

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern

Schlussbericht

Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern

Arbeitsgemeinschaft Bern-Traffic

Milenko Vrtic
Philipp Fröhlich
Christian Schiller

René Neuenschwander
Philipp Walker

Philip Dijkstra
Daniel Amstadt

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern

v2, 11. Juni 2010

Bezugsadresse:

Bau-, Verkehrs und Energiedirektion des Kantons Bern

Generalsekretariat, Abteilung Gesamtmobilität

Reiterstrasse 11

3011 Bern

www.bve.be.ch/site/gesamtmobilitaet

Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern

Auftragnehmer:

TransOptima GmbH

Verkehrsconsulting Fröhlich

ECOPLAN

Buchhofer Barbe AG

Projektleitung: Dr.-Ing. Milenko Vrtic

TransOptima GmbH, Olten

Dr.-Ing. Milenko Vrtic

Dr.-Ing. Christian Schiller

Verkehrsconsulting Fröhlich, Bäch

Dr. sc. Philipp Fröhlich

ECOPLAN, Bern

René Neuenschwander

Philipp Walker

Buchhofer Barbe AG, Zürich

Philip Dijkstra

Daniel Amstadt

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	1
2	Ausgangslage.....	4
3	Problemanalyse und Ziele	5
4	Modellkonzept.....	6
5	Erläuterung des Arbeitsprogramms	8
6	Systemabgrenzung.....	11
6.1	Zonierung und Zonenanbindung	11
6.1.1	Zonierung.....	11
6.1.2	Anbindungen	16
7	Erstellung ÖV–Verkehrsangebot.....	19
7.1	ÖV-Angebot	19
7.2	Haltestellen	20
7.3	Aggregation der Fahrpläne	21
7.4	Validierung Fahrplandaten	24
7.5	Zählzeiten ÖV	26
8	Erstellung MIV–Verkehrsangebot.....	28
8.1	Datengrundlagen MIV-Netz.....	28
8.2	Netzaufbereitung	29
8.2.1	Capacity-Restraint-Funktionen.....	34
8.3	Knotentypisierung	36

8.3.1	Berechnung von Knotenwiderständen.....	37
8.4	Anmerkungen zum TeleAtlas-Netz	40
8.5	Zählraten MIV	41
8.6	Lieferwagen- und LKW-Matrix	44
9	Nachfrageberechnung.....	46
9.1	Tagesmodell (DWV): Erzeugung der Quelle-Ziel-Matrizen.....	47
9.2	Strukturdaten	50
9.2.1	Wohnbevölkerung und Altersstruktur	50
9.2.2	Erwerbstätige und Beschäftigte	51
9.2.3	Auszubildende	53
9.2.4	Verkaufsflächen und Einkaufszentren.....	54
9.2.5	Kulturangebote	55
9.2.6	Freizeitangebote.....	57
9.2.7	Gastronomie (Hotels und Restaurants).....	59
9.2.8	Bestand an Personenwagen	61
9.2.9	Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz.....	62
9.2.10	Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr	63
9.2.11	Touristische Anlagen.....	64
9.2.12	Weitere Daten.....	64
9.3	Verhaltensdaten: Mikrozensus 2005	66
9.3.1	Informationen zum Mikrozensus 2005.....	66
9.3.2	Datengrundlage und Grundgesamtheit	67

9.3.3	Stichprobenzusammensetzung.....	69
9.3.4	Auswertungen.....	70
9.3.5	Reiseweiteverteilung nach Hauptverkehrsmittel und Fahrtzweck	70
9.3.6	Modal Split-Anteile nach Wegzwecken und Quelle-Ziel-Gruppen	72
9.3.7	Auswertung 3: Spezifisches Verkehrsaufkommen nach Quelle-Ziel-Gruppen ...	74
9.4	Erzeugungsmodell	79
9.5	Modellparameter.....	88
9.6	Matrixerstellung und Matrixvalidierung	101
9.7	Validierung der Matrixstruktur (Binnenverkehrsmatrix)	107
9.8	Umlegung und Validierung der Netzbelastungen	121
10	Kalibrierung der Quelle-Zielmatrizen auf die Querschnittszählungen (DWV)	147
10.1	Methodik der Kalibrierung	147
10.2	Ergebnisse der Kalibrierung	150
10.3	Erstellung der Spitzenstunden Quelle-Ziel-Matrizen	174
10.3.1	Ableitung der räumlichen und zeitlichen Nachfragevariationen.....	175
10.3.2	Generierung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen	182
10.4	Kalibrierung der Spitzenstundenmodelle	183
11	Umrechnung DWV / DTV	191
12	Verkehrsprognosen.....	194
12.1	Vorgehen	195
12.2	Prognosenetze MIV und ÖV	196
12.3	Strukturdaten	200

12.3.1	Aufbereitung Bevölkerungsprognose für den Zustand 2030.....	200
12.3.2	Erwerbstätige	203
12.3.3	Beschäftigte	204
12.3.4	Auszubildende	207
12.3.5	Verkaufsflächen und Einkaufszentren.....	209
12.3.6	Kulturangebote	209
12.3.7	Freizeitangebote.....	209
12.3.8	Gastronomie (Hotels und Restaurants).....	210
12.3.9	Bestand an Personenwagen	210
12.3.10	Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz.....	212
12.3.11	Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr	212
12.3.12	Weitere Daten	213
12.4	Erzeugungsmodell	214
12.5	Quelle-Ziel-Matrizen 2030	215
12.5.1	Nachfrageveränderungen im Binnenverkehr.....	216
12.5.2	Gesamtmatrix: Binnen- und Aussenverkehr.....	219
13	Schlussfolgerung und Empfehlungen.....	237
14	Literatur	242
	Glossar	244

1 Kurzfassung

Die Anforderungen an die Verkehrsplanung und die dazu notwendigen Instrumente haben sich in letzter Zeit stark verändert. Zu den traditionellen Aufgaben, der eher langfristigen Infrastrukturplanung, kommen neue Verkehrsmanagementstrategien mit den Fragen nach Beeinflussung der Verkehrsnachfrage und Optimierung der Verkehrsabläufe dazu. 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 oder sei es zur Ermittlung grossräumiger Veränderungen. Da im Kanton Bern für die gesamtkantonalen Fragestellungen eine übergreifende Modellgrundlage gefehlt hat, wurde in vorliegendem Projekt ein neues, kantonales Gesamtverkehrsmodell (GVM) erstellt.

Das Ziel des Projektes war die Erstellung eines prognosefähigen, massnahmensensitiven und multi-modalen Verkehrsmodells für den Ist-Zustand (Jahr 2007) und eine Prognosezustand 2030. Die Erstellung eines solchen Verkehrsmodells erfordert neben der Überprüfung der *Modellstruktur* und der einzelnen *Modellkomponenten* vor allem, minimale Abweichungen des Modells gegenüber der erhobenen Verkehrsnachfrage, sowie verlässliche *Verhaltensparameter*. Damit wird eine realitätsentsprechende Abbildung des Verkehrsgeschehens und seiner Rahmenbedingungen einerseits, als auch die Prognosefähigkeit des Verkehrsmodells andererseits als Zielvorgabe gestellt.

Der Modellaufbau wird in zwei Schritten durchgeführt:

- Abbildung des Verkehrsgeschehens im Ist-Zustand (Basismodell)
- Abbildung von Prognosezustände und Massnahmenwirkungen

Als Voraussetzung für die Erstellung des Basismodells 2007, wurde in einem ersten Schritt das Verkehrsangebot im MIV und dem ÖV neu erstellt. Die Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen erfolgte aufbauend auf einer Einteilung der Verkehrsnachfrage in 17 Quell-Ziel-Gruppen (QZG) gemäss der Aktivitäten, welche die Personen am Quell- und Zielort ausführen. Für jede QZG wird eine eigenständige Nachfragematrix erstellt, die anschliessend zunächst zu fahrtzweckbezogenen Matrizen und schliesslich zu Gesamtmatrizen je Verkehrsmittel (MIV, ÖV, Fuss und Fahrrad) zusammengefasst wurden. Voraussetzung für die Berechnung der Matrizen waren einerseits, die aus der Verkehrserzeugung ermittelten Quell- und Zielverkehrsaufkommen für jede QZG, die Angebots- und Attraktionsdaten sowie die geschätzten Modellparameter, die das Wahlverhalten der Verkehrsteilnehmer in den einzelnen Entscheidungssituationen (Ziel-, Verkehrsmittelwahl) wiedergibt.

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 Quell-/Ziel-Gruppen und einem verhaltensorientierten Kennwertmodell
- Verkehrsverteilung (Zielwahl) – mit differenzierter Berechnung von Bewertungswahrscheinlichkeiten (Nutzenfunktionen)
- Verkehrsaufteilung (Verkehrsmittelwahl)

Für die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage wird ein simultanes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt. Dies umfasst die Modellierung und Kalibrierung eines detaillierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells auf Grundlage von Mikrozensus Verkehr 2005 und verfügbaren Stated-Preference Befragungen. Die Modellschätzungen ergeben ein simultanes Modell der Ziel- und Verkehrsmittelwahl, das in der Lage ist, die räumliche und modale Konkurrenz angemessen abzubilden.

Die Nachfrageberechnung erfolgt in zwei Schritten:

- Erstellung und Eichung der Quell-Ziel-Matrizen für den durchschnittlichen Werktagverkehr 2007
- Erstellung und Eichung von Spitzenstundenmodellen 2007

Die Nachfrageberechnung beinhaltet, neben der Matrixerstellung und der Matrixplausibilisierung, auch die Eichung auf die Querschnittszählungen, einschliesslich einer Plausibilisierung des Routenwahlverhaltens. Die ermittelten Quell-Ziel-Matrizen wurden durch die

- Überprüfung der Matrixstruktur bzw. der einzelnen Quell-Ziel-Ströme und
- Überprüfung der Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen plausibilisiert.

Aufgrund der guten und plausiblen Struktur der Matrizen wurde bei der darauf folgenden Kalibration, ganz auf die Anwendung eines automatischen Kalibrationsverfahrens verzichtet. Daher war nur noch eine manuelle Eichung (sukzessives Optimierungsverfahren) an einzelnen Querschnitten erforderlich. Es konnte festgestellt werden, dass die Struktur der erstellten Matrizen den aus den Erhebungen abgeleiteten Gesetzmässigkeiten entspricht und die Modelle das reale Verkehrsgeschehen gut widerspiegeln. Mit den Erhebungsdaten wurden sowohl die einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen, die Verteilung der Ströme auf einzelnen Querschnitten (Spinnenanalyse) und die Reiseweiteverteilungen als auch die Querschnittsbelastungen überprüft. Die mittleren relativen Abweichungen der ermittelten Streckenbelastungen gegenüber den Querschnittszählungen (DWV-Modell) im MIV-Modell betragen 8.8% und im ÖV-Modell 10.3%.

Durch realitätsentsprechende Angebots- und Nachfrageverhältnisse sowie durch minimale Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen, ist die Prognosefähigkeit des Modells gewährleistet. Die erstellten Modelle sind damit die Grundlage sowohl für die Nachfrageanalysen als auch für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen. Mit diesen ist es

möglich, Veränderungen im Verkehrsangebot und den soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken zu analysieren. Dabei können die Nachfrageauswirkungen auf allen vier Modellstufen berechnet werden: Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl.

Damit stellt das Modell ein Planungsinstrument dar, das mit einer „state of the art“ 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.

Aus dem für das Jahr 2007 geeichten Verkehrsmodell und den vorgesehenen Veränderungen der soziodemographischen- und Mobilitätscharakteristiken sowie dem veränderten Verkehrsangebot, werden im letzten Arbeitsschritt die Matrizen für das Jahr 2030 ermittelt und auf die Verkehrsnetze umgelegt. Das Ziel war, anhand von stattgefundenen Raum-, soziodemographischen- und Angebotsveränderungen, die daraus resultierenden Nachfrageveränderungen im Verkehrsmodell zu erstellen.

Die Ergebnisse im betrachteten Szenario zeigen, dass die Verkehrsleistung (Personenkilometer) im motorisierten Verkehr (MIV+ÖV) zunimmt, auf dem Verkehrsnetz innerhalb des Modellgebiets bis zum Jahr 2030 um 33%, wobei ÖV um 64% und MIV um 22,5% zunehmen. Das stärkste Wachstum mit 47% ist dem Freizeitverkehr zuzuordnen. Das Verkehrsaufkommen im ÖV erhöht sich um 43% und die Verkehrsleistung um 64% gegenüber dem Jahr 2007, was auf eine Erhöhung der Reiseweite zurückzuführen ist. Es ist noch zu beachten, dass das absolute Wachstum im MIV höher ist als im ÖV (der Anteil des ÖV am Gesamtverkehr ist deutlich geringer als der Anteil des MIV). Vom gesamten Nachfragezuwachs (MIV und ÖV) fallen 68% auf den MIV. Bei der Verkehrsleistung reduziert sich dieser Zuwachs bzw. Anteil des MIV, aufgrund der erhöhten ÖV-Reiseweite auf ca. 50%. Insgesamt erhöhen sich die PWFahrten durch die zusätzlich reduzierten Besetzungsgrade um 27.0% und die Verkehrsleistung um 28.5%.

Für die zukünftige Modellanwendung stellt die Verfügbarkeit und Qualität der im Modell eingeflossenen Datengrundlagen eine wichtige Rahmenbedingung. Hier ist vor allem wichtig, dass bei zukünftiger Modellanwendung die Genauigkeit der Attribute des MIV-Netzes sowie die Verfügbarkeit der Zählzeiten geprüft wird und dementsprechend notwendige Korrekturen durchgeführt werden. Solche Analysen sind vor allem auf kleinräumiger Ebene, d.h. bei untergeordneten Strassennetzen (für die im Rahmen des Projekts kaum Zählzeiten zur Verfügung standen), wichtig. Bei solchen Massnahmen wäre auch zu prüfen, ob bestehende Zonenanbindungen genügend detailliert sind oder eine Verfeinerung (vor allem bei der Anzahl von Anbindungen) notwendig und sinnvoll wäre.

2 Ausgangslage

Wesentliche Aufgabe der Verkehrsplanung ist es, mit Hilfe spezieller Verfahren, Methoden und Modelle, Aussagen über mögliche zukünftige Verkehrsentwicklungen zu erarbeiten. Gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklungen führten aber in den vergangenen Jahren dazu, dass die verkehrspolitischen Ziele und damit auch die verkehrsplanerischen Aufgaben diesen Entwicklungen angepasst und neu definiert wurden. Während bis Ende der achtziger Jahre die Entwicklung von Verkehrsnetzen und Verkehrsanlagen im Vordergrund stand, wurden seither auch Lenkungsinstrumente zur Umsetzung wichtiger verkehrspolitischer Ziele eingesetzt. Durch den Wandel der verkehrspolitischen Ziele, haben sich zudem die Komplexität der Aufgaben der Verkehrsplanung und die von ihr benutzten Instrumente verändert. 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 etwa Knotenstromanalysen) oder sei es zur Ermittlung grossräumiger Veränderungen (wie etwa die Auswirkungen von Veränderungen in der Siedlungsstruktur auf das Verkehrsverhalten).

Im Kanton Bern kamen in den Agglomerationen Bern, Biel, Burgdorf und Thun regionale Verkehrsmodelle zum Einsatz. Für alle anderen Regionen im Kanton Bern standen keine derartigen Werkzeuge für die Verkehrsplanung zur Verfügung. Die bestehenden regionalen Modelle wurden zudem fallspezifisch entwickelt und basieren auf unterschiedlichen Datengrundlagen. Deshalb fehlte für gesamtkantonale Fragestellungen eine übergreifende Modellgrundlage. Aus diesem Grund entschied die Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern ein neues, kantonales Gesamtverkehrsmodell (GVM) erstellen zu lassen, auf das sich alle Regionen bei der Erfüllung ihrer verkehrsplanerischen Aufgaben stützen können.

3 Problemanalyse und Ziele

Das Modell soll neben dem verkehrlichen Geschehen auf den einzelnen Verkehrsträgern auch die Wechselwirkungen zwischen diesen zuverlässig abbilden und prognostizieren können. Um für die in der Verkehrspolitik des Kantons Bern formulierten Wirkungsziele so weit als möglich auch quantitative Grundlagen zu liefern, muss das Modell neben den verkehrlichen Wirkungen im eigentlichen Sinne (Nachfrage, Geschwindigkeiten etc.) auch verlässliche Daten für die Schätzung, der vom Verkehr verursachten positiven und negativen Wirkungen, wie z.B. Lärm- und Luftbelastung etc., liefern.

Zusätzlich ist für die Modellanwendungen - vor allem bei komplexeren Massnahmen - sehr wichtig, dass neben den Routen- und Verkehrsmittelwahleffekten auch die Zielwahl- und Abfahrtszeitveränderungen einschliesslich der Auswirkungen einer veränderten Siedlungsstruktur prognostiziert werden können. Solche Anwendungen verlangen ein Verkehrsmodell mit den Modi MIV, ÖV, Velo und Fussverkehr.

Damit muss die Erstellung eines multimodalen Verkehrsmodells mit folgenden Rahmenbedingungen verbunden werden:

- Realitätsentsprechende Abbildung des **Verkehrsangebots**
- Realitätsentsprechende Abbildung des **Verkehrsgeschehens im Raum und nach Verkehrsmitteln**
- Realitätsentsprechende Abbildung des **Verkehrsverhaltens** (Modellparameter)

Ziel des Projekts ist es, ein prognosefähiges, massnahmensensitives und multimodales Verkehrsmodell für den Kanton Bern zu erstellen. Dieses soll sowohl den Ist-Zustand (Jahr 2007) als auch den Prognosezustand 2030 abbilden können. Das Modell soll dabei folgende Anforderungen erfüllen:

- **Logische Konsistenz** (keine inneren Widersprüche im Modellaufbau)
- **Massnahmenempfindlichkeit** (zuverlässige Abbildung der untersuchten Massnahmen)
- **Handhabbarkeit** (vertretbarer Aufwand bei der praktischen Umsetzung)
- **Transparenz** (Ergebnisse müssen nachvollziehbar, wiederholbar und kontrollierbar sein)
- **Validität** (Eingangsdaten und Ansätze müssen auf realen Erhebungen basieren)

Weitere wichtige Ziele des Projekts sind ein Know-how-Transfer mit Verkehr befassten Stellen des Kantons. Gefordert ist deshalb die Übergabe des Modells mit entsprechender Datengrundlage sowie einer umfassenden Dokumentation an den Auftraggeber. Das Projekt ist darauf ausgelegt, die verschiedenen kantonalen Ämter und die potentiellen Anwender aktiv ins Projekt einzubinden, um so spezifisches Wissen abrufen zu können und das Vertrauen in das GVM Bern zu festigen.

4 Modellkonzept

Das verwendete Konzept entspricht in den Komponenten: Verkehrsangebot, Verkehrsnachfrage und Verkehrsgesetzmässigkeiten; dem aktuellen Stand der Technik für die Erstellung und Anwendung von Verkehrsmodellen. Das hierfür verwendete Softwarepaket VISUM/WISEVA der Firma PTV AG (Karlsruhe) hat sich in der Vergangenheit als geeignetes Paket bewährt. Die betreffende Software ist in allen europäischen Ländern, sowohl bei nationalen als auch regionalen Modellen, das heute am häufigsten angewendete Planungstool. Vor allem bei planerischen Aufgaben, in denen die Berücksichtigung des ÖVs in seiner ganzen Komplexität zu erfassen ist, bietet das Softwarepaket überzeugende Lösungen.

Für die Auswahl der Umlegungssoftware sind zwei Fragen von zentraler Bedeutung:

- Korrekte und vollständige Beschreibung des Verkehrsangebots mit allen relevanten Einflussfaktoren für die Routenwahl im MIV und ÖV in einem konsistenten Datenmodell
- Für die Abbildung des Routenwahlverhaltens geeignete Umlegungsverfahren (MIV und ÖV)

Ein weiterer Vorteil von VISUM ist die Import/Export-Funktion zur Simulationssoftware VISSIM (ebenfalls von der PTV AG) zur Untersuchung von stark belasteten Knotenpunkten bzw. Strassenabschnitten. Das TBA des Kantons Bern ist im Besitz von VISSIM.

Damit erfüllt VISUM die gestellten Anforderungen an die vorgesehenen Modellanwendungen besser als andere Softwarepakete. Deswegen wird in diesem Projekt für die Erstellung des Verkehrsangebots und der Umlegung der Quelle-Ziel-Matrizen das Produkt VISUM angewendet.

Für die Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen ist die Beschreibung und Bewertung von Siedlungs-, Angebots- und soziodemographischen Charakteristiken massgebend. Dafür braucht es Ansätze, die eine sehr detaillierte Segmentierung des Verkehrsverhaltens und gleichzeitig offene und aus Verkehrserhebungen abgeleitete Verhaltensfunktionen (Ziel- und Verkehrsmittelwahl) ermöglichen. Dies ist die wesentliche Voraussetzung, um die Auswirkungen von räumlichen Veränderungen und von Angebotsveränderungen mit Verkehrsmodellen ermitteln zu können.

Von Prof. Lohse an der TU Dresden wurde der so genannte EVA-Ansatz (Erzeugung, Verteilung, Aufteilung) entwickelt, der von der PTV AG als Softwareprodukt WISEVA für die Nachfrageberechnung seit Ende der 90er Jahren vertrieben wird. Dieser simultane Ansatz erlaubt eine freie und offene Funktionsform mit unbeschränkter Anzahl von Einflussfaktoren.

Damit sind die Anwender in der Lage sowohl die Nachfragesegmentierung als auch Funktionsformen und Abhängigkeiten selber, bzw. anhand aus Erhebungen abgeleiteten Gesetzmässigkeiten, zu bestimmen.

Auf diese Art kann die Verkehrsnachfrage unter Berücksichtigung und Bewertung aller relevanten Einflussfaktoren, wie insbesondere der Raum- und Angebotsverhältnisse (angefangen von der Reisezeit und Umsteigezahl über ein Road Pricing bis zur Altersstruktur der Bevölkerung oder der bestehenden Struktur des PW-Besitzes), ermittelt werden. Der VISEVA-Ansatz sowie die Modellergebnisse und ihre Validierung wurden in mehreren deutsch- und englischsprachigen Fachzeitschriften publiziert (Vrtic, et al.; 2007, Vrtic und Fröhlich; 2007). Die guten Erfahrungen bei verschiedenen Projekten in Europa führten dazu, dass vor allem in Deutschland bei der Modellerstellung in den letzten Jahren die Anwendung von VISEVA vorausgesetzt wird.

Fazit: Durch die angewendeten Ansätze (VISUM/VISEVA) können die Modellergebnisse sowohl bei der Modellerstellung als auch der Modellanwendung vollständig nachvollzogen werden. Das Modellkonzept VISUM/VISEVA bietet gleichzeitig auch eine vollständige Validierung des Modells anhand verfügbarer Daten. Das angewendete Konzept stellt den heutigen Stand der Technik in der Verkehrsmodellierung dar und wurde in vielen europäischen Ländern bei der Erstellung von nationalen und regionalen Verkehrsmodellen praktisch erprobt.

5 Erläuterung des Arbeitsprogramms

Das Vorgehen für die Modellerstellung ist derart definiert, dass mit dem Verkehrsmodell die vorher erwähnten Projektziele und Anforderungen vollständig erfüllt werden. Damit wird eine realitätsnahe Abbildung des Verkehrsgeschehens und seiner Rahmenbedingungen einerseits, als auch die Prognosefähigkeit des Verkehrsmodells andererseits sichergestellt.

Der Modellaufbau wird in zwei Schritten durchgeführt:

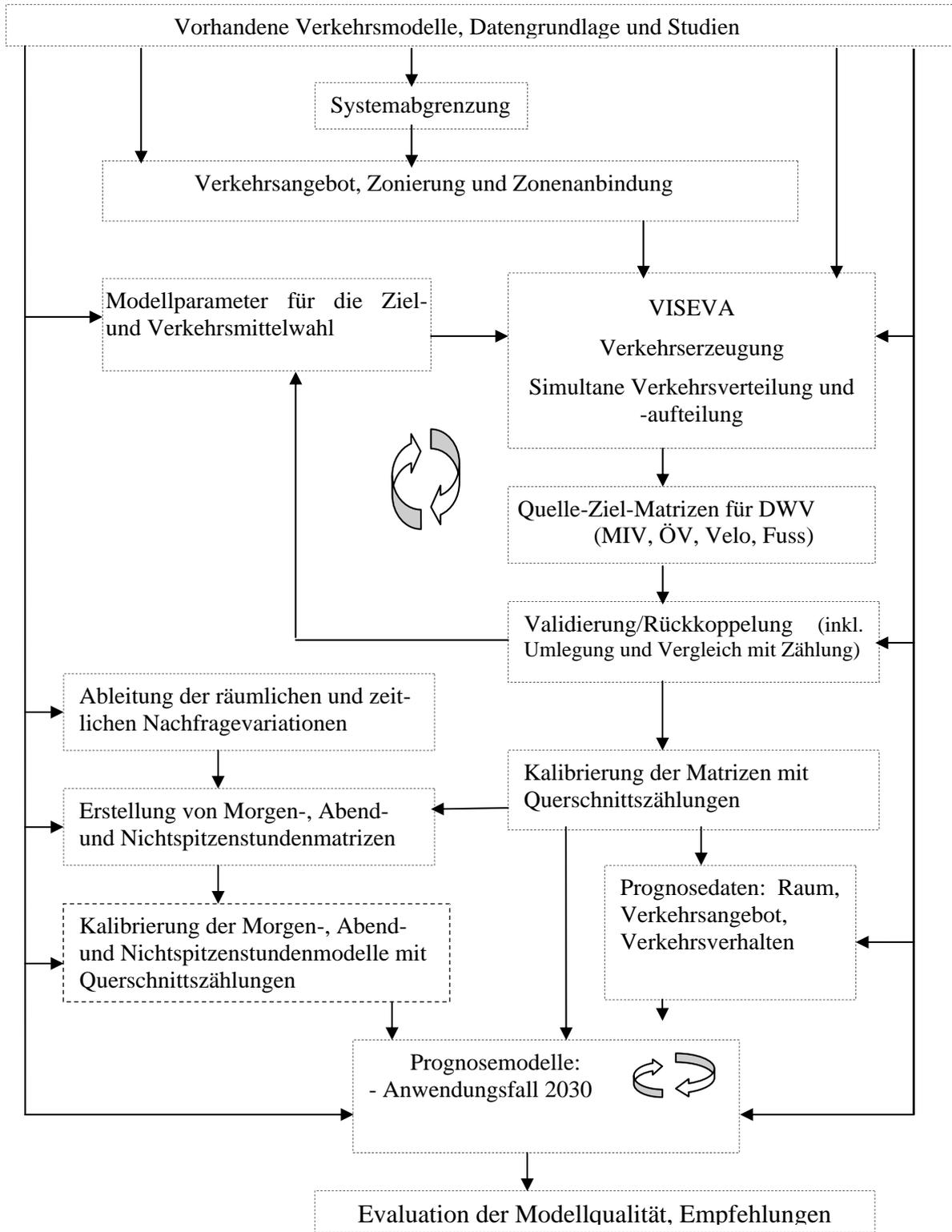
- Abbildung des Verkehrsgeschehens im Ist-Zustand (Basismodell)
- Abbildung von Prognosezuständen und Massnahmewirkungen

mit folgenden wichtigen Meilensteinen:

- Systemabgrenzungen (räumlich und zeitlich) und Detaillierungsgrad
- Abbildung des Verkehrsangebots, Zonierung und Zonenanbindung
- Festlegung der Modellparameter (für alle Modellschritte)
- Erzeugung und Eichung der Matrixstruktur sowie Validierung der Quelle-Ziel-Matrizen
- Abbildung von Routenwahlparametern und Umlegung
- Kalibrierung der Quelle-Ziel-Matrizen auf die Querschnittszählungen
- Erstellung von Spitzenstundenmatrizen und Kalibrierung von Spitzenstundenmodellen (Morgen-, Abend- und mittlere Nicht-Spitzenstunde)
- Anwendungsfall: Prognosenmodell 2030
- Evaluation der Modellqualität und Empfehlungen

Die wesentlichen Arbeitsschritte und das Vorgehen sind in Abbildung 1 dargestellt. Für das Untersuchungsgebiet des GVM Bern wird die Zonierung zweckmässig festgelegt. Darauf aufbauend werden entsprechende Struktur- und Verkehrsdaten aufbereitet. Das vollständige und mit genügendem Detaillierungsgrad abgebildete Verkehrsangebot ist eine Voraussetzung für die Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen und einem prognosenfähigen Verkehrsmodell. Aus der Analyse vorhandener Verhaltensparameter sowie dem Mikrozensus Verkehr 2005 werden die passenden Modellparameter berechnet. Zur Erzeugung und Eichung der Quelle-Ziel-Matrizen wird ein iteratives Vorgehen gewählt, um eine realitätsnahe Matrixstruktur zu erstellen.

Abbildung 1: Vorgehen bei der Erstellung des Modells



⤷ Rückkoppelung, Iterationen

Die Erstellung geeigneter Umlegungsmodelle und die Kalibrierung der Quelle-Ziel-Matrizen mit Querschnittszählungen werden mit einer Modellvalidation abgeschlossen. Aus dem geeichten Tagesmodell kann anschliessend auch die Erstellung von Spitzenstundenmatrizen erfolgen. Dafür müssen in einem ersten Schritt die zeitlichen und räumlichen Variationen (in welche Richtung wird wann gefahren bzw. am Morgen fahren die Pendler in die Arbeitsgebiete und am Abend von dort zum Wohngebiet zurück) der Verkehrsnachfrage abgeleitet werden. Anhand dieser Variationen und auf Basis von Tagesmatrizen werden stundenfeine Matrizen berechnet, umgelegt und geeicht. In einem weiteren Schritt folgt die Erstellung und Kalibrierung von Morgen-, Abend- und mittleren Nichtspitzenstunden-Modellen. Ausgehend vom Basismodell 2005 und unter Einbeziehung von Prognosen zu Angebots-, Raum- und Verhaltensdaten erfolgt die Erstellung des Prognosemodells 2030.

6 Systemabgrenzung

6.1 Zonierung und Zonenanbindung

6.1.1 Zonierung

Die Zoneneinteilung des GVM Bern hält sich an die Gemeindegrenzen (Stand 2007). In städtischen Gebieten wurde diese administrativ begründete Einteilung weiter unterteilt, so dass dort eine feinere Zoneneinteilung mit raum- und verkehrsplanerischen Flächen zur Verfügung steht. Soweit vorhanden und sinnvoll, wurde dazu die Zoneneinteilung der bestehenden Verkehrsmodelle übernommen und teilweise manuell ergänzt. Im Gesamten umfasst das Modell 1702 Zonen. In den folgenden Kapiteln wird die Zonierung für den Kanton Bern und die übrigen Kantone beschrieben.

Kanton Bern

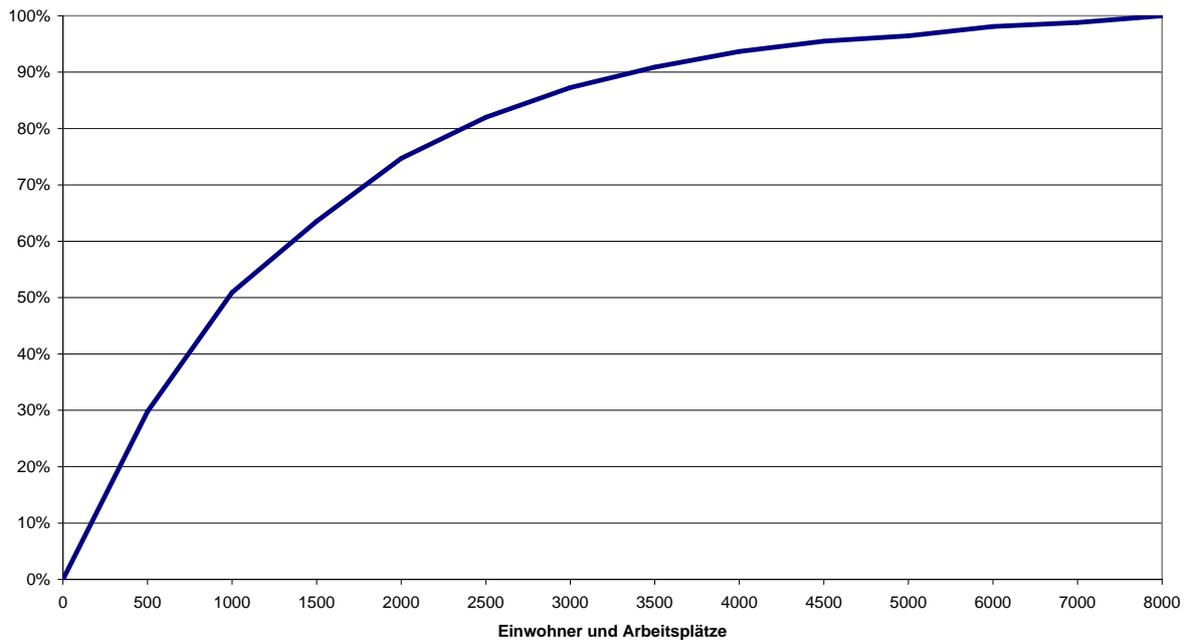
Die Zoneneinteilung auf dem Kantonsgebiet von Bern wird so fein vorgenommen, dass es innerhalb jeder Zone keine relevanten MIV- und ÖV-Verkehrsbewegungen gibt. Weiter werden bei der Zoneneinteilung einerseits topografische Hindernisse wie Berge oder Gewässer, andererseits auch bauliche Hindernisse wie Autobahnen berücksichtigt. Einkaufszentren, Entwicklungsschwerpunkte und touristisch attraktive Gebiete schieden als selbstständige Zonen aus. Das Kantonsgebiet von Bern wird im Gesamtverkehrsmodell Bern in 1093 Zonen unterteilt.

Im Kanton Bern existieren bereits Verkehrsmodelle für die Regionen Bern, Biel, Thun und Burgdorf. Die Zoneneinteilungen der Modelle Bern, Biel und Thun wurden für das GVM Bern als Grundlage übernommen und wo notwendig verfeinert, aggregiert oder den veränderten Gegebenheiten angepasst. Das Verkehrsmodell Burgdorf ist schon älter und umfasst nur das Gemeindegebiet von Burgdorf. Deshalb wird auf eine Übernahme ins GVM Bern verzichtet.

Die Zonen sollen homogen sein, bezüglich ihrer Potentialgrösse (Summe von Einwohnern und Arbeitsplätzen), ihrer Nutzung (Wohnquartiere, Industriezonen, Entwicklungsgebiete) und ihrer Geschlossenheit (Bebauungsstruktur). Für die Potentialgrösse wird eine Obergrenze definiert: die Summe der Einwohner und Arbeitsplätze soll tendenziell unter 5'000 liegen.

Abbildung 2 zeigt auf, in welcher Summenhäufigkeit die Potentialgrösse (Einwohner und Arbeitsplätze) der Zonen im Modellgebiet vorkommt. Über 96% der Zonen des Modellgebiets haben eine Potentialgrösse kleiner als 5'000, bei 50% der Zonen ist die Potentialgrösse kleiner als 1'000, da grosse Teile des Modellgebiets ländlich und deshalb schwach besiedelt sind.

Abbildung 2 Summenhäufigkeit Einwohner und Arbeitsplätze pro Zone



Für die grössten Publikumsmagnete und Entwicklungsgebiete wurden spezielle Zonen (singuläre Erzeuger) definiert. Als Zonengrenzen bieten sich, neben den administrativen Grenzen, folgende Linien an: Wasserläufe, Bahngleise, Hochleistungsstrassen und Höhenlinien.

Nachbarkantone

Das Modellgebiet des GVM Bern umfasst neben dem Kanton Bern auch Gebiete der Nachbarkantone Solothurn, Jura, Neuenburg, Freiburg, Waadt, Obwalden, Luzern und Aargau. Im ländlichen Gebiet der Nachbarkantone werden die einzelnen Gemeinden als Verkehrszonen abgebildet. Im städtischen Gebiet entsprechen die Verkehrszonen der Quartiereinteilung. Im westlichen Teil des Kantons Solothurn wurden die Zonen nach den gleichen Kriterien wie im Kanton Bern eingeteilt, weil diese Region fast vollständig vom Kanton Bern umschlossen ist.

Für die bestehenden Verkehrsmodelle der Kantone Aargau und Luzern sowie für die Region Olten wurden vorhandene Zoneneinteilungen übernommen und teilweise zu grösseren Verkehrszonen aggregiert. Die Zoneneinteilung des Verkehrsmodells Solothurn konnte nicht ins GVM Bern eingebaut werden, da sie für das GVM Bern viel zu detailliert ist und sich nicht an Gemeindegrenzen hält. Die Gebiete der Nachbarkantone werden in 497 Zonen eingeteilt.

Aussenzonen

Die Schweizer Gemeinden ausserhalb des Modellgebiets werden anhand der Einteilung der MS-Regionen (MS = mobilité spatiale) des Bundesamts für Statistik zu 88 Aussenzonen zusammengefasst. Die aus dem Ausland ein- und ausströmenden Verkehre wurden mit 24 Aussenzonen an den Grenzübergängen abgebildet.

Zonen Userattribute

Die Userattribute der Zonen beinhalten Zusatzinformationen zu den Zonen. Die Zonen des GVM Bern werden mit folgenden Userattributen beschrieben:

- KT Kanton Nr. BfS
- Bezirk Bezirk Nr. BfS
- GMDE: Gemeinde Nr. BfS
- GEMEINDE: Gemeindenamen
- QuarNR: Quartier Nr. BfS
- QNAME: Quartiername
- Quelle: Herkunft der Zone (Tabelle 1)

Tabelle 1: Quellenangaben der Zone

Nummer	Herkunft
1	Gemeindegrenzen Generalisierungsstufe 1 BfS
2	VM RVK 4, Bern
3	VM Biel
4	VM Thun
6	VM Aargau
7	VM Olten
9	Quartiergrenzen BfS
10	VM Solothurn
20	Unveränderte MS Regionen
21	Verkleinerte MS Regionen
100	Neue Zonen

Die Zonen mit den Quellen Nummer 1 bis 20 werden unverändert von den bestehenden Modellen resp. vom Bundesamt für Statistik (BfS) übernommen. Zonen mit der Quelle Nummer 21 sind MS-Regionen, die teilweise im Modellgebiet liegen und deshalb auf das Gebiet ausserhalb des Modellgebiets verkleinert werden müssen. Die neuen Zonen mit der Quelle Nummer 100 werden für das GVM Bern neu eingeteilt.

Benennungen der Zonen

Alle Zonen im Modellgebiet des GVM Bern werden mit einer Nummer und einem Namen versehen, die eine eindeutige Zuweisung der Zone zu der entsprechenden Gemeinde und falls vorhanden zum entsprechenden Quartier ermöglichen. Die sieben bzw. achtstellige Nummer setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen:

- **Letzte und zweitletzte Ziffer:** Nummer der Zone im entsprechenden Quartier/der entsprechenden Gemeinde. 00 bedeutet, es gibt nur eine Zone in diesem Quartier bzw. dieser Gemeinde
- **Dritt- und viertletzte Ziffer:** Quartiernummer des Bundesamts für Statistik. 00 bedeutet, diese Gemeinde ist nicht in Quartiere unterteilt.
- **Die ersten drei Ziffern** (7-stellige Nummer) oder vier Ziffern (8-stellige Nummer): Gemeindenummer des Bundesamts für Statistik.

Tabelle 2: Beispiele für die Benennung von Zonen

Nummer	Name	Erklärung
3512802	Bern_Lorraine_2	Stadt Bern (351), Lorraine Quartier (28), zweite Zone (02)
22930000	Düdingen	Gemeinde Düdingen (2293), kein Quartier (00), eine Zone (00)
7430005	Nidau_5	Gemeinde Nidau (743), kein Quartier (00), fünfte Zone (05)

Die Nummern der Spezialzonen sind genauso aufgebaut wie oben erläutert. Der Name wird mit der Bezeichnung der Spezialzone erweitert:

- **_ESP** für Entwicklungsschwerpunkt (36 Zonen)
- **_EKZ_Wankdorf** für Einkaufscenter mit Namen, in diesem Fall Wankdorf (13)
- **_Gurten** oder jeweiliger Name für touristische Anziehungspunkte (5)

Tabelle 3: Beispiele für die Benennung von Spezialzonen

Nummer	Name	Erklärung
3550304	Köniz_Liebefeld_4_ESP	Gemeinde Köniz (355), Liebefeld Quartier (03), vierte Zone (04), Entwicklungsschwerpunkt
3512607	Bern_Breitfeld_EKZ_Wankdorf	Stadt Bern (351), Breitfeld Quartier (26), Einkaufszentrum Wankdorf
3550106	Köniz_Wabern_Gurten	Gemeinde Köniz (355), Wabern Quartier (01), sechste Zone (06), Gurten (touristischer Anziehungspunkt)

Die Standorte der Entwicklungsschwerpunkte werden vom Amt für Gemeinden und Raumordnung (AGR) des Kantons Bern definiert. Die Einkaufscenter und die touristischen Anziehungspunkte wurden vom Projektteam in Absprache mit der Kerngruppe festgelegt.

Die Aussenzonen werden mit Nummern zwischen 1 und 106 bezeichnet. Die Namen entsprechen dem Namen der MS-Region.

6.1.2 Anbindungen

Zonenschwerpunkte

Für jede Zone wird basierend auf den Hektarrasterdaten (Volkszählung 2000 und Betriebszählung 2005) ein Schwerpunkt bestimmt. Der Schwerpunkt definiert sich als der zentralste Punkt der mit Einwohnern und Arbeitsplätzen gewichteten Hektare je Zone. Die Schwerpunkte der Aussenzonen (MS-Regionen) wurden vom BfS übernommen. Es handelt sich dabei um die geographischen Schwerpunkte.

ÖV-Anbindungen

Für die ÖV-Anbindung einer Zone werden zuerst alle in Frage kommenden ÖV-Haltestellen bestimmt. Dies erfolgt in vier Schritten:

- Schritt 1: Auswahl aller Haltestellen innerhalb der Zone
- Schritt 2: Auswahl aller Haltestellen, die innerhalb eines 200m-Puffers um die Zone liegen (damit sollen insbesondere bei kleinen Zonen Haltestellen einbezogen werden, die an einer der Zone angrenzenden Strasse liegen)
- Schritt 3: Wenn nach Schritt 1 und 2 noch keine Haltestellen ausgewählt sind: Auswahl der Haltestelle, die dem Zonenschwerpunkt am nächsten liegt
- Schritt 4: Plausibilisierung

Nachdem die Anbindung in Frage kommender Haltestellen durchgeführt worden ist, werden die Anbindungsanteile berechnet. Die Anbindungsanteile ergeben sich aus der Verteilung der Gesamtnachfrage aus einer Zone. Dabei werden die folgenden zwei Faktoren bestimmt:

- Erreichbarkeitspotential: Summe von Einwohnern und Arbeitsplätzen multipliziert mit der Entfernung zur Haltestelle für jeden Hektardatensatz
- Angebotsqualität der Haltestelle (Anzahl Servicefahrten pro Tag)

Der Gesamtnutzen einer Haltestelle berechnet sich dann folgendermassen:

$$V_i = \beta_{\text{Potential}} * \text{Erreichbarkeitspotential} + \beta_{\text{ServiceFahrten}} * \text{Angebotsqualität}$$

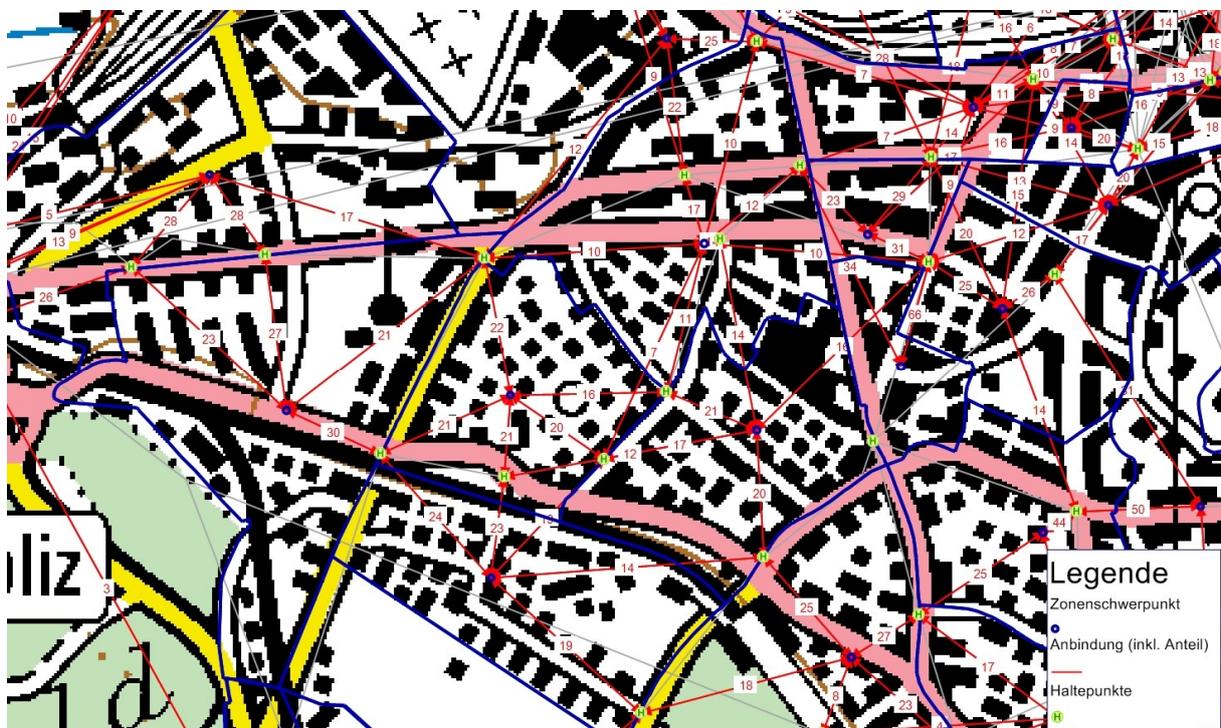
Die Schätzung der β -Faktoren muss mit einem stochastischen Ansatz durchgeführt werden, da die Fahrtenverteilung im Raum bei fixen Anbindungsanteilen nicht vollständig berücksichtigt werden kann (Matrixstruktur).

Die Anbindungsanteile ergeben sich schlussendlich durch das Nutzenverhältnis aller einer Zone zugewiesenen Anbindungshaltestellen:

$$P_i = \frac{V_i}{\sum_j V_j}$$

Danach werden alle Anbindungen mit Anteilen unter 2% gelöscht und ihre Anteile auf die übrigen Anbindungen der entsprechenden Zone verteilt. In einem weiteren Schritt werden die Bahnhöfe gegenüber den umliegenden Bushaltestellen aufgewertet. Diese Aufwertung erfolgt nach Bedarf manuell.

Abbildung 3 Beispiel ÖV-Anbindungen (Bern-Mattenhof)



MIV-Anbindung

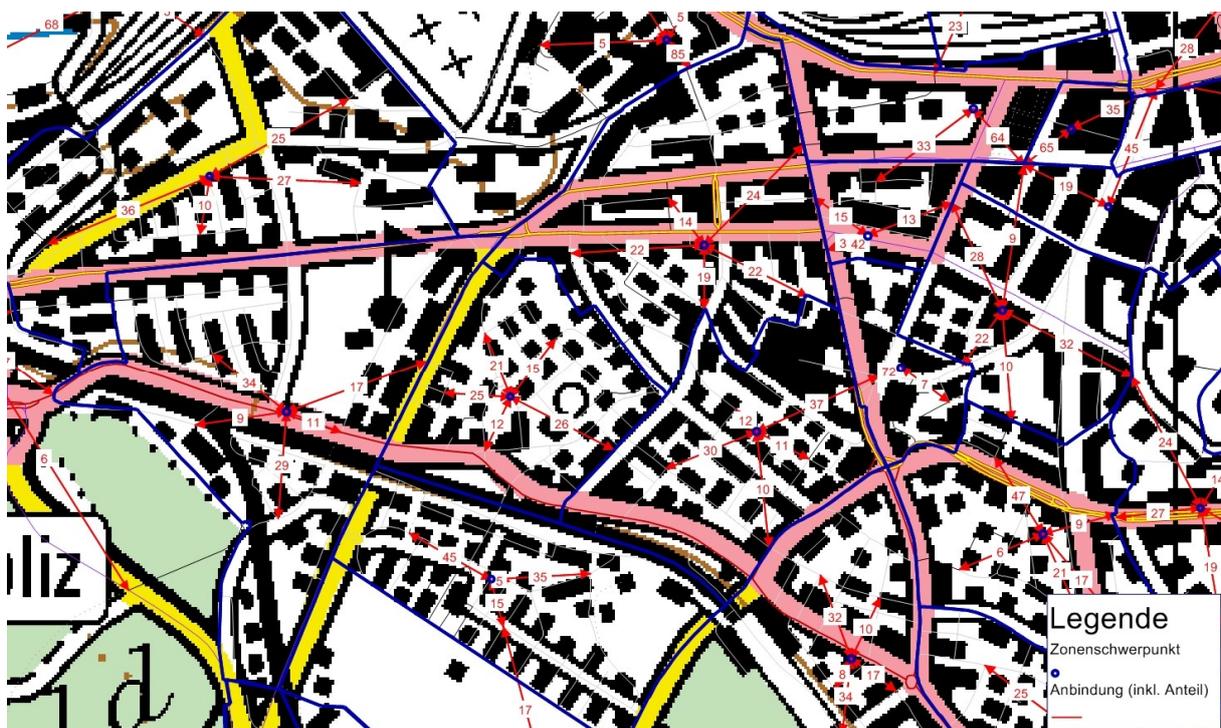
Für die MIV-Anbindung werden alle Zonen nochmals in fünf Unterzonen unterteilt. Die Unterteilung wird rein geometrisch vorgenommen und bildet fünf „Tortenstücke“ ausgehend vom Zonenschwerpunkt.¹ Jede der gebildeten Unterzonen erhält anschliessend genau eine Anbindung auf das Strassennetz.

¹ Je nach Geometrie der Zone entstehen durch diese rein geometrische Unterteilung mehr als fünf Unterzonen, Dies ist jedoch für die weitere Analyse kein Problem.

Für jede Unterzone wird anhand der Einwohner und Arbeitsplätze gemäss Hektarrasterdaten wieder ein Schwerpunkt bestimmt und der jeweilige Anteil der Unterzone an der übergeordneten Verkehrszone berechnet. Dieser berechnete Anteil wird anschliessend direkt als Anbindungsanteil verwendet.

Für die Bestimmung des Anbindungsknotens je Unterzone muss zuerst eine Auswahl aus allen Knoten des Strassennetzes gebildet werden. Für die MIV-Anbindungen sollen nur dreiar-mige Knoten verwendet werden, die auf dem übergeordneten Strassennetz (ohne Autobahn- und Autostrasse) liegen, aber lediglich untergeordnete Abbiegebeziehungen aufweisen. Aus dieser Teilmenge wird für jede Unterzone derjenige Knoten für die Anbindung ausgewählt, der dem Schwerpunkt der Unterzone am nächsten liegt.

Abbildung 4 Beispiel MIV-Anbindungen (Bern-Mattenhof)



7 Erstellung ÖV-Verkehrsangebot

7.1 ÖV-Angebot

Das ÖV-Angebot umfasst die genaue Netzaufnahme (Haltestellen mit zugehörigen Haltestellenbereichen und Haltepunkten, Linienwege, Fusswege) sowie die Erfassung des Fahrplanangebots für einen Werktag ausserhalb der Ferienzeit (gewählt wurde Dienstag, der 24. April 2007). Eine Linie im öffentlichen Verkehr besteht aus einer oder mehreren Linienrouten, die sich durch die Richtung, den Linienweg sowie die bedienten Haltestellen unterscheiden können. Jede Linienroute besitzt ein Fahrzeitprofil, in welchem die genauen Fahrt- und Haltezeiten definiert sind. Den einzelnen Fahrzeitprofilen sind wiederum die jeweiligen Servicefahrten zugeordnet, in denen die Uhrzeit jeder Fahrt festgelegt ist.

Zur Differenzierung der im ÖV möglichen Beförderungsarten wurden folgende ÖV-Verkehrssysteme definiert:

Tabelle 4 ÖV-Verkehrssysteme

Code	Name	Beschreibung	Streckentyp
FV	Fernverkehr	Fernzüge (CIS, ICE, TGV, ICN, IC, EC, EN, IR)	11
RV	Regionalverkehr	Regionalzüge (IRE, RE, R)	11
S	S-Bahn	S-Bahn	11
T	Tram	Tramlinie	31
BUS	Bus	Stadt- und Regionalbusse	31
SCH	Schiff	Fahrplanmässig verkehrende Schifffahrtslinien	97
SB	Seilbahn	Seilbahnen (nur innerhalb Modellgebiet)	96
F	Fuss	Fusswege zum Umstieg zwischen Haltestellen	71

Als Grundlage für das ÖV-Netz werden das ÖV-Netzmodell (Strecken, Knoten) des NPVM und die nationalen Hafas-Daten des BAV, welche bei der SBB verwaltet werden, verwendet.

Zusätzlich wurde der Hafas Tür zu Tür Fahrplan 2007 für die verfügbaren Verkehrsbetriebe im Modellgebiet aufbereitet. Diese sind:

- Stadt Bern, Bern Mobil, BMO
- Stadt Biel, Verkehrsbetrieb Biel, VBB
- Stadt Thun, Verkehrsbetriebe STI, STI
- Stadt Solothurn, Busbetriebe Solothurn und Umgebung, BSU

Die Daten für STI und BSU waren defekt und die Buslinien von BSU sind schon grösstenteils in den nationalen Hafas-Daten enthalten, daher wurden nur fehlende Kurse zusätzlich manuell eingefügt.

In folgenden Städten und Regionen waren die städtischen Buslinien nicht in den Hafas-Daten 2007 vorhanden und mussten manuell eingefügt werden:

- Stadt Olten, Busbetrieb Olten Gösgen Gäu, BOGG
- Stadt Neuchâtel, Transports publics du Littoral Neuchâtelois, TN
- Stadt Fribourg, Transports publics fribourgeois, TPF
- Stadt Langenthal, Stadtbus Langenthal, SBL
- Stadt Grenchen, Busbetrieb Grenchen und Umgebung, BGU

7.2 Haltestellen

Die Haltestellendefinition (Haltestelle-Haltestellenbereich-Haltepunkt) im NPVM, welche auch auf den nationalen Hafas-Daten beruht, wurde beibehalten.

Die Hafas Haltestellenkoordinaten sind teilweise ungenau. Für die Haltestellen innerhalb des Kantons Bern wurden daher die Koordinaten des Amtes für Geoinformation verwendet. Ausserhalb des Kantonsgebiets wurden auffallende Koordinatenfehler (wie z.B. in Delémont) manuell mit Hilfe eines Stadtplans korrigiert. Bushaltestellen mit falschen Koordinaten können dazu führen, dass die Reihenfolge der Haltestellen, die der Bus anfahren muss, nicht mehr stimmt. Die Fahrzeiten der Buslinien sind davon aber nicht betroffen.

Bei Städten ausserhalb des Kantons Bern mussten die entsprechenden Haltestellenangaben bei den jeweiligen kantonalen Ämtern bezogen werden.

Folgende Knoten (Typ bezieht sich auf Codierung in Visum) wurden zusätzlich integriert:

- Typ 24 Haltestellen Bus der ÖV Daten vom Kanton Bern
- Typ 25 Haltestellen Ortsverkehr der ÖV Daten vom Kanton Bern
- Typ 29 Haltestellen Bus nach Daten des Kantons Fribourg
- Typ 31 Haltestellen Bus nach Daten für Grenchen des Kantons Solothurn

Des Weiteren sind insbesondere Umsteigemöglichkeiten zwischen Linien aus dem nationalen Hafas-Datensatz und dem Tür zu Tür-Datensatz nicht definiert und mussten per Hand eingefügt werden.

7.3 Aggregierung der Fahrpläne

Um die Übersichtlichkeit und die Handhabbarkeit des Modells zu erhöhen, wurden die aus Hafas importierten Fahrplandaten in Visum aggregiert. Die Hafas-Daten setzen sich aus den nationalen Daten (Züge und gemeindeüberschreitende Buslinien, hauptsächlich Postbusse) und den Tür zu Tür Daten (Fahrpläne von städtischen Verkehrsbetrieben) zusammen, die unterschiedlich aufgebaut sind. Im ersten Datensatz sind keine Linienbezeichnungen vorhanden, sondern nur die Gattungscodes (z.B. R für Regionalzug), die Richtung und Hafas-Zugnummern. Zusätzlich zu diesen Erkennungsmerkmalen sind im zweiten Datensatz die Daten je Verkehrsbetrieb und meist mehreren Linien verfügbar (nur in separaten Files).

Eine Beschreibung des Aufbaus der Hafas-Daten ist im Visum Handbuch (PTV, 2008) vorhanden.

Aufgrund der Datenbeschaffenheit und des Anspruchs einer möglichst guten Übersichtlichkeit wurde bei der Namensgebung der Liniennamen folgende Systematik gewählt:

- Bei den Fernzügen wurde nach Zuggattung (EC, IC, ICN,...) und Start- und Zielbahnhof manuell aggregiert. Der Liniename lautet dann z.B. ICN.St.Gallen-Genf_504.000011. Die Nummer nach dem Underscore bezieht sich auf die Hafas-Linienroute mit den meisten Servicefahrten. Die originale Hafas-Zugnummer ist im Namen der Servicefahrt (Kurs) beibehalten worden. Das Verkehrssystem Fernzüge fasst die nicht von der öffentlichen Hand mit Zuschüssen subventionierten Züge zusammen.

- Für die Regionalzüge wurden nicht der Start- und Zielbahnhof verwendet, sondern nach der entsprechenden Fahrplanfeldnummer manuell aggregiert, 121_R.13366.000131.
- Die S-Bahnen wurden nach S-Bahn-Gebiet und Linie per Hand zusammengefasst, z.B. SB-BE_S2.15211.000011.
- Die Busse aus dem nationalen Hafas-Netz wurden in Visum automatisch aggregiert und mit der Bezeichnung Bus am Anfang des Liniennamens versehen, z.B. BUS.45102.800810.
- Die Schiffe wurden je See manuell zusammengefasst, z.B. Schiff Thunersee_BAT.10.000192
- Die Seilbahnen wurden je Tal- und Bergstation manuell aggregiert, z.B. Seilbahn.Biel-Magglingen.1.000103
- Die Fahrplandaten der städtischen Verkehrsbetriebe wurden aus den einzelnen Datensätzen des Tür-zu-Tür-Fahrplans aufgebaut. Beim Namen wurde an den Anfang die Abkürzung des Betriebs (z.B. BMO für Bern Mobil) gesetzt und danach die Hafas-Informationen beibehalten (z.B. BMO_NTram_5.1). Somit wird auch die Information, bezüglich des Trams, bzw. Niederflur-Tram (NTram) beibehalten.

Meistens bestehen mehrere Linien (in Visum) aus dem gleichen Anfangsteil des Namens (z.B. ICN.St.Gallen-Genf_) aber unterschiedlichen Hafas-Zugnummern am Namensende (z.B. 504.000011), da eine Aggregation der Linienrouten in Visum nur zulässig ist, wenn die gleichen Ein/Aus-Zulässigkeiten an Haltepunkten vorhanden sind.

In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind beispielhaft der Linienverlauf und der dazugehörige Fahrplan für zwei ÖV-Linien dargestellt.

Abbildung 5 Darstellung des RE-Zugs Bern-Solothurn mit Haltestellennamen und Bildfahrplan

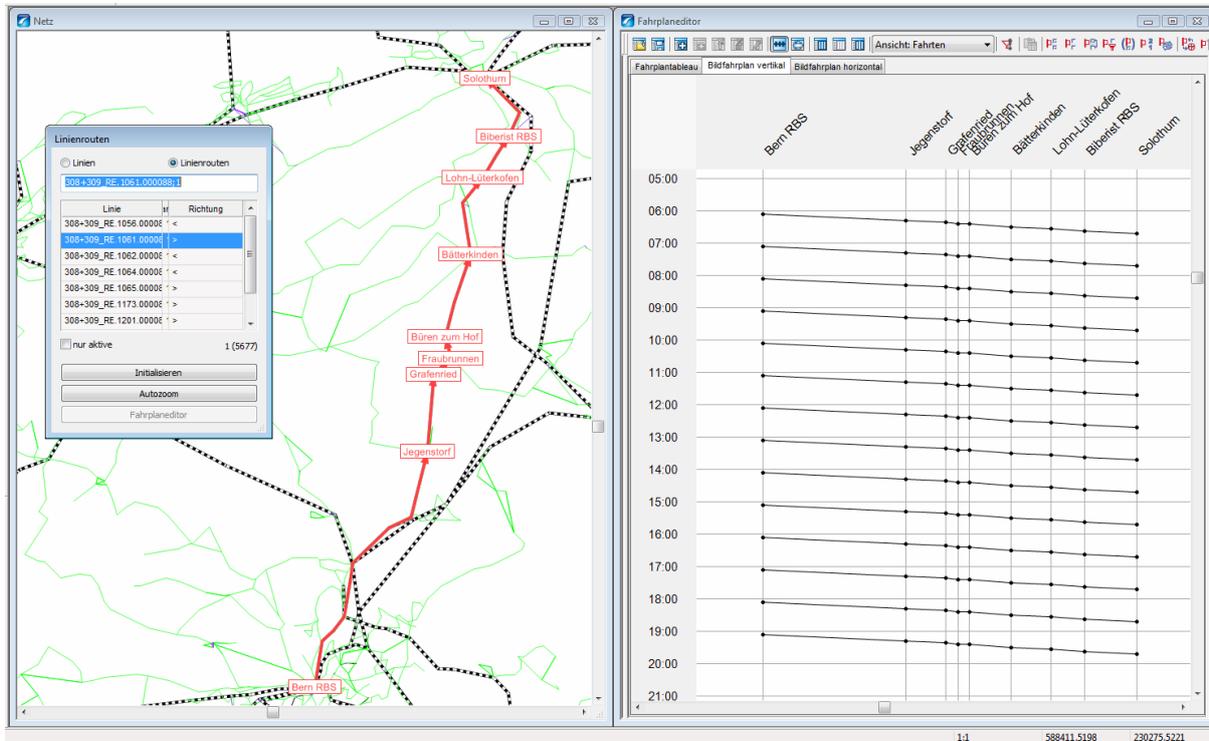
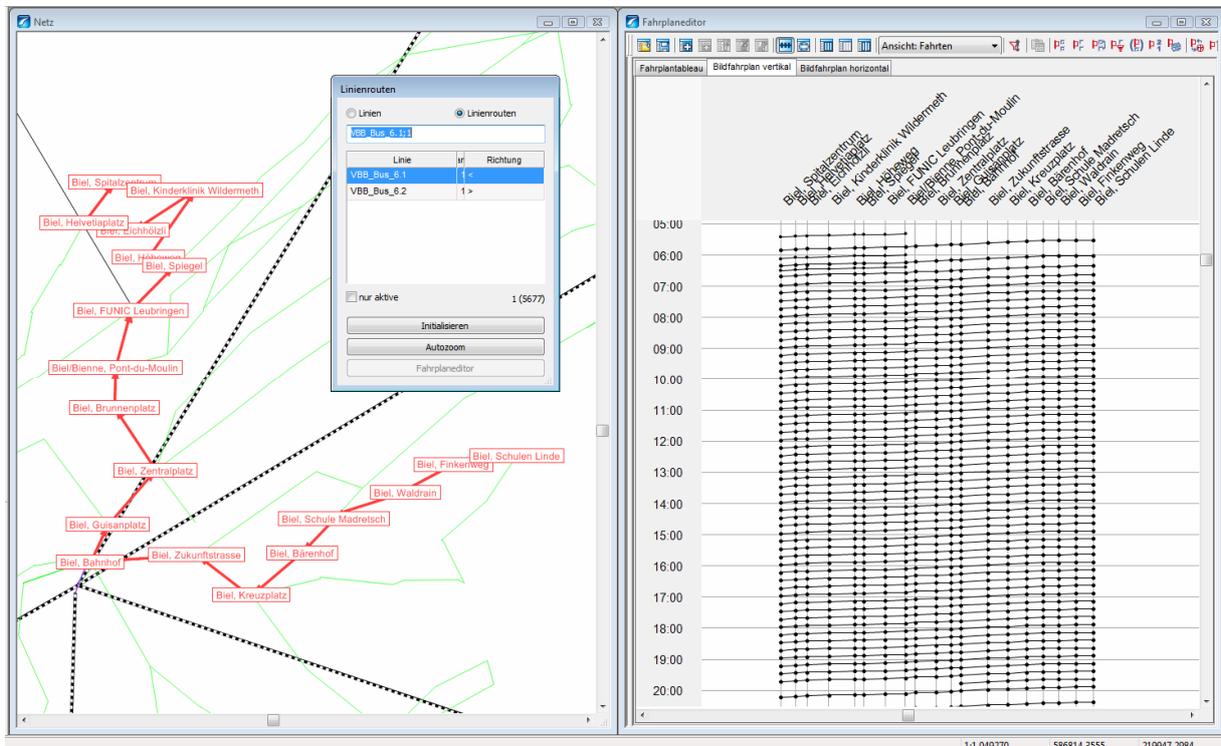


Abbildung 6 Darstellung der Bus-Linie 6 in Biel mit Haltestellennamen und Bildfahrplan



7.4 Validierung Fahrplandaten

Zur Überprüfung der Vollständigkeit der Fahrplandaten wurde ein Vergleich des GVM Bern mit dem Projekt „Kostenschlüssel“ von INFRAS durchgeführt. Die im GVM Bern generierten Servicefahrten an den einzelnen Haltestellen wurden mit den von INFRAS für das Projekt „Kostenschlüssel“ aus den Referenzfahrplan (Werktag Dezember 2007 bis Dezember 2008) berechneten Servicefahrten für die einzelnen Haltestellen im Kanton Bern verglichen. Damit die Daten verglichen werden konnten, mussten die INFRAS-Daten entsprechend aufbereitet werden. Bei den INFRAS-Daten ist die Anzahl der Servicefahrten nicht nur nach den einzelnen Haltestellen aufgeteilt, sondern auch noch nach den einzelnen Linien, die die Haltestelle bedienen. Die Anzahl der Servicefahrten der einzelnen Linien an einer Haltestelle ergibt über die Linien aggregiert die Anzahl Servicefahrten pro Haltestelle.

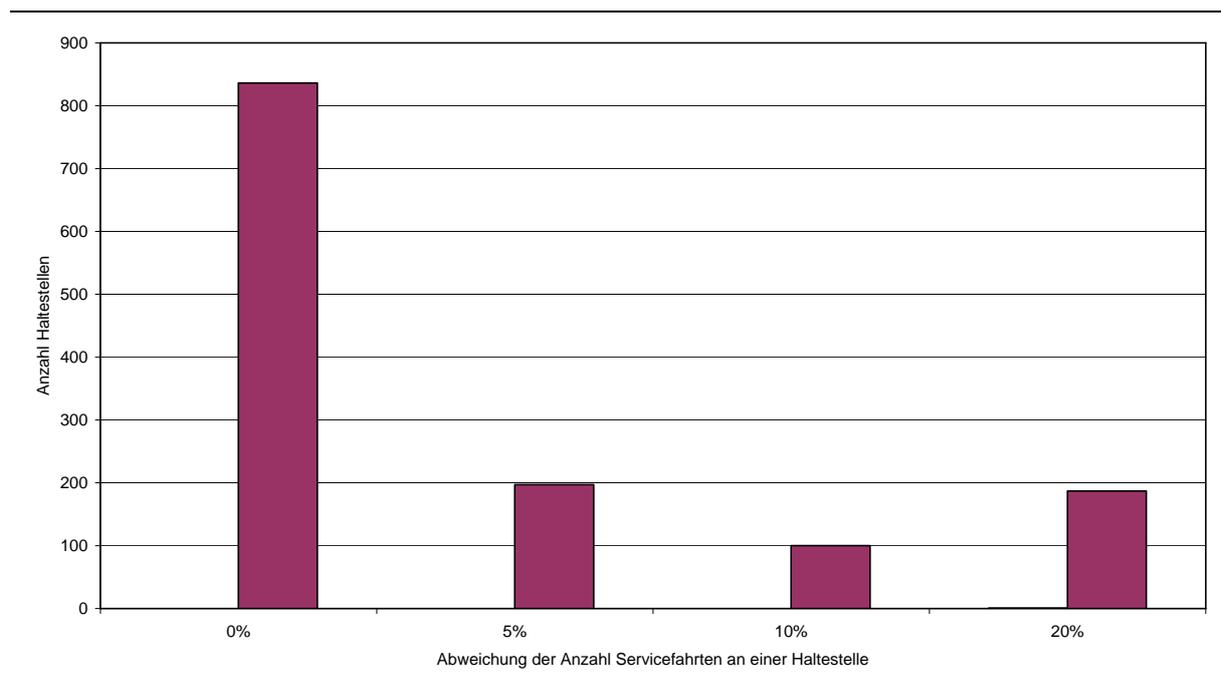
Aus Abbildung 7 geht hervor, dass bei 63% der Haltestellen die im Modell generierten Servicefahrten mit den von INFRAS berechneten Servicefahrten übereinstimmen. Bei 15% der Haltestellen liegt die Abweichung der Anzahl der Servicefahrten unter 5%. Demgegenüber

weisen rund 14% der Haltestellen eine Abweichung zwischen den beiden Zahlen der Servicefahrten von 20% oder mehr aus.

In den meisten Fällen können die Abweichungen auf zwei Ursachen zurückgeführt werden:

- Saisonale Schwankungen: Bei den INFRAS-Daten handelt es sich um Durchschnittswerte (Werktage) der ganzen Fahrplanperiode (Dezember 2007 bis Dezember 2008), bei den Modellwerten hingegen wird nur der Zustand an einem Werktag im April 2007 abgebildet. Somit werden im Modell mögliche saisonale Angebotsschwankungen (Winter oder Sommer) nicht wiedergegeben.
- Definition der Haltestellen: Werden Haltestellen von zwei verschiedenen Betreibern oder Verkehrsmitteln angefahren, verfügen diese manchmal über zwei verschiedene Bezeichnungen, die beim Vergleich nicht eindeutig einer Haltestelle zugeordnet werden konnten.

Abbildung 7: Vergleich der Servicefahrten pro Haltestelle (Modellwerte mit INFRAS-Daten)



Empfehlungen für nachfolgende Projekte, inkl. Aktualisierung des GVM:

- Eine Verbesserung der Koordinaten in Hafas wäre sehr begrüssenswert.
- Alle im Kanton bzw. Planungsgebiet des Kantons Bern tätigen Verkehrsunternehmen sollten in Hafas enthalten sein.
- Ein Schlüssel der verschiedenen Elemente zwischen Hafas-Daten und SBB-INFO-System sollte vorhanden sein.
- Liniendefinitionen für die Hafas-Daten sind notwendig.

- Die Haltestellennamen in den Datensätzen des Kantons Bern sollen am Anfang immer den Ortsnamen beinhalten

7.5 Zähldaten ÖV

Die ÖV-Zähldaten wurden als Rohdaten von den kantonalen ÖV-Unternehmungen und der SBB zur Verfügung gestellt. Folgende Unternehmungen lieferten Daten:

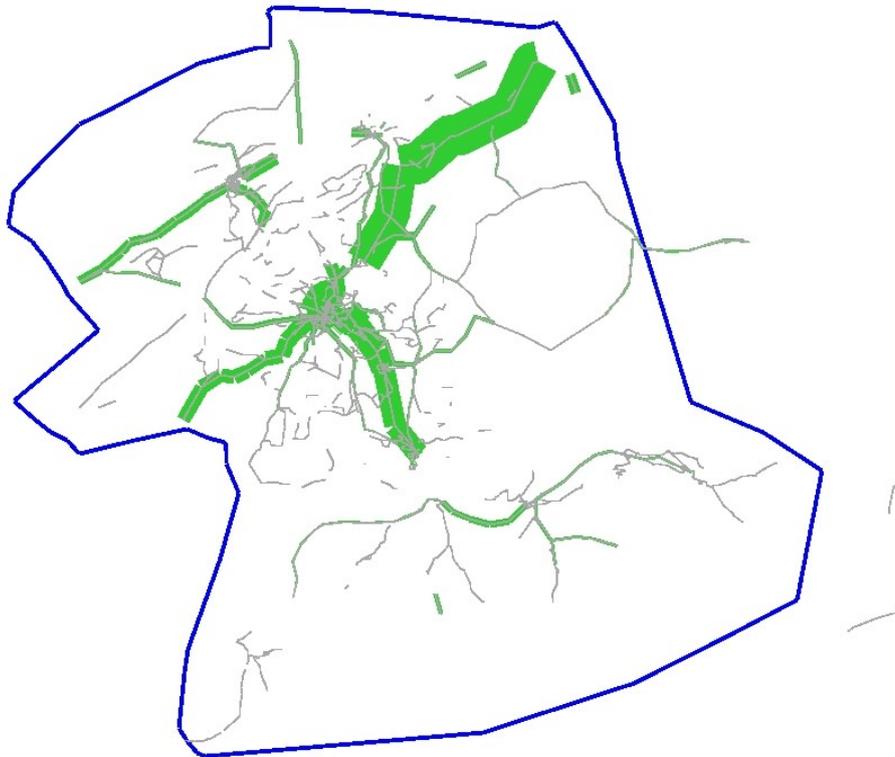
- Aare Seeland mobil, asm
- Bern Mobil, BMO
- BLS (Bahn- und Buslinien)
- Jungfraubahn, JB
- PostBus
- Regionalverkehr Bern Solothurn RBS
- Busbetriebe Solothurn und Umgebung, BSU
- Verkehrsbetriebe STI, STI
- SBB
- Verkehrsbetrieb Biel, VBB
- Zentralbahn, zb

Die Priorität war, Werktagewerte aus den Rohdaten zusammenzustellen. Spitzenstundenwerte wurden nur berücksichtigt, wenn sie mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden konnten. Die Arbeiten erfolgten in folgenden Schritten:

1. Vereinheitlichung der Datenformate
2. Zuspiegelung der GVM ÖV-Knotennummern aufgrund des Haltestellennamens bzw. Namenskürzels in den Rohdaten
3. Matching der Haltestellen auf die Strecken im GVM. Falls keine direkten Strecken im GVM vorhanden waren, dann aufgrund der Linienrouten.
4. Summenbildung der einzelnen Streckenzählwerte

In den Strecken-Userattributen in Visum sind sowohl die IDs als auch die Quelle der Zählwerte mitgeführt. Insgesamt sind 1820 Strecken mit DWV-Zählwerten versehen, die nachfolgende Abbildung 8 gibt eine Übersicht dazu. Man sieht, das Schienennetz und die städtischen Linien sind fast vollständig abgedeckt.

Abbildung 8 ÖV-Netz mit DWV Zählwerten 2007

**Empfehlungen:**

- Einheitliche Haltestellendefinition (Nummer, Name,...) bei den Verkehrsbetrieben
- Einheitliches Hochrechnungsverfahren
- Einheitliches Datenformat
- Professionelles Datenmanagement inkl. laufender Validierung

8 Erstellung MIV–Verkehrsangebot

8.1 Datengrundlagen MIV-Netz

Für das Modellgebiet erfolgte der Aufbau des MIV-Netzmodells auf der Grundlage des TeleAtlas-Netzes, für die übrigen Regionen der Schweiz wurde das Nationale Personenverkehrsmodell der Schweiz (NPVM) als Basis verwendet. Dazu wurde aus dem NPVM ein Teilnetz generiert und die Strecken an den Grenzen beider Netze miteinander verbunden.

