoustrasse 14
3011 Bern

Samstagernstrasse 41
8832 Wollerau

Impressum

Auftraggeber

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern

Kerngruppe

Barbara Kocher, Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Fiona Baumgartner, Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Philipp Mäder, Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Peter Lerch, Tiefbauamt, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Carla Laub, Amt für Gemeinden und Raumordnung, Kanton Bern

Joseph von Sury, Verkehrsplanung, Stadt Bern

Auftragnehmer

Projektleitung: Dr. Milenko Vrtic

Stellvertretende Projektleitung: Dr. Philipp Fröhlich

TransOptima GmbH, Olten / Zürich

Dr. Milenko Vrtic

Dr. Claude Weis

TransSol GmbH, Wollerau

Dr. Philipp Fröhlich

Ecoplan AG, Bern

Philipp Walker

Michael Mattmann

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

Inhalt

1	Ausgangslage	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzungen	2
3	Modellzustände	3
3.1	Ist-Zustand 2016	3
3.2	Prognosezustand 2040	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	6
5.2.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	6
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	8
5.4.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	8
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	10
5.6.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	10
5.6.2	Datenaufbereitung	11
5.7	Gastronomie (Hotels und Restaurants)	12
5.7.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	12
5.7.2	Datenaufbereitung	12
5.8	Bestand an Personenwagen	13
5.8.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	13
5.8.2	Datenaufbereitung	13
5.9	Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz	14
5.9.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	14
5.9.2	Datenaufbereitung	14
5.10	Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr	15

5.10.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	15
5.10.2	Datenaufbereitung	15
5.11	Touristische Anlagen	15
5.11.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	15
5.11.2	Datenaufbereitung	16
5.12	Weitere Daten	16
5.12.1	Spitaldaten	16
5.12.2	Flughafendaten	16
6	Verkehrsangebot	17
6.1	MIV-Netz	17
6.2	ÖV-Netz	17
7	Nachfragemodell 2016	18
7.1	DWV-Modell	19
7.1.1	Erzeugungsmodell	20
7.1.2	Modellparameter	26
7.1.3	Matrixerstellung: Vorgehen	30
7.1.4	Validierung der Matrixstruktur (Binnenmatrix)	35
7.1.5	Umlegung und Validierung der Netzbelastungen	42
7.2	Spitzenstundenmodelle	46
7.2.1	Ableitung der räumlichen und zeitlichen Nachfragevariationen	47
7.2.2	Generierung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen	54
8	Modellkalibration	55
8.1	Zähldaten	55
8.1.1	MIV	55
8.1.2	ÖV	56
8.2	Kalibration des DWV-Modells	57
8.2.1	Vorgehen	57
8.2.2	Ergebnisse Eckwerte	59
8.2.3	Ergebnisse Netzbelastungen	60
8.3	Kalibration des MSP-Modells	64
8.3.1	Ergebnisse Netzbelastungen	64
8.4	Kalibration des ASP-Modells	68
8.4.1	Ergebnisse Netzbelastungen	68
9	Prognosezustand 2040	72
9.1.1	MIV	72
9.1.2	ÖV	74
9.1.3	Fuss- und Veloangebot	74
9.2	Strukturdaten	75

9.2.1	Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2040	75
9.2.2	Erwerbstätige	83
9.2.3	Beschäftigte.....	83
9.2.4	Auszubildende	86
9.2.5	Verkaufsflächen und Einkaufszentren	87
9.2.6	Kulturangebot	87
9.2.7	Freizeitangebot	87
9.2.8	Gastronomie (Hotels und Restaurants).....	87
9.2.9	Bestand an Personenwagen	87
9.2.10	Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz	87
9.2.11	Besitz von Abonnementen für den öffentlichen Verkehr	88
9.2.12	Weitere Daten	88
9.3	Berechnung der Verkehrsnachfrage	88
9.4	Ergebnisse.....	91
9.4.1	Binnenströme.....	91
9.4.2	Binnen- und Aussenströme (Gesamtverkehr 2040)	94
9.4.3	Spitzenstunden.....	96
9.4.4	Netzbelastungen	96
10	Schlussfolgerung und Empfehlungen	103

Abbildungen

Abbildung 1	VISUM: Vorauswahl u. Parameter für die Widerstandfunktion bei der Kenngrössenberechnung	32
Abbildung 2	Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur	34
Abbildung 3	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke	38
Abbildung 4	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Arbeit.....	39
Abbildung 5	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Ausbildung.....	39
Abbildung 6	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Einkauf.....	40
Abbildung 7	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Nutzfahrt	40
Abbildung 8	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Freizeit.....	41
Abbildung 9	VISUM: Parameter für die ÖV-Umlegung.....	43
Abbildung 10	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – MIV (ohne Kalibration).....	45
Abbildung 11	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration).....	46
Abbildung 12	Vorgehen bei der Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen für die Spitzenstunden	47
Abbildung 13	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) – Fahrtzweck Arbeit	49
Abbildung 14	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Bildung (WB) und Bildung-Wohnen (BW) – Fahrtzweck Bildung.....	50
Abbildung 15	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) – Fahrtzweck Einkauf	51
Abbildung 16	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Nutzfahrt (WN) und Nutzfahrt-Wohnen (NW) – Fahrtzweck Nutzfahrt.....	52
Abbildung 17	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Sonstiges/Freizeit (WS) und Sonstiges/Freizeit-Wohnen (SW) – Fahrtzweck Freizeit.....	53
Abbildung 18	Berechnung der Spitzenstunden-Matrizen	54
Abbildung 19	Verlässliche MIV-Zähltdaten 2015.....	56
Abbildung 20	Verlässliche ÖV-Zähltdaten 2016	57
Abbildung 21	Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand	60
Abbildung 22	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	61
Abbildung 23	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration).....	62
Abbildung 24	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration) ..	62
Abbildung 25	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration).....	63
Abbildung 26	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration).....	63
Abbildung 27	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration).....	64
Abbildung 28	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration).....	65
Abbildung 29	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration) ..	65
Abbildung 30	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration) ..	66

Abbildung 31 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration).....	66
Abbildung 32 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration).....	67
Abbildung 33 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)	67
Abbildung 34 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	68
Abbildung 35 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration) ..	69
Abbildung 36 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration) ...	69
Abbildung 37 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	70
Abbildung 38 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration).....	70
Abbildung 39 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration).....	71
Abbildung 40 Massnahmen im Strassennetz (Grossraum Bern, Zustand 2040)	73
Abbildung 41 Streckenabschnitte mit Kapazitätsgaben (Zustand 2040).....	73
Abbildung 42 Wachstumsprognose ausserhalb Kanton Bern	76
Abbildung 43 Vorgehen für Aufteilung des Wachstums auf VMZ.....	79
Abbildung 44 Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2040	90
Abbildung 45 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – MIV	97
Abbildung 46 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – MIV	98
Abbildung 47 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – MIV	99
Abbildung 48 MIV- Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – mit und ohne Affinitätserhöhung (Affinität 2040=Affinität 2016 / Affinität 2040 gegenüber 2016 um 10% erhöht)	99
Abbildung 49 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – ÖV.....	100
Abbildung 50 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – ÖV.....	101
Abbildung 51 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – ÖV.....	102

Tabellen

Tabelle 1	Definition der Quelle-Ziel-Gruppen (QZG)	21
Tabelle 2	Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) und massgebende Strukturgrößen	22
Tabelle 3	Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG).....	23
Tabelle 4	Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2015	25
Tabelle 5	Modellparameter Verkehrsmittelwahl	27
Tabelle 6	Modellparameter Verkehrsmittel- und Zielwahl	29
Tabelle 7	Komponenten der Nutzenfunktionen	30
Tabelle 8	Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quelle-Ziel-Ströme.....	33
Tabelle 9	Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen.....	35
Tabelle 10	Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, interzonale Wege [%]	36
Tabelle 11	Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel.....	37
Tabelle 12	Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015	37
Tabelle 13	Besetzungsgrade im MIV und Umrechnung Wege in Fahrten	59
Tabelle 14	Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration.....	59
Tabelle 15	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (MSP)	60
Tabelle 16	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (MSP)	64
Tabelle 17	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)	68
Tabelle 18	Relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Cluster bis 2040	77
Tabelle 19	Maximale Ausnutzung von Wohnschwerpunkten	78
Tabelle 20	Relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Cluster bis 2040	80
Tabelle 21	Übersicht über die zur Berechnung verwendeten Wohnschwerpunkte.....	81
Tabelle 22	Wachstum der Alterskohorten.....	83
Tabelle 23	Unterschiedliches Beschäftigungswachstum einzelner Regionen zwischen 2016 – 2040 (VZA) ..	84
Tabelle 24	Übersicht über die zur Berechnung verwendeten Arbeitsschwerpunkte	85
Tabelle 25	Anteil zusätzliche Beschäftigte in ASP	86
Tabelle 26	Besetzungsgrade 2016 – 2040	90
Tabelle 27	Vergleich des Verkehrsaufkommens 2016 – 2040 (Binnenströme DWV).....	91
Tabelle 28	Vergleich der Fahrtzweckanteile 2016 – 2040 (Binnenströme DWV).....	91
Tabelle 29	Verkehrsaufkommen 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV, Viseva)	92
Tabelle 30	Verkehrsleistung 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV)	92
Tabelle 31	Anteile am Verkehrsaufkommen 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV) 93	
Tabelle 32	Anteile an der Verkehrsleistung 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV)	93
Tabelle 33	Verkehrsnachfrage 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)	94
Tabelle 34	Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung 2040: Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)	95

Tabelle 35	Anteile am Verkehrsaufkommen 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)	95
Tabelle 36	Anteile an der Verkehrsleistung 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)	96
Tabelle 34	Eckwerte der Matrizen 2040 (Binnen- und Aussenströme): MSP und ASP.....	96

1 Ausgangslage

Das Gesamtverkehrsmodell des Kantons Bern (GVM BE) wurde seit seiner Erstellung und ersten Aktualisierung 2012 vielseitig genutzt und für verschiedene Fragestellungen eingesetzt. Damit das Modell weiterhin ein zuverlässiges und aussagekräftiges Planungsinstrument bleibt, muss es weiterhin 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 Aktualisierung 2012);
- Implementierung der Verhaltensveränderungen: Mikrozensus 2015 (MZMV 2015) und *Stated Preference* (SP) Befragungen 2015;
- Anpassung der Netz- und Siedlungsentwicklung bis 2040 (wie z.B. neue Bevölkerungsprognose des BFS sowie neue Verkehrsanlagen und -angebote).

Gleichzeitig können die Erfahrungen aus den Modellanwendungen der letzten Jahre bei der Erstellung der aktualisierten Modellzustände berücksichtigt werden. Damit führen die Korrekturen von Fehlern und die Berücksichtigung von aktuellen Raum-, Angebots- und Nachfragedaten im Ist-Zustand sowie aktuellere Annahmen für die Prognosezustände (z.B. neue Bevölkerungsszenarien des Bundesamtes für Statistik) zu einer höheren Genauigkeit und einer grösseren Zuverlässigkeit des Modells. Weiterhin stellen die Daten des Mikrozensus 2015 und der SP-Befragungen 2015 mit den durchgeführten Modellschätzungen eine weitere wichtige Grundlage dar, um die Modellstruktur sowie die Gesetzmässigkeiten zum Verkehrsverhalten zu überprüfen und anzupassen.

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

2 Aufgabenstellung und Zielsetzungen

Das GVM BE wurde seit der Einführung für verschiedene Fragestellungen beim Kanton, beim Bund und in den Regionen eingesetzt. Es wird auch zukünftig für ähnliche Fragestellungen angewendet werden wie bisher, d.h. Angebotskonzepte und Massnahmen im Strassen- und öffentlichen Verkehr werden im Vordergrund stehen. Es ist aber zu erwarten, dass kleinräumige Massnahmen wie z.B. Analysen von Knoten- und Streckenengpässen und Übernahmen der Modellgrundlagen für die Mikrosimulation etwas verstärkt in den Vordergrund rücken werden. Es ist auch zu erwarten, dass das Modell intensiver für die Siedlungskonzepte und Raumentwicklungsfragen sowie die Ableitung von Umweltindikatoren angewendet wird.

Die Modellaktualisierung wird aus den folgenden Gründen durchgeführt und von der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVE) in Auftrag gegeben:

- aktuellere Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (MZMV 2015);
- neue Parameterschätzung aus den SP-Befragungen 2015 (Weis *et al.*, 2017) und dem MZMV 2015;
- Übernahme der neu geschätzten Modellansätze;
- das Basismodell 2012 ist für die einzelnen Anwendungen nicht mehr aktuell und verlangt eine Anpassung auf neuere Zählzeiten;
- neue Bevölkerungsprognosen des Bundesamts für Statistik (2016) – Implementierung der neuen Bevölkerungsprognosen in das Prognosemodell 2040, da der bestehende Prognosezustand auf den BFS-Prognosen 2012 basiert, die nicht mehr als aktuell betrachtet werden können;
- Angebotsveränderungen nach 2012 insbesondere im ÖV, aber auch im MIV.

Die Modellaktualisierung beinhaltet die Überprüfung und Anpassung aller Modellkomponenten inklusive Verkehrsangebot, Verkehrsnachfrage, Verhaltensgesetzmässigkeiten und Siedlungsdaten. Die Modellaktualisierung bezieht sich sowohl auf die Kalibrierung der Ist-Zustände als auch auf die Prognosezustände.

Damit ist das Ziel des Projekts die Kalibrierung der aktuelleren Ist-Zustände 2016 im MIV und ÖV und die Erstellung der MIV- und ÖV-Prognosezustände 2040 für:

- den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV);
- die Morgen- und Abendspitzenstunde des durchschnittlichen Werktagsverkehrs (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 (siehe Vrtic *et al.*, 2010).

3 Modellzustände

Das Projekt liefert als Ergebnis folgende Modellzustände:

3.1 Ist-Zustand 2016

Ein aktualisierter und kalibrierter Ist-Zustand wird für folgende Modelle vorgelegt:

- durchschnittlicher Werktagsverkehr, DWV-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 (VISEVA) für den durchschnittlichen Werktagsverkehr.

3.2 Prognosezustand 2040

Ein aktualisierter Prognosezustand wird für folgende Modelle vorgelegt:

- durchschnittlicher Werktagsverkehr, DWV-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;
- Nachfragemodell (VISEVA) für den durchschnittlichen Werktagsverkehr.

4 Daten und Modelle

Die Modellaktualisierung baut im Wesentlichen auf folgenden Daten auf:

- Vorhandene Modellzustände des GVM BE 2012;
- Nationales Personenverkehrsmodell 2015 und 2040;
- Nationales Güterverkehrsmodell 2010;
- MZMV 2015;
- Modellparameter aus dem Projekt „Schätzung der Modellparameter für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn“ (Weis, Vrtic und Fröhlich, 2012);
- HAFAS-Fahrplandatenbank 2016;
- Zähldaten MIV: ASTRA (Automatische Verkehrszählungen), Strassenverkehrszählungen Kanton Bern (Oberingenieurkreise Tiefbauamt) und Kanton Solothurn, Zusatzerhebungen der Städte (Bern, Biel/Bienne, Burgdorf, Thun, Interlaken) und Gemeinden (über Oberingenieurkreise Tiefbauamt), Ingenieurbüros die Verkehrszählungen im Auftrag vom TBA durchgeführt haben;
- Zähldaten ÖV: Transportunternehmungen (SBB, BLS, RBS, Bernmobil und weitere Verkehrsbetriebe);
- Siedlungsdaten und soziodemographische Daten: Bundesamt für Statistik und kantonale Statistiken;
- Hektarrasterdaten des Bundesamtes für Statistik;
- Daten der Strassenverkehrsämter zum PW-Besitz;
- ÖV-Abonnemente (SBB und Tarifverbände);
- Angabe zu Verkaufsflächen nach Gemeinden (Wüst & Partner AG);
- 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 insgesamt 66 Variablen erstellt. Für die Aktualisierung des Verkehrsmodells wurden die Strukturdaten aktualisiert. Grundsätzlich wird eine Aktualisierung auf das Jahr 2016 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 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 enthalten:

- Einwohner < 15 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner 15 – 24 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner 25 – 59 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner 60 – 79 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner > 80 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Total Einwohner pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016 (wirtschaftlicher Wohnsitz).

5.1.2 Aufbereitung¹

Die Daten aus STATPOP wurden als geocodierte Punktdaten (Kanton Bern) resp. Hektarraster (übrige Kantone) vom Bundesamt für Statistik bereitgestellt. Die Einwohnerzahlen für die einzelnen Punkte, resp. Hektaren wurden auf die Verkehrsmodellzonen aufaddiert. Die wirtschaftliche Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung wird in der neuen Statistik nicht mehr geführt. Als Näherung wird die wirtschaftliche Wohnbevölkerung aus der Summe der ständigen Wohnbevölkerung am Hauptwohnsitz, der nichtständigen Wohnbevölkerung am Hauptwohnsitz und der Wohnbevölkerung am letzten Nebenwohnsitz ermittelt. Zusätzlich wird die Bevölkerung, welche sich gemäss BFS nicht eindeutig auf einen geocodierten Punkt, resp. auf ein Hektarraster zuordnen lässt, entsprechend der Bevölkerungsanteile auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen verteilt. Die gesamte Einwohnerzahl für das Jahr 2016 ergibt sich aus der Summe der einzelnen Alterskategorien.

¹ Die Daten zur Bevölkerung und Beschäftigung wurden durch die Firma Strittmatter Partner AG aufbereitet.

5.2 Erwerbstätige und Beschäftigte

5.2.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Die Anzahl der Erwerbstätigen und die Zahl der beschäftigten Personen sind ebenfalls eine wichtige Grundlage für die Erzeugung des Verkehrsaufkommens in einer Verkehrsmodellzone, insbesondere des Pendlerverkehrs. Die Zahl der Erwerbstätigen ist wohnortgebunden und ist Basis für die Bestimmung des Pendlerverkehrs aus der Verkehrsmodellzone hinaus. Die Zahl der Beschäftigten bezieht sich hingegen auf den Arbeitsort (Zielverkehr im Pendlerverkehr) und liefert einen guten Hinweis auf die Anziehungskraft einer Verkehrsmodellzone. Folgende Variablen werden ermittelt:

- Anzahl Erwerbstätige pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Beschäftigte: Anzahl Vollzeitäquivalente im 2. Sektor und 3. Sektor pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015 (unverändert übernommen für 2016).

5.2.2 Datenaufbereitung²

Angaben zu Erwerbstätigen liegen als gepoolte Schätzung für die Jahre 2012-2014 auf Ebene Gemeinde vor. Für kleine Gemeinden ist die Schätzung jedoch mit einer hohen Unsicherheit verbunden. Für Gemeinden über 3'000 Einwohner wurde die Schätzung unverändert übernommen. Gemeinden unter 3'000 Einwohner wurden auf Ebene Bezirk aggregiert. Anschliessend wurde pro Gemeinde/Bezirk der Anteil Erwerbstätiger an der ständigen Wohnbevölkerung im Erwerbsalter (15-64 Jahre) zwischen 2012 und 2014 bestimmt. Auf Basis dieser Anteile wurden die Zahl Erwerbstätiger 2016 auf Ebene VMZ in Abhängigkeit der Bevölkerung im Erwerbsalter 2016 hochgerechnet.

Die Daten zur Beschäftigung liegen aus der STATENT 2015 als geocodierte Punktdaten vor. Diese Punktdaten wurden auf Ebene NOGA 6-Steller pro VMZ aggregiert. Es liegen so die Zahl der Arbeitsstätten und die Zahl der Vollzeitäquivalente vor. Die Zahl der Vollzeitäquivalente im 2. und 3. Sektor ergeben sich als Summe der NOGA 6-Steller zwischen 08110 und 960900.

5.3 Auszubildende

5.3.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Ist innerhalb einer Verkehrsmodellzone eine Schule vorhanden, generiert diese Zone Zielverkehr. Das Ausmass dieses Ausbildungsverkehrs 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 ihrer starken dezentralen Verteilung und der geringeren Klassenzahl/-grössen (pro Kindergarten meist nur eine Gruppe) nicht weiter berücksichtigt.

Insgesamt werden folgende drei Strukturvariablen im Datensatz aufgeführt:

² Ebd.

- Anzahl Standortschüler (obligatorische Schule, Sek. II, Berufsschulen, exkl. Kindergarten) pro Verkehrsmodellzone im Schuljahr 2015/16;
- Anzahl Studenten an Universitäten (üblicher Vorlesungsstandort) pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Anzahl Studenten an Fachhochschulen (Standort der Ausbildungsstätte) pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016.

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 Verkehrsmodellzonen ausserhalb des Kantons Bern wurden zudem die Vollzeitäquivalente (Beschäftigte) im Bereich Bildung aus der STATENT 2015 (Hektarrasterdaten) verwendet.

5.3.2 Datenaufbereitung

Für den Kanton Bern wurde den Schulhäusern über die Schnittstelle «Google Maps Geocoding API» ihre jeweiligen Koordinaten zugewiesen. 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 existieren, ist eine exakte Zuteilung und Aggregation der Anzahl Schüler pro Schule zu den Verkehrsmodellzonen mit einem grossen Aufwand verbunden. Die Anzahl Standortschüler wurde für die Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern anhand der Vollzeitäquivalente im Bereich Bildung (aus der STATENT 2015) auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen 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 es nicht relevant, wenn es sich nur um einen Halbttag handelt, da sowieso pro Tag zwei Wege zurückgelegt werden.

Für die Studenten an Universitäten erfolgte die Zuteilung zu den Verkehrsmodellzonen 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 Verkehrsmodellzonen aufgeteilt, falls der 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 Verkehrsmodellzonen. 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. Über die genannte Google-Schnittstelle 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 drittichtigsten 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 Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Verkaufsfläche in m² in Einkaufszentren (> 7'000 m²) pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016.

Als Grundlagen werden Daten der Firma Wüst und Partner verwendet. In diesem umfassenden Datensatz ist für jede Gemeinde die Verkaufsfläche (inkl. Einkaufszentren) in Quadratmetern aufgeführt. Um die Gemeindedaten auf die Verkehrsmodellzonen aufzuteilen, werden zudem die Vollzeitäquivalente (Beschäftigte) im Bereich Verkauf aus der Betriebszählung 2008 benötigt. Bezüglich der Einkaufszentren wird der Datensatz von Wüst und Partner mit den Angaben aus der Publikation „Detailhandel Schweiz 2007“ verglichen und zusätzlich mit den seit 2007 erbauten Verkaufsflächen ergänzt. Für die Identifikation neuer bzw. erweiterter Einkaufszentren diente die Datenbank der verkehrserzeugenden Anlagen Kanton Bern des beco.

5.4.2 Datenaufbereitung

Die Zuordnung der Einkaufszentren zu den einzelnen Verkehrsmodellzonen erfolgte manuell. Die übrige Einkaufsfläche wurde mit Hilfe der Vollzeitäquivalente im Bereich „Detailhandel (ohne Handel mit Automobilen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern“ auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen aufgeteilt. Für jede einzelne Verkehrsmodellzone wurde dafür in einem ersten Schritt der prozentuale Anteil aller Vollzeitäquivalente in diesem Bereich innerhalb der Gemeinde berechnet und in einem zweiten Schritt mit der Verkaufsfläche der Gemeinde multipliziert. Wo gemäss Betriebszählung einer Gemeinde keine Vollzeitäquivalente für den Bereich Verkauf aufgeführt waren, wurde die ausgewiesene Verkaufsfläche manuell einer Verkehrsmodellzone zugeteilt.³

Für das Update auf den Datenstand 2016 wurden aus der Datenbank der verkehrserzeugenden Anlagen im Kanton Bern des beco jene Projekte identifiziert, die zwischen 2007 und Dezember 2016 neu erstellt bzw. erweitert wurden. Der Datensatz von Wüst und Partner wurde mit den entsprechenden Projekten ergänzt.

5.5 Kulturangebot

5.5.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Gemäss der Auswertung des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2010 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

³ Falls die entsprechende Einkaufsmöglichkeit nicht mit Hilfe von mapsearch.ch lokalisiert werden konnte, wurde die Einkaufsfläche dem vermuteten Dorfzentrum zugeordnet.

Hinweise auf Freizeitaktivitäten liefern. Diese lassen sich grundsätzlich in drei Gruppen aufteilen: Kulturangebote, grössere und kleinere Freizeitanlagen (z.B. Sportstätten) sowie Hotels und Restaurants.

Im Rahmen der Kulturangebote werden folgende Daten erhoben:

- Anzahl Kinos pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2016;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Kinos pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag und Verkehrsmodellzone für das Jahr 2016;
- Anzahl Theater und Ballettgruppen pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2016;
- Anzahl Stellen in Theater und Ballettgruppen (Vollzeitäquivalente) pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Theater für die Saison 15/16;
- Anzahl Museen pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) im Bereich Museen pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Museen für das Jahr 2011;
- Anzahl botanische und zoologische Gärten sowie Naturparks pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Besucher in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015 (Schätzung);
- Anzahl Orchester, Chöre und Musiker pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) im Bereich Orchester, Chöre und Musiker pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Besucher von Orchestern, Chören und Musikern pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015 (Schätzung)
- Anzahl Bibliotheken und Archive pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Bibliotheken und Archiven pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015;
- Anzahl Besucher von Bibliotheken und Archiven pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2015 (Schätzung).

Sämtliche Zahlen zur Anzahl kultureller Einrichtungen und zur Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in den einzelnen Bereichen stammen aus der STATENT. Die Angaben zu den Kinobesuchern für das Jahr 2016 stammen aus der Film- und Kinostatistik des BFS (kantonale Daten⁴). Als Quelle für die durchschnittliche Anzahl Theaterbesucher dient die Zuschauerstatistik für die Saison 2015/16 des schweizerischen Bühnenverbandes. Der Verband Museen Schweiz verfügt zudem über Besucherzahlen der Museen (inkl. Zoos und botanische Gärten) der gesamten Schweiz für das Jahr 2011.⁵

5.5.2 Datenaufbereitung

Sämtliche Angaben zu der Anzahl Stellen und Betrieben wurden aus STATENT (geocodierte Punktdaten) entnommen und auf die Verkehrsmodellzonen aggregiert. Eine Hochrechnung auf 2016 wurde aufgrund der

⁴ Angaben zu Besucherzahlen einzelner Kinos, bzw. wenigstens auf Gemeindeebene konnten aufgrund von Datenschutzbestimmungen nicht angegeben werden.

⁵ Neuere Daten sind nicht vorhanden. Das BFS stellt für ihre neue Museumsstatistik keine Individualdaten zur Verfügung.

enormen Datenmenge, fehlender zentraler Quellen und des unverhältnismässig hohen Aufwandes nicht für sinnvoll erachtet.

Die Zuordnung der kantonalen Zahlen der Kinobesucher erfolgte in zwei Schritten: In einem ersten Schritt wurden sämtliche Kinos von Hand einer Verkehrsmodellzone zugeteilt und deren Anzahl Sitzplätze ermittelt. Letzteres geschah mit Hilfe von Internetrecherchen (u.a. www.cineman.ch). Anschliessend wurden die kantonalen Besucherzahlen entsprechend den Sitzanteilen der Kinos auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen 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. Allfällige Schliessungen und Eröffnungen kleinerer Kinos konnten nicht berücksichtigt werden.

Zahlen bezüglich der Anzahl Theaterbesucher sind nur für fünf Theater im Verkehrsmodellgebiet vorhanden. Die Stadttheater Bern sowie Biel und Solothurn⁶ 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 von Hand der entsprechenden Verkehrsmodellzone zugeordnet.

Museen (inkl. ihrer Besucherzahlen) wurden entsprechend ihrer in der STATENT enthaltenen Standorte, den Verkehrsmodellzonen zugeteilt. Um den Aufwand der Zuteilung zu den Verkehrsmodellzonen in einem angemessenen Rahmen zu halten, wurden Museen mit einem Aufkommen von weniger als 10 Besuchern pro Tag nicht berücksichtigt. Für die Museen standen für das Update keine neuen Besucherzahlen zu Verfügung. Entsprechend wurde der Stand der bisherigen Strukturdaten übernommen.

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

- Anzahl Besucher in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks: 30 Besucher pro Tag und Beschäftigten (VZÄ)
- Anzahl Besucher von Orchestern, Chören und Musikern: 20 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:

- Anzahl Sportanlagen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;

⁶ 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 Stellen (Vollzeitäquivalente) in Sportanlagen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Durchschnittliche Anzahl Besucher in grösseren Sportstätten (Fussballstadien und Eishockeystadien) an einem Werktag, Saison 2015/16;
- Anzahl Besucher in Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen der Stadt Bern, Jahr 2015⁷.
- Anzahl Besucher von Sportanlagen Total 2016 (Schätzung)

Die Anzahl der Sportstätten und der Stellen stammen aus der STATENT 2015 (geocodierte Punktdaten). Besucherzahlen der grossen Sportstätten werden von Sportverbänden (SFV und SIHA) erhoben.⁸ Die Eintrittszahlen zu den städtischen Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen werden im statistischen Lexikon der Stadt Bern (2015) ausgewiesen.

5.6.2 Datenaufbereitung

Für die Eintritte in grosse Stadien konnte auf die Zuschauerstatistiken der Verbände zurückgegriffen werden. Sowohl die Zuschauerstatistik des SFV als auch des SIHV beinhaltet eine Aufteilung der Zuschauerzahlen nach Wochentagen. Somit kann der für das Gesamtverkehrsmodell im Zentrum stehende Zuschauerverkehr an Werktagen losgelöst von den Wochenenden betrachtet 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 jedoch keine nach Wochentag differenzierten Statistiken zur Verfügung. Es wird angenommen, dass die Anzahl der Eintritte an allen Tagen identisch ist. Die durchschnittliche Eintrittszahl pro Tag ergab sich somit durch die simple Division der Jahreseintritte durch 365 Tage. Der Durchschnittswert wurde anschliessend den entsprechenden Verkehrsmodellzonen zugeordnet.

Die Anzahl Betriebe und Vollzeitäquivalente stammen wiederum aus der STATENT und können für einzelne Verkehrsmodellzonen aggregiert ausgewiesen werden. Die Vollzeitäquivalente dienen in erster Linie dazu, ein Bild über die Grösse der Sportstätten zu erhalten.

Für das Total der Besucher von Sportanlagen 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), so wurden die effektiven Besucherzahlen dieser Betriebe für die Bildung des Totals berücksichtigt.

⁷ Weitere Freizeitangebote (z.B. Naturpärke oder Campingplätze) sind unter Kultur oder Restaurant/Hotel aufgeführt

⁸ Zuschauerstatistik der Saison 2015/16 des Schweizerischen Fussballverbands für Vereine der Nationalliga A und B (YB, FC Thun, Neuchâtel Xamax) und Zuschauerstatistik des Schweizerischen Eishockeyverbandes der regulären Saison 2015/16 (ohne Playoffs) für Vereine der Nationalliga A und B (Bern, Fribourg, Langnau, EHC Biel)

5.7 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

5.7.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Das Gastronomie- und Hotelangebot in einer Verkehrsmodellzone liefert ebenfalls Hinweise auf die Attraktivität dieser Zone im Freizeitverkehr. Um das Gastronomieangebot innerhalb der Zonen möglichst gut abzubilden, werden im Rahmen der Strukturdatenerhebung folgender Variablen ausgewiesen:

- Anzahl Restaurants pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Restaurants pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Bars pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Bars pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Diskotheken pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Diskotheken pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Kantinen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Kantinen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Hotels pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Hotels pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Durchschnittliche Anzahl Hotelankünfte pro Tag in Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Durchschnittliche Anzahl Übernachtungen pro Tag in Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Anzahl Campingplätze pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) auf Campingplätzen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl weiterer Beherbergungsstätten pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in weiteren Beherbergungsstätten pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2015;
- Anzahl Besucher Gastgewerbe Total 2015 (Schätzung).

Aus der STATENT können zu allen Angeboten im Gastronomiebereich die Anzahl Betriebe sowie die Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) gewonnen werden. Zudem wurde eine Spezialauswertung der HESTA (Hotelleriestatistik) des BFS gemacht. Daraus stehen uns für Gemeinden mit mindestens drei Hotellerie-Betrieben sowie für die einzelnen Bezirke die genaue Anzahl von Ankünften und Übernachtungen zur Verfügung.

5.7.2 Datenaufbereitung

Die Anzahl Betriebe und die Anzahl Stellen pro Verkehrsmodellzone konnten aus der STATENT 2015 entnommen und aggregiert werden. Eine Aufdatierung auf das Jahr 2016 wurde aufgrund des enormen Aufwandes nicht als sinnvoll erachtet. Die Angaben zu den Vollzeitäquivalenten gelten als Indikator für die Grösse der Betriebe.

Die Aufteilung der Ankünfte und Übernachtungen auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen, stellte sich als äusserst komplex dar und unterscheidet sich je nach Verfügbarkeit der Daten:

- Für Gemeinden mit mehr als drei Hotelbetrieben konnte die Zahl der Ankünfte und der Übernachtungen direkt aus der BFS Statistik abgelesen und anhand der Vollzeitäquivalente der Beschäftigten in der Hotellerie auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen dieser Gemeinden verteilt werden.
- Hat eine Gemeinde weniger als drei Betriebe und liegt deren Bezirk vollumfänglich im Modellgebiet, wurden die eindeutig zugewiesenen Ankunfts- und Übernachtungszahlen vom Bezirktotal abgezogen und

die Restmenge anschliessend anhand der Vollzeitäquivalente auf die betroffenen Gemeinden und innerhalb der Gemeinden auf die Verkehrsmodellzonen verteilt.

