

Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040

Technischer Bericht



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Raumentwicklung ARE
Office fédéral du développement territorial ARE
Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE
Uffizi federal da svilup dal territori ARE

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Auftraggeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bundesamt für Verkehr (BAV)

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Bundesamt für Energie (BFE)

Autoren dieser Publikation

Nicole Mathys (ARE)

Andreas Justen (ARE)

Roman Frick (INFRAS)

Lutz Ickert (INFRAS)

Wolfgang Röhling (TCI)

Mark Sieber (EBP)

Frank Bruns (EBP)

Nadine Rieser (EBP)

Jürg Uhlig (PTV)

Birgit Dugge (PTV)

Jens Landmann (PTV)

Projektbegleitung ARE

Nicole Mathys (ARE)

Andreas Justen (ARE)

Matthias Kowald (ARE)

Christian Schiller (TU Dresden)

Martin Tschopp (ARE)

Regina Gilgen Thétaz (ARE)

Franziska Borer Blindenbacher (ARE)

Szenariogruppe

Wolf-Dieter Deuschle (BAV)

Jean-Luc Poffet (ASTRA)

Felix Andrist (BFE)

Felix Reutimann (BAFU)

Mark Reinhard (BFS)

Nadim Chammas (BK)

Sandra Daguet (EFV)

Urs Weber (GS-UVEK)

Marc Surchat (SECO)

Roger Bosonnet (BAZL)

Technische Begleitgruppe

Julie Lietha (BAV)

Matthias Wagner (BAV)

Jörg Häberli (ASTRA)

Martin Babst (BFE)

Harald Jenk (BAFU)

Philippe Marti (BFS)

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

© ARE, August 2016

BERICHTSWESEN

Weitere Ergebnisse und Informationen zum Projekt Verkehrsperspektiven 2040 finden sich auf den Seiten des ARE: www.are.admin.ch → Verkehr & Infrastruktur → Grundlagen und Daten → Verkehrsperspektiven

Erhältlich sind:

ARE 2016

Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040, Hauptbericht (Deutsch, als PDF).

Zentraler Bericht mit Erläuterungen zur Retrospektive und zur Bildung der Szenarien sowie Dokumentation aller Resultate.

ARE 2016

Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040, Technischer Bericht (Deutsch, als PDF).

Ergänzung zum Hauptbericht mit der technischen Dokumentation zur Quantifizierung der Szenarien.

ARE 2016

Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040, Synthesebericht (Deutsch, Französisch und Italienisch als PDF).

Synthese des Hauptberichts.

ARE 2016

Verkehrsperspektiven 2040. Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz, Broschüre (Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch, als PDF und Druckexemplar).

Tabellenübersicht zu den Ergebnissen

Download auf www.are.admin.ch (Deutsch, als Excel).

VISUM-Versionen der Modellzustände

Infos zum Datenbezug: www.are.admin.ch → Verkehr & Infrastruktur → Grundlagen und Daten → Verkehrsmodellierung → Datenzugang.

Inhalt

1.	Einleitung	9
2.	Übersicht zum Tool: Modulhandling	10
3.	Modul 1 Personenverkehr: Aufbereitung der Inputdaten	12
3.1.	Übersicht	12
3.2.	Raumstrukturdaten	15
3.3.	Mobilitätswerkzeuge	34
3.3.1.	Inputdaten NPVM	34
3.3.2.	Einflussparameter auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen	34
3.3.3.	Prognose der Einkommensentwicklung je Zone	37
3.3.4.	Modell Mobilitätswerkzeuge	37
3.3.5.	Modul Plausibilitätsprüfung	40
3.4.	Mobilitätskenngrossen	41
3.4.1.	Inputdaten NPVM	41
3.4.2.	Einflussparameter auf die Mobilitätskenngrossen	41
3.4.3.	Verkehrsangebot Strasse	42
3.4.4.	Verkehrsangebot Schiene	44
3.4.5.	Verkehrsangebot Langsamverkehr	45
3.5.	Mobilitätskosten	46
3.5.1.	Inputdaten NPVM	46
3.5.2.	Einflussparameter auf die Mobilitätskosten	47
3.6.	Parksuchzeit und Parkkosten	49
3.6.1.	Daten NPVM	49
3.6.2.	Einflussparameter auf die Parksuchzeit und Parkkosten	51
3.7.	Fahrtzweckspezifische Aufkommensraten	52
3.7.1.	Daten NPVM	52
3.7.2.	Einflussparameter auf spezifischen Aufkommensraten	53
3.8.	Besetzungsgrade	56
3.8.1.	Daten NPVM	56
3.8.2.	Einflussparameter auf den Besetzungsgrad	56
3.9.	Entwicklung Flughäfen	58

3.9.1.	Daten NPVM	58
3.9.2.	Einflussgrößen Entwicklung Landverkehr Flughäfen	58
3.9.3.	Vorgehen im Referenzszenario	59
3.10.	Aussenverkehre	61
3.10.1.	Daten NPVM	61
3.10.2.	Einflussgrößen Entwicklung Aussenverkehre	61
4.	Modul 1 Güterverkehr: Input AMG-Tool	64
4.1.	Übersicht	64
4.2.	Stellschrauben Güterverkehr	65
4.2.1.	Strukturdaten	68
4.2.2.	Intensitäten	69
4.2.3.	Angebotsbeschreibende Daten	70
4.2.4.	Sonstige Eingangsgrößen	75
4.2.5.	Aussenverkehre zum Güterverkehr	77
5.	Modul 2: Schaltzentrale für Visum und Viseva	78
5.1.	Übersicht und Aufgabe des Skriptes	78
5.2.	Technische Umsetzung der Schaltzentrale	80
5.3.	Subroutine „Auswerteskript“	83
6.	Modul 3: Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistung	84
6.1.	Überblick	84
6.2.	Herleitung der Annahmen und Netzattribute	86
6.2.1.	Differenzierung der Netzelemente	86
6.2.2.	Umrechnung von DWV auf DTV	87
6.2.3.	Besetzungsgrade	88
6.2.4.	Wegelängen für den Zonenbinnenverkehr	90
6.2.5.	Modal Split Faktoren und Wegelängen für den Langsamverkehr	90
6.2.6.	Annahmen Güterverkehr	92
6.3.	Verkehrsaufkommen	97
6.4.	Zonenbinnenverkehr	98
6.5.	Interzonaler Verkehr	100
6.6.	Langsamverkehr (Intra- und interzonaler Verkehr)	102
6.7.	Zusammenfassungen	103

7.	Funktionstest	104
7.1.	Ziel des Funktionstests und Abgrenzung	104
7.2.	Reproduzierbarkeit des NPVM 2010	104
7.2.1.	Reproduktion der Kenngrössenmatrizen	105
7.2.2.	Viseva-Nachfragerechnung	107
7.2.3.	Visum-Umlegung	112
7.2.4.	Matrixkorrektur Personenverkehr	113
7.2.5.	Matrixkorrektur Strassengüterverkehr	122
7.3.	Überprüfung der Schnittstellen	125
7.3.1.	Schnittstelle Modul 1 PV zu Modul 2	125
7.3.2.	Schnittstelle Tool AMG zu Modul 2	125
7.3.3.	Schnittstelle Modul 2 zu Modul 3	125
7.4.	Fazit	126
8.	Szenarien und quantifizierte Stellgrössen	127
Annex		141
	Abbildungsverzeichnis	141
	Tabellenverzeichnis	142
	Wichtigste Abkürzungen	144
	Glossar	145
	Statistische Grundlagen	147
	Literatur	148
	Kostensätze Güterverkehr	153
	Technische Beschreibung zum Modul 2: Schaltzentrale	164

1. Einleitung

Die Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 werden vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) im Auftrag des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erarbeitet. Die Projektdurchführung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den anderen UVEK-Ämtern und mit Unterstützung verschiedener bundesexterner Experten.¹ Die Bildung der Szenarien und die hinterlegten Annahmen wurden mit einer bundesinternen, breit zusammengesetzten Szenariogruppe abgestimmt.

Methodisch basieren die Verkehrsperspektiven auf Berechnungen mittels den nationalen Verkehrsmodellen: dem nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) und der neu erarbeiteten Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG). Beiden Modellen sind integrale Wirkungszusammenhänge – von der Verkehrsnachfrage bis hin zur Fahrleistung auf den Netzen – hinterlegt. Während der **Hauptbericht** die Wirkungszusammenhänge, die Szenarien und die Resultate zu den Verkehrsperspektiven darstellt und erläutert, werden mit dem hier vorliegenden **technischen Bericht** ergänzende Informationen zur Quantifizierung der Perspektivresultate abgegeben.

Für die Berechnung der Szenarien wurde ein dreistufiges Excel-Tool erarbeitet, das die Arbeitsschritte zur Erstellung und Auswertung des Referenzszenarios sowie der anschliessenden Szenarien-Läufe zusammenfasst. Dies erleichtert nicht nur die Berechnung der Szenarien, sondern ermöglicht auch eine vollständige Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Die Gliederung des vorliegenden technischen Berichts orientiert sich am Aufbau dieses Excel-Tools.

¹ Das ARE wurde von einer Arbeitsgemeinschaft unterstützt: INFRAS (Federführung), Ernst Basler + Partner (Projektpartner), PTV Dresden (Modellanwendung NPVM) und TCI Röhling (Unterstützung im Güterverkehr).

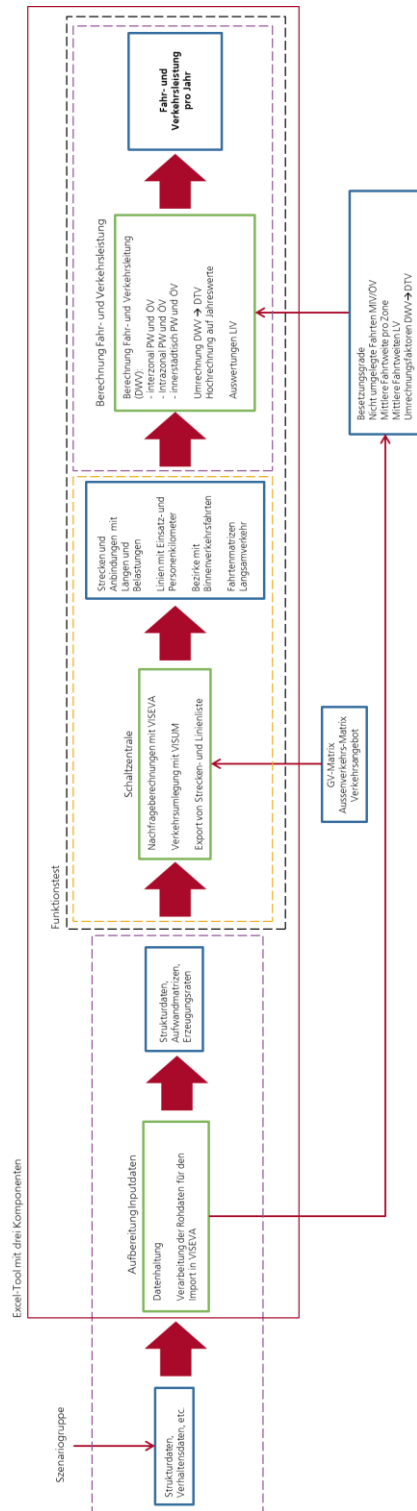
2. Übersicht zum Tool: Modulhandling

Zur Berechnung der Szenarien wurde ein Excel-Tool erstellt, welches auch die Schnittstelle zu weiteren Applikationen darstellt. Das Excel-Tool besteht aus drei Modulen, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Im **Modul 1** findet die Aufbereitung der Eingangsdaten statt. Hier werden Daten aus verschiedenen Datenquellen zusammengetragen und so aufbereitet, dass sie in Viseva in der Form von Strukturdaten, Aufwandsmatrizen und Erzeugungsraten genutzt werden können. Die Aufbereitung findet in entsprechenden Abläufen für den Personen- und den Güterverkehr statt. Diese werden in Kapitel 3 und in Kapitel 4 beschrieben.

Das **Modul 2** umfasst die Schaltzentrale für die Berechnungen in Viseva und Visum. Es werden die com-Schnittstellen der beiden Programme genutzt um vom Excel-Tool aus die entsprechenden Berechnungen zu steuern. Dies ist in Kapitel 5 beschrieben.

Die Aufgabe des **Moduls 3** ist die Aufbereitung der Ergebnisse aus Viseva und den Visum-Umlagen und eine Hochrechnung auf Fahr- und Verkehrsleistungen für das gesamte Jahr. Die Funktionsweise dieses Toolbestandteils ist in Kapitel 6 dargestellt.

Abbildung 1: Aufbau des Excel-Tools



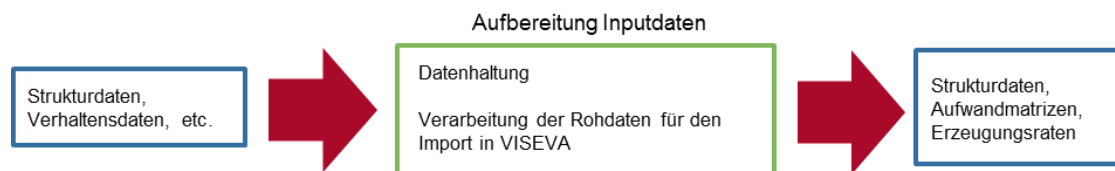
Quelle: Eigene Darstellung.

3. Modul 1 Personenverkehr: Aufbereitung der Inputdaten

3.1. Übersicht

Ziel des Moduls 1 Personenverkehr ist die Bereitstellung einer Methodik zur Aktualisierung der Strukturdaten, Aufwandsmatrizen und Erzeugungsraten sowie weiterer Daten zur Erstellung des Referenzszenarios sowie der alternativen Szenarien im Personenverkehr (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Aufbau Modul 1



Quelle: Eigene Darstellung.

Diese Daten bilden die Eingangsdaten für das Modul 2, in dem die Erstellung des Personenverkehrsmodells in Viseva und Visum erfolgt. Ausgangspunkt sind die Eingangsdaten des NPVM 2010. Soweit im Folgenden nicht anders beschrieben, werden die dort verwendeten Dateien übernommen. Die übrigen Daten werden so aufbereitet, dass ihr Format und ihre Struktur den Eingangsdaten des NPVM 2010 entsprechen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Eingangsgrößen des NPVM, die vorgesehenen Anpassungen und in welchen der folgenden Kapitel diese Anpassungen beschrieben sind.

Anschliessend werden diese Eingangsgrößen einzeln dargestellt. Für jede Eingangsgröße wird erläutert, von welchen Einflussparametern diese abhängen und wie darauf aufbauend die Eingangsdaten für das jeweilige Szenario ermittelt werden. Die konkreten Szenarioannahmen sind im Kapitel 8 dokumentiert.

Tabelle 1: Eingangsgrössen in das NPVM

Eingangsgrösse	Format	Einflussparameter	Anpassung je nach Szenario
Anzahl Einwohner	Matrix: 1 Wert je Zone	BFS-Bevölkerungsszenarien	ja
Anzahl Einwohner in 5 Alterskategorien	Matrix: 1 Wert je Zone und Kategorie	BFS-Bevölkerungsszenarien	ja
Anzahl Erwerbstätige	Matrix: 1 Wert je Zone	ARE-Prognose (TBB)	ja
Anzahl Arbeitsplätze	Matrix: 1 Wert je Zone	ARE-Prognose (TBB) gemäss Ecoplan (2016)	ja
Anzahl Ausbildungsplätze	Matrix: 1 Wert je Zone	ARE-Prognose (TBB)	ja
Verkaufsraumfläche	Matrix: 1 Wert je Zone	Proportional zur Veränderung Anzahl Arbeitsplätze je Gemeinde	ja
Besucheranzahl Freizeiteinrichtungen	Matrix: 1 Wert je Zone	Proportional zur Veränderung Anzahl Einwohner und Arbeitsplätze je Gemeinde	ja
Anzahl Personenwagen pro EW	Matrix: 1 Wert je Bezirk	Teilmodellierung:	ja
Anzahl Halbtax pro EW	Matrix: 1 Wert je Bezirk	- Einwohner nach Altersgruppen - Erwerbstätigkeit: Anstellung Ja/Nein - Durchschnittseinkommen	ja
Anzahl GA pro EW	Matrix: 1 Wert je Bezirk	- Geschlecht: Mann/Frau - Grosszentrum Ja/Nein - Region: Ost-, Nord-, Zentralschweiz, Tessin und Genferseeregion - Reisezeit zum zugeordneten Mittelzentrum im MIV bzw. ÖV - Plus <u>qualitative</u> Annahmen zu Preisentwicklung und neue Mobilitätsangebote	ja
Reisezeit MIV	Matrix	Strassennetz (NPVM) und Kapazitäten (Iterationen mit Umlegung Nachfrage)	ja
Reisezeit ÖV	Matrix	Fahrplan (NPVM)	ja
Intervall ÖV	Matrix	Fahrplan (NPVM)	ja
Umsteigehäufigkeit ÖV	Matrix	Fahrplan (NPVM)	ja
Zugangszeit ÖV	Matrix	Qualitative Einschätzung zu städtischer Verkehrspolitik	ja
Abgangszeit ÖV	Matrix	(hier vor allem lokales ÖV Angebot, s.a. Reisezeit LV)	ja
Reisezeit LV	Matrix	Qualitative Einschätzung zur Förderung LV (z.B. Velobahnen, Bevorzugung LV an Lichtsignalanlagen) und zur Verbreitung neuer Mobilitätstypen (z.B. Scooter, Elektrowelos)	ja
KM-Kosten MIV	Matrix	- Variable Kosten, insb. Rohölpreis - Steuern und Abgaben - Treibstoffverbrauch Fahrzeuge - Besetzungsgrad PW: siehe unten	ja

Eingangsgrösse	Format	Einflussparameter	Anpassung je nach Szenario
KM-Kosten ÖV	Matrix	▪ <u>Qualitative</u> Einschätzung unter Berücksichtigung: Finanzierung und Entwicklung Bahninfrastruktur ▪ Entwicklung des eigenwirtschaftlichen Personenfernverkehrs ▪ Finanzierung und Entwicklung regionaler Personenverkehr (Abgeltung ungedeckter Kosten im öffentlichen Verkehr)	ja
Parksuchzeit	Matrix	<u>Qualitative</u> Einschätzung auf Basis von Annahmen zu Suchtechnologie und Sharing von Parkplätzen, verkehrs- und umweltpolitischer sowie städtebaulicher Massnahmen	ja
Parkkosten	Matrix	<u>Qualitative</u> Einschätzung auf Basis von Annahmen zu verkehrs- und umweltpolitischer sowie städtebaulicher Massnahmen	ja
Konstante MIV	Matrix	Keine Veränderungen	nein
Konstante ÖV	Matrix	Keine Veränderungen	nein
Konstante Hauptstadtfunktion Bern	Matrix	Keine Veränderungen	nein
Sprachgrenze Westschweiz	Matrix	Keine Veränderungen	nein
Sprachgrenze Tessin	Matrix	Keine Veränderungen	nein
Höhendifferenz	Matrix	Keine Veränderungen	nein
Fahrtzweckspezifische Aufkommensraten	Parameter	Je Fahrtzweck <u>qualitative</u> Einschätzung auf Basis von: ▪ Bedeutung der Informations- und Kommunikationstechnologien (z.B. Einfluss auf Homeoffice) ▪ Wirtschaftliche Entwicklung: BIP/Einwohner (Nutzfahrten) ▪ Lebensstile (Aktivitätsgrad) (v.a. Einkaufs- und Freizeitfahrten) ▪ Soziale Einbindung und Haushaltsgrössen ▪ s.a. Ergebnisse des Perspektiven-Projekts „Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040“	ja
Besetzungsgrade	Parameter	Je Fahrtzweck <u>qualitative</u> Einschätzung auf Basis von: ▪ Haushaltstruktur ▪ Attraktivität MIV ▪ Attraktivität ÖV ▪ Lebensstil (Individualität) ▪ Attraktivität Carpooling	ja
Flughafenpassagiere	Matrix	▪ BAZL Flugprognosen (Flugverkehr) ▪ BIP-Entwicklung (Nicht Flugverkehr)	ja
Aussenverkehre	Matrix	▪ BFS-Bevölkerungsprognose ▪ Eurostat Bevölkerungsprognosen	ja

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis NPVM.

3.2. Raumstrukturdaten

Die Raumstrukturdaten werden mit einer eigens beim ARE entwickelten Methodik erstellt. Die Methodik wurde in einem Tool vom ARE umgesetzt (Tool Bevölkerung Beschäftigte – TBB). Ausgangspunkt des TBB bildet eine so genannte Strukturdatentabelle für das Jahr 2010. Dabei handelt es sich um eine Tabelle, in der Einwohner, Erwerbstätige, Arbeitsplätze und weitere Strukturdaten (z.B. Potenziale von Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen) nach Verkehrszonen gelistet sind. Diese Tabelle ist nach den 2'944 Verkehrszonen des NPVM differenziert und bildet die Grundlage für die Verkehrserzeugung im NPVM. Diese Tabelle ist daher relevant, da das TBB a) in der Lage sein muss inhaltlich alle dort aufgeführten Strukturdaten zu prognostizieren und b) die Prognosedaten genau in diesem Format liefern muss, damit die Schnittstelle zum NPVM funktioniert. Nachstehend findet sich ein Auszug aus dieser Tabelle.

Abbildung 3: Auszug Strukturdatentabelle NPVM 2010

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
VBZ_NR	VBZ_NAME	VBZ_TYP	BP_EW	BP_0014	BP_1524	BP_2559	BP_6079	BP_80XX	BP_EWT	BP_BES
1	Aeugst am Albis	U1	1826	281	200	958	328	59	1027	305
2	Affoltern am Albis	U1	11153	1702	1492	5657	1929	373	5877	5214
3	Bonstetten	U1	5170	953	536	2757	800	124	2878	628
4	Hausen am Albis	U1	3369	577	399	1686	623	84	1870	720
5	Hedingen	U1	3418	597	447	1733	570	71	1917	1300
6	Kappel am Albis	U1	922	183	98	460	148	33	503	200
7	Knonau	U1	1803	330	218	898	291	66	974	383
8	Maschwanden	U1	617	109	67	307	112	22	357	87
9	Mettmenstetten	U1	4255	732	547	2144	716	116	2402	1129
10	Obfelden	U1	4695	829	569	2354	812	131	2546	1011
11	Ottenbach	U1	2412	383	282	1208	464	75	1345	654
12	Rifferswil	U1	902	184	101	437	143	37	478	131
13	Stallikon	U1	3175	472	303	1739	577	84	1779	747
14	Wettswil am Albis	U1	4531	763	395	2208	1004	161	2343	936
21	Adlikon	U1	579	85	65	298	111	20	325	141
22	Benken (ZH)	U1	807	117	96	434	133	27	443	142

Quelle: NPVM.

In der Tabelle ersichtlich sind die 5 Altersgruppen (BP_0014, BP_1524, BP_2559, BP_6079, BP_80XX) sowie die Spalten für Erwerbstätige (EWT) und Arbeitsplätze (BES). Primäre Aufgabe des TBB ist es, die Einwohner (EW), d.h. das Total über alle Altersgruppen zu prognostizieren; die weiteren Strukturdaten werden unter vereinfachten Annahmen aus der Bevölkerungsprognose abgeleitet.

Vorbereitende Schritte

Das TBB ist als Syntax in SPSS umgesetzt und automatisiert. In einem ersten Schritt sind vorliegende Daten einzulesen, die an verschiedenen Stellen im Verlauf der Modellanwendung Verwendung finden:

- Eckwerte zur Schweizer und kantonalen Bevölkerungsentwicklung gemäss BFS-Bevölkerungsszenarien 2015-2045,

- Durchschnittliche Haushaltsgrösse 2010 pro Verkehrszone gemäss BFS,
- Entwicklung der durchschnittlichen Haushaltsgrösse bis 2040 gemäss BFS-Haushaltsszenarien von 2008²,
- Aufteilung der Haushalte auf Nachfragesegmente (Stand 2012) gemäss Daten der Firma Fahrländer & Partner (FPRE),
- Zuordnungen der Verkehrszonen zu verschiedenen Raumgliederungen (ARE-Gemeindetypen, Kantone, MS-Regionen).

Flächennachfrage

Die Nachfragesegmente (sogenannte NASEn) beruhen auf einer Klassifizierung von Haushalten nach 9 Typen, z.B. „Ländlich Traditionelle“, „Aufgeschlossene Mitte“ oder „Urbane Avantgarde“. Diese Typen basieren auf einer Einteilung von FPRE, die erstmals auf Basis der Volkszählung 2000 entstanden ist und danach fortgeschrieben wurde. Im Projekt „Bauzonen Schweiz“ (ARE, 2009) erfolgte auf Grundlage der NASEn die Berechnung der Flächennachfrage. Elemente der Methodik aus ARE, 2009 und aus dem damaligen Projekt vorliegende Kennwerte werden im TBB neuerlich verwendet. Für die Berechnungen hat das ARE eine Aktualisierung der NASEn von FPRE für das Jahr 2012 bezogen. Auf der Basis von Informationen je Verkehrszone, z.B. Haushalte des NASEn-Typs „Ländlich Traditionelle“ kommen in Gemeinde X mit Y% vor, kann für jede Verkehrszone bestimmt werden, wie viele Haushalte dort je nach Nachfragesegment leben.

Zur Ermittlung der Flächennachfrage (in qm Wohnfläche pro Verkehrszone) wird die Anzahl an Haushalten nach NASEn mit Kennwerten zum Wohnflächenverbrauch kombiniert. Die Kennwerte liegen jeweils nach ARE-Gemeindetypen differenziert vor:

- Anteil an Häusern (Einfamilienhaus Reihe und freistehend) und Wohnungen (Eigentums- und Mietwohnungen) = Wohntyp,
- Durchschnittlicher Grundstücksflächen- bzw. Wohnflächenverbrauch in qm je Wohntyp,
- Durchschnittliche Erschliessungsfläche (= zusätzlicher Baulandbedarf für die verkehrliche Erschliessung) je Wohneinheit.

Beispiel: In einer Verkehrszone (hier gleichbedeutend mit Gemeinde), die dem ARE-Gemeindetyp (Agrargemeinde) angehört, gibt es 2010 insgesamt 485 Haushalte. Davon gehören gemäss der NASEn-Aufteilung von FPRE 14.3% dem Haushaltstyp „Klassischer Mittelstand“ an (= 69 Haushalte). Der Anteil an Einfamilienhäusern (EFH: Reihe und freistehend) in diesem Gemein-

² Die BFS-Haushaltsszenarien sind nach Kantonen differenziert und reichen bis 2030. Die Entwicklung je Kanton wurde auf alle Verkehrszonen des Kantons angewendet, ab 2030 bis 2040 wurde die durchschnittliche Haushaltsgrösse konstant gehalten.

dety und diesem Nachfragesegment beträgt 40.6% (16.2% Reihe = 11 Haushalte, 24.4% freistehend = 17 Haushalte); der Anteil an Eigentumswohnungen (EWHG) beträgt 17.5% (= 12 Haushalte) und an Mietwohnungen (MWHG) 41.8% (= 29 Haushalte). Die durchschnittliche Wohnfläche pro Haushalt beträgt für die Eigentumswohnung 102 qm, für die Mietwohnung 92 qm, die durchschnittliche Grundstücksfläche für ein Einfamilienhaus 693 qm (freistehend) und 452 qm (Reihe). Für die Wohnungen wird ein Verhältnis Wohnfläche/Grundstücksfläche von 0.5 angenommen und eine Erschliessungsfläche pro Wohneinheit von 30 qm (50 qm für die Einfamilienhäuser). Dies führt im Beispiel zu folgender Flächennachfrage bei den Wohntypen:

Tabelle 2: Flächennachfrage des klassischen Mittelstands (Bsp.: Agrargemeinde)

Kl. Mittelstand	a: Haushalte	b: Wohnfläche/Haushalt	c: Wohnfläche/Grundstücksfläche	d: Erschliessungsfläche/Haushalt	Flächennachfrage-Formel
EFH - frei	17	693	1	50	$(a * b) / c + (a * d)$
EFH - Reihe	11	452	1	50	
EWHG	12	102	0.5	30	
MWHG	29	92	0.5	30	
Summe	69				27'167 qm

Quelle: TBB.

In Summe beträgt die Flächennachfrage Wohnen für Haushalte, die zum „Klassischen Mittelstand“ gehören, gut 27'000 qm. Die Summe der Flächennachfrage über alle Nachfragesegmente führt zur qm-Nachfrage je Verkehrszone; dies sind im Beispiel der Agrargemeinde **197'026 qm**. Das Beispiel dient der Verdeutlichung der Vorgehensweise, es sei darauf hingewiesen, dass die Kennwerte im Einzelfall von der Realität abweichen und die Methodik vor allem dazu dient, schweizweit einheitlich eine Flächennachfrage zu ermitteln.

Flächenangebot

Der Flächennachfrage wird ein Flächenangebot „Wohnen“ gegenübergestellt. Grundlage dazu bildet die Bauzonenstatistik Schweiz (ARE, 2012), in der das ARE die bebauten und unbebauten Bauzonen erhoben hat. Vor Verwendung der Daten waren vorbereitende Arbeiten notwendig. Zunächst wurden die Geometrien der Bauzonen nach Typen mit den Geometrien der Verkehrszonen verschnitten, um die qm-Fläche Bauzonen je Typ und Verkehrszone berechnen zu können. Berücksichtigung zur Ermittlung des Flächenangebots „Wohnen“ finden Bauzonen des Typs Wohnzonen, Arbeitszonen, Mischzonen und Zentrumszonen.

In einem nächsten Schritt waren Annahmen zu treffen, um den Anteil an Bauzone je Bauzonentyp zu bestimmen, der wirklich für Wohnen genutzt wird. Dazu wurde differenziert nach Bauzonen- und ARE-Gemeindetyp das mit dem Flächenbedarf (Wohnfläche pro Person,

Arbeitsplatzfläche pro Vollzeitäquivalent nach Branche) gewichtete Verhältnis von Einwohnern und Arbeitsplätzen gebildet. Nachstehende Tabelle weist die Flächenanteile für Arbeitsplätze aus, im TBB wird der jeweilige Kehrwert zur Ermittlung der Flächenanteile für Wohnen verwendet.³ Die Anteile werden den Verkehrszonen über deren Zugehörigkeit zu einem ARE-Gemeindetyp angespielt.

Tabelle 3: Flächenanteil für Arbeitsplätze je Bauzonen- und ARE-Gemeindetyp

Flächenanteil für Arbeitsplätze (ermittelt aus dem mit dem Flächenbedarf gewichteten Verhältnis von Einwohnern und Arbeitsplätzen)				
ARE-Gemeindetypen	Wohnzonen	Arbeitszonen	Mischzonen	Zentrumszonen
1 Grosszentren	27.2%	98.8%	64.8%	75.9%
2 Nebenzentren der Grosszentren	14.8%	98.4%	51.3%	65.7%
3 Gürtel der Grosszentren	13.6%	97.9%	37.5%	35.2%
4 Mittelzentren	23.8%	98.6%	61.4%	72.8%
5 Gürtel der Mittelzentren	13.4%	98.3%	52.7%	39.2%
6 Kleinzentren	17.2%	97.6%	61.1%	58.1%
7 Periurbane ländliche Gemeinden	11.6%	97.6%	46.6%	35.8%
8 Agrargemeinden	12.9%	96.1%	48.4%	32.8%
9 Touristische Gemeinden	31.6%	93.9%	65.2%	53.3%

Quelle: TBB.

Beispiel: Für die Agrargemeinde des Beispiels lässt sich das Flächenangebot für Wohnen und Arbeiten wie folgt ableiten:

Tabelle 4: Flächenangebot für Wohnen und Arbeiten (Agrargemeinde)

	a: Bauzonenfläche bebaut	Wohnfläche	Arbeitsfläche
Wohnzonen	162'718	$a * 0.871$	$a * 0.129$
Arbeitszonen	41'840	$a * 0.039$	$a * 0.961$
Mischzonen	19'825	$a * 0.516$	$a * 0.484$
Zentrumszonen	215'924	$a * 0.672$	$a * 0.328$
Summe	440'307	298'690	141'617

Quelle: TBB.

Aus der Gegenüberstellung von Flächennachfrage und Flächenangebot wird eine Proxyvariable im Sinne einer „Ausnützung“⁴ berechnet, im Beispiel wäre dies: $197'026 / 298'690 = 0.66$. Dieses Verhältnis lässt sich für alle Verkehrszonen berechnen und damit auch statistische Masse (Mittelwert, Median, Perzentile) nach Gemeindetypen ausgeben. Nachstehend ist das so ermittelte Verhältnis nach ARE-Gemeindetypen dargestellt.

³ Der ermittelte Flächenanteil für Arbeitsplätze fand Eingang in die Berechnung des Flächenangebots im Projekt „Räumliche Entwicklung der Arbeitsplätze in der Schweiz – Entwicklung und Szenarien bis 2040“ (Ecoplan, 2016).

⁴ Nachfolgend werden die Begriffe „Ausnützung“ und „Verhältnis Nachfrage/Angebot“ synonym verwendet. Da es sich bei der hier beschriebenen Ausnützung um eine Proxy-Variable handelt, wird der Begriff im Text stets in Anführungszeichen gesetzt.

Tabelle 5: Verhältnis Nachfrage/Angebot nach ARE-Gemeindetypen

	Gemeindetypen	Median	75%-Perzentil
1	Grosszentren	0.94	1.61
2	Nebenzentren der Grosszentren	0.54	0.67
3	Gürtel der Grosszentren	0.66	0.81
4	Mittelzentren	0.77	0.99
5	Gürtel der Mittelzentren	0.60	0.76
6	Kleinzentren	0.76	0.95
7	Periurbane ländliche Gemeinden	0.63	0.80
8	Agrargemeinden	0.71	1.04
9	Touristische Gemeinden	0.44	0.62

Quelle: TBB.

Auf Basis des Verhältnisses wird eine effektiv verfügbare Bauzonenfläche näherungsweise bestimmt. Im Beispiel der Agrargemeinde beobachten wir ein Verhältnis von 0,66. Wir treffen die Annahme, dass die Gemeinde für die Zukunft seine effektiv verfügbare Bauzonenfläche bis zum 75%-Perzentilwert des Verhältnisses seines Gemeindetyps erweitern darf. Konkret bedeutet dies, dass die Gemeinde von den 298'690 qm im Verlauf bis 2040 maximal 310'638 qm ($= 298'690 \cdot 1.04$) ausnützen könnte. Im Beispiel hätte die Gemeinde folglich 113'612 qm ($= 310'638 - 197.026$) Bauzonenfläche für Wachstum zur Verfügung. (Die Annahme des 75%-Perzentilwerts wurde auch im Projekt „Räumliche Entwicklung der Arbeitsplätze der Schweiz – Entwicklung und Szenarien bis 2040 (Ecoplan, 2016)“ hinterlegt.)

Soweit bezieht sich die Berechnung der verfügbaren Bauzonen allein auf die in 2012 bereits überbauten Bauzonen. Nahezu alle Verkehrszonen verfügen über zusätzliche Flächen aufgrund von unüberbauten Bauzonen. Im Beispiel sind dies 15'937 qm; neuerlich kombiniert mit dem 75%-Perzentilwert (1.04) zur Berechnung der maximalen „Ausnützung“ der Bauzonenfläche, führt dies zu einer zusätzlich verfügbaren, unüberbauten Bauzonenfläche von 16'574 qm ($15'937 \cdot 1.04$). Für die Prognoserechnungen bis 2040 wird davon ausgegangen, dass die Fläche unüberbauter Bauzonen sukzessive, d.h. linear über die Zeit bis 2040, zur Verfügung steht (zusätzlich zur im Ausgangsjahr verfügbaren Bauzonenfläche von, im Beispiel, 113'612 qm, siehe oben).

Mit diesem Ansatz wird lediglich das verfügbare Potenzial quantifiziert, bis zu welchem Grad die Bauzonenfläche tatsächlich ausgenützt wird, entscheidet sich in späteren Schritten der Modellierung. Es werden keine Annahmen über zusätzliche Potenziale aufgrund von Einzonungen oder reduzierte Potenziale aufgrund von Auszonungen getroffen. D.h. die bebauten und unüberbauten Bauzonen von 2012 bleiben fixiert und es wird lediglich deren „Ausnützung“ verändert. In der Zusammenfassung für die Beispielgemeinde:

Tabelle 6: Ermittlung der Bauzonenflächen (Beispielgemeinde des Typs Agrargemeinde)

Berechnungsschritt	Ergebnis	Formel
a: Flächennachfrage 2012	197'026	
b: Bauzonenfläche 2012, bebaut (absolut)	298'690	
c: Verhältnis Nachfrage/Angebot „Ausnützung“	0.66	a / b
d: Bauzonenfläche 2012, bebaut (effektiv)	310'638	$b * 1.04$
e: Bauzonenfläche 2012, unüberbaut (absolut)	15'937	
f: Bauzonenfläche 2012, unüberbaut (effektiv)	16'574	$(e * 1.04)$
g: verfügbare Bauzonenfläche 2020	118'347	$(d - a) + (f * 8/28)$
h: verfügbare Bauzonenfläche 2030	124'267	$(d - a) + (f * 18/28)$
i: verfügbare Bauzonenfläche 2040	130'186	$(d - a) + (f * 28/28)$
j: Bauzonenfläche 2020, effektiv	315'373	$g + a$
k: Bauzonenfläche 2030, effektiv	321'293	$h + a$
l: Bauzonenfläche 2040, effektiv	327'212	$i + a$

Quelle: TBB.

Das berechnete Verhältnis für 2012 wird einer zukünftigen „Ausnützung“ (aufgrund des Bevölkerungswachstums und damit verbundenen Wohnflächenbedarfs) gegenübergestellt. Aus der Entwicklung ergeben sich Implikationen für die Bevölkerungsverteilung (siehe Ausführungen weiter unten).

Arbeitsplätze und Erreichbarkeiten

Bei der Bevölkerungsverteilung wird:

- a) die räumliche Arbeitsplatzentwicklung, und
- b) die Entwicklung des Verkehrsangebots bis 2040 berücksichtigt.

Bezüglich a) wird auf die Ergebnisse des Projekts „Räumliche Entwicklung der Arbeitsplätze in der Schweiz – Entwicklung und Szenarien bis 2040“ abgestellt (Ecoplan, 2016); aus dem Projekt liegt die Entwicklung der Arbeitsplätze (in Vollzeitäquivalenten und effektiv Beschäftigten) bis 2040 auf Stufe Verkehrszonen vor. Die Informationen zu b) basieren auf Erreichbarkeiten (= Reisezeiten) für MIV und ÖV bis 2040, ebenfalls auf Stufe der Verkehrszonen. Quelle der Reisezeiten sind die Prognosezustände Infrastruktur und Angebot auf Strasse und Schiene, die im Rahmen der Verkehrsperspektiven für die Analysen in das NPVM integriert wurden.⁵

⁵ Bei der Berücksichtigung der Reisezeiten 2040 besteht das Problem, dass sich diese im belastungsabhängigen MIV erst aus den zu prognostizierenden Bevölkerungsverteilungen ergeben. Zur näherungsweise Berücksichtigung zukünftiger Belastungen im MIV wurde das Reisezeitverhältnis in 2010 (belastet/unbelastet) ermittelt und auf die Kenngrößen des unbelasteten Netzes in 2040 angewendet (d.h. multipliziert).

Im TBB erfolgt über eine Verknüpfung dieser beiden Informationen eine erste räumliche Bevölkerungsverteilung. Die Verknüpfung folgt der Annahme, dass eine Verkehrszone (im Verlauf bis 2040) dann attraktiver wird, wenn mehr Arbeitsplätze besser erreichbar sind. Eine höhere Attraktivität führt dazu, dass sich mehr Einwohner in dieser Verkehrszone ansiedeln.

Es wird zunächst berechnet, wie viele Arbeitsplätze ausgehend von einer Verkehrszone in verschiedenen Zeitintervallen erreicht werden. Wieder wird dies beispielhaft für die Agrargemeinde dargestellt. Die Tabelle zeigt die für die Gemeinde erreichbare Anzahl an Arbeitsplätzen in Zeitintervallen (10-Minuten-Intervalle für MIV und ÖV); für 2010 und 2040.

Tabelle 7: Erreichbarkeit Arbeitsplätze (Beispielgemeinde des Typs Agrargemeinde)

	Zeitintervall	1	2	3	4	5	6	7
2010	MIV	2'326	67'661	199'109	456'594	242'181	277'695	2'151'040
2040		2'403	80'317	238'090	472'112	322'523	275'505	2'585'754
2010	ÖV	1'340	32'328	26'759	188'226	299'139	163'642	2'685'171
2040		1'381	41'039	25'975	268'839	356'625	263'526	3'019'320

Quelle: TBB.

Es erfolgt eine Bewertung. Dabei wird die Anzahl erreichter Arbeitsplätze im Zeitintervall geteilt durch die Anzahl der insgesamt bis zu diesem Zeitintervall erreichbaren Arbeitsplätze; in Summe für MIV und ÖV. Arbeitsplätze in kurzer Entfernung (innerhalb der ersten beiden Zeitintervalle) werden mit einem Faktor 2 multipliziert, um die Attraktivität von Arbeitsplätzen im direkten Umfeld höher zu gewichten. Für das zweite Zeitintervall führt dies zu:

$$\text{MIV 2010, } 67'661 / (67'661 + 2'326) * 2 + \text{ÖV 2010, } 32'328 / (32'328 + 1'340) * 2 = 3.85$$

Im Ergebnis ergibt sich nachstehende Bewertung. Die vorletzte Spalte weist die Bewertungssumme je Verkehrszone aus (13.10 bzw. 13.08); die letzten Spalte (15.7 und 16.1) gibt die maximale Bewertungssumme im Vergleich aller Schweizer Verkehrszonen wieder.

Tabelle 8: maximale Bewertungssumme (Beispielgemeinde des Typs Agrargemeinde)

									Summe	Max-Wert
2010	MIV + ÖV	4.00	3.85	1.18	1.39	0.80	0.45	1.42	13.10	15.7
2040		4.00	3.88	1.12	1.39	0.80	0.47	1.41	13.08	16.1

Quelle: TBB.

Die Bewertung, ob eine Gemeinde zwischen 2010 und 2040 an Attraktivität hinzugewonnen oder verloren hat, erfolgt zunächst über das „in-Relation-Setzen“ der Bewertungssumme der Verkehrszone zum Max-Wert der Bewertungssumme über alle Verkehrszonen, folglich:

$$2010: 13.10 / 15.7 = 0.83$$

$$2040: 13.08 / 16.1 = 0.81$$

Für die Gemeinde ergibt sich aus der Berechnung eine minimal negative Bewertung. Es sei darauf hingewiesen, dass das „in-Relation-Setzen“ schweizweit erfolgt und nicht innerhalb kantonalen Grenzen. Dies ist sinnvoll, um auch kantonsübergreifend eine zu- oder abnehmende Attraktivität in Bezug auf das Verhältnis von Wohnort- zu Arbeitsort abzubilden. Im nächsten Schritt wird die so ermittelte Bewertung in Bezug gesetzt zum Kanton, in dem die Verkehrszone sich befindet. Dazu wird je Kanton berechnet wie viel sich dieser insgesamt, d.h. in absoluter Summe über alle zugehörigen Verkehrszonen, entwickelt hat. Dann lässt sich der Beitrag (positiv/negativ) jeder Verkehrszone zu dieser Veränderung ermitteln. Die daraus abgeleitete prozentuale Veränderung wird dazu genutzt, die prozentuale Bevölkerungsverteilung innerhalb des Kantons aus dem Jahr 2010, anzupassen.

