

Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern

Modellaktualisierung 2012

M. Vrtic
P. Fröhlich
C. Weis
P. Walker

Schlussbericht

März 2014

transOPTIMA

Friedaustasse 18
4600 Olten

ECOPLAN

Monbijoustrasse 14
3011 Bern

transSOL

Samstagernstrasse 41
8832 Wollerau

Impressum

Auftraggeber

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern

Kerngruppe

Dr. Ulrich Seewer, Abteilung Gesamtmobilität, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Tobias Ramser, Abteilung Gesamtmobilität, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Melanie Lerch, Abteilung Gesamtmobilität, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Ueli Weber, Tiefbauamt, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

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

Christian Aebi, Amt für öffentlichen Verkehr, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Kanton Bern

Matthias Fischer, Amt für Gemeinden und Raumordnung, Justiz-, Gemeinde und Kirchendirektion, Kanton Bern

Auftragnehmer

Projektleitung: Dr. Milenko Vrtic

Stellvertretende Projektleitung: Dr. Philipp Fröhlich

TransOptima GmbH, Olten

Dr. Milenko Vrtic

Dr. Claude Weis

TransSol GmbH, Wollerau

Dr. Philipp Fröhlich

Ecoplan AG, Bern

Philipp Walker

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 2012	3
3.2	Prognosezustand 2030	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	6
5.2	Erwerbstätige und Beschäftigte	6
5.2.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	6
5.2.2	Datenaufbereitung	6
5.3	Auszubildende	7
5.3.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	7
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	9
5.5.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	9
5.5.2	Datenaufbereitung	10
5.6	Freizeitangebot	11
5.6.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	11
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	14
5.10.1	Erhobene Variablen und Datenquellen	14
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 2012	18
7.1	DWV-Modell	19
7.1.1	Erzeugungsmodell	20
7.1.2	Modellparameter	26
7.1.3	Matrixerstellung: Vorgehen	29
7.1.4	Validierung der Matrixstruktur	33
7.1.5	Umlegung und Validierung der Netzbelastungen	40
7.2	Spitzenstundenmodelle	44
7.2.1	Ableitung der räumlichen und zeitlichen Nachfragevariationen	44
7.2.2	Generierung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen	51
8	Modellkalibration	52
8.1	Zählraten	52
8.1.1	MIV	52
8.1.2	ÖV	53
8.2	Kalibration des DWV-Modells	54
8.2.1	Vorgehen	54
8.2.2	Ergebnisse Eckwerte	56
8.2.3	Ergebnisse Netzbelastungen	57
8.3	Kalibration des MSP-Modells	61
8.3.1	Ergebnisse Netzbelastungen	61
8.4	Kalibration des ASP-Modells	65
8.4.1	Ergebnisse Netzbelastungen	65
9	Prognosezustand 2030	69
9.1	Verkehrsangebot	69
9.1.1	MIV	69
9.1.2	ÖV	69
9.2	Strukturdaten	70
9.2.1	Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2030	70
9.2.2	Erwerbstätige	73
9.2.3	Beschäftigte	73
9.2.4	Auszubildende	75
9.2.5	Verkaufsflächen und Einkaufszentren	76
9.2.6	Kulturangebot	76
9.2.7	Freizeitangebot	76
9.2.8	Gastronomie (Hotels und Restaurants)	76
9.2.9	Bestand an Personenwagen	76
9.2.10	Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz	77
9.2.11	Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr	77
9.2.12	Weitere Daten	77
9.3	Berechnung der Verkehrsnachfrage	77
9.4	Ergebnisse	80

9.4.1	Binnenströme.....	80
9.4.2	Binnen- und Aussenströme (Gesamtverkehr).....	83
9.4.3	Spitzenstunden.....	85
9.4.4	Netzbelastungen	85
10	Schlussfolgerung und Empfehlungen	87
11	Literatur.....	89

Abbildungen

Abbildung 1	VISUM: Vorauswahl und Parameter für die Widerstandsfunktion bei der Kenngrössenberechnung	30
Abbildung 2	Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur	33
Abbildung 3	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: alle Fahrtzwecke	36
Abbildung 4	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Arbeit.....	37
Abbildung 5	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Ausbildung.....	37
Abbildung 6	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Einkauf.....	38
Abbildung 7	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Nutzfahrt	38
Abbildung 8	Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Freizeit.....	39
Abbildung 9	VISUM: Parameter für die ÖV-Umlegung.....	41
Abbildung 10	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – MIV (ohne Kalibration)	43
Abbildung 11	Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration).....	43
Abbildung 12	Vorgehen bei der Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen für die Spitzenstunden.....	44
Abbildung 13	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) – Fahrtzweck Arbeit	46
Abbildung 14	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Bildung (WB) und Bildung-Wohnen (BW) – Fahrtzweck Bildung	47
Abbildung 15	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) – Fahrtzweck Einkauf	48
Abbildung 16	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Nutzfahrt (WN) und Nutzfahrt-Wohnen (NW) – Fahrtzweck Nutzfahrt	49
Abbildung 17	Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Sonstiges/Freizeit (WS) und Sonstiges/Freizeit-Wohnen (SW) – Fahrtzweck Freizeit.....	50
Abbildung 18	Berechnung der Spitzenstunden-Matrizen	51
Abbildung 19	Verlässliche MIV-Zähltdaten 2012.....	53
Abbildung 20	Verlässliche ÖV-Zähltdaten 2012.....	54
Abbildung 21	Weglängenverteilung kalibrierter vs. unkalibrierter Modellzustand	57
Abbildung 22	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	58
Abbildung 23	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	59
Abbildung 24	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration).	59
Abbildung 25	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	60
Abbildung 26	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	60
Abbildung 27	Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration).....	61
Abbildung 28	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	62
Abbildung 29	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	62
Abbildung 30	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	63
Abbildung 31	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	63
Abbildung 32	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	64
Abbildung 33	Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration).....	64

Abbildung 34	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – PW (nach Kalibration)	65
Abbildung 35	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)	66
Abbildung 36	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)	66
Abbildung 37	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)	67
Abbildung 38	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)	67
Abbildung 39	Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)	68
Abbildung 40	Relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Zone [%]	73
Abbildung 41	Relative Veränderung der Beschäftigten nach Zonen [%]	75
Abbildung 42	Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2030	79
Abbildung 43	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2030 vs. 2012 – MIV	86
Abbildung 44	Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2030 vs. 2012 – ÖV	86

Tabellen

Tabelle 1	Erwerbsquoten nach Alter und Geschlecht	7
Tabelle 2	Definition der Quelle-Ziel-Gruppen (QZG)	21
Tabelle 3	Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) und massgebende Strukturgrössen	22
Tabelle 4	Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG).....	23
Tabelle 5	Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2010.....	25
Tabelle 6	Modellparameter Verkehrsmittelwahl	27
Tabelle 7	Modellparameter Verkehrsmittel- und Zielwahl	28
Tabelle 8	Komponenten der Nutzenfunktionen.....	29
Tabelle 9	Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quelle-Ziel-Ströme.....	32
Tabelle 10	Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen.....	34
Tabelle 11	Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2010, interzonale Wege [%].....	34
Tabelle 12	Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel.....	35
Tabelle 13	Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2010	35
Tabelle 14	Besetzungsgrade im MIV und Umrechnung Wege in Fahrten	56
Tabelle 15	Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration.....	56
Tabelle 16	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)	57
Tabelle 17	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (MSP).....	61
Tabelle 18	Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP).....	65
Tabelle 19	Anteil der Alterskohorten an der Bevölkerung (ausgewählte Kantone)	71
Tabelle 20	Im Zielszenario berücksichtigte Gebiete	72
Tabelle 21	Unterschiedliches Beschäftigungswachstum einzelner Regionen zwischen 2012 – 2030 (VZA) ..	74
Tabelle 22	Besetzungsgrade 2012 – 2030	79
Tabelle 23	Vergleich des Verkehrsaufkommens 2012 – 2030 (Binnenströme DWV).....	80
Tabelle 24	Vergleich der Fahrtzweckanteile 2012 – 2030 (Binnenströme DWV).....	80
Tabelle 25	Verkehrsaufkommen 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)	81
Tabelle 26	Verkehrsleistung 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV).....	81
Tabelle 27	Anteile am Verkehrsaufkommen 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)..	82
Tabelle 28	Anteile an der Verkehrsleistung 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)	82
Tabelle 29	Verkehrsnachfrage 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnen- und Aussenströme DWV)	83
Tabelle 30	Verkehrsaufkommen 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnen- und Aussenströme DWV)	84
Tabelle 31	Verkehrsleistung 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnen- und Aussenströme DWV) ..	84
Tabelle 32	Veränderung der Modal-Split-Anteile 2012 – 2030 (Binnen- und Aussenströme DWV)	85
Tabelle 33	Eckwerte der Matrizen 2030: MSP und ASP	85

1 Ausgangslage

Eine der zentralen Aufgaben der Verkehrsplanung ist es, mit Hilfe spezieller Verfahren, Methoden und Modelle Aussagen über mögliche zukünftige Verkehrsentwicklungen zu erarbeiten. Die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen führen aber dazu, dass verkehrspolitische Ziele und damit auch die verkehrsplanerischen Aufgaben im Laufe der Jahre immer wieder neu formuliert werden. Während bis zum Ende der achtziger Jahre die Entwicklung von Verkehrsnetzen und Verkehrsanlagen im Vordergrund stand, wird in den letzten Jahren zunehmend die Wirksamkeit von Lenkungsinstrumenten zur gezielten Nachfragebeeinflussung untersucht.

Durch die veränderten verkehrspolitischen Ziele hat die Komplexität der Aufgaben der Verkehrsplanung und der von ihr benutzten Instrumente ebenfalls zugenommen. Die Suche nach geeigneten Beeinflussungsinstrumenten und Massnahmen für eine gezielte Nachfrageaufteilung und -steuerung hat dazu geführt, dass Verkehrsmodelle zu einem unverzichtbaren Verkehrsplanungsinstrument geworden sind, sei es für die Analyse kleinräumiger Fragestellungen (wie z.B. Knotenstromanalysen) oder zur Ermittlung grossräumiger Veränderungen (wie z.B. Auswirkungen von Veränderungen in der Siedlungsstruktur).

Das Gesamtverkehrsmodell des Kantons Bern (GVM BE) wurde im Mai 2010 fertig gestellt und beinhaltet Modellzustände für die Jahre 2007 und 2030, wobei der Modellzustand 2007 auf Erhebungsdaten kalibriert ist. Der Prognosezustand 2030 beinhaltet zwei Szenarien: ein Trend- und ein Zielszenario.

Seit seiner Erstellung wurde das GVM BE vielseitig genutzt und für verschiedene Fragestellungen eingesetzt. Damit das Modell weiterhin ein zuverlässiges und aussagekräftiges Planungsinstrument bleibt, muss es periodisch auf die geänderten Netz-, Siedlungs- und Nachfragezustände aktualisiert werden. Der Aktualisierungsbedarf bezieht sich sowohl auf die Neukalibration des veränderten Ist-Zustands als auch auf die Anpassung der Annahmen in den Prognosezuständen, mit folgenden Schwerpunkten:

- Anpassung der Angebotsveränderungen und Netzbelastungen im Ist-Zustand (nach 2007);
- Implementierung der Verhaltensveränderungen: Mikrozensus 2010 (MZMV 2010) und *Stated Preference* (SP) Befragungen 2010;
- Anpassung der Netz- und Siedlungsentwicklung bis 2030 (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 2010 und der SP-Befragungen 2010 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 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 folgenden Gründen durchgeführt und von der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVE) in Auftrag gegeben:

- aktuellere Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (MZMV 2010);
- neue Parameterschätzung aus den SP-Befragungen 2010 und dem MZMV 2010 (Weis *et al.*, 2012);
- Übernahme der neu geschätzten Modellansätze;
- das Basismodell 2007 ist für die einzelnen Anwendungen nicht mehr aktuell und verlangt eine Anpassung auf neuere Zählzeiten;
- neue Bevölkerungsprognosen des Bundesamts für Statistik (2010) – Implementierung der neuen Bevölkerungsprognosen in das Prognosemodell 2030, da der bestehende Prognosezustand auf den BFS-Prognosen 2006 basiert, die nicht mehr als aktuell betrachtet werden können;
- Angebotsveränderungen nach 2007 insbesondere im ÖV, wie z.B. Lötschberg-Basistunnel oder Tramnetz Bern, aber auch im MIV, z.B. Neufeldtunnel.

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 2012 im MIV und ÖV und die Erstellung der MIV- und ÖV-Prognosezustände 2030 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 2012

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;
- fahrtzweckspezifisches DWV-Modell mit folgenden Fahrtzwecken: Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit;
- nicht auf die Querschnittszählungen kalibrierte Quelle-Ziel-Matrizen für Fuss- und Veloverkehr (DWV);
- Nachfragemodell (VISEVA) für den durchschnittlichen Werktagsverkehr.

3.2 Prognosezustand 2030

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;
- fahrtzweckspezifisches DWV-Modell mit folgenden Fahrtzwecken: Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit;
- Nachfragemodell (VISEVA) für den durchschnittlichen Werktagsverkehr.

4 Daten und Modelle

Die Modellaktualisierung baut im Wesentlichen auf folgenden Daten auf:

- Vorhandene Modellzustände des GVM BE;
- Nationales Personenverkehrsmodell 2005 und 2030;
- Nationales Güterverkehrsmodell 2005;
- MZMV 2010;
- Modellparameter aus dem Projekt „Schätzung der Modellparameter für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn“ (Weis, Vrtic und Fröhlich, 2012);
- HAFAS-Fahrplandatenbank 2012;
- 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 werden ebenfalls die Strukturdaten aktualisiert. Grundsätzlich wird eine Aktualisierung auf das Jahr 2012 vorgenommen, sofern eine neue Datengrundlage zur Verfügung steht. Die Aufteilung der Daten auf die Verkehrsmodellzonen werden mit Ausnahmen der Abo-Daten aus dem bisherigen Strukturdatensatz übernommen. 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 2011 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner 15 – 24 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2011 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner 25 – 59 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2011 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner 60 – 79 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2011 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Einwohner > 80 Jahre pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2011 (wirtschaftlicher Wohnsitz);
- Total Einwohner pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2011 (wirtschaftlicher Wohnsitz).

Für die Bevölkerungsdaten wurde nicht mehr die gleiche Datengrundlage verwendet wie im ursprünglichen Strukturdatensatz. Dies hat Auswirkungen auf die Aufbereitung. Als Grundlage für die Einwohnerzahlen nach Alterskategorien dienen die Daten aus der Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP). Da zum Zeitpunkt der Datenaufbereitung keine aktuelleren Daten bzw. keine Grundlagen für eine Hochrechnung verfügbar waren, wurden die Bevölkerungsdaten aus dem Jahr 2011 für 2012 unverändert übernommen.

5.1.2 Aufbereitung¹

Die Daten aus STATPOP wurden im Hektarraster vom Bundesamt für Statistik bereitgestellt. Die Einwohnerzahlen für die einzelnen 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 im Hektarraster zuordnen lässt, entsprechend der Bevölkerungsanteile auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen verteilt. Die gesamte Einwohnerzahl für das Jahr 2012 ergibt sich aus der Summe der einzelnen Alterskategorien.

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 2011 (welche, analog zu den Bevölkerungszahlen, für 2012 unverändert übernommen wurden);
- Beschäftigte: Anzahl Vollzeitäquivalente im 2. Sektor und 3. Sektor pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012.

Angaben zu den Erwerbstätigen wurden mit Hilfe der Wohnbevölkerung und Erwerbsquoten für die verschiedenen Altersklassen differenziert nach Geschlechtern gewonnen. Informationen zu den Vollzeitäquivalenten sind im Datensatz der Betriebszählung 2008 (Hektarrasterdatensatz) enthalten. Als Grundlage für die Hochrechnung auf das Jahr 2012 wurden die Zahlen zur Beschäftigungsentwicklung der Grossregionen aus der Beschäftigungsstatistik (BESTA) verwendet.

5.2.2 Datenaufbereitung²

Das Vorgehen für die Aufbereitung der Erwerbstätigen entspricht demjenigen der Bevölkerungszahlen. Die auf Basis des Hektarrasters gelieferten Zahlen zur Wohnbevölkerung wurden zu den einzelnen Verkehrsmodellzonen zusammengefasst. Mit Erwerbsquoten für alle Altersklassen differenziert nach Geschlechtern unter Berücksichtigung der Arbeitslosenquote wurden anschliessend die Erwerbspersonen berechnet. Die entsprechenden Erwerbsquoten sind in Tabelle 1 dargestellt. Zusätzlich wurde von einer einheitlichen Arbeitslosenquote von 2.3% ausgegangen.

¹ Die Daten zur Bevölkerung, Beschäftigten und Erwerbstätigen wurden durch die Firma regioConcept AG aufbereitet und Ecoplan zur Verfügung gestellt.

² Ebd.

Tabelle 1 Erwerbsquoten nach Alter und Geschlecht

Alter	Männer	Frauen
0 – 14	0.0%	0.00%
15 – 24	69.8%	66.5%
25 – 59	94.9%	76.3%
60 – 79	28.8%	13.0%
> 80	3.8%	2.7%

Die Daten aus der Betriebszählung wurden vom Bundesamt für Statistik ebenfalls auf Hektarraster-Basis bereitgestellt und mussten auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen aggregiert werden. Die Hochrechnung der einzelnen Vollzeitäquivalente auf das Jahr 2012 erfolgte auf Basis der regionalen Beschäftigungsentwicklung (Grossregionen gemäss BFS) im 2. bzw. 3. Sektor.

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 Schulzeit müssen ebenfalls die Schüler der Maturitätsklassen (Sekundarstufe II) sowie der höheren 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:

- Anzahl Standortschüler (obligatorische Schule, Sek. II, höhere Berufsschulen, exkl. Kindergarten) pro Verkehrsmodellzone im Schuljahr 2011/12;
- Anzahl Studenten an Universitäten (üblicher Vorlesungsstandort) pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012;
- Anzahl Studenten an Fachhochschulen (Standort der Ausbildungsstätte) pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012.

Die Anzahl der Standortschüler 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. Zum Zeitpunkt der Datenaufbereitung waren die aktuellen Zahlen für das Jahr 2012 noch nicht veröffentlicht. Deshalb wurden die Daten 2011 für 2012 übernommen. Für die Zuordnung der Schülerzahlen zu den Verkehrsmodellzonen wurden zudem die Vollzeitäquivalente (Beschäftigte) im Bereich Bildung aus der Betriebszählung 2008 (Hektarrasterdaten) verwendet.

5.3.2 Datenaufbereitung

Da in den Datengrundlagen (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. Für eine punktgenaue Zuteilung der Standortschüler zu den

Verkehrsmodellzonen muss jede einzelne der ca. 1'500 Schulen im Modellgebiet manuell einer Verkehrsmodellzone zugewiesen werden. Aufgrund der grossen Komplexität und des enormen Aufwandes, der mit einer manuellen Zuteilung aller Schulen zu Verkehrsmodellzonen verbunden ist, wurden einzig die Standortschüler in der Stadt Bern exakt zugeteilt. Für alle anderen Gemeinden im Modellgebiet wurde die Anzahl Standortschüler anhand der Vollzeitäquivalente im Bereich Bildung (aus der Betriebszählung 2008) auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen verteilt.

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 der 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 befriedigend gelöst werden.

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 2012;
- Verkaufsfläche in m² in Einkaufszentren (> 7'000 m²) pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012.

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 2012 wurden aus der Datenbank der verkehrserzeugenden Anlagen im Kanton Bern des beco jene Projekte identifiziert, die zwischen 2007 und ca. Mai 2012 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 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 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Kinos pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag und Verkehrsmodellzone für das Jahr 2011;
- Anzahl Theater und Ballettgruppen pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- Anzahl Stellen in Theater und Ballettgruppen (Vollzeitäquivalente) pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Theater für die Saison 10/11;
- Anzahl Museen pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) im Bereich Museen pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Museen für das Jahr 2007;
- Anzahl botanische und zoologische Gärten sowie Naturparks pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2005;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- Anzahl Orchester, Chöre und Musiker pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) im Bereich Orchester, Chöre und Musiker pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- Anzahl Bibliotheken und Archive pro Verkehrsmodellzone für das Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Bibliotheken und Archiven pro Verkehrsmodellzonen für das Jahr 2008.

Sämtliche Zahlen zur Anzahl kultureller Einrichtungen und zur Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in den einzelnen Bereichen stammen aus der Betriebszählung 2008. Die Angaben zu den Kinobesuchern für das Jahr

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

2011 stammen aus der Film- und Kinostatistik des BFS (kantonale Daten⁴). Als Quelle für die durchschnittliche Anzahl Theaterbesucher dient die Zuschauerstatistik für die Saison 2010/11 des schweizerischen Bühnenverbandes. Der Verband Museen Schweiz verfügt zudem über Besucherzahlen der Museen (inkl. Zoos und botanische Gärten) der gesamten Schweiz für das Jahr 2007.

5.5.2 Datenaufbereitung

Sämtliche Angaben zu der Anzahl Stellen und Betrieben wurden aus der Betriebszählung 2008 (Hektarraster) entnommen und auf die Verkehrsmodellzonen aggregiert. Eine Hochrechnung auf 2012 wurde aufgrund der 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 Kinosälen erweitert. 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 Solothurn⁵ 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 Betriebszählung enthaltenen Standorte, den Verkehrsmodellzonen zugeteilt. Dabei hat sich gezeigt, dass viele kleinere Museen nicht in der Betriebszählung erfasst wurden. 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.

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

⁵ 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.

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 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Sportanlagen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Durchschnittliche Anzahl Besucher in grösseren Sportstätten (Fussballstadien und Eishockeystadien) an einem Werktag, Saison 2011/12;
- Anzahl Besucher in Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen der Stadt Bern, Jahr 2011⁶.

Die Anzahl der Sportstätten und der Stellen stammen aus der Betriebszählung 2008 (Hektarrasterdaten). Besucherzahlen der grossen Sportstätten werden von Sportverbänden (SFV und SIHA) erhoben.⁷ Die Eintrittszahlen zu den städtischen Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen werden im statistischen Lexikon der Stadt Bern (2011) 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 sind. Die durchschnittliche Eintrittszahl pro Tag ergab sich somit durch die simple Division der Jahreseintritte durch 365 Tage. Der ungewichtete Durchschnittswert wurde anschliessend den entsprechenden Verkehrsmodellzonen zugeordnet.

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

⁶ Weitere Freizeitangebote (z.B. Naturpärke oder Campingplätze) sind unter Kultur oder Restaurant/Hotel aufgeführt

⁷ Zuschauerstatistik der Saison 2011/12 des Schweizerischen Fussballverbands für Vereine der Nationalliga A und B (YB,, FC Thun, Biel/bienne cl) und Zuschauerstatistik des Schweizerischen Eishockeyverbandes der regulären Saison 2011/12 (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 einen Hinweis auf die Attraktivität dieser Zone im Freizeitverkehr. Um das Gastronomieangebot innerhalb der Zonen möglichst gut abzubilden, werden im Rahmen der Strukturdatenerhebung folgende Variablen ausgewiesen:

- Anzahl Restaurants pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Restaurants pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Bars pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Bars pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Diskotheken pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Diskotheken pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Kantinen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Kantinen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Hotels pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Hotels pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Durchschnittliche Anzahl Hotelankünfte pro Tag in Verkehrsmodellzone im Jahr 2011;
- Durchschnittliche Anzahl Übernachtungen pro Tag in Verkehrsmodellzone im Jahr 2011;
- Anzahl Campingplätze pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) auf Campingplätzen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl weiterer Beherbergungsstätten pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008;
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in weiteren Beherbergungsstätten pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2008.

Aus der Betriebszählung können zu allen Angeboten im Gastronomiebereich die Anzahl Betriebe sowie die Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) gewonnen werden. Zudem wurde eine Spezialauswertung der HESTA (Hotellerie-statistik) 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 Betriebszählung 2008 entnommen und aggregiert werden. Eine Aufdatierung auf das Jahr 2011 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

verteilt. Diese geschätzten Zahlen wurden wiederum mit Hilfe der Vollzeitäquivalente 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.

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 2012.

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 2012 zur Verfügung. Die Daten sind allerdings nur auf Ebene der Postleitzahlen vorhanden und mussten deshalb den Gemeinden zugewiesen werden. Da die Postleitzahl nicht immer eindeutig einer Gemeinde zugewiesen werden kann (teilweise gilt die Postleitzahl für mehrere Gemeinden oder nur für einen Bezirk einer Gemeinde), konnte dieser Prozess nicht vollumfänglich automatisiert werden. Anschliessend wurde die Zahl der Personenwagen pro Gemeinde aufsummiert und entsprechend der Bevölkerungsanteile auf die Verkehrsmodellzone aufgeteilt⁸.

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

⁸ Bei mehr als 0.85 und weniger als 0.4 Personenwagen pro Einwohner wurden die Zahlen auf ihre Plausibilität überprüft.

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 Tarifverbände libero (Berner Mittelland und Solothurn), zigzag (Biel, Grenchen, Seeland und Berner Jura) und BeoAbo (Berner Oberland) eine wichtige Rolle. Im Datensatz werden deshalb folgende Angaben zum Abobesitz gemacht:

- Anzahl Generalabonnements pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012;
- Anzahl Halbtax-Abonnements pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012;
- Anzahl Jahresabonnements der Tarifverbunde libero, zigzag und BeoAbo pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012;
- Anzahl Monatsabonnements der Tarifverbunde libero, zigzag und BeoAbo pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2012.

Angaben zur Anzahl GA-, Halbtax-Abonnements und regionalen Abonnements wurden von der SBB aus der Kundendatenbank nach Postleitzahl geliefert. Die SBB-Daten wurden durch Angaben zu Monats- und Jahresabos von libero, zigzag und BeoAbo ergänzt, da bei diesen Abonnements nicht sämtliche Verkaufsdaten in der Kundendatenbank der SBB enthalten sind (Ticketkauf am Schalter oder spezifischen Verkaufsstellen)

5.10.2 Datenaufbereitung

Die Abonnementsdaten wurden mehrheitlich auf Basis der PLZ zugestellt. Wiederum mussten in einem ersten Schritt die PLZ den Verkehrsmodellzonen zugeordnet werden. Die Aufteilung innerhalb der VMZ mit identischer Postleitzahl erfolgte auf Basis der Wohnbevölkerung.