- Hat eine Gemeinde weniger als drei Betriebe und liegt deren Bezirk nicht vollumfänglich im Modellgebiet, musste wiederum ein anderes Verfahren angewendet werden, da für Gemeinden ausserhalb des Modellgebiets keine Vollzeitäquivalente verfügbar sind. Wiederum wurden als erstes die eindeutig zuweisbaren Übernachtungen und Ankünfte vom Bezirkstotal abgerechnet. Aus der Restmenge wurden Durchschnittswerte pro Betrieb für die restlichen Hotels berechnet. Dieser Durchschnittswert multipliziert mit der Anzahl Hotels in einer Gemeinde ergab die Anzahl Übernachtungen und Ankünfte pro Gemeinde, welche wiederum anhand der Vollzeitäquivalente innerhalb der Gemeinden auf die Verkehrsmodellzonen aufgeteilt wurden.

Für die Schätzung der Anzahl Besucher pro Tag im Gastgewerbe Total wurden die Zahl der Logiernächte verwendet. Dazu wurden pro Betrieb ausserhalb der eigentlichen Hotellerie (Restaurants, Bars, Parahotellerie) 50 Besucher pro Tag und Betrieb addiert.

5.8 Bestand an Personenwagen

5.8.1 Erhobene Variablen und Datenquellen

Weitere Strukturdaten wurden erhoben, um die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl zu schätzen. Dazu gehören neben dem Bestand der Personenwagen ebenfalls 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 Verkehrsmodellzone abgebildet:

- Anzahl registrierter Personenwagen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016.

Die Datengrundlage für den Kanton Bern bildet eine Statistik der immatrikulierten Fahrzeuge nach Postleitzahl vom kantonalen Strassenverkehrs- und Schifffahrtsamt. Für die übrigen Kantone stehen keine Daten zur Verfügung. Die Werte werden mit Hilfe von Durchschnittswerten des jeweiligen Kantons und der Bevölkerungszahl aus STATPOP geschätzt.

5.8.2 Datenaufbereitung

Die Aufbereitung der immatrikulierten Fahrzeuge pro Verkehrsmodellzone unterscheidet sich zwischen dem Kanton Bern und den übrigen Kantonen.

Für den Kanton Bern standen exakte Werte aus dem Jahr 2016 zur Verfügung. Die Daten sind allerdings nur auf Ebene der Postleitzahlen vorhanden und mussten deshalb den Gemeinden zugewiesen werden. Die Postleitzahl kann nicht immer eindeutig einer Gemeinde zugewiesen werden (teilweise gilt die Postleitzahl für mehrere Gemeinden oder nur für einen Bezirk einer Gemeinde). Die Aufteilung auf die politischen Gemeinden erfolgte über deren Flächenanteile innerhalb eines Postleitzahlengebiets. Die Zahlen wurden pro Gemeinde aufsummiert und entsprechend der Bevölkerungsanteile auf die Verkehrsmodellzone aufgeteilt⁹.

⁹ Bei mehr als 0.85 und weniger als 0.4 Personenwagen pro Einwohner wurden die Zahlen auf ihre Plausibilität überprüft.

In Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern wurde wie folgt vorgegangen: Auf Basis der Angaben aus dem Kanton Bern wurden Durchschnittswerte für den Bestand an Personenwagen pro Einwohner (mit Alter über 15 Jahre) für die neun Raumtypen gemäss BFS berechnet. Der Fahrzeugbestand für eine Verkehrsmodellzone wurde anschliessend berechnet, indem der entsprechende Durchschnittswert für den Raumtyp mit der Bevölkerung älter als 15 Jahre multipliziert wurde. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis der immatrikulierten Fahrzeuge zur Bevölkerung in Gemeinden des gleichen Raumtyps identisch ist.

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 Verkehrsmodellzone zuzuordnen. Andererseits wurden durch Auswertungen des Mikrozensus Durchschnittswerte für die verfügbaren Parkplätze am Wohn- und am Arbeitsort ermittelt und mit Hilfe der Bevölkerungs- bzw. Beschäftigtenzahlen für die einzelnen Zonen hochgerechnet. Insgesamt ergeben sich dadurch vier Strukturvariablen:

- Total öffentlich zugänglicher Parkplätze (effektiv) pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2007;
- private Parkplätze (effektiv) pro Verkehrsmodellzone (nur für Bern) für das Jahr 2007;
- Anzahl Parkplätze an der Wohnadresse gemäss MZ05 Auswertung pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2007;
- Anzahl Parkplätze am Arbeitsort gemäss MZ05 Auswertung pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2007.

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 so weit möglich von Hand, einer spezifischen Verkehrsmodellzone 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 Verkehrsmodellzonen zugeteilt.

Für die Hochrechnungen auf Basis des Mikrozensus 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 einzelner Verkehrsmodellzonen berechnet.

Die Parkplatzzahlen 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 Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Anzahl Halbtax-Abonnements pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Anzahl Jahresabonnements der Tarifverbunde libero und BeoAbo pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016;
- Anzahl Monatsabonnements der Tarifverbunde libero und BeoAbo pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2016.

Angaben zur Anzahl GA-, Halbtax-Abonnements und regionalen Abonnements wurden von der SBB aus der Kundendatenbank nach Postleitzahl geliefert.

5.10.2 Datenaufbereitung

Die Daten sind allerdings nur auf Ebene der Postleitzahlen vorhanden und mussten deshalb den Gemeinden zugewiesen werden. Die Postleitzahl kann nicht immer eindeutig einer Gemeinde zugewiesen werden (teilweise gilt die Postleitzahl für mehrere Gemeinden oder nur für einen Bezirk einer Gemeinde). Die Aufteilung auf die politischen Gemeinden erfolgte über deren Flächenanteile innerhalb eines Postleitzahlengebiets. Die Zahlen wurden pro Gemeinde aufsummiert und entsprechend der Bevölkerungsanteile der über 15-Jährigen auf die Verkehrsmodellzone 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 im Analogieschluss bestimmt: Innerhalb des Kantons Bern wurde für jeden BFS-Raumtyp (9-stellig) bestimmt, wie viele regionale Abos im Verhältnis zu den Halbtax-Abos vorhanden sind. Auf Basis der Anzahl Halbtax 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 teilweise bereits durch die Anzahl der Übernachtungen abgebildet wird, fehlen vor allem noch Angaben zum Tagestourismus in den Bergen. Ein Hinweis auf die Bedeutung der Region für den Tagestourismus liefern die Kapazitäten der Bergbahnen. Folgende Indikatoren sind im Datensatz (BFS) enthalten:

- Anzahl (Stand-)Seilbahnen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2007 (nur Kt. Bern);
- Kapazität pro Stunde der in den Verkehrsmodellzonen enthaltenen (Stand-)Seilbahnen im Jahr 2007 (nur Kt. Bern).

5.11.2 Datenaufbereitung

Die Kapazitäten pro Stunde sind für rund 100 Bahnen erhältlich. Zugeteilt wurden diese Kapazitäten jeweils derjenigen Verkehrsmodellzone, 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 Verkehrsmodellzone der Talstation angerechnet wurden. Verfügen die Berg- bzw. Zwischenstation ebenfalls über einen entsprechenden Anschluss an das Strassen- bzw. Schienennetz, wurden die Kapazitäten ebenfalls der Verkehrsmodellzone der Berg- bzw. der Zwischenstation angerechnet (Bspw. Marzilibahn in der Stadt Bern). Verfügt eine Bergbahn über mehrere Anschlusseilbahnen ohne eigene Zufahrt, wurden nur die Kapazitäten der ersten Teilstrecke berücksichtigt.

Die Daten zu den touristischen Anlagen wurden im Rahmen des Updates nicht angepasst.

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 Verkehrsmodellzonen (Stand 2015);
- Anzahl Pflagetage im Jahr 2015;
- Anzahl Besucher von Spitälern pro Tag 2015 (Schätzung).

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. Ausserkantonale wurden vom BFS Einzeldaten mit Adressen zur Verfügung gestellt. Mittels der Schnittstelle «Google Maps Geocoding API» wurden die Daten geocodiert. Auf dieser Basis konnten die Spitäler und deren Pflagetage den Verkehrsmodellzonen zugewiesen werden.

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.

5.12.2 Flughafendaten

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

- Tägliche Anzahl Passagiere, gewerbsmässiger Flugverkehr im Jahr 2016;
- Tägliche Anzahl Passagiere, nicht gewerbsmässiger Flugverkehr im Jahr 2016;
- Total täglicher Anzahl Passagiere im Jahr 2016.

Jährliche Passagierdaten können von dem Geschäftsbericht der Betreiberfirma Flughafen Bern AG entnommen werden. Der Tagesdurchschnitt wurde ohne Gewichtung gerechnet, das heisst es wird 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 2012. In diesen Netzzuständen wurden die gesammelten Netzfehler aus durchgeführten Modellanwendungen sowie alle relevanten Angebotsveränderungen zwischen 2012 und 2016 eingebaut.

6.1 MIV-Netz

Als Ausgangszustand wird das Netz 2012 mit allen Korrekturen, die bis zum Anwendungsfall „Autobahnzubringer Oberaargau“ eingepflegt wurden, übernommen. In dieses Netz wurde eine Liste von 46 Massnahmen eingearbeitet, welche zwischen 2012 und 2016 implementiert worden sind. Weiterhin wurde das Strassennetz der Stadt Bern durch die Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün der Stadt Bern plausibilisiert. Hier wurden sowohl die Netzattribute als auch die Zonenanbindungen überprüft. Im Rahmen von verschiedenen Modellanwendungen festgestellte Netzfehler wurden ebenfalls korrigiert.

6.2 ÖV-Netz

Die generelle Vorgehensweise bei der Erstellung des ÖV-Netzes orientiert sich an jener bei der Erstellung des Modellzustandes 2007. Der Hafas-Datensatz 2016 wurde aufbereitet und auf dem GVM ÖV-Netz 2030 geroutet. Der Vorteil dieses Vorgehens ist aber, dass alle Zonenanbindungen erhalten bleiben und die Haltestellenkoordinaten der Fahrpläne 2012 und 2030 weiterhin kompatibel sind.

Im Kanton Bern wurden zudem alle Buskurse per Hand zu Linien aggregiert, so dass jetzt auch Auswertungen nach Busbetreiber (z.B. PostBus, ASM, RBS-Bus etc.) möglich sind. Wie gehabt sind auch Auswertungen nach ÖV-System oder Zugskategorien möglich.

7 Nachfragemodell 2016

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 (VISEVA) werden die Quelle-Ziel-Ströme innerhalb des Modellperimeters d.h. in den Nachfrageperimeter (Perimeter 1) vollständig generiert. Die Aussenströme, d.h. Quelle-Ziel-Ströme zwischen dem Nachfrageperimeter und den Aussenzonen sowie der Transitverkehr durch den Modellperimeter, werden aus dem GVM BE und 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 Zählraten im Modellgebiet kalibriert. Durch die Umlegungen dieser Matrizen wird es möglich, den Einfluss des SGV auf das Routenwahlverhalten im MIV bei Modellanwendungen zu berücksichtigen. Die Segmentierung wird nach den drei SGV-Klassen Lieferwagen, LKW und Last-/Sattelzüge differenziert.

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage erfolgt mit der Verkehrsplanungssoftware VISEVA. 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, Seite 21). 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 VISEVA verwendet, welches Nested-Logit (NL) 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 VISEVA 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 VISEVA 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.

Das Erzeugungsmodell wird in VISEVA über so genannte Primär- und Sekundärdatenbanken berechnet. Die Primärdatenbank beinhaltet Strukturgrössen und Attraktionsvariablen. Das spezifische Verkehrsaufkommen wird für die einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen separat gespeichert. Aus diesen Informationen wird die Sekundärdatenbank zur Berechnung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen erstellt. 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-Verkehrsmo- dellzone Q_i	Strukturgrösse (SZ_j) der Ziel- Verkehrsmo- dellzone 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 dem MZMV 2015 abgeleitet. Bei der Festlegung der Erzeugungsraten der Zielaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 1 und die Zielaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 2 wird im nächsten Schritt sichergestellt, dass die oben genannten Konsistenz – und Summenbedingungen eingehalten werden. Zudem müssen die Erzeugungsraten für die Strukturdaten der Zone plausibel sein. Damit wird das gesamte Quellaufkommen des Untersuchungsgebiets in Abhängigkeit der Unterschiede bei den Attraktionsvariablen zwischen den Zonen aufgeteilt. Für die Quelle-Ziel-Gruppen des Typs 3 (nicht wohnungsgebundene Wege) wurde eine Gewichtung der Strukturgrössen definiert. Für diese Gewichtung werden bei fehlenden Erhebungsdaten die Erfahrungswerte verwendet (siehe FGSV, 2006).

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

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

QZG	Erwerbs- tätige	Auszu- bildende	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:

- 1.78 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 2.07 Ausbildungswege pro Auszubildendem und Werktag;
- 0.24 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 0.89 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag;
- 1.10 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag

zurückgelegt werden. Insgesamt werden durchschnittlich 3.45 Wege pro Werktag und Einwohner 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 Erzeugungsraten. Damit wird städtischen Zonen eine höhere Mobilitätsrate zugewiesen als ländlichen

Zonen, was durch Verhaltenserhebungen 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 Berücksichtigung 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 „Verkehrsattraktion“ aufgeteilt. Dafür wird zunächst das Attraktions-/Strukturpotential SP_e^c 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 5.28 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spezifisches Verkehrsaufkommen von 3.13 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	1.37	26.0	25.9	+0.1%
Ausbildung	0.51	9.7	9.7	±0.0%
Einkauf	1.32	24.9	25.0	+0.1%
Nutzfahrt	0.21	3.9	3.9	±0.0%
Freizeit	1.88	35.5	35.5	±0.0%
Total	5.28	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. Dieser Abschnitt beschreibt im Folgenden die Struktur dieses Modells sowie das Vorgehen zur Ermittlung der Modellparameter.

Zur Modellierung der simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahl wird ein Nested-Logit-Modell angewandt. Das Nested-Logit-Modell stellt neben dem Multinomialen-Logit-Modell das populärste und am häufigsten angewandte Modell der Logitfamilie dar. Es wird auch „strukturiertes“, „sequentielles“, „tree“ oder „hierarchisches“ Modell genannt (Ortuzar und Willumsen, 2001). Das Nested-Logit-Modell erlaubt die Modellierung von mehrstufigen Entscheidungen durch die Bildung von Untergruppen von Entscheidungsalternativen, den sogenannten Nestern. Im vorliegenden Anwendungsbeispiel wird auf der oberen Ebene das Verkehrsmittel (M für Mode) für eine Fahrt ausgewählt und auf der unteren Ebene wird die Entscheidung bezüglich des Ziels (D für Destination) gefällt. Eine Alternative besteht dabei immer aus der Kombination eines Ziels mit einem Verkehrsmittel. Die Alternativenmenge besteht aus vier Nestern, eines für jedes Verkehrsmittel, und jedes Nest enthält elf Zielwahlalternativen. Somit sind in diesem Beispiel insgesamt 44 Ziel-Verkehrsmittel-Kombinationen gegeben, von denen eine die tatsächlich gewählte Alternative ist. Die theoretischen Grundlagen, sowie weitere Details zum Nested-Logit Modell, können aus Weis *et al.* (2012) entnommen werden.

Die Berechnung der Entscheidung bzw. der Wahl der Ziel-Verkehrsmittelwahl-Kombination erfolgt anhand der ermittelten Nutzendifferenz zwischen den Alternativen. Dafür wird eine dreistufige Nutzenfunktion mit soziodemographischen, Verkehrsmittel- und Attraktionscharakteristiken erstellt. Die folgenden Einflussfaktoren werden berücksichtigt:

- PW-Verfügbarkeit, Zeitkarten-Besitz (GA und Verbund-Abos), Halbtax-Besitz (HT), Alter;
- MIV-Reisezeit, MIV-Kosten, ÖV-Reisezeit, ÖV-Kosten, Umsteigehäufigkeit, Angebotsintervall, Zugangszeit, Fuss-Reisezeit, Velo-Reisezeit;
- Einwohnerzahl, Erwerbstätige, Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Freizeiteinrichtungen, Verkaufsflächen, Parkplatzangebot, Zonenlage (Höhe), Zonentyp.

Die Modellschätzungen basieren auf dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik 2017), der Stated-Preference-Befragung 2015 (Weis *et al.* 2017), sowie der Zusatzauswertung des Zielwahlmodells für das GVM Bern und das GVM Solothurn (Weis 2017) und den in vorherigen Arbeitsschritten erstellten Netzmodellen. Berücksichtigt werden aus dem MZMV 2015 alle Binnenwege der innerhalb des Modellperimeters wohnhaften Personen. Damit stehen 17'441 relevante Beobachtungen (Wege) für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Die Wege mit geokodierten Quell- und Zielpunkten wurden mit Zonengrenzenlayer des GVM verschnitten und so den Modellzonen zugeordnet. Für die Modellschätzung wurde die Software Biogeme (Bierlaire, 2003) verwendet.

Es wurden zwei getrennte Modellschätzungen durchgeführt:

- für ein Verkehrsmittelwahlmodell (Weis et al. 2017);
- für ein Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell (Weis 2017).

Die Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells erfolgt anhand der Parameter der SP-Befragungen 2015 und des MZMV 2015. Es wurde jeweils ein fahrtzweckspezifisches Modell für die folgenden vier Fahrtzwecke geschätzt: Pendler, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Modellparameter Verkehrsmittelwahl

Verkehrsmittel	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausb.	Einkauf	Nutzf.	Freizeit
gemeinsam	Kosten [CHF]	-	-0.190	-0.174	-0.165	-0.196	-0.161
	Verspätungsw'keit [%]	-0.448(*)	-	-	-	-	-
	Verspätung [min]	-0.103	-	-	-	-	-
	Interaktion: Verspätung/Distanz	-0.437	-	-	-	-	-
	Kosten/Einkommen	-0.176	-	-	-	-	-
zu Fuss	Konstante	-	0.635	4.950	0.606	-0.081	-0.663(*)
	Gehzeit [min]	-	-0.073	-0.149	-0.071	-0.109	-0.042
	Interaktionen: Gehzeit/Distanz	-0.378	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.319	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	1.190	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.125	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.154	-	-	-	-	-
	quadriert	0.006(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
suburban	-0.768	-	-	-	-	-	
ländlich	-0.148(*)	-	-	-	-	-	
Velo	Konstante	-	-2.160	-1.140	-2.700	-1.940	-2.320
	Fahrtzeit [min]	-	-0.057	-0.059	-0.076	-0.150	-0.048
	Interaktion: Fahrtzeit/Distanz	-0.362	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.254	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	1.240	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.145	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.018(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	0.001(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
suburban	-0.184	-	-	-	-	-	
ländlich	-0.784	-	-	-	-	-	
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-	-0.061	-0.061	-0.045	-0.073	-0.034
	Suchzeit [min]	-0.067	-	-	-	-	-
	Parkkosten [CHF]	-0.150	-	-	-	-	-
	Interaktionen: Fahrtzeit/Distanz	-0.251	-	-	-	-	-
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.689	-	-	-	-	-
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.495	-	-	-	-	-
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	immer	0.944	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-	-	-	-

	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp:urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-	-	-	-	-	-
	ländlich	-	-	-	-	-	-
ÖV	Konstante	-	0.283(*)	0.957	-0.250(*)	-0.659(*)	-0.487(*)
	Fahrtzeit [min]	-	-0.042	-0.042	-0.034	-0.050	-0.031
	Zu- und Abgangszeit [min]	-	-0.056	-0.053	-0.058	-0.059	-0.008
	Wartezeit [min]	-	-0.020	-0.035	-0.048(*)	-0.062(*)	-0.019
	Umsteigen [Anzahl]	-	-0.184	-0.184	-0.274	-0.367(*)	-0.196
	Takt [min]	-	-0.015	-0.011(*)	-0.011	-0.006(*)	-0.006
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.333	-	-	-	-	-
	Umsteigen/Distanz	-0.193(*)	-	-	-	-	-
	Takt/Distanz	-0.509	-	-	-	-	-
	Billettkosten/Distanz	-0.484	-	-	-	-	-
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.059	-	-	-	-	-
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Tram	-0.089(*)	-	-	-	-	-
	Bus/PostAuto	-0.098(*)	-	-	-	-	-
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Halbtax	0.307	-	-	-	-	-
	Verbundabo	1.670	-	-	-	-	-
	GA	1.510	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-0.030(*)	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.258	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.018(*)	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.189	-	-	-	-	-
	quadriert	0.009	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp:urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.205	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.694	-	-	-	-	-
Skalen-	RP	1.010					
para-	SP 1 (Ref.)	1.000					
meter	SP 2	3.600					
	SP 3	2.030					
	Stichprobengrösse	17'441					
	Anzahl geschätzter Parameter	106					
	Log-Likelihood	-9'466					
	Likelihood Ratio Test (ggü. (3))	241					
	Adjusted p2	0.362					

* nicht signifikant auf dem 95% Niveau

Im nächsten Schritt wird unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Verkehrsmittelwahlmodells das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt (Weis 2017). Um die Modellschätzung durchzuführen, müssen neben den gewählten Alternativen (Ziel- und Verkehrsmittelwahl Kombination) aus dem MZMV 2015 auch andere, nicht gewählte Alternativen erzeugt und dargestellt werden. Dafür werden aus den Netzmodellen jedem gewählten Ziel weitere zehn nicht gewählte Ziele zugespielt. Bei der Zuteilung sollen jeweils Ziele über die gesamte vorhandene Bandbreite an Weglängen ausgewählt werden. Zu diesem Zweck wird für den Startort jedes berichteten Weges aus der Distanzverteilung ein Ziel zufällig ausgewählt und als nicht-gewählte Alternative zugespielt. Für jedes der so erzeugten alternativen Ziele werden aus den Strukturdatentabellen und Kenngrössenmatrizen der beiden GVM die für die Schätzung der Zielwahlparameter relevanten Attribute zugespielt. Neben den Variablen für die Verkehrsmittelwahl (Geh- und Fahrtzeiten, Kosten, Umsteigevorgänge

etc.) spielen hier die Strukturdaten eine zentrale Rolle. Unterschiede finden sich bei den Parametern für das Verkehrsangebot, die Soziodemographie und die Attraktionsvariablen. In den Nutzenfunktionen wurden folgende Attraktionsvariablen betrachtet:

- Arbeit: Erwerbstätige und Arbeitsplätze;
- Ausbildung: Einwohner und Ausbildungsplätze;
- Geschäftsfahrt: Erwerbstätige und Arbeitsplätze;
- Einkauf: Einwohner und Verkaufsflächen;
- Freizeit, Sonstiges: Einwohner und Freizeiteinrichtungen.

Für alle Fahrtzwecke wurden zudem die Parkplätze und die Höhenlage als Attraktionsvariable berücksichtigt. Das Ergebnis der Modellschätzung ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Modellparameter Verkehrsmittel- und Zielwahl

Variablen- gruppe	Parameter	Quelle-Ziel-Gruppe									
		Wohnen- Arbeit	Arbeit- Wohnen	Wohnen- Bildung	Bildung- Wohnen	Wohnen- Einkauf	Einkauf- Wohnen	Wohnen- Nutzfahrt	Nutzfahrt- Wohnen	Wohnen- Freizeit	Freizeit- Wohnen
Fussweg	Konstante	2.530	2.480	8.390	8.540	2.950	2.830	1.250	1.040	2.030	1.890
	Gehzeit [min]	-0.073	-0.073	-0.149	-0.149	-0.071	-0.071	-0.109	-0.109	-0.042	-0.042
	Interaktion Distanz	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378	-0.378
	Höhendifferenz [m]**	-0.005	-0.005	-0.010	-0.010	-0.005	-0.005	-0.007	-0.007	-0.003	-0.003
Veloweg	Konstante	0.740	0.673	2.690	2.580	0.070	0.226	1.470	1.110	0.357	0.272
	Fahrtzeit [min]	-0.057	-0.057	-0.059	-0.059	-0.058	-0.058	-0.150	-0.150	-0.048	-0.048
	Interaktion Distanz	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362	-0.362
	Höhendifferenz [m]**	-0.009	-0.009	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.025	-0.025	-0.008	-0.008
MIV-Weg	Konstante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.061	-0.061	-0.061	-0.061	-0.045	-0.045	-0.073	-0.073	-0.034	-0.034
	Interaktion Distanz	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251	-0.251
	Fahrtkosten [CHF]	-0.190	-0.190	-0.174	-0.174	-0.165	-0.165	-0.190	-0.190	-0.161	-0.161
	Interaktion Distanz	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689	-0.689
ÖV-Weg	Konstante	0.725	0.459	2.650	2.330	0.123	0.191	-0.806	-1.040	-0.247	-0.375
	Fahrtzeit [min]	-0.042	-0.042	-0.042	-0.042	-0.034	-0.034	-0.050	-0.050	-0.031	-0.031
	Interaktion Distanz	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333	-0.333
	Fahrtkosten [CHF]	-0.190	-0.190	-0.174	-0.174	-0.165	-0.165	-0.190	-0.190	-0.161	-0.161
	Interaktion Distanz	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484	-0.484
	Umsteigen	-0.184	-0.184	-0.184	-0.184	-0.274	-0.274	-0.367	-0.367	-0.196	-0.196
	Interaktion Distanz	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193	-0.193
	Takt	-0.015	-0.015	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006
	Interaktion Distanz	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509	-0.509
Zu- und Abgangszeit	-0.056	-0.056	-0.053	-0.053	-0.058	-0.058	-0.059	-0.059	-0.008	-0.008	
Struktur- daten	Einwohner*	-	-	-	-	-	0.715	-	-	-	0.809
	Einwohner < 25 J.*	-	-	-	0.499	-	-	-	-	-	-
	Erwerbstätige*	-	0.740	-	-	-	-	-	0.721	-	-

Beschäftigte*	0.743	-	-	-	-	-	0.562	-	-	-
Ausbildungsplätze*	-	-	0.232	-	-	-	-	-	-	-
Verkaufsfläche*	-	-	-	-	0.440	-	-	-	-	-
Freizeitbesucher*	-	-	-	-	-	-	-	-	0.544	-
Stichprobengrösse	3'608	2'886	1'868	1'818	4'108	4'542	354	413	6'917	7'199
Adj. ρ^2	0.53	0.49	0.58	0.55	0.61	0.56	0.52	0.52	0.51	0.52

* Die Attraktionsvariablen wurden wie folgt umgerechnet: $\ln(\text{Wert der Variable} / 1'000)$.

** Die Parameterwerte für die Höhendifferenzen resultieren nicht aus der Modellschätzung, sondern aus der Umrechnung über die Faktoren 1/15 (zu Fuss) bzw. 1/16 (Velo) des Reisezeit-Parameters.

Kursiv gedruckte Werte wurden unverändert aus dem Verkehrsmittelwahlmodell übernommen.

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 VISEVA 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.

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

Damit werden in VISEVA 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 7 dargestellt.

Tabelle 7	Komponenten der Nutzenfunktionen			
	MIV	ÖV	Velo	zu Fuss
Verkehrs- angebot	Reisezeit	Reisezeit	Reisezeit	Reisezeit
	Reisekosten	Reisekosten	Höhe	Höhe
Sozio- demographie		Zugangszeit		
		Abgangszeit		
		Umsteigezahl		
		Bedienungshäufigkeit		
	PW-Besitz	Jahresabonnement		
	Halbtaxabonnement			
	Alter			
Attraktion	Einwohner	Einwohner	Einwohner	Einwohner

Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze
Ausbildungsplätze,	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze
Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche,	Verkaufsfläche
Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot
Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige
Parkkosten	Zusatzkonstante		
Parksuchzeit			
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 9km/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-Angebotskenngrößen 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 1 dargestellt. Weiterhin wird für die Berechnung der MIV-Reisezeit, im Gegensatz zur Umlegung, bei den Anbindungen eine konstante CR-Funktion angenommen.

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

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein

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

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

Alle Verbindungen ohne ÖV löschen

Verbindungen löschen, die vollständig im Vor- oder Nachlauf liegen

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

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

1. Eine Verbindung wird gelöscht, wenn

SuchWid > 1.50 * minimaler SuchWid + 10.00

SuchWid wird entsprechend den Suchparametern berechnet.

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

Reisezeit > 1.50 * minimale Reisezeit + 10min

und Umsteigehäufigkeit nicht minimal

oder

Umsteigehäufigkeit > minimale Umsteigehäufigkeit + 1

und Reisezeit nicht minimal

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

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

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein

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

empf. Reisezeit ERZ =

zahl:	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda	
	1.00	Fahrzeit im Fzg	*	1.0	<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 Betreiberwechsel	Parameter		<input type="checkbox"/>	1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstand	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 Hauptdiagonalen für Fuss, Velo, ÖV und MIV extern über das Zeilen-/Spaltenminimum bestimmt. Dazu wurde zunächst für jedes Element der Hauptdiagonalen das Minimum der Elemente aus den zugehörigen Zeilen und Spalten der Aufwandsmatrizen gebildet. Zusätzlich wurde dieses Minimum mit einem Faktor von 0.7 multipliziert und in die Aufwandsmatrix übernommen.

$$A_{ij} = 0.7 * \min(A_{ij}; A_{ji})$$

Dies bewirkt, dass alle Aufwände des Binnenverkehrs 30% geringer sind als die kleinsten Aufwände zu einem benachbarten Verkehrsbezirk.

In einem weiteren Schritt werden die so generierten Aufwandsmatrizen exportiert und in ein Exceltool eingespielt. In diesem Tool werden die durchschnittlichen Aufwände der Hauptdiagonalen für das Planungsgebiet bestimmt. Diesen durchschnittlichen Aufwänden wird ein als realistisch angesehener Wert (für Reiseweite und Reisezeit) gegenübergestellt und ein Korrekturfaktor berechnet. Abschliessend werden die Aufwände der Hauptdiagonalen mit diesem Korrekturfaktor multipliziert und für die Verkehrsnachfrageberechnung verwendet.

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 Beschreibung des Programms ist unter <http://www.viseva.de/> zu finden. 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 8).

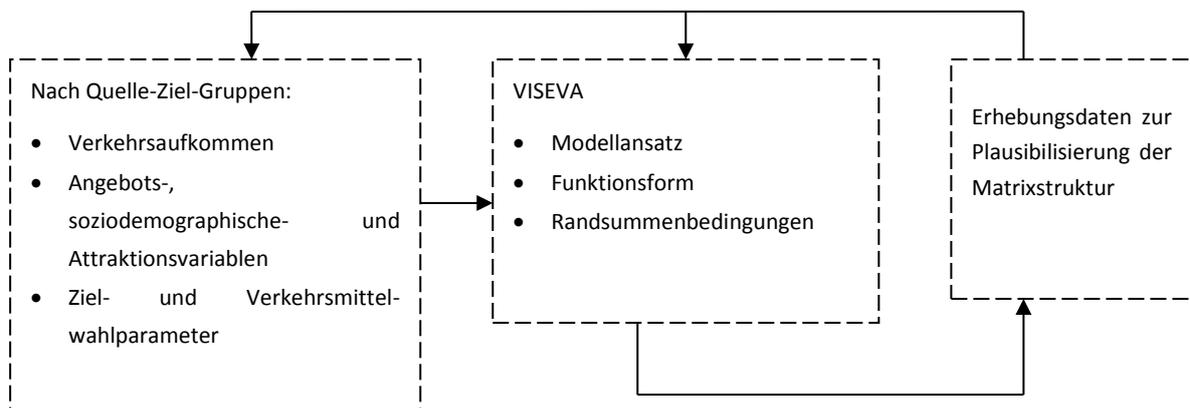
Tabelle 8 Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quelle-Ziel-Ströme

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

Vor der Erstellung der endgültigen Matrizen war es notwendig, verschiedene Testläufe durchzuführen. Diese sollten prüfen, wie plausibel die Eingangsdaten sind, und welcher Ansatz bei der Eichung des Modells die besten Ergebnisse liefert.

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 erfolgt die Erstellung und Eichung der Matrixstruktur in einem iterativen Prozess. Das Vorgehen ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Kalibration der Matrizen auf die Querschnittszählungen erfolgt erst nach der Umlegung, wenn die Matrixstruktur plausibel und geeicht ist.

Abbildung 2 Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur



Im Rahmen der Eichung der Matrixstruktur wird sowohl die Modellstruktur (harte und weiche Randsummenbedingungen, Lösungsverfahren) als auch Modellfunktionen und einzelne Modellparameter optimiert. Bei bestimmten Quelle-Ziel-Gruppen wird dafür eine sog. Box-Tukey-Transformation verwendet, um eine nichtlineare Modellfunktion – und damit eine bessere Anpassung an die Realität – zu erreichen. Diese lässt sich durch die Einführung von zusätzlichen Modellparametern in VISEVA 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 Reiseverteilerung ist im Folgenden beschrieben.

Tabelle 9 zeigt die Eckwerte der berechneten inter- und intrazonalen Matrizen im Binnenverkehr für alle vier Verkehrsmittel und nach Fahrtzwecken geordnet.