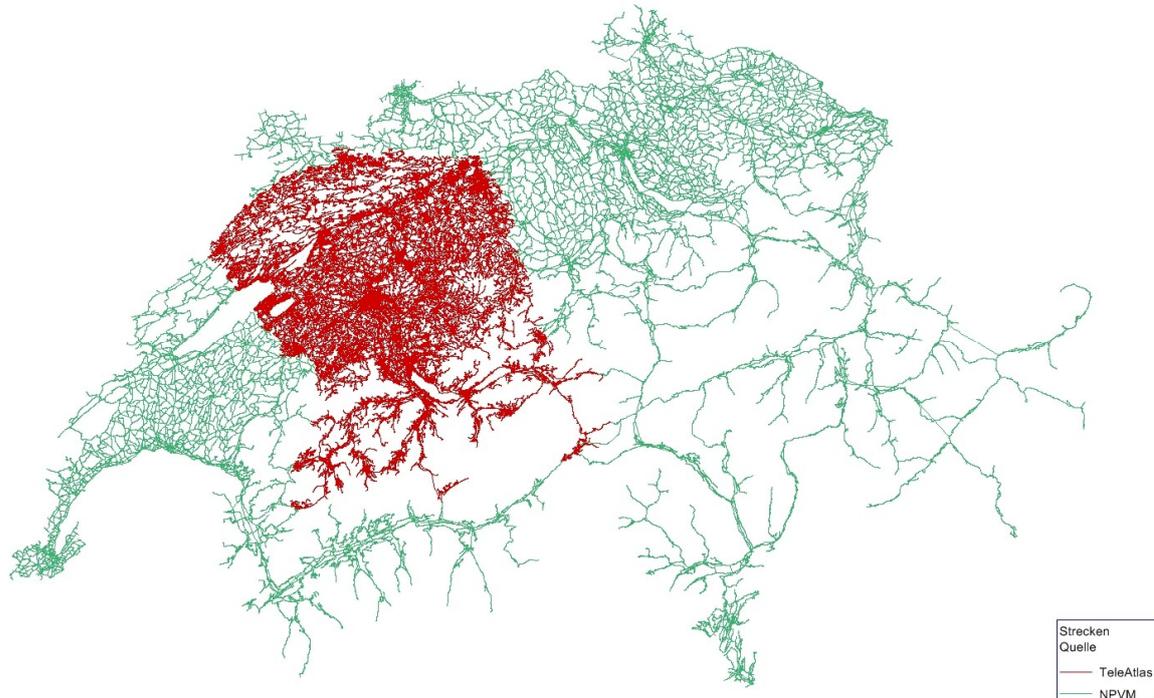
Das TeleAtlas-Netz wurde in verschiedenen Shape-Files geliefert, die untereinander durch verschiedene IDs verbunden sind. GIS-Netze sind im Unterschied zu den MIV-Verkehrsmodellnetzen nicht richtungsabhängig definiert, wodurch die Aufbereitung zusätzlich erschwert wurde. Die Netzattribute für Visum wurden aus folgenden Datensätzen generiert:

- 1 **Network:** geographische Lage, Länge, Name, Functional Road Class, Junction Type, Einbahnen, Spuranzahl
- 2 **Maneuver, Maneuver Path Index und Restrictions:** Abbiegeverbote
- 3 **Speed Restrictions:** Geschwindigkeit

Da die Restriktionen teilweise zeitlich und verkehrsmittelspezifisch definiert sind, wurden nur diejenigen übernommen, welche für PW und den typischen Werktag ausserhalb der Wintermonate gelten.

Visum kann zwei Strecken, die direkt zwischen zwei gleichen Knoten liegen, nicht richtig erkennen. In TeleAtlas sind aber solche Strecken definiert. Dies wurde für alle übergeordneten Strecken per Hand korrigiert. Bei den untergeordneten Strecken wurde die Doppeldefinition aus Aufwandsgründen nicht angepasst.

Abbildung 9 Herkunft des Streckennetzes



8.2 Netzaufbereitung

Für die Aufbereitung des Streckennetzes als routingfähiges Netzmodell waren verschiedene Arbeitsschritte erforderlich:

- Hierarchisierung und Typisierung des Streckennetzes
- Typisierung der Knotenpunkte
- Überarbeitung hinsichtlich Einbahnstrassen, Abbiegeverbote, etc.
- Definition Verkehrssysteme (VS)

Ein Verkehrsangebot setzt sich aus verschiedenen (Teil-)Verkehrssystemen zusammen. Ein Verkehrssystem wird dabei definiert durch:

- einen Verkehrssystemtyp, nämlich IV oder ÖV
- ein Verkehrsmittel z.B. PW (P), Lkw (S) oder Lieferwagen (L).

Für die einzelnen Verkehrssysteme können bestimmte Merkmale als Standard vordefiniert werden, durch welche die jeweiligen Fahrzeiten ermittelt werden:

- Die Höchstgeschwindigkeiten des Verkehrsmittels
- Die zulässige Geschwindigkeit der befahrenen Strecke

- Die Kapazität der befahrenen Strecke.

Im Netzmodell gehört zu jedem Verkehrssystem ein Modus, dem wiederum die Nachfragesegmente zugeordnet sind. Der Modus verknüpft ein oder mehrere Verkehrssysteme und stellt die Verbindung von Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage dar. Da für jeden Modus mehrere Nachfragesegmente (z.B. differenziert nach Fahrtzwecken) definiert werden können, lassen sich unterschiedliche Arten von Nachfrage in einem Verkehrsmodell integrieren. Im vorliegenden Modell wurden die drei MIV-Modi PW, Lieferwagen und Lkw unterschieden.

Die Untergliederung in verschiedene Verkehrssysteme ermöglicht die Zulassung oder Sperrung von Verkehrssystemen auf ausgewählten Strecken.

Typisierung Strassennetz

Die Grundlage für die Typisierung des Strassennetzes bildete das TeleAtlas-Netz, das bestimmte verkehrliche Attribute und Lageinformationen zur Verfügung stellt. Die Teile des Netzmodells, die aus dem NPVM entstammen, wurden ebenfalls neu in die entsprechenden Streckentypen gemäss TeleAtlas-Netz eingeteilt. Zu diesem Zweck wurde die Streckenklassifizierung des NPVM den entsprechenden Typen des Tele-Atlas Netzes zugewiesen.

Streckentypen

Streckentypen dienen der Netzklassifikation und ermöglichen die typbezogene Vergabe von Standardwerten der Input-Attribute. Die Streckentypen wurden auf der Basis von Strassenkategorien aus TeleAtlas (Attribut FRC in Shape-File NW), der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der Anzahl Fahrstreifen definiert. Zusätzlich wurde die Strassen, die weder als Autobahn noch als Autostrasse klassiert sind, aufgrund der Höchstgeschwindigkeit (kleiner/grösser 50 km/h) in die Kategorien «anbaufrei» und «angebaut» unterteilt. Somit zeichnen sich die Streckentypen durch folgende Attribute in Visum aus:

- Zulässige IV-Geschwindigkeit (v0-IV bei freiem Verkehrsfluss)
- Tageskapazität (Kap.)
- Anzahl der Fahrstreifen (FS)
- Zulässige Verkehrssysteme (VS)
- Rang

Die Teile des Netzmodells, die dem NPVM entstammen, unterlagen dessen Streckenklassifizierung, wobei eine Aggregation vorgenommen wurde (Zehnerstellender Streckentypen) um für die Darstellung des Netzes einheitliche Grafikparameter zu verwenden. Eine Übersicht über die Streckentypen des MIV-Verkehrsmodells gibt die Tabelle 5:

Tabelle 5 Streckentypen

Typ	Beschreibung	Rang	VS	FS	Kap.	v0
0	Doppelt definierte Strecken	91	L,P,S	1	5000	20
1	Gesperrte Gegenrichtung	92		0	0	0
2	Fussgängerzone	93		0	0	0
3	Fussweg	94		0	0	0
4	Im Bau	95		1	99999	50
5		96	L,P,S	1	99999	50
6		97	L,P,S	1	99999	50
7		98	L,P,S	1	99999	50
8		99	L,P,S	1	99999	50
9		99	L,P,S	1	99999	50
10	Autobahn NPVM	1	L,P,S	2	56000	120
11	Autobahn 120/2	2	L,P,S	2	56000	120
12	Autobahn 120/3	3	L,P,S	3	79800	120
13	Autobahn 100/2	4	L,P,S	2	57400	100
14	Autobahn 100/3	5	L,P,S	3	81200	100
15	Autobahn 80/2	6	L,P,S	2	57400	80
16	Autobahn 80/3	7	L,P,S	3	81200	80
17	Autobahn -60/2	8	L,P,S	2	57400	60
18	Autobahn -60/3	9	L,P,S	3	81200	60
19		10	L,P,S	1	99999	50
20	Autostrasse NPVM	11	L,P,S	2	56000	100
21	Autostrasse 100/1	12	L,P,S	1	17500	100
22	Autostrasse 100/2	13	L,P,S	2	57400	100
23	Autostrasse 80/1	14	L,P,S	1	17500	100
24	Autostrasse 80/2	15	L,P,S	2	57400	100
25	Autostrasse 60/1	16	L,P,S	1	15000	60
26	Autostrasse 60/2	17	L,P,S	2	56000	60
27	Autostrasse -60/1	18	L,P,S	1	15000	50

28	Autostrasse -60/2	19	L,P,S	2	56000	50
29		20	L,P,S	1	99999	50
30	Hauptstrasse NPVM	21	L,P,S	1	15000	80
31	Hauptstrasse anbaufrei 60-80/1	22	L,P,S	1	15000	80
32	Hauptstrasse anbaufrei 60-80/2	23	L,P,S	2	40000	80
33	Hauptstrasse angebaut -50/1	24	L,P,S	1	15000	50
34	Hauptstrasse angebaut -50/2	25	L,P,S	2	36000	50
35	Hauptstrasse angebaut -50/3	26	L,P,S	3	75000	50
36	Hauptstrasse angebaut -50/4	27	L,P,S	1	75000	50
37		28	L,P,S	1	99999	50
38		29	L,P,S	1	99999	50
39		30	L,P,S	1	99999	50
40	Verbindungsstrasse NPVM	31	L,P,S	1	15000	80
41	Verbindungsstrasse anbaufrei 60-80/1	32	L,P,S	1	15000	80
42	Verbindungsstrasse anbaufrei 60-80/2	33	L,P,S	2	40000	80
43	Verbindungsstrasse angebaut -50/1	34	L,P,S	1	15000	50
44	Verbindungsstrasse angebaut -50/2	35	L,P,S	2	36000	50
45	Verbindungsstrasse angebaut -50/3	36	L,P,S	3	55000	50
46		37	L,P,S	1	99999	50
47		38	L,P,S	1	99999	50
48		39	L,P,S	1	99999	50
49		40	L,P,S	1	99999	50
50	lokale Verbindungsstrasse NPVM	41	L,P,S	1	15000	60
51	lokale Verbindungsstrasse anbaufrei 60-80/1	42	L,P,S	1	14000	60
52	lokale Verbindungsstrasse anbaufrei 60-80/2	43	L,P,S	2	38000	60
53	lokale Verbindungsstrasse angebaut -50/1	44	L,P,S	1	13500	50
54	lokale Verbindungsstrasse angebaut -50/2	45	L,P,S	2	34000	50
55	lokale Verbindungsstrasse angebaut -50/2-	46	L,P,S	3	52000	50
56		47	L,P,S	1	99999	50
57		48	L,P,S	1	99999	50
58		49	L,P,S	1	99999	50

59		50 L,P,S	1	99999	50
60	Sammelstrasse NPVM	51 L,P,S	1	13200	60
61	Sammelstrasse anbaufrei 60-80 /1	52 L,P,S	1	13000	60
62		53 L,P,S	2	36000	50
63	Sammelstrasse angebaut -50/1	54 L,P,S	1	12500	50
64	Sammelstrasse angebaut -50/2	55 L,P,S	2	30000	50
65	Sammelstrasse angebaut -50/3	56 L,P,S	3	50000	50
66		57 L,P,S	1	99999	50
67		58 L,P,S	1	99999	50
68		59 L,P,S	1	99999	50
69		60 L,P,S	1	99999	50
70	Erschliessungsstrasse NPVM	61 L,P,S	1	99999	50
71	Erschliessungsstrasse anbaufrei 60-80/1	62 L,P,S	1	13200	60
72	Erschliessungsstrasse angebaut -50/1	63 L,P,S	1	12000	30
73	Erschliessungsstrasse angebaut -50/2-	64 L,P,S	2	28000	30
74		65 L,P,S	1	99999	50
75		66 L,P,S	1	99999	50
76		67 L,P,S	1	99999	50
77		68 L,P,S	1	99999	50
78		69 L,P,S	1	99999	50
79		70 L,P,S	1	99999	50
80		71 L,P,S	1	99999	50
81		72 L,P,S	1	99999	50
82		73 L,P,S	1	99999	50
83		74 L,P,S	1	99999	50
84		75 L,P,S	1	99999	50
85		76 L,P,S	1	99999	50
86		77 L,P,S	1	99999	50
87		78 L,P,S	1	99999	50
88		79 L,P,S	1	99999	50
89		80 L,P,S	1	99999	50

90		81 L,P,S	1	99999	50
91	Zufahrtstrassen geöffnet	82 L, P	1	5000	20
92		83 L,P,S	1	99999	50
93		84 L,P,S	1	99999	50
94		85 L,P,S	1	99999	50
95		86 L,P,S	1	99999	50
96		87 L,P,S	1	99999	50
97		88 L,P,S	1	99999	50
98		89 L,P,S	1	99999	50
99	Autoverlad, Fähre	90 L,P,S	1	1000	20

Der Streckentyp 91 wurde generiert, da im TeleAtlas-Netz Zufahrtsstraßen mit dem Schild „Nur für Anwohner“ (oder ähnlich) gesperrt sind.

8.2.1 Capacity-Restraint-Funktionen

Capacity-Restraint-(CR)-Funktionen werden eingesetzt, um Reisezeitverluste im belasteten Netz realitätsnah abzubilden. Der Widerstand auf den Strecken wird über eine Widerstandsfunktion ermittelt und ist abhängig von der verkehrlichen Belastung, d.h. mit steigender Belastung nimmt die Fahrzeit und damit der Widerstand eines Netzobjektes zu.

Die Streckenfahrzeit eines Netzobjektes wird mit Hilfe von CR-Funktionen berechnet. Ausgehend von dem Ansatz, dass mit wachsender Verkehrsbelastung die Fahrzeiten (Widerstände) auf den jeweiligen Netzobjekten ansteigen, basieren die Umlegungsverfahren auf der Annahme, dass die Fahrzeit auf einem Netzobjekt eine monoton steigende Funktion der Verkehrsbelastung ist. Damit kann für eine zunehmende Verkehrsbelastung im Netz die Verdrängung auf Alternativrouten abgebildet werden.

Die verwendete CR-Funktion im Modell lautet:

$$t_{akt} = t_0 * \left(1 + a \left(\frac{\text{Belastung}}{\text{Kapazität} * c}\right)^b\right)$$

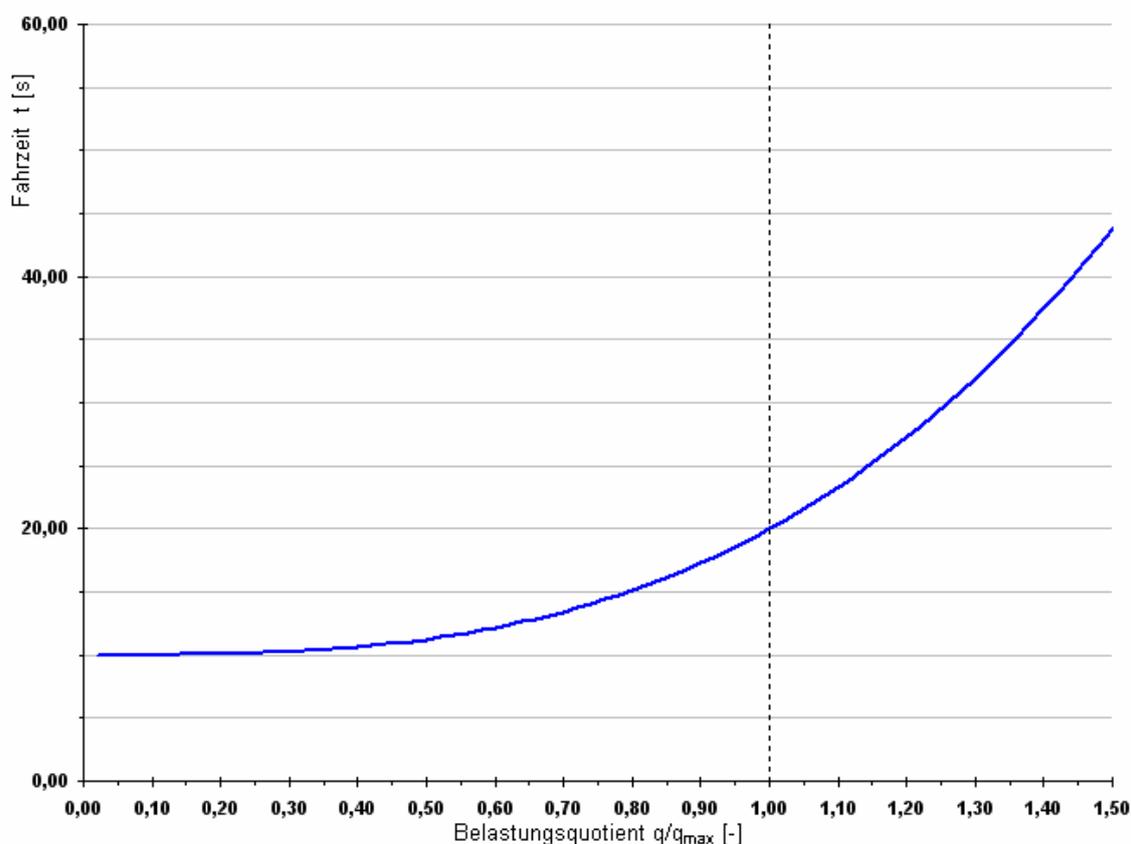
mit: t_{akt} = resultierende Fahrzeit

t_0 = Basisfahrzeit

a,b,c = Parameter

Die Widerstandsfunktionen können frei parametrisiert werden, um für unterschiedliche Streckentypen auch unterschiedliche Verdrängungseffekte zu simulieren. Die CR-Funktionen werden sowohl für die Berechnung des täglichen Verkehrs als auch für die stundenfeinen Umlegungen herangezogen.

Abbildung 10 CR-Kurve (Strecken, Beispiel)



Die Strecken aus dem NPVM wurden mit Streckenfahrzeiten aus der MIV-Umlegung im NPVM und einer konstanten CR-Funktion versehen, um die Streckenfahrzeitveränderung, die durch wegfallende Fahrten bei der Aggregation der Gemeinden auf MS-Zonen entstehen kann, zu umgehen.

8.3 Knotentypisierung

Um den Einfluss von Knotenpunkten auf die Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes zu beschreiben, werden Knotenwiderstände über die Abbiegerattribute modelliert. Aufgrund der feinen, räumlichen Auflösung des Netzes (eine Lichtsignalanlage kann mehrere Knoten umfassen), mussten teilweise so genannte Oberknoten und Oberabbiegebeziehungen definiert werden.

Die Angaben zu den Knotenpunkten stammen von den jeweiligen Städten (Bern, Biel, Thun, Fribourg und Neuchâtel) und Kantonen (Bern, Solothurn, Neuenburg und Aargau) im Modellgebiet.

Folgende Knotentypen wurden definiert und manuell im Netz kodiert:

- Typ 1: Fussgänger Lichtsignalanlage
- Typ 3: Lichtsignalanlage zur Tramsicherung
- Typ 4: Lichtsignalanlage zur Bussicherung
- Typ 6: Lichtsignalanlage zur Dosierung und Autoverlad
- Typ 7: Lichtsignalanlage zur Engpassregelung
- Typ 30: Lichtsignalanlage
- Typ 40: Kreisel
- Typ 50: niveaugleiche Bahnübergänge

Die Knotentypen 1-7 konnten aufgrund der ungenauen Geocodierung nicht vollständig erfasst werden und bleiben aufgrund der geringen Bedeutung für das Routenverhalten der Automobilisten unberücksichtigt.

Folgende Oberknotentypen wurden definiert und manuell im Netz kodiert:

- Typ 0: komplexe (über mehr als einen Knoten) Abbiegeverbote aus TeleAtlas
- Typ 2: Lichtsignalanlage
- Typ 11: Kreisel

In den benutzerdefinierten Attributen sind Informationen zu den durch Lichtsignale geregelten Knoten hinterlegt (vergleiche Tabelle 6).

Tabelle 6 Benutzerdefinierte Attribute lichtsignal geregelter Knoten

BDA	Beschreibung
LSA_Bes	Besitzer der Lichtsignalanlage
LSA_Art	Funktion der Anlage

8.3.1 Berechnung von Knotenwiderständen

Die Methodik für die Berechnung der Knotenwiderstände hängt von dem jeweiligen Knotentyp ab:

- Für Knoten mit Lichtsignalanlage wird eine CR-Funktion für die Abbieger verwendet
- Für Kreisverkehr und niveaugleiche Bahnübergänge werden belastungsunabhängige Zuschläge verwendet.

Vorbelegung Abbiegezuschläge

Für jeden Knoten erfolgte auf Basis der Rangfolge bei den Streckentypen eine Zuordnung des Haupt- und Nebenstroms aufgrund des Ranges der Strecken. In Abhängigkeit des jeweiligen Knotentyps und der Rangfolge der sich kreuzenden Strassen wurden Abbiegezuschläge vergeben. Die Rangfolge der Strassen ergibt sich in der Regel aus der Typisierung der Strecken im Netz (Tabelle 5).

Für alle Abbieger wurde der Abbiegezuschlag t_0 wie folgt vorbelegt:

Tabelle 7 Knotentypen bzw. Oberknotentypen (OT) und Abbiegezuschläge in Sekunden

Knotentyp	Bezeichnung und Modellfunktion	Abbiegetypen											
		HS-HS (++)			HS-NS (+-)			NS-HS (-+)			NS-NS (--)		
		r	g	l	r	g	l	r	g	l	r	g	l
OT 0	komplexe Abbiegeverb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	Knoten NPVM Modell	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OT 21	LSA Koordiniert	2	2	2	13	21	25	20	20	26	23	24	26
30, OT 2	LSA	8	8	10	13	21	25	20	20	26	23	24	26
40, OT 11	Kreisverkehr	3	1	0	3	1	0	3	1	0	3	1	0
50	Bahnübergang	0	30	0	0	30	0	0	30	0	0	30	0

HS = Hauptstrecke, NS = Nebenstrecke, g = geradeaus, r = rechts, l = links

Die U-Turns wurden für alle Verkehrssysteme gesperrt, um ein Umfahren der Abbiegezuschläge an den Knoten zu vermeiden.

Modellierung der belastungsabhängigen Abbiegezuschläge an lichtsignalgeregelten Knoten

Um über Capacity-Restraint-Funktionen einen belastungsabhängigen Zeitzuschlag für einen Abbieger berechnen zu können, wurde jedem Abbieger des Knotentyps eine Kapazität zugeordnet. Da das Modell keine Daten zur Fahrstreifenanzahl für Abbieger und auch keine Daten zu Grünzeiten enthält, wurde die Kapazität der Abbieger auf das Minimum aus der Kapazität der Eingangsstrecke und der Ausgangsstrecke des Abbiegers gesetzt. Für t_0 wurde die Vorbelegung verwendet.

Um VISUM mitzuteilen, dass für diese Knoten die Methode „Abbieger CR-Funktion“ verwendet werden soll, wurde das Attribut „MethodeWidAmKnoten“ auf „Abbieger CR-Funktion“ gesetzt.

Die Parameter der CR Funktion werden im Verfahrensdiallog in der Funktion „Widerstände am Knoten“ eingetragen. Dazu muss dort die Methode „Abbieger CR Funktion“ ausgewählt werden. Für die Berechnung der belastungsabhängigen Zuschläge wurde der Funktionstyp TModel_Nodes ausgewählt (vgl. Abbildung 11). Die zugrundegelegte Kurve steigt zunächst

nur langsam, bei einer Auslastung über 1 schliesslich steiler an. Bei der Auslastung von 1 ist ein Sprung im Kurvenverlauf ersichtlich. Dieser spiegelt die Wartezeit auf die nächste Grünphase wider.

Abbildung 11 CR-Funktionsverlauf für LSA Knoten



8.4 Anmerkungen zum TeleAtlas-Netz

Im Teleatlas-Netz sind einzelne Streckenattribute oder -eigenschaften fehlerhaft oder mangelhaft abgebildet. Sie müssen deshalb korrigiert oder ergänzt werden. Nachfolgend sind die vorgenommenen Anpassungen und Ergänzungen aufgeführt:

- **Strecken-Typ:** Auf einzelnen Strecken wechselt der Strecken-Typ ohne ersichtlichen Grund, obwohl die vorangehende und die nachfolgende Strecke einen einheitlichen Strecken-Typ aufweisen.
- **Geschwindigkeit:** Die Geschwindigkeiten stimmen auf einzelnen Strecken nicht. So gibt es Strecken auf Alpenpässen die mit 100 statt nur 80 km/h ausgewiesen sind. Kreisel können mit 80 statt 30 km/h befahren werden, Quartierstrassen ebenfalls mit 80 statt 30 oder 50 km/h.
- **Fahrspuren auf Autobahnen:** Auf Autobahnen sind nur die Strecken bei Ein- und Ausfahrten mit der Anzahl der Fahrspuren attribuiert. Bei den Strecken dazwischen fehlt dieses Attribut.
- **Kreuzungen mit Kreisverkehr:** Es sind nicht alle Kreuzungen mit Kreisverkehr einheitlich attribuiert und als solche zu erkennen, so dass diese Kreuzungen manuell als Oberknoten definiert werden müssen.
- **Niveaubahnübergänge:** Die Niveaubahnübergänge sind nicht korrekt abgebildet. Es sind Bahnübergänge als Niveaubahnübergänge abgebildet, obwohl sie gar keine Niveauübergänge sind und umgekehrt.
- **Strassenkreuzungen auf verschiedenen Niveaus:** Im Modellgebiet sind 70 Knoten als Niveaunknoten abgebildet, obwohl sich die Strassen auf verschiedenen Höhenniveaus kreuzen. Dies hat zur Folge, dass auf dem TeleAtlas-Netz Fahrbeziehungen möglich sind, die in Wirklichkeit nicht möglich sind. Man kann z.B. von Brücken über die Autobahn auf die Autobahn einmünden.

Beispielhaft sind hier einige Korrekturen aufgeführt:

Strecken-Typ:

- Strecke 1287324: FCR 7 statt FCR 3
- Strecke 1218854: FCR 7 statt FCR 3
- Strecke 1274090: FCR 4 statt FCR 3

Geschwindigkeit:

- Strecke 957504: Kreisel Flughafen Belp 80 km/h statt 30 km/h
- Strecke 1127066: 100 km/h statt 50 km/h
- Strecke 957776: 100 km/h statt 60 km/h

Fahrspuren auf Autobahn:

- Strecke 1483948: 0 statt 2
- Strecke 852684: 0 statt 2
- Strecke 744276: 0 statt 2

Niveaubahnübergänge:

- 104412: Im TeleAtlas-Netz, obwohl kein Niveauübergang
- 104651: Im TeleAtlas-Netz, obwohl kein Niveauübergang
- 161788: Nicht im TeleAtlas-Netz obwohl Niveauübergang

Strassenkreuzungen auf verschiedenen Niveaus:

- Knoten 304237: Allmendweg/A8 (Faulensee)
- Knoten 244380: Bernstrasse/Seftigenstrasse (Kehrsatz)
- Knoten 161068: Route de la Neuveville/A5 (La Neuveville)

Die Attribute im TeleAtlas-Netz wurden mit den Datengrundlagen (z.B. Geschwindigkeiten auf Autobahnen) oder durch Mitarbeiter des Kantons (z.B. niveaugleiche Bahnübergänge) soweit wie möglich verifiziert.

Die Knoten im TeleAtlas-Netz verfügen über keine Informationen betreffend Lichtsignalanlagen (LSA). Diese müssen für den ganzen Modellgebiet manuell eingegeben werden. Insbesondere auf dem Gebiet des Kantons Bern ist dies sehr aufwändig, da LSA sowohl vom Kanton als auch von Städten betrieben werden und nur über Knotenbezeichnungen und nicht durch GIS-Daten erfasst sind, so dass es für Ortsunkundige schwierig ist die betreffenden Standorte zu lokalisieren.

Auch in den Nachbarkantonen ist die Datenbeschaffung aufgrund der vielen verschiedenen Datenherren aufwendig. Dafür können diese in den meisten Fällen GIS-Daten zur Verfügung stellen, die direkt eingelesen werden können.

8.5 Zähldaten MIV

Für den Abgleich der berechneten Streckenbelastungen mit den tatsächlichen Streckenbelastungen (mit Personenwagen) werden – jeweils für das Jahr 2007 – die Werte für den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV), die Morgenspitze (7-8 Uhr, MSP) des DWV, die Abendspitze (17-18 Uhr, ASP) des DWV sowie den Nicht-Spitzenstundenverkehr (11-12 Uhr, NSP) des DWV verwendet. Die Zählwerte wurden richtungsgetreunt im Netz eingebaut.

Aus der automatischen Strassenverkehrszählung des Bundes wurden die Jahreswerte 2007 aus der Datenbank im Internet (www.verkehrsdaten.ch) für die im Modellgebiet liegenden Zählstellen eingelesen. Bei den ASTRA-Zählungen ist eine Unterscheidung nach den relevanten Fahrzeugkategorien vorhanden.

Die Zählungen des Kantons Bern wurden innerhalb der Kantonsverwaltung vorbereitet. Die Zähldaten werden in LOGO und in smart Traffic verwaltet. Die Integration dieser beiden Da-

tensätze ist mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden, da mit LOGO nur der Export des richtungsungetrennten DTV möglich ist und aus smart Traffic, das ausser den Koordinaten alle relevanten Angaben pro Zählstelle beinhaltet, nur Datenexporte einzelner Zählstellen durchgeführt werden können.

Um eine flächenhafte Abdeckung des Kantonsgebiets sicherzustellen (die Zählungen erfolgen pro Jahr schwerpunktmässig in einem Gebiet), wurden auch Daten aus objektbezogenen Einzelzählungen aus den Jahren 1995 bis 2008 berücksichtigt. Bei den kantonalen Zählungen sind die LKW, aber nicht die Lieferwagen separat ausgewiesen.

In der Stadt Bern wurden Zählungen aus dem Jahr 2006 verwendet, da die Zählzeiten für 2007 aufgrund der Bauarbeiten am Bahnhofplatz und den damit verbundenen Verkehrsumleitungen einen Ausnahmezustand abbilden. In dieser Zählung sind keine Unterscheidungen nach Fahrzeugkategorien ausgewiesen, daher handelt es sich bei den Angaben um Kfz.

Die Zählzeiten für den Kanton Solothurn stammen aus dem Jahr 2005. Eine neuere Erhebung liegt nicht vor. Es wurden nur Zählstellen berücksichtigt, die richtungsgetrennt vorliegen. Auch sind diese Daten nur für den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) vorhanden und die Lieferwagen werden nicht separat ausgewiesen.

Aufgrund der geringen Zählstellenanzahl in und um die Stadt Biel wurden zusätzlich die Daten aus der Erhebung der Buchhofer Barbe AG berücksichtigt, die im Jahr 2007 für das Verkehrsmodell Biel durchgeführt wurde. In diesen Daten sind die Personenwagen als massgebende Fahrzeugkategorie getrennt aufgeführt.

Nachstehend sind die verschiedenen erfassten Zählstellen tabellarisch dargestellt, wobei sich der Typ und die Nummer auf das Modell beziehen.

Tabelle 8 MIV Zählstellen

Datenlieferant	Typ	Nummer	Jahr	Wert	Anzahl	
ASTRA	1	1-82		2007	DWV	82
Kt. Bern	2	1001-1779	2007 (vereinzelt auch 1995-2008)		DWV	593
Stadt Bern	3	2001-2104		2006	DWV	92
Kt. SO	4	3025-3222		2005	DTV	71
Stadt Biel (BB)	5	4001-4028		2007	DWV	28

Für die Validierung und Kalibrierung ist die Anzahl Personenwagen massgebend. Für die Zählstellen, bei denen auch Lieferwagen bzw. Lieferwagen und LKW in den Grunddaten enthalten sind, wurde mit Hilfe des Umlegungsergebnisses der Lieferwagen- und LKW-Matrix aus dem NGVM die Anzahl der Personenwagen geschätzt.

In der nachfolgenden Tabelle sind Zählstellen-Attribute im Modell aufgeführt, wobei die Attribute „Z_ZWerteX“ den Werten aus den verschiedenen Erhebungen entsprechen und die ZWerte, die aufbereiteten Zählwerte für die weitere Bearbeitung sind. In den Zählstellen-Attributen wurden alle zweckmässigen Angaben aus den Erhebungen mitgeführt.

Tabelle 9 MIV Zählstellen Attributbeschreibung in Visum

Attribute	Beschreibung
ZAEHLSTELLE:NR	Zählstellen-Nummer im Modell
CODE	Zählstellencode der Datenlieferanten ev. mit Richtungsangabe
NAME	Zählstellenname der Datenlieferanten
VONKNOTNR	Von Knotennummer laut Modell
NACHKNOTNR	Nach Knotennummer laut Modell
STRNR	Streckennummer laut Modell
TYPNR	Typisierung der Zählstellen nach Datenlieferant im Modell
ZWERT1	Aufbereiteter DWV-Wert Personenfahrzeuge
ZWERT2	Aufbereiteter MSP-Wert Personenfahrzeuge
ZWERT3	Aufbereiteter ASP-Wert Personenfahrzeuge
ZWERT4	Aufbereiteter NSP-Wert Personenfahrzeuge
ZWERT5	frei
Z_ZWERT1	DWV-Wert aus Erhebung
Z_ZWERT2	MSP-Wert aus Erhebung
Z_ZWERT3	ASP-Wert aus Erhebung
Z_ZWERT4	NSP-Wert aus Erhebung
Z_ZWERT5	LKW (DWV-Wert) aus Erhebung
Z_JAHR	Zähljahr
Z_PERIODE	Zeitperiode der Durchführung der Zählung
Z_TAGE	Anzahl Zähltag
ANTEIL_SV	Anteil Schwerverkehr aus Erhebung
R_NAME	Richtungsangabe Name aus Erhebung
RICHTUNG	Richtungscode (1 oder 2) aus Erhebung
KOM	Kommentar

8.6 Lieferwagen- und LKW-Matrix

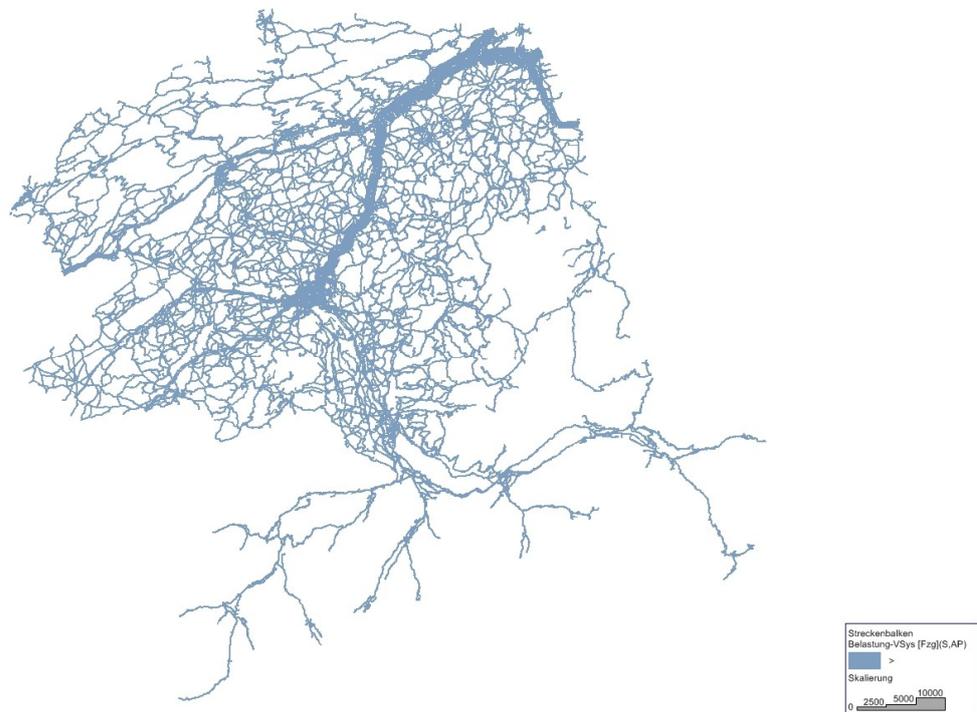
Lieferwagen- und LKW-Verkehr werden als zwei separate Matrizen abgebildet und nicht als fixe Vorbelastung auf dem Strassennetz betrachtet. Da bei fixen Vorbelastungen die Wirkung einer strassenseitigen Massnahme auf das Routenwahlverhalten des Strassengüterverkehrs nicht modelliert werden kann, wurde hier die Lieferwagen- und LKW-Matrix aus dem Nationalen Güterverkehrsmodell (NGVM) verwendet. Die Güterverkehrsmatrizen im NGVM liegen in einem unkalibrierten Zustand vor. Sie wurden mit den ASTRA-Zählwerten automatisch hochgerechnet.

Die Lieferwagennachfrage wurde anhand von Einwohnern und Arbeitsplätzen, und die LKW-Nachfrage anhand von Arbeitsplätzen aus dem Nationalen Güterverkehrsmodell (Gemeindestand 2000), auf die GVM Zonen disaggregiert. Die aus der Liefer- und LKW Matrix ermittelten Streckenbelastungen, werden in die PW-Einheiten umgerechnet so, dass Lieferwagen als ein und LKW als zwei PW-Einheiten betrachtet werden. Diese werden unter dem Attribut *Zwert3* gespeichert und als Vorbelastung bei der Umlegung der PW-Matrix verwendet. Durch die Umlegung dieser Matrizen wird es möglich, bei einer Modellanwendung den Einfluss des Güterverkehrs auf das Routenwahlverhalten im MIV zu berücksichtigen (vergleiche Abbildung 12 und Abbildung 13).

Abbildung 12 Netzbelastungen aus Lieferwagenmatrix



Abbildung 13 Netzbelastungen aus LKW-Matrix



9 Nachfrageberechnung

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage erfolgt mit der Verkehrsplanungsoftware 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. Durch eine Differenzierung nach Aktivitäten entstehen 17 Quelle-Ziel-Gruppen (z.B. Wohnung-Arbeit, Wohnung-Einkauf, Arbeit-Einkauf, usw.). Für jede Quelle-Ziel-Gruppe werden separate Fahrtenmatrizen erstellt, die später zu Fahrtzwecken zusammengefasst werden.

Die Nachfrageberechnung erfolgt in zwei Schritten:

- Erstellung und Eichung der Quelle-Ziel-Matrizen für den durchschnittlichen Werktagverkehr
- Erstellung von Spitzenstundenmatrizen und Eichung von Spitzenstundenmodellen

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

9.1 Tagesmodell (DWV): Erzeugung der Quelle-Ziel-Matrizen

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

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
- Kalibrierung der Matrixstruktur, mit Rückkoppelung

Zur **Bestimmung des Verkehrspotentials** werden mit Hilfe von Raumstrukturdaten für die einzelnen Verkehrszellen eines Planungsraumes die einströmenden und die ausströmenden Verkehrsstärken als Summe der Zielverkehre (Z_i) respektive der Quellverkehre (Q_j) bestimmt. Die Raumstrukturdaten charakterisieren dabei die Attraktivität der jeweiligen Verkehrszonen. Das Verkehrsaufkommen wird bestimmt, indem z.B. jedem Einwohner einer verhaltenshomogenen Gruppe eine gewisse Anzahl an Wegen für einen Fahrtzweck zugewiesen wird. Hierfür werden so genannte 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 Mikrozensus Verkehr (ARE und BFS, 2005) ermittelt. Aus der gesamten Mikrozensusstichprobe wurden die für das Modellgebiet relevanten Beobachtungen filtrierte.

Für die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage wird ein simultanes Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Modell geschätzt. Das umfasst die Modellierung und Kalibrierung des Modells für das betrachtete Untersuchungsgebiet auf Grundlage der bestehenden Stated Preference Befragungen in der Schweiz (SP Befragung für das ÖV-Modell des Kantons Zürich 2003, Vrtic et al. 2005) und des Mikrozensus Verkehr 2005.

Die Befragungsergebnisse (Mikrozensus Verkehr 2005) werden durch aktuelle Strukturdaten und Schätzungen der generalisierten Kosten der Netzbenutzung ergänzt. Die Kosten der Netzbenutzung werden basierend auf den im vorherigen Arbeitsschritt erstellten ÖV- und MIV-Netzen berechnet. Die Velo- und Fusszeiten werden aus dem MIV-Netz berechnet. Um eine höhere Qualität bei den Modellschätzungen zu erreichen, werden die aus den SP-Befragungen ermittelten Verkehrsmittelwahl-Parameter für die betrachteten Einflussvariablen teilweise direkt übernommen und teilweise anhand des Mikrozensus 2005 neu geschätzt. Dies betrifft vor allem die Parameter der Verkehrsverteilung (Zielwahl).

Das Ergebnis ist ein simultanes Modell der Ziel- und Verkehrsmittelwahl, das die räumliche und modale Konkurrenz angemessen abbildet. Die Schätzungen werden für die fünf Verkehrszwecke getrennt 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-Modelle umsetzen kann. Mit diesem Programm werden sowohl die ÖV- als auch die MIV- sowie die 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 (17 x 4) erstellt, die in einem weiteren Schritt zu Fahrtzwecken aggregiert werden.

Die Matrizen werden anschliessend mit den vorhandenen Erhebungsdaten überprüft. Es werden die Pendlermatrix aus der Volkszählung 2000, Querschnittszählungen und der Mikrozensus Verkehr 2005, weitere statistische Daten und das NPVM Schweiz herangezogen. Aufbauend auf dieser Analyse werden gegebenenfalls die Modellparameter oder unsichere Eingangsgrößen korrigiert und in einem Rückkoppelungsschritt die Matrizen neu berechnet.

Im Folgenden werden die Arbeitsschritte zur Erstellung und Validierung der Quelle-Ziel-Matrizen vorgestellt. Zunächst werden die verwendeten Strukturdaten und Erzeugungsmodelle beschrieben. Anschliessend wird die Herleitung der Modellparameter erläutert, bevor die Validierung präsentiert wird.

9.2 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 Berner Gesamtverkehrsmodell wurde ein umfangreicher Strukturdatensatz mit insgesamt 66 Variablen erstellt. Die Strukturdaten werden jeweils pro Verkehrszone und mehrheitlich für das Jahr 2007 angegeben.² Da die meisten Daten nicht auf Ebene der Verkehrszonen und für das Jahr 2007 zur Verfügung stehen, mussten entsprechende Annahmen für die Verteilung auf die einzelnen Verkehrszonen und die Hochrechnungen auf das Jahr 2007 getroffen werden. Die einzelnen Vorgehensweisen werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer beschrieben.

Der Aufwand für die Erhebung der Strukturdaten war deutlich höher als ursprünglich angenommen. Dies lag in erster Linie daran, dass die Datenlage im Modellgebiet unerwartet schlecht war. Der Umstand, dass das Modellgebiet Gemeinden aus zehn verschiedenen Kantonen beinhaltet, erschwerte die Datensuche zusätzlich, da fast ausschliesslich auf nationale Datensätze zurückgegriffen werden musste.

Die eigentliche Datenaufbereitung verlief mehrheitlich plangemäss. Allerdings fehlte bei einer grossen Zahl der Strukturdaten eine entsprechende Geocodierung, so dass deutlich mehr Strukturdaten als erwartet von Hand den entsprechenden Verkehrszonen zugeordnet werden mussten.

9.2.1 Wohnbevölkerung und Altersstruktur

Erhobene Variablen und Datenquellen

Die Wohnbevölkerung gilt innerhalb einer Verkehrszone als wichtigster „Produzent“ von Verkehr an Werktagen. Damit auch Wochenaufenthalter und Studenten im Verkehrsmodell

² In einzelnen Fällen, insbesondere bei Angaben zu der Anzahl einzelner Betriebe aus der Betriebszählung war eine Hochrechnung auf das Jahr 2007 nicht möglich.

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 Verkehrszone im Jahr 2007 (wirtschaftlicher Wohnsitz)
- Einwohner 15 – 24 Jahre pro Verkehrszone im Jahr 2007 (wirtschaftlicher Wohnsitz)
- Einwohner 25 – 59 Jahre pro Verkehrszone im Jahr 2007 (wirtschaftlicher Wohnsitz)
- Einwohner 60 – 79 Jahre pro Verkehrszone im Jahr 2007 (wirtschaftlicher Wohnsitz)
- Einwohner > 80 Jahre pro Verkehrszone im Jahr 2007 (wirtschaftlicher Wohnsitz)
- Total Einwohner pro Verkehrszone im Jahr 2007 (wirtschaftlicher Wohnsitz)

Als Grundlage für die Einwohnerzahlen nach Alterskategorien dienen die Daten aus der Volkszählung 2000. Für die Hochrechnung auf das Jahr 2007 werden zudem die Daten aus der Statistik des jährlichen Bevölkerungsstandes (ESPOP) des Bundesamtes für Statistik verwendet.

Aufbereitung

Die Daten aus der Volkszählung wurden im Hektarraster vom Bundesamt für Statistik bereitgestellt. Die Einwohnerzahlen für die einzelnen Hektare wurden auf die Verkehrszonen aufaddiert. Für jede Verkehrszone waren somit die Anzahl der Personen der einzelnen Altersklassen mit wirtschaftlichem Wohnsitz in der Verkehrszone für das Jahr 2000 bekannt. In einem nächsten Schritt wurden die einzelnen Altersklassen mit Hilfe eines Hochrechnungsfaktors auf das Jahr 2007 hochgerechnet. Die gesamte Einwohnerzahl für das Jahr 2007 ergibt sich aus der Summe der einzelnen Alterskategorien.

Der Hochrechnungsfaktor ist auf Gemeindeebene differenziert. Er entspricht der Veränderung der ständigen Wohnbevölkerung einer Gemeinde zwischen 2000 und 2007. Der Hochrechnung wurden zwei Annahmen unterstellt: Die wirtschaftliche Wohnbevölkerung entwickelt sich analog zur ständigen Wohnbevölkerung und innerhalb einer Gemeinde entwickelt sich die Bevölkerung in jeder Verkehrszone identisch.

9.2.2 Erwerbstätige und Beschäftigte

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 Verkehrszone, ins-

besondere des Pendlerverkehrs. Die Zahl der Erwerbstätigen ist wohnortgebunden und ist Basis für die Bestimmung des Pendlerverkehrs aus der Verkehrszone hinaus. Die Zahl der Beschäftigten bezieht sich hingegen auf den Arbeitsort (Zielverkehr im Pendlerverkehr) und liefert einen guten Hinweis auf die Anziehungskraft einer Verkehrszone. Folgende Variablen werden ermittelt:

- Anzahl Erwerbstätige pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Beschäftigte: Anzahl Vollzeitäquivalente im 2. Sektor pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Beschäftigte: Anzahl Vollzeitäquivalente im 3. Sektor pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Beschäftigte: Anzahl Vollzeitäquivalente im 2. Sektor und 3. Sektor pro Verkehrszone im Jahr 2007

Angaben zu den Erwerbstätigen wurden der Volkszählung 2000 (Hektarrasterdatensatz) entnommen, wobei für die Hochrechnungen auf das Jahr 2007 wiederum die Angaben aus der Statistik des jährlichen Bevölkerungsstandes (ESPOP) benötigt werden. Informationen zu den Vollzeitäquivalenten sind im Datensatz der Betriebszählung 2005 (Hektarrasterdatensatz) enthalten. Als Grundlage für die Hochrechnung auf das Jahr 2007 wurden die Zahlen zur Beschäftigungsentwicklung der Grossregionen aus der Beschäftigungsstatistik (BESTA) verwendet.

Datenaufbereitung

Das Vorgehen für die Aufbereitung der Erwerbstätigen entspricht demjenigen der Bevölkerungszahlen. Die auf Basis des Hektarrasters gelieferten Zahlen, wurden zu den einzelnen Verkehrszonen zusammengefasst und anschliessend mit Hilfe des Bevölkerungswachstums auf Gemeindeebene auf das Jahr 2007 hochgerechnet. Dabei wird angenommen, dass sich die Zahl der Erwerbstätigen innerhalb einer Gemeinde (bzw. einer Verkehrszone) identisch mit der Bevölkerungszahl entwickelt.

Die Daten aus der Betriebszählung wurden vom Bundesamt für Statistik ebenfalls auf Hektarraster-Basis bereitgestellt und mussten auf die einzelnen Verkehrszonen aggregiert werden. Die Hochrechnung der einzelnen Vollzeitäquivalente auf das Jahr 2007 erfolgte auf Basis der regionalen Beschäftigungsentwicklung (Grossregionen gemäss BFS) im 2. bzw. 3. Sektor. Da keine stärker regionalisierten Daten zum Beschäftigungswachstum verfügbar sind, wurden für alle Verkehrszonen innerhalb einer Grossregion die gleichen Wachstumszahlen angenommen. Die totalen Vollzeitäquivalente im 2. und 3. Sektor für das Jahr 2007 entsprechen der Summe der hochgerechneten Vollzeitäquivalente der einzelnen Sektoren.

9.2.3 Auszubildende

Erhobene Variablen und Datenquellen

Ist innerhalb einer Verkehrszone einer Schule vorhanden, generiert diese 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 Verkehrszone im Schuljahr 2006/07
- Anzahl Studenten an Universitäten (üblicher Vorlesungsstandort) pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Anzahl Studenten an Fachhochschulen (Standort der Ausbildungsstätte) pro Verkehrszone im Jahr 2007

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. Für die Zuordnung der Schülerzahlen zu den Verkehrszonen wurden zudem die Vollzeitäquivalente (Beschäftigte) im Bereich Bildung aus der Betriebszählung 2005 (Hektarrasterdaten) verwendet.

Datenaufbereitung

Die Zuteilung und Aggregation der Anzahl **Schüler pro Schule** zu den Verkehrszonen mit Hilfe der Schulstandorte, war äusserst aufwendig und komplex. Die Spezialauswertung des BFS wies die Anzahl Schüler pro Schule und Ausbildungsstufe aus, verfügte jedoch nicht über eine über den Ort hinausgehende genaue Adresse oder gar Geocodierung der jeweiligen Schulen. Für eine punktgenaue Zuteilung der Standortschüler zu den Verkehrszonen hätte somit jede einzelne der ca. 1'500 Schulen im Modellgebiet manuell einer Verkehrszone zugewiesen werden müssen. Eine solche manuelle Zuteilung aller Schulen zu Verkehrszonen ist allerdings mit einem zu grossen Aufwand verbunden. Deshalb 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 2005) auf die einzelnen Verkehrszonen verteilt.

Für die **Studenten an Universitäten** erfolgte die Zuteilung zu den Verkehrszonen 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 Verkehrszonen. 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.

9.2.4 Verkaufsflächen und Einkaufszentren

Erhobene Variablen und Datenquellen

Nach dem Freizeit- und dem Pendlerverkehr stellt der Einkaufsverkehr bezüglich der Distanz, der Reisezeit und der Anzahl Wege den drittwichtigsten 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 Verkehrszone erstellt. Für den Einkaufsverkehr werden folgende zwei Strukturvariablen erhoben:

- Totale Verkaufsfläche in m² pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Verkaufsfläche in m² in Einkaufszentren (>7'000m²) pro Verkehrszone im Jahr 2007

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 Verkehrszonen aufzuteilen, werden zudem die Vollzeitäquivalente (Beschäftigte) im Bereich Verkauf aus der Betriebszählung 2005 benötigt. Bezüglich der Einkaufszentren wird der Datensatz von Wüst und Partner mit den Angaben aus der Publikation „Detailhandel Schweiz 2007“ verglichen.

Datenaufbereitung

Die Zuordnung der Einkaufszentren zu den einzelnen Verkehrszonen 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 Verkehrszonen aufgeteilt. Für jede einzelne Verkehrszone 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 Verkehrszone zugeteilt³.

Die Einkaufszentren Westside und Stade de Suisse waren in der Betriebszählung von 2005 und ersteres im Datensatz von Wüst und Partner noch nicht aufgeführt. Die Einkaufsflächen von 23'500m² für das Westside und 14'000m² für das Stade de Suisse wurden nachträglich der entsprechenden Verkehrszone zugeteilt.

9.2.5 Kulturangebote

Erhobene Variablen und Datenquellen

Gemäss der Auswertung des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2005, entfallen von allen Wegzwecken am meisten die Wege mit den längsten Distanzen und der meisten Wegzeit 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 Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Kinos pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag und Verkehrszone für das Jahr 2007
- Anzahl Theater und Ballettgruppen pro Verkehrszone für das Jahr 2005

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

- Anzahl Stellen in Theater und Ballettgruppen (Vollzeitäquivalente) pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Theater für die Saison 06/07
- Anzahl Museen und Denkmalschutz pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) im Bereich Museen und Denkmalschutz pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Durchschnittliche Besucherzahlen pro Tag ausgewählter Museen für das Jahr 2007
- Anzahl botanische und zoologische Gärten sowie Naturparks pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in botanischen und zoologischen Gärten sowie Naturparks pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Orchester, Chöre und Musiker pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) im Bereich Orchester, Chöre und Musiker pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Bibliotheken und Archive pro Verkehrszone für das Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Bibliotheken und Archiven pro Verkehrszonen für das Jahr 2005

Sämtliche Zahlen zu der **Anzahl kultureller Einrichtungen und der Anzahl Stellen** (Vollzeitäquivalente) in den einzelnen Bereichen, stammen aus der Betriebszählung 2005. Die Angaben zu den **Kinobesuchern** für das Jahr 2007 stammen aus der Film- und Kinostatistik des BFS (kantonale Daten⁴). Als Quelle für die durchschnittliche Anzahl **Theaterbesucher** dient die Zuschauerstatistik für die Saison 2006/07 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.

Datenaufbereitung

Sämtliche Angaben zu der **Anzahl Stellen und Betriebe** wurden aus der Betriebszählung 2005 (Hektarraster) entnommen und auf die Verkehrszonen aggregiert. Eine Hochrechnung auf 2007 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 Verkehrszone zugeteilt und deren Anzahl Sitzplätze ermittelt. Letzteres geschah mit Hilfe von Internetrecherchen (u.a.

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

www.cineman.ch). Anschliessend wurden die kantonalen Besucherzahlen entsprechend den Sitzanteilen der Kinos auf die einzelnen Verkehrszonen 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.

Die seit der Erstellung der Kinostatistik neu gebauten Multiplex Kinos (z.B. im Zentrum Westside) wurden ebenfalls berücksichtigt. Für die Berechnung des Besucheraufkommens dieser neuen Kinos wurde die kantonal durchschnittliche Auslastung pro Sitzplatz mit den Sitzplatzkapazitäten multipliziert. Das gesamte Besucheraufkommen einer Region kann somit entsprechend höher ausfallen als in der Besucherstatistik des BFS von 2007 angegeben wird. Allfällige Schliessungen und Eröffnungen kleinerer Kinos konnten nicht berücksichtigt werden.

Zahlen zu der **Anzahl Theaterbesucher** sind nur für fünf Theater im Verkehrsmodellgebiet vorhanden. Immerhin sind die Stadttheater Bern sowie Biel und Solothurn⁵ 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 Verkehrszone zugeordnet.

Museen (inkl. ihrer Besucherzahlen) wurden entsprechend ihrer in der Betriebszählung enthaltenen Standorte, den Verkehrszonen zugeteilt. Dabei hat sich gezeigt, dass viele kleinere Museen nicht in der Betriebszählung erfasst wurden. Um den Aufwand der Zuteilung zu den Verkehrszonen in einem angemessenen Rahmen zu halten, wurden Museen mit einem Aufkommen von weniger als 10 Besuchern pro Tag nicht berücksichtigt.

9.2.6 Freizeitangebote

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 Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Sportanlagen pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Durchschnittliche Anzahl Besucher in grösseren Sportstätten (Fussballstadien und Eishockeystadien) an einem Werktag, Saison 2007/08
- Anzahl Besucher in Freibädern, Hallenbädern und Eisbahnen der Stadt Bern, Jahr 2006⁶

Die Anzahl der Sportstätten und der Stellen stammen aus der Betriebszählung 2005 (Hektar-rasterdaten). 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 (2006) ausgewiesen.

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 Verkehrszonen zugeordnet.

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.

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

⁷ Zuschauerstatistik der Saison 2007/08 des Schweizerischen Fussballverbands für Vereine der Nationalliga A und B (YB, Xamax, FC Thun, La-Chaux-de-Fonds) und Zuschauerstatistik des Schweizerischen Eishockeyverbandes der regulären Saison 2007/08 (ohne Playoffs) für Vereine der Nationalliga A und B (Bern, Fribourg, Langnau)

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

9.2.7 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

Erhobene Variablen und Datenquellen

Das Gastronomie- und Hotelangebot in einer Verkehrszone 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 Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Restaurants pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Bars pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Bars pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Diskotheken pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Diskotheken pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Kantinen pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Kantinen pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Hotels pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in Hotels pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Durchschnittliche Anzahl Hotelankünfte pro Tag in Verkehrszone im Jahr 2007
- Durchschnittliche Anzahl Übernachtungen pro Tag in Verkehrszone im Jahr 2007
- Anzahl Campingplätze pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) auf Campingplätzen pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl weiterer Beherbergungsstätten pro Verkehrszone im Jahr 2005
- Anzahl Stellen (Vollzeitäquivalente) in weiteren Beherbergungsstätten pro Verkehrszone im Jahr 2005

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 (Hotelleriestatistik) des BFS gemacht. Daraus stehen uns für Gemeinden mit mindestens drei Hotellerie-Betrieben sowie für die einzelnen Bezirke die genaue Anzahl von Ankünften und Übernachtungen zur Verfügung.

Datenaufbereitung

Die **Anzahl Betriebe und die Anzahl Stellen** pro Verkehrszone konnten aus der Betriebszählung 2005 entnommen und aggregiert werden. Eine Aufdatierung auf das Jahr 2007 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 Verkehrszonen 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 Verkehrszonen 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 Verkehrszonen 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 Verkehrszonen aufgeteilt wurden.
- Schliesslich gibt es einige wenige Gemeinden mit weniger als drei Betrieben in Bezirken innerhalb des Modellgebiets, welche als einzige Gemeinden des Bezirks weniger als drei Betriebe aufweisen. Für diese Bezirke ist die Zahl der Ankünfte und Übernachtungen auf Bezirksebene nicht verfügbar. Den betroffenen Gemeinden wurde aufgrund der durchschnittlichen Anzahl Übernachtungen pro Vollzeitäquivalent der übrigen Gemeinden im Bezirk ein Wert zugewiesen und anschliessend auf die Verkehrszonen verteilt.

9.2.8 Bestand an Personenwagen

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 Verkehrszone abgebildet:

- Anzahl registrierter Personenwagen pro Verkehrszone im Jahr 2007

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 der Volkszählung 2000 geschätzt.

Datenaufbereitung

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

Für den **Kanton Bern** standen exakte Werte aus dem Jahr 2007 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 Verkehrszone aufgeteilt.⁸

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 neuen Raumtypen gemäss BFS berech-

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

net. Der Fahrzeugbestand für eine Verkehrszone konnte anschliessend berechnet werden, 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.

9.2.9 Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz

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 Parkplatzzusammensetzungen als spezieller Anziehungspunkt für Verkehr in grösseren Gemeinden (ab 10'000 Einwohnern) zu lokalisieren und mit der entsprechenden Anzahl Parkmöglichkeiten einer Verkehrszone 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 zugängliche Parkplätze (effektiv) pro Verkehrszone für das Jahr 2007
- Private Parkplätze (effektiv) pro Verkehrszone (nur für Bern) für das Jahr 2007
- Anzahl Parkplätze an der Wohnadresse gemäss MZ05 Auswertung pro Verkehrszone für das Jahr 2007
- Anzahl Parkplätze am Arbeitsort gemäss MZ05 Auswertung pro Verkehrszone für das Jahr 2007

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 Verkehrszone 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 Verkehrszonen 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 Durch-

schnittswerte wurde anschliessend die entsprechende Anzahl Parkplätze einzelner Verkehrszonen berechnet.

9.2.10 Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr

Erhobene Variablen und Datenquellen

Ein weiteres relevantes Merkmal für die Verkehrsmittelwahl ist die Verfügbarkeit eines Abonnements für den öffentlichen Verkehr. Neben den SBB-Abonnements spielen im Kanton Bern vor allem die Tarifverbunde libero (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 General-Abonnements pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Anzahl Halbtax-Abonnements pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Anzahl Jahresabonnements der Tarifverbunde libero, zigzag und BeoAbo pro Verkehrszone im Jahr 2007
- Anzahl Monatsabonnements der Tarifverbunde libero, zigzag und BeoAbo pro Verkehrszone im Jahr 2007

Angaben zur Anzahl GA- und Halbtax-Abonnements wurden von der SBB regional aggregiert geliefert. Die Jahresabos der regionalen Tarifverbunde werden auf Ebene der Postleitzahlen aus der Kundendatenbank der regionalen Verkehrsbetriebe zur Verfügung gestellt. Für die Monatsabos, stehen nur jährliche Verkaufszahlen vom Amt für öffentlichen Verkehr des Kantons Bern zur Verfügung.

Datenaufbereitung

Um die ÖV-Abonnements auf die Modellzonen zu disaggregieren, wurden mehrere Vorgehen getestet und die Ergebnisse analysiert. Neben der Einwohnerzahl wurden hier auch die Auswertungen des Mikrozensus 2005 und der Pendlermatrix aus der Volkszählung 2000 als Verteilungskriterien verwendet. Für die Mikrozensusdaten wurde eine Verteilung nach Raumtypen und für die Pendlermatrix nach Anzahl der ÖV-Fahrten durchgeführt.

Basierend auf dem Vergleich der ermittelten ÖV-Abonnements pro Zone, wurde folgendes Vorgehen gewählt: Die Verteilung der GA- und Verbund-Abonnements geschieht über die Pendlermatrix aus der Volkszählung 2000 und die der Halbtaxabonnements über die Einwohnerzahl. Anhand dieser Kriterien wurden dann die Abonnements von Bezirks- bzw. Gemeindeebene auf die Modellzonenebene disaggregiert.

9.2.11 Touristische Anlagen

Erhobene Variablen und Datenquellen

Touristische Anlagen lösen bedeutenden Freizeitverkehr aus. Zu nennen sind insbesondere Bergbahnen (Seilbahnen, Sesselbahnen, Skilifte, etc.) und generell die wichtigen Tourismusorte im Berner Oberland. Während die Anziehungskraft der Tourismusregionen teilweise bereits durch die Anzahl der Übernachtungen abgebildet wird, fehlen vor allem noch Angaben zum Tagestourismus in den Bergen. Ein Hinweis auf die Bedeutung der Region für den Tagestourismus liefern die Kapazitäten der Bergbahnen. Folgende Indikatoren sind im Datensatz (BFS) enthalten:

- Anzahl (Stand-)Seilbahnen pro Verkehrszone im Jahr 2007 (nur Kt. Bern)
- Kapazität pro Stunde der in der Verkehrszonen enthaltenen (Stand-)Seilbahnen im Jahr 2007 (nur Kt. Bern)

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 Verkehrszone der Talstation angerechnet wurden. Verfügen die Berg- bzw. Zwischenstation ebenfalls über einen entsprechenden Anschluss an das Strassen- bzw. Schienennetz, wurden die Kapazitäten ebenfalls der Verkehrszone 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.

9.2.12 Weitere Daten

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 Pflgetage eines Spitals können aber Annahmen zu dessen Grösse und der Besucherzahl getroffen werden. Im Datensatz enthalten sind:

- Anzahl Spitäler pro Verkehrszonen (Stand 2007)

- Anzahl Pflgetage im Jahr 2007

Der schweizerische Spitalverband Hplus führt einen umfangreichen Datensatz, indem unter anderem auch die Anzahl Pflgetage pro Klinik ausgewiesen werden. Die Kliniken und deren Pflgetage wurden aufgrund der von Hplus angegebenen Adressen, von Hand der entsprechenden Verkehrszone zugewiesen.

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 2007
- Tägliche Anzahl Passagiere, nicht gewerbsmässiger Flugverkehr im Jahr 2007
- Total täglicher Anzahl Passagiere im Jahr 2007

Jährliche Passagierdaten können von der Homepage des Flughafens heruntergeladen werden. Der Tagesdurchschnitt wurde ohne Gewichtung gerechnet, dass heisst es wird davon ausgegangen, dass sich das Passagieraufkommen zwischen einzelnen Tagen nicht unterscheidet. Im Datensatz nicht berücksichtigt sind: Transit-Passagiere (ca. 2'000 pro Jahr), da diese kein weiteres Verkehrsaufkommen generieren.

9.3 Verhaltensdaten: Mikrozensus 2005

Der Mikrozensus 2005 stellt eine zentrale Datengrundlage für die Modellerstellung dar. Diese Daten werden sowohl für die Generierung von Eingangsgrössen als auch für die Modellvalidierung verwendet. Bei der Modellerstellung fliessen die Mikrozensusdaten in die Berechnung von spezifischen Mobilitätsraten und die Schätzung von Modellparametern der Ziel- und Verkehrsmittelwahl ein.

Andererseits stellen diese Daten auch eine sehr wichtige Grundlage für die Modellvalidierung dar. Validiert werden neben dem Erzeugungsmodell vor allem die berechneten Modal-Split-Anteile und die Reiseweiteverteilung der Quelle-Ziel-Matrizen.

9.3.1 Informationen zum Mikrozensus 2005

Der Mikrozensus zum Verkehrsverhalten ist heute die wichtigste Grundlage für Aussagen zu zahlreichen Aspekten des Personenverkehrsverhaltens, die in verschiedensten Bereichen der Verkehrswissenschaft, -planung und -politik und u.a. auch von der Raumplanung verwendet werden.

1974 wurde erstmals eine gesamtschweizerische Befragung der Bevölkerung zum Verkehrsverhalten durchgeführt. Solche Erhebungen wurden seither ungefähr alle 5 Jahre wiederholt. Sie stützen sich auf den Bundesratsauftrag in der Verordnung über die Durchführung statistischer Erhebungen des Bundes (SR 431.012.1).

Im Jahr 2005 haben die Bundesämter für Statistik (BFS) und für Raumentwicklung (ARE) wiederum den Mikrozensus zum Verkehrsverhalten durchgeführt. Noch stärker als in früheren Jahren haben sich nebst anderen Bundesämtern auch Kantone, Regionen und Städte sowie die ETH an der Erhebung beteiligt, indem sie zusätzliche Interviews mitfinanziert haben⁹.

Die Erhebung erfolgte mittels computergestützter Telefonbefragung (sog. CATI-Technik) durch ein dafür spezialisiertes Befragungsinstitut. Das Interview umfasste zwei Teile:

- **Erster Teil** mit einer beliebigen Person über Fragen, die den gesamten Haushalt betreffen.

⁹ Aus dem Gebiet des Berner Verkehrsmodells treten die Regionale Verkehrskonferenz 4 sowie die Stadt Burgdorf als Verdichter auf.

- **Zweiter Teil** mit einer zufällig ausgewählten Person des Haushalts (= Zielperson, über 6 Jahre alt) über ihr konkretes Verkehrsverhalten am festgelegten Stichtag (bei Haushalten mit mindestens 4 Personen über 6 Jahren wurden zwei Zielpersonen befragt).

Insgesamt wurden 31 950 Haushalte und 33 390 Personen (Zielpersonen) befragt.

Damit die Resultate für die Gesamtbevölkerung möglichst repräsentativ ausfallen, wurden die Haushalte und die Personen nach einem anerkannten Verfahren gewichtet (mehr dazu auf der CD-ROM von BFS/ARE¹⁰). Dies ist nötig, weil sonst die Verdichtungsregionen ein zu hohes Gewicht erhalten würden und weil einige Personengruppen (z.B. junge Ledige) schwieriger zu erreichen sind.

9.3.2 Datengrundlage und Grundgesamtheit

Der Mikrozensus-Datensatz kann vom BFS bezogen werden und beinhaltet mehrere einzelne Datensätze für Wege, Etappen, Zielpersonen, Haushalte usw. Für die nachfolgend beschriebenen Auswertungen wurden die beiden Datensätze Wege und Zielpersonen verwendet, wobei die beiden Datensätze auf Basis der Haushalts- und Zielpersonennummern zu einem Datensatz zusammengeführt wurden.

Insgesamt umfasst der Datensatz zum Mikrozensus 2005 109'608 Wege (gewichtet)¹¹ aus dem In- und Ausland. Aus Sicht des Verkehrsmodells sind jedoch nicht alle Wege von Interesse, deshalb wurden einzelne Beobachtungen in den Auswertungen nicht berücksichtigt. Folgende Einschränkungen wurden vorgenommen:

- **Nur Wege an Werktagen:** Sämtliche Wochenendwege wurden aus dem Sample gelöscht. Von den insgesamt 109'608 Wege fallen rund 22.8% (25'075 Wege) auf ein Wochenende (vgl. Tabelle 10). Durch diese Einschränkung reduziert sich die Grundgesamtheit auf 84'533 Wege.
- **Wege aus dem In- und Ausland¹² ohne Flugzeug-Wege:** Aus dem Sample ebenfalls ausgeschlossen wurden sämtliche Wege, die mit dem Flugzeug als Hauptverkehrsmittel begangen worden sind (insgesamt 57 Wege).

¹⁰ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index.Document.91820.pdf>

¹¹ Für die Auswertungen werden gewichtete Zahlen verwendet. Das Gewicht entspricht dem vom BFS mitgelieferten Personengewicht. Falls keine anderen Angaben gemacht werden, sind sämtliche in diesem Abschnitt aufgeführten Zahlen gewichtet. Für weitere Erläuterungen zu den im Mikrozensus verwendeten Gewichten siehe Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung (2007b)

¹² Im Gegensatz dazu wurden in der offiziellen Auswertung des Mikrozensus jeweils nur die Inlandwege berücksichtigt.

Die Grundgesamtheit umfasst somit 84'476 Wege, die an Werktagen im In- und Ausland und nicht mit dem Flugzeug zurückgelegt wurden. Zudem fehlen von 396 Wegen Angaben zum Start- und/oder Zielort. Diese werden in den Auswertungen 2 und 3 ebenfalls nicht berücksichtigt.

Tabelle 10: Anz. Wege (gewichtet) pro Wochentag

	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Montag	16077	14.7	14.7
Dienstag	17048	15.6	30.2
Mittwoch	16644	15.2	45.4
Donnerstag	16869	15.4	60.8
Freitag	17894	16.3	77.1
Samstag	15388	14.0	91.2
Sonntag	9687	8.8	100.0
Gesamt	109608	100.0	

Tabelle 11: Anzahl Wege (gewichtet) an Werktagen nach Hauptverkehrsmittel

	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Flugzeug	57	.1	.1
Bahn	4233	5.0	5.1
Postauto	342	.4	5.5
Schiff	47	.1	5.5
Tram	2087	2.5	8.0
Bus	4177	4.9	12.9
sonstiger OeV	97	.1	13.1
Reisecar	118	.1	13.2
Auto	40159	47.5	60.7
Lastwagen	126	.1	60.9
Taxi	128	.2	61.0
Motorrad, Kleinmotorrad	1464	1.7	62.7
Mofa	349	.4	63.2
Velo	6371	7.5	70.7
zu Fuss	24304	28.8	99.4
Fahrzeugähnliche Geräte	181	.2	99.7
Anderes	293	.3	100.0
Gesamt	84533	100.0	

9.3.3 Stichprobenzusammensetzung

Je nach Auswertung sind unterschiedliche Stichproben von Bedeutung. Insgesamt wurden die folgenden drei Stichproben verwendet:

- **Stichprobe 1:** Nur Binnenwege innerhalb des Modellgebiets von Personen, die im Modellperimeter wohnhaft sind. (Auswertung 1 und Auswertung 2)
- **Stichprobe 2:** Alle Binnenwege innerhalb, sowie alle Wege in und aus dem Modellgebiet unabhängig vom Wohnort der Person (Auswertung 2)
- **Stichprobe 3:** Alle Wege von Personen, die im Modellgebiet wohnhaft sind (Auswertung 2 und Auswertung 3)

Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die **Definition des Wohnortes** im Mikrozensus von dem, für das Verkehrsmodell benötigten wirtschaftlichen Wohnsitz abweichen kann. Im Mikrozensus wird nur zwischen Hauptwohnsitz und Zweitwohnsitz unterschieden.

Aus den Daten geht nicht klar hervor, welches Kriterium für die Einteilung zwischen Hauptwohnsitz und Zweitwohnsitz verwendet wird. Es ist aber davon auszugehen, dass die im Mikrozensus angegebene Wohnadresse jeweils der Wohnung entspricht, in welcher sich die Zielperson zur Zeit der Befragung aufgehalten hat. Sie dürfte somit während den Werktagen mit dem wirtschaftlichen Wohnsitz übereinstimmen.

9.3.4 Auswertungen

Insgesamt wurden folgende drei Auswertungen gemacht:

- Auswertung 1: Reiseweiteverteilung nach Verkehrsmitteln (MIV, ÖV, Velo, Fuss) und Fahrtzwecken (Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkauf, Freizeit)
- Auswertung 2: Modal Split-Anteile nach Fahrtzwecken und Quelle-Ziel-Gruppen
- Auswertung 3: Spezifische Verkehrsaufkommen nach Quelle-Ziel-Gruppen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Auswertungen kurz beschrieben und die Hauptergebnisse aufgeführt.¹³

9.3.5 Auswertung 1: Reiseweiteverteilung nach Hauptverkehrsmittel und Fahrtzweck

In Auswertung 1 wurde für jeden Wegzweck (vgl. Tabelle 12) die Anzahl der Wege nach Hauptverkehrsmittel und Distanz ermittelt. Dazu wurden alle Binnenwege innerhalb des Modellgebiets von Personen erfasst, die im Modellgebiet wohnhaft sind (Stichprobe 1) und gemessen an deren objektiven Distanz zwischen Start- und Endpunkt einer Distanzklasse zugeordnet. Insgesamt wurde dabei zwischen 101 verschiedenen Distanzklassen unterschieden (vgl. Tabelle 12).

¹³ Für alle Auswertungen mussten neue Variablen generiert bzw. bestehende Variablen angepasst werden. Es wird im Rahmen des Berichtes nicht weiter darauf eingegangen.

Tabelle 12: Beispiel für Ergebnistabelle der Auswertung 1

	Fahrtzweck (Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkaufen, Freizeit)									
	Fuss		Velo		MIV		ÖV		Gesamt	
	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil
0-1 km										
1-2 km										
2-3 km										
....										
99-100 km										
>100 km										

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Auswertung nach Hauptverkehrsmittel ist es wichtig, dass man die Definition des Hauptverkehrsmittels berücksichtigt: Als Hauptverkehrsmittel gilt jenes Verkehrsmittel, welches in einer vom BFS vordefinierten Liste als erstes genannt wird, unabhängig von der damit zurückgelegten Distanz. In der Liste stehen die öffentlichen Verkehrsmittel vor dem MIV und dem LV. In der Auswertung 1 wird somit die gesamte Wegdistanz dem Hauptverkehrsmittel zugeordnet, unabhängig davon, wie weit damit effektiv gefahren wurde. Besteht ein Weg beispielsweise aus einer Veloetappe (1km) zum S-Bahnhof, einer Bahnetappe vom S-Bahnhof zum Hauptbahnhof (5km) und einer Trametappe (2km) zum Arbeitsplatz, wird gemäss der Definition des Hauptverkehrsmittels im Mikrozensus die gesamte Distanz (8km) dem Zug angerechnet. Dadurch wird die Distanz mit dem Hauptverkehrsmittel vor allem beim ÖV tendenziell überschätzt.