Die in der SBB-Datenbank verfügbaren Verkaufszahlen zum ABO zigzag umfassen nur etwa 30% der Verkäufe. Abonnemente, die direkt durch die STI verkauft werden, sind in den SBB-Verkaufszahlen nicht enthalten. Die Verkaufszahlen des STI sind jedoch nur für das gesamte Modellgebiet erhältlich und können nicht auf die einzelnen PLZ heruntergebrochen werden. Die Verteilung der STI-Verkaufszahlen auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen erfolgt auf Basis der SBB-Daten (Hochskalierung um ca. 30%)

Im Gegensatz zu den Jahresabonnements sind die Monatsabonnements der einzelnen Regionalen Verkehrsträger ebenfalls nur für das gesamte Modellgebiet verfügbar. Die Monatsabonnements wurden auf Basis der Abobesitz-Anteile der Bevölkerung (differenziert nach Raumtyp) aus dem Mikrozensus gemäss der Bevölkerung auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen aufgeteilt. Hierbei wurde eine zusätzliche Gewichtung verwendet, wodurch VMZ mit hohem Jahresabo-Besitz stärker gewichtet wurden.

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 Datenset (BFS) enthalten:

- Anzahl (Stand-)Seilbahnen pro Verkehrsmodellzone im Jahr 2007 (nur Kt. Bern);
- Kapazität pro Stunde der in der 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 Anschlussseilbahnen 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 2010);
- Anzahl Pflagetage im Jahr 2010.

Für die Zuweisung der Anzahl Pflagetage wurden primär die Daten der BAG aus der Publikation „Kennzahlen der Schweizer Spitäler 2010“ verwendet. Zudem führt der schweizerische Spitalverband Hplus einen umfangreichen Datensatz, in dem unter anderem auch die Anzahl Pflagetage pro Klinik ausgewiesen werden. Dieser Datensatz stand aber nur für 2007 zur Verfügung. Für jene Kliniken, welche in der Statistik des BAG nicht aufgeführt sind, wurden diese Zahlen verwendet. Die Kliniken und deren Pflagetage wurden aufgrund der angegebenen Adressen von Hand der entsprechenden Verkehrsmodellzone zugewiesen.

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 2011;
- Tägliche Anzahl Passagiere, nicht gewerbsmässiger Flugverkehr im Jahr 2011;
- Total täglicher Anzahl Passagiere im Jahr 2011.

Jährliche Passagierdaten können von dem Geschäftsbericht der Betreiberfirma Alpar 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 2007. In diesen Netzzuständen wurden die gesammelten Netzfehler aus durchgeführten Modellanwendungen sowie alle relevanten Angebotsveränderungen zwischen 2007 und 2012 eingebaut.

6.1 MIV-Netz

Als Ausgangszustand wird das Netz 2007 mit allen Korrekturen, die bis zum Anwendungsfall „Autobahnzubringer Oberaargau“ eingepflegt wurden, übernommen. In dieses Netz wurde eine Liste von 58 Massnahmen eingearbeitet, welche zwischen 2007 und 2012 implementiert worden sind.

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 2012 wurde aufbereitet und auf das Netz 2030 geroutet. Wegen teilweise geänderten Haltestellennummern (ca. 500) und weil diese einzeln manuell angepasst werden mussten, bedeutete dieser Schritt einen recht grossen Aufwand. Der Vorteil dieses Vorgehens ist aber, dass alle Zonenanbindungen erhalten bleiben und die Haltestellenkoordinaten der Fahrpläne 2007 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 städtischen ÖV-Betrieben oder Zugskategorien möglich.

7 Nachfragemodell 2012

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 Zählzahlen im Modellgebiet kalibriert. Durch die Umlagen dieser Matrizen wird es möglich, den Einfluss des SGV auf das Routenwahlverhalten im MIV bei Modellanwendungen zu berücksichtigen. Die Segmentierung wird nach den drei SGV-Klassen Lieferwagen, LKW und Last-/Sattelzüge differenziert.

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 2, 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_i) 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 2010 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.*, 2012), 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 2010 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 Zielverkehrsaufkommens 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 2 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 2 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 (Mobilitäts-anforderungen).

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 3 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 3 Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) und massgebende Strukturgrössen

QZG	Quelle-Ziel-Gruppe	Strukturgrösse (SQ _i) der Quellverkehrsmodellzone Q _i	Strukturgrösse (SZ _j) der Zielverkehrsmodellzone 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 2010 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 4 dargestellt.

Tabelle 4 Erzeugungsraten nach Quelle-Ziel-Gruppe (QZG)

QZG	Erwerbs- tätige	Auszu- bildende	Einwohner < 15 J.	Einwohner 16 – 25 J.	Einwohner 26 – 55 J.	Einwohner 56 – 80 J.	Einwohner > 80 J.
WA, AW	0.54						
WB, BW		0.86					
WE, EW			0.17	0.22	0.39	0.62	0.67
WN, NW	0.16						
WS, SW			0.64	0.59	0.53	0.65	0.56
AS, SA	0.24						
ES, SE			0.05	0.09	0.10	0.15	0.16
NS, SN	0.07						
SS			0.11	0.19	0.07	0.08	0.06

Die Erzeugungsraten besagen, dass gemäss MZMV 2010 durchschnittlich:

- 1.57 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 1.72 Ausbildungswege pro Auszubildendem und Werktag;
- 0.44 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag;
- 1.22 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag;
- 1.15 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag

zurückgelegt werden. Insgesamt werden durchschnittlich 3.88 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 ((Einwohner + Arbeitsplätze)/Fläche) > 6) erhalten damit eine höhere (Werte multipliziert mit Faktor 1.43) und weniger dicht besiedelte Zonen eine tiefere (Werte multipliziert mit Faktor 0.9) 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 zielseitig 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 des jeweiligen Verkehrsbezirkes e bestimmt und anschliessend das Verkehrsaufkommen für harte und weiche Randsummenbedingungen (RSB) ermittelt.

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

ER Erzeugungsrate 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 2010 verglichen. Das Ergebnis ist in Tabelle 5 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass in den Zonen innerhalb des Modellperimeters an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 6.37 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spezifisches Verkehrsaufkommen von 3.85 Wegen pro Person. Damit stimmen die anhand der Verkehrsaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppen ermittelten Fahrtzweckanteile gut mit den Ergebnissen des MZMV 2010 überein.

Tabelle 5 Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZMV 2010

	Berechnete Anzahl Wege [Mio/Werktag]	Anteil der berechneten Wege [%]	Anteil der Wege im MZMV 2010 [%]
Arbeit	1.43	22.4	22.6
Ausbildung	0.51	8.0	7.9
Einkauf	1.50	23.5	22.7
Nutzfahrt	0.18	2.8	3.1
Freizeit	2.76	43.2	43.8
Total	6.37	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 2010, der Stated-Preference-Befragung 2010 und den in vorherigen Arbeitsschritten erstellten Netzmodellen. Berücksichtigt werden aus dem MZMV 2010 alle Binnenwege der innerhalb des Modellperimeters wohnhaften Personen. Damit stehen 41'435 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;
- für ein Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell.

Die Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells erfolgt anhand der Parameter der SP-Befragungen 2010 und des MZMV 2010. Es wurde jeweils ein fahrtzweckspezifisches Modell für die folgenden vier Fahrtzwecke geschätzt: Pendler, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

VM	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Bildung	Einkauf	Nutzfahrt t	Freizeit
zu Fuss	Konstante	1.610	0.643	1.030	1.990	1.370	1.450
	Zeit [min]	-0.066	-0.056	-0.037	-0.073	-0.066	-0.063
Velo	Konstante	0.860	1.500	2.270	0.559	1.700	0.461
	Zeit [min]	-0.086	-0.109	-0.147	-0.081	-0.120	-0.077
MIV	Fahrtzeit [min]	-0.036	-0.045	-0.037	-0.033	-0.043	-0.034
	Parkplatzsuchzeit [min]	0.000	0.000	-0.037	0.000	-0.066	-0.014
	Treibstoffkosten [CHF]	-0.125	-0.146	-0.196	-0.119	-0.097	-0.129
	Strassengebühr [CHF]	-0.103	-0.131	-0.099	-0.068	-0.087	-0.110
	Parkplatzkosten [CHF]	-0.157	-0.133	-0.159	-0.090	-0.106	-0.234
	Verspätung [% > 10 min]	-2.230	-5.500	-2.350	-0.358	-5.740	-1.790
	Raumtyp: Stadt*	-0.399	-0.273	0.000	-0.444	-0.490	-0.651
	PW-Verfügbarkeit: immer	0.790	0.678	0.619	0.689	1.030	0.880
ÖV	Konstante	-1.200	-2.330	2.020	-1.700	-3.910	-1.500
	Fahrtzeit [min]	-0.033	-0.036	-0.046	-0.028	-0.029	-0.034
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.066	-0.056	-0.037	-0.073	-0.066	-0.063
	Kosten [CHF]	-0.125	-0.146	-0.196	-0.119	-0.097	-0.129
	Umsteigen	-0.292	-0.247	-0.146	-0.225	-0.353	-0.358
	Verspätung [% > 10 min]	-2.230	-5.500	-2.350	-0.358	-5.740	-1.790
	Auslastung: hoch**	-0.262	-0.262	-0.325	-0.205	-0.153	-0.313
	Auslastung: überlastet**	-0.606	-0.310	-0.835	-0.659	-0.962	-0.770
	Takt [min]	-0.008	-0.018	-0.022	0.000	-0.009	-0.006
	Alter (logarithmiert)	0.393	0.737	0.000	0.414	1.080	0.421
	Halbtax	0.484	0.247	0.000	0.527	0.000	0.708
	Verbundabo	1.280	1.760	0.000	1.080	1.200	0.905
	GA	1.240	1.660	0.000	1.320	1.030	1.220

* im Vergleich mit der Referenzkategorie: Agglomeration oder ländliche Region

** im Vergleich mit der Referenzkategorie: tief oder mittel

Im nächsten Schritt wird unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Verkehrsmittelwahlmodells das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt. Um die Modellschätzung durchzuführen, müssen neben den gewählten Alternativen (Ziel- und Verkehrsmittelwahl Kombination) aus dem MZMV 2010 auch andere, nicht gewählte Alternativen erzeugt und dargestellt werden. Dafür werden aus den Netzmodellen jedem gewählten Ziel weitere zehn nicht gewählte Ziele zugespielt. Diese Ziele wurden nach Distanzklassen ausgewählt – ein Ziel innerhalb der Quell-Gemeinde, drei Ziele unter dem 0.7-fachen, drei Ziele zwischen dem 0.7- und dem 1.3-fachen und drei Ziele über dem 1.3-fachen der Distanz des berichteten Ziels. Abschliessend werden für jede der elf Alternativen die Angebotsvariablen für die vier Verkehrsmittel MIV, ÖV, Fuss und Velo ermittelt. Für jeden Fahrtzweck wird eine eigene Nutzenfunktion für das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Modell aufgestellt. 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 7 dargestellt.

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	
MIV-Weg	Konstante	-0.11	-0.07	-1.36	-1.23	0.47	0.66	0.78	0.37	0.25	0.38	
	Fahrtzeit [min]	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	
	Fahrtkosten [CHF]	-0.15	-0.15	-0.20	-0.20	-0.12	-0.12	-0.10	-0.10	-0.13	-0.13	
	PW-Besitz	0.68	0.68	0.62	0.62	0.69	0.69	1.03	1.03	0.88	0.88	
ÖV-Weg	Konstante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Alter [Jahre] (log.)	0.21	0.21	-	-	0.41	0.41	1.08	1.08	0.42	0.42	
	Fahrtzeit [min]	-0.04	-0.03	-0.05	-0.05	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	
	Halbtax	0.25	0.25	-	-	0.53	0.53	-	-	0.71	0.71	
	Verbundabo	1.76	1.76	-	-	1.08	1.08	1.20	1.20	0.91	0.91	
	GA	1.66	1.66	-	-	1.32	1.32	1.03	1.03	1.22	1.22	
	Fahrtkosten [CHF]	-0.15	-0.13	-0.20	-0.20	-0.12	-0.12	-0.10	-0.10	-0.13	-0.13	
	Zu- und Abgangszeit	-0.06	-0.06	-0.04	-0.04	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	
Umsteigen	-0.25	-0.31	-0.15	-0.15	-0.23	-0.23	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36		
Veloweg	Konstante	-0.48	-0.43	0.13	0.25	-0.34	-0.14	-0.35	-0.16	-0.43	-0.26	
	Fahrtzeit [min]	-0.11	-0.11	-0.15	-0.15	-0.08	-0.08	-0.12	-0.12	-0.08	-0.08	
	Höhendifferenz [m]**	-0.01	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	
Fussweg	Konstante	0.78	0.32	0.66	0.65	1.98	1.98	0.74	0.46	1.65	1.42	
	Gehzeit [min]	-0.06	-0.06	-0.04	-0.04	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	
	Höhendifferenz [m]**	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	
Struktur- daten	Einwohner*	-	-	-	-	-	0.70	-	-	-	0.83	
	Einwohner < 25 J.*	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	-	
	Erwerbstätige*	-	0.72	-	-	-	-	-	0.79	-	-	
	Beschäftigte*	0.88	-	-	-	-	-	0.36	-	-	-	
	Ausbildungsplätze*	-	-	0.32	-	-	-	-	-	-	-	
	Verkaufsfläche*	-	-	-	-	0.51	-	-	-	-	-	
	Freizeitbesucher*	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27	-	
Stichprobengrösse	5'625	4'368	1'795	1'521	7'430	4'204	836	399	9'037	6'220		
Adj. ρ^2	0.175	0.130	0.072	0.019	0.252	0.199	0.197	0.190	0.149	0.149		

* Die Attraktionsvariablen wurden für die Verwendung in den Nutzenfunktionen 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 1/6 (zu Fuss) bzw. 1/14 (Velo) des Reisezeit-Parameters.

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.

$$V_{ijk} = \text{Konstante} + \sum_i \beta_{\text{Verkehrsangebot}_i} X_{\text{Verkehrangebot}_i} + \sum_j \beta_{\text{Attraktion}_j} X_{\text{Attraktion}_j} + \sum_k \beta_{\text{Soziodem}_k} X_{\text{Soziodem}_k}$$

Damit werden in 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 8 dargestellt.

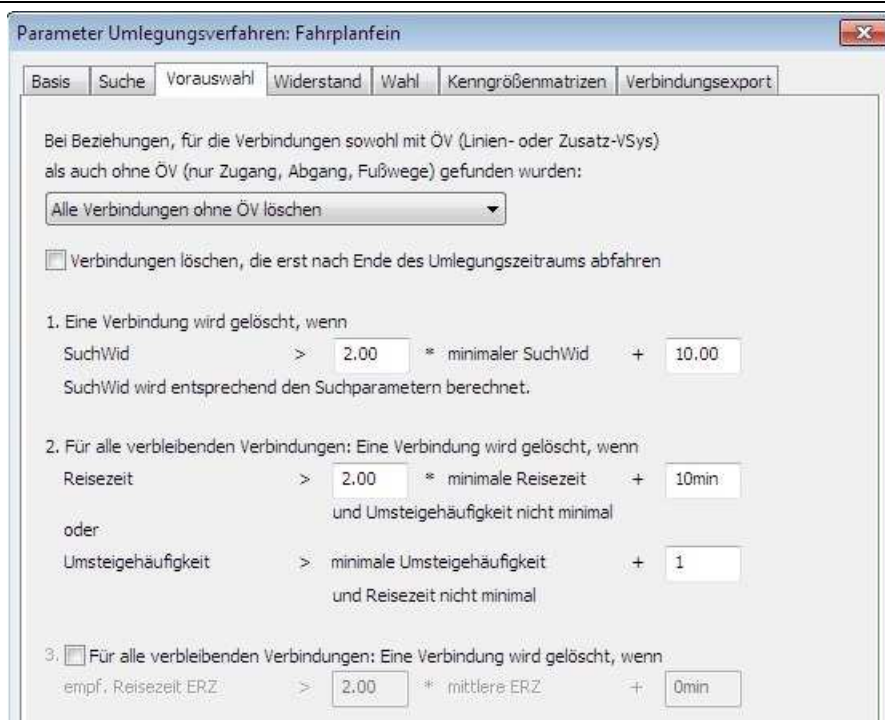
Tabelle 8	Komponenten der Nutzenfunktionen			
	MIV	ÖV	Velo	zu Fuss
Verkehrsangebot	Reisezeit	Reisezeit	Reisezeit	Reisezeit
	Reisekosten	Reisekosten	Höhe	Höhe
	Parkplatzsuchzeit	Zugangszeit		
	Parkplatzkosten	Abgangszeit Umsteigezahl Takt		
Soziodemographie	PW-Besitz	Abonnemente		
		Alter		
Attraktion	Einwohner	Einwohner	Einwohner	Einwohner
	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze
	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze
	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche
	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot
	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige
	Zonentyp	Zonentyp		

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-Angebotskenngrossen werden die gleichen Parametereinstellungen verwendet wie bei der Umlegung. Ausnahmen sind die Vorauswahl des Verbindungssets und die Bewertung der Zugangs- und Gehzeiten in der Widerstandsfunktion. Da bei der Berechnung der Kenngrössen die prozentualen Anbindungsanteile in VISUM nicht berücksichtigt werden konnten, war eine höhere Bewertung der Zugangs- und Gehzeiten sinnvoll, um die Nachfrage über mehrere Anbindungen zu verteilen. Die verwendeten Einstellungen sind in Abbildung 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 und Parameter für die Widerstandfunktion bei der Kenngrössenberechnung



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.

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

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.

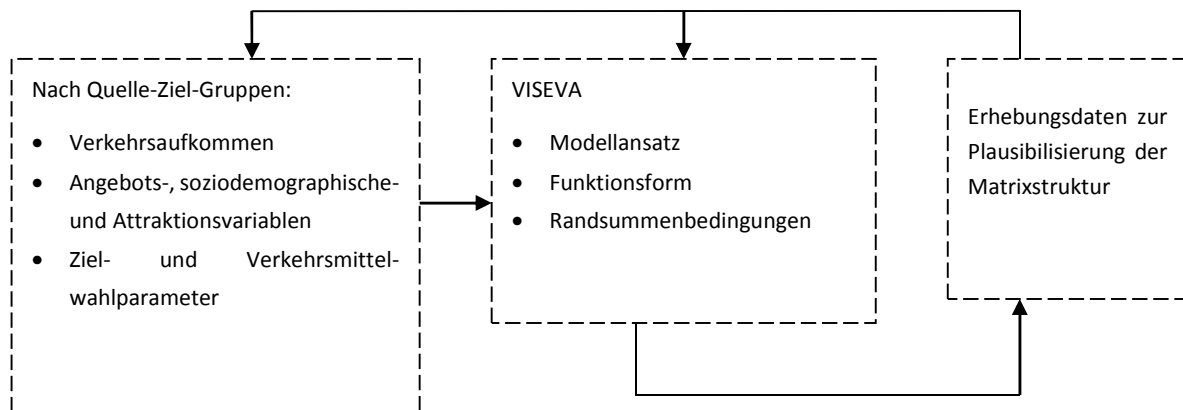
Charakteristisch für das Modell ist, dass die Verkehrsverteilung und die Verkehrsaufteilung simultan und nach gleichen Grundsätzen vorgenommen werden. In allen Fällen ergeben sich für die gesuchten Verkehrsströme n-lineare Gleichungssysteme (bei harten Randsummenbedingungen) oder Ungleichungen (bei weichen 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 9).

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

Die Validierung der Binnenverkehrsmatrix wird anhand des MZMV 2010 durchgeführt. Die Überprüfung und Eichung der Aufteilung zwischen inter- und intrazonalen Fahrten, der Modal-Split-Anteile und der Reiseweiteverteilung ist im Folgenden beschrieben.

Tabelle 10 zeigt die Eckwerte der berechneten inter- und intrazonalen Matrizen im Binnenverkehr für alle vier Verkehrsmittel und nach Fahrtzwecken geordnet.

Tabelle 10 Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen

[Mio. Wege / Werktag]					
Alle Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0.81	0.21	0.13	0.29	1.43
Ausbildung	0.06	1.33	0.09	0.23	0.51
Einkauf	0.76	1.43	0.11	0.49	1.50
Nutzfahrt	0.14	0.02	0.01	0.02	0.18
Freizeit	1.56	0.26	0.21	0.71	2.76
Summe	3.33	0.76	0.54	1.74	6.37
Interzonale Wege	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Summe
Arbeit	0.78	0.20	0.11	0.13	1.22
Ausbildung	0.06	0.13	0.07	0.08	0.35
Einkauf	0.73	0.14	0.09	0.24	1.19
Nutzfahrt	0.13	0.01	0.01	0.01	0.17
Freizeit	1.51	0.25	0.17	0.36	2.29
Summe	3.20	0.74	0.45	0.83	5.21
Anteil interzonale Wege [%]					
WISEVA	96	97	81	48	82
MZMV 2010	89	97	71	37	74

Von den ca. 5.2 Mio. interzonalen Wegen werden ca. 62% mit dem MIV, 14% mit dem ÖV, 9% mit dem Velo und 16% zu Fuss zurückgelegt. Wird der Modal Split nach Fahrtzwecken betrachtet, ist der ÖV-Anteil bei Pendler- (17%) und insbesondere bei Ausbildungswegen (38%) höher und bei den übrigen Fahrtzwecken tiefer als im Gesamtdurchschnitt. Die Modal-Split-Anteile nach Fahrtzwecken und Wegen sowie der Vergleich mit dem MZMV 2010 sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2010, interzonale Wege [%]

	MIV		ÖV		Velo		Fuss	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	63.8	64.1	16.5	17.8	8.9	9.0	10.8	9.0
Ausbildung	17.2	17.9	38.2	35.8	20.3	18.9	24.3	27.4
Einkauf	61.2	60.3	11.4	11.7	7.4	6.8	20.0	21.2
Nutzfahrt	80.6	81.6	9.0	9.9	3.6	5.0	6.9	3.6
Freizeit	65.7	66.5	11.0	11.4	7.5	7.2	15.8	14.9
Alle Fahrtzwecke	61.5	61.3	14.1	14.9	8.5	8.3	15.9	15.5

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 12). 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 13). Wie erwartet werden vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt. Diese Wege haben einen höheren Anteil an den LV-Weegen sowie am intrazonalen Verkehr. Dies wird unter anderem durch die räumliche Verteilung der Attraktionsgrössen (Ausbildungsplätze und Einkaufszentren bzw. Einkaufsstrassen) beeinflusst. 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 12 Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel

[Mio Pkm]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Alle Wege					
Arbeit	9.70	3.41	0.38	0.45	13.93
Ausbildung	0.71	2.00	0.19	0.42	3.32
Einkauf	7.13	1.19	0.26	0.75	9.33
Nutzfahrt	2.00	0.46	0.02	0.03	2.51
Freizeit	20.09	4.84	0.68	1.29	26.91
Total	39.64	11.90	1.53	2.94	56.01
Interzonale Wege					
Arbeit	9.64	3.40	0.34	0.16	13.54
Ausbildung	0.71	2.00	0.16	0.10	2.97
Einkauf	7.08	1.18	0.23	0.32	8.81
Nutzfahrt	1.13	0.33	0.01	0.01	2.48
Freizeit	19.97	4.83	0.60	0.58	25.97
Total	39.39	11.87	1.35	1.17	53.78

Tabelle 13 Mittlere Weglängen der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen im Vergleich mit dem MZMV 2010

[km]	MIV		ÖV		Velo		Fuss	
	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV	WISEVA	MZMV
Arbeit	12.3	12.9	17.2	18.6	3.2	3.7	1.2	1.5
Ausbildung	11.3	11.8	15.5	16.2	2.3	3.0	1.2	1.5
Einkauf	9.7	9.0	8.9	9.9	2.7	2.7	1.4	1.5
Nutzfahrt	14.8	16.9	30.8	35.3	2.7	3.0	1.5	1.6
Freizeit	13.1	13.9	18.7	19.2	3.5	4.1	1.8	1.9
Total	12.2	12.5	16.2	17.0	3.0	3.5	1.4	1.7

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 2010 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 2010 gut reproduzieren. Bei einzelnen Distanzklassen und Fahrtzwecken wurde auf eine genauere Übereinstimmung mit dem Kurvenverlauf aus dem MZMV 2010 zugunsten einer besseren Konsistenz mit den vorliegenden Zählenden verzichtet.