Tabelle 9 Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen

[Mio. Wege / Werktag]					
Alle Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0,77	0,24	0,14	0,23	1,37
Ausbildung	0,06	0,13	0,10	0,22	0,51
Einkauf	0,70	0,12	0,10	0,40	1,32
Nutzfahrt	0,17	0,02	0,01	0,02	0,21
Freizeit	1,08	0,19	0,16	0,45	1,88
Summe	2,78	0,69	0,50	1,31	5,29
Interzonale Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0,73	0,23	0,12	0,10	1,18
Ausbildung	0,06	0,13	0,09	0,08	0,37
Einkauf	0,65	0,11	0,09	0,18	1,02
Nutzfahrt	0,16	0,01	0,01	0,01	0,19
Freizeit	1,02	0,18	0,14	0,22	1,56
Summe	2,62	0,66	0,44	0,59	4,31
Anteil interzonale Wege [%]					
WISEVA	94	97	86	45	82
MZMV 2015	86	98	75	45	74

Von den ca. 4.3 Mio. interzonalen Wegen werden ca. 61% mit dem MIV, 15% mit dem ÖV, 10% mit dem Velo und 14% zu Fuss zurückgelegt. Wird der Modal Split nach Fahrtzwecken betrachtet, ist der ÖV-Anteil bei Pendler- (20%) und insbesondere bei Ausbildungswegen (36%) 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 10 dargestellt.

Tabelle 10 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015, interzonale Wege [%]

	MIV		ÖV		Velo		Fuss	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	62,4	61.3	19,5	20.6	9,8	10.5	8,3	7.6
Ausbildung	16,6	16.0	36,4	38.4	24,3	19.8	22,7	25.9
Einkauf	82,8	82.2	7,6	8.6	4,4	4.9	5,2	4.3
Nutzfahrt	63,4	60.2	10,6	12.3	8,4	7.2	17,5	20.2
Freizeit	65,3	62.8	11,5	13.2	8,8	8.4	14,4	15.5
Alle Fahrtzwecke	60,7	58.8	15,4	16.9	10,1	9.5	13,8	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 11). 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 12). Wie erwartet werden vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt. Diese Wege haben einen höheren Anteil an den LV-Wege sowie am intrazonalen Verkehr. Dies wird unter anderem durch die räumliche Verteilung der Attraktionsgrössen (Ausbildungsplätze und Einkaufszentren bzw. Einkaufsstrassen) beeinflusst. Die grösste Differenz in der mittleren Reiseweite nach Verkehrsmitteln ergibt sich bei den Nutzfahrten. Der Effekt ist darauf zurückzuführen, dass Dienstfahrten vor allem mit dem ÖV (31 km) und Servicefahrten vorzugsweise mit dem MIV (15 km) durchgeführt werden.

Tabelle 11 Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel

[Mio Pkm]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Alle Wege					
Arbeit	9,10	4,00	0,50	0,32	13,93
Ausbildung	0,62	2,24	0,25	0,41	3,51
Einkauf	5,45	0,99	0,24	0,58	7,26
Nutzfahrt	2,53	0,29	0,03	0,02	2,87
Freizeit	11,39	2,86	0,49	0,77	15,50
Total	29,10	10,37	1,50	2,10	43,07
Interzonale Wege					
Arbeit	9,02	3,99	0,45	0,11	13,58
Ausbildung	0,62	2,24	0,23	0,10	3,19
Einkauf	5,36	0,98	0,22	0,21	6,77
Nutzfahrt	2,52	0,29	0,02	0,02	2,84
Freizeit	11,25	2,85	0,44	0,31	14,84
Total	28,77	10,35	1,36	0,74	41,22

Tabelle 12 Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2015

[km]	MIV		ÖV		Velo		Fuss	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	12,3	12,4	17,4	17,3	3,9	3,9	1,1	1,0
Ausbildung	10,2	9,6	16,8	14,4	2,6	2,4	1,2	1,1
Einkauf	8,3	8,2	9,1	8,8	2,5	2,5	1,2	1,0
Nutzfahrt	15,9	16,2	19,8	18,6	2,7	2,8	1,5	1,7
Freizeit	11,1	10,8	15,9	15,9	3,2	3,4	1,4	1,3
Total	11,0	10,9	15,6	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 3 bis Abbildung 8) 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 Zählenden verzichtet.

Abbildung 3 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: alle Fahrtzwecke

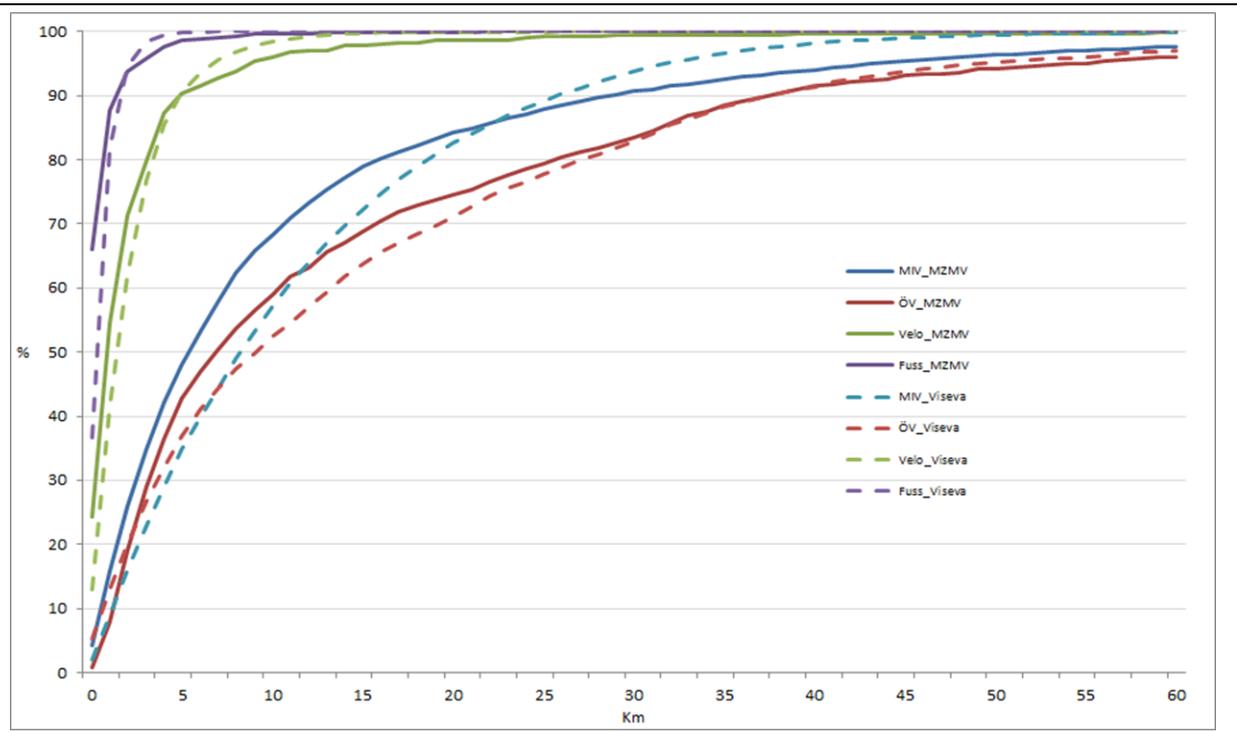


Abbildung 4 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Arbeit

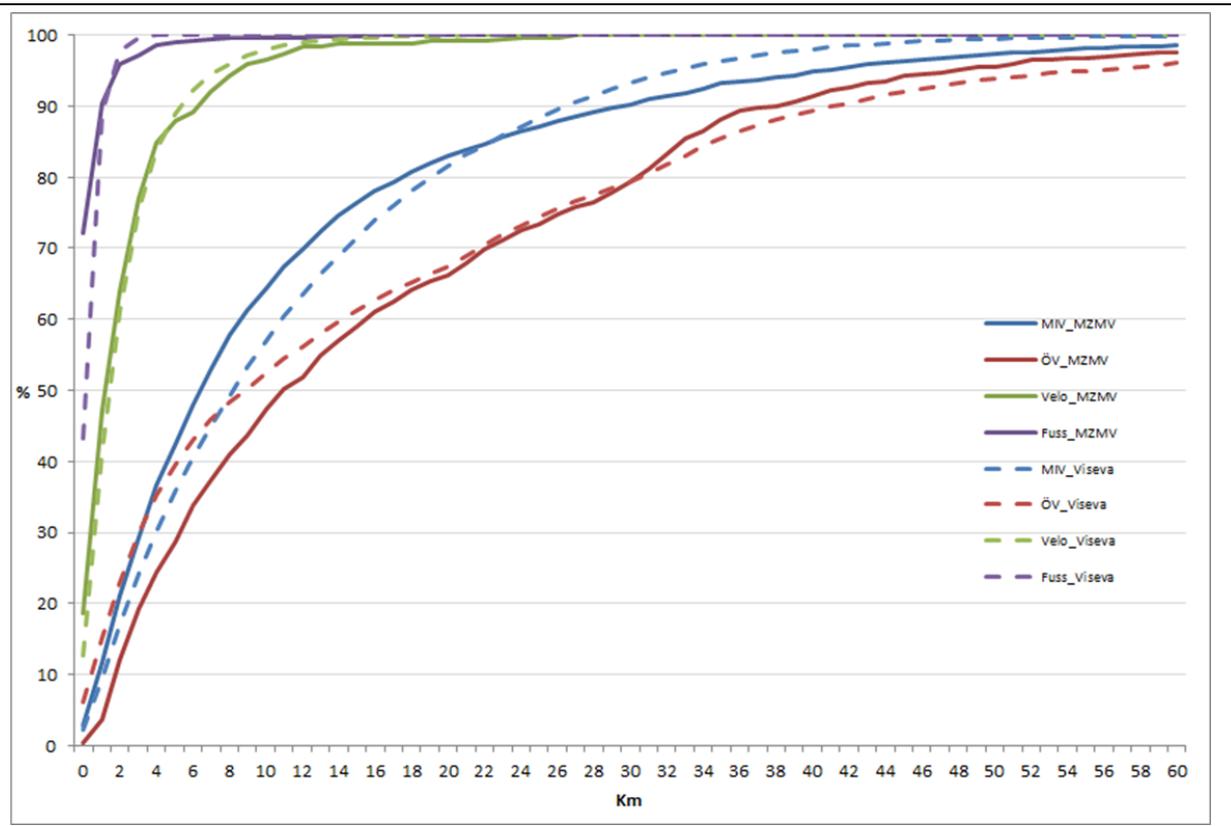


Abbildung 5 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Ausbildung

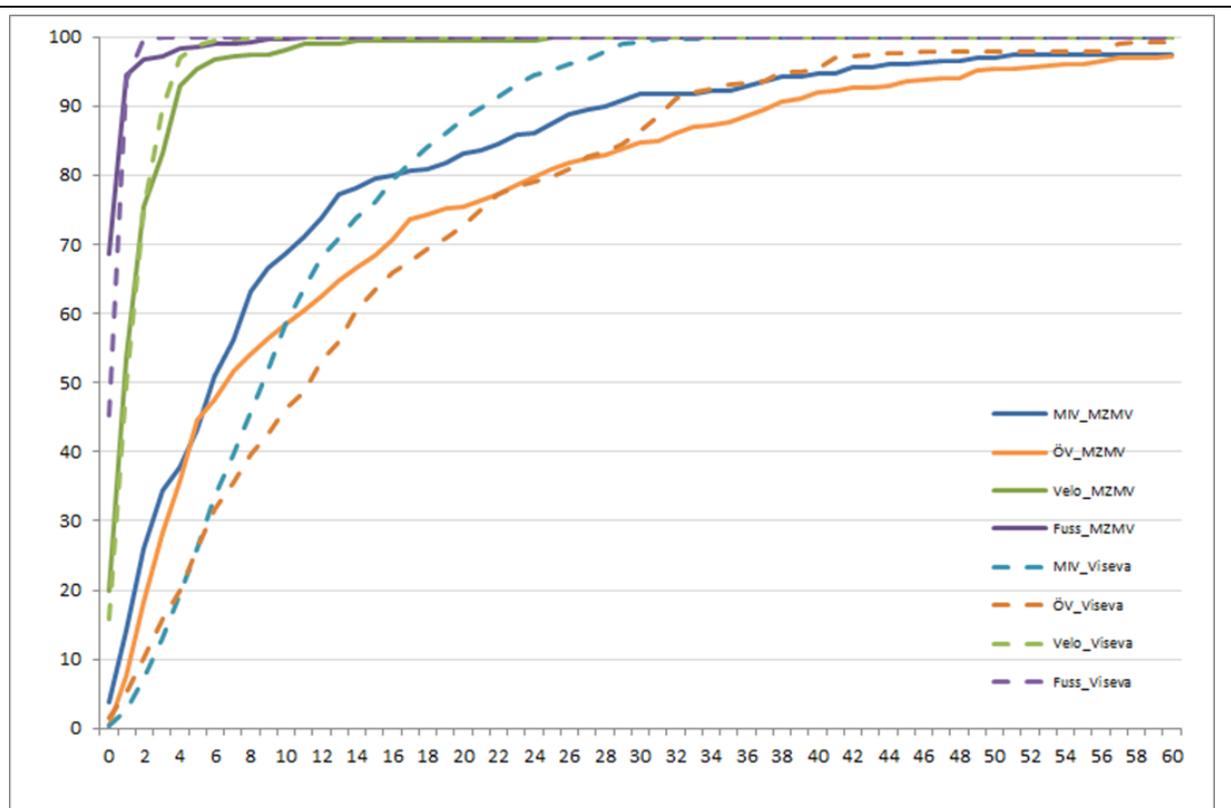


Abbildung 6 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Einkauf

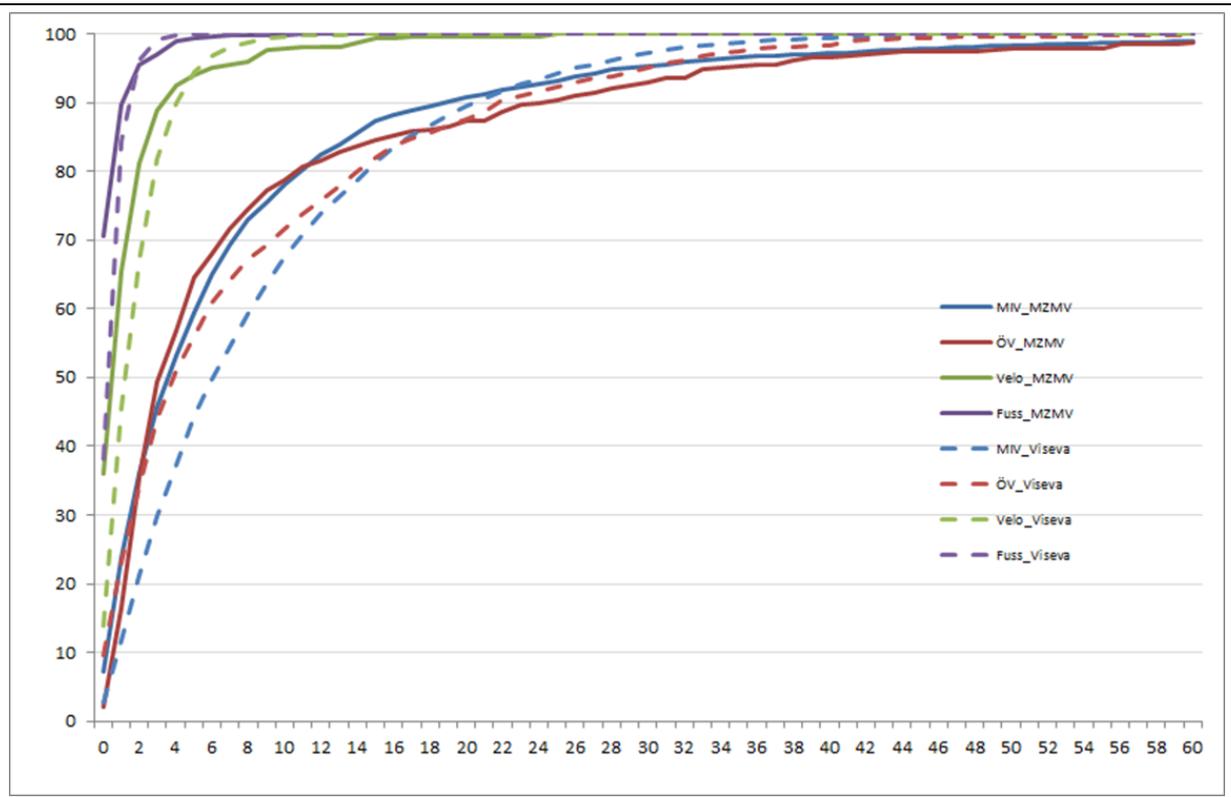


Abbildung 7 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Nutzfahrt

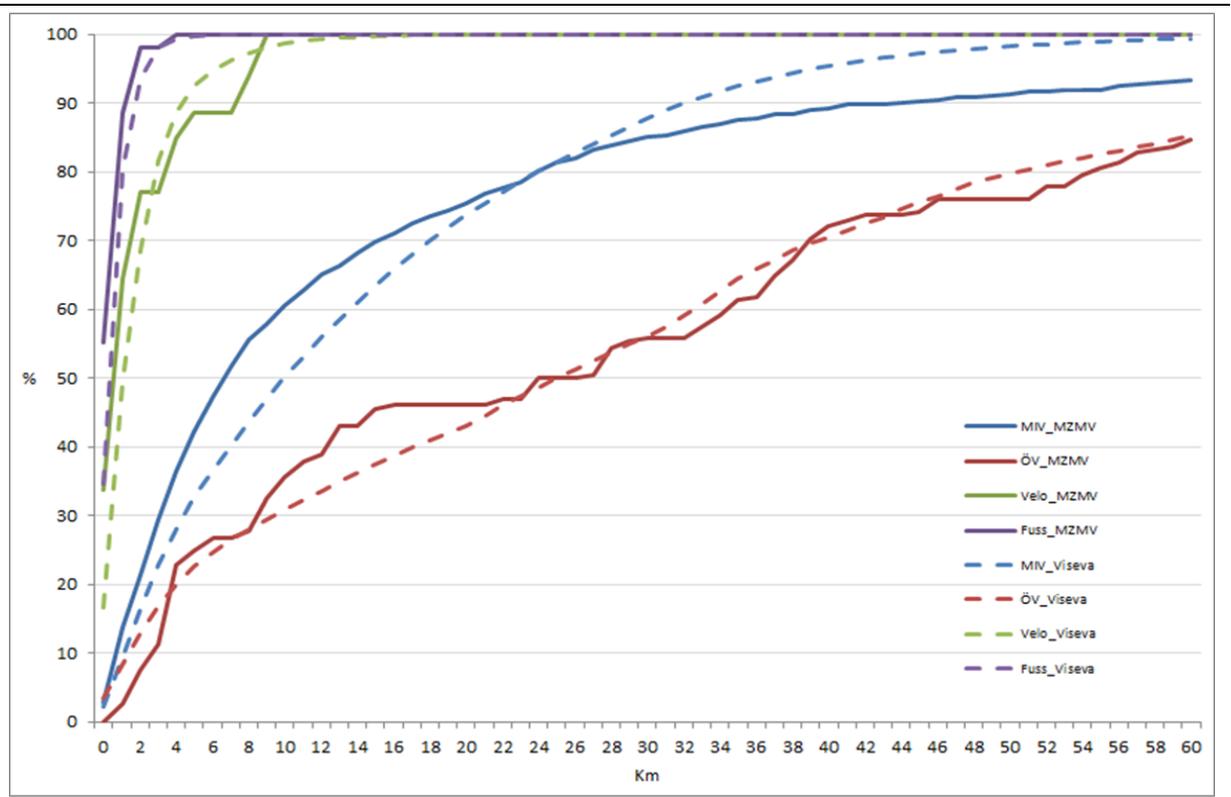
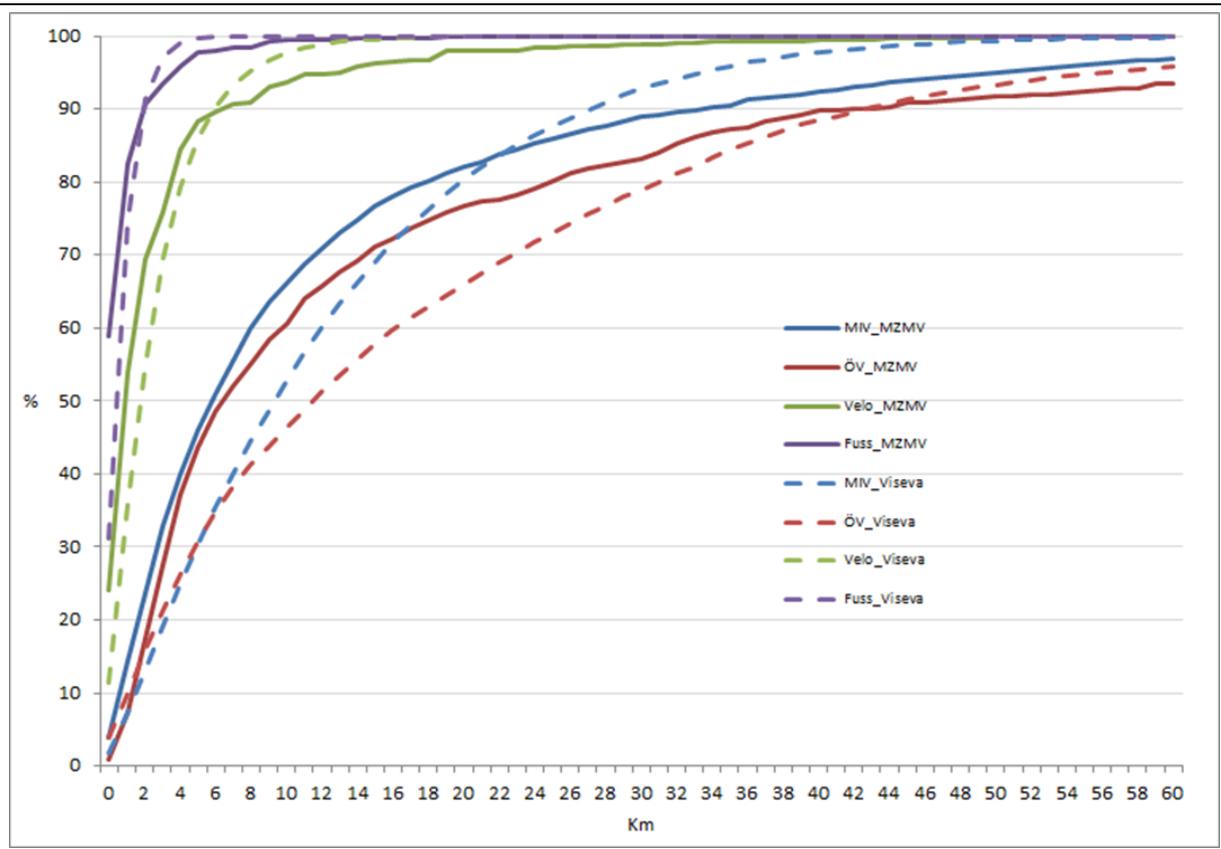


Abbildung 8 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2015: Fahrtzweck Freizeit



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-Anteile 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 folgend 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 9 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 9 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	*	Fomel	<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 Nationalen Güterverkehrsmodell verwendet. Die Lieferwagen wurden proportional zu Einwohnern und Arbeitsplätzen, und die LKW und Last- und Sattelzüge proportional zu Arbeitsplätzen aus dem Nationalen Güterverkehrsmodell, auf die GVM-Zonen disaggregiert. Im letzten Schritt wurden diese Matrizen umgelegt (deterministisches Gleichgewicht) und auf die Zählraten kalibriert. Die verwendeten Zählraten werden als Streckenattribute (Strecken/Zählstellen/Summe (Benutzerdefiniertes Attribut)) gespeichert. Die Streckenbelastungen werden in PW-Einheiten derart umgerechnet, dass ein Lieferwagen als ein, ein LKW als zwei und ein Last- oder Sattelzug als drei PW-Einheiten betrachtet werden. Diese werden als Vorbelastung bei der Umlegung der PW-Matrix verwendet. Durch die Umlegung dieser Matrix wird es möglich, den Einfluss des Schwerverkehrs auf die Reisezeit und das Routenwahlverhalten im MIV bei einer Modellanwendung zu berücksichtigen. Es muss aber beachtet werden, dass die Qualität der LKW-Matrizen und des Routenwahlverhaltens nicht geprüft wurde und die Matrix anhand einer sehr kleinen Anzahl an Zählstellen geeicht wurde. Damit lässt sich die Auswirkung von Massnahmen auf das Güterverkehrsverhalten mit diesen Matrizen nicht ermitteln.

7.1.5.3 Umlegungsergebnisse

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

- Binnenverkehrsmatrix aus VISEVA;
- Aussenmatrix (Quell-, Ziel- und Transitmatrix) aus dem Nationalen Verkehrsmodell.

Um bereits bei der Erstellung des Modellzustandes 2012 berücksichtigte Korrekturen auch im hier vorliegenden Modellzustand 2016 einzubeziehen, werden die Quelle-Ziel-Matrizen zudem wie folgt korrigiert:

$$QZ_{2016} = QZ_{2016,VISEVA} + (QZ_{2012,kalibriert} - QZ_{2012,VISEVA})$$

Es wird also die Differenz zwischen dem kalibrierten und dem unkalibrierten Zustand 2012 auf die unkalibrierte Matrix 2016 addiert, um einen verbesserten Ausgangszustand für die folgende Modellkalibration vorliegen zu haben.

Die aus dem NPVM filtrierte Aussenströme müssen in einem ersten Schritt auf die kantonale Zonierung disaggregiert werden. Dies wird mit Hilfe des in VISUM vorhandenen Teilnetzgenerators und den Aufteilungskriterien Einwohner und Arbeitsplätze der Zonen durchgeführt. Die Aussenströme wurden im Rahmen des Nationalen Verkehrsmodells auf die Querschnittszählungen geeicht und werden hier nicht weiter kalibriert. Damit wird bei der späteren Kalibration auf die Querschnittszählungen nur die Binnenverkehrsmatrix aus VISEVA berücksichtigt, bzw. verändert werden.

Der Vergleich der Modellbelastungen mit den Zählwerten im MIV ist in Abbildung 10 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 11 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 10 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – MIV (ohne Kalibration)

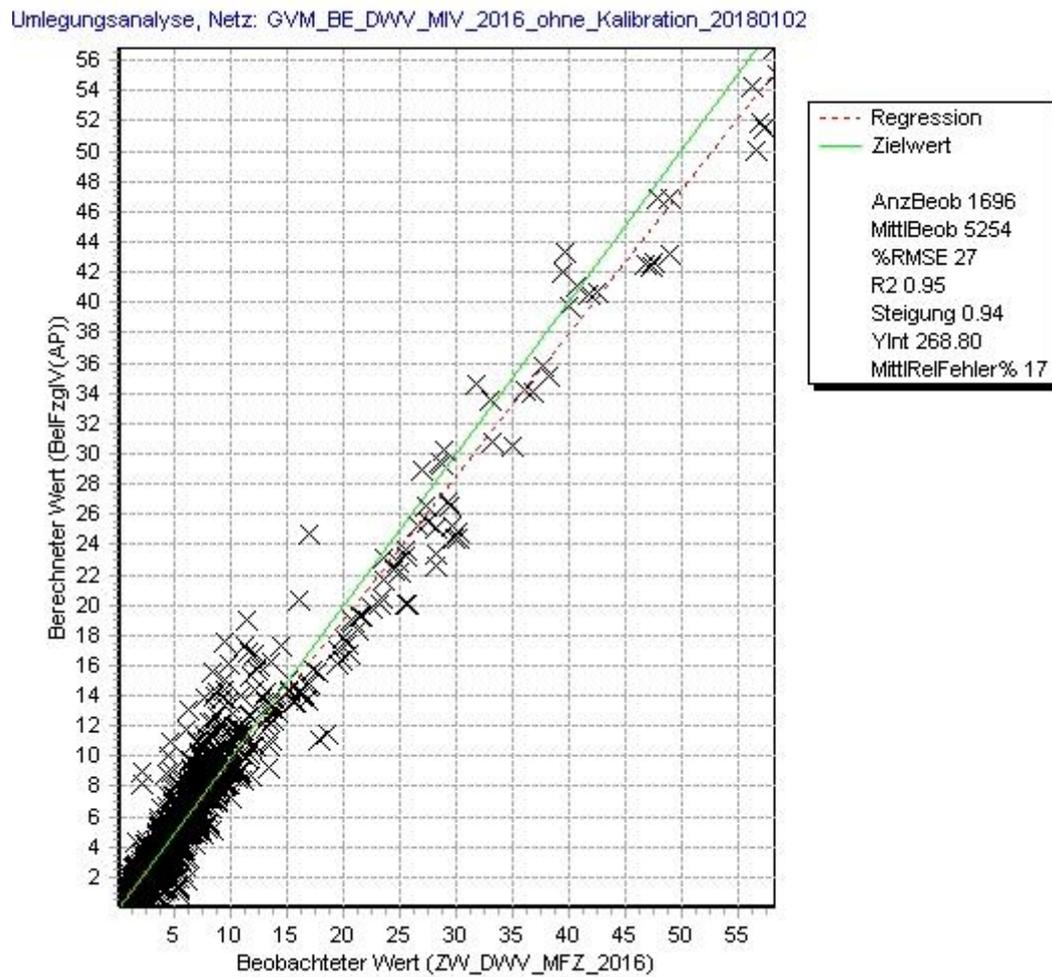
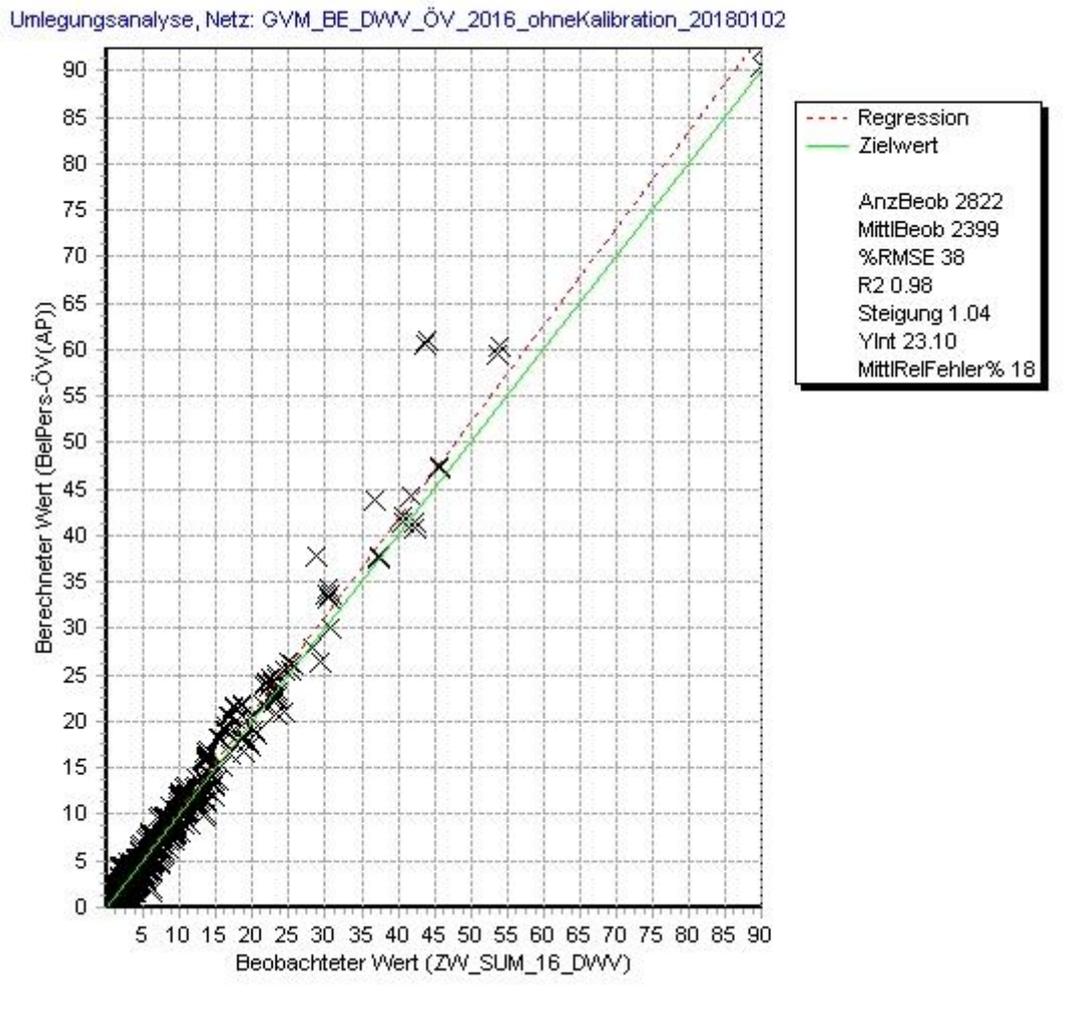


Abbildung 11 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration)



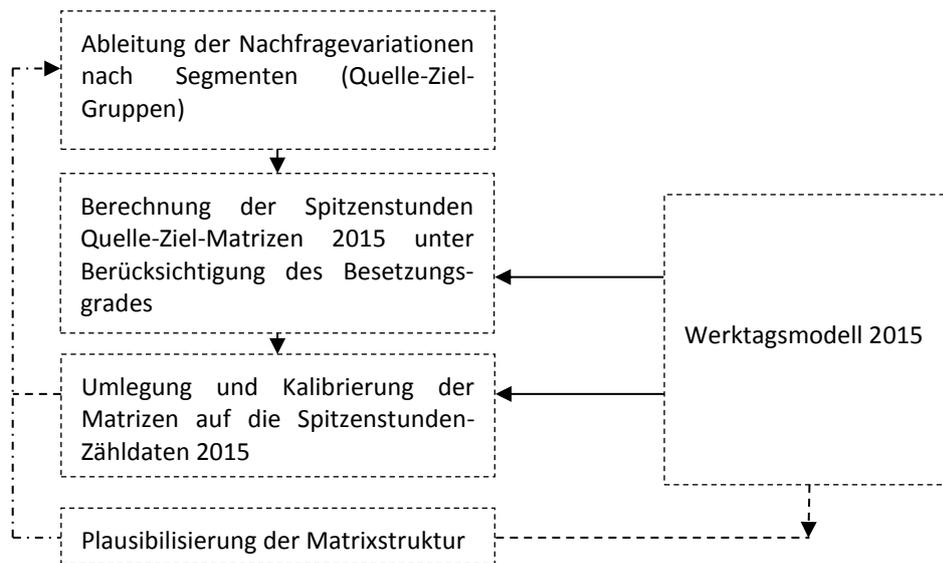
7.2 Spitzenstundenmodelle

Für die Erstellung der Spitzenstundenmodelle für das Jahr 2015 werden die Arbeiten in drei Hauptschritten durchgeführt:

- Festlegung und Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen aus den Daten des MZMV 2015;
- Berechnung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen unter Berücksichtigung der beiden Spitzenstunden (Morgenspitzenstunde 7:00-8:00 – MSP; Abendspitzenstunde 17:00-18:00 – ASP); und ihre Umlegung auf das jeweilige Verkehrsnetz;
- Eichung und Kalibrierung der berechneten Spitzenstunden-Matrizen auf die Spitzenstunden-Zählwerte (Kapitel 8.3 und 8.4).