Im Beispiel (Gemeinde gehört zum Kanton Zürich, 185 Verkehrszonen), führt die leicht negative Entwicklung dazu, dass die Verkehrszone sich von Position 26 in 2010 auf Position 24 in 2040 bewegt (sozusagen 2 Plätze „verliert“, aufgrund der im Vergleich zu den anderen Verkehrszonen des Kantons leicht negativen Entwicklung). Im Zuge einer ersten Bevölkerungsverteilung für 2040, die aufgrund der generellen Wachstumsprognosen des BFS praktisch eine Aufteilung des Bevölkerungswachstums darstellt, nimmt die Gemeinde leicht unterproportional zu. Im Ergebnis liegt nach dieser 1. Aufteilung die Bevölkerung für 2040 nach Verkehrszonen vor. Auf dieser Basis können nun weitere Grössen abgeleitet werden:

- Das prozentuale Bevölkerungswachstum je Verkehrszone kann berechnet werden.
- Es kann die Anzahl an Haushalten in 2040 und deren Flächennachfrage bestimmt werden.
- Es kann ein neues Verhältnis Nachfrage/Angebot (unter Einbezug des Flächenangebots für 2040) berechnet werden.

Im Modell erfolgt die Berechnung der Flächennachfrage 2040 nicht in gleicher Differenzierung wie für 2010 (nach NASEn differenziert). Aus den Berechnungen für 2010 wird ein mittlerer Flächenbedarf je Verkehrszone und Haushalt ermittelt. Dieser mittlere Flächenbedarf wird dann für die Aufkommensberechnung in 2040 verwendet. Dies stellt eine Vereinfachung dar, da in der Realität davon auszugehen ist, dass sich neben der Anzahl an Personen pro Verkehrszone

in 2040 auch die Haushaltsstruktur und damit die Flächennachfrage verändert. Zu Gunsten einer Vereinfachung des Programmablaufs und einer höheren Effizienz der iterativen Berechnungsdurchläufe wurde auf diese Differenzierung verzichtet.

Die 1. Bevölkerungsverteilung gemäss dem hier beschriebenen Vorgehen wird in einem nächsten Schritt mit Blick auf die damit verbundene Preisentwicklung in den Gemeinden und der Entwicklung des Verhältnisses Nachfrage/Angebot angepasst.

Verhältnis Nachfrage Angebot und Preisentwicklung

Ausgangspunkt bildet die Integration von Daten zum Wohnpreisniveau auf Stufe der Verkehrszonen. Dazu wurden ebenfalls Daten von FPRE bezogen. Verwendung im TBB finden Preise mit Stand 2013 für eine Eigentumswohnung im mittleren Segment.⁶ Die Preise sind als Proxy eines Miet- und Kaufpreisniveaus zu verstehen. Für die Modellfunktionalität ist weniger die absolute Höhe des Preises entscheidend, denn die relativen Preisunterschiede zwischen den Verkehrszonen. Der Entscheid zur Verwendung der Preise für eine durchschnittliche Eigentumswohnung geht darauf zurück, dass bei statistischen Analysen zum Zusammenhang von Bevölkerungs- und Preisentwicklung diese Grösse zu den besseren Modellresultaten führte.

Auf Basis des prozentualen Bevölkerungswachstums je Verkehrszone (= Ergebnis der 1. Umverteilung) wird die Veränderung des Preisniveaus berechnet. Dazu bedurfte es statistischer Auswertungen zum Zusammenhang von Bevölkerungs- und Preisentwicklung. Diese Analysen wurden durch FPRE durchgeführt. Ein signifikanter Zusammenhang konnte nicht für alle ARE-Gemeindetypen festgestellt werden; mitunter waren die Fallzahlen (z.B. für die Grosszentren) zu gering. In diesen Fällen wurden vereinfacht aus den statistisch signifikanten Auswertungen, Elastizitäten abgeleitet und übertragen. In nachstehender Tabelle sind die im TBB hinterlegten Elastizitäten für den wechselseitigen Zusammenhang von Bevölkerungs- und Preisentwicklung dargestellt.

⁶ Ein entsprechendes Musterobjekt ist spezifiziert als Eigentumswohnung im Neubau, 115 qm mit durchschnittlichem Ausbaustandard und guter Mikrolage (gemäss FPRE).

Tabelle 9: Elastizitäten zu Bevölkerungs- und Preisentwicklung

ARE-Gemeindetypen	Preis auf Bevölkerung <i>Je höher das Preisniveau, umso niedriger die Bevölkerungsentwicklung.</i>	Bevölkerung auf Preis <i>Je höher die Bevölkerungsentwicklung, umso höher die Preisentwicklung.</i>
Grosszentren	-0.50	0.50
Nebenzentren der GZ	-0.10	0.50
Gürtel der GZ	-0.16	0.28
Mittelzentren	-0.12	0.68
Gürtel der MZ	-0.11	0.31
Kleinzentren	-0.19	0.50
Periurbane ländl. Gemeinden	-0.06	0.32
Agrargemeinden	-0.10	0.52
Touristische Gemeinden	-0.10	0.15

Quelle: TBB.

Beispielsweise führt die Zunahme der Bevölkerung in Verkehrszonen, die dem Gürtel der Grosszentren zugehören, von 10%, zu einem Preisanstieg von 2.8%. Gleichzeitig dämpft eine Preisentwicklung in diesem Gemeindetyp von z.B. 10% die Bevölkerungsentwicklung um 1.6%. Die Elastizitäten werden im TBB dazu genutzt, entsprechend der Bevölkerungszunahme ein verändertes Preisniveau zu berechnen, um dann ausgehend von diesem (in der Regel erhöhten) Preisniveau den „Dämpfungseffekt“ auf den Zuzug zu ermitteln.

Umverteilung der Bevölkerung

Ausgangspunkt für die Umverteilung des Bevölkerungswachstums bildet die Personenanzahl, die je Verkehrszone und gemäss der Elastizität zur Reaktion auf den Preisanstieg, nicht zuziehen würde. Es sei darauf hingewiesen, dass aufgrund des insgesamt hohen Bevölkerungswachstums bis 2040 fast alle Gemeinden wachsen, die Preise ansteigen und über die Elastizitäten fast jede Verkehrszone Personen „abgeben“ will. Dies ist nicht möglich, entsprechend ist die Frage der Umverteilung eher die, welche Verkehrszone nach welchen Kriterien wie viel des Bevölkerungswachstums aufnimmt.

Im TBB wird dazu neuerlich eine Bewertungsfunktion eingeführt. Diese folgt in der Umsetzung dem Prinzip: Je grösser (= wichtiger, mehr Einwohner) eine Verkehrszone und je „entspannter“ das Verhältnis Nachfrage/Angebot, umso höher der Anteil an Bevölkerung, den die Verkehrszone aufnimmt. Oder im Umkehrschluss: Je kleiner und je angespannter das Verhältnis („Ausnützung“), umso weniger Bevölkerung nimmt die Verkehrszone auf. Dieses Prinzip führt in der Konsequenz dazu, dass auch bereits sehr ausgelastete Verkehrszonen mit Blick auf das Verhältnis Nachfrage/Angebot Bevölkerung aufnehmen müssen – nur eben weniger, als im Vergleich zu ähnlich relevanten (= grossen) Verkehrszonen mit einer weniger hohen „Ausnützung“.

Zur Bestimmung von Grenzwerten des Verhältnisses Nachfrage/Angebot wurde eingangs dargestellt, dass eine obere Referenz das 75%-Perzentil des Verhältnisses des jeweiligen Gemeindetyps bildet. Wird nur dieses Kriterium angewendet, erfahren einzelne Gemeinden – insbesondere periphere Gemeinden mit hoher Bauzonenverfügbarkeit – ein sehr starkes Bevölkerungswachstum. In der Anwendung zeigte sich, dass dies zu mitunter wenig plausiblen Verteilungen führte, z.B. bei peripheren Gemeinden mit geringer „Ausnützung“ bzw. hoher Bauzonenverfügbarkeit. Für die Anwendung des Modells wurden die Grenzwerte entsprechend so eingestellt, dass eine mit Blick auf die retrospektive Entwicklung der räumlichen Bevölkerungsverteilung sowie unter Beachtung der mit dem Referenzszenario verbundenen Annahmen, plausible Verteilung entsteht. Die Bestimmung des Grenzwerts des Verhältnisses Nachfrage/Angebot je Verkehrszone erfolgt gemäss den nachstehenden, im Modell aufeinander aufbauenden Prämissen (P1 bis P4):

- P1: Ausgehend vom Verhältnis Nachfrage/Angebot für 2010 wächst die „Ausnützung“ bis 2040 prozentual gemäss des durchschnittlichen Bevölkerungswachstums des Kantons. Im eingangs genannten Beispiel weist die Gemeinde ein Verhältnis von 0.66 auf, liegt im Kanton Zürich und würde demnach als Grenzwert 0.86 erhalten ($0.66 + 0.66 \cdot 0.307$ – da der Kanton Zürich gemäss BFS-Bevölkerungsszenarien der Kantone zwischen 2010 und 2040 um 30.7% wächst).
- P2: Je nach ARE-Gemeindetyp erfolgt im Zuge der Modellkalibration für das Referenzszenario eine Anpassung der so ermittelten, temporären „Ausnützung“. Die Anpassungsfaktoren variieren zwischen 0.6 (Mittelzentren) und 3 (Gürtel der Mittelzentren). Im Beispiel (Kanton Zürich) wird das Verhältnis von 0.86 mit einem Anpassungsfaktor von 1.0 (Agrargemeinden) multipliziert und verbleibt damit auf einem Wert von 0.86 reduziert (siehe Tabelle 10).
- P3: Liegt das so berechnete Verhältnis oberhalb der Werte des 75%-Perzentils des Gemeindetyps, wird der Grenzwert auf den Wert des 75%-Perzentils gesetzt.
- P4: Liegt die „Ausnützung“ in 2010 bereits oberhalb des 75%-Perzentils, erfahren diese Verkehrszonen eine Erhöhung des erlaubten Verhältnisses um 5-15% (im Referenzszenario), aufsetzend auf dem Wert des Verhältnisses in 2010 (siehe Tabelle 10).

Die Grenzwerte wirken nicht hart, d.h. im Falle, dass das Bevölkerungswachstum zu einer Annäherung an den Grenzwert führt, wird die Verkehrszone schlechter bewertet. Es schliesst aber nicht aus, dass die Verkehrszone über den Grenzwert hinaus Bevölkerung aufnimmt, wenn dies im Vergleich zur „Ausnützung“ anderer Gemeinden und vor dem Hintergrund des vom BFS vorgegebenen (kantonalen) Bevölkerungswachstums nicht anders möglich ist. Die damit erfolgte

Einstellung des Modells diene zur Berechnung der Bevölkerungsverteilung im Referenzszenario. Für die Bewertung und Umverteilung werden folgende Schritte im TBB iterativ durchgeführt:

- Ermittlung einer (temporären) „Ausnützung“ in 2040 gemäss der 1. Bevölkerungsverteilung bzw. entsprechend des jeweils vorherigen Iterationsschritts,
- Berechnung des Bevölkerungswachstums und der Veränderung des Preisniveaus,
- Anwendung der Elastizitäten zur Ermittlung der Anzahl an Personen, die umverteilt werden (je Verkehrszone und pro Kanton),
- Berechnung, wie viel „freie Kapazität“ oder „Überlast“ die Verkehrszone (und der Kanton) ausweist, ermittelt aus dem Unterschied zwischen der (temporären) „Ausnützung“ in 2040 und dem definierten Grenzwert,
- Ermittlung der Abweichung (in %) vom Grenzwert und in welchem Bereich sich die (temporäre) „Ausnützung“ bewegt (Maximal – Minimal),
- Bewertung (1 bis 100 Punkte), entsprechend der (temporären) „Ausnützung“ im Vergleich der Verkehrszonen untereinander (innerhalb des Kantons),
- Gewichtung der Bewertung über die „Relevanz“ der Verkehrszone (= Grösse, umgesetzt als Bevölkerungsanteil innerhalb des Kantons),
- Ermittlung des Bewertungsanteils jeder Verkehrszone an der Bewertungssumme des Kantons und Neuberechnung (= Umverteilung).

Die Berechnungsschritte werden mehrfach wiederholt, bis keine bzw. nur noch sehr geringfügige Änderungen (d.h. Umverteilungen), festzustellen sind.

Ergebnisproduktion

Die Abläufe der Umverteilung werden per Schleife mehrmals durchlaufen. Dabei wird auf Grundlage der jeweils letzten Umverteilung a) die Anzahl Haushalte und b) die Flächennachfrage neu ermittelt, c) kann eine aktualisierte „Ausnützung“ berechnet werden, d) verändert sich das Preisniveau aufgrund des Bevölkerungswachstums, e) dämpft das Wachstum des Preisniveaus die Bevölkerungsentwicklung, f) wird die Verkehrszone mit Blick auf „Ausnützung“ und Relevanz bewertet, was g) zu einer neuen Bevölkerungsverteilung führt. Die Iterationen haben den Effekt, dass „enge“ Verkehrszonen sukzessive Bevölkerung an „entspannte“ Verkehrszonen abgeben.

Für die Modellierung mit dem NPVM sind neben der Bevölkerungsentwicklung weitere Strukturdaten bereitzustellen (Differenzierung nach Altersgruppen und Geschlecht, Erwerbstätige, etc.). Die Erstellung dieser Daten erfolgt nach Anwendung der oben beschriebenen

Schritte und ist damit der eigentlichen TBB-Anwendung nachgelagert. Die Strukturdaten werden wie folgt erstellt:

- **Anzahl effektiv Beschäftigte (= Arbeitsplätze im NPVM):** Übernahme der relativen Entwicklung von Vollzeitäquivalenten und effektiv Beschäftigten bis 2040 aus der Studie Ecoplan, 2016; aufsetzend auf 2010 erfolgt die Hochrechnung für die Jahre 2020, 2030 und 2040.
- **Bildung Altersgruppen nach Geschlecht:** Ermittlung der Änderungen in der Altersstruktur und Geschlechterverteilung nach 5 Altersgruppen bis 2040 (inkl. 2020, 2030) auf Basis der kantonalen Bevölkerungsszenarien des BFS; Anwendung auf die prognostizierte Bevölkerung gemäss TBB.
- **Anzahl Erwerbstätige:** Übernahme der Anteile Erwerbstätige an Einwohnern für die Altersklassen 15-24, 25-59 und 60-79 aus den TBB-Zahlen für 2010 und Anwendung auf die Einwohner nach Altersklassen in 2040.
- **Anzahl Plätze Ausbildung:** Ermittlung des Verhältnisses der Plätze Ausbildung in 2010 zu Arbeitsplätzen in 2010 und Hochrechnung in Anlehnung an die Anzahl Arbeitsplätze in 2040 gemäss Ecoplan, 2016.
- **Verkaufsraumflächenanzahl:** Ermittlung des Verhältnisses der Verkaufsraumflächenanzahl in 2010 zu den Arbeitsplätzen in 2010 und Hochrechnung in Anlehnung an die Anzahl Arbeitsplätze in 2040 gemäss Ecoplan, 2016.
- **Anzahl Freizeitbesucher:** Ermittlung des Verhältnisses der Freizeitbesucher in 2010 zu den Arbeitsplätzen und Einwohnern in 2010 (Gewichtung jeweils 50%) und Hochrechnung in Anlehnung an die Anzahl Arbeitsplätze in 2040 gemäss Ecoplan, 2016 und der TBB-Prognose zu den Einwohnern in 2040.
- **Haushalte:** Ermittlung der Haushalte über die Prognose der durchschnittlichen Haushaltsgrösse je Verkehrszone in Kombination mit der TBB-Prognose zu den Einwohnern in 2040.

Im Ergebnis kann eine Strukturdatentabelle wie eingangs dargestellt im TBB erzeugt und ins NPVM übertragen werden.

Berechnung der Zwischenjahre (2020, 2030)

Eine Modellierung der Zwischenjahre analog dem beschriebenen Vorgehen für 2040 wurde nicht durchgeführt. Umgesetzt wurde eine Erstellung der Strukturdaten für 2020 und 2030 in Anlehnung an vorliegende Eckwerte der Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung der Zwischenjahre. Aus den Daten und Ergebnissen des TBB lässt sich für 2010 und 2040 der Arbeitsplatzquotient (Arbeitsplätze pro Einwohner) auf Stufe Verkehrszone berechnen. Für die Zwischenjahre 2020 und 2030 liegt aus dem Projekt Ecoplan, 2016 die Anzahl Arbeitsplätze je Ver-

kehrszone vor. Über die Annahme eines sich zwischen 2010 und 2040 linear entwickelnden Arbeitsplatzquotienten wurde die Einwohnerzahl pro Verkehrszone für 2020 und 2030 bestimmt (inkl. der Anwendung einer Normierung über die Einwohnerzahlen, die pro Kanton gemäss BFS für die Zwischenjahre vorgegeben sind). Die nachfolgenden Schritte zur Produktion der weiteren Strukturdaten entsprechen den im vorherigen Abschnitt dargestellten Arbeitsschritten.

Umsetzung der Szenarien

Die „Brücke“ zwischen den qualitativen Beschreibungen der Szenarien der Raumentwicklung und den verkehrlich orientierten Analysen im Projektkontext bildet die durch das TBB zu erstellende Strukturdatentabelle. Folglich bestand die Aufgabe darin, unter Anwendung des TBB die beschriebenen Szenarien umzusetzen und in ihren Wirkungen zu quantifizieren.

Methodisch stellen die im TBB angelegten Parameter „Grenzwert der Ausnützung“ (P2, siehe oben) und die Erhöhung der „Ausnützung“ von bereits in 2010 stark ausgelasteten Gemeinden (P4, siehe oben) die Hebel zur Umsetzung der Szenarien dar. Es wurde ausgeführt, wie die Festlegung der Parameter je Verkehrszone im Rahmen der Einstellung des Modells für das Referenzszenario realisiert wurde. In den Alternativszenarien erfolgte dann die Anpassung (Erhöhung / Reduktion) der beiden Parameter mit Blick auf die mit den Szenarien verbundene Erwartung an die Raumentwicklung. Beispielsweise wurden die Prämissen bzw. Parameter (P2, P4) im Szenario Fokus für die Verkehrszonen in Grosszentren stark erhöht, um damit die postulierte Konzentration der Bevölkerung in Städten abzubilden. Im Kontrast dazu wurden im Szenario Sprawl die Parameter in den Gürteln erhöht (und in den Städten reduziert), um damit eine höhere Attraktivität und damit einen erhöhten Bevölkerungszuzug im suburbanen Umfeld zu simulieren. Gegensätzlich dazu sind die Einstellungen für das Szenario Balance vorgenommen worden (siehe nachstehende Tabelle 10). Für die Abbildung der Sensitivitäten Hoch/Tief wurden unverändert die Einstellungen des Referenzszenarios zu Grunde gelegt.

Tabelle 10: Einstellungen der Parameter des TBB zur Abbildung der Szenarien

P2: Festlegung des Verhältnisses Nachfrage/Angebot (Grenzwert) je Szenario				
	Referenz	Balance	Sprawl	Fokus
Grosszentren	0.80	1.28	0.28	3.36
Nebenzentren der Grosszentren	2.30	4.37	1.15	7.36
Gürtel der Grosszentren	1.50	1.05	3.00	3.00
Mittelzentren	0.60	0.78	0.27	0.42
Gürtel der Mittelzentren	3.00	1.80	6.30	0.90
Kleinzentren	2.50	4.00	1.38	0.75
Periurbane ländliche Gemeinden	1.00	1.00	2.00	0.00
Agrargemeinden	1.00	1.00	1.50	0.10
Touristische Gemeinden	2.00	2.00	3.40	0.40
P4: Erhöhung des Verhältnisses in %, wenn Ausnützung in 2010 bereits > als 75%-Perzentil des ARE-Gemeindetyps				
	Referenz	Balance	Sprawl	Fokus
Grosszentren	5	8	2	21
Nebenzentren der Grosszentren	15	29	8	48
Gürtel der Grosszentren	10	7	20	20
Mittelzentren	10	13	5	7
Gürtel der Mittelzentren	15	9	32	5
Kleinzentren	10	16	6	3
Periurbane ländliche Gemeinden	10	10	20	0
Agrargemeinden	5	5	8	1
Touristische Gemeinden	10	10	17	2

Quelle: TBB.

Die Umsetzung der Prämissen über die Parametereinstellungen stellt eine Vereinfachung der den Szenarien zu Grunde liegenden, vielfältigen politischen und gesellschaftlichen Prozesse dar. Eine Abbildung aller je Szenario unterschiedlichen juristischen und ökonomischen Rahmenbedingungen und Annahmen oder von Massnahmen mit Wirkung auf das (Wohnstandort-)Verhalten von Personen und Haushalten sind mit dem TBB nicht in entsprechender Detailtiefe möglich. Stellvertretend dazu werden die hier vorgestellten Prämissen bzw. deren Einstellung über die Parameter eingesetzt.

Ergebnisse und Datenverfügbarkeit

Die Einstellung der Grenzwerte zur Simulation von mit den Szenarien verbundenen Konzentrations- bzw. Dekonzentrations-effekten erfolgte jeweils pro Kanton und ARE-Gemeindetyp. Die Ergebnisse der Szenarien liegen für die Verkehrsmodellierung auf der Stufe von Verkehrszonen vor. Nachfolgende Tabelle 11 fasst die Ergebnisse nach ARE-Gemeindetypen und Szenarien/Sensitivitäten zusammen. Die anschliessenden Karten zeigen die Bevölkerungsentwicklung für alle Szenarien/Sensitivitäten auf Stufe von MS-Regionen.

Tabelle 11: Bevölkerungsverteilung nach Szenarien, Sensitivitäten und ARE-Gemeindetypen

ARE-Gemeindetyp	NPVM 2010	in %	Referenz 2040	in %	Sensitivität Hoch	in %	Sensitivität Tief	in %
Grosszentren	1'303'799	16.4	1'621'441	16.1	1'788'611	16.6	1'469'224	15.7
Nebenzentren der Grosszentren	853'311	10.7	1'062'814	10.6	1'119'673	10.4	1'008'910	10.8
Gürtel der Grosszentren	1'407'397	17.7	1'846'568	18.4	1'998'708	18.5	1'692'040	18.1
Mittelzentren	1'033'125	13.0	1'260'619	12.6	1'337'852	12.4	1'184'074	12.7
Gürtel der Mittelzentren	1'245'596	15.7	1'609'748	16.0	1'707'564	15.8	1'512'736	16.2
Kleinzentren	202'307	2.5	257'760	2.6	281'103	2.6	239'261	2.6
Periurbane ländliche Gemeinden	1'122'935	14.1	1'410'123	14.0	1'496'469	13.9	1'326'343	14.2
Agrargemeinden	574'253	7.2	730'369	7.3	786'050	7.3	678'444	7.3
Touristische Gemeinden	198'235	2.5	244'889	2.4	260'015	2.4	229'288	2.5
Summe	7'940'958		10'044'330		10'776'045		9'340'319	
ARE-Gemeindetyp	NPVM 2010	in %	SPRAWL	in %	BALANCE	in %	FOKUS	in %
Grosszentren	1'303'799	16.4	1'465'204	14.6	1'720'547	17.1	1'880'397	18.7
Nebenzentren der Grosszentren	853'311	10.7	1'012'033	10.1	1'108'261	11.0	1'127'603	11.2
Gürtel der Grosszentren	1'407'397	17.7	1'993'429	19.8	1'738'456	17.3	1'854'051	18.5
Mittelzentren	1'033'125	13.0	1'157'210	11.5	1'294'309	12.9	1'265'107	12.6
Gürtel der Mittelzentren	1'245'596	15.7	1'683'278	16.8	1'545'859	15.4	1'537'534	15.3
Kleinzentren	202'307	2.5	239'462	2.4	270'902	2.7	237'377	2.4
Periurbane ländliche Gemeinden	1'122'935	14.1	1'480'323	14.7	1'400'197	13.9	1'265'566	12.6
Agrargemeinden	574'253	7.2	760'777	7.6	722'933	7.2	644'704	6.4
Touristische Gemeinden	198'235	2.5	252'612	2.5	242'866	2.4	231'990	2.3
Summe	7'940'958		10'044'330		10'044'330		10'044'330	

Quelle: TBB.

Abbildung 4: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Referenz, MS-Regionen

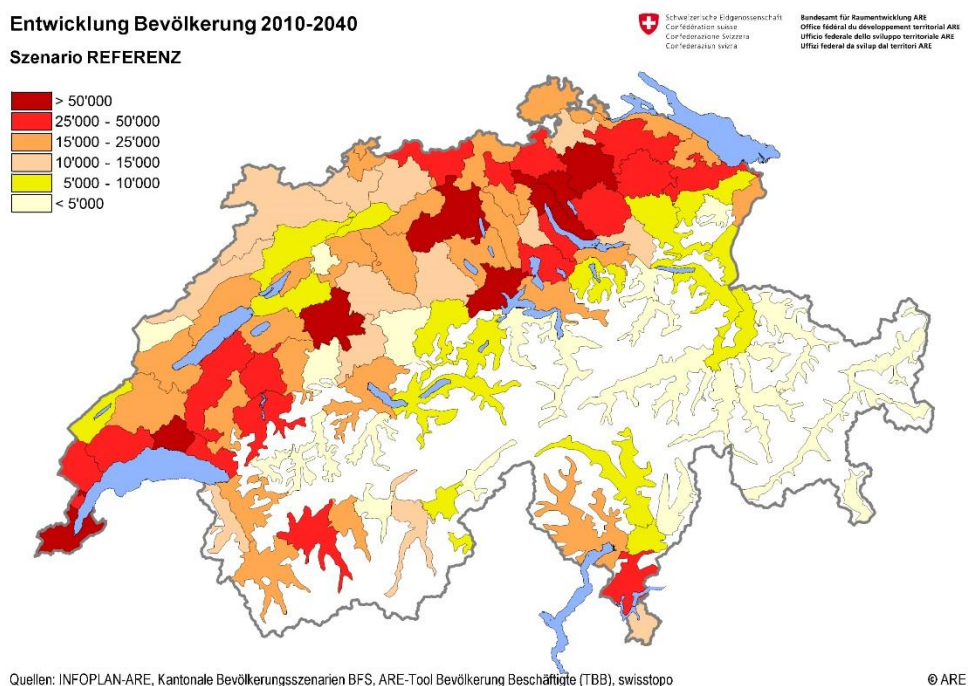


Abbildung 5: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Balance, MS-Regionen

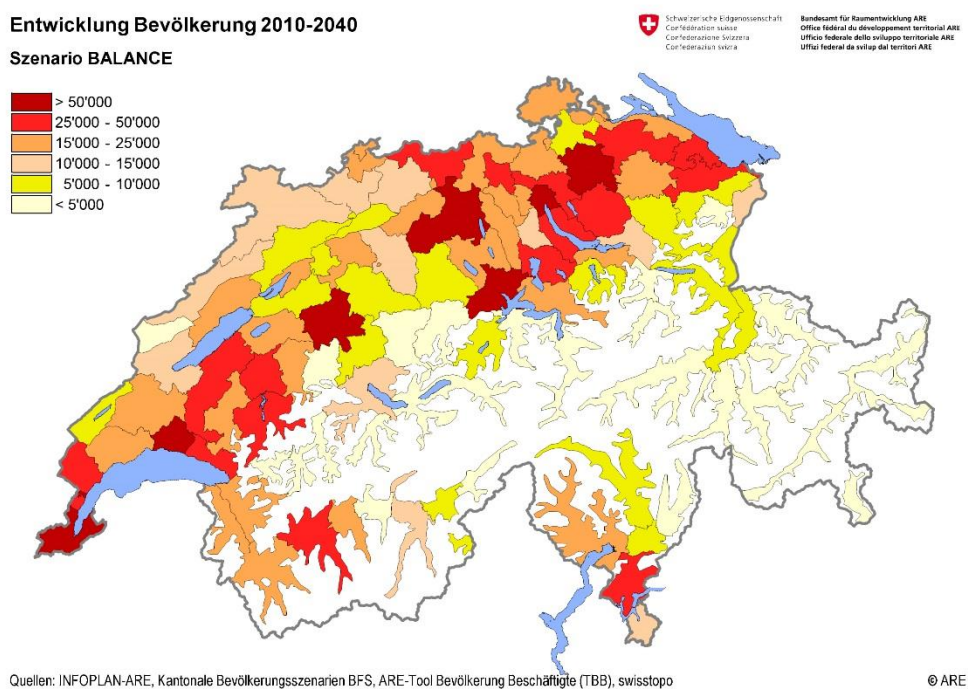
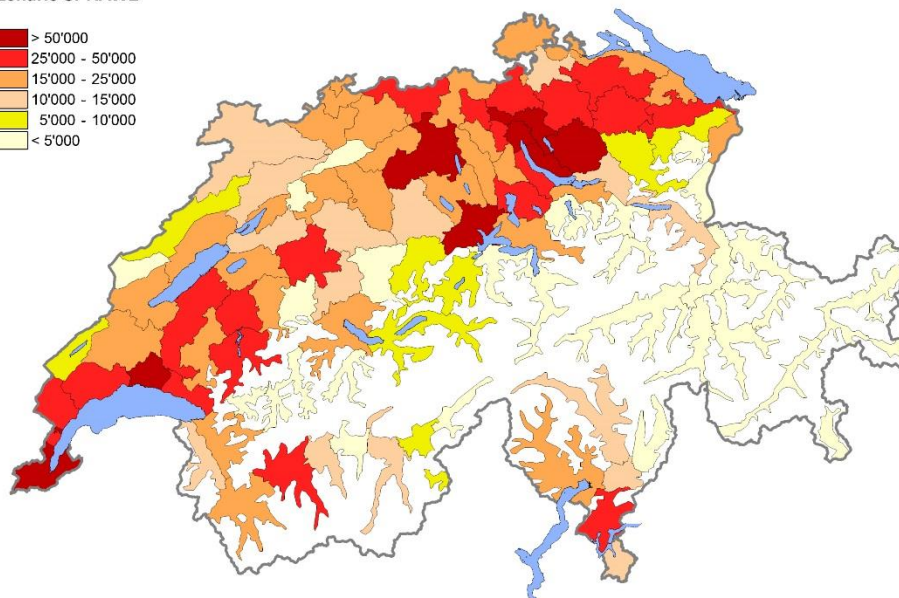
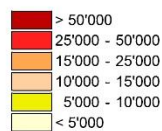


Abbildung 6: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Sprawl, MS-Regionen

Entwicklung Bevölkerung 2010-2040

Szenario SPRAWL



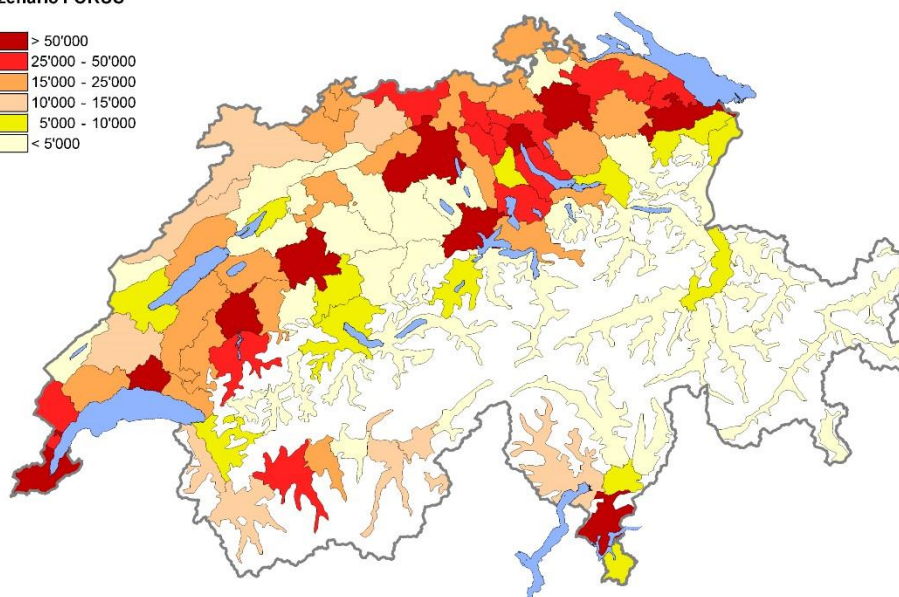
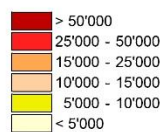
Quellen: INFOPLAN-ARE, Kantonale Bevölkerungsszenarien BFS, ARE-Tool Bevölkerung Beschäftigte (TBB), swisstopo

© ARE

Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Fokus, MS-Regionen

Entwicklung Bevölkerung 2010-2040

Szenario FOKUS



Quellen: INFOPLAN-ARE, Kantonale Bevölkerungsszenarien BFS, ARE-Tool Bevölkerung Beschäftigte (TBB), swisstopo

© ARE

Abbildung 8: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Sensitivität hoch, MS-Regionen

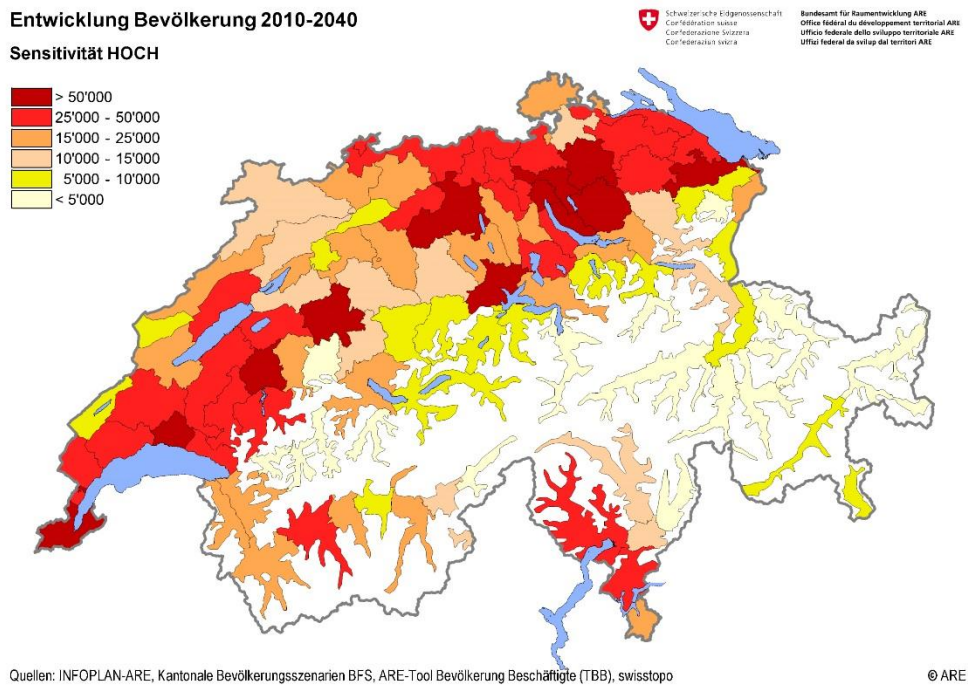
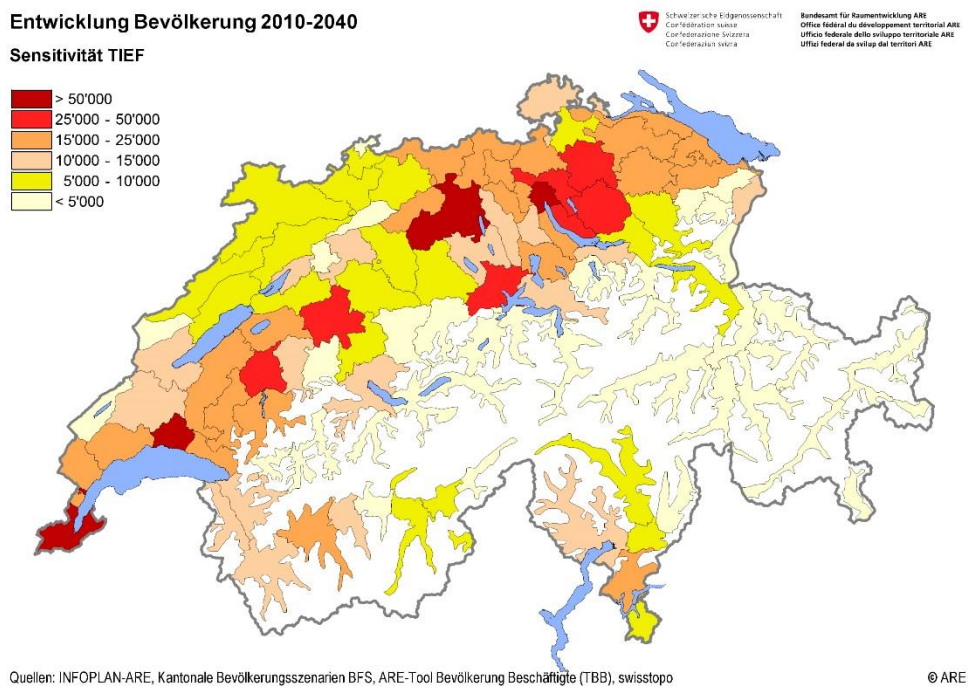


Abbildung 9: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Sensitivität tief, MS-Regionen



3.3. Mobilitätswerkzeuge

3.3.1. Inputdaten NPVM

Die folgenden Mobilitätswerkzeuge werden im NPVM für jede Verkehrszone separat ausgewiesen:

- PW-Besitz je Einwohner je Zone
- GA-Besitz je Einwohner je Zone
- Halbtax-Besitz je Einwohner je Zone

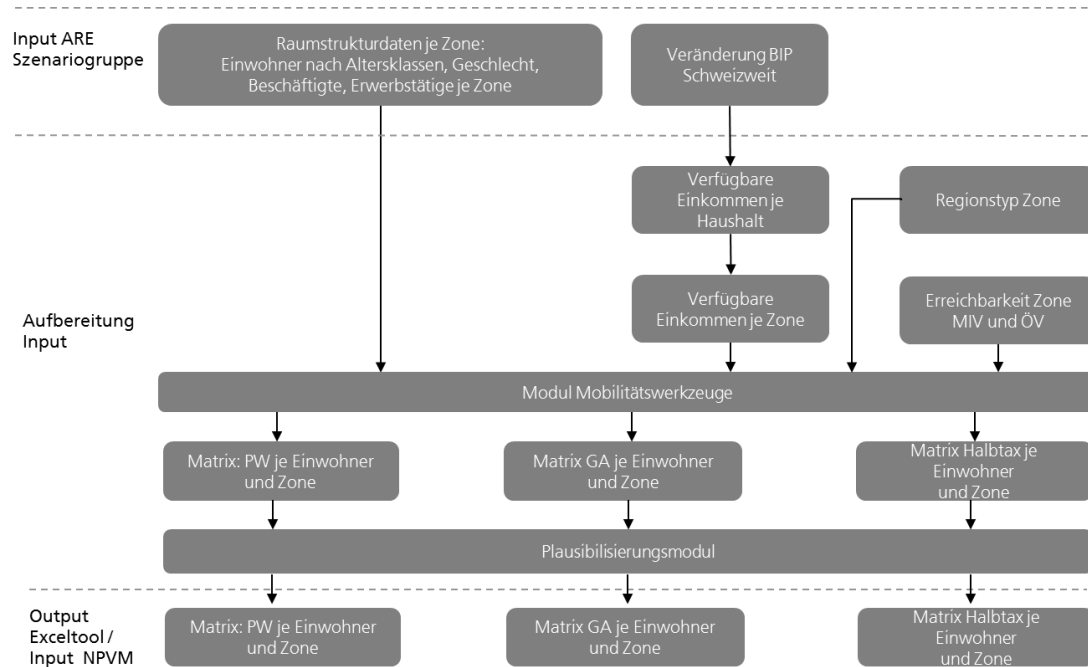
Die entsprechenden Angaben sind im NPVM 2010 als Matrizen enthalten und sind damit Grundlage der Arbeiten. Ferner stellte das ARE GA- und Halbtax-Daten auf Zonenebene und im Zeitablauf zur Verfügung. Diese Daten konnten eingelesen werden und wurden für die retrospektive Betrachtung verwendet.

Abonnemente von Verkehrsverbünden (z.B. Z-Pass, A-Welle) und weitere Streckenabonnemente werden im NPVM nicht berücksichtigt. Weitere Differenzierungen des Besitzes von Mobilitätswerkzeugen z.B. nach Altersgruppen oder Einkommen sind nicht vorgesehen. Für die Personenwagen gibt es keine Differenzierungen nach Fahrzeugkategorien.

3.3.2. Einflussparameter auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen

Die Berechnung der Mobilitätswerkzeuge für das Referenzszenario und für die Alternativszenarien erfolgt im Rahmen einer eigenständigen **Teilmodellierung** mit anschließender Plausibilisierung. Die Teilmodellierung beruht auf den Arbeiten von Axhausen et al. (2004) sowie der Aktualisierung der Modellparameter durch Kowald et al. (2016). Die folgende Abbildung zeigt das methodische Vorgehen.

Abbildung 10: Vorgehen zur Modellierung der Mobilitätswerkzeuge



Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Teilmodellierung Mobilitätswerkzeuge sind im Excel-Tool die drei folgenden Modellierungsschritte implementiert:

- Prognose der Einkommensentwicklung je Zone,
- Modellierung Mobilitätswerkzeuge zur Berechnung der Mobilitätswerkzeugraten je Zone,
- Plausibilisierungsmodul für die Berücksichtigung von qualitativen Überlegungen, die im Modul zur Berechnung der Mobilitätswerkzeugraten je Zone nicht berücksichtigt werden konnten.

Die Herkunft der Eingangsdaten für die Modellierung Mobilitätswerkzeuge ist in der nachfolgenden Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Herkunft der Eingangsdaten für die Modellierung der Mobilitätswerkzeuge

Variable Modell	Quelle
Einwohner je Gemeinde nach Altersgruppen	Raumstrukturdaten gemäss Kap. 3.2
Anzahl Beschäftigte	Raumstrukturdaten gemäss Kap. 3.2
Anzahl Einwohner des Wohnorts	Raumstrukturdaten gemäss Kap. 3.2
Durchschnittliches Einkommen je Personengruppe	Prognose der Einkommensentwicklung auf Basis der Statistik der direkten Bundessteuern der Eidgenössischen Steuerverwaltung ESTV, der Haushaltsbudgetbefragung 2009-2011 (HABE) und den BIP-Prognosen des SECO
Anzahl Erwerbstätige je Personengruppe	Hochrechnung der Verteilung aus dem MZMV 2010
Grosszentrum Ja/Nein	Grosszentrum entsprechend Raumstruktur BFS*
Region	Grossregionen der Schweiz
Fahrzeiten MIV	Aufbereitung Kennzahlenmatrix für das Referenzszenario
Fahrzeiten ÖV	Aufbereitung Kennzahlenmatrix für das Referenzszenario

* Raumstruktur BFS:

- 1 Agglomerationskerngemeinde
- 2 Übrige Gemeinde der Agglomerationskernzone
- 3 Übrige Agglomerationsgemeinde
- 4 Isolierte Stadt
- 5 Periurbane ländliche Gemeinde
- 6 Alpine Tourismuszentren ausserhalb der Agglomerationen
- 7 Periphere ländliche Gemeinde

Die Berechnung der Mobilitätswerkzeuge erfolgt differenziert nach 16 Personengruppen (gekennzeichnet durch Alter, Geschlecht und Erwerbstätigkeit) und Zonen im NPVM. Die Anzahl Personen nach Altersgruppe und Geschlecht stammen aus den Prognosen der Raumstrukturdaten. Zur Ermittlung der Anzahl erwerbstätiger und nicht erwerbstätiger Personen wurde der MZMV 2010 nach Altersgruppe, Geschlecht und Grossregion ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zu sehen. Bei der Anwendung dieser Anteile auf die Zonen des NPVM wird sichergestellt, dass die Summe der Erwerbstätigen einer Zone der Anzahl Erwerbstätigen aus der Bevölkerungsprognose entspricht.