Abbildung 3 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: alle Fahrtzwecke

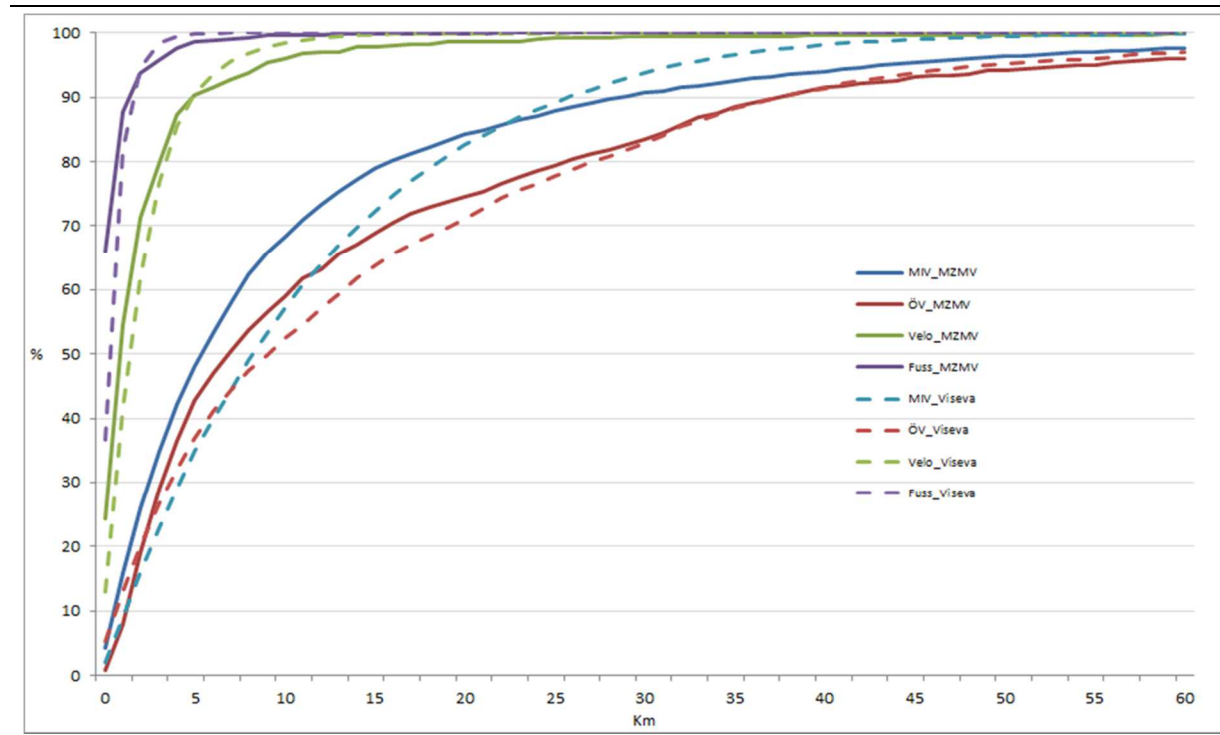


Abbildung 4 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Arbeit

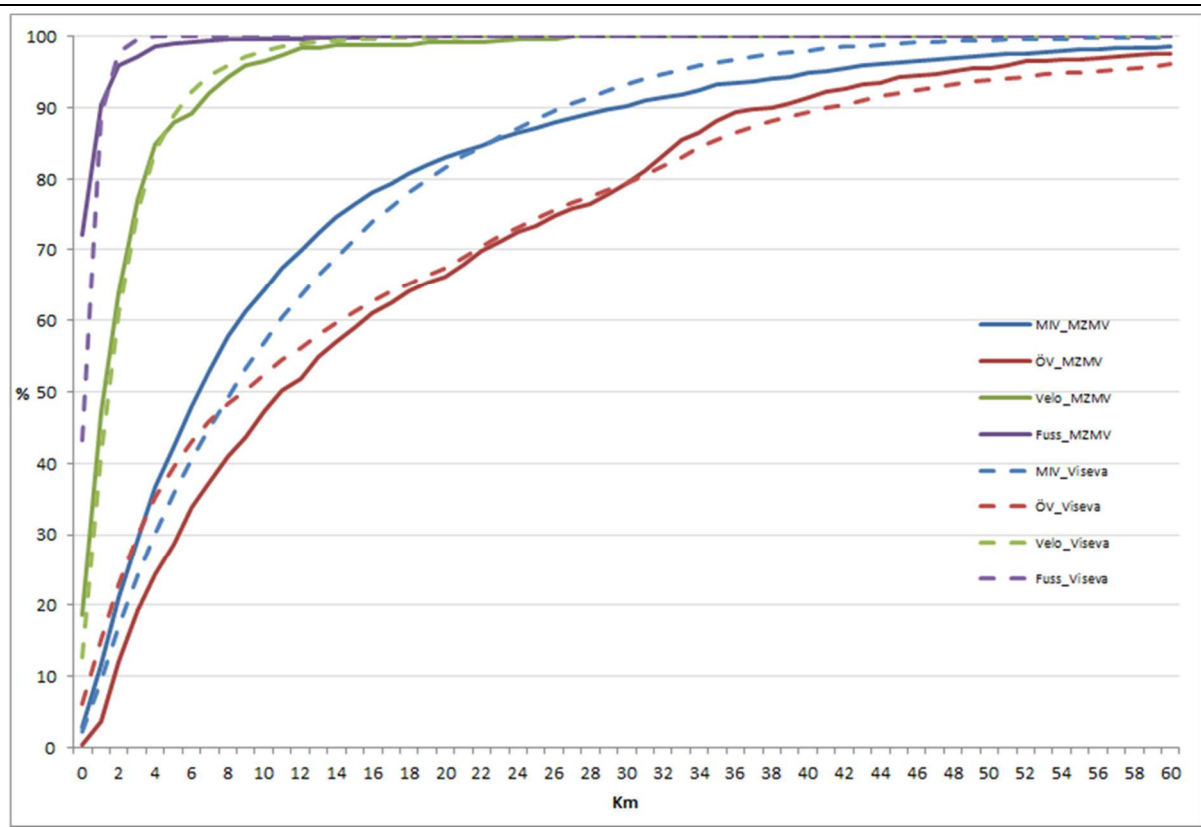


Abbildung 5 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Ausbildung

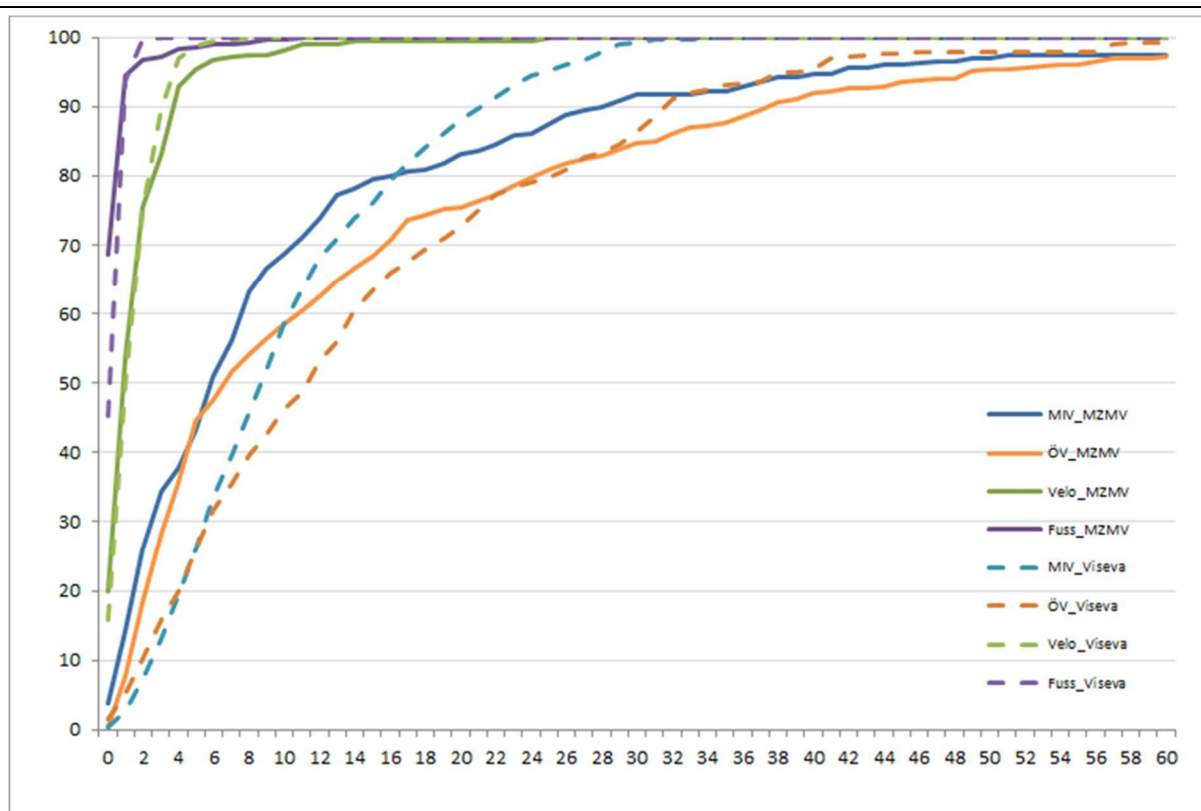


Abbildung 6 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Einkauf

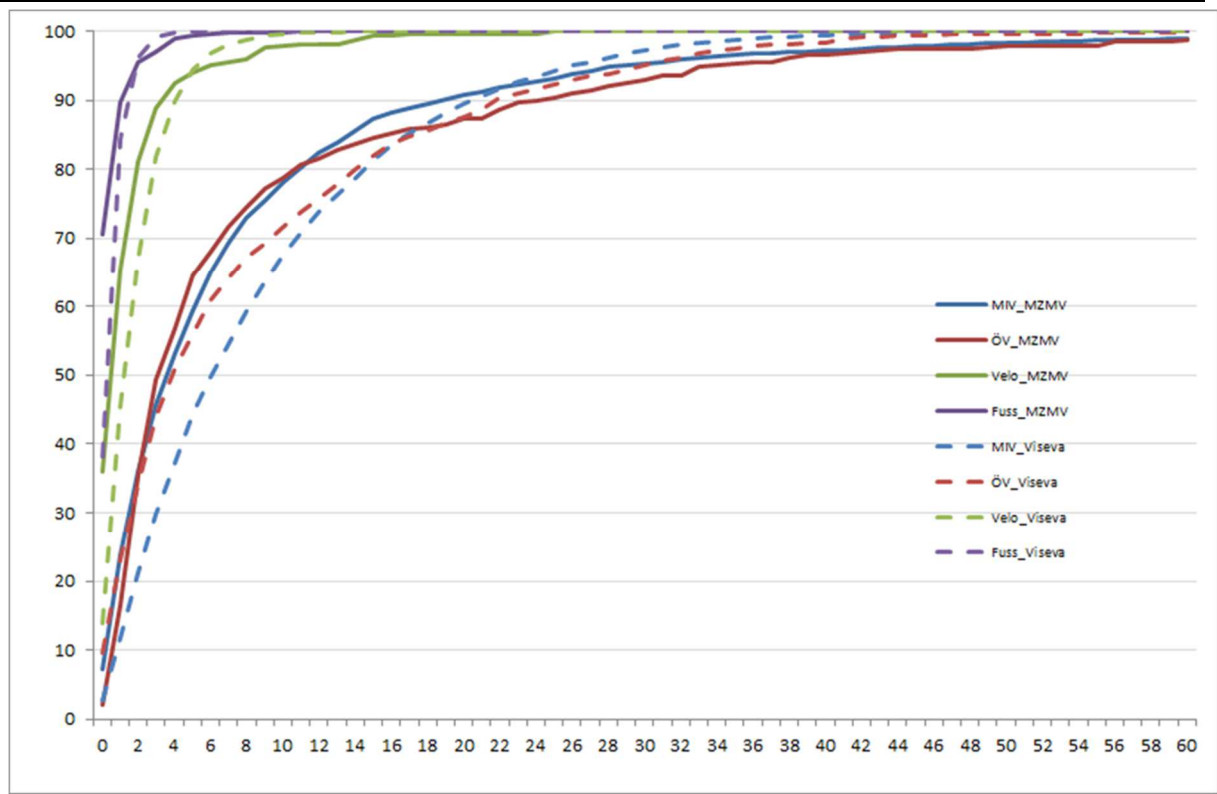


Abbildung 7 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Nutzfahrt

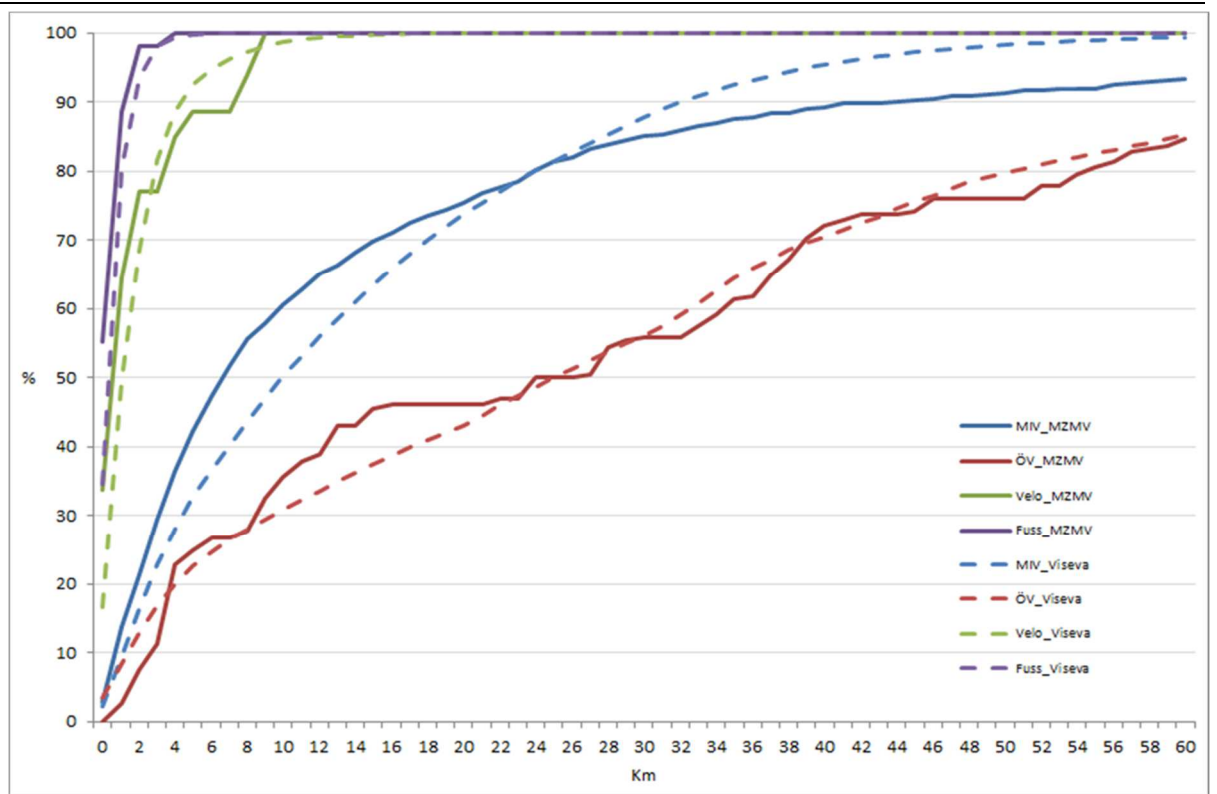
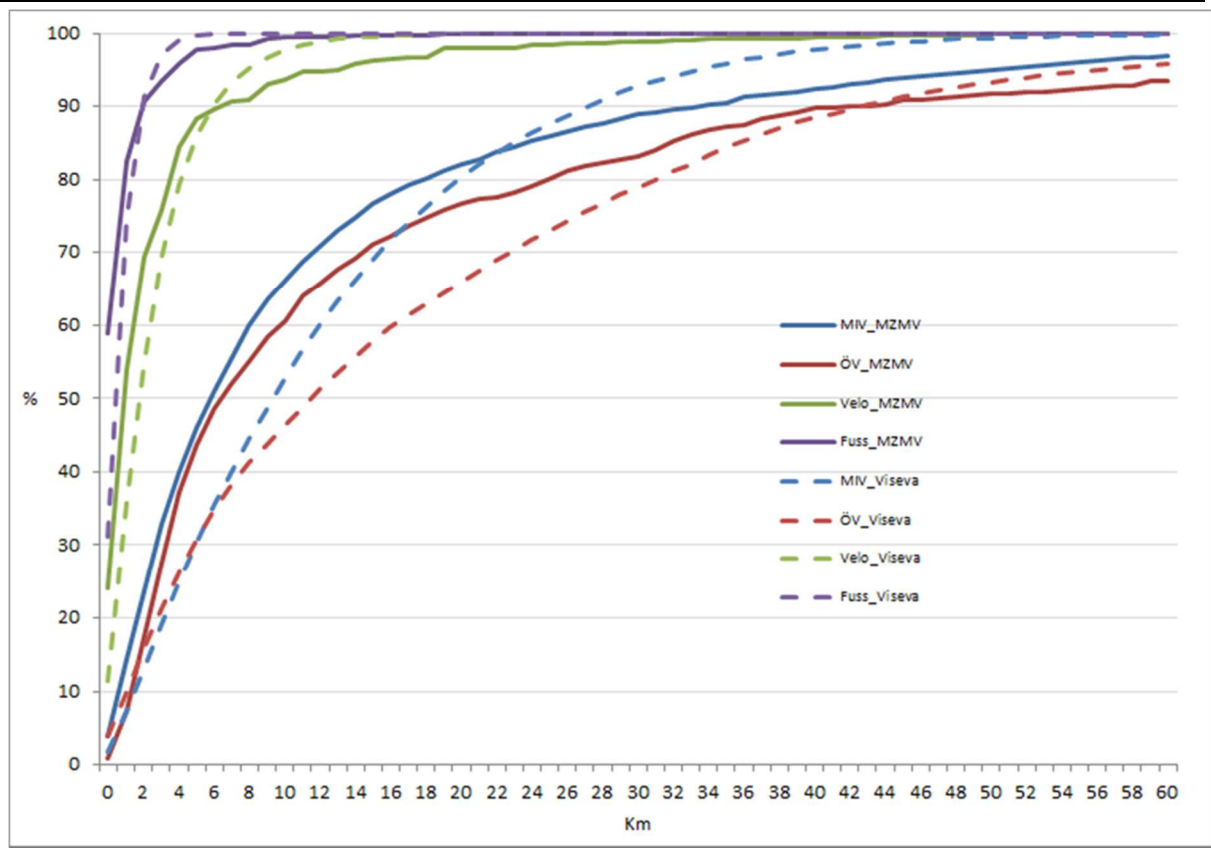


Abbildung 8 Weglängenverteilung Modell vs. MZMV 2010: Fahrtzweck Freizeit



7.1.5 Umlegung und Validierung der Netzbelastungen

7.1.5.1 Umlegungsverfahren

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

Im MIV-Modell wird als Umlegungsmethode ein deterministisches Nutzergleichgewicht verwendet. 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 2012 übernommen (siehe Bericht Weis *et al.*, 2012). 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 $W^* = \min_i(W_i)$ 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 Verbindungsexport

empf. Reisezeit ERZ =

	Koeffizient	Attribut			BoxCox	Lambda
1	1.00	Fahrzeit im Fzg	*	1.0	<input type="checkbox"/>	1.00
2	+ 1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	*	1.0	<input type="checkbox"/>	1.00
3	+ 2.00	Zugangszeit			<input type="checkbox"/>	1.00
4	+ 2.00	Abgangszeit			<input type="checkbox"/>	1.00
5	+ 2.00	Gehzeit			<input type="checkbox"/>	1.00
6	+ 1.50	Startwartezeit		Parameter	<input type="checkbox"/>	1.00
7	+ 0.80	Umsteigewartezeit		Parameter	<input type="checkbox"/>	1.00
8	+ 9min	Umsteigehäufigkeit	*	Formel	<input type="checkbox"/>	1.00
9	+ 0min	Anzahl Betreiberwechsel		Parameter	<input type="checkbox"/>	1.00
10	+ 1.00	Erweiterter Widerstand	*	Formel	<input type="checkbox"/>	1.00

DeltaT = ABS (Wunschabfahrtszeit - tatsächliche Abfahrtszeit)

Verbindungen mit DeltaT > 0 berücksichtigen, wenn Verb. mit DeltaT = 0 existiert

Widerstand =

	Koeffizient	Attribut			BoxCox	Lambda
1	1.00	ERZ [min]			<input type="checkbox"/>	1.00
2	+ 0.00	Fahrpreis			<input type="checkbox"/>	1.00
3	+ 1.00	DeltaT(früh) [min]			<input type="checkbox"/>	1.00
4	+ 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 Zählstellen kalibriert. Die verwendeten Zählstellen 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 2007 berücksichtigte Korrekturen auch im hier vorliegenden Modellzustand 2012 einzubeziehen, werden die Quelle-Ziel-Matrizen zudem wie folgt korrigiert:

$$QZ_{2012} = QZ_{2012,VISEVA} + (QZ_{2007,kalibriert} - QZ_{2007,VISEVA})$$

Es wird also die Differenz zwischen dem kalibrierten und dem unkalibrierten Zustand 2007 auf die unkalibrierte Matrix 2012 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)

Umlegungsanalyse, Netz: MIV_GVM_Bern_2012_20130521_ohne_Kalibration

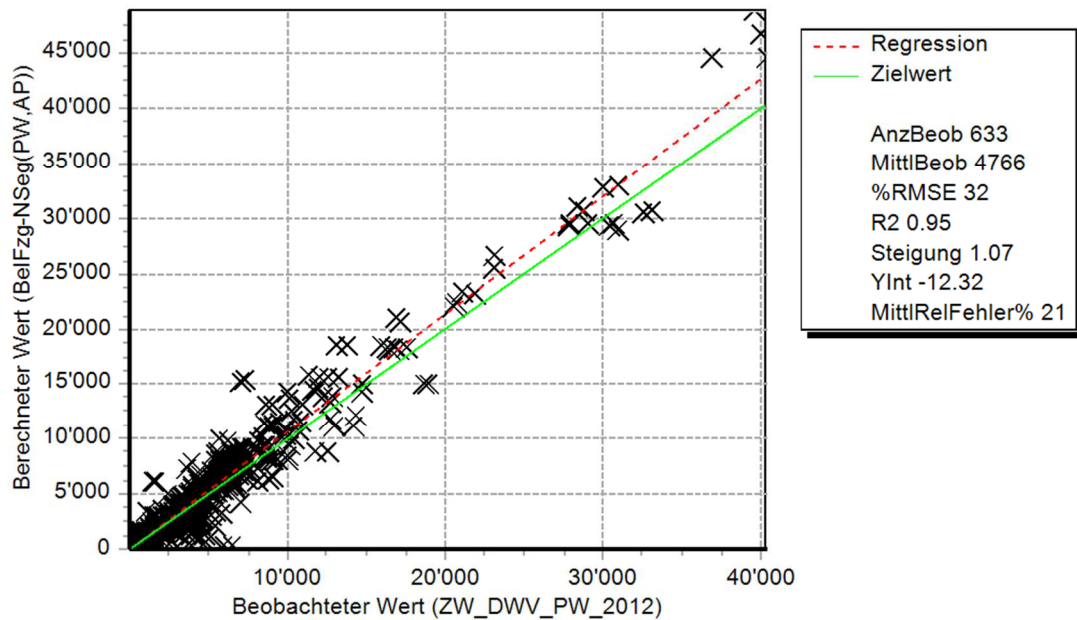
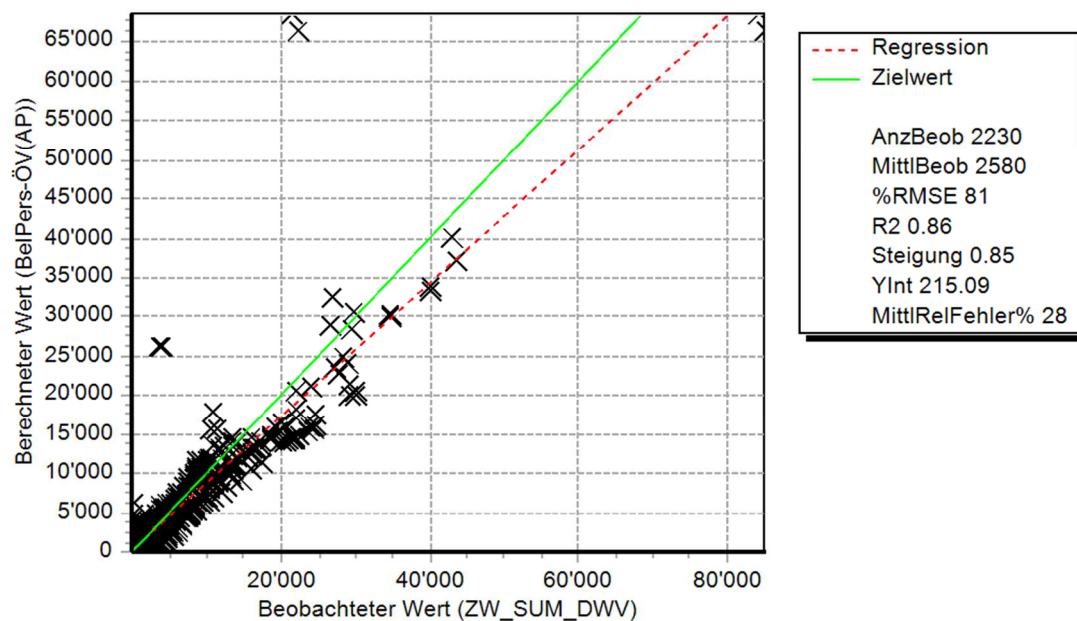


Abbildung 11 Vergleich der Streckenbelastungen Modell vs. Zählung – ÖV (ohne Kalibration)

Umlegungsanalyse, Netz: ÖV_GVM_Bern_2012_DWV_20130604_ohne_Kalibration



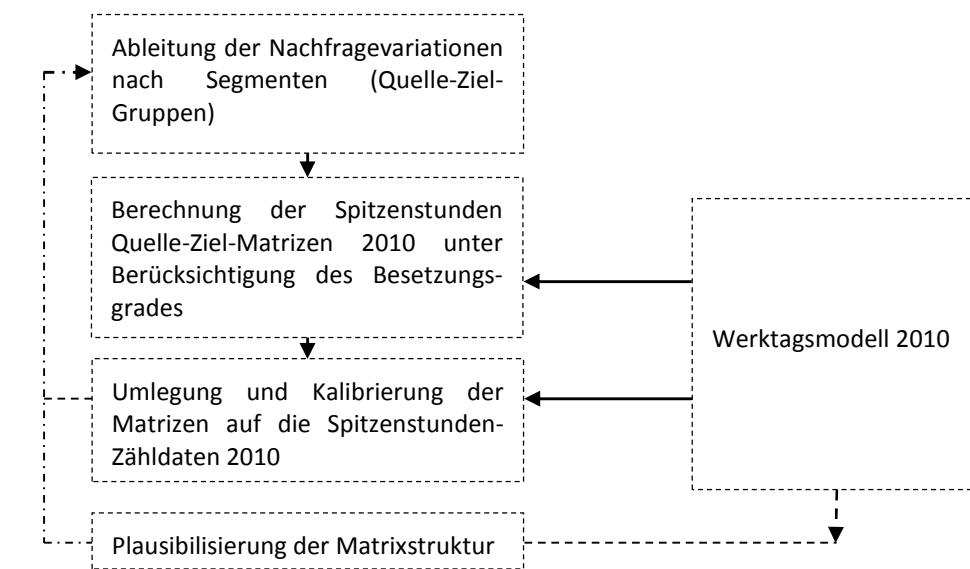
7.2 Spitzenstundenmodelle

Für die Erstellung der Spitzenstundenmodelle für das Jahr 2012 werden die Arbeiten in drei Hauptschritten durchgeführt:

- Festlegung und Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen aus den Daten des MZMV 2012;
- 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 2010 (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 2010 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