Die wesentlichen Arbeitsschritte und das Vorgehen sind in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12 Vorgehen bei der Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen für die Spitzenstunden



7.2.1 Ableitung der räumlichen und zeitlichen Nachfragevariationen

Für die Erstellung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen müssen in einem ersten Schritt die räumlichen und zeitlichen Variationen der Verkehrsnachfrage bestimmt werden. Durch die räumlichen Variationen werden die zusätzlichen Unterschiede in der Verkehrsstärke einer Quelle-Ziel-Beziehung nach Richtungen innerhalb eines Zeitintervalls beschrieben. Da innerhalb eines stündlichen Zeitintervalls die Verkehrsnachfrage einer Relation nach Richtungen sehr unterschiedlich sein kann, müssen diese zwei Variationen konsistent betrachtet werden.

Diese Abhängigkeiten können am Beispiel der Pendlerströme gezeigt werden. In den Morgenspitzen finden vor allem Verkehrsströme zu den Zentren mit hohem Anteil an Arbeitsplätzen statt, am Abend entsprechend in der Gegenrichtung. In den Quelle-Ziel-Gruppen werden neben den Verhaltensähnlichkeiten auch die räumlichen Ähnlichkeiten (durch die Bildung von Produktions- und Attraktionsmerkmalen) berücksichtigt. So wird z.B. die räumliche Verteilung bei der Quelle-Ziel-Gruppe (QZG) Wohnen-Arbeit (WA) durch die Erwerbstätigen als Produktionsgrösse und die Arbeitsplätze als Attraktionsgrösse bestimmt. Diese Ströme zeigen auch eine sehr ähnliche zeitliche Verteilung (Wohnen-Arbeit: Morgenspitze mit dem Ziel Arbeitsplatz, Arbeit-Wohnen: Abendspitze mit dem Ziel Wohnort).

Für die Ableitung der hier beschriebenen Nachfragevariationen wurden die Wegedaten aus dem MZMV 2015 (Teilstichprobe für das Modellgebiet) nach QZG differenziert. Dabei wurden nur die werktäglichen interzonalen Wege betrachtet. Aufgrund der relativ kleinen Stichproben wurden die nicht wohnungsgebundenen QZG mit den wohnungsgebundenen QZG aggregiert. Die festgelegten QZG können weiter auf die einzelnen Fahrtzwecke aggregiert werden. Für die Auswertung der Daten wurden folgende QZG definiert:

- Wohnen-Arbeit (inkl. Sonstiges-Arbeit);
- Arbeit-Wohnen (inkl. Arbeit-Sonstiges);
- Wohnen-Bildung;
- Bildung-Wohnen;
- Wohnen-Nutzfahrt (inkl. Sonstiges-Nutzfahrt);
- Nutzfahrt-Sonstiges (inkl. Nutzfahrt-Sonstiges);
- Wohnen-Einkauf (inkl. Sonstiges-Einkauf);

- Einkauf-Wohnen (inkl. Einkauf-Sonstiges);
- Wohnung-Sonstiges (inkl. Sonstiges-Sonstiges);
- Sonstiges-Wohnen.

Für die nicht wohnungsgebundenen Aktivitäten wie z.B. Arbeit-Sonstiges werden die gleichen QZG angenommen, so dass die Nachfragevariation gleich ist wie bei der wohnungsgebundenen Aktivität, in diesem Beispiel wie bei Arbeit-Wohnen.

Für jedes dieser Segmente werden aus der Anzahl Wege während des Tages und nach Stunden die Stundenanteile an der Tagesnachfrage der QZG laut MZMV 2015 berechnet. In folgenden Abbildungen (Abbildung 13 bis Abbildung 17) sind die abgeleiteten Nachfragevariationen für alle Fahrtzwecke dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Nachfragevariation je Stunde (Stunde 0 ist die Zeitperiode von 00:00 bis 00:59), Verkehrsmittel und QZG mit der gleichen Achsenskalierung. Es ist deutlich, dass z.B. die Wege von der Wohnung zur Arbeit in der Morgenspitze und die Wege von der Arbeit zum Wohnen in der Abendspitze stattfinden. Durch die Abbildung der getrennten QZG eines Fahrtzwecks bei der Matrixerstellung sind die Gesetzmässigkeiten des Weges beschrieben. Ohne diese Disaggregation und nur anhand der fahrtzweckspezifischen Segmente wäre die räumliche Ableitung der Nachfragevariationen nicht möglich.

Weiter ist zu sehen, dass die MIV-Ganglinien eine höhere Mittagsspitze haben als die ÖV-Ganglinien, was vor allem auf die kürzeren MIV-Fahrten über die Mittagspause zurückzuführen ist. Beim Fahrtzweck Bildung sind sehr stark ausgeprägte Spitzen zu erkennen. Im Einkaufsverkehr sind im MIV eine schmale Spitze am späteren Vormittag und eine sehr gleichmässige Verteilung am Nachmittag zu erkennen. Im ÖV sind eine Spitze in der Früh zu erkennen und am späteren Nachmittag unternehmen die ÖV-Nutzer die meisten Einkaufswege.

Bei den Nutzfahrten mit dem MIV sind gut erkennbare Spitzen am Morgen und nach der Mittagszeit zu erkennen. Der grösste Teil der Freizeitaktivitäten beginnt am Nachmittag oder frühen Abend. Zudem ist insbesondere im MIV ein relativ hoher Anteil an späten Heimkehrern zu erkennen. Es ist zu beachten, dass es sich hierbei nur um das Verkehrsaufkommen (Anzahl Wege mit Personengewichten aus dem MZ), nicht jedoch um die Verkehrsleistung handelt.

Abbildung 13 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) – Fahrtzweck Arbeit

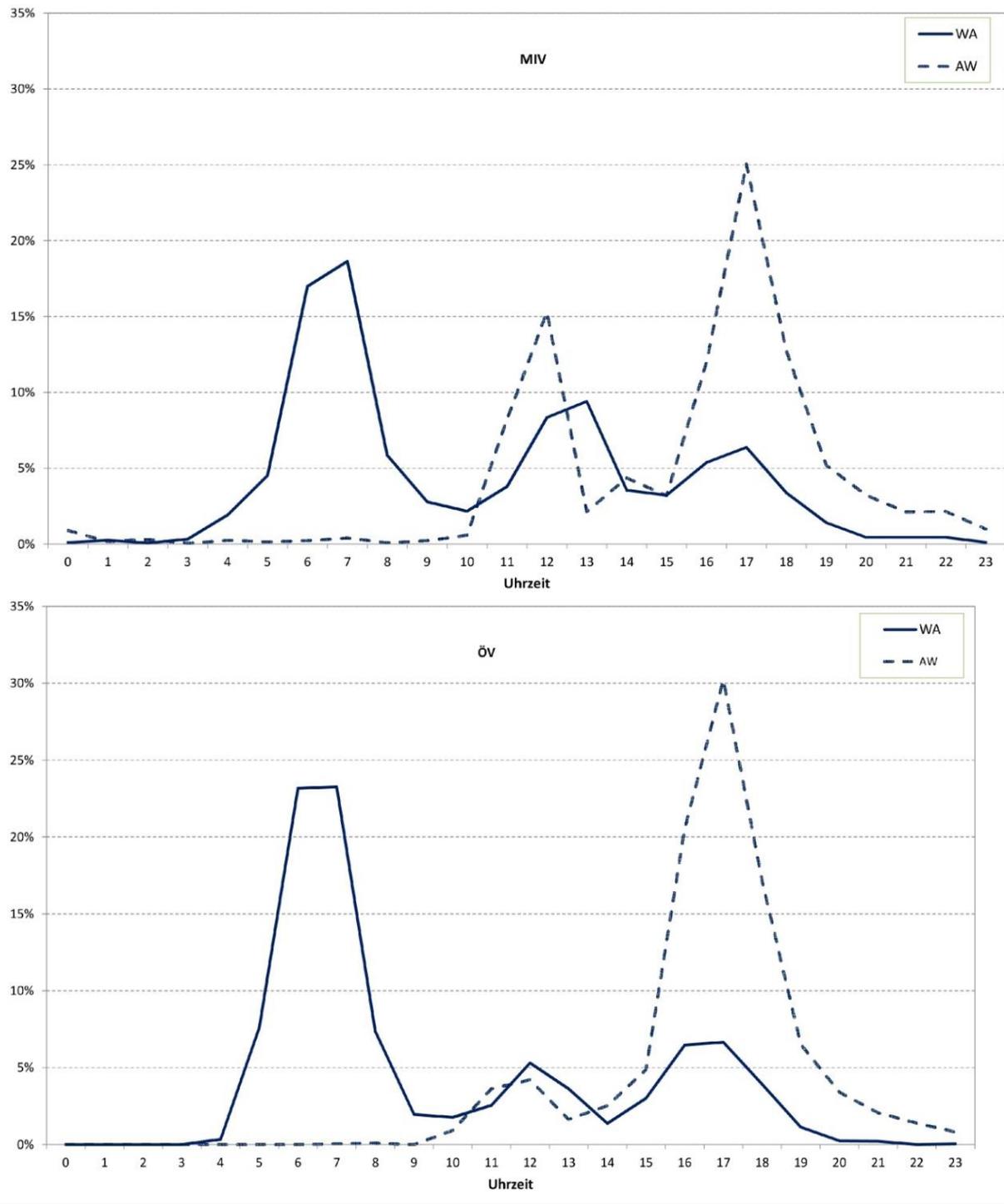


Abbildung 14 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Bildung (WB) und Bildung-Wohnen (BW) – Fahrtzweck Bildung



Abbildung 15 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) – Fahrtzweck Einkauf

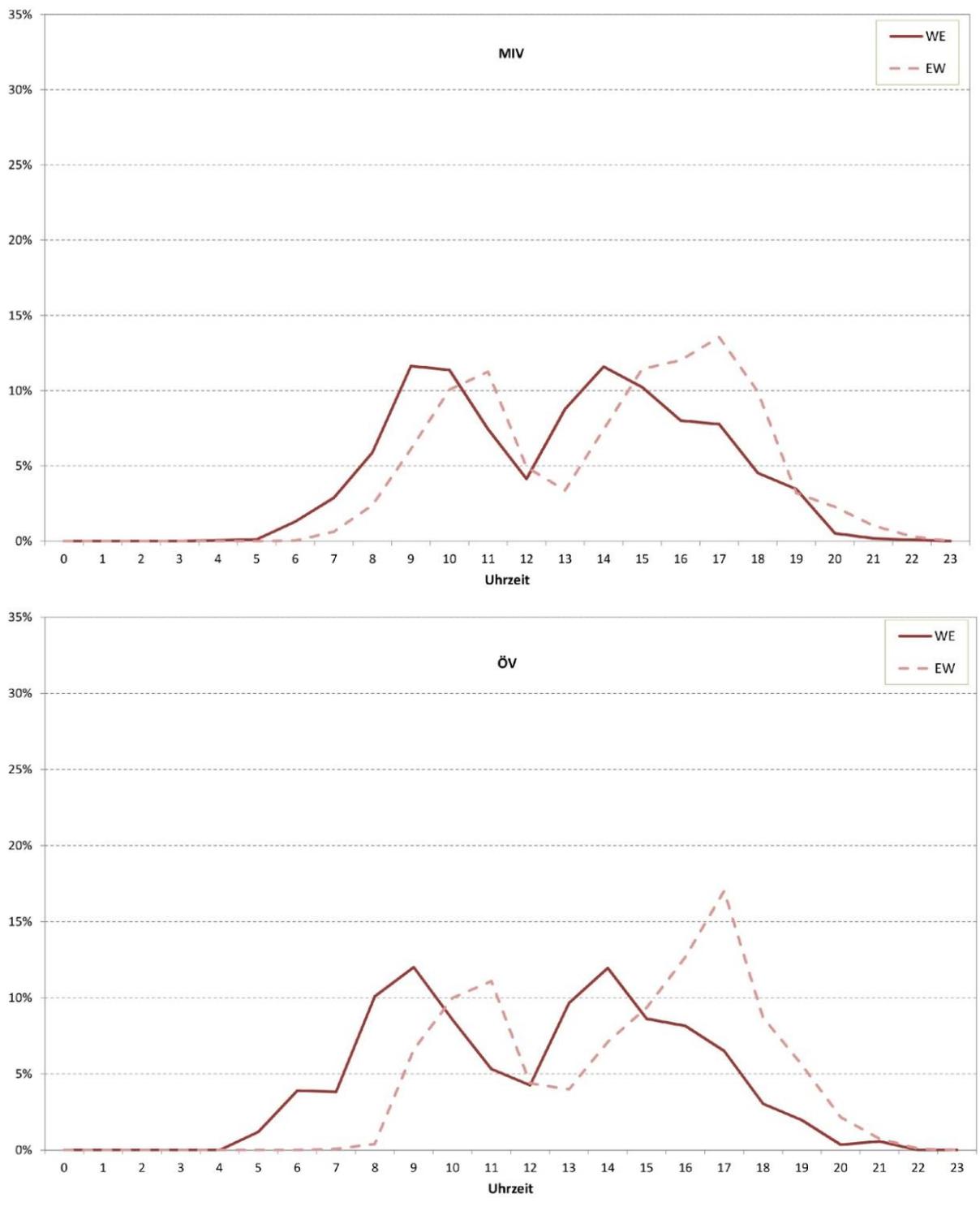


Abbildung 16 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Nutzfahrt (WN) und Nutzfahrt-Wohnen (NW) – Fahrtzweck Nutzfahrt

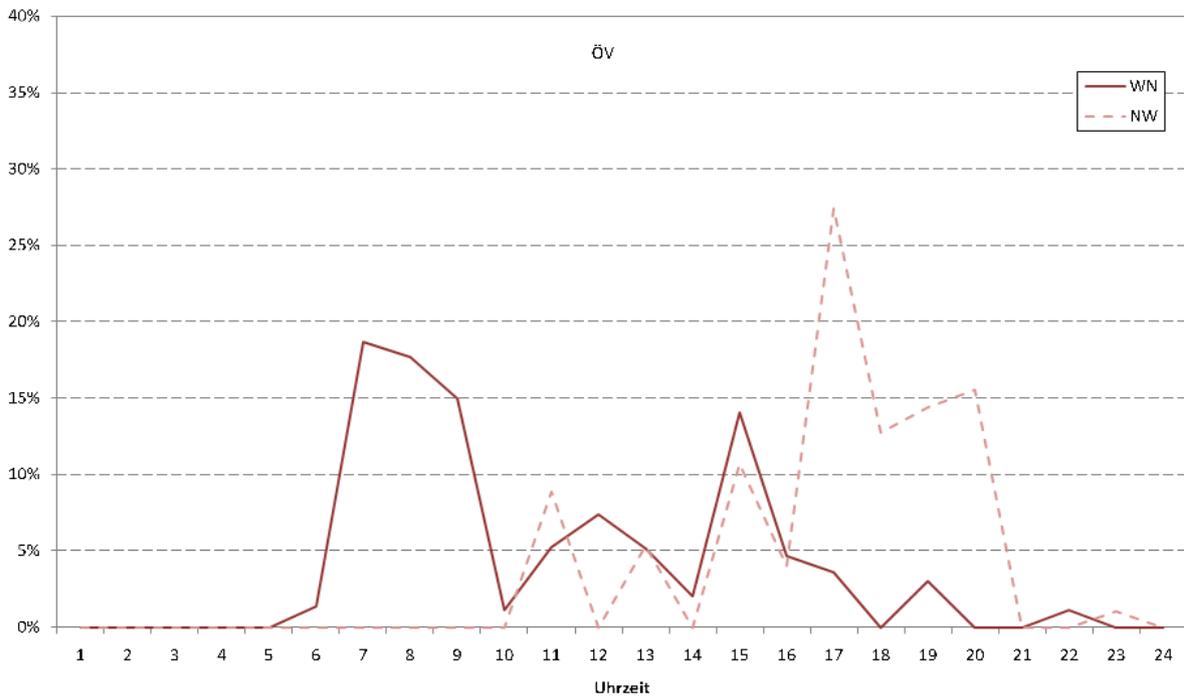
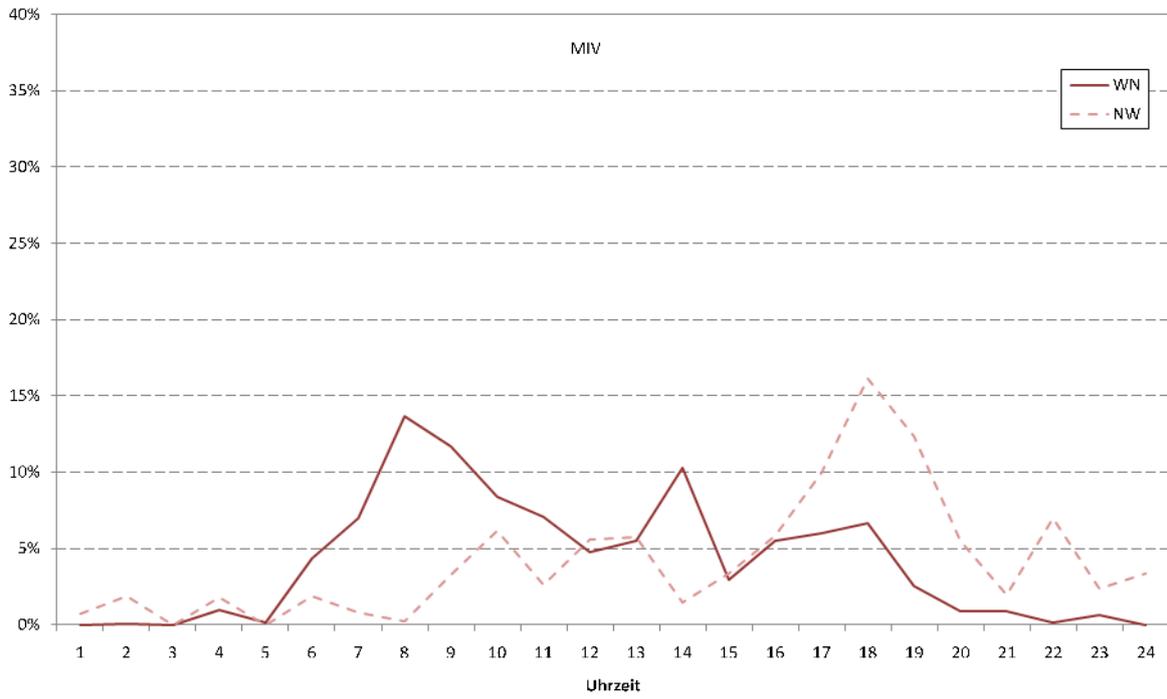
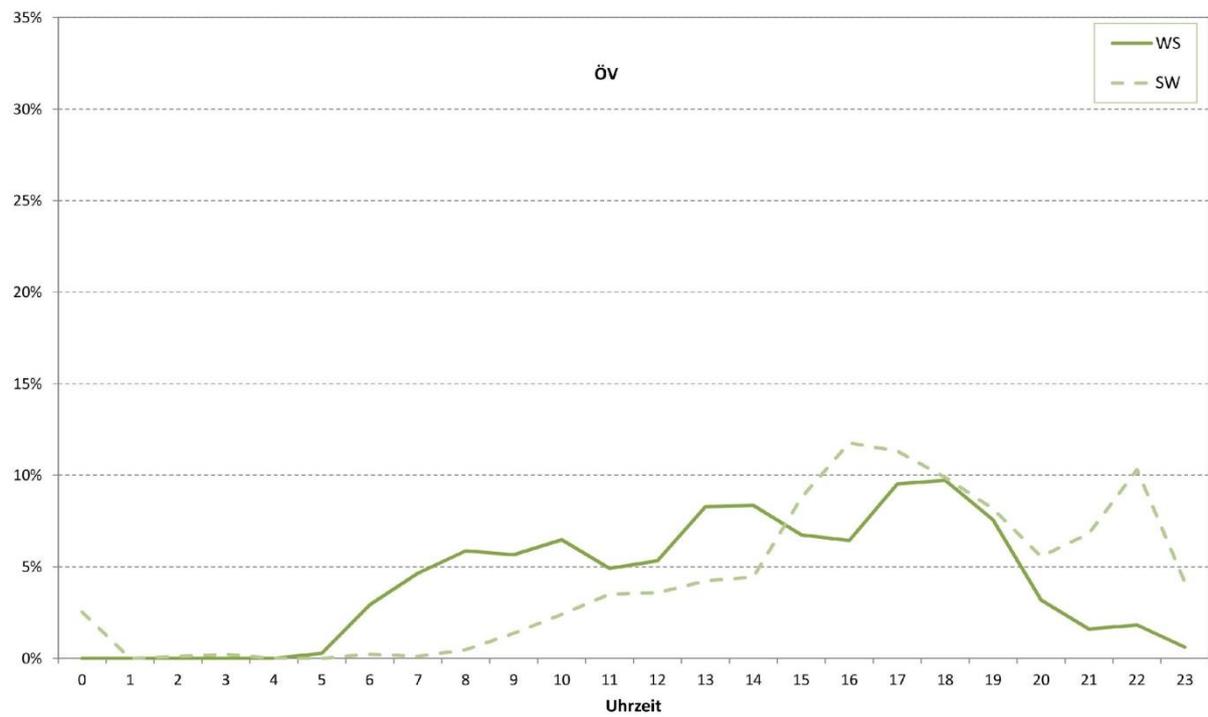
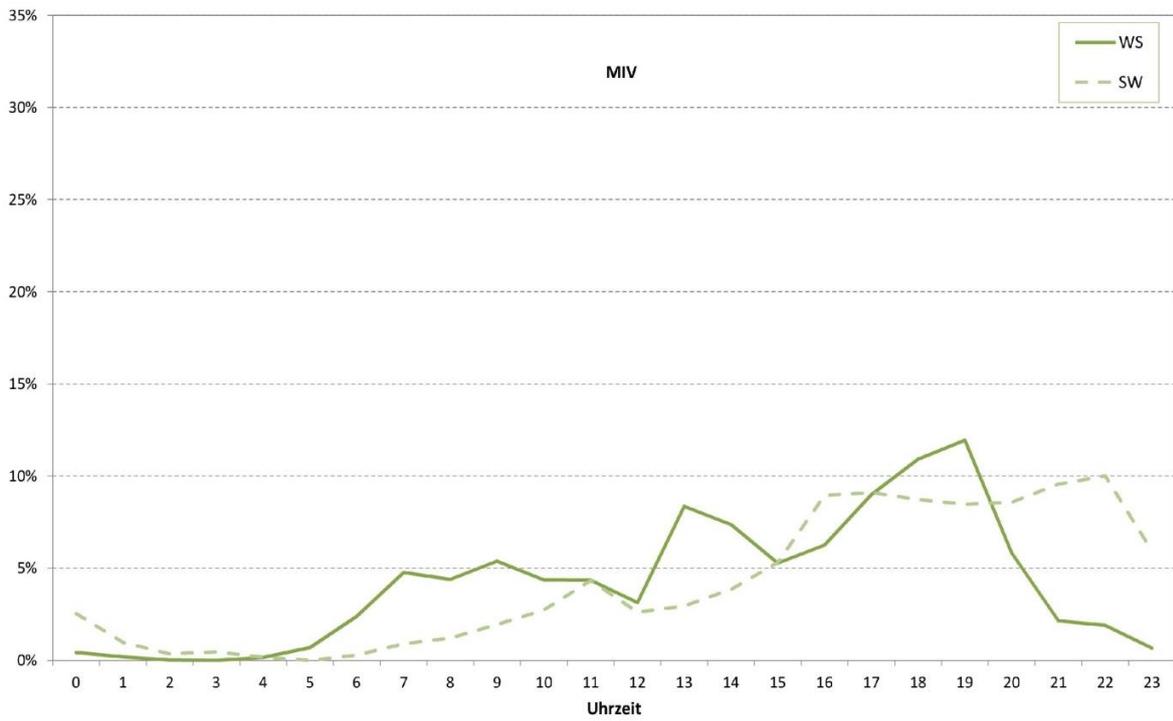


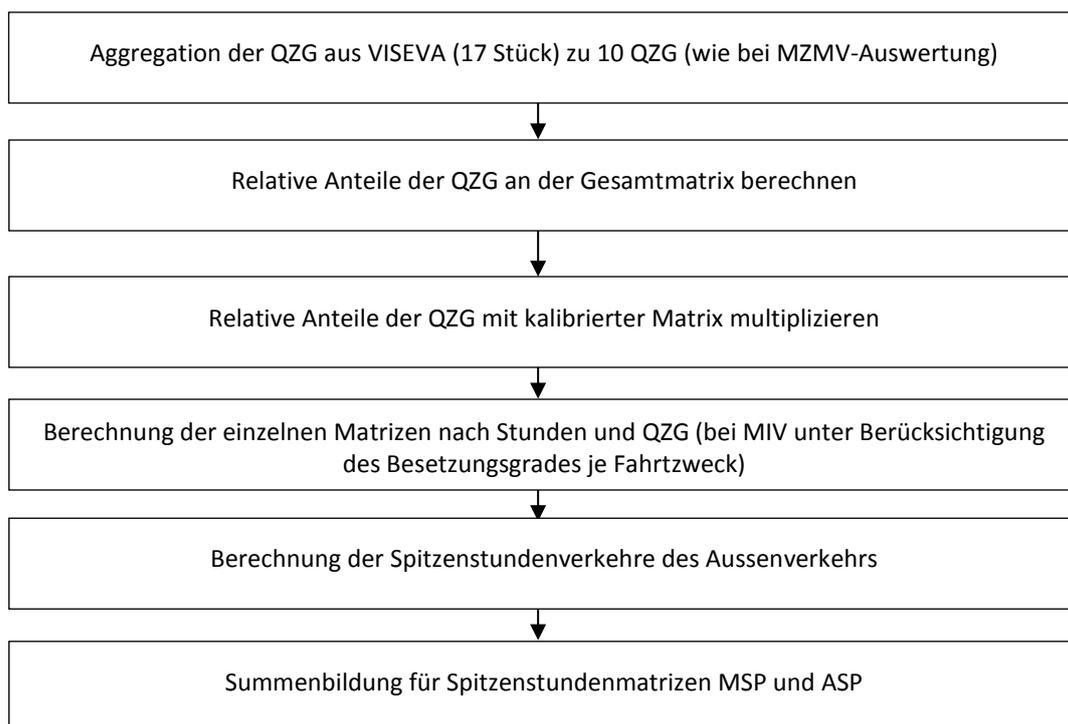
Abbildung 17 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Sonstiges/Freizeit (WS) und Sonstiges/Freizeit-Wohnen (SW) – Fahrtzweck Freizeit



7.2.2 Generierung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen

Die aus dem vorherigen Arbeitsschritt nach Segmenten berechneten Nachfragevariationen während des Tages und die Verkehrsstrommatrizen aus VISEVA und den kalibrierten Matrizen stellen die Grundlage für die Generierung der Quelle-Ziel-Matrizen in den Spitzenstunden dar. Der Ablauf der Berechnungsschritte ist in Abbildung 18 dargestellt. Die Arbeiten wurden als VBS-Skript, welches auf Muuli zugreift, programmiert (bei Muuli handelt es sich um einen in VISUM integrierten Matrixeditor, der grundlegende Funktionen zur Matrixbearbeitung bietet).

Abbildung 18 Berechnung der Spitzenstunden-Matrizen



Die Spitzenstundenanteile der Aussenverkehre wurden aufgrund der Fahrtzweckanteile dieser Verkehre an den Grenzen des Modellgebiets ermittelt.

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 und Biel;
- verschiedene Gemeinden;
- Ingenieurbüros (erhoben im Rahmen von Modellanwendungen).

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

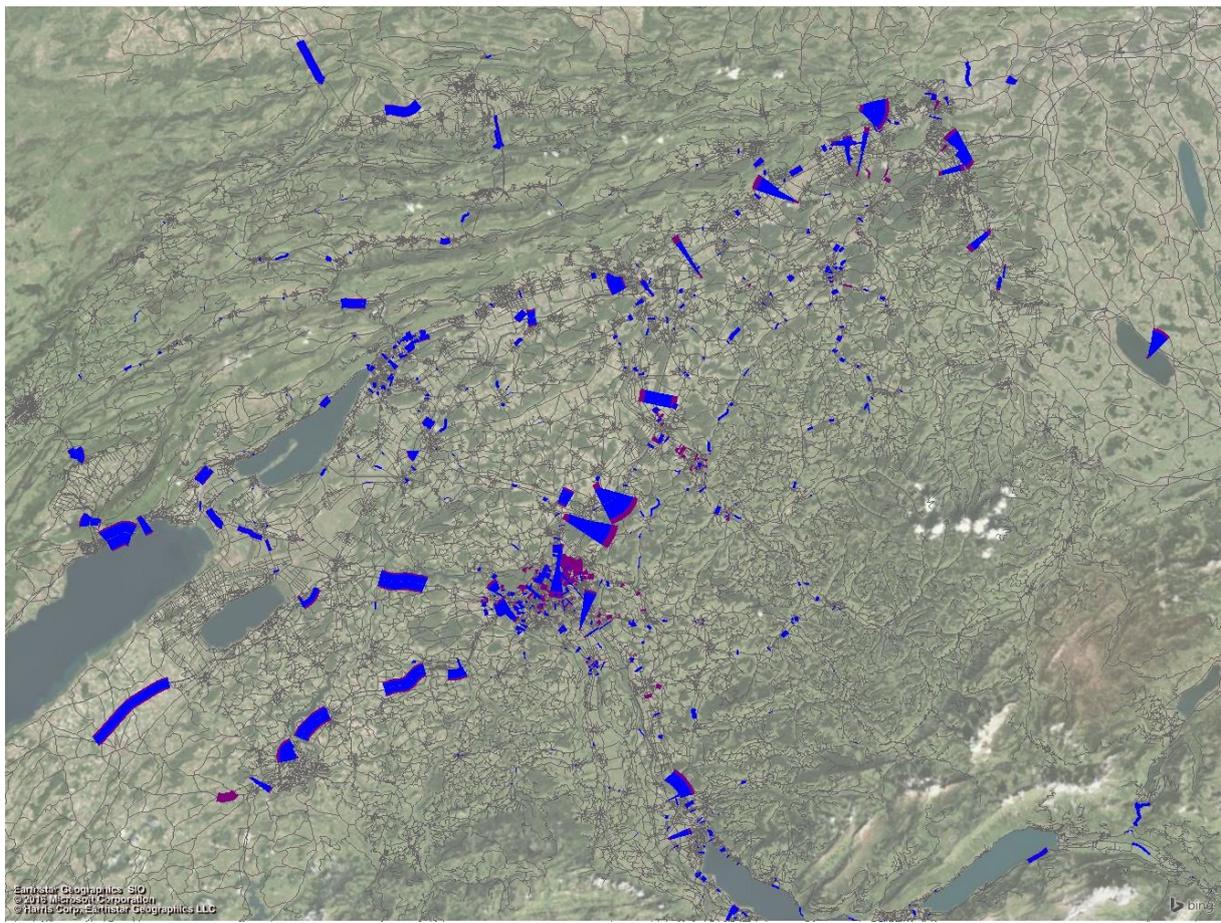
Die Daten des ASTRA wurden durch den Auftragnehmer aufbereitet. Zum Zeitpunkt dieses Arbeitsschrittes lagen die Rohdaten nur für die Periode von Januar bis Juni 2015 vor. Um diese auf Jahreswerte umzurechnen, wurden die Daten des Jahres 2014 herangezogen und daraus ein Faktor für die Umrechnung ermittelt, welcher dann auf die Daten von 2015 angewendet wurde. Alle ASTRA-Zähldaten liegen als Stundenwerte nach Lastklassen getrennt vor.

Auch die Daten der Dauermessstellen der Gemeinde Köniz wurden durch den Auftragnehmer aufbereitet. Hier lagen ebenfalls lastklassengetrennte Stundenwerte vor, welche zusätzlich noch den entsprechenden Streckenquerschnitten im GVM BE zugeordnet werden mussten.

Die Zähldaten aller übrigen Datenlieferanten wurden durch die BVE aufbereitet und dem Auftragnehmer zur Verfügung gestellt.