Tabelle 13: Anteil Erwerbstätige nach Alter, Geschlecht und Grossregion

Alter	Geschlecht	Ost-schweiz	Nord-schweiz	Zentral-schweiz	Zentrales Mittelland	Genferseeregion	Tessin
15 - 24 J.	Männlich	49%	65%	66%	71%	71%	52%
15 - 24 J.	Weiblich	50%	61%	66%	71%	66%	40%
35 - 59 J.	Männlich	90%	94%	92%	93%	95%	87%
35 - 59 J.	Weiblich	77%	81%	81%	79%	82%	70%
60 - 79 J.	Männlich	33%	36%	33%	36%	41%	28%
60 - 79 J.	Weiblich	17%	23%	21%	23%	19%	15%
> 80 J.	Männlich	5%	5%	5%	7%	4%	2%
> 80 J.	Weiblich	1%	1%	3%	2%	1%	2%

Quelle: Berechnungen auf Basis MZMV 2010.

Die verkehrliche Erschliessung der Zonen wird über die Reisezeiten zum nächsten Zentrum im MIV und ÖV berücksichtigt. Diese wurden auf Basis der Kenngrössenmatrizen in den Prognose-netzen erstellt, die bereits zur Ermittlung der Bevölkerungsszenarien verwendet werden.

Zur Ermittlung der räumlichen Attribute wurde vom ARE die Klassifizierung der Zonen des NPVMs nach den Raumstrukturklassen des BFS und Grossregionen der Schweiz zur Verfügung gestellt. Auf ersterer basiert auch die Klassifizierung der Grosszentren.

3.3.3. Prognose der Einkommensentwicklung je Zone

Verfügbares Einkommen je Zone 2010

Aus der Statistik der direkten Bundessteuern für natürliche Personen nach Gemeinden für 2010 der Eidgenössischen Steuerverwaltung ESTV liegen je Zone die steuerbaren Einkommen je Gemeinde vor. Darauf aufbauend werden die Reineinkommen für Erwerbstätige und Rentner ermittelt und die Alterssegmente des Prognosemodells proportional zum Bevölkerungsanteil je Gemeinde aufgeteilt.

Da die Zonen des NPVMs dem Gemeindestand 2000 entsprechen, werden die Reineinkommen für Gemeinden, welche nicht im Einkommensdatensatz 2010 enthalten sind, mit einem alternativen Vorgehen abgeschätzt. Grundlage dafür ist die Statistik der direkten Bundessteuern für natürliche Personen nach Gemeinden für 2001 (bzw. 2003 für die Kantone VD, VS, TI in denen keine früheren Daten verfügbar sind) der Eidgenössischen Steuerverwaltung ESTV sowie der kantonalen Wachstumsraten der Einkommen 2000 bis 2010. Auf dieser Basis werden die kommunalen Reineinkommen für die Erwerbsbevölkerung/Rentner für 2010 geschätzt.

Die Differenzierung der Einkommen nach Altersgruppen erfolgt gemäss Haushaltsbudgetbefragung 2009-2011 (HABE). Zunächst wird die Abweichung vom Durchschnittseinkommen nach den Alterssegmenten der HABE ermittelt und dann diese Abweichungen auf die Alterssegmente im Prognosemodell übertragen.

Verfügbares Einkommen je Zone 2040

Das verfügbare Einkommen für die Prognosejahre 2020, 2030 und 2040 je Zone wird auf Basis der prozentualen Entwicklung aus dem Verhältnis von Bruttowertschöpfung / Anzahl Vollzeit-äquivalente zwischen 2010 und 2040 (vgl. Ecoplan 2016) ermittelt.

3.3.4. Modell Mobilitätswerkzeuge

Zur Berechnung der Mobilitätswerkzeuge für das Referenzszenario sowie für die alternativen Szenarien wird ein mehrstufiges Verfahren angewandt, welches im Grundsatz auf Arbeiten von Axhausen et al. (2004) aufsetzt. Dabei wird zuerst der Führerausweisbesitz modelliert. In der nachfolgenden Modellierung des PW-Besitzes kann dann der Führerausweisbesitz berücksichtigt

werden und bei der Modellierung des Halbtax- und GA-Besitzes der Führerausweis- und PW-Besitz. Die Modellparameter werden dabei Kowald et al. (2016) entnommen, die unter Verwendung des MZ Verkehr 2010 die Parameterschätzungen aktualisiert haben. Die folgende Tabelle 14 fasst diese Parameter zusammen. Dabei ist zu beachten, dass es sich um die Parameter eines Logit-Modells handelt. Für eine Interpretation der Parameterwerte sind die Dimensionen der Variablen und allfällige Nichtlinearitäten und Instabilitäten über die Zeit zu beachten, wie in den Arbeiten von Axhausen et al. (2004) und Kowald et al. (2016) ausgeführt ist.

Tabelle 14: Parameter Logit-Modell Mobilitätswerkzeuge

Einflussgrösse	Führerausweis	PW	GA	Halbtax
Alter	0.22019	0.17037	-0.06249	0.02950
Alter * Alter	-0.00222	-0.00169	0.00056	-0.00015
Männlich	-0.22838	-0.45165	--	-0.36215
Alter * Männlich	0.02470	0.02326	0.00502	--
Erwerbstätigkeit	0.72622	0.41251	0.10228	0.07647
Monatliches HH Einkommen / 1000 [CHF]	0.03030	-0.00337	0.07936	0.07342
Log. Monatliches. HH EK	0.62149	0.81607	--	0.00676
Bevölkerung Wohngemeinde /1000 [EW]	0.00070	-0.00056	--	--
Log. Bevölkerung Wohngemeinde	-0.24241	-0.32774	0.00279	0.03823
Grosszentrum	0.12545	0.44878	0.21104	0.08206
G1 (Ostschweiz)	-0.08262	-0.29041	1.08576	0.90774
G2 (Nordschweiz)	-0.19851	-0.43532	1.01878	1.18783
G3 (Zentralschweiz)	0.02402	-0.18157	1.04039	1.22224
G4 (Zentrales Mittelland)	-0.10703	-0.38059	1.44108	0.96186
G5 (Genferseeregion)	-0.15477	-0.23025	0.73659	0.44161
G6 (Tessin) als Referenzkategorie	--	--	--	--
V1 (Agglomerationskerne) als Referenzkategorie	--	--	--	--
V2 (Gemeinden in Kernzone einer Agglomeration)	--	--	--	-0.23108
V3 (Agglomerationsgemeinden)	--	--	--	-0.07917
V4 (Isolierte Gemeinden)	--	--	--	-0.05867
V5 (Periurbane Gemeinden)	--	--	--	-0.26331
V6 (Alpine Touristische Gemeinden)	--	--	--	0.11618
Reisezeit zum Mittelzentrum im ÖV [min]	0.00395	0.00250	0.01533	-0.00765
Reisezeit zum Mittelzentrum im MIV [min]	0.00406	-0.03665	0.06015	0.00975
Reisezeit ÖV * Reisezeit MIV	-0.00022	--	-0.00039	-0.00004
Log. Reisezeit ÖV	--	-0.05433	--	0.01552
Log Reisezeit MIV	--	0.45024	--	0.06475
Führerausweisbesitz	--	--	0.39024	0.36932
Personenwagenbesitz	--	--	-1.48007	-0.44851
Konstante	-7.16273	-7.43151	-2.05208	-3.26336

Quelle: Kowald et al. 2016.

Da die Modellparameter auf einer spezifischen Datenbasis (MZMV 2010) geschätzt wurden, führt das von Kowald et al. 2016 ermittelte Modell bzw. dessen Anwendung auf den Datensatz für 2010 (Strukturdaten auf Stufe NPVM-Zonen) mitunter zu Abweichungen. Konkret ergaben sich zu niedrige PW- und zu hohe ÖV-Abonnementsbestände in Abgleich mit den real beobachteten Beständen in 2010. Aus diesem Grund wurden die Konstanten auf Grundlage des Basiszustands 2010, für den die tatsächlichen Mobilitätswerkzeugraten je Zone vorliegen, neu kalibriert.

Analog zur Schätzung der eigentlichen Modelle erfolgte die Kalibration sukzessiv für Führerausweis-, PW-, GA- und Halbtax-Besitz. Zudem wurden separate Konstanten für die 9 Gemeindetypen des ARE ermittelt. So kann der unterschiedlichen Besitzstrukturen, insbesondere beim PW- und GA-Besitz, Rechnung getragen werden. Die Ergebnisse der Kalibration sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Kalibrierte Konstanten Logit-Modell Mobilitätswerkzeuge

Gemeindetyp	Führerausweis	PW	GA	Halbtax
Grosszentren	-5.130	-6.034	-2.865	-2.245
Nebenzentren der Grosszentren	-5.020	-5.035	-2.743	-2.746
Gürtel der Grosszentren	-5.160	-4.890	-2.705	-2.846
Mittelzentren	-4.950	-4.977	-2.892	-2.061
Gürtel der Mittelzentren	-5.170	-4.940	-2.839	-2.566
Kleinzentren	-5.010	-4.633	-2.860	-3.203
Periurbane ländliche Gemeinde	-5.240	-4.777	-2.830	-3.029
Agrargemeinden	-5.285	-4.825	-2.903	-3.357
Touristische Gemeinden	-5.095	-4.920	-2.687	-3.989

Quelle: Teilmodellierung Mobilitätswerkzeuge.

Mit der Kalibration konnten die Randsummen (d.h. Anzahl Mobilitätswerkzeuge je ARE-Gemeindetyp) der im NPVM hinterlegten Mobilitätswerkzeuge sehr gut getroffen werden. Auf Ebene der einzelnen Gemeinden gibt es jedoch Unterschiede, die nicht mit dem Modell reproduziert werden können. Dem wird in dem zweistufigen Vorgehen bei der nachfolgenden Prognoseanwendung Rechnung getragen.

In der ersten Stufe werden die Besitzraten für den Prognosezustand mit dem Pivot-Point Ansatz ermittelt. Aus den modellierten Besitzraten für den Basis-Zustand und für den Prognose-Zustand wird eine Wachstumsrate je Zone ermittelt. Diese Wachstumsrate wird in der zweiten Stufe auf die im NPVM für den Basiszustand real gegebenen Mobilitätswerkzeuge je Zone angewandt.

3.3.5. Modul Plausibilitätsprüfung

Bevor die erzeugten Matrizen ins NPVM integriert werden, erfolgt eine Plausibilisierung der erzeugten Besitzraten PW/EW, GA/EW und HTA/EW im schweizweiten Vergleich und nach Raumstrukturkategorien. Die so ermittelten Resultate wurden mit Prognosen des Motorisierungsgrades für andere wohlhabende Staaten verglichen. Zudem wurde berücksichtigt inwiefern die erzielten Resultate mit den Szenarioannahmen übereinstimmen. Dies erfolgte vor allem hinsichtlich der folgenden Punkte:

- Einbezug von Annahmen zum Mobilitätsverhalten, wie vermehrte Bedeutung von Car Sharing oder zur etwaigen veränderten Einstellung von Jugendlichen zum Personenwagen.
- Aufgrund fehlender empirischer Grundlagen gehen in das Modell für die Mobilitätswerkzeuge keine Preisänderungen für PW, GA oder HTA oder für die variablen Kosten ein. Sieht ein Szenario entsprechende Preiserhöhungen (z.B. des KM-Kostensatzes ÖV/MIV) vor, ist zu prüfen, ob der Besitz von Mobilitätswerkzeugen zu reduzieren ist.⁷

Im Rahmen dieser Plausibilitätsprüfung wurde festgestellt, dass das Modell vor dem Hintergrund der Annahmen für das Referenzszenario die – in Abgleich mit Entwicklungen im Ausland sowie gemäss der Einschätzung des Projektteams – erwarteten Besitzraten für PW und GA eher unterschätzt, jedoch die Verteilung nach Raumstrukturtypen gut abbildet. Daher wurden im Referenzfall die durchschnittlichen Besitzraten für PW und GA nach der eigentlichen Modellierung mit einem pauschalen schweizweiten Faktor korrigiert, d.h. leicht angehoben. In einzelnen Alternativszenarien erfolgte analog zunächst die Modellierung der Besitzraten unter Berücksichtigung der je Szenario unterschiedlichen Strukturdaten und unter Anwendung der Parameter gemäss Kowald et al., 2016. Nachträglich und vor dem Hintergrund der getroffenen Annahmen über die Entwicklung der Mobilitätswerkzeuge erfolgte eine manuelle Anpassung der (modellierten) Besitzraten. Die Annahmen zum Mobilitätswerkzeugbesitz sind im Anhang dokumentiert.

⁷ Dabei sind verschiedene Ausweichmechanismen mit zu beachten: Wird zum Beispiel ein Anstieg der Preise für PW angenommen, so sind mögliche Reaktionsweisen, dass die PW-Besitzer ihre Fahrzeuge länger fahren (und mehr reparieren und pflegen) oder bei einer Ersatzbeschaffung billigere, z.B. kleinere oder leichtere, Fahrzeuge kaufen. Die Motorisierungsrate kann bei solchen Ausweichreaktionen somit auch konstant bleiben, wenn nur moderate Preissteigerungen berücksichtigt werden. Analoge Ausweichreaktionen bestehen im ÖV eher nicht (allenfalls Umstieg auf Abonnemente der Verkehrsverbünde).

3.4. Mobilitätskenngrössen

3.4.1. Inputdaten NPVM

Im Rahmen der Aktualisierung des Verkehrsangebotes zur Erstellung des neuen Referenzszenarios änderten sich auch die zeitbasierten Kenngrössenmatrizen für die jeweiligen Verkehrsmittel. Tabelle 16 gibt eine Übersicht über die im NPVM verwendeten Kenngrössen je Verkehrsmittel.

Tabelle 16: Mobilitätskenngrössen (Reisezeiten)

Verkehrsmittel	Kenngrösse
MIV	Reisezeit
ÖV	Fahrtzeit
	Zugangszeit
	Intervall
	Umsteigehäufigkeit
	Abgangszeit
LV	Reisezeit

Quelle: NPVM

3.4.2. Einflussparameter auf die Mobilitätskenngrössen

Die Entwicklung der Mobilitätskenngrössen ist von folgenden Punkten abhängig:

- MIV:
 - Ausbauen Strassennetz: Die Veränderungen im Netz (neue Strecken und Anzahl Fahrstreifen) wurden erfasst und im Netzmodell des NPVM integriert.
 - Kapazität der Strasse: Die Kapazität der Strassen kann aufgrund von ITS Massnahmen oder Annahmen zur Wirkung automatisierter Fahrzeuge gegenüber dem Zustand 2010 geändert bzw. gesteigert werden.
 - Auslastung: Nachfrage bzw. Belastung im Verhältnis zur Kapazität Strassennetz.
- ÖV (Schiene und Strasse):
 - Fahrzeit, Intervall und Umsteigehäufigkeit ergeben sich aus dem zugrunde gelegten Fahrplan für das betrachtete Jahr.
 - Umsteigezeiten zwischen Nah- und Regional-/Fernverkehr.
- LV: Die Reisezeiten im Langsamverkehr sind abhängig von den infrastrukturellen Voraussetzungen (z.B. Velobahnen), der Verkehrsregelung in den Städten (z.B. Bevorzugung von Velo und Fussgänger an Lichtsignalanlagen) und der Verbreitung neuer Mobilitätstypen (z.B. Scooter, Elektrovelos). Entsprechende Massnahmen zur Veloförderung und zur Verbreitung von Elektrovelos bzw. deren Wirkung im Sinne sinkender Reisezeiten können direkt in der Matrix erfasst werden.

3.4.3. Verkehrsangebot Strasse

Das Angebot auf der Strasse ist abhängig vom Netzausbau (Strassen, Anzahl Spuren) und der Leistungsfähigkeit der Strassen. Das in den Verkehrsperspektiven hinterlegte Angebot Strasse 2040 umfasst das heutige Strassennetz (gemäss NPVM Basiszustand 2010 inkl. der Änderungen bis 2016) sowie die im Rahmen des Ersten und Zweiten Programms Engpassbeseitigung auf dem Nationalstrassennetz (PEB) beschlossenen Module 1 bis 3 (ohne die Netzergänzungen Glatthalautobahn und Umfahrung Morges). Zusätzlich wird die Netzfertigstellung berücksichtigt. Für den Zustand 2040 handelt es sich um folgende Projekte:

Modul 1

- 6-Spur-Ausbau Genève Aéroport – Le Vengeron
- Goulet d'étranglement de Crissier, Phase 1
- 6-Spur-Ausbau Luterbach – Härkingen
- 6-Spur-Ausbau Härkingen – Wiggertal
- 6-Spur-Ausbau Nordumfahrung Zürich
- 4-Spur-Ausbau Winterthur Nord – Andelfingen
- 6-Spur-Ausbau Blegi – Rütihof

Modul 2

- 6-Spur-Ausbau Perly – Bernex
- 6-Spur-Ausbau Bernex – Genève Aéroport
- 6-Spur-Ausbau Le Vengeron – Coppet
- Goulet d'étranglement de Crissier, Phase 2
- 8-Spur-Ausbau Wankdorf – Anschluss Schönbühl (ohne Grauholz)
- Ausbau Zürich Nord – Flughafen
- 6/8-Spur-Ausbau Umfahrung Winterthur
- STOT, Schwarzwaldtunnel – Hagnau („alte“ Variante)
- 3. Röhre Rosenbergstunnel

Modul 3

- 6-Spur-Ausbau Coppet - Nyon
- 6-Spur-Ausbau Villars-Ste-Croix - Cossonay
- 6-Spur-Ausbau Schönbühl – Kirchberg
- 6-Spur-Ausbau + Neubau Bypass Wankdorf – Muri
- 6-Spur-Ausbau Aarau Ost – Birrfeld
- 8-Spur-Ausbau Wettingen – Dietikon

- 6-/8-Spurausbau Westumfahrung Zürich
- 8-Spur-Ausbau Hagnau – Liestal
- 6-Spur-Ausbau Rütihof – Buchrain
- 6-Spur-Ausbau Buchrain – Rotsee ("Erweiterung Nord")
- Neubau Bypass Bypass Luzern inkl. Ergänzung Süd
- 4-Spur-Ausbau 2. Röhre Fäsenstaubtunnel Schaffhausen
- 6-Spur-Ausbau Lugano Sud – Mendrisio

Netzfertigstellung

- A8 Umfahrung Lungern
- A16 Loveresse – Tavannes
- A5 Umfahrung Serrières
- A16 Moutier Sud – Court
- A16 Bure – Porrentruy Ouest
- A5 BE Umfahrung Biel Westast
- A4 Neue Axenstrasse
- A2 BS (Bahnhof SBB – Gellertdreieck)
- A4 ZH (Knonau, Umfahrung Ottenbach /Obfelden)
- A5 NE (Serrières)
- A9 VS (Umfahrung Visp, Pfynwald, Riedberg)
- A16 BE/JU
- A28 GR (Umfahrung Küblis)

Für die Modellierung der Zwischenjahre 2020 und 2030 wurden jeweils nur die bis zu diesem Zeitpunkt geplant fertiggestellten Projekte berücksichtigt. Die Kapazität der Strassen hängt zudem von den zukünftigen Möglichkeiten zum Verkehrsmanagement und dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien ab. Ferner werden bis 2040 in den Alternativszenarien (nicht im Referenzszenario) auch Wirkungen auf die Kapazitäten durch automatisierte Fahrzeuge angenommen. Zur Abbildung dieser Effekte wurden im Rahmen der Szenariendefinition Annahmen zur Entwicklung der Kapazität auf dem Hochleistungsnetz getroffen (siehe Kapitel 8). Im Rahmen des Excel-Tools wurden diese Annahmen mittels eines Faktors auf die Kapazität im Strassennetz umgesetzt. Zusätzlich wurde angenommen, dass besonders überlastete Autobahnanschlüsse gezielt ausgebaut werden. Dabei wurde die Kapazität auf ausgewählten Anschlüssen mit nur einem Fahrstreifen verdoppelt.

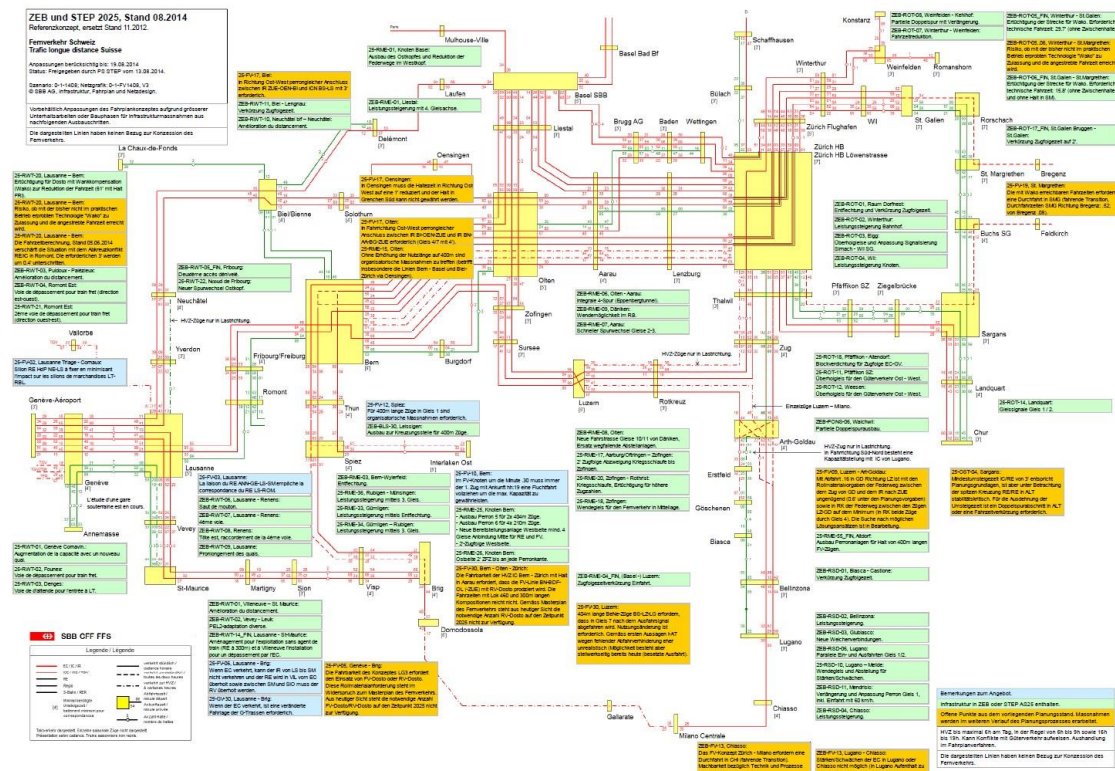
3.4.4. Verkehrsangebot Schiene

Zur Abbildung des Ausbaus des Schienennetzes wurden die folgenden beschlossenen Bahninfrastrukturmassnahmen umgesetzt:

- NEAT,
- Anschluss der Ost- und Westschweiz ans Eisenbahn-Hochleistungsnetz (HGV-A),
- Zukünftige Bahnentwicklung,
- STEP Ausbauschritt 2025,
- Ausbau 4-Meter Korridor auf den NEAT-Zulaufstrecken,
- Leistungsvereinbarung 2013-2016,
- Agglomerationsprogramme bis und mit 2. Generation A-Massnahmen.

Diese Ausbauten ermöglichen für den Personenverkehr die Realisierung des Fahrplans „Referenzkonzept 2025 08/14“, welcher im NPVM hinterlegt wurde.

Abbildung 11: Referenzkonzept 2025 08/14



Quelle: BAV 2014.

Da im Referenzkonzept 2025 08/14 keine Angebote des strassengebundenen ÖV oder des öffentlichen Nahverkehrs enthalten sind, wurden diese Angebote aus dem NPVM 2010 übernommen.⁸ Durch die Anpassung der Abfahrtszeiten im Fahrplan kann es durch diese Vereinfachungen jedoch zu unrealistischen Verlängerungen der Umsteigezeiten zwischen dem neuen Angebot auf der Schiene und dem alten Angebot auf der Strasse kommen. Aus diesem Grund wurden die Umsteigezeiten nicht auf Basis des Fahrplans berechnet, sondern aus dem NPVM 2010 übernommen und für die zukünftigen Zeitzustände unverändert belassen.

3.4.5. Verkehrsangebot Langsamverkehr

Da der Langsamverkehr im NPVM nicht in einem eigenen Netzmodell abgebildet wird, wird die LV Reisezeitmatrix aus dem MIV-Modell (Distanzen multipliziert mit einer mittleren Geschwindigkeit) abgeleitet und gemäss den Annahmen der jeweiligen Szenarien über Zu- und Abschlagsfaktoren angepasst.

⁸ Das in den Verkehrsperspektiven angewendete NPVM bildet den öffentlichen Nahverkehr nicht in gleicher Detailtiefe ab, wie den schienenengebundenen Regional- und Fernverkehr. Der Nahverkehr bzw. die über ihn erbrachte Verkehrsleistung wird über die Verwendung von Anbindungen im Modell approximativ abgebildet bzw. ermittelt.

3.5. Mobilitätskosten

3.5.1. Inputdaten NPVM

Für die Berechnung des Modal-Splits und für die Zielwahl berücksichtigt das NPVM Kosten im MIV und im ÖV in der Einheit Franken je Personenkilometer. Für MIV und ÖV sind im Basiszustand 2010 die Kosten wie in den folgenden beiden Abbildungen ausschnittsweise gezeigt im Modell hinterlegt. Die Kosten im MIV betragen einheitlich 0.16 CHF / Personenkilometer⁹, mit Ausnahme der Hauptdiagonalen. Die Kosten im ÖV betragen einheitlich 0.20 CHF / Personenkilometer¹⁰, mit Ausnahme der Hauptdiagonalen. Für den Referenzfall und die Alternativszenarien sind die Mobilitätskosten im Jahr 2040 zu ermitteln.

Abbildung 12: MIV-Kostensätze in CHF/Personenkilometer im NPVM, (Auszug)

114 x 3114			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Name															
	Sum		471.92	471.98	471.94	471.94	471.99	471.93	471.96	471.95	471.95	471.94	471.98	471.95	471.92	471.93
1		471.92	0.08	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
2		471.98	0.16	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
3		471.94	0.16	0.16	0.09	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
4		471.94	0.16	0.16	0.16	0.10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
5		471.99	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
6		471.93	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.09	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
7		471.96	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.11	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
8		471.95	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
9		471.95	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.11	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
10		471.94	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.10	0.16	0.16	0.16	0.16
11		471.98	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16	0.16	0.16
12		471.95	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.10	0.16	0.16
13		471.92	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.07	0.16
14		471.93	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.09

Quelle: NPVM.

Abbildung 13: ÖV-Kostensätze in CHF/Personenkilometer im NPVM, (Auszug)

3114 x 3114			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Name															
	Sum		589.96	589.99	590.13	589.99	589.99	590.02	589.98	589.97	589.98	589.99	590.02	590.02	589.91	590.13
1		589.96	0.16	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
2		589.99	0.20	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
3		590.13	0.20	0.20	0.33	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
4		589.99	0.20	0.20	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
5		589.99	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
6		590.02	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
7		589.98	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
8		589.97	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.16	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
9		589.98	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
10		589.99	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20
11		590.02	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.20	0.20	0.20
12		590.02	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.20	0.20
13		589.91	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.11	0.20
14		590.13	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.33

Quelle: NPVM.

⁹ Vgl. auch Bundesamt für Raumentwicklung (2014): Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK, Aktualisierung auf den Basiszustand 2010, S. 66

¹⁰ Vgl. auch Bundesamt für Raumentwicklung (2014): Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK, Aktualisierung auf den Basiszustand 2010, S. 66

3.5.2. Einflussparameter auf die Mobilitätskosten

Die Entwicklung der beobachteten Verkehrsleistung ist abhängig von den generalisierten Kosten.¹¹ Die generalisierten Kosten setzen sich aus verschiedenen Aufwandskomponenten zusammen, vor allem aus der Zeit für die Fahrt von Tür zu Tür und den damit verbundenen, wahrgenommenen monetären Ausgaben. Der Faktor Zeit wird vor allem durch das zuvor betrachtete Verkehrsangebot bestimmt. Bezüglich der Ausgaben sind je nach Entscheidungssituation die folgenden Bestandteile relevant¹²:

- Bei gegebenem Wohn- und Arbeitsort und der Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen (kurzfristige Entscheidungen): Billettpreise im ÖV und die variablen Kosten der Nutzung im MIV.
- Bei langfristigen Entscheidungen im Zusammenhang mit Wohn- und Arbeitsplatzwahl oder der Anschaffung von Mobilitätswerkzeugen werden auch die Anschaffungskosten eines PW und/oder die Abbonnementskosten berücksichtigt.

Fixe Kosten im Sinne von z.B. Anschaffungskosten für einen PW werden hier nicht berücksichtigt, da für die im Modell betrachtete (alltägliche) Ziel- und Modal-Wahl lediglich die effektiven KM-Kosten relevant sind. Für die Modellierung des Referenzfalls und der Alternativszenarien sind folglich die wahrgenommenen Ausgaben, welche den variablen Kosten einer Fahrt entsprechen, zu berücksichtigen. Diese sind stark abhängig von den politischen und ökonomischen Randbedingungen.

Im MIV sind die wichtigsten Kostentreiber neben der Entwicklung der Rohstoffpreise die Ausgestaltung der Mineralölsteuer. Gleichzeitig führen Technologieentwicklungen bei den Fahrzeugen zu Einsparungen im Kraftstoffverbrauch, die spezifische KM-Kosten senken. Mit Blick auf die Ausdifferenzierung von Antrieben bei PWs ist zudem im Zeitpfad bis 2040 damit zu rechnen, dass vermehrt elektrisch angetriebene Fahrzeuge genutzt werden. Im ÖV entsprechen die relevanten Mobilitätskosten den Preisen, die die Verkehrsteilnehmer zu zahlen haben. Diese Preise sind heute nicht ausreichend, um die Kosten der Infrastruktur (Schiene, Strasse) und des Betriebs (Personal, Anschaffung und Unterhalt Fahrzeuge, Energie/Treibstoffe etc.) zu decken, weshalb die öffentliche Hand Abgeltungen zahlt. Die Billettpreise sind daher vor allem abhängig von der Höhe dieser Abgeltungen. Gleichzeitig ergeben sich aufgrund der Vielfalt der Billette und Abonnemente sowie der Intensität ihrer Nutzung individuell sehr unterschiedliche spezifische Mobilitätskosten.

¹¹ Die generalisierten Kosten drücken aus, welchen Aufwand ein Verkehrsteilnehmer für eine Fahrt hat. Ist der Nutzen der Fahrt kleiner als der Aufwand, wird (nach ökonomischer Theorie) die Fahrt unterlassen bzw. bei gleichem Nutzen wird die kostenminimale Verkehrsart gewählt.

¹² Neben den monetären Kosten sind auch noch weitere Faktoren entscheidungsrelevant, z.B. der Komfort eines Verkehrsmittels oder dessen Zuverlässigkeit.

Um eine Entwicklung von Mobilitätskosten bei MIV und ÖV vergleichsweise exakt zu prognostizieren bedarf es folglich vielfältiger Datengrundlagen und Annahmen über die Entwicklung z.B. auch der (steuer-)politischen Rahmenbedingungen. Zudem wären differenzierte Annahmen zur Entwicklung von Antrieben (auch bezogen auf die räumliche Perspektive), deren Kosten und spezifischen Verbräuche zu treffen. Derart tiefgehende Analysen können im Rahmen der Verkehrsperspektiven nicht durchgeführt werden. Entsprechend wurden im Rahmen der Szenariendefinition Annahmen zu den Mobilitätskostensätzen getroffen. So wird z.B. für das Referenzszenario von einer nahezu paritätischen Kostenentwicklung ausgegangen. Da im Verkehrsmodell allein Änderungen der relativen Preisdifferenzen zwischen den Verkehrsmitteln entscheidend bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl sind, lässt sich festhalten, dass die verkehrlichen Änderungen im Referenzszenario nicht auf die Entwicklung der Mobilitätskosten zurückgehen. Mit Blick auf die Technologieentwicklung bei Fahrzeugen wird davon ausgegangen, dass die neuen Antriebe keinen signifikanten Effekt auf die für die Analysen relevanten Mobilitätskosten nehmen. Anders gesagt: Kostenersparnisse aufgrund von neuen Antrieben oder weiter reduzierten spezifischen Verbräuchen werden kompensiert durch steigende Gebühren oder Steuern (auf den jeweiligen Kraftstoff oder Energieträger). Für die Alternativszenarien wurden Änderungen der Kostenentwicklungen angenommen. Die entsprechend quantifizierten Annahmen lassen sich in Kapitel 8 nachvollziehen. Technisch wurden die jeweiligen Kostenentwicklungen auf die Visum-Kostensatzmatrizen (siehe oben) übertragen.

3.6. Parksuchzeit und Parkkosten

3.6.1. Daten NPVM

Im NPVM 2010 werden die generalisierten Kosten des Parkens in vereinfachter Form abgebildet, indem für jede Gemeinde je ein Kostenattribut für Parksuchzeit und monetäre Parkkosten angenommen wird. Da die Parksuchzeit und die Parkkosten in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl berücksichtigt werden, handelt es sich bei den Daten um Angaben je Personenfahrt. Wie die folgende Tabelle zeigt, werden für diese Kostenattribute pauschale Werte für drei Zonentypen verwendet.

Tabelle 17: Modellierung der generalisierten Kosten des Parkens im NPVM 2010

Zonentyp	Parksuchzeit [min/Personenfahrt]	Parkkosten [CHF/Personenfahrt]
U1 (Gemeinden in der Schweiz)	0.95	0.34
U2 (10 grösste Städte der Schweiz)	2.50	1.11
U3 (Ausland)	0.00	0.00

Quelle: NPVM.

Im NPVM werden diese Attribute so angewendet, dass z.B. die Parkkosten von 1.11 Franken für Zonentyp U2 für jede Personenfahrt gelten, die aus einer der 10 grössten Städte kommt oder in eine dieser Städte führt. In der Dokumentation zum NPVM 2010 wird ausgeführt, dass die Parksuchzeiten und Parkkosten im Rahmen der Kalibration berücksichtigt und angepasst wurden.

Um die Parameter als Stellschrauben in den Szenarien verwenden zu können, werden die Parkkosten in Zentren mit heutigen realen Werten verglichen. Für den Zonentyp U2 wurde eine zufällige Stichprobe der Parkkosten öffentlicher Kurzmietparkplätze in Zürich, Basel und Bern ausgewertet (vgl. nachfolgende Tabelle 18).

Tabelle 18: Aktuelle PW-Parkkosten je Stunde in zufällig ausgewählten Parkhäusern

Parkhaus	Stadt	Preis 1 h	Preis 2 h	Preis 3 h	Preis 6 h	Preis 24 h
City Parking	Zürich	Fr. 4.00	Fr. 8.00	Fr. 12.00	Fr. 24.00	Fr. 40.00
Parkhaus Urania	Zürich	Fr. 4.40	Fr. 8.80	Fr. 13.20	Fr. 27.40	Fr. 43.00
Parkhaus Opera	Zürich	Fr. 4.00	Fr. 9.00	Fr. 14.00	Fr. 29.00	Fr. 45.00
Rathaus Parking	Bern	Fr. 3.60	Fr. 7.20	Fr. 10.80	Fr. 21.60	Fr. 30.00
Bahnhof Parking	Bern	Fr. 4.70	Fr. 8.30	Fr. 11.90	Fr. 23.60	Fr. 33.00
Parking Casino	Bern	Fr. 3.60	Fr. 7.20	Fr. 10.80	Fr. 21.60	Fr. 28.00
Parkhaus Steinen	Basel	Fr. 3.00	Fr. 6.00	Fr. 9.00	Fr. 18.00	Fr. 25.00
Aeschen-Parking	Basel	Fr. 3.00	Fr. 6.00	Fr. 9.00	Fr. 18.00	Fr. 35.00
Europe Parking	Basel	Fr. 2.50	Fr. 4.00	Fr. 7.00	Fr. 19.00	Fr. 35.00
Mittelwert Zürich		Fr. 4.13	Fr. 8.60	Fr. 13.07	Fr. 26.80	Fr. 42.67
Mittelwert Bern		Fr. 3.97	Fr. 7.57	Fr. 11.17	Fr. 22.27	Fr. 30.33
Mittelwert Basel		Fr. 2.83	Fr. 5.33	Fr. 8.33	Fr. 18.33	Fr. 31.67
Mittelwert		Fr. 3.64	Fr. 7.17	Fr. 10.86	Fr. 22.47	Fr. 34.89
Mittelwert pro Stunde		Fr. 3.64	Fr. 3.58	Fr. 3.62	Fr. 3.74	Fr. 1.45

Quelle

<http://www.cityparkingzuerich.ch/php/index.php><http://www.parkhaus-urania.ch/><http://www.parkhaus-opera.ch/><http://www.parking-bern.ch/parkhaus.asp?ph=rathaus><http://www.parking-bern.ch/parkhaus.asp?ph=bahnhof><http://www.parking-bern.ch/parkhaus.asp?ph=casino><http://www.parkhaeuser.bs.ch/steinen/tarife-zahlungsmoeglichkeiten.html><http://www.parkleitsystem-basel.ch/parkhaus/aeschen.php><http://www.parkleitsystem-basel.ch/parkhaus/europe.php>

Die PW-Parkkosten betragen also im Durchschnitt ca. 3.60 Franken pro Stunde. Die absolute Höhe der Parkkosten ist natürlich von der jeweiligen Parkdauer abhängig, wie auch die Tabelle zeigt. Unterstellt man aber, dass die Parkzeit eine Stunde beträgt, können zur Herstellung der Vergleichbarkeit mit den Daten des NPVM nun die folgenden weiteren Überlegungen berücksichtigt werden:

- Die PW-Parkkosten werden auf zwei Fahrten (Anfahrt und Wegfahrt) verteilt.
- Die PW-Parkkosten sind durch den Besetzungsgrad der Fahrzeuge zu teilen. Im NPVM 2010 beträgt dieser 1.38 Personen je Fahrzeug.

Damit ergibt sich ein **Parkkostensatz in Zentren von ca. 1.30 Franken je Personenfahrt**.

Beim Vergleich der Parkkosten ist zu beachten, dass die Suchzeiten und Kostensätze des NPVM alle Personenfahrten betreffen, unabhängig davon, ob auf bewirtschafteten öffentlichen oder auf privaten Parkplätzen parkiert wird. Deshalb sollten die Parksuchkosten im NPVM niedriger sein, als die hier ermittelten. Andererseits haben auch Privatpersonen Kosten für Parkplätze, z.B. bei der Miete oder dem Kauf von Parkplätzen. Diese Kosten sollten aber niedriger sein, vor allem wenn sie als Anwohner auf öffentlichem Grund (blaue Zonen) parkieren oder einen privaten Parkplatz z.B. in einer Tiefgarage haben.

Ohne dass die Anteile der verschiedenen Parkierungsarten an den Fahrten bekannt sind, wird hier davon ausgegangen, dass die Parkkosten für U2 Zonentypen plausibel sind. Da das Modell mit diesen Werten 2010 kalibriert wurden, können sie aufgrund dieses Plausibilitätsschecks auch als Stellschraube für die Szenarien verwendet werden.

3.6.2. Einflussparameter auf die Parksuchzeit und Parkkosten

Die Parksuchzeit wird im Wesentlichen durch die Anzahl zur Verfügung stehender Parkplätze, die Nachfrage nach Parkplätzen sowie die Auslastung der Strassen bestimmt. Die Parkkosten hängen ebenfalls vom Angebot und Nachfrage nach Parkplätzen ab. Die Anzahl Parkplätze und die Parkkosten sind vor allem Gegenstand von verkehrspolitischen und städtebaulichen Massnahmen der Gemeinden und Städte. Zusammenfassend ergeben sich die folgenden wesentlichen Einflussparameter:

- Informationstechnologie zur Suche von freien Parkplätzen sowie zum Sharing von (privaten) Parkplätzen.
- Verkehrs- und umweltpolitische sowie städtebaulicher Massnahmen, z.B.:
 - Umsetzung der beschlossenen Städteinitiativen, die eine Erhöhung des Modal-Split-Anteils von LV und ÖV fordern.
 - Städtebauliche Initiativen zur Reduktion der Parkplätze (z.B. zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität der Städte und Gemeinden oder aufgrund einer anderen Nutzung knappen Raumangebots).
 - Umweltpolitische Massnahmen zur Reduktion von Luftbelastungen und der Qualität von Wohnquartieren, weshalb z.B. Parksuchverkehre nicht ansteigen sollten.

Diese Ziele sind – wenn überhaupt – nur mit einem Mix verschiedenster Push-and-Pull Massnahmen erzielbar, welche im NPVM einzeln an sich nicht abbildbar sind. Um aber die Umsetzung solcher Massnahmen in den Verkehrsperspektiven zu berücksichtigen, wurden diese pauschal über eine Erhöhung der Parkkosten abgebildet.

Im Rahmen der Szenariendefinition wurden auf Basis qualitativer Einschätzungen die Parkkosten für die einzelnen Zonentypen fortgeschrieben. Daraus wurden in Visum Kostenmatrizen erzeugt. Zum Nachvollzug der konkret angenommenen Werte für die Szenarien sei neuerlich auf Kapitel 8 verwiesen.

3.7. Fahrtzweckspezifische Aufkommensraten

3.7.1. Daten NPVM

Im NPVM werden die Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung differenziert nach 17 Quell-Ziel-Gruppen (QZG) gerechnet. Für jede dieser Quell-Ziel-Gruppen werden in der Verkehrserzeugung spezifische Aufkommensraten mit Bezug auf unterschiedliche Raumstrukturdaten verwendet. In der nachfolgenden Tabelle 19 sind die Aufkommensraten (Anzahl Wege je durchschnittlichen Werktag) aufgelistet, wie sie in Viseva verwendet werden.