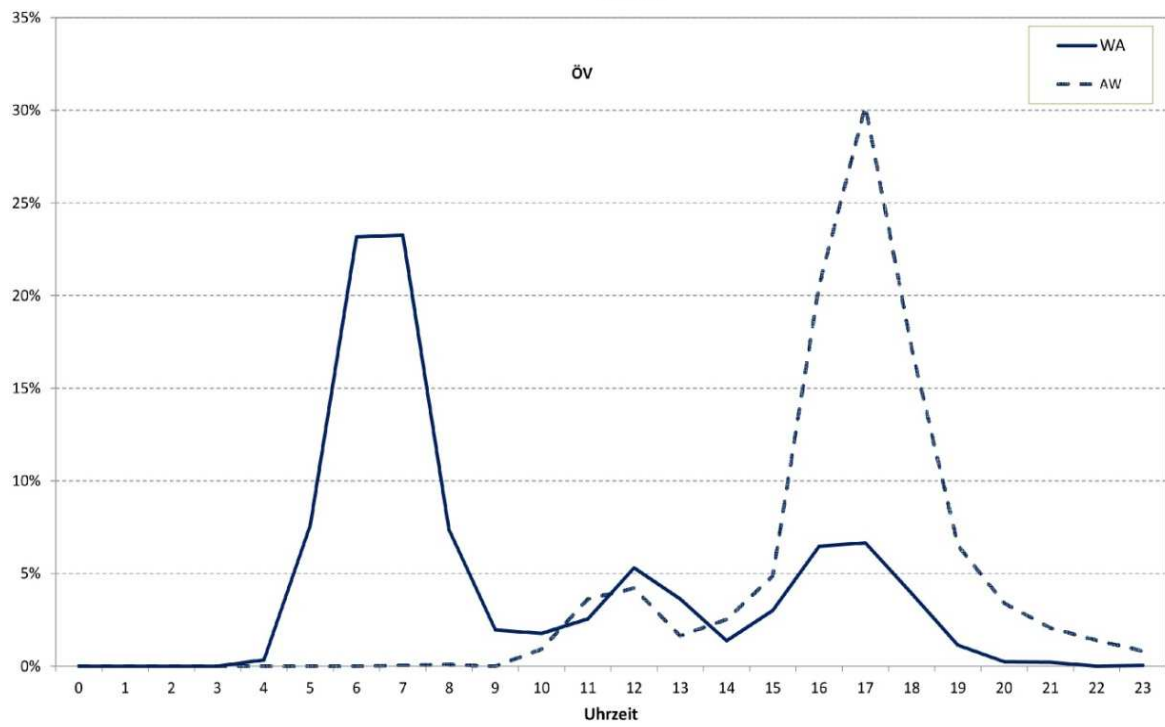
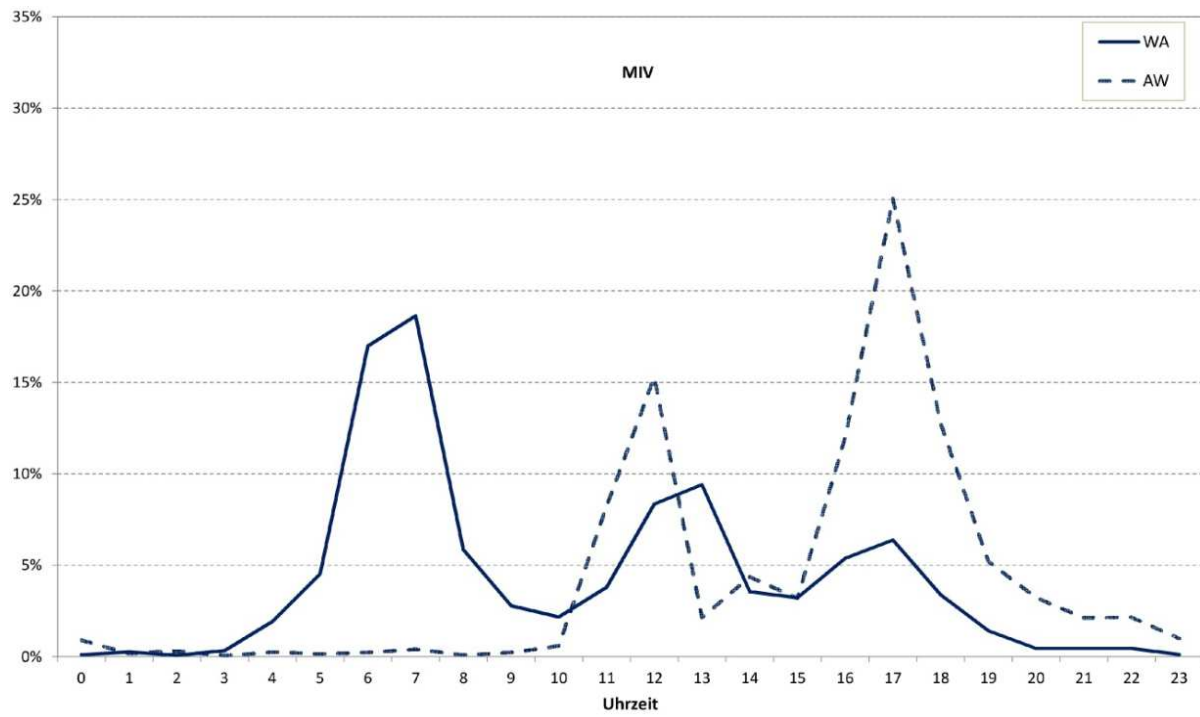


Abbildung 14 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Bildung (WB) und Bildung-Wohnen (BW) – Fahrtzweck Bildung



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

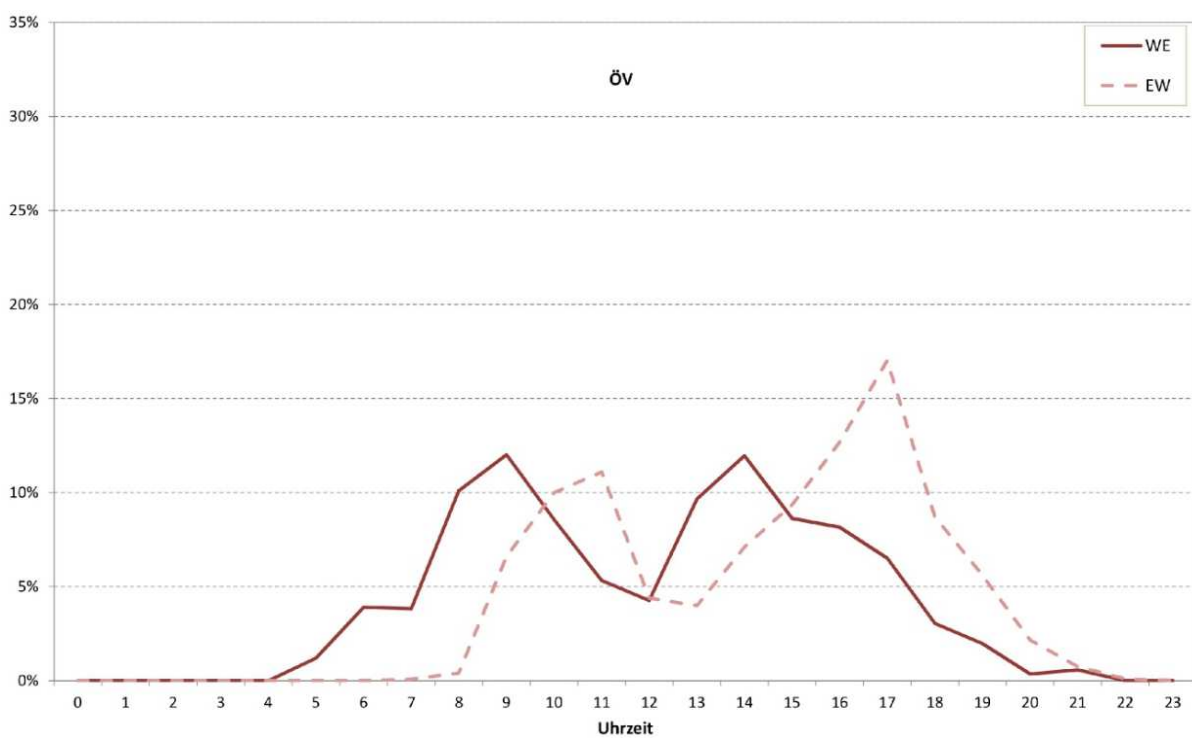
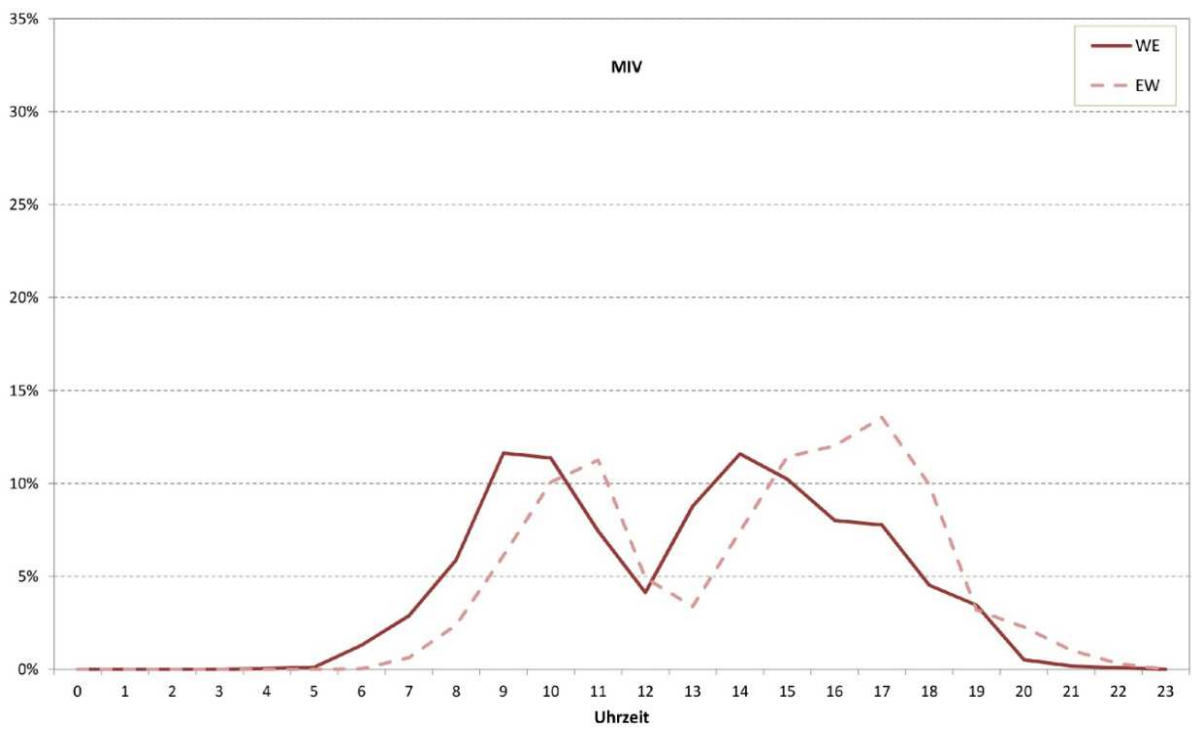


Abbildung 16 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Nutzfahrt (WN) und Nutzfahrt-Wohnen (NW) – Fahrtzweck Nutzfahrt

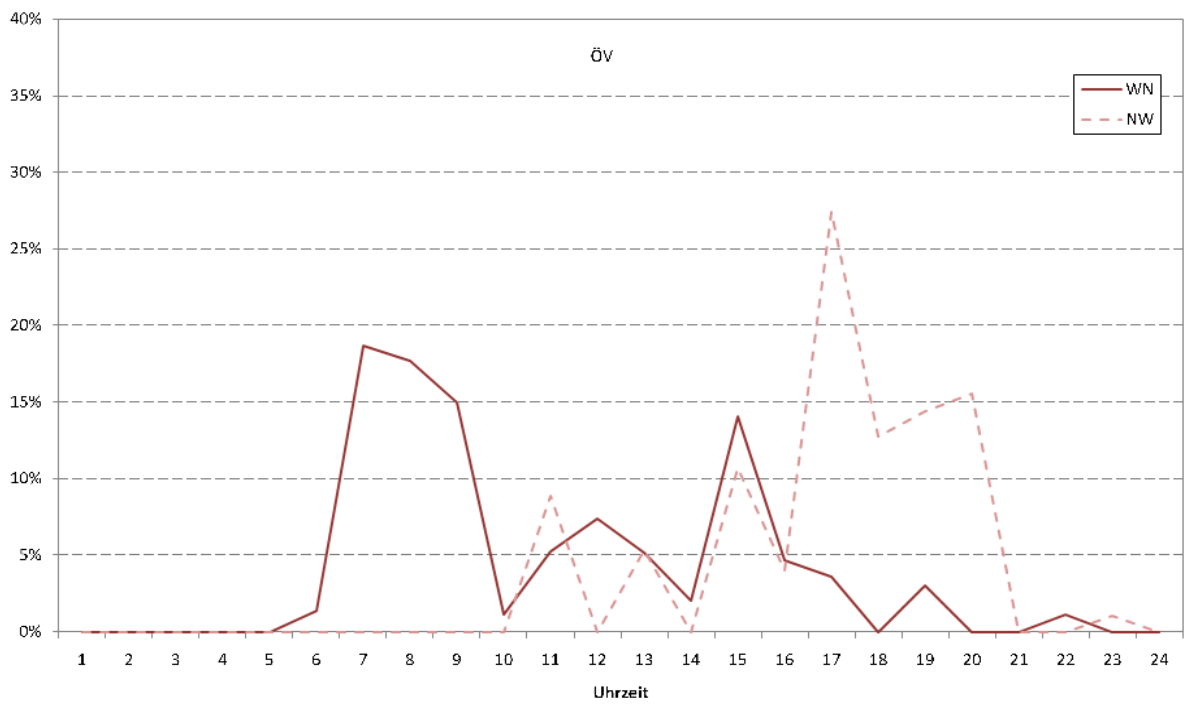
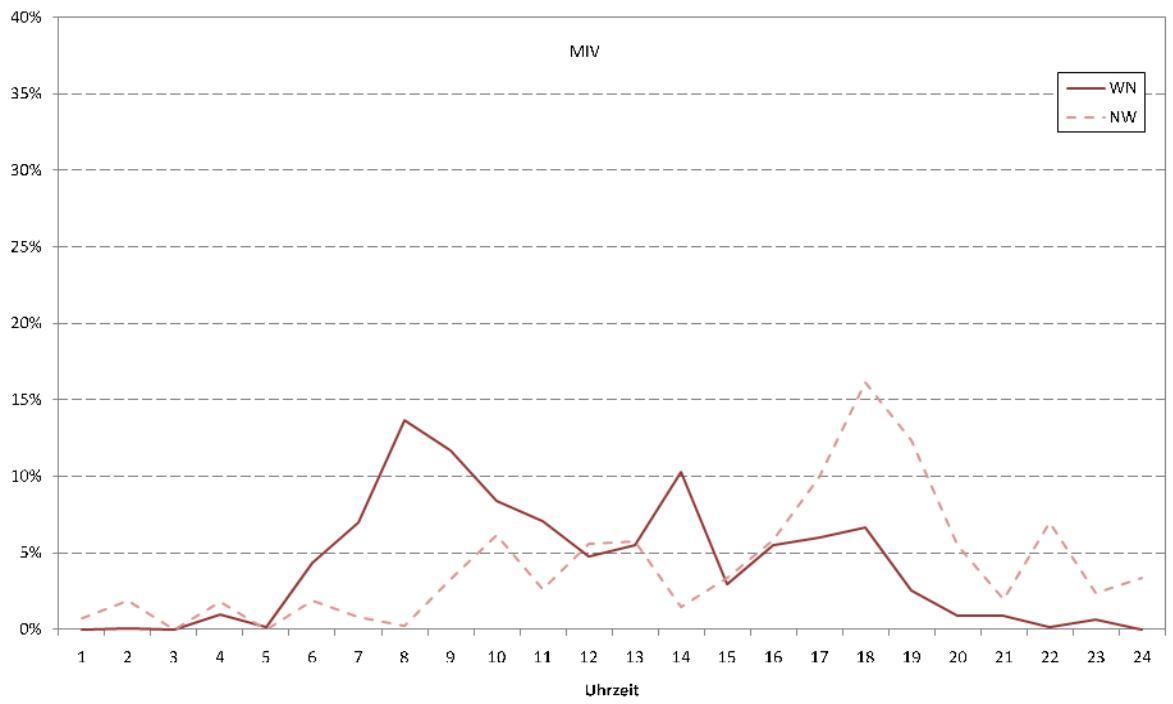
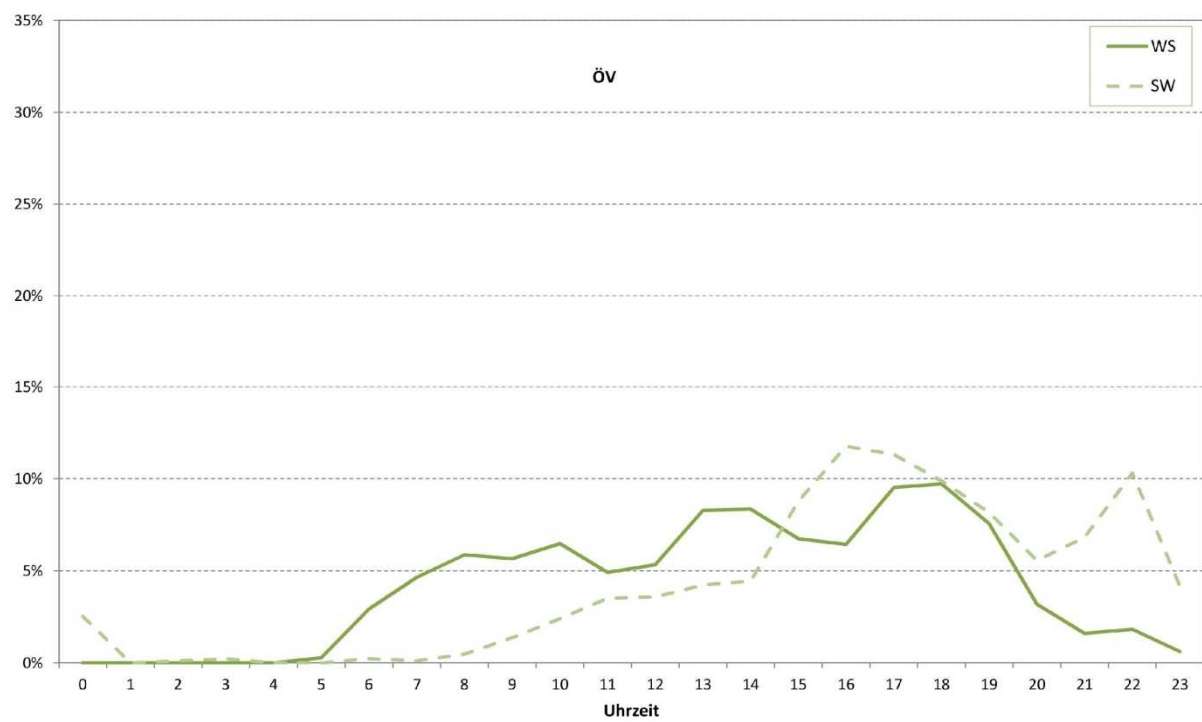
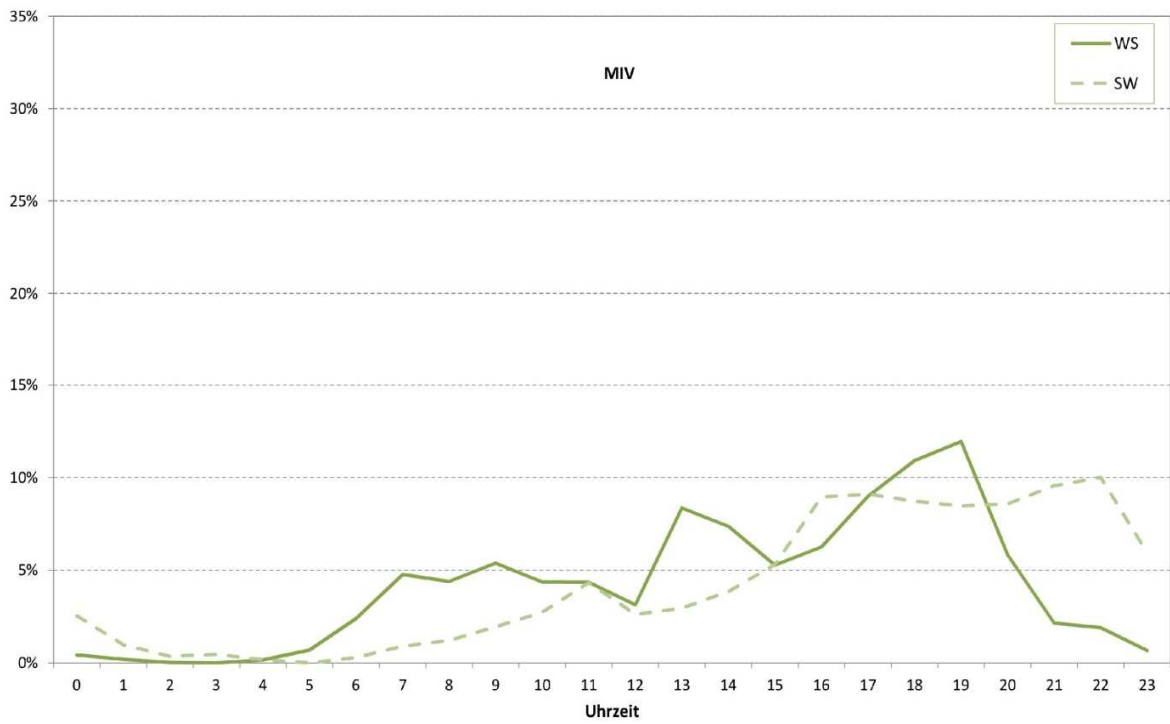


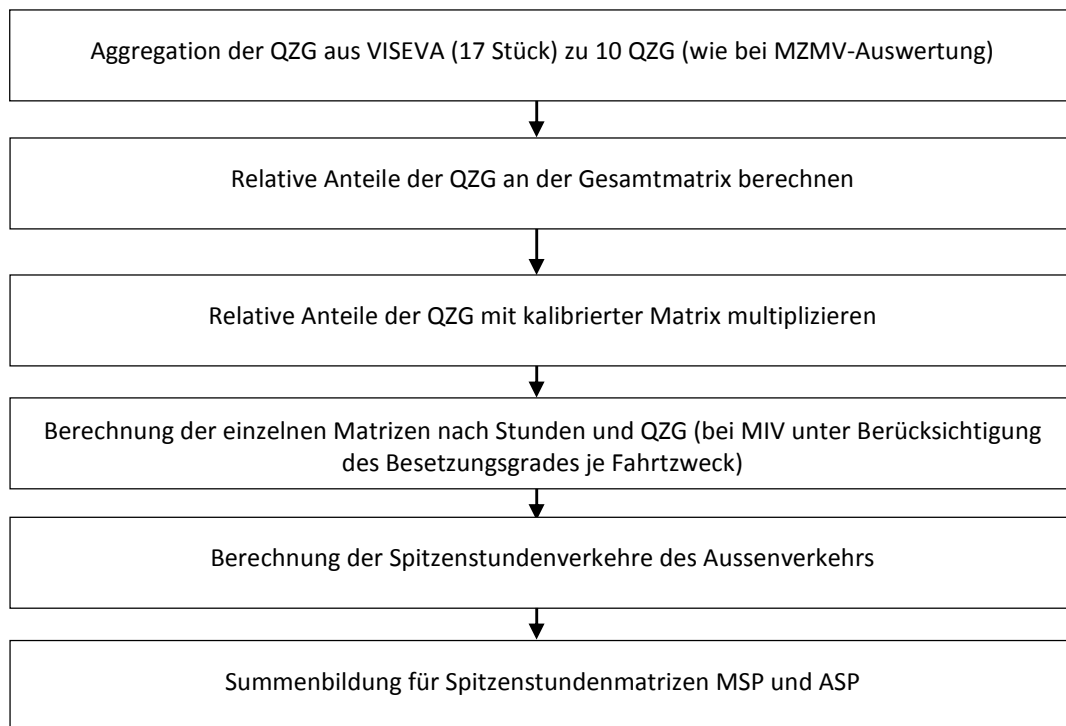
Abbildung 17 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Sonstiges/Freizeit (WS) und Sonstiges/Freizeit-Wohnen (SW) – Fahrtzweck Freizeit



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.