Abbildung 14: Verteilung der Anzahl Wege nach Hauptverkehrsmittel und Distanz, alle Wegzwecke im Modellgebiet GVM Kanton Bern

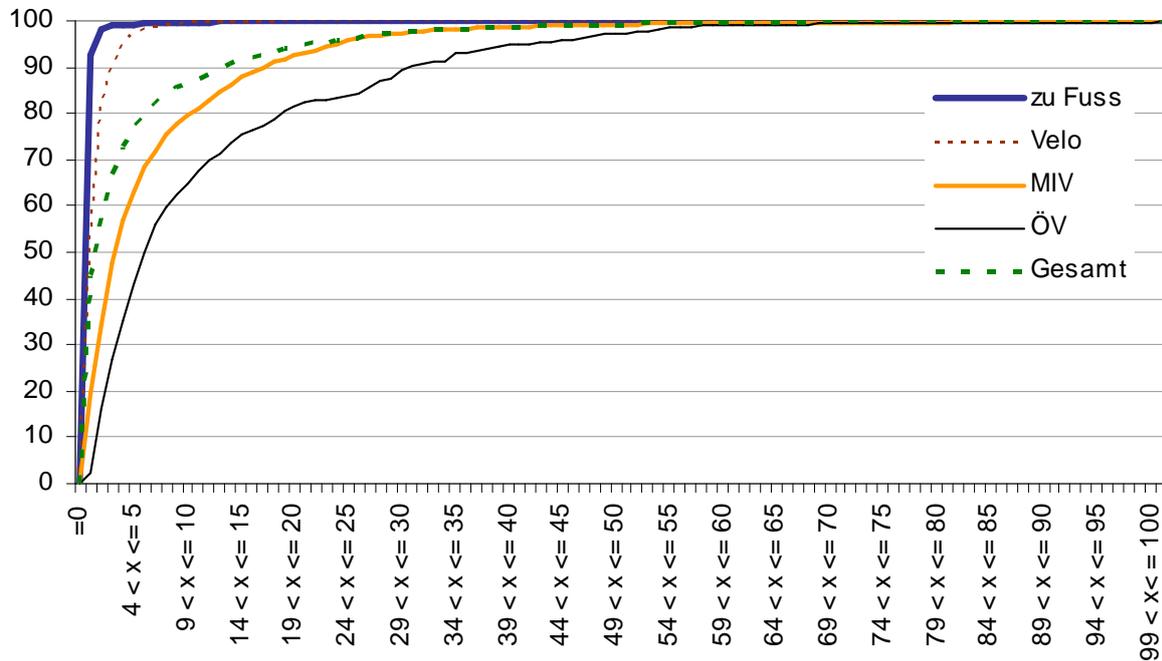


Tabelle 13: Wegzwecke

Umsteigen, Verkehrsmittelwechsel, Auto abstellen

Arbeiten

Ausbildung und Schule

Einkaufen und Besorgungen (inkl. Inanspruchnahme von Dienstleistungen)

Nutzfahrten (Geschäftliche Tätigkeiten und Dienstfahrten)

Freizeit/Sonstige (inkl. Service und Begleitwege, Begleitwege (nur Kinder), Rückkehr nach Hause bzw. auswärtige Unterkunft und Anderes)

9.3.6 Auswertung 2: Modal Split-Anteile nach Wegzwecken und Quelle-Ziel-Gruppen

In der zweiten Auswertung wurden die Modal Split-Anteile nach Hauptverkehrsmittel und Wegzweck berechnet. Der Wegzweck wird dabei nach Quelle-Ziel-Gruppen unterteilt. Für den Zweck Arbeit bedeutet dies beispielsweise, dass zusätzlich unterschieden wird zwischen Arbeitswegen von zu Hause (Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeiten, bzw. Arbeiten-Wohnen) bzw. nach Hause und Arbeitswegen, an deren Ausgangspunkt die betroffene Person bereits einer anderen Beschäftigung nachging (Quelle-Ziel-Gruppe Sonstiges-Arbeiten). Wie in Auswertungen des Mikrozensus üblich, wurde der Wegzweck durch die Beschäftigung am

Zielort definiert. Der Weg nach Hause wurde jeweils dem Zweck des Weges zugeordnet, an dessen Ziel am meisten Zeit aufgewendet wurde (vgl. BFS 2007, S.35). Insgesamt erfolgte die Auswertung aufgrund folgender Wegzwecke:

- Wohnen-Arbeiten, Arbeiten-Wohnen
- Sonstiges-Arbeiten
- alle Arbeitswege
- Wohnen-Bildung, Bildung-Wohnen
- Sonstiges-Bildung
- alle Bildungswege
- Wohnen-Einkaufen, Einkaufen-Wohnen
- Sonstiges-Einkaufen
- alle Einkaufswege
- Wohnen-Nutzfahrten, Nutzfahrten-Wohnen
- Sonstiges-Nutzfahrten
- alle gesch. Tätigkeiten
- Wohnen-Freizeit/Sonstige, Freizeit/Sonstige-Wohnen
- Sonstige-Freizeit/Sonstige
- alle Freizeitwege
- Gesamt

Die Auswertung 2 wurde für alle drei Stichproben vorgenommen. Ein Teil der Ergebnisse (nur jeweils alle Wege pro Zweck) sind in den folgenden drei Tabellen zusammengefasst:

Tabelle 14: Modal Split-Anteile nach Wegzwecken aller Wege innerhalb des Modellgebiets von Personen mit Wohnsitz im Modellgebiet (Stichprobe 1)

		Arbeits- wege	Bildungs- wege	Einkaufs- wege	gesch. Tätigkeiten	Freizeit- wege	Alle Zwecke
zu Fuss	Anzahl	688	768	1'078	43	1'990	4'568
	%	15.6%	45.8%	32.1%	6.7%	33.3%	28.4%
Velo	Anzahl	372	338	316	15	526	1'568
	%	8.4%	20.1%	9.4%	2.4%	8.8%	9.8%
MIV	Anzahl	2'665	165	1'659	499	2'949	7'936
	%	60.4%	9.8%	49.3%	78.3%	49.3%	49.4%
ÖV	Anzahl	671	367	302	53	453	1'846
	%	15.2%	21.8%	9.0%	8.4%	7.6%	11.5%
Andere	Anzahl	18	41	7	27	57	150
	%	0.4%	2.5%	0.2%	4.2%	1.0%	0.9%
Gesamt	Anzahl	4'415	1'679	3'362	637	5'975	16'068
	%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabelle 15: Modal Split-Anteile nach Wegzwecken aller Wege mit Start oder Ziel innerhalb des Modellgebiets (unabhängig vom Wohnsitz, Stichprobe 2)

		Arbeits- wege	Bildungs- wege	Einkaufs- wege	gesch. Tätigkeiten	Freizeit- wege	Alle Zwecke
zu Fuss	Anzahl	737	792	1'133	46	2'070	4'779
	%	14.0%	43.6%	30.4%	5.1%	29.4%	25.5%
Velo	Anzahl	378	349	317	15	538	1'597
	%	7.2%	19.2%	8.5%	1.7%	7.6%	8.5%
MIV	Anzahl	3'282	193	1'925	693	3'682	9'774
	%	62.5%	10.6%	51.7%	77.6%	52.3%	52.2%
ÖV	Anzahl	834	440	343	102	645	2'363
	%	15.9%	24.2%	9.2%	11.4%	9.2%	12.6%
Andere	Anzahl	23	43	7	37	112	221
	%	0.4%	2.4%	0.2%	4.1%	1.6%	1.2%
Gesamt	Anzahl	5'254	1'816	3'725	893	7'046	18'734
	%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabelle 16: Modal Split-Anteile (Hauptverkehrsmittel) nach Wegzwecken aller Wege von Personen mit Wohnsitz im Modellgebiet (Stichprobe 1)

		Arbeits- wege	Bildungs- wege	Einkaufs- wege	gesch. Tätigkeiten	Freizeit- wege	Alle Zwecke
zu Fuss	Anzahl	719	783	1'093	45	2'094	4'735
	%	15.2%	44.9%	31.2%	5.9%	31.8%	27.3%
Velo	Anzahl	372	342	317	15	538	1'584
	%	7.9%	19.6%	9.0%	2.0%	8.2%	9.1%
MIV	Anzahl	2'873	178	1'766	604	3'302	8'722
	%	60.9%	10.2%	50.3%	78.1%	50.2%	50.4%
ÖV	Anzahl	730	398	327	75	541	2'072
	%	15.5%	22.8%	9.3%	9.7%	8.2%	12.0%
Andere	Anzahl	20	42	7	34	105	208
	%	0.4%	2.4%	0.2%	4.3%	1.6%	1.2%
Gesamt	Anzahl	4'715	1'743	3'510	774	6'580	17'321
	%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

In den Tabellen finden sich für jede Stichprobe jeweils die gewichtete Anzahl Wege pro Verkehrsmittel und Wegzweck sowie die prozentualen Anteile der Anzahl Wege zwischen den Hauptverkehrsmitteln pro Wegzweck.

9.3.7 Auswertung 3: Spezifisches Verkehrsaufkommen nach Quelle-Ziel-Gruppen

Für die Auswertung der mittleren Anzahl Wege für spezifische Bevölkerungsgruppen musste eine neue Datengrundlage auf Basis der Zielpersonen geschaffen werden, bei der für jede

Zielperson die Anzahl Wege für einen bestimmten Zweck angegeben wird. Auf Basis dieser neuen Datengrundlage wurden folgende fünf Auswertungen für spezifische Bevölkerungsgruppen erstellt:

- Mittlere Anzahl der Arbeitswege nach Erwerbstätigkeit und Hauptverkehrsmittel
- Mittlere Anzahl der Ausbildungswege für Personen in Ausbildung und nach Hauptverkehrsmittel
- Mittlere Anzahl der Nutzfahrten nach Erwerbstätigkeit und Hauptverkehrsmittel
- Mittlere Anzahl der Einkaufswege nach Altersklasse und Hauptverkehrsmittel
- Mittlere Anzahl der Freizeitwege/sonstigen Wege nach Altersklasse und Hauptverkehrsmittel

Bei den Wegzwecken wurde wiederum die gleiche Differenzierung nach Quelle-Ziel-Gruppen wie in der Auswertung 2 verwendet. Für die Auswertung nach Erwerbstätigkeit wurden die Personen entsprechend der Beschäftigungssituation zum Befragungszeitpunkt eingeteilt in Personen, die Vollzeit oder Teilzeit (eine oder mehrere Teilzeitstellen) erwerbstätig waren (davon ausgenommen sind Personen in Ausbildung und Personen, die im eigenen Haushalt Hausarbeit leisten) und Personen, die keiner Erwerbstätigkeit nachgingen (RentnerInnen, Personen in Ausbildung, Hausarbeit im eigenen Haushalt, vorübergehend nicht erwerbstätig sowie andere Situationen z.B. chronisch krank). Analog dazu werden Personen in Ausbildung definiert als Personen, die sich zum Zeitpunkt der Befragung in Ausbildung (Schule, Studium, Lehre) befanden.

In den Auswertungen nach Altersklassen wurden nachfolgende Altersklassen differenziert:

- $x \leq 15$
- $16 < x \leq 25$
- $26 < x \leq 55$
- $56 < x \leq 80$
- $81 < x$

Die nachfolgenden Tabellen zeigen jeweils Teilergebnisse (jeweils alle Wege pro Verkehrsmittel) der fünf Auswertungen. In jeder Tabelle werden neben der mittleren Anzahl Wege auch die aufsummierte Anzahl Wege sowie die Zahl der Personen (Anzahl Beobachtungen) angegeben (jeweils gewichtet). Ausgewertet wurden alle Wege des spezifischen Wegzweckes von Zielpersonen mit Wohnort im Modellgebiet (Stichprobe 3).

Tabelle 17: Mittlere Anzahl der Arbeitswege nach Erwerbstätigkeit und Hauptverkehrsmittel

		Erwerbstätigkeit			Gesamt
		Erwerbstätig	Nur Teilzeit	Nicht erwerbstätig	
Alle Verkehrsmittel	Mittelwert	2.12	1.37	0.14	1.05
	Anzahl Wege (gew.)	3'321.48	1'097.38	293.99	4'712.86
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
Zu Fuss	Mittelwert	0.31	0.23	0.03	0.16
	Anzahl Wege (gew.)	479.77	181.74	57.17	718.69
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
Fahrrad	Mittelwert	0.12	0.14	0.03	0.08
	Anzahl Wege (gew.)	191.75	111.99	68.71	372.44
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
MIV	Mittelwert	1.39	0.74	0.05	0.64
	Anzahl Wege (gew.)	2'177.55	595.45	99.66	2'872.65
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
OeV	Mittelwert	0.29	0.26	0.03	0.16
	Anzahl Wege (gew.)	456.53	204.68	67.50	728.72
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
ander Verkehrsmittel	Mittelwert	0.01	0.00	0.00	0.00
	Anzahl Wege (gew.)	15.88	3.52	0.95	20.35
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503

Basis: Alle Arbeitswege von Personen mit Wohnsitz innerhalb des Modellgebiets

Tabelle 18: Mittlere Anzahl der Ausbildungswege, Personen in Ausbildung und Hauptverkehrsmittel

		Ausbildung		Gesamt
		In Ausbildung	Nicht in Ausbildung	
Alle Verkehrsmittel	Mittelwert	1.91	0.03	0.39
	Anzahl Wege (gew.)	1'651.92	91.12	1'743.04
	Anzahl Personen (gew.)	867	3'636	4'503
Zu Fuss	Mittelwert	0.88	0.00	0.17
	Anzahl Wege (gew.)	765.38	17.89	783.27
	Anzahl Personen (gew.)	867	3'636	4'503
Fahrrad	Mittelwert	0.39	0.00	0.08
	Anzahl Wege (gew.)	335.21	6.48	341.68
	Anzahl Personen (gew.)	867	3'636	4'503
MIV	Mittelwert	0.16	0.01	0.04
	Anzahl Wege (gew.)	135.06	42.79	177.86
	Anzahl Personen (gew.)	867	3'636	4'503
OeV	Mittelwert	0.43	0.01	0.09
	Anzahl Wege (gew.)	374.18	23.96	398.14
	Anzahl Personen (gew.)	867	3'636	4'503
ander Verkehrsmittel	Mittelwert	0.05	0.00	0.01
	Anzahl Wege (gew.)	42.08	0.00	42.08
	Anzahl Personen (gew.)	867	3'636	4'503

Basis: Alle Ausbildungswege von Personen mit Wohnsitz innerhalb des Modellgebiets

Tabelle 19: Mittlere Anzahl der Nutzfahrten nach Erwerbstätigkeit und Hauptverkehrsmittel

		Erwerbstätigkeit			Gesamt
		Erwerbstätig	Nur Teilzeit	Nicht erwerbstätig	
Alle Verkehrsmittel	Mittelwert	0.34	0.19	0.04	0.17
	Anzahl Wege (gew.)	533.91	149.24	90.33	773.48
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
Zu Fuss	Mittelwert	0.01	0.01	0.01	0.01
	Anzahl Wege (gew.)	20.21	9.72	15.44	45.37
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
Fahrrad	Mittelwert	0.00	0.01	0.00	0.00
	Anzahl Wege (gew.)	6.31	5.20	3.91	15.43
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
MIV	Mittelwert	0.28	0.14	0.03	0.13
	Anzahl Wege (gew.)	435.75	109.81	58.20	603.76
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
OeV	Mittelwert	0.03	0.03	0.01	0.02
	Anzahl Wege (gew.)	39.52	23.13	12.77	75.42
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503
ander Verkehrsmittel	Mittelwert	0.02	0.00	0.00	0.01
	Anzahl Wege (gew.)	32.13	1.38	0.00	33.51
	Anzahl Personen (gew.)	1'566	802	2'135	4'503

Basis: Alle Nutzfahrten von Personen mit Wohnsitz innerhalb des Modellgebiets

Tabelle 20: Mittlere Anzahl der Einkaufswege nach Altersklasse und Hauptverkehrsmittel

		Altersklasse					Gesamt
		<15	16 - 25	26 - 55	56 - 80	81 <	
Alle Verkehrs- mittel	Mittelwert	0.32	0.41	0.79	1.12	1.37	0.78
	Anzahl Wege (gew.)	177.60	215.86	1'733.42	1'252.99	129.94	3'509.82
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
Zu Fuss	Mittelwert	0.04	0.13	0.22	0.40	0.72	0.24
	Anzahl Wege (gew.)	22.27	69.62	488.72	444.27	68.44	1'093.32
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
Fahrrad	Mittelwert	0.06	0.03	0.08	0.08	0.00	0.07
	Anzahl Wege (gew.)	30.57	16.33	184.22	85.50	0.00	316.62
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
MIV	Mittelwert	0.20	0.18	0.42	0.53	0.47	0.39
	Anzahl Wege (gew.)	111.12	96.17	917.62	596.38	44.64	1'765.94
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
OeV	Mittelwert	0.02	0.06	0.06	0.11	0.17	0.07
	Anzahl Wege (gew.)	11.78	32.86	141.43	124.31	16.51	326.89
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
ander Verkehrs- mittel	Mittelwert	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Anzahl Wege (gew.)	1.86	0.88	1.42	2.54	0.35	7.05
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504

Basis: Alle Einkaufswege von Personen mit Wohnsitz innerhalb des Modellgebiets

Tabelle 21: Mittlere Anzahl der Freizeitwege/sonstigen Wege nach Altersklasse und Hauptverkehrsmittel

		Altersklasse					Gesamt
		<15	16 - 25	26 - 55	56 - 80	81 <	
Alle Verkehrs- mittel	Mittelwert	1.41	1.60	1.40	1.56	1.42	1.46
	Anzahl Wege (gew.)	777.63	849.86	3'071.75	1'746.33	134.44	6'580.00
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
Zu Fuss	Mittelwert	0.52	0.42	0.41	0.55	0.65	0.47
	Anzahl Wege (gew.)	287.40	221.54	906.89	616.43	62.01	2'094.26
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
Fahrrad	Mittelwert	0.24	0.14	0.11	0.09	0.00	0.12
	Anzahl Wege (gew.)	132.94	73.40	233.17	98.73	0.00	538.24
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
MIV	Mittelwert	0.53	0.77	0.78	0.74	0.49	0.73
	Anzahl Wege (gew.)	292.39	410.62	1'720.77	831.10	46.87	3'301.74
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
OeV	Mittelwert	0.09	0.21	0.08	0.15	0.25	0.12
	Anzahl Wege (gew.)	52.44	113.00	178.67	172.95	23.63	540.70
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504
ander Verkehrs- mittel	Mittelwert	0.02	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02
	Anzahl Wege (gew.)	12.46	31.31	32.25	27.13	1.93	105.06
	Anzahl Personen (gew.)	553	537	2'197	1'123	95	4'504

Basis: Alle Freizeitwege/sonstigen Wege von Personen mit Wohnsitz innerhalb des Modellgebiets

9.4 Erzeugungsmodell

Für die Berechnung von Quelle-Ziel-Matrizen ist die Kenntnis der Verkehrserzeugung der Zonen die wesentliche Voraussetzung. Daher wird als erster Baustein das gesamte Verkehrsaufkommen der Zonen, unterteilt nach Quellverkehrsaufkommen (Produktionsaufkommen) und Zielverkehrsaufkommen (Attraktionsaufkommen), ermittelt.

Das Verkehrsaufkommen einer Zone ist vor allem von der Flächennutzung, den Strukturgrößen (wie z.B. Einwohnerzahl, Arbeitsplätze oder Verkaufsflächen), den soziodemographischen Merkmalen (z.B. Altersstruktur, PW-Besitz oder ÖV-Abonnements) 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 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 versucht, reales Verkehrsverhalten von Menschen in Verkehrssystemen weitgehend adäquat nachzubilden. Der Modellansatz gehört zu den disaggregierten, makroskopischen Gruppenverhaltens- und Verkehrsstrommodellen. Das zu modellierende Verkehrsgeschehen wird sachlich stark differenziert. Das heisst, es wird bezüglich verhaltenshomogener Personengruppen, Aktivitäten usw. getrennt. Unter den konkreten Bedingungen des Raum-Zeit-Systems erfolgt die Abbildung des zu erwartenden mittleren Verkehrsgeschehens in allen Schichten unmittelbar durch speziell abgeleitete und begründete mathematische Algorithmen und mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der Aktivitäten der verhaltenshomogenen Personengruppen mit ihren typischen Merkmalen.

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

Die Berechnungen des Quellverkehrsaufkommens Q_i sowie des Zielverkehrsaufkommens Z_j werden für die einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen getrennt vorgenommen und erst im Arbeitsschritt „Umlegung“ wieder zusammengefügt. Die Einteilung ist von den vorhandenen Datengrundlagen und den entsprechenden Segmentierungen abhängig. Dabei 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 22 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 22 Definition der Quell-Ziel-Gruppen

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

Die folgenden Quell-Ziel-Gruppen werden betrachtet:

- Wohnen – Arbeit (WA)
- Arbeit – Wohnen (AW)
- Arbeit – Sonstiges (AS)
- Sonstiges – Arbeit (SA)
- Wohnen – Bildung (WB)
- Bildung – Wohnen (BW)
- Wohnen – Nutzfahrt (WN)
- Nutzfahrt – Wohnen (NW)
- Nutzfahrt – Sonstiges (NS)
- Sonstiges – Nutzfahrt (SN)
- Wohnen – Einkaufen (WE)
- Einkaufen – Wohnen (EW)
- Einkauf – Sonstiges (ES)
- Sonstiges – Einkauf (SE)
- Wohnen – Freizeit/Sonstiges (WS)
- Freizeit/Sonstiges – Wohnen (SW)
- Sonstiges/Freizeit – Sonstiges/Freizeit (SS)

Jede Quelle-Ziel-Gruppe wurde so definiert, dass sie einem definierten Fahrtzweck zugeordnet werden kann. Die Zuordnung zu den Fahrtzwecken geschieht wie folgt:

- Arbeit: WA, AW, AS, SA
- Ausbildung: WB, BW
- Nutzfahrt: WN, NW, NS, SN
- Einkauf: WE, EW, ES, SE
- Freizeit, Sonstiges: WS, SW, SS

Durch die Bildung von Quelle-Ziel-Gruppen werden die wesentlichen Verkehrsnachfrage- bzw. Verkehrsmarktsegmente im Personenverkehr berücksichtigt. Sie können weiter differenziert werden und sind für die Marktanalyse und -prognose bzw. die verkehrsplanerischen 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 und

- einen verkehrssoziologischen Bezug zum Verkehrsgeschehen (Mobilitätsanforderungen).

So sind 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, die 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 gewählten Strukturgrössen zu den einzelnen Quelle-Ziel-Gruppen ist in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23 Massgebende Strukturgrössen und Quelle-Ziel-Gruppen

QZG	Quelle-Ziel-Gruppe	Strukturgrösse SQ _i der Quellverkehrszone i	Strukturgrösse SZ _j der Zielverkehrszone j
WA	Wohnen - Arbeit	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WB	Wohnen - Bildung	Einwohner	Ausbildungsplätze
WN	Wohnen - Nutzfahrt	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WS	Wohnen – Freizeit	Einwohner nach Altersklassen	Freizeiteinrichtungen, Spitäler, Kulturangebot, Gastronomie, Einwohner
WE	Wohnen - Einkauf	Einwohner nach Altersklassen	Verkaufsfläche
AW	Arbeit – Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
BW	Bildung - Wohnen	Ausbildungsplätze	Einwohner
NW	Nutzfahrt - Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
SW	Freizeit - Wohnen	Freizeiteinrichtungen, Spitäler, Kulturangebot, Gastronomie, Einwohner	Einwohner nach Altersklassen
EW	Einkauf - Wohnen	Verkaufsfläche	Einwohner nach Altersklassen
AS	Arbeit - Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen
SA	Sonstiges - Arbeit	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Arbeitsplätze
ES	Einkauf - Sonstiges	Verkaufsfläche, Einkaufszentren	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen
SE	Sonstiges – Einkauf	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Verkaufsfläche, Einkaufszentren
NS	Nutzfahrt – Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen
SN	Sonstiges - Nutzfahrt	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen	Arbeitsplätze
SS	Sonstiges - Sonstiges	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Freizeiteinrichtungen

Die Strukturdaten sind für die nachfolgend erläuterte Berechnung der Erzeugungsraten von grosser Bedeutung. Daher müssen für jede Zone alle massgebenden Strukturgrössen erstellt werden. Massgebende Strukturgrössen sind diejenigen Struktureinheiten, welche die von Personen durchgeführten Ortsveränderungen verursachen. Die Erläuterungen zu den Strukturdaten können Kapitel 8.2 entnommen werden.

Die Erzeugungsraten werden für jede Quelle-Ziel-Gruppe mit der massgebenden 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.

Zur Bestimmung der Erzeugungsraten können empirische Erhebungen oder vorliegende Erfahrungswerte herangezogen werden. Für das Quellaufkommen werden diese Grössen aus den Mikrozensus Verkehr 2005 Daten abgeleitet. Diese wurden in einem ersten Schritt fahrtzweckspezifisch und für einen Teil der Strukturdaten ermittelt. Für bestimmte Strukturgrössen, die vor allem den Einkaufs- und Freizeitverkehr betreffen, wurden die Erzeugungsraten aus anderen Untersuchungen übernommen oder aus den Statistiken (Vrtic et al. 2003, Bosserhoff, 2005) berechnet.

Weil die Summe der gesamten Quell- und Zielaufkommen des betrachteten Untersuchungsgebietes gleich sein muss, sollten für das Ziel- bzw. Attraktionsaufkommen die Strukturdaten der Zone plausibel sein. Wenn die Erzeugungsraten zwischen den Zonen gleich sind, können diese aus dem Abgleich des Quell- mit dem Zielaufkommen kalibriert werden. 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.

Die berechneten Erzeugungsraten aus den Mikrozensus Verkehr 2005 Daten, geordnet nach Quelle-Ziel-Gruppen, sind in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24 Erzeugungsraten nach Quell-Ziel-Gruppen

QZG	Erzeugungsraten [Wege pro Werktag und Person]						Erwerbstätige
	Einwohner	Einwohner <15 J.	Einwohner 15<25 J.	Einwohner 25<59 J.	Einwohner 59<80 J.	Einwohner >80 J.	
WA, AW							0.820
WB, BW	0.194						
WN, NW							0.091
WE, EW		0.13	0.12	0.28	0.45	0.58	
WS, SW		0.583	0.561	0.517	0.633	0.653	
AS, SA							0.145
ES, ES		0.034	0.084	0.112	0.110	0.103	
NS, SN							0.061
SS		0.178	0.289	0.256	0.185	0.825	

Sie besagen, dass im Durchschnitt laut Mikrozensus Verkehr

- 1.93 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag
- 0.39 Ausbildungswege pro Einwohner und Werktag
- 0.30 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag
- 0.77 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag
- 1.47 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag

durchgeführt werden. Dies entspricht 3.90 Wegen pro Werktag und Einwohner.

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 soziodemografischen Charakteristika 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. Dabei müssen die Erzeugungsraten kalibriert werden, so 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. In diesem Beispiel ist sicherzustellen, dass das Quellaufkommen der Quelle-Ziel-Gruppe WA gleich dem Zielaufkommen der Quell-Ziel-Gruppe AW ist.

Ansatz

Die Ermittlung der Verkehrsaufkommen erfolgt für jede Quelle-Ziel-Gruppe c stufenweise. Zunächst wird die Anzahl der durch die Bezugspersonen r der Verkehrsbezirke verursachten Ortsveränderungen bzw. das Quell-Verkehrsaufkommen (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 Quell-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 im betrachteten Untersuchungsgebiet verbleiben).

Das Gesamtverkehrsaufkommen V wird auf die nicht heimgebundenen Zielverkehrsaufkommen und/oder auf die nicht heimgebundenen Quellverkehrsaufkommen der Verkehrsbezirke „konkurrierend“ je nach „Verkehrsattraktion“ aufgeteilt. Dafür wird zunächst das Attraktionspotential SP_e des jeweiligen Verkehrsbezirkes e bestimmt

$$SP_e^c = \sum_s ER_{es}^c \cdot SG_{es}^c \cdot v_{es}^c \quad SP_{max_e}^c = \sum_s \ddot{U}_{es}^c \cdot ER_{es}^c \cdot SG_{es}^c \cdot v_{es}^c$$

und anschließend das Verkehrsaufkommen für harte und weiche Randsummenbedingungen (RSB) ermittelt.

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

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 nur von der gemeinsamen Wirkung der Attraktionspotentiale und der Lagegunst abhängig. Restriktive Randsummenbedingungen wirken nicht (= „offene“ RSB). Die Bestimmung der Potentiale 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 Attraktionsgrösse ermittelt. Der Verkehr von ausserhalb des Modellgebiets 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 wurden die Fahrtzweck-Anteile ermittelt und mit den Ergebnissen des Mikrozensus Verkehr verglichen. Das Ergebnis ist in Tabelle 25 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass in den Zonen innerhalb des Modellgebiets an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 6,26 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spezifisches Erzeugungsrate von 3,95 Wegen pro Einwohner und Werktag. Weiterhin ist zu sehen, dass die ermittelten Fahrtzweckanteile den Ergebnissen des Mikrozensus Verkehr entsprechen.

Tabelle 25 Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile (Binnenzonen) mit dem MZ 2005

	Berechnete Wege in Mio. und [%]	MZ 2005 [%] – (Modellgebiet)
Arbeit	1.818 Mio. [29.0]	28.4
Ausbildung	0.615 Mio. [9.82]	10.5
Nutzfahrt	0.286 Mio. [4.57]	3.6
Einkauf	1.182 Mio. [19.37]	19.9
Freizeit, Sonstiges	2.278 Mio. [37.2]	37.6
Total	6.179 Mio. [100.0]	100.0

9.5 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 Rückkopplung 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.

Die Modellschätzungen basieren auf dem Mikrozensus 2005, den Modellparametern aus der Stated Preference Befragungen 2004 (ÖV Modell Kanton Zürich, Vrtic et al., 2005) und den in vorherigen Arbeitsschritten erstellten Netzmodellen. Berücksichtigt werden aus dem Mikrozensus alle Binnenwege der innerhalb des Modellgebiets wohnhaften Personen. Damit stehen 16'667 relevante Beobachtungen (Wege) für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Die Wege mit geokodierten Quell- und Zielpunkten wurden mit einem Zonengrenzenlayer des GVM verschnitten und so den Modellzonen zugeordnet.

Es werden zwei getrennte Modellschätzungen durchgeführt:

- für ein Verkehrsmittelwahl-Modell
- für ein Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Modell

Modellansatz: Verkehrsmittelwahl

Mit den Mikrozensusdaten 2005 und den Modellparameterdaten aus Stated Preference Befragungen für das ÖV-Modell des Kantons Zürich wird im folgenden Schritt versucht, mit geeigneten statistischen Verfahren das Verkehrsverhalten der Verkehrsteilnehmer zu erklären. Dafür wird ein disaggregierter Modellansatz angewendet, der auf der Theorie des individuellen Verhaltens basiert. Betrachtet werden die Wahlentscheidungen bei den sich wechselseitig beeinflussenden Alternativen. Für die individuellen Entscheidungen wird durch die Methode der Nutzenmaximierung eine bestimmte Wahrscheinlichkeit berechnet. Dabei wird für jede

Alternative i ein bestimmter Nutzen V_i berechnet. Durch den berechneten Nutzen (oder die negativen Kosten) kann die Auswahlwahrscheinlichkeit P_i für die Auswahl einer Alternative bzw. eines Verkehrsmittels mit dem multinominalen Logit-Ansatz ermittelt werden.

Wenn das Individuum seine Nutzenfunktion und die Charakteristika der Alternative kennt, wählt es vernünftigerweise jene Alternative, die ihm den höchsten Nutzen ermöglicht. Dies ist die bekannte Annahme der Nutzenmaximierung unter der Nebenbedingung, dass die gewählte Alternative in der Alternativenmenge liegt:

$$a_{opt,n} = \{a_{kn} \mid U(a_{kn}) \geq U(a_{k'n})\}, \quad k'=1, \dots, I_n, a_{kn} \in A_n \quad (1)$$

Dies kann auch als Aussage über die Wahlentscheidung des Individuums dargestellt werden d.h.:

$$a_{kn} = a_{opt,n} \quad (2)$$

Aufgrund der Annahme des nutzenmaximierenden Verhaltens ist diese Aussage äquivalent zu der, dass der Nutzen der Alternative k am höchsten ist:

$$U_{kn} \geq U_{k'n} \quad k'=1, \dots, I_n, a_{kn} \in A_n \quad (3)$$

Solange das deterministische Nutzenkonzept angewendet wird, ist die Aussage (3) richtig oder falsch. Mit der Verwendung des Konzepts des Zufallsnutzens kann eine Wahrscheinlichkeitsaussage über das Zutreffen von (2) bzw. (3) wie folgt formuliert werden:

$$P(a_{kn} = a_{opt,n}) = \text{Prob}(U_{kn} \geq U_{k'n}) \quad k'=1, \dots, I_n, a_{kn} \in A_n \quad (4)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum n Alternative k wählt, ist gleich der Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Alternative i die höchsten (Zufalls-) Nutzen aufweist. Durch die Berücksichtigung sowohl deterministischer als auch stochastischer Nutzenkomponenten kann die Gleichung (4) wie folgt geschrieben werden:

$$P_n(k) = \text{Prob}(V_{kn} + e_{kn} - V_{k'n} \geq e_{k'n}, k'=1, \dots, I_n) \quad (5)$$

$$= \text{Prob}(V_{kn} - V_{k'n} \geq e_{k'n} - e_{kn}, k'=1, \dots, I_n) \quad (6)$$

Gleichung (6) zeigt, dass die Nutzendifferenzen für die Entscheidung von Bedeutung sind. Mit unterschiedlichen Verteilungsannahmen können verschiedene Formen diskreter Entscheidungsmodelle abgeleitet werden.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Alternative k gewählt wird, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, dass die Nutzen dieser Alternative U_{kn} grösser sind als die Nutzen $U_{k'n}$ aller anderen Alternativen k'

$$U_{kn} \geq U_{k'n}, \forall k', \quad (7)$$

Dabei ist $U_{kn} = V_{kn} + e_{kn}$

wobei V eine systematische Nutzenkomponente, die deterministisch ist, darstellt und ε eine stochastische Nutzenkomponente ist. Aus diesen beiden Komponenten setzt sich der gesamte Nutzen einer Alternative zusammen.

Daraus folgt, dass

$$V_{kn} - V_{k'n} \geq e_{k'n} - e_{kn}, \forall k' \quad (8)$$

bzw.

$$P_n(k) = \text{Prob}(V_{kn} + e_{kn} \geq V_{k'n} + e_{k'n}; \forall k' \in K_n) \quad (9)$$

P	Wahrscheinlichkeit
Prob	Wahrscheinlichkeitsfunktion
k, k'	Alternativen
n	Person
U	Nutzen
K	Alternativenmenge

Die systematischen Nutzen einer Alternative werden sowohl durch die Merkmale des Individuums s_n als auch den Vektor z_{kn} der Alternative beschrieben. Die beiden Vektoren werden durch eine Funktion h in einen Attributvektor x_n zusammengefasst (Ben-Akiva und Lehrman, 1985).

$$x_{kn} = h(z_{kn}, s_n) \quad (10)$$

wobei

x_{kn}	entscheidungsbeeinflussende Attribute für die Wahl der Alternative k durch Person n
h	vektorwertige Transformationsfunktion
z_{kn}	Attribute der Alternative k für Person n
s_n	sozioökonomische Attribute der Person n

Die Funktion h kann sowohl linear als auch nichtlinear sein. In der Regel wird angenommen, dass die Nutzen bezüglich der Attribute x_{kn} linear sind mit einem Vektor unbekannter Parameter β

$$V_{kn} = \beta_1 x_{kn1} + \beta_2 x_{kn2} + \dots + \beta_N x_{knN} = \beta' x_{kn} \quad (11)$$

Der Nutzen V_k der einzelnen Verkehrsmittel wird aus dem Variablenwert (Zeit in h oder Preis in Fr., ...) und den ermittelten Parametern (Koeffizienten β_i) berechnet:

$$V_k = \beta_0 + \sum_i^N (\beta_i * Variable_i) \quad (12)$$

Durch die Parameter wird der Beitrag der einzelnen Variablen zum Nutzen abgebildet. Die Parameter beschreiben die Empfindlichkeit der Verkehrsmittelwahl gegenüber Änderungen der einzelnen Variablenwerte der Verkehrsmittel.

Durch die Bestimmung der β -Parameter im Verkehrsmittelwahl-Ansatz wird der Verlauf der Verkehrsmittelwahl-Funktion definiert, welche die Abhängigkeit des Verkehrsmittelwahl - Anteils eines Verkehrsmittels vom berechneten Nutzen (quantifiziertes Verkehrsangebot) beschreibt.

Beim multinominalen Logit Modell (MNL) wird die Auswahlwahrscheinlichkeit der Person n für die Alternative k wie folgt berechnet:

$$P_n(k) = \frac{\exp(V_{kn})}{\sum_{k'} \exp(V_{k'n})} = \frac{\exp(\beta' x_{kn})}{\sum_{k'} \exp(\beta' x_{k'n})} \quad (13)$$

wo x_{kn} und $x_{k'n}$ Vektoren für die Beschreibung der Attribute der Alternativen k und k' sind.

Da hier vier einander nicht ähnliche Verkehrsmittel (MIV, ÖV, Velo und Fuss) betrachtet werden, ist MNL für diese Analyse als angemessenes Modell zu betrachten. Die Schätzung der Parameter dieser Funktion wird mit Hilfe des Maximum-Likelihood-Verfahrens durchgeführt. Die Maximum-Likelihood-Schätzung ist ein Verfahren, um die Parameter eines probabilistischen Modells, wie z.B. des Logit Modells, so zu bestimmen, dass die beobachteten Entscheidungen mit grösster Wahrscheinlichkeit reproduziert werden. Es wurde die Software Biogeme 1.2 (Bierlaire, 2003) verwendet. Mit dieser Software werden für alle unabhängigen Variablen die Modell-Parameter (β -Parameter) geschätzt, mit denen in der Folge der Nutzen dieser Alternative ermittelt wird.

Bei der Ermittlung der Parameter wird die Erklärungsgüte der abhängigen durch die unabhängigen Variablen mittels statistischen Kennziffern wie ρ^2 , Signifikanz der Parameter (t Test), Log-Likelihood-Funktion etc. überprüft. Analysiert und ausgewertet werden verschiedene Kombinationen von unabhängigen Variablen in Abhängigkeit der Modell-Güte und der Plausibilität der ermittelten Parameter.

Die Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells erfolgt anhand der Parameter der Stated Preference Befragungen 2004 und des Mikrozensus 2005. Es werden drei Modelle geschätzt, um einerseits die bestmögliche Erklärungskraft des Modells zu erreichen und um andererseits die Parameter für neue Variablen, wie Fuss- und Velozeit, zu schätzen:

- Modell 1: Alle Variablen werden anhand des Mikrozensus neu geschätzt
- Modell 2: Die MIV und ÖV Angebotsvariablen aus der Stated Preference Befragung werden fix gesetzt und die Parameter für Soziodemographie, Fuss- und Velozeit neu geschätzt
- Modell 3: Alle SP-Parameter werden fix gesetzt und nur die Parameter für Fuss- und Velozeit neu geschätzt.

Es wurde jeweils ein fahrtzweckspezifisches Modell für die folgenden vier Fahrtzwecke geschätzt: Pendler, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit. Die besten Ergebnisse wurden mit Modell 2 erreicht. Hier wurden neben den Fuss- und Velozeiten auch neue Parameter für die soziodemographischen Variablen geschätzt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 26 dargestellt. Mit der Neuschätzung aller Variablen (Modell 1) konnte kein signifikantes und plausibles Modell geschätzt werden, da die Mikrozensusdaten zu wenig Variationen und zu starke Korrelationen der unabhängigen Variablen aufweisen. Dieses Ergebnis mit so genannten Revealed Preference Daten wurde in früheren Studien sowohl in der Schweiz als auch im Ausland mehrmals bestätigt.

Mit Modell 2 konnte eine höhere Erklärungskraft sowie eine höhere Signifikanz bei den soziodemographischen Variablen erreicht werden als mit Modell 3. Aus diesem Grund wird im Weiteren Modell 2 verwendet.

Tabelle 26 Ergebnisse der Verkehrsmittelwahlmodellschätzung (Modell 2)

Variable (1)	Modell Parameter (β)				
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Nutzfahrt	Einkauf	Freizeit
Fuss					
Konstante	3,10	2,27	0,53	3,41	3,42
Fahrzeit (h)	-1,92	-1,63	-0,53	-2,98	-2,26
Velo					
Konstante	1,42	1,06	-0,38	1,63	1,44
Fahrzeit (h)	-1,89	-1,91	-2,13	-4,54	-2,26
MIV					
Konstante	1,21	0,18	1,09	0,22	1,07
Fahrzeit (h)	-0,89	-1,65	-1,94	-2,50	-0,98
Preis (SFr)	-0,05	-0,21	-0,03	-0,22	-0,07
PW-Verfügbarkeit	1,63	2,40	1,18	1,46	1,23
ÖV					
Fahrzeit (h)	-0,61	-1,51	-1,21	-2,08	-0,73
Preis (SFr)	-0,05	-0,21	-0,03	-0,22	-0,07
Zugangszeit (h)	-2,09	-4,13	-2,47	-4,17	-1,22
Intervall (h)	-0,45	-0,64	-1,27	-0,39	-0,51
Umsteigezahl	-0,30	-0,45	-0,32	-0,30	-0,34
Alter ² (Jahren)	0,00013	0,00019			0,00016
GA Besitz	3,05	3,38	3,71	2,78	2,59
Halbtax Besitz	1,05	0,94	1,61	1,11	1,06
Andere Abos	2,30	2,46	2,34	2,52	1,91
Anzahl Beobachtungen	16667	6013	618	3520	6516
Adj, ρ^2	0,28	0,23	0,53	0,29	0,31
Kursiv: Neuschätzung					

Die Modellergebnisse bestätigen, dass die Verkehrsteilnehmer auf Veränderungen der Fuss- und Velozeiten deutlich sensibler reagieren als auf Veränderungen der MIV- oder ÖV-Zeiten. Zusätzlich ist zu sehen, dass die Jahresabonnements (GA- und Jahresabonnement der Tarifverbände der Regionen Bern, Biel und Thun) sowie PW-Besitz die Verkehrsmittelwahl stark vorentscheiden. Das Halbtaxabonnement hingegen bewirkt eine deutlich geringere Festlegung auf den ÖV.

Modellansatz: Ziel- und Verkehrsmittelwahl

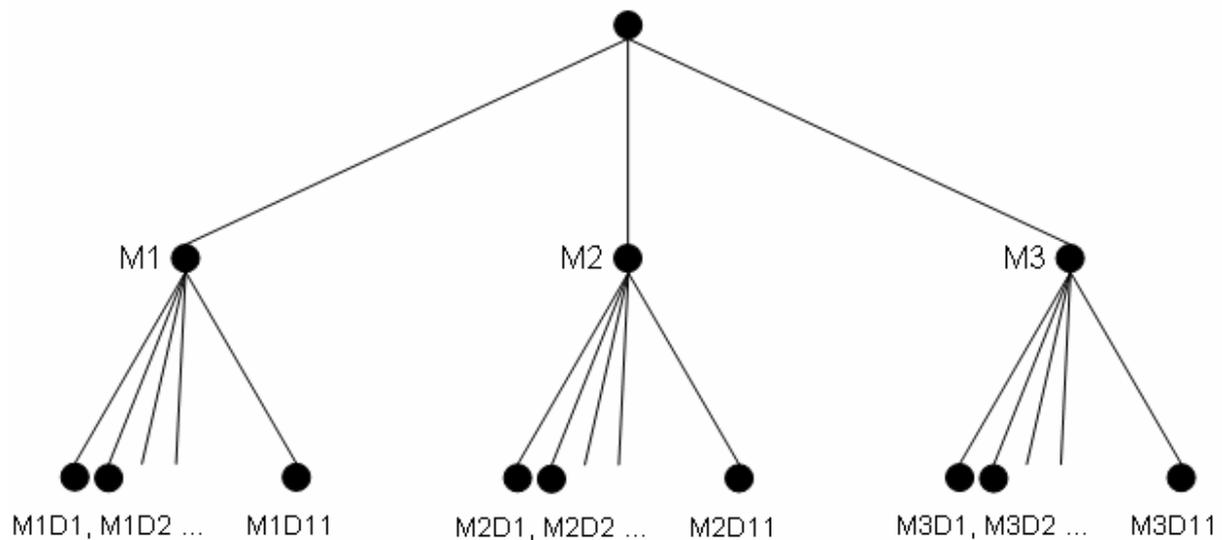
Im nächsten Schritt wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Verkehrsmittelwahlmodells das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt.

Bei diesem Vorgehen werden durch Verknüpfung mit den Verkehrsmitteln aus einem Ziel mehrere Alternativen erzeugt und ein Modellansatz mit Neststruktur verwendet. Dabei wird jede Ziel-Verkehrsmittel-Kombination als eine Alternative betrachtet. Es wird das Nested-Logit-Modell angewandt, in dem auf der ersten Stufe die Verkehrsmittelwahl und auf der zweiten Stufe die Zielwahl betrachtet wird.

Das Nested-Logit-Modell stellt gemeinsam mit dem Multinomialen-Logit-Modell das populärste und am häufigsten angewandte Modell der Logitfamilie dar. Diese Modelle werden auch „strukturierte“, „sequentielle“, „tree“ oder „hierarchische“ Modelle 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.

Der Fall einer mehrdimensionalen Alternativenmenge ist in Abbildung 15 dargestellt. Auf der oberen Ebene wird das Verkehrsmittel (M für Mode) für eine Fahrt ausgewählt und auf der unteren Ebene wird die Entscheidung bezüglich des Ziels (D für Destination) gefällt. Die Alternativenmenge besteht aus drei Nestern, eines für jedes Verkehrsmittel, und jedes Nest enthält elf Zielwahlalternativen. Somit sind in diesem Beispiel insgesamt 33 Ziel-Verkehrsmittel-Kombinationen gegeben, von denen eine die tatsächlich gewählte Alternative ist.

Abbildung 15 Mehrdimensionale Alternativenmenge



Der Gesamtnutzen der multidimensionalen Alternativenmenge lässt sich aufteilen in:

$$U_{dm} = V_d + V_m + V_{dm} + e_d + e_m + e_{dm}$$

Der Ansatz des Nested-Logit-Modells verlangt nun, dass entweder die Varianz von e_d oder von e_m sehr klein relativ zu den anderen Störtermen ist und damit vernachlässigt werden kann. Hier wird nun angenommen, dass e_m klein genug ist, um ignoriert werden zu können.

$$U_{dm} = V_d + V_m + V_{dm} + e_d + e_{dm}$$

Die Auswahlwahrscheinlichkeit der sinnvollen Kombinationen von d und m (P_{dm}) kann nun aufgeteilt werden in eine bedingte Entscheidung $P(d|m)$, die angibt, welches Ziel gewählt wird, wenn das Verkehrsmittel vorgegeben ist, sowie in eine marginale Entscheidung $P(m)$. Damit gilt:

$$P_{dm} = P_{d|m} * P_m$$

Die bedingte Wahrscheinlichkeit wird bestimmt mit:

$$P_{d|m} = \frac{\exp(\mu V_{dm})}{\sum_{\forall d'} \exp(\mu V_{dm'})}$$

Die marginale Wahrscheinlichkeit wird bestimmt mit:

$$P_m = \frac{\exp(\mu^m I_m)}{\sum_{\forall m'} \exp(\mu^m I_{m'})}$$

Für den Inklusivwert (I_m) sind auch andere Bezeichnungen in Verwendung: *logsum-term*, *inclusiv price*, *measure of accessibility* oder *expected maximum perceived utility*. Für den Inklusivwert wird angenommen, dass der Entscheider aus der Alternativenmenge bzw. dem Nest die Alternative mit dem grössten erwarteten Nutzen auswählt.

$$I_m = E(\max_{m'} U_m)$$

Der Inklusivwert stellt daher den erwarteten maximalen systematischen Nutzen aller Alternativen in einer Alternativenmenge bzw. in einem Nest dar:

$$I_m = \frac{1}{\mu} \ln \sum \exp(\mu V_{dm})$$

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

- PW-Verfügbarkeit, Jahresabonnement – Besitz (GA), Halbtax-Besitz (HT), Alter
- MIV-Reisezeit, MIV-Kosten, ÖV-Reisezeit, ÖV-Kosten, Umsteigehäufigkeit, Angebotsintervall, Zugangszeit, LIV-Reisezeit
- Einwohnerzahl, Erwerbstätige, Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Freizeitpark und Grosseinrichtungen, Verkaufsflächen, Parkplatzangebot

Es wurde jeweils ein fahrtzweckspezifisches Modell für die folgenden fünf Fahrtzwecke geschätzt: Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit. Für die Modellschätzung wurden die Daten des Mikrozensus Verkehr 2005 verwendet. Aus diesen Daten wurden anhand der berichteten Wege die Angaben über die gewählten Quelle-Ziel-Beziehungen (nach Postleitzahlen) und die benutzten Verkehrsmittel übernommen.

Um die Modellschätzung durchzuführen, müssen neben den gewählten Alternativen auch andere, nicht gewählte Alternativen beschrieben und dargestellt werden. Dafür wurden aus den Netzmodellen zu jedem gewählten Ziel weitere zehn nicht gewählte Ziele zugespielt. Diese Ziele wurden nach bestimmten Distanzklassen ausgewählt. Die Distanz der ersten drei Ziele liegt unter 70% der Distanz des berichteten Ziels, die Distanz der nächsten drei Ziele zwischen 70% und 130% der Distanz des berichteten Ziels und die Distanz der letzten drei Ziele

ist grösser als 130% der Distanz des berichteten Ziels. Eines der zehn Ziele liegt innerhalb der Quell-Gemeinde.

Für jede der elf Alternativen wurden die Angebotsvariablen für die vier Verkehrsmittel MIV, ÖV, Velo und Fuss ermittelt. Damit wurden zu jeder gewählten Alternative (Ziel-Verkehrsmittel-Kombination) 43 nicht gewählte Alternativen zugespielt. Daraus wurde ein Modell mit vier Nestern (MIV, ÖV, Fuss und Velo) mit jeweils elf Alternativen formuliert (siehe Abbildung 15). In der Modellschätzung wurden die Parameter gesucht, die die tatsächliche Entscheidung mit genügender Signifikanz erklären.

Aus den Mikrozensus Verkehr Daten stehen 16'668 relevante Beobachtungen (Wege) für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Die Wege mit geokodierten Quell- und Zielpunkten wurden mit Zonengrenzenlayern des GVM verschnitten und alle Wege, die einer Zone (ohne Aussenzonen) zugeordnet werden konnten, wurden berücksichtigt. Für die Modellschätzung wurde wie bei der Verkehrsmittelwahl das Statistik-Programm Biogeme Version 1.2 (Bierlaire, 2003) verwendet.

Da die Mikrozensus Verkehr Daten wegen der vorhandenen Korrelation zwischen den Variablen und der ungenügenden Variation für eine vollständige Modellschätzung nicht geeignet sind, werden nur die Attraktionsparameter (Zielwahl) neu geschätzt. Die soziodemographischen Parameter und die Angebotsparameter der Verkehrsmittelwahl werden aus vorherigem Kapitel übernommen und als fix definiert.

Die Nutzenfunktion wird je nach Fahrtzweck unterschiedlich aufgestellt. Es sind sowohl die soziodemographischen Parameter und die Parameter für das Verkehrsangebot als auch die Attraktionsvariablen unterschiedlich. In der Nutzenfunktion wurden für die einzelnen Fahrtzwecke folgende Attraktionsvariablen betrachtet:

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

Bei allen Fahrtzwecken wurden die Parkplätze auch als Attraktionsvariable berücksichtigt.

Die Nutzenfunktion wird am Beispiel des Fahrtzwecks Arbeit wie folgt definiert:

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{\text{PW}} &= \text{Konstante}_{\text{PW}} + \text{Zeit}_{\text{PW}} * \beta_{\text{PW-Zeit}} + \text{Preis}_{\text{PW}} * \beta_{\text{PW-Preis}} \\ &+ \text{Verfügbarkeit}_{\text{PW}} * \beta_{\text{PW-Verfügbarkeit}} + \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} \\ &+ \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} + \text{Parkplätze} * \beta_{\text{Parkplätze}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{\text{ÖV}} &= \text{Zeit}_{\text{ÖV}} * \beta_{\text{ÖV-Zeit}} + \text{Preis}_{\text{ÖV}} * \beta_{\text{ÖV-Preis}} + \text{Zugangszeit} * \beta_{\text{Zugangszeit}} + \text{Umsteigezahl} * \beta_{\text{Umsteige}} \\ &+ \text{Intervall} * \beta_{\text{Intervall}} + \text{Alter} * \beta_{\text{Alter}} + \text{GA - Besitz} * \beta_{\text{GA}} + \text{Halbtax - Besitz} * \beta_{\text{HT}} \\ &+ \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} + \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{\text{Fuss}} &= \text{Konstante}_{\text{Fuss}} + \text{Zeit}_{\text{Fuss}} * \beta_{\text{Fuss-Zeit}} \\ &+ \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} + \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{\text{Velo}} &= \text{Konstante}_{\text{Velo}} + \text{Zeit}_{\text{Velo}} * \beta_{\text{Velo-Zeit}} \\ &+ \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} + \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} \end{aligned}$$

Die Attraktionsvariablen sind in den folgenden Einheiten definiert:

- Einwohner, Arbeitsplätze, Erwerbstätige, Ausbildungsplätze als Anzahl
- Verkaufsfläche in m²
- Grosseinrichtungen als Anzahl Besucher
- Freizeiteinrichtungen als Anzahl
- Parkplätze als Auslastungsgrad (in Prozent)

Für die Modellschätzung wurden die Attraktionsvariablen zusätzlich durch Tausend geteilt und logarithmiert, um den abnehmenden Grenznutzen abzubilden. Für die Angebotsvariablen werden die gleichen Einheiten wie im Verkehrsmittelwahlmodell verwendet.

Das Ergebnis für die betrachteten Fahrtzwecke mit zusätzlicher Differenzierung von bzw. zur Wohnung ist in der Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27 Ergebnisse der Modellschätzung für die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl nach Quelle-Ziel-Gruppen

Variable	Modellparameter (β)									
	WA	AW	WB	BW	WN	NW	WE	EW	WF	FW
Konstante PW	-0,287	-0,338			1,240	1,440	1,240	0,740	1,030	1,030
Fahrzeit PW	-1,650	-1,650	-1,650	-1,650	-1,937	-1,937	-2,496	-2,496	-0,984	-0,984
PW-Verfügbarkeit	2,400	2,400	2,400	2,400	1,180	1,180	1,460	1,460	1,230	1,230
Preis	-0,205	-0,205	-0,205	-0,205	-0,030	-0,030	-0,223	-0,223	-0,067	-0,067
Fahrzeit ÖV	-1,512	-1,512	-1,512	-1,512	-1,208	-1,208	-2,078	-2,078	-0,728	-0,728
Zugangszeit	-4,129	-4,129	-4,129	-4,129	-2,469	-2,469	-4,172	-4,172	-1,218	-1,218
Intervall	-0,638	-0,638	-0,638	-0,638	-1,270	-1,270	-0,393	-0,393	-0,513	-0,513
Umsteigezahl	-0,451	-0,451	-0,451	-0,451	-0,322	-0,322	-0,302	-0,302	-0,340	-0,340
GA Besitz	3,880	3,880	3,880	3,880	3,710	3,710	2,780	2,780	2,590	2,590
Halbtax Besitz	0,941	0,941	0,941	0,941	1,610	1,610	1,110	1,110	1,060	1,060
Andere Abos	2,460	2,460	2,460	2,460	2,340	2,340	2,520	2,520	1,910	1,910
Alter \wedge^2	0,0001	0,00	0,0001	0,0001	0,0001	0,00	0,0000		0,0001	0,0001
Zeit Fuss	-1,630	-1,630	-1,630	-1,630	-0,530	-0,530	-2,980	-2,980	-1,520	-1,520
Konstante Fuss	1,710	1,330	2,480	2,470	0,660	0,620	2,810	2,810	2,740	2,740
Zeit Velo	-1,910	-1,910	-1,910	-1,910	-2,130	-2,130	-4,540	-4,540	-1,650	-1,650
Konstante Velo	0,980	0,595	1,390	1,390	-0,322	-0,361	1,230	1,220	1,110	1,110
Arbeitsplätze ¹	0,446				0,370					
Erwerbstätige ¹		0,362				0,562				
Ausbildungsplätze ¹			0,195							
Einwohner ¹				0,362				0,256	0,421	0,491
Verkaufsfläche ¹							0,152			
Freizeitangebot									0,093	
Parkplätze	0,867	0,246			0,385		1,663	0,822	0,513	0,201
n Beobachtungen	3000	3000	1057	1057	421	421	2424	2424	4265	4265
ρ^2	0,203	0,189	0,208	0,210	0,270	0,280	0,212	0,205	0,252	0,249

⁽¹⁾ Attraktionsvariablen = $\ln(\text{Attraktionsvariable}/1000)$; *Kursiv: Neuschätzung 2009*

Da hier eine simultane Modellschätzung mit gleichzeitiger Erklärung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl angewendet wird, ist die ermittelte Signifikanz und Erklärungskraft des Modells genügend. ρ^2 aus Logit-Modellen sind durchweg kleiner als R^2 aus linearen Regressionen. Daher stellt ein ρ^2 von 0.3 im Allgemeinen schon eine sehr gute Übereinstimmung dar. Es ist zu berücksichtigen, dass für die beiden Quelle-Ziel-Gruppen eines Fahrtzwecks (z.B. WA und AW) die gesamte Stichprobe eines Fahrtzwecks verwendet wurde. Damit wird bei der Modellschätzung der Rückweg durch die Attraktionsgrösse nicht erklärt. Die Berücksichtigung beider Variablen (z.B. Arbeitsplätze und Erwerbstätige) war wegen Korrelationen

nicht möglich. Die Parameter waren für alle in Tabelle 27 geschätzten Variablen im t-Test auf dem 95%-Niveau signifikant.

Die ermittelten Attraktionsparameter sind stark abhängig vom Absolutwert der entsprechenden Variablen. Bei allen Attraktionsparametern führt eine Erhöhung der Variable zu einer Erhöhung der Verkehrsnachfrage.

9.6 Matrixerstellung und Matrixvalidierung

Anhand der aus der Verkehrserzeugung ermittelten Quell- und Zielverkehrsaufkommen, der Angebots- und Attraktionsdaten sowie der geschätzten Modellparameter werden in einem weiteren Schritt mit der Planungssoftware VISEVA (Version 4.1) die Quelle-Ziel-Matrizen bzw. die Verkehrsströme für die drei betrachteten Verkehrsmittel MIV, ÖV und LIV 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.

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-, Soziodemographie- und Attraktionsvariablen sind in der Tabelle 28 dargestellt.

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 Fusswege und 10km/h für Velowege) ermittelt. Die Reisekosten im ÖV werden mit 0.20 Fr/km und im MIV mit 0.16 Fr/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 von Verbindungen in der betrachteten Umlegungsperiode berechnet.

Die Nutzenfunktion nach Verkehrsarten

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

wird aus folgenden Variablen zusammengestellt:

Tabelle 28: Komponenten der Nutzenfunktionen

	MIV	ÖV	Fuss	Velo
Verkehrsangebot	Reisezeit	Reisezeit Reisekosten	Reisezeit	Reisezeit
	Reisekosten	Zugangszeit Abgangszeit Umsteigezahl Bedienungshäufigkeit	Höhe	Höhe
Soziodemographie	PW-Besitz	Jahresabonnement		
		Halbtaxabonnement		
		Alter		
Attraktion	Einwohner	Einwohner	Einwohner	Einwohner
	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze
	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze	Ausbildungsplätze
	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche	Verkaufsfläche
	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot	Freizeitangebot
	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige	Erwerbstätige

Für die Erstellung der ÖV-Angebotskenngrössen werden die gleichen Parametereinstellungen verwendet wie bei der Umlegung. Ausnahmen sind die Vorauswahl des Verbindungssets und die Bewertung der Zugangs- und Gehzeiten in der Widerstandsfunktion. Da bei der Berechnung der Kenngrössen die prozentualen Anbindungsanteile in VISUM nicht berücksichtigt werden konnten, war eine höhere Bewertung der Zugangs- und Gehzeiten sinnvoll, um die Nachfrage über mehrere Anbindungen zu verteilen. Die verwendeten Einstellungen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Abbildung 16 Vorauswahl bei der Kenngrössenberechnung

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein

Basis Suche **Vorauswahl** Widerstand Wahl Kenngrößenmatrizen Verbindungsexport

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

Alle Verbindungen ohne ÖV löschen

Verbindungen löschen, die erst nach Ende des Umlegungszeitraums abfahren

1. Eine Verbindung wird gelöscht, wenn
 SuchWid > 2.00 * minimaler SuchWid + 10.00
 SuchWid wird entsprechend den Suchparametern berechnet.

2. Für alle verbleibenden Verbindungen: Eine Verbindung wird gelöscht, wenn
 Reisezeit > 2.00 * minimale Reisezeit + 10min
 oder
 Umsteigehäufigkeit > minimale Umsteigehäufigkeit + 1
 und Reisezeit nicht minimal

3. Für alle verbleibenden Verbindungen: Eine Verbindung wird gelöscht, wenn
 empf. Reisezeit ERZ > 2.00 * mittlere ERZ + 0

Abbildung 17 Parameter für die Widerstandsfunktion bei der Kenngrössenberechnung

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	+ 2.50	Zugangszeit			<input type="checkbox"/> 1.00
4	+ 2.50	Abgangszeit			<input type="checkbox"/> 1.00
5	+ 2.50	Gehzeit			<input type="checkbox"/> 1.00
6	+ 2.50	Startwartezeit	Parameter		<input type="checkbox"/> 1.00
7	+ 0.23	Umsteigewartezeit	Parameter		<input type="checkbox"/> 1.00
8	+ 11min	Umsteigehäufigkeit			<input type="checkbox"/> 1.00
9	+ 0min	Anzahl Betreiberwechsel	Parameter		<input type="checkbox"/> 1.00
10	+ 0.00	Erweiterter Widerstand	*	Formel	<input type="checkbox"/> 1.00

Um eine plausible Matrixstruktur im interzonalen Verkehr ermitteln zu können, ist es wichtig, dass auch der Anteil des intrazonalen Verkehrs soweit wie möglich plausibel geschätzt wird. Der Anteil des intrazonalen Verkehrs wird vor allem durch die Angebotsvariablen auf der Diagonalen, d.h. der mittlere Widerstand für einen Weg innerhalb einer Zone, beeinflusst. Da es in VISUM nicht möglich ist, eine plausible Besetzung der Hauptdiagonale 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 0,7 mal kleiner sind als die kleinsten Aufwände zu einer benachbarten Verkehrszone.

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 Modellgebiet 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 Quell-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 29).

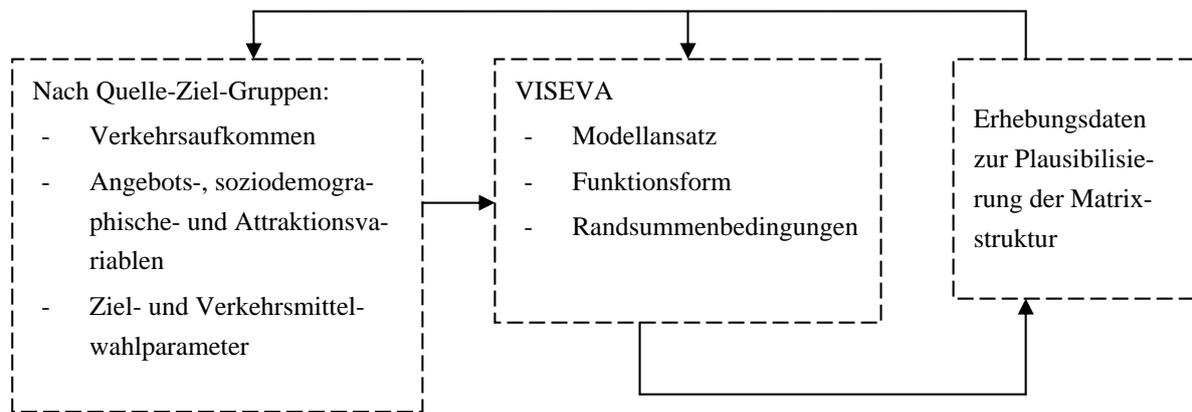
Tabelle 29 Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Ströme

QZG	Quell-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 der folgenden Abbildung dargestellt. Die Kalibrierung der Matrizen auf die Querschnittszählungen erfolgt erst nach der Umlegung.

Abbildung 18 Vorgehen zur Erstellung und Eichung der Matrixstruktur



Im Rahmen der Eichung der Matrixstruktur wurden sowohl die Modellstruktur (harte- und weiche Randsummenbedingungen, Lösungsverfahren) als auch Modellfunktionen und einzelne Modellparameter optimiert. Bei bestimmten Quelle-Ziel-Gruppen wurde dafür eine sog. Box-Tukey-Transformation eingefügt, 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 wurde bei den Zeit- und Kostenparametern verwendet, da diese Variablen für die Verteilung- und Aufteilung von zentraler Bedeutung sind. Durch die Modelloptimierung war 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 Nationalen Modell übernommen. Zu diesem Zweck wurde eine Zuordnung der Zonen des Nationalen zu den Zonen des Kantonalen Verkehrsmodells 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.

9.7 Validierung der Matrixstruktur (Binnenverkehrsmatrix)

Die Validierung der Binnenverkehrsmatrix wurde anhand des Mikrozensus Verkehr 2005, der Pendlerstatistik (für die Fahrtzwecke Arbeit und Ausbildung) aus der Volkszählung 2000 und Zählenden für das Jahr 2007 durchgeführt. Die Überprüfung und Eichung

- der Aufteilung zwischen inter- und intrazonalen Fahrten,
- der Modal-Split-Anteile und
- der Reiseweiteverteilung .

ist im Folgenden beschrieben.

Tabelle 30 zeigt die Eckwerte der berechneten inter- und intrazonalen Matrizen im Binnenverkehr für alle vier Verkehrsmittel und nach Fahrtzwecken geordnet.

Tabelle 30 Eckwerte der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen

[Mio.]	MIV-Wege	ÖV - Wege	Velo-Wege	Fuss-Wege	Summe
Alle Wege					
Arbeit	1,129	0,284	0,120	0,285	1,818
Ausbildung	0,085	0,180	0,123	0,226	0,615
Nutzfahrt	0,236	0,029	0,006	0,015	0,286
Einkauf	0,644	0,121	0,109	0,308	1,182
Freizeit	1,224	0,232	0,192	0,630	2,278
Summe	3,319	0,847	0,550	1,464	6,179
Interzonale Wege					
Arbeit	1,087	0,272	0,107	0,233	1,699
Ausbildung	0,085	0,176	0,110	0,196	0,567
Nutzfahrt	0,229	0,029	0,005	0,013	0,276
Einkauf	0,601	0,110	0,089	0,237	1,037
Freizeit	1,187	0,222	0,162	0,485	2,056
Summe	3,189	0,808	0,473	1,165	5,635

Von den ca. 6,2 Mio. Wegen werden ca. 54% mit dem MIV, 14% mit dem ÖV, 9% mit dem Velo und 23% zu Fuss zurückgelegt. Werden nur die interzonalen Wege betrachtet, erhöht sich der MIV-Anteil auf 57%. Dementsprechend reduziert sich der Anteil der Fuss- und Vellowege. Betrachtet man den Modal-Split nach Fahrtzwecken, ist der ÖV-Anteil bei Pendlerfahrten höher und bei anderen Fahrtzwecken niedriger. Die Modal-Split-Anteile nach Fahrtzwecken sowie der Vergleich mit dem Mikrozensus Verkehr 2005 sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31 Modal-Split-Anteile der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen und Vergleich mit dem Mikrozensus 2005

[%]	MIV-Wege		ÖV-Wege		Velo-Wege		Fuss-Wege	
	WISEVA	MZ	WISEVA	MZ	WISEVA	MZ	WISEVA	MZ
	Alle Wege							
Arbeit	62,1	60,5	15,6	15,9	6,6	7,9	15,7	15,8
Ausbildung	13,9	11,9	29,3	22,9	20,0	20,5	36,8	44,7
Nutzfahrt	82,3	82,4	10,2	9,2	2,1	2,0	5,4	6,4
Einkauf	54,5	51,1	10,3	9,3	9,2	9,3	26,0	30,2
Freizeit	53,7	49,0	10,2	8,5	8,4	8,6	27,7	33,8
Summe	53,7	50,2	13,7	12,2	8,9	9,5	23,7	28,1
	Interzonale Wege							
Arbeit	63,9	65,9	16,0	18,8	6,3	6,7	13,7	8,6
Ausbildung	15,0	14,0	31,1	33,6	19,3	24,3	34,6	28,1
Nutzfahrt	83,0	83,9	10,3	10,6	1,9	2,3	4,8	3,2
Einkauf	58,0	62,3	10,6	13,0	8,6	8,0	22,9	16,7
Freizeit	57,7	67,6	10,8	13,0	7,9	7,9	23,6	11,6
Summe	56,6	62,1	14,3	16,5	8,4	8,7	20,7	12,7

Die ermittelten Personenkilometer (Pkm) und die mittleren Reiseweiten nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel werden in den folgenden zwei Tabellen (Tabelle 32 und Tabelle 33) präsentiert. Es ist zu sehen, dass der grösste Teil der Verkehrsleistung im MIV und ÖV für die betrachtete Zonierung im interzonalen Verkehr stattfindet. 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 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 fehlender empirischer Datengrundlage eine genauere Eichung der Anteile des intrazonalen Verkehrs nicht möglich ist. Eine Korrektur der hier berechneten Anteile im MIV und ÖV ist aber im Rahmen der Kalibrierung auf die Querschnittszählungen möglich.

Tabelle 32 Verkehrsleistung der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel

[Mio. Pkm]	MIV-Wege	ÖV - Wege	Velo-Wege	Fuss-Wege	Summe
	Alle Wege				
Arbeit	11,835	4,359	0,390	0,496	17,081
Ausbildung	1,249	2,763	0,483	0,757	5,251
Nutzfahrt	4,040	0,684	0,015	0,034	4,774
Einkauf	4,922	0,879	0,231	0,472	6,504
Freizeit	16,482	3,073	0,528	1,092	21,176
Summe	11,835	4,359	0,390	0,496	17,081
	Interzonale Wege				
Arbeit	11,738	4,341	0,363	0,432	16,873
Ausbildung	1,248	2,759	0,447	0,697	5,151
Nutzfahrt	4,029	0,683	0,014	0,031	4,757
Einkauf	4,852	0,868	0,201	0,392	6,313
Freizeit	16,404	3,056	0,476	0,910	20,846
Summe	11,738	4,341	0,363	0,432	16,873

Aus der Analyse der Reiseweiten der einzelnen Fahrtzwecke lassen sich teilweise die Gesetzmässigkeiten des Zielwahlverhaltens ableiten (siehe Tabelle 33). Wie erwartet werden vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt. Diese Wege haben einen höheren Anteil an LIV Wegen 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. Hier ist zu erwarten, dass Dienstfahrten vor allem mit dem ÖV (23,4 km) und Servicefahrten vorzugsweise mit dem MIV (14,6 km) durchgeführt werden.

Tabelle 33 Mittlere Reiseweite der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel

	MIV-Wege	ÖV- Wege	Velo-Wege	Fuss-Wege	Mittel
Alle Wege: Mittlere Reiseweite in km					
Arbeit	10,5	15,3	3,2	1,7	9,4
Ausbildung	14,6	15,3	3,9	3,3	8,5
Nutzfahrt	17,1	23,4	2,5	2,2	16,7
Einkauf	7,6	7,2	2,1	1,5	5,5
Freizeit	13,5	13,2	2,8	1,7	9,3
Summe	11,6	13,9	3,0	1,9	8,9

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 Mikrozensus Verkehr 2005 durchgeführt. Der Vergleich ist für alle fünf Fahrtzwecke in den folgenden Abbildungen (Abbildung 19 bis Abbildung 24) dargestellt. Neben den kumulierten Verteilungen (jeweils obere Grafik) werden auch die relativen Häufigkeitsverteilungen (jeweils untere Grafik) dargestellt. Es ist festzustellen, dass die hier ermittelten Verkehrsstrommatrizen bezüglich ihrer Reiseweitenverteilung die gleiche Struktur haben wie die Fahrten im Mikrozensus Verkehr 2005. Bei einzelnen Distanzklassen und Fahrtzwecken wurde auf eine genauere Übereinstimmung mit dem Kurvenverlauf aus dem Mikrozensus (z.B. Ausbildungsverkehr) zugunsten einer besseren Konsistenz mit den Zählenden verzichtet. Es muss beachtet werden, dass vor allem im Ausbildungs- und Nutzfahrtverkehr die Stichprobengrösse in den Mikrozensusdaten sehr klein ist.