Tabelle 19: Spezifische Verkehrsaufkommen im NPVM 2010

Quell-Ziel-Gr.	Zonen-typ	Einwohner					Erwerbs-tätige	Beschäf-tigte
		Gesamt	< 15J	15-24J	25-59J	60-79J		
WA/AW	U1						0.663/0.542	
	U2/U3						0.828/0.677	
WB/BW	U1	0.163/0.170						
	U2/U3	0.204/0.213						
WE/EW	U1	0.129/0.148	0.183/0.223	0.296/0.369	0.578/0.566	0.671/0.658		
	U2/U3	0.160/0.185	0.228/0.279	0.370/0.460	0.722/0.708	0.839/0.822		
WN/NW	U1						0.222/0.209	
	U2/U3						0.277/0.261	
WS/SW	U1	0.650/0.719	0.584/0.644	0.404/0.484	0.683/0.711	0.628/0.640		
	U2/U3	0.813/0.898	0.685/0.804	0.505/0.605	0.854/0.889	0.784/0.800		
AS/SA	U1							0.394/0.263
	U2/U3							0.493/0.329
ES/SE	U1	0.039/0.072	0.058/0.108	0.071/0.132	0.116/0.216	0.109/0.204		
	U2/U3	0.048/0.090	0.073/0.135	0.089/0.165	0.145/0.270	0.137/0.255		
NS/SN	U1							0.160/0.069
	U2/U3							0.200/0.086
SS	U1	0.127	0.203	0.101	0.139	0.090		
	U2/U3	0.158	0.253	0.127	0.174	0.110		

WA/AW: Wohnen – Arbeit, Arbeit – Wohnen

WB/BW: Wohnen – Bildung, Bildung – Wohnen

WE/EW: Wohnen – Einkauf, Bildung – Einkauf

WN/NW: Wohnen – Nutzfahrt, Bildung – Nutzfahrt

WS/BS: Wohnen – Sonstiges, Sonstiges – Wohnen

AS/SA: Arbeit – Sonstiges, Sonstiges – Arbeit

ES/SE: Einkauf – Sonstiges, Sonstiges – Einkauf

NS/SN: Nutzfahrt – Sonstiges, Sonstiges – Nutzfahrt

SS: Sonstiges – Sonstiges

Quelle: NPVM auf Basis MZMV 2010.

3.7.2. Einflussparameter auf spezifischen Aufkommensraten

Inhaltlich sind die spezifischen Verkehrsaufkommensraten das Resultat verschiedenster Einflüsse mit komplexen Wechselwirkungen. Deshalb ist nach Verkehrszwecken differenziert zu argumentieren. Die folgende Tabelle 20 zeigt zunächst die Veränderung der Anzahl Wege je Tag und Verkehrszweck in der retrospektiven Betrachtung.

Tabelle 20: Veränderung der Anzahl Wege pro Person und Tag

Zweck	1994 ¹⁾	2000 ²⁾	2005 ³⁾	2010 ⁴⁾
Arbeit	0.73	0.80	0.80	0.80
Ausbildung	0.26	0.30	0.30	0.30
Einkauf	0.75	0.70	0.70	0.80
Geschäftliche Tätigkeit, Dienstfahrt	0.17	0.10	0.10	0.10
Freizeit	1.34	1.40	1.30	1.30
Service und Begleitung	-	0.20	0.10	0.20
unbestimmt/ andere	-	0.10	0.10	0.10
Total	3.24	3.60	3.30	3.40

Quellen:

1) BFS (1996), Verkehrsverhalten in der Schweiz 1994, Mikrozensus Verkehr 1994, Bundesamt für Statistik und Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern. S.104.

2) BFS (2001), Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern. S. 47.

3) BFS (2007), Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten, Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel. S.44, Tabelle T5.2.

4) BFS (2012), Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel. S. 55, Tabelle T5.1.2.

Die Erhebungen zeigen für alle Verkehrszwecke insgesamt sehr stabile Aufkommensraten je Person und Tag. Offenbar kompensierten sich in der Vergangenheit die treibenden und hemmenden Einflussfaktoren. Daher sollten zukünftige Veränderungen der spezifischen Verkehrsaufkommensraten mit Bedacht vorgenommen werden. Bei den einzelnen Verkehrszwecken spielen die Einflussfaktoren entsprechend Tabelle 21 eine Rolle.

Tabelle 21: Einflussparameter Verkehrserzeugung

Fahrtzwecke	Einflussparameter	Wirkungsrichtung	
Arbeit	Erwerbstätigkeit (Mann/Frau)	Berücksichtigung über Anzahl Erwerbstätige (Strukturdaten)	
	Möglichkeit zur Teilzeitarbeit	-	Reduktion Arbeitswege je Erwerbstätigen, wenn Teilzeitarbeit freie Tage ermöglicht. Keine Wirkung, wenn allein tägliche Arbeitszeit reduziert wird.
	Präsenz am Arbeitsplatz	-	Reduktion Arbeitswege je Erwerbstätigen, wenn Notwendigkeit zur Präsenz z.B. aufgrund Teleworking sinkt.
Nutzfahrten	Wirtschaftliche Entwicklung	+	Zunahme Nutzfahrten je Erwerbstätigem, wenn BIP/Einwohner steigt: Zunahme Besprechungen, Kundenbesuche (Handwerker) etc.
	Arbeitsform (Videokonferenzen)	-	Reduktion Nutzfahrten je Erwerbstätigem, wenn Besprechungen vermehrt über Videokonferenzen erfolgen.
	Internetbestellungen (Lieferfahrten)	+	Zunahme der Nutzfahrten je Erwerbstätigem, wenn vermehrt Lieferfahrten notwendig werden.
Ausbildung	Präsenz am Ausbildungsort	-	Reduktion der Ausbildungswege je Einwohner, wenn vermehrt in Fernstudiengängen / Onlinkursen unterrichtet wird.
	Zunahme Bedeutung Ausbildung	+	Zunahme der Ausbildungswege je Einwohner, wenn die gesellschaftliche Bedeutung von lebenslänglicher Aus- und Weiterbildung zunimmt.
Einkauf	Einkaufsart: Internetbestellung	-	Reduktion der Einkaufswege je Einwohner, wenn Internetshopping zunimmt. (Alternativ: Reduktion des Umsatzes je Weg)
	Haushaltgrösse	-	Reduktion der Einkaufswege je Einwohner, wenn die Haushaltsgrösse steigt, da mehr Wocheneinkäufe erfolgen. (Alternativ: Reduktion des Umsatzes je Nicht-Grosseinkaufsweg)
	Kombination mit Freizeit (Lebensstil)	+	Zunahme der Einkaufswege je Einwohner, wenn Einkaufen auch eine gesellschaftliche Funktion (Treffen von Freunden, Freizeitaktivität) hat.
	Wirtschaftliche Entwicklung	+	Zunahme Einkaufswege je Einwohner, wenn BIP/Einwohner steigt: Allenfalls wird häufiger eingekauft. (Alternativ: Steigerung des Umsatzes je Weg)
Freizeit (In Klammern: Anteil an Freizeitwegen in % im Inland gemäss MZ)			
Nicht sportliche Aussenaktivitäten (z.B. Spazierengehen) und aktiver Sport (Inkl. Velofahren, Wandern und Fitness/Medizin/Wellness) (36.3%)	Aktivitätsgrad der Menschen (Lebensstil)	+	Zunahme der Freizeitwege je Einwohner, wenn die Menschen eine aktive Lebensgestaltung haben und mehr ausser Haus gehen. Hier sind auch Überlegungen zur Altersmobilität zu berücksichtigen.
Gastronomiebesuche, Kulturveranstaltungen / Freizeitanlagen und Passiver Sport (28.6%)	Wirtschaftliche Entwicklung	+	Zunahme der Freizeitwege je Einwohner, wenn BIP/Einwohner steigt: Allenfalls wird häufiger ausgegangen. (Alternativ: Steigerung der Ausgaben je Weg)
	Haushaltgrösse	-	Reduktion der Freizeitwege je Einwohner, wenn Haushaltsgrösse steigt, da die Kosten je Aktivität für den Haushalt höher sind: Allenfalls wird weniger ausgegangen. (Alternativ: Senkung der Ausgaben je Weg)
Besuche (19.2%)	Soziale Einbindung	+	Zunahme der Freizeitwege je Einwohner, wenn die Menschen vermehrt physisch und virtuell "vernetzt" sind.
Sonstige (15.9%)*	Lebensstil (Aktivitätsgrad)	+	Zunahme der Freizeitwege je Einwohner, wenn BIP/Einwohner steigt: Allenfalls wird häufiger ausgegangen. (Alternativ: Steigerung der Ausgaben je Weg)
*Unbezahlte Arbeit, Vereinstätigkeit, Ausflug, Ferien, Religion, Auswärtige Freizeitaktivitäten im Haus, Essen ohne Gastronomiebesuch, Einkaufsbummel / Shopping, Rundreise, Anderes, Mehrere Aktivitäten.			

Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammengefasst über alle Verkehrszwecke ergeben sich somit die folgenden wesentlichen Einflussparameter auf die Anzahl Wege:

- Bedeutung der Informations- und Kommunikationstechnologie: Teleworking, Onlinekurse, Internetbestellungen etc.,
- Wirtschaftliche Entwicklung: Entwicklung BIP/Einwohner,
- Lebensstile (Aktivitätsgrad),
- Soziale Einbindung und Haushaltsgrössen.

Für den Referenzfall und die Szenarien wurde je Verkehrszweck geprüft, welche der Einflussgrössen allenfalls aufgrund zuvor stehender Überlegungen angepasst wird. Ergänzend wurden im Rahmen einer Begleitstudie weitergehende Überlegungen angestellt, in welchem Umfang sich – gemäss den Vorgaben der Szenarien – Änderungen im Wegeaufkommen bis 2040 realisieren könnten (vgl. Prognos 2016). Die abschliessenden Festlegungen können im Kapitel 8 nachvollzogen werden. Im Excel-Tool werden diese Anpassungen mit prozentualen Veränderungen der Aufkommensraten umgesetzt und die entsprechende Inputdatei für Viseva erzeugt.

3.8. Besetzungsgrade

3.8.1. Daten NPVM

Im NPVM 2010 werden die Besetzungsgrade „Personen je Fahrzeug“ nach Fahrtzwecken differenziert verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die PW-Besetzungsgrade.

Tabelle 22: PW-Besetzungsgrade im NPVM 2010 [Personen/Fahrzeug]

Fahrtzwecke	2005	2010
Arbeit	1.11	1.12
Ausbildung	1.11	1.26
Einkauf	1.55	1.41
Nutzfahrt	1.24	1.62
Freizeit	1.75	1.54
Total	1.42	1.38

Quelle: NPVM.

3.8.2. Einflussparameter auf den Besetzungsgrad

Die Tabelle 23 zeigt die Einflussparameter auf den Besetzungsgrad der Fahrzeuge differenziert nach Fahrtzwecken und in welche Richtung die Einflussparameter wirken. Sie basiert auf eigenen Überlegungen unter Berücksichtigung weiterer Studien (z.B. Axhausen et. al., 2004).

Tabelle 23: Einflussparameter Besetzungsgrad

Fahrtzwecke	Arbeit	Ausbildung	Einkauf	Nutzfahrt	Freizeit
Einflussparameter					
Haushaltsstruktur					
Haushaltsgrösse		+	+		+
Einkommen und Alter	-		-		-
Attraktivität MIV					
Kosten (Fahrt, Parken usw.)	+	+	+	+	+
Verfügbarkeit PW	-	-	-	-	-
Länge des Werts	+	+	+		+
Attraktivität Alternativen (öV, Langsamverkehr)					
Kosten der Alternative	+	+	+	+	+
Attraktivität der Alternative	-	-	-	-	-
Lebenstil (Individualität)					
Regelmässigkeit und gleiche Abfahrzeiten von Fahrer und Mitfahrer	+	+		+	
Attraktivität Carpooling					
Organisationsaufwand (z.B. Entwicklung Carpooling Plattformen)	-	-			-
Sicherheitsbedürfnis	-	-			-

+ = Gleichgerichteter Einfluss auf Besetzungsgrad - = Gegenläufiger Einfluss auf Besetzungsgrad

Beispiele: - Je grösser der Haushalt, umso höher wird der Besetzungsgrad beim Fahrtzweck Freizeit

- Je höher das Einkommen einer Person ist, umso geringer ist der Besetzungsgrad. Sei es, weil man ein eigenes Fahrzeug zur Verfügung hat (also nicht mehr als Nachfrager für eine Mitfahrt auftritt) oder weil man keinen Mitfahrer für die Fahrt mehr benötigt (seinen PW also nicht anbietet).

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Tabelle zeigt, dass auch der Besetzungsgrad von einer Vielzahl von Parametern abhängt, die auch bei anderen Stellschrauben für das NPVM Berücksichtigung finden. Es bestehen aber keine im Rahmen dieser Untersuchung anwendbaren Modelle, die die Zusammenhänge rechnerisch abbilden. Die Besetzungsgrade für das Jahr 2040 werden deshalb mittels einer qualitativen Einschätzung festgelegt. Die Einschätzung erfolgt auf Basis folgender Grundlagen:

- Vergleich mit anderen Prognosen für wohlhabende Staaten (z.B. OECD, Luxemburg, Deutschland etc.).
- Berücksichtigung der Szenarioannahmen: Je Szenario werden die spezifischen Annahmen ausgewertet und es wird eine Einschätzung hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den Besetzungsgrad (steigend, gleichbleibend, senkend) gegeben. Dieser wird qualitativ im Excel-Sheet eingetragen und es wird anschliessend ein Besetzungsgrad festgelegt und eingetragen.

Auf Basis dieser Einschätzungen wurden in Visum Besetzungsgradmatrizen erzeugt. Die quantifizierten Annahmen sind in Kapitel 8 dokumentiert.

3.9. Entwicklung Flughäfen

3.9.1. Daten NPVM

Im NPVM sind die drei Landesflughäfen Zürich (ZRH), Genève (GVA) und Basel Euroairport (EAP) sowie die beiden Regionalflughäfen Bern und Lugano als eigene Zonen implementiert. Im Zustand 2010 weisen diese gesamthaft ein werktägliches Aufkommen von knapp 50'000 PW-Fahrten und 37'000 Personenfahrten im ÖV auf. Insgesamt entspricht dies rund 3‰ der PW-Fahrten und 9‰ der ÖV-Fahrten in der Schweiz. Die quantitative Bedeutung ist damit gering für die gesamtschweizerischen Verkehrsperspektiven, aber relevant für die Umgebung der Flughäfen.

Der Landverkehr an den drei Landesflughäfen setzt sich aus flugverkehrsbezogenen Anteilen (Passagiere, Begleitpersonen, fliegendes oder Bodenpersonal) und nicht-flugverkehrsbezogenen Anteilen (Angestellte und Kunden von kundenorientierten Nutzungen, Zuschauer, Flughafenverwaltung) zusammen. Nicht betrachtet werden landseitige Umsteiger an den Flughäfen. Im NPVM wird das Gesamtfahrtenaufkommen zu/von den Flughäfen modelliert (ohne die Unterscheidung nach flug- und nichtflugverkehrsbezogenen Anteilen). Grundlage dazu bilden Strukturdaten zu den Flughäfen, namentlich die Anzahl Beschäftigte (= Arbeitsplätze) und die Verkaufsflächen. Vereinfacht gesagt führt eine Erhöhung der Strukturdaten zu einem Wachstum des zu-/und abfliessenden Verkehrs sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr. Um die Auswirkungen eines steigenden Passagieraufkommens an den Flughäfen bei der Modellierung der zu-/und abfliessenden Verkehre zu berücksichtigen, werden nachfolgend dargestellte Schritte durchgeführt.

3.9.2. Einflussgrössen Entwicklung Landverkehr Flughäfen

Für die Verkehrsperspektiven 2040 wurde vom BAZL eine Nachfrageprognose zum Luftverkehr bis 2030 zur Verfügung gestellt.¹³ Darin finden sich für den Zeitraum zwischen 2013 und 2030 folgende Angaben zum jährlichen Passagierwachstum an den fünf Flughäfen:

- Zürich 3.4% (von 24.8 Mio. in 2013 auf 43.6 Mio. in 2030)
- Genf 3.1% (von 14.3 Mio. in 2013 auf 24.1 Mio. in 2030)
- Basel 3.0% (von 5.8 Mio. in 2013 auf 9.7 Mio. in 2030)
- Bern 1.0% (von 0.25 Mio. in 2013 auf 0.29 Mio. in 2030)
- Lugano 1.0% (von 0.14 Mio. in 2013 auf 0.17 Mio. in 2030)

Für die Verkehrsperspektiven werden die Passagieraufkommen bis 2040 abgeschätzt. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Passagieraufkommen zwischen 2030 und 2040 nur

¹³ Intraplan, 2015: Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose. Im Auftrag des BAZL.

noch analog zur Bevölkerungsentwicklung in diesem Zeitraum wachsen (+5%). Dies ergibt für 2040 folgende Passagierzahlen:

- Zürich 45.8 Mio. in 2040
- Genf 25.3 Mio. in 2040
- Basel 10.2 Mio. in 2040
- Bern 0.30 Mio. in 2040
- Lugano 0.18 Mio. in 2040

Ein verlangsamtes Wachstum erscheint zudem vor dem Hintergrund plausibel, dass insb. die beiden grossen Landesflughäfen Zürich und Genf um 2030 an ihre Kapazitätsgrenzen stossen und weitere Ausbauten von Infrastruktur und Betrieb schwierig zu realisieren sein werden.

3.9.3. Vorgehen im Referenzszenario

Dem Grundsatz der Modellierung des Landverkehrs im NPVM folgend, wird das erwartete Passagierwachstum in Zuwachsraten für die Strukturdaten (Beschäftigte und Verkaufsflächen) der Flughafenzone übertragen. Vereinfacht wird dabei davon ausgegangen, dass ein Passagierwachstum von + 1 Mio. zu einem Wachstum der Beschäftigung am Flughafen von + 1.000 Arbeitsplätzen (in Vollzeitäquivalenten) führt. Aus dem Beschäftigungswachstum wird anschliessend auf das Wachstum der Verkaufsflächenzahl geschlossen. Auf Grundlage der so ermittelten Strukturdaten für 2040 ergeben sich dann neue, höhere Landverkehrsaufkommen.

Anschliessend werden die so im NPVM modellierten Fahrtenaufkommen mit den Prognosen zum Passagieraufkommen des BAZL plausibilisiert, d.h. die NPVM-Fahrtenaufkommen werden so angepasst, dass sie zu den Passagieraufkommen passen. Dazu müssen zunächst auf der Basis von Anteilsfaktoren die flugverkehrs- und nicht-flugverkehrsbezogenen Aufkommen aus den NPVM-Fahrtenmatrizen für MIV und ÖV extrahiert werden. Die Anteilsfaktoren stammen aus einer alle vier Jahre durchgeführten Erhebung am Flughafen Zürich¹⁴ und sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 24: Einflussparameter Besetzungsgrade flughafenbezogener Relationen

Verkehrsmittel	Anteil flugverkehrsbezogene Fahrten	Anteil nicht-flugverkehrsbezogene Fahrten
MIV	82%	18%
ÖV	68%	32%

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Modalsplit-Erhebung Flughafen Zürich 2013.

¹⁴ Flughafen Zürich (2014): Modalsplit-Erhebung Flughafen Zürich 2013 – Schlussbericht, Kloten.

Die Prognose der nicht-flugverkehrsbezogenen Fahrten erfolgt über die höheren Strukturdaten (siehe oben); die flugverkehrsbezogenen Aufkommen sind wie eingangs erwähnt zur BAZL-Prognose zu den Passagieraufkommen in Übereinstimmung zu bringen.

Dazu wird angenommen, dass die Anzahl flugverkehrsbezogener Fahrten proportional zum Anstieg des Passagieraufkommens zunimmt. Das heisst aus der Gegenüberstellung des NPVM-Fahrtenaufkommens zur Passagieranzahl in 2010 kann über die BAZL-Passagierprognose für 2040 auf ein NPVM-Fahrtenaufkommen in 2040 geschlossen werden. Des Weiteren wird vereinfachend angenommen, dass die Zusammensetzung der Verkehrsaufkommen (= Anteil flugverkehrsbezogene zu nicht-flugverkehrsbezogenen Fahrten) an allen fünf Flughäfen gleich ist.

Im Rahmen der Plausibilisierung wird für alle Flughäfen der Faktor für den Anteil flugverkehrsbezogene Fahrten je Verkehrsmittel MIV und ÖV verwendet. Die so aus dem NPVM extrahierten flugverkehrsbezogenen Fahrtenaufkommen für die Prognose werden in der Plausibilisierung den gemäss der BAZL-Prognose hochgerechneten Fahrtenaufkommen in 2040 gegenübergestellt. Da sich bei der Plausibilisierung Abweichungen ergeben, werden die entsprechenden MIV- und ÖV-Fahrtenaufkommen mittels eines Faktors je Flughafen angepasst, so dass die Fahrtenaufkommen gemäss BAZL-Passagierprognose getroffen werden. Die Ermittlung des Faktors auf Grundlage der Passagierprognose ist als Verfahrensschritt in Visum implementiert und wird im Rahmen der VISUM-VISEVA-Iterationen berücksichtigt. Für den Güterverkehr erfolgte keine Anpassung der Verkehrsströme an externe Prognosevorgaben. Über die Entwicklung der Strukturdaten (Verkaufsflächen und Arbeitsplätzen) an den fünf Flughäfen werden die Wirkungen im Sinne steigender zu- und abgehender Verkehre (aufgrund in allen Szenarien zunehmenden Strukturdaten) in der AMG berücksichtigt.

3.10. Aussenverkehre

3.10.1. Daten NPVM

Die Aussenverkehre umfassen den Quell- und Zielverkehr zwischen der Schweiz und dem Ausland, den Transitverkehr durch die Schweiz sowie die Verkehre ausserhalb der Schweiz, von denen vor allem Umfahrungsverkehre auf Schweizer Territorium von Interesse sein können. Im NPVM 2010 wurden diese Verkehre mit einem vereinfachten Verfahren auf Basis der Alpen- und Grenzquerenden Personenverkehrserhebung 2007 (BFS 2009) berechnet. Sie stehen in Form einer Aussenverkehrsmatrix für den Zustand 2010 zur Verfügung.

3.10.2. Einflussgrössen Entwicklung Aussenverkehre

Die Entwicklung der Aussenverkehre ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, insbesondere jedoch von der prognostizierten Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung im europäischen Ausland und der Schweiz sowie den Angebotsausbauten bei der Infrastruktur.

Es wurde eine Methodik entwickelt, die einerseits die europäischen Prognosen zur Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt und andererseits sensibel auf die Szenarienannahmen im Rahmen der Verkehrsperspektiven reagiert. Dies geschieht durch die Anwendung von relationsspezifischen und verkehrsmittelspezifischen Hochrechnungsfaktoren.

Für die Integration der europäischen Entwicklung stehen Eurostat Prognosen für die Einwohnerentwicklung der europäischen Länder zur Verfügung. Für die an die Schweiz angrenzenden Länder Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich werden die Prognosen auf Ebene der NUTS 2 Regionen verwendet, für die übrigen Länder die Landesprognosen. Die BIP Entwicklung wird in der Prognose für den Personenverkehr vernachlässigt, da hier die Bevölkerungszahl der massgebende Treiber für die Entwicklung der Fahrtenaufkommen ist. Für das Ausland werden für alle Szenarien die gleichen Bevölkerungsentwicklungsraten unterstellt, innerhalb der Schweiz werden für die Prognose der Aussenverkehre die zonenfeinen Bevölkerungsprognosen des jeweiligen Szenarios verwendet. Die Bevölkerungsprognose für die europäischen Länder sind in Tabelle 25 aufgeführt.

Tabelle 25: Eurostat Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung

Land	2010	2015	2020	2030	2040
Belgien	11'000'638	11'430'622	11'927'406	12'992'218	14'013'621
Bulgarien	7'369'431	7'156'236	6'928'780	6'430'406	6'055'457
Dänemark	5'560'628	5'672'675	5'801'300	6'082'517	6'293'432
Deutschland	81'751'602	80'717'720	80'597'118	79'614'264	77'545'235
Estland	1'329'660	1'306'793	1'277'772	1'201'163	1'159'136
Finnland	5'375'276	5'506'293	5'647'262	5'902'875	6'070'523
Frankreich	64'978'721	66'486'566	67'938'456	70'663'434	72'952'690
Griechenland	11'123'392	10'929'715	10'641'936	10'034'178	9'549'024
Grossbritannien	63'022'532	65'057'861	67'091'696	70'815'897	74'180'300
Irland	4'570'881	4'608'850	4'604'697	4'558'758	4'704'624
Island	318'452	331'320	344'541	368'819	390'550
Italien	59'364'690	61'150'531	62'168'121	64'342'132	66'379'035
Kroatien	4'289'857	4'236'403	4'188'549	4'075'030	3'944'637
Lettland	2'074'605	1'966'178	1'856'500	1'613'586	1'506'478
Litauen	3'052'588	2'856'806	2'622'217	2'164'492	1'987'022
Luxembourg	511'840	576'268	647'313	800'609	946'460
Malta	414'989	428'616	440'437	457'295	463'155
Niederlande	16'655'799	16'927'214	17'182'766	17'585'278	17'638'214
Norwegen	4'920'305	5'247'288	5'627'466	6'444'290	7'172'651
Österreich	8'375'164	8'598'107	8'844'524	9'313'391	9'629'923
Polen	38'062'718	38'490'284	38'345'590	37'402'796	36'107'859
Portugal	10'572'721	10'314'695	10'101'746	9'741'712	9'341'996
Rumänien	20'199'059	19'869'187	19'640'915	18'924'826	18'411'928
Slowakei	5'392'446	5'417'626	5'410'962	5'297'169	5'089'876
Slowenien	2'050'189	2'071'741	2'088'973	2'086'563	2'078'301
Schweiz	7'870'134	8'311'790	8'760'628	9'638'731	10'378'068
Schweden	9'415'570	9'800'714	10'226'694	11'076'138	11'810'158
Spanien	46'667'174	46'302'938	45'630'493	44'466'275	44'691'171
Tschechien	10'486'731	10'558'529	10'664'204	10'786'992	10'926'045
Ungarn	9'985'722	9'848'489	9'790'257	9'664'013	9'506'107
Zypern	839'751	876'967	893'871	924'278	968'552

Quelle: Eurostat.

Darauf aufbauend wird für jede Relation ein bevölkerungsgewichteter Wachstumsfaktor aus dem gewichteten Mittel der Wachstumsfaktoren der Quell- und Zielzonen bestimmt. Gewichtungsfaktor ist die Bevölkerung im Analysezustand. Auf diese Weise wird das Fahrtenaufkommen zwischen zwei Zonen relativ zur Bevölkerung konstant gehalten. Bezüglich des Modal Splits ist im Aussenverkehr aufgrund der Ausbauten im Schienenverkehr, insbesondere im Fernverkehr, eine gewisse Verschiebung vom MIV zum ÖV zu erwarten.

Die Abschätzung dieser Verschiebung geschieht auf Grundlage

- der Modal Split Veränderungen in Transtools (vgl. Hansen, 2009) und
- des Zeitplans für die Eröffnung der für den Bahnverkehr in und durch die Schweiz relevanten Grossprojekte.

Die Modal Split-Verschiebungen in Transtools wurden auf einer aggregierten Ebene (Länder und Zonentypen NPVM) ermittelt und plausibilisiert. Zur Plausibilisierung wurden u.a. die Verflechtungsmatrizen des deutschen Bundesverkehrswegeplans verwendet. Diese prognostizieren ähnliche Verschiebungen zu mehr Schienen- und weniger Strassenverkehr wie Transtools.

Der Zeitplan für die Eröffnung der für den Bahnverkehr in und durch die Schweiz relevanten Grossprojekte dient als Grundlage für die Ermittlung der zeitlichen Staffelung des Modal Shifts. Grundsätzlich wird eine lineare Entwicklung angenommen. Für diese gelten allerdings die folgenden Ausnahmen:

- Regionalverkehr zwischen Deutschland und Basel (S-Bahn Basel ab 2020),
- Ausbau des HGV Netzes nach Frankreich (ab 2020),
- Verkehr nach Italien (GBT und S-Bahn Tessin ab 2020, Ceneri ab 2030, keine geplanten Ausbauten bis 2040),
- Verkehr zwischen Österreich und Italien (Brenner-Basistunnel ab 2030).

In der Umsetzung bedeutet dies, z.B. für den Verkehr von Deutschland in die Schweiz, den gemäss Transtools prognostizierten Modal Shift zu Gunsten der Bahn bis 2040 zu einem grösseren Anteil erst nach 2020 wirken zu lassen (bzw. analog den Shift auf Beziehungen nach/von Italien gestaffelt mit den Eröffnungen der jeweiligen Basistunnel zu verteilen). Anschliessend wird ein gemeinsamer Faktor aus der relationsfeinen Bevölkerungsentwicklung und den länderspezifischen, zeitlich gestaffelten Modal Shift Faktoren berechnet und die Aussenverkehrsmatrizen mit diesen Faktoren hochgerechnet.

Im letzten Schritt werden die fahrtzweckspezifischen Aussenverkehrsmatrizen ermittelt. Grundlage dafür sind neben den szenariospezifischen Gesamtverkehrsmatrizen für MIV und ÖV die Fahrtzweckanteile im Analysezustand. Die Fahrtzweckanteile werden für jede Relation und jedes Verkehrsmittel bestimmt und anschliessend die Fahrten in der jeweiligen Gesamtmatrix anhand dieser Faktoren auf die Fahrtzwecke aufgeteilt.

4. Modul 1 Güterverkehr: Input AMG-Tool

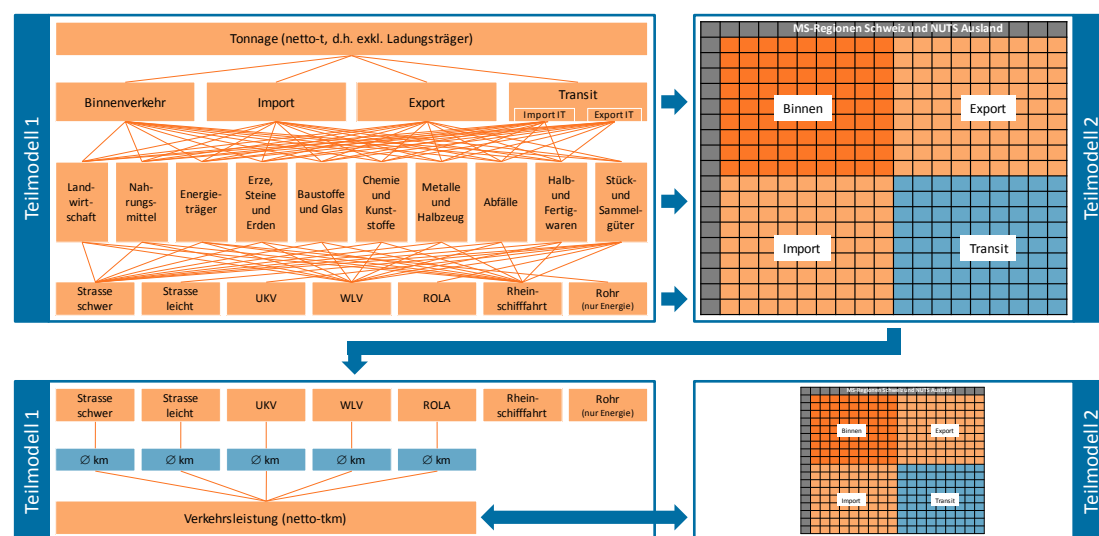
4.1. Übersicht

Zur Quantifizierung von Aufkommen (in Tonnen) und Verkehrsleistung (in Tonnenkilometer) im Güterverkehr wird die «Aggregierte Methode Güterverkehr» (AMG) angewendet. Dafür wird das entsprechende Anwendungstool eingesetzt. Details zur AMG und zur Anwendung des Tools sind den entsprechenden Berichten zu entnehmen (ARE 2015a; ARE 2015b). Nachfolgend werden kurz die wichtigsten Stellgrößen und Eingangsdaten, welche im Rahmen der Verkehrsperspektiven eingesetzt wurden, beschrieben. Die Fahrleistungen (in Fahrzeugkilometer) von Fahrzeugen zum Güterverkehr wurden analog zum Personenverkehr (MIV) nach der Umlegung der aus der AMG bezogenen Fahrtenmatrizen abgeleitet (vgl. Kap. 6.2.6).

Aggregierte Methode Güterverkehr

In der AMG wird der Güterverkehr in aggregierten, d.h. sinnvoll aus Sicht Produktion und Logistik zusammengestellten Gruppen, beschrieben und modelliert. Weitere Disaggregationen, die für spezifische Anwendungsfälle benötigt werden, werden aus den jeweils zugehörigen Aggregaten abgeleitet. Entsprechend dieser beiden Schwerpunkte wird die Methode in zwei Teilmodelle differenziert: Die aggregierte Betrachtung erfolgt im Teilmodell 1, das Teilmodell 2 beinhaltet die disaggregierten Ansichten. Umgesetzt wird die Methode in einem Anwendungs-Tool, das über das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel gesteuert werden kann.

Abbildung 14: Übersicht zum Gesamtkonzept der AMG



Quelle: ARE 2015b.

Das Teilmodell 1 (TM1) startet bei der Nachfrage – der Tonnage-Ebene. Dies geht auf den makroökonomischen Ansatz zurück, welcher den Güterverkehr „nur“ als das Resultat wirtschaftlicher Vorgänge betrachtet. Nachfrage (nach bspw. Nahrungsmitteln, Konsumgütern, Vorprodukten etc.) entsteht beim Endverbraucher oder Weiterverarbeiter, ausgehend von entsprechenden Produktionsprozessen. Diese lassen sich (im Idealfall) mit entsprechenden sozioökonomischen Kenngrössen beschreiben. Output der Nachfrage sind die zu transportierenden Aufkommensmengen. Im Anschluss wird die Bewältigung dieser Transportnachfrage diskutiert, indem die Aufteilung auf die (in Frage kommenden) Verkehrsträger erfolgt.

Das Teilmodell 2 (TM2) hat die Aufgabe, die aggregierten Eckwert-Ergebnisse des Teilmodells 1 zu regionalisieren. Dabei wird die Struktur der Ergebnisse der TM1 im Hinblick auf Verkehrsbeziehungen (Binnen, Import, Export, Transit), Güterbereichseinteilung (Aggregate aus der NST2007) und Verkehrsmittel (6 Modi) beibehalten. Das TM2 dient dazu, Szenarien- und Massnahmenwirkungen, die in TM1 im Eckwert für die gesamte Schweiz ausgewiesen werden, auch regional darstellen und um auf der Basis von Kenngrössenmatrizen (Entfernungen, Transportzeiten) die Veränderung der Verkehrsleistung abbilden zu können. Das TM2 bildet dann auch eine Zwischenstufe, da die Güterverkehrsströme von dieser Betrachtungsebene auf die Ebene des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) heruntergebrochen werden, um die nachfolgenden Umlegungsrechnungen im Strassennetz für die Schweiz durchführen zu können.

4.2. Stellschrauben Güterverkehr

Entsprechend der Konzeption der AMG gelangen je Modellstufe spezifische Stellschrauben als externe Eingangsgrössen zur Anwendung. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht dazu; die nachfolgenden Abschnitte erläutern die jeweiligen Stellschrauben und deren Einbindung im Wirkungsmodell.

Tabelle 26: Stellschrauben zur AMG

Grösse	TM	Anwendung	Format	Szen.
Strukturdaten				
Einwohner	1	- Abbildung Bevölkerungsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	2 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
BIP	1	- Abbildung Wirtschaftsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	2 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
Privater Konsum	1	- Abbildung Wirtschaftsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	2 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
Import (exkl. Dienstleistungen)	1	- Abbildung Wirtschaftsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	2 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
Export (exkl. Dienstleistungen)	1	- Abbildung Wirtschaftsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	2 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
Binnennachfrage	1	- Abbildung Wirtschaftsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	2 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
Branchen-BWS	1	- Abbildung branchenspezifischer Wirtschaftsentwicklung je nach funktionalem Zusammenhang der Warengruppen - Bestandteil der Plausibilisierung via Intensitäten	47 Zeitreihen	ja
	2	Abbildung struktureller Verschiebungen	1 Wert je MS	ja
Intensitäten				
Transportintensitäten	1	- Kenngrösse zur Möglichkeit der manuellen Anpassung der funktional hergeleiteten Prognoseentwicklungen auf der Ebene der gesammodalen Aufkommen - Einsatz von bis zu 5 Intensitäten je Warengruppe und Verkehrsart	150 Werte CH 90 Werte IT	ja
Angebotsbeschreibende Daten				
Entfernung Lkw	2	- Entfernungstafel zum Strassengüterverkehr - Grundlage zum Modalshift und zur Transportleistungsermittlung	Matrix	ja
Entfernung Bahn	2	- Entfernungstafel zum Schienengüterverkehr - Grundlage zum Modalshift und zur Transportleistungsermittlung	Matrix	ja
Geschwindigkeit Lkw	2	- Faktor zur Ermittlung der Transportzeiten - Grundlage zum Modalshift	1 Wert	ja
Geschwindigkeit Bahn	2	- Faktor zur Ermittlung der Transportzeiten - Grundlage zum Modalshift	1 Wert	ja
Kostensatz Lkw	2	- Gesamtkostensatz nach Gutart (Logistiksystem) - Grundlage zum Modalshift	4 Werte	ja
	1	- Veränderung des Gesamtkostensatzes nach Warengruppe im Strassengüterverkehr - Hilfsfunktion zum Modalshift	10 Werte	ja

Grösse	TM	Anwendung	Format	Szen.
Kostensatz Bahn	2	▪ Gesamtkostensatz nach Gutart (Logistiksystem) ▪ Grundlage zum Modalshift	4 Werte	ja
	1	▪ Veränderung des Gesamtkostensatzes nach Warengruppe im Schienengüterverkehr ▪ Hilfsfunktion zum Modalshift	10 Werte	ja
Zeit-Elastizität Lkw	2	▪ Reaktionselastizität nach Gutart (Logistiksystem) ▪ Grundlage zum Modalshift	4 Werte	nein
Zeit-Elastizität Bahn	2	▪ Reaktionselastizität nach Gutart (Logistiksystem) ▪ Grundlage zum Modalshift	4 Werte	nein
Kosten-Elastizität Lkw	2	▪ Reaktionselastizität nach Gutart (Logistiksystem) ▪ Grundlage zum Modalshift	4 Werte	nein
	1	▪ Reaktionselastizität nach Warengruppe ▪ Hilfsfunktion zum Modalshift	10 Werte	nein
Kosten-Elastizität Bahn	2	▪ Reaktionselastizität nach Gutart (Logistiksystem) ▪ Grundlage zum Modalshift	4 Werte	nein
	1	▪ Reaktionselastizität nach Warengruppe ▪ Hilfsfunktion zum Modal shift	10 Werte	nein
Modalshift	1	▪ Kenngrösse zur Möglichkeit der manuellen Anpassung der funktional hergeleiteten Prognoseentwicklungen auf der Ebene des Modalsplit (modale Aufkommen) ▪ Einsatz je nach Anzahl beteiligter Verkehrsträger nach Warenarten und Verkehrsart	33 Werte CH 1 Wert IT	ja
Transportweite	1	▪ Kenngrösse zur Möglichkeit der manuellen Anpassung der funktional hergeleiteten Prognoseentwicklungen auf der Ebene der modalen Transportleistung ▪ Einsatz je nach Anzahl der Verkehrsträger nach Warenarten und Verkehrsart	65 Werte CH	ja
Routingshift	1	▪ Kenngrösse zur Möglichkeit der manuellen Anpassung der funktional hergeleiteten Prognoseentwicklungen auf der Ebene der modalen Routenwahl im alpenquerenden Verkehr innerhalb des Alpenbogens B	22 Werte	ja
Sonstige Eingangsgrössen				
GTE/GQGV/LI	2	Aufkommensstruktur für die Nachfragewunschlinien im Strassengüterverkehr	Matrix	nein
Lkw-Auslastung	2	▪ Fahrzeugermittlung im Strassengüterverkehr nach Logistikklassen und Entfernungsstufen	12 Werte	ja
Leerfahrtenanteil	2	Parameter zur Steuerung der Leerfahrten	3 Werte	nein
Tagesfaktor	2	Umrechnung der Jahres-Matrizen	1 Wert	nein
Abschneidewert	2	Grad der Berücksichtigung niedriger Nachfragerelationen	1 Wert	nein
Singuläre Verkehrserzeuger	2	▪ Berücksichtigung zusätzl. modaler Aufkommensmengen für bis zu 20 singuläre Verkehrserzeuger differenziert nach Strasse und Schiene sowie nach Gutart (Logistiksystem)	4 Werte	ja

4.2.1. Strukturdaten

Zu den Strukturdaten zählen sozioökonomische Kenngrößen wie Anzahl an Einwohnern, Bruttoinlandsprodukt (BIP), Aussenhandelsvolumen aus Importen und Exporten exkl. Dienstleistungen, Konsum der privaten Haushalte sowie Binnennachfrage. Dazu kommen die Bruttowertschöpfungen (BWS) von einzelnen, transportrelevanten Branchen.

Anwendung

Die Strukturdaten sind im Teilmodell 1 die nachfrage-treibenden Variablen innerhalb der die gesamtmale Nachfragemenge quantifizierenden funktionalen Zusammenhänge. Die Quantifizierung erfolgt differenziert nach Warengruppen und Verkehrsart – dementsprechend können unterschiedlichste Variablen(kombinationen) zur Anwendung gelangen. In die Analyse und damit in die funktionsbestimmenden Parameter gehen die retrospektiven Zeitreihen ein, während für die Prognose entsprechende Prospektivzeihen benötigt werden. Der räumliche Bezug erfolgt auf Länderebene – einerseits die Schweiz (für die hier relevanten Quell- und Zielverkehrsarten Binnen, Import und Export), andererseits Italien (für die dortigen Quell- und Zielverkehre bei Im- und Export als Grundmenge für den Transit durch die Schweiz).

Im Teilmodell 2 werden die in den warengruppenspezifischen Funktionen eingehenden Branchen-BWS zur strukturellen Aufteilung des im Teilmodell 1 erzeugten Gesamtverkehrs verwendet. Dafür wird 1 Wert je Zone benötigt¹⁵; hier also mit Bezug auf die MS-Regionen. Im Ergebnis können damit Aufkommensverschiebungen aufgrund räumlich differenzierter Strukturentwicklungen abgebildet werden.

Einflussparameter

Die Entwicklung der Strukturdaten wird von verschiedensten exogenen Parametern gesteuert. Diese sind Bestandteil demografischer und volkswirtschaftlicher Prozesse. Deren Ausprägungen werden nicht im Rahmen der AMG diskutiert. Stattdessen werden sie als Ergebnis weiterer, ebenfalls im Kontext der Verkehrsperspektiven realisierter Studien übernommen (SECO 2015, Ecoplan 2016).

Eingabe und Quellen

Die Strukturdaten werden im Anwendungstool der AMG in einer eigens dafür angelegten Excel-Datei vorgehalten und eingegeben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Herkunft der externen Datensätze.

¹⁵ Zusätzlich wird vom Teilmodell 1 auch der Regressionskoeffizient an das Teilmodell 2 weitergegeben (als Parameter zur Gewichtung). Da dies aber intern passiert und keiner exogenen Eingabe bedarf, zählen wir diese Datenübergabe hier nicht als Eingangsgrösse auf.

Tabelle 27: Quellen von Strukturdaten

Kenngrösse	Quelle retrospektiv	Quelle prospektiv
Einwohner Schweiz	BFS: STATPOP	BFS: Szenarien der Bevölkerungsentwicklung
Einwohner MS-Regionen	BFS: STATPOP	ARE: Tool Bevölkerung Beschäftigung
Einwohner Italien	DG EcFin: AMECO	DG EcFin: Ageing Reports
BIP Schweiz	SECO	SECO
BIP Italien	DG EcFin: AMECO	DG EcFin: Ageing Reports
Privater Konsum Schweiz	SECO	SECO
alternativ: Anteilsmodell		
Privater Konsum Italien	DG EcFin: AMECO	Anteilsmodell
Import Schweiz	SECO	SECO
alternativ: Anteilsmodell		
Import Italien	DG EcFin: AMECO	Anteilsmodell
Export Schweiz	SECO	SECO
alternativ: Anteilsmodell		
Export Italien	DG EcFin: AMECO	Anteilsmodell
Binnennachfrage	ermittelt aus BIP-(Exp-Imp)	ermittelt aus BIP-(Exp-Imp)

4.2.2. Intensitäten

Die Transportintensitäten geben das Verhältnis aus nachfragebeschreibender Kenngrösse und dem jeweiligen (gesamtmodalen) Transportaufkommen wieder.