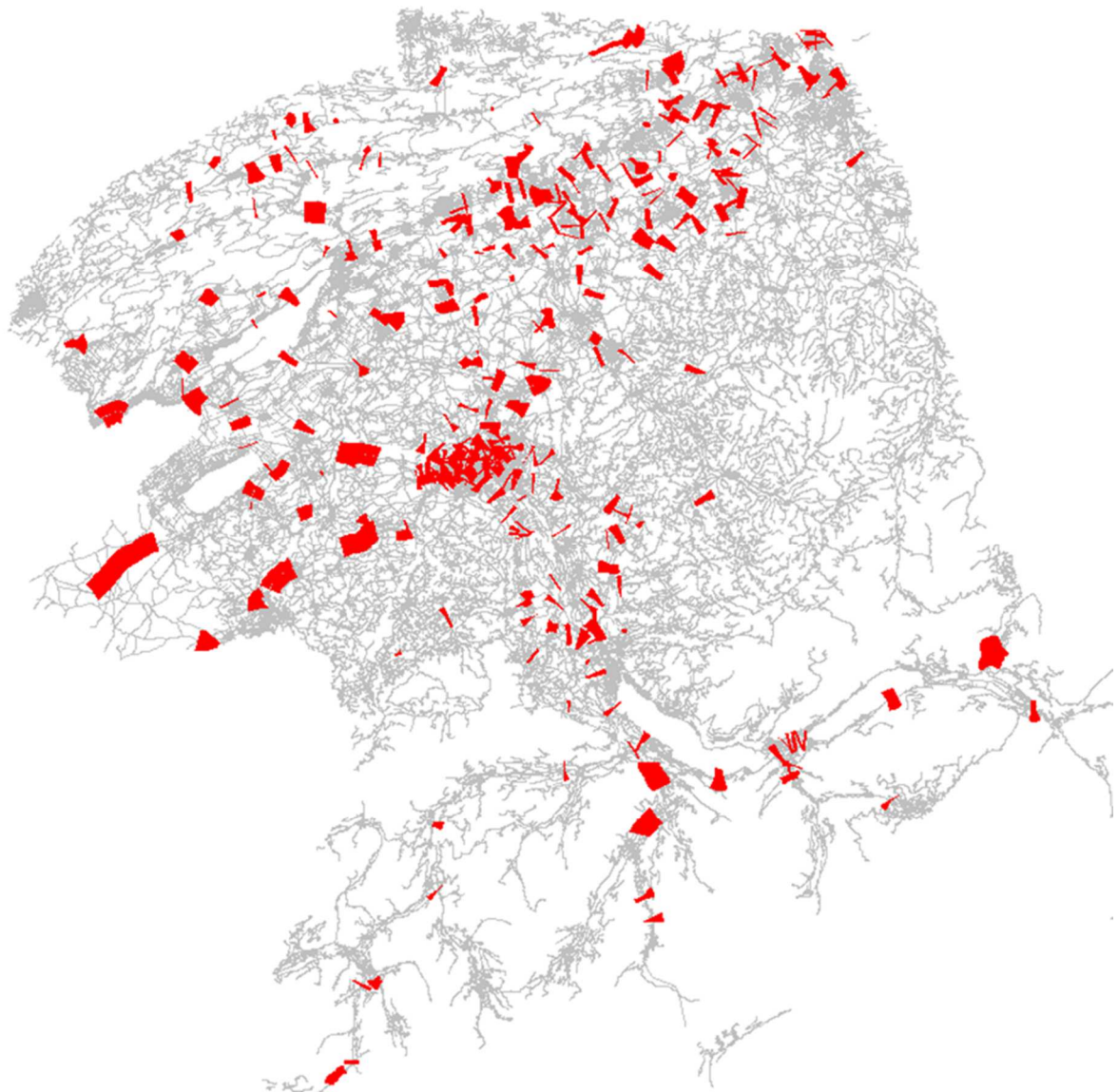
Die Daten des ASTRA wurden durch den Auftragnehmer aufbereitet. Zum Zeitpunkt dieses Arbeitsschrittes lagen die Rohdaten nur für die Periode von Januar bis Juni 2012 vor. Um diese auf Jahreswerte umzurechnen, wurden die Daten des Jahres 2011 herangezogen und daraus ein Faktor für die Umrechnung ermittelt, welcher dann auf die Daten von 2012 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. 550 Querschnitte mit als verlässlich angesehenen MIV-Zähldaten vor. Diese sind in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19 Verlässliche MIV-Zähldaten 2012

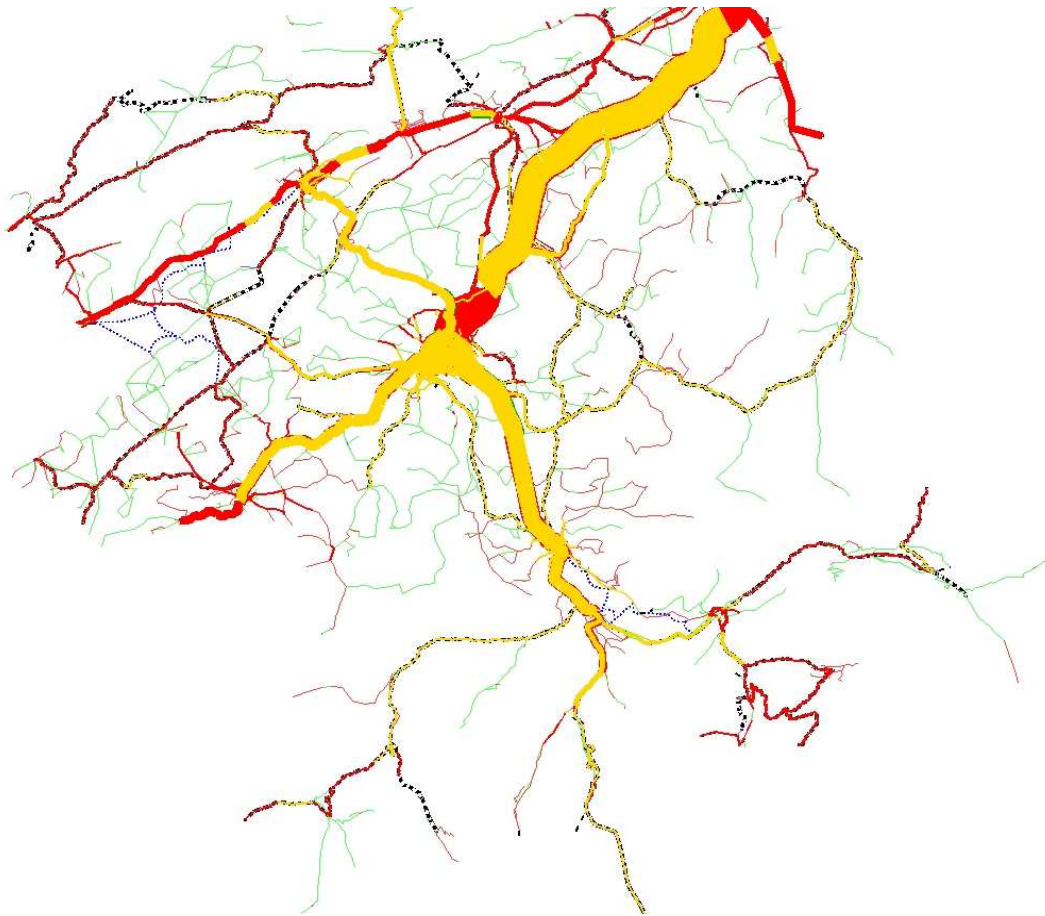


8.1.2 ÖV

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 Streckenwerte umgerechnet 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. 1'280 Querschnitte Zähldaten vor, welche in Abbildung 20 gezeigt werden.

Abbildung 20 Verlässliche ÖV-Zähldaten 2012



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 Zählwerte 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 Reiseweiteverteilungen 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 14 dargestellten Besetzungsgrade (aus dem MZMV 2010 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 14 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass im Modellgebiet ca. 2.4 Mio. PW-Fahrten und ca. 28 Mio. PW-Kilometer pro Tag erzeugt werden.

Tabelle 14 Besetzungsgrade im MIV und Umrechnung Wege in Fahrten

Fahrtzweck	Besetzungsgrad [Personen/PW]	MIV-Personenwege	PW-Fahrten	Fahrleistung im Modellgebiet [PWkm]
Arbeit	1.12	805'920	719'571	8'659'694
Ausbildung	1.43	60'590	42'371	498'872
Einkauf	1.21	138'344	92'848	5'893'172
Nutzfahrt	1.49	761'702	629'505	1'343'981
Freizeit	1.78	1'564'665	879'025	11'288'562
Alle	1.41	3'331'220	2'363'321	28'121'840

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 15 dargestellt.

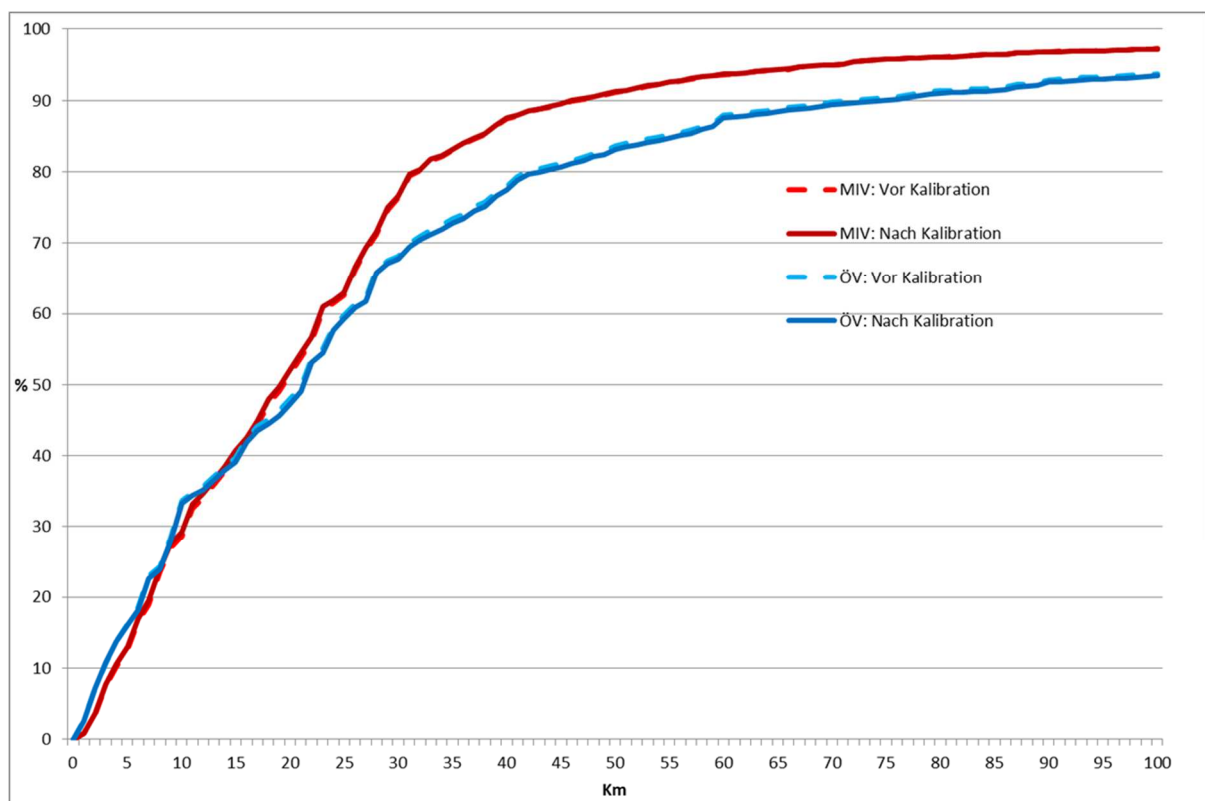
Tabelle 15 Vergleich der Eckwerte der Quelle-Ziel-Matrizen (DWV) vor und nach der Kalibration

Verkehrsmittel	Vor Kalibration	Nach Kalibration	Veränderung [%]
MIV (PW-Fahrten)	9'132'938	8'696'219	-5.0
ÖV (Personenwege)	2'359'755	2'774'640	+17.6

Wie zu sehen ist, wurde die ÖV-Matrix um ca. +18% und die MIV-Matrix um ca. -5% 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 16 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 16 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (DWV)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	Regressionskoeffizient	R^2
PW – verlässliche Zählstellen	1'073	4'620	4.3%	0.998	0.995
PW – alle Zählstellen	2'159	4'449	5.9%	0.995	0.990
Lieferwagen	1'073	421	3.5%	0.999	0.997
Lastwagen	994	180	4.1%	0.999	0.997
Last- und Sattelzüge	933	170	5.2%	0.999	0.999
MIV total	1'533	5'698	5.1%	0.997	0.994
ÖV	2'181	2'585	6.5%	0.998	0.996

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 10%. 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)

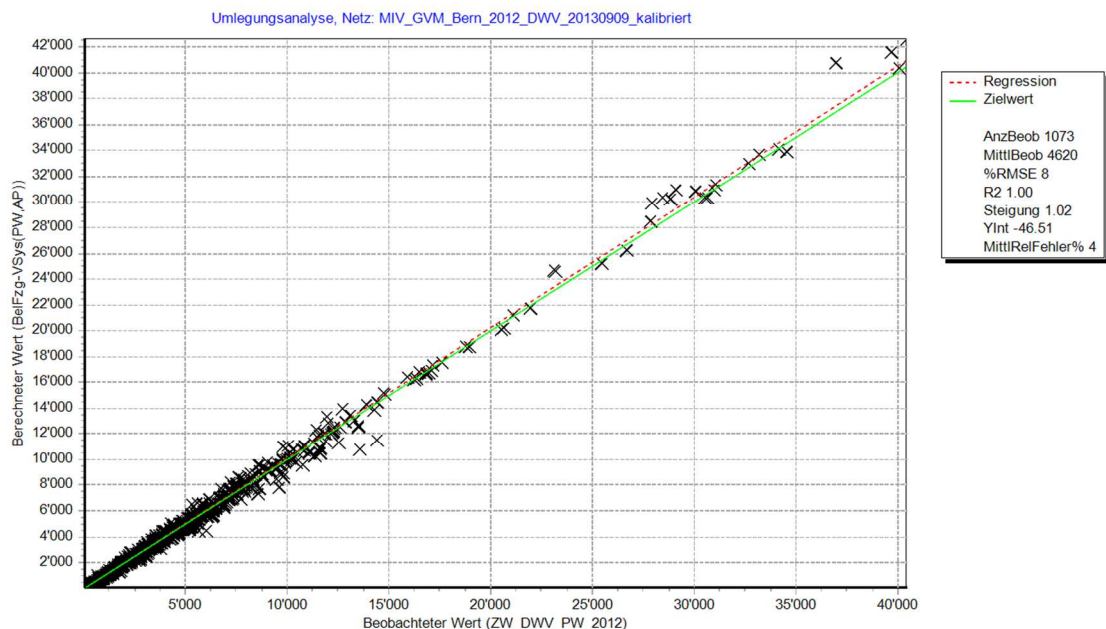


Abbildung 23 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

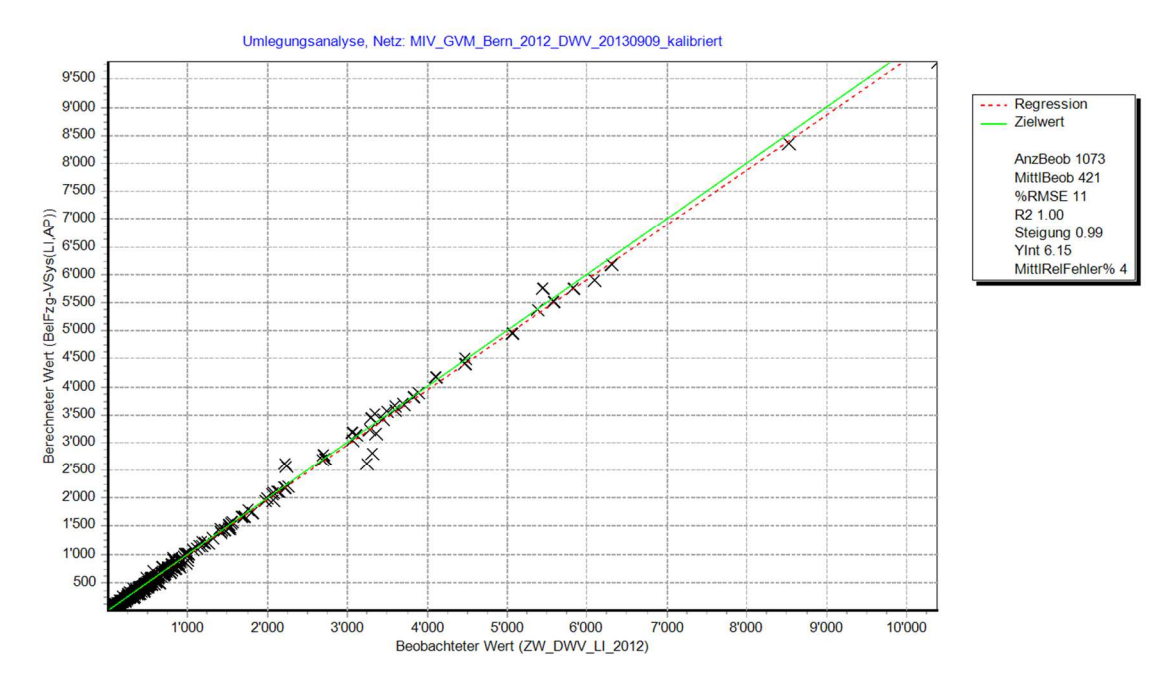


Abbildung 24 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

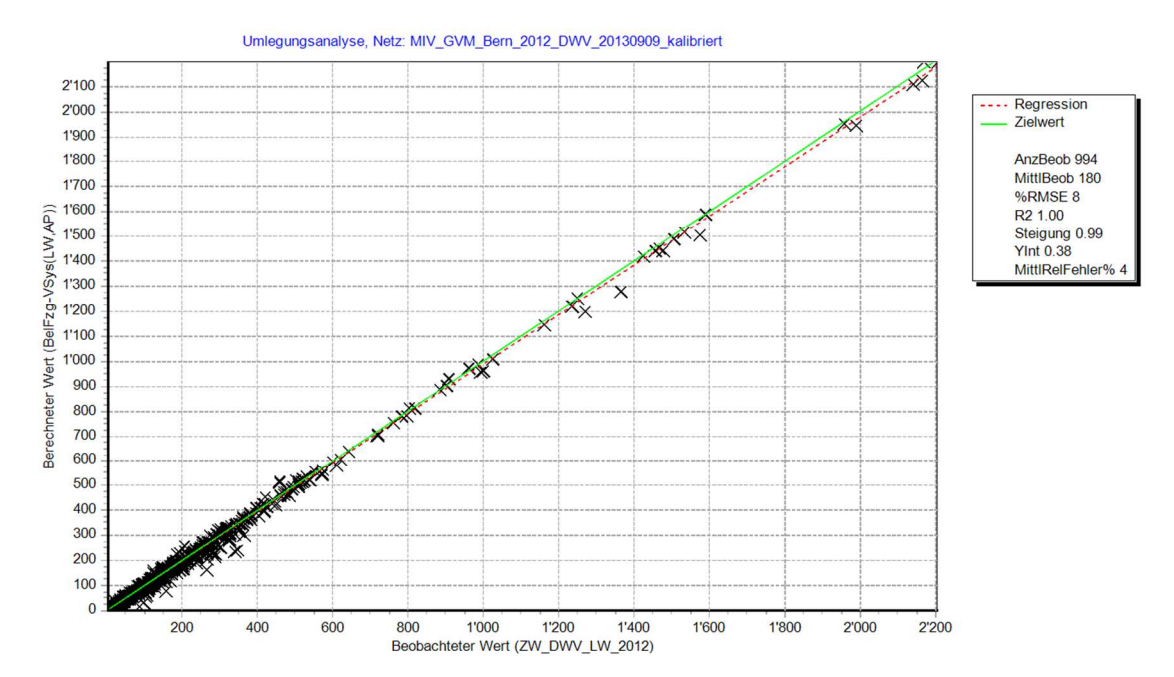


Abbildung 25 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

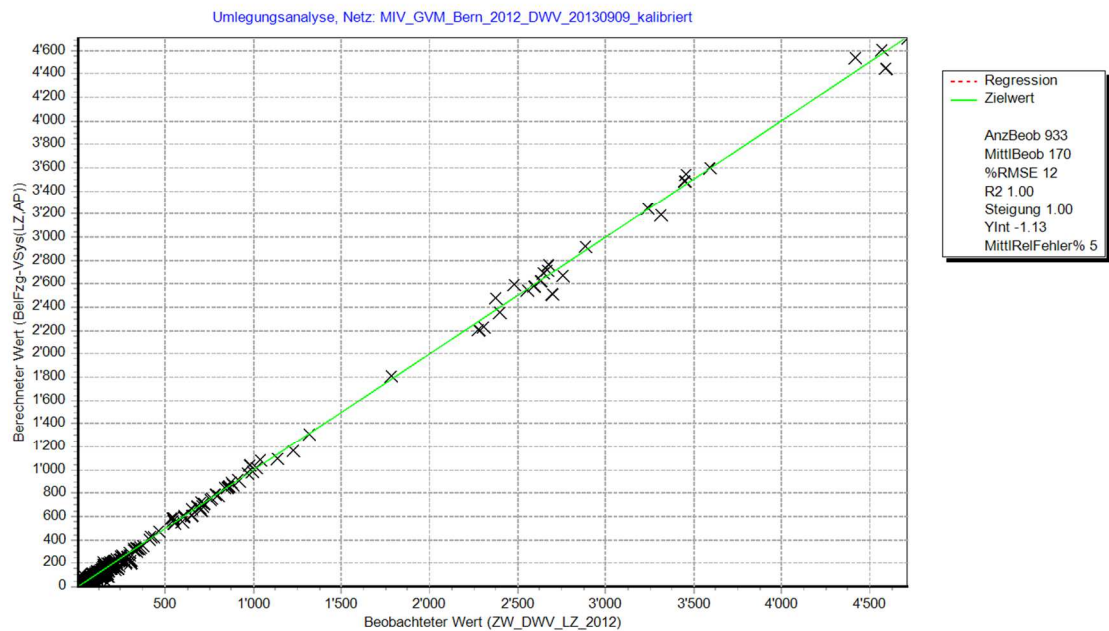


Abbildung 26 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

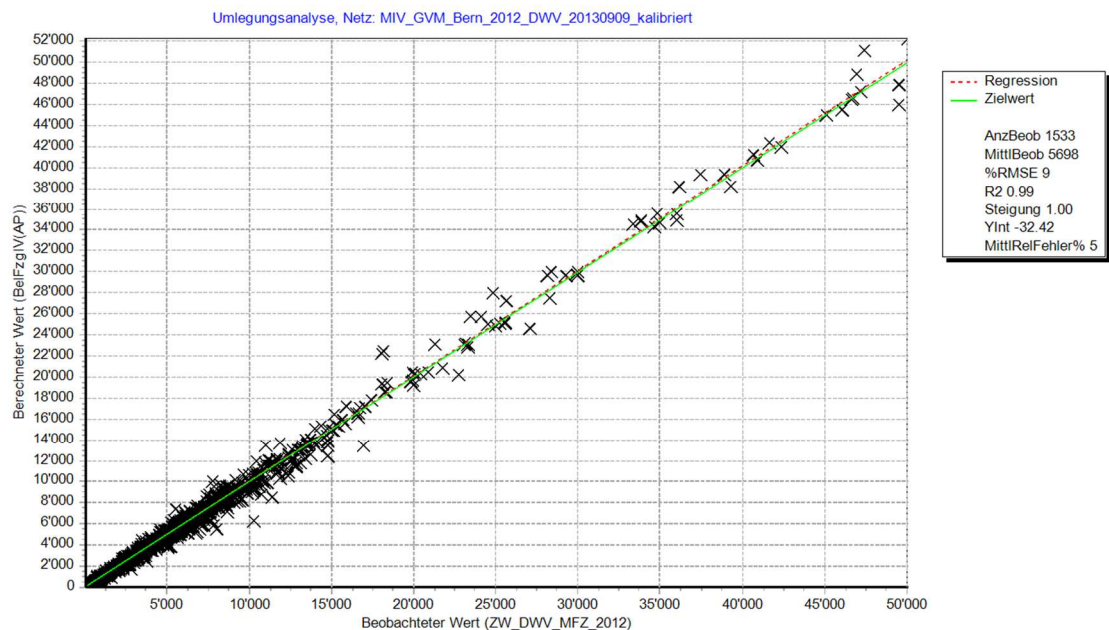
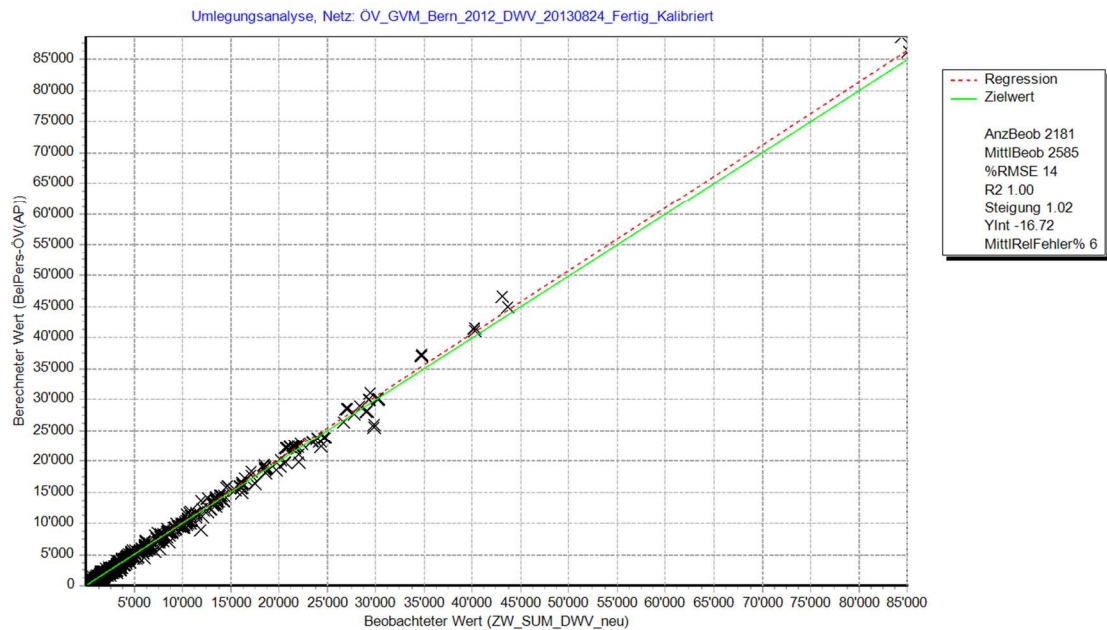


Abbildung 27 Vergleich der Streckenbelastungen (DWV) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



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 17 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (MSP)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	Regressionskoeffizient	R ²
PW – verlässliche Zählstellen	625	408	7.7%	0.995	0.991
PW – alle Zählstellen	1'783	332	9.7%	0.992	0.984
Lieferwagen	618	42	4.1%	0.997	0.995
Lastwagen	626	18	3.5%	0.999	0.998
Last- und Sattelzüge	523	18	3.8%	0.999	0.998
MIV total	1'237	428	8.9%	0.998	0.994
ÖV	1'341.	388	4.8%	0.999	0.998