Abbildung 19 Reiseweitenverteilung: Modell und MZ 2005: Fahrtzweck Arbeit

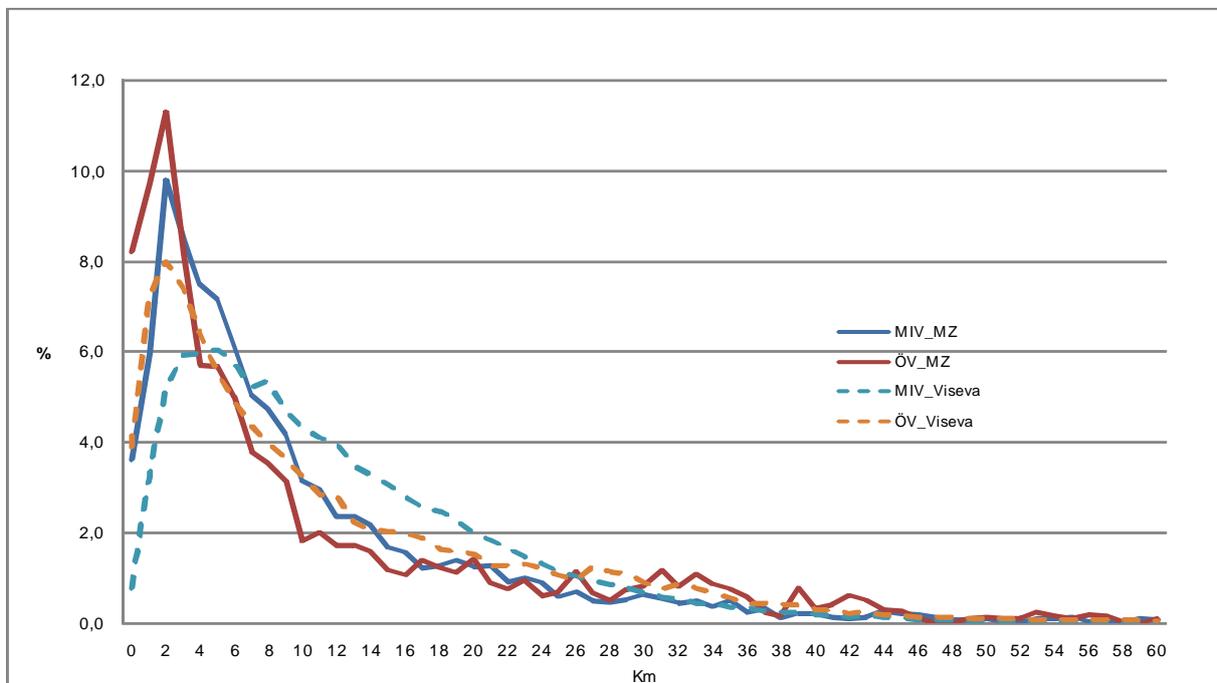
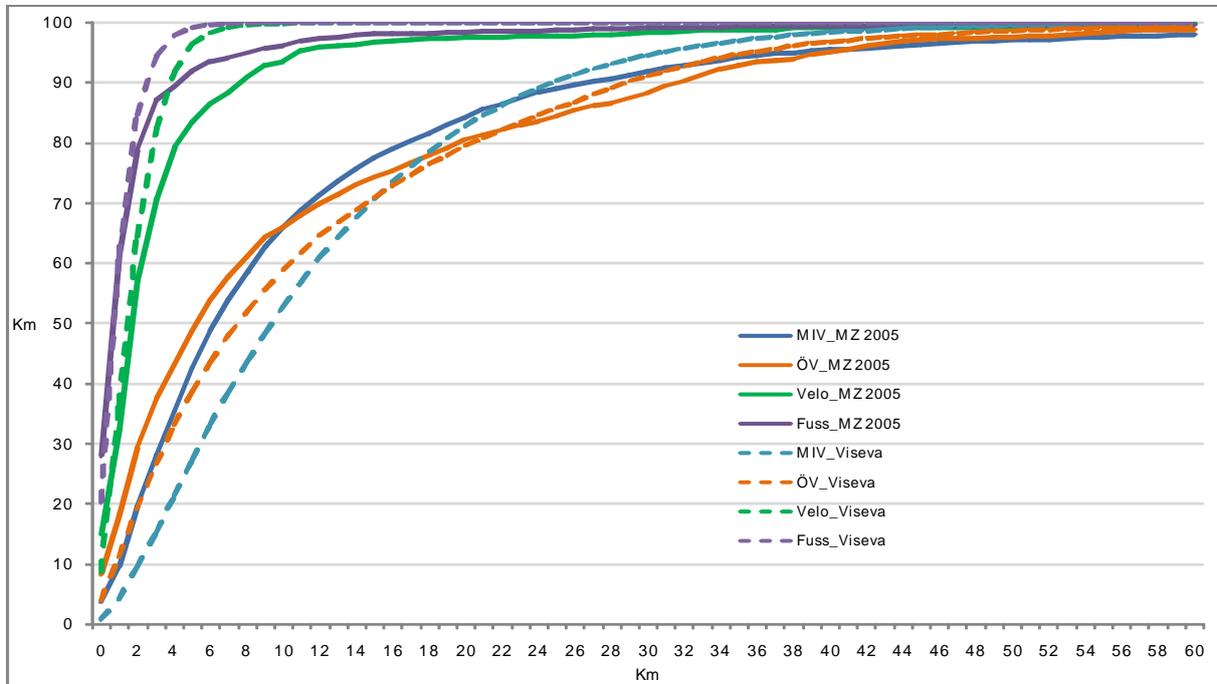


Abbildung 20 Reiseweitenverteilung: Modell und MZ 2005: Fahrtzweck Arbeit

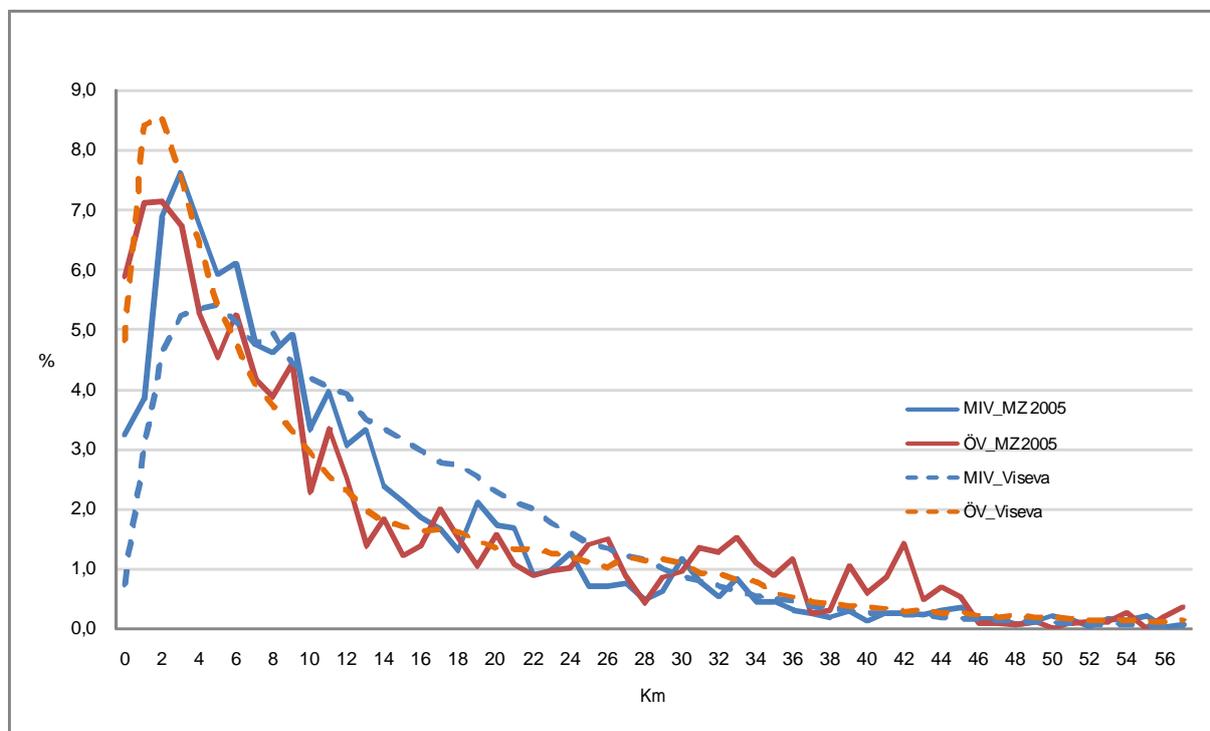
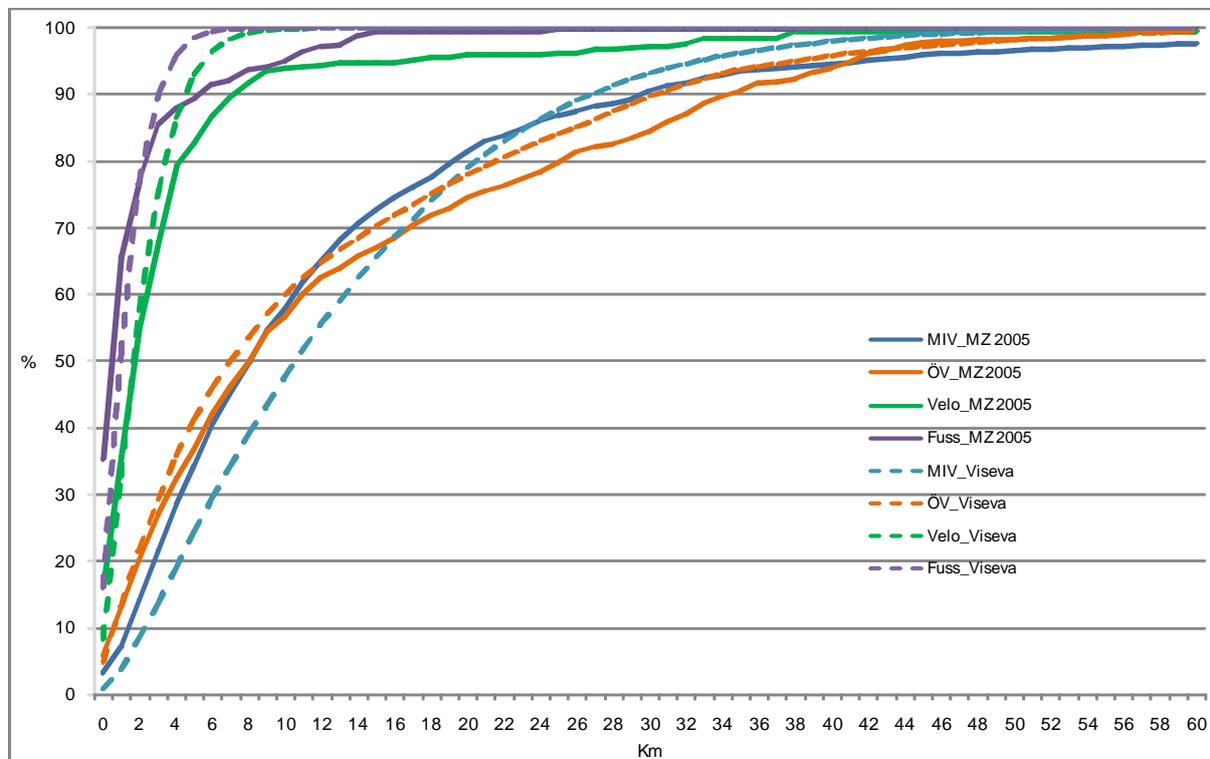


Abbildung 21 Reiseweitenverteilung: Modell und MZ 2005: Fahrtzweck Ausbildung

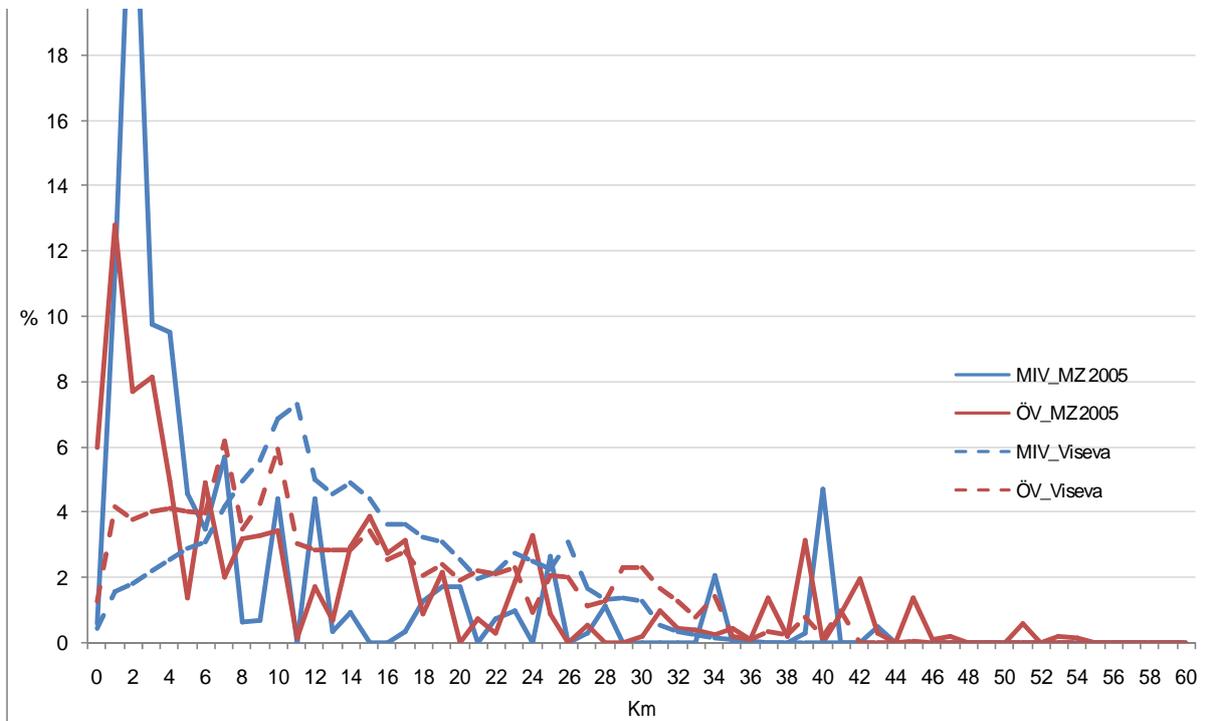
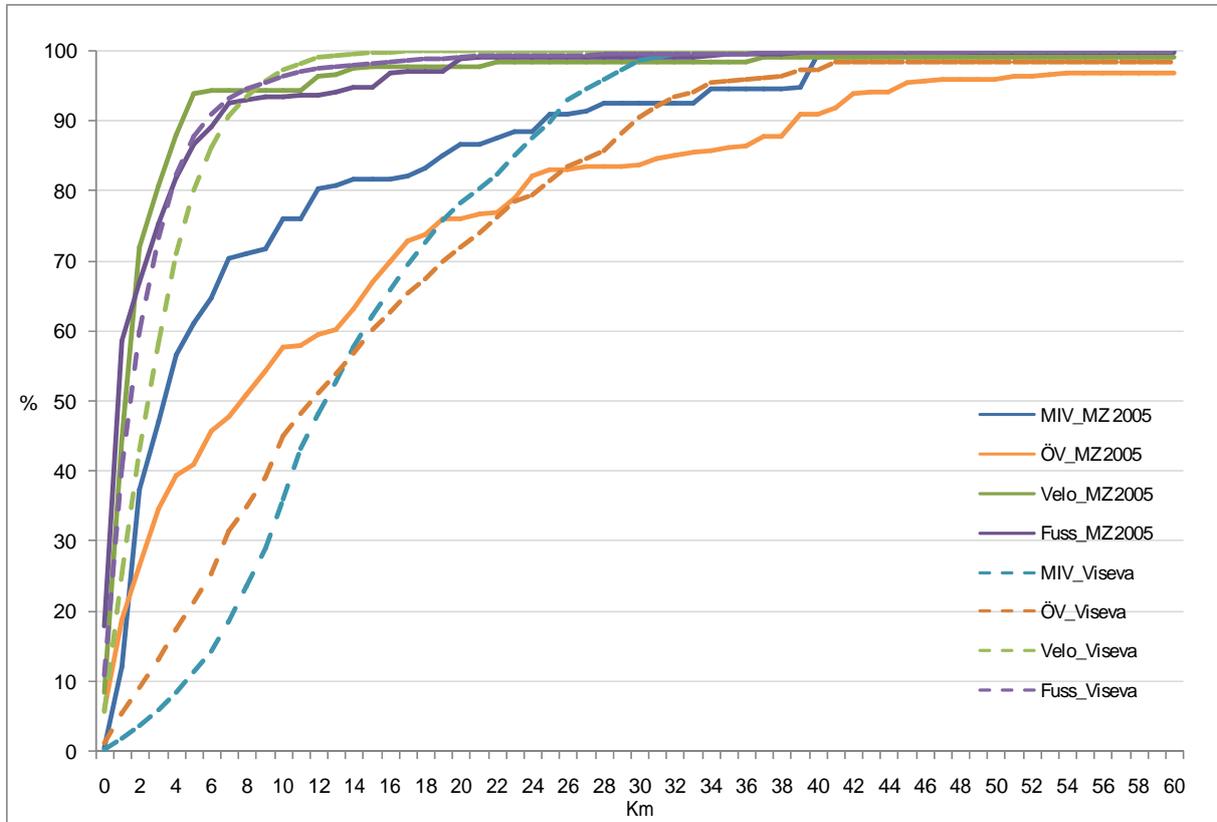


Abbildung 22 Reiseweitenverteilung: Modell und MZ 2005: Fahrtzweck Nutzfahrt

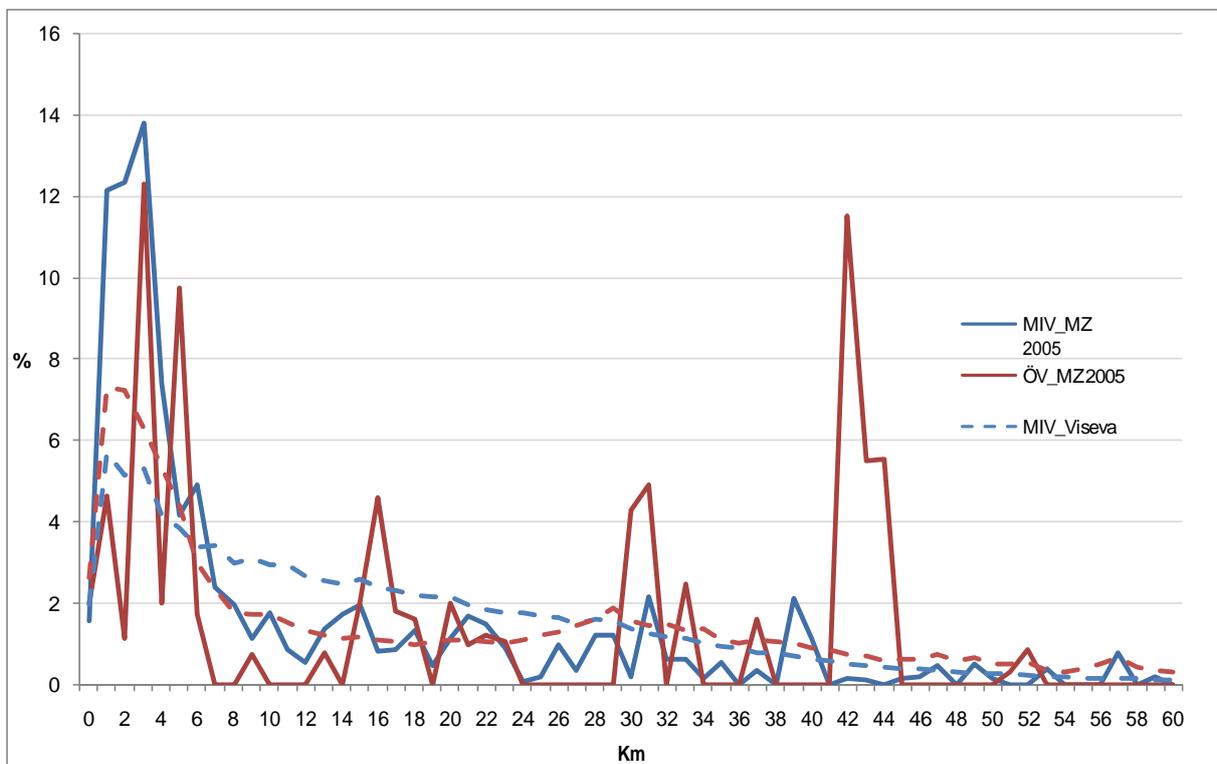
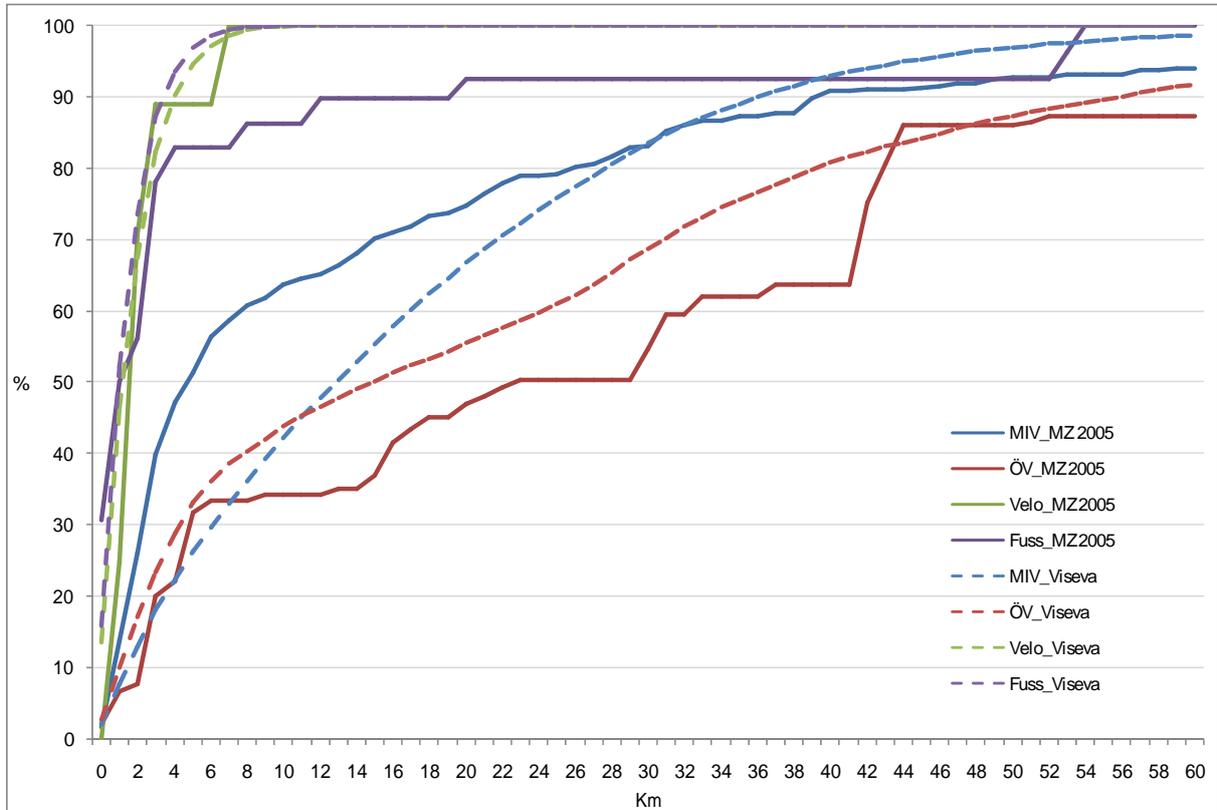


Abbildung 23 Reiseweitenverteilung: Modell und MZ 2005: Fahrtzweck Einkauf

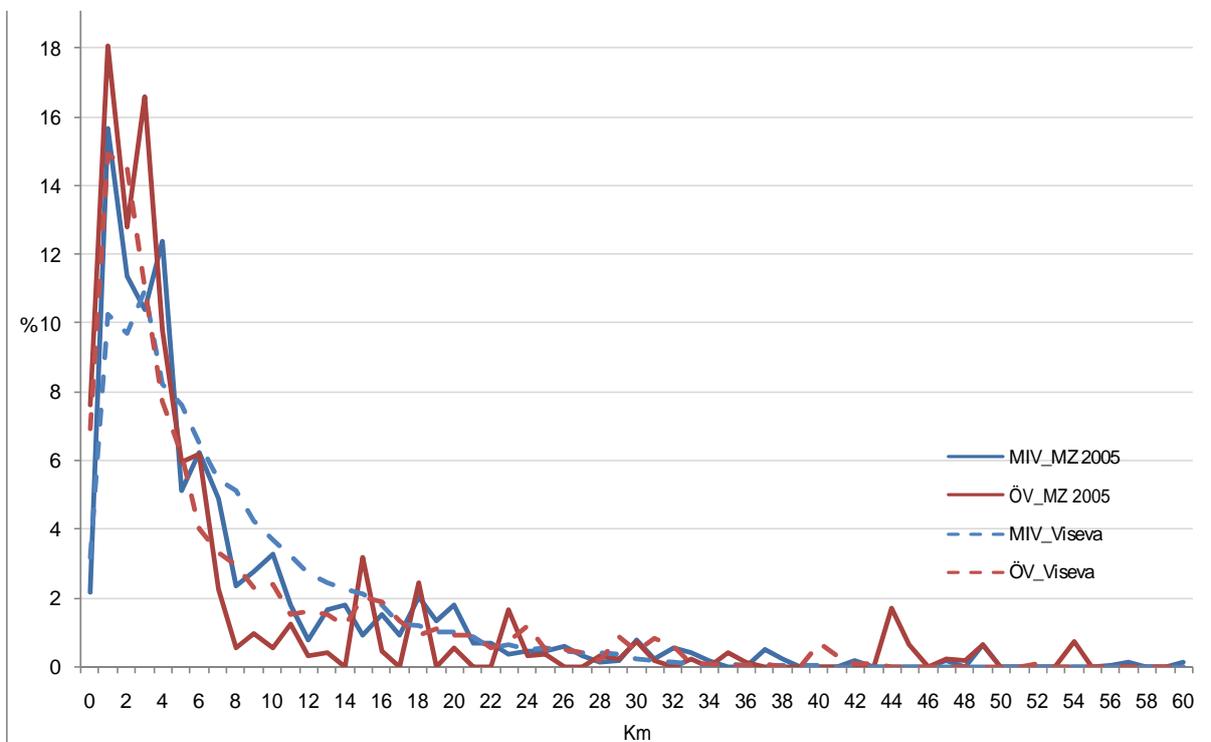
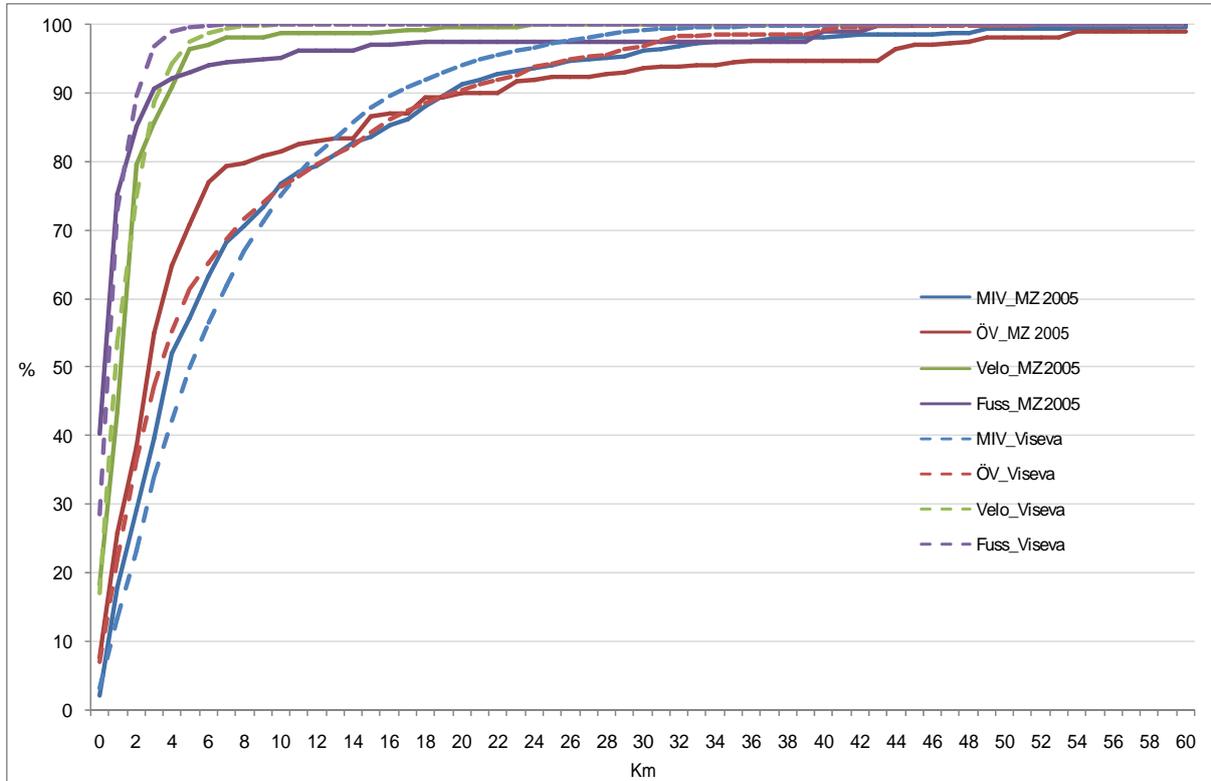
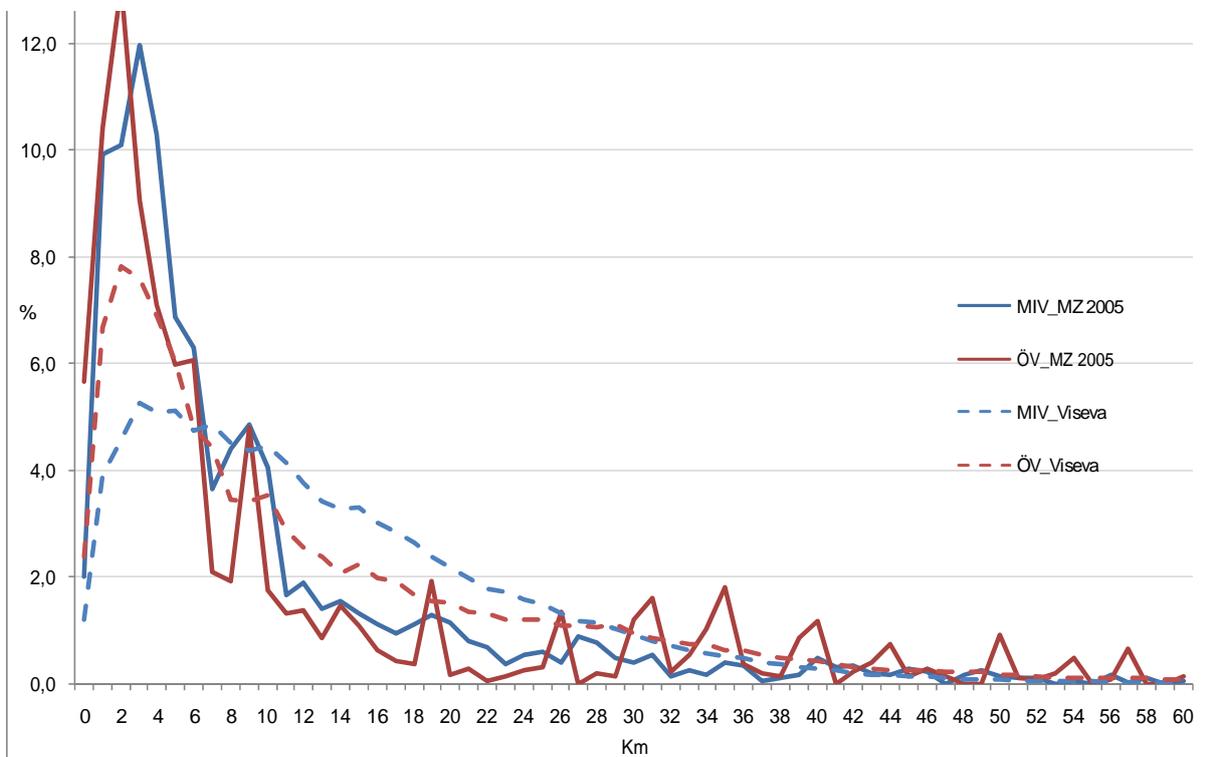
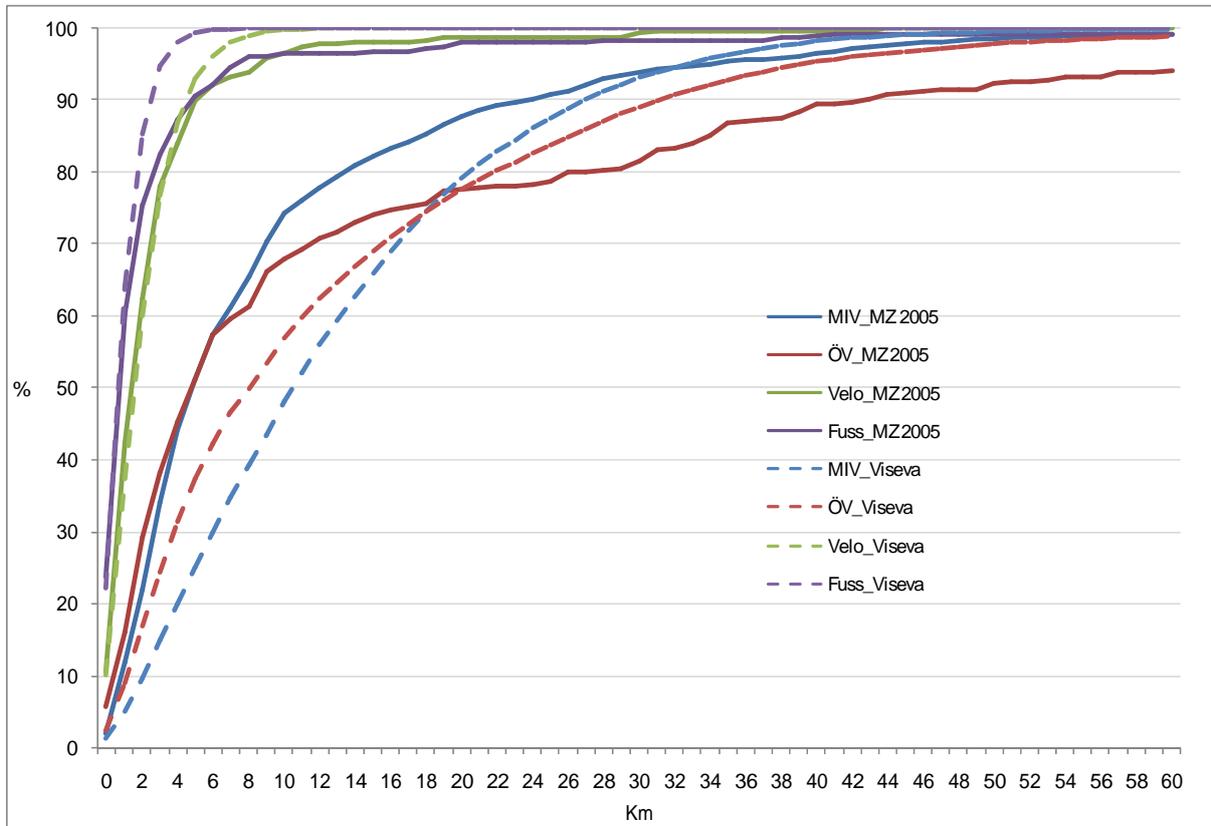


Abbildung 24 Reiseweitenverteilung: Modell und MZ 2005: Fahrtzweck Freizeit



Für die weitere Beurteilung der Verhaltensgesetzmässigkeiten wurden die Reiseweiten- und Modal-Split-Anteile in den Abbildung 25 bis Abbildung 28 gemeinsam dargestellt. Es ist festzustellen, dass mit wachsender Entfernung die ÖV-Anteile zunehmen und die MIV-Anteile abnehmen. Dieser Effekt ist insbesondere ab einer Entfernung von ca. 40km zu sehen. Wie erwartet nimmt der Anteil der Fuss-Wege nach einer Entfernung von ca. 1,5 km sehr stark ab. Der Anteil von Velo-Wegen erreicht sein Maximum bei 3km.

Abbildung 25 Modal-Split Anteile und Reiseweitenverteilung: MIV (interzonale Wege)

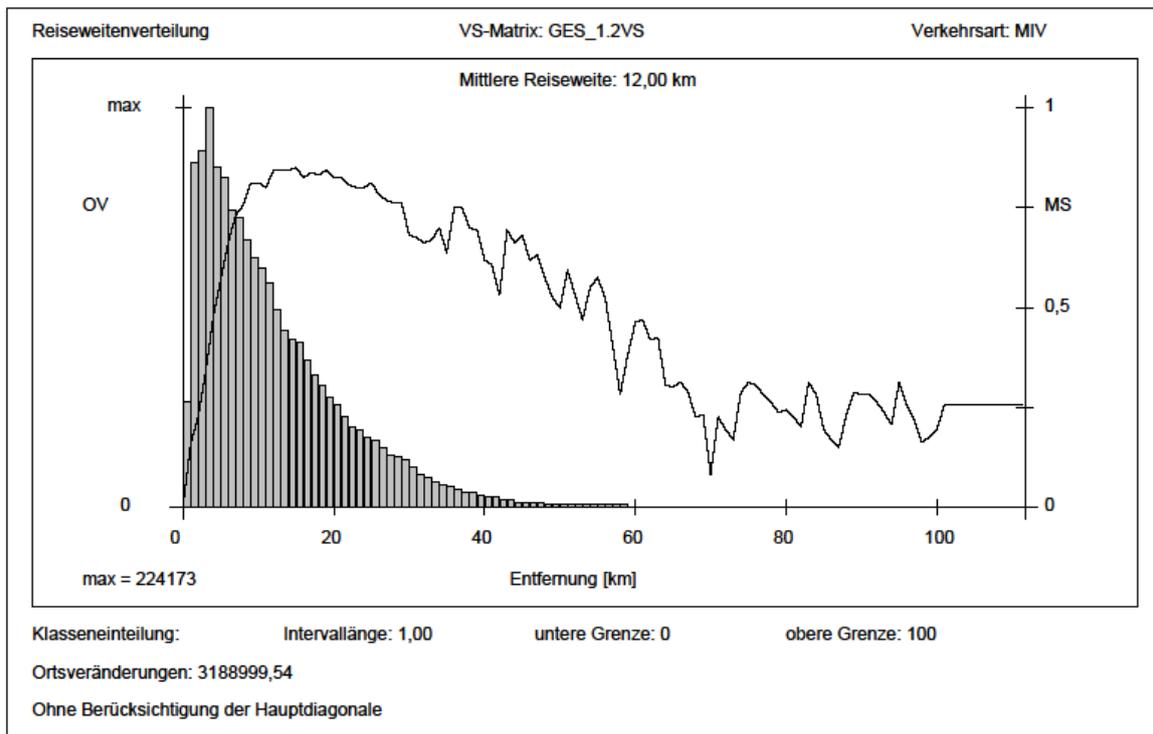


Abbildung 26 Modal-Split Anteile und Reiseweitenverteilung: ÖV (interzonale Wege)

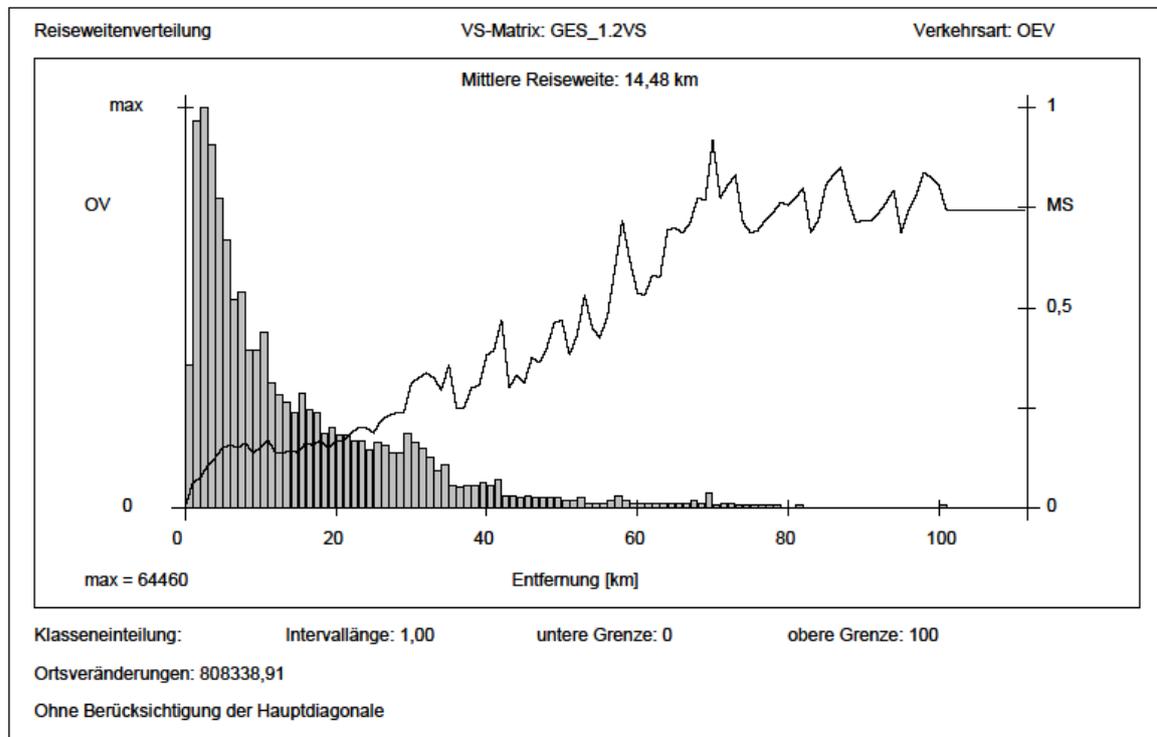


Abbildung 27 Modal-Split Anteile und Reisenweitenverteilung: Velo (interzonale Wege)

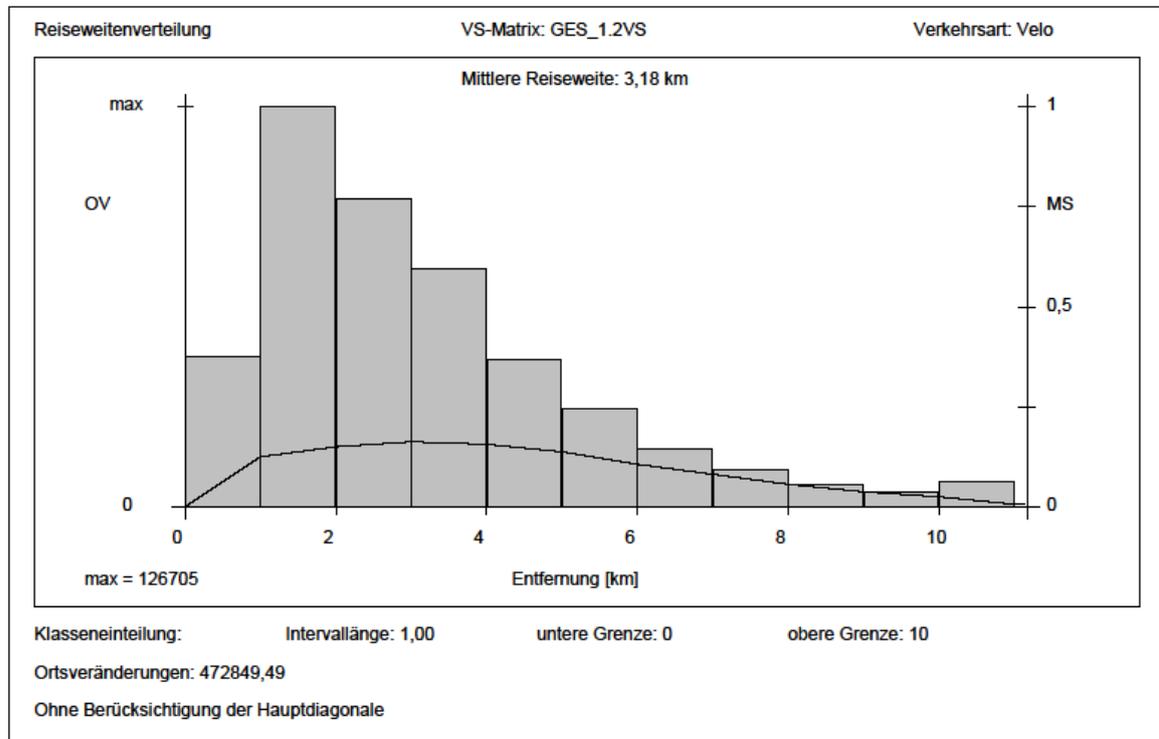
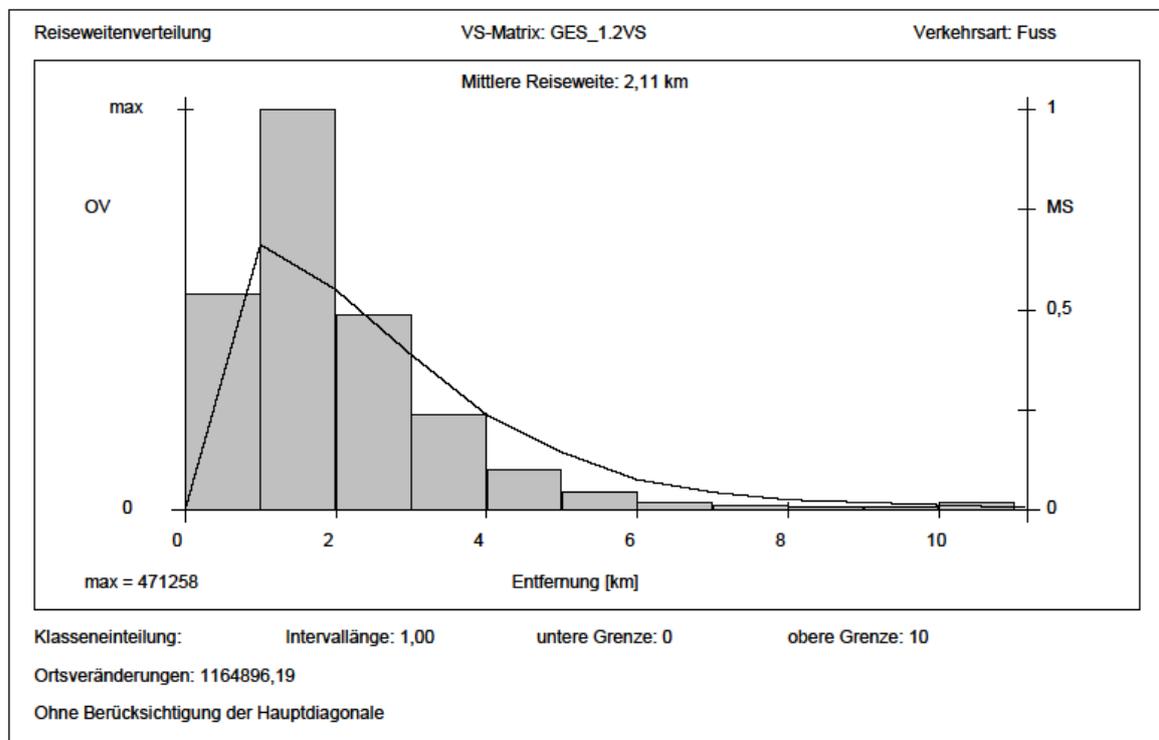


Abbildung 28 Modal-Split Anteile und Reiseweitenverteilung: Fuss (interzonale Wege)



9.8 Umlegung und Validierung der Netzbelastungen

Umlegungsverfahren

Die erstellten ÖV- und MIV-Matrizen wurden 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 Rechnerzeit benötigen und passende Modellparameter nicht vorhanden sind, wurde auf seine Anwendung verzichtet, auch wenn es für die städtischen MIV-Netze ein besser geeignetes Umlegungsverfahren wäre. Dieses Verfahren könnte aber nach der Schätzung eines geeigneten Stochastischen Routenwahlmodells im bestehenden MIV-Modell implementiert und kalibriert werden. Für bestimmte Massnahmen und Modellanwendung, wie z.B. dem Roadpricing, sind diese Verfahren nötige Voraussetzungen, wobei die längeren Rechnerzeiten in Kauf genommen werden müssen. Die Umlegung der Fuss- und Velowege wird nicht durchgeführt, da hier eine Netzattributierung sowie geeignete Routenwahlmodelle nicht vorhanden sind. Damit beschränkt sich die Validierung der Fuss- Velowege auf die Modalsplit-Anteile und die Reiseweiteverteilung.

Im ÖV-Modell wird als Umlegungsmethode ein fahrplanfeines Verfahren verwendet. Die Parameter und die Bewertung der einzelnen Routenwahlkomponenten, wurden aus den Stated Preference Befragungen des Kantons Zürich 2004 übernommen (siehe Bericht OeVM-AFV, Vrtic et al., 2005). Die Nachfrageaufteilung auf die Route bzw. auf die Verbindung im ÖV wird mit dem so genannten Lohse-Ansatz berechnet:

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

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

Da das hier erstellte Modell sowohl kürzere (städtische) als auch längere Wege (Regional- und Fernverkehr) beinhaltet, wurde der Lohse-Ansatz als die am besten geeignete Methode gewählt. Dieser Ansatz stellt eine Alternative zum Logit-Ansatz (Berechnung der Widerstandsdifferenzen, besser geeignet für Modelle mit kürzeren, d.h. städtischen Wegen) und

zum Kirchhoff-Ansatz (Berechnung der Widerstandsverhältnisse, besser geeignet für Modelle mit längeren Wegen d.h. für Regional- und Fernverkehrsmodelle) dar. Der Widerstand einer Verbindung wird auf den minimalen Widerstand aller Verbindungen der Verkehrsbeziehung gesetzt, d.h. es werden die relativen Abweichungen vom Optimum gemessen. Aus den Analysen der Umlegungsergebnisse, der Verteilung der Verkehrsströme auf die Verbindungen und den Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen wurde bei der Erstellung des ÖV-Modells 2005 der β -Parameter auf $\beta=4$ kalibriert und hier übernommen.

Zusätzlich zu den in Abbildung 29 dargestellten Angebotsparametern wurde in der Widerstandsfunktion auch ein Komfortfaktor berücksichtigt. Dafür wurden die aus der SP-Befragung 2004 ermittelten Komfortparameter für die Verkehrsmittel Tram und Bus verglichen und ein zusätzlicher Malusfaktor von 0,12 mal Fahrzeit für das Verkehrsmittel Bus eingeführt. Eine weitere Differenzierung der Komfortparameter auf die Zugkategorien hat keine bedeutenden Verbesserungen der Umlegungsergebnisse gebracht.

Abbildung 29 VISUM Parameter für die ÖV-Umlegung

Parameter Umlegungsverfahren: Fahrplanfein 3

Basis | Suche | Wahl | Widerstand | Splitverfahren | Kenngrössenmatrizen

Widerstand = * ERZ + * Fahrpreis +
 * DeltaT(früh) + * DeltaT(spät)

empf. Reisezeit ERZ [min] = * Fahrzeit im Fzg * [min] +
 * Zugangszeit [min] +
 * Abgangszeit [min] +
 * Gehzeit [min] +
 * Startwartezeit [min] +
 * Umsteigewartezeit [min] +
 * Umsteigehäufigkeit [-] +
 *

Startwartezeit [min] = * Zeit / BDH Max.

Umsteigewartezeit [min] = Summe (einzelne Umsteigewartezeiten Max.)

DeltaT [min] = ABS(Wunschabfahrtszeit - tatsächliche Abfahrtszeit)
 Verbindungen mit DeltaT > 0 berücksichtigen, wenn Verb. mit DeltaT = 0 existiert

DeltaT(früh) [min] = DeltaT, falls tatsächliche Abfahrtszeit < Wunschabfahrtszeit, sonst = 0
DeltaT(spät) [min] = DeltaT, falls tatsächliche Abfahrtszeit > Wunschabfahrtszeit, sonst = 0

Umlegungsergebnisse

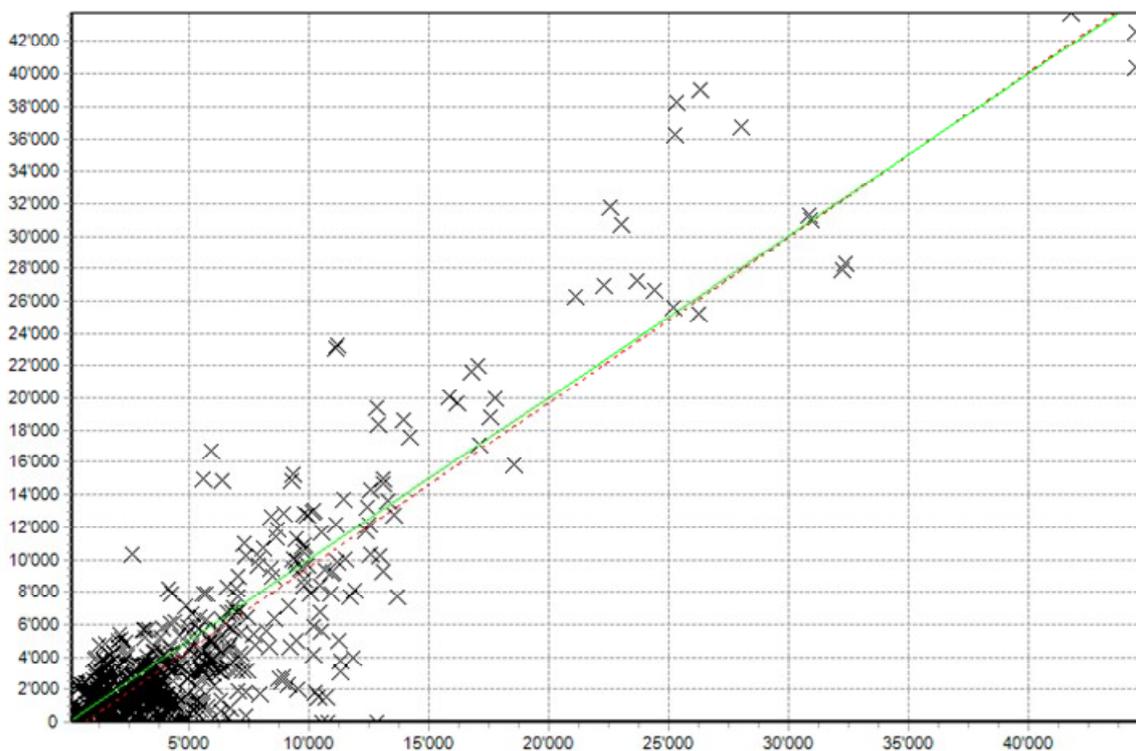
Die Quelle-Ziel-Matrizen für die Umlegung und Ermittlung von Netzbelastungen werden aus je zwei Teilmatrizen erstellt:

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

Die aus dem Nationalen Verkehrsmodell filtrierte Aussenströme mussten in einem ersten Schritt auf die GVM Zonierung disaggregiert werden. Dies wurde 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 Kalibrierung auf die Querschnittszählungen nur die Binnenverkehrsmatrix aus VISEVA berücksichtigt bzw. verändert werden.

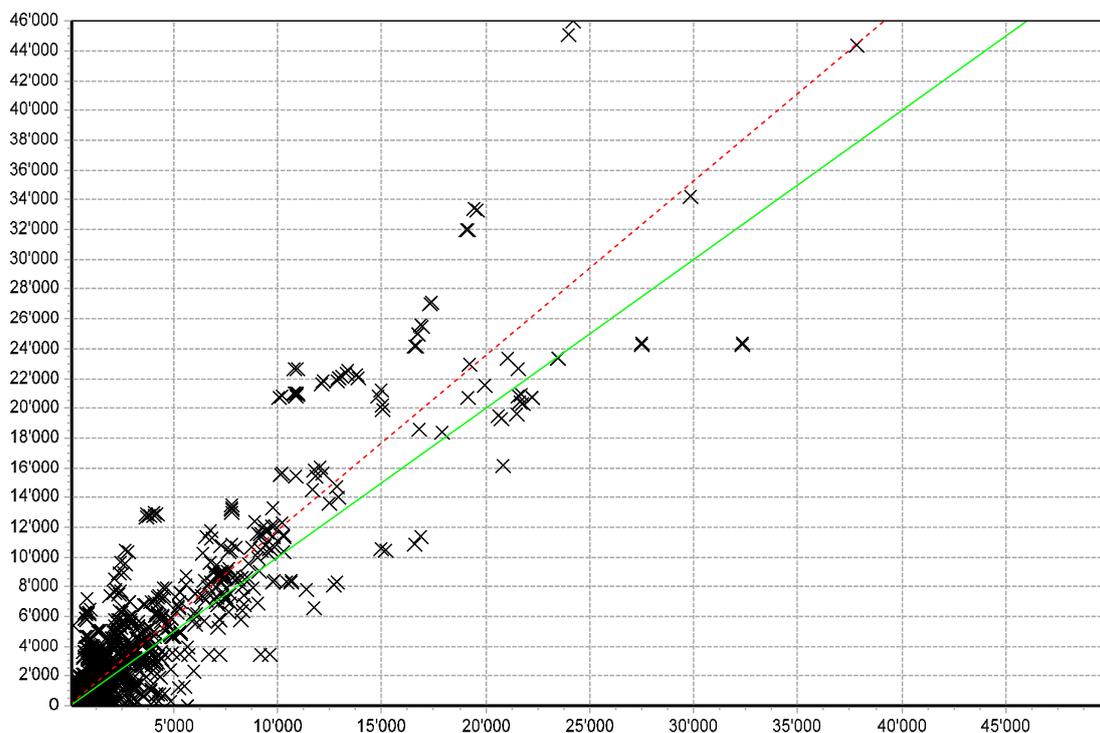
Der Vergleich der Modellbelastungen mit den Zählwerten im MIV ist in Abbildung 30 dargestellt. In dieser Abbildung ist zu sehen, dass die Abweichungen zwischen Modellbelastung und Querschnittszählungen relativ klein sind.

Abbildung 30 Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell und Zählung – MIV (ohne Kalibrierung)



Eine ähnliche Qualität weisen auch die ÖV-Matrizen auf. Der Vergleich der ermittelten Modellbelastungen mit den Querschnittszählungen ist in Abbildung 31 dargestellt. Hier ist zu beachten, dass die verwendeten Zähldaten noch nicht validiert sind. Bei den Querschnitten mit höheren Differenzen müssen darum zuerst die Zähldaten auf Konsistenz überprüft werden. Aus dem Vergleich der Modellbelastungen mit den Querschnittszählungen der Strecken, kann ein R^2 von 0.82 (MIV) bzw. 0.88 (ÖV) und ein Korrelationskoeffizient von 0.91 (MIV) bzw. 0.94 (ÖV) erreicht werden. Dies stellt ein gutes Ergebnis dar. Durch die anschliessende Plausibilisierung und Modellkalibrierung werden diese Differenzen weiter minimiert. Hier müssen vor allem das Routenwahlverhalten und die Netzattribute weiter überprüft werden.

Abbildung 31 Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell und Zählung – ÖV (ohne Kalibrierung)



In den folgenden Abbildungen werden die ermittelten Umlegungsergebnisse (MIV: Abbildung 32 bis 34, ÖV: Abbildung 46 bis 49) sowie der Vergleich mit den Querschnittszählungen (MIV: Abbildung 35 bis 45, ÖV: Abbildung 50 bis 55) dargestellt. Die Strecken mit gelben Balken sind diejenigen, für die ein Zählwert vorhanden ist. Die Balkenbreite entspricht dem Verkehrsaufkommen der Strecke. Der Anteil der roten bzw. grünen Balken einer Strecke beschreibt die relativen Abweichungen zwischen Modellbelastung und Zähldaten.

Auf gelben Strecken ohne zusätzliche rote oder grüne Striche sind Modellbelastungen und Zählwerte gleich, d.h. es gibt keine Abweichung.

Die Abbildungen zeigen ein sehr plausibles Ergebnis, vor allem da es sich hier um eine nicht auf die Querschnittszählungen kalibrierte Matrix handelt. Es ist zu sehen, dass die Nachfrageverteilung im MIV und ÖV korrekt abgebildet wurde. Die ermittelten Netzbelastungen entsprechen den Verhältnissen, die aus Erhebungen bekannt sind. Durch die etwas gröbere Zonierung in den Städten Fribourg oder Spiez sind die Netzbelastungen auf den Korridoren Freiburg-Bern und Spiez-Thun-Bern höher als die gezählten Querschnittsbelastungen. Damit wird gezeigt, dass mit dem erstellten Modell und den ermittelten Quelle-Ziel-Matrizen die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage der Realität entsprechend abgebildet worden sind und kein grundlegender Fehler im Modellaufbau vorhanden ist.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Abweichungen einer modellmässig erstellten und auf die Querschnittszählungen nicht kalibrierten Matrix in der Regel deutlich grösser sind, als die hier ermittelten Abweichungen. Die höhere Genauigkeit ist vor allem auf eine sehr detaillierte Segmentierung des Modells, durch die Bildung von Quelle-Ziel-Gruppen und die dementsprechend genau erstellten Erzeugungs-, Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle zurückzuführen. Mit den durchgeführten Modellschätzungen werden die räumliche und modale Konkurrenz und damit auch die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsströme angemessen abgebildet. Dies wurde durch die Überprüfung und Eichung der Reiseweiteverteilung nochmals optimiert. Damit kann festgestellt werden, dass die erstellte Modellstruktur das Verkehrsverhalten sehr gut widerspiegelt.

MIV-Modellbelastungen

Abbildung 32 Umlegungsergebnisse: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung; Gesamtansicht)

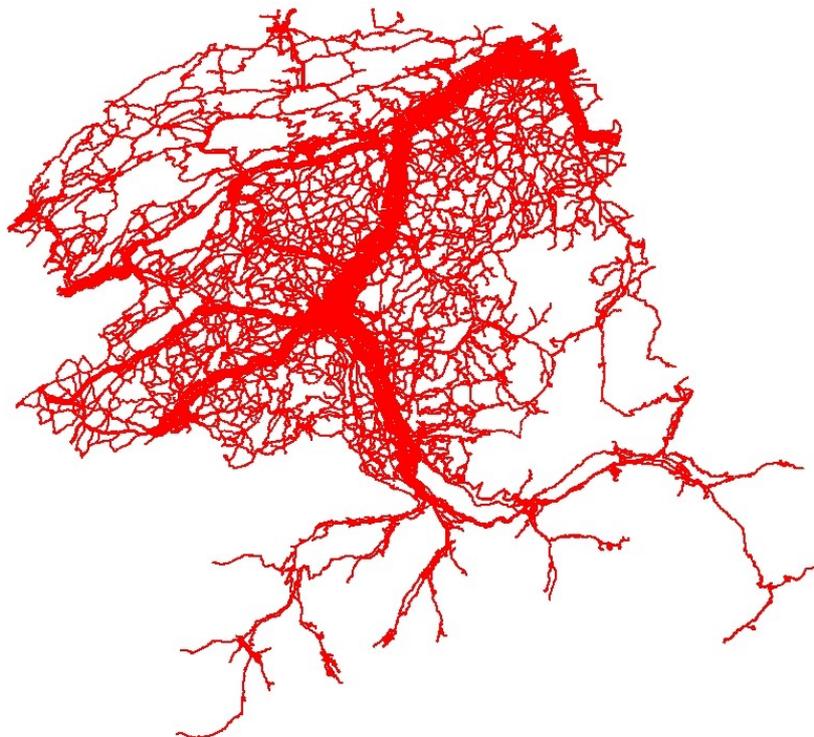


Abbildung 33 Umlegungsergebnisse: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung)

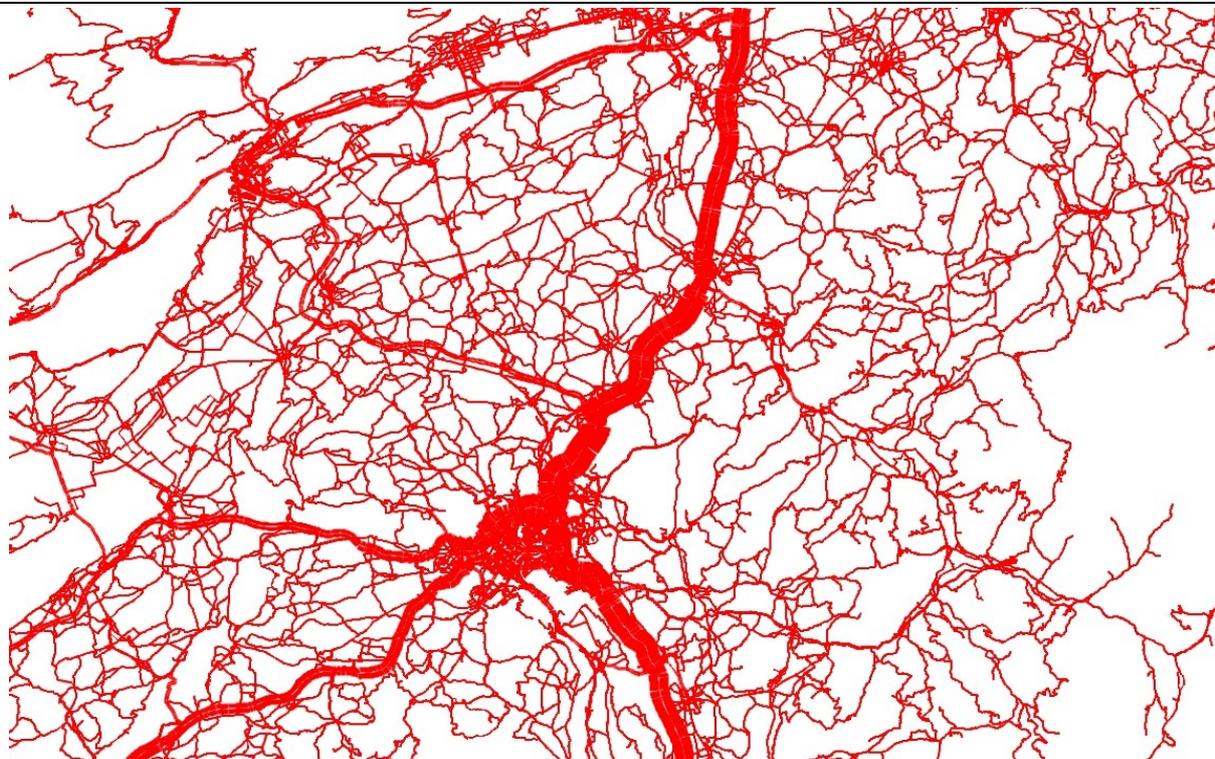


Abbildung 34 Umlegungsergebnisse: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung; Stadt Bern)

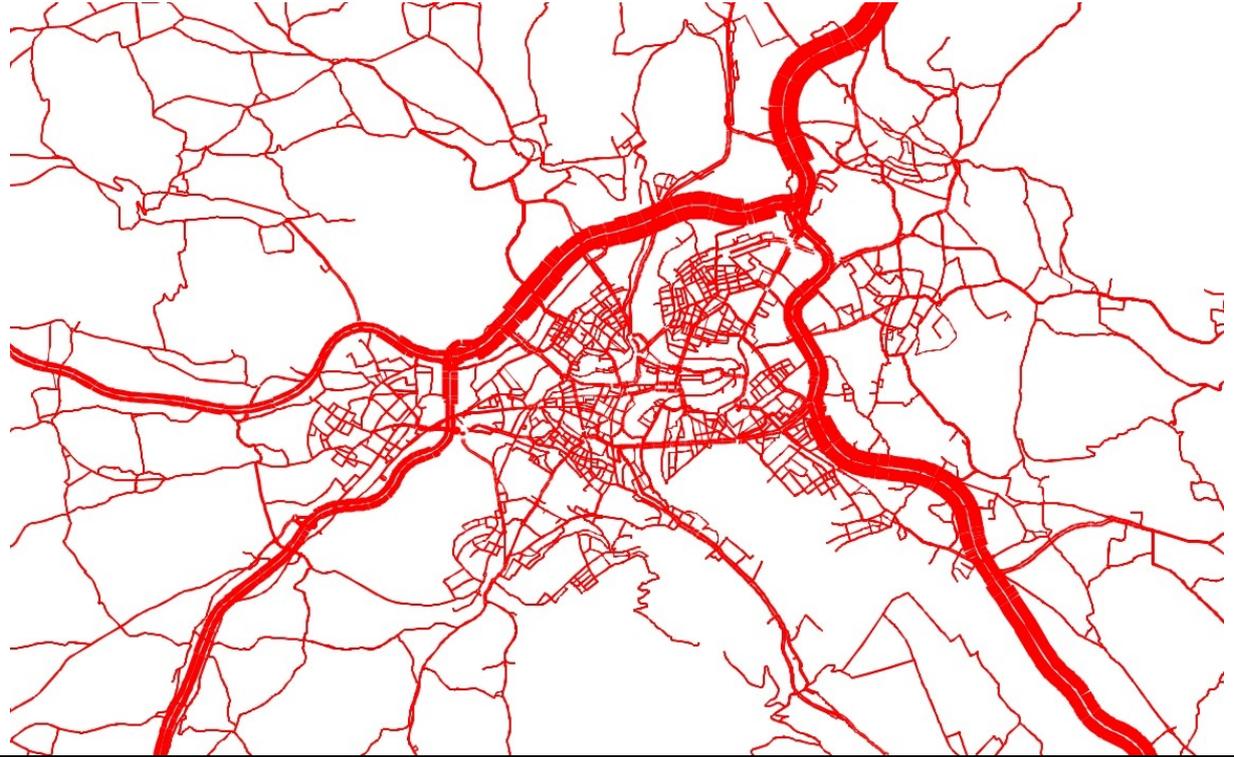
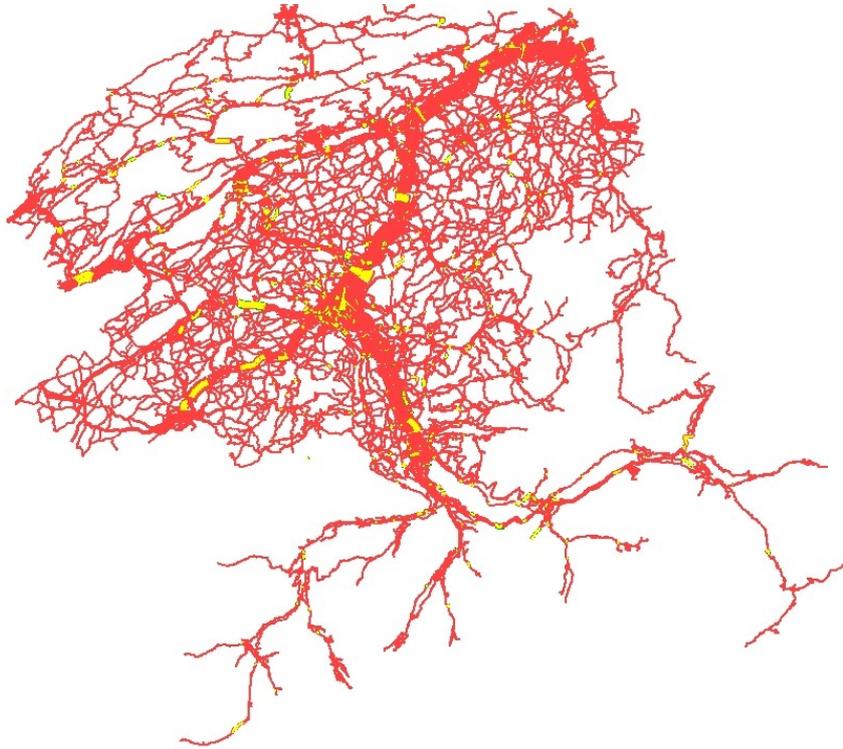
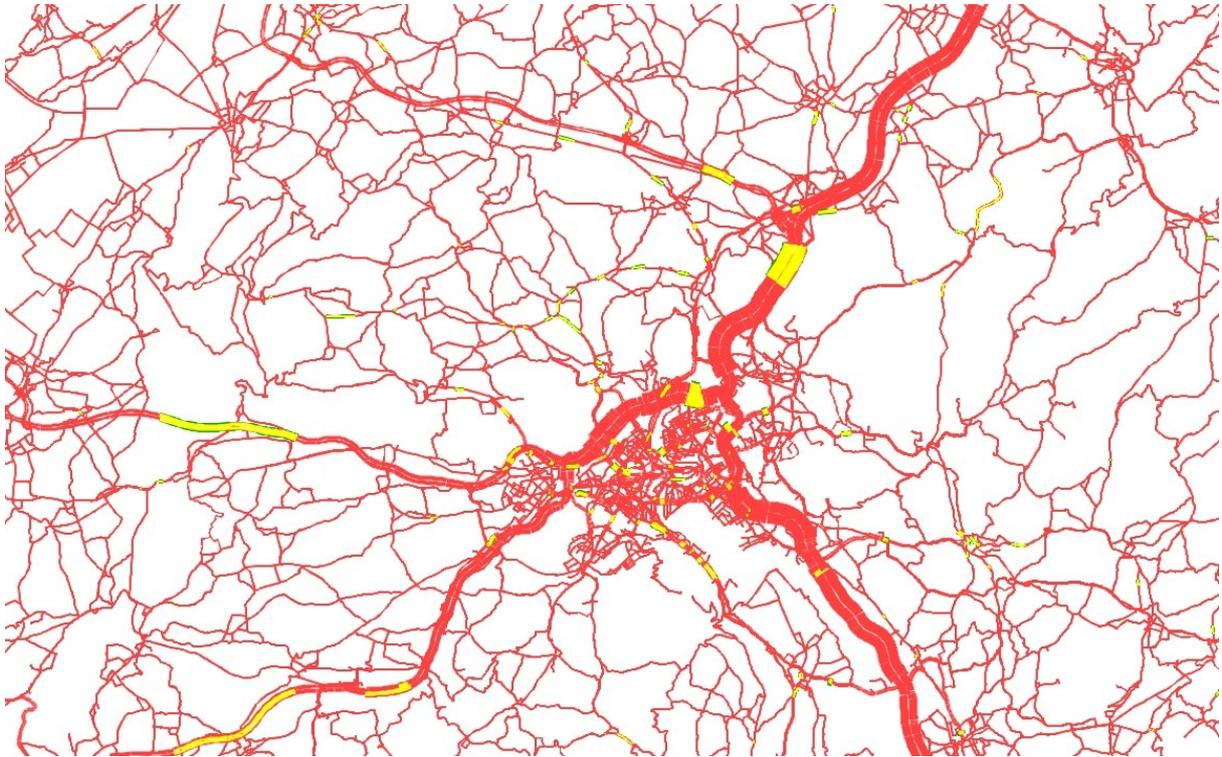


Abbildung 35 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Modellgebiet Gesamtansicht)



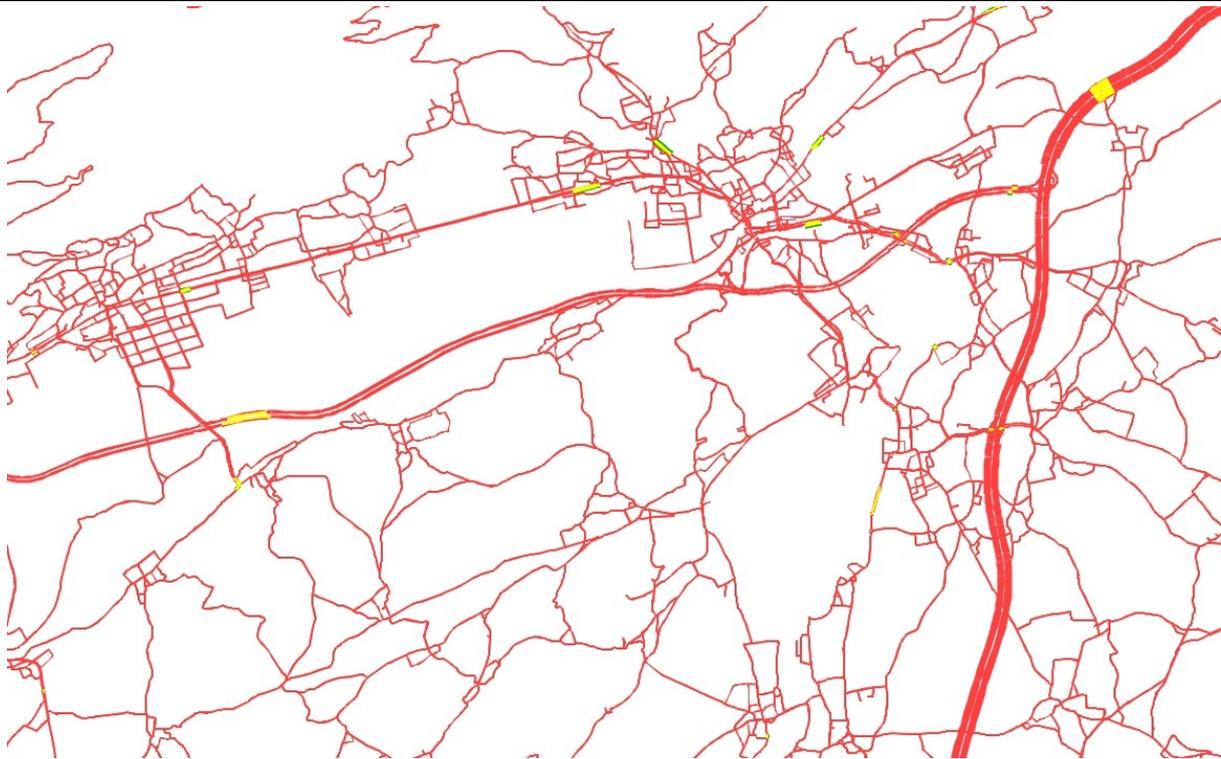
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 36 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Stadt Bern mit Umland)



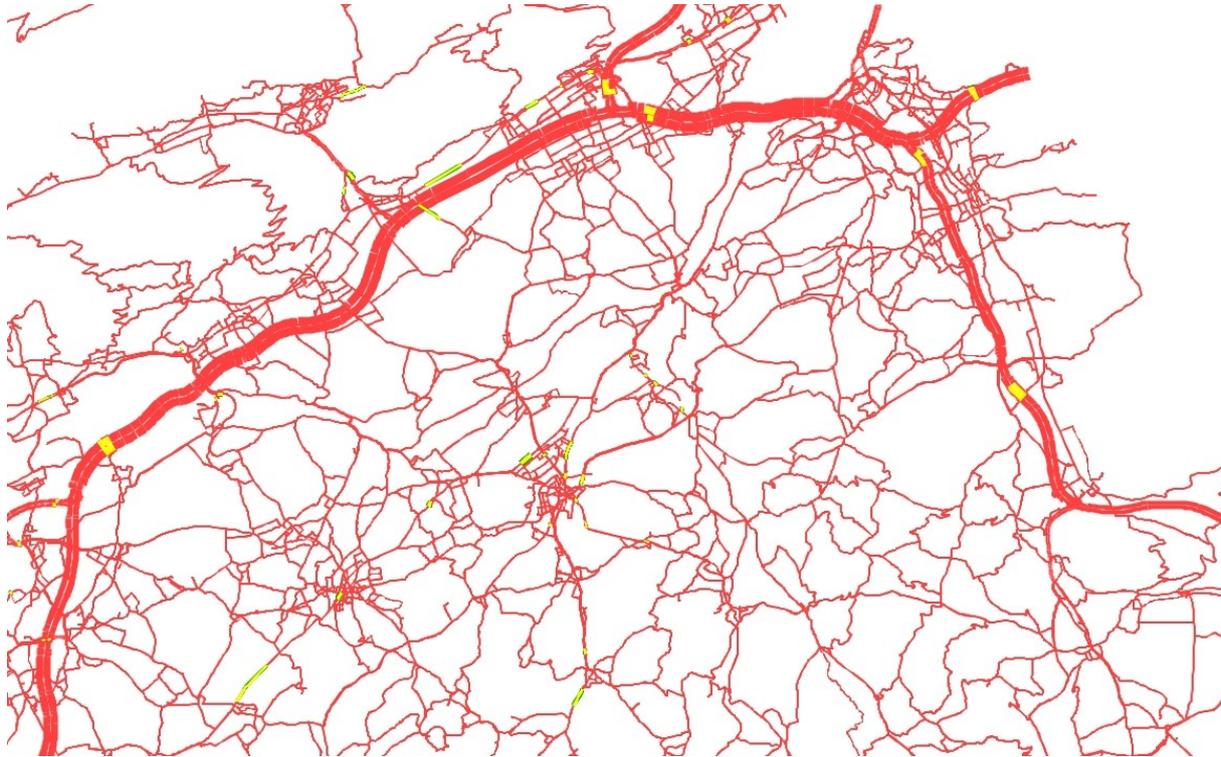
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 37 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Solothurn-Kriegstetten)



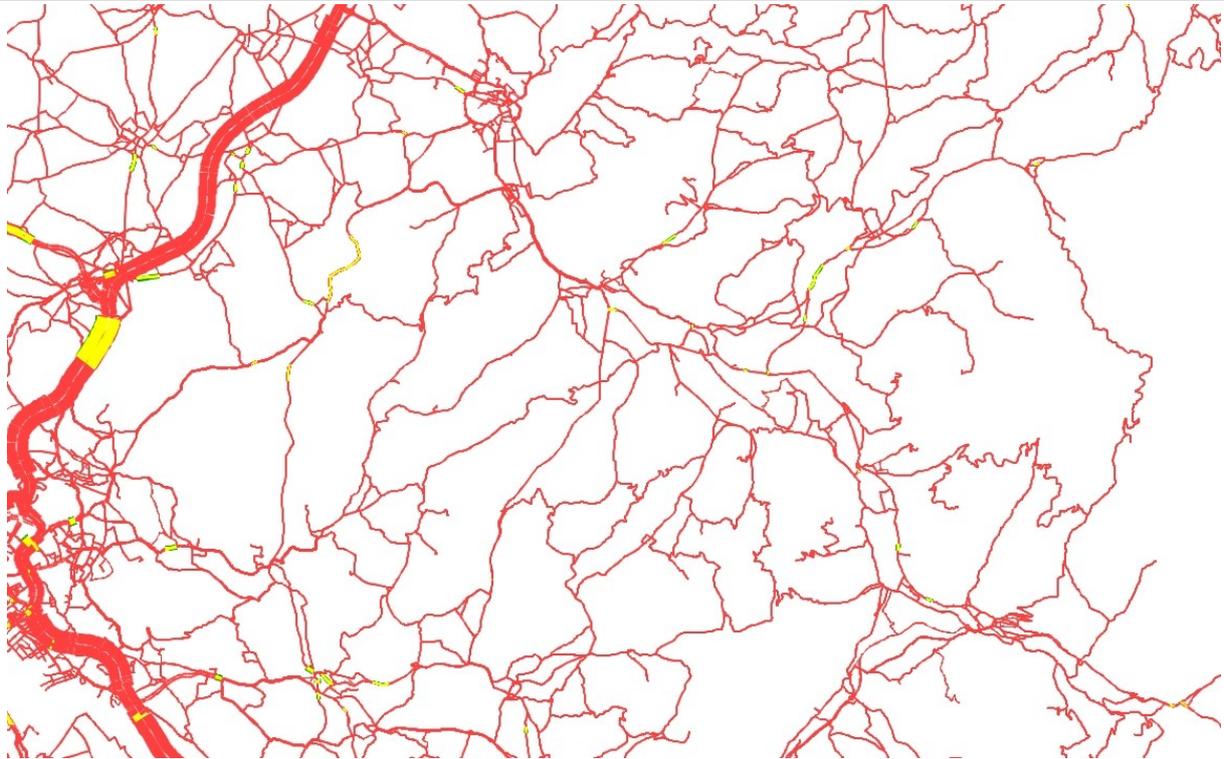
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 38 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Herzogenbuchsee-Langenthal)