Nach gründlicher Plausibilisierung aller Zähldaten liegen noch ca. 850 Querschnitte, davon etwa 680 mit Differenzierung, mit als verlässlich angesehenen MIV-Zähldaten vor. Diese sind in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19 Verlässliche MIV-Zähldaten 2016

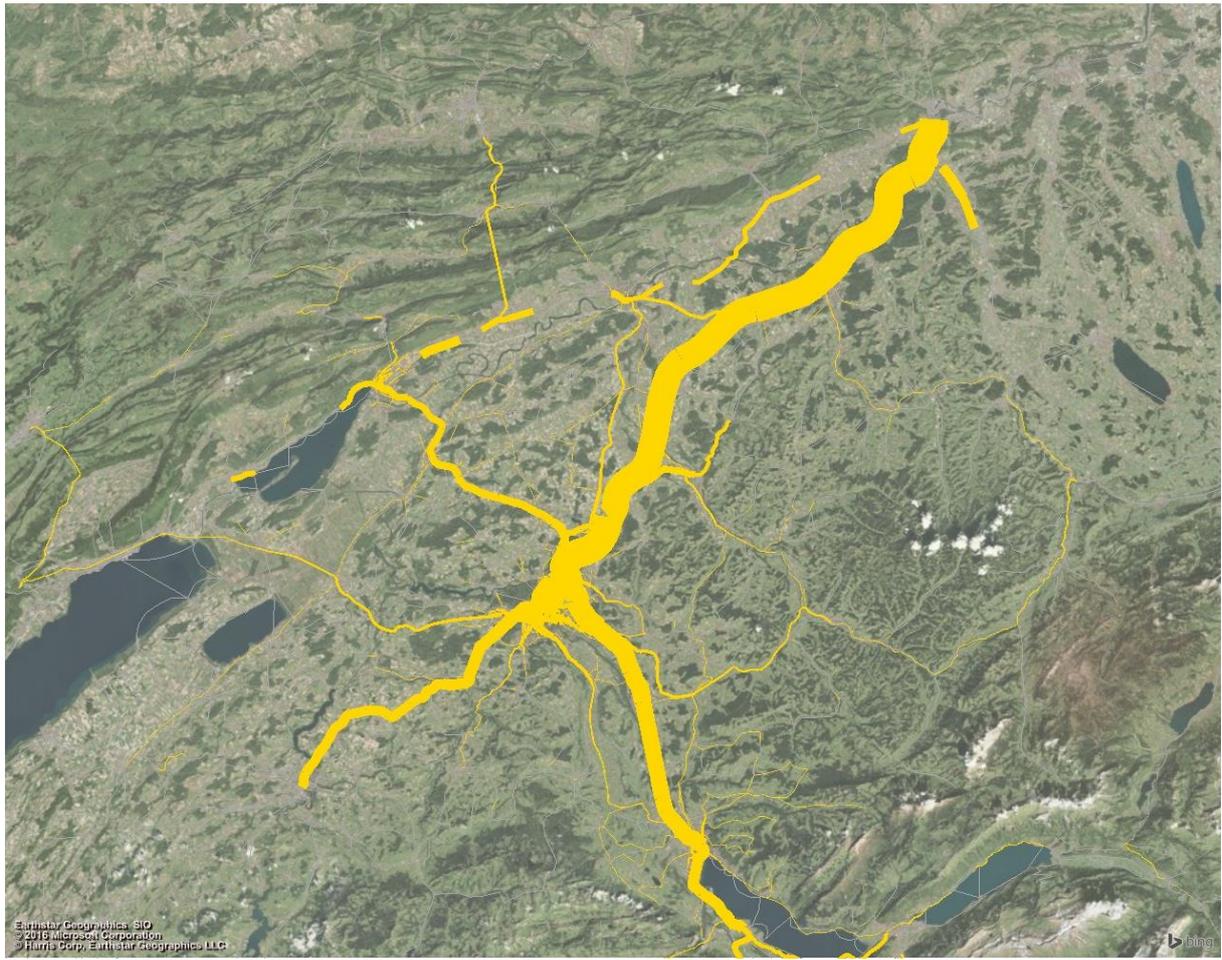


8.1.2 ÖV

Die ÖV-Zähldaten liegen teilweise als Linien- (S-Bahn Bern, BMO, RBS-Bus, STI) und teilweise als Streckenwerte (SBB Fernverkehr, Stadt Biel, ...) vor. Die Linienwerte müssen hier als Zwischenschritt auf die Streckenwerte aufsummiert werden, da bei der Kalibration Werte je Streckenquerschnitt vonnöten sind und nicht linienfein kalibriert werden. Die vorliegenden Werte wurden für den DWV, den DTV und die Spitzenstunden zu Querschnittswerten aufsummiert.

Im ÖV liegen für ca. 1'350 Querschnitte Zähldaten vor, welche in Abbildung 20 gezeigt werden.

Abbildung 20 Verlässliche ÖV-Zähldaten 2016



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

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 Reiseverteilung vor (VISEVA-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 13 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. Die aus den angenommenen Besetzungsgraden berechneten Fahrzeugfahrten und Fahrzeugkilometer für das betrachtete Modellgebiet sind ebenfalls in Tabelle 13 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass im Modellgebiet ca. 2.6 Mio. PW-Fahrten und ca. 31 Mio. PW-Kilometer pro Tag erzeugt werden (Binnen-, Quelle- und Zielverkehr).

Tabelle 13 Besetzungsgrade im MIV und Umrechnung Wege in Fahrten

Fahrtzweck	Besetzungsgrad [Personen/PW]	MIV-Personenwege	PW-Fahrten	Fahrleistung im Modellgebiet [PWkm]
Arbeit	1.10	627'905	570'823	7'797'905
Ausbildung	1.40	84'262	60'187	682'395
Einkauf	1.38	167'297	137'129	2'414'063
Nutzfahrt	1.22	872'750	632'427	5'810'618
Freizeit	1.64	1'933'567	1'179'004	14'498'717
Alle	1.36	3'685'781	2'579'570	31'203'698

Kalibriert wurde für alle Nachfragesegmente die gesamte Matrix (inkl. Aussenverkehr) ohne Unterscheidung des Fahrtzwecks. Aus den kalibrierten PW- und ÖV-Matrizen wurden dann in einem weiteren Schritt die Matrizen nach Fahrtzweck berechnet. Die Fahrtzweckanteile jeder Quelle-Ziel-Beziehung wurden dabei aus der Ausgangsmatrix beibehalten. Die Eckwerte der Ausgangsmatrizen (aus VISEVA bzw. dem Nationalen Güterverkehrsmodell) sowie der kalibrierten Matrizen sind in Tabelle 14 dargestellt.

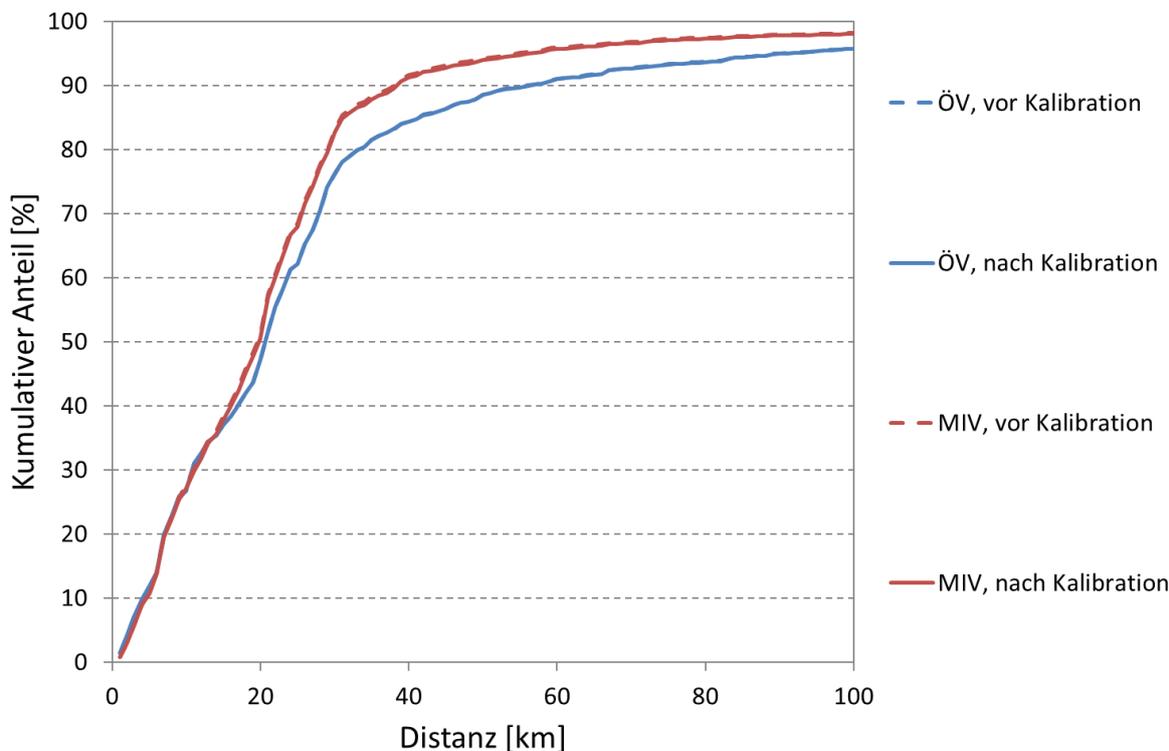
Tabelle 14 Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration

Verkehrsmittel	Vor Kalibration	Nach Kalibration	Veränderung [%]
MIV (PW-Fahrten)	2'602'846	2'579'570	-0.9%
ÖV (Personenwege)	952'742	893'042	-6.3%

Wie zu sehen ist, wurde die ÖV-Matrix um ca. -6% und die MIV-Matrix nur um ca. -0.9% gegenüber der erstellten Ausgangsmatrix verändert. Diese Veränderungen sind vor allem auf die Feinkorrektur der Streckenbelastungen auf lokalen Strecken zurückzuführen.

Abbildung 21 zeigt, dass sich die Matrixstruktur im MIV und ÖV durch die Kalibration nicht wesentlich verändert hat; die Weglängenverteilungen beider Zustände sind praktisch identisch.

Abbildung 21 Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand



8.2.3 Ergebnisse Netzbelastungen

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

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R^2
PW	1'339	4'462	4.0%	1.00
Lieferwagen	1'339	458	4.3%	1.00
Lastwagen	1'340	191	5.8%	1.00
Last- und Sattelzüge	1'302	158	5.5%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'683	5'193	4.1%	1.00
ÖV	2'672	2'399	4.1%	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 Zählwerten als auch bei den Angebots- und anderen Nachfragedaten) sowie die Inkonsistenz zwischen Zonengrösse und Netzdichte führen in der Regel dazu, dass eine vollständige Konsistenz kaum zu erreichen ist. Zusätzlich müssen hier auch die Grenzen der aggregierten Modelle sowie die Vielseitigkeit des Verkehrsverhaltens berücksichtigt werden.

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

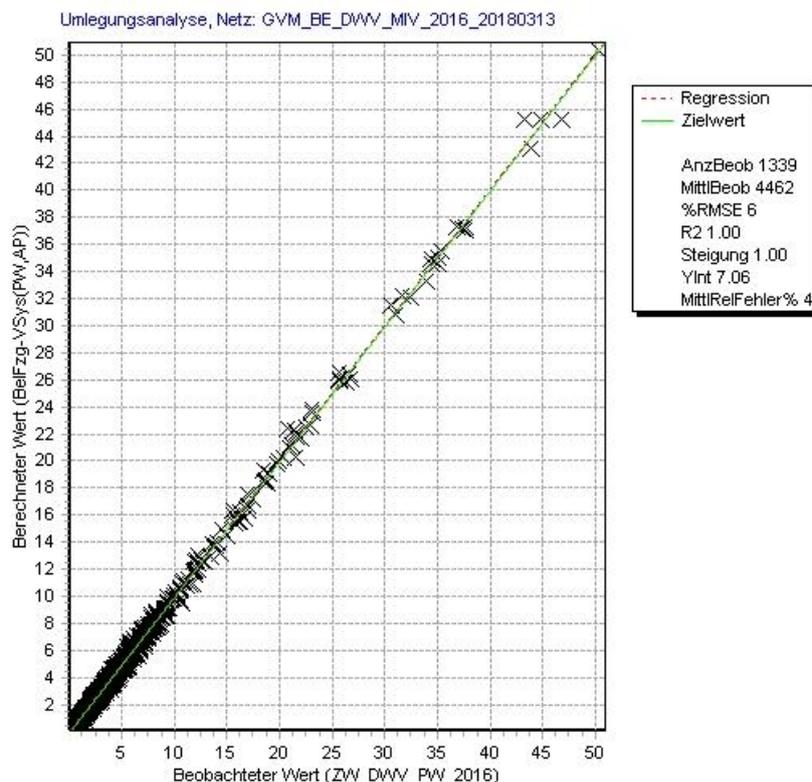


Abbildung 23 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

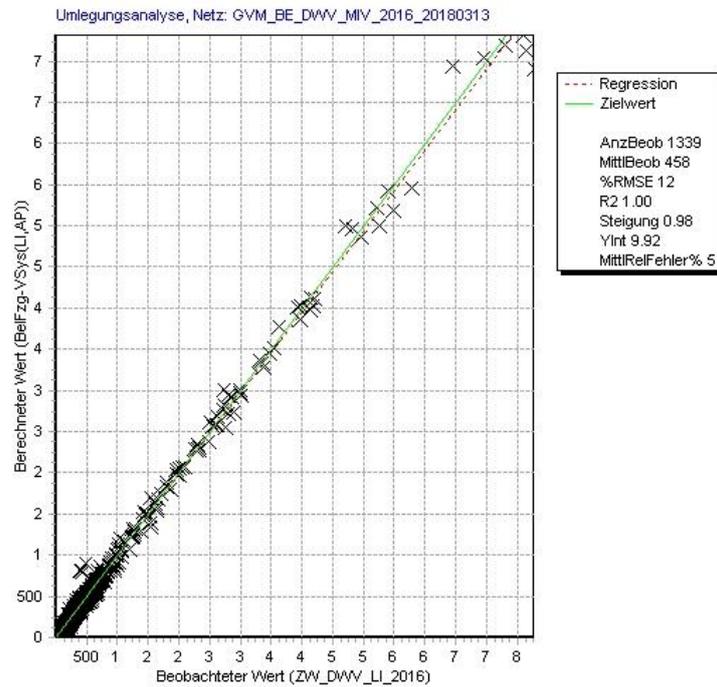


Abbildung 24 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

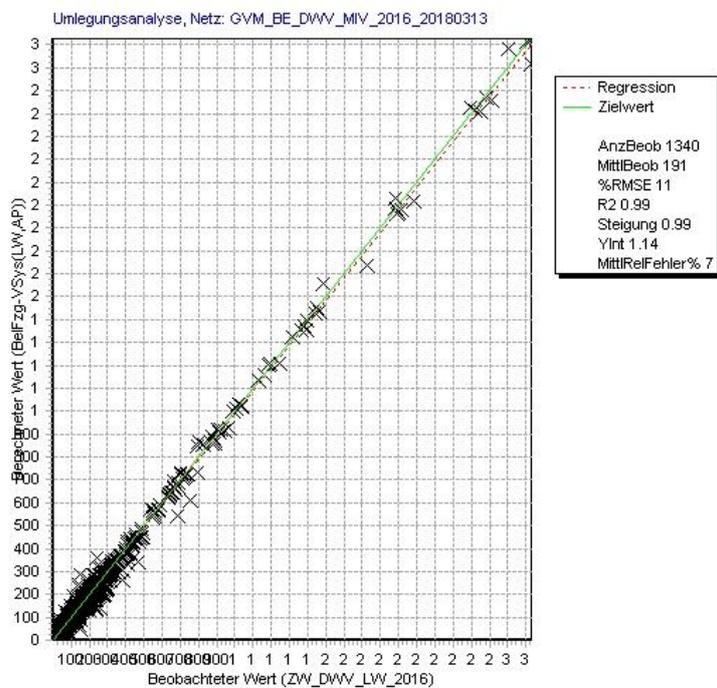


Abbildung 25 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

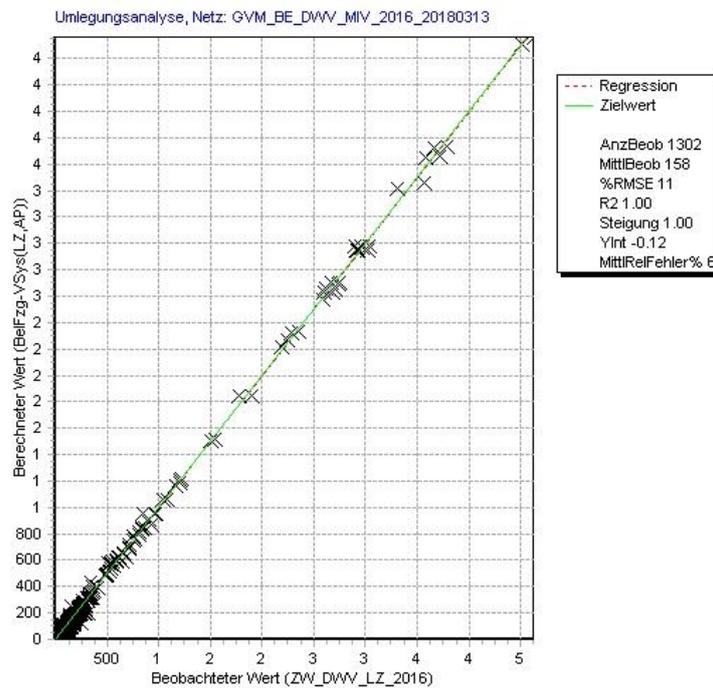


Abbildung 26 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

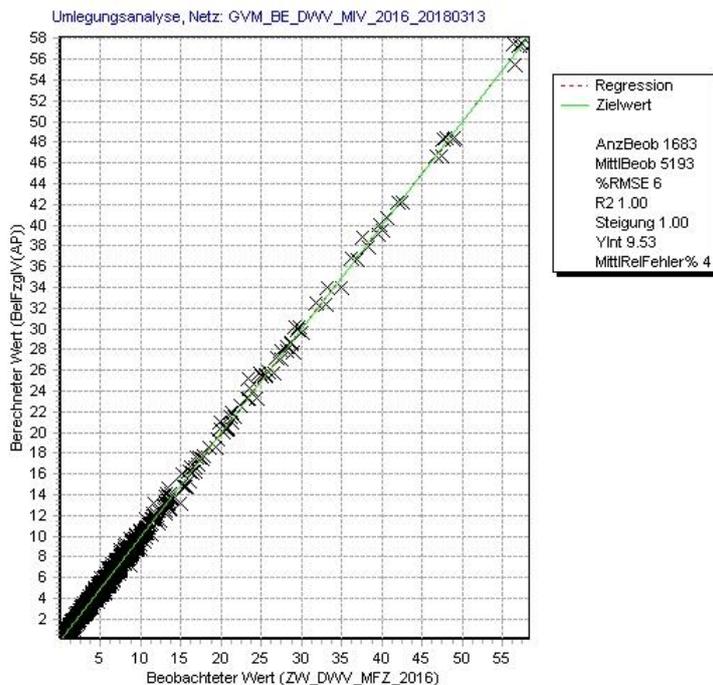
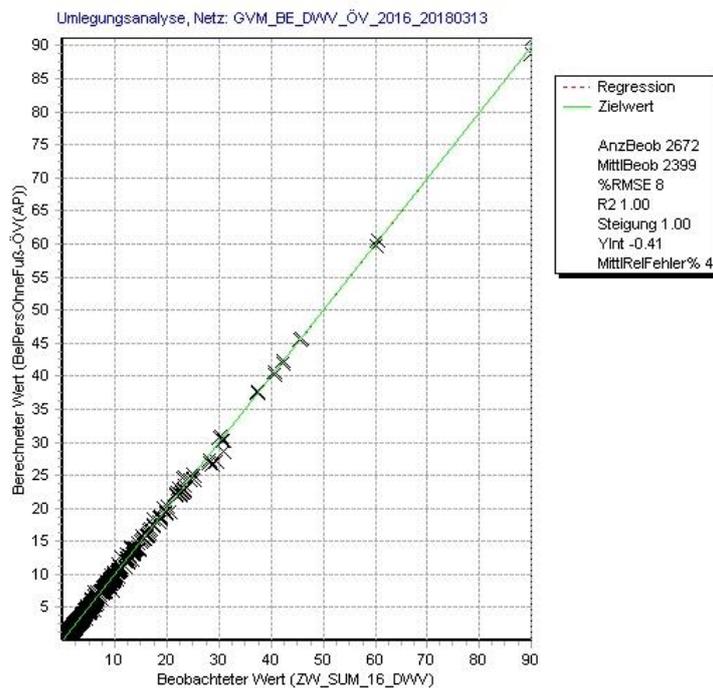


Abbildung 27 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



8.3 Kalibration des MSP-Modells

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

8.3.1 Ergebnisse Netzbelastungen

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

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	1'038	347	5.6%	1.00
Lieferwagen	1'038	38	3.7%	1.00
Lastwagen	1'018	17	5.1%	1.00
Last- und Sattelzüge	874	12	4.8%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'425	396	5.2%	1.00
ÖV	2'584	248	5.1%	1.00

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

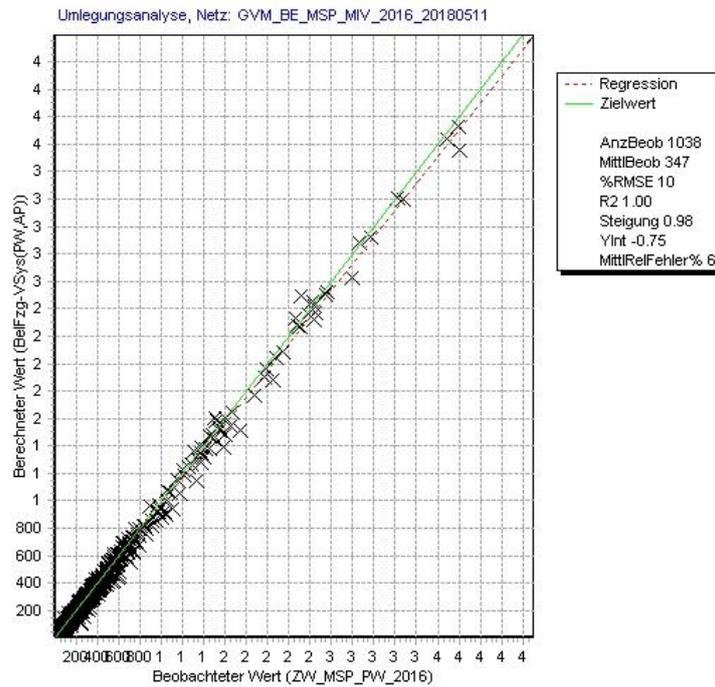


Abbildung 29 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

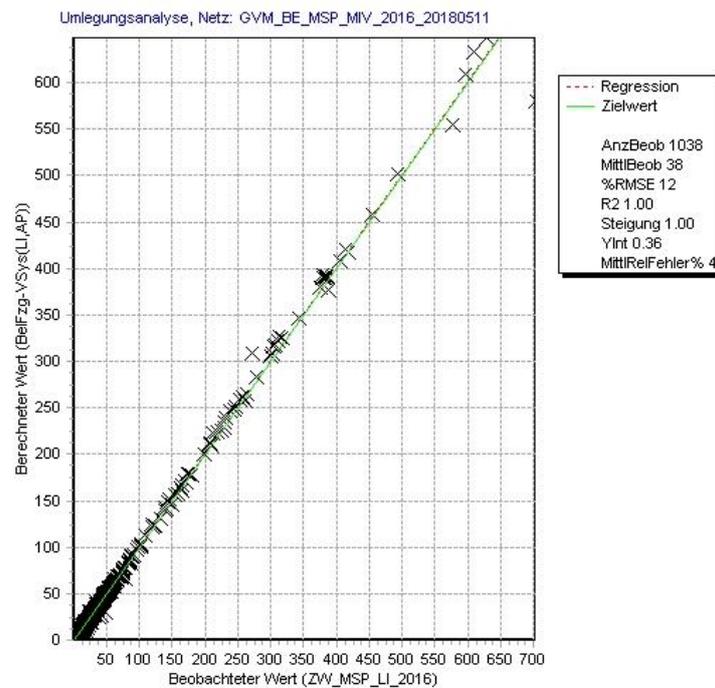


Abbildung 30 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

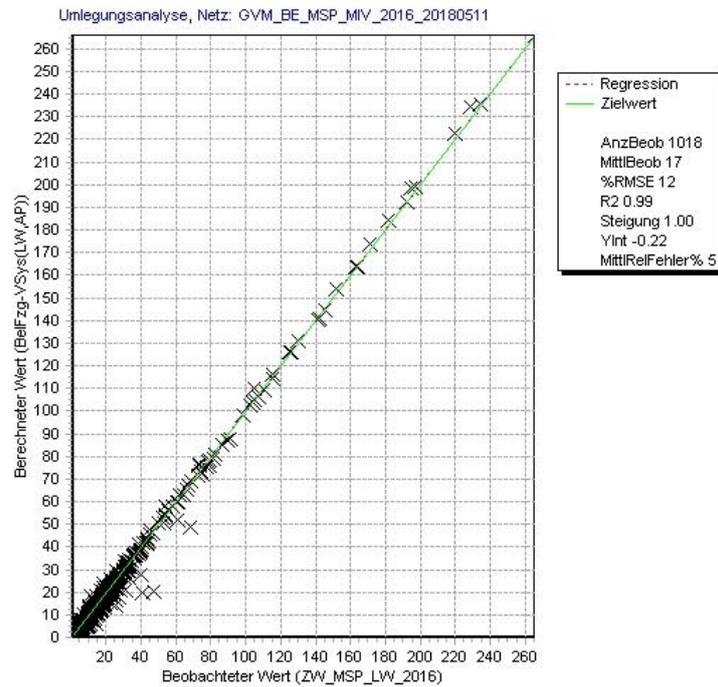


Abbildung 31 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

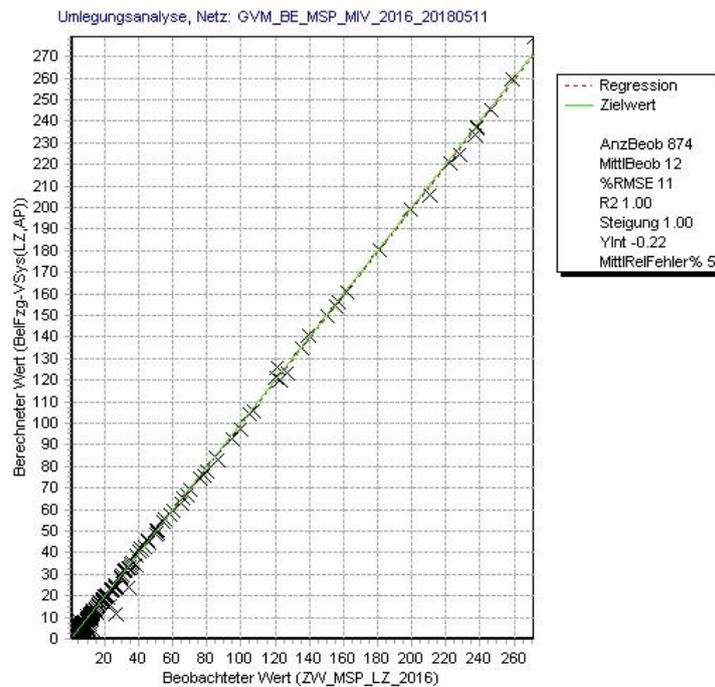


Abbildung 32 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

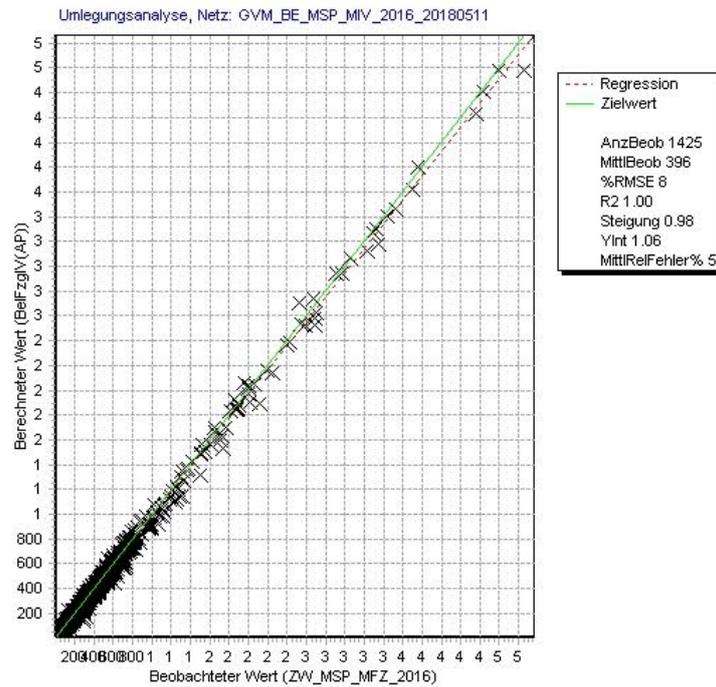
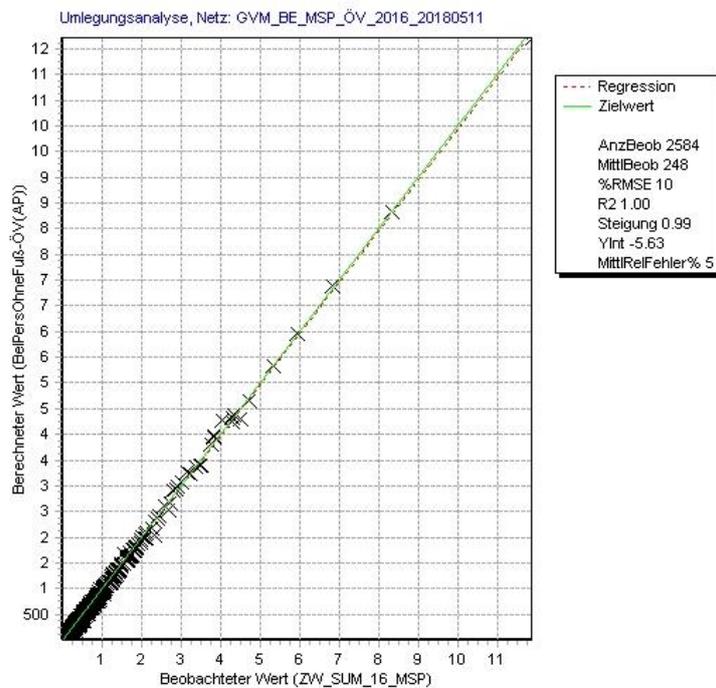


Abbildung 33 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



8.4 Kalibration des ASP-Modells

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

8.4.1 Ergebnisse Netzbelastungen

Tabelle 17 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	R ²
PW	1'037	427	5.1%	1.00
Lieferwagen	1'037	37	2.0%	1.00
Lastwagen	994	9	5.3%	1.00
Last- und Sattelzüge	776	9	5.0%	1.00
Strassenfahrzeuge total	1'422	462	5.0%	1.00
ÖV	2'618	264	4.1%	1.00