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

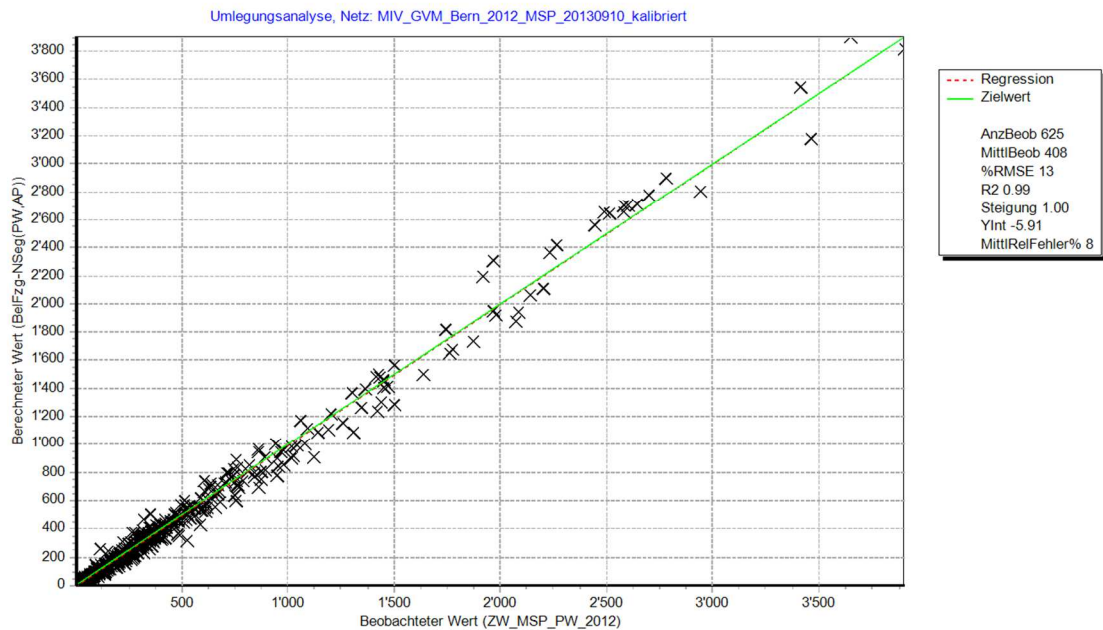


Abbildung 29 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

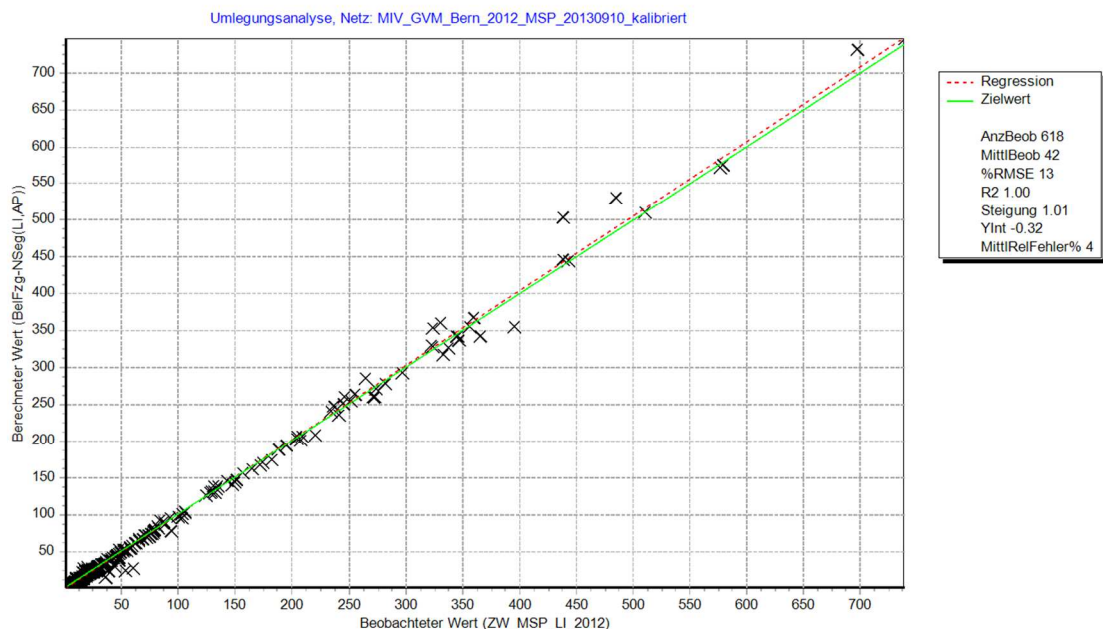


Abbildung 30 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

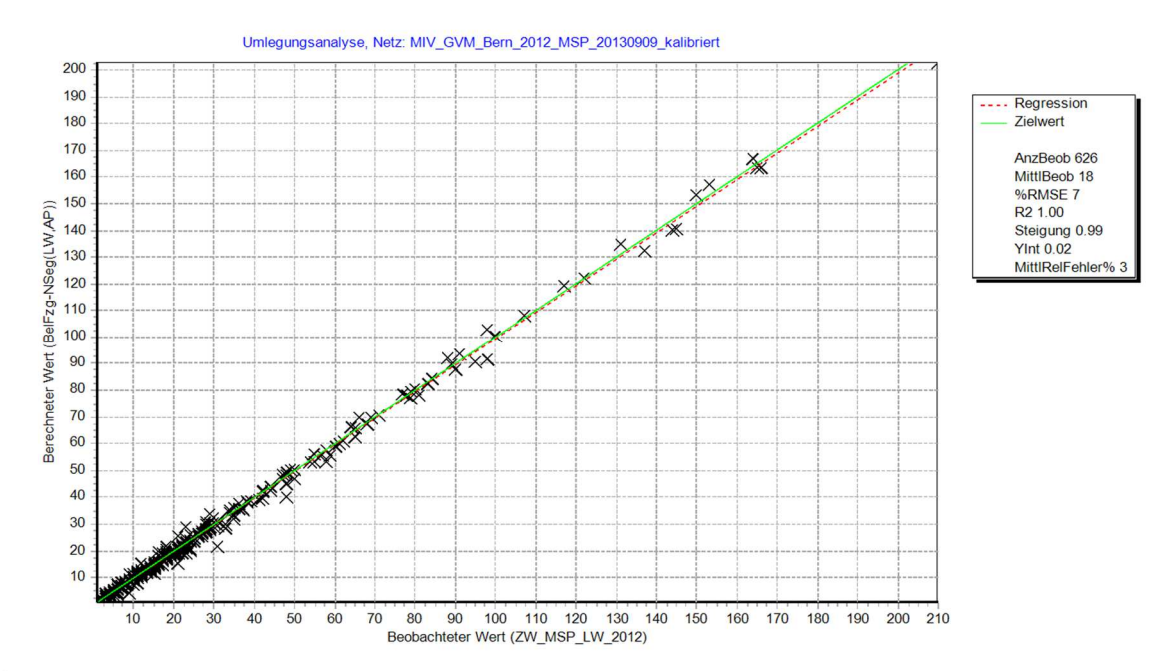


Abbildung 31 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

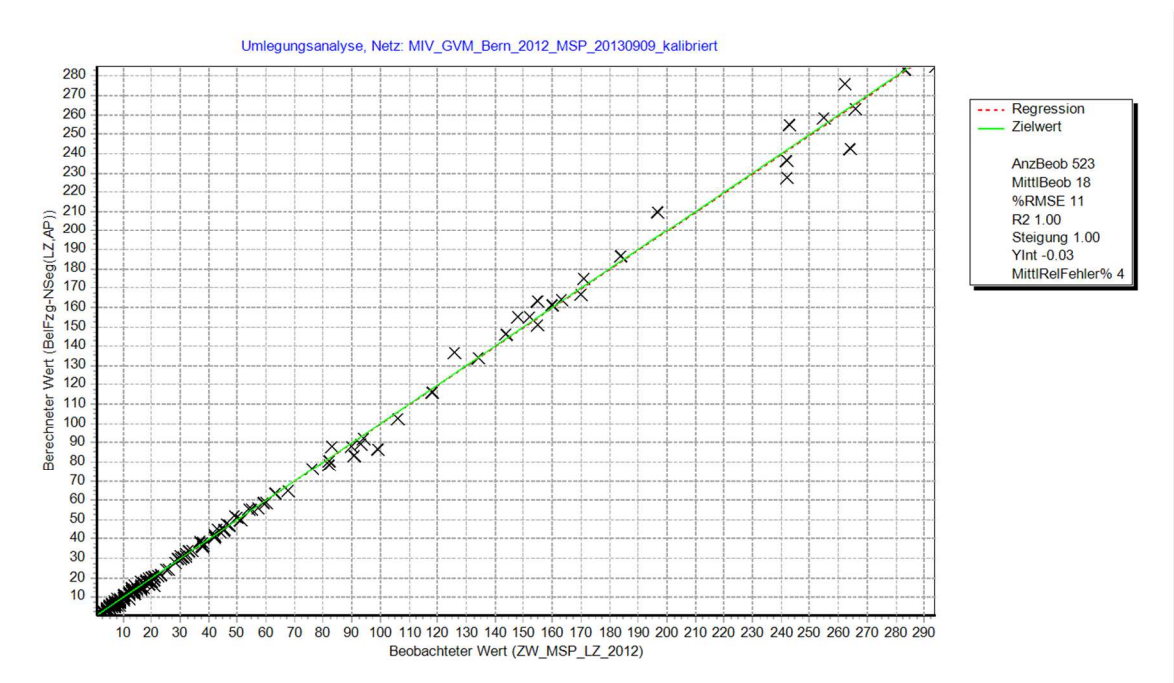


Abbildung 32 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

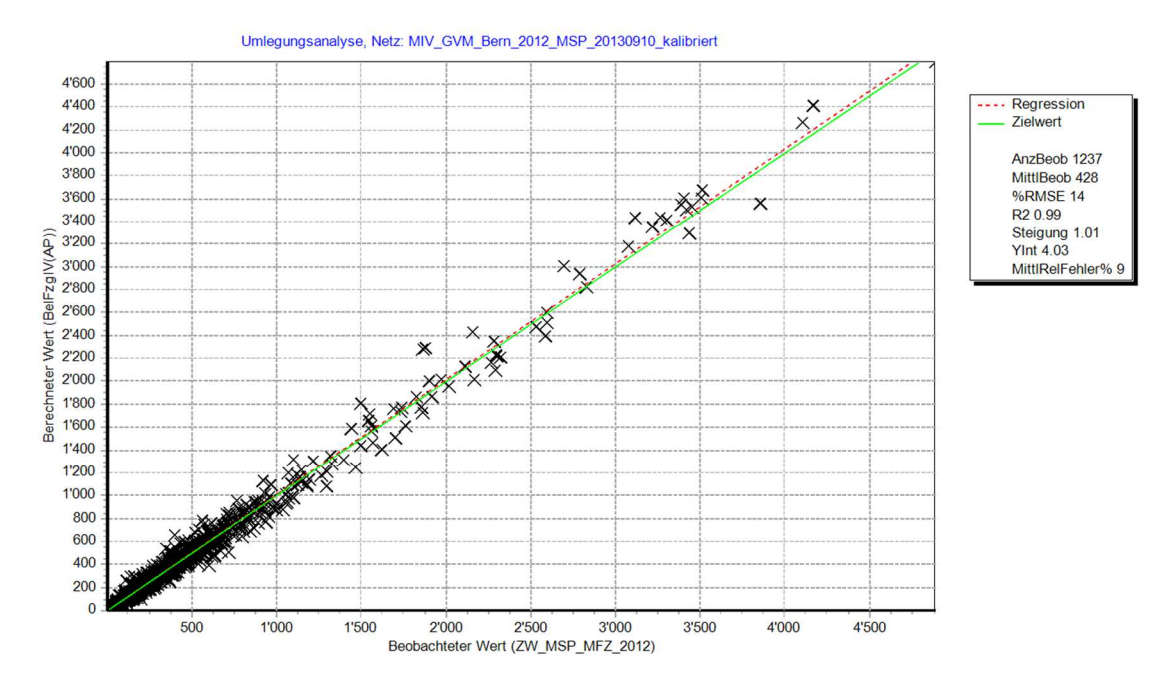
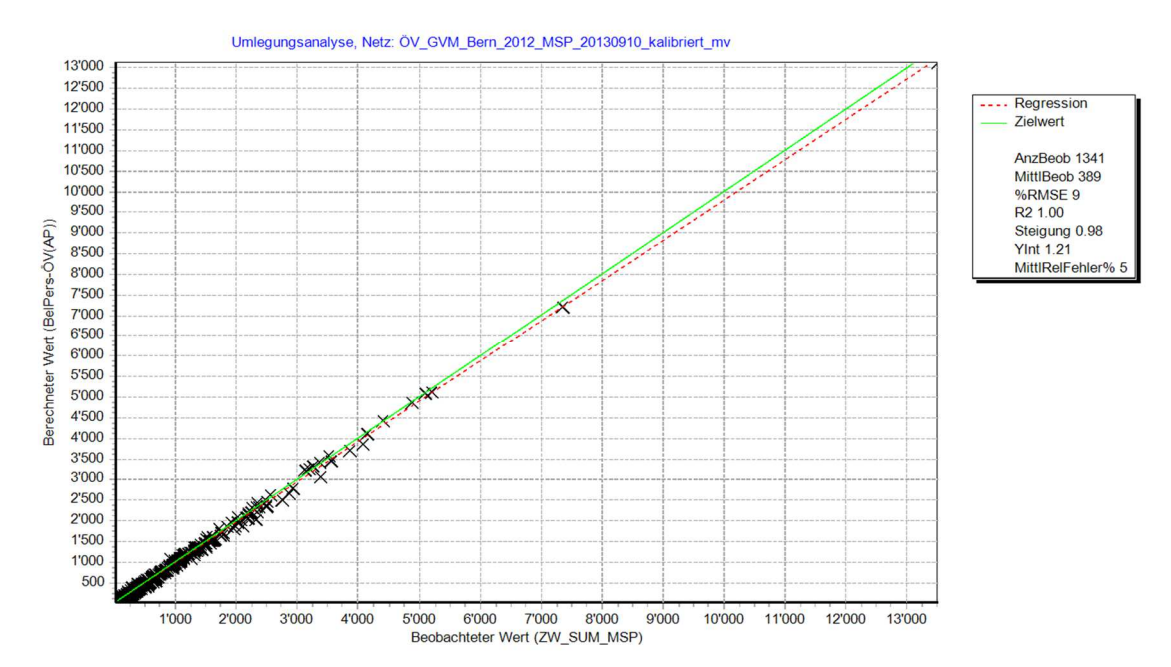


Abbildung 33 Vergleich der Streckenbelastungen (MSP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



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 18 Vergleich der kalibrierten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen (ASP)

Nachfragesegment	Anzahl Zählstellen	Mittlerer Zählwert	Mittlere rel. Differenz	Regressionskoeffizient	R ²
PW – verlässliche Zählstellen	619	478	5.7%	0.998	0.995
PW – alle Zählstellen	1'780	405	8.2%	0.994	0.988
Lieferwagen	607	36	5.0%	0.999	0.998
Lastwagen	607	9	2.7%	0.999	0.998
Last- und Sattelzüge	464	12	4.1%	0.999	0.998
MIV total	1'226	494	7.7%	0.994	0.989
ÖV	1'573	380	4.1%	0.999	0.998

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

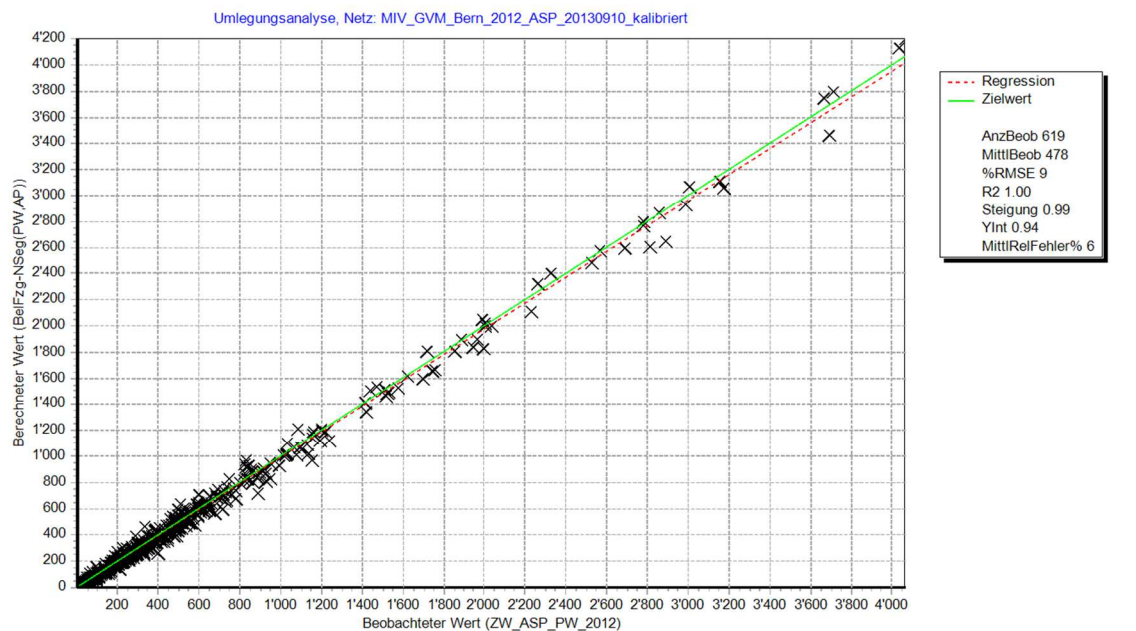


Abbildung 35 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lieferwagen (nach Kalibration)

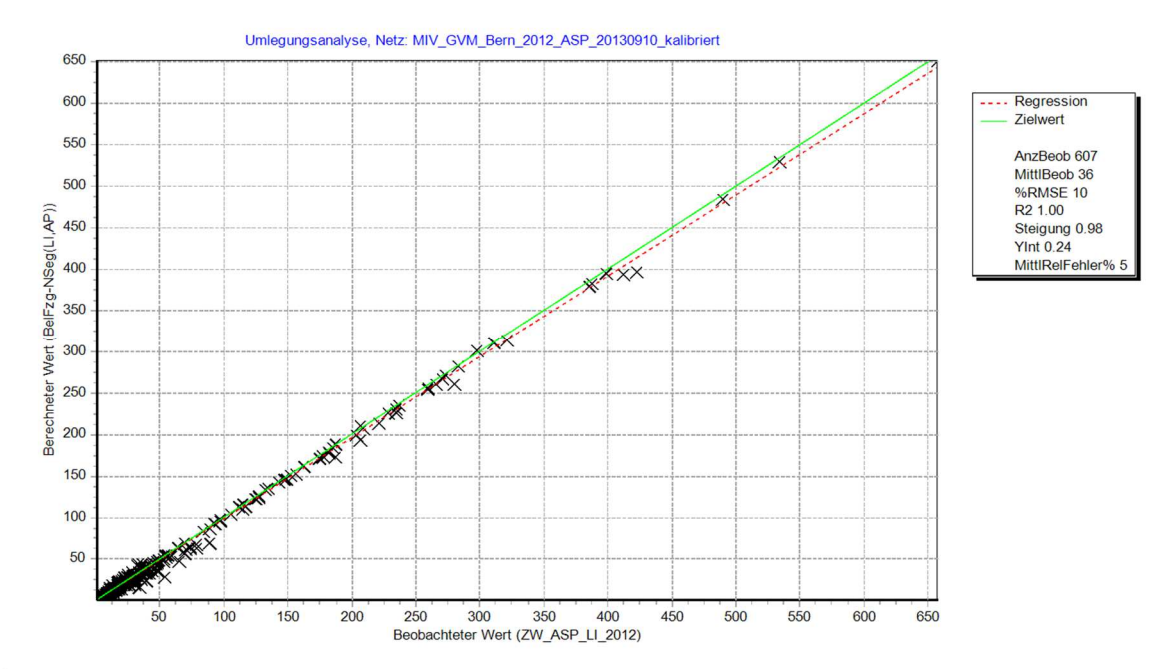


Abbildung 36 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Lastwagen (nach Kalibration)

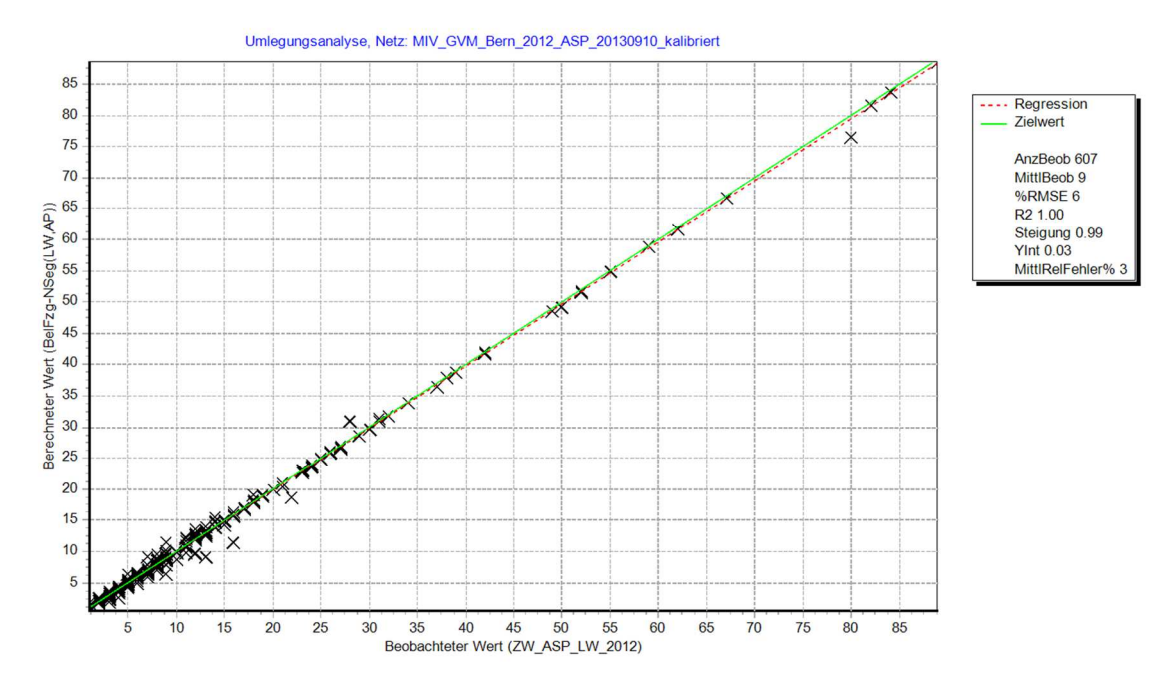


Abbildung 37 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – Last- und Sattelzüge (nach Kalibration)

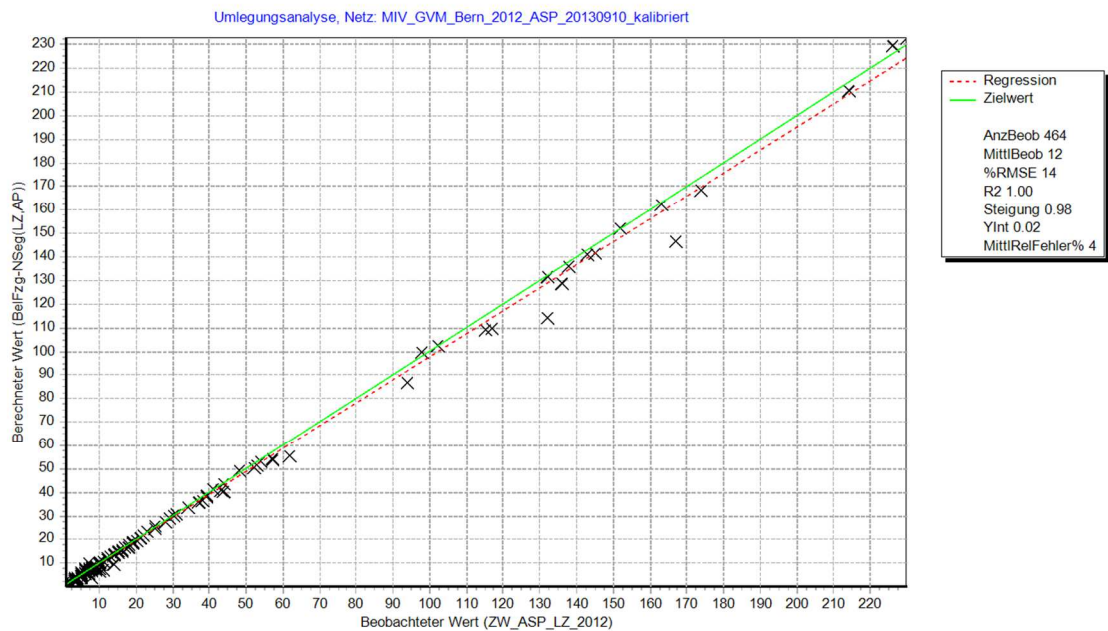


Abbildung 38 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – MIV (nach Kalibration)