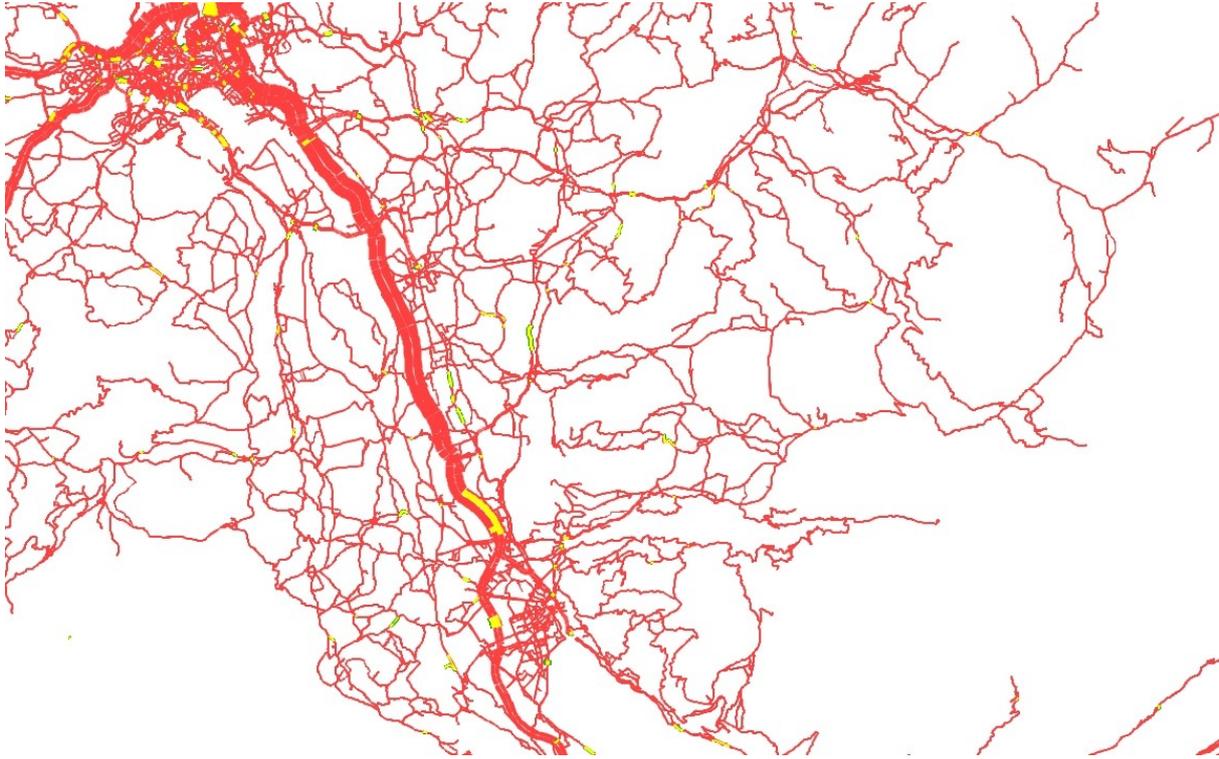
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 39 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Bern-Burgdorf, Langnau)



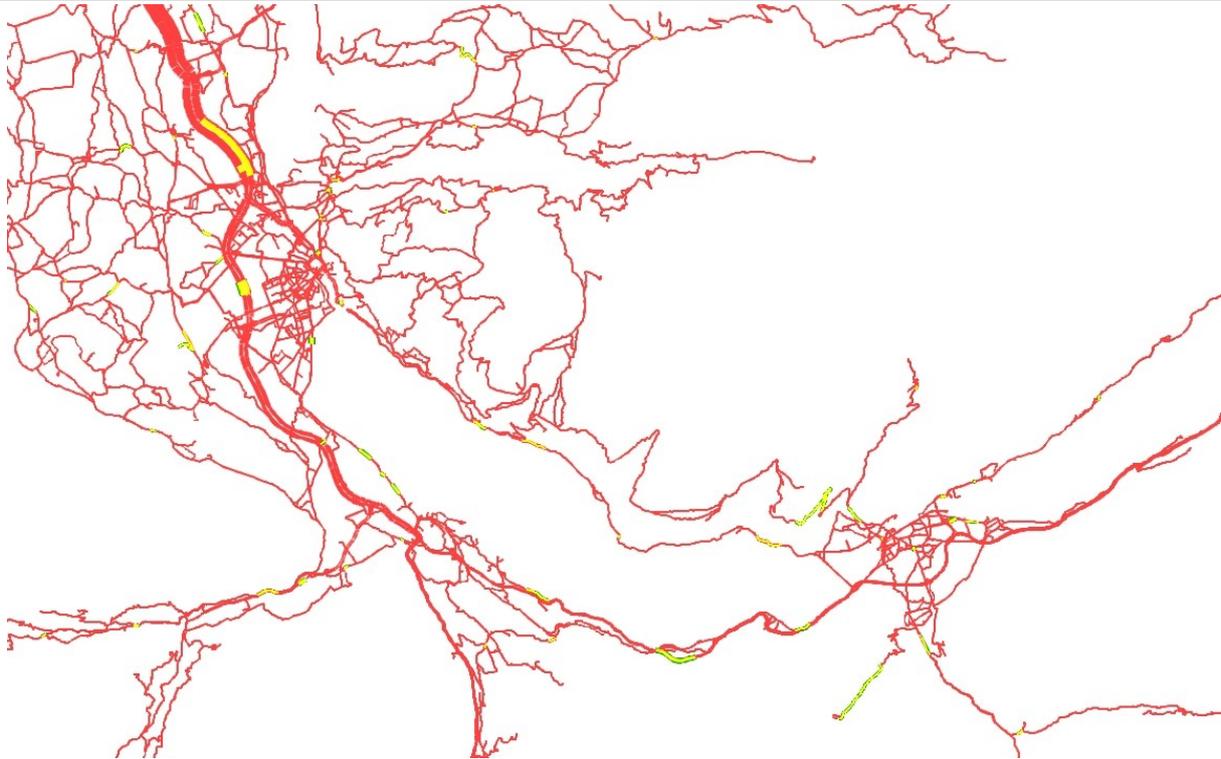
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 40 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Bern-Thun)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 41 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Bern-Thun-Interlaken)



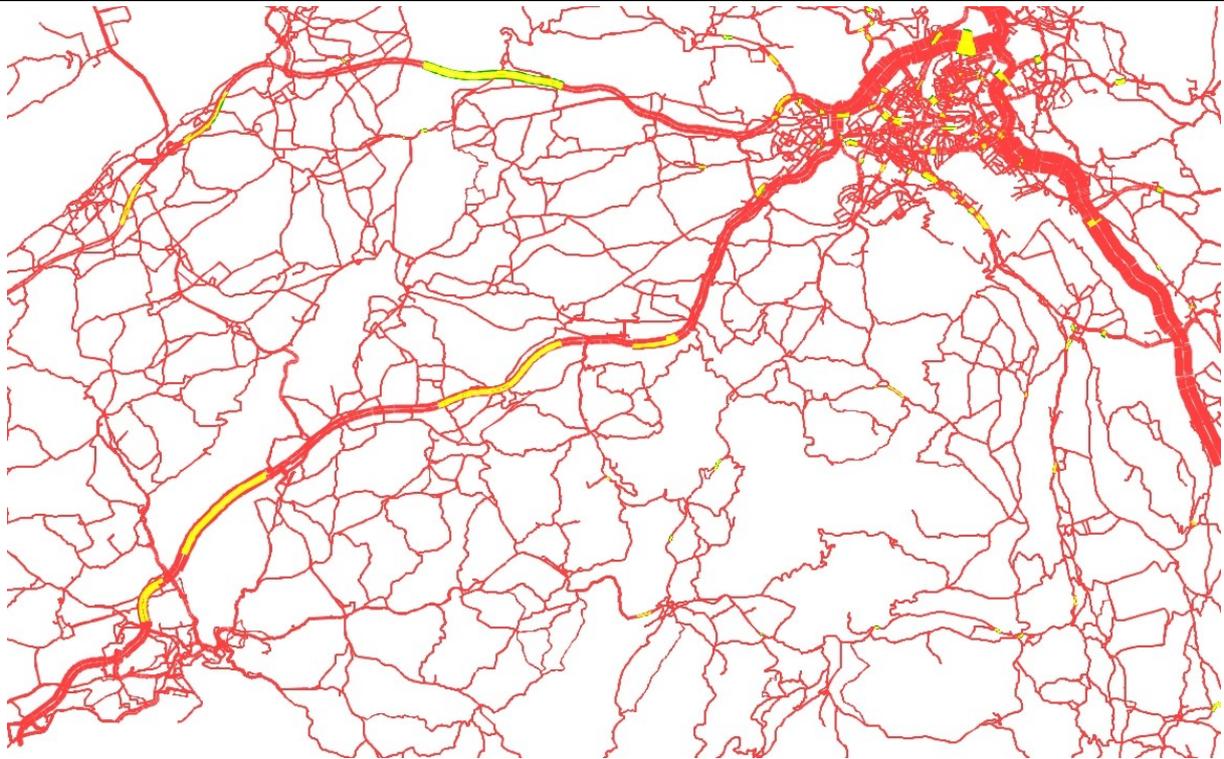
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 42 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Bern-Murten-Lyss)



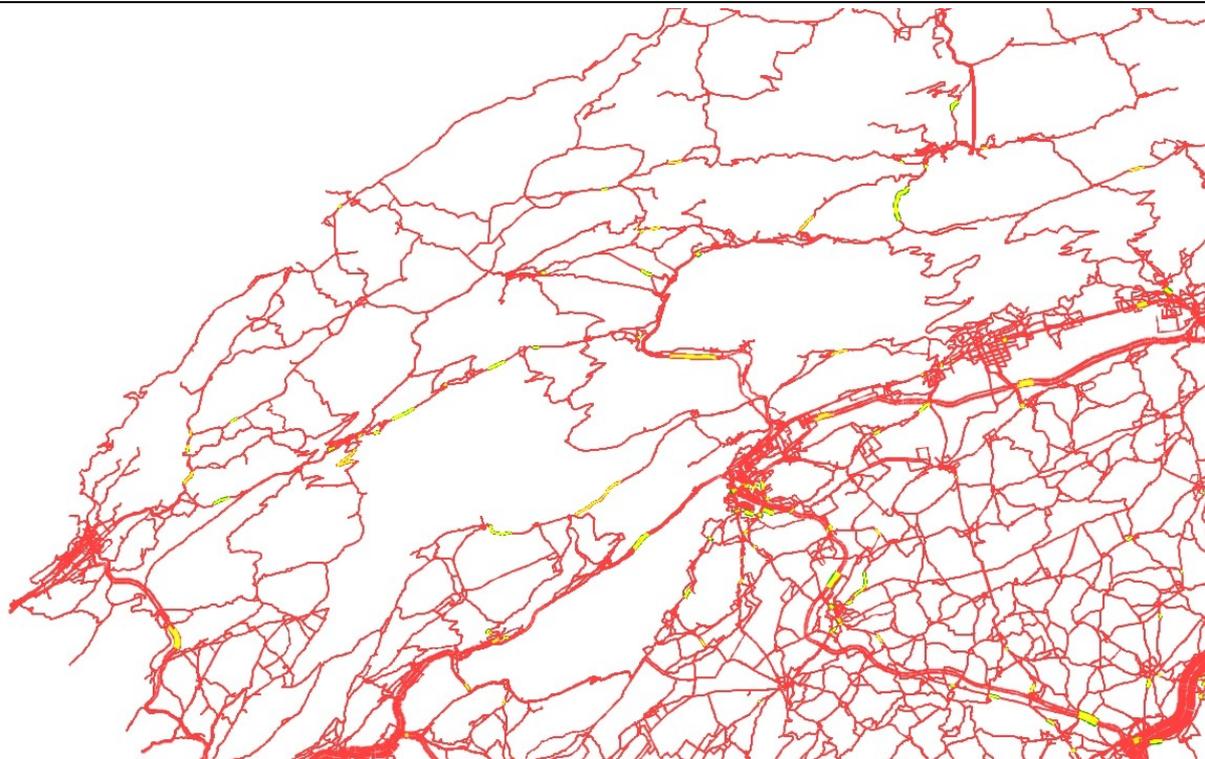
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 43 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Bern-Neuchatel-Fribourg)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 44 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Solthurn-Biel-Neuchatel-Schönbühl)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 45 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibrierung, Stadt Bern)

gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

ÖV-Modellbelastungen

Abbildung 46 Umlegungsergebnisse: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung; Gesamtansicht)



Abbildung 47 Umlegungsergebnisse: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung; Gesamtansicht)

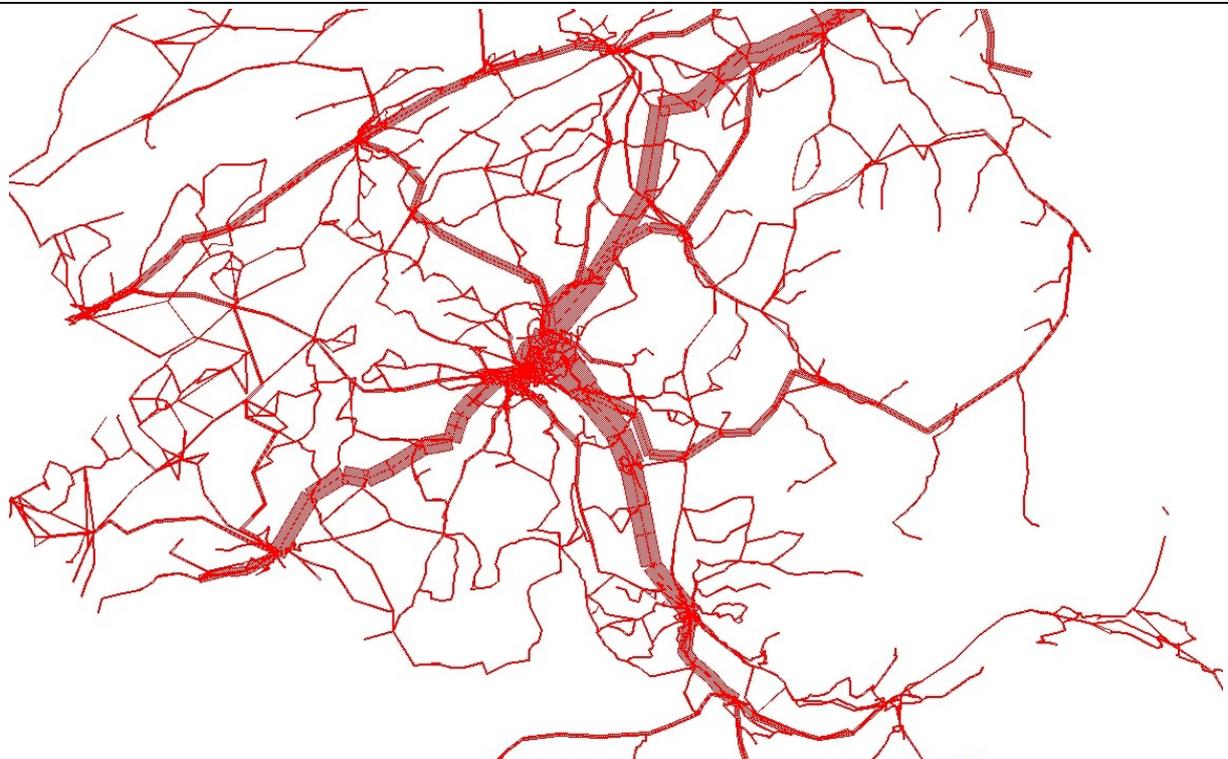


Abbildung 48 Umlegungsergebnisse: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung; Region Bern)



Abbildung 49 Umlegungsergebnisse: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung; Stadt Bern)

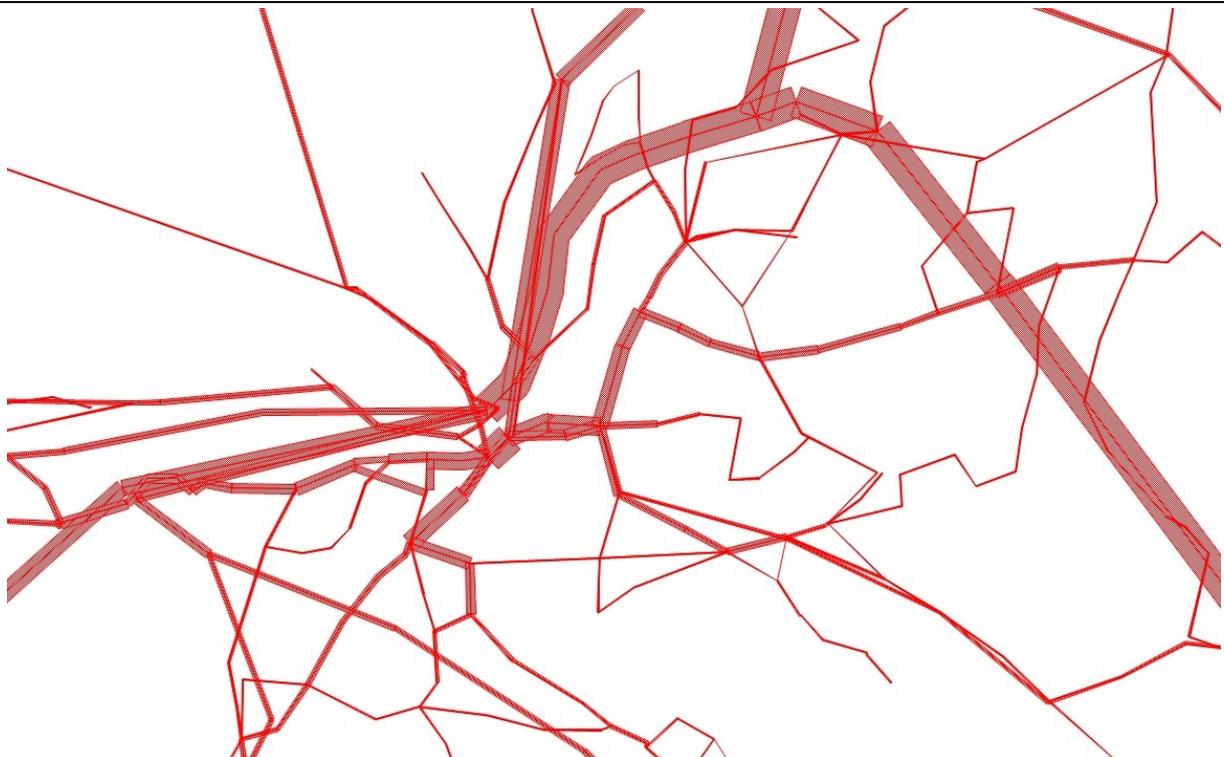
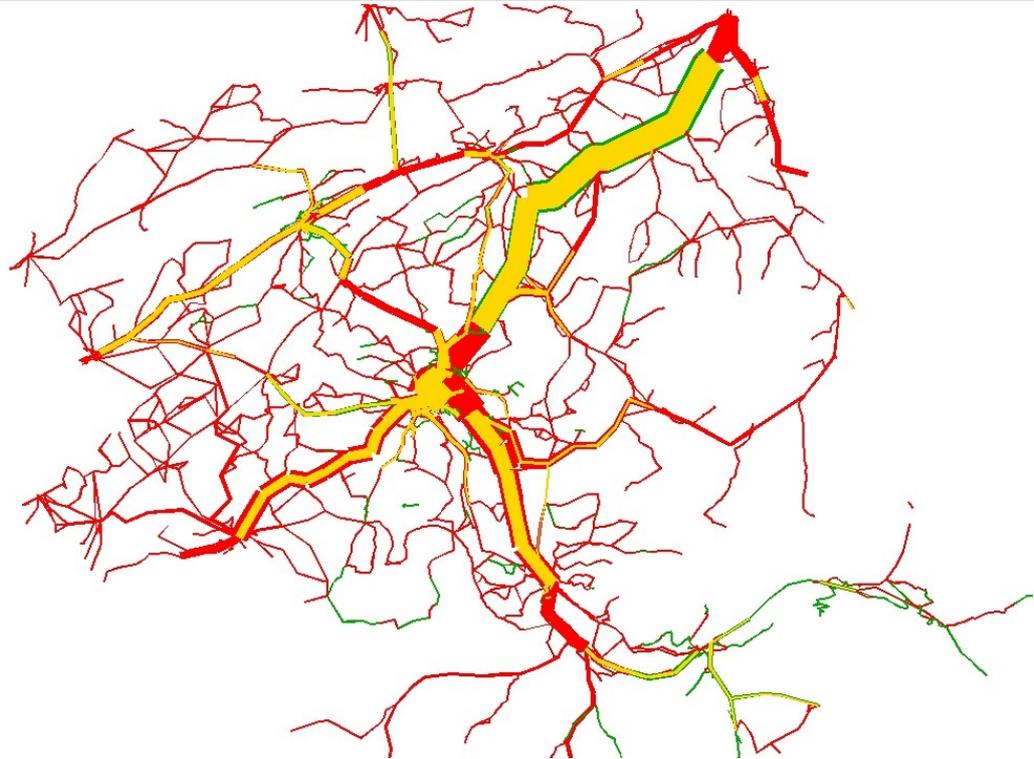


Abbildung 50 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung, Modellgebiet Gesamtansicht)



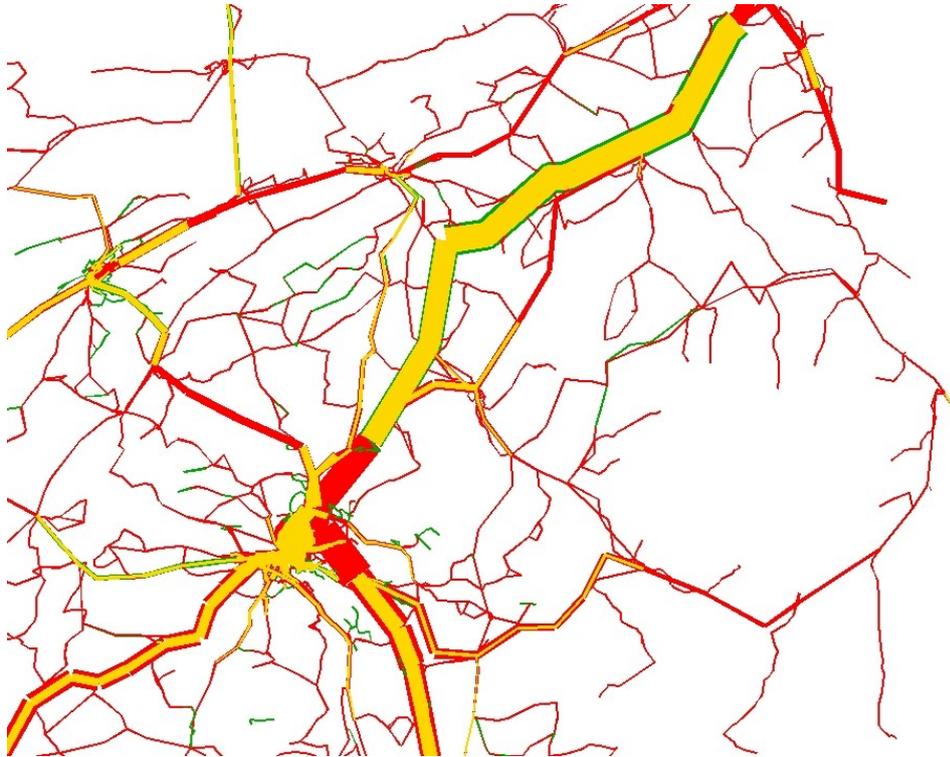
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 51 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung, Bern-Neuchatel-Biel-Solothurn)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 52 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung, Olten-Biel-Bern)



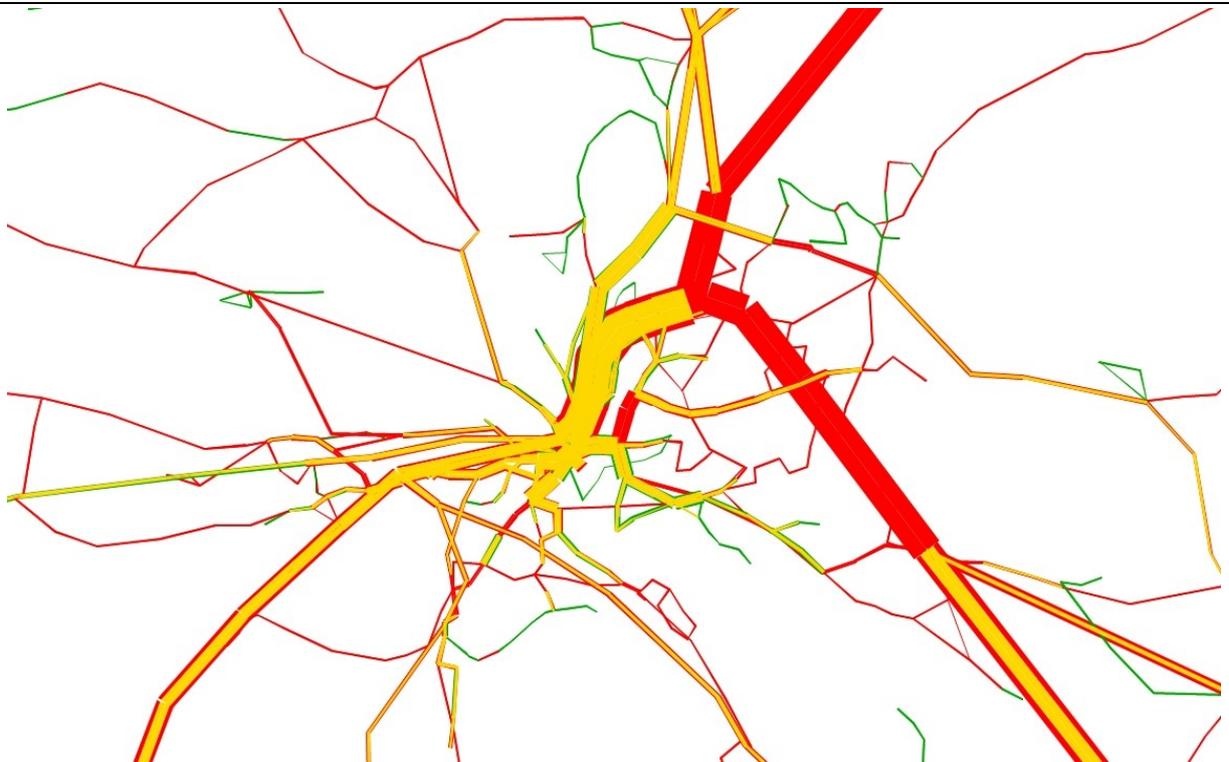
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 53 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung, Fribourg-Bern-Thun)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 54 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung, Stad Bern mit Umland)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

Abbildung 55 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibrierung, Stadt Bern)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden

10 Kalibrierung der Quelle-Zielmatrizen auf die Querschnittszählungen (DWV)

10.1 Methodik der Kalibrierung

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

Die unplausiblen und vor allem mit anderen Querschnitten inkonsistenten Zählstellen wurden bei der Kalibrierung der Matrix nicht berücksichtigt. Ein Teil der unsicheren Zähldaten wurde bei der Analyse der Umlegungsergebnisse berücksichtigt, bei der Kalibrierung der Matrix aber ausgeschlossen (d.h. auf diesen Querschnitten wurde die Matrix nicht auf die Zählwerte kalibriert). Durch die Filtrierung der unplausiblen Zähldaten wurde eine Korrektur und „Verfälschung“ der Quelle-Ziel-Matrix verhindert. Zu diesem Zweck musste vor allem mit der BVE eine mehrfache Plausibilisierung der Daten durchgeführt werden.

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

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

Bei der Erarbeitung des GVM Bern hat sich die Fehlersuche vor allem auf die Korrektur der ersten beiden Faktoren konzentriert: Verkehrsangebot und Zonenanbindungen. Es hat sich gezeigt, dass vor allem Netzattribute mit einigen Fehlern verbunden sind.

Die Korrektur dieser Fehler verursachte einen sehr grossen Zeitaufwand. Die Angebotsfehler wurden sowohl durch Fehler bei den V_0 , der Anzahl der Spuren, den Abbiegeverboten oder Einbahnstrassen als auch durch Fehler bei der Zuordnung der Linien zu bestimmten Strecken oder bei den Fahrt-, Halte- und Abfahrtszeiten verursacht. Dies führte zu einem Fehler im

Routenwahlverhalten und damit zu unplausiblen Streckenbelastungen. Durch die Analyse der Netzbelastungen und den Vergleich mit Zähldaten konnten diese Fehler identifiziert und korrigiert werden.

Die Anbindungen und Anbindungsanteile sind vor allem für die kleinräumige Routenwahl und die Belastung von Sammel- und Erschliessungsstrassen bzw. ÖV-Haltestellen wichtig. Die Anbindungsanteile wurden, wie im vorherigen Kapitel schon beschrieben, aus der räumlichen Verteilung der Einwohner und Arbeitsplätze sowie den Angebotscharakteristiken berechnet. Dabei hat sich gezeigt, dass eine manuelle Überprüfung und Korrektur bei bestimmten Zonen notwendig ist. Im MIV wurden alle Zonen über die fixen Anbindungsanteile angebunden. Im ÖV führen die fixen Anbindungsanteile in Abhängigkeit vom ÖV-Angebot an der Haltestelle teilweise zu fehlerhaftem Routenwahlverhalten. Dieser Fall kommt vor allem an den Haltestellen mit asymmetrischer Angebotsdichte nach Richtungen vor. Weiterhin verlangt die Umlegung mit prozentualen Anbindungsanteilen sehr grossen Speicherbedarf. Aus diesem Grund konnten im ÖV nicht alle Zonen mit fixen Anbindungsanteilen angebunden werden. Die Anbindungsanteile wurden nur bei den Zonen verwendet, bei denen sonst ohne fixe Anbindungsanteile ein eindeutiger Fehler bei der Haltestellenwahl festzustellen war.

Eine weitere Reduktion der Abweichungen gegenüber den Zähldaten wurde durch die Berücksichtigung des Komfortfaktors erreicht. Es hat sich auch in diesem Projekt gezeigt, dass eine unterschiedliche Bewertung zwischen Bussen und anderen, schienengebundenen Verkehrsmitteln notwendig ist. Dafür wurde, wie im vorherigen Kapitel schon erwähnt, für die Busse ein zusätzlicher Malusfaktor von 0.12 mal der Fahrzeit berücksichtigt. Dies bedeutet, dass die Fahrzeit mit dem Verkehrsmittel Bus 12% schlechter bewertet wird als mit anderen Verkehrsmitteln.

Für die Validierung der Modellergebnisse hat die Dichte und Qualität der Zähldaten eine zentrale Bedeutung. Neben der Anzahl von Zählstellen bzw. ihrer Dichte ist hier vor allem die Konsistenz der erhobenen Querschnittsbelastungen wichtig. Beim GVM Bern war vor allem der zweite Punkt kritisch, d.h. die Konsistenz der erhobenen Querschnittsbelastungen war teilweise unbefriedigend. Es hat sich gezeigt, dass sowohl im ÖV als auch im MIV bestimmte Zählwerte bei der Modellkalibrierung ausgeschlossen werden müssen. Im MIV liegt die Ursache vor allem bei der unterschiedlichen Erhebungsmethodik einzelner Datenquellen sowie der Streckenzuordnung einzelner Zählstellen. Im ÖV musste vor allem die Vollständigkeit der Querschnittsbelastungen, z.B. unvollständige Zählwerte für den Fernverkehr, als auch die Zuordnung der Linienbelastungen zu den Strecken überprüft werden. Bei 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, wurde auf die Anwendung von automatischen Kalibrierungsverfahren verzichtet. Die Differenzen zwischen den Umlegungsergebnissen und den Querschnittszählungen wurden 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 waren, war ersichtlich, auf welchen Querschnitten die Matrix geeicht werden musste. 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 wie z.B. Modalsplit Anteile zwischen einzelnen Quelle-Ziel-Beziehungen vorhanden sind. Diese Abweichungen lassen sich aber durch die hier verwendeten manuellen Kalibrierungsverfahren sehr plausibel korrigieren.

Daran anschliessend wurde zur Korrektur der vorhandenen Differenzen zwischen den Umlegungsbelastungen und den Zählwerten eine Spinnenanalyse der einzelnen Querschnitte durchgeführt. Aus der Analyse der Verkehrsstromverteilung und dem Vergleich der Abweichungen auf anderen Zählstellen über die die Spinnenströme verlaufen, ist es möglich zu bestimmen, welche Ströme unter- bzw. überschätzt sind. Bei einer korrekten Matrixstruktur sollten, wie vorher bereits erwähnt wurde, durch die Korrektur aller über den Querschnitt fahrenden Ströme die Abweichungen auf anderen Querschnitten nicht erhöht werden. Wäre dies der Fall, dürften nur die Teilströme korrigiert werden.

Das folgende Vorgehen wurde bei der Kalibrierung angewendet: Für die Querschnitte mit Abweichungen wurde eine Spinnenmatrix erstellt und entsprechend der Differenz zwischen der Umlegungsbelastung und dem Zählwert korrigiert. Welche Ströme korrigiert werden sollten und mit welchem Korrekturfaktor dies geschehen sollte, wurde aus den Abweichungen am betrachteten Querschnitt und aus der Stromverteilung der betroffenen Zählstellen ermittelt.

10.2 Ergebnisse der Kalibrierung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Kalibrierung sowie die dadurch ermittelten Veränderungen der Matrix und der Querschnittsbelastungen dargestellt. Dafür wurden die nachstehenden Auswertungen der kalibrierten bzw. endgültigen Matrizen durchgeführt:

- Eckwerte der einzelnen Matrizen und Reiseweiteverteilungen vor (Viseva-Ausgangsmatrix) und nach der Kalibrierung
- Netzbelastungen und Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen
- Die Analyse der Quelle-Ziel-Ströme bzw. die Spinnenanalyse auf einzelnen Querschnitten

Eckwerte der einzelnen Matrizen und Reiseweiteverteilung

Kalibriert wurde die gesamte Matrix ohne Unterscheidung des Fahrtzwecks. Aus der kalibrierten Matrix wurden dann in einem weiteren Schritt die Matrizen nach Fahrtzweck berechnet. Die Fahrtzweckanteile einer Quelle-Ziel-Beziehung wurden aus der Ausgangsmatrix beibehalten. Die Eckwerte der Ausgangsmatrix sowie der kalibrierten Matrix sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34 Veränderung der Quelle-Ziel-Matrix vor und nach der Kalibrierung

Binnen- und Aussenströme (Modellgebiet)	Ausgangsmatrix	nach Kalibrierung	Veränderung
		In Wegen	
MIV (PW-Fahrten)	2'660'265	2'594'424	- 2.5%
ÖV (Personenwege)	987'226	835'566	- 15.4%

Wie in Tabelle 34 zu sehen ist, wurde die ÖV-Matrix um 15.4% und die MIV-Matrix um 2.5% gegenüber der erstellten Ausgangsmatrix reduziert. Die Veränderungen im MIV sind vor allem auf die Feinkorrektur der Streckenbelastungen auf lokalen Strecken zurückzuführen. Im ÖV waren die Korridore Bern-Thun und Bern-Freiburg in der Ausgangsmatrix etwas überschätzt und mussten dementsprechend korrigiert werden. Die Überschätzungen sind vor allem auf stärkere Unterschiede bei der Benutzung des ÖV-Angebots zwischen den Korridoren zurückzuführen.

Die gesamte Anzahl an Wegen sowie die berechneten Personenkilometer und die mittlere Reiseweite der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrix nach Fahrtzwecken sind in Tabelle 35 dargestellt. Die darin dargestellten Kenngrößen wurden aus der Summe der Binnenverkehrsmatrix und der Aussenströme berechnet. Durch die Berücksichtigung der Aussenströme aus dem nationalen Modell haben sich die mittleren Reiseweiten einzelner Fahrtzwecke gegenüber der Binnenmatrix aus VISEVA etwas verändert, jedoch nicht in bedeutendem Mass. Dabei muss

aber beachtet werden, dass die Wegelänge der Aussenströme unvollständig ist bzw. nur innerhalb des Modellgebiets berücksichtigt wird.

Tabelle 35 Personenfahrten und Personenkilometer der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrix (Binnen- und Aussenströme)

Binnen- und Aussenströme	Personen Wege (Wege / Tag)	Personen-km (Pkm / Tag)	mittlere Reiseweite (km)
MIV-Matrix			
Arbeit	1'243'811	12'435'160	10,0
Ausbildung	75'267	982'497	13,1
Nutzfahrt	259'603	4'499'142	17,3
Einkauf	729'893	5'044'875	6,9
Freizeit	1'284'551	18'992'167	14,8
Summe	3'593'124	41'953'841	11,7
ÖV-Matrix			
Arbeit	292'393	4'651'478	15,9
Ausbildung	146'360	2'377'588	16,2
Nutzfahrt	34'638	1'242'231	35,9
Einkauf	117'704	679'245	5,8
Freizeit	244'471	5'521'100	22,6
Summe	835'566	14'471'643	17,3

Zur Berechnung der PW-Fahrten für das MIV-Modell wurden die in der Tabelle 36 dargestellten Besetzungsgrade (Mikrozensus 2005) verwendet. Die daraus berechneten Fahrzeugfahrten und Fahrzeugkilometer für das betrachtete Modellgebiet sind ebenfalls in dieser Tabelle dargestellt. Die Tabelle zeigt, dass im Modellgebiet ca. 2.6 Mio. PW-Fahrten und ca. 30 Mio. PW-Kilometer pro Tag erzeugt werden.

Tabelle 36 Verkehrsaufkommen, Verkehrsleistung und Fahrleistung im MIV

Fahrtzweck	Besetzungsgrad (Personen / PW)	Personenwege	PW-Fahrten	PW-Kilometer
Arbeit	1,10	1'243'811	1'125'335	11'250'681
Ausbildung	1,13	75'267	66'379	866'480
Nutzfahrt	1,13	259'603	229'313	3'974'197
Einkauf	1,66	729'893	439'368	3'036'823
Freizeit	1,75	1'284'551	734'029	10'852'667
Alle Zwecke	1,39	3'593'124	2'594'424	29'980'849

Die Fahrtzweckanteile in Bezug auf das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Verkehrsleistung des Aussenverkehrs nur ab der Modellgrenze und nicht als vollständiger Weg berechnet wird. Es ist festzustellen, dass im MIV die Pendler- und Freizeitwege dominierend sind (70% aller Wege). Bezogen auf die Personenkilometer ist der Anteil des Pendler- und Freizeitverkehrs mit 75% noch grösser. Ähnlich ist das Verhalten auch im ÖV: Der Anteil der Pendler- und Freizeitwege beträgt gegen 65% aller Wege, bezogen auf Personenkilometer machen diese beiden Zwecke sogar 70% aus. Der Anteil Freizeitwege von 29% bei Personenwegen erhöht sich auf 38% bei Personenkilometern. Diese Veränderungen werden sehr stark durch die Freizeitwege im Aussenverkehr verursacht. Andererseits wird der Anteil der Pendlerwege (Arbeit und Ausbildung) bei Personenkilometern gegenüber Personenwegen etwas reduziert.

Tabelle 37 Fahrtzweckanteile (in %) im Bezug auf die Personenfahrten und Personenkilometer der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrix

[%]	Personen-Wege	Personen-km
	MIV	
Arbeit	34,6	29,6
Ausbildung	2,1	2,3
Nutzfahrt	7,2	12,0
Einkauf	20,3	10,7
Freizeit	35,8	45,3
Summe	100,0	100,0
	ÖV	
Arbeit	35,0	32,1
Ausbildung	17,5	16,4
Nutzfahrt	4,1	4,7
Einkauf	14,1	8,6
Freizeit	29,3	38,2
Summe	100,0	100,0

Die Modal Split-Anteile zwischen MIV und ÖV (ohne Fuss- und Fahrradverkehr) der kalibrierten Matrix inklusive Aussenverkehr sind in folgender Tabelle dargestellt. Bezogen auf das Verkehrsaufkommen (Personenwege) beträgt der MIV-Anteil bei allen Fahrtzwecken ausser dem Ausbildungsverkehrs über 80%. Durch deutlich längere Freizeit-, Nutzfahrt- und Arbeitswege im ÖV (Aussenverkehr) steigt der ÖV-Anteil in Bezug auf die Personenkilometer gegenüber den Personenwegen von 19% auf 26%.

Die Kalibration im ÖV erfolgt auf die Streckenzählwerte. Eine Kalibration auf Linienzählwerte entspricht nicht dem Stand der Technik und ist im gegenständlichen Projekt nicht vorgesehen. Zusätzlich wären dafür teilweise weitere Datengrundlagen notwendig.

Tabelle 38 Modal Split-Anteile (in %) in Bezug auf die Personenfahrten und Personenkilometer der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrix

[%]	MIV	ÖV
	Personenwege	
Arbeit	81,0	19,0
Ausbildung	34,0	66,0
Nutzfahrt	88,2	11,8
Einkauf	86,1	13,9
Freizeit	84,0	16,0
Summe	81,1	18,9
	Personenkilometer	
Arbeit	72,8	27,2
Ausbildung	29,2	70,8
Nutzfahrt	78,4	21,6
Einkauf	88,1	11,9
Freizeit	77,5	22,5
Summe	74,4	25,6

Vergleich der Netzbelastungen mit den Querschnittszählungen

Die Umlegung der geeichten Quelle-Ziel-Matrix und der Vergleich der daraus ermittelten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen ist ein weiteres Kriterium um die Qualität der Quelle-Ziel-Matrix zu beurteilen. Für eine verlässliche Modellanwendung ist es neben einer realitätsentsprechenden Matrixstruktur wichtig, dass die Abweichungen gegenüber den Zählenden minimal sind und damit bei der Schätzung von Nachfrageauswirkungen die vollständige Verkehrsnachfrage betrachtet werden kann. Die folgende Tabelle 39 zeigt eine statistische Analyse der Modellbelastungen mit den Zählenden.

Tabelle 39 Statistische Analyse: Modellbelastungen und Zählenden

	MIV-Modell	ÖV-Modell
Anzahl Zählstellen	821	2'830
Mittlerer Zählwert	4'480	1'432
Mittlere relative Differenz	8,8%	10,3%
Mittlere absolute Differenz	395	145
Korrelationskoeffizient	0.994	0.997
R ²	0.988	0.993

Die mittlere relative Differenz von 8.8% für das MIV-Modell zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Streckenbelastungen mit den Zählenden. Dabei muss beachtet werden, dass in den Zählenden auch weniger plausible Querschnitte beibehalten wurden. Es wäre zu erwarten,

dass durch die Filtrierung von solchen Zählwerten die mittlere Differenz deutlich tiefer liegen würde. Bei den meisten Querschnitten mit verlässlichen Zählwerten liegen die Differenzen bei ca. 5%. Da die Zählwerte aus dauerhaften und temporären Zählungen zusammengesetzt wurden, konnten solche Inkonsistenzen nicht vermieden werden.

Im ÖV sind die relativen Differenzen zwischen Modellbelastungen und Zählwerten etwas höher als im MIV. Dafür sind zwei wesentliche Gründe festzustellen: Grössere Unplausibilitäten bei den Zählwerten und deutlich tiefere, absolute Werte, so dass dadurch die relativen Differenzen erhöht sind. Hier ist zu berücksichtigen, dass ein grosser Anteil der Strecken eine sehr kleine, absolute Belastung aufweist (Busstrecken) und dadurch die mittleren, relativen Abweichungen erhöht sind. Die Analyse der Abweichungen zeigt, dass auf mittel und stark belasteten Strecken die relativen Abweichungen kleiner als die hier ermittelten, mittleren Abweichungen sind. In solch einem Modell ist eine genauere Kalibrierung sehr schwer zu erreichen, da die absoluten Zahlen sehr klein sind und die Inkonsistenz zwischen den Strecken dadurch höher wird. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass bei den Zählwerten zwischen einzelnen Querschnitten manchmal Widersprüche vorhanden sind.

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 Zonen grösser 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.

Der Vergleich der Modellbelastungen (Gesamtmatrix mit Binnen- und Aussenströmen) mit den Zählwerten ist in Abbildung 56 und Abbildung 57 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass sowohl im MIV als auch im ÖV zwischen den Modellbelastungen und Zählwerten eine sehr gute Übereinstimmung erreicht wurde. Die räumliche Verteilung der Streckenbelastungen und die Abweichungen gegenüber den Zählwerten zwischen den Netzbelastungen mit kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen (Gesamtmatrix mit Binnen- und Aussenströmen) und den Querschnittszählungen sind in Abbildung 58 bis Abbildung 69 dargestellt. Es ist festzustellen, dass die relativen Abweichungen insgesamt nur gering sind. Sie betreffen vor allem Strecken mit lokaler

Bedeutung innerhalb der Zonen, bei denen die Nachfrageaufteilung auf die Haltestellen mit den Querschnittszählungen inkonsistent ist. Im MIV sind bemerkbare Differenzen an ein paar Querschnitten mit inkonsistenten Zähldaten festzustellen. Wie im vorherigen Kapitel schon erwähnt wurde, konnte eine weitere Minimierung der Abweichungen vor allem durch eine Erhöhung der Verlässlichkeit der Netzattribute und der Zähldaten erreicht werden.

Abbildung 56 Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell und Zählung - MIV

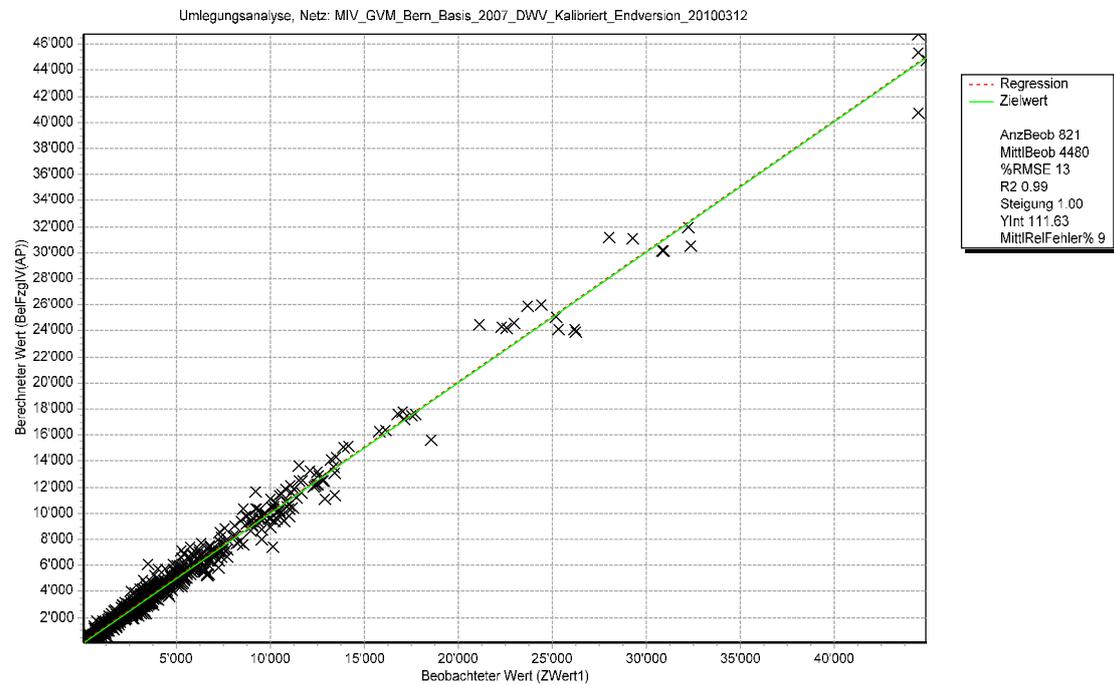


Abbildung 57 Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell und Zählung - ÖV

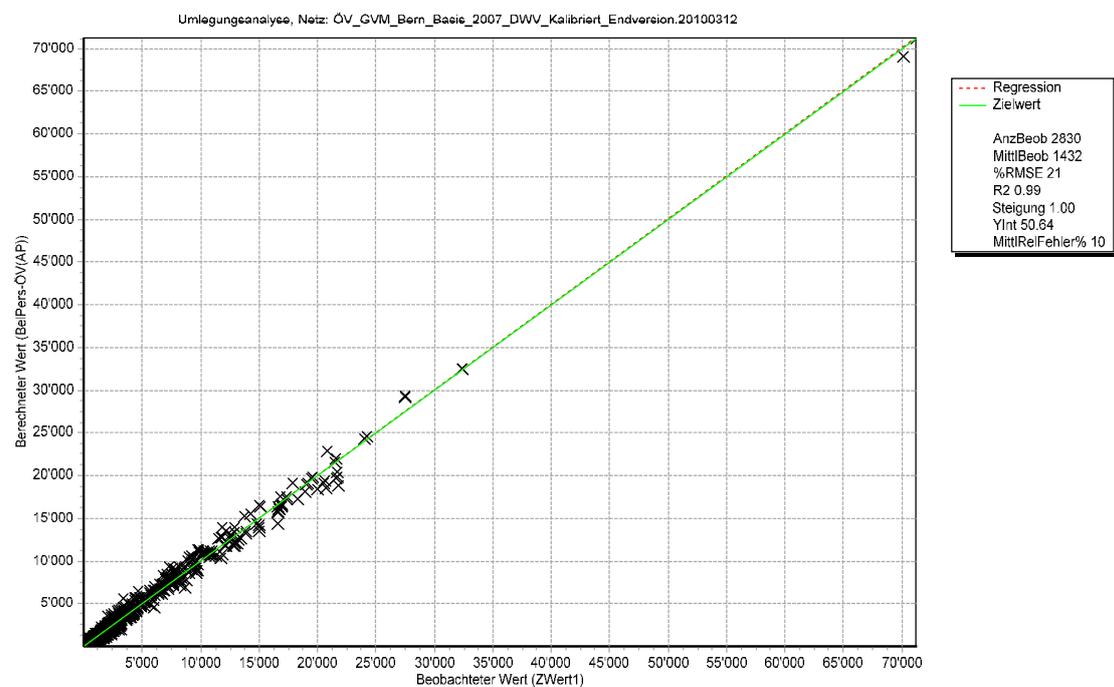
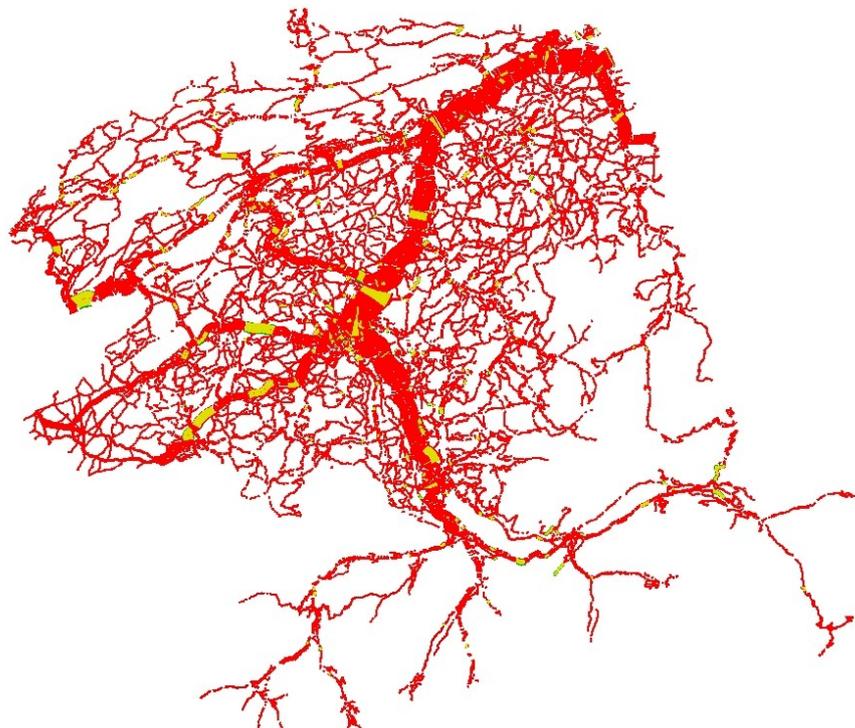
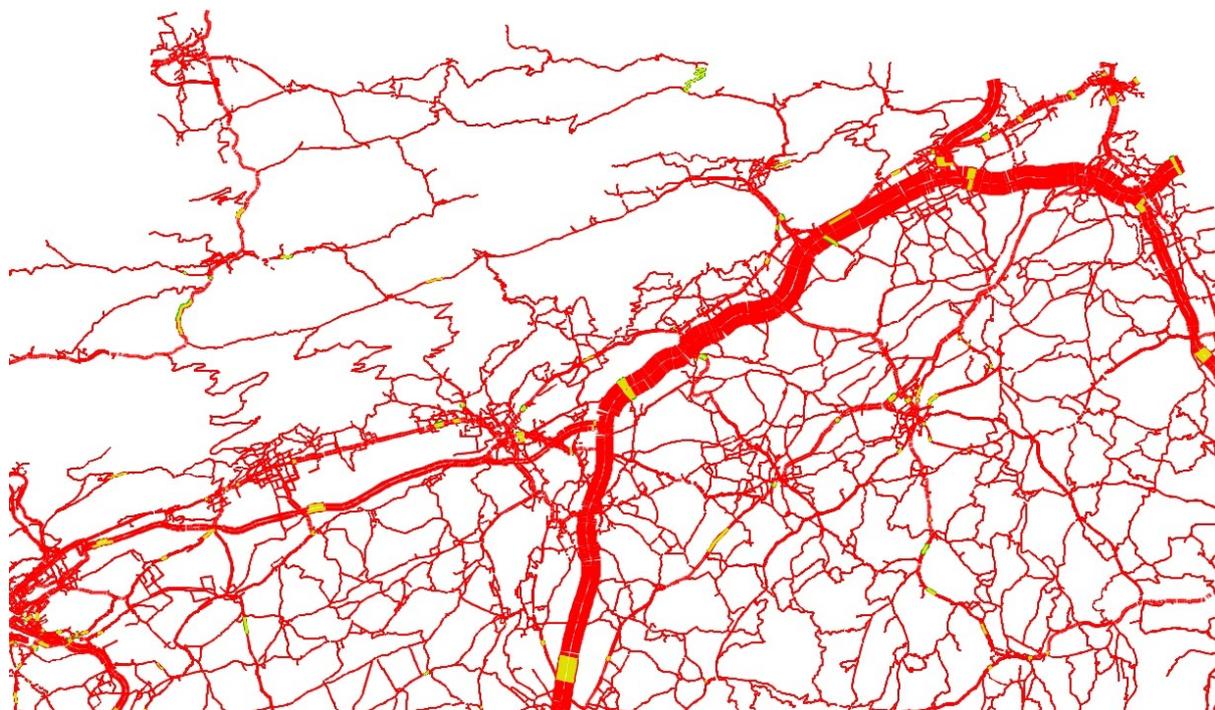


Abbildung 58 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Modellgebiet Gesamtansicht)



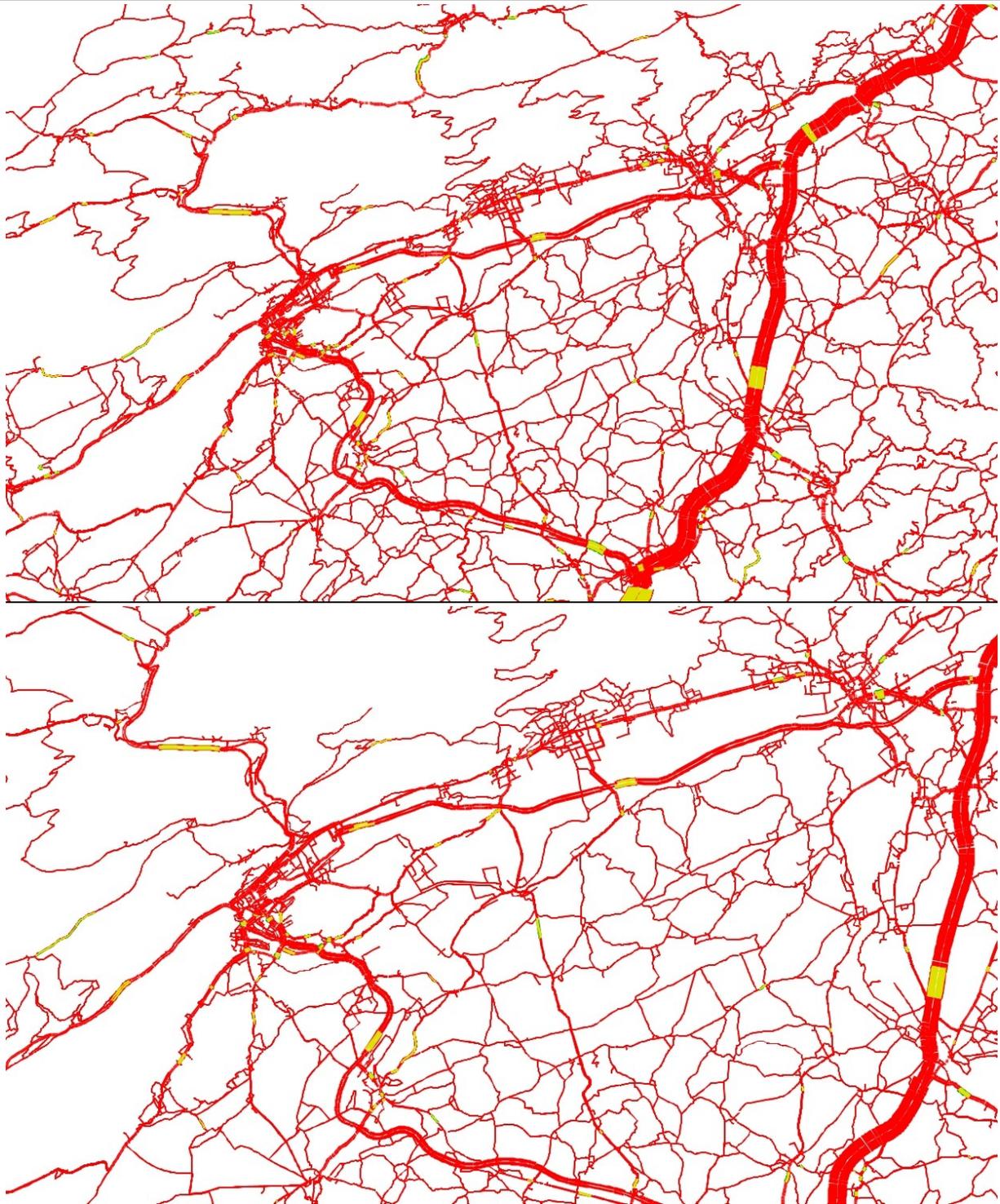
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

Abbildung 59 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Biel-Solothurn-Härkingen)



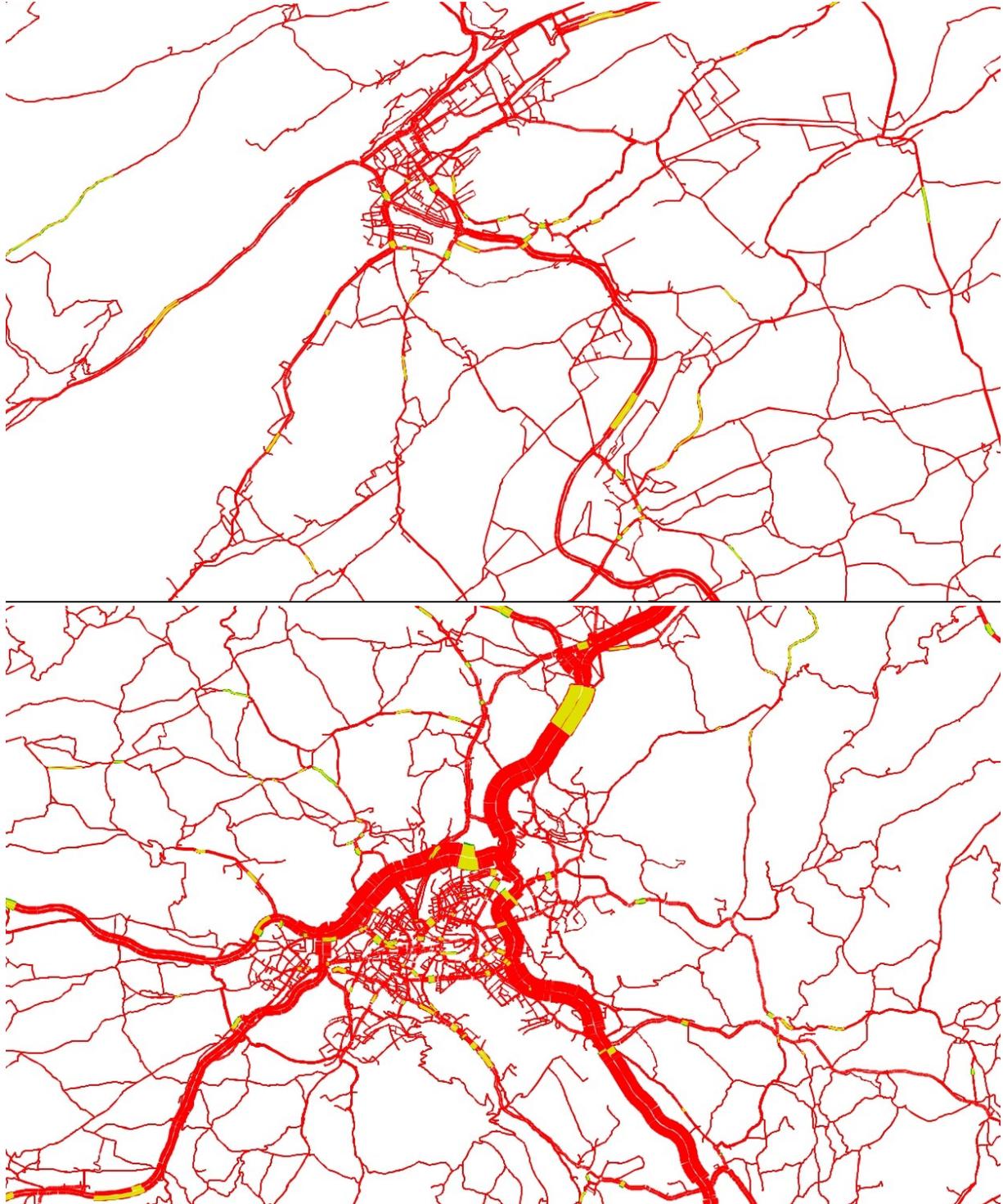
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

Abbildung 60 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Solothurn-Bern-Biel)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

Abbildung 61 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Biel-Lyss, Bern mit Umland)



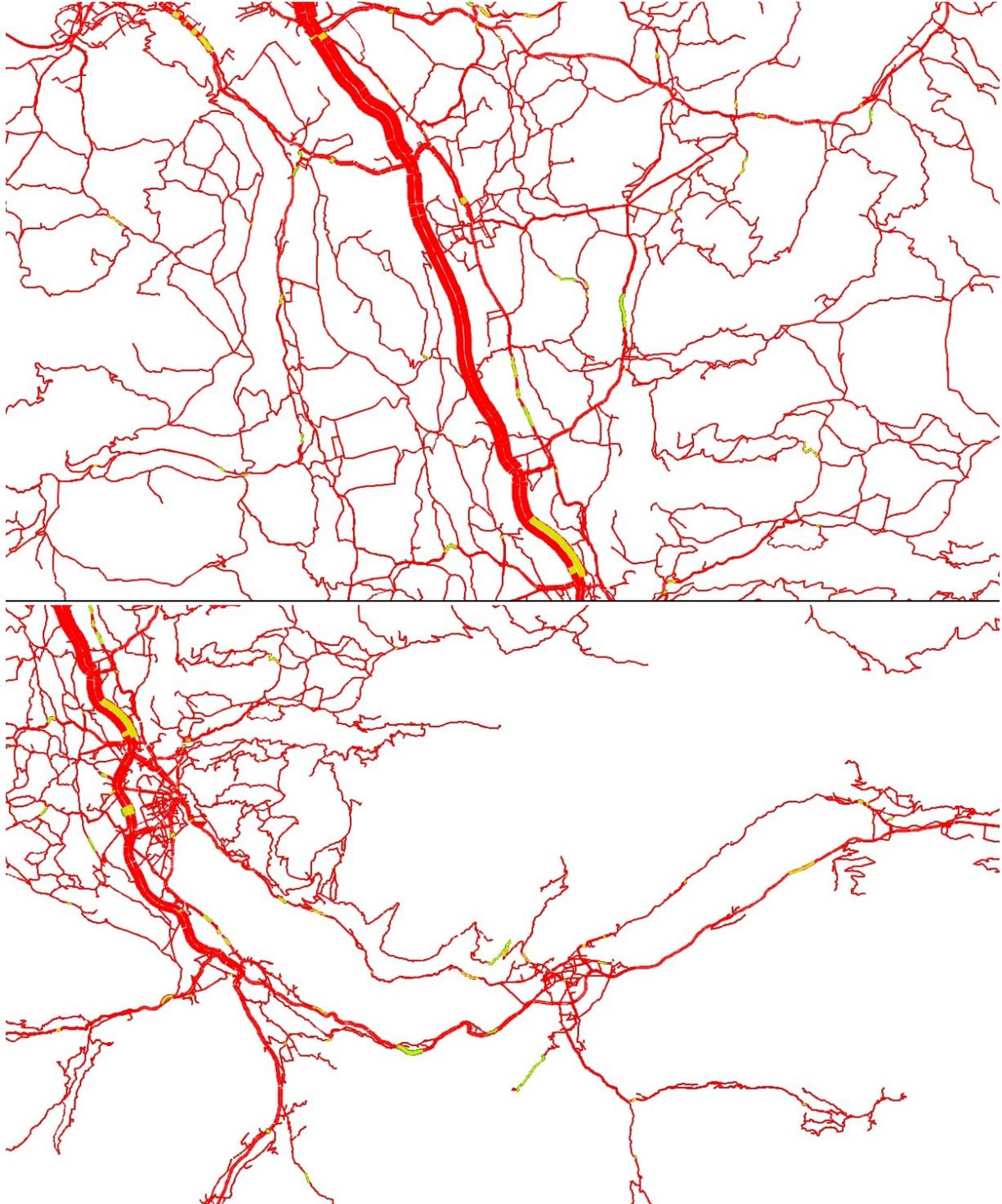
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

Abbildung 62 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Stadt Bern, Bern-Fribourg-Neuchatel)



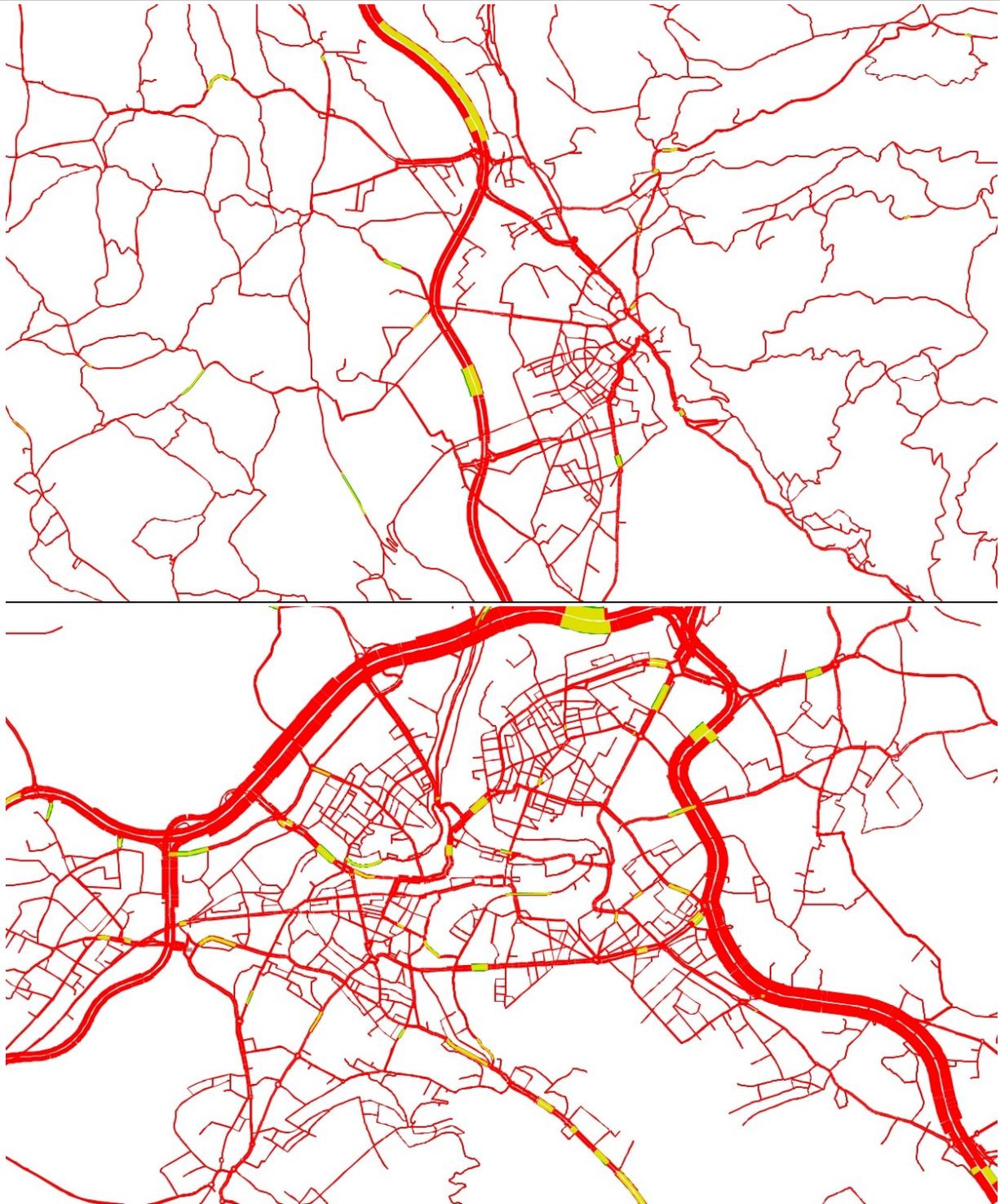
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

Abbildung 63 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Bern-Thun-Interlaken)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

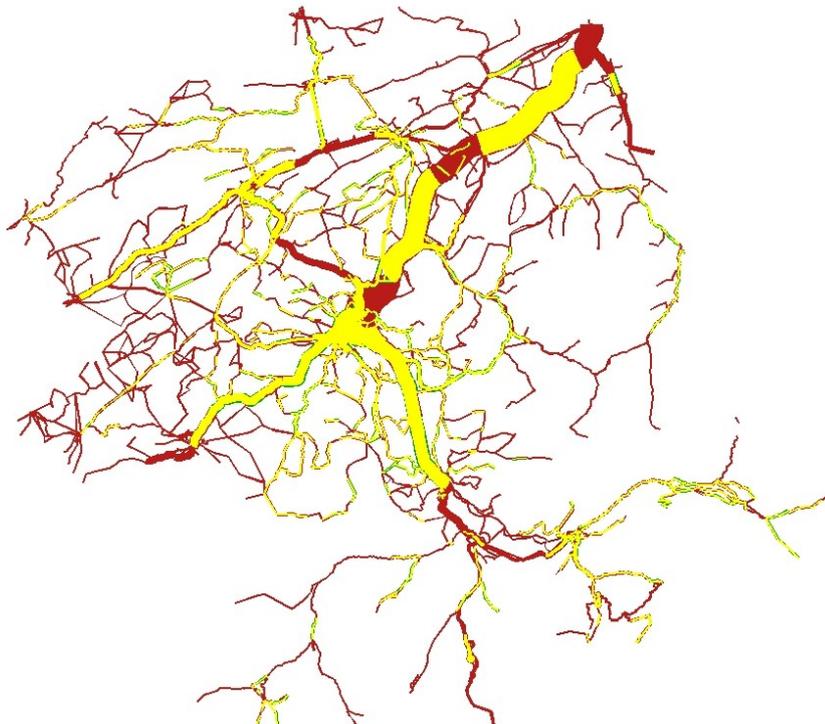
Abbildung 64 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Modell (Thun und Bern eingezoomt)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 PW /1 mm

ÖV-Modellbelastungen

Abbildung 65 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Modell (Modellgebiet Gesamtansicht)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 Personen / 1mm

Abbildung 66 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Modell (Solothurn-Biel-Bern, Stadt Bern)