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

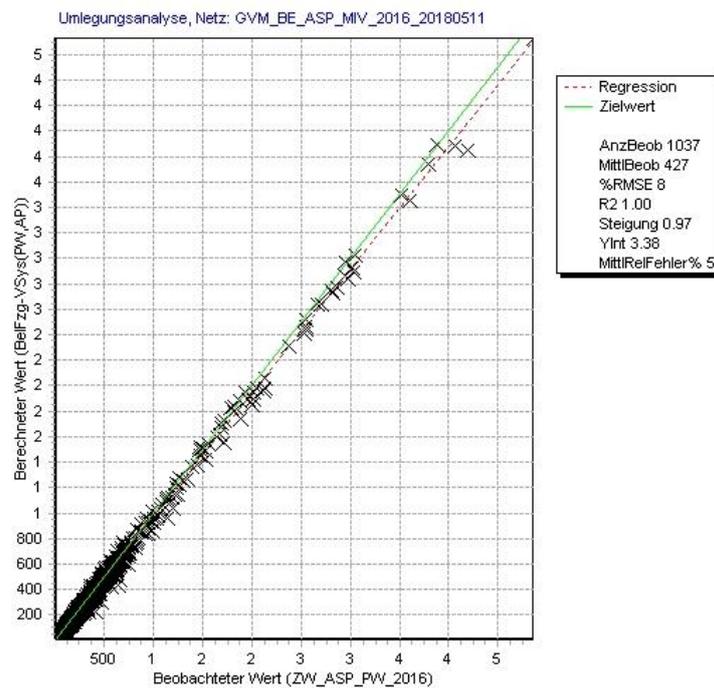


Abbildung 35 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

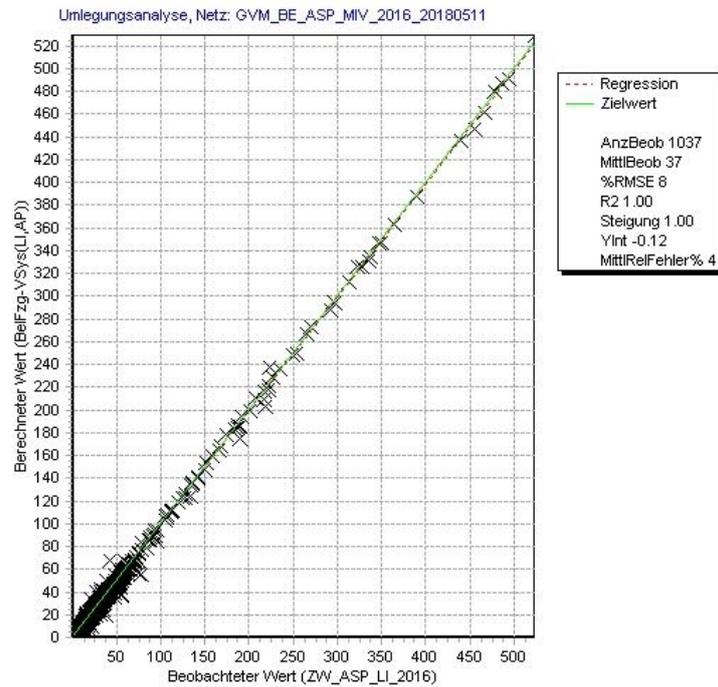


Abbildung 36 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

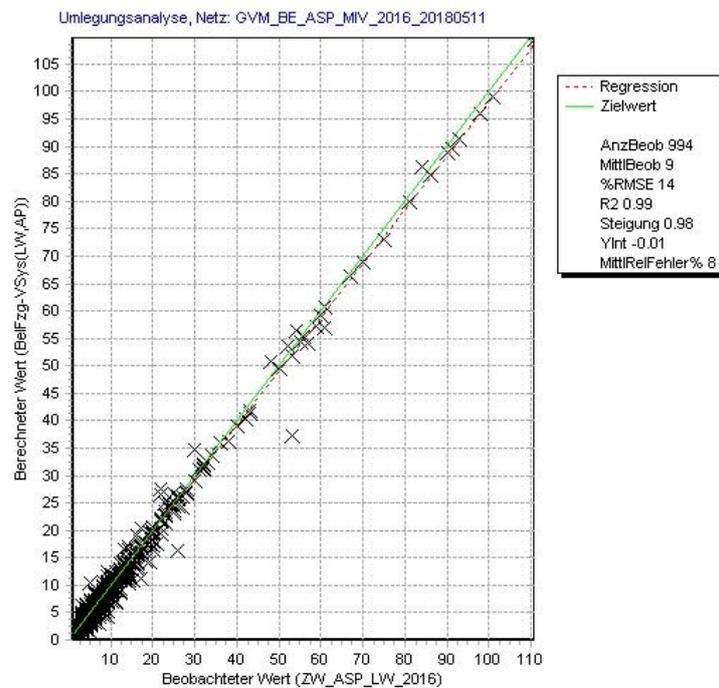


Abbildung 37 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

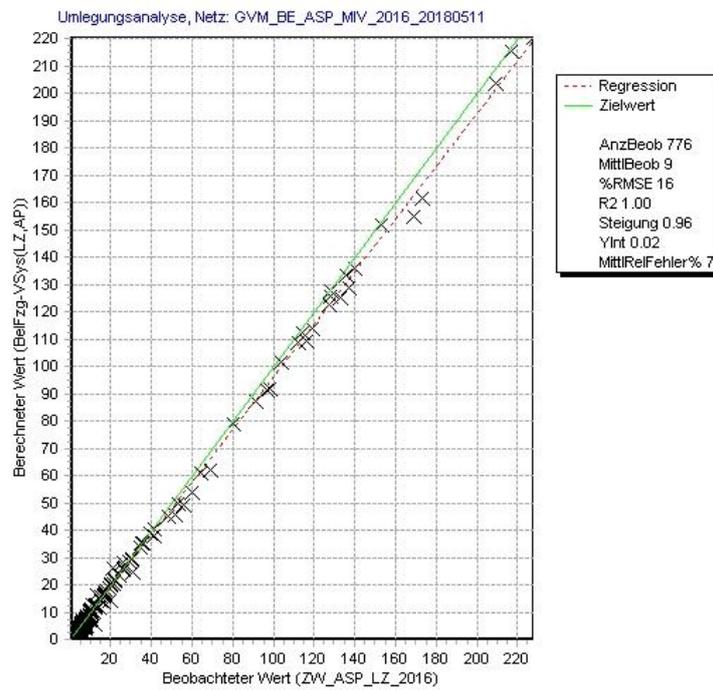


Abbildung 38 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

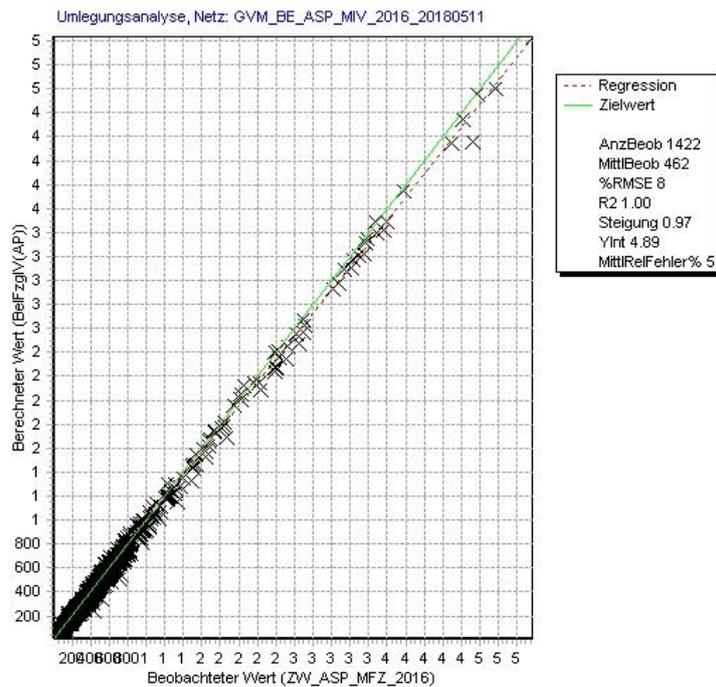
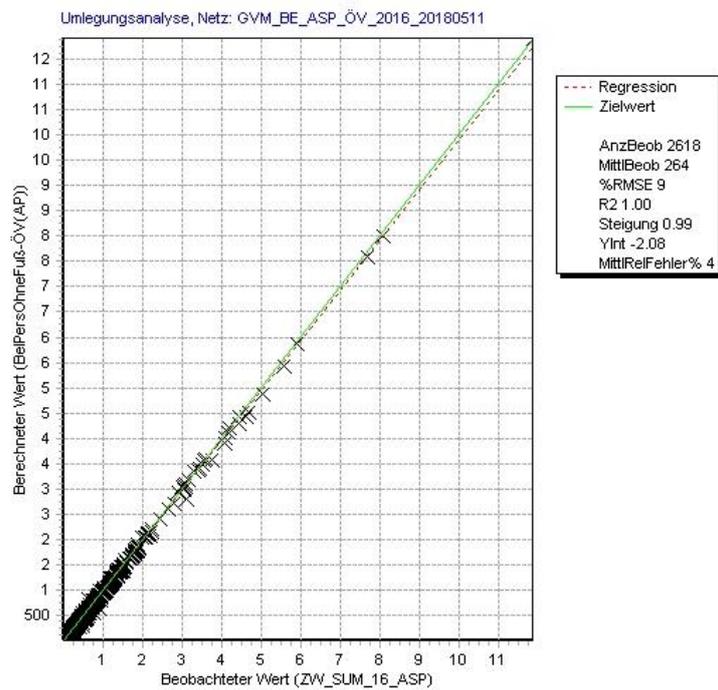


Abbildung 39 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



9 Prognosezustand 2040

Die Kriterien für die Auswahl der für die Nachfrageprognose zu berücksichtigenden Infrastrukturprojekte und Angebotsveränderungen bis 2040 wurden durch die BVE vorgegeben. Sie besagen, dass nur Projekte, die beschlossen und finanziert sind, berücksichtigt werden sollen. Zusätzlich sind Projekte, die in der A-Liste der Agglomerationsprogramme enthalten sind und auf absehbare Zeit die Baureife erreichen, enthalten.

9.1.1 MIV

Im MIV sind ca. 50 Massnahmen für das Prognosenetz 2040 berücksichtigt worden, die wichtigsten sind:

- A6, Bypass Bern Ost Neubau
- Erweiterung A1 auf 8 Spuren Wankdorf-Schönbühl
- Erweiterung A1 auf 6 Spuren Schönbühl-Kirchberg
- A1 Kirchberg-Luterbach Spitzenstundenutzung Pannenstreifen
- Anschluss Wankdorf Umgestaltung, Kapazitätssteigerung
- Bolligenstrasse Nord Rückbau von 2 Kreiseln, Ersatz durch LSA
- Münsingen, Entlastungsstrasse Nord Neubau
- Worb: Neubau Spange und Beruhigung
- Umfahrung Kehrsatz
- Umbau Anschlussstellen Muri
- Umfahrung Aarwangen
- Verkehrssanierung Burgdorf-Oberburg-Hasle
- Bypass Thun Nord
- Anschlussstellen Thun Nord und Süd
- Umfahrung Wilderswil
- A5 Ostumfahrung Biel inkl. flankierende Massnahmen Stadt Biel
- Fertigstellung A 16

Ausserkantonale:

- Fertigstellung A16 bis Landesgrenze
- A1: 6-Spuriger Ausbau Härkingen-Wiggertal
- A1: 6-Spuriger Ausbau Härkingen – Luterbach
- Umfahrung Kaiserstuhl

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

Im Stadtnetz Bern wurde ein Massnahmenpaket im Rahmen des Projekts „Zukunft Bahnhof Bern“ erstellt. Die Massnahmen beinhalten sowohl Sperrungen von einzelnen Strassenabschnitten oder Abbiegerbeziehungen als auch Kapazitäts- und Geschwindigkeitsreduktionen. Die betroffenen Strassenabschnitte sind in der folgenden Abbildung 40 dargestellt. Weiterhin wurden für die Morgen- und Abendspitzenstunde auf einzelnen Abschnitten in der Stadt Bern und in Köniz auch die maximale Kapazität vorgegeben und im Netz eingebaut (siehe Abbildung 41).

Abbildung 40 Massnahmen im Strassennetz (Grossraum Bern, Zustand 2040)



Abbildung 41 Streckenabschnitte mit Kapazitätsvorgaben (Zustand 2040)



9.1.2 ÖV

Das ÖV-Angebot 2040 wurde auf dem Basisnetz 2016 aufgebaut. Da wiederum das Basisnetz 2016 aus dem vorgängigen ÖV-Netz 2030 und dem ÖV-Netz 2012 entwickelt wurde, sind die Informationen aus diesem schon enthalten. Diese Informationen können zur Validierung des Netzzustands verwendet werden.

Das ÖV-Zustand 2040 enthält folgende Massnahmen:

- STEP Ausbauschnitt 2025 – Referenzfall (Variantenbezeichnung CH30LFP17_V04). Dieses Zugsangebot wurde von der SBB zur Verfügung erstellt. Die Netzgraphik STEP AS 2025 wurde dem Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination zur Überprüfung zur Verfügung gestellt, geprüft und einige Anpassungen bzw. Verfeinerungen hauptsächlich bei den S-Bahnen vorgenommen.
- 2. Teilergänzung S-Bahn Bern ist bis auf die Haltestelle Waldegg enthalten. Auch die neue S-Bahnstation Kleinwabern wurde berücksichtigt.
- Tram Bern - Ostermundigen und Tramverlängerung nach Kleinwabern
- Aufheben der Bahnhalte in Weissenbach und Grubenwald und Einbau Busersatzverkehr (Linie Zweisimmen – Grubenwald – Weissenbach – Reidenbach – Boltigen)

Die Bus- und Tramlinien wurden aus dem Basismodell 2016 konstant gehalten. Die Züge aus dem STEP-Fahrplan wurden zur besseren Unterscheidbarkeit mit dem „Sys30_“ im Liniennamen versehen. Um in Visum alle relevanten Linien für 2040 aktiv zu setzen, muss ein Linienfilter für das benutzerdefinierte Attribut „Fahrplan2040“ eingeschaltet sein.

9.1.3 Fuss- und Veloangebot

Die Reisezeiten für den Fussverkehr wurden gegenüber 2016 unverändert übernommen. Für den Veloverkehr wurden die Reisezeiten der Quelle-Ziel-Beziehungen innerhalb der Stadt Bern gegenüber 2016 um -10% reduziert. Hier wird ein Ausbau des Veloverkehrsangebots bis 2040 angenommen. Für andere Quelle-Ziel-Beziehungen ausserhalb der Stadt Bern werden gegenüber 2016 unveränderte Reisezeiten angenommen.

9.2 Strukturdaten

Für die Aktualisierung 2016 des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Bern wird nicht mehr zwischen einem Trendszenario basierend auf der Bevölkerungsprognose des BFS und einem Zielszenario nach Richtplan unterschieden. Es wird nur noch ein Trendszenario berechnet.

9.2.1 Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2040

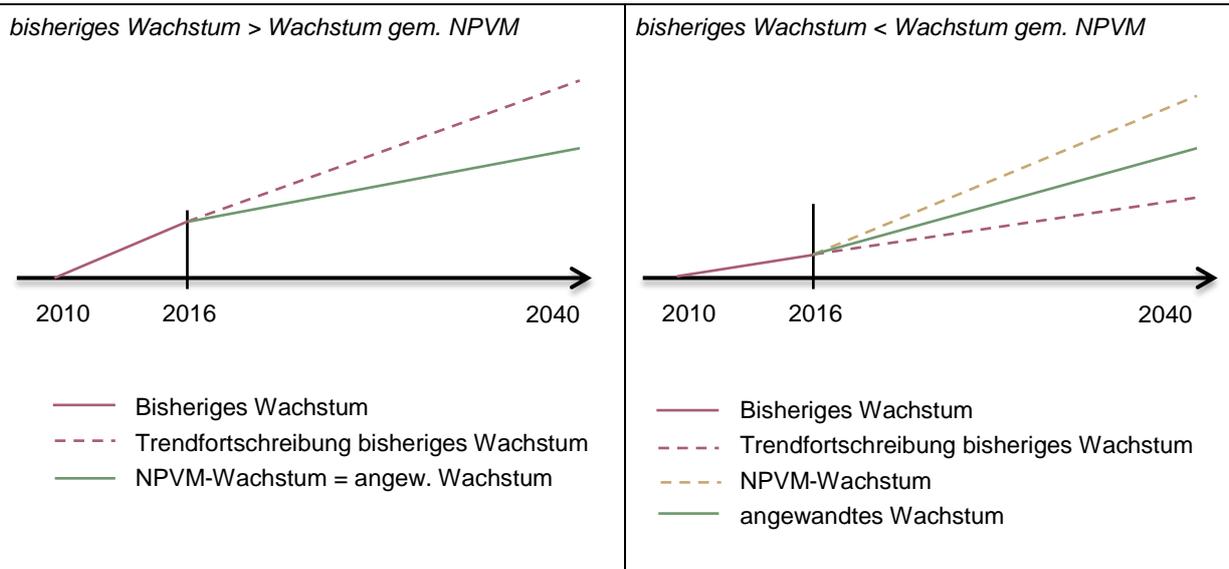
Die Aufbereitung der Wohnbevölkerung für den Zustand 2040 erfolgt in mehreren Schritten. Ziel ist es, möglichst zum Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) vergleichbare Wachstumsprognosen zu verwenden. Als Grundlage dienen:

- Strukturdatenset 2040 des NPVM;
- Bevölkerungsprognosen BFS und darauf aufbauend die kantonalen Bevölkerungsprojektionen von D. Hornung (aktualisierte Projektionen 2016);
- Überarbeitetes Szenario Mittel der BFS-Bevölkerungsprojektion aus dem Jahr 2015 (Szenario AR-00-2015)
- Gemeindetypologien basierend auf dem Richtplan
- Geocodierte Daten der Arbeits-, Wohn- und Entwicklungsschwerpunkte aus dem Richtplan
- Geocodierte Daten der unüberbauten Bauzonen im Kanton Bern

9.2.1.1 Prognose ausserkantonale Gemeinden

Zunächst wurde das Modellgebiet in Gemeinden innerhalb und ausserhalb des Kantons Bern unterteilt. Für die Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern wird grundsätzlich die Bevölkerungsprognose gemäss NPVM übernommen. Die NPVM Prognosen haben allerdings nach wie vor das Jahr 2010 als Basisjahr. Es wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums zwischen 2010 und 2016 bereits erfolgt ist. Ist das bisherige jährliche Wachstum grösser als das vom NPVM prognostizierte Wachstum, so werden für die Prognose die Wachstumsraten pro Gemeinde aus dem NPVM verwendet. Das Wachstum wird dabei linear gekürzt (Faktor 24/30), da sich das NPVM auf den Zeitraum 2010-2040 bezieht, die Prognose im GVM BE dagegen nur den Zeitraum 2016-2040 betrifft. Ist das jährliche Bevölkerungswachstum zwischen 2010 und 2016 aber kleiner als vom NPVM prognostiziert, so wird davon ausgegangen, dass das zukünftige jährliche Wachstum dem Durchschnitt des Wachstums von 2010 bis 2016 und des prognostizierten jährlichen Wachstums gemäss NPVM entspricht (vgl. Abbildung 42).

Abbildung 42 Wachstumsprognose ausserhalb Kanton Bern



9.2.1.2 Bevölkerungswachstum Kanton Bern

Für die Gemeinden im Kanton Bern erfolgt die Bevölkerungsprognose 2016 auf der Basis der kantonalen Bevölkerungsprojektionen von D. Hornung und der neuesten Prognosen des BFS aus dem Jahr 2015 (Szenario AR-00-2015). Gemäss diesem Trendszenario verfügt der Kanton Bern im Jahr 2040 über eine ständige Wohnbevölkerung von 1'165'683 Personen. Dies entspricht einem Wachstum zwischen 2016 und 2040 von 13.5%.

Die prognostizierte Gesamtbevölkerung wird auf Basis der kantonalen Bevölkerungsprojektionen von D. Hornung auf sogenannte Cluster aufgeteilt. Die Cluster sind definiert durch die Regionalkonferenzen / Regionalen Verkehrskonferenzen (Oberaargau, Bern Mittelland, Biel/Bienne-Seeland Jura Bernois, Emmental, Thun-Oberland West, Oberland Ost) und den Gemeindetyp gemäss Richtplan (UK: Urbane Kerngebiete der Agglomerationen, Z34: Zentren 3. Stufe ausserhalb des urbanen Kerngebietes und Zentren 4. Stufe in Agglomerationsgürtel und Entwicklungsachsen, AG: Agglomerationsgürtel und Entwicklungsachsen sowie übrige Zentren 4. Stufe, ZL: Zentrumsnahe ländliche Gebiete, HB: Hügel- und Berggebiete). Innerhalb jeder Regionalkonferenz / Regionalen Verkehrskonferenz bilden die Gemeinden mit demselben Gemeindetyp ein Cluster. Gemeinden über 10'000 Einwohner werden separat berücksichtigt und bilden pro Gemeinde ein eigenes Cluster. Die Notwendigkeit eines Clusterings ergibt sich aus dem Umstand, dass die Prognose von Hornung erst ab einer Gemeindegrösse von 10'000 Einwohnern genügend zuverlässig ist. Da die kantonale Bevölkerungsprojektion von Hornung sich leicht von der aktuellen BFS-Prognose unterscheidet, dienen die berechneten Wachstumsraten als Basiswachstum der aktuellen Bevölkerungsprognose. Das minimale restliche Wachstum wird anhand der heutigen Bevölkerungszahl auf die einzelnen Cluster aufgeteilt. Die beiden absoluten Wachstumswerte werden also addiert.

Tabelle 18 Relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Cluster bis 2040

	AE	HB	UK	ZL	Total
Bern-Mittelland	13.6%	11.6%	13.8%	12.3%	13.1%
Biel/Bienne - Seeland - Jura bernois	16.1%	17.4%	14.0%	16.2%	15.9%
Emmental	13.8%	8.9%		8.9%	11.7%
Oberaargau	15.9%	11.6%		13.7%	14.2%
Oberland Ost	-3.7%	-7.1%	12.8%	4.8%	2.9%
Thun-Oberland West	0.5%	-8.3%	15.3%	0.1%	0.5%
_Belp	13.8%				13.8%
_Bern			19.9%		19.9%
_Biel/Bienne			27.4%		27.4%
_Burgdorf			14.0%		14.0%
_Ittigen			13.4%		13.4%
_Köniz			14.3%		14.3%
_Langenthal			16.2%		16.2%
_Lyss	14.9%				14.9%
_Muri bei Bern			15.4%		15.4%
_Münsingen	13.7%				13.7%
_Ostermundigen			11.3%		11.3%
_Spiez			-3.2%		-3.2%
_Steffisburg			15.9%		15.9%
_Thun			10.9%		10.9%
_Worb	15.6%				15.6%
_Zollikofen			13.6%		13.6%
Total	11.9%	5.7%	16.8%	10.9%	13.5%

9.2.1.3 Aufteilung auf die VMZ

Anschliessend wird für beide Szenarien das Bevölkerungswachstum innerhalb eines Clusters auf die einzelnen VMZ aufgeteilt. Dafür werden einerseits die heutige Bevölkerung und andererseits die vorhandenen Landreserven in Wohnschwerpunkten (WSP) und unbebauten Bauzonen verwendet. In einem ersten Schritt wird dafür für jeden Raumtyp gemäss Richtplan sowie die beiden Städte Bern und Biel eine maximale Anzahl Bewohner pro Hektare WSP definiert. Diese Obergrenze ergibt sich grundsätzlich aus den Ausnutzungsziffern aus dem Richtplan, für die Städte Bern und Biel aus der heutigen Bevölkerungsdichte. Allerdings gehen wir davon aus, dass in den Wohnschwerpunkten dichter gebaut wird als im heutigen Durchschnitt. Entsprechend wird für die Berechnung der maximalen Bewohnerzahl pro Hektaren die heutige Dichte¹⁰ mit einem Verdichtungsfaktor multipliziert.

¹⁰ Aus Gründen der Kontinuität wurden dieselben Dichtevorgaben verwendet wie bei vorherigen Aktualisierungen. Für den neuen Raumtyp Agglomerationsgürtel und Entwicklungsachsen (AE) wurde der Mittelwert der vorherigen Raumtypen Z34 und AG verwendet.

Tabelle 19 Maximale Ausnutzung von Wohnschwerpunkten¹¹

	Ausnutzung gemäss RPL / Heutige Dichte (Bewohner pro Hektare)	Verdichtungsfaktor	Maximaldichte WSP (Bewohner pro Hektare)
UK	88	2.0	176
AE	46	2.0	92
ZL	37	1.3	48
HB	30	1.3	39
_Bern	193	1.5	289
_Biel	162	1.5	243

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 unbebauten Bauzonen und ein verstärktes Wachstum in den Wohnschwerpunkten. Wir gehen in der Prognose davon aus, dass 75% des Wachstums in einem Cluster in den WSP vonstattengeht. Das Bevölkerungswachstum wird anhand der verfügbaren Hektaren auf die WSP verteilt. Nun besteht aber die Schwierigkeit, dass diese 75% des Wachstums in gewissen Clustern zu einer Bevölkerungsdichte in den WSP führen würde, die über der oben definierten Maximaldichte liegt. In diesem Fall wird den WSP die maximal mögliche Bevölkerungszahl zugewiesen. Vom verbleibenden Bevölkerungswachstum werden wiederum maximal 75% den unbebauten Bauzonen zugewiesen. Dabei werden nur Bauzonen berücksichtigt, die nicht bereits in einem WSP liegen. Das verbleibende Bevölkerungswachstum wird anschliessend gleichmässig auf alle VMZ innerhalb eines Clusters verteilt.¹² Bestehen in einem Cluster keine Wohnschwerpunkte oder unbebaute Bauzonen, wird das ganze Wachstum gleichmässig auf die VMZ verteilt.

Für die ausserkantonalen VMZ sind keine Informationen zu Siedlungsschwerpunkten oder unbebauten Bauzonen vorhanden, darum wird das Wachstum innerhalb der Cluster ausschliesslich gemäss der bisherigen Bevölkerung verteilt.

¹¹ Diese Werte gelten analog auch für Beschäftigte in Arbeitsschwerpunkten.

¹² Ausnahme: In der Altstadt Bern wird von einem Null-Wachstum ausgegangen.

Abbildung 43 Vorgehen für Aufteilung des Wachstums auf VMZ

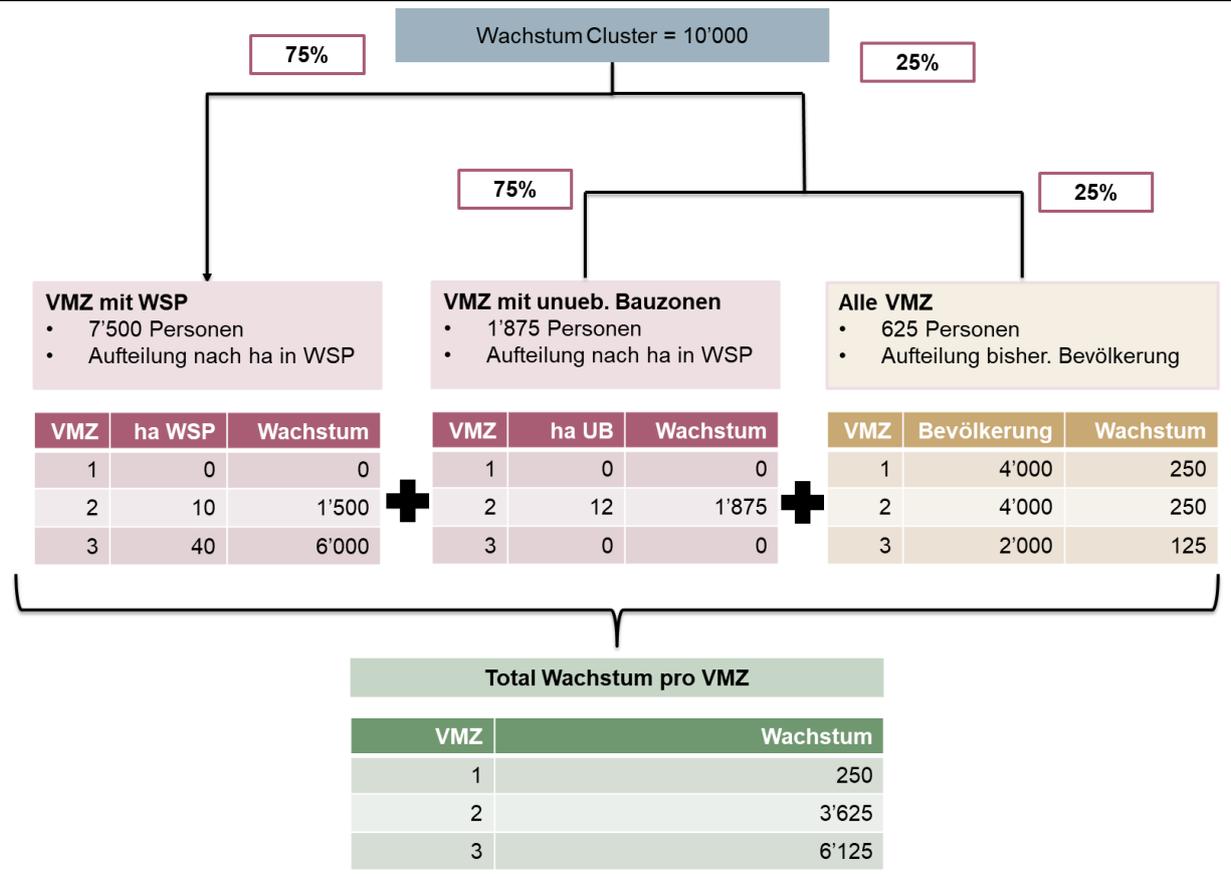


Tabelle 20 Relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Cluster bis 2040

	AE	UK	ZL
Biel/Bienne - Seeland - Jura bernois	10%	57%	2%
Bern-Mittelland	20%	26%	12%
Emmental	11%		16%
Oberaargau	27%		3%
Oberland Ost		31%	
Thun-Oberland West		31%	
_Belp	17%		
_Bern		34%	
_Biel/Bienne		22%	
_Burgdorf		29%	
_Ittigen		25%	
_Köniz		75%	
_Langenthal		24%	
_Lyss	7%		
_Muri bei Bern		23%	
_Münsingen	71%		
_Ostermundigen		75%	
_Spiez		75%	
_Steffisburg		10%	
_Thun		32%	
_Zollikofen		73%	

Tabelle 21 Übersicht über die zur Berechnung verwendeten Wohnschwerpunkte

Name WSP	Fläche [ha]
Adelboden, Areal "Uf em Tal"	1.8
Belp, Stockmatt	2.9
Bern, Brünnen	4.8
Bern, Hintere Schosshalde	1.8
Bern, Saali-Ost	8.1
Bern, Viererfeld (manuell ergänzt)	16.4
Biel, Bischofkänel-Ost	5.9
Biel, Gaswerkareal	2.1
Biel, Gurzelen/Gygax-Areal	1.3
Biel, Sägefild	4.2
Bolligen, Pfrundland	1.3
Burgdorf, Ischlag	2.4
Burgdorf, Neumatt	1.4
Bätterkinden, Ahornweg	1.5
Bätterkinden, Im Grund	1.4
Bönigen, Rossacher Süd	1.4
Ferenbalm, Kleingümmenen	1.8
Frauenkappelen, ZPP Matte	2.4
Grosshöchstetten, Schönenboden	1.0
Herzogenbuchsee, Biblis I	1.5
Herzogenbuchsee, Holzacher	1.9
Huttwil, Hohlen	2.1
Huttwil, Hub	1.0
Huttwil, Sonnegg	1.8
Huttwil, Thomasboden	1.1
Interlaken, Herreney-Tschingeley	3.4
Ittigen, Worblauen I	1.1
Ittigen, Worblauenstrasse	1.1
Kehrsatz, Bleikematt II	1.1
Kehrsatz, Oberer Breitenacher	1.7
Kirchberg, Chosthusweg	1.0
Kirchlindach, Aarematte	1.2
Konolfingen, Grünegg	1.5
Konolfingen, Hübeli	1.5
Konolfingen, Schloss Hünigen	4.4
Koppigen, Dorf	0.6
Köniz, Niederwangen, Ried	30.6
Köniz, Niederwangen, Stegenweg Nord	1.2
Köniz, Wabern, Bächtelenacker	2.6
Köniz, Wabern, Morillongut	11.9
Köniz, Wabern, Nesslerenweg/METAS	2.4
Langenthal, Hardau	1.1
Langenthal, Hopferenfeld	2.3
Laupen, Hirsried Wohnüberbauung 1. Etappe	2.0
Laupen, Stadtmatte	1.9
Lauperswil, Kalchmatt	4.6
Lyss, Stigli-Spinsmatte	1.6
Lützelflüh, Dorf Grünenmatt	1.9
Lützelflüh, Feldheim	1.7
Mattstetten, Neumatt	1.4
Meiringen, Rudenz-Ost	1.0
Mooseedorf, Stägmatt	2.4
Moutier, Poterie	1.2
Muri, Oberhausweg	1.1
Muri, Riedacker	1.5
Münchenbuchsee, Seedorfweg-Nord	1.4
Münsingen, Dorfmatte ZPP N	4.0
Münsingen, Erlenau ZPP C1	1.4
Münsingen, Hinterdorf ZPP J	2.3
Münsingen, Lorymatte ZPP I	2.5
Münsingen, Sandacher ZPP M	1.2

Name WSP	Fläche [ha]
Münsingen, Underrüti	1.3
Neuenegg, Denkmal	1.4
Neuenegg, Gummenstrasse	1.7
Nidau, Expopark	5.3
Niederbipp, ZPP Breitstein	1.5
Ostermundigen, Grube	6.1
Ostermundigen, Oberfeld	9.8
Port, Lohn-Bellevue	3.1
Péry, Chmaps l'Allemand	3.0
Riggisberg, Edelstein	0.9
Rohrbach, Hintergasse I	1.2
Saint-Imier, Terrain Longines	2.8
Schwarzenburg, Stengeli	1.6
Spiez, Oberlandstrasse	1.8
Spiez, Simmentalstrasse	1.1
Spiez, Spiezmoos	1.2
Steffisburg, Hodelmatte	1.4
Tavannes, Les Pontins	1.7
Thun, Bostudenzelg	4.6
Thun, Militärgelände (manuell ergänzt)	0.6
Thun, Rösslimatte	3.7
Thunstetten, Chlöpfmoos	1.5
Tramelan, Les Brues	3.4
Täuffelen, Breitenfeld	1.1
Utzenstorf, Mühle Landshut	3.1
Valbirse, Espace-Birse	3.3
Vechigen, Boll Diesseberg I	3.2
Vechigen, Boll Diessenberg II	1.2
Vechigen, Oberfeld	1.9
Vechigen, Schlossstrasse	0.9
Zollikofen, Lättère	2.2
Zollikofen, Schäferei	3.6
Zäziwil, Zäzibach	1.0

9.2.1.4 Wirtschaftliche Bevölkerung und Aufteilung auf Altersklassen in beiden Szenarien

Anschliessend an die Modellierung des Wachstums in den einzelnen VMZ wird von der ständigen Bevölkerung auf die wirtschaftliche Bevölkerung geschlossen. Es wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis der wirtschaftlichen zur ständigen Wohnbevölkerung innerhalb einer Gemeinde 2040 gleich ist wie 2016.