Anwendung

Die Transportintensitäten dienen als eigentliche Stellschraube im Teilmodell 1 zur (Nach-) Steuerung der Nachfrageentwicklungen. Der mit den Strukturdaten hergestellte funktionale Zusammenhang gibt eine Entwicklung vor, welche in eine Intensität „übersetzt“ und damit plausibilisiert werden kann. Parallel zum funktional hergestellten Zusammenhang zwischen Branchen-BWS und warengruppenspezifischer Tonnage wird eine autonom agierende Intensität gebildet aus einem übergeordneten Leitdatum (idealerweise Bevölkerung, ansonsten BIP/Binnennachfrage/Konsum/Import/Export). Diese dient der Plausibilisierung des eigentlichen Zusammenhangs. Am Beispiel der bevölkerungsbezogenen pro-Kopf-Tonnage wird diese Plausibilisierung verständlicher, wenn bspw. die Prognose der Nahrungsmitteltonnage verifiziert wird.

Einflussparameter

Allfällige Veränderungen der Transportintensitäten sind mit sachlogischen Argumenten zu begründen. Dazu gehört v.a. die Veränderungen der Güterstrukturen: Massengüter weichen Stückgütern und selbst die Stückgüter diversifizieren sich in ihrer Struktur (Volumen, Komponenten, Materialien, Verpackung, Gewichte etc.). Im Ergebnis kann das Verhältnis aus Tonnen

je Franken gegenüber dem retrospektiv bestimmten Zusammenhang variieren. Ebenfalls Einfluss haben Effekte aus Veränderungen von logistischen Prozessen, wenn bspw. Lieferkonzepte umgestellt werden und zu Mehrfacherfassungen infolge inter- oder intramodaler Umschläge führen. Dann taucht die Tonnage mehrfach in der Statistik und damit auch in der Prognose auf – die dahinter stehende Branchen-BWS aber verändert sich deswegen nicht. Demzufolge muss das Verhältnis aus Tonnen zu Franken angepasst werden.

Eingabe und Quelle(n)

Die Eingabe der Intensitäten erfolgt im entsprechenden Userinterface des AMG-Tools. Dabei wird nicht die absolute Grösse modifiziert, sondern die relative Veränderung im Zeitablauf zwischen den Prognosejahren. Zur Unterstützung sieht der Nutzer die vom funktionalen Zusammenhang berechneten relativen Veränderungsraten – bei Bedarf können diese übersteuert und manuell modifiziert werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt, in welchem Segment und in welchem Grad im Rahmen der Verkehrsperspektiven bei den Intensitäten nachträglich Anpassungen notwendig wurden.

Tabelle 28: Modifikation der Transportintensitäten

Warengruppe	Binnen	Import	Export	IT-Import	IT-Export
01 Landwirtschaft	↓			↗	
02 Nahrungsmittel			↗	↘	↗
03 Energieträger	Zielprognose gemäss Energieperspektiven				
04 Erze, Steine und Erden			↘		
05 Baustoffe und Glas			↘		↗
06 Chemie und Kunststoffe	↘			↘	↘
07 Metalle und Halbzeug	↓	↘	↗		↘
08 Abfälle		↘			↓
09 Halb- und Fertigwaren				↘	↘
10 Stück- und Sammelgut	↗		↗		

↗ / ↘ geringe Modifikation

↑ / ↓ stärkere Modifikation

4.2.3. Angebotsbeschreibende Daten

Die angebotsbeschreibenden Daten beinhalten transportbeschreibende Kenngrössen zum Strassen- und Schienengüterverkehr. Dazu gehören die von den Infrastrukturen vorgegebenen Entfernungen und, in Verbindung mit den Geschwindigkeiten, die resultierenden Transportzeiten. Des Weiteren gehören entfernungsbezogene Kostensätze (als Gesamtkostensatz) zu diesen Daten, damit in Verbindung mit Elastizitäten modale Aufkommensveränderungen abgeleitet werden können. Als explizite Stellschrauben können jedoch auch der Modalshift wie auch

die Transportweite direkt modifiziert werden, was ebenfalls für den Routingshift gilt, mit dem allfällige Verschiebungen beim modalen Aufkommen der Alpenübergänge im Alpenbogen B eingestellt werden können.

Anwendung

Die angebotsbeschreibenden Daten finden prioritär Anwendung im Teilmodell 2 zur Ableitung von allfälligen Modalsplit-Verschiebungen (Modalshift) und zur Ermittlung von Veränderungen bei der Transportleistung im Prognosezeitraum. Mittels frei eingebbarer Zeit- und Kostenelastizitäten können Aufkommensverschiebungen zwischen Strassen- und Schienengüterverkehr quantifiziert werden. Grundlage sind die modalen Entfernungstafeln, welche aus dem auch im Personenverkehr zu Grunde gelegten Strassennetz abgeleitet wurden. Daraus lassen sich dann auch allfällige Veränderungen der modalen (mittleren) Transportweiten ableiten, die zusätzlich noch durch strukturelle Veränderungen beeinflusst werden können. Die Elastizitäten (vgl. Tabelle 29) und die Kostensätze¹⁶ können modal für 4 Gutarten (Logistiksysteme) variiert werden; die Geschwindigkeiten werden je Modus angegeben; Tableaus zu den differenzierten Kostensätzen sind im Anhang enthalten (Kostensätze Güterverkehr).

Tabelle 29: Elastizitäten zum Güterverkehr auf Zeit- und Kostenveränderungen

Warengruppe AMG	Strassengüterverkehr		Schienengüterverkehr	
	auf Zeit- veränderung	auf Kosten- veränderung	auf Zeit- veränderung	auf Kosten- veränderung
Landwirtschaft	-0.07	-0.27	-0.54	-2.10
Nahrungsmittel	-0.03	-0.13	-0.58	-2.24
Energieträger	-0.16	-0.95	-0.21	-1.23
Erze, Steine und Erden	-0.01	-0.14	-0.28	-2.78
Baustoffe und Glas	-0.01	-0.13	-0.28	-2.78
Chemie und Kunststoffe	-0.08	-0.52	-0.34	-2.14
Metalle und Halbzeug	-0.06	-0.31	-0.29	-1.39
Abfälle	-0.02	-0.12	-0.40	-2.54
Halb- und Fertigwaren	-0.06	-0.16	-0.56	-1.38
Stück- und Sammelgut	-0.01	-0.54	-0.02	-0.88

Quelle: Berechnungen auf Basis Rapp Trans AG und IVT ETH Zürich 2008; Ecoplan/INFRAS 2007; BVU/TNS 2014.

¹⁶ Dabei ist die absolute Ausprägung der Kostensätze nachrangig – relevant ist die Veränderung des jeweiligen Kostensatzes zwischen Basis- und Prognosejahr. Das Gedankenmodell übernimmt in diesem Fall die Transportkosten und setzt sie den Preisen (resp. der Veränderung der Preise) gleich, da nur diese nachfragesteuernde Wirkung besitzen. Dass die Preise aus den Kostenstrukturen resultieren ist naheliegend, muss aber nicht zwingend sein. Die Kostensätze sind als Gesamtkostensatz zu verstehen; allfällige Veränderungen der einzelnen Bestandteile dieses Kostensatzes können über entsprechende, vorgelagerte Gewichtungen berücksichtigt werden (bspw. wenn nur die Infrastrukturbenutzungsgebühren verändert werden sollen, so ist deren Anteil am Kilometerkostensatz aus der einschlägigen Literatur abzuschätzen und kann dann in eine gewichtete Gesamtveränderung eingebracht werden).

Im Teilmodell 1 werden diese im Teilmodell 2 quantifizierten Modalshifts und Transportweitenveränderungen eingelesen. Für Langfristprognosen kann es darüber hinaus sinnvoll sein, weitere Modalshifts und Transportweitenveränderungen einfließen zu lassen, die sich nicht mit den im Teilmodell 2 implementierten Berechnungen quantifizieren lassen. Beispielsweise kann die Umstellung von Lieferkonzepten zu (gewollten) Modalshifts führen, wenn ein Grossverteiler ein Zentrallager durch regionale Lager ersetzt, diese mit der Bahn anbindet und erst die lokale Belieferung auf der Strasse durchführt. Die Wirkung solcher Massnahmen können nur abgeschätzt oder aus entspr. Quellen entnommen werden; im Teilmodell 1 ist dann der zusätzliche Shift in Prozentpunkten gegenüber dem vom Teilmodell 2 ermittelten Modalsplit manuell anzugeben. Insgesamt stehen dazu im Binnenverkehr für die Warengruppen 1 bis 9 je ein und in der Warengruppe 10 zwei Eingabemöglichkeiten (aus hier drei beteiligten Verkehrsmitteln) zur Verfügung; für den Import und Export sind es jeweils 22 Werte. Beim Transit ist ein bimodaler Shift bezogen auf den italienischen Im- und Export veränderbar. Eine Übersicht zu den entsprechend iterativ modifizierten Modalshifts gibt die Tabelle 31.

Prinzipiell gilt Gleiches für die Transportweite, die manuell in Kilometer verändert werden kann; hier sind insgesamt 65 Eingabemöglichkeiten vorhanden. Eine solche Modifikation wurde jedoch im Rahmen der Verkehrsperspektiven nicht vorgenommen. Hier gelangen also direkt die im Teilmodell 2 auf Basis der dort, mit den NPVM-Netzen abgestimmten Entfernungstafeln, ermittelten Verkehrsleistungen in das Ergebnis. Manuell musste jedoch für den Schienengüterverkehr eine mittlere Streckenreduktion für die mit den Basistunneln (Gotthard und Ceneri) verbundene Streckenverkürzung hinterlegt werden. Dies wurde im Ergebnis vereinfacht nur für den Transitverkehr angenommen. Dort wurden 20 Kilometer von den aus dem Teilmodell 2 ableitbaren mittleren Transportweiten abgezogen.¹⁷ Dies wurde für alle Szenarien und Sensitivitäten gleichermassen vorgenommen.

Für den Routingshift im alpenquerenden Nord-Süd-Verkehr sind je Modus bis zu 11 Anteilsverschiebungen zwischen den jeweils 12 Alpenübergängen im Alpenbogen B einzugeben, so dass im Ergebnis die Entwicklung des Transitverkehrsaufkommens anhand der Aufkommensentwicklungen der Schweizer Alpenübergänge abgeleitet werden kann.

¹⁷ Die 20 Minder-Kilometer sind ein Durchschnittswert für alle Transit-Relationen durch die Schweiz. Die mit den Basistunneln von Gotthard und Ceneri verbundene Streckenkürzung von 30 Kilometer lässt sich nicht auf alle Relationen anwenden, da ein Teil des Transit via Lötschberg-Simplon und ein weiterer Teil via Luino verkehrt. Die methodisch «sauberere» Modifikation der Entfernungstafel ist im Schienengüterverkehr mangels Umlegungsverfahren nicht möglich – die pauschale Minderung um 20 Kilometer ist daher einer Veränderung der mutmasslich betroffenen Relationen in der Entfernungstafel vorzuziehen.

Einflussparameter

Die Veränderung der hier behandelten Kenngrößen ergibt sich aus entsprechenden Angebotsveränderungen (neue Infrastrukturen oder veränderte Systemgeschwindigkeiten). Allfällige Kostenveränderungen sind Annahmen im Rahmen eines Szenarios und können bspw. den bisherigen Trend aufnehmen oder bewusst ihm gegenüber variiert werden. Die Elastizitäten sollten nicht ohne triftigen Grund verändert werden – daher sind diese Einstellungen aus der AMG unverändert übernommen worden. Die im Teilmodell 2 bestehende Möglichkeit der freien Veränderung von Modalshift, Transportweite und Routingshift muss analog der Intensitätsdiskussion mit sachlogischen Argumenten abgestützt werden.

Eingabe und Quelle(n)

Die Angebotsbeschreibenden Daten werden im Teilmodell 2 vorgehalten; dazu sind entsprechende Tabellenblätter in diesem Teil des AMG-Tools angelegt. Die Möglichkeit der manuellen, zusätzlichen Modifizierung von Modalshift, Transportweite und Routingshift ist im Teilmodell 1 des AMG-Tools in den entspr. Userinterfaces für Modalsplit, Transportleistung und Prognose AQGV implementiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Herkunft der externen Datensätze zur Angebotsbeschreibung.

Tabelle 30: Quellen Angebotsbeschreibender Daten zur AMG

Kenngrösse	Quelle retrospektiv	Quelle prospektiv
Entfernung Lkw	NPVM, transformiert auf MS-Regionen	je nach Szenario/Annahme siehe Szenarioübersicht im Anhang
Entfernung Bahn	NPVM, transformiert auf MS-Regionen	je nach Szenario/Annahme
Geschwindigkeit Lkw	Annahme (mittlerer Erfahrungswert)	je nach Szenario/Annahme
Geschwindigkeit Bahn	Annahme (mittlerer Erfahrungswert)	je nach Szenario/Annahme
Kostensatz Lkw	BAV: NEAT-Studie	je nach Szenario/Annahme
Kostensatz Bahn	BAV: NEAT-Studie	je nach Szenario/Annahme
Zeit-Elastizität Lkw	BMVI: BVWP 2030	keine Veränderung
Zeit-Elastizität Bahn	BMVI: BVWP 2030	keine Veränderung
Kosten-Elastizität Lkw	BMVI: BVWP 2030	keine Veränderung
Kosten-Elastizität Bahn	BMVI: BVWP 2030	keine Veränderung
Modalshift	BFS: Transportstatistik BAV: AlpInfo	Modifikation vgl. Tabelle 31
Transportweite	BFS: Transportstatistik	je nach Szenario/Annahme
Routingshift	BAV: AlpInfo	keine Veränderung

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zu den Teilsegmenten, bei denen im Teilmodell 1 eine Modifikation des Modalshift nach Durchlaufen der Kostenfunktionen vom Teilmodell 2 erfolgte.

Tabelle 31: Modifikation des Modalshift

Warengruppe	Binnen	Import	Export	IT-Import	IT-Export
01 Landwirtschaft	↗	Niveau + ↗			
02 Nahrungsmittel					
03 Energieträger					
04 Erze, Steine und Erden					
05 Baustoffe und Glas					
06 Chemie und Kunststoffe	Niveau + ↗				
07 Metalle und Halbzeug		Niveau + ↗			
08 Abfälle					
09 Halb- und Fertigwaren					
10 Stück- und Sammelgut WLV	↗				
10 Stück- und Sammelgut UKV	↑	↗	↗		
Transit top down (WLV + UKV)					↗

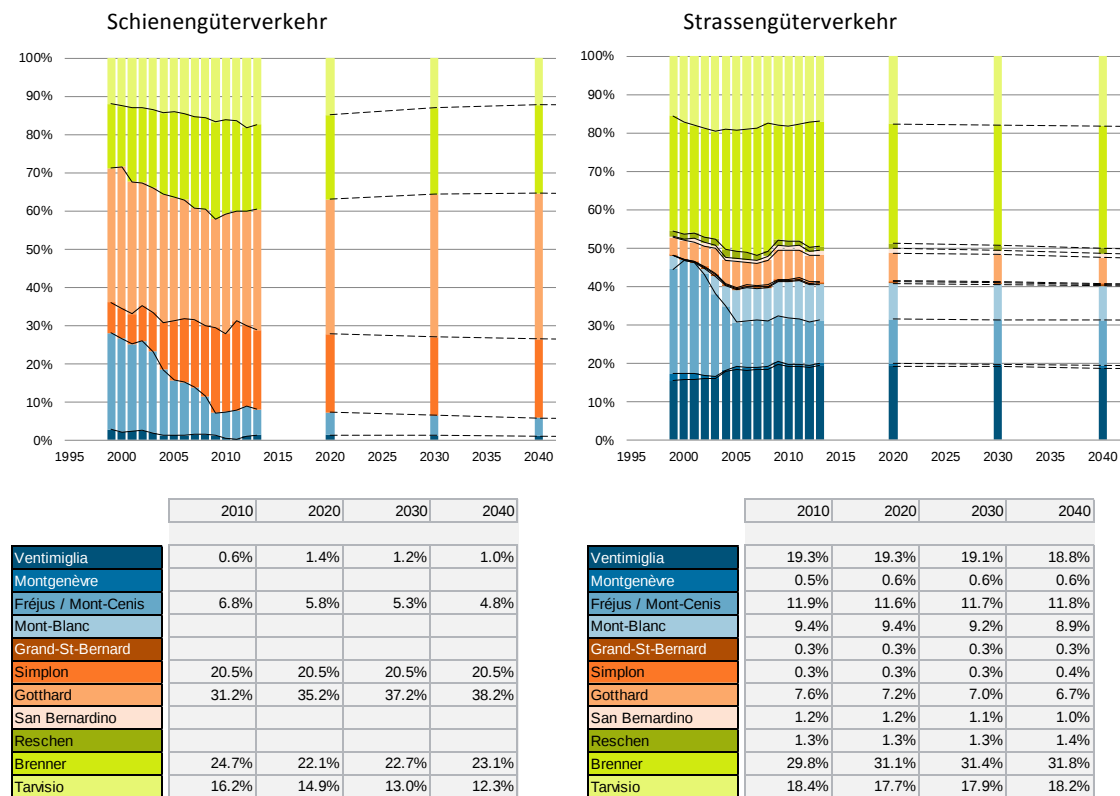
↗ / ↘ geringe Modifikation

↑ / ↓ stärkere Modifikation

Niveau: Korrektur von konjunkturell bedingten Kurzfristveränderungen auf das Niveau des Basisjahres 2010

Der Routingshift für den alpenquerenden Nord-Süd-Verkehr wurde wie folgt eingestellt:

Abbildung 15: Modifikation des Routingshifts im alpenquerenden Nord-Süd-Verkehr



Quelle: Modellierung AMG.

4.2.4. Sonstige Eingangsgrößen

Über die bis hierher genannten Eingangsgrößen werden weitere spezielle Kenngrößen benötigt. Dazu zählt die empirische Datenbasis zum Strassengüterverkehr aus Gütertransporterhebung (GTE) und Erhebung grenzquerender Güterverkehr (GQGV) sowie die Erhebung zum Lieferwagenverkehr (LI). Ebenso benötigt werden Lkw-Auslastungen und Leerfahrtenanteile.

Anwendung

Die Erhebungsdaten aus GTE, GQGV und LI dienen einerseits der Aufstellung der Wunschlinienmatrizen zum Basisjahr und andererseits der Zuordnung dieser nach MS-Regionen differenzierter Matrizen zu den Zonen des NPVM. Die Datensätze der Erhebungen können mit dem AMG-Tool im Teilmodell 2 eingelesen und analysiert werden.

Mit der Lkw-Auslastung werden die Tonnage-Matrizen in Fahrzeuge umgerechnet, so dass sie anschliessend – über Anwendung einer zusätzlichen, räumlichen Disaggregation – in die NPVM-Matrizen überführt werden können. Die Auslastungsgrade können nach 4 Gutarten (Logistikklassen) und 3 Entfernungsstufen angegeben werden (für weitergehende Erläuterungen, vgl. ARE 2015b). Der Leerfahrtenanteil steuert die Zuordnung von Leerfahrten zu den Logistikklassen, so dass damit die Fahrzeug-Matrizen vervollständigt werden können. Diese Parameter wurden nicht verändert.

Einflussparameter

Die Einflüsse auf die sonstigen Kenngrößen sind eng begrenzt und können de facto nur bei den Auslastungen durch Veränderungen in den Güterstrukturen oder in den logistischen Prozessen beeinflusst werden.

Eingabe und Quelle(n)

Die angebotsbeschreibenden Daten werden im Teilmodell 2 vorgehalten; dazu sind entsprechende Tabellenblätter in diesem Teil des AMG-Tools angelegt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Herkunft der sonstigen Datensätze.

Tabelle 32: Quellen sonstiger Eingangsgrößen

Kenngrösse	Quelle retrospektiv	Quelle prospektiv
GTE/GQGV/LI	BFS: entspr. Erhebungen	nicht benötigt
Lkw-Auslastung	BFS: GTE/GQGV/LI	je nach Szenario/Annahme
Leerfahrtenanteil	BFS: GTE/GQGV/LI BMVI: BVWP 2030	je nach Szenario/Annahme
Tagesfaktor	freier Wert	keine Veränderung
Abschneidewert	freier Wert	keine Veränderung
Singuläre Verkehrserzeuger	ARE: NGVM	keine Veränderung

4.2.5. Aussenverkehre zum Güterverkehr

Im Gegensatz zum Personenverkehr resp. zum NPVM modelliert die AMG auch alle für den Güterverkehr relevanten Aussenverkehre – wenn auch mit methodisch bedingten Einschränkungen insbesondere für den routenwahlsensiblen Transitverkehr. Daher wurde für die Aussenverkehre – analog zum Personenverkehr – geprüft, inwiefern externe Daten aus Transtools allfällige Unsicherheiten hinsichtlich der Aussenverkehrsdaten aus der AMG verringern können.

Im Ergebnis dieses Vergleichs zwischen den Wunschlinienmatrizen von Transtools und dem TM2 der AMG ergab sich folgendes Fazit: Transtools wird nicht als geeignete Quelle eingeschätzt, um allfällige Plausibilisierungen der mit dem TM2 erstellten Matrizen für die Aussenverkehre durchzuführen. Dabei sind folgende Punkte in Rechnung zu stellen:

- bereits die vergleichbaren Ausgangszustände zeigen in den absoluten Aufkommenshöhen auf den einzelnen, aber auch auf den aggregierten Relationen deutliche Unterschiede zwischen beiden Quellen – sowohl für die Strasse wie auch für die Schiene,
- diese Unterschiede zeigen auf relationaler Ebene keine Systematik, da sich die Differenzen je nach Relation teilweise im Vorzeichen umkehren,
- gesetzt der Annahme, dass die Verzerrungen systematisch wären, könnten allenfalls der Modalsplit resp. dessen Verschiebungen Hinweise für die AMG liefern – darauf wurde jedoch ebenfalls verzichtet, da auch hier beim Vergleich der modalen Anteile im Ausgangszustand zu grosse Unterschiede festzustellen sind.

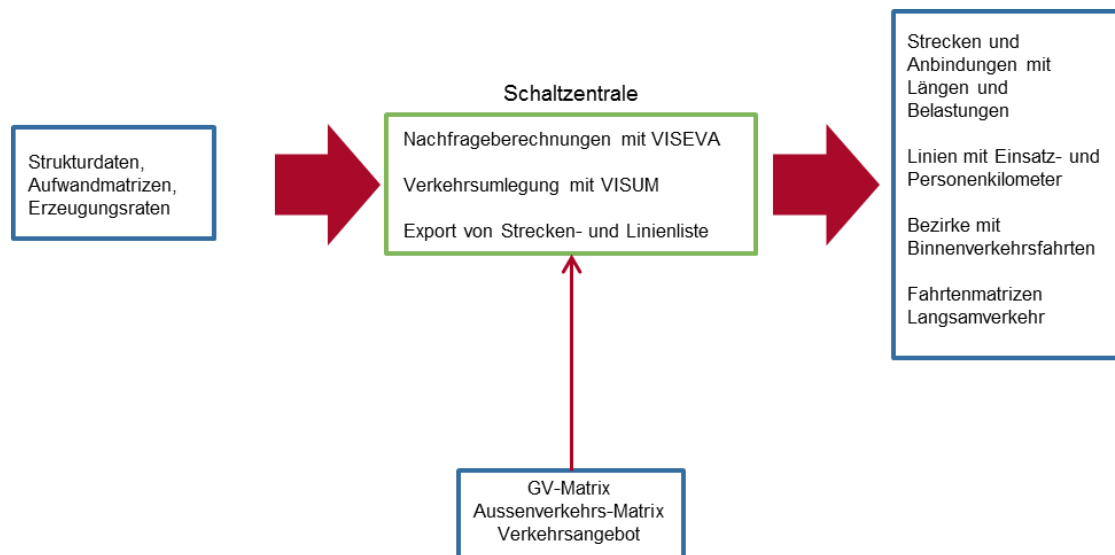
Daher wurde entschieden, dass die Aussenverkehre zum Güterverkehr von der AMG modelliert und somit nicht von einer externen Quelle übernommen werden. Die AMG behandelt dabei den Aussenverkehr (Im- und Export sowie Transit) mit den gleichen Wirkungszusammenhängen wie den Binnenverkehr – mit den entsprechend dazu geeigneten Erklärungsgrössen (Details siehe ARE 2015a).

5. Modul 2: Schaltzentrale für Visum und Viseva

5.1. Übersicht und Aufgabe des Skriptes

Aufbauend auf den Strukturdaten, Aufwandsmatrizen und Erzeugungsraten aus dem NPVM 2010 bzw. aus dem Modul 1 des Excel-Tools und den Güterverkehrsmatrizen aus der AMG erfolgt im Modul 2 die Berechnung der Verkehrsströme und der Netzbelastung.

Abbildung 16: Aufbau Modul 2



Quelle: Eigene Darstellung.

Die eigentlichen Berechnungen erfolgen inhaltlich weitestgehend exakt nach den Vorgaben bzw. der Dokumentation des NPVM 2010 mit der Software Viseva und Visum. Integriert in das Excel-Tool ist eine sogenannte Schaltzentrale. Deren Aufgabe ist es:

- Die vorhandenen Programme softwaretechnisch zu verbinden. Damit entsteht ein durchgängiger Berechnungsprozess, ohne dass zwischenzeitlich eine manuelle Bedienung notwendig ist.
- Die bisherigen manuellen Tätigkeiten (z.B. Aufbereitung der Kenngrößenmatrizen) in transparenter Weise zu automatisieren. Damit entsteht eine allen Bearbeitern zugängliche und verständliche Dokumentation. Zudem verringert sich mit der Automatisierung die Fehleranfälligkeit des Prozesses insgesamt.
- Das Auslesen der Ergebnisse zu automatisieren und damit die Grundlage für Auswertungen zu schaffen.

Analog zum bestehenden Arbeitsprozess im NVPM 2010 werden in der Schaltzentrale die folgenden Modelle und Algorithmen integriert:

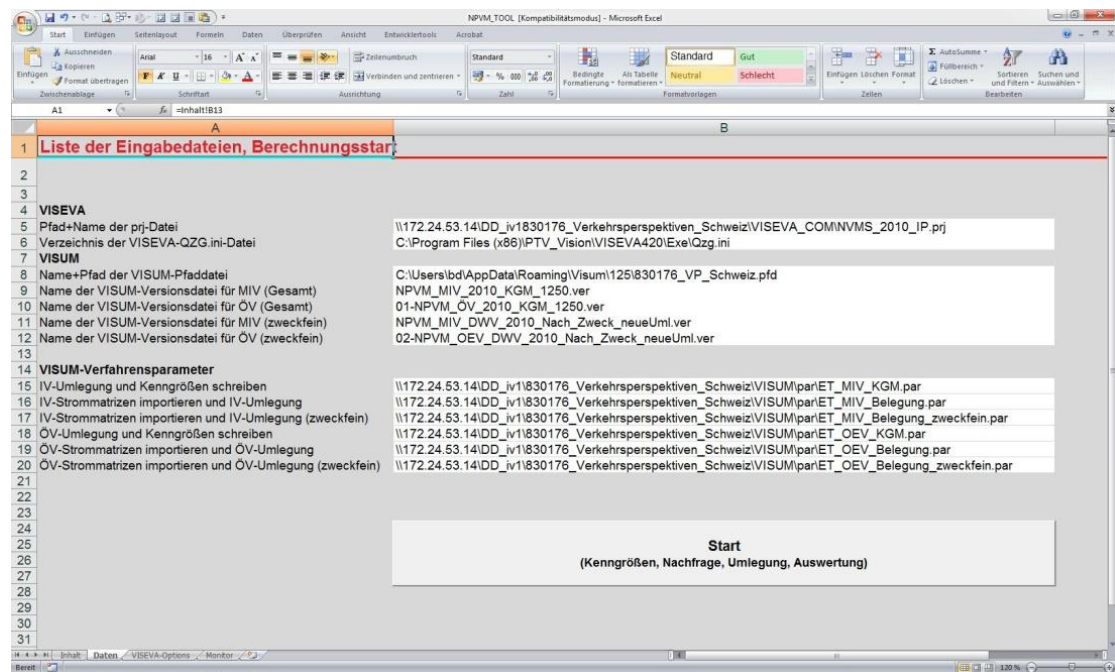
- Mit der Software **Viseva** werden die Verkehrsnachfragematrizen (NFM) berechnet. Dazu werden Strukturgrößen, Mobilitätskennwerte und Kenngrößenmatrizen (KGM) verwendet.
- In Visum liegt das **Infrastrukturangebot** in zwei verschiedenen Visum-Versionsdateien vor – eine für den MIV und eine für den ÖV. Die Kenngrößen für den Langsamverkehr werden aus dem MIV-Angebot abgeleitet.
In Visum werden einerseits die NFM eingelesen und umgelegt und andererseits die KGM auf Basis der Netzbelastung berechnet.
- Die Kenngrößenmatrizen werden vor ihrer Verwendung in Viseva aufbereitet. Bisher erfolgte die Bearbeitung der ca. 30 Kenngrößenmatrizen manuell, die vielfachen Modellläufe im Zuge der Abbildung aller Szenarien/Sensitivitäten der Verkehrsperspektiven begründen die Umstellung auf eine stärker automatisierte Aufbereitung in der Schaltzentrale.
- Die Aufbereitung der Nachfragematrizen vor ihrer Verwendung für eine Visum-Umlegung erfolgte bisher ebenfalls manuell, so z. B. die Umrechnung von Personen-Wege auf Kfz-Wege mit dem Besetzungsgrad. Diese Arbeitsschritte wurden ebenfalls automatisiert.
- Die Matrixkorrektur (siehe dazu Kapitel 7.2.4) erfolgt vor der Umlegung. Für diese Arbeit wurde ein mehrstufiger Algorithmus erarbeitet, der ebenfalls automatisch abläuft.
- Zur Berechnungsroutine eines Verkehrsmodells gehört ein Auswertungswerkzeug. Die Auswertungen – gleich wie aggregiert oder detailliert – ermöglichen die Plausibilisierung, die Dokumentation und die Bewertung eines Szenarios und sind für den Bearbeiter deshalb eine wesentliche Grundlage. In der Schaltzentrale erfolgt die Berechnung von vereinbarten Auswertgrößen (z.B. Verkehrsleistung) automatisch.

5.2. Technische Umsetzung der Schaltzentrale

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die technische Umsetzung. Eine detaillierte Anleitung findet sich im Anhang. Die Schaltzentrale wurde als objektorientiertes VBA-Makro umgesetzt. Das Makro „hängt“ an einer Excel-Datei. Die Excel-Datei wird gleichzeitig zur Dateneinhaltung genutzt, um z.B. Namen für die Visum-Versionsdateien abzulegen und zu sichern. Abbildung 17 zeigt das Hauptblatt der Schaltzentrale mit den Angaben der Versionsdateien, Viseva-Projektdateien und Visum-Verfahrensparameterdateien. Die Schaltzentrale löst die jeweiligen Berechnungsprozeduren (Berechnung Nachfragematrizen mit Viseva, Umlegung in Visum, Behandlung von Matrizen) aus und organisiert den notwendigen Datenaustausch zwischen den Programmen. Neu ist, dass die bisherigen Zwischenschritte z. B. zur Behandlung der Kenngrößenmatrizen jetzt als Verfahrensschritte in Visum umgesetzt und als Verfahrensparameterdatei gesichert sind. Vom Makro wird lediglich ausgelöst, dass die Visum-Version die passende Verfahrensparameterdatei liest und ausführt. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass die Schritte

- auf diesem Wege automatisch ablaufen,
- für alle Visum-Nutzer in lesbarer Form dokumentiert sind,
- sich Teilalgorithmen in bequemer Form einzeln, d.h. ohne Makro testen lassen, und
- bekannte und dokumentierte „Bordmittel“ einer ohnehin im Einsatz befindlichen Software verwendet wurden.

Abbildung 17: Datenblatt NPVM-Schaltzentrale



Quelle: Excel-Tool.

Die Gesamtmenge der Verfahrensschritte wird in sechs verschiedenen Dateien abgelegt:

- „MIV-Umlegung und KGM“: Berechnen der Umlegung auf Basis der vorhandenen Nachfragematrix und Export der MIV- und LIV-Kenngrößen,
- „MIV-Umlegung gesamt“: Umlegung der MIV-Gesamtmatrix und Auswertung,
- „MIV-Umlegung zweckfein“: Umlegung der zweckfeinen MIV-Matrizen und Auswertung,
- „ÖV-Umlegung und KGM“: Berechnen der Umlegung auf Basis der vorhandenen Nachfragematrix und Export der ÖV-Kenngrößen,
- „ÖV-Umlegung gesamt“: Umlegung der zweckfeinen ÖV-Matrizen und Auswertung,
- „ÖV-Umlegung zweckfein“: Umlegung der zweckfeinen ÖV-Matrizen und Auswertung.

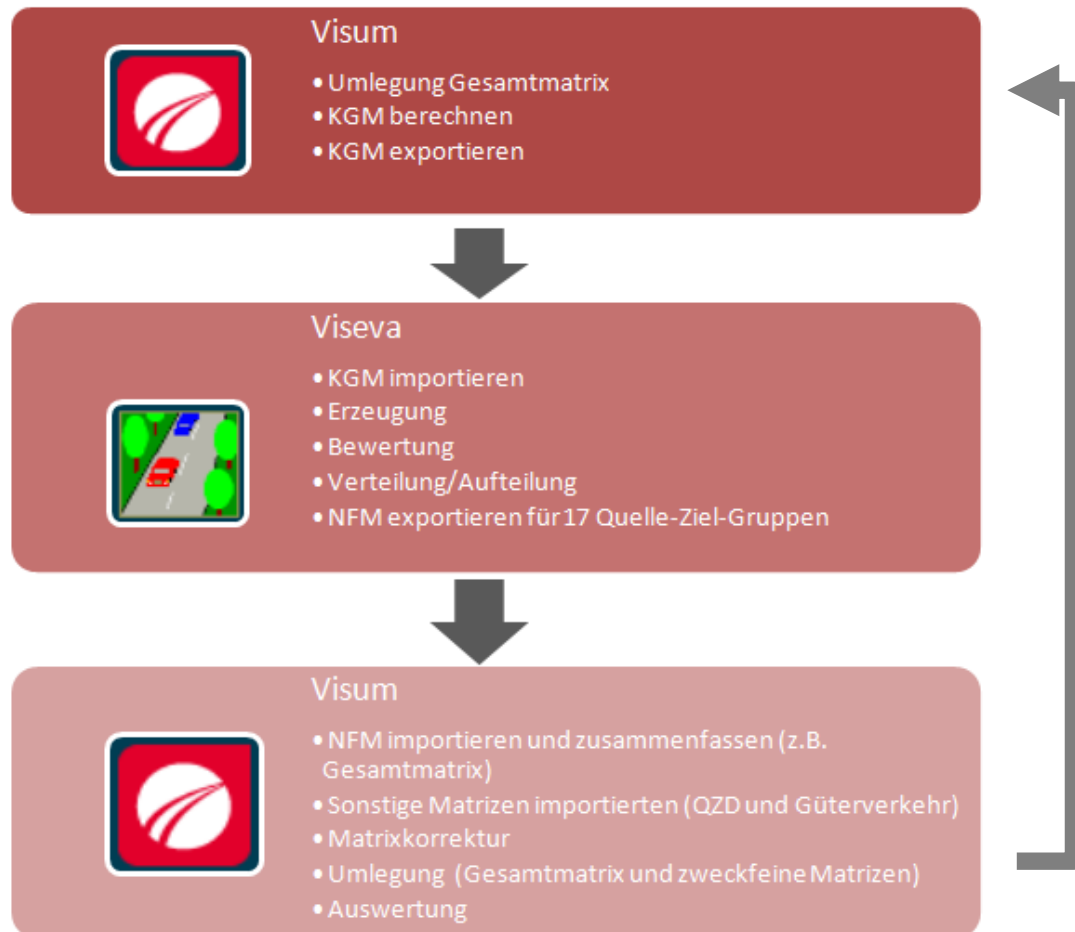
Abbildung 18 stellt dar, wie der gesamte Berechnungsablauf innerhalb der Schaltzentrale gegliedert ist:

- Beim ersten Visum-Aufruf erfolgt das Schreiben der Kenngrößenmatrizen mit den entsprechenden Verfahrensparameterdateien. Nacheinander werden hierfür die ÖV- und die MIV-Version geöffnet.
- Die im Verzeichnis befindlichen, neu erstellten Kenngrößenmatrizen werden in einem zweiten Schritt von Viseva gelesen. Viseva führt alle Berechnungen bis zum Export der Nachfragematrizen aus.
- Im dritten Schritt wird wiederum Visum geöffnet und Verfahrensschritte abgearbeitet, u.a. das Einlesen der neu erstellten Nachfragematrizen. Dieser Schritt erfolgt insgesamt vier Mal: für beide Verkehrsarten jeweils für die Umlegung der Gesamtmatrix und der zweckfeinen Matrizen.

Um ein eingeschwungenes System als Lösung der Berechnungen zu erhalten und somit die Vergleichbarkeit verschiedener Szenarien zu gewährleisten, wird der oben beschriebene Prozess in mehreren Iterationsschritten wiederholt. Die Anzahl der notwendigen Iterationsschritte ist abhängig vom Prognosehorizont und wurde nach entsprechenden Untersuchungen wie folgt festgelegt:

- Prognosehorizont 2020: 7 Iterationen
- Prognosehorizont 2030: 9 Iterationen
- Prognosehorizont 2040: 11 Iterationen

Abbildung 18: Ablauf der Berechnung in der NVPM-Schaltzentrale



Quelle: Eigene Darstellung.

Am Ende liegen vier Versionsdateien mit einer entsprechenden Netzbelastung und zugehörigen Auswertung vor.

Info

Das Makro nimmt keine eigenen Berechnungen vor, sondern löst lediglich Berechnungsschritte aus. Damit ist es keine Black-Box-Anwendung.

5.3. Subroutine „Auswerteskript“

Nach der Berechnung der Szenarien sollen die Ergebnisse in übersichtlicher Form zusammengefasst werden. Dies geschieht im Modul 3 des Excel-Tools, das in Kapitel 6 beschrieben wird. Die Subroutine „Auswerteskript“ stellt die dafür benötigten Daten zur Verfügung.

Dazu wird ein Python-Script benutzt, welches die Visum-Daten über die Zwischenablage nach Excel kopiert. Die Auswahl der Spalten und Zeilen in den entsprechenden Listen werden anhand der Datenanforderungen des Moduls 3 definiert. Das Script wird von Visum aus über die Einbindung als ein Verfahrensschritt gestartet. Der Aufruf erfolgt, nachdem die Iterationen zwischen Visum und Viseva abgeschlossen, die Fahrtenmatrizen umgelegt sind und die Berechnung der Gebietskennzahlen im ÖV durchgeführt wurde.

Das Ergebnis ist eine Excel-Datei, die alle Visum-Listen aufnimmt („Rohdaten“). Diese werden dann vom Modul 3 eingelesen. Als Datenquelle wird ausschliesslich Visum angesprochen. Dies ist möglich, da alle relevanten Viseva-Daten (z. B. Strommatrizen, Aufwandsmatrizen) entweder in Visum erstellt oder in Visum importiert werden. Die Konzentration auf Visum als Datenhaltung erfolgt vor dem Hintergrund, dass die Bibliotheken für die COM-Schnittstelle deutlich umfangreicher und schneller sind und durch den Hersteller ein Support angeboten wird.

Eine detaillierte Anleitung zur Verwendung des Auswerteskripts findet sich im Anhang.

6. Modul 3: Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistung

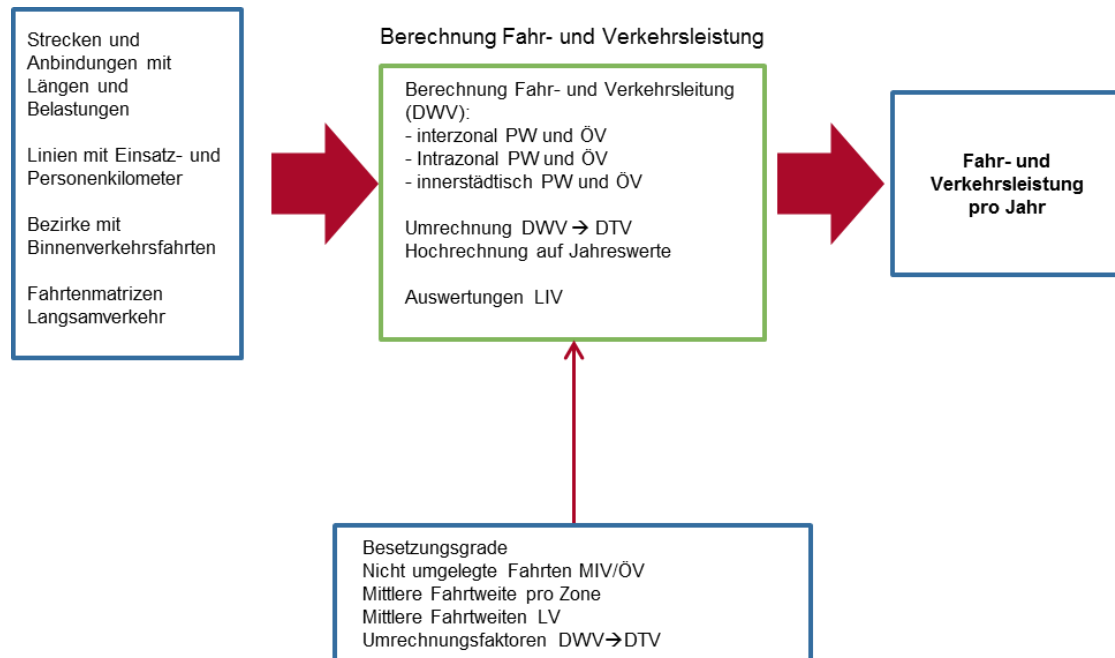
6.1. Überblick

Die Aufgabe des Moduls 3 ist die Zusammenfassung der Ergebnisse der Szenarienberechnungen. Diese Zusammenfassung dient der Auswertung und der Dokumentation, unterstützt die Plausibilitätsprüfung und ermöglicht die Darstellung der Entwicklung zwischen den verschiedenen Szenarien. Dazu werden insbesondere die Fahr- und Verkehrsleistungen berechnet und auf Jahreswerte hochgerechnet. Alle Auswertungen erfolgen, sofern nicht anders beschrieben, sowohl für die Gesamtverkehrsmengen als auch getrennt nach Fahrtzwecken. Die Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen erfolgt für die folgenden Verkehre:

- Verkehrsaufkommen Personenverkehr
- Zonenbinnenverkehr Personen- und Güterverkehr
- Interzonaler Verkehr Personen- und Güterverkehr
- Langsamverkehr

Die Berechnung erfolgt für jede Art des Verkehrs nach dem gleichen Ablauf, der in Abbildung 19 schematisch dargestellt ist. Aufbauend auf den Eingangsdaten – dargestellt in der linken blauen Box – und einer Reihe von Annahmen – dargestellt in der unteren blauen Box – werden die DWV-Werte des NPVM auf Jahreswerte hochgerechnet und dann in Ergebnistabellen – rechte blaue Box – zusammengefasst.