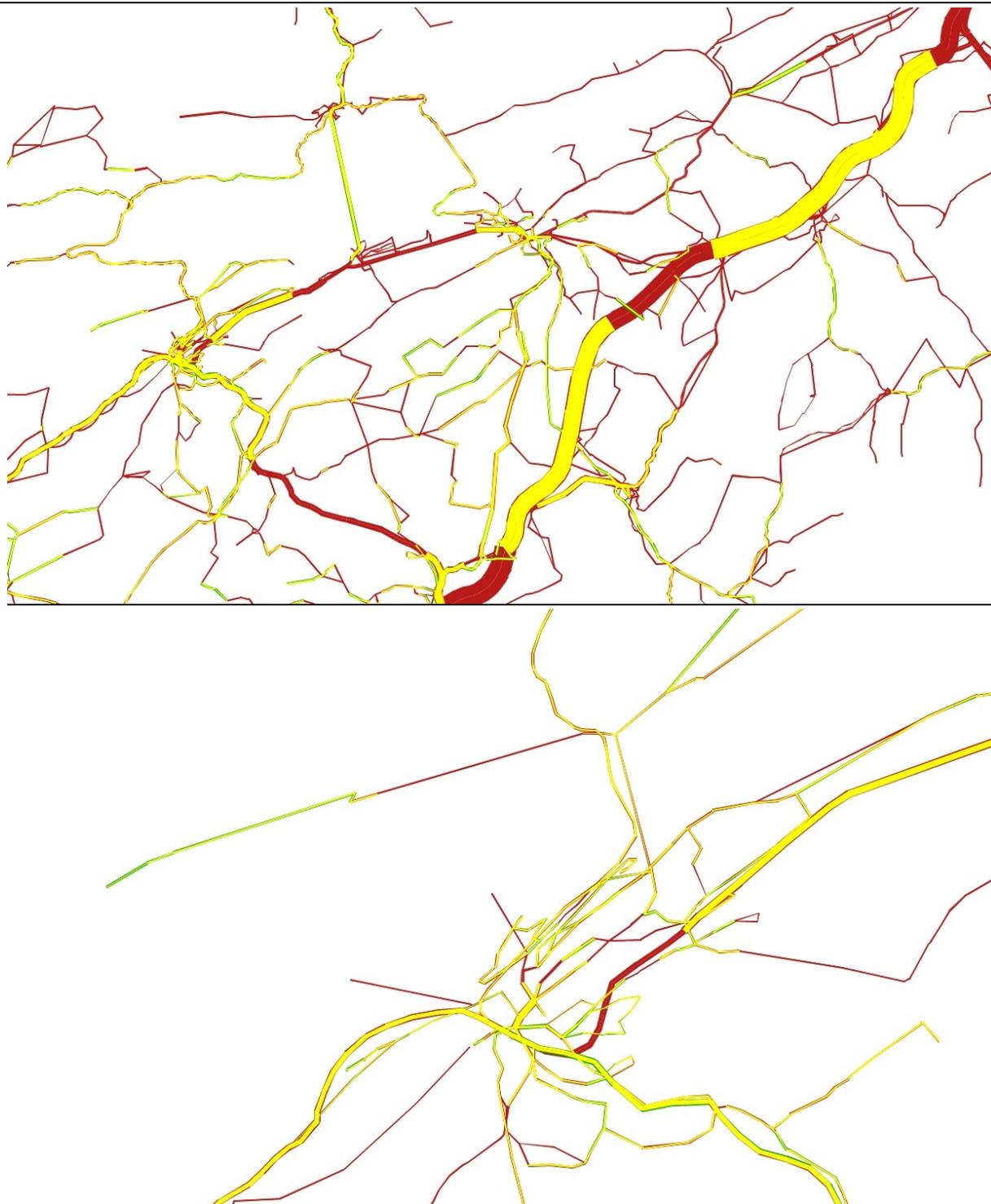
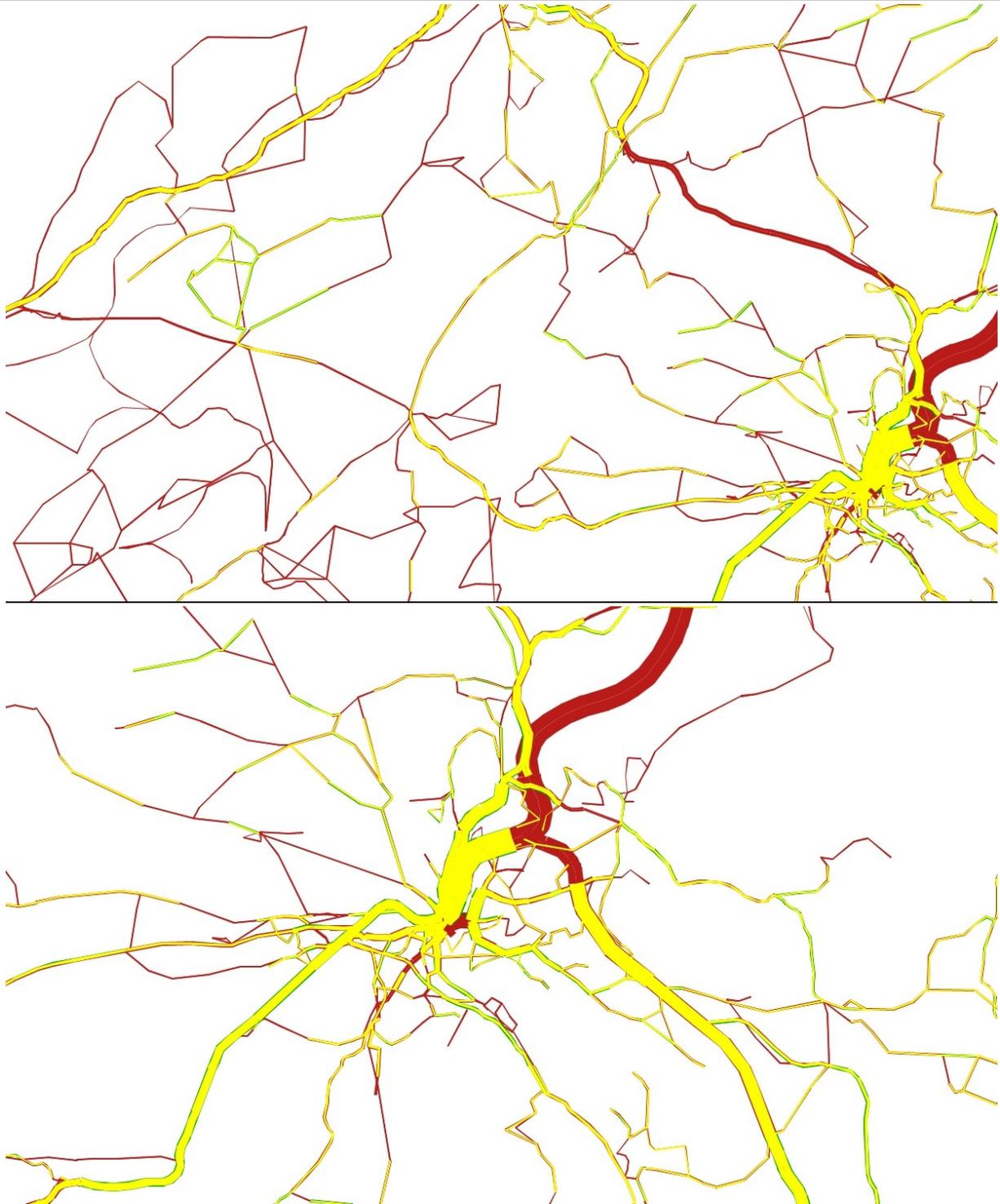
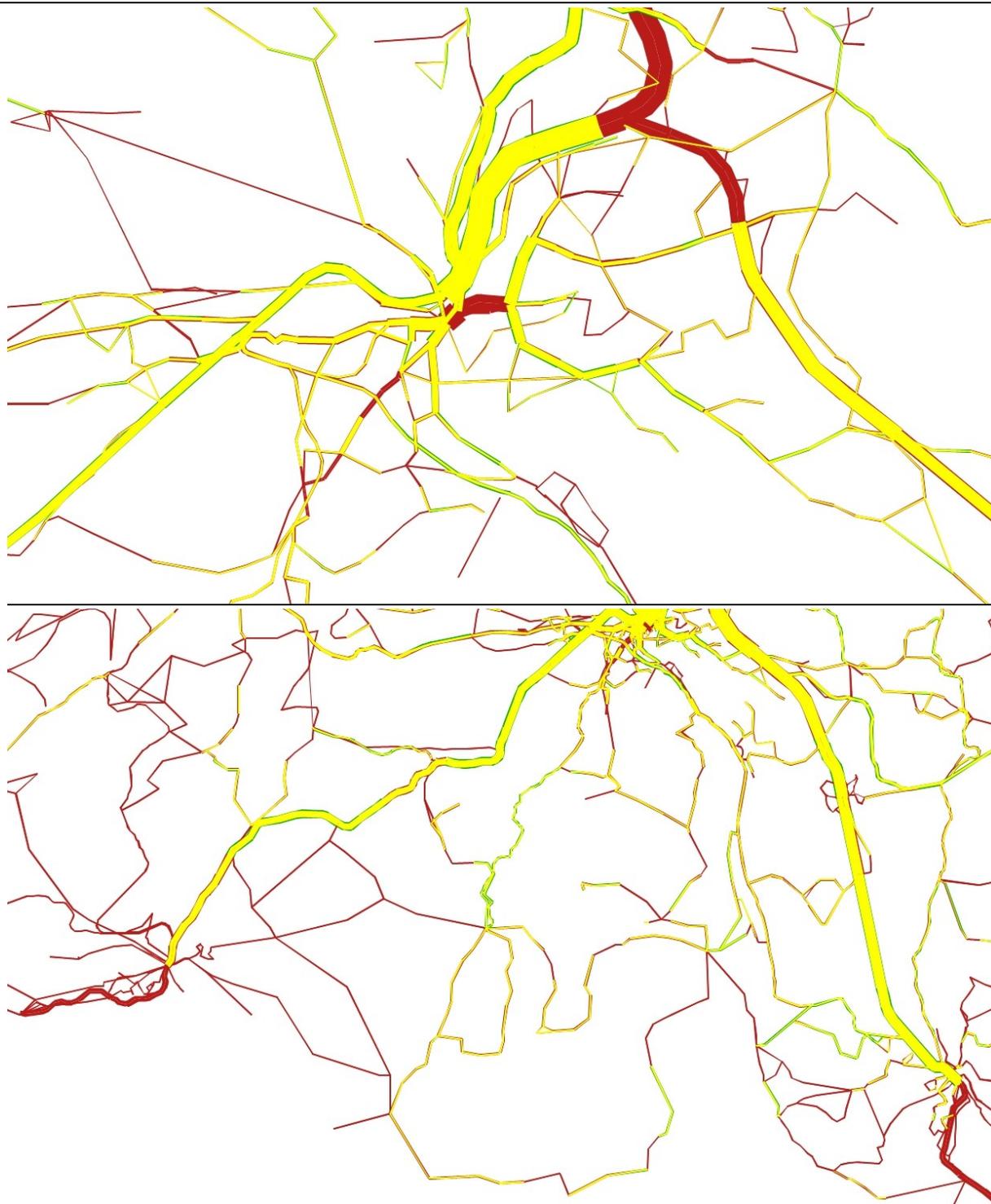


Abbildung 67 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Modell (Bern-Kerzers, Bern Gesamtansicht)



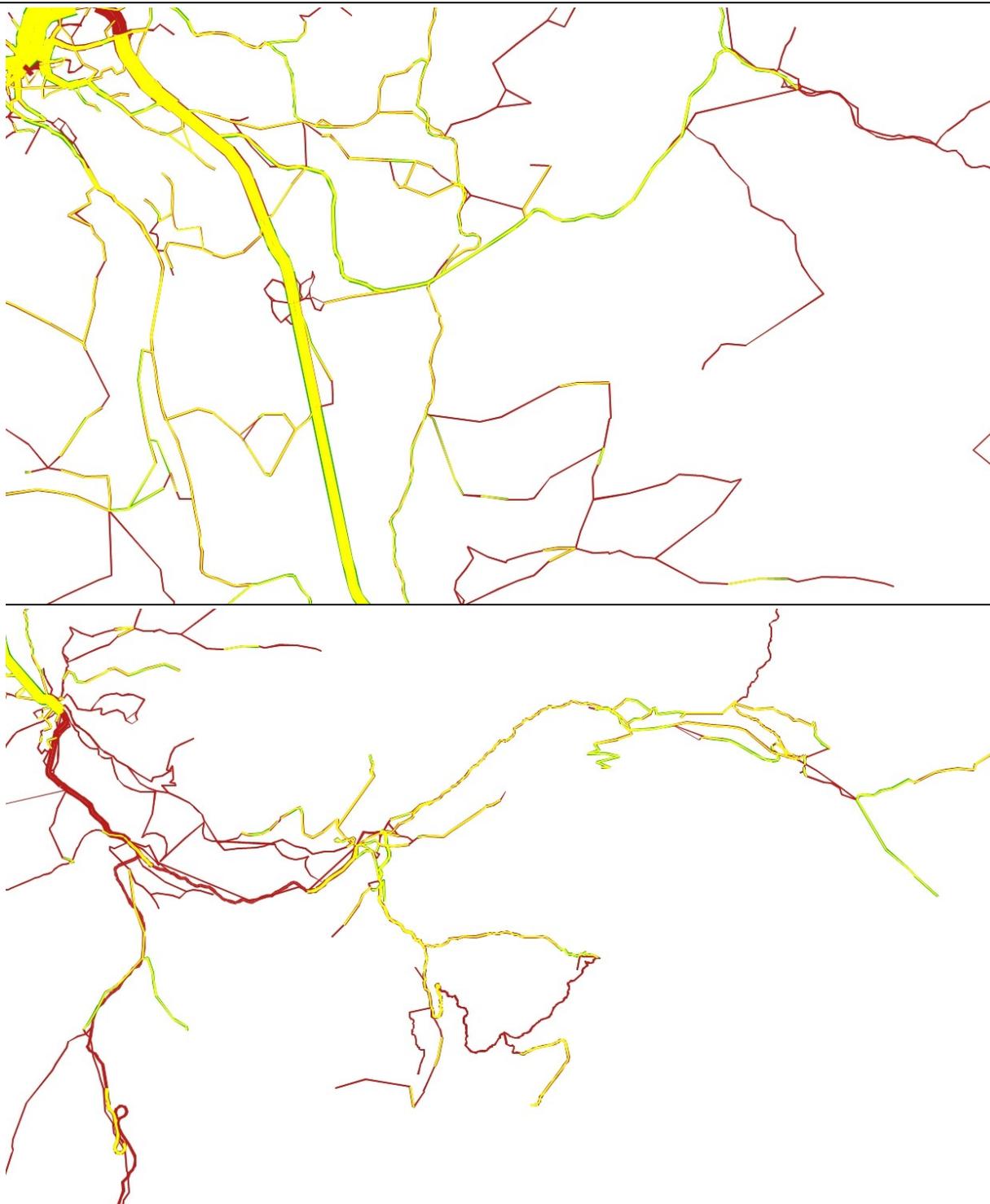
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 Personen / 1mm

Abbildung 68 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Modell (Bern-Fribourg)



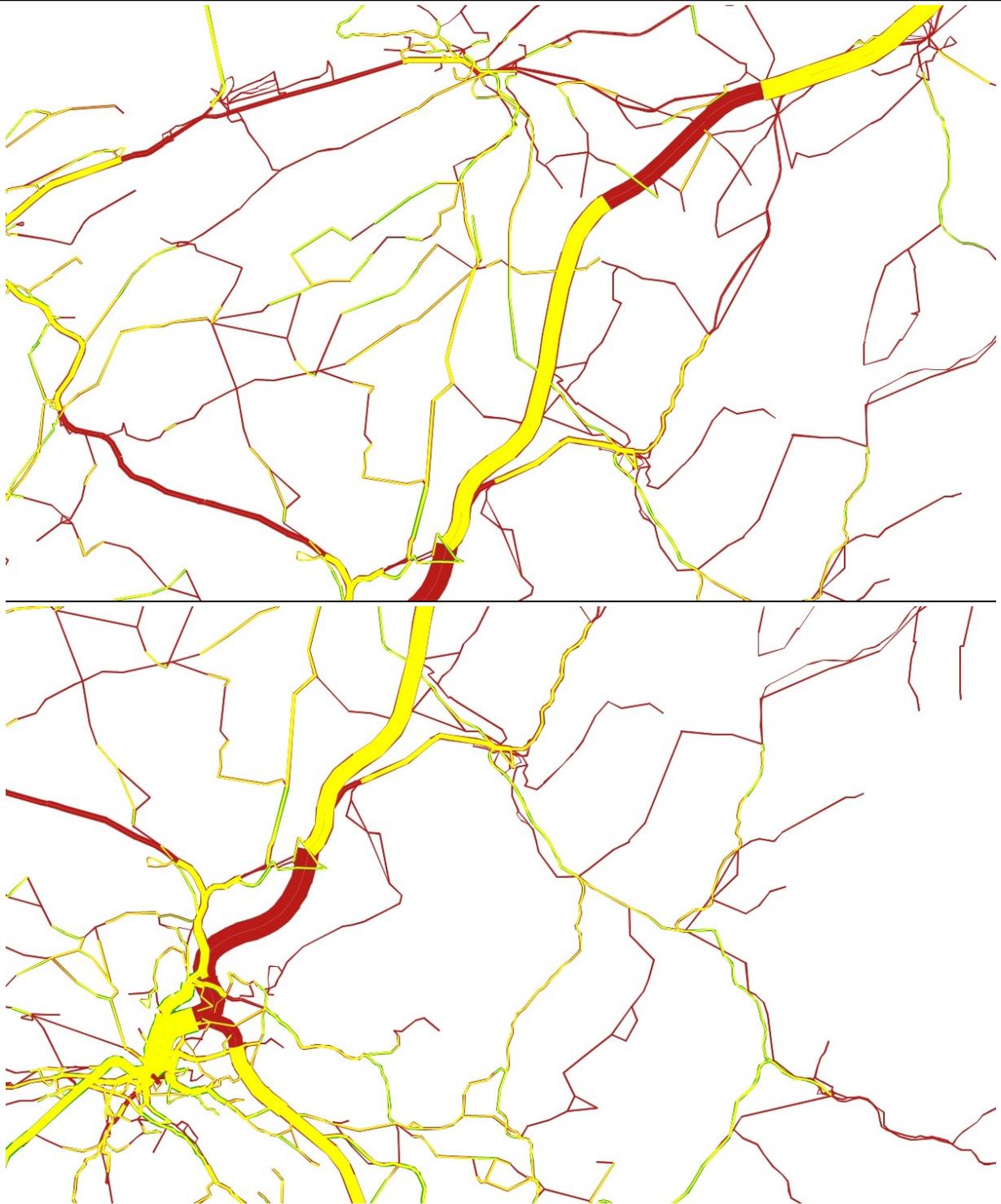
gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. Skalierung: 10'000 Personen / 1mm

Abbildung 69 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Modell (Bern-Thun-Interlaken)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. 10'000 Personen / 1mm

Abbildung 70 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Modell (Bern-Langenthal)



gelb = Grundbelastung (keine Differenz), rot= relative positive Differenz (Modellbelastungen höher als Zählwert), grün= negative relative Differenz (Modellbelastungen niedriger als Zählwert); vollständig rote Abschnitte = Zählstelle nicht vorhanden. 10'000 Personen / 1mm

Quelle-Zielströme / Spinnenanalyse

Ein weiteres und für die Beurteilung der Matrixstruktur sehr wichtiges Kriterium ist die Analyse der Quelle-Zielströme auf den einzelnen Querschnitten, die sogenannte Spinnenanalyse. Die Durchführung von solchen Auswertungen und der Vergleich mit den Erhebungsdaten ist ein sehr wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Quelle-Ziel-Matrix. Leider sind solche Erhebungen für das kantonale Verkehrsmodell nicht vorhanden, so dass eine Beurteilung von solchen Auswertungen nur durch Kenntnisse der Region vorgenommen werden kann. In Abbildung 71 bis Abbildung 74 sind MIV-Spinnenanalysen für verschiedene Standorte dargestellt. In Abbildung 75 bis 78 sind ÖV-Spinnenanalysen für verschiedene Standorte dargestellt.

Abbildung 71 Spinnenanalyse: MIV-Matrix (A1 Kirchberg)

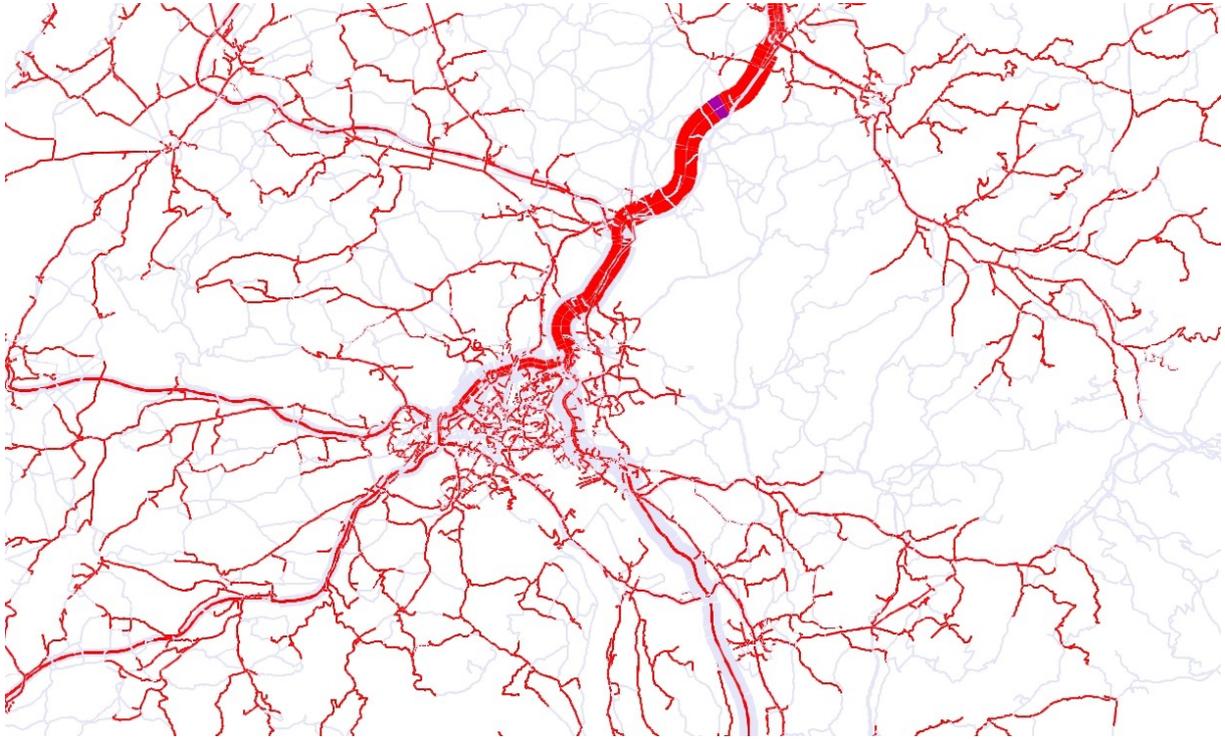


Abbildung 72 Spinnenanalyse: MIV-Matrix (Bern Bypass Nord)

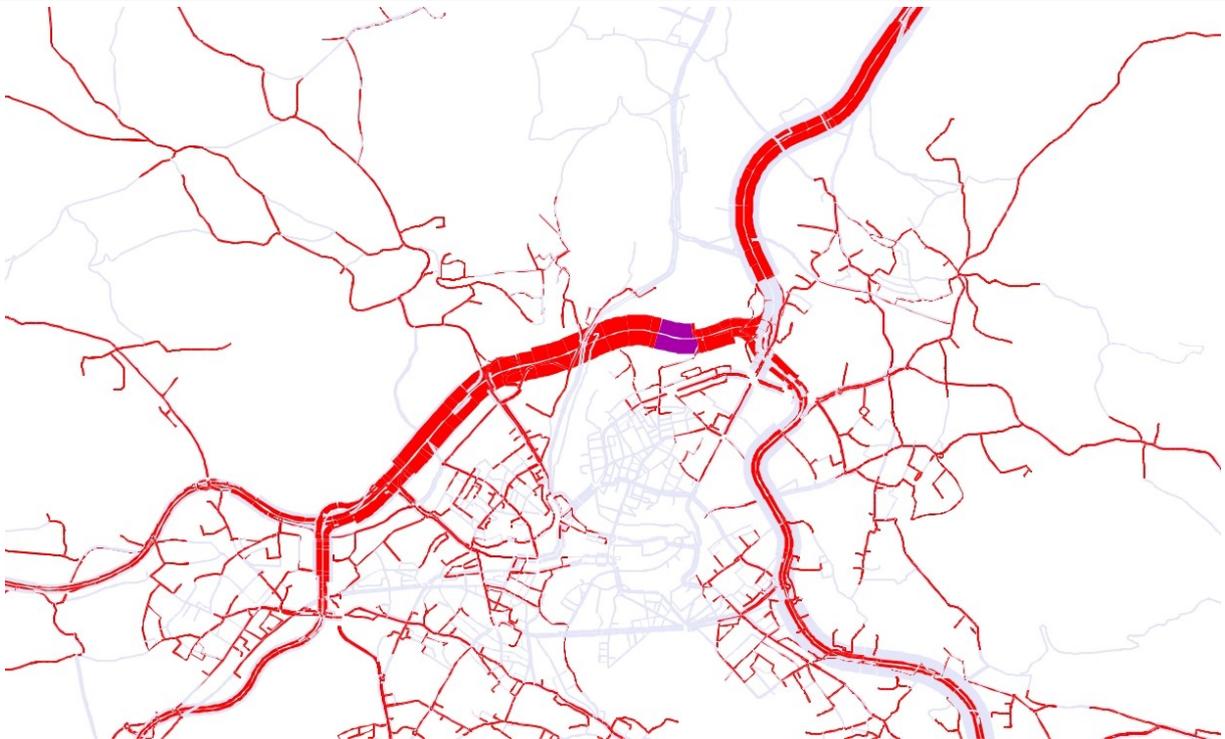


Abbildung 73 Spinnenanalyse: MIV-Matrix (Biel Süd)



Abbildung 74 Spinnenanalyse: MIV-Matrix (Stadt Bern)

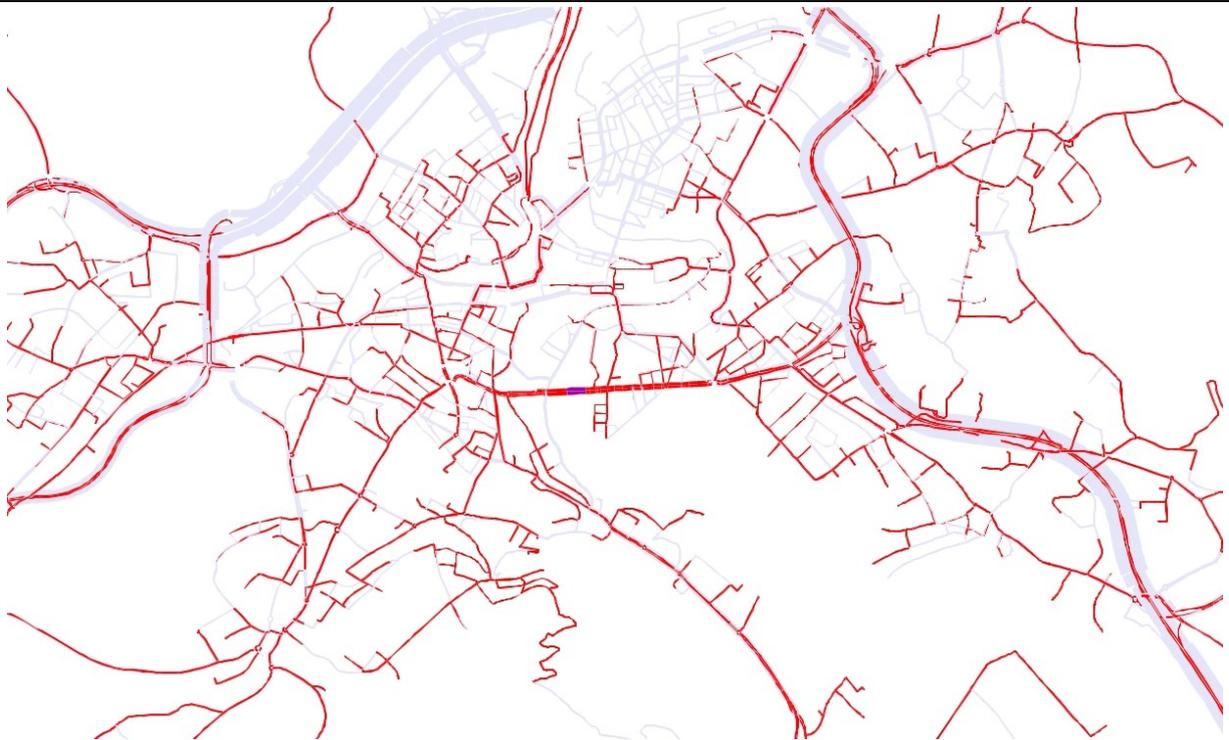


Abbildung 75 Spinnenanalyse: ÖV-Matrix (Olten-Bern)

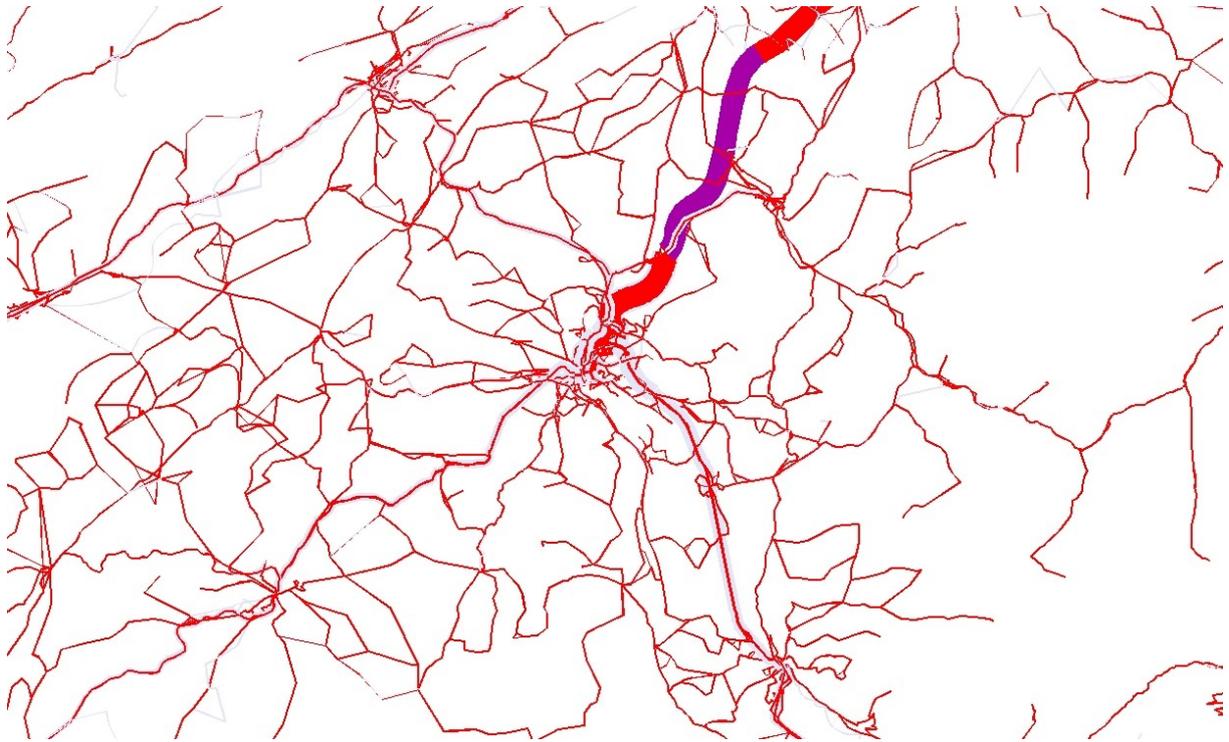


Abbildung 76 Spinnenanalyse: ÖV-Matrix (Bern-Thun)

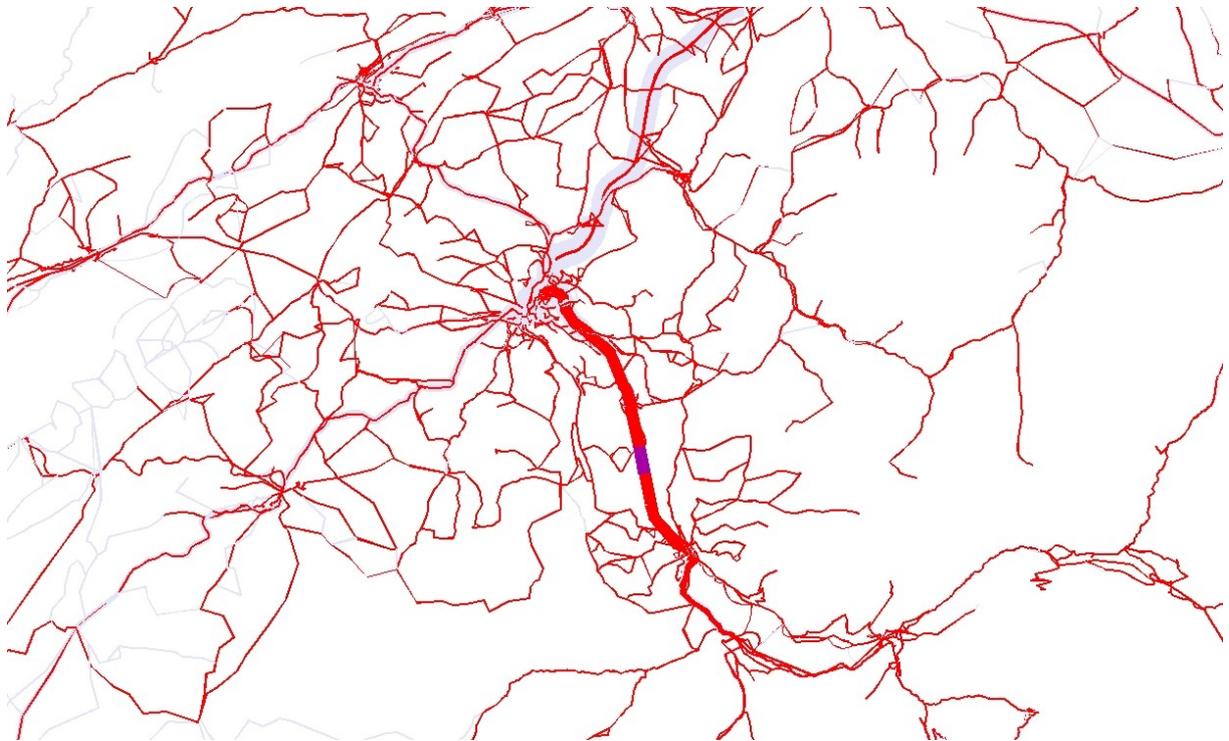


Abbildung 77 Spinnenanalyse: ÖV-Matrix (Biel-Bern)

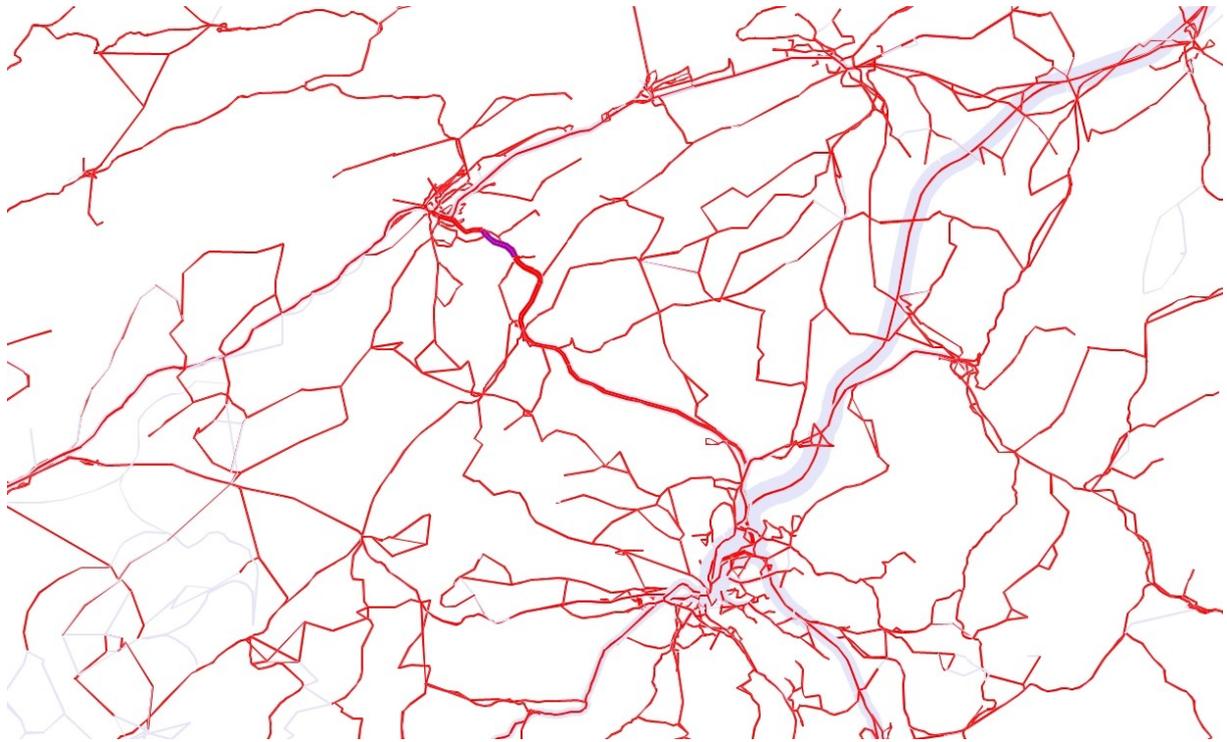


Abbildung 78 Spinnenanalyse: ÖV-Matrix (Bern: Zytglogge-Helvetiaplatz)



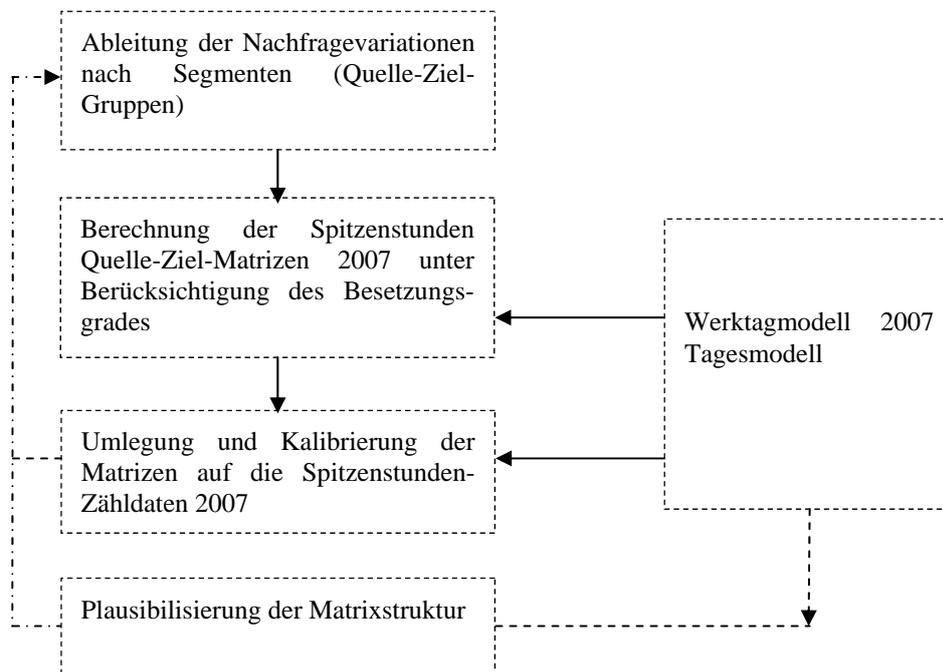
10.3 Erstellung der Spitzenstunden Quelle-Ziel-Matrizen

Für die Erstellung der Spitzenstundenmodelle für das Jahr 2007, werden die Arbeiten in drei Hauptschritten durchgeführt:

- Festlegung und Ableitung der zeitlichen und räumlichen Nachfragevariationen
- Berechnung der stundenfeinen Quelle-Ziel-Matrizen unter Berücksichtigung der drei Spitzenstunden (Morgenspitzenstunde 7-8 Uhr (MSP), Nichtspitzenstunde 11-12 Uhr (NSP) und Abendspitzenstunde 17-18 Uhr (ASP)) und der jeweiligen Stunde davor; und ihre Umlegung auf das Verkehrsnetz
- Eichung und Kalibrierung der berechneten Spitzenstunden-Matrizen auf die spitzenstunden Zählwerte

Die wesentlichen Arbeitsschritte und das Vorgehen sind in Abbildung 79 dargestellt.

Abbildung 79 Vorgehen bei der Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen für die Spitzenstunden



10.3.1 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 den Mikrozensusdaten 2005 (Stichprobe Modellgebiet) nach QZG differenziert. Dabei wurden nur die werktäglichen, interzonalen Wege betrachtet. Aufgrund der relativ kleinen Stichproben wurden die nicht wohnungsgebundenen QZG mit wohnungsgebundenen QZG aggregiert. Die festgelegten QZG können weiter auf die einzelnen Fahrtzwecke aggregiert werden. Für die Auswertung der Mikrozensusdaten 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 von diesen Segmenten werden aus der Anzahl Wege während des Tages und nach Stunden die Stundenanteile an der Tagesnachfrage der QZG laut Mikrozensus (MZ) 2005 berechnet. In folgenden Abbildungen (Abbildung 79 bis Abbildung 84) sind die abgeleiteten Nachfragevariationen für alle Fahrtzwecke dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Nachfragevariation für Stunde, 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 von getrennten QZG eines Fahrtzwecks bei der Matrixerstellung sind die Gesetzmässigkeiten des Weges beschrieben. Ohne diese Disaggregation und nur anhand von den fahrtzweckspezifischen Segmenten 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 zurück zu führen 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 Einkaufswegen.

Bei den Nutzfahrten mit dem MIV sind gut erkennbare Spitzen in der Früh 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 80 Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) – Fahrtzweck Arbeit

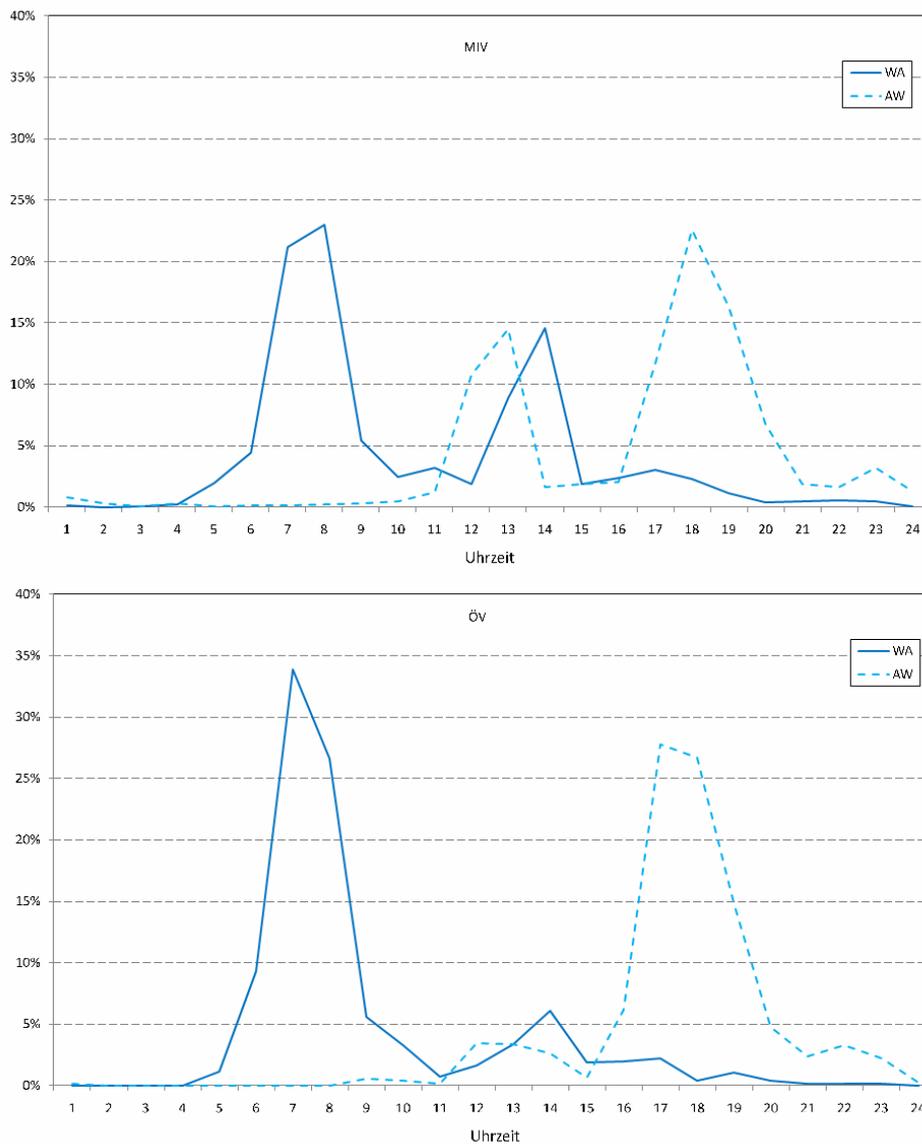


Abbildung 81 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe
Wohnen-Bildung (WB) und Bildung-Wohnen (BW) – Fahrtzweck Bildung

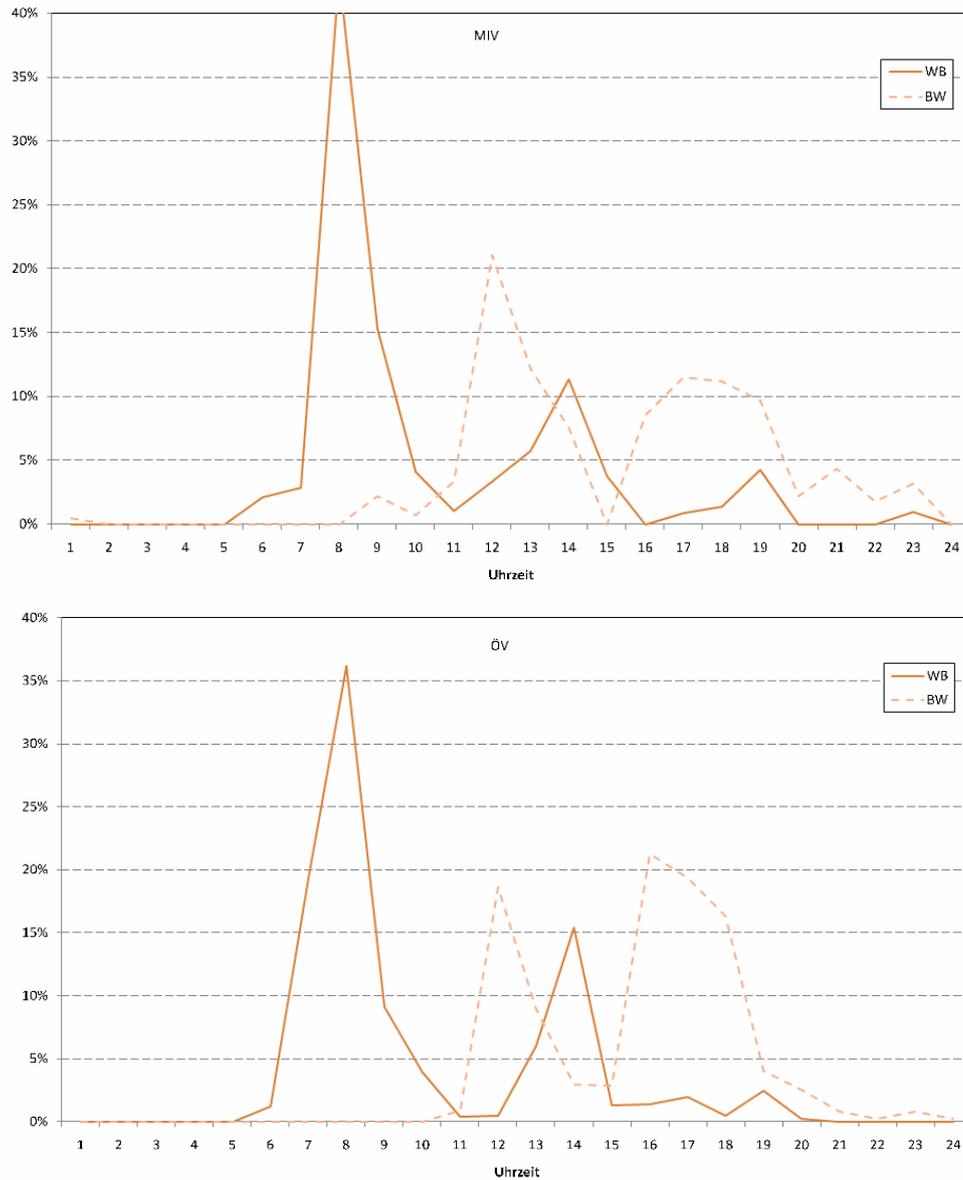


Abbildung 82 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe
Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) – Fahrtzweck Einkauf

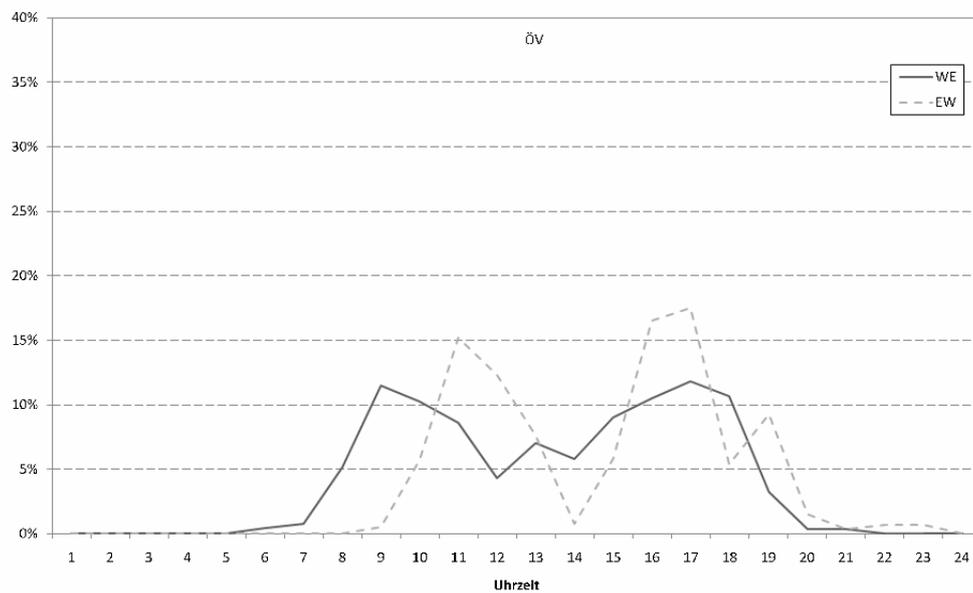
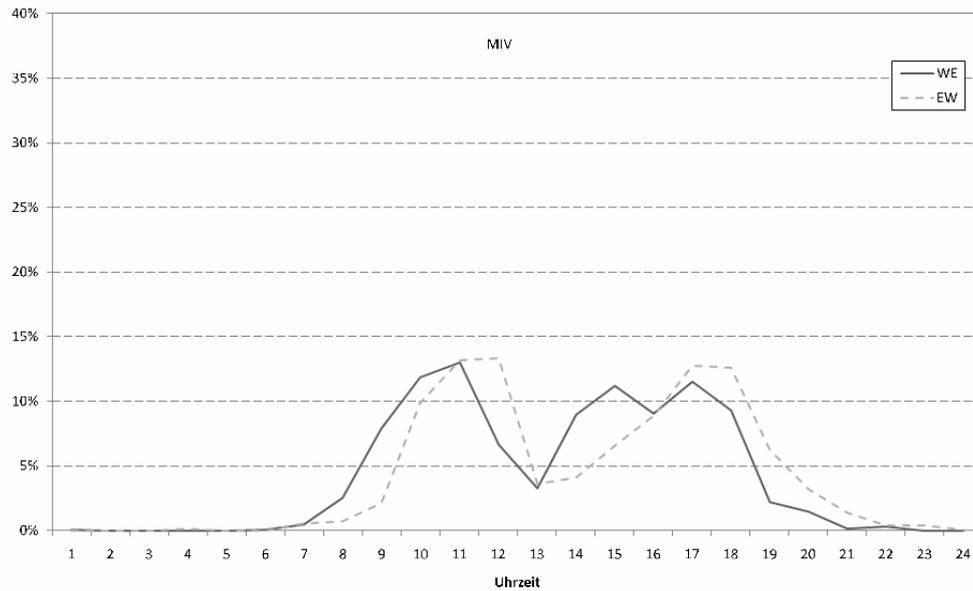


Abbildung 83 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Nutzfahrt (WN) und Nutzfahrt-Wohnen (NW) – Fahrtzweck Nutzfahrt

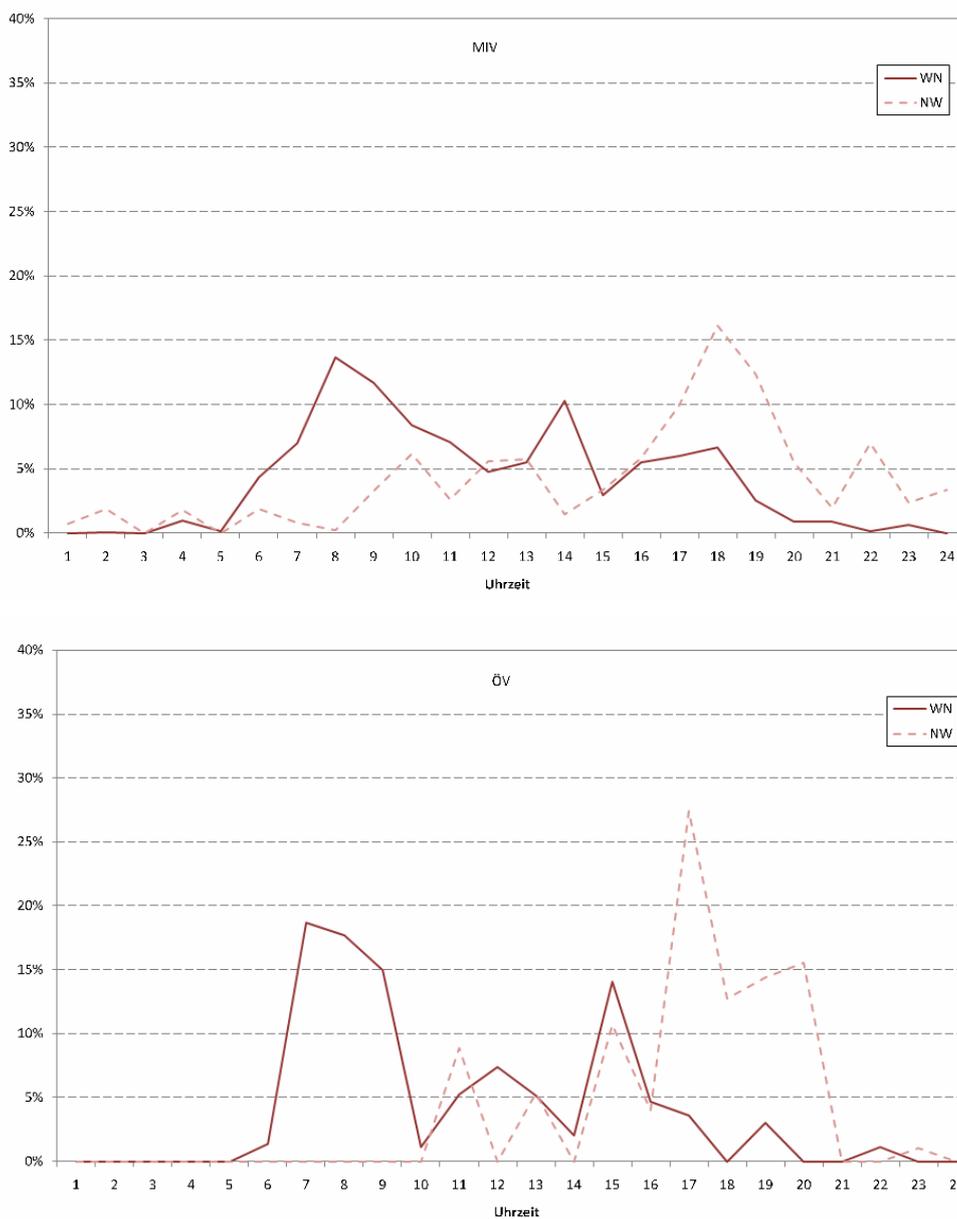
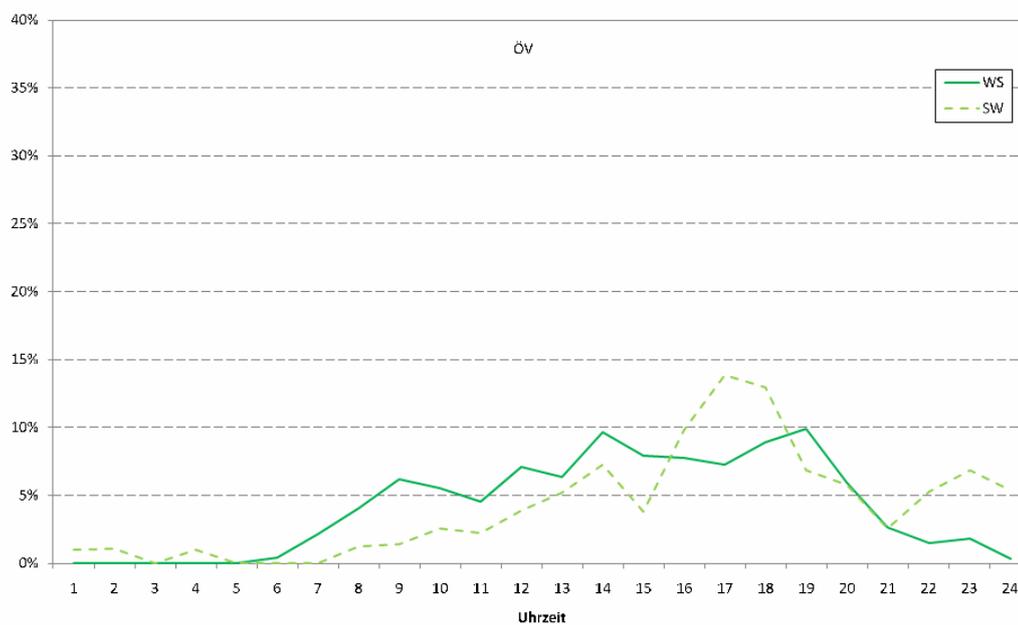
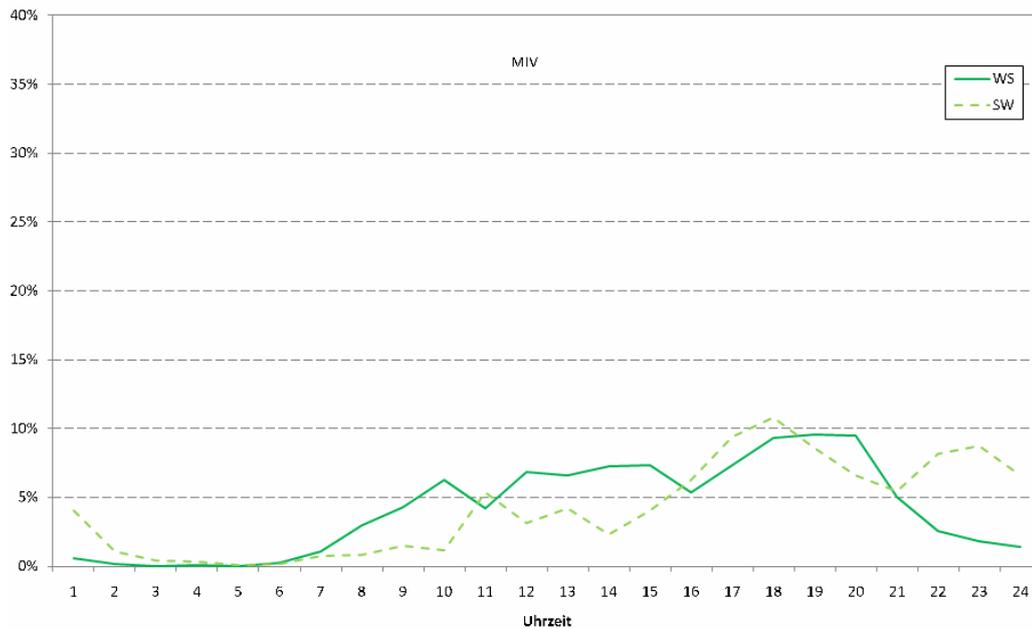


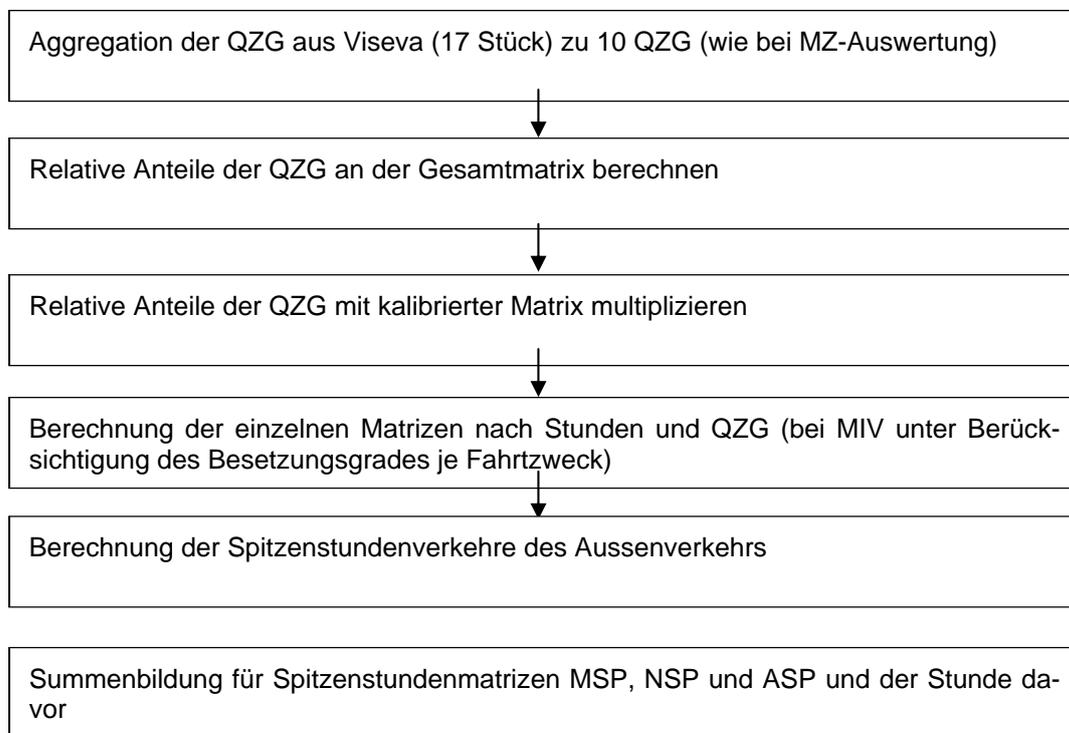
Abbildung 84 Räumliche und zeitliche Dynamik der Nachfrage für Quelle-Ziel-Gruppe Wohnen-Sonstiges/Freizeit (WS) und Sonstiges/Freizeit-Wohnen (SW) – Fahrtzweck Freizeit



10.3.2 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 Spitzenstunden Quelle-Ziel-Matrizen dar. Der Ablauf der Berechnungsschritte ist in der nachfolgenden Abbildung 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 Basisfunktionen zur Matrixbearbeitung bietet).

Abbildung 85 Berechnung der Spitzenstunden-Matrizen



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

10.4 Kalibrierung der Spitzenstundenmodelle

Die im vorherigen Arbeitsschritt ermittelten Quelle-Ziel-Matrizen werden nachfolgend auf das Verkehrsnetz umgelegt, die ermittelten Netzbelastungen mit den Zähldaten verglichen und die Quelle-Ziel-Matrizen in einem weiteren Schritt auf die Zähldaten geeicht. Um das in den Zähldaten erfasste Verkehrsaufkommen pro Stunde auch im Verkehrsmodell zu berücksichtigen, müssen hier neben den innerhalb der betrachteten Zeitachse gestarteten Fahrten auch verbliebene Fahrten aus der vorherigen Stunde einbezogen werden. Damit wird eine statische Spitzenstundenmatrix aus mehreren stundenfeinen Matrizen zusammengestellt. Dafür werden auch die Fahrten, die in früheren Stunden gestartet waren und in der betrachteten Zeit (zwischen 7 und 8 h, 11 und 12h bzw. 17 und 18h) nicht beendet wurden, berücksichtigt.

Anhand von Reisezeitmatrizen und einzelnen Stundenmatrizen aus früheren Stunden wurden die Fahrten filtriert, die um 7, 11 oder 17 Uhr noch nicht beendet waren. Da auf diese Art beim statischen Modell eine Fahrt auf ganzem Weg zwischen Quelle und Ziel betrachtet wird, muss damit gerechnet werden, dass mit diesem Vorgehen bei bestimmten und vor allem längeren Fahrten ein Fehler entsteht. Im statischen Modell werden auch die Fahrtabschnitte, die vor oder nach dem betrachteten Zeitraum stattfinden, berücksichtigt bzw. gezählt.

Um diese Fehler zu vermeiden, müssten alle Fahrten aus früheren Stunden durch die zeitliche und räumliche Kodierung von Fahrverläufen attribuiert und getrennt werden, was ein sehr aufwändiger Prozess wäre. Aus diesem Grund wird die Quelle-Ziel-Matrix z.B. zwischen 7 und 8 Uhr mit längeren Fahrten (die um 7 Uhr nicht beendet waren) aus früheren Stunden zusammengefasst, um alle Fahrten, die in diesem Zeitabschnitt nicht beendet waren, im Verkehrsmodell zu berücksichtigen. Dadurch wird gesichert, dass die Struktur der Fahrten in Spitzenstunden gegenüber dem Tagesmodell nicht verzerrt ist. In einem weiteren Schritt wird aus der Umlegung und dem Vergleich der ermittelten Streckenbelastungen und der Zähldaten eine Korrektur dieser Matrix durchgeführt. Dieses Vorgehen wurde für alle drei betrachteten Stunden durchgeführt.

Netzattribuierung und Umlegung

Im MIV wurden die Netzattribute für die Spitzenstunde aus dem Tagesmodell abgeleitet. Dafür wurden die Tageskapazitäten der Strecke auf die Stundenkapazitäten umgerechnet und die Parameter für die CR-Funktionen für die Strecken und Knoten angepasst. Weiterhin wurden auch die LKW-Matrizen auf die Stunden disaggregiert, auf das Verkehrsnetz umgelegt und auf die LKW-Zählraten kalibriert. Die ermittelten Streckenbelastungen wurden in PW-Einheiten umgerechnet und als Vorbelastung (Zwert3) im Modell abgebildet. Bei dieser Umrechnung werden die Lieferwagen als eine und Lastwagen als zwei PW-Einheiten betrachtet. Die weiteren Attribute sowie Umlegungsmethoden wurden aus dem Tagesmodell übernommen.

Im ÖV werden die Quelle-Ziel-Matrizen auf den Fahrplan der betrachteten Stunde umgelegt. Dafür wurden die Ganglinien und Umlegungszeiten entsprechend korrigiert.

Die Zählraten für das MIV-Netz wurden aus den im Kapitel 8.5 dargestellten Datengrundlagen abgeleitet. Auch hier mussten die Zählwerte in einem ersten Schritt plausibilisiert werden, um diese nachfolgend bei der Kalibrierung zu berücksichtigen. Ähnlich wie bei der Kalibrierung des Tagesmodells mussten bestimmte Zählstellen wegen Inkonsistenz mit anderen relevanten Zählstellen ausgeschaltet werden.

Im ÖV konnten die Streckenzählraten gemäss Kapitel 7.5 berücksichtigt werden. Für den Schienenverkehr konnten die stundenfeinen Zählraten nicht zur Verfügung gestellt werden. Als Plausibilisierungsgrundlage konnten hier die Ein- und Aussteiger für sieben grösste Bahnhöfe verwendet werden.

Für die Umlegung wird sowohl im MIV als auch im ÖV die gleiche Umlegungsmethode wie im Tagesmodell verwendet. Da durch die Matrixkalibrierung die Umlegungen sehr oft wiederholt werden mussten, wurde die Anzahl der Iterationen im MIV auf 20 beschränkt. Es ist zu empfehlen, bei einer Modellanwendung die Gleichgewichtsbedingungen schärfer einzustellen, damit sichergestellt wird, dass sowohl im Ist- als auch im Planfall die Gleichgewichtsbedingungen erreicht werden.

Für die Matrixkalibrierung wurde die gleiche Methode verwendet wie für das Tagesmodell. Das Verfahren wurde in zwei Schritten angewendet: Im ersten Schritt wurden die Querschnitte mit höherer Modellbelastung als der Zählwert korrigiert und im zweiten Schritt die Querschnitte mit niedrigerer Modellbelastung als der Zählwert. Dieses zweistufige Vorgehen hat sich als sinnvoll bewiesen, da bei den meisten Querschnitten die Modellwerte höher waren und dadurch eine beschleunigte Kalibrierung möglich war.

Zusätzlich dazu wurde auch eine Plausibilisierung und anschliessende Eichung der Quelle-Ziel-Ströme auf die Ein- und Aussteiger für die sieben Bahnhöfe durchgeführt.

Im Anschluss an die Modellkalibrierung wurde die Struktur der Quelle-Ziel-Matrizen bei der Spitzenstunde gegenüber der Tagesmatrix verglichen und analysiert. Die Eckwerte der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 40 Die Eckwerte der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen (Binnen- und Aussenströme)

Matrix (Binnen- und Aussenströme)	DWV (Tag)	7 bis 8 Uhr	11 bis 12 Uhr	17 bis 18 Uhr
Anzahl Fahrten bzw. Wege				
MIV (PW-Fahrten)	2'594'424	186'078	152'103	268'360
ÖV (Personenwege)	835'566	88'119	49'130	99'986
Anteil an Tagesmatrix in %				
MIV	100.00	7.17	5.86	10.34
ÖV	100.00	10.55	5.88	11.97

Aus Tabelle 40 geht hervor, dass die Nachfragevariationen im ÖV etwas grösser sind als im MIV. Im ÖV werden in der Morgen- und Abendspitze ca. 23% der Tagesnachfrage erbracht. Dies ist vor allem auf die Fahrtzweckstruktur der Verkehrsnachfrage zurückzuführen, da die ÖV-Nachfrage einen höheren Pendleranteil besitzt.

Die Umlegung der geeichten Quelle-Ziel-Matrix und der Vergleich der daraus ermittelten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen sind ein weiteres Kriterium um die Qualität der Quelle-Ziel-Matrix zu beurteilen. Die folgende Tabelle 41 zeigt eine statistische Analyse der Modellbelastungen im MIV mit den Zählwerten.

Tabelle 41 Statistische Analyse MIV-Stundenmodelle

MIV	7 bis 8 Uhr	11 bis 12 Uhr	17 bis 18 Uhr
Anzahl Zählstellen	765	690	784
Mittlerer Zählwert	321	233	403
Mittlere Relative Differenz	11%	12%	9.6%
Mittlere Absolute Differenz	36	28	39
Korrelationskoeffizient	0.992	0.988	0.993
R ²	0.983	0.975	0.987

Die mittleren, relativen Differenzen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der Streckenbelastungen mit den Zählwerten, da hier die absoluten Werte deutlich kleiner sind als im Tagesmodell. Dabei muss auch hier beachtet werden, dass in den Zählwerten weniger plausible Querschnitte beibehalten wurden. Es ist zu erwarten, dass durch die Filtrierung von solchen Zählwerten, die mittlere Differenz deutlich tiefer liegen würde. Die vergleichbare Analyse der ÖV-Stundenmodelle ist in der Tabelle 42 dargestellt.

Tabelle 42 Statistische Analyse ÖV-Stundenmodell

MIV	7 bis 8	11 bis 12 Uhr	17 bis 18 Uhr
Anzahl Zählstellen	2212	1969	2121
Mittlerer Zählwert	84	51	93
Mittlere Relative Differenz	13.8%	12.6%	11%
Mittlere Absolute Differenz	12	6.4	10
Korrelationskoeffizient	0.986	0.991	0.993
R ²	0.993	0.982	0.987

Auch hier zeigen die mittleren, relativen und absoluten Differenzen eine sehr gute Übereinstimmung der Streckenbelastungen mit den Zählwerten. Es sollte beachtet werden, dass hier keine SBB-Querschnittswerte zur Verfügung gestellt wurden. Damit war die Kalibrierung der ÖV-Spitzenstundenmodelle sehr erschwert und eine Plausibilisierung der Netzbelastungen, vor allem im Schienenfernverkehr, mit Erhebungsdaten nicht möglich.

Der grafische Vergleich der Modellbelastungen und Zählwerten ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Aus dieser Analyse konnte festgestellt werden, dass sowohl im MIV als auch im ÖV eine gute Übereinstimmung zwischen Zählwerten und Modellbelastungen erreicht wurde.

Für die Validierung der Spitzenstundenmodelle wurden noch die von der SBB zur Verfügung gestellten Ein- und Aussteiger pro Stunden für ausgewählte Bahnhöfe verwendet. Hier muss beachtet werden, dass die erhobene Nachfrage nur Ein- und Aussteiger der SBB beinhaltet und die Modellwerte der gesamten ÖV-Nachfrage inklusive anderer ÖV-Unternehmen. Aus diesem Grund ist die erhobene Nachfrage bei den meisten Bahnhöfen etwas niedriger als die modellierte.