In einem letzten Schritt wird das Bevölkerungswachstum auf Alterskohorten aufgeteilt. Dabei müssen die sich verändernden Anteile der Alterskohorten berücksichtigt werden. Hierzu werden für den Kanton Bern wiederum die regionalisierten Bevölkerungsprojektionen von Hornung verwendet. Für die ausserkantonalen Gemeinden wird die Aufteilung auf dem Strukturdatenset des NPVM 2040 aufgebaut. Dazu werden in einem ersten Schritt die Veränderungen der Anteile der Altersklassen auf Ebene Gemeinde bestimmt. In einem zweiten Schritt werden die Veränderungen unter Berücksichtigung der heutigen Altersstruktur auf die einzelnen VMZ angewandt. Für den Kanton Bern und die ausserkantonalen Gebiete verändern sich die Anteile der einzelnen Alterskohorten gemäss Tabelle 22.

Tabelle 22 Wachstum der Alterskohorten 2016 - 2040

Alter	Kanton Bern	Ausserkantonale VMZ
<15	9.0%	20.3%
15-24	3.3%	22.1%
25-59	-0.7%	5.7%
60-79	23.3%	53.0%
>80	107.2%	115.8%
Total	13.5%	23.8%

9.2.2 Erwerbstätige

Für die Hochrechnung der Erwerbstätigen für die Jahre 2016 bis 2040 ist zu berücksichtigen, dass die Bevölkerung bis 2040 deutlich altern wird. Gleichzeitig ist aber zu erwarten, dass die Erwerbsbeteiligung der Bevölkerung zwischen 15 und 64, vor allem aber der Bevölkerung über 65 Jahre bis 2040 deutlich zunehmen wird. Es ist darum damit zu rechnen, dass die Zahl der Erwerbstätigen stärker steigt als die Bevölkerung zwischen 15 und 64 Jahren, aber dennoch weniger stark als die Gesamtbevölkerung. Aus diesen Gründen wird für die Prognose 2040 davon ausgegangen, dass die Erwerbsbevölkerung im selben Masse steigt wie die Bevölkerung zwischen 15 und 79 Jahren. Für den Kanton Bern ergibt sich so ein Wachstum der Erwerbsbevölkerung zwischen 2016 und 2040 von 7.5% (im Vergleich zum Wachstum der Gesamtbevölkerung von 13.5%). Im ausserkantonalen Modellgebiet wird mit einem Wachstum der Erwerbstätigen von 18.8% gerechnet (im Vergleich zum Wachstum der Gesamtbevölkerung von 23.8%).

9.2.3 Beschäftigte

Grundlage für die Prognose 2040 bei den Beschäftigten bilden:

- Betriebszählungen des BFS 1995 und 2008;
- Aufstellung der Arbeits-, Wohn- und Entwicklungsschwerpunkte aus dem Richtplan, inkl. Hektarangaben

Die Hochrechnung erfolgt auf der Basis der Annahme, dass sich das Beschäftigungswachstum analog zum Wachstum der Erwerbstätigen bzw. der Bevölkerung verhält. Dies impliziert, dass die Pendleranteile in und aus dem Modellgebiet bzw. in und aus dem Kanton Bern über die Jahre konstant bleiben. Daraus ergibt sich für das Modellgebiet ein Beschäftigungswachstum von insgesamt 12.0%, wobei der Kanton Bern ein Wachstum von 7.5% und das Restgebiet ein Wachstum von 18.8% aufweist.

Die Prognose des Beschäftigtenwachstums erfolgt in mehreren Schritten. In einem ersten Schritt wird analog zum Vorgehen bei der Bevölkerungsentwicklung der Kanton Bern in Cluster aufgeteilt. Diese orientieren sich wiederum an den Regionalkonferenzen / Regionalen Verkehrskonferenzen und den Gemeindetypen nach Richtplan. Zusätzlich bilden die Städte Bern und Biel jeweils ein eigenes Cluster. Ausserhalb des Kantons Bern bilden die Kantone ein Cluster (Ausnahmen sind der Kanton Obwalden, der wegen nur weniger Einwohner zu Luzern gezählt wird sowie der Kanton Basel-Land, der wegen nur einer Gemeinde im VMZ-Gebiet zu Solothurn gezählt wird). Es wird davon ausgegangen, dass sich das Beschäftigtenwachstum innerhalb dieser Cluster jeweils gleich entwickelt.

Um das gesamte Beschäftigtenwachstum auf die einzelnen Cluster aufzuteilen, werden zwei Gewichtungsfaktoren zu jeweils 50% berücksichtigt:

- Erstens der Anteil am Beschäftigtenwachstum zwischen 1995 und 2008 (2008 aus dem Grund, dass die nachfolgenden Jahre aufgrund einer neuen Methodik des BFS die Werte nicht mehr vergleichbar sind).
- Zweitens der Anteil am Bevölkerungswachstum zwischen 2016 und 2040 (dies aus der Überlegung, dass mit dem neuen Richtplan ein Leben und Arbeiten in derselben Region angestrebt wird).

Regionen mit einem erhöhten Beschäftigtenwachstum in der Vergangenheit oder einem hohen erwarteten Bevölkerungswachstum wird daher ein erhöhtes Beschäftigungswachstum prognostiziert. Daraus ergeben sich die in Tabelle 23 angegebenen Wachstumswerte.

Tabelle 23 Unterschiedliches Beschäftigungswachstum einzelner Regionen zwischen 2016 – 2040 (VZA)

	VZÄ 2015	Wachstum Beschäftigung
Bern-Mittelland	236'653	8.7%
Biel/Bienne - Seeland - Jura bernois	83'192	7.7%
Emmental	33'438	6.8%
Oberaargau	29'418	9.4%
Oberland Ost	20'363	-2.6%
Thun-Oberland West	57'460	5.1%
__Aargau	20'979	28.5%
__Freiburg	69'969	28.8%
__Jura	16'105	11.4%
__Luzern & Obwalden	28'175	27.8%
__Neuenburg	57'941	9.4%
__Solothurn & Basel-Land	89'260	13.2%
__Waadt	8'542	28.3%

Schliesslich werden innerhalb der Cluster die Beschäftigten die einzelnen Verkehrsmodellzonen aufgeteilt. Dabei kommt dasselbe Verfahren zum Einsatz, welches bei der Bevölkerungsprognose verwendet wurde. Statt den Baulandreserven in Wohnschwerpunkten werden allerdings die Baulandreserven in Arbeitsschwerpunkten verwendet (inkl. ESP). Wiederum werden maximal 75% des Wachstums den entsprechenden VMZ mit ASP-Flächen zugeteilt, die restlichen 25% des Wachstums werden, wenn möglich, zu 75% den unüberbauten Bauzonen zugewiesen, der Rest anhand der heutigen Verteilung der Beschäftigten auf die VMZ aufgeteilt.

Tabelle 24 Übersicht über die zur Berechnung verwendeten Arbeitsschwerpunkte

Name ASP	Fläche [ha]
Aarwangen	2.1
Bern, Schermenareal W	6.1
Biel, Gurzelen	1.2
Bleienbach, Mööslimatte-Winkel	2.7
Brienz, Industriegebiet Lauenen	2.9
Brügg, Brüggmoos	2.0
Corgémont, Es Cudries	6.1
Eggiwil, Holzmatt	0.7
Gampelen, Bahnhof	8.5
Herzogenbuchsee, Biblis II	4.0
Herzogenbuchsee, Heimenhausfeld	1.7
Huttwil, Kammermoos	4.3
Ins, Bahnhof	6.5
Jegenstorf, Bernfeld	2.9
Kehrsatz, Bahnhofmatte	2.8
Kirchberg, Neuhof	10.8
Konolfingen, Bernstrasse	0.9
Konolfingen, Tonisbach	1.3
Köniz, Niederwangen, Juch/Hallmatt	9.7
Langenthal, Steinackermatte 1	2.0
Langenthal, Zelgli	2.1
Lyss, ESP Grien-Süd	19.7
Lyssach, Schachenstrasse	1.8
Lyssach/RUAL, Shoppingmeile	22.1
Matten, Flugplatzareal	3.9
Meikirch, Bushalle Ortschwaben	1.1
Moutier, Les Laives	23.7
Muri, Hofacher	1.3
Muri, Hüenlifeld	5.4
Münchenbuchsee, Bielstrasse-Süd	1.4
Münchenbuchsee, Buechlimatt	2.5
Münsingen, Südstrasse	1.0
Münsingen, Thunstrasse	5.1
Niederbipp	1.8
Niederönz	4.2
Orpund, Industriezone West	2.4
Ostermundigen, Schwandi	5.2
Roggwil	2.2
Roggwil, Brunnmatt	2.7
Rüdtligen-Alchenflüh, Industriestrasse	1.8
Rüegsau, Blaser	5.6
Rüegsau, Wintersey	3.5
Schwarzenburg, Bahnhof / Ringenmatt	2.7
Schwarzenburg, Wälleried	0.9
Spiez, Angolder	2.0
Spiez, Lattigen / Au	5.1
Steffisburg, ESP Steffisburg Bahnhof	12.0
Sumiswald, Eystrasse West	3.7
Sumiswald, Fürtenmattstrasse	4.8
Tavannes, Combe de Malvaux	9.5
Thun, Militärgelände (manuelle ergänzt)	60.0
Thun, Mittlere Strasse / Rütlistrasse	4.3
Thun, Schoren	14.5
Thunstetten, Bühl	6.7
Thunstetten, Hard I	2.1
Thunstetten, Röti	1.9
Walkringen, Grindlachen	1.3
Walkringen, Unterdorf	0.9
Wangen a. A., Rütifeld	2.5
Wiedlisbach, Weihermatt	2.1
Wilderswil, Flugplatzareal Bereich RUAG	3.7

Name ASP	Fläche [ha]
Worb, Mülacher	3.6
Worb, Worbboden	1.4
Zäziwil, Eyweid	1.5

Tabelle 25 Anteil zusätzliche Beschäftigte in ASP

	AE	HB	UK	ZL
Bern-Mittelland	58%		42%	30%
Biel/Bienne - Seeland - Jura bernois	75%		59%	23%
Emmental	75%	34%		75%
Oberaargau	75%		75%	75%
Oberland Ost				59%
Thun-Oberland West			75%	
_Bern			24%	
_Biel			13%	

9.2.4 Auszubildende

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

Die Zahl der Standortschüler wird mit Hilfe der Bevölkerungsentwicklung berechnet. Dabei werden die Wachstumsraten zwischen 2016 und 2040 der Alterskohorten der bis 15-Jährigen auf Gemeindebasis ermittelt und die Zahl der Standortschüler im Jahr 2016 pro Verkehrsmodellzone mit der entsprechenden Gemeinde-Wachstumsrate multipliziert. Dies führt insgesamt zu einer Zunahme der Schülerzahlen im Kanton Bern und im übrigen Modellgebiet.

Zwischen 2000 und 2016 ist die Zahl der Studierenden an der Universität Bern insgesamt um 44% angestiegen, was einem durchschnittlichen Wachstum von 2.3% pro Jahr entspricht. In den Jahren zwischen 2016 und 2040 wird auch ein Wachstum der Zahl der Studierenden erwartet. Es ist allerdings sehr schwierig, eine Prognose über die künftige Entwicklung vorzunehmen. Die einfachste Variante wäre anzunehmen, dass das Wachstum der vergangenen 16 Jahre anhält. Dies würde bedeuten, dass sich die Zahl der Studierenden an der Universität Bern bis ins Jahr 2040 um weitere 69% erhöht. Die bestehenden Kapazitäten würden bei einem solch enormen Wachstum kaum ausreichen. Es müssten zusätzliche Räumlichkeiten bereitgestellt werden. In welcher Verkehrsmodellzone und in welchem Umfang diese entstehen würden, ist offen. Es gibt offensichtliche Gründe, die für eine abgeschwächte Entwicklung der Gesamtzahl Studierender sprechen, auch wenn mit einer weiteren Zunahme der Maturitätsquote gerechnet werden kann:

- Mit der Einführung der Bologna-Reform hat sich die Studiendauer in den meisten Fächern verkürzt.
- Der Bachelor-Abschluss wird an Bedeutung gewinnen, was eine zusätzliche Verkürzung der Studiendauer bewirkt.
- Fachhochschulen werden auch bei Maturanden immer beliebter und übernehmen einen Teil des Wachstums.

Wir gehen deshalb von einer konservativeren Schätzung aus und nehmen eine 50% niedrigere Wachstumsrate an als bisher. Daraus ergibt sich ein Gesamtwachstum zwischen 2016 und 2040 von 30%.¹³

Noch schwerer ist es, eine entsprechende Voraussage bei den Fachhochschulen zu tätigen. Diese befanden sich in den vergangenen Jahren in der Aufbauphase. Aufgrund mangelnder Informationen gehen wir hier vom gleichen Wachstum wie bei den Uni-Studenten aus. Für die BFH sind zwei konkrete Projekte, nämlich der Campus Bern und der Campus Biel bekannt, die bis 2040 realisiert sein werden. Auf Basis der Unterlagen der BFH werden im Modell die FH-Studenten der voraussichtlich zu schliessenden Standorte an die neuen Campus transferiert.

9.2.5 Verkaufsflächen und Einkaufszentren

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

9.2.6 Kulturangebot

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

9.2.7 Freizeitangebot

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

9.2.8 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

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

9.2.9 Bestand an Personenwagen

Das Wachstum der Personenwagen bis 2040 in einer Verkehrsmodellzone entspricht im Wesentlichen dem Wachstum der Personenwagen pro Einwohner im NPVM, multipliziert mit dem Wachstum der Einwohner.

Das NPVM antizipiert je nach Gemeindetyp und Kanton eine andere Wachstumsrate. Da im NPVM das Basisjahr 2010 und nicht 2016 verwendet wird, wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums zwischen 2010 und 2016 bereits realisiert wurde. Die Wachstumsrate wird demnach linear um 6/30 gekürzt. Somit entspricht die im kantonalen Modell verwendete Wachstumsrate für 2016 bis 2040 24/30-tel der Wachstumsrate von 2010 bis 2040 aus dem NPVM.

Um den Bestand der Personenwagen per 2040 zu errechnen werden die Personenwagen im Jahr 2016 mit dem (angepassten) Wachstum der Personenwagen pro Einwohner und der Veränderung der ständigen Wohnbevölkerung multipliziert.

9.2.10 Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz

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

¹³ Wir verwenden für sämtliche Universitäten die gleichen Wachstumszahlen wie für die Uni Bern.

9.2.11 Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr

Für die Berechnung des Wachstums der Abos im öffentlichen Verkehr wurde wiederum auf die Annahmen aus dem NPVM zurückgegriffen.

Mit dem NPVM können die Anteile von GA und Halbtax pro Einwohner für 2010 und 2040 und eine entsprechende Wachstumsrate ermittelt werden. Da im NPVM das Basisjahr 2010 und nicht 2016 verwendet wird, wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums zwischen 2010 und 2016 bereits realisiert wurde. Die Wachstumsrate wird demnach linear um 6/30 gekürzt. Somit entspricht die im kantonalen Modell verwendete Wachstumsrate für 2016 bis 2040 24/30-tel der Wachstumsrate von 2010 bis 2040 aus dem NPVM. Um den Bestand der Halbtax-Abos und Generalabonnemente per 2040 zu errechnen, werden die Abos im Jahr 2016 mit dem (angepassten) Wachstum der Abos pro Einwohner und der Veränderung der ständigen Wohnbevölkerung multipliziert.

Für die Monats- und Jahresabos regionaler Verkehrsbetriebe wurde das gleiche Wachstum wie für die Generalabonnemente angenommen.

9.2.12 Weitere Daten

- Spitaldaten: Für den Zustand 2040 wurden die Zahlen des Ist-Zustands übernommen.

Flughafendaten: Für den Zustand 2040 wurde aufgrund der grossen Unsicherheit der Wachstumsprognosen der Ist-Zustand übernommen.

9.3 Berechnung der Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrageveränderungen (Prognose 2040) werden in zwei Schritten berechnet:

- 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 anhand des Erzeugungsmodells des Basisjahrs ein Erzeugungsmodell für den Prognosezustand erstellt. Neben den prognostizierten Strukturdaten sind die spezifischen Mobilitätsraten wichtige Eingangsgrössen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Mobilitätsraten (Anzahl Wege pro Tag) bis 2040 ändern werden. Die neuen Mobilitätsraten werden aus den Schweizerischen Verkehrsperspektiven bis 2040 (Mathys *et al.*, 2016) übernommen.

Aus dem zukünftigen Verkehrsangebot und dem Erzeugungsmodell werden mit dem simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell (VISEVA) 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.

Zusätzlich wird auch eine Berechnung der Quelle-Ziel-Matrizen mit unverändertem Verkehrsangebot gegenüber dem Basisjahrsmodell durchgeführt, um die Wirkungen des veränderten Verkehrsangebots und der soziodemographischen bzw. siedlungsstrukturellen Entwicklungen getrennt aufzeigen zu können.

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

- Binnenverkehr: Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen im Binnenverkehr 2040 (VISEVA) und Ableitung der Nachfrageveränderungen;
- Hochrechnung der Gesamtmatrix 2040 inklusive Aussenverkehr: Hochrechnung der Nachfrageveränderungen aus den ermittelten Nachfrageveränderungen 2040/2016 (VISEVA) und aus der kalibrierten Matrix 2016.

Wie bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2016 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 bzw. des GVM BE übernommen.

Aus den ermittelten Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2040 und 2016 werden zunächst die Veränderungen des Verkehrsaufkommens für jede Quelle-Ziel-Beziehung berechnet. Diese werden als Differenzmatrizen dargestellt. Grundlage für die Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2040 sind die auf die Querschnittszählungen kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2016 und die neu berechneten Differenzmatrizen zwischen dem Prognosejahr und 2016 (VISEVA). Aus der Summe der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2016 und der Differenzmatrizen „Prognosejahr 2040 – 2016“ ergeben sich die neuen Quelle-Ziel-Matrizen 2040 (siehe auch Abbildung 44).

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. Damit ergeben sich Veränderungen der Tagesganglinien im Prognosejahr gegenüber dem Ist-Zustand nur aus der veränderten Fahrtzweckstruktur.

Wie im Ist-Zustand beinhaltet auch im Prognosemodell jeder Modellzustand die fünf Nachfragesegmente Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen, Last-/Sattelzüge und ÖV-Passagiere.

Die Verhaltensparameter für die Verkehrsnachfrageberechnungen (und die Umlegung) werden unverändert aus dem Zustand 2016 übernommen. Ausnahmen sind die im Ist-Zustand für die Bevölkerung der Stadt Bern kalibrierte Affinitätsfaktoren nach Verkehrsmitteln. In Absprache mit der Stadt Bern und der BVE wurde hier die Annahme getroffen, dass die Affinitäten für die Verkehrsmittel ÖV, Fuss und Velo gegenüber 2016 um 10% erhöht werden.

Bei den Erzeugungsraten werden für die einzelnen Fahrtzwecke folgende Annahmen getroffen (angelehnt an die Prognosen des ARE; siehe Mathys und Justen, 2016):

- Pendler (Arbeit und Ausbildung): unverändert;
- Nutzfahrten: 13.1%;
- Einkaufen <25 Jahre: 2.2%;
- Einkaufen 25-59 Jahre: 2.2%;
- Einkaufen 60-80 Jahre: 6.5%;
- Einkaufen >80 Jahre: 3.3%;
- Freizeit <25 Jahre: 6.2%;
- Freizeit 25-59 Jahre: 5.2%;
- Freizeit 60-80 Jahre: 20.5%;
- Freizeit >80 Jahre: 10.3%;

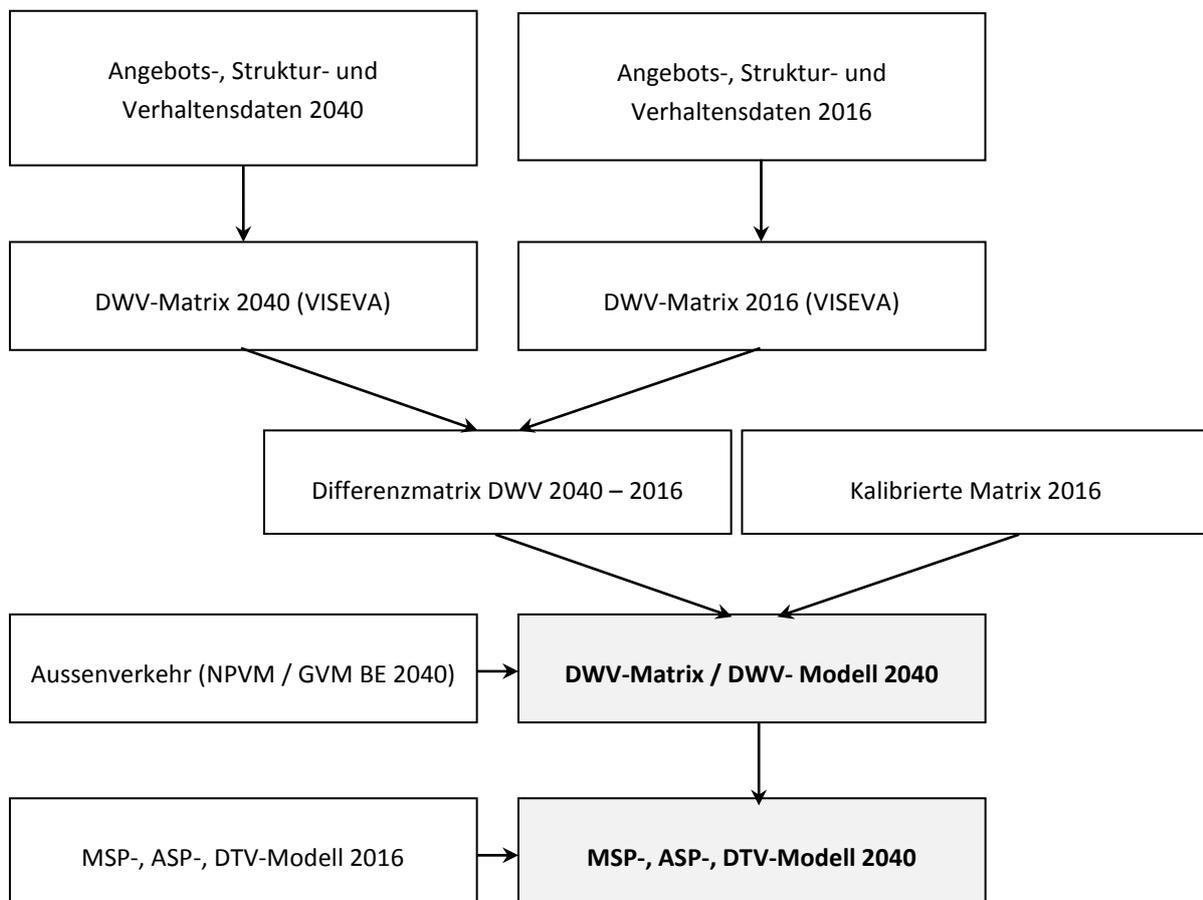
Die Wachstumsfaktoren im Strassengüterverkehr zwischen 2016 und 2040 werden aus dem NPVM übernommen. Die Matrizen im Strassengüterverkehr werden somit gegenüber 2016 für Lieferwagen um 14% und für Lastwagen und Last- und Sattelzüge um 24% erhöht.

Die Besetzungsgrade für PW-Fahrten werden (ebenfalls gestützt auf die Prognosen des ARE) gemäss Tabelle 26 unverändert beibehalten.

Tabelle 26 Besetzungsgrade 2016 / 2040

Fahrtzweck	Besetzungsgrad 2016 [Personen/PW]	Besetzungsgrad 2040 [Personen/PW]
Arbeit	1.10	1.10
Ausbildung	1.40	1.40
Einkauf	1.38	1.38
Nutzfahrt	1.22	1.22
Freizeit	1.64	1.64
Alle	1.36	1.36

Abbildung 44 Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2040



9.4 Ergebnisse

9.4.1 Binnenströme

Tabelle 27 zeigt die Entwicklung der Gesamtverkehrsnachfrage (Verkehrsaufkommen) innerhalb des Modellperimeters von 2016 bis 2040. Die Gesamtanzahl zurückgelegter Wege im Modellperimeter steigt zwischen 2016 und 2040 um 18.5%.

Tabelle 27 Vergleich des Verkehrsaufkommens 2016 – 2040 (Binnenströme DWV)

	Berechnete Anzahl Wege 2016 [Mio]	Berechnete Anzahl Wege 2040 [Mio]	Veränderung [%]
Arbeit	1.37	1.53	+11.8
Ausbildung	0.52	0.60	+17.3
Einkauf	1.32	1.63	+24.1
Nutzfahrt	0.21	0.26	+26.5
Freizeit	1.88	2.23	+18.9
Gesamt	5.29	6.27	+18.5

Dieses Wachstum resultiert einerseits aus dem Bevölkerungswachstum und andererseits aus den veränderten Erzeugungsraten sowie der veränderten Altersstruktur der Bevölkerung.

Die Verschiebung der Fahrtzweckanteile an der Gesamtverkehrsnachfrage zwischen 2016 und 2040 ist aus Tabelle 28 ersichtlich.

Die Pendlerwege (Arbeit und Ausbildung zusammen) betragen noch einen Anteil von gut 34% am Gesamtverkehrsaufkommen, was einer Abnahme von 1.6% gegenüber 2016 entspricht. Die Anteile der Freizeit, Nutz- und insbesondere der Einkaufwege nehmen dementsprechend zu.

Tabelle 28 Vergleich der Fahrtzweckanteile 2016 – 2040 (Binnenströme DWV)

	Anteil der berechneten Wege 2016 [%]	Anteil der berechneten Wege 2040 [%]	Veränderung [%]
Arbeit	25.9	24.5	-1.5
Ausbildung	9.7	9.6	-0.1
Einkauf	24.9	26.1	+1.2
Nutzfahrt	3.9	4.2	+0.3
Freizeit	35.5	35.7	+0.2

Tabelle 29 zeigt die Veränderung der Verkehrsnachfrage innerhalb des Modellgebiets, aufgeteilt nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel. Hier ist zu sehen, dass die wesentliche Zunahme des Verkehrsaufkommens im ÖV stattfindet. Die starke Kapazitätsauslastung des Strassennetzes, die Sättigung des PW-Besitzes sowie der Ausbau des ÖV-Angebots führen zu einem proportional tieferen Wachstum im MIV. Doch auch der Anteil des Veloverkehrsaufkommens nimmt mit 23% deutlich zu.

Tabelle 29 Verkehrsaufkommen 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV, Viseva)

[Mio Wege]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	0.83	0.29	0.16	0.25	1.53
Ausbildung	0.07	0.19	0.12	0.23	0.60
Einkauf	0.83	0.17	0.13	0.50	1.63
Nutzfahrt	0.20	0.02	0.01	0.02	0.26
Freizeit	1.24	0.25	0.20	0.55	2.23
Gesamt	3.16	0.93	0.62	1.55	6.27
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	7,1	25,1	15,3	11,9	11,8
Ausbildung	8,8	40,2	23,8	2,8	17,3
Einkauf	17,6	50,7	32,4	25,7	24,1
Nutzfahrt	22,4	53,8	38,6	36,1	26,5
Freizeit	14,6	33,7	22,8	21,9	18,9
Gesamt	13,6	35,3	23,2	18,3	18,5

Analog zum Verkehrsaufkommen (als Anzahl Wege) zeigt Tabelle 30 die Entwicklung der Verkehrsleistung (in Personenkilometern) zwischen 2016 und 2040, wiederum aufgeteilt nach Verkehrsmittel und Fahrtzweck.

Tabelle 30 Verkehrsleistung 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV)

[Mio Pkm]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	9,6	4,8	0,6	0,4	15,3
Ausbildung	0,7	3,3	0,3	0,4	4,8
Einkauf	6,4	1,4	0,3	0,7	8,9
Nutzfahrt	3,1	0,4	0,0	0,0	3,6
Freizeit	12,9	3,8	0,6	0,9	18,2
Gesamt	32,6	13,8	1,9	2,5	50,7
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	4,9	21,1	16,8	13,8	10,2
Ausbildung	11,4	48,8	32,2	1,7	35,6
Einkauf	16,6	45,4	36,5	26,6	22,0
Nutzfahrt	22,1	47,2	42,7	38,0	24,9
Freizeit	13,1	32,2	23,7	21,6	17,3
Gesamt	11,9	33,1	25,1	18,1	17,8

Tabelle 31 zeigt die Entwicklung der Anteile der einzelnen Verkehrsmittel (in Prozent) am Verkehrsaufkommen für die einzelnen Fahrtzwecke. Es ist zu sehen, dass der Anteil des ÖV an den Binnenströmen insgesamt um 1.8% und der Anteil des Velos um 0.4% zunehmen. Diese Verschiebung zum ÖV und Velo hin findet um Umkehrschluss auf Kosten des MIV und des Fussverkehrs statt.

Tabelle 31 Anteile am Verkehrsaufkommen 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	53,9	19,3	10,2	16,6
Ausbildung	11,1	31,1	20,1	37,7
Einkauf	50,7	10,6	8,1	30,6
Nutzfahrt	77,8	8,9	5,3	8,0
Freizeit	55,4	11,1	8,9	24,6
Gesamt	50,5	14,8	9,9	24,8
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-2,4	2,1	0,3	0,0
Ausbildung	-0,9	5,1	1,1	-5,3
Einkauf	-2,8	1,9	0,5	0,4
Nutzfahrt	-2,6	1,6	0,5	0,6
Freizeit	-2,1	1,2	0,3	0,6
Gesamt	-2,2	1,8	0,4	0,0

Tabelle 32 zeigt die Veränderung der Verkehrsmittelanteile an der Gesamtverkehrsleistung der einzelnen Fahrtzwecke. Hier nimmt der MIV-Anteil durch die erhöhten Reiseweiten im ÖV stärker ab als beim Verkehrsaufkommen. Gleichzeitig legen auch die Anteil des Langsamverkehrs nur leicht zu, da zwar ein Teil der zusätzlichen ÖV-Wege vom Langsamverkehr abgezogen werden, es sich hierbei jedoch in erster Linie um kurze Wege handelt.

Tabelle 32 Anteile an der Verkehrsleistung 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnenströme DWV)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	62,2	31,6	3,8	2,4
Ausbildung	14,6	69,9	6,8	8,7
Einkauf	71,8	16,3	3,6	8,3
Nutzfahrt	86,3	11,8	1,0	0,9
Freizeit	70,8	20,8	3,3	5,1
Gesamt	64,2	27,2	3,7	4,9
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-3,1	2,8	0,2	0,1
Ausbildung	-3,2	6,2	-0,2	-2,9
Einkauf	-3,3	2,6	0,4	0,3
Nutzfahrt	-2,0	1,8	0,1	0,1
Freizeit	-2,7	2,3	0,2	0,2
Gesamt	-3,4	3,1	0,2	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 berechnet. Es wurden die Matrizen für das Jahr 2040 aus den Quelle-Ziel-Strömen 2016 und den ermittelten Wachstumsfaktoren pro Quelle-Ziel-Beziehung und Verkehrsmittel berechnet. Das Nachfragewachstum der Aussenzonen wurde aus dem Prognosemodell 2040 des NPVM übernommen.

Tabelle 33 zeigt die Gesamtveränderung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung in den verschiedenen im Modell abgebildeten Nachfragesegmenten für den Binnen-, Quell- und Zielverkehr (also sowohl Verkehr innerhalb des Modellperimeters als auch Ströme von und nach den Aussenzonen).

Die Nachfrage im Strassenverkehr nimmt demnach im Modellperimeter um **17.9%** zu, die Verkehrsleistung um **17.7%**. Im ÖV beträgt die Zunahme beim Verkehrsaufkommen **50.3%**, bei der Verkehrsleistung **55.7%**.

Tabelle 33 Verkehrsnachfrage 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)

	Verkehrsaufkommen (gesamt)			Verkehrsleistung (Modellperimeter) [Mio km]		
	2040	Differenz zu 2016	%	2040	Differenz zu 2016	%
PW-Fahrten	3'040'885	461'315	17.9	36'696'712	5'493'014	17.6
Strassengüterverkehr	358'023	55'083	18.2	7'170'407	1'118'404	18.5
Strassenverkehr gesamt	3'398'908	516'398	17.9	43'867'120	6'610'805	17.7
ÖV	1'342'429	449'387	50.3	26'711'528	9'551'925	55.7
Gesamt	4'741'337	965'785	25.6	70'578'648	16'162'730	29.7

Da im Rahmen der Modellaktualisierung kein fahrzweckspezifisches Modell erstellt wurde, werden für die fahrzweckspezifischen Analysen die Fahrzweckanteile (Binnen- und Aussenströme) aus dem Nachfragemodelle (nur Binnenverkehrsströme) übernommen. Mit dieser Annahme ergeben sich die in Tabelle 34 dargestellten Veränderungen der Verkehrsnachfrage nach Fahrzwecken. Hier ist ein überdurchschnittliches Wachstum im ÖV (+55.7%) und ein unterdurchschnittliches Wachstum im MIV (+17.6%) bei allen Fahrzwecken festzustellen. Diese Entwicklung ist einerseits auf die Angebotsentwicklung einzelnen Verkehrsträger, aber auch auf die Siedlungs- und soziodemographische Entwicklung, sowie die bei dem Prognosemodell getroffenen Annahmen bei den Eingangsdaten (PW-Besetzungsgrade, Mobilitätsraten, Affinitätsfaktoren usw.) zurückzuführen.