Abbildung 19: Aufbau Modul 3



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Eingangsdaten werden direkt aus Viseva oder nach den MIV- und ÖV-Umlegungen aus Visum in eine Excel-Tabelle geschrieben. Die Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen erfolgt dann in miteinander verknüpften Excel-Tabellen für die oben genannten Verkehre. Anschließend werden die Ergebnisse je Szenario für die verschiedenen Zeitzustände in weiteren Excel-Dateien zusammengefasst. Die für die Hochrechnung benötigten Annahmen und Netzelementattribute sind direkt im Excel-Tool hinterlegt. Dazu gehören insbesondere:

- Differenzierung der Netzelemente,
- Umrechnungsfaktoren von DWV auf DTV,
- Besetzungsgrade,
- Wegelängen für den Zonenbinnenverkehr,
- Modal Split Faktoren und Wegelängen für den Langsamverkehr,
- Annahmen für den Güterverkehr.

Im Folgenden werden zunächst diese Annahmen und Attribute beschrieben, bevor die Auswertungen dargestellt werden.

6.2. Herleitung der Annahmen und Netzattribute

6.2.1. Differenzierung der Netzelemente

Neben dem Ausweisen nationaler Eckwerte sollen im Rahmen der Verkehrsperspektiven auch räumlich und inhaltlich differenzierte Auswertungen möglich sein. Dazu wurden den Strecken, Anbindungen und Bezirken des NPVMs verschiedenen Attribute zugespielt. Dazu gehören:

- Gemeindetypen,
- MS-Regionen,
- Aggregierte Streckentypen,
- Innerorts/Ausserorts Lage.

Gemeindetypen

Es werden die 9 Gemeindetypen des ARE (Grosszentren, Nebenzentren der Grosszentren, Gürtel der Grosszentren, Mittelzentren, Gürtel der Mittelzentren, Kleinzentren, Periurbane ländliche Gemeinde, Agrargemeinden, Touristische Gemeinden) verwendet. Die Zuordnung der Zonen zu den Gemeindetypen wurde aus den Arbeiten zur Modellierung der Raumstruktur (vgl. Kapitel 3.2) übernommen. Die Attribuierung der Strecken mit Gemeindetypen erfolgte durch Verschneiden eines Shapefiles der Gemeindetypflächen mit den Strecken des NPVMs und manueller Nachbearbeitung von Strecken, die nicht automatisch zugeordnet werden konnten. Für die Anbindungen wird jeweils der Gemeindetyp der Zone verwendet.

MS-Regionen

Die MS-Regionen sind als Oberbezirke in den Visum-Versionen hinterlegt. Dies ermöglicht es die Matrizen auf dieser Ebene zusammen zu fassen. Dazu wird jede Verkehrszone einem Oberbezirk zugewiesen. Im Inland entspricht jeder Oberbezirk einer von 106 MS-Regionen und ist als Polygon beschrieben. Für das Ausland wurde ein Oberbezirk „Ausland“ ohne Polygon definiert.

Die Attribuierung der Strecken mit MS-Regionen erfolgte durch Verschneiden der Oberbezirkspolygone mit den Strecken des NPVMs und manueller Nachbearbeitung von Strecken, die nicht automatisch zugeordnet werden konnten. Für die Anbindungen wird jeweils die MS-Region der Zone verwendet. Abschliessend erfolgt die Differenzierung der Netzelemente nach Lage in der Schweiz und im Ausland auf Basis der MS-Regionen.

Aggregierte Streckentypen

Für eine differenzierte Auswertung der Fahr- und Verkehrsleistungen nach Streckentypen wurden die VISUM-Streckentypen zu fünf Kategorien gemäss ARE (2012): 1) HLS: Bund, 2) HLS: Kanton, 3) HVS, 4) Sammel- und Erschliessungsstrassen, 5) Ausland zusammengefasst. Auf Basis von Auswertungen des ARE wurde jeder NPVM Streckentyp einer dieser Kategorien zugewiesen und im Attribut „TYP_LEISTUNG“ abgelegt.

Für die Auswertungen im Rahmen der Verkehrsperspektiven wurden die Kategorien 1) HLS: Bund und 2) HLS: Kanton zu einem Typ HLS zusammengefasst. Der Verkehr auf den Anbindungen wird vollständig den Sammel- und Erschliessungsstrassen zugeordnet. Für den Zonenbinnenverkehr wird angenommen, dass ein Drittel auf HVS-Strecken und zwei Drittel auf Sammel- und Erschliessungsstrassen stattfindet.

Innerorts/Ausserorts Lage

Die Berechnung der Innerorts- und Ausserortsanteile der Strecken wurde durch das ARE anhand des VECTOR25 vorgenommen. Dazu wurden die Strecken mit den Siedlungsgebieten verschnitten und die anteiligen Ergebnisse in den Attributen „IO_Anteil“ und „AO_Anteil“ abgelegt. Der Verkehr auf den Anbindungen und der Zonenbinnenverkehr wird vollumfänglich dem Innerortsverkehr zugerechnet.

6.2.2. Umrechnung von DWV auf DTV

Das NPVM berechnet die Fahrleistung für einen durchschnittlichen Werktag (DWV). Für die Hochrechnung der Verkehrsleistung auf Jahreswerte muss daher der DWV zunächst in einen durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor DWV -> DTV ist pro Strecke, Anbindung und Zone zu bestimmen. Der Umrechnungsfaktor im MIV wird anhand der Norm SN 640 005b bestimmt. Darin sind Umrechnungsfaktoren pro Fahrtrichtung und Zählstelle angegeben. Für die Übertragung der Faktoren auf Strecken, Anbindungen und Bezirke wird folgendes Vorgehen gewählt:

- Pro Standort wird aus den Zähldaten für den DWV und den DTV ein mittlerer Umrechnungsfaktor berechnet (Mittelwert der beiden Faktoren pro Fahrtrichtung). Für die übrigen Strecken werden die Umrechnungsfaktoren mittels netzwerkbasierter Interpolation und einem Inverse Distance Weighting entlang der Netzwerkgeometrie ermittelt. Auf diese Weise werden für die ganze Schweiz flächendeckend Umrechnungsfaktoren bestimmt.
- Für Strecken und Anbindungen werden ihre jeweiligen Mittelpunkte bestimmt und der Umrechnungsfaktor aus dem interpolierten Datensatz am jeweiligen Ort des Mittelpunkts übernommen.

- Für Bezirke wird der Umrechnungsfaktor als Mittelwert der Umrechnungsfaktoren der im Bezirk befindlichen Links ermittelt.
- Für den ÖV wurden Karten mit streckenbezogenen Umrechnungsfaktoren von DWV auf DTV von der SBB zur Verfügung gestellt und in Umrechnungsfaktoren für die Strecken des NPVMs übersetzt. Die Umrechnungsfaktoren für fehlende Strecken werden mit einem Verfahren analog dem im MIV abgeleitet.

Da für die Strecken, Bezirke und Anbindungen im Ausland keine Angaben zum Verhältnis zwischen DWV und DTV vorliegen, werden für diese die Durchschnittswerte der Umrechnungsfaktoren auf den jeweiligen Netzelementen im Inland berechnet und den ausländischen Netzelementen zugewiesen. Für die Strecken im MIV wurden diese Durchschnittswerte nach Streckentypen differenziert.

6.2.3. Besetzungsgrade

Für den MIV werden die Modellergebnisse jeweils als Fahrzeugaufkommen und -belastungen ausgegeben. Für die Auswertung müssen diese in Personenaufkommen und -belastungen umgerechnet werden. Dies erfolgt mittels Besetzungsgraden. Für jedes Szenario ist jeweils ein Besetzungsgrad je Fahrtzweck und für den DWV respektive DTV definiert.

Tabelle 33: Besetzungsgrade für das Referenzszenario und die Alternativszenarien

Szenario	Fahrzweck	DWV				DTV			
		2010	2020	2030	2040	2010	2020	2030	2040
Referenz	Arbeiten	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
	Ausbildung	1.26	1.26	1.26	1.26	1.36	1.36	1.36	1.36
	Einkauf	1.41	1.41	1.41	1.41	1.64	1.64	1.64	1.64
	Freizeit	1.54	1.54	1.54	1.54	1.99	1.99	1.99	1.99
	Nutzfahrt	1.62	1.62	1.62	1.62	1.24	1.24	1.24	1.24
	Gesamt	1.38	1.38	1.38	1.38	1.63	1.63	1.63	1.63
Balance	Arbeiten	1.12	1.14	1.16	1.18	1.12	1.14	1.16	1.18
	Ausbildung	1.26	1.28	1.30	1.32	1.36	1.38	1.41	1.43
	Einkauf	1.41	1.44	1.48	1.51	1.64	1.68	1.72	1.75
	Freizeit	1.54	1.59	1.64	1.69	1.99	2.06	2.12	2.19
	Nutzfahrt	1.62	1.63	1.65	1.66	1.24	1.25	1.26	1.27
	Gesamt	1.38	1.41	1.45	1.48	1.63	1.68	1.73	1.78
Sprawl	Arbeiten	1.12	1.11	1.10	1.09	1.12	1.11	1.10	1.09
	Ausbildung	1.26	1.25	1.24	1.23	1.36	1.35	1.34	1.33
	Einkauf	1.41	1.39	1.36	1.34	1.64	1.61	1.59	1.56
	Freizeit	1.54	1.49	1.44	1.39	1.99	1.92	1.86	1.79
	Nutzfahrt	1.62	1.61	1.59	1.58	1.24	1.23	1.22	1.21
	Gesamt	1.38	1.36	1.33	1.31	1.63	1.60	1.56	1.53
Fokus*	Arbeiten	1.12	1.11	1.11	1.10	1.12	1.11	1.11	1.10
	Ausbildung	1.26	1.25	1.24	1.23	1.36	1.35	1.34	1.33
	Einkauf	1.41	1.39	1.36	1.34	1.64	1.61	1.58	1.56
	Freizeit	1.54	1.53	1.51	1.50	1.99	1.97	1.95	1.94
	Nutzfahrt	1.62	1.63	1.63	1.64	1.24	1.25	1.25	1.26
	Gesamt	1.38	1.36	1.35	1.33	1.63	1.61	1.59	1.58

* Im Szenario Fokus entsprechen die dargestellten Werte den gewichteten Mittelwerten aus den Besetzungsgraden für Stadt und Land (vgl. Anhang). Die Gewichtung erfolgt auf Basis der Fahrtenaufkommen in der Quell-Zielmatrix.

Für den Analysezustand 2010, das Referenzszenario und die Sensitivitäten werden im DWV die Besetzungsgrade aus dem NPVM und im DTV die Besetzungsgrade vom BFS auf Basis von Auswertungen des MZMV 2010 verwendet (BFS 2012b). In den Alternativszenarien werden die Besetzungsgrade auf Grundlage der Szenarioannahmen (vgl. Kapitel 8) variiert. Die Annahmen wurden jeweils für den DWV 2040 definiert und zwischen 2010 und 2040 linear fortgeschrieben. Bei den DTV Besetzungsgraden wurden jeweils die gleichen Entwicklungsraten wie im DWV unterstellt.

6.2.4. Wegelängen für den Zonenbinnenverkehr

Für die Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen im Zonenbinnenverkehr mussten Annahmen zu den durchschnittlichen Reiseweiten je Verkehrsmittel getroffen werden. Für den Personenverkehr wurden diese aus dem MZMV 2010 differenziert nach den 9 Raumtypen des ARE ermittelt. Die verwendeten Reiseweiten für den MIV und ÖV sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Mittlere Wegelängen im Zonenbinnenverkehr

Gemeindetyp	MIV	ÖV
Grosszentren	2.51	2.97
Nebenzentren der Grosszentren	2.23	3.55
Gürtel der Grosszentren	1.92	3.47
Mittelzentren	2.33	3.66
Gürtel der Mittelzentren	1.89	3.19
Kleinzentren	2.26	3.74
Periurbane ländliche Gemeinde	1.88	3.52
Agrargemeinden	2.28	5.41
Touristische Gemeinden	2.77	3.36

Quelle: Eigene Auswertung auf Basis des MZMV 2010

Für eine Bestimmung der ÖV-Servicekilometer im Binnenverkehr sind keine plausiblen Annahmen vorhanden. Da je nach Gemeinde die Dichte des ÖV-Netzes und die Auslastung der Linien sehr stark variieren, kann keine Hochrechnung auf Faktoren durchgeführt werden. Daher wird auf diese Hochrechnung verzichtet.

6.2.5. Modal Split Faktoren und Wegelängen für den Langsamverkehr

Im NPVM wird nicht zwischen Fuss- und Veloverkehr differenziert, sondern die Nachfrage für ein pauschales Verkehrsmittel „Langsamverkehr“ berechnet. Diese Nachfrage wird zudem nicht auf dem Netz geroutet. Für die Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen im Fuss- und Veloverkehr mussten daher Annahmen über den Modal Split sowie über die durchschnittlichen Wegelängen getroffen werden.

Grundlage für die Ermittlung dieser Annahmen ist der MZMV 2010. Differenziert nach Gemeindetypen wurden die gewichteten Verkehrsmittelanteile und durchschnittlichen Wegelängen ermittelt und in Tabelle 35 dokumentiert. Aufgrund der Bedeutung des Langsamverkehrs im innerstädtischen Bereich werden die 10 grössten Schweizer Städte getrennt betrachtet. Da für die Wege zwischen verschiedenen Raumtypen die Stichprobengrösse oft sehr klein ist, sind diese weiter zusammengefasst.

Tabelle 35: Anteile und mittlere Distanzen Fuss- und Veloverkehr

Raumebene	Anteil am Aufkommen [in %]		Mittlere Distanz [in km]	
	Velo	Fuss	Velo	Fuss
Grosszentren (ohne 10 grösste Städte)	14	86	1.89	0.79
Nebenzentren der Grosszentren	16	84	2.29	1.05
Gürtel der Grosszentren	12	88	2.28	1.08
Mittelzentren	16	84	2.56	1.14
Gürtel der Mittelzentren	10	90	2.24	1.51
Kleinzentren	18	82	3.07	1.48
Periurbane ländliche Gemeinde	15	85	3.30	1.60
Agrargemeinden	19	81	2.60	1.42
Touristische Gemeinden	13	87	3.82	1.37
Winterthur	28	72	3.58	1.33
Zürich	10	90	4.15	1.06
Bern	19	81	2.32	0.82
Biel/Bienne	27	73	1.98	0.90
Thun	38	62	2.10	1.04
Luzern	20	80	2.38	1.01
Basel	25	75	3.95	1.13
St. Gallen	3	97	2.29	1.20
Lausanne	1	99	4.95	1.09
Genf	7	93	2.54	0.98
Zwischen Zentren	56	44	4.48	1.85
Zentren nach Agglomerationen	58	42	6.13	1.69
Zentren nach ländlicher Raum	62	38	7.20	2.32
Agglomerationen nach Zentren	60	40	7.48	2.03
Zwischen Agglomerationen	40	60	5.34	2.84
Agglomerationen nach ländlichem Raum	76	24	6.41	5.49
Ländlicher Raum nach Zentren	66	34	6.68	1.35
Ländlicher Raum nach Agglomerationen	73	27	5.50	4.21
Im ländlichen Raum	59	41	6.21	2.29

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis MZMV 2010.

Zwischen den Ecksummen der so ermittelten Wegeaufkommen und Verkehrsleistungen im Fuss- und Veloverkehr und den entsprechenden Ecksummen des BFS (BFS 2015c) ergibt sich eine Differenz, die auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden kann. Der wesentliche Unterschied ist, dass in den vom BFS ausgewiesenen Eckwerten alle Etappen mit dem Verkehrsmittel Fuss oder Velo eingezogen werden während die Auswertung des NPVMs nur Wege mit dem Hauptverkehrsmittel „Langsamverkehr“ beinhaltet. Das bedeutet, dass insbesondere Zugangswege zum ÖV in den BFS Eckwerten enthalten sind, während diese im NPVM als Teil des ÖV Weges modelliert sind. Ein weiterer Faktor ist, dass die BFS Statistik den DTV betrachtet während das NPVM den DWV modelliert.

Die Wegeaufkommen und Verkehrsleistungen aus dem NPVM werden daher mittels pauschaler Faktoren auf die Eckwerte des BFS umgerechnet. Diese Faktoren wurden für den Analysezustand ermittelt und auf den Referenzfall und die Alternativszenarien übertragen. Die verwendeten Hochrechnungsfaktoren sind:

Tabelle 36: Hochrechnungsfaktoren Langsamverkehr

	Fuss	Velo
Wegeaufkommen	1.39	0.95
Mittlere Wegelänge	0.96	0.97

6.2.6. Annahmen Güterverkehr

Der Vergleich der Fahrleistungen zwischen Modell und Statistik (BFS) kann im Güterverkehr nach folgenden Fahrzeugtypen unterschieden werden:

- LNF: leichte Nutzfahrzeuge = Lieferwagen (LI) = Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis einschl. 3.5 Tonnen,
- SNF: schwere Nutzfahrzeuge = Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3.5 Tonnen, wobei im Modell¹⁸ zwei Fahrzeugklassen vorliegen: a) Lastwagen (LW) = Solo-Fahrzeuge und b) Last-/Sattelzüge (LZ) = Anhängerkombinationen und Fahrzeuge mit Auflieger (Trailer).

Die Differenzierung im Modell ist mit der Fahrleistungsstatistik des BFS nicht direkt kompatibel, da dort einerseits Lastwagen (inkl. Anhängerzüge) und andererseits Sattelzüge ausgewiesen werden. Im Modell werden die Lastwagen mit Anhängerzügen der Kategorie der Last-/Sattelzüge zugewiesen. U.a. aufgrund dieser unterschiedlichen Betrachtungsweise erfolgt der Abgleich der Leistungskennwerte zwischen Modell und Statistik auf der aggregierten Ebene, d.h. zwischen leichten und schweren Nutzfahrzeugen. Zudem entsteht bei der Umlegung im Strassengüterverkehr ebenfalls Zonenbinnenverkehr der nachträglich, über die Verwendung mittlerer Fahrtweiten, näherungsweise bestimmt werden muss, um die Fahr- und Verkehrsleistungen zu ermitteln.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Fahrleistungsvergleich zwischen den modellierten Fahrten und der Statistik. Die Ergebnisse der Umlegung sind durch Multiplikation der streckenbezogenen Belastungen und der Streckenlänge gebildet worden; die Fahrleistungen auf den Anbindungen und für den Zonenbinnenverkehr sind separat aufgeführt. Die Angaben vom BFS stammen aus der Gütertransportstatistik (GTS) und der entsprechenden Tabelle T1 (su-d-11.05-GTS-E21.xls).

¹⁸ Mit Modell ist die „Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG)“ gemeint, siehe ARE 2015b.

Tabelle 37: Fahrleistungsvergleich AMG und BFS

		Modell (AMG)				BFS	Modellabweichung	
Mio. Fzkm		Umlegung	Anbindungen	Zonenbinnenverkehr	Summe	2012	absolut	relativ
Leichte NF	d.h. <= 3.5t zGg	3'422	195	351	3'968	3'776	192	5.1
Schwere NF	d.h. > 3.5t zGg	2'367	86	38	2'491	2'229	262	11.8
gesamter Güterverkehr		5'789	281	389	6'459	6'005	454	7.6

Vergleich Lieferwagen

Ohne die Berücksichtigung des für die Lieferwagen relevanten Zonenbinnenverkehrs¹⁹ liegt die modellierte Fahrleistung 4% unterhalb der statistisch ermittelten. Dazu folgende Punkte:

- Die Durchschnittsentfernung für den Zonenbinnenverkehr ist aus der Lieferwagenerhebung nach Postleitzahlen ausgewertet worden – das ist die in der Lieferwagenerhebung codierte räumliche Einheit.
- Im Durchschnitt werden 9.5 km im Diagonalelement (Postleitzahlbezirk) gefahren. Die Entfernungen in den Städten beziehen sich auf das Stadtgebiet, die eine Zusammenfassung der zur Stadt gehörenden Postleitzahlbezirke darstellen, also nicht auf die im Modell feiner aufgelösten Verkehrszonen des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM)²⁰.

Mit Blick auf die NPVM-Verkehrszonen muss nun mit Annahmen gearbeitet werden:

- der Hauptanteil der Fahrten in den Diagonalelementen der Matrix findet in den grösseren Städten statt,
- für die Zonen in den Städten und auch den sonstigen Gemeinden wird pauschal von einer Durchschnittsentfernung pro Fahrt von 0.9 km ausgegangen; damit ist erfahrungsgemäss für das gesamte Spektrum der Zonengrössen ein guter Schätzwert gegeben – was sich auch im Vergleich zum Wert des BFS zeigt,
- in der Diagonalen der Matrix sind 1.561 Mio. Fahrten je Tag enthalten,
- dies entspricht bei 250 Werktagen in Verbindung mit der Durchschnittsdistanz von 0.9 km einer Jahresfahrleistung von 351 Mio. Fzkm,
- zusammen mit der umgelegten und auf den Anbindungen registrierten Fahrten wird damit die Statistik-Fahrleistung um 5% übertroffen.

¹⁹ Zonenbinnenverkehr bezeichnet Fahrten deren Quelle und Ziel in der gleichen Verkehrszone liegen (Fahrten der Matrix-Diagonale). Da bei der Umlegung auf das Strassennetz nur Fahrten zwischen verschiedenen Zonen Netzbelastungen erzeugen, sind die Leistungen resultierend aus dem Zonenbinnenverkehr nachträglich abzuschätzen.

²⁰ Die Verkehrszonen orientieren sich für die 10 grössten Schweizer Städte an den städtischen Quartieren (ansonsten entsprechen die Verkehrszonen dem Gemeindestand 2000).

Schlussfolgerung und Vorgehen in den Verkehrsperspektiven:

Die Annahme einer Distanz von 0.9 km je Fahrt im Zonenbinnenverkehr erscheint plausibel, wird übernommen und für die Szenarien der Verkehrsperspektiven verwendet. Die Abweichung der Fahrleistung von +5% für den Vergleichsfall liegt innerhalb akzeptabler Grenzen, so dass am vorliegenden Lieferwagenmodell keine weiteren Veränderungen vorgenommen werden.

Vergleich schwere Nutzfahrzeuge

Bei den schweren Nutzfahrzeugen liegen die modellierten Fahrleistungen aus der Umlegung (ohne Binnenverkehr) um 10% über denen aus der Statistik. Hinzu kommen – analog zu den Lieferfahrzeugen – die nicht umgelegten Zonenbinnenfahrten. Im Schwerverkehr ist dieser Anteil der ausschliesslichen Zonenbinnenfahrten jedoch deutlich niedriger, da die Tourengestaltung sowie die Art der einzelnen Tourenziele sich von denen der leichten Nutzfahrzeuge unterscheiden. Im Detail sind hier folgende Punkte relevant:

- Für die Berechnung der Fahrleistung des Zonenbinnenverkehrs muss bei der Auswertung der GTE festgelegt werden, bis zu welchem Entfernungsdurchmesser die Verkehrszonen Binnenverkehr aufweisen können.²¹ Hier wird als Schwelle für Diagonalfahrten, die wirklich in der Diagonale stattfinden, ein Wert von 20 km gewählt.
- Werden die Fahrten aller schweren Nutzfahrzeuge aus der GTE entsprechend ausgewertet, ergibt sich ein Fahrtenaufkommen von rd. 6% in der Diagonale – das sind rd. 9.4 Mio. betroffene Fahrten. Hiermit wird auch für die schweren Nutzfahrzeuge eine plausible Grössenordnung aus den Stichprobenwerten geschätzt.
- Im Durchschnitt hat jede Fahrt in der Diagonalen eine Entfernung von 4.1 km.
- Aus dem Aufkommen in der Diagonalen resultieren in Verbindung mit der Durchschnittsdistanz ca. 38 Mio. Fzkm, die den Zonenbinnenfahrten zuzurechnen sind.
- Damit erhöht sich der Mehrbetrag nach der Modellrechnung auf knapp 12% gegenüber der Statistik.

²¹ Diese Festlegung ist notwendig, da es im Datensatz Records gibt, die innerhalb eines Postleitzahlenbezirks unplausibel hohe Fahrtweiten aufweisen (bspw. 700 km).

Der Mehrbetrag ist in der Ausrichtung (um das Wort Kalibration zu vermeiden) des Modells an die Daten aus der Schweizerischen automatischen Strassenverkehrszählung (SASVZ) begründet. Zu diesen Zählwerten liegen ASTRA und BAV Erkenntnisse vor, dass sich die Datenqualität aufgrund der immer inhomogeneren Fahrzeugflotten in den letzten Jahren verschlechtert hat.²² Vergleichsmessungen im Rahmen der jüngsten Erhebungen zum grenz- und zum alpenquerenden Güterverkehr (GQGV/AQGV) haben in 2014 ergeben, dass die Automatenzähler 18% mehr schwere Nutzfahrzeuge zählen als tatsächlich an den Messstellen in manuellen Kontrollzählungen erfasst wurden²³; diese Abweichungen bestätigten i.Ü. die Erkenntnisse aus früheren Vergleichsmessungen in 2012 und 2013 (mit Mehrbeträgen zwischen 6% und 14% je nach Zählstelle):

- Am problematischsten ist die Erfassung der Lastwagen, wo bei Vergleichsmessungen fast 8x mehr Fahrzeuge von den SASVZ-Zählern erfasst wurden als tatsächlich gefahren sind. Über die Kalibration des Modells an diese Zählwerte führt dies zu einer tendenziellen Überschätzung der LW-Leistungen durch das Modell und entsprechend höheren Werten gegenüber der Statistik; leicht vermindert wird dieser Effekt dadurch, dass das Modell nur LW ohne Anhänger berücksichtigt (die Statistik in der LW-Klasse aber auch LW mit Anhängern berücksichtigt, siehe Ausführungen zu Beginn).
- Bei den Lastzügen (Lastwagen mit Anhänger) wurden ca. 3x mehr Fahrzeuge erfasst als tatsächlich gefahren sind; auch dies führt zu einer Überschätzung im Modell.
- Im Gegensatz dazu wurden die Sattelzüge (Sattelschlepper und Auflieger) gemäss SASVZ um ca. 12% unterschätzt. Hier führt die Modellkalibration auf die Zählwerte zu einer Unterschätzung des Modells gegenüber der Statistik.

Angesichts der Fehlklassifizierungen ist zu hinterfragen, wie sinnvoll eine zu starke Ausrichtung des Modells an die Zählwerte ist. Da jedoch zum Zeitpunkt der Erarbeitung keine Alternativen zu diesen (nach wie vor offiziellen) Zählwerten bestehen, blieb zum Aufbau des Modells keine andere Möglichkeit als eine Orientierung an den Zählwerten. Vor dem Hintergrund der SASVZ-Problematik erscheint die Überschätzung der Fahrleistungen bei den schweren Nutzfahrzeugen durch das Modell von knapp 12% nachvollziehbar. Wenn nun dennoch der Versuch unternommen wird, diese Überschätzung des Modells zu korrigieren, ergibt sich unter Beachtung eines vom BAV im Rahmen der Berichterstattung MFM-U²⁴ verwendeten Korrekturfaktors von -

²² Die hier wiedergegebenen Fehlerwerte sollen keine allgemeine Beurteilung der SASVZ-Zähler abgeben; die Fehlklassifizierungen sind technologisch nachvollziehbar, da insb. die PW-Flotten verstärkt Messmuster aufweisen, welche denen der schweren Fahrzeuge gleichen (u.a. SUV, Vans, Wohnmobile).

²³ u.a. BAV 2015: Überprüfung der Zuordnung der Fahrzeuge durch die SASVZ-Anlage. Schlussbericht vom März 2015, erstellt von sigmaplan.

²⁴ BAV: Monitoring flankierender Massnahmen – Semesterberichte; hier Berichte 1. Semester 2014 und 2. Semester 2014.

7.4%²⁵ eine Abweichung von noch +3.5% gegenüber der Statistik (siehe nachstehende Tabelle, Reduktion der Fahrleistung der schweren Nutzfahrzeuge um 7.4%).

Tabelle 38: Fahrleistungsvergleich Schwere Nutzfahrzeuge inkl. Anbindungen

		Modell (AMG)	Modell (AMG) - korrigiert	BFS	Modellabweichung	
Mio. Fzkm		Summe	Summe	2012	absolut	relativ
Schwere NF	d.h. > 3.5t zGg	2'491	2'307	2'229	78	3.5

Schlussfolgerung und Vorgehen in den Verkehrsperspektiven:

Der Vergleich der Fahrleistungen erfolgt aufgrund der Abgrenzungs- und SASVZ-Problematik nur auf dem Gesamtwert aller schweren Nutzfahrzeuge. Da das Modell die Leistungen des Schwerverkehrs aufgrund der Kalibration an Zählwerte teilweise überschätzt, ist der Mehrbetrag gegenüber der Statistik erklärbar. Die Abweichung der Fahrleistung (nach Korrektur) von +3.5% für den Vergleichsfall liegt innerhalb akzeptabler Grenzen, so dass am vorliegenden Modell keine Veränderungen vorgenommen werden. Die in den Verkehrsperspektiven ermittelten Fahrleistungen in den Szenarien werden um den Korrekturfaktor angepasst (inkl. einer entsprechenden Kommentierung).

²⁵ Die Fahrzeugdaten in den Tabellen der Semesterberichte sind um -7.4% korrigiert worden.

6.3. Verkehrsaufkommen

Die Auswertung der Verkehrsaufkommen erfolgt für Szenario xxx und den Zeitzustand yyyy in den Exceldatei „Exceltool_Modul3_Verkehrsaufkommen_xxx_yyyy.xlsx“. In dieser Datei werden ausgewertet:

- die Fahrtenmatrizen für den MIV und ÖV,
- die Korrekturmatrizen.

Eingangsdaten

Zur Reduktion der Datenmengen in Excel werden sowohl die Fahrtenmatrizen im MIV und ÖV als auch die Korrekturmatrizen mit Hilfe des Auswerteskripts (vgl. Kapitel 5.3) zu Matrizen auf Ebene MS-Regionen zusammengefasst. Die MS-Regionen-Matrizen werden in folgenden Tabellenblättern ausgegeben:

- OBezBez_OEVGes,
- OBezBez_MIVGes.

Daneben werden für die Auswertung der Fahrtenmatrizen die Besetzungsgrade benötigt.

Berechnungen

Für die Auswertung der Fahrten- und Korrekturmatrizen sind zwei Arbeitsschritte notwendig. Zunächst werden für den MIV die Fahrzeugfahrten mit Hilfe der Besetzungsgrade in Personenfahrten umgerechnet. Anschliessend werden die Matrizen zu Ecksummen für die Schweiz und das Ausland aufsummiert.

Ergebnisse

Das Ergebnis dieser Auswertung sind sechs Tabellen. Die ersten beiden Tabellen beinhalten die Summe der Verkehrsaufkommen des Schweizer Binnenverkehrs im MIV und ÖV differenziert nach Fahrtzwecken. Die nächsten beiden Tabellen umfassen die Matrizen der Personenaufkommen im MIV und ÖV auf Ebene MS Regionen. Die letzten beiden Tabellen fassen die Aufkommen und die Verkehrsleistung der Korrekturmatrizen für die Schweiz und das Ausland zusammen. Dabei wird zwischen positiven und negativen Korrekturen differenziert.

Aufkommen Güterverkehr

Das Aufkommen zum Güterverkehr wird originär mit der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) mit Bezug auf ein Jahr ermittelt. Die Daten stehen dort in den entsprechenden Output-Tabellen zur Verfügung.

6.4. Zonenbinnenverkehr

Eingangsdaten

Ausgangspunkt für die Berechnung der Zonenbinnenverkehre sind die Anzahl Binnenverkehrsfahrten im MIV, ÖV und Güterverkehr - für den Personenverkehr nach Fahrtzwecken differenziert. Diese werden vom Auswerteskript als Bezirkslisten in die folgenden Tabellenblätter herausgeschrieben:

- Bez_IVGes,
- Bez_IVZwck,
- Bez_OEVGes,
- Bez_OEVZwck.

Das Tabellenblatt Bez_IVGes beinhaltet neben dem Zonenbinnenverkehr des MIV auch den Zonenbinnenverkehr für Lieferwagen, Lastwagen und Lastzüge. Zur Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen im DWV und DTV werden zusätzlich die folgenden Annahmen und Faktoren benötigt:

- Gemeindetyp und MS-Region der Zonen,
- Umrechnungsfaktoren von DWV auf DTV,
- Besetzungsgrade,
- Wegelängen für den Personenverkehr,
- Wegelängen für den Güterverkehr.

Berechnungen

Für die Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen im Zonenbinnenverkehr wird zunächst aus der DWV-Belastung mittels Umrechnungsfaktor die DTV Belastung ermittelt. Anschliessend werden anhand der durchschnittlichen Wegelängen je Verkehrssystem die Fahrleistungen im MIV und Güterverkehr und die Verkehrsleistungen im ÖV bestimmt und die Fahrleistungen im MIV mittels Besetzungsgraden in Verkehrsleistungen umgerechnet. Zuletzt werden die (differenzierten) Ecksummen gebildet.

Ergebnisse

Das Ergebnis dieser Auswertung sind Tabellen mit den Ecksummen der Fahr- und Verkehrsleistungen im Zonenbinnenverkehr. Für den Güterverkehr werden die Ecksummen der Fahrleistungen für Lieferwagen, Lastwagen und Lastzüge für die gesamte Schweiz im DWV und pro Jahr ausgewiesen. Im Personenverkehr werden die Ecksummen für den MIV und ÖV im DWV, DTV und pro Jahr ausgewiesen. Zusätzlich wird differenziert nach:

- Fahrtzwecken für die gesamte Schweiz
- Gemeindetypen über alle Fahrtzwecke
- Fahrtzwecken und Gemeindetypen

Verkehrsleistung Güterverkehr

Analog zum Aufkommen wird auch die Verkehrsleistung zum Güterverkehr (in Tonnenkilometern) originär mit der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) mit Bezug auf ein Jahr ermittelt. Auch dazu stehen dort die Daten in den entsprechenden Output-Tabellen zur Verfügung. Ein expliziter Bezug zu den Zonenbinnenverkehren wird dort nicht hergestellt, da diese im AMG-eigenen Datensatz in Anlehnung an die Güterverkehrsstatistik enthalten sind. Die Fahrleistung zum Zonenbinnenverkehr hingegen wird wie oben erläutert auch für die drei Fahrzeugkategorien des Güterverkehrs abgeleitet; die Faktoren dazu werden wie in Kap. 6.2.6 erläutert verwendet.

6.5. Interzonaler Verkehr

Eingangsdaten

Die Berechnung der interzonalen Fahr- und Verkehrsleistungen im MIV, ÖV und Güterverkehr basiert auf der Belastung auf den Strecken des Netzes und der Belastung auf den Anbindungen. Die Belastung auf den Strecken bildet den Teil der Fahrten ab, für die im Rahmen der Umliegung die Routenwahl simuliert wird. Die Belastungen auf den Anbindungen bilden den Teil der Wege ab, der nicht auf dem modellierten Netz, sondern innerhalb der Zonen stattfindet. Die Belastungen werden vom Auswerteskript als Strecken- und Anbindungslisten in die folgenden Tabellenblätter herausgeschrieben:

- Anb_IVGes,
- Anb_IVZwck,
- Str_IVGes,
- Str_IVZwck,
- Anb_OEVGes,
- Anb_OEVZwck,
- Str_OEVGes,
- Str_OEVZwck.

Zur Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen im DWV und DTV werden zusätzlich die folgenden Annahmen und Faktoren benötigt:

- MS-Region und Gemeindetyp der Strecken und Anbindungen,
- Innerorts-/Ausserorts Anteil und Typ der MIV-Strecken,
- Umrechnungsfaktoren von DWV auf DTV,
- Besetzungsgrade.

Berechnungen

Für die Berechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen im interzonalen Verkehr wird zunächst aus der DWV-Belastung mittels Umrechnungsfaktor die DTV-Belastung ermittelt. Anschliessend werden durch Multiplikation mit den Streckenlängen die Fahrleistungen im MIV und Güterverkehr und die Verkehrsleistungen im ÖV bestimmt. Die Fahrleistungen im MIV werden mittels Besetzungsgraden in Verkehrsleistungen umgerechnet. Zuletzt werden die (differenzierten) Ecksummen gebildet.

Da der interzonale Verkehr eine Vielzahl von Auswertungen und Verknüpfungen mit anderen Excel-Dateien erfährt, ist die Differenzierung nach Fahrtzwecken und MS-Regionen in separaten Excel-Dateien angelegt.

Ergebnisse

Das Ergebnis dieser Auswertung sind Tabellen mit den Ecksummen der Fahr- und Verkehrsleistungen im interzonalen Verkehr. Für den Güterverkehr werden die Ecksummen der Fahrleistungen für Lieferwagen, Lastwagen und Lastzüge für die gesamte Schweiz im DWV und pro Jahr ausgewiesen.

Im Personenverkehr werden die Ecksummen für den MIV und ÖV im DWV, DTV und pro Jahr ausgewiesen. Diese werden sowohl für Strecken und Anbindungen einzeln als auch für die Gesamtleistungen der Schweiz als Summe der Leistungen auf Strecken, Anbindungen und im Zonenbinnenverkehr (vgl. Kapitel 6.4) ermittelt. Für die Gesamtbelastung im MIV und ÖV sind neben dem Modellergebnis der Fahr- und Verkehrsleistungen die Fahr- und Verkehrsleistungen einschliesslich der im Rahmen der Matrixkorrektur ausgedünnten Fahrten ausgewiesen. Zusätzlich wird differenziert nach:

- Fahrtzwecken für die gesamte Schweiz,
- Gemeindetypen über alle Fahrtzwecke,
- Fahrtzwecken und Gemeindetypen,
- Streckentypen,
- Innerorts und Ausserorts,
- MS-Regionen.

Verkehrsleistung Güterverkehr

Analog zum Aufkommen wird auch die Verkehrsleistung zum Güterverkehr (in Tonnenkilometern) originär mit der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) mit Bezug auf ein Jahr ermittelt. Auch dazu stehen dort die Daten in den entsprechenden Output-Tabellen zur Verfügung. Die Fahrleistung zu den Anbindungen hingegen wird wie oben erläutert auch für die drei Fahrzeugkategorien des Güterverkehrs abgeleitet; die Faktoren dazu werden wie in Kap. 6.2.6 erläutert verwendet. Die streckenbezogenen Fahrleistungen werden ebenfalls wie oben erläutert direkt aus der Umlegung ermittelt.

6.6. Langsamverkehr (Intra- und interzonaler Verkehr)

Eingangsdaten

Grundlage für die Auswertungen des Langsamverkehrs sind die fahrtzweckspezifischen LV-Matrizen aus der kombinierten Verkehrsaufteilung und -verteilung in Viseva. Dabei wird nur der Binnenverkehr in der Schweiz betrachtet. Daneben werden für die Auswertung der Langsamverkehrsmatrizen die in Kapitel 6.2.5 beschriebenen Annahmen benötigt. Diese betreffen:

- den Modal Split nach Gemeindetyp,
- die mittleren Wegelängen nach Gemeindetyp und Verkehrsmittel und die
- Hochrechnungsfaktoren zu den Eckwerten des BFS.

Berechnungen

Zur Berechnung der Verkehrsleistungen im Velo- und Fussverkehr werden zunächst die LV-Wegeaufkommen mittels der Modal Split-Faktoren in Wegeaufkommen für den Fuss- und Veloverkehr aufgespalten. Anschliessend werden die Velo- und Fusswege mit den mittleren Wegedistanzen hochgerechnet. Aufgrund der relationsfeinen Hochrechnungsfaktoren geschieht diese Berechnung mittels Auswerteskript in VISUM (vgl. Kapitel 5.3). Anschliessend werden die Ergebnisse zu Matrizen auf Ebene MS-Regionen zusammengefasst und im Tabellenblatt „OBez_Bez_MIVGes“ gespeichert.

In Excel werden diese MS-Regionen-Matrizen zu Tages- und Jahres-Aufkommen und Leistungen zusammengefasst und mittels Hochrechnungsfaktoren auf die Ecksummen des BFS skaliert.

Ergebnisse

Das Ergebnis dieser Auswertung sind vier Tabellen: je eine Tabelle für die Wegaufkommen und Verkehrsleistungen im Fuss- und Veloverkehr sowie den gesamten Langsamverkehr differenziert nach Fahrtzwecken und eine Tabelle in der die hochgerechneten Wegeaufkommen für den Langsamverkehr als MS-Regionen-Matrix dargestellt sind.

6.7. Zusammenfassungen

Eingangsdaten

Grundlage für die Zusammenfassungen sind die Auswertungen für die einzelnen Verkehre, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden.

Berechnungen

In einem letzten Schritt werden die Ergebnisse für den Referenzfall sowie die Alternativen zusammengefasst. Hauptsächlich findet dabei eine reine Verknüpfung der Ergebnistabellen für die Zeitzustände des jeweiligen Szenarios statt. Einzige Ausnahme ist die Hochrechnung der Fahr- und Verkehrsleistungen für den MIV und den Güterverkehr nach Streckentypen und Ortslage. Diese Differenzierungen wurden in der Auswertung des interzonalen Verkehrs nur auf Ebene der Strecken vorgenommen. In der Zusammenfassung sind sie zusätzlich für den Gesamtverkehr einschliesslich Zonenbinnenverkehr und Anbindungen implementiert.

Ergebnisse

Aufgrund der grossen Anzahl an Verknüpfungen ist die Zusammenfassung auf zwei Dateien verteilt. In der einen Datei werden die Ergebnisse des Güterverkehrs und des Personenverkehrs, die nicht fahrtzweckspezifisch sind, ausgewiesen. Die zweite Datei beinhaltet die Auswertungen nach Fahrtzwecken.

7. Funktionstest

7.1. Ziel des Funktionstests und Abgrenzung

Vorgängig zu den eigentlichen Berechnungen der Szenarien wurde im Projekt ein Funktionstest durchgeführt. Dieser diente dazu, den Basiszustand 2010 mit den vorliegenden Modellen des Personen- und Güterverkehrs nachzuvollziehen sowie die entwickelten Schnittstellen und Abläufe für die Modellierung der Szenarien frühzeitig zu testen. Im Fokus standen folglich die technische Lauffähigkeit und inhaltliche Korrektheit der einzelnen Module sowie die Prüfung der Schnittstellen. Als Datengrundlage dient das NPVM 2010 einschliesslich der Modellinputdaten, die vom Auftraggeber an das Projektteam übergeben wurden.

Beim Test der technischen Lauffähigkeit und inhaltlichen Korrektheit lag der Fokus auf dem Modul 2. Dort sollte im Rahmen des Funktionstests sichergestellt werden, dass die Ergebnisse des NPVM reproduziert werden können. Anschliessend wurden die Schnittstellen zwischen Modul 2 und dem Übertrag der Ergebnisse in das Modul 3 überprüft.

Dieser Abschnitt beschreibt die Vorgehensweise und das Ergebnis der verschiedenen Untersuchungsteile innerhalb des Funktionstests. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt dabei auf der Reproduzierbarkeit des NPVM.