Abbildung 86 Vergleich der Streckenbelastungen Modell / Zählung – MIV (7 bis 8 Uhr)

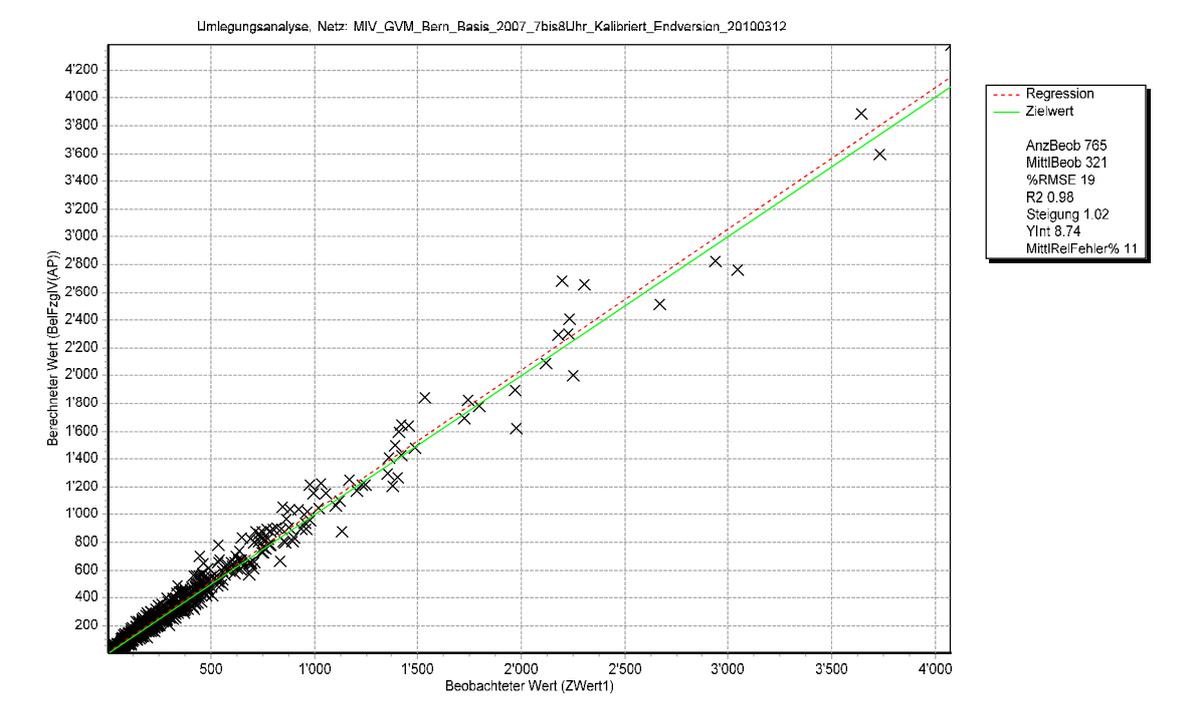


Abbildung 87 Vergleich der Streckenbelastungen Modell / Zählung – MIV (11 bis 12 Uhr)

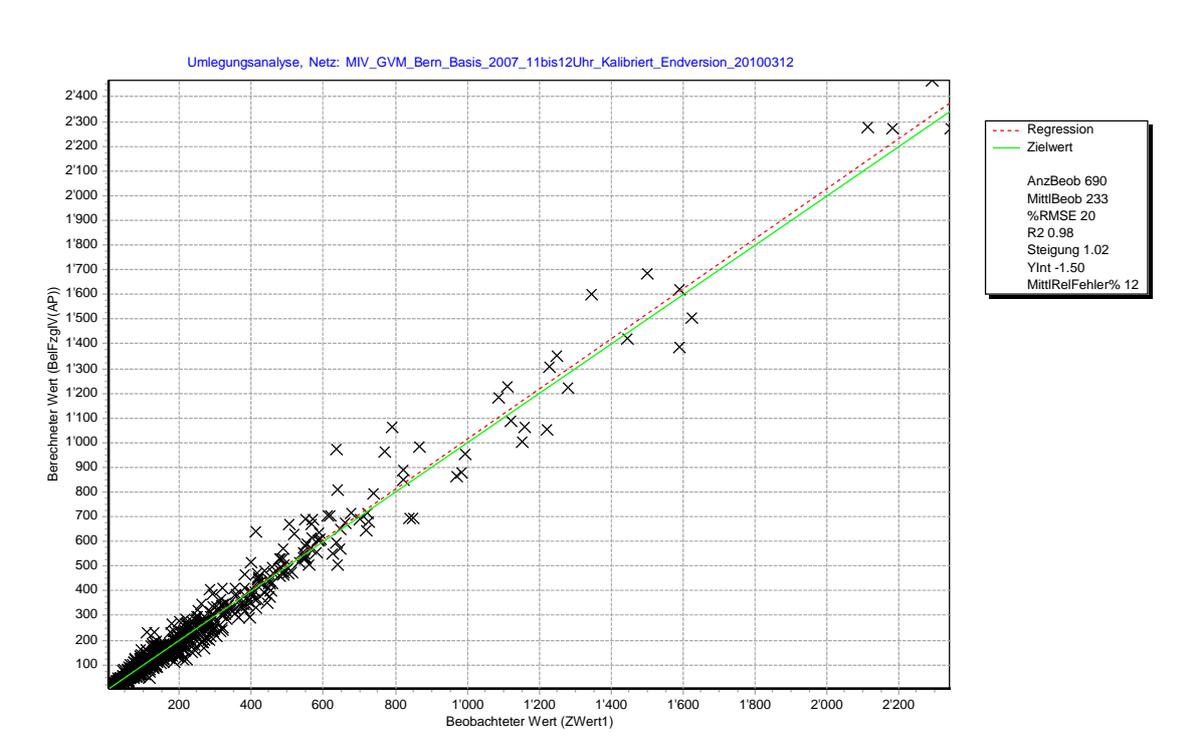


Abbildung 88 Vergleich der Streckenbelastungen Modell / Zählung – MIV (17 bis 18 Uhr)

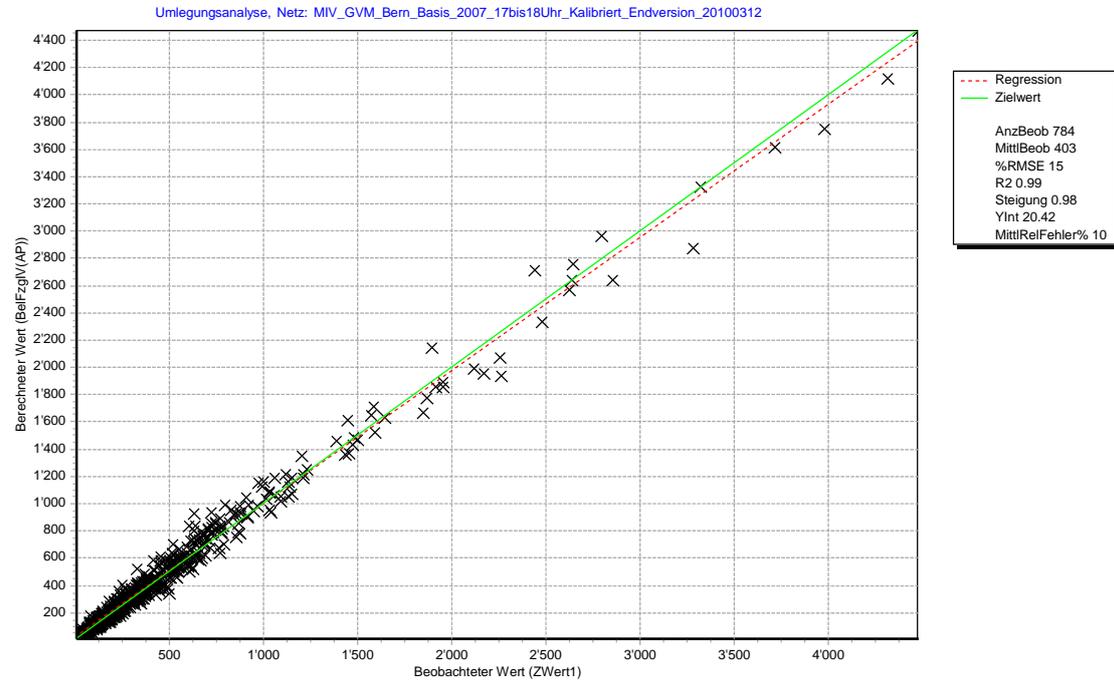


Abbildung 89 Vergleich der Streckenbelastungen Modell / Zählung – ÖV (7 bis 8 Uhr)

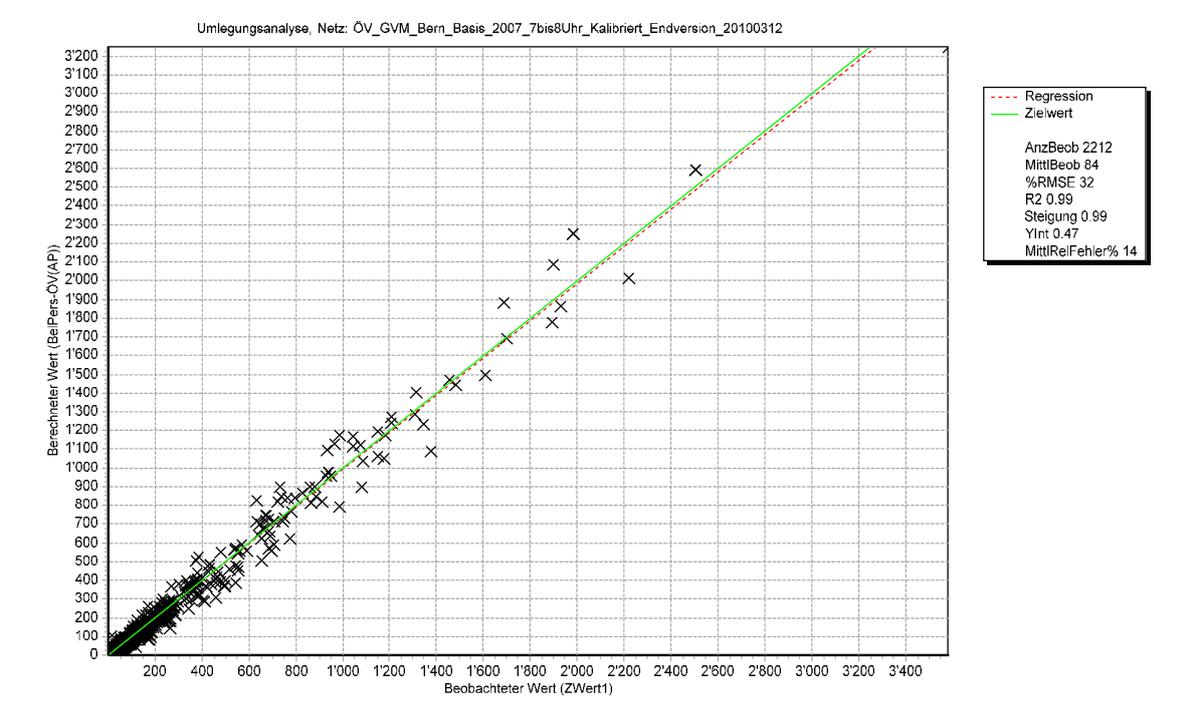


Abbildung 90 Vergleich der Streckenbelastungen Modell / Zählung – ÖV (11 bis 12 Uhr)

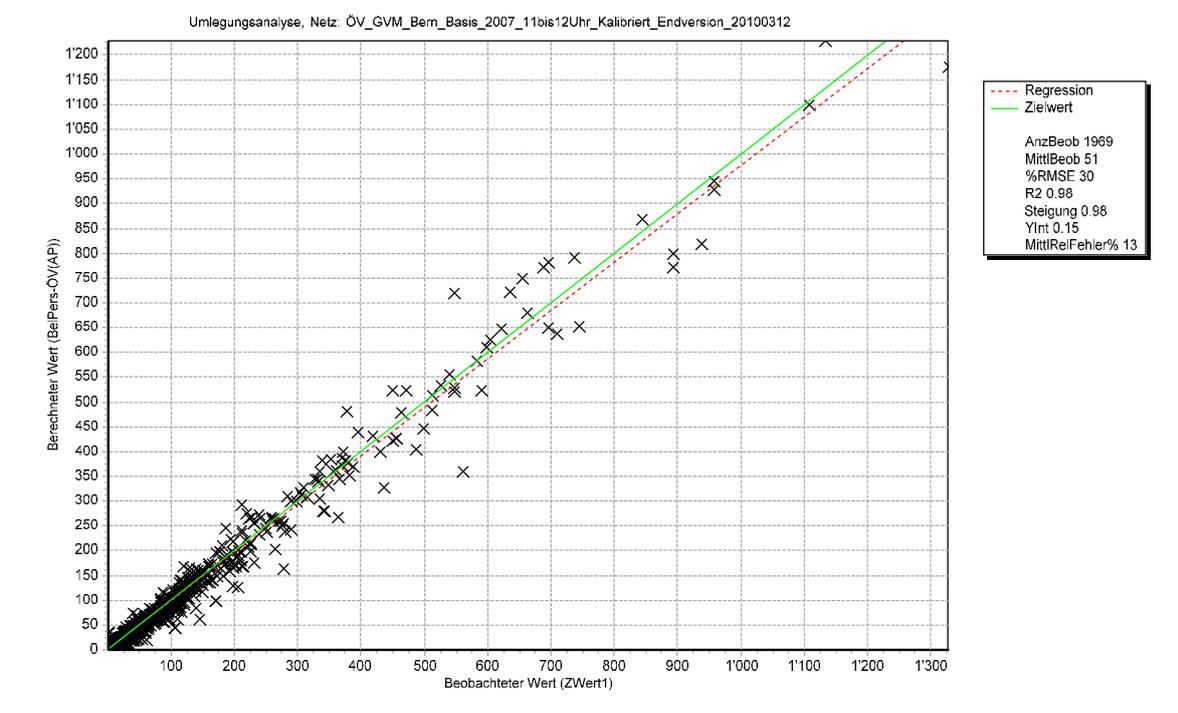
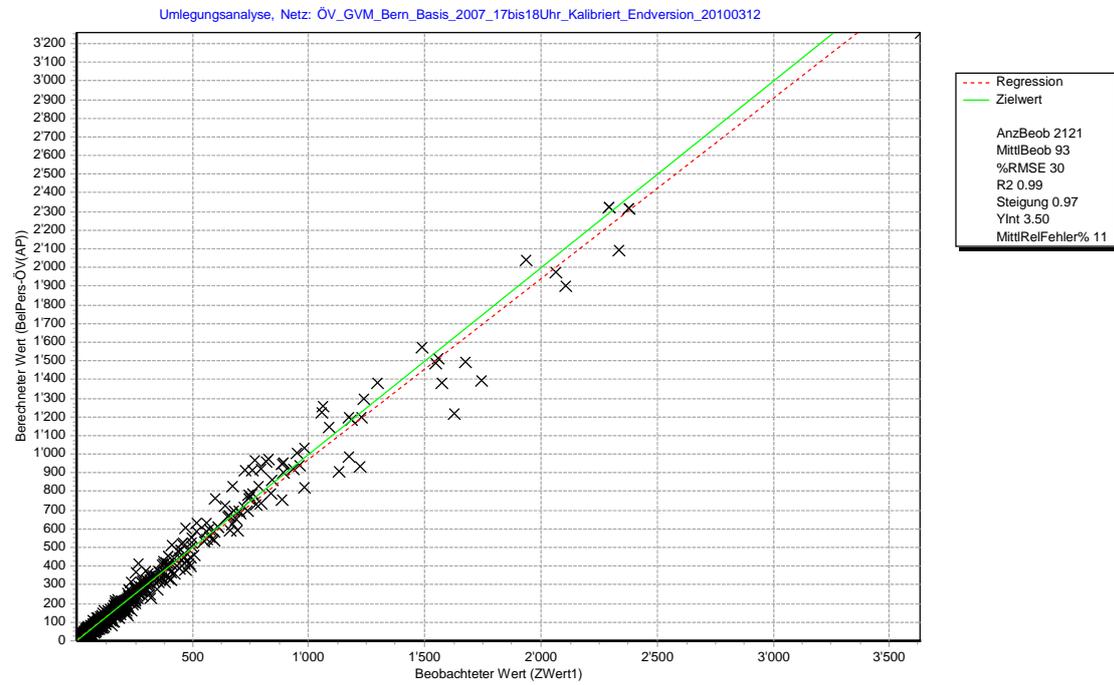


Abbildung 91 Vergleich der Streckenbelastungen Modell / Zählung – ÖV (17 bis 18 Uhr)



11 Umrechnung DWV / DTV

Für die Nachfrageschätzungen und die Prognose der verkehrlichen Auswirkungen von Angebots- und verkehrspolitischen Massnahmen stellen die Verkehrsmodelle mit der Abbildung des durchschnittlichen Werktagsverkehrs (DWV) in der Regel eine ausreichende und am besten geeignete Grundlage dar. Für einzelne Fragestellungen sind jedoch oft auch Gesamtbeachtungen, d.h. Berücksichtigung des Wochenend- und Feiertagsverkehrs, notwendig. Solche Bedürfnisse entstehen vor allem bei der Ableitung von statistischen Eckwerten als auch für die Ermittlung von umwelt- und raumbezogenen Aussagen.

Aus diesem Grund wird hier eine kurze Anleitung über einen möglichen Ansatz für die vereinfachte Umrechnung des durchschnittlichen Werktagsverkehrs (DWV) in den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) gegeben. Der durchschnittliche Tagesverkehr unterscheidet sich von dem durchschnittlichen Werktagsverkehr durch die weitere Berücksichtigung des Wochenend- und Feiertagsverkehrs. Damit wird durch den DTV ein mittlerer Tagesverkehr über das gesamte Jahr dargestellt.

Die wesentlichen Differenzen in der Verkehrsnachfrage eines DWV und eines DTV können in folgenden drei Punkten zusammengefasst werden:

- Unterschiedliche Nachfragestruktur durch den Wochenend- und Freizeitverkehr d.h. unterschiedliche Fahrtzweckanteile an der Gesamtnachfrage
- Unterschiedliche Verkehrsstärke auf dem Verkehrsnetz
- Unterschiedliche räumliche Verteilung der Fahrten, vor allem im Freizeitverkehr

Bei einer vereinfachten Umrechnung der Verkehrsnachfrage anhand von einem DWV-Modell lassen sich die Differenzen aus den ersten beiden Punkten teilweise reduzieren. Die Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Fahrten, d.h. Punkt drei, kann so aber bei vereinfachter Umrechnung nicht abgebildet werden. Die am Wochenende und an Feiertagen entstandene Verkehrsnachfrage im Freizeitverkehr ist in ihrer Intensität stärker als an Werktagen und dementsprechend besitzt sie auch eine andere Gesetzmäßigkeit sowohl in der Verkehrserzeugung als auch in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Somit lassen sich durch die Umrechnung des DWV in den DTV nur die absoluten Stärken der Verkehrsnachfrage beeinflussen, die räumliche Verteilung aber nicht, da diese ein Nachfragemodell für den Wochenend- und Freizeitverkehr bedingen würde.

Um eine grobe und vereinfachte Umrechnung der Verkehrsnachfrage vom DWV in den DTV durchzuführen, sind zwei Arbeitsschritte nötig:

- Anpassung der Fahrtzweckanteile an die Gesamtnachfrage
- Eichung der Gesamtnachfrage auf die DTV-Querschnittszählungen

Für die Anpassung der Fahrtzweckanteile liefern die Erhebungen des Mikrozensus Verkehr 2005 wichtige Grundlagen, wie sich die Fahrtzweckstruktur an den Werktagen und an allen Tagen verhält. Die für das Modellgebiet des GVM Bern ermittelten Umrechnungsfaktoren nach Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln zwischen dem DWV und DTV sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 43 Umrechnungsfaktoren DWV/DTV

Fahrtzweck	LIV	MIV	ÖV	Alle
Arbeit	1,28	1,28	1,32	1,29
Ausbildung	1,37	1,37	1,40	1,38
Einkauf	1,13	1,07	1,18	1,10
Nutzfahrt	1,16	1,21	1,37	1,22
Freizeit	0,95	0,81	0,95	0,88
Alle Zwecke	1,10	1,02	1,18	1,07

Tabelle 43 zeigt, dass an einem durchschnittlichen Werktag die Anzahl Wege rund 7% höher ist als im durchschnittlichen Tagesverkehr. Allerdings variieren die Unterschiede zwischen DWV und DTV zwischen den einzelnen Fahrtzwecken und zwischen den Verkehrsmodi ganz erheblich.

Aus der Tabelle 43 ist festzustellen, dass die Nachfragestruktur (also der Anteil der einzelnen Fahrtzwecke) auf den betrachteten Strecken bzw. Korridoren einen entscheidenden Einfluss auf die Bestimmung des gesamthaften Umrechnungsfaktors hat. Damit stellt die fahrtzweck-spezifische Segmentierung der Verkehrsnachfrage eine wesentliche Voraussetzung für die Umrechnung der Netzbelastungen aus einem DWV-Modell ins DTV-Modell dar. Weiterhin muss beachtet werden, dass sich die ermittelten Umrechnungsfaktoren auf die Anzahl Wege beziehen und damit beim MIV noch eventuelle Differenzen in den Besetzungsgraden berücksichtigt werden müssen.

Für die allfällige Umrechnung des DTV in den DWV sind die Umrechnungsfaktoren in der Tabelle 44 dargestellt. Diese basieren auf der gleichen Stichprobe wie die vorher dargestellten DWV-DTV Faktoren.

Tabelle 44 Umrechnungsfaktoren DTV/DWV

Fahrtzweck	LIV	MIV	ÖV	Alle
Arbeit	0,78	0,78	0,76	0,78
Ausbildung	0,73	0,73	0,71	0,73
Einkauf	0,89	0,94	0,85	0,91
Nutzfahrt	0,87	0,83	0,73	0,82
Freizeit	1,05	1,24	1,05	1,14
Alle Zwecke	0,91	0,98	0,85	0,94

12 Verkehrsprognosen

Eine Verkehrsprognose stellt die wesentliche Grundlage für die Beurteilung von Verkehrsinfrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen sowie für die Analyse von Änderungen im Verkehrsangebot dar. Die wirtschaftlichen und politischen Veränderungen verlangen eine kontinuierliche Überprüfung der Rahmenbedingungen, die für die Verkehrsprognose relevant sind. Aus diesem Grund möchte der Kanton Bern eine Trendprognose für das Jahr 2030 erstellen.

Das Ziel des vorliegenden Arbeitsschrittes ist es, ausgehend von dem für das Jahr 2007 kalibrierten Basismodell und unter Berücksichtigung der erwarteten Veränderungen im Verkehrsangebot und der Strukturdaten ein Prognosemodell für das Jahr 2030 zu erstellen. Die Nachfrageprognosen werden in Quelle-Ziel-Matrizen sowie den daraus entstandenen Querschnitts- bzw. Netzbelastungen dargestellt. Daraus lassen sich die entstandenen Veränderungen in den Streckenbelastungen analysieren. Es werden folgende Modelle erstellt:

- Durchschnittliches Werktagsverkehrsmodell (DWV-Modell)
- Spitzenstundenmodelle

Die Segmentierung sowie weitere Systemabgrenzungen wie Verkehrsarten, Fahrtzwecke, räumliche und zeitliche Auflösung bleiben gegenüber dem 2007er Modell unverändert.

Für die Erstellung von Prognosematrizen sind neben der Grundstruktur der Matrix aus dem Ist-Zustand auch die Angebots- und Verkehrsverhaltensveränderungen sowie Veränderungen der Soziodemographie die wesentlichen Inputgrössen. Durch die veränderten Mobilitätsraten bei einzelnen Fahrtzwecken werden auch die erwarteten Verhaltens- und Nachfragestrukturveränderungen berücksichtigt.

Die Erstellung der Quelle-Ziel-Matrix 2030 basiert auf dem gleichen Verfahren, wie es für den Ist-Zustand 2007 angewendet wurde. Es werden aus dem erstellten Verkehrserzeugungsmodell für das Jahr 2030 und dem simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell durch die Anwendung des VISEVA-Programms die Matrizen für das Jahr 2030 berechnet. Als Grundmodell wird der durchschnittliche Werktagsverkehr modelliert.

12.1 Vorgehen

Das Prognosemodell wird mit der gleichen Methodik erstellt wie sie bei der Erstellung für das Jahr 2007 angewandt wurde. Aktualisiert werden die Komponenten:

- Verkehrsangebot und
- Verkehrsnachfrage.

Die Verhaltensparameter als dritte Modellkomponente werden aus dem Modell für das Jahr 2007 unverändert übernommen. Es wird angenommen, dass zwischen 2007 und 2030 keine grundlegende Veränderung in der Wahrnehmung der relevanten Entscheidungsmerkmale stattgefunden hat. Das Ziel ist, anhand von stattgefundenen Raum-, soziodemographischen- und Angebotsveränderungen, die daraus resultierenden Nachfrageveränderungen im Verkehrsmodell zu erstellen.

Die Gesamtnachfrage wird aus der:

- Binnennachfrage (innerhalb Modellgebiet)
- Aussennachfrage (Wege von bzw. nach Modellgebiet, sowie Transitwege und Wege zwischen MS-Regionen innerhalb der Schweiz)

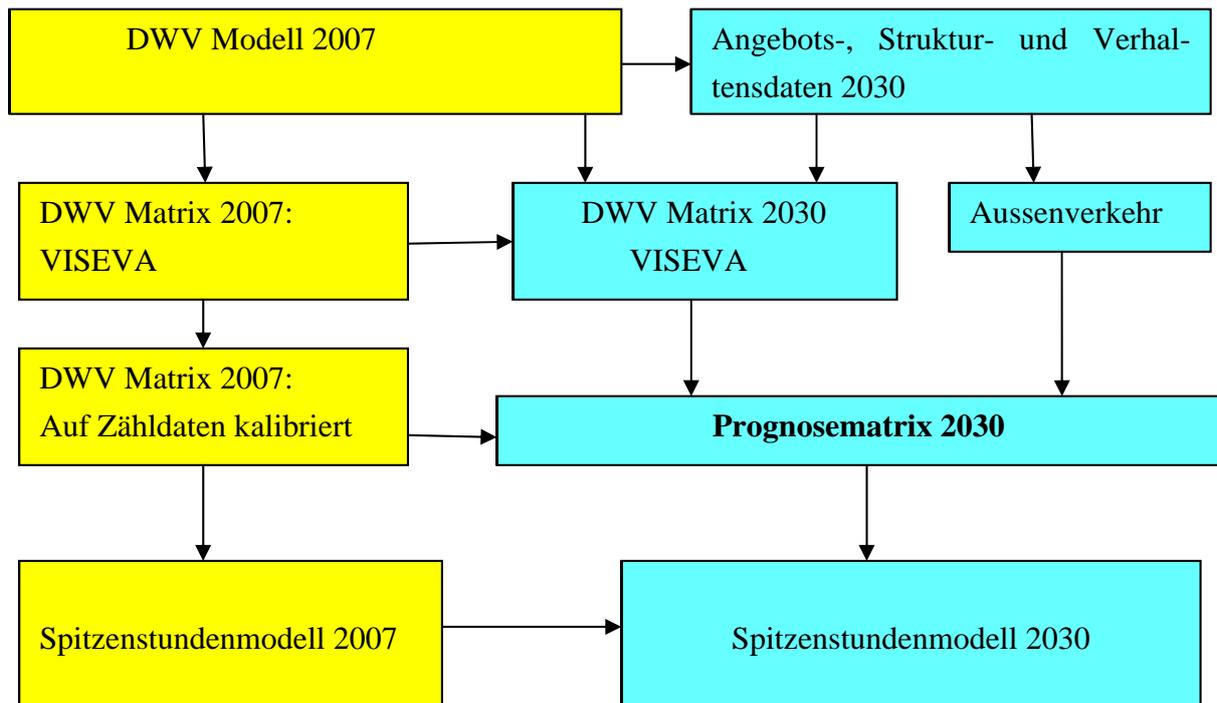
zusammengestellt.

Die Aussenströme werden aus der Nationalen Personenverkehrsmodell-Prognose übernommen. Die Grundlagen für die Binnennachfrage sind das vorhandene Basismodell 2007 sowie Angebots-, Struktur- und Verhaltensdaten 2030. Aus den Strukturdaten 2030 und den Mobilitätsraten wird ein neues Erzeugungsmodell 2030 erstellt. Das Erzeugungsmodell und die Angebotskenngrössen 2030 dienen als Grundlage zur Erstellung von verkehrsmittelspezifischen Quelle-Ziel-Matrizen 2030. Anhand von Ziel- und Verkehrsmittelwahlparametern aus dem Basismodell 2007, den Erzeugungsmodellen und den Angebotskenngrössen 2030, werden die Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2030 mit Hilfe der Verkehrsplanungssoftware VISEVA berechnet.

Aus den mit VISEVA berechneten Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2030 und 2007 ergeben sich die Nachfrageveränderungen für den betrachteten Zeitraum. Diese werden als Differenzmatrizen dargestellt. Grundlage für die Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2030 sind die auf die Querschnittszählungen 2007 kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2007 und die neu berechneten Differenzmatrizen 2030-2007. Aus der Summe der kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen 2007 und der Differenzmatrizen 2030-2007 ergeben sich die neuen Quelle-Ziel-Matrizen 2030.

Aus der DWV-Prognosematrix 2030 und den Spitzenstundenmodellen 2007 können die Spitzenstundenmatrizen 2030 berechnet werden, indem die Quelle-Ziel-bezogenen Stundenanteile aus dem Modell 2007 beibehalten und auf das Modell 2030 übertragen werden.

Abbildung 92 Vorgehen für die Erstellung von Prognosematrizen



Nachfolgend werden die Arbeitsschritte für die Angebotserstellung, Strukturdatenaufbereitung und Nachfrageberechnung beschrieben.

12.2 Prognosenetze MIV und ÖV

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

- ÖV: Insgesamt sind 71 Massnahmen im ÖV für das Prognosenetz 2030 eingeflossen, insbesondere:
 - Fahrplan gemäss ZEB für die ganze Schweiz
 - Regionalverkehrszüge ZEB im Modellgebiet überarbeitet
 - 1. TE S-Bahn Bern
 - S-Bahn Luzern West Durchbindung
 - Neue asm Linie Niederbipp-Oensingen
 - Tram Bern West und Tram Region Bern (ohne Kleinwabern)
 - Neue Ortsbusse in Langenthal und Lyss
- Im MIV sind 122 Massnahmen für das Prognosenetz 2030 berücksichtigt worden, die wichtigsten sind:
 - Bypass Thun Nord
 - Wankdorfplatz
 - Zubringer Neufeld
 - A5 Umfahrung Biel
 - A 16Ausserkantonale:
 - Fertigstellung A16 bis Landesgrenze
 - Westtangente Solothurn
 - Entlastung Region Olten ERO
 - A1: 6-Spuriger Ausbau Härkingen-Wiggertal

Alle MIV- und ÖV-Massnahmen sind in einer Excel-Tabelle zusammengefasst worden. Die Excel-Tabelle inkl. der hinterlegten Pläne ist als PDF zugänglich. 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 und im ÖV für Linienrouten definiert.

Nachfolgend sind in Abbildung 93 und Abbildung 94 die Prognosemassnahmen visuell hervorgehoben.

Abbildung 93 MIV Prognosemassnahmen 2030

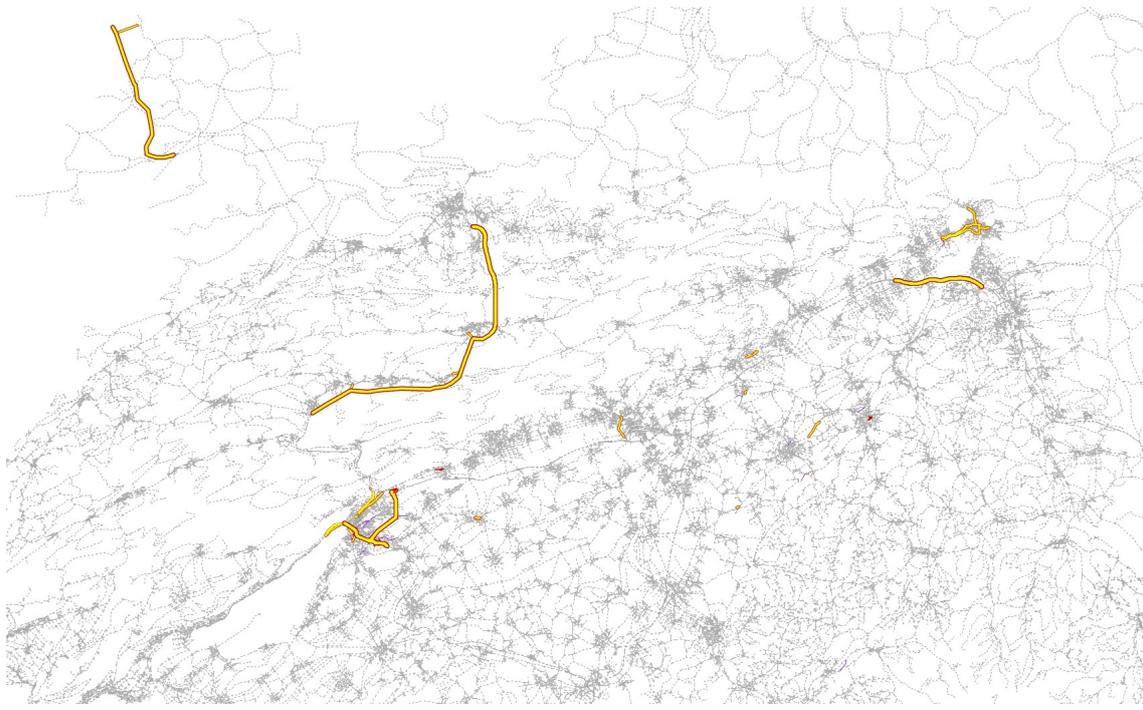
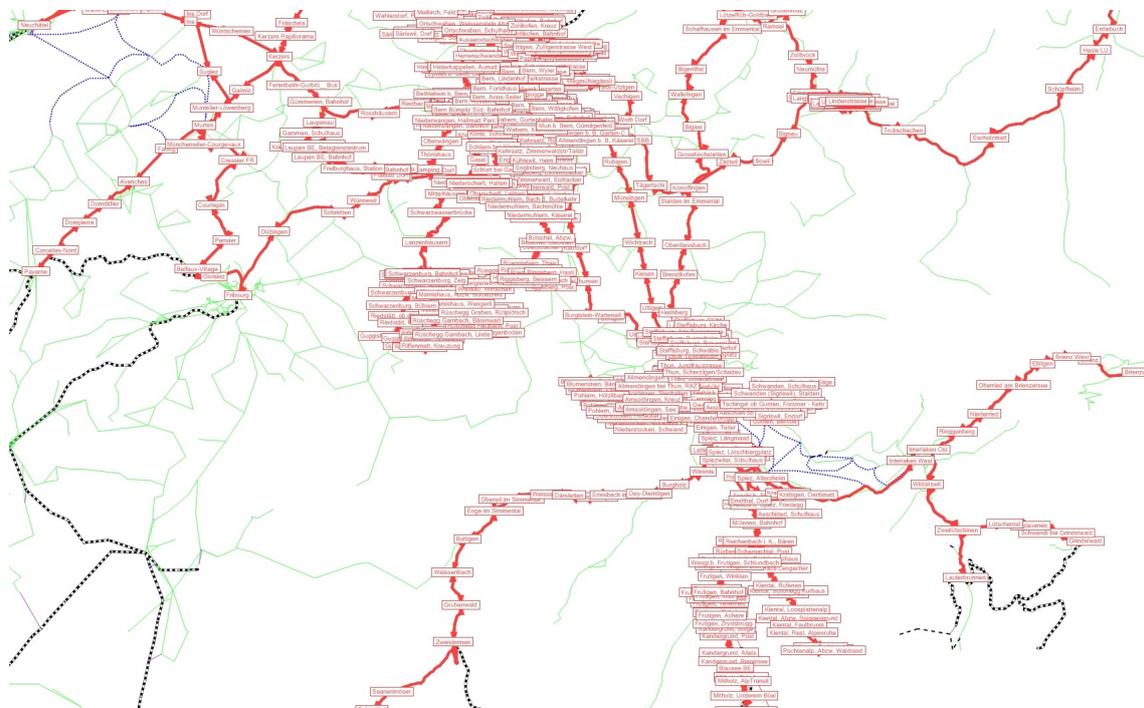
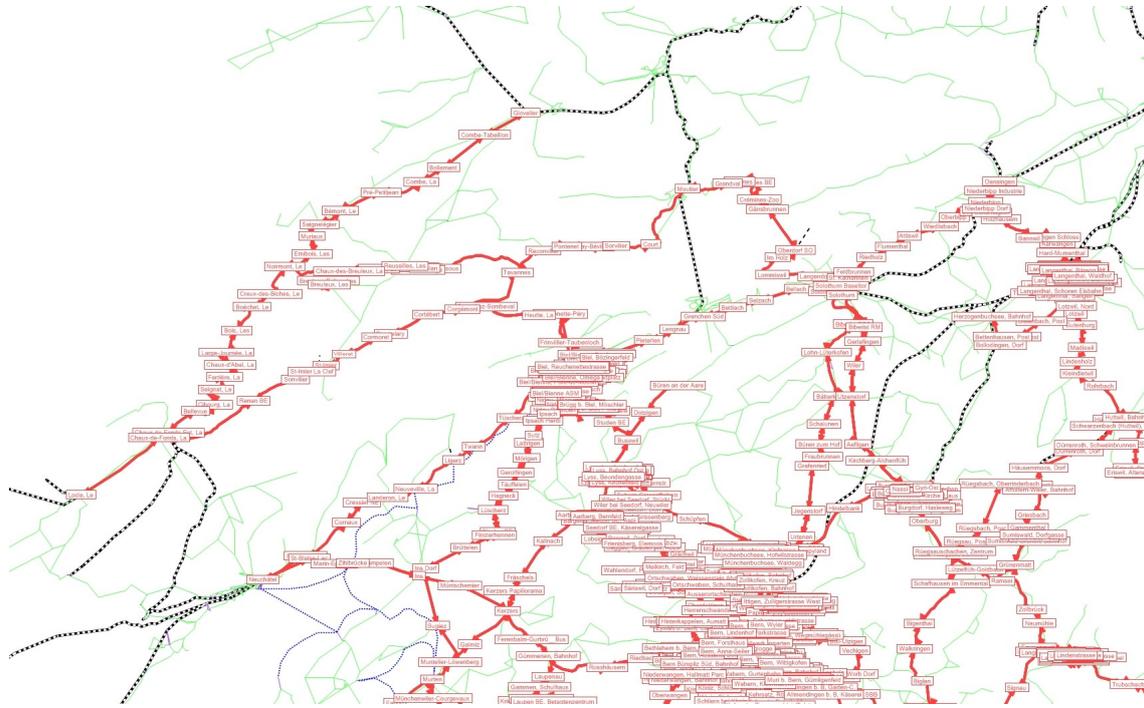


Abbildung 94 ÖV Prognosemassnahmen 2030 (veränderte Linienrouten ohne original ZEB-Massnahmen)



12.3 Strukturdaten

12.3.1 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 Trendszenario im RGSK Bern-Mittelland

Die Bevölkerungsprognose 2030 ist in folgenden Teilschritten erstellt worden:

Verkehrsmodellgebiet unterteilt in Gemeinden im Kanton Bern und solchen ausserhalb des Kantons Bern

Für die Gemeinden im Kanton Bern erfolgt die Bevölkerungsprognose 2030 auf der Basis der kantonalen Bevölkerungsprojektionen, der neuesten Prognosen des BFS aus dem Jahr 2009 und unter Berücksichtigung des für das RGSK Bern-Mittelland erarbeiteten Trendszenarios.

Für die Gemeinden ausserhalb des Kantons Bern wird die Bevölkerungsprognose gemäss NPVM übernommen. Die Aufteilung nach Alterskohorten erfordert einen Abgleich zwischen der Kohortenaufteilung im NPVM und derjenigen im GVM Kanton Bern.

Annahmen für die Bevölkerungsprognose in Gemeinden des Kantons Bern

1. Die Gesamtbevölkerung (ständiger Wohnsitz) im Kanton Bern entspricht der Prognose BFS (Szenario Mittel) aus dem Jahr 2009. Sie beträgt bezogen auf die ständige Wohnbevölkerung 1'009'442 Personen. Dies entspricht einem Wachstum im Vergleich zum Jahr 2005 von 5.47%, im Vergleich zum Jahr 2007 einem solchen von 4.78%.
2. Die Prognosen gemäss kantonomer Bevölkerungsprojektion rechnen mit einem Wachstum von 4.77% zwischen 2005 und 2030 und liegen damit 0.7% tiefer als die neuesten Prognosen des BFS. Für die Strukturdaten 2030 werden die Prognosen um diesen Faktor korrigiert, so dass Konsistenz mit den neuesten BFS-Prognosen besteht.
3. Die Bevölkerungsprognosen variieren nach Gemeindetypen. Folgende Gemeindetypen werden in Übereinstimmung mit dem NPVM unterschieden:

- Agglomerationskerngemeinde
- Übrige Gemeinden der Agglomerationskernzone
- Übrige Agglomerationsgemeinden
- Isolierte Stadt
- Periurbane ländliche Gemeinde
- Alpine Tourismuszentren ausserhalb der Agglomerationen
- Periphere ländliche Gemeinde

Innerhalb eines Gemeindetyps sind die Bevölkerungsprognosen für alle Gemeinden gleich hoch. Die Prognosen pro Gemeindetyp entsprechen dem durchschnittlichen gewichteten Wachstum der einzelnen Gemeinden (gemäss kantonalen Bevölkerungsprojektionen) innerhalb dieses Gemeindetyps. Einzig für den Gemeindetyp „Agglomerationskerngemeinde“ werden spezifische Wachstumsprognosen 2005 – 2030 eingesetzt. Tabelle 45 fasst die verwendeten Wachstumsraten zusammen.

Tabelle 45: Verwendete Wachstumsraten 2005 – 2030, ständige Wohnbevölkerung

	Wachstum Wohnbevölkerung 2005 - 2030
Bern	0.39%*
Biel	0.02%
Burgdorf	12.24%
Interlaken	2.73%
Thun	6.66%
Übrige Gemeinden der Agglomerationskernzone	7.84%
Übrige Agglomerationsgemeinden	14.04%
Isolierte Stadt	13.91%
Periurbane ländliche Gemeinde	2.29%
Alpine Tourismuszentren ausserhalb Agglo	-6.91%
Periphere ländliche Gemeinde	-9.27%

* Das Wachstum von 0.39% für die Stadt Bern entspricht dem Wachstum der ständigen Wohnbevölkerung zwischen 2005 und 2007 gemäss BFS. Zwischen 2007 und 2030 wird für die Stadt Bern ein Nullwachstum unterstellt. Alle übrigen Wachstumsraten für die grossen Städte (Biel, Burgdorf, Interlaken, Thun) wie für die einzelnen Gemeindetypen entsprechen den kantonalen Bevölkerungsprojektionen: D. Hornung et al. (2008) Regionalisierte Bevölkerungsprojektionen für den Kanton Bern, Ausgabe 2008.

Umrechnung von ständiger auf wirtschaftliche Wohnbevölkerung

Für die Umrechnung von ständiger auf wirtschaftliche Wohnbevölkerung wird folgendes Vorgehen gewählt: Es wird angenommen, dass die ständige und die wirtschaftliche Wohnbevölkerung ein identisches Wachstum aufweisen. Die Wachstumsraten 2005 – 2030 der ständigen Wohnbevölkerung werden in einem ersten Schritt auf die Zeitspanne 2000 – 2030 umgerechnet. In einem zweiten Schritt werden diese Wachstumsraten auf die wirtschaftliche Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung 2000 angewandt.

Identisches Bevölkerungswachstum in den VMZ einer Gemeinde

Für alle Verkehrsmodellzonen innerhalb einer Gemeinde wird ein identisches Bevölkerungswachstum unterstellt. Da für die Stadt Bern im hier berechneten Szenario nur ein geringes Wachstum resultiert, ist diese Annahme auch für die Stadt Bern gültig. Bei allfälligen zu einem späteren Zeitpunkt zu implementierenden Zielszenarien mit einem höheren Wachstum in der Stadt Bern müsste dieses Wachstum tendenziell auf die Verkehrsmodellzonen ausserhalb des (gebauten) Zentrums verteilt werden.

Aufteilung des Bevölkerungswachstums auf Alterskohorten

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 46.

Tabelle 46: Anteil der Alterskohorten an der Bevölkerung (ausgewählte Kantone)

	Bern		Freiburg		Solothurn	
	Anteil 2000	Anteil 2030	Anteil 2000	Anteil 2030	Anteil 2000	Anteil 2030
<15	16.5%	13.7%	20.0%	16.5%	17.2%	13.4%
15-24	11.1%	9.8%	12.7%	11.4%	11.6%	9.6%
25-59	50.2%	43.5%	50.2%	43.6%	50.3%	44.4%
60-79	17.4%	25.0%	13.7%	22.9%	16.7%	25.6%
>80	4.8%	8.0%	3.3%	5.6%	4.1%	6.9%

Quelle: Szenario der Bevölkerungsentwicklung der Kantone, superweb, BFS

Die nachfolgende Tabelle 47 fasst die für den Zustand 2030 prognostizierten Zahlen für die Bevölkerung mit wirtschaftlichem Wohnsitz im Modellgebiet zusammen und zeigt Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand.

Tabelle 47: Unterschiede zwischen Ist-Zustand 2007 und Planzustand 2030

	VMG	Kt. BE	RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6
Bevölkerung (wirtschaftlicher Wohnsitz)								
Total 2007	1'584'325	980'187	211'422	76'079	93'290	392'942	159'426	47'028
Total 2030	1'687'062	1'027'022	219'687	78'804	95'274	417'025	167'052	49'180
Wachstum 07-30 absolut	102'737	46'835	8'265	2'725	1'984	24'083	7'626	2'152
Wachstumsrate 07- 30	6.48%	4.78%	3.91%	3.58%	2.13%	6.13%	4.78%	4.58%

VMG: Verkehrsmodellgebiet; Kt. BE: Kanton Bern; RK1: Biel-Seeland-Berner Jura; RK2: Oberaargau; RK3: Emmental; RK4: Bern-Mittelland; RK5: Thun Oberland West; RK6: Oberland Ost

12.3.2 Erwerbstätige

Für die Hochrechnung der Erwerbstätigen für die Jahre 2005 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 **2000 und 2030** von rund 9.9% für das gesamte Verkehrsmodellgebiet und von 6.9% für den Kanton Bern. Die Prognosen und die Zunahmen in den einzelnen Regionalkonferenzgebieten gegenüber dem Ist-Zustand (2007) zeigt Tabelle 48.

Tabelle 48: Unterschiede zwischen Ist-Zustand 2007 und Planzustand 2030

	VMG	Kt. BE	RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6
Erwerbstätige								
Total 2007	942'574	590'693	121'369	47'139	62'437	232'714	98'019	29'015
Total 2030	1'005'040	619'014	126'533	48'859	63'658	247'475	102'252	30'237
Wachstum 07-30 absolut	62'466	28'321	5'164	1'720	1'221	14'761	4'233	1'222
Wachstumsrate 07-30	6.63%	4.79%	4.25%	3.65%	1.96%	6.34%	4.32%	4.21%

VMG: Verkehrsmodellgebiet; Kt. BE: Kanton Bern; RK1: Biel-Seeland-Berner Jura; RK2: Oberaargau; RK3: Emmental; RK4: Bern-Mittelland; RK5: Thun Oberland West; RK6: Oberland Ost

12.3.3 Beschäftigte

Grundlage für die Trendprognose 2030 bei den Beschäftigten bilden:

- Betriebszählungen des BFS 1995, 1998, 2001, 2005 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 folgender Annahmen:

- 1) Die Beschäftigten im Kanton Bern und in den Modellregionen ausserhalb des Kantons wachsen analog zum schweizerischen Durchschnitt insgesamt um 5% zwischen 2005 und 2030. Diese Annahme ist plausibel: Zwischen 1995 und 2005 betrug das durchschnittliche jährliche Beschäftigtenwachstum in der Schweiz 4.88%, im Kanton Bern lag es mit 4.02% nur geringfügig tiefer.
- 2) Innerhalb des Kantons Bern variierte das Beschäftigtenwachstum in der Vergangenheit je nach Regionalkonferenzgebiet. Dies zeigt folgende Auswertung:

Tabelle 49: Unterschiedliches Beschäftigungswachstum einzelner Regionen zwischen 95 und 05

	Beschäftigte 95	Beschäftigte 05	Wachstum 95-05
Bern-Mittelland	226708	243346	7.34%
Biel/Bienne - Seeland - Jura bernois	88363	88244	-0.13%
Emmental	35765	36680	2.56%
Oberaargau	30277	30336	0.19%
Oberland Ost	23177	22258	-3.97%
Thun-Oberland West	58094	60105	3.46%

Quelle: Betriebszählungen 1995, 1998, 2001, 2005, 2008, BFS.

Im Sinne einer Trendprognose wird das Beschäftigtenwachstum im Kanton Bern zwischen 2005 und 2030 mit den Wachstumsraten in den einzelnen Regionalkonferenzgebieten zwischen 95 und 05 gewichtet und so auf die Regionalkonferenzen verteilt.

- 3) Innerhalb der Regionalkonferenzgebieten wird das Wachstum zwischen den einzelnen Gemeindetypen aufgeteilt. Es ergeben sich folgende absolute Zahlen und Wachstumsraten (vgl. Tabelle 50 und Tabelle 51):

Tabelle 50 Beschäftigungswachstum 2005 – 2030 pro Regionalkonferenzgebiet und Gemeindetypen in Anzahl Beschäftigter (absolute Zahl)

	Bern- Mittelland	Biel - Seeland – Berner Jura	Emmental	Oberaargau	Oberland Ost	Thun- Oberland West	ausserhalb Kt. Bern im VMG
Zentrum	6'329	378	1'200	-	355	721	-1'953
Übrige Gde der Agglo.- kernzone	10'856	-264	193	-		-	3'141
Übrige Agglomerationsgde.	4'710	-66	426	-	71	123	3'618
Isolierte Stadt	-	-791	-	270		-	-
Periurbane ländliche Gde.	-366	580	-330	-194	-736	299	8'939
Alpine Tourismuszentren ausserh. Agglo	-	-	-	-	-160	686	-
Periphere ländliche Gde.	-	9	-304	-	-9	-334	594
Total	21'529	-154	1'184	76	-1'189	2'602	14'339

Quelle: Eigene Hochrechnung auf Basis der Daten der Betriebszählung und Trendprognose 2005-2030 gemäss NPVM.

Tabelle 51 Beschäftigungswachstum 2005 – 2030 pro Regionalkonferenzgebiet und Gemeindetypen in %

	Bern- Mittelland	Biel - Seeland – Berner Jura	Emmental	Oberaargau	Oberland Ost	Thun- Oberland West	ausserhalb Kt. Bern im VMG
Zentrum	4.26%	1.15%	10.60%	0.00%	-6.23%	3.17%	-1.53%
Übrige Gde der Agglo.- kernzone	25.33%	-8.66%	9.22%	0.00%	0.00%	0.00%	7.51%
Übrige Agglomerationsgde.	11.94%	-0.54%	14.22%	0.00%	1.33%	7.78%	8.75%
Isolierte Stadt	0.00%	-13.27%	0.00%	2.76%	0.00%	0.00%	0.00%
Periurbane ländliche Gde.	-2.96%	1.70%	-2.51%	-0.94%	-12.39%	2.62%	13.64%
Alpine Tourismuszentren ausserh. Agglo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-3.46%	8.65%	0.00%
Periphere ländliche Gde.	0.00%	56.61%	-4.27%	0.00%	-1.45%	-14.93%	5.59%
Total	8.85%	-0.17%	3.23%	0.25%	-5.34%	4.33%	5.00%

Quelle: Eigene Hochrechnung auf Basis der Daten der Betriebszählung und Trendprognose 2005-2030 gemäss NPVM.

Die teilweise grossen prozentualen Veränderungen bei einzelnen Gemeindetypen sind mit den absoluten Zahlen gemäss Tabelle 50 zu relativieren.

- 4) In einem nächsten Schritt wird angenommen, dass die Wachstumsraten der Beschäftigten und die Wachstumsraten der in Vollzeitäquivalente umgerechneten Anzahl Beschäftigter identisch sind, d.h. das Verhältnis zwischen Vollzeitäquivalenten und der Anzahl Beschäftigter bleibt über die Jahre konstant.
- 5) Innerhalb einer Gemeinde werden die Beschäftigten entsprechend der heutigen Anteile der einzelnen Verkehrsmodellzonen an der Gesamtbeschäftigung einer Gemeinde auf die einzelnen Verkehrsmodellzonen aufgeteilt.
- 6) Es wird zudem angenommen, dass das Verhältnis zwischen Angestellten im 2. und im 3. Sektor konstant bleibt.

Die nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick über die aus der Berechnung resultierenden Beschäftigungszahlen in Vollzeitäquivalenten für den Zustand 2030 sowie deren Veränderung gegenüber dem Ist-Zustand im Jahr 2007.

Tabelle 52 Unterschiede zwischen Ist-Zustand 2007 und Planzustand 2030

	VMG	Kt. BE	RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6
Beschäftigte (Vollzeitäquivalente 2 und 3 Sektor)								
Total 2007	674'383	418'104	79'092	27'585	32'330	206'370	53'088	19'641
Total 2030	689'482	428'323	76'687	26'600	32'395	220'430	54'000	18'211
Wachstum 07-30 absolut	15'100	10'218	-2'405	-984	65	14'060	912	-1'430
Wachstumsrate 07- 30	2.24%	2.44%	-3.04%	-3.57%	0.20%	6.81%	1.72%	-7.28%

VMG: Verkehrsmodellgebiet; Kt. BE: Kanton Bern; RK1: Biel-Seeland-Berner Jura; RK2: Oberaargau; RK3: Emmental; RK4: Bern-Mittelland; RK5: Thun Oberland West; RK6: Oberland Ost

Tabelle 52 zeigt, dass ein bedeutender Teil des Beschäftigtenwachstums zwischen 2005 und 2030 gemäss Tabelle 50 und Tabelle 51 schon zwischen 2005 und 2007 realisiert worden ist. Dies spiegelt das vergleichsweise starke Wirtschaftswachstum zwischen 2005 und 2007 wider.

12.3.4 Auszubildende

Für die Prognose 2030 wird nur die Zahl der Standortschüler angepasst. Für die Studenten an den Universitäten und Fachhochschulen werden die Daten aus dem Ist-Zustand übernommen.

Die Zahl der Standortschüler wird mit Hilfe der Bevölkerungsentwicklung berechnet. Dabei werden die Wachstumsraten zwischen 2007 und 2030 der Alterskohorten der bis 24-Jährigen auf Gemeindebasis ermittelt und die Zahl der Standortschüler im Jahr 2007 pro Verkehrsmodellzone mit der entsprechenden Gemeinde-Wachstumsrate multipliziert. Dies führt insgesamt zu einem Rückgang der Schülerzahlen. Dieser ist aufgrund der erwarteten Entwicklung der Alterspyramide plausibel.

Zwischen 1990/91 und 2008/09 ist die Zahl der Studierenden an der Universität Bern insgesamt um über 37% angestiegen, was einem durchschnittlichen Wachstum von über 1.7% pro Jahr entspricht. Auch in den Jahren zwischen 2007 und 2030 kann deshalb ein Wachstum der Zahl der Studierenden erwartet werden. Es ist allerdings sehr schwierig, eine Prognose über die künftige Entwicklung zu geben. Die einfachste Variante wäre anzunehmen, dass das Wachstum der vergangenen 19 Jahre anhält. Dies würde bedeuten, dass sich die Zahl der Studierenden an der Universität Bern bis ins Jahr 2030 um weitere 47% 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 12% 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 0.85% korrigieren wir zusätzlich noch um das negative Kohortenwachstum (15-25-Jährige). Daraus ergibt sich ein **Gesamtwachstum zwischen 2007 und 2030 von 14.8%** (wobei bereits 4.2% zwischen 2007 und 2009 realisiert wurden)¹⁴.

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.

Die Unterschiede zwischen dem Ist-Zustand und dem Zustand 2030 sowie die ermittelten Schülerzahlen für das Jahr 2030 sind in nachfolgender Tabelle 53 ersichtlich.

¹⁴ Für die anderen im Modellgebiet enthaltenen Universitäten ergeben sich unter gleicher Berechnungsmethodik leicht höhere Wachstumsraten (16% in Neuchâtel und 23% in Freiburg). Gerade Freiburg weist in den letzten 4 Jahren aber abnehmenden Studentenzahlen auf, was das hohe Wachstum von 23% als unplausibel erscheinen lässt. Wir verwenden deshalb für sämtliche Universitäten die gleichen Wachstumszahlen wie für die Uni Bern.

Tabelle 53: Unterschiede zwischen Ist-Zustand 2007 und Planzustand 2030

	VMG	Kt. BE	RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6
Auszubildende (Standortschüler)								
Total 2007	234'562	142'162	28'793	10'117	13'507	60'025	22'566	7'154
Total 2030	210'617	126'342	25'209	9'157	11'887	53'734	20'063	6'292
Wachstum 07-30 absolut	-23'944	-15'820	-3'584	-960	-1'620	-6'291	-2'503	-862
Wachstumsrate 07-30	-10.21%	-11.13%	-12.45%	-9.49%	-11.99%	-10.48%	-11.09%	-12.05%

VMG: Verkehrsmodellgebiet; Kt. BE: Kanton Bern; RK1: Biel-Seeland-Berner Jura; RK2: Oberaargau; RK3: Emmental; RK4: Bern-Mittelland; RK5: Thun Oberland West; RK6: Oberland Ost

12.3.5 Verkaufsflächen und Einkaufszentren

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand grundsätzlich übernommen. Ausnahmen werden gemacht, falls bereits grössere Bauprojekte bekannt und von deren Realisierung vor 2030 ausgegangen werden kann. Im Strukturdatensatz für den Zustand 2030 berücksichtigt wurde:

Stadion Thun Süd (Mantelnutzung): bewilligte Einkaufsfläche von 15'000 m²

12.3.6 Kulturangebote

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

12.3.7 Freizeitangebote

Für die Prognose 2030 werden die Daten aus dem Ist-Zustand grundsätzlich übernommen. Ausnahmen werden gemacht, falls bereits grössere Bauprojekte bekannt und von deren Realisierung vor 2030 ausgegangen werden kann. Im Strukturdatensatz für den Zustand 2030 berücksichtigt wurden:

- Stadion Thun Süd (VMZ: 9420803): Fussballstadion mit Mantelnutzung (siehe Einkaufszentren)
- Stadion Biel (VMZ 3710605): Hockey- und Fussballstadion ohne Mantelnutzung

Zudem wurden die Zuschauerzahlen für die beiden Stadien geschätzt. Als Schätzwerte dienen dabei die Zuschauerzahlen aus der Saison 08/09.

12.3.8 Gastronomie (Hotels und Restaurants)

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

12.3.9 Bestand an Personenwagen

Das Wachstum der Personenwagen bis 2030 in einer Verkehrsmodellzone entspricht im Wesentlichen dem Wachstum der Personenwagen von NPVM pro Gemeinde. Das NPVM antizipiert je nach Gemeindetyp und Kanton eine andere Wachstumsrate. Die einzelnen Prozentzahlen sind in der Tabelle 54 wiedergegeben. Da im NPVM das Basisszenario dem Jahr 2005 und nicht 2007 entspricht, wird angenommen, dass ein Teil des Wachstums im kantonalen Basisszenario (d.h. zwischen 2005 und 2007) bereits realisiert wurde. Die Wachstumsrate wird demnach linear um $2/25$ gekürzt. Somit entspricht die im kantonalen Modell verwendete Wachstumsrate für 2007 bis 2030 $23/25$ -tel der Wachstumsrate von 2005 bis 2030 aus dem NPVM vgl. Tabelle 55.

Tabelle 54: Wachstum der Anzahl Personenwagen zwischen 2005 bis 2030 gemäss NPVM

	Zentrum	Übrige Gde der Agglo- kernzone	Übrige Agglo- gemeinde	Isolierte Stadt	Periurbane ländliche Gde.	Alpine Tourismus- zentren	Periphere ländliche Gde.
Zürich	19%	21%	25%	-	25%	-	-
Bern	7%	9%	12%	9%	12%	7%	6%
Luzern	13%	15%	18%	-	18%	-	11%
Uri	-	-	-	-	11%	-	4%
Schwyz	20%	22%	26%	22%	26%	-	4%
Obwalden	-	-	-	-	16%	10%	9%
Nidwalden	19%	21%	25%	-	25%	-	-
Glarus	-	-	-	-	6%	-	0%
Zug	27%	29%	33%	-	33%	-	-
Freiburg	26%	28%	32%	-	32%	-	24%
Solothurn	9%	11%	14%	-	14%	-	8%
Baselstadt	0%	-	5%	-	-	-	-
Baselland	-	9%	12%	-	12%	-	6%
Schaffhausen	7%	8%	12%	-	12%	-	6%
Appenzell Aus.	-	9%	13%	-	13%	-	-
Appenzell Inn.	-	-	-	-	26%	-	-
St. Gallen	9%	11%	15%	-	15%	-	8%
Graubünden	8%	10%	13%	10%	13%	8%	7%
Argau	16%	18%	22%	-	22%	-	15%
Thurgau	16%	19%	22%	-	22%	-	-
Tessin	14%	16%	20%	-	20%	-	13%
Waadt	20%	23%	26%	-	26%	20%	19%
Wallis	18%	-	24%	21%	24%	18%	17%
Neuenburg	10%	12%	15%	-	15%	-	9%
Genf	12%	14%	18%	-	18%	-	-
Jura	6%	-	11%	-	11%	-	5%

Tabelle 55: Berücksichtigtes Wachstum der Anzahl Personenwagen zwischen 2007 bis 2030

	Zentrum	Übrige Gde der Agglo- kernzone	Übrige Agglo- gemeinde	Isolierte Stadt	Periurbane ländliche Gde.	Alpine Tourismus- zentren	Periphere ländliche Gde.
Zürich	17%	20%	23%	-	23%	-	-
Bern	6%	8%	11%	8%	11%	6%	5%
Luzern	12%	14%	17%	-	17%	-	11%
Uri	-	-	-	-	10%	-	4%
Schwyz	18%	21%	24%	21%	24%	-	4%
Obwalden	-	-	-	-	14%	9%	8%
Nidwalden	17%	19%	23%	-	23%	-	-
Glarus	-	-	-	-	6%	-	0%
Zug	25%	27%	31%	-	31%	-	-
Freiburg	24%	26%	29%	-	29%	-	22%
Solothurn	8%	10%	13%	-	13%	-	7%
Baselstadt	0%	-	4%	-	-	-	-
Baselland	-	9%	11%	-	11%	-	6%
Schaffhausen	6%	8%	11%	-	11%	-	5%
Appenzell Aus.	-	9%	12%	-	12%	-	-
Appenzell Inn.	-	-	-	-	24%	-	-
St. Gallen	8%	10%	13%	-	13%	-	7%
Graubünden	7%	9%	12%	9%	12%	7%	6%
Argau	15%	17%	20%	-	20%	-	13%
Thurgau	15%	17%	20%	-	20%	-	-
Tessin	13%	15%	18%	-	18%	-	12%
Waadt	19%	21%	24%	-	24%	19%	18%
Wallis	17%	-	22%	19%	22%	17%	16%
Neuenburg	9%	11%	14%	-	14%	-	8%
Genf	11%	13%	16%	-	16%	-	-
Jura	5%	-	10%	-	10%	-	4%

Quelle: Gemäss NPVM für 2005-2030, hochgerechnet auf 2007-2030.

Gemäss Vorgaben des NPVM steigt die Anzahl Personenwagen im Kanton Bern zwischen 2007 und 2030 um durchschnittlich beinahe 10% und im gesamten Modellgebiet um 12.2%. Die Entwicklung der Anzahl Personenwagen ist wesentlich durch die Bevölkerungsentwicklung beeinflusst. Im nationalen Personenverkehrsmodell wird von einem Bevölkerungswachstum in unserem Modellgebiet von ca. 4.5% ausgegangen, was deutlich geringer ist als das in Abschnitt 12.3.1 hergeleitete Wachstum von 6.5%.¹⁵ In Anbetracht des höheren Bevölkerungswachstums im Gesamtverkehrsmodell des Kantons Bern erscheint die Entwicklung des PW-Bestandes von „nur“ 12.2% als zu gering. Das PW-Wachstum wird deshalb entsprechend dem höheren Bevölkerungswachstums zusätzlich nach oben korrigiert, so dass im Modellgebiet eine Zunahme von 17.5%¹⁶ zu verzeichnen ist. Tabelle 56 bietet einen Überblick über die

¹⁵ Die Wachstumszahlen sind zwar nicht direkt vergleichbar, da im NPVM das Bevölkerungswachstum der ständigen Wohnbevölkerung zwischen 05 und 30 angegeben wird und die 6.5% im Gesamtverkehrsmodell des Kantons Bern das Wachstum der wirtschaftlichen Wohnbevölkerung zwischen 07 und 30 darstellten. Trotzdem zeigen die Zahlen jedoch, dass die 12.2% (bez. 13.2% für die Jahre 05 und 30) tendenziell eher zu tief sind, da das Bevölkerungswachstum tendenziell höher sein dürfte als im NPVM angenommen wird.

¹⁶ Ergibt sich aus $12.2\% / 4.5\% \times 6.5\% \sim 17.5\%$

ermittelte Anzahl Personenwagen für den Zustand 2030 sowie deren Wachstum gegenüber dem Ist-Zustand.

Tabelle 56: Unterschiede zwischen Ist-Zustand 2007 und Planzustand 2030

	VMG	Kt. BE	RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6
Personenwagen								
Total 2007	745'802	465'732	103'486	40'534	47'238	173'635	79'627	21'212
Total 2030	836'809	510'713	113'961	44'883	51'626	189'981	87'004	23'258
Wachstum 07-30 absolut	91'007	44'981	10'475	4'349	4'388	16'346	7'377	2'046
Wachstumsrate 07- 30	12.20%	9.66%	10.12%	10.73%	9.29%	9.41%	9.26%	9.64%

VMG: Verkehrsmodellgebiet; Kt. BE: Kanton Bern; RK1: Biel-Seeland-Berner Jura; RK2: Oberaargau; RK3: Emmental; RK4: Bern-Mittelland; RK5: Thun Oberland West; RK6: Oberland Ost

12.3.10 Verfügbarkeit an Parkplätzen zu Hause und am Arbeitsplatz

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

12.3.11 Besitz von Abonnements für den öffentlichen Verkehr

Für die Berechnung des Wachstums der Abos im öffentlichen Verkehr wurde wiederum auf die Annahmen aus dem NPVM zurückgegriffen. Gemässe diesen Annahmen verdoppelt sich die Anzahl der GA-Besitzer in der Schweiz zwischen den Jahren 2005 bis 2030, während die Zahl der Halbtax-Abos um einen viertel zunimmt. Für die Prognose der Zahlen für das kantonale Verkehrsmodell wird die effektive Entwicklung der Abo-Besitzer zwischen 2005 und 2007 bereits berücksichtigt. Gemäss Angaben der SBB hat die Zahl der GA-Besitzer in der entsprechenden Zeitspanne um 17.8% zugenommen, während nur 6.2% mehr Halbtax-Abos verkauft wurden. Für die verbleibenden Jahre bis 2030 ist somit mit einem Wachstum von ca. 70% bei den GAs und 18% bei den Halbtax-Abos zu rechnen.

Aufgrund der im NPVM erwarteten starken Zunahme von Generalabonnements wurde für die Monats- und Jahresabos regionaler Verkehrsbetriebe das gleiche geringfügige Wachstum wie für die Halbtax-Abos angenommen.

Tabelle 57: Unterschiede zwischen Ist-Zustand 2007 und Planzustand 2030

	VMG	Kt. BE	RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6
Anzahl GA pro VMZ								
Total 2007	105'487	76'016	12'350	4'435	5'479	37'127	13'892	2'732
Total 2030	179'329	129'227	20'995	7'540	9'315	63'116	23'616	4'644
Wachstum 07-30 absolut	73'841	53'211	8'645	3'105	3'836	25'989	9'724	1'912
Wachstumsrate 07- 30	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%
Anzahl HA pro VMZ								
Total 2007	471'574	318'557	57'292	19'484	26'480	147'593	51'645	16'064
Total 2030	556'458	375'897	67'604	22'991	31'246	174'160	60'941	18'956
Wachstum 07-30 absolut	84'883	57'340	10'313	3'507	4'766	26'567	9'296	2'892
Wachstumsrate 07- 30	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%
Anzahl Jahres- und Monatsabo pro VMZ BeO / libero / zigzag								
Total 2007	96'607	83'959	11'138	2'157	4'840	56'502	7'946	1'376
Total 2030	113'994	99'069	13'142	2'543	5'712	66'673	9'377	1'624
Wachstum 07-30 absolut	17'387	15'110	2'005	386	871	10'170	1'430	248
Wachstumsrate 07- 30	18.00%	18.00%	18.00%	17.90%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%

VMG: Verkehrsmodellgebiet; Kt. BE: Kanton Bern; RK1: Biel-Seeland-Berner Jura; RK2: Oberaargau; RK3: Emmental; RK4: Bern-Mittelland; RK5: Thun Oberland West; RK6: Oberland Ost

12.3.12 Weitere Daten

Spitaldaten

Für den Zustand 2030 wurden die Zahlen des Ist-Zustands übernommen.

Flughafendaten

Für den Zustand 2030 wurden die Zahlen aus dem Nationalen Personenverkehrsmodell übernommen. Hier wird von einer Zunahme der Passagierzahlen von 75% ausgegangen.

12.4 Erzeugungsmodell

Das Erzeugungsmodell 2030 wird auf Grundlage des Erzeugungsmodells 2007 und neuen Struktur- und Verhaltensdaten 2030 erstellt.

Die Erzeugungsraten für das Jahr 2030 wurden von denjenigen des Jahres 2007 abgeleitet. Dabei wurden folgende Annahmen über die Veränderung der Erzeugungsraten entsprechend der Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030 (Bundesamt für Raumentwicklung, 2006) der einzelnen Fahrtzwecke getroffen:

- Pendler: unverändert
- Nutzfahrt: + 21.0%
- Einkauf: + 5.3%
- Freizeit: + 15.6%

Die weiteren Kennwerte des Erzeugungsmodells sowie Gewichtungen der einzelnen Attraktionsvariablen wurden aus dem Basismodell 2007 übernommen.

Das aus dem Erzeugungsmodell berechnete Verkehrsaufkommen für das Jahr 2030 und die daraus ermittelten Veränderungen in den Fahrtzweckanteilen sind in der Tabelle 58 dargestellt. Durch die zunehmende Mobilitätsrate und die veränderten Strukturdaten steigt die Anzahl der Wege im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2007 um insgesamt 16.4%. Die getroffene Annahme für die Erhöhung der Mobilitätsraten führt zu kleineren Veränderungen bei den Fahrtzweckanteilen, die vor allem zu einer Abnahme des Anteils der Pendlerwege und einem höheren Anteil der Freizeitwege führen.

Tabelle 58 Verkehrsaufkommen und Fahrtzweckanteile 2007 / 2030

	Wege in Mio.			Fahrtzweckanteil		
	2007	2030	Veränderung in %	2007	2030	Veränderung in %
Arbeit	1'818'342	1'934'658	6.4	29,4	26,9	-2,5
Ausbildung	614'616	652'949	6.2	9,9	9,1	-0,9
Nutzfahrt	286'230	366'766	28.1	4,6	5,1	0,5
Einkauf	1'182'010	1'425'950	20.6	19,1	19,8	0,7
Freizeit	2'278'164	2'814'752	23.6	36,9	39,1	2,3
Summe	6'179'363	7'195'075	16.4	100,0	100,0	

12.5 Quelle-Ziel-Matrizen 2030

Nach der Bestimmung des Erzeugungsmodells wurden im darauf folgenden Schritt aus den ermittelten Quell- bzw. Zielverkehrsaufkommen und unter Anwendung des simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells in VISEVA die Quelle-Ziel-Matrizen erstellt. Die Berechnung wurde auf die gleiche Weise wie im Ist-Zustand für 17 Quelle-Ziel-Gruppen durchgeführt.

Dafür wurden die Modellparameter für die Angebots- und Attraktionsvariablen und die Modelleinstellungen (harte und weiche Randsummenbedingungen) aus dem Ist-Zustand übernommen. Zusätzlich wurde angenommen, dass die Reisekostenverhältnisse zwischen MIV und ÖV unverändert bleiben. Neben den veränderten Raum- resp. Strukturdaten sind vor allem die veränderten Angebotsverhältnisse zwischen MIV und ÖV die wesentliche Ursache für die unterschiedlichen Nachfragentwicklungen. Im Strassenverkehr spielen die durch die höhere Nachfrage im Personen- und Güterverkehr entstehenden Staueffekte und im ÖV die vorgesehenen Angebotserweiterungen eine wichtige Rolle.

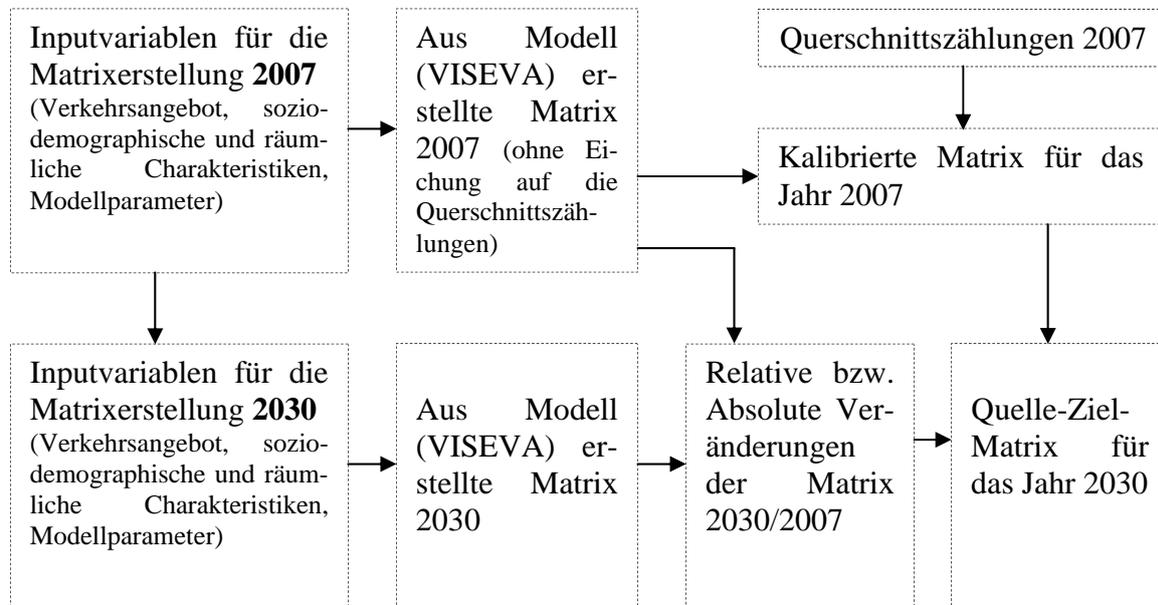
Die Gesamtnachfrage für das Prognosejahr wird in zwei Schritten erstellt:

- Binnenverkehr: Erstellung von Quelle-Ziel-Matrizen im Binnenverkehr 2030 (VISEVA) und Ableitung der Nachfrageveränderungen
- Hochrechnung der Gesamtmatrix 2030 inklusive Aussenverkehr aus NPVM: Hochrechnung der Nachfrageveränderungen aus ermittelten Nachfrageveränderungen 2030/2007 und der kalibrierten Matrix 2007

Wie bei der Erstellung der Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2007 kann auch die Matrix für das Jahr 2030 nicht in ihrer Gesamtheit auf einmal erstellt werden. Stattdessen müssen wiederum eigenständige Modelle für den Binnenverkehr aufgestellt werden und die Veränderungen im Aussenverkehr aus dem NPVM abgeleitet werden.

Aus den ermittelten interzonalen MIV- und ÖV-Quelle-Ziel-Matrizen für die Jahre 2030 und 2007 wurden zunächst die Veränderungen des Verkehrsaufkommens für jede Quelle-Ziel-Beziehung berechnet. Mit den daraus berechneten Veränderungsfaktoren und den kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen für das Jahr 2007 wurden die Quelle-Ziel-Matrizen im Binnenverkehr für das Jahr 2030 erstellt. Das Vorgehen ist in der Abbildung 95 dargestellt.

Abbildung 95 Vorgehen bei der Berechnung der Prognosematrizen (Binnenströme)



12.5.1 Nachfrageveränderungen im Binnenverkehr

Im ersten Schritt werden die aus den VISEVA-Berechnungen ermittelten Nachfrageveränderungen im Binnenverkehr analysiert. Die ermittelten Veränderungen des gesamten Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung nach Verkehrsmitteln und Fahrtzwecken sind in Tabelle 59 dargestellt.

Aus den Netzmodellen und Strukturdaten 2030 werden die Eingangsgrößen für das Nachfragemodell abgeleitet. Hier ist es wichtig, dass zwischen den Netzmodellen 2007 und 2030 die Konsistenz sichergestellt ist. Aus diesem Grund mussten die Nachfrageberechnungen auch für das Jahr 2007 mit Angebotsvariablen aus zuletzt kalibrierten Quelle-Ziel-Matrizen wiederholt werden. Darauffolgend werden die Angebotsvariablen für das Jahr 2030 erstellt und für das Nachfragemodell aufbereitet. Als endgültiges Ergebnis fließen die Angebotsvariablen und Attraktionsvektoren in das Nachfragemodell ein. Dies wird auch für die Mobilitätswerkzeuge und mittleren Alters pro Zone durchgeführt. Für die Ableitung der LIV-Angebotsqualität wird angenommen, dass sich diese gegenüber 2007 nicht ändert. Im Güterverkehr wurde das Nach-

fragewachstum mit 23% aus dem Nationalen Personenverkehrsmodell übernommen. Bei den Nachfrageberechnungen wurden mehrere Iterationen durchgeführt, um ein Gleichgewicht zwischen den Reisezeiten und der berechneten Nachfrage zu erstellen. In der ersten Iteration wurde die MIV-Reisezeit für das Jahr 2030 entsprechend der Erhöhung des PW-Bestandes berechnet.

Tabelle 59 Veränderungen des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung 2030/2007 (Aus VISEVA ermittelte Binnenströme)

Alle Wege (Intra- und Interzonal)	MIV	ÖV	Velo	Fuss
Verkehrsaufkommen (Wege): Veränderung 2030/2007 in %				
Arbeit	7,5	26,0	-8,2	-11,2
Ausbildung	1,4	26,9	-1,2	-4,4
Nutzfahrt	23,9	73,6	13,3	11,8
Einkauf	26,0	35,8	8,2	7,7
Freizeit	25,1	41,1	16,8	16,1
Summe	18,6	33,4	5,6	5,8
Verkehrsleistung (Pkm): Veränderung 2030/2007 in %				
Arbeit	4,3	23,8	-8,0	-11,1
Ausbildung	-8,0	50,9	5,3	3,6
Nutzfahrt	20,4	67,9	15,4	13,8
Einkauf	16,6	37,7	10,1	9,4
Freizeit	22,0	49,9	18,6	17,8
Summe	14,6	40,6	7,2	7,5

Aus der Tabelle 59 ist abzuleiten, dass die wesentliche Zunahme des Verkehrsaufkommens im ÖV stattfindet. Das Wachstum des MIV mit 18.6% Zunahme des Verkehrsaufkommens, ist nur fast halb so hoch wie das Wachstum des ÖV. Die starke Kapazitätsauslastung des Strassennetzes mit parallelem Ausbau des ÖV einerseits, sowie erreichter Sättigung beim PW-Besitz andererseits, führen zu einer geringeren Zunahme im MIV. Die erhöhte Reisezeit im MIV gegenüber 2007 führt sogar zu einem leichten Rückgang der mittleren Reiseweite. Das verbesserte ÖV-Angebot führt auch zu einer stärkeren Zunahme der Verkehrsleistung im ÖV und damit einer Erhöhung der Reiseweite.

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Veränderung der Anteile der einzelnen Verkehrsmittel. Die nachfolgende Tabelle 60 zeigt die Entwicklung dieser Anteile in Bezug auf das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung. Bezüglich der Verkehrsleistung ergibt sich insgesamt eine Erhöhung des ÖV-Anteils um 3.7 Prozentpunkte, eine Reduktion des MIV-Anteils um 2.9 Prozentpunkte und des LIV-Anteils um 0.8 Prozentpunkte. Das verbesserte ÖV-Angebot sowie das starke Wachstum der ÖV-Abonnemente und die veränderte Altersstruktur der Einwohner mit gleichzeitiger Verschlechterung der MIV-Angebote (Staueffekte) führen

zu einer Erhöhung der Reiseweite im ÖV und dadurch auch zu einer Erhöhung des ÖV-Anteils.

Tabelle 60 Veränderungen der Anteile der Verkehrsmittel 2030/2007 nach Fahrtzwecken (Aus VISEVA ermittelte Binnenströme)

Alle Wege	MIV-Wege	ÖV - Wege	Velo - Wege	Fuss-Wege
Verkehrsaufkommen (Wege): Veränderung 2030/2007 in %				
Arbeit	0,6	2,9	-0,9	-2,6
Ausbildung	-0,6	5,7	-1,4	-3,7
Nutzfahrt	-2,7	3,6	-0,2	-0,7
Einkauf	2,4	1,3	-1,0	-2,8
Freizeit	0,7	1,4	-0,5	-1,7
Summe	0,6	2,9	-0,9	-2,6
Verkehrsleistung (Pkm): Veränderung 2030/2007 in %				
Arbeit	-2,9	3,7	-0,3	-0,5
Ausbildung	-4,8	9,8	-1,9	-3,2
Nutzfahrt	-4,7	4,9	0,0	-0,1
Einkauf	-1,4	2,3	-0,3	-0,6
Freizeit	-2,8	3,3	-0,2	-0,4
Summe	-2,9	3,7	-0,3	-0,5

In einem weiteren Schritt wurden die Nachfrageberechnungen für das Jahr 2030 unter der Annahme erstellt, dass die Angebotsverhältnisse innerhalb des Modellgebiets gegenüber dem Jahr 2007 unverändert bleiben. Durch diese Annahme und anhand der Strukturdaten 2030 werden die Nachfrageveränderungen berechnet, die nur durch Struktur- und soziodemographische Veränderungen verursacht werden. Der Vergleich der berechneten Verkehrsströme nach Verkehrsmittel mit und ohne Angebotsveränderungen ist in Tabelle 61 dargestellt. Analysiert werden hier nur die Binnenströme innerhalb des Modellgebiets. Hier ist festzustellen, dass die ÖV-Angebotsveränderungen erwartungsgemäss eine positive Wirkung auf die ÖV-Nachfrage haben. Ohne vorgesehene Angebotsverbesserungen reduziert sich das ÖV-Wachstum von 33.4% auf 25.7%. Ein Teil des Nachfragewachstums im ÖV wird also durch die Angebotsverbesserung verursacht. Im MIV sind die Stauereffekte 2030 höher als 2007, was wieder auf die MIV-Nachfrage eine negative Wirkung hat. Damit wäre die MIV-Nachfrage im Fall, dass die Angebotsverhältnisse bis 2030 unverändert bleiben, um 3.6% höher als die hier vorgesehenen Angebotsverhältnisse 2030. Zusätzlich muss beachtet werden, dass die absoluten Zahlen im MIV deutlich grösser sind.

Tabelle 61 Auswirkung von Angebotsänderungen (Aus VISEVA ermittelte Binnenströme)

Alle Wege	Anzahl Wege		Veränderung gegenüber 2007 in %	
	2030 Mit Angebotsveränderung	2030 Ohne Angebotsveränderung	2030 Mit Angebotsveränderung	2030 Ohne Angebotsveränderung
MIV	3'935'442	4'020'784	18,6	21,2
ÖV	1'129'605	1'064'853	33,4	25,7
Velo	580'365	574'032	5,6	4,4
Fuss	1'549'663	1'535'406	5,8	4,9
Summe	7'195'075	7'195'075	0,0	0,0

12.5.2 Gesamtmatrix: Binnen - und Aussenverkehr

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 2007 und den ermittelten Wachstumsfaktoren pro Quelle-Ziel-Beziehung und Verkehrsmittel berechnet. Das Nachfragewachstum der Aussenzonen wurde aus der NPVM Prognose übernommen.