Tabelle 34 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung 2040: Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)

Verkehrsaufkommen [%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	10,8	38,9	15,3	11,9
Ausbildung	13,1	55,6	23,8	2,8
Einkauf	21,6	68,2	32,4	25,7
Nutzfahrt	26,8	70,8	38,6	36,1
Freizeit	18,5	48,5	22,8	21,9
Gesamt	17,9	50,3	23,2	18,3
Verkehrsleistung [%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	9,8	41,5	16,8	13,8
Ausbildung	16,8	73,9	32,2	1,7
Einkauf	22,0	70,0	36,5	26,6
Nutzfahrt	27,9	72,1	42,7	38,0
Freizeit	18,3	54,5	23,7	21,6
Gesamt	17,6	55,7	25,1	18,1

Aus der nach Fahrzwecken berechneten Verkehrsnachfrage wurden die in der Tabelle 35 (Verkehrsaufkommen) und Tabelle 36 (Verkehrsleistung) dargestellten Modal-Split-Anteile, sowie deren Veränderungen gegenüber 2016 ermittelt. Hier ist zu sehen, dass bei dem Verkehrsaufkommen der MIV-Anteil gegenüber 2016 um -2.3% zurückgehen und der ÖV-Anteil sich um 3.1% erhöht.

Tabelle 35 Anteile am Verkehrsaufkommen 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)

MS-Anteil [%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	45	28	10	17
Ausbildung	13	39	17	31
Einkauf	55	13	7	26
Nutzfahrt	76	12	5	8
Freizeit	67	11	6	16
Gesamt	55	17	8	20
Veränderung [%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-3,0	4,2	-0,3	-0,9
Ausbildung	-1,3	7,8	0,0	-6,5
Einkauf	-2,8	3,0	0,2	-0,4
Nutzfahrt	-3,2	2,7	0,2	0,2
Freizeit	-1,9	1,9	0,0	0,0
Gesamt	-2,3	3,1	0,0	-0,8

Durch die erhöhten Reiseweiten im ÖV und leicht reduzierte Reiseweiten im MIV, erhöht sich der ÖV-Anteil bei der Verkehrsleistung um 5.7% erhöht und MIV-Anteil ist um -5.4% reduziert.

Tabelle 36 Anteile an der Verkehrsleistung 2040 und Veränderung gegenüber 2016 (Binnen- und Aussenströme DWV)

MS-Anteil [%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	47,7	47,5	3,0	1,9
Ausbildung	13,4	77,7	3,9	5,0
Einkauf	71,8	20,4	2,4	5,4
Nutzfahrt	81,0	17,5	0,8	0,7
Freizeit	76,1	19,7	1,6	2,5
Gesamt	62,7	32,1	2,3	3,0
Veränderung [%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-5,8	6,1	-0,2	-0,2
Ausbildung	-4,5	7,9	-0,7	-2,7
Einkauf	-4,7	4,8	0,1	-0,2
Nutzfahrt	-3,9	3,9	0,0	0,0
Freizeit	-3,8	3,9	0,0	-0,1
Gesamt	-5,4	5,7	-0,1	-0,3

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) ermittelt. Hier wird angenommen, dass die Tagesganglinien 2040 gegenüber dem 2016-Zustand unverändert bleiben.

Die Eckwerte der aus diesen Berechnungen resultierenden Nachfragematrizen sind in Tabelle 37 dargestellt. Das relative Gesamtwachstum in den Spitzenstunden ist im MIV proportional etwa gleich wie jenes im DWV (ca. 19%) und auch im ÖV ist es vergleichbar mit dem des DWV (ca. 52%). Etwas tiefere Wachstum im MIV und höhere im ÖV in der Abendspitzenstunde ist sehr wahrscheinlich auf die Kapazitätsgrenzen zurück zu führen. Hier muss beachtet werden, dass im Strassenmodell die Kapazitätsgrenzen berücksichtigt werden und im ÖV nicht.

Tabelle 37 Eckwerte der Matrizen 2040 (Binnen- und Aussenströme): MSP und ASP

	PW [Mio. Fahrten]		ÖV [Mio. Wege]	
MSP	0.24	(+19.8%)	0.13	(+50.3%)
ASP	0.30	(+17.8%)	0.15	(+55.3%)

9.4.4 Netzbelastungen

Die folgenden sechs Abbildungen zeigen die Übersicht der DWV-Netzbelastungen im MIV und ÖV für den Prognosezustand 2040 und die Veränderungen gegenüber 2016. Die Streckenbalken zeigen jeweils in Gelb die Belastung 2016, in rot Zunahmen und in grün Abnahmen der Belastungen zwischen 2016 und 2040. Insbesondere im ÖV und auf den Hauptverkehrsachsen ist eine starke Zunahme des Verkehrs zu verzeichnen. Die Abbildung 48 zeigt zusätzlich die Veränderung der Streckenbelastungen mit und ohne Erhöhung der Affinitätsfaktoren um 10% (Stadt Bern) gegenüber 2016.

Abbildung 45 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – MIV



Abbildung 46 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – MIV

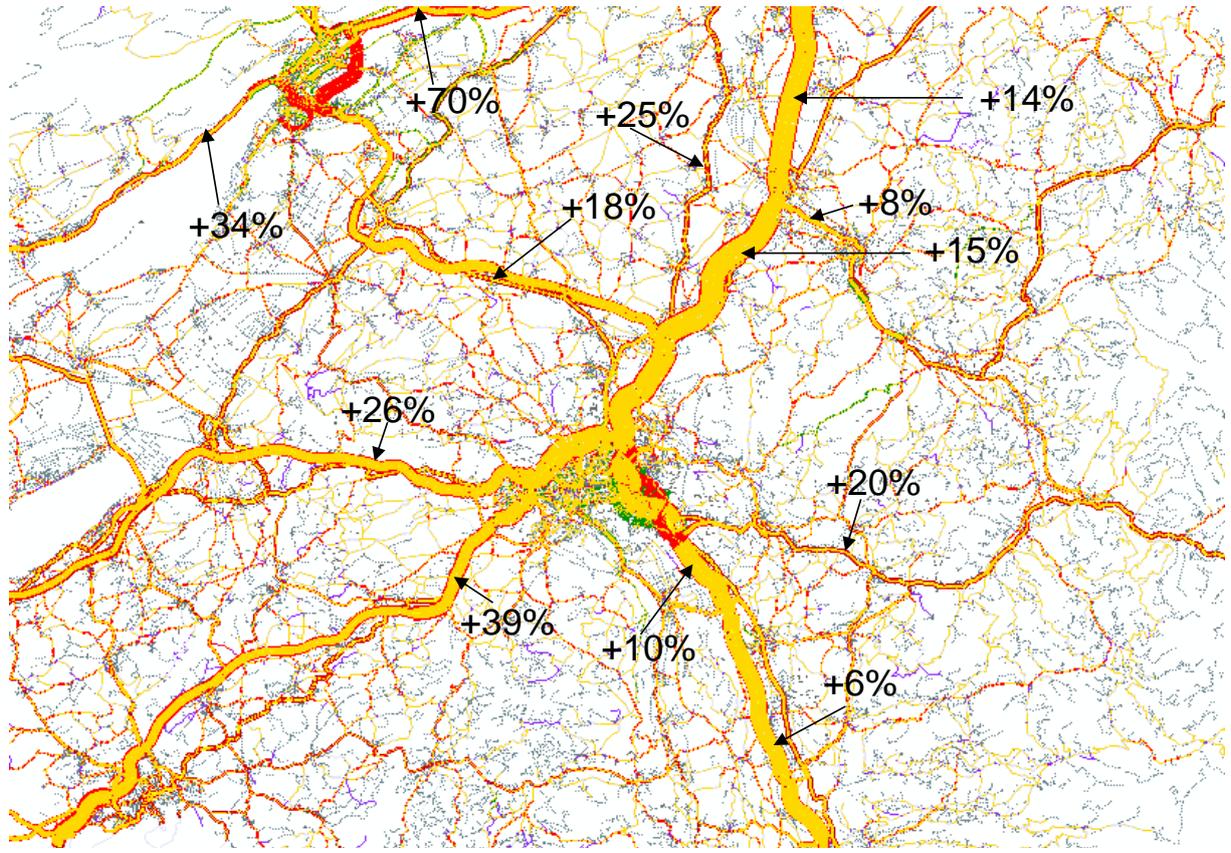


Abbildung 47 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – MIV

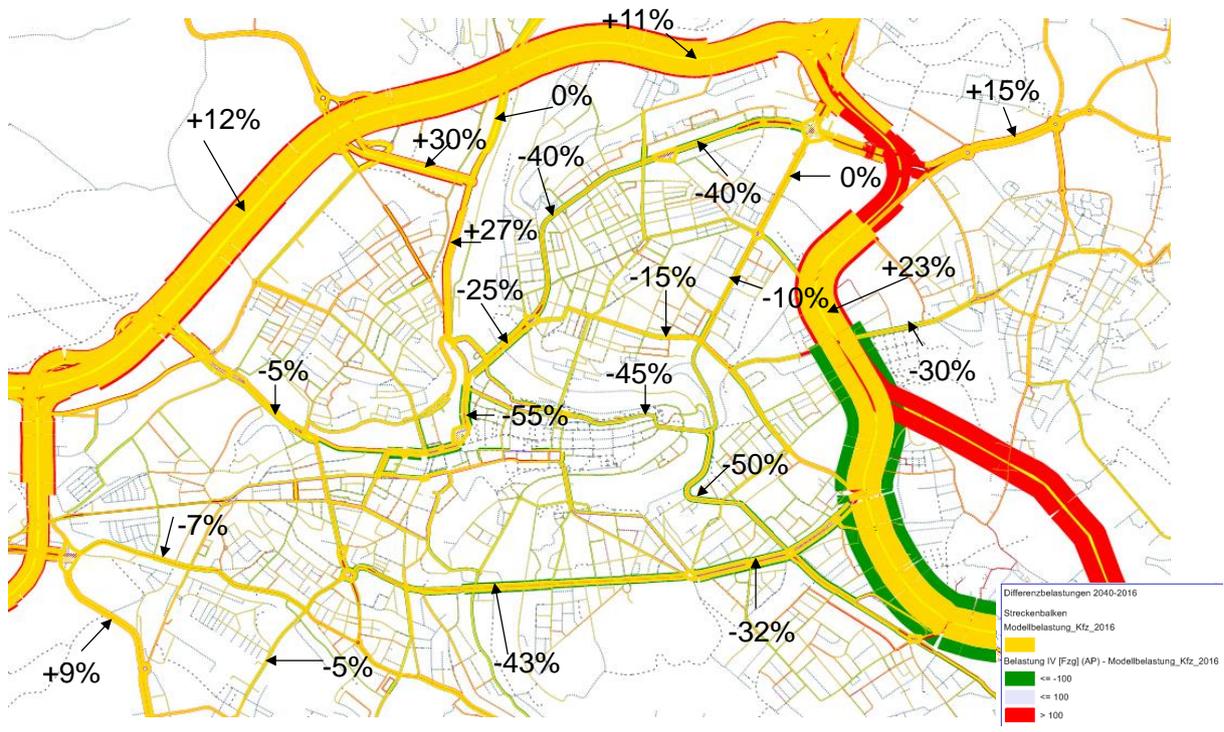


Abbildung 48 MIV- Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – mit und ohne Erhöhung der Affinitätsfaktoren (Affinität 2040 gegenüber 2016 um 10% erhöht / Affinität 2040=Affinität 2016)

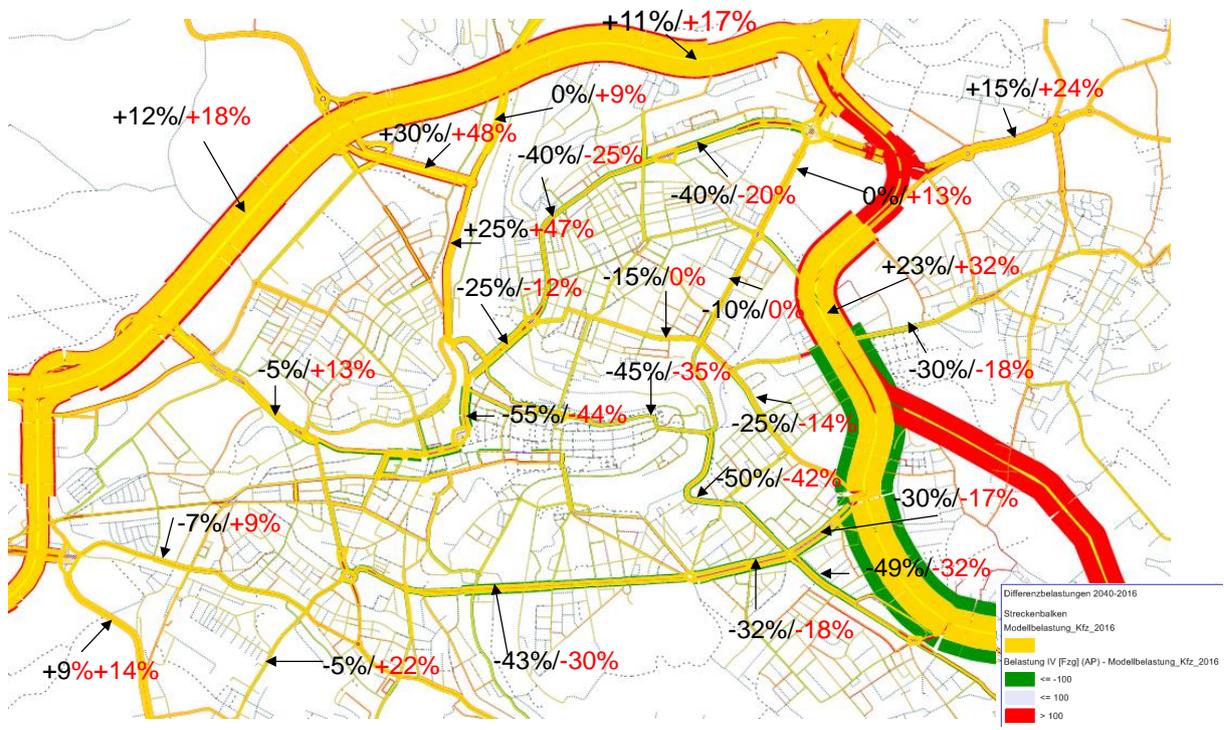


Abbildung 49 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – ÖV

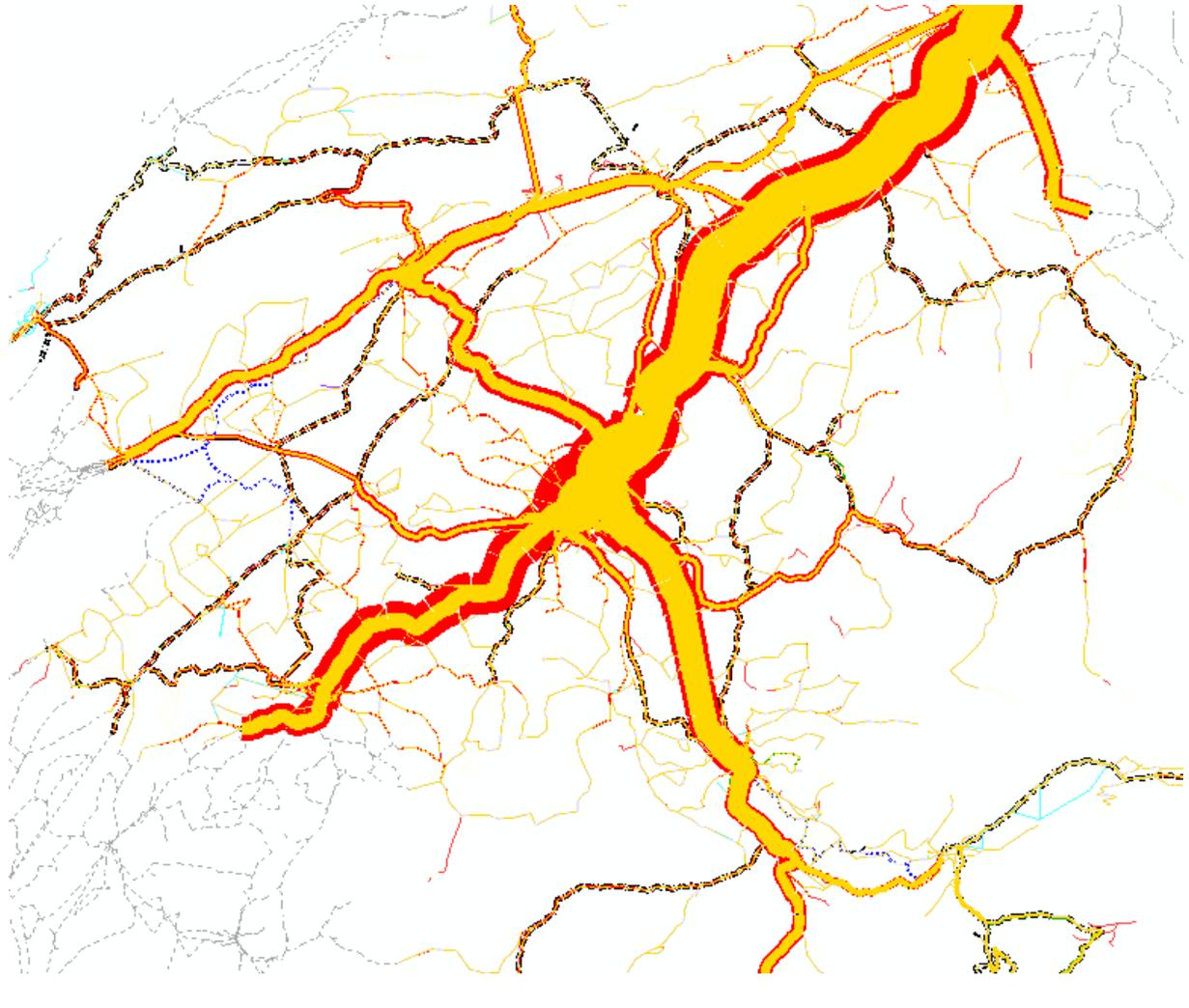


Abbildung 50 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – ÖV

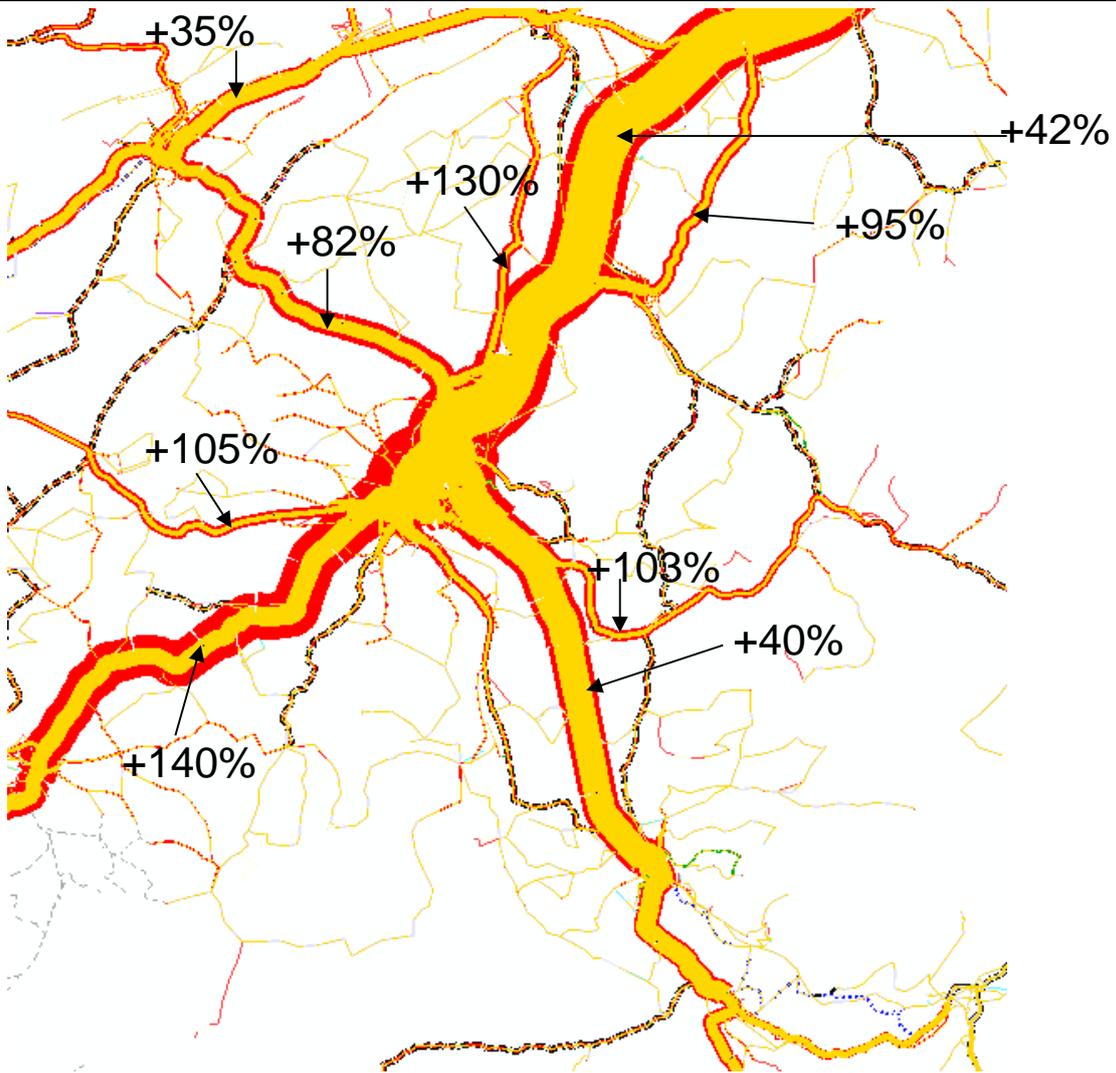
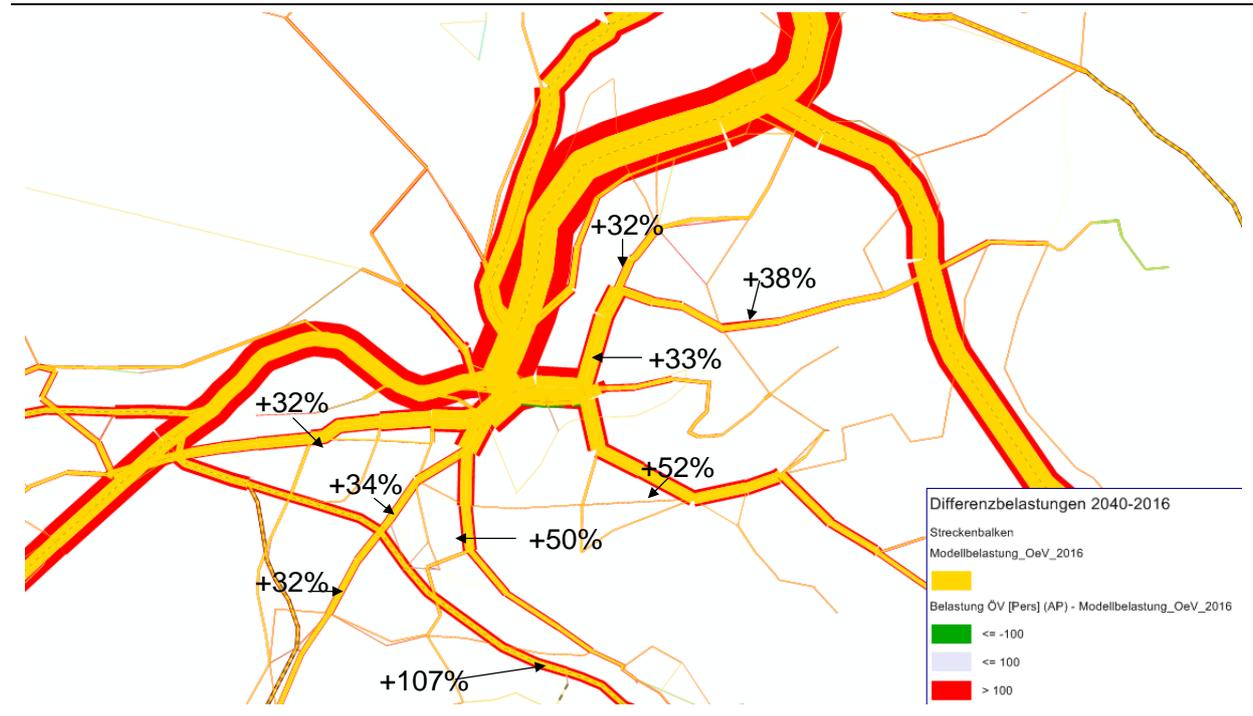


Abbildung 51 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2040 vs. 2016 – ÖV



10 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Angesichts der ermittelten Modellergebnisse und der durchgeführten Plausibilitätsanalysen wurden die Zielsetzungen des Projekts erreicht. Die erstellten Modelle wurden anhand aller verfügbaren Erhebungsdaten verifiziert. Dabei wurden sowohl die Modellstruktur und -inputs als auch die Modellergebnisse plausibilisiert und eine Aktualisierung aller wichtigen Modellkomponenten und Modellzustände durchgeführt.

Durch ein realitätsentsprechendes Verkehrsangebot, eine ebensolche Matrixstruktur sowie minimale Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen und weiteren Erhebungen ist die Prognosefähigkeit des Modells gewährleistet. Die erstellten Modelle können damit als Grundlage sowohl für die Aktualisierung von bestehenden Verkehrszuständen als auch für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen verwendet werden. Mit ihnen ist es möglich, Auswirkungen von Veränderungen des Verkehrsangebots und der soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken zu analysieren. Dabei können die Nachfrageauswirkungen auf allen vier Modellstufen – Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl – berechnet werden. Die Funktionalität des GVM BE wurde in verschiedenen Modellanwendungen bereits getestet und validiert. Damit stellt das Modell ein Planungsinstrument dar, das mit einer dem Stand der Wissenschaft entsprechenden Methodik und allen aus den Erhebungen verfügbaren Kenntnissen erstellt wurde. Durch dieses Vorgehen wurde sichergestellt, dass aus den verfügbaren Datengrundlagen sowie tiefgehendem Planungs- und Modellwissen das optimale Produkt erstellt wurde.

Es sollte gleichzeitig beachtet werden, dass bei der Kalibrierung der Modellzustände keine flächendeckenden Zählungen zur Verfügung standen und vor allem auf kleinräumiger Ebene (Knotenebene) die Modellbelastungen nicht validiert sind. Für kleinräumige Massnahmen oder Knotenstromanalysen konnten damit in Rahmen dieses Projekt keine Validierungen durchgeführt werden. Bei solchen Anwendungen ist es empfehlenswert, die Modellbelastungen mit Erhebungen zu überprüfen und entsprechende Modellplausibilisierungen, z.B. auf Ebene der Zonenanbindungen oder Knotenattribute, durchzuführen. Hier empfiehlt es sich, im Vorfeld der Modellanwendung die Netzbelastungen und die im Modell verfügbaren Zählungen zu überprüfen und nach Bedarf im betrachteten Projektperimeter entsprechende Anpassungen oder Erweiterungen festzulegen.

Im Rahmen des Projekts hat sich herausgestellt, dass die Zählstellendichte sowie die Qualität der Zählungen im Strassenverkehr beschränkt ist. Es wird empfohlen, sowohl die Dichte als auch die Anzahl der Zählstellen mit Klassifizierung der Fahrzeugklassen zu erhöhen. Wesentlich ist auch die Qualität der Zählungen. Solche Zählungen wären sowohl für das DWV-Modell als auch für die Spitzenstundenmodelle sehr wichtig. Unabdingbar ist dabei ebenfalls die richtungsgetrennte Erfassung der Verkehrsströme, da insbesondere in den Spitzenstunden nicht davon ausgegangen werden kann, dass diese symmetrisch auf beide Fahrtrichtungen verteilt sind. Hier wäre der Aufbau einer kantonalen Datenbank mit allen verfügbaren und erhobenen Datengrundlagen sehr zu empfehlen. Dadurch könnten die Nutzbarkeit und Qualität der Zählungen erhöht werden, sowie die Notwendigkeit von weiteren Zählungen festgelegt werden. Diese würde die Qualität des GVM Bern erhöhen und gleichzeitig für andere Fragestellungen eine höhere Datenqualität sicherstellen.

Bei dem Prognosemodell ist zu beachten, dass die Modellergebnisse vor allem durch die Eingangsdaten und die dafür getroffenen Annahmen beeinflusst werden. Dafür sind die im Bericht beschriebenen Annahmen und Werte zur Siedlungs- und Angebotsentwicklungen, sowie weitere Grössen wie Mobilitätsraten, PW-Besetzungsgrades, Entwicklung des Aussenverkehrs usw., bei der Interpretation von Modellergebnissen zu beachten. Hier ist auch zu beachten, dass bei der Nachfrageprognosen die Kapazitätsbeschränkungen im ÖV nicht berücksichtigt wurden, da diese Daten nicht zur Verfügung standen. Andererseits wurden im

Strassenverkehr vor allem im Grossraum Bern auf mehreren Abschnitten die Kapazitätsvorgaben festgelegt, sowie im städtischen Netz eine grosse Zahl von flankierenden Massnahmen implementiert. Für die Bevölkerung der Stadt Bern wurde zusätzlich der Affinitätsfaktor für ÖV, Fuss und Velo um 10% gegenüber dem Ist-Zustand erhöht.

Für die Weiterentwicklung des Modells wäre vor allem anhand einer Bedarfsanalyse die Festlegung der zukünftigen Datengrundlagen durchzuführen. Neben der Genauigkeit der Netzattribute und Zählraten wäre hier auch eine höhere Genauigkeit der Strukturdaten, vor allem auf kleinräumiger Ebene, möglich. Für die bisherigen Modellierungen waren die im Modell verwendeten Methoden ausreichend. Eine höhere Genauigkeit wäre vor allem bei kleinräumigen Anwendungen bzw. auf Mikroebene in einzelnen Projekten gewünscht. Gerade dafür ist eine feinere und präzisere Abbildung der Inputdaten (wie Netzattributierung, Zonenanbindungen und Zählraten) die entscheidende Voraussetzung. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass eine solche Genauigkeit im gesamten Modell von der Anwendungsseite nicht notwendig ist und auch mit sehr grossem Aufwand verbunden wäre. Somit ist zu empfehlen, eine Erhöhung der kleinräumigen Modellgenauigkeit (z.B. auf Knotenebene) jeweils bei einzelnen Anwendungen gezielt durchzuführen. Eine hohe Genauigkeit im Grundmodell über den gesamten Perimeter ist vor allem aus Gründen des Nutzen-Kosten-Verhältnisses nicht zu empfehlen. Das GVM BE ist aber mit seiner Zonen- und Netzstruktur für Anwendungen mit knotenfeiner Genauigkeit durchaus geeignet, müsste aber im Einzelfall entsprechend überarbeitet werden, da die Attributierung der Knoten im bestehenden Teletlas-Netz nicht detailliert genug ist. Um die kleinräumige Genauigkeit des GVM Bern bei solchen Komponenten zu erhöhen, wäre eine stärkere Beteiligung der weiteren Partner wie z.B. OIKs, Städte und Regionalkonferenzen / Regionalen Verkehrskonferenzen bei der Modellaktualisierung und Erstellung von Prognoseszenarien zu empfehlen.

Auf der konzeptionellen Ebene wären mittelfristig die Erweiterungen mit folgenden Modellkomponenten zu überprüfen:

- ÖV-Kapazitätsauslastung: Aufbereitung der notwendigen Datengrundlagen für die Abbildung der ÖV-Kapazitätsauslastung bei der Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahleffekte im Nachfragemodell und eine entsprechende Erweiterung der Modellkomponenten.
- Modellierung von Auswirkungen des automatisierten Fahrens: Erweiterung der bestehenden Modellkomponenten und Datengrundlage für die Abbildung des automatisierten Fahrens. Die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das Verkehrsaufkommen und den Bedarf an Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz wird in der Verkehrspolitik immer aktiver diskutiert. Auf Grundlage von Nutzungsszenarien für das teil- und vollautomatisierte Fahren, sowie den notwendigen Erweiterungen mit Daten und Modellkomponenten, wäre die Ermittlung von verkehrlichen Auswirkungen mit dem GVM Bern im Rahmen von entsprechenden Szenarien zu empfehlen.
- Abfahrtszeitmodell und dynamische Umlenkmuster: Für die Nachfragenlenkung stellen Massnahmen wie z.B. Mobility Pricing ein wesentliches Instrument dar. Um die Auswirkungen von solchen Massnahmen während des Tages zu untersuchen, stellen die Abfahrtszeitmodelle sowie dynamischen Umlenkmuster sehr wichtige Modellgrundlagen dar, um die zeitliche Verschiebung der Verkehrsnachfrage während des Tages zu ermitteln. Dafür wäre eine Erweiterung des GVM Bern mit solchen Modellkomponenten sehr zu empfehlen, um geeignete Instrumente bei solchen verkehrspolitischen Fragestellungen auch rechtzeitig zur Verfügung zu haben.
- Feinere Abbildung der Interaktion zwischen Fahrzeugen an städtischen Knoten: In diesen Bereich gibt es interessante softwaretechnische Neuentwicklungen (SBA, Simulation Based Dynamic Assignment bzw. Rückstaumodell), welche aber eine entsprechende Datengrundlage und Modellierungsaufwendungen verlangen. Insbesondere in Kombination mit einem dynamischen Modell könnten die Stau- und Überlastungsbereiche wesentlich besser abgebildet werden. Mit diesen Verfeinerungen könnten die städtischen Strassennetze wesentlich genauer abgebildet werden.