7.2. Reproduzierbarkeit des NPVM 2010

In diesem Teil des Funktionstests wurden auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Input-Daten die Abläufe zur Realisierung eines Modelllaufs mit dem NPVM wiederholt, mit dem Ziel die Ergebnisse des NPVMs möglichst exakt zu reproduzieren. Damit sollte sichergestellt werden, dass Veränderungen der Ergebnisse in den zukünftigen Szenarien alleine aufgrund der veränderten Annahmen und Strukturdaten zurückzuführen sind. Dabei werden die folgenden Punkte betrachtet:

- Reproduktion der Kenngrössenmatrizen,
- Viseva-Nachfrageberechnung,
- Visum-Umlegung,
- Matrixkorrektur.

Die Beschreibung des Vorgehens und der Resultate in Bezug auf die Reproduzierbarkeit des NPVMs erfolgt jeweils einzeln für jeden dieser vier Punkte.

7.2.1. Reproduktion der Kenngrössenmatrizen

Grundlagen und Fragestellungen

Die Kenngrössen (z.B. Reisezeit) sind Eingangsgrössen in das Viseva-Nachfragemodell. Die Menge der Kenngrössen wird in vier Kategorien aufgeteilt:

- Matrizen auf Basis einer MIV/LIV-Umlegung in einem Verkehrsnetz,
- Matrizen auf Basis einer ÖV-Umlegung in einem Verkehrsnetz,
- Matrizen auf Basis von Raumstrukturdaten,
- Sonstige Matrizen (Matrizen zur Kalibration).

Die Matrizen und deren Zuordnung zu oben genannten Kategorien sind dem Anhang zu entnehmen. Das ARE stellte eine Übersicht über alle in Viseva verwendeten Matrizen vor. Darin ist a) eine verbale Beschreibung der Inhalte, b) die Ecksummen der Matrizen und c) eine verbale Beschreibung der Arbeitsfolge zur Aufbereitung der Matrizen dokumentiert. Ziel des Funktionstestes war es, die originalen Kenngrössenmatrizen mit den vorhandenen Werkzeugen zu reproduzieren, die Gleichheit zu bestätigen oder die Abweichungen zu beschreiben und zu bewerten.

Vorgehen

Zu den Matrizen der Kategorien 1 und 2:

Die netzbasierten Matrizen wurden aus den vorliegenden Visum-Versionen (Version 12.52) unter Nutzung der ebenfalls vorliegenden Verfahrensparameterdateien berechnet. Anschliessend wurden die „Rohdaten“ für Viseva aufbereitet. Die Bearbeitungsschritte wurden entsprechend der Übersicht des ARE nachvollzogen. Die Bearbeitung der Matrizen wurde als Visum-Verfahrensschritte mit den dort verfügbaren Werkzeugen umgesetzt und ausgeführt.

Die Angabe der Ecksummen in der ARE-Übersicht bezieht sich auf den Zustand nach der Bearbeitung/Aufbereitung. Um die Vergleichbarkeit der Daten herzustellen, wurden ebenfalls die Ecksummen der bearbeiteten, reproduzierten Matrizen berechnet.

Zu den Matrizen der Kategorie 3:

Für die raumstrukturbasierenden Matrizen wurden die Raumstrukturdaten in VISUM hinterlegt und die Berechnung der Matrizen als Verfahrensschritt umgesetzt.

Zu den Matrizen der Kategorie 4:

Die Gruppe der sonstigen Matrizen wurden nicht bearbeitet. Es wird davon ausgegangen, dass es sich um mehr oder weniger einheitliche Setzungen handelt. Für die anschliessenden Kontrollrechnungen werden die originalen Matrizen verwendet.

Resultate*Zu den Matrizen der Kategorien 1 und 2:*

Die netzbasierten Matrizen lassen sich nicht exakt, d.h. auf die angegebenen Nachkommastellen genau, rekonstruieren. Stattdessen ist aber eine grosse Annäherung möglich, und es wird grundsätzlich „das Niveau getroffen“. Die Grösse der Annäherung ist dabei uneinheitlich. Folgende Gründe für die Abweichung konnten identifiziert werden:

- Einen Beitrag zu der Abweichung liefert der Umstand, dass die originalen Kenngrössenmatrizen mit zwei Nachkommastellen, die reproduzierten Kenngrössenmatrizen mit mehr Nachkommastellen verwaltet werden.
- Es ist davon auszugehen, dass die beiden Datenmengen keine identischen Positionen innerhalb des Gleichgewichtseinschwingprozesses repräsentieren.

Wegen der bestehenden Abweichungen ist ein abweichendes Viseva-Ergebnis zu erwarten.

Zu den Matrizen der Kategorie 3:

Die raumstrukturbasierten Matrizen werden mittels eines Quotienten aus mehreren logarithmierten Raumstrukturdaten berechnet. Im Vergleich zu dem grundsätzlich volatileren Ergebnis der netzbasierten Matrizen ist diese Berechnungsvorschrift als einfacher einzuschätzen. Diese Matrizen lassen sich nicht ganz exakt, d.h. auf die angegebenen Nachkommastellen genau, rekonstruieren.

In den originalen Matrizen sind zwei Dezimalstellen angegeben. Bis zu dieser Stelle stimmt die Ziffernfolge in der Mehrheit überein. Darüber hinaus verwaltet Visum aber mehr Nachkommastellen, deshalb ist eine vollständige Gleichheit nicht festzustellen.

Zu den Matrizen der Kategorie 4:

Es werden die originalen Matrizen verwendet. Beim Einlesen in Visum entstehen keine Abweichungen in den Matrix-Ecksummen.

Fazit

Prinzipiell ist hinsichtlich des Niveaus der Matrixwerte eine gute Übereinstimmung gegeben. Allerdings sind punktuelle Abweichungen vorhanden, die sich nicht auf Rundungen zurückführen lassen. Grund hierfür ist den Analysen zufolge, dass die Ergebnisse verschiedener Iterationsstände miteinander verglichen werden.

7.2.2. Viseva-Nachfragerechnung**Grundlagen und Fragestellungen**

Ausgangspunkt ist das originale Viseva-Modell, das an das Projektteam übergeben wurde. In der Software Viseva wird die Nachfrageberechnung ausgeführt, d. h. auf der Basis von Raumstrukturdaten, Verhaltensdaten und Kenngrössenmatrizen werden die Nachfragematrizen differenziert nach Quelle-Zielgruppe und Modus berechnet. Der Funktionstest umfasst zwei Schritte:

- Eine Wiederholung der Berechnung mit den originalen Eingangsdaten,
- Eine Berechnung mit den reproduzierten Kenngrössenmatrizen.

Vorgehen

Mit der installierten Software-Version wurde die Viseva-Projektdatei geladen und die Berechnung ausgeführt. Das Ergebnis sind Verkehrsstrommatrizen differenziert nach Quelle-Zielgruppe und Modus im Textformat (\$V-Format) mit zwei Nachkommastellen. Diese Matrizen wurden anschliessend wiederum in Visum eingelesen. Die Matrizen des MIV werden mit den in Visum verfügbaren Matrixbearbeitungswerkzeugen und dem PW-Besetzungsgrad auf die Einheit Fahrzeugwege umgerechnet. Im Rahmen des 2-stufigen Funktionstests erfolgte diese Berechnung zunächst mit den originalen Eingangsdaten und im zweiten Schritt mit den reproduzierten Kenngrössenmatrizen.

Resultate*Zu Schritt 1 - Wiederholung der Berechnung mit den originalen Eingangsdaten*

Wenn die Berechnung mit den Voreinstellungen ausgeführt wird, ist keine Abweichung in Bezug auf die Ecksummen festzustellen. Die Schrittzahl ist identisch. Die 17. QZG erreicht die Iterationsgrenze, verbunden mit einer hohen Rechenzeit von 7 Stunden.

Zu Schritt 2 - Berechnung mit den neu erstellten Kenngrössenmatrizen

Wie im obigen Abschnitt zu den Resultaten zur Reproduzierbarkeit der Kenngrössenmatrizen festgestellt, gibt es in den neu erstellten Kenngrössenmatrizen punktuelle Abweichungen, die sich nicht auf Rundungen zurückführen lassen. Wie vermutet, führen diese punktuellen Unterschiede in den Kenngrössenmatrizen zu geringfügig abweichenden Ergebnissen bei der Viseva-Nachfrageberechnung. Hinsichtlich der Ecksummen der Nachfragematrizen gibt es nahezu keine Unterschiede, wie folgende Tabelle verdeutlicht.

Tabelle 39: Vergleich der Ecksummen der Nachfragematrizen

Verkehrsmittel	Zweck	Ecksumme der originalen Nachfragematrizen	Ecksummen der neuen Nachfragematrizen	Delta	relative Abweichung
MIV	Arbeit	4338416	4338432	16	-0.0004%
	Bildung	322231	322232	1	-0.0002%
	Einkauf	3631440	3631447	7	-0.0002%
	Freizeit	5327446	5327475	29	-0.0005%
	Nutzfahrt	2087960	2087979	19	-0.0009%
	Gesamt	15709821	15709856	35	-0.0002%
ÖV	Arbeit	1338157	1338150	-6	0.0005%
	Bildung	793013	793014	1	-0.0002%
	Einkauf	760032	760033	1	-0.0002%
	Freizeit	1281532	1281514	-17	0.0013%
	Nutzfahrt	153102	153099	-3	0.0020%
	Gesamt	4328058	4328047	-11	0.0003%
LV	Arbeit	2217870	2217869	-1	0.0001%
	Bildung	1654574	1654575	0	0.0000%
	Einkauf	3138538	3138535	-3	0.0001%
	Freizeit	3684756	3684743	-13	0.0004%
	Nutzfahrt	555652	555651	-1	0.0002%
	Gesamt	11251479	11251464	-16	0.0001%

Quelle: NPVM.

Aufgrund der identischen Erzeugungsraten und des vorgegebenen Modal-Splits bei der Viseva-Nachfrageberechnung ist diese sehr gute Übereinstimmung der Ecksummen erwartungskonform.

Analysiert man die Unterschiede auf einzelnen Matrix-Relationen, können punktuell grössere Abweichungen festgestellt werden. Aus den originalen Nachfragematrizen und den neu berechneten Nachfragematrizen werden jeweils Delta-Matrizen berechnet, die für jede Relation die Differenz der Verkehrsnachfrage enthalten. Es ist festzustellen, dass die grössten Deltas auf der Hauptdiagonalen liegen. Betrachtet man die Relationen ausserhalb der Hauptdiagonalen, sind die folgenden maximalen negativen und positiven Abweichungen auf Einzelrelationen in der jeweiligen Delta-Matrix festzustellen.

Tabelle 40: Grösste Abweichungen in der jeweiligen Delta-Matrix

Verkehrsmittel	Zweck	grösste negative Abweichung	grösste positive Abweichung
MIV	Arbeit	-222	477
	Bildung	-47	170
	Einkauf	-392	667
	Freizeit	-673	677
	Nutzfahrt	-102	249
	Gesamt	-865	1539
ÖV	Arbeit	-220	301
	Bildung	-158	74
	Einkauf	-190	408
	Freizeit	-457	680
	Nutzfahrt	-63	56
	Gesamt	-399	649
LV	Arbeit	-265	284
	Bildung	-190	211
	Einkauf	-539	207
	Freizeit	-1104	1766
	Nutzfahrt	-61	75
	Gesamt	-1806	2446

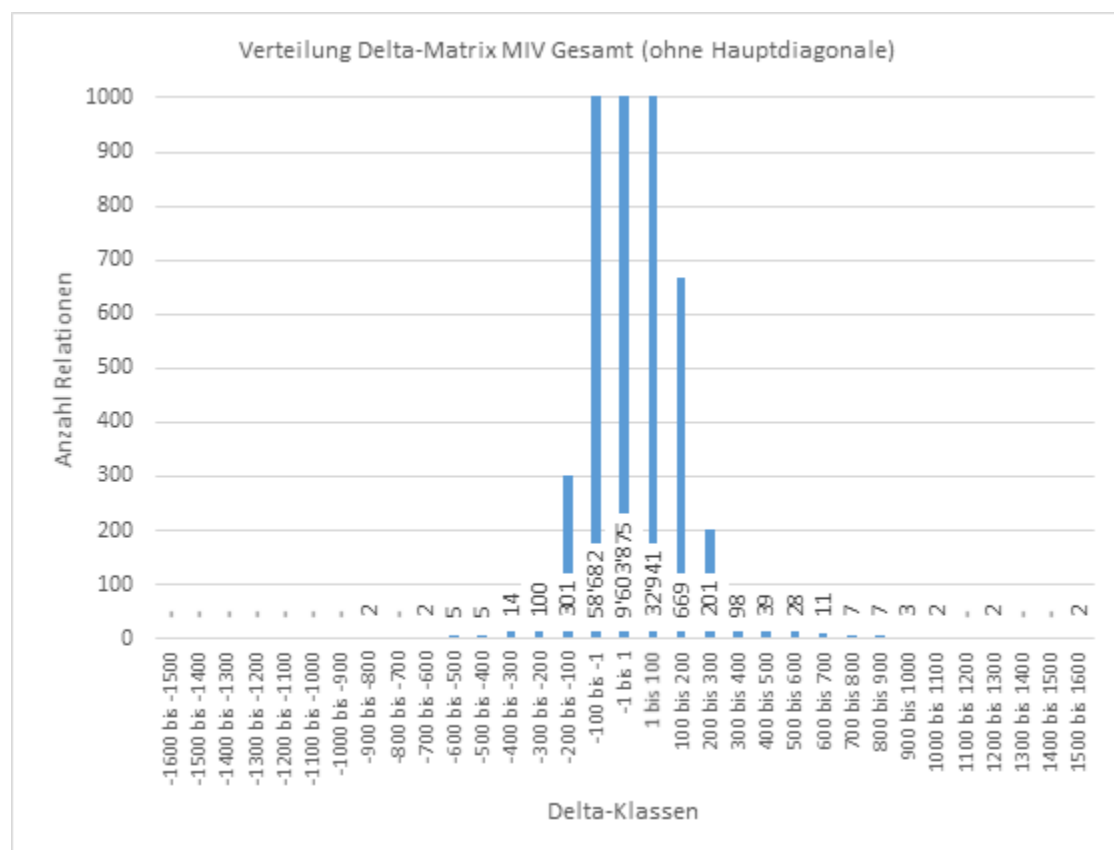
[Delta-Matrix] = [neu berechnete Nachfrage-Matrix] – [originale Nachfragematrix]

Angaben ohne Berücksichtigung der Hauptdiagonale

Quelle: NPVM.

Für die Gesamt-Aufkommen des MIV und des ÖV wurde jeweils eine Häufigkeitsverteilung der Abweichungen in der Delta-Matrix ermittelt. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die entsprechenden Diagramme der Verteilungen.

Abbildung 20: Verteilung der Delta-Matrix für MIV Gesamt (ohne Hauptdiagonale)

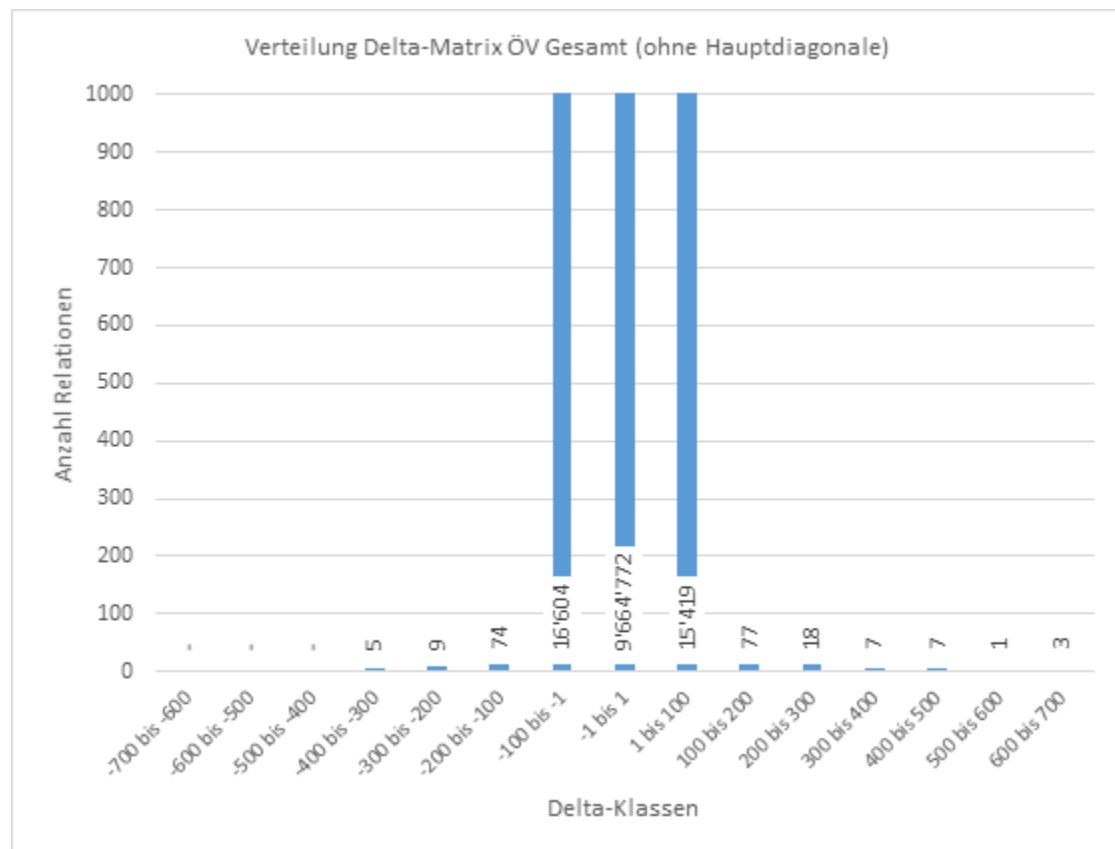


Quelle: Eigene Darstellung.

Die obige Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Abweichungen in der Delta-Matrix für den MIV zeigt deutlich, dass auf dem Grossteil der Relationen minimale Abweichungen des Aufkommens zu verzeichnen sind. Grössere Abweichungen mit einem Betrag > 100 treten nur auf sehr wenigen Relationen auf.

Die Häufigkeitsverteilung für den ÖV (siehe nachfolgende Abbildung) ist ähnlich zu bewerten wie für den MIV. Grössere Abweichungen mit einem Betrag > 100 treten nur auf sehr wenigen Relationen auf; insgesamt sind beim ÖV geringere Abweichungen zu erkennen als beim MIV.

Abbildung 21: Verteilung der Delta-Matrix für ÖV Gesamt (ohne Hauptdiagonale)



Quelle: Eigene Darstellung.

Fazit

Analog zu den Kenngrössenmatrizen ist hinsichtlich der Nachfragematrizen ebenfalls eine gute Übereinstimmung gegeben. Allerdings sind auch hier punktuelle Abweichungen vorhanden, die sich nicht auf Rundungen zurückführen lassen. In Anbetracht der unterschiedlichen Iterationsstände, die hier miteinander verglichen wurden, ist das Ergebnis minimaler Abweichungen zwischen den Matrizen erwartungskonform.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde festgelegt, dass die durchgängig reproduzierte, neue Viseva-Berechnung die Grundlage für die weiteren Berechnungen bildet.

7.2.3. Visum-Umlegung

Grundlagen und Fragestellungen

In der Umlegung wird die Nachfrage der Relationen auf die sich im Netz verfügbaren Routen aufgeteilt. Durch die Überlagerung aller Routenströme entsteht eine Streckenbelastung. Die Visum-Umlegung für den ÖV und den MIV wurden geprüft. Das Ziel dieser Teiluntersuchung ist festzustellen, ob sich das dem Projektteam übergebene Belastungsbild für 2010 reproduzieren lässt.

Vorgehen

Die Umlegungen werden entsprechend den eingestellten Verfahrensschritten ausgeführt. Die originalen Werte der Fahrzeugarten wurden als benutzerdefiniertes Attribut gesichert. Nach der Berechnung werden die Streckenbelastungen beider Rechenfälle miteinander verglichen. Eventuell auftretende Abweichungen werden in den Ergebnissen dargestellt. Für den ÖV wurde das gleiche Verfahren angewendet.

Resultate

Wenn die voreingestellten Verfahrensschritte und Visum 12.5 benutzt werden, dann sind die Streckenbelastungen reproduzierbar. Das gilt sowohl für das MIV- als auch das ÖV-Netz. Es gibt keine Abweichungen bei den Streckenbelastungen.

Bei Nutzung der aktuellen Version Visum 14 treten in der MIV-Umlegung Abweichungen auf. Diese liegen in der Grössenordnung von rund -1'700 bis 1'400 Fahrten pro Richtung bzw. rund -1'800 bis 1.800 Fahrten pro Querschnitt. Bei der ÖV-Umlegung sind keine Abweichungen zu erkennen.

Fazit

Aufgrund der Abweichungen im Strassenverkehr, die sich durch die Umstellung auf Visum 14 ergeben, wurde die Umlegung für den Strassenverkehr bei den Verkehrsperspektiven auf Wunsch des ARE durchgehend mit Visum 12.5 gerechnet.

7.2.4. Matrixkorrektur Personenverkehr

Grundlagen und Fragestellungen

Im originalen Modell gibt es zwei Gruppen von Nachfragematrizen. Die erste Gruppe sind die Nachfragematrizen, die als Ergebnis des Nachfragemodells mit Viseva entstehen („EVA-Nachfrage“). Die zweite Gruppe sind die Nachfragematrizen, die Eingangsgrösse der Umlegung sind („Visum-Nachfrage“). Die jeweils korrespondierenden Matrizen beider Gruppen unterscheiden sich. Für diese Unterschiedlichkeit gilt es folgenden Hintergrund zu berücksichtigen: Die Matrizen „Visum-Nachfrage“ basieren zwar auf den Matrizen „EVA-Nachfrage“, werden jedoch nachträglich weiter bearbeitet. Zum einen erfahren die Matrizen „EVA-Nachfrage“ eine Ausdünnung. Würde man die vollständigen Nachfragematrizen im Netz umlegen, ergäben sich aufgrund des nur rudimentären untergeordneten Netzes im NPVM, zu starke Bündelungseffekte an Einspeisepunkten der Nachfrage ins Netz (mit entsprechend negativen Folgeeffekten wie zu hohe Belastungen und zu stark verminderte Reisezeiten). Zum anderen erfolgten semi-automatische Matrixkorrekturen, um eine bessere Annäherung der Belastungsergebnisse an Zählwerte zu erreichen. Dem ARE ist das methodische Vorgehen zwischen den Matrizen „EVA-Nachfrage“ und „Visum-Nachfrage“ bekannt, ohne jedoch das eine detaillierte Auflistung aller Matrixanpassungen vorliegt. Über das Erstellen einer Differenzmatrix bzw. deren Analyse, lassen sich die durchgeführten Anpassungen nachträglich ermitteln.

Im Rahmen der Verkehrsperspektiven wurde eine Teiluntersuchung durchgeführt, um die Matrixveränderungen zu analysieren, zu dokumentieren, ggf. die Systematik oder Methodik zu klären und im besten Falle das Verfahren zu reproduzieren. Dies geschah mit besonderer Aufmerksamkeit vor dem Hintergrund, dass die Matrixveränderung in das Prognoseverfahren übertragen werden muss.

Vorgehen

In die Untersuchung werden 12 relevante Matrizen (MIV und ÖV mit je 5 Zwecken plus zwei Gesamtmatrizen) einbezogen. Hierzu wird relationsweise die Differenz (Delta) und der Quotient (Phi) ermittelt. Die Häufigkeitsverteilungen dieser Werte zeigen, ob mit relativ einheitlichen, diskreten Werten („manuelle Setzung“) oder eher mit einer grossen Bandbreite stetiger Werte gearbeitet wurde. Diese Auswertungen werden mit Visum-Werkzeugen und mittels Skript ausgeführt.

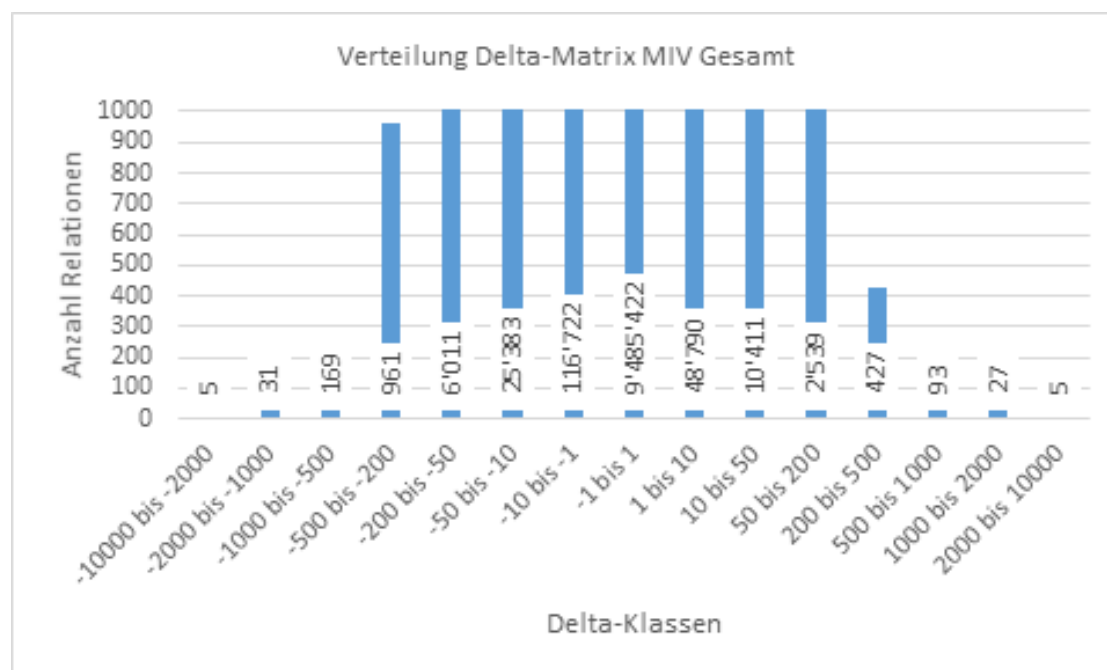
Die Visum-Nachfragematrizen enthalten neben dem Schweizer Binnenverkehr auch den Quell-, Ziel- und Durchgangs-Aussenverkehr. Diese Daten sind nicht Teil der Viseva-Nachfrageberechnung und stammen aus einer externen Quelle. Sie sind vor der Auswertung entfernt worden.

Resultate

Auswertung der Delta-Matrizen:

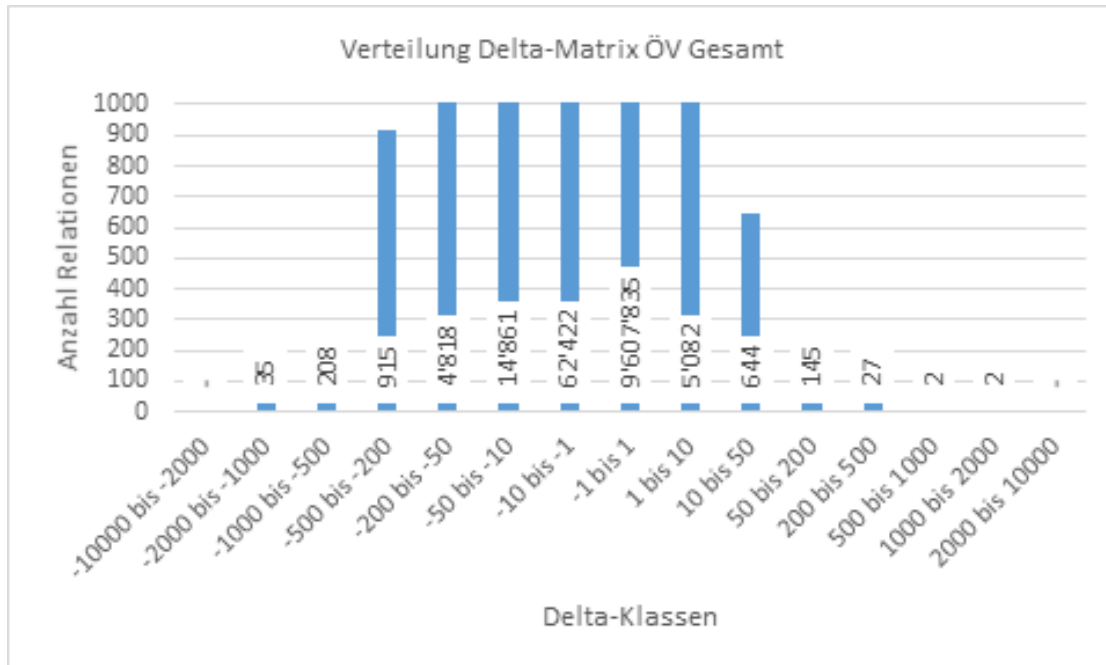
Die zwei nachfolgenden Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung der Delta-Matrix – jeweils für die MIV-Gesamtaufkommen und die ÖV-Gesamtaufkommen. Diese zeigen die jeweilige Anzahl an Matrixrelationen (y-Achse), die auf die entsprechende Delta-Klasse (x-Achse) entfällt. Es ist zu sehen, dass es zu einem Relationen mit negativen Deltas gibt. Dies bedeutet eine Reduktion der Aufkommen von der Analyse-Viseva-Matrix zur Analyse-Visum-Matrix und bewirkt folglich die beabsichtigte Matrixausdünnung für die Umlegung. Zum anderen gibt es jedoch auch Relationen mit positiven Deltas, das heißt es gibt auf diesen Relationen eine Zunahme der Aufkommen von der Analyse-Viseva-Matrix zur Analyse-Visum-Matrix. Sowohl was die Anzahl der Relationen als auch den Betrag der Deltas betrifft, sind die Reduktionen insgesamt stärker ausgeprägt als die Erhöhungen der Aufkommen. Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass es sich bei der Korrektur um keine reine Ausdünnung handelt.

Abbildung 22: Verteilung der Delta-Matrix für MIV Gesamt



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 23: Delta-Phi-Verteilung der Delta-Matrix ÖV-Gesamt



Quelle: Eigene Darstellung.

Auswertung der Phi-Matrizen:

Analog der beobachteten negativen und positiven Deltas treten in den Phi-Matrizen sowohl Werte kleiner als 1 als auch Werte grösser 1 auf. Phi-Werte kleiner 1 bedeuten eine Reduktion der Aufkommen von der Analyse-Viseva-Matrix zur Analyse-Visum-Matrix und bewirken folglich die beabsichtigte Matrixausdünnung für die Umlegung. Phi-Werte grösser 1 bedeuten, dass es auf den entsprechenden Relationen eine Zunahme der Aufkommen von der Analyse-Viseva-Matrix zur Analyse-Visum-Matrix gibt.

Um eine mögliche Systematik von diskreten Setzungen zu erkennen wurde eine Häufigkeitsverteilung der Phi-Matrizen für den MIV und den ÖV mit sehr kleinen Intervallen durchgeführt. Es sind Häufungen an markanten Phi-Werten (0,25; 0,34; 0,5; 0,66; 0,75; 2; 3; 4; 5) zu erkennen, die auf diskrete Setzungen hinweisen. Schliesst man Relationen mit kleinen Delta-Beträgen (<10) aus, so sind in der Häufigkeitsverteilung der Phi-Matrizen keine Setzungen erkennbar.

Daraus wird geschlussfolgert, dass diskrete Setzungen der Ausgangspunkt für die Matrixkorrektur waren, diese jedoch durch stärkere Kalibrierungsschritte überlagert sind, die keine Systematik erkennen lassen. Die obigen Aussagen treffen gleichermassen für die MIV- und die ÖV-Verkehre zu.

Fazit

Das Mass der Veränderung ist nicht unerheblich. Diskrete Setzungen treten überwiegend auf Relationen mit geringem Aufkommen auf und werden insgesamt durch stärkere Korrekturen überlagert. Das methodische Vorgehen ist nicht vollständig nachvollziehbar und somit nicht reproduzierbar.

Daher sollen die an der Analyse geeichten Korrektur-Matrizen zwischen Viseva und Visum in die Prognose übernommen werden. Hierfür wurde in Abstimmung mit dem ARE das folgende Vorgehen zur Übertragung der Matrix-Korrektur erarbeitet.

Vorgehen Übertrag Matrix-Korrektur und Ergebnisse Testlauf

Vorüberlegungen und Zielstellung

Aus der Viseva-Nachfrageberechnung mit den neuen ermittelten Kenngrössenmatrizen liegt jeweils für den MIV und den ÖV eine Analyse-Matrix A vor. Zudem gibt es jeweils für den MIV und den ÖV eine ausgedünnte Visum-Umlegungsmatrix AK.

- Die absoluten Veränderungen $AK - A$ werden in einer Delta-Matrix ermittelt.
- Die relativen Veränderungen AK / A werden in einer Phi-Matrix ermittelt.
- Es besteht die Frage, wie die Änderungen zwischen der Viseva- und der Visum-Matrix auf die Prognoseergebnisse übertragen werden können.

Folgende grundsätzliche Überlegungen werden vorangestellt:

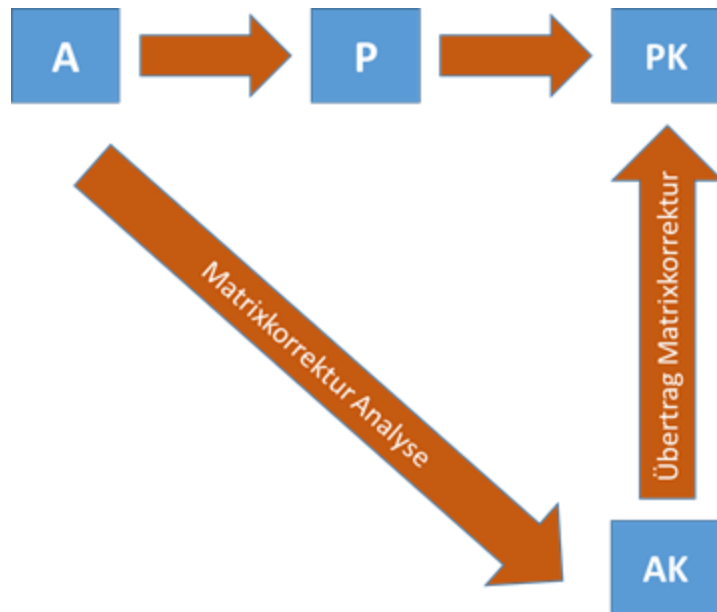
- Eine relative Übertragung wird grundsätzlich als günstiger angesehen als eine absolute Übertragung der Matrixkorrektur.
- Bei grossen Faktoren aus der Analyse-Korrektur besteht bei der relativen Übertragung jedoch die Gefahr, dass Prognose-Wirkungen in einem zu grossen Umfang verstärkt werden.
- Das Ziel für die zu entwickelnde Methodik zum Übertrag der Matrix-Korrektur aus der Analyse ist:
 - Eine transparente, eindeutige Regel zur Übertragung der Korrekturen.
 - Ein identisches Vorgehen für alle Prognosefälle.

Vorschlag Methodik

Die Übertragung der Matrix-Korrektur soll auf Grund der oben aufgeführten Vorüberlegungen eine Mischung aus relativer und absoluter Übertragung sein. In einer 4-stufigen Korrekturübertragung wird elementweise entschieden, ob die Übertragung für die jeweilige Relation absolut

oder relativ geschieht. Als Kriterien dafür werden die relativen Abweichungen (Phi) und die absoluten Abweichungen (Delta) verwendet.

Abbildung 24: Matrixkorrektur



Quelle: Eigene Darstellung.

Stufe 1: Keine Korrektur für die Hauptdiagonale und Relationen mit sehr kleinen Deltas:

Da die Hauptdiagonale nicht umlegungsrelevant ist, findet keine Korrektur für die HD-Relationen statt. Ebenfalls von der Korrektur ausgeschlossen werden Relationen, die nur minimale Differenzbeträge (≤ 1) zwischen A und AK aufweisen. Dies beinhaltet auch alle Relationen, die im Analysefall sowohl in der Viseva- als auch in der Visum-Matrix ein Aufkommen von Null haben.

Stufe 2: Relationen mit Phi-Werten gleich Null werden absolut übertragen:

Einige wenige der nach Stufe 1 verbleibenden Relationen weisen Phi-Werte von Null auf, d.h. der Aufkommenswert in der Viseva-Analyse-Matrix ist Null, während das Aufkommen in der Visum-Analyse-Matrix einen Wert grösser Null aufweist. Für diese wenigen Fälle ist nur eine absolute Korrekturübertragung möglich.

Stufe 3: Relationen mit Phi-Werten kleiner 1 werden relativ übertragen:

Für Relationen mit einem Phi-Wert kleiner 1 (also mit einer Verringerung der Ströme durch die Matrixkorrektur in der Analyse) wird grundsätzlich die relative Übertragung angewendet, da in diesen Fällen die relative Übertragung als unkritisch betrachtet wird. Vielmehr würde eine Kap-

pung der relativen Übertragung nach unten die Gefahr in sich bergen, dass die durch die Matrix-Ausdünnung gewollte Ausdünnung von Strömen nicht vollständig beibehalten würde und – gerade in den Ballungsräumen – zu starke Prognose-Belastungen auftreten könnten.

Ein weiterer Vorteil des relativen Übertrags bei der Verringerung der Ströme besteht darin, dass – anders als es bei einem absoluten Übertrag der Fall wäre – von vornherein ausgeschlossen ist, dass negative Aufkommenswerte in der korrigierten Visum-Matrix auftreten können.

Stufe 4: Relationen mit Phi-Werten grösser 1 werden entweder absolut oder relativ übertragen:

Relationen mit einem Phi-Wert grösser 1 (also mit einer Erhöhung der Ströme durch die Matrixkorrektur in der Analyse) werden in Abhängigkeit von der Höhe des Phi-Wertes der jeweiligen Relation entweder absolut oder relativ übertragen. Das Risiko bei der relativen Übertragung besteht darin, dass grosse Faktoren zu starke Prognose-Wirkungen hervorrufen. Deshalb wird folgendes angewendet:

- relative Übertragung nur bei kleinen Phi-Werten ($\Phi \leq 1.5$),
- absolute Übertragung bei grossen Phi-Werten ($\Phi > 1.5$).

Die Grenze von $\Phi = 1.5$ als Entscheidungskriterium zwischen absoluter und relativer Übertragung ergibt sich aus:

- der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Phis bezogen auf die Absolutwerte in der Vis-eva-Analyse-Matrix,
- der verkehrsplanerischen Einschätzung, dass der Faktor von 1.5 in Hinblick auf mögliche Ausreisser in der Prognoseberechnung einen unkritischen Wert darstellt.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Methodik zur Übertragung der Matrix-Korrektur von der Analyse auf die Prognose.

Tabelle 41: Überblick Kriterien für mehrstufige Übertragung der Matrixkorrektur

Kriterium	Übertragungsart		
	absolut	relativ	keine Korrektur
Stufe 1			
Hauptdiagonale			x
Delta-Matrix (AK – A): Betrag ≤ 1			x
Stufe 2			
Phi-Matrix (AK / A): Wert = 0 und Visum-Analyse-Matrix AK: Wert > 0	x		
Stufe 3			
Phi-Matrix (AK / A): Wert < 1		x	
Stufe 3			
Phi-Matrix (AK / A): Wert > 1 und ≤ 1.5		x	
Phi-Matrix (AK / A): Wert > 1.5	x		

Testlauf zur Übertrag der Matrix-Korrektur:

Zur Überprüfung des vorgeschlagenen Verfahrens zur Übertragung der Matrix-Korrektur wurden zwei Testanwendungen gerechnet. Dazu wurde die vorgeschlagene Methodik zur Übertragung der Matrix-Korrektur als Visum-Verfahren umgesetzt.

Als 1. Testanwendung wurde das Verfahren auf die Analyse-Matrizen angewandt. Dabei konnte mit der vorgeschlagenen Methodik eine Analyse-Visum-Matrix reproduziert werden, die der ursprünglichen Visum-Matrix bis auf minimale Abweichungen gleicht.

Für die 2. Testanwendung wurde ein Viseva-Testlauf mit veränderten Raumstrukturdaten durchgeführt. Raumstrukturdaten (Einwohner, Erwerbstätige) wurden für jeden Bezirk mit einem einheitlichen Faktor hochgerechnet, wobei zu Testzwecken nur folgende Faktoren verwendet wurden:

- Faktor 1.2 (Erhöhung der Raumstrukturdaten in der Prognose),
- Faktor 1.0 (keine Änderung der Raumstrukturdaten in der Prognose).

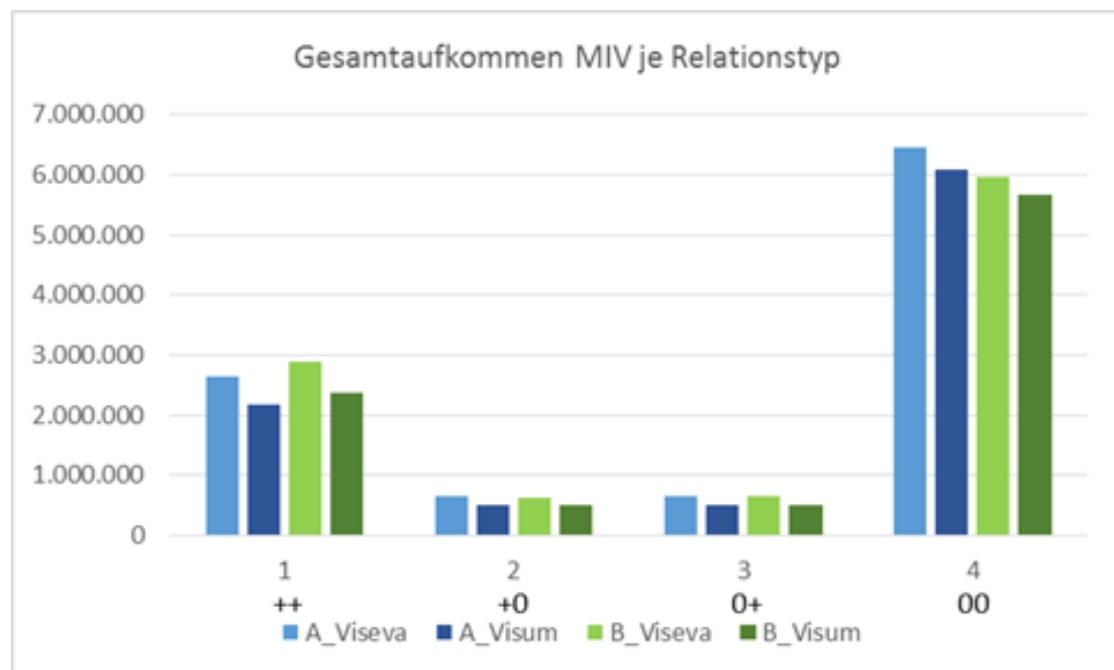
Zur Überprüfung der erfolgten Matrixkorrekturen wurde eine Bewertung für 4 unterschiedliche Relations-Typen durchgeführt, die sich hinsichtlich der Steigerungsfaktoren im Testlauf unterscheiden:

- Typ 1 (++) : alle Relationen, bei denen sowohl für Quell- als auch Zielbezirk die Einwohner und Erwerbstätigen mit dem Faktor 1,2 erhöht wurden.
- Typ 2 (+0) : alle Relationen, bei denen für den Quellbezirk die Einwohner und Erwerbstätigen mit dem Faktor 1,2 erhöht wurden und für den Zielbezirk unverändert blieben.
- Typ 3 (0+) : alle Relationen, bei denen für den Zielbezirk die Einwohner und Erwerbstätigen mit dem Faktor 1,2 erhöht wurden und für den Quellbezirk unverändert blieben.