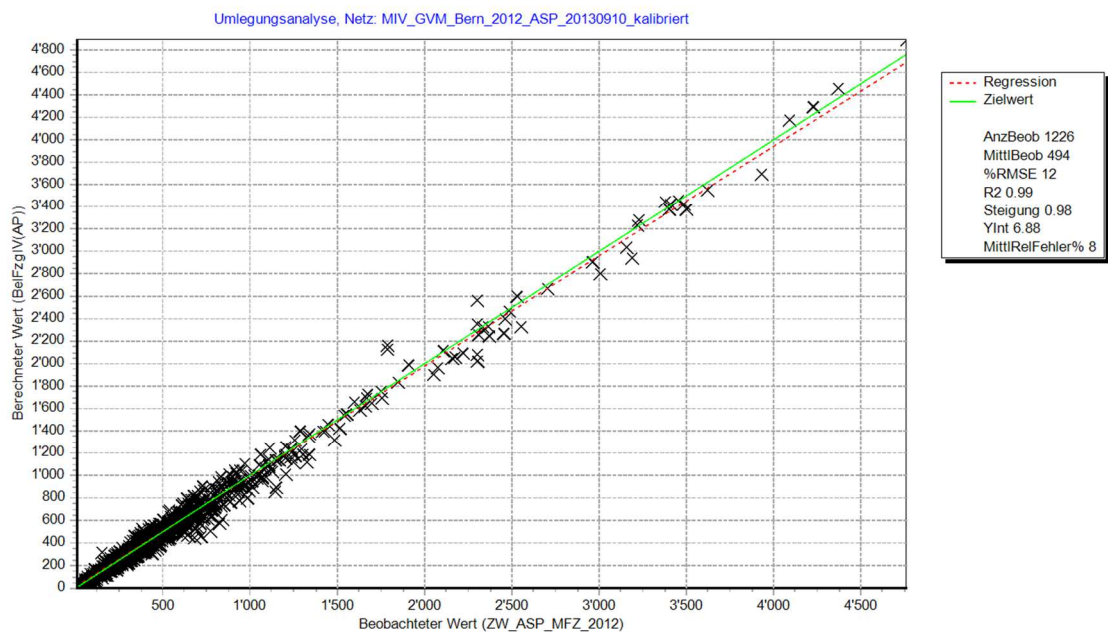
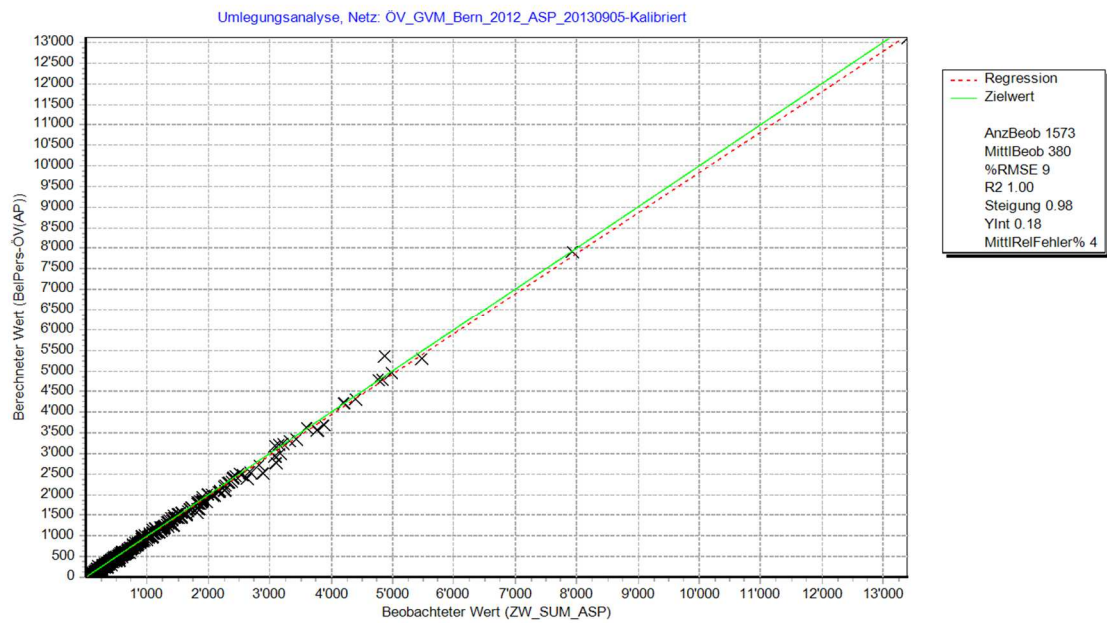


Abbildung 39 Vergleich der Streckenbelastungen (ASP) Modell vs. Zählung – ÖV (nach Kalibration)



9 Prognosezustand 2030

9.1 Verkehrsangebot

Die Kriterien für die Auswahl der für die Nachfrageprognose zu berücksichtigenden Infrastrukturprojekte und Angebotsveränderungen bis 2030 wurden durch die BVE vorgegeben. Demnach sollen nur beschlossene und finanzierte Projekte berücksichtigt werden. 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 60 Massnahmen für das Prognosenetz 2030 berücksichtigt worden, die wichtigsten sind:

- Anschluss Wankdorf inkl. Bolligenstrasse Nord und Süd;
- Erweiterung auf 8 Spuren Wankdorf-Schönbühl;
- Pannestreifenumnutzung Muri-Wankdorf in Spitzenstunden;
- Worb: Neubau Spange und Beruhigung;
- Umfahrung Kehrsatz;
- Umbau Anschlussstellen Muri;
- Bypass Thun Nord;
- Anschlussstellen Thun Nord und Süd;
- Umfahrung Wilderswil;
- A5 Umfahrung Biel inkl. flankierende Massnahmen Stadt Biel;
- Fertigstellung A 16.

Ausserhalb des Kantons Bern wurden zudem folgende Massnahmen eingebaut:

- Fertigstellung A16 bis Landesgrenze;
- Entlastung Region Olten ERO;
- A1: 6-Spuriger Ausbau Härkingen-Wiggertal;
- A1 6-Spuriger Ausbau Härkingen – Luterbach;
- Umfahrung Kaiserstuhl und Lugern.

Alle MIV-Massnahmen sind in einer Excel-Tabelle zusammengefasst worden.⁹ 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.

9.1.2 ÖV

Das ÖV-Angebot 2030 wurde auf dem Basisnetz 2012 aufgebaut. Da das Basisnetz 2012 wiederum aus dem vorgängigen ÖV-Netz 2030 und dem GVM Bern 2007 entwickelt wurde, sind die Informationen aus diesem schon enthalten. Diese Informationen können zur Validierung des Netzzustands verwendet werden.

Das ÖV-Zustand 2030 enthält folgende Massnahmen:

⁹ Die Liste steht unter www.be.ch/gvm zum Download zur Verfügung.

- STEP Ausbauschnitt 2025 – Referenzfall Ausbauschnitt 2030 gemäss Parlament. Dieses Zugsangebot wurde von der SBB dem BAV zur Verfügung gestellt, ins Nationale Verkehrsmodell (Vrtic, Fröhlich und Weis, 2014) integriert und die Nachfragewirkung berechnet. Die Netzgraphik STEP 2025 wurde dem Amt für öffentlichen Verkehr zur Überprüfung zur Verfügung gestellt 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.
- Die neuen Haltestellen Lyss-Grien, St-Imier La Clef und Biel-Bözingenfeld wurden eingebaut.
- Tram Region Bern ist vollständig enthalten mit:
 - Tram nach Ostermundigen;
 - Tram nach Köniz;
 - Tramverlängerung nach Kleinwabern.

Die Bus- und Tramlinien wurden aus dem Basismodell 2012 konstant gehalten. Die Züge aus dem STEP-Fahrplan wurden zur besseren Unterscheidbarkeit mit dem „STEP_“ im Liniennamen versehen. Um in Visum alle relevanten Linien für 2030 aktiv zu setzen, muss ein Linienroutenfilter für das benutzerdefinierte Attribut „GVMBE_Prognose2030“ mit der Ziffer 1 eingeschaltet sein.

9.2 Strukturdaten

9.2.1 Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2030

Die Aufbereitung der Wohnbevölkerung für den Zustand 2030 erfolgt in mehreren Schritten. Ziel ist es, möglichst zum Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) vergleichbare Wachstumsprognosen zu verwenden. Als Grundlage dienen:

- Strukturdatenset 2030 des NPVM;
- Bevölkerungsprognosen BFS und darauf aufbauend die kantonalen Bevölkerungsprojektionen von D. Hornung;
- Bevölkerungsprognose für das Zielszenario der RGSK Bern-Mittelland (siehe Vrtic und Fröhlich, 2010);
- Bevölkerungsprognose für das Zielszenario der Agglomeration Biel (siehe Dijkstra, Gerber und Schauwecker, 2012);
- Bauprojekte für die Agglomeration Thun.

Zunächst wurde das Modellgebiet in Gemeinden innerhalb und ausserhalb des Kantons Bern unterteilt. Für die Gemeinden im Kanton Bern erfolgt die Bevölkerungsprognose 2030 auf der Basis der kantonalen Bevölkerungsprojektionen und der neuesten Prognosen des BFS aus dem Jahr 2010. Für die Aufteilung der Prognosen auf die einzelnen Gemeinden und VMZ werden zwei unterschiedliche Szenarien gerechnet: Während die Verteilung der Bevölkerung in den Regionen RGSK Bern-Mittelland, Agglomeration Biel und Teile der Agglomeration Thun auf Basis eines Zielszenarios gerechnet wird, kommt in den übrigen Regionen ein Trendszenario zur Anwendung.

Für die Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern wird die Bevölkerungsprognose gemäss NPVM übernommen. Die NPVM Prognosen haben allerdings nach wie vor das Jahr 2005 als Basisjahr. Es wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums zwischen 2005 und 2011 bereits erfolgt ist. Für die Prognose werden daher die Wachstumsraten pro Gemeinde aus dem NPVM linear gekürzt (Faktor 19/25). Die Aufteilung nach Alterskohorten wird an die Bevölkerungsprognose des BFS angepasst.

Die Bevölkerungsprognose für den Kanton Bern wird auf Basis der BFS Prognosen (Szenario Mittel) aus dem Jahr 2010 vorgenommen. Gemäss dem BFS verfügt der Kanton Bern im Jahr 2030 über eine ständigen Wohnbevölkerungen von 1'019'388 Personen. Dies entspricht einem Wachstum zwischen 2005 und 2030 von 6.5% bzw. einem Wachstum zwischen 2012 und 2030 von 3.4%.

Die prognostizierte Gesamtbevölkerung wird auf Basis der kantonalen Bevölkerungsprojektionen von D. Hornung auf die einzelnen Gemeinden aufgeteilt. Zu diesem Zweck werden die durchschnittlichen Wachstumsraten pro Gemeindetyp gemäss der Bevölkerungsprojektion gerechnet, wobei für die fünf Agglomerationsgemeinden Bern, Biel, Thun, Burgdorf und Interlaken die spezifischen Wachstumsraten ausgewiesen werden. Da die kantonale Bevölkerungsprojektion von D.Hornung nicht an die aktuelle BFS Prognose angepasst wurden, dienen die berechneten Wachstumsraten als Gewichtung der aktuellen Bevölkerungsprognosen, indem die Bevölkerungsanteile einer Gemeinde an der kantonalen Gesamtbevölkerung im Jahr 2030 gemäss Hornung ermittelt wird. Die erwartete kantonale Bevölkerung gemäss BFS wird aufgrund der berechneten Gemeindeanteile auf die einzelnen Gemeinden aufgeteilt.

Bei der Berechnung gemäss Trendszenario wird angenommen, dass innerhalb einer Gemeinde alle VMZ über das identische Wachstum verfügen. Für die Umrechnung von ständiger auf wirtschaftliche Wohnbevölkerung wird angenommen, dass die ständige und die wirtschaftliche Wohnbevölkerung ein identisches Wachstum aufweisen. Die Umrechnung 2030 erfolgt daher gemäss dem Verhältnis im Jahr 2012.

In einem letzten Schritt wird das Bevölkerungswachstum auf Alterskohorten aufgeteilt. Dabei müssen die sich verändernden Anteile der Alterskohorten berücksichtigt werden. Hierzu werden wiederum die Prognosen des BFS verwendet. Diese weisen für jeden Kanton eine Prognose der zukünftigen Anteile der einzelnen Alterskohorten aus. Für den Kanton Bern verändern sich die Anteile der einzelnen Alterskohorten gemäss Tabelle 19.

Tabelle 19 Anteil der Alterskohorten an der Bevölkerung (ausgewählte Kantone)

Alter	Bern		Freiburg		Solothurn	
	Anteil 2012	Anteil 2030	Anteil 2012	Anteil 2030	Anteil 2012	Anteil 2030
<15	14.0%	13.7%	17.1%	16.5%	14.0%	14.0%
15-24	11.2%	9.7%	13.6%	11.5%	12.0%	9.6%
25-59	48.8%	42.5%	49.4%	43.2%	49.6%	43.3%
60-79	20.1%	24.9%	16.1%	22.4%	19.2%	25.0%
>80	5.8%	9.2%	3.7%	6.5%	5.1%	8.0%

Quelle: Szenario der Bevölkerungsentwicklung der Kantone, superweb, BFS

Für die RGSK Bern-Mittelland, die Agglomeration Biel und Teile der Agglomeration Thun werden Zielszenarien für den Bevölkerungsstand 2030 gerechnet. Grundlage für die Zielszenarien bilden Entwicklungsschwerpunkte und Baulandreserven in den einzelnen. Das erwartete Bevölkerungswachstum und das Beschäftigungswachstum für die einzelnen Regionen werden im Zielszenario nicht entsprechend dem bisherigen Trendwachstum auf die einzelnen Gemeinden und VMZ aufgeteilt, sondern eben aufgrund der bestehenden Entwicklungsschwerpunkte und dem zukünftigen Entwicklungspotenzial (Baulandreserven). Die Zielszenarien Bern und Biel wurden im Rahmen von spezifischen Verkehrsmodellierungen berechnet und für die Aktualisierung übernommen. In beiden Regionen wurden lediglich die bestehenden Verteilungen aufgrund der neuen Bevölkerungsprognosen skaliert (basierend auf der kantonalen Bevölkerungsprojektion). In der RGSK Bern-Mittelland wurde anstelle der bisherigen Bevölkerung im Jahr 2030 von 416'959 Einwohnern eine Bevölkerung von 420'611 angenommen

(wirtschaftliche Wohnbevölkerung)¹⁰ und für die Region Biel eine Gesamtbevölkerung von neu 97'783 statt 96'494.

Für die Region Thun wurde ein neues Zielszenario gerechnet. Zu diesem Zweck wurden Entwicklungseinschätzungen in der Agglomeration Thun durch den Entwicklungsraum Thun sowie die Stadt Thun vorgenommen. Im Zielszenario werden folgende Gebiete berücksichtigt:

Tabelle 20 Im Zielszenario berücksichtigte Gebiete

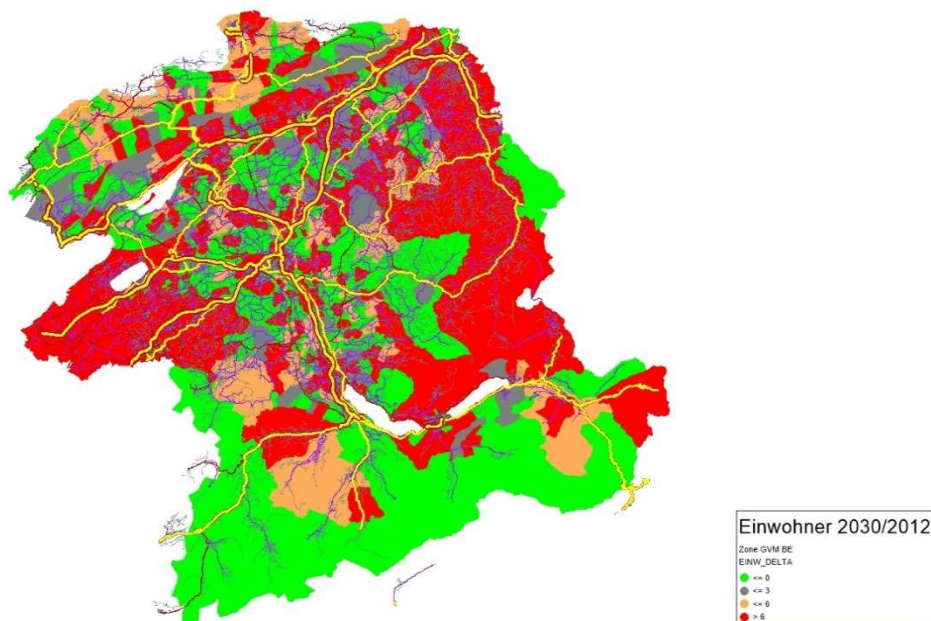
Gemeinde	Gebiet	Gemeinde	Gebiet	Gemeinde	Gebiet
Heimberg	Bernstrasse	Steffisburg	Dükerweg	Thun fort.	Bahnhof Thun
	ZPP Nr. 7 "Bir Underführig"		Hodelmatte		Gwattstrasse/Lachenareal
	Au		Bruchegg		Schadaugärtnerei
	Heimberg Süd		Oberdorf		Blümlimatte
Seftigen	Ortskern		Erlen		Gymermatte
	Breitmoos		Au		Bostudenzelg
	Stampfimatt		Thunstrasse		Rösslimatte
	Husmatt		Glockenthal		Siegenthalergut
Spiez	Kandergrien		Bahnhofstrasse		Lüssli (Pfandern)
	Bühl Nord		ESP Steffisburg Bahnhof		Schoren
	Simmentalstrasse		Bernstrasse		Mittlere Strasse/Rütlistrasse
	Oberlandstrasse	Thun	Areal Grabengut		Weststrasse Süd
	Spiezmoos		Thun Nord		Weststrasse Nord ("Thun Süd")
	Räumli		Bahnhof West / Güterbahnhof	Uetendorf	Ischlag/Dorf
	Lattigen / Au		Areal Emmi (PULS/REX)		Mattenstrasse
	Angolder		Industriestrasse		Glütschbachstrasse

Analog zu den anderen Zielszenarien wurde die erwartete Gesamtbevölkerung gemäss der Prognose des BFS und der kantonalen Projektion nach D. Hornung nicht nach bisherigem Trendwachstum auf die einzelnen Regionen aufgeteilt, sondern auf Basis der zur Verfügung gestellten Informationen bezüglich erwartete zusätzlicher Bevölkerung.

Die relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Zonen ist auch in Abbildung 40 dargestellt.

¹⁰ Für die Verkehrsmodellzonen Köniz_Wabern_1 und Köniz_Wabern_2 wurden die Bevölkerungszahlen nachträglich aufgrund von Angaben des BVE korrigiert. Dadurch steigt auch das Gesamtwachstum für den Kanton Bern auf 3.5% statt 3.4% an.

Abbildung 40 Relative Veränderung der Einwohnerzahl nach Zone [%]



<=0% grün, 0-3% grau, 3-6% orange, >6% rot

9.2.2 Erwerbstätige

Für die Hochrechnung der Erwerbstätigen für die Jahre 2011 bis 2030 gehen wir davon aus, dass sich die Erwerbsquote nicht verändert. Dies bedeutet, dass das Verhältnis zwischen Erwerbstätigen und Wohnbevölkerung im Laufe der Jahre gleichbleibt und somit die Zahl der Erwerbstätigen mit der Bevölkerung wächst. Die auf diese Weise ermittelte Zunahme der erwerbstätigen Personen entspricht einem Wachstum zwischen 2012 und 2030 von rund 7.35% für das gesamte Verkehrsmodellgebiet und von 3.67% für den Kanton Bern.

9.2.3 Beschäftigte

Grundlage für die Trendprognose 2030 bei den Beschäftigten bilden:

- Betriebszählungen des BFS 1995 und 2008;
- Trendprognose im NPVM für die Zunahme der Beschäftigten in der Schweiz zwischen 2005 und 2030 von durchschnittlich 5% in der Schweiz.

Die Hochrechnung erfolgt auf der Basis der Annahme, dass sich das Beschäftigungswachstum analog zum Wachstum der Erwerbstätigen bzw. der Bevölkerung verhält. Aufgrund gemachter Annahmen bei der Aufbereitung der Zielszenarien für einzelne Teilregionen wächst die Beschäftigung allerdings leicht stärker als die Erwerbstätigkeit. Insgesamt ergibt sich für das Modellgebiet ein Beschäftigungswachstum von 7.68%, wobei der Kanton Bern ein Wachstum von 4.37% und das Restgebiet ein Wachstum von 13.11% aufweist.

Innerhalb des Kantons Bern wird das Beschäftigtenwachstum zwischen 2011 und 2030 mit den Wachstumsraten in den einzelnen Regionalkonferenzperimetern zwischen 1995 und 2008 gewichtet und so auf die Regionalkonferenzen verteilt. Daraus ergibt sich folgendes Beschäftigungswachstum:

Tabelle 21 Unterschiedliches Beschäftigungswachstum einzelner Regionen zwischen 2012 – 2030 (VZA)

	Beschäftigte 2011	Beschäftigte 2030	Wachstum 2011-2030
Bern-Mittelland	220'278	231'143	4.93%
Biel/Bienne – Seeland – Jura bernois	80'325	84'482	5.18%
Emmental	32'300	33'212	2.82%
Oberaargau	28'240	29'234	3.52%
Oberland Ost	20'098	20'114	0.08%
Thun-Oberland West	54'551	56'640	3.83%

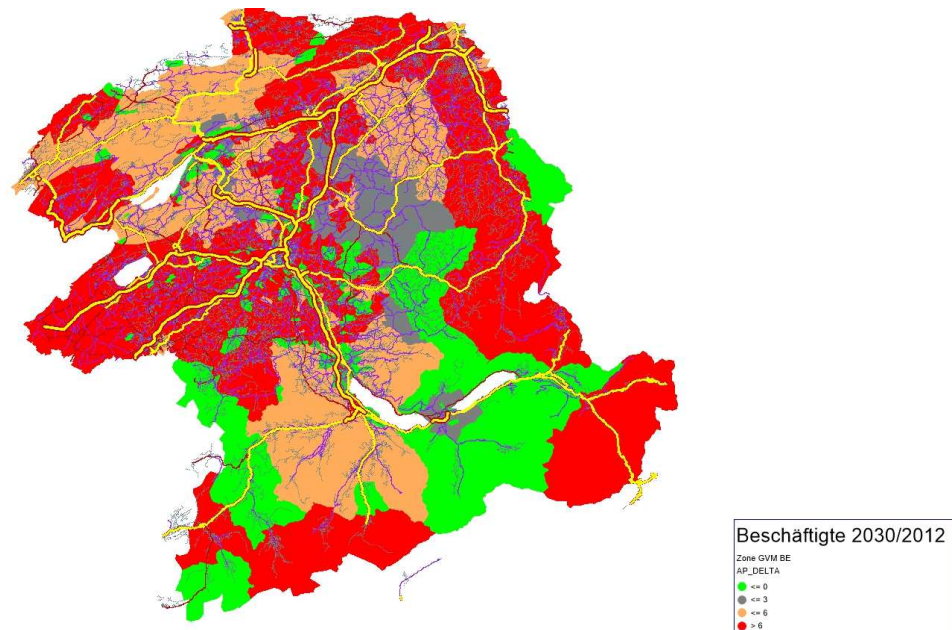
Innerhalb der einzelnen Regionen wird das Wachstum wiederum auf zwei unterschiedliche Arten auf die Gemeinden und VMZ aufgeteilt. In einer Mehrheit der Gemeinden wird dafür ein Trendszenario gerechnet. Dabei ist wiederum das Wachstum zwischen 1995 und 2008 für die Aufteilung des Wachstums auf die Gemeinden entscheidend. Innerhalb einer Gemeinde werden die Beschäftigten entsprechend der heutigen Anteile der einzelnen Verkehrsmodellzonen an der Gesamtbeschäftigung einer Gemeinde auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen aufgeteilt.

In den Regionen RGSK Bern Mittelland, Agglomeration Biel und Teilen der Agglomeration Thun hingegen werden analog zur Bevölkerungsprognose Zielszenarien gerechnet. Die Berechnung der Zielszenarien erfolgte wiederum in einzelnen Modellanwendungen (mit Ausnahme von Thun). Basis der Zielszenarien bilden die Entwicklungsschwerpunkte und Baulandreserven in den einzelnen Gemeinden. Für die einzelnen Regionen unterscheidet sich das Vorgehen leicht:

- Für die Region Bern-Mittelland wird das Bevölkerungswachstum gemäss Trendszenario für die gesamte Region analog zum bestehenden Zielszenario auf die Gemeinden aufgeteilt. Somit werden die Beschäftigungszahlen gemäss bisherigem Trendszenario lediglich auf das neue Beschäftigungswachstum der Region skaliert. Einzig die Angaben zum Modellgebiet Köniz Wabern 1 wurde Aufgrund der erwarteten Entwicklung durch das BVE zusätzlich korrigiert.
- Für die Agglomeration Biel werden die bisherigen Zielszenario-Daten 1:1 übernommen.
- Für die Region Thun wurde ein neues Zielszenario gerechnet. Zu diesem Zweck wurden Entwicklungseinschätzungen in der Agglomeration Thun durch den Entwicklungsraum Thun sowie die Stadt Thun vorgenommen (vgl. Abschnitt 9.2.1).

Die relative Veränderung der Beschäftigten nach Zonen ist in Abbildung 41 dargestellt.

Abbildung 41 Relative Veränderung der Beschäftigten nach Zonen [%]



<=0% grün, 0-3% grau, 3-6% orange, >6% rot

9.2.4 Auszubildende

Für die Prognose 2030 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 2012 und 2030 der Alterskohorten der bis 15-Jährigen auf Gemeindebasis ermittelt und die Zahl der Standortschüler im Jahr 2011 pro Verkehrsmodellzone mit der entsprechenden Gemeindegrowthrate multipliziert. Dies führt insgesamt zu einem leichten Rückgang der Schülerzahlen im Kanton Bern und einem Zuwachs der Schülerzahlen im übrigen Modellgebiet. Der Rückgang im Kanton Bern ist aufgrund der erwarteten Entwicklung der Alterspyramide in Kombination mit einem kleinen Gesamtwachstum der Bevölkerung plausibel.

Zwischen 1990 und 2012 ist die Zahl der Studierenden an der Universität Bern insgesamt um über 40% angestiegen, was einem durchschnittlichen Wachstum von über 1.6% pro Jahr entspricht. In den Jahren zwischen 2012 und 2030 wird auch ein Wachstum der Zahl der Studierenden erwartet. Es ist allerdings sehr schwierig, eine Prognose über die künftige Entwicklung zu geben. Die einfachste Variante wäre anzunehmen, dass das Wachstum der vergangenen 21 Jahre anhält. Dies würde bedeuten, dass sich die Zahl der Studierenden an der Universität Bern bis ins Jahr 2030 um weitere 36% 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:

- Das Kohortenwachstum der 15-25-Jährigen ist deutlich negativ. Im gesamten Modellgebiet wird eine Abnahme von über 10% erwartet (gemäss BFS-Prognose).
- 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. Die daraus resultierende jährliche Wachstumsrate von rund 0.8% korrigieren wir zusätzlich noch um das negative Kohortenwachstum (15-25-Jährige). Daraus ergibt sich ein Gesamtwachstum zwischen 2011 und 2030 von 14.9%¹¹.

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.

9.2.5 Verkaufsflächen und Einkaufszentren

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand grundsätzlich übernommen. Ausnahmen werden gemacht, falls bereits grössere Bauprojekte bekannt sind und von deren Realisierung vor 2030 ausgegangen werden kann.