Wie in Abbildung 92 und Abbildung 95 dargestellt ist, werden die endgültigen Matrizen für das Jahr 2030 aus der kalibrierten Matrix 2007 (Binnen- und Aussenverkehr), den aus der in VISEVA berechneten Nachfrageveränderungen im Binnenverkehr 2030-2007 (Kapitel 11.5.1) und dem hochgerechneten Aussenverkehr ermittelt. Das aus den zusammengeführten Binnen- und Aussenströmen ermittelte Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung für das Jahr 2030 sowie die Veränderungen gegenüber dem Jahr 2007 sind in der folgenden Tabelle 62 dargestellt. Im Vergleich zum Binnenverkehr fällt das Wachstum des ÖV-Verkehrsaufkommens und der ÖV-Verkehrsleistung, bedingt durch das höhere Wachstum des Aussenverkehrs, höher aus.

Insgesamt erhöht sich das Verkehrsaufkommen im ÖV um 43% und die Verkehrsleistung um 64% gegenüber dem Jahr 2007. Bei der Verkehrsleistung wird nur das Verkehrsnetz innerhalb des Modellgebiets berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass das absolute Wachstum im MIV höher ist als im ÖV (der Anteil des ÖV am Gesamtverkehr ist deutlich geringer als der Anteil des MIV). Vom gesamten Nachfragezuwachs (1,1 Mio. Wege) fallen 68% auf den MIV. Bei der Verkehrsleistung reduziert sich dieser Zuwachs im MIV aufgrund der erhöhten ÖV-Reiseweite auf ca. 50%.

Aus der Tabelle 62 ist weiter festzustellen, dass die Verkehrsleistungen im ÖV deutlich stärker wachsen als das Verkehrsaufkommen, was wiederum auf die Angebotsverbesserungen und teilweise auch auf die Siedlungsentwicklung zurückzuführen ist. Die starken Auslastungen des Strassennetzes und die dadurch verursachten Reisezeiterhöhungen führen dazu, dass die Reiseweite im MIV fast unverändert bleibt. Hier ist auch zu bemerken, dass die ÖV-Nachfrage im Aussenverkehr ein stärkeres Wachstum zeigt als im Binnenverkehr. Die veränderte Altersstruktur der Bevölkerung sowie schlechtere Angebotsbedingungen im MIV führen zu einer Reduktion des Ausbildungsverkehrs.

Tabelle 62 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung der MIV- und ÖV-Matrix für das Jahr 2030 (Binnen- und Aussenströme)

Binnen- und Aussenverkehr	MIV		ÖV		MIV+ÖV	
	2030 (Mio.)	Veränderung 30/07	2030 (Mio.)	Veränderung 30/07	2030 (Mio.)	Veränderung 30/07
Verkehrsaufkommen (Personen Wege)						
Arbeit	1'271'591	2,2	374'122	28,0	1'645'713	7,1
Ausbildung	73'871	-1,9	191'058	30,5	264'929	19,5
Nutzfahrt	326'585	25,8	64'743	86,9	391'328	33,0
Einkauf	990'797	35,7	173'454	47,4	1'164'251	37,4
Freizeit	1'693'686	31,9	393'032	60,8	2'086'718	36,5
Summe	4'356'530	21,2	1'196'409	43,2	5'552'939	25,4
Verkehrsleistung (Pkm)						
Arbeit	12'424'504	-0,1	5'610'111	20,6	18'034'615	5,5
Ausbildung	880'319	-10,4	3'714'061	56,2	4'594'380	36,7
Nutzfahrt	5'860'016	30,2	2'476'851	99,4	8'336'866	45,2
Einkauf	6'396'060	26,8	1'723'373	153,7	8'119'433	41,8
Freizeit	25'813'195	35,9	10'231'580	85,3	36'044'775	47,0
Summe	51'374'094	22,5	23'755'975	64,2	75'130'069	33,1

Weiter zeigt die Tabelle 62, dass im MIV das Wachstum vor allem im Freizeit- und Einkaufsverkehr bemerkbar ist, da dieser volumenmässig dominiert. Dabei ist festzustellen, dass durch die erhöhten Reisezeiten im Strassenverkehr die Reiseweite im Einkaufsverkehr etwas reduziert wird und dadurch ein geringeres Wachstum der Verkehrsleistung gegenüber dem Verkehrsaufkommen erwartet wird. Insgesamt wächst die Verkehrsleistung im motorisierten Verkehr (MIV+ÖV) auf dem Verkehrsnetz innerhalb des Modellgebiets bis zum Jahr 2030

um 33%, wobei ÖV um 64% und MIV um 22,5% zunimmt. Das stärkste Wachstum mit 47% ist dem Freizeitverkehr zuzuordnen.

Durch das schnellere Wachstum des ÖV gegenüber dem MIV erhöht sich auch der Modal-Split Anteil des ÖV im Jahr 2030 beim Verkehrsaufkommen um 2.7% und bei der Verkehrsleistung um 6.0% (Tabelle 63). Auch hier zeigt sich die Wirkung der erhöhten Reiseweite im ÖV, so dass die Verkehrsleistung ein schnelleres Wachstum aufweist. Dabei ist zu beachten, dass die Zunahme der Verkehrsleistung sehr stark durch das Wachstum des Aussenverkehrs beeinflusst wird.

Tabelle 63 Veränderungen der ÖV-Anteile 2030/2007

in %	ÖV-Verkehrsaufkommen	ÖV-Verkehrsleistung
Arbeit	3,7	3,9
Ausbildung	6,1	10,1
Nutzfahrt	4,8	8,1
Einkauf	1,0	9,4
Freizeit	2,8	5,9
Summe	2,7	6,0

Die Veränderungen des PW-Verkehrsaufkommens und der PW-Verkehrsleistung durch die reduzierten Besetzungsgrade (siehe Tabelle 64) führen zu einer weiteren Erhöhung der Streckenbelastungen im Strassenverkehr. Insgesamt erhöhen sich die PW-Fahrten um 27.0% und die Verkehrsleistung um 28.5%.

Tabelle 64 Veränderungen der MIV-Nachfrage 2030/2007

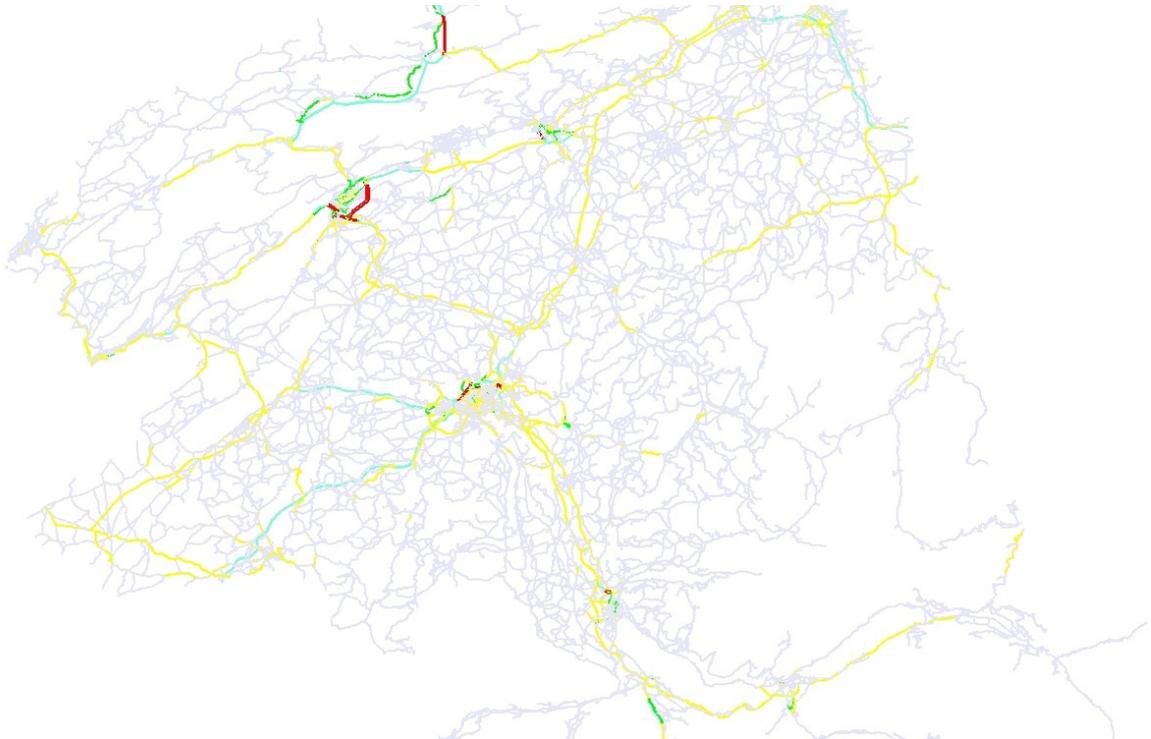
Fahrtzweck	Besetzungsgrad (Personen / PW)	PW-Fahrten 2030	Veränderung der PW- Fahrten in %	Veränderung der PW- Kilometer in %
Arbeit	1.03	1'237'373	10,0	7,5
Ausbildung	1.05	70'069	5,6	-3,6
Nutzfahrt	1.09	300'962	31,2	35,9
Einkauf	1.59	625'026	42,3	32,9
Freizeit	1.60	1'060'355	44,5	48,9
Alle Zwecke	1.31	3'293'785	27,0	28,5

Die resultierenden Netzbelastungen für das Jahr 2030 sowie die Belastungsdifferenzen gegenüber den Netzbelastungen für das Jahr 2007 sind im Folgenden in Abbildung 96 bis Abbildung 109 dargestellt. Aus diesen Abbildungen ist ersichtlich, dass das wesentliche Nachfragewachstum sowohl im MIV als auch im öffentlichen Verkehr auf den Hauptkorrido-

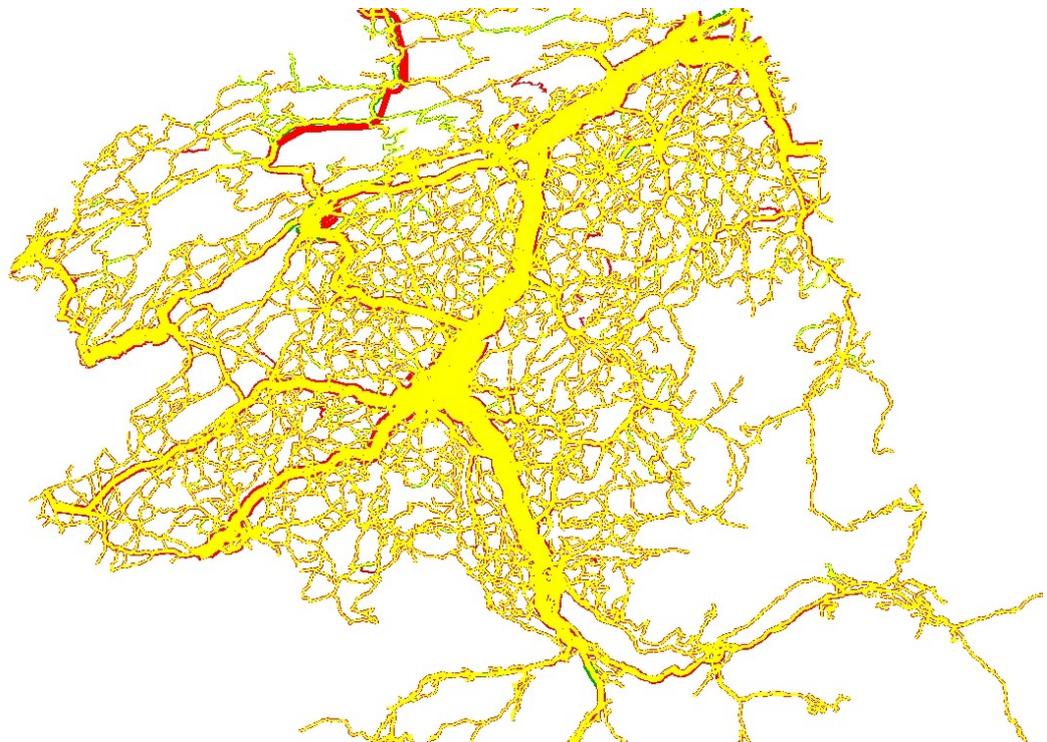
ren Olten-Bern-Lausanne und Bern-Thun stattfindet. Hier muss beachtet werden, dass die dargestellte Differenz auch die Routenwahleffekte beinhaltet. Dadurch entstandene MIV-Verlagerungen sind vor allem in Korridoren mit vorgesehenen Netzänderungen wie A16, Umfahrung Biel und Westtangente Solothurn zu sehen. Im ÖV wird die starke Zunahme vor allem auf der Hauptachse zwischen Olten und Bern erwartet.

Anhand der erstellten Tagesmodelle 2030 wurden in einem weiteren Schritt auch die Spitzenstundenmodelle abgeleitet. Die zeitlichen Nachfragevariationen wurden aus dem Tagesmodell übernommen. Damit wurden die relativen Nachfrageveränderungen 2030-2007 aus dem Tagesmodell in die Spitzenstundenmodelle übertragen.

Abbildung 96 Veränderung von Nachfragebelastungen im MIV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (PW-Fahrten / Richtung), Modellgebiet Gesamtansicht

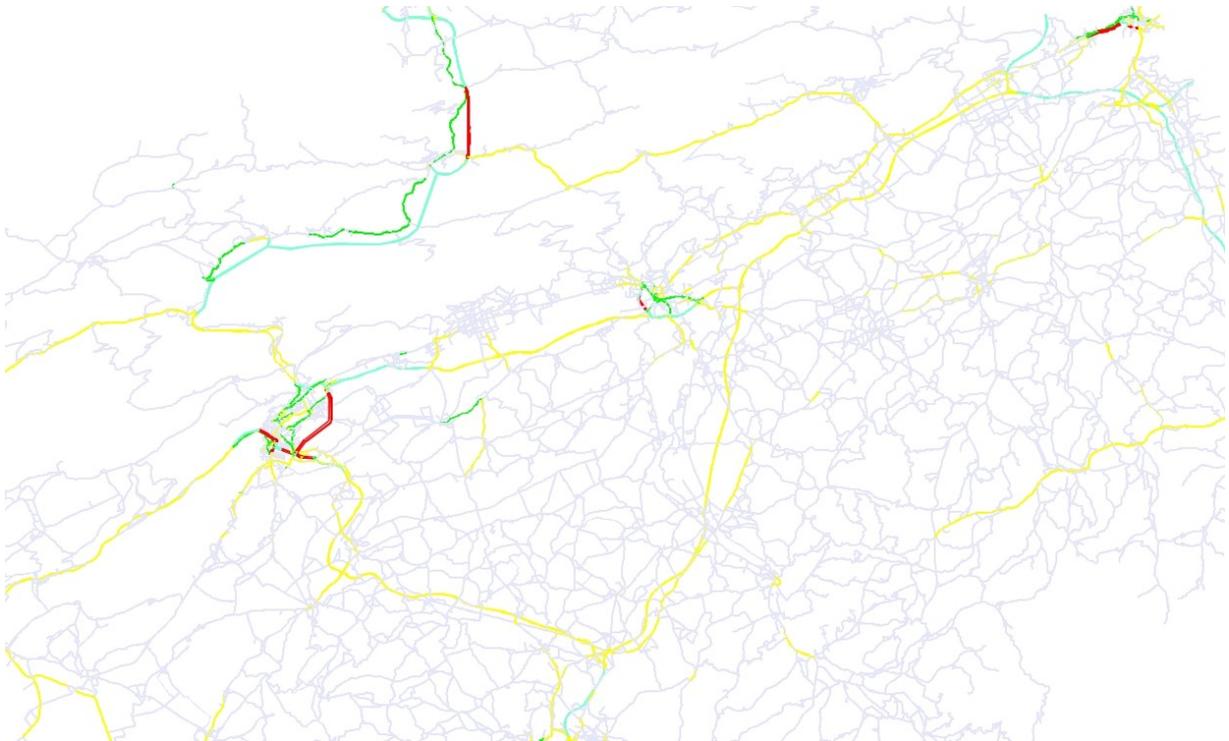


Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot



Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 97 Veränderung von Nachfragebelastungen im MIV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (PW-Fahrten / Richtung), Delemont-Solothurn-Biel-Zollikofen



Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot

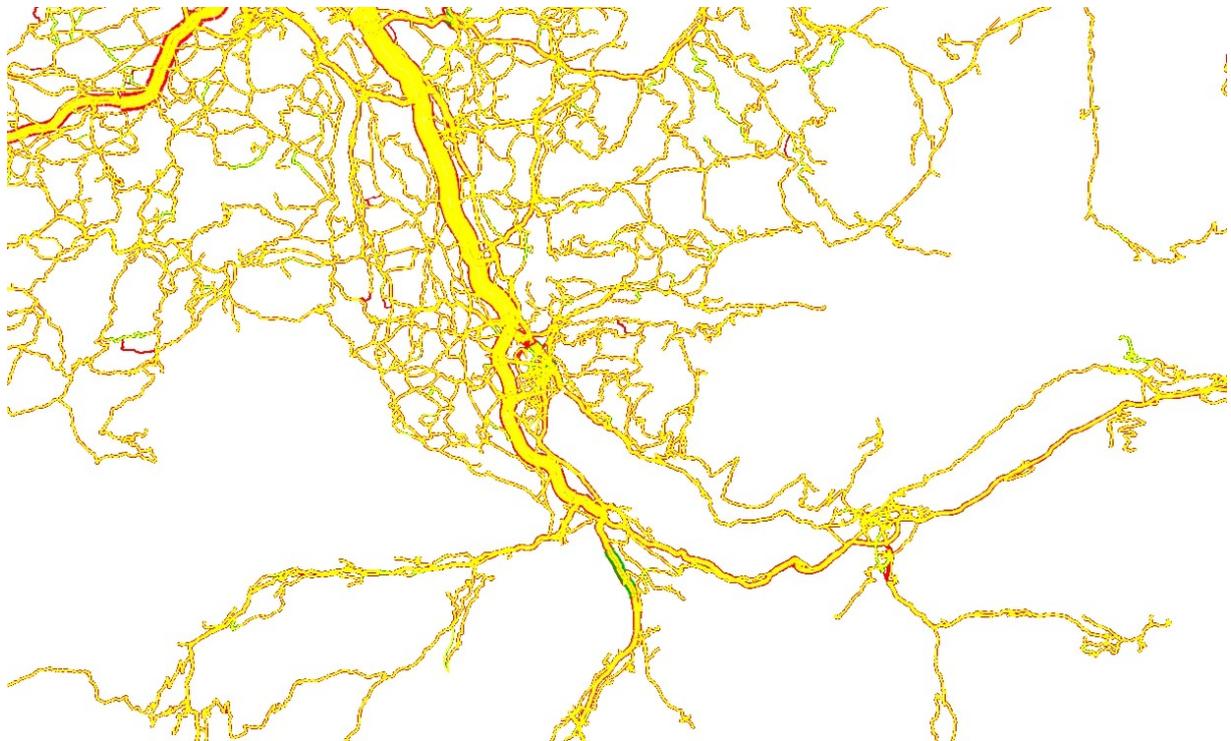


Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 98 Veränderung von Nachfragebelastungen im MIV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (PW-Fahrten / Richtung), Bern-Thun-Interlaken



Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot



Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 99 Veränderung von Nachfragebelastungen im MIV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (PW-Fahrten / Richtung), Bern (Gesamtansicht)

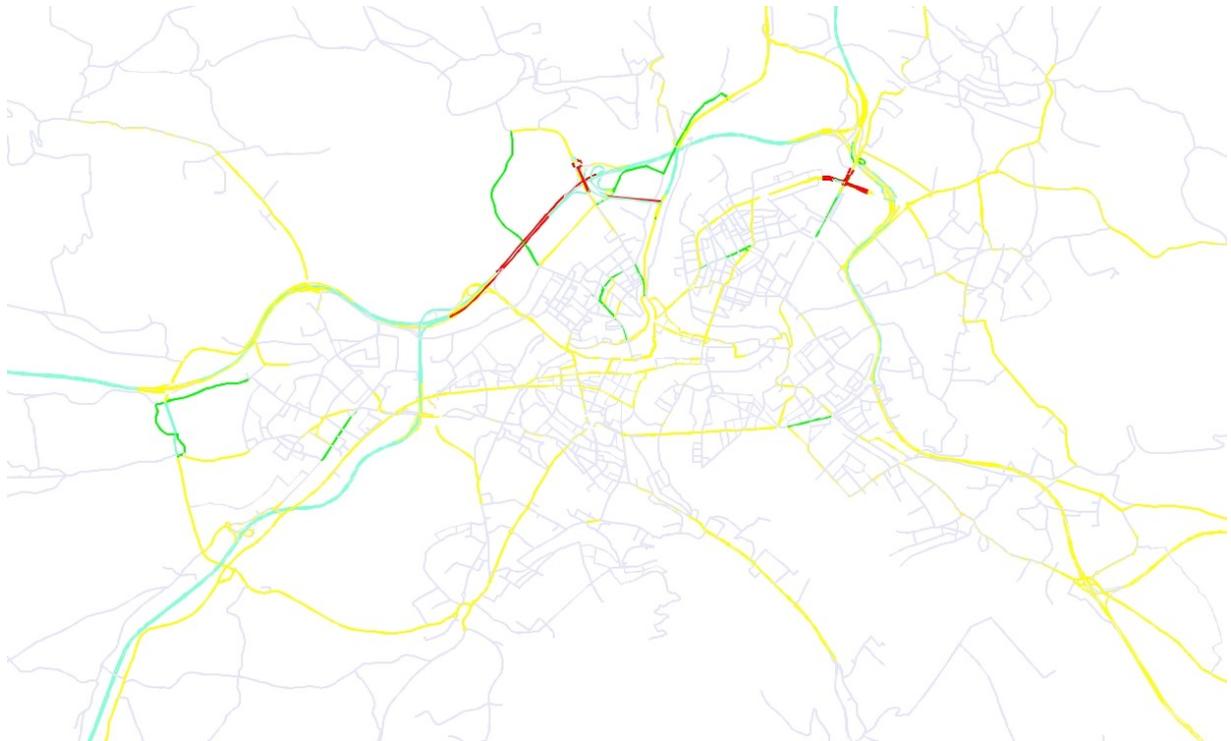


Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot



Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 100 Veränderung von Nachfragebelastungen im MIV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (PW-Fahrten / Richtung), Bern (eingezoomt)

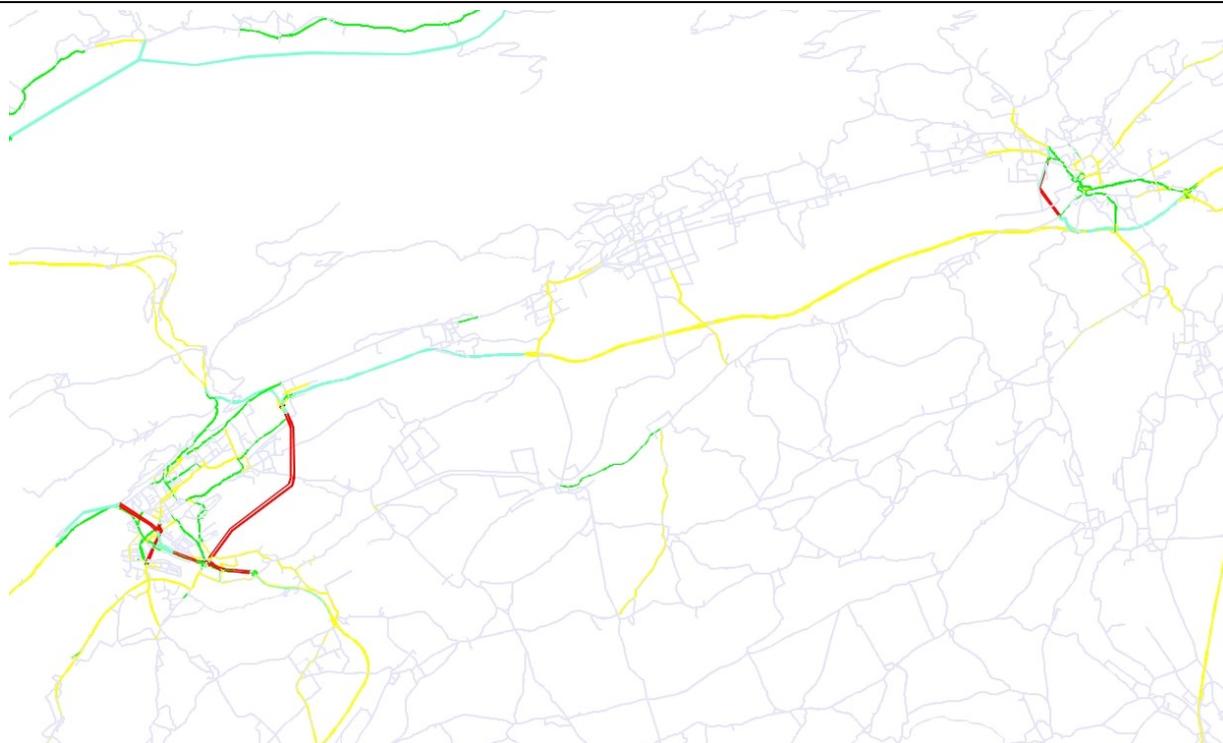


Grün < -1000 (Abnahme), -1'000 < Grau < 1'000, 1'000 < Gelb < 5'000, 5'000 < Hellblau < 10'000, 10'000 < Dunkelrot



Rot = relative positive Differenz, Grün = negative relative Differenz, Gelb = Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 101 Veränderung von Nachfragebelastungen im MIV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (PW-Fahrten / Richtung), Biel-Solothurn

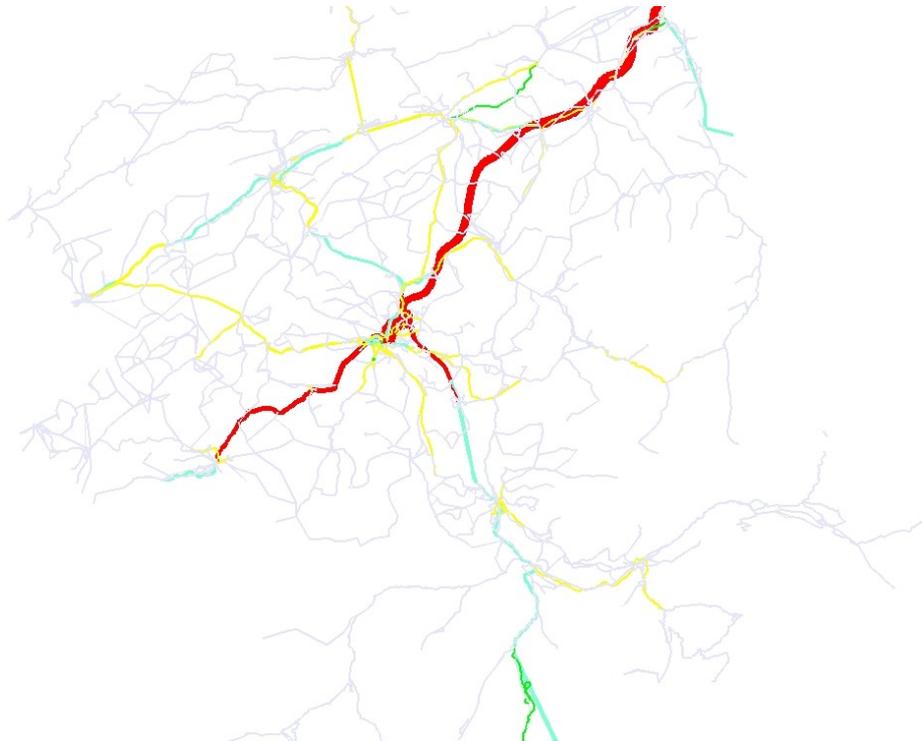


Grün < -1000 (Abnahme), -1'000 < Grau < 1'000, 1'000 < Gelb < 5'000, 5'000 < Hellblau < 10'000, 10'000 < Dunkelrot

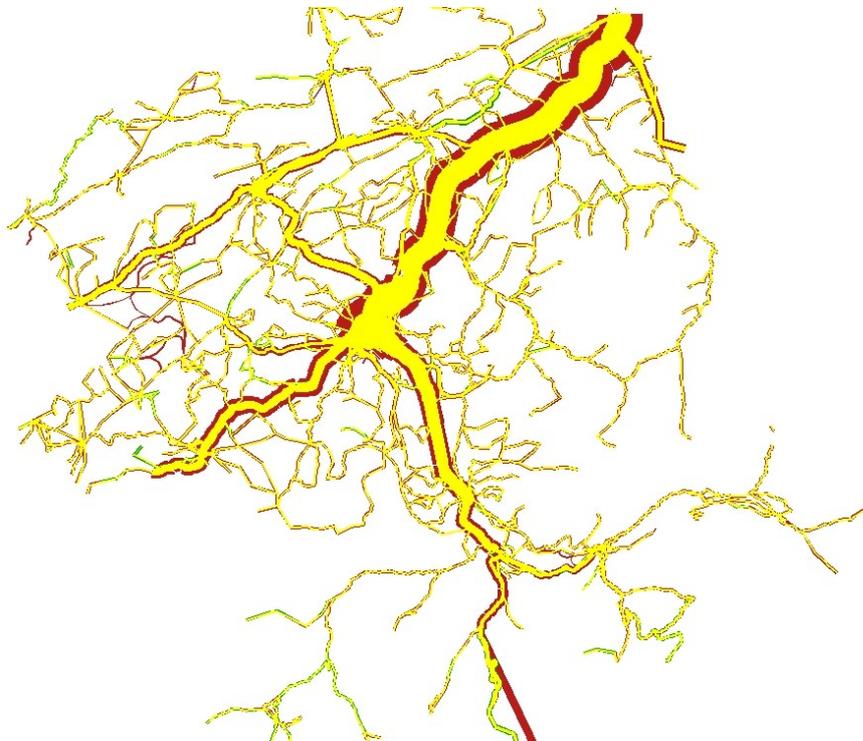


Rot = relative positive Differenz, Grün = negative relative Differenz, Gelb = Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 102 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Modellgebiet Gesamtansicht



Grün < -1000 (Abnahme), -1'000 < Grau < 1'000, 1'000 < Gelb < 5'000, 5'000 < Hellblau < 10'000, 10'000 < Dunkelrot



Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 103 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Delemont-Solothurn-Biel-Bern

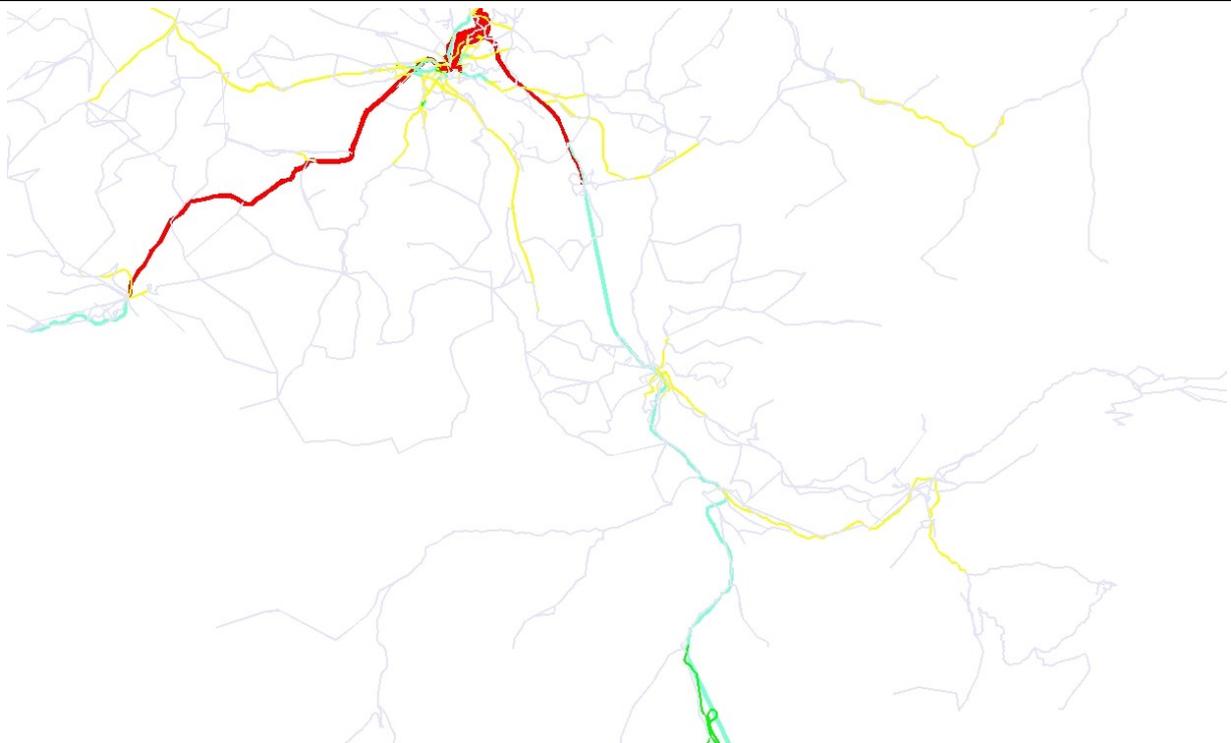


Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot

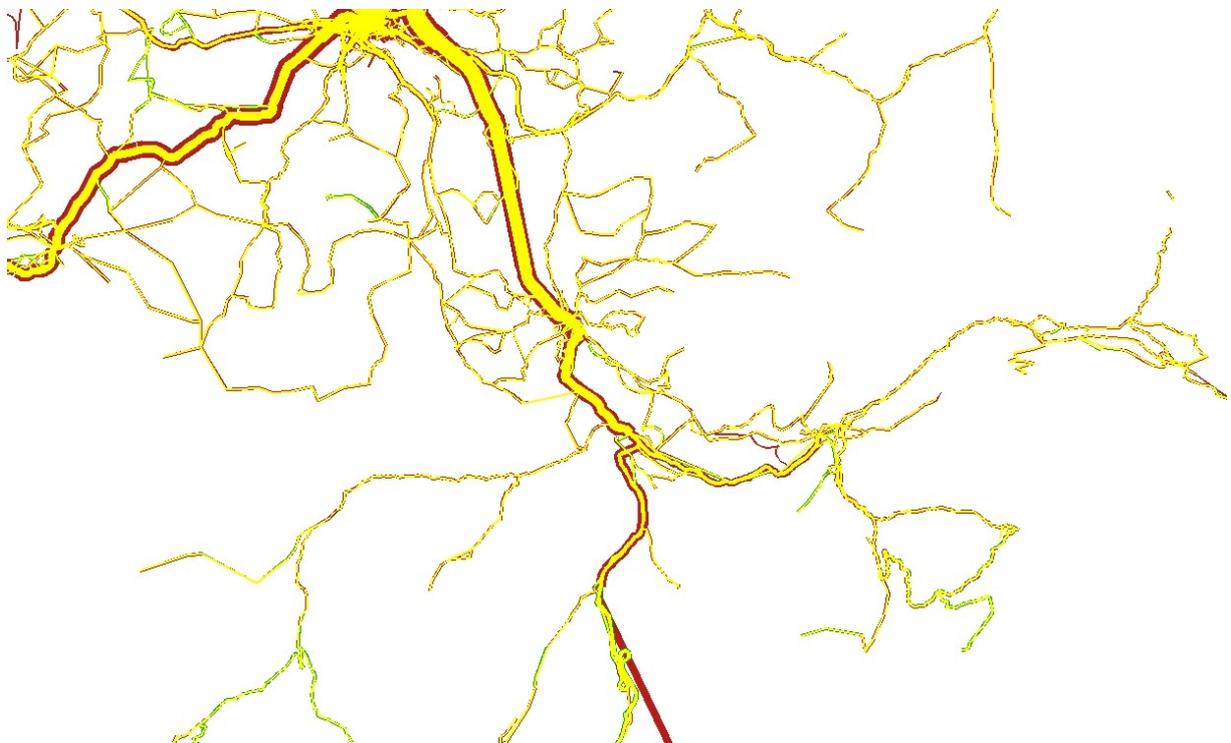


Rot Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 104 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Bern-Thun-Interlaken



Grün < -1000 (Abnahme), -1'000 < Grau < 1'000, 1'000 < Gelb < 5'000, 5'000 < Hellblau < 10'000, 10'000 < Dunkelrot

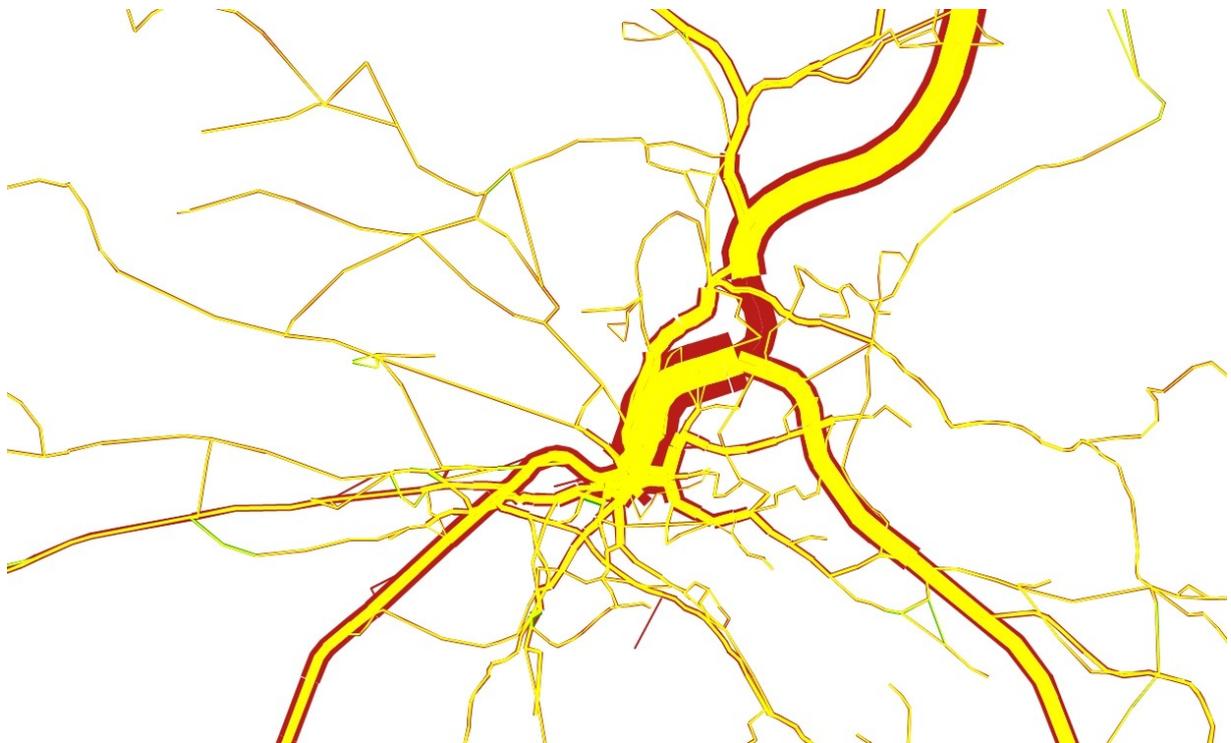


Rot = relative positive Differenz, Grün = negative relative Differenz, Gelb = Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 105 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Bern (Gesamtansicht)

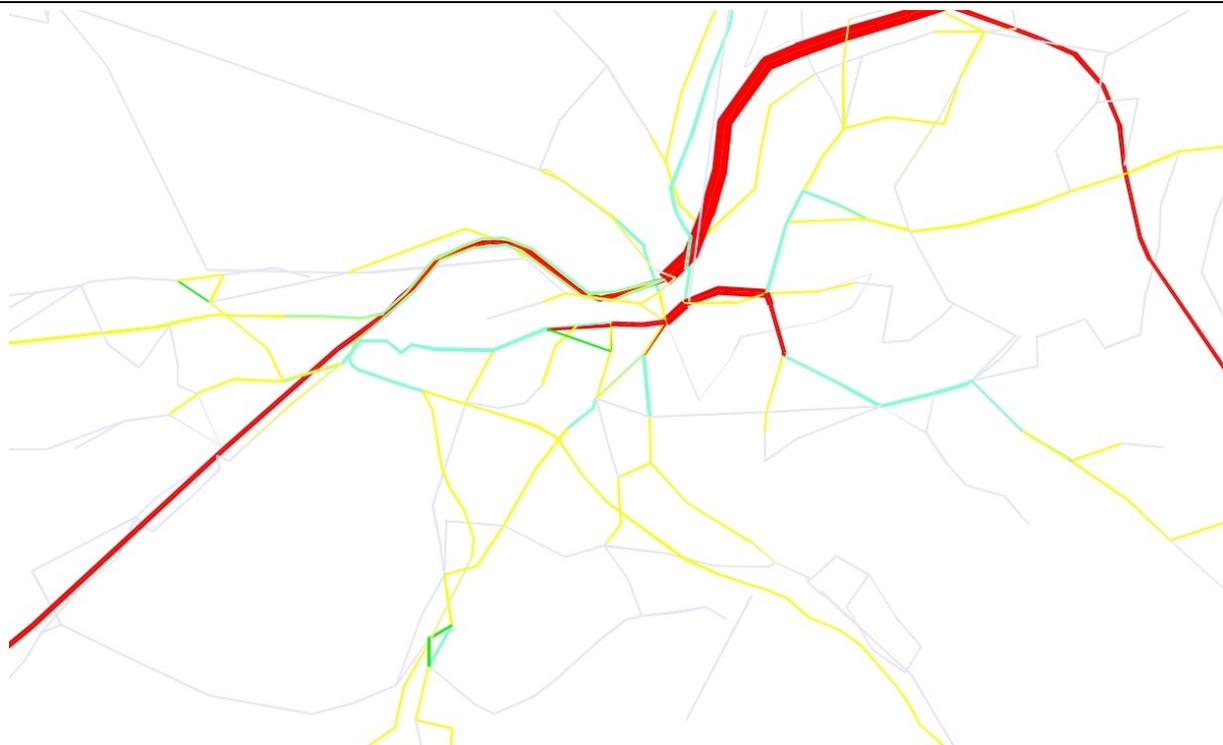


Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot

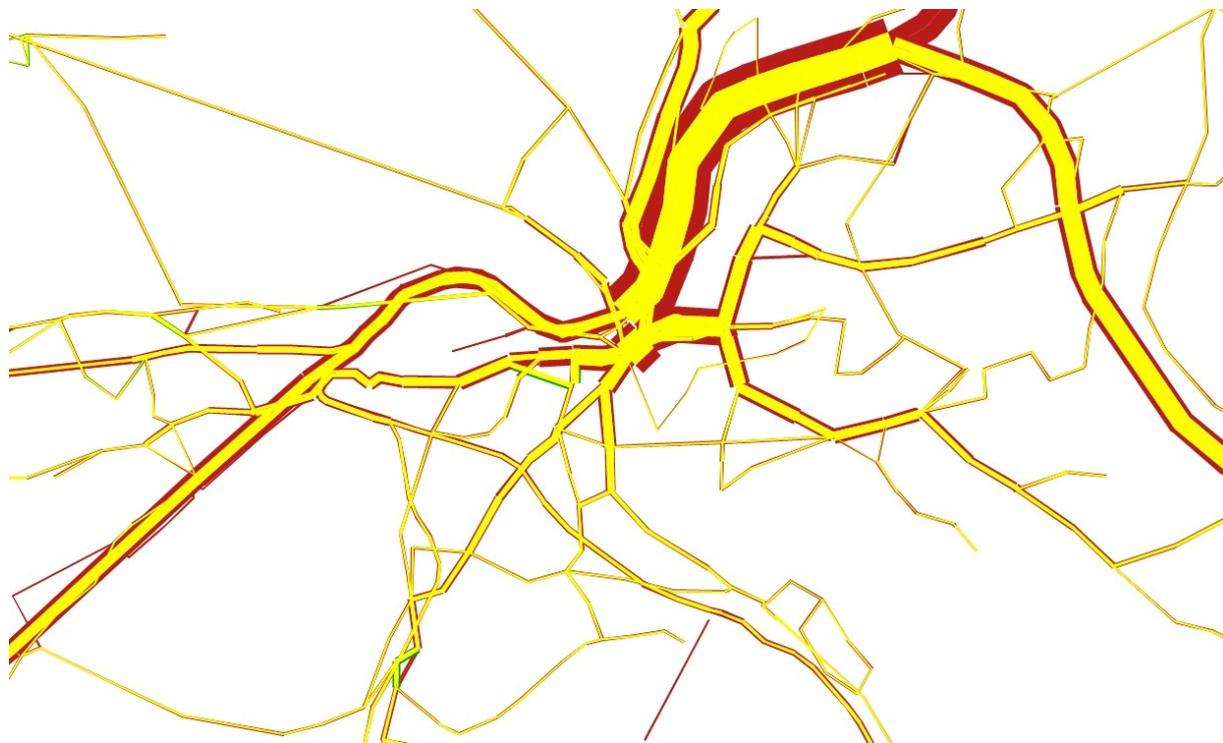


Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 106 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Bern



Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot

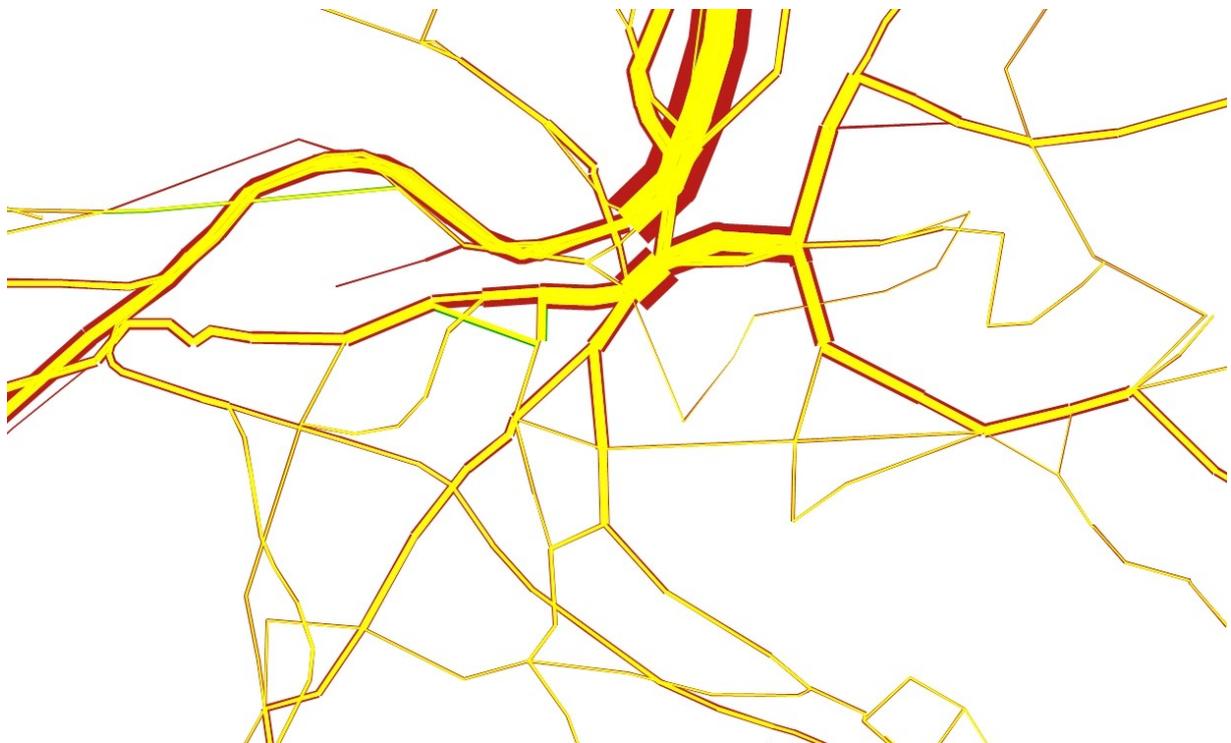


Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 107 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Bern (eingezoomt)

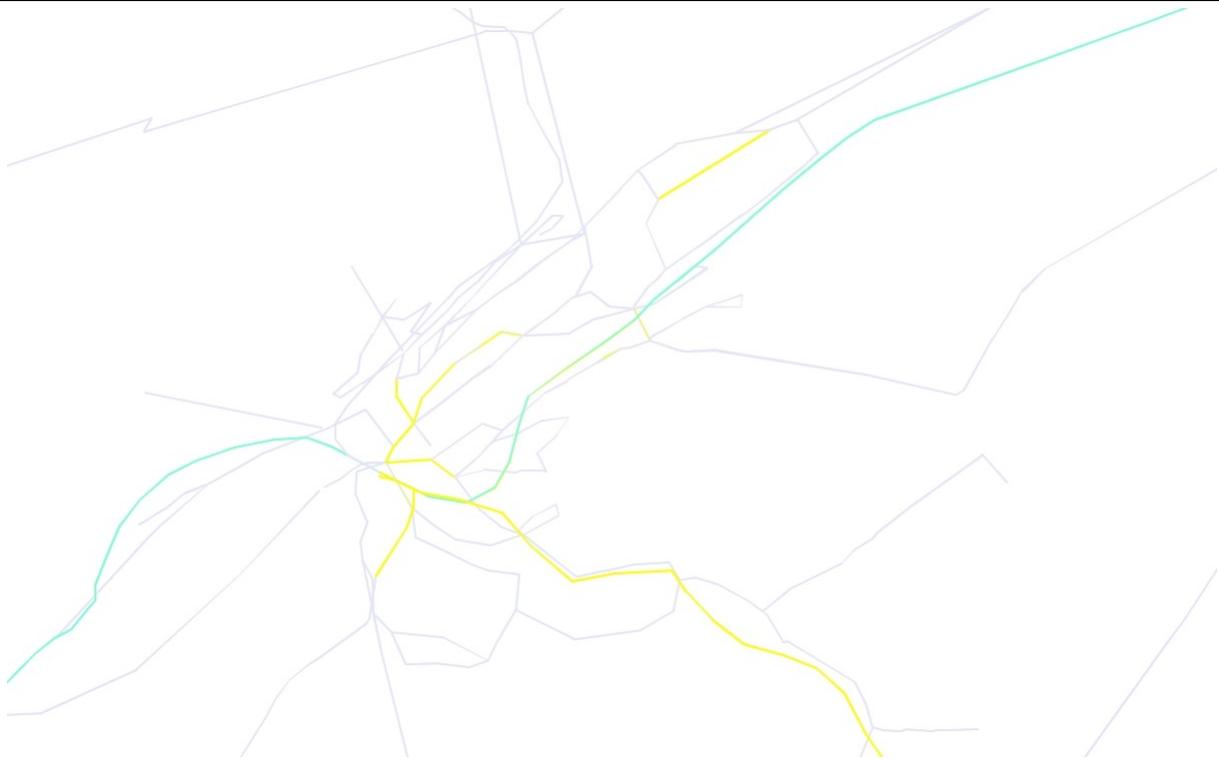


Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot

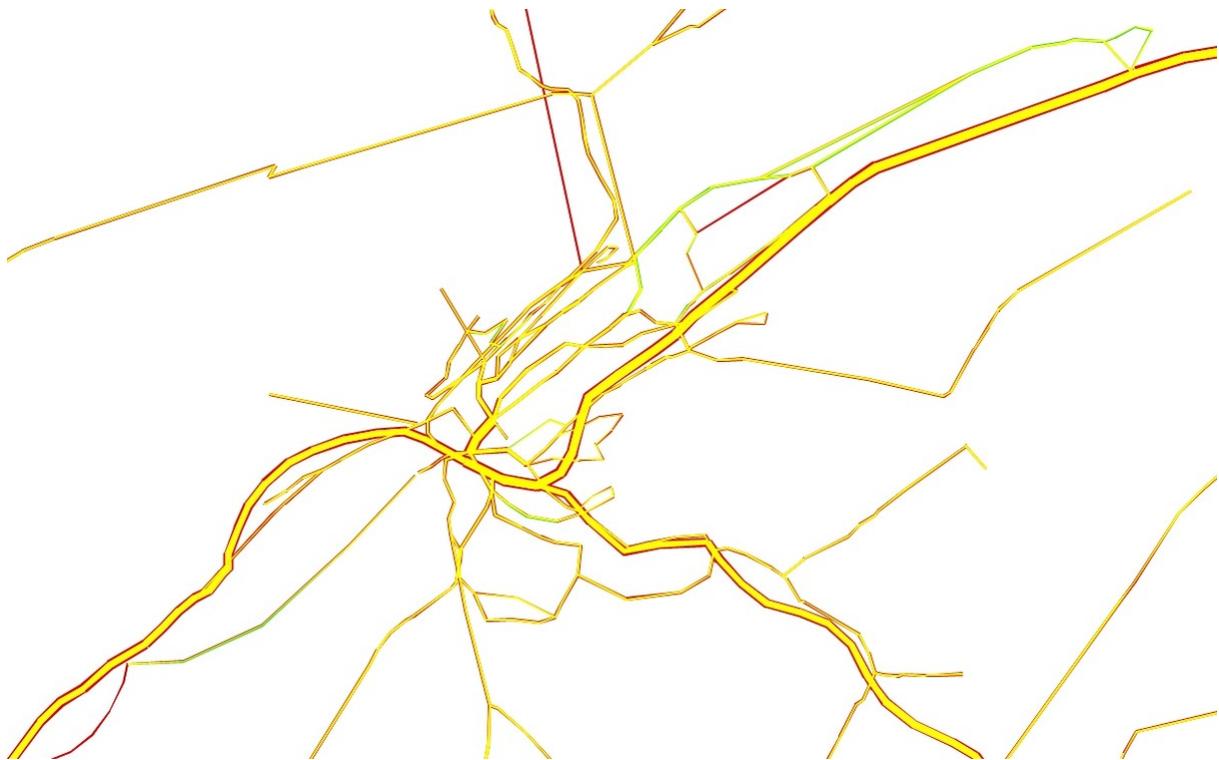


Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 108 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Biel

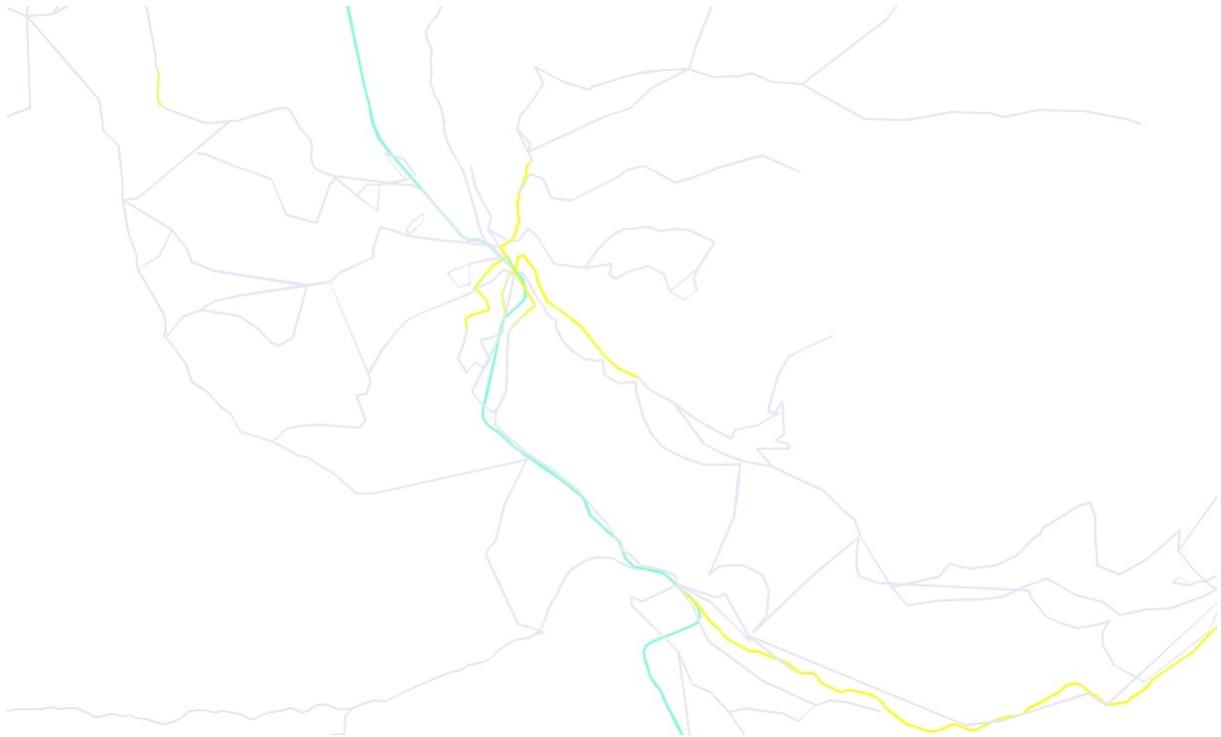


Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot

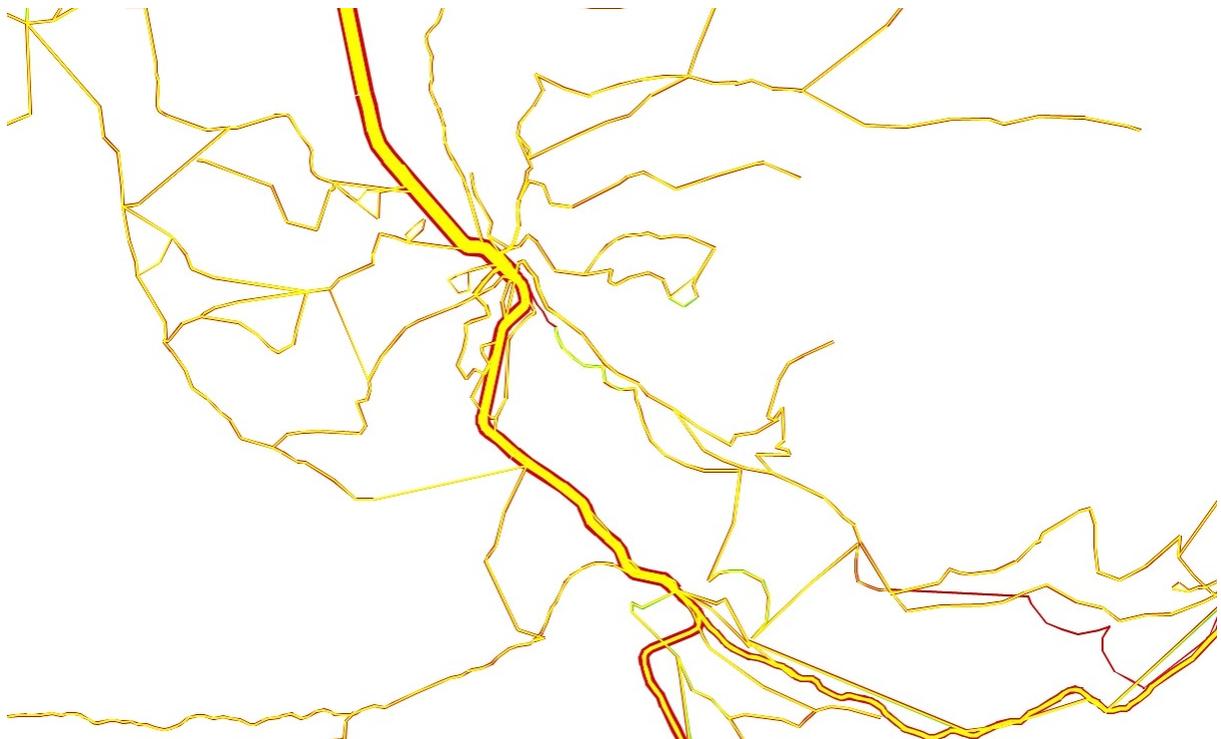


Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

Abbildung 109 Veränderung von Nachfragebelastungen im ÖV 2030 – 2007: Absolute und relative Differenz (Personenwege / Richtung), Thun



Grün<-1000 (Abnahme), -1'000<Grau<1'000, 1'000<Gelb<5'000, 5'000<Hellblau<10'000, 10'000<Dunkelrot



Rot=relative positive Differenz, Grün=negative relative Differenz, Gelb=Belastung 2007, Skalierung: 10000 / 1 mm

13 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Aus den ermittelten Modellergebnissen und der durchgeführten Plausibilitätsanalyse kann festgestellt werden, dass die Zielsetzungen dieses Projektes vollständig erreicht wurden:

1. die Erstellung eines prognosefähigen, massnahmensensitiven und multimodalen Verkehrsmodells für den DWV und
2. für die Morgen- und Abend-Spitzenstunden
3. Erstellung der Verkehrsprognosen 2030

Die erstellten Modelle wurden anhand aller verfügbaren Erhebungsdaten verifiziert. Dabei wurden sowohl die Modellstruktur und Modellinputs, als auch die Modellergebnisse plausibilisiert. Somit ist die Anwendbarkeit des Modells für konkrete Massnahmeplanungen und Verkehrsprognosen sichergestellt. Durch die Erstellung und Plausibilisierung des Modells sowie der dafür notwendigen und hier durchgeführten Modellschätzungen, wurden die zuvor fehlenden Grundlagen für die Berechnung von Verkehrsnachfrageveränderungen und -prognosen im Kanton Bern geschaffen.

Aus der durchgeführten Analyse der erstellten Quelle-Ziel-Matrizen und dem Vergleich mit den vorhandenen Erhebungsdaten konnte festgestellt werden, dass die Struktur der erstellten Matrizen den aus den Erhebungen abgeleiteten Gesetzmässigkeiten entspricht. Die Eichung der Matrix wurde sowohl auf der Ebene der Matrixstruktur als auch auf der Ebene der Querschnittsbelastungen durchgeführt. Bei der Matrixstruktur wurden sowohl die Quelle-Ziel-Ströme als auch die Fahrtweitenverteilungen und die ermittelten Querschnittsbelastungen mit den Erhebungsdaten geprüft und geeicht.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Abweichungen, einer modellmässig erstellten und auf die Querschnittszählungen nicht kalibrierten Matrix, in der Regel deutlich grösser sind, als die hier ermittelten Abweichungen. Die höhere Genauigkeit ist vor allem auf eine sehr detaillierte Segmentierung des Modells durch die Bildung von Quelle-Ziel-Gruppen und die dementsprechend genau erstellten Erzeugungs-, Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle zurückzuführen. Die wesentliche Voraussetzung für diesen Ansatz waren die Durchführung von entsprechenden Modellschätzungen mit den Stated Preference- und Mikrozensus Daten sowie die Erstellung eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells. Mit den durchgeführten Modellschätzungen wird die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren für die Ziel- und Verkehrsmittelwahl geschätzt. Mit diesen Parametern werden die räumliche und modale Konkurrenz und damit auch die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsströme angemessen abgebildet. Dies wurde durch die Überprüfung und Eichung der Matrixstruktur noch-

mals optimiert. Damit kann festgestellt werden, dass die erstellte Modellstruktur das Verkehrsverhalten sehr gut widerspiegelt.

Die Eichung der Matrix auf die Querschnittszählungen wurde mittels eines manuellen Vorgehens als sukzessives Optimierungsverfahren durchgeführt. Mit diesem Verfahren konnte die ermittelte Matrixstruktur bei der Eichung beibehalten und die Abweichungen zwischen den Streckenbelastungen aus der ermittelten Matrix und den Querschnittszählungen minimiert werden. Durch ein solches Vorgehen können die Veränderungen der Quelle-Ziel-Matrix nachvollzogen und plausibilisiert werden.

Dank einem realitätsentsprechenden Verkehrsangebot, einer ebensolchen Matrixstruktur sowie minimalen Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen, ist die Prognosefähigkeit des Modells gewährleistet. Die erstellten Modelle sind damit die Grundlage sowohl für die Aktualisierung von Quelle-Ziel-Matrizen als auch für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen. Mit ihnen ist es möglich, die Veränderungen und die Auswirkungen des Verkehrsangebotes und der soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken zu analysieren. Dabei können die Nachfrageauswirkungen auf allen vier Modellstufen berechnet werden: Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl. Diese Funktionen wurden durch die Berechnung eines Prognoseszenarios für das Jahr 2030 vollständig getestet und validiert.

Damit stellt das Modell ein Planungsinstrument dar, das mit einer „state of the art“ 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.

Weiterentwicklung

- Die Erstellung des Verkehrsmodells war mit vielen Schwierigkeiten durch die Verfügbarkeit und Qualität der Datengrundlagen verbunden. Dadurch wurden auch die Grenzen sowie die zukünftige Weiterentwicklung des Modells festgelegt.
- Die zentrale Beschränkung des Modells ist durch die Qualität des Verkehrsangebotes und der Verfügbarkeit der Zähldaten bestimmt. Hier ist vor allem wichtig, dass bei zukünftiger Modellanwendung die Genauigkeit der Attribute des MIV-Netzes sowie die Verfügbarkeit der Zähldaten geprüft und dementsprechend notwendige Korrekturen durchgeführt werden. Solche Analysen sind vor allem auf kleinräumiger Ebene, d.h. bei untergeordneten Strassennetzen, für die im Rahmen des Projekts kaum Zähldaten zur Verfügung standen, wichtig. Bei solchen Massnahmen wäre auch zu prüfen, ob bestehende Zonenanbindungen genügend detailliert sind oder eine Verfeinerung (vor allem bei der Anzahl von Anbindungen) notwendig und sinnvoll wäre.
- Aus den zukünftigen Modellanwendungen sollten die Plausibilisierungsergebnisse und durchgeführten Erweiterungen in das Basismodell zurückfliessen, sodass diese sowohl bei den darauffolgenden Anwendungen, als auch zukünftigen Modellaktualisierungen berücksichtigt werden können.
- Neben dem MIV und ÖV wurde im Nachfragemodell auch der Fuss- und Veloverkehr abgebildet. Die Verkehrsmittelwahlanteile und Reiseweiteverteilung dieser Verkehrsarten wurden auch mit Mikrozensusdaten validiert. Da vollständige und attributierte Fuss- und Velonetze, sowie Routenwahlmodelle und ausreichende Erhebungsdaten nicht vorhanden sind, konnte die Umlegung und vertiefte Validierung dieser Verkehrsströme nicht durchgeführt werden. Dementsprechend sind dadurch auch die Anwendungsmöglichkeiten für die Modellierung von Massnahmen im Fuss- und Veloverkehr vorgegeben. Die „generelle“ und „gesamthafte“ Massnahme, ohne Differenzierung von Strecken- bzw. routenbezogenen Attributen, lassen sich mit hier verfügbaren Grundlagen ohne Zusatzkalibration modellieren. Die netzbezogenen und kleinräumigen Massnahmen und Analysen verlangen aber eine vertiefte Aufbereitung und Validierung der Basiszustände und entsprechender Datengrundlage. Es muss beachtet werden, dass für diese zwei Verkehrsarten keine netzfeine Kalibration der Verkehrsströme- und Streckenbelastungen durchgeführt wurde. Damit muss eine Anwendung von kleinräumigen Massnahmen mit zusätzlichen Analysen und Ergänzungen verbunden werden, da kein Velo- und Fussnetz attribuiert wurde sowie nur eine gesamthafte und keine netzbezogene Eichung dieser Ströme durchgeführt wurde.

- Im Vorfeld der nächsten Aktualisierung des Modells wäre die Durchführung einer Stated-preference-Befragung wünschenswert, da damit die regionalen Besonderheiten besser erfasst werden können und nicht teilweise Parameter aus anderen Regionen (hier Zürich) verwendet werden müssen. Die Stated-preference-Befragung sollte auf einer vollständigen Revealed-preference-Befragung, wie im Mikrozensus Verkehr, aufgebaut werden. Daraus könnten noch differenziertere Modellschätzungen vorgenommen und vor allem eventuelle Verhaltensunterschiede im städtischen Verkehr und Fernverkehr vertieft untersucht und nach Bedarf im Verkehrsmodell implementiert werden.
- Bei den Netzdaten für den MIV, ÖV und LIV fehlen für die Beschreibungen der Eigenschaften der Netze oftmals entsprechende Grundlagen. Dies reicht von den signalisierten Geschwindigkeiten, der Anzahl Fahrstreifen und Einbahnregelungen auf den wichtigen Strassen bis hin zu fehlenden ÖV-Unternehmungen und falschen Koordinaten der Haltestellen in den ÖV-Hafas-Daten. Hier sollten frühzeitig Massnahmen von Seiten des Auftraggebers ergriffen werden, um die Qualität der Netzdaten zu verbessern und die Planbarkeit zur Erstellung von Netzen im Verkehrsmodell zu verbessern.
- Die Zähldaten sind sehr wichtige Bausteine für die Überprüfung und Kalibrierung des Verkehrsmodells. Die Verlässlichkeit und Qualität dieser Daten ist sehr stark von der Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik abhängig. In Abhängigkeit vom Erhebungskonzept sowie der Art und Zeitperiode der Zählung ist eine entsprechende Hochrechnungsmethode anzuwenden. Es ist zu empfehlen, in Abhängigkeit von den verfügbaren Finanzmitteln, zunächst die optimale Anzahl der Zählstellen sowie die Zählperiode festzulegen. Aufbauend darauf kann eine plausible und verlässliche Hochrechnungsmethodik ermittelt werden. Die Steigerung der Verlässlichkeit der Zähldaten ist wichtig, da mit den hier angewandten Modellansätzen, die Abweichungen zwischen modellierten Querschnittsbelastungen und Zählwerten weit gesenkt werden konnte. Diese Abweichungen dürften in der gleichen Grössenordnung liegen, wie die Unsicherheiten, die bei der Erhebung und Hochrechnung der Zählwerte selbst bestehen. Auch wäre die Angabe eines Vertrauensintervalls differenziert nach MIV Zählstellenart (permanent oder mobil) wünschenswert.
- Da im Schienenverkehr die stundenfeinen Zähldaten nicht vorhanden sind, ist zu empfehlen für die nächste Modellaktualisierung diese Daten unbedingt zu beschaffen. Auch sollten die ÖV-Zähldaten fortlaufend erhoben und plausibilisiert werden.
- Darüber hinaus sollte im Vorfeld der nächsten Aktualisierung des Modells eine Analyse der vorhandenen und notwendigen Datengrundlagen und ihrer Qualität durchgeführt werden. Damit würde die Projektplanung und -durchführung erleichtert, sowie die Qualität der verwendeten Daten erhöht. Hier wären der Schwerpunkt vor allem auf das Strassennetz und die

Strukturdaten (insbesondere Prognose) zu legen. Es muss beachtet werden, dass durch plausible Erhebungs- und statistische Daten, die Modellqualität erhöht wird und der Aufwand bei der Modellerstellung reduziert werden kann.

- Weiter sind für die Aktualisierung und Verifizierung des Modells neben den festgestellten Unsicherheiten bei den Querschnittszählungen zusätzliche Erhebungen der Quelle-Ziel-Ströme an ausgewählten Querschnitten (Spinnenerhebungen) empfehlenswert. Solche Erhebungsdaten sind vor allem für die Plausibilisierung des Modells eine sehr wichtige Grundlage. Die Anzahl der Querschnitte sollte in Abhängigkeit der vorhandenen Finanzmittel und der bestehenden Netz- und Zonendichte gewählt werden.

- Für die Abbildung der Nachfragedynamik während des Tages sowie die korrekte Abbildung der Stauzeiten im MIV und die Anwendung von zeitabhängigen Angebotsveränderungen, wie z.B. zeitabhängigen Preisen (Roadpricing), würde eine Dynamisierung der Quelle-Ziel-Matrizen eine weitere Steigerung der Genauigkeit bei der Abschätzung von Nachfrageauswirkungen bewirken. Die in diesem Projekt verwendete Methodik und Segmentierung nach der Quelle-Ziel-Gruppe bietet dafür die geeignete Grundlage.

- Eine vielversprechende Weiterentwicklung ist die Anwendung von Rückstaumodellen insbesondere bei MIV Spitzenstundenmodellen. Das Rückstaumodell (*pseudodynamic assignment*) schließt die Lücke zwischen rein statischen Verfahren, die keinen Zeitbezug haben und keine Wartezeiten aufgrund von Stausituationen ermitteln können, und dynamischen Verfahren, die viel Rechenzeit benötigen. Es ist deutlich schneller als ein dynamisches Umlegungsverfahren, beansprucht weniger Speicher und kann darüber hinaus Aussagen zu Stau-Phänomenen machen. Das Verfahren kann in Verbindung mit einer statischen Umlegung angewendet werden (PTV, 2009). Mit diesem Verfahren können Überlastungssituation insbesondere in städtischen Strassennetzen realitätsnäher abgebildet werden. Es liegen aber zu diesem Verfahren noch wenige Erfahrungen vor, somit ist mit einigem Aufwand bei der Gewinnung von Erfahrungswerten bei den ersten Anwendungen zu rechnen.

14 Literatur

- ARE und BFS (2006) Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten, Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik, Bern und Neuenburg.
- Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) Discrete Choice Analysis, MIT Press, Cambridge
- Bierlaire, M. (2003) BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models, paper presented at the 3rd Swiss Transport Research Conference, Ascona, March 2003.
- Bosserhoff, D. (2000) Integration von Verkehrsplanung und räumlicher Planung, Teil 1; Grundsätze und Umsetzung, Schriftenreihe der Hessischen Strassen- und Verkehrsverwaltung, Hessisches Landesamt für Strassen- und Verkehrswesen, Wiesbaden.
- Bundesamt für Raumentwicklung (2006), Perspektiven des Schweizerischen Personenverkehrs bis 2030
- Infras, Energieperspektiven Schweiz, Teil Verkehr, Bundesamt für Energie, Bern 2007
- Lohse, D.; Teichert, H.; Dugge, B.: Programmsystem VISEVA (Verkehr in Städten und Regionen – Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). Entwickelt an der TU Dresden, vertrieben durch PTV AG, Karlsruhe.
- Lohse, D., Teichert, H.; Dugge, B.; Bachner, G.: Ermittlung von Verkehrsströmen mit nicht-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung (Verkehrsnachfragemodellierung: Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, H. 5/1997, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden.
- Lohse, D. und L. Lätzsch (1997) Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band .2, Verkehrsplanung, Beuth.
- Ortuzar, J. de D. und L.G. Willumsen (2001) Modelling Transport, 3. Auflage, Wiley, Chicester.
- PTV (2008) Benutzerhandbuch VISUM 11.0, Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe.
- Vrtic, M., Ph. Fröhlich, N. Schüssler, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, K.W. Axhausen und D. Lohse (2005), Erzeugung neuer Quell-/Zielmatrizen im Personenverkehr, Bericht an die Bundesämter für Raumentwicklung, für Strassen und für Verkehr, IVT, Emch und Berger und TU Dresden, Zürich.

- Vrtic, M. und P. Fröhlich (2008) Aktualisierung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr, Bundesamtes für Raumentwicklung, Strassen und Verkehr, UVEK, Bern.
- Vrtic, M. (2004) Simultanes Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell, Dissertation, Fakultät für Verkehrswissenschaften, TU Dresden, Dresden.
- 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.

Glossar

Folgend Lohse und Lätzsch (1997)

Verkehrszone: Fasst die einzelnen Objekte innerhalb einer räumlichen Einheit zusammen und aggregiert diese zu einer räumlichen Einheit.

Wegezweck: Teilaggregation der Wege zu fünf Zwecke.

Nutzenfunktion: Beschreibt die Attribute einer Alternative und dazugehörigen Parameter zur Beschreibung des Entscheidungsverhaltens.

Parameter: Gibt das Gewicht eines Attributes in der Nutzenfunktion an.

Massgebende Strukturgrössen: Darunter werden alle wesentlichen demographischen, sozialen und wirtschaftliche Informationen verstanden, die in irgendeiner Form das Verkehrsgeschehen einwirken.

Erzeugungsrate bzw. Quellverkehrsaufkommen: Gibt die erzeugten Wege pro Werktag bezüglich einer Strukturgrösse an.

Attraktionsaufkommen bzw. Zielverkehrsaufkommen: Gibt die angezogenen Wege pro Werktag bezüglich einer Strukturgrösse an.

Verkehrsverteilung bzw. Zielwahl: Unter Verkehrsverteilung versteht man die Aufspaltung und Zuordnung eines Quellverkehrsaufkommens der Quellverkehrszone auf die möglichen Zielverkehrszonen.

Verkehrsaufteilung bzw. Verkehrsmittelwahl bzw. Modal Split: Dient der Aufteilung der Wege auf die verschiedenen Verkehrsmodi.

Umlegung: Darunter versteht man die Zuordnung der in der Quelle-/Ziel-Matrix vorliegenden Ströme zu den im Netz anbietenden Routen im MIV bzw. Verbindungen im ÖV.

MS-Regionen (MS = mobilité spatiale), ist eine Zusammenfassung von Gemeinden zu einer räumlichen Einheit aufgrund von Funktionalen Beziehungen des Bundesamts für Statistik. Insgesamt ist die Schweiz in 106 MS-Regionen eingeteilt.

Servicefahrt ist ein ÖV-Kurs (für Definitionen der ÖV-Elemente siehe Visum Handbuch)

Zulässige Geschwindigkeit: Ist die Ausgangsgeschwindigkeit (V_0) im MIV-Netz, welche im Normalfall der signalisierten Geschwindigkeit entspricht.

Randsummenbedingung: Eine Bedingung bei Matrizenausgleichverfahren, die häufigsten Ausprägungen sind hart oder weich.

Wirtschaftlicher Wohnsitz: Ist der Wohnsitz, von wo der Hauptteil des wirtschaftlichen Aktivitäten einer Person stattfindet. Der kann unterschiedlich zum zivilrechtlichen Wohnsitz sein.

Reiseweitenverteilung: kumulative Verteilung der Längen der durchgeführten Wege

Vollzeitäquivalent: Umgerechnete Stellenprozenten von Beschäftigten zu Vollzeitstellen.