9.2.6 Kulturangebot

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.2.7 Freizeitangebot

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.2.8 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.2.9 Bestand an Personenwagen

Das Wachstum der Personenwagen bis 2030 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 Basisszenario dem Jahr 2005 und nicht 2012 entspricht, wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums im kantonalen Basisszenario (d.h. zwischen 2005 und 2012) bereits realisiert wurde. Die Wachstumsrate wird demnach linear um 7/25 gekürzt. Somit entspricht die im kantonalen Modell verwendete Wachstumsrate für 2012 bis 2030 18/25-tel der Wachstumsrate von 2005 bis 2030 aus dem NPVM.

Um den Bestand der Personenwagen per 2030 zu errechnen werden die Personenwagen im Jahr 2012 mit dem (angepassten) Wachstum der Personenwagen pro Einwohner und der Veränderung der ständigen Wohnbevölkerung multipliziert.

¹¹ Wir verwenden für sämtliche Universitäten die gleichen Wachstumswahlen wie für die Uni Bern.

9.2.10 Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

9.2.11 Besitz von Abonnementen 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 2005 und 2030 und eine entsprechende Wachstumsrate ermittelt werden. Da im NPVM das Basisszenario dem Jahr 2005 und nicht 2012 entspricht, wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums im kantonalen Basisszenario (d.h. zwischen 2005 und 2012) bereits realisiert wurde. Die Wachstumsrate wird demnach linear um $7/25$ gekürzt. Somit entspricht die im kantonalen Modell verwendete Wachstumsrate für 2012 bis 2030 $18/25$ -tel der Wachstumsrate von 2005 bis 2030 aus dem NPVM. Um den Bestand der Halbtax-Abos und Generalabonnemente per 2030 zu errechnen, werden die Abos im Jahr 2011 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 2030 wurden die Zahlen des Ist-Zustands übernommen.
- Flughafendaten: Für den Zustand 2030 wurde das Wachstum von Bächtold und Moor¹² übernommen. Hier wird von einer Zunahme der Passagierzahlen von 20% ausgegangen.

9.3 Berechnung der Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrageveränderungen (Prognose 2030) 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 2030 ändern werden. Die neuen Mobilitätsraten werden aus den Schweizerischen Verkehrsperspektiven bis 2030 (Keller *et al.*, 2004) übernommen.

Aus dem zukünftigen Verkehrsangebot und dem Erzeugungsmodell werden mit dem simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell (VISEVA) die neuen fahrtzweckspezifischen Prognosematrizen erstellt. Ansatz,

¹² nicht veröffentlichte Studie zu den Ausbauprojekten des Flughafens Belp im Auftrag des Betreibers Alpar AG.

Segmentierung, Nutzenfunktion und Modellparameter werden aus dem Basisjahrmmodell 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 Basisjahrmmodell durchgeführt, um die Wirkungen des veränderten Verkehrsangebots und der soziodemographischen bzw. siedlungsstrukturellen Entwicklungen getrennt aufzeigen zu können.

Die Erstellung der Gesamtnachfrage für das Prognosejahr 2030 wird in zwei Schritten durchgeführt:

- Binnenverkehr: Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen im Binnenverkehr 2030 (VISEVA) und Ableitung der Nachfrageveränderungen;
- Hochrechnung der Gesamtmatrix 2030 inklusive Aussenverkehr: Hochrechnung der Nachfrageveränderungen aus den ermittelten Nachfrageveränderungen 2030/2012 (VISEVA) und aus der kalibrierten Matrix 2012.

Wie bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2012 kann auch die Matrix für das Jahr 2030 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 2030 und 2012 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 2030 sind die auf die Querschnittszählungen kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2012 und die neu berechneten Differenzmatrizen zwischen dem Prognosejahr und 2012 (VISEVA). Aus der Summe der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2012 und der Differenzmatrizen „Prognosejahr 2030 – 2012“ ergeben sich die neuen Quelle-Ziel-Matrizen 2030 (siehe auch Abbildung 42).

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 2012 übernommen.

Bei den Erzeugungsraten werden für die einzelnen Fahrtzwecke folgende Annahmen getroffen (angelehnt an die Prognosen des BFS; siehe Keller *et al.*, 2004):

- Pendler (Arbeit und Ausbildung): unverändert;
- Einkaufen: +5.3%;
- Nutzfahrten: +21.0%;
- Freizeit: +15.6%.

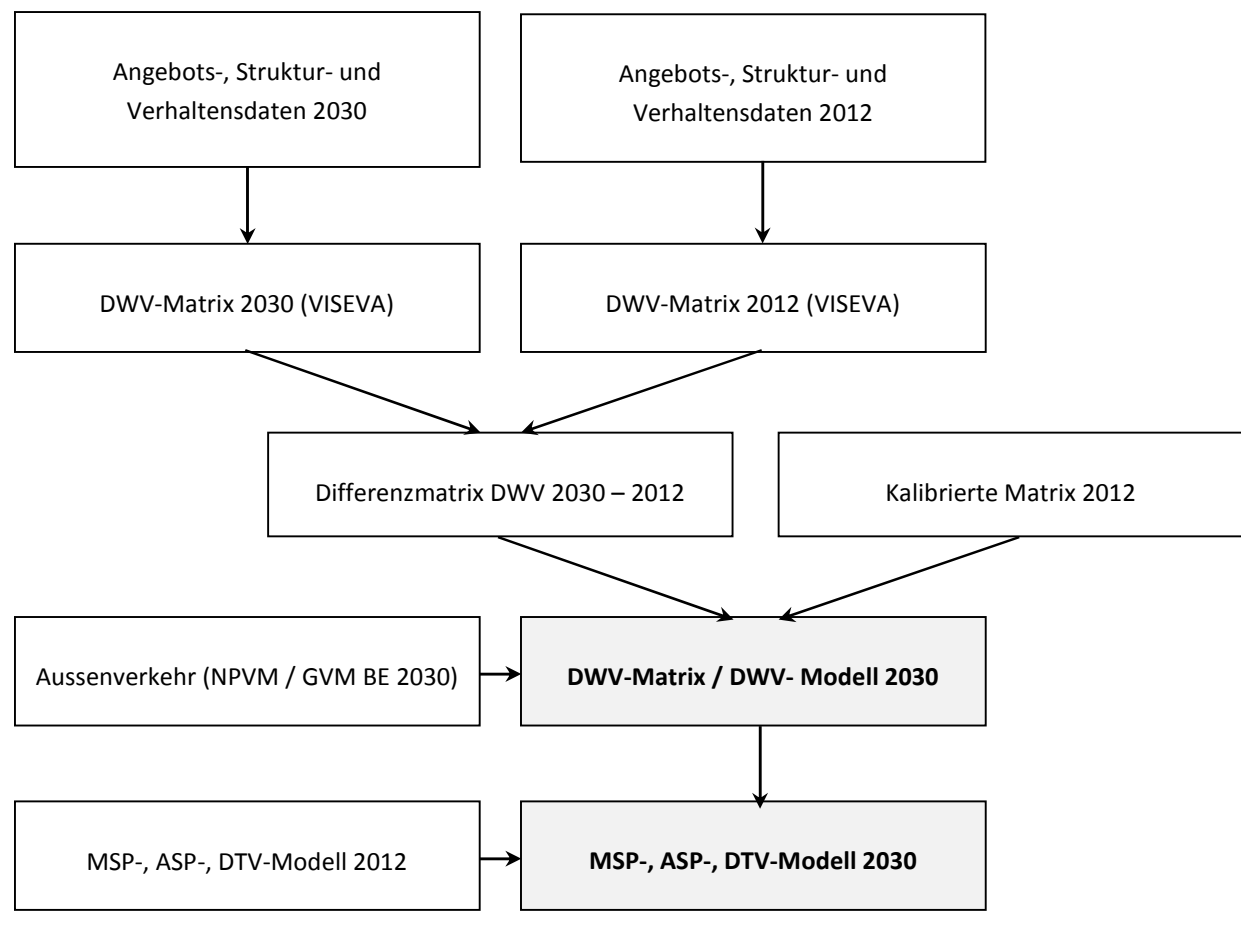
Die Wachstumsfaktoren im Strassengüterverkehr zwischen 2012 und 2030 werden aus dem NPVM übernommen. Die Matrizen im Strassengüterverkehr werden somit gegenüber 2012 um 21% erhöht (Infras, 2007).

Die Besetzungsgrade für PW-Fahrten werden (ebenfalls gestützt auf die Prognosen des BFS) gemäss Tabelle 22 verringert.

Tabelle 22 Besetzungsgrade 2012 – 2030

Fahrtzweck	Besetzungsgrad 2012 [Personen/PW]	Besetzungsgrad 2030 [Personen/PW]
Arbeit	1.12	1.05
Ausbildung	1.41	1.25
Einkauf	1.48	1.30
Nutzfahrt	1.20	1.10
Freizeit	1.75	1.50
Alle	1.45	1.33

Abbildung 42 Vorgehen bei der Erstellung der Prognosemodelle 2030



9.4 Ergebnisse

9.4.1 Binnenströme

Tabelle 23 zeigt die Entwicklung der Gesamtverkehrsnachfrage (Verkehrsaufkommen) innerhalb des Modellperimeters von 2012 bis 2030. Die Gesamtanzahl zurückgelegter Wege im Modellperimeter steigt zwischen 2012 und 2030 um 17.5%.

Tabelle 23 Vergleich des Verkehrsaufkommens 2012 – 2030 (Binnenströme DWV)

	Berechnete Anzahl Wege 2012 [Mio]	Berechnete Anzahl Wege 2030 [Mio]	Veränderung [%]
Arbeit	1.43	1.52	+6.6
Ausbildung	0.51	0.54	+6.6
Einkauf	1.50	1.78	+18.7
Nutzfahrt	0.18	0.23	+29.1
Freizeit	2.76	3.41	+23.8
Gesamt	6.37	7.49	+17.5

Dieses Wachstum resultiert einerseits aus dem Bevölkerungswachstum und andererseits aus den veränderten Erzeugungsraten sowie der veränderten Altersstruktur der Bevölkerung. Der überproportionale Anstieg bei den Einkaufs- und Freizeitwegen sowie die Stagnation der Pendelwege ist dadurch bedingt, dass die Bevölkerung insgesamt älter wird und dadurch eine Verschiebung der Fahrtzweckanteile stattfindet.

Die Verschiebung der Fahrtzweckanteile an der Gesamtverkehrsnachfrage zwischen 2012 und 2030 ist aus Tabelle 24 ersichtlich.

Die Pendlerwege (Arbeit und Ausbildung zusammen) betragen nur noch einen Anteil von ca. 30% am Gesamtverkehrsaufkommen, was einer Abnahme von ca. 3% gegenüber 2012 entspricht. Die Anteile der Einkaufs- und insbesondere der Freizeitwege nehmen dementsprechend zu.

Tabelle 24 Vergleich der Fahrtzweckanteile 2012 – 2030 (Binnenströme DWV)

	Anteil der berechneten Wege 2012 [%]	Anteil der berechneten Wege 2030 [%]	Veränderung [%]
Arbeit	22.4	20.3	-2.1
Ausbildung	8.0	7.2	-0.8
Einkauf	23.5	23.8	+0.3
Nutzfahrt	2.8	3.1	+0.3
Freizeit	43.2	45.5	+2.3

Tabelle 25 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. Insgesamt nimmt der MIV um ca. 500'000 Fahrten (14.5%) und der ÖV um ca 300'000 Wege (41.2%) zu.

Tabelle 25 Verkehrsaufkommen 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)

[Mio Wege]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	0.81	0.29	0.13	0.29	1.52
Ausbildung	0.06	1.60	0.09	0.23	0.54
Einkauf	0.88	0.21	0.12	0.57	1.78
Nutzfahrt	0.17	0.03	0.01	0.03	0.23
Freizeit	1.90	0.40	0.26	0.09	3.41
Gesamt	3.81	1.08	0.61	1.99	7.49
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	+1.0	+38.3	+0.3	+2.5	+6.6
Ausbildung	-7.6	+19.5	+3.4	+3.9	+6.6
Einkauf	+14.9	+46.8	+17.0	+16.9	+18.7
Nutzfahrt	+26.1	+65.9	+22.9	+23.7	+29.1
Freizeit	+21.1	+50.1	+21.2	+20.6	+23.8
Gesamt	+14.5	+41.2	+12.6	+14.4	+17.5

Analog zum Verkehrsaufkommen (als Anzahl Wege) zeigt Tabelle 26 die Entwicklung der Verkehrsleistung (in Personenkilometern) zwischen 2012 und 2030, wiederum aufgeteilt nach Verkehrsmittel und Fahrtzweck. Das stärkere Wachstum der ÖV-Nachfrage, mit welchem durchschnittlich längere Wege zurückgelegt werden, führt hier dazu, dass die Verkehrsleistungen insgesamt etwas stärker ansteigen als das Verkehrsaufkommen.

Tabelle 26 Verkehrsleistung 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)

[Mio Pkm]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	9.7	4.7	0.4	0.5	15.2
Ausbildung	0.6	2.4	0.2	0.5	3.7
Einkauf	8.0	1.7	0.3	0.9	10.9
Nutzfahrt	2.5	0.8	0.0	0.0	3.3
Freizeit	24.2	7.3	0.8	1.6	34.0
Gesamt	45.0	17.0	1.8	3.4	67.2
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss	Total
Arbeit	-0.1	+35.5	1.9	5.2	8.9
Ausbildung	-14.6	+21.4	+5.5	+6.6	+11.0
Einkauf	+12.1	+43.3	+18.5	+18.1	+16.8
Nutzfahrt	+25.1	+63.6	+24.6	+25.8	+32.2
Freizeit	+20.4	+50.0	+23.2	+23.9	+26.0
Gesamt	+13.5	+40.9	+14.9	+17.1	+19.6

Tabelle 27 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 2.4%

zunimmt. Diese Verschiebung zum ÖV hin findet zu etwa gleichen Anteilen auf Kosten des MIV und des Langsamverkehrs statt.

Tabelle 27 Anteile am Verkehrsaufkommen 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	5.4	18.8	8.4	19.3
Ausbildung	10.4	29.6	16.8	43.2
Einkauf	49.1	11.7	6.9	32.2
Nutzfahrt	74.6	10.8	3.8	10.8
Freizeit	55.6	11.6	7.6	25.3
Gesamt	50.9	14.4	8.1	26.6
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-3.0	+4.3	-0.5	-0.8
Ausbildung	-1.6	+3.2	-0.5	-1.1
Einkauf	-1.6	+2.2	-0.1	-0.5
Nutzfahrt	-1.7	+2.4	-0.2	-0.5
Freizeit	-1.2	+2.0	-0.2	-0.7
Gesamt	-1.3	+2.4	-0.4	-0.7

Tabelle 28 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 stagniert der Anteil des Langsamverkehrs, da zwar ein Teil der zusätzlichen ÖV-Wege vom Langsamverkehr abgezogen werden, es sich hierbei jedoch in erster Linie um kurze Wege handelt.

Tabelle 28 Anteile an der Verkehrsleistung 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnenströme DWV)

[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	63.6	30.7	2.5	3.1
Ausbildung	16.3	66.1	5.3	12.2
Einkauf	73.2	15.8	2.8	8.1
Nutzfahrt	75.4	22.8	0.7	1.2
Freizeit	71.2	21.6	2.5	4.7
Gesamt	67.0	25.2	2.6	5.1
[%]	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Arbeit	-5.7	+6.0	-0.2	-0.1
Ausbildung	-4.9	+5.7	-0.3	-0.5
Einkauf	-3.0	+2.9	+/-0.0	+0.1
Nutzfahrt	-4.3	+4.4	+/-0.0	-0.1
Freizeit	-3.3	+3.5	-0.1	-0.1
Gesamt	-3.6	+3.8	-0.1	-0.1

9.4.2 Binnen- und Aussenströme (Gesamtverkehr)

Die Aussenströme für das Jahr 2030 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 2030 aus den Quelle-Ziel-Strömen 2012 und den ermittelten Wachstumsfaktoren pro Quelle-Ziel-Beziehung und Verkehrsmittel berechnet. Das Nachfragewachstum der Aussenzonen wurde aus dem Prognosemodell 2030 des NPVM übernommen.

Tabelle 29 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, aber ohne Transitverkehr).

Die Nachfrage im Strassenverkehr nimmt demnach im Modellperimeter um 25.1% zu, die Verkehrsleistung um 26.6%. Die relative Zunahme im MIV ist bei den hier dargestellten Fahrten höher als bei den zurückgelegten Wegen im vorigen Abschnitt, da die Besetzungsgrade 2030 tiefer sind als 2012. Im ÖV beträgt die Zunahme beim Verkehrsaufkommen 41.3%, bei der Verkehrsleistung 47.1%.

Tabelle 29 Verkehrsnachfrage 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnen- und Aussenströme DWV)

	Verkehrsaufkommen (gesamt)	Verkehrsleistung (Modellperimeter) [Mio km]
PW-Fahrten	3'158'840 (+640'338; +25.4%)	37.06 (+8.1; +27.7%)
Strassengüterverkehr	251'512 (+50'805; +20.2%)	5.93 (+1.0; +20.2%)
Strassenverkehr gesamt (Fahrten)	3'410'325 (+691'143; +25.1%)	43.00 (+9.09; +26.6%)
ÖV	1'280'543 (+374'440; +41.3%)	25.24 (+8.08; +47.1%)

Die Entwicklung des Verkehrsaufkommens im MIV und ÖV ist aus Tabelle 30 ersichtlich. Die Anzahl mit dem MIV zurückgelegter Wege nimmt im Ausbildungsverkehr ab (siehe Tabelle 25); diese Abnahme wird jedoch durch die Verringerung der Besetzungsgrade (siehe Tabelle 22) überkompensiert, so dass die Anzahl PW-Fahrten für alle Fahrtzwecke zunimmt.

Insgesamt erhöht sich das Verkehrsaufkommen im motorisierten Verkehr (MIV und ÖV) gegenüber 2012 um ca. 30%; im MIV beträgt die Zunahme ca. 25%, im ÖV ca. 41%. Hier muss beachtet werden, dass durch den kleinen Modal-Split-Anteil des ÖV das absolute Wachstum im MIV einen bedeutenden Anteil am gesamten Nachfragewachstum hat. Vom gesamten Nachfragezuwachs im motorisierten Verkehr (MIV und ÖV: 1.01 Mio. Wege) werden 63% weiterhin mit dem MIV durchgeführt.

Tabelle 30 Verkehrsaufkommen 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnen- und Aussenströme DWV)

[Mio Fahrten]	PW-Fahrten		ÖV-Wege	
Arbeit	0.80	(+7.2%)	0.35	(+32.0%)
Ausbildung	0.39	(+3.5%)	0.17	(+23.2%)
Einkauf	0.51	(+30.4%)	0.23	(+49.9%)
Nutzfahrt	0.14	(+33.6%)	0.04	(+64.1%)
Freizeit	1.02	(+37.0%)	0.48	(+50.9%)
Gesamt	3.16	(+25.4%)	1.28	(+41.3%)

Tabelle 31 zeigt analog die Entwicklung der Verkehrsleistung (Binnen-, Quell- und Zielverkehr des Modellperimeters) im MIV und ÖV. Hier ist wiederum ersichtlich, dass die Verkehrsleistungen stärker ansteigen als das Verkehrsaufkommen, was vor allem durch die längeren Wegdistanzen bedingt ist.

Die Verkehrsleistungen wachsen im ÖV deutlich stärker als im MIV, was wiederum auf die Angebots- und Siedlungsentwicklung zurückzuführen ist. Ein entsprechend starkes Wachstum im MIV wird durch die starke Kapazitätsauslastung und die damit verbundenen langen Reisezeiten verhindert.

Es ist zudem darauf hinzuweisen, dass die ÖV-Verkehrsleistung im Aussenverkehr stärker zunimmt als im Binnenverkehr. Weiterhin ist ersichtlich, dass im MIV das Wachstum vor allem im Freizeitverkehr bemerkbar ist, da dieser Fahrtzweck volumenmässig und auch beim absoluten Wachstum dominiert. Insgesamt wächst die Verkehrsleistung im motorisierten Verkehr auf dem Verkehrsnetz innerhalb des Modellgebiets bis zum Jahr 2030 um 35%, wobei der MIV um 28% und der ÖV um 47% zunimmt.

Tabelle 31 Verkehrsleistung 2030 und Veränderung gegenüber 2012 (Binnen- und Aussenströme DWV)

[Mio PWkm / Pkm]	PW-Fahrten		ÖV-Wege	
Arbeit	8.64	(+2.7%)	5.23	(+14.5%)
Ausbildung	0.38	(-1.5%)	3.20	(+23.7%)
Einkauf	5.18	(+25.2%)	1.97	(+83.9%)
Nutzfahrt	3.40	(+41.5%)	2.47	(+77.0%)
Freizeit	19.47	(+43.0%)	12.36	(+64.1%)
Gesamt	37.07	(+27.7%)	25.23	(+47.1%)

Tabelle 32 zeigt die Entwicklung der Modal-Split-Anteile für den Binnen- und Aussenverkehr zwischen 2012 und 2030. Dargestellt ist jeweils die Veränderung des ÖV-Anteils an der Summe der motorisierten Wege. Durch das schnellere Wachstum des ÖV gegenüber dem MIV erhöht sich auch der Modal-Split-Anteil des ÖV im Jahr 2030, beim Verkehrsaufkommen um 2.4% und bei der Verkehrsleistung um 3.3%. Auch hier zeigt sich die Wirkung der erhöhten Reiseweite im ÖV, so dass die Verkehrsleistung ein höheres Wachstum aufweist als das Verkehrsaufkommen.

Tabelle 32 Veränderung der Modal-Split-Anteile 2012 – 2030 (Binnen- und Aussenströme DWV)

ÖV-Veränderung [%]	Verkehrsaufkommen	Verkehrsleistung (Modellperimeter)
Arbeit	+4.1	+2.5
Ausbildung	+2.8	+2.4
Einkauf	+2.6	+7.0
Nutzfahrt	+2.9	+5.3
Freizeit	+1.8	+3.2
Gesamt	+2.4	+3.3

9.4.3 Spitzenstunden

Aus den DWV-Matrizen für das Jahr 2030 wurden mit dem oben beschriebenen Verfahren die Matrizen für die Morgen- (MSP) und Abendspitzenstunde (ASP) ermittelt.

Die Eckwerte der aus diesen Berechnungen resultierenden Nachfragematrizen sind in Tabelle 33 dargestellt. Das relative Gesamtwachstum in den Spitzenstunden ist im MIV proportional etwa gleich wie jenes im DWV (ca. 27%), im ÖV aber (auch aufgrund der geringeren Gesamtanzahl an Wegen) deutlich höher (ca. 40%).

Tabelle 33 Eckwerte der Matrizen 2030: MSP und ASP

	PW [Mio Fahrten]	ÖV [Mio Wege]
MSP	0.82 (+26.9%)	0.44 (+39.7%)
ASP	0.92 (+26.7%)	0.47 (+40.7%)

9.4.4 Netzbelastungen

Abbildung 43 zeigt die Übersicht der DWV-Netzbelastungen im MIV für den Prognosezustand 2030 und die Veränderungen gegenüber 2012. Analog dazu sind in Abbildung 44 die Belastungen im ÖV dargestellt.

Die Streckenbalken zeigen jeweils in gelb die Belastung 2012, in rot Zunahmen und in grün Abnahmen der Belastungen zwischen 2012 und 2030.

Insbesondere auf den Hauptverkehrsachsen ist bei beiden Verkehrsträgern eine starke Zunahme des Verkehrs zu verzeichnen.

Abbildung 43 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2030 vs. 2012 – MIV



Abbildung 44 Darstellung der Streckenbelastungen (DWV) 2030 vs. 2012 – ÖV



10 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Angesichts der ermittelten Modellergebnisse und der durchgeführten Plausibilitätsanalysen wurden die Zielsetzungen des Projekts vollständig 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.

Ein weiterer nicht unwesentlicher Punkt ist hier die Wahl des Umlegungsverfahrens für den Strassengüterverkehr. Während eine Gleichgewichtsumlegung hier zu verlängerten Rechenzeiten führt, ist sie für kleinräumige Untersuchungen dennoch zu empfehlen. Die Verwendung einer Sukzessivumlegung führt dazu, dass die Anbindungsanteile nicht berücksichtigt werden und somit die kleinräumige Verteilung der Verkehrsströme nicht korrekt berücksichtigt. Die daraus resultierenden Vorbelastungen für die PW-Umlegung könnten dann im untergeordneten Netz unter Umständen zu unerwünschten Effekten (unrealistische Routenwahl) führen. Im Sinne einer detaillierten Abbildung solcher Ströme sollte also eine Gleichgewichtsumlegung für alle Fahrzeugklassen und eine entsprechend realitätsnahe Aufteilung der Anbindungsgewichte angestrebt werden.

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 richtungstrennte Erfassung der Verkehrsströme, da insbesondere in den Spitzenstunden nicht davon ausgegangen werden kann, dass diese symmetrisch auf beide Fahrrichtungen 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.

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 Modellanwendungen 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 Teleatlas-Netz nicht detailliert genug ist.

11 Literatur

Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik (2012) Mobilität in der Schweiz – Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, Bundesamt für Statistik, Bern.

Dijkstra P., S. Gerber und M. Schauwecker (2012) A5 Umfahrung Biel, Bericht zu den Verkehrsgrundlagen, Tiefbauamt des Kantons Bern, Bern.

Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2006) Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen, FGSV Verlag, Köln.

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

Fröhlich, Ph., T. Wieczorek und M. Vrtic (2012) Nationales Personen- und Güterverkehrsmodell des UVEK, Zonen- und Netzstrukturen des Nationalen Personenverkehrsmodells, Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern.

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

Infras (2007) Energieperspektiven Schweiz, Teil Verkehr, Bundesamt für Energie, Bern.

Keller M., R. Frick, R. Zbinden, P. Leyboldt, U. Matthes und S. Rommerskirchen (2004) Perspektiven des Schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, Entwurf Schlussbericht für das ARE, ASTRA, BAV und BFE, Bern.

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

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

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

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

Vrtic, M., P. Fröhlich, C. Schiller, R. Neuenschwander, P. Walker und D. Amstadt (2010) Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern, Bau- Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Bern.

Vrtic, M. und P. Fröhlich (2010) Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern: Zielszenario 2030, Regionalkonferenz Bern-Mittelland, Bern.

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

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