- Typ 4 (00): alle Relationen, bei denen sowohl für Quell- als auch Zielbezirk die Einwohner und Erwerbstätigen unverändert blieben.

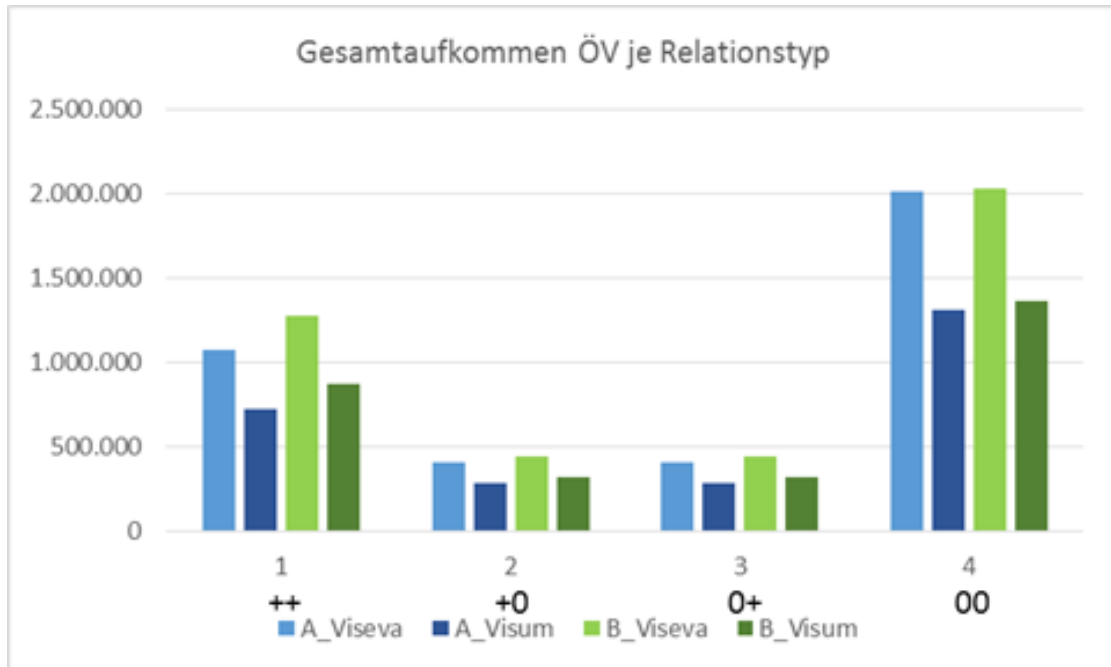
Die nachfolgenden zwei Abbildungen zeigen jeweils für den MIV und den ÖV die Gesamtaufkommen differenziert nach den vier oben genannten Relationstypen. Die Aufkommenswerte auf der Hauptdiagonalen wurden dabei nicht berücksichtigt. Es ist zu erkennen, dass die Aufkommensunterschiede zwischen beiden Berechnungsfällen je nach Relationstyp unterschiedlich ausfallen.

Abbildung 25: Vergleich zwischen den Berechnungsfällen A und B (MIV)



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 26: Vergleich zwischen den Berechnungsfällen A und B (ÖV)



Quelle: Eigene Darstellung.

Bezüglich der Wirkung des Matrix-Korrektur-Übertrages kann festgestellt werden, dass eine gute Übereinstimmung zwischen der Wirkungsweise der Matrixkorrektur in der Analyse (Berechnungsfall A) und der Wirkungsweise des Korrekturübertrags im Testlauf (Berechnungsfall B) besteht.

Fazit

Das beschriebene Verfahren zur Übertragung der Matrixkorrektur wurde in den Berechnungsablauf bei den Verkehrsperspektiven integriert und für alle Szenarien/Sensitivitäten angewendet.

7.2.5. Matrixkorrektur Strassengüterverkehr

Vom Teilmodell 2 der AMG werden Matrizen des Strassengüterverkehrs auf die Zonenebene des NPVM (3'114 Zonen) für die folgenden Segmente berechnet:

- Lastzüge,
- Lastwagen,
- Lieferwagen.

Während die Segmente Lastzüge und Lastwagen auf Erhebungsdaten (transportierte Tonnage) beruhen, ist das Lieferwagenmodell ein rein synthetisches Fahrtenerzeugungsmodell, dessen Kenngrössen (z.B. Fahrten/Beschäftigte, Entfernungsverteilungen) sich aus einer Stichprobenerhebung ableiten (ARE 2015b). Die Matrizen der drei Fahrzeugsegmente wurden in einem weiteren Projekt²⁶, ausserhalb der Verkehrsperspektiven, auf das Strassennetzmodell der Schweiz umgelegt und so verändert, dass u.a. Strassenzählungen besser getroffen wurden. Die daraus sich ergebenden hier als „angepasste Matrizen“ bezeichneten Daten wurden an das Perspektiven-Projektteam zurückgeliefert. Innerhalb der Anwendung der AMG im Prognosefall sind ebenfalls Lkw-Matrizen auf NPVM-Ebene zu berechnen. Die Frage ist – analog zum Personenverkehr, siehe voriges Kapitel – nun, wie die Information der Anpassung in diesen Datensatz eingerechnet wird. Die Anwendung einer geeigneten Fortschreibungsmethode auf Verkehrszonenebene ist notwendig, um Verkehrsströme und daraus abgeleitete Umlegungsergebnisse an die empirischen Daten anzupassen. Dazu wurde wie nachfolgend beschrieben ein Verfahren zur Ableitung der Anpassungsfaktoren erstellt.²⁷

Es ist üblich, dass die Anpassungsfaktoren je Relation auch in der Prognose angewandt werden. Problematisch ist, dass hohe Anpassungsfaktoren (die Auswertungen zeigen einen Cut der Faktoren bei Faktor 10) auf hohe Wachstumsraten bzw. hohe absolute Wachstumszahlen im Prognosefall treffen können und sich daraus im Umlegungsbild starke, nicht plausible Wirkungen ergeben. Beispiel wäre die Einrichtung eines kleineren UKV-Terminals mit 100 täglichen Lkw im Vor- und Nachlauf, woraus durch die Anwendung von Anpassungsfaktoren dann 1000 werden können. Es ist aber eher unwahrscheinlich, dass alle Relationen einer Verkehrszone mit hohen Anpassungsfaktoren belegt sind. Um solche Effekte zu verhindern, ist es sinnvoll, diese Art der Fortschreibung nur bis zu einem festzulegenden maximalen Anpassungsfaktor zuzulassen und die darüber hinausgehenden Verkehrsmengen auf die Verkehrsmengen der Relation zu addie-

²⁶ Ein Projekt realisiert durch die Rapp Trans AG im Auftrag des ARE. Nachfolgend wird das Ergebnis in Form von an die Zählwerte angepassten Matrizen als „Matrix RAPP“ bezeichnet.

²⁷ Die entsprechenden Arbeiten wurden von der Firma TCI Röhling vorgenommen; die hier eingestellte Dokumentation wurde einem entsprechenden Bericht von TCI Röhling entnommen.

ren. Für die Festlegung dieses maximalen Anpassungsfaktors ist eine Auswertung der Anpassungswirkung notwendig. Durch die Festlegung des Faktors wird verhindert, dass auf der Detailebene unerwünschte und zu grosse Effekte entstehen. Die Auswirkungen der Anpassung auf die grossen Eckwerte können durch die folgenden Auswertungen für die drei Segmente abgeschätzt werden: die Häufigkeiten der Anpassungsfaktoren nach Relation wird mit dem Aufkommen und der Verkehrsleistung gewichtet.

Zu bemerken ist, dass für kleine Faktoren ein entsprechendes Vorgehen nicht in Betracht gezogen wird. Dadurch wird vermieden, dass durch ein additives Vorgehen negative Ströme erzeugt werden. Andererseits wäre das UKV-Terminalbeispiel mit 100 Lkw, das auf 1 Lkw heruntergerechnet würde, auch nicht plausibel. Durch die Berechnung der relativen Änderungen im Bereich kleiner Anpassungsfaktoren werden solche Fälle vermieden. Zusammenfassend ergeben die Auswertungen der Anpassung die in der folgenden Tabelle dargestellten Werte.

Tabelle 42: Güterverkehrsleistungen in den Matrizen vor/nach Anpassung

Lieferwagen	Leistung		Testgrösse	
	Originalmatrix TCI	Matrix RAPP	Wachstum global 30%	Wachstum global 10%
Total	11,358,943	13,594,572		
dv. AnpFaktor > 1.5	1,855,024	5,563,611	23.9%	8.0%
dv. AnpFaktor > 2	1,125,317	4,306,332	25.5%	8.5%
dv. AnpFaktor > 2.5	678,128	3,328,346	26.4%	8.8%
dv. AnpFaktor > 3	465,134	2,740,021	27.0%	9.0%
dv. AnpFaktor > 5	79,113	1,133,963	28.4%	9.5%
Lastzüge	Leistung			
	Originalmatrix TCI	Matrix RAPP		
Total	4,818,045	4,583,599		
dv. AnpFaktor > 1.5	1,241,107	2,435,371	26.2%	8.7%
dv. AnpFaktor > 2	597,418	1,638,467	27.1%	9.0%
dv. AnpFaktor > 2.5	265,882	1,070,791	27.3%	9.1%
dv. AnpFaktor > 3	147,095	807,385	27.6%	9.2%
dv. AnpFaktor > 5	99,424	681,152	28.8%	9.6%
Lastwagen	Leistung			
	Originalmatrix TCI	Matrix RAPP		
Total	5,158,142	5,120,115		
dv. AnpFaktor > 1.5	544,847	1,625,220	25.3%	8.4%
dv. AnpFaktor > 2	310,260	1,217,311	26.5%	8.8%
dv. AnpFaktor > 2.5	211,734	997,724	27.3%	9.1%
dv. AnpFaktor > 3	132,433	781,300	27.8%	9.3%
dv. AnpFaktor > 5	13,144	211,909	29.1%	9.7%

Originalmatrix TCI = Matrizen AMG

Matrix RAPP = an Zählwerten ausgerichtete Matrizen

Tabelle 42 ist wie folgt zu interpretieren: In der Zeile TOTAL stehen die angenäherten²⁸ Fahrleistungen im Analysefall vor und nach Anpassung. In den weiteren Zeilen stehen die Fahrleistungen in den jeweiligen Kategorien der Anpassungsfaktoren. D.h. Relationen im Segment Lieferwagen mit einem Anpassungsfaktor > 1.5 sind mit Fahrleistungen von 1.86 Mio. FzKm (pro Tag) vor Anpassung und mit Fahrleistungen von 5.56 Mio. FzKm nach Anpassung besetzt. Wird nun ein globales Wachstum in der Prognose von 10% angenommen, würde dies durch einen Ansatz, der einen additiven Anteil enthält, etwas gekappt, da die Leistung im Beispiel mit einem zulässigen Maximalfaktor von 1.5 nur maximal mit 1.5 multipliziert wird. Die übrige Leistung kommt additiv hinzu. Dadurch sinkt die Gesamtleistung. Aus einem Wachstum von 10% werden so nur noch 8%. In die Tabelle sind auch die Angaben für 30% Wachstum aufgenommen, da die Zusammenhänge nicht linear sind.

Für die Festlegung der Anpassungsfaktoren wird nun eine Reduktion von maximal einem Prozentpunkt für Lastwagen und Lastzüge bzw. 1.5% für Lieferwagen bei 10% Wachstum zugelassen. Die jeweiligen Faktoren sind in der Tabelle eingefärbt, wobei die Ausweisung nach den Faktorintervallen der Vorgehensweise angemessen ist.

Damit werden folgende maximale Anpassungsfaktoren angewandt:

- Lieferwagen: Faktor 2,
- Lastzüge Faktor 2,
- Lastwagen Faktor 2.5.

²⁸ Der Begriff „angenähert“ bezieht sich auf die verwendete Entfernungsmatrix.

7.3. Überprüfung der Schnittstellen

7.3.1. Schnittstelle Modul 1 PV zu Modul 2

Die Schnittstelle von Modul 1 Personenverkehr zur Erstellung des Personenverkehrsmodells in Modul 2 ist über die Eingangsdaten des NPVM definiert. Für das Modul 2 werden die Eingangsdaten im gleichen Format, der gleichen Auflösung und der gleichen inhaltlichen Bedeutung wie im NPVM zur Verfügung gestellt.

7.3.2. Schnittstelle Tool AMG zu Modul 2

Die Ergebnisse des Tools AMG werden in Form von Matrizen für Lieferwagen, Lastwagen und Lastzüge an das Modul 2 übergeben. Diese werden im Rahmen des Moduls 2 in Visum eingelesen und gemeinsam mit den Matrizen des Personenverkehrs umgelegt.

7.3.3. Schnittstelle Modul 2 zu Modul 3

Die Schnittstelle zwischen Modul 2 zu Modul 3 ist die Übergabe der Ergebnisse der Visum-Umlegungen an Excel, so dass dort im Rahmen des Moduls 3 die Ergebnisse in übersichtlicher Form zusammengefasst und weitere Auswertungen wie Hochrechnungen auf Jahresfahr- und Verkehrsleistungen vorgenommen werden können. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Moduls 2 die Subroutine Auswerteskripte entwickelt, die in Kapitel 5.3 beschrieben wird.

Die Auswerteskripte werden in den vier vorliegenden Versionen des NPVM (MIV nach Fahrtzweck, MIV kalibriert, ÖV nach Fahrtzweck und ÖV kalibriert) aufgerufen und schreiben die gewünschten Daten in eine Excel-Mastertabelle, auf welche die übrigen in Modul 3 implementierten und in Kapitel 6 beschriebenen Auswertungen zugreifen.

7.4. Fazit

Die Arbeiten zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit des NPVM haben sich im Projektverlauf als umfangreich herausgestellt, waren aber insbesondere zur Ableitung des Verfahrens zur Übertragung der Matrixkorrektur in der Prognose von hoher Wichtigkeit. Es konnte für die Kenngrößenmatrizen und Nachfragematrizen eine gute Übereinstimmung hergestellt werden. Punktuelle Abweichungen waren vorhanden, die darauf zurückzuführen sind, dass die Ergebnisse verschiedener Iterationsstände miteinander verglichen wurden. Im Rahmen der Überprüfung der Umlegung ergab sich, dass die Ergebnisse nur unter Verwendung von Visum 12.5 reproduziert werden können.

Bezüglich der Matrixkorrektur ist festzustellen, dass es sich hier um eine Überlagerung von einer Matrixausdünnung mit weiteren Kalibrierungsschritten handelt, die auf einzelnen Relationen auch zu einer Erhöhung der Verkehrsaufkommen führt. Das konkrete methodische Vorgehen ist nicht vollständig nachvollziehbar und somit nicht reproduzierbar. Deshalb sind die an der Analyse geeichten Matrix-Korrekturen in die Prognose zu übertragen. Hierfür wurde ein Verfahren entwickelt, getestet und in den Verkehrsperspektiven angewendet. Neben der Reproduzierbarkeit des NPVM waren die Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen Gegenstand des Funktionstests.

8. Szenarien und quantifizierte Stellgrößen

Zur Modellierung der Szenarien waren, wie in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt, vielfältige Annahmen zu treffen. Nachstehen finden sich für alle Szenarien die Quantifizierungen der Stellgrößen in den Verkehrsmodellen NPVM und AMG.

Tabelle 43: Stellgrößen zu Referenzszenario und Alternativszenario Balance

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	BALANCE
KILOMETERKOSTEN*			
MIV	Fr./km	0.17	0.27
ÖV		0.22	0.30
* Dargestellt sind die Werte wie sie im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) hinterlegt sind. Ausgangspunkt bildet die Überlegung vergleichsweise stärker steigender MIV-Kosten im Szenario. Hintergrund dazu bilden folgende Argumente: analog zur Referenz steigen allgemein die Energiepreise, zudem erfolgt eine stärkere Internalisierung externer Kosten, im ÖV wirkt eine weitergehende Anlastung von Infrastrukturkosten. Der MIV steigt in realen Preisen gegenüber der Referenz um +10 Rp. (Annahme); der ÖV bleibt nur noch gut 10% teurer als der MIV – statt knapp 30% in der Referenz. Dies führt zu einer Steigerung der ÖV-Kosten um +8 Rp. Werte 2020/2030: lineare Interpolation			
MOBILITÄTSWERKZEUGE			
Personenwagen	Anzahl je 1.000 Einwohner	552	511
GA		65	73
Halbtax		321	340
Der PW-Besitz reduziert sich gegenüber der Referenz um -7.5% (Annahme). Grund dafür ist insbesondere die relative Teuerung der MIV-Betriebskosten. Die Erhöhung der GA- und Halbtaxabonnemente leitet sich aus dieser Entwicklung ab: 45% der ehemaligen PW-Besitzer erwerben ein Halbtax, 20% ein GA (Ableitung aus MZMV). Werte 2020/2030: modelliert, Tool Mobilitätswerkzeugbesitz			
PARKKOSTEN			
Parkkosten Städte	je Ein-/Ausfahrt	2.2*	3.3
* Dargestellt sind die Werte wie sie im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) hinterlegt sind. Eine Erhöhung der mittleren Parkkosten um 50% (Annahme) resultiert u.a. aus einer verstärkten Umsetzung der Städteinitiative. Werte 2020/2030: lineare Interpolation			

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	BALANCE	
KAPAZITÄTEN HOCHLEISTUNGSSTRASSEN				
			2030	2040
Kapazität HLS	Änderung in %	2	3	5*
			2030	2040
Anteil autonome Lkw am Fahrzeugbestand	in %	0	10	20
Anteil autonome PW am Fahrzeugbestand	in %	0	0	10
Veränderungen der Kapazitäten auf Hochleistungsstrassen (HLS) gehen zurück auf einen vermehrten Einsatz von Technologien des Verkehrsmanagements und Annahmen zur Durchdringung des Bestands mit teilautonomen (ab 2030) und vollautonomen Fahrzeugen (ab 2040, jeweils im Personen- und Güterverkehr). Im Personenverkehr dominieren die Vorbehalte seitens der Nutzer (Bedenken bzgl. Sicherheits- und Umwelteffekten), so dass – trotz verfügbarer Technologien – erst wenige autonome PWs zugelassen sind. Aufgrund der eher späten „Öffnung“ des Regulativs gegenüber den Technologien, wird von einer vergleichsweise schwachen Durchdringung des Bestands ausgegangen. Die Fahrzeuge (PV und GV) sind allein für den Einsatz auf HLS zugelassen. * Gemäss einer Studie zum Zusammenhang „Bestand autonome Fahrzeuge und Kapazitätseffekte“ wäre bei Anteilen von 20% (Lkw) und 10% (PW) von einer Kapazitätserweiterung von +6.7% auszugehen (Klaussner & Irtenkauf, 2013, in: Prognos, 2016: Synthesebericht zum Thema: Technologien im Personen- und Güterverkehr – autonome Fahrzeuge und Sharing-Modelle). Aufgrund der hohen Sensitivität des Verkehrsmodells auf Änderungen der Kapazität sowie den Annahmen folgend, dass bei geringer Durchdringung im Bestand eine Kolonnenbildung von Fahrzeugen nicht durchgängig möglich ist und zudem gegenüber der Studie von grösseren Sicherheitsabständen zwischen den Fahrzeugen ausgegangen wird, erscheint eine reduzierte Kapazitätserweiterung (5%) angebracht (Summe aus Verkehrsmanagement und autonomes Fahren).				
Werte 2020: lineare Interpolation zwischen 2010 und 2030				
LANGSAMVERKEHR				
Die Reisezeiten im Langsamverkehr reduzieren sich im Vergleich zur Referenz nur leicht (-7% statt -5% in der Referenz). Zum einen wird bereits in der Referenz von einer spürbaren Reduktion ausgegangen, zum anderen kann in der Umsetzung der Stellgrösse lediglich für das Velo von Beschleunigungen ausgegangen werden. Eine starke Verbreitung von E-Bikes, der Ausbau von Velo-Infrastrukturen und die Priorisierung gegenüber dem MIV, z.B. an Kreuzungen, reduzieren die mittleren Reisezeiten (= Erhöhung der Geschwindigkeiten).				
Werte 2020/2030: lineare Interpolation				

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	BALANCE
WEGEAUFKOMMEN* (Wege pro Person und Tag nach Fahrtzweck)			
- Arbeiten	Änderung in %	-3	-5
- Ausbildung		1 ^c / 3 ^d / 1.5 ^e	2 ^d / 1 ^e
- Einkauf			
- Nutzfahrt		1.5 ^c / 5 ^d / 2.5 ^e	3 ^d / 1.5 ^e
- Freizeit			
* Die Wegeaufkommen sind im NPVM für die Fahrtzwecke Einkaufen und Freizeit nach Altersklassen differenziert, diese sind: ^c25-59 Jahre, ^d60-79 Jahre, ^e80+ Jahre. Möglichkeiten des Homeoffice werden gegenüber der Referenz verstärkt genutzt, da dadurch Verkehr in den Spitzenstunden vermieden werden kann. Eine Substitution der von Erwerbstätigen „eingesparten“ Fahrten, z.B. im Einkaufs- oder Freizeitbereich, findet nicht statt. Wie in der Referenz wirken neben generellen Verhaltensänderungen der in der älteren Generation höhere Führerausweisbesitz und die damit verbundene, erhöhte PW-Verfügbarkeit. Leicht mobilitätsinduzierend wirken neue Verkehrsangebote (stationäre und nicht-stationäre Sharing-Systeme, Fahrgemeinschaften). Stärker mobilitätsreduzierende Wirkungen gehen von den steigenden Mobilitätskosten aus und der Annahme, dass ältere Personen Wege bewusst vermeiden (im Sinne eines ressourcensparenden Verhaltens), so dass in Summe von einer leichten Reduktion des Mobilitätsbedarfs – gegenüber der Referenz – ausgegangen wird. In der jüngeren Generation wirken ebenfalls unterschiedliche Entwicklungen gleichzeitig: Mobilitätsinduzierende (neue Verkehrsangebote) und mobilitätsreduzierende Wirkungen (reduzierte Bedeutung des PWs, steigende Mobilitätskosten, Ressourcenbewusstsein) führen in der Summe zu einem gegenüber der Referenz stabilen Mobilitätsbedarf. Werte 2020/2030: lineare Interpolation			
BESETZUNGSGRAD (Anzahl Personen pro Personenwagen nach Fahrtzweck)			
- Arbeiten	Pers./PW	1.12	1.18 (+5%)
- Ausbildung		1.26	1.32 (+5%)
- Einkauf		1.41	1.51 (+7%)
- Nutzfahrt		1.62	1.66 (+2.5%)
- Freizeit		1.54	1.69 (+10%)
Die relative Verteuerung des MIV und die gleichzeitig starke Verbreitung und Akzeptanz von Sharing-Systemen führen durchgängig zu höheren Besetzungsgraden. Für Wege im Zusammenhang mit Pflichtaktivitäten (Arbeiten, Ausbildung, geschäftliche Wege / Nutzfahrten; teilweise auch Einkaufsfahrten) ist dies gegenüber einem stärkeren Anstieg bei Freizeitwegen in nur begrenztem Umfang möglich. Werte 2020/2030: lineare Interpolation			

GÜTERVERKEHR		Einheit	REFERENZ		BALANCE	
VERKEHRSART			BIE	T	BIE	T
AUSLASTUNG						
Schiene	- WLV	Netto-Tonnen je Sendung	21.0 (+5%)	21.0	22.0 (+10%)	21.0
	- UKV		12.8 (+10%)	16.8	13.3 (+15%)	16.8
	- RoLa		18.1 (+5%)	18.1	18.1	18.1
Strasse	- SNF	Netto-Tonnen je Fahrzeug	6.7 (+2.5%)	14.5	6.7 (+2.5%)	14.5
	- LI		0.3 (+2.5%)	-	0.3 (+2.5%)	-
Binnenschiff		Netto-Tonnen je Schiff	1'000 (0%)	-	1'000 (0%)	-
GESCHWINDIGKEITEN						
Schiene	- WLV	Km/h	32 (+5%)	32	33 (+10%)	32
	- UKV		32 (+5%)	42	35 (+15%)	42
	- RoLa		42 (+5%)	42	42 (+5%)	42
Strasse	- SNF	Km/h	52 (+5%)	56	50 (0%)	56
	- LI		21 (+5%)	21	20 (0%)	21
TRANSPORTKOSTEN*						
Schiene	- WLV	Fr. je n-tkm	0.23 (+5%)	0.22	0.22 (+1%)	0.22
	- UKV		0.38 (+5%)	0.12	0.32 (-10%)	0.12
	- RoLa		0.25 (+7%)	0.25	0.25 (+7%)	0.25
Strasse	- SNF	Fr. je n-tkm	0.47 (+10%)	0.15	0.50 (+17%)	0.15
	- LI		7.76 (+14%)	-	8.24 (+21%)	-
Binnenschiff		Fr. je n-tkm	0.04 (+12%)	-	0.04 (+12%)	-
Abkürzungen: WLKV = Wagenladungsverkehr, UKV = unbegleiteter kombinierter Verkehr, RoLa = Rollende Landstrasse, SNF = schwere Nutzfahrzeuge (> 3.5t), LI = Lieferwagen (<= 3.5t), BIE = Binnen, Import, Export, T = Transit						
Relative Veränderungen gegenüber 2010						
* Dargestellt sind die Gesamtkostensätze. Diesen sind Detailannahmen für Betrieb, Energie, Infrastruktur, Aufwänden für Vor-, Nachlauf und Umschlag und Personal hinterlegt. Zur Vereinfachung wird die Diskussion entlang der Gesamtkostensätze geführt.						
Durch die Zunahmen auf den nachfragestarken Hauptläufen und Relationen kann die Auslastung bei WLKV und UKV nochmals leicht erhöht werden, während die damit verbundene Zunahme der strassenbasierten Vor- und Nachläufe keine weitere Auslastungserhöhung auf der Strasse generiert. Aus dem gleichen Grund verändern sich die Geschwindigkeiten auf der Strasse nicht mehr gegenüber der Referenz (allfällige Kapazitätssteigerungen infolge autonomen Fahrens werden von den langsamen Vor- und Nachläufen aufgefangen). Auf der Schiene hingegen können die mittleren Geschwindigkeiten durch Effizienzsteigerungen nochmals erhöht werden, beim UKV steigt der Anteil der tatsächlich genutzten Expressstrassen und schnelleren Direktverbindungen. Bei den einzelnen Kostenkategorien (Betrieb, Energie, Infrastrukturbenutzung, Handling, Personal) wird bei der Schiene noch eine leichte Verringerung der Betriebs- und Handlingkosten (UKV) durch Skaleneffekte und Produktivitätssteigerungen erwartet, während ansonsten keine Veränderungen gegenüber der Referenz erfolgen. Für die Strasse werden etwas höhere Benutzungsgebühren unterstellt, aber auch höhere Personalkosten, da die Durchsetzung der Sozial- und Sicherheitsvorschriften verstärkt an die Hand genommen wird (betrifft v.a. den Import und Export) und aus autonomen Fahren (Platooning) noch kaum Betriebskostenvorteile resultieren. Im Ergebnis gehen die Kilometerkostensätze der Schiene etwas zurück, während sie auf der Strasse weiter ansteigen, so dass die Kostendifferenz „bahnfreundlicher“ ausfällt. Für den Transit werden keine Veränderungen unterstellt, da sich die raumpolitischen Annahmen auf die Schweiz beschränken; ebenfalls unverändert verbleiben die Annahmen zur ROLA.						

Tabelle 44: Stellgrößen zu Referenzszenario und Alternativszenario Sprawl

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	SPRAWL
KILOMETERKOSTEN*			
MIV	Fr./km	0.17	0.22
ÖV		0.22	0.33
* Dargestellt sind die Werte wie sie im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) hinterlegt sind. Ausgangspunkt bildet die Durchsetzung einer stärkeren Nutzerfinanzierung, wobei die Thematik der externen Kosten ausgeklammert bleibt. In der Umsetzung führt dies dazu, dass der MIV in realen Preisen gegenüber der Referenz nur um +5 Rp. steigt (Annahme); eine Folgeannahme ist, dass der ÖV, aufgrund eines sukzessiven Abbaus der Subventionen, 50% teurer als der MIV ist – statt knapp 30% in der Referenz. Dies führt zu einer Steigerung der ÖV-Kosten um +11 Rp. Werte 2020/2030: lineare Interpolation			
MOBILITÄTSWERKZEUGE			
Personenwagen	Anzahl je 1.000 Einwohner	552	607
GA		65	54
Halbtax		321	296
Der PW-Besitz erhöht sich gegenüber der Referenz um +10% (Annahme). Gründe dafür sind die relative Senkung der Betriebskosten im MIV. Die Abnahme der GA- und Halbtaxabonnemente leitet sich aus dieser Entwicklung ab: 45% der zusätzlichen PW-Besitzer geben ihr Halbtax ab, 20% ihr GA (Ableitung aus MZMV). Werte 2020/2030: modelliert, Tool Mobilitätswerkzeugbesitz			
PARKKOSTEN			
Parkkosten Städte	je Ein-/Ausfahrt	2.2*	2.2
* Dargestellt sind die Werte wie sie im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) hinterlegt sind. Gleiche Annahme wie in der Referenz. Werte 2020/2030: lineare Interpolation			

PERSONENVERKEHR		Einheit	REFERENZ	SPRAWL	
KAPAZITÄTEN HOCHLEISTUNGSSTRASSEN					
			2030	2040	
Kapazität HLS	Änderung in %	2	5	12*	
			2030	2040	
Anteil autonome Lkw am Fahrzeugbestand	in %	0	30	40	
Anteil autonome PW am Fahrzeugbestand	in %	0	0	20	
Veränderungen der Kapazitäten auf Hochleistungsstrassen (HLS) gehen zurück auf einen vermehrten Einsatz von Technologien des Verkehrsmanagements und Annahmen zur Durchdringung des Bestands mit teilautonomen (ab 2030) und vollautonomen Fahrzeugen (ab 2040, jeweils im Personen- und Güterverkehr). Im Personenverkehr lässt das Regulativ autonome Fahrzeuge für alle Streckentypen zu, so dass in 2040 ein Fünftel des PW-Bestands aus autonomen PW besteht. In Kombination mit der stärkeren Durchdringung des Bestands im Strassengüterverkehr, entstehen Kapazitätsgewinne auf den HLS. * Gemäss einer Studie zum Zusammenhang „Bestand autonome Fahrzeuge und Kapazitätseffekte“ wäre bei Anteilen von 40% (Lkw) und 20% (PW) von einer Kapazitätserweiterung von +14.5% auszugehen (Klaussner & Irtenkauf, 2013, in: Prognos, 2016: Synthesebericht zum Thema: Technologien im Personen- und Güterverkehr – autonome Fahrzeuge und Sharing-Modelle). Aufgrund der hohen Sensitivität des Verkehrsmodells auf Änderungen der Kapazität sowie den Annahmen folgend, dass bei geringer Durchdringung im Bestand eine Kolonnenbildung von Fahrzeugen nicht durchgängig möglich ist und zudem gegenüber der Studie von grösseren Sicherheitsabständen zwischen den Fahrzeugen ausgegangen wird, erscheint eine reduzierte Kapazitätserweiterung (12%) angebracht (Summe aus Verkehrsmanagement und autonomes Fahren).					
Werte 2020: lineare Interpolation zwischen 2010 und 2030					
LANGSAMVERKEHR					
Die Reisezeiten im Langsamverkehr (Fuss, Velo) erhöhen sich im Vergleich zur Referenz und verbleiben auf dem Niveau von 2010. Die Dynamik der Verbreitung von E-Bikes verlangsamt sich; der Ausbau von Velo-Infrastrukturen und die Priorisierung gegenüber dem MIV finden kaum noch Mehrheiten. In Verbindung mit einem steigenden PW-Bestand und erhöhter PW-Nutzung, bei gleichzeitiger Priorisierung des MIV, stagnieren die mittleren Reisezeiten auf dem Niveau von heute.					
Werte 2020/2030: lineare Interpolation					

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	SPRAWL
WEGEAUFKOMMEN* (Wege pro Person und Tag nach Fahrtzweck)			
- Arbeiten	Änderung in %	-3	-3
- Ausbildung			
- Einkauf		1 ^c / 3 ^d / 1.5 ^e	1.5 ^a / 3 ^b / 2 ^c / 5 ^d / 2.5 ^e
- Nutzfahrt			
- Freizeit		1.5 ^c / 5 ^d / 2.5 ^e	2 ^a / 5 ^b / 3 ^c / 7 ^d / 3.5 ^e
* Die Wegeaufkommen sind im NPVM für die Fahrtzwecke Einkaufen und Freizeit nach Altersklassen differenziert, diese sind: ^a0-14 Jahre, ^b15-24 Jahre, ^c25-59 Jahre, ^d60-79 Jahre, ^e80+ Jahre. Möglichkeiten des Homeoffice finden analog zur Referenz eine verstärkte Nutzung, da dadurch Verkehr in den Spitzenstunden vermieden werden kann. Gleichzeitig findet eine Substitution der von Erwerbstätigen „eingesparten“ Fahrten, z.B. im Einkaufs- oder Freizeitbereich, statt (siehe Zuwachs der Mobilitätsrate der 25-59 Jährigen). Ein wichtiger Treiber sind dabei die geringen Kosten einer individuellen, PW-basierten Mobilität. Die Generation der 60-79 Jährigen zeigt bei Einkaufs- und Freizeitwegen einen – gegenüber der Referenz – ansteigenden Mobilitätsbedarf. Neben den Effekten, die bereits in der Referenz wirken (generelle Verhaltensänderungen, höherer Führerausweisbesitz und die damit verbundene, erhöhte PW-Verfügbarkeit) wirken hier die vergleichsweise geringen MIV-Betriebskosten als starker Treiber. Dies gilt in reduzierter Form auch für die jüngeren Generationen. Während die Generation der 15-24 Jährigen häufig bereits selbstbestimmt, mehr Mobilität „konsumiert“, steigt der Bedarf der 0-14 Jährigen nur leicht. Dies vor allem aufgrund der eingangs genannten Substitutionseffekte der 25-59 Jährigen (bei den Wegen der jüngsten Generation handelt es sich häufig um begleitete Wege). Werte 2020/2030: lineare Interpolation			
BESETZUNGSGRAD (Anzahl Personen pro Personenwagen nach Fahrtzweck)			
- Arbeiten	Pers./PW	1.12	1.09 (-2.5%)
- Ausbildung		1.26	1.23 (-2.5%)
- Einkauf		1.41	1.34 (-5%)
- Nutzfahrt		1.62	1.58 (-2.5%)
- Freizeit		1.54	1.39 (-10%)
Die relative Vergünstigung des MIV und der generelle Vorzug individueller vor kollektiver Mobilität bei nur moderater Entwicklung und Akzeptanz von Sharing-Systemen, führen zu leicht (Pflichtaktivitäten: Arbeiten, Ausbildung, Nutzfahrten) bis stärker sinkenden Besetzungsgraden (Einkauf, Freizeit). Werte 2020/2030: lineare Interpolation			

GÜTERVERKEHR		Einheit	REFERENZ		SPRAWL	
VERKEHRSART			BIE	T	BIE	T
AUSLASTUNG						
Schiene	- WLW	Netto-Tonnen je Sendung	21.0 (+5%)	21.0	20.0 (0%)	21.0
	- UKV		12.8 (+10%)	16.8	11.6 (0%)	16.8
	- RoLa		18.1 (+5%)	18.1	18.1	18.1
Strasse	- SNF	Netto-Tonnen je Fahrzeug	6.7 (+2.5%)	14.5	6.5 (+0%)	14.5
	- LI		0.3 (+2.5%)	-	0.3 (+0%)	-
Binnenschiff		Netto-Tonnen je Schiff	1'000 (0%)	-	1'000 (0%)	-
GESCHWINDIGKEITEN						
Schiene	- WLW	Km/h	32 (+5%)	32	27 (-10%)	32
	- UKV		32 (+5%)	42	29 (-5%)	42
	- RoLa		42 (+5%)	42	42 (+5%)	42
Strasse	- SNF	Km/h	52 (+5%)	56	53 (+5%)	56
	- LI		21 (+5%)	21	21 (+5%)	21
TRANSPORTKOSTEN*						
Schiene	- WLW	Fr. je n-tkm	0.23 (+5%)	0.22	0.26 (+13%)	0.22
	- UKV		0.38 (+5%)	0.12	0.43 (+18%)	0.12
	- RoLa		0.25 (+7%)	0.25	0.25 (+7%)	0.25
Strasse	- SNF	Fr. je n-tkm	0.47 (+10%)	0.15	0.47 (+8%)	0.15
	- LI		7.76 (+14%)	-	7.11 (+5%)	-
Binnenschiff		Fr. je n-tkm	0.04 (+12%)	-	0.04 (+12%)	-
Abkürzungen: WLW = Wagenladungsverkehr, UKV = unbegleiteter kombinierter Verkehr, RoLa = Rollende Landstrasse, SNF = schwere Nutzfahrzeuge (> 3.5t), LI = Lieferwagen (<= 3.5t), BIE = Binnen, Import, Export, T = Transit Relative Veränderungen gegenüber 2010 * Dargestellt sind die Gesamtkostensätze. Diesen sind Detailannahmen für Betrieb, Energie, Infrastruktur, Aufwänden für Vor-, Nachlauf und Umschlag und Personal hinterlegt. Zur Vereinfachung wird die Diskussion entlang der Gesamtkostensätze geführt. Die Auslastungen lassen sich auf der Schiene unter den Rahmenbedingungen von Sprawl nicht mehr weiter steigern gegenüber heute, d.h. sie nehmen relativ gesehen gegenüber der Referenz ab. Auf der Strasse besteht kein Druck, die Auslastungen zu erhöhen (konkurrenzlose Feinverteilung) – im Vergleich zur Referenz nehmen sie deshalb beim leichten und auch schweren Nutzfahrzeugverkehr wieder ab. Insgesamt verliert der Schienengüterverkehr an Bedeutung, so dass ihm auf dem Bahnnetz geringere Prioritäten als noch bei der Referenz eingeräumt werden. Damit können die Systemgeschwindigkeiten nicht verbessert werden – im Gegenteil, verringern sie sich noch. Die Strasse hingegen profitiert vom höheren Anteil autonomer Fahrzeuge und den damit verbundenen Kapazitätssteigerungen; der höhere Anteil der Feinverteilung begrenzt jedoch allfällige Geschwindigkeitssteigerungen. Im Prinzip bewirken bereits diese Veränderungen seitens Auslastung und Geschwindigkeit eine Veränderung der Kilometerkostensätze. Die Betriebskosten werden bei der Bahn infolge fehlender Produktivitätssprünge ansteigen, während die Strasse hier Skaleneffekte positiv nutzen kann. Im Ergebnis verändert sich das Kostendifferenzial zu Gunsten der Strasse. Zur Operationalisierung des Szenarios ist vorgesehen, nicht allein die Kostenveränderungen und die damit verbundenen Nachfrageelastizitäten einzusetzen. In einzelnen Segmenten wird die Trendentwicklung der Vergangenheit mit abnehmenden Bahnanteilen fortgeführt, womit sich der eher bahnunfreundliche Charakter dieses Szenarios stärker akzentuiert.						

Tabelle 45: Stellgrößen zu Referenzszenario und Alternativszenario Fokus

PERSONENVERKEHR		Einheit	REFERENZ	FOKUS	
KILOMETERKOSTEN*					
MIV	U1 (Stadt)*	Fr./km	0.17	0.27	
	U2 (Land)		0.17	0.22	
ÖV	U1 (Stadt)		0.22	0.27	
	U2 (Land)		0.22	0.33	
* Dargestellt sind die Werte wie sie im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) hinterlegt sind. * U1 (Stadt) umfasst alle Verkehrsbeziehungen im Zusammenhang der 10 grössten Schweizer Städte (Verkehre in die Städte, aus den Städten, zwischen den Städten und innerhalb der Städte). U2 (Land) umfasst alle restlichen Verkehrsbeziehungen. Ausgangspunkt bildet die Überlegung, dass die ÖV-Kosten für ländliche Verkehrsbeziehungen stärker steigen als für städtische Verkehrsbeziehungen. Neben den generell kostensteigernd wirkenden Faktoren, erfolgt dies über die Durchsetzung einer Lenkungsabgabe für Städte. In der Umsetzung führt dies dazu, dass der ÖV in den Städten preislich dem MIV gleichgestellt ist (MIV +10 Rp. und ÖV +5 Rp., Annahme), auf dem Land wird der ÖV pro Kilometer 50% teurer als der MIV (MIV +5 Rp. und ÖV +11 Rp., Annahme). In etwa spiegeln die Preisentwicklungen die in den Szenarien Sprawl und Balance gemachten Annahmen wieder und nutzen diese zur Ausdifferenzierung zwischen Stadt und (Um-)Land. Werte 2020/2030: lineare Interpolation					
ÖV-BEFÖRDERUNGSZEIT					
			2020	2030	2040
U1 (Stadt)*	Änderung in %	unverändert	-5	-10	
U2 (Land)		unverändert	+7.5	+15	
* U1 (Stadt) umfasst in diesem Fall allein die Verkehre innerhalb der Städte sowie zwischen den Städten. Zusätzliche Investitionen in den ÖV in den Städten führen zu Beschleunigungen und vor allem zu Taktverdichtungen. Dies gilt sowohl für den städtischen ÖV, als auch für die Verbindungen zwischen den grössten Städten. Im ländlichen Raum wird das Verkehrsangebot reduziert, insbesondere die Umsteigezeiten (als Bestandteil der Beförderungszeit) verlängern sich.					

PERSONENVERKEHR		Einheit	REFERENZ	FOKUS	
MOBILITÄTSWERKZEUGE					
Personenwagen	U1 (Stadt)	Anzahl je 1.000 Einwohner	414	352	
	U2 (Land)		580	667	
GA	U1 (Stadt)		102	114	
	U2 (Land)		58	41	
Halbtax	U1 (Stadt)		379	407	
	U2 (Land)		309	270	
Der PW-Besitz reduziert sich in den Städten gegenüber der Referenz um -15%, im ländlichen Raum erhöht sich die PW-Besitzrate um 15% (Annahmen). Die jeweiligen Zu- und Abnahmen der GA- und Halbtaxabonnemente leiten sich aus diesen Entwicklungen ab: 45% der zusätzlichen PW-Besitzer im ländlichen Raum geben ihr Halbtax ab, 20% ihr GA; 45% der ehemaligen PW-Besitzer in den Städten erwerben ein Halbtax, 20% ein GA (Ableitung aus MZMV). Werte 2020/2030: modelliert, Tool Mobilitätswerkzeugbesitz					
PARKKOSTEN					
Parkkosten Städte		je Ein-/Ausfahrt	2.2*	3.3	
* Dargestellt sind die Werte wie sie im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) hinterlegt sind. Gleiche Annahme wie im Szenario Balance. Werte 2020/2030: lineare Interpolation					

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	FOKUS	
KAPAZITÄTEN HOCHLEISTUNGSSTRASSEN				
			2030	2040
Kapazität HLS	Änderung in %	2	4	8*
			2030	2040
Anteil autonome Lkw am Fahrzeugbestand	in %	0	20	30
Anteil autonome PW am Fahrzeugbestand	in %	0	0	15
Veränderungen der Kapazitäten auf Hochleistungsstrassen (HLS) gehen zurück auf einen vermehrten Einsatz von Technologien des Verkehrsmanagements und Annahmen zur Durchdringung des Bestands mit teilautonomen (ab 2030) und vollautonomen Fahrzeugen (ab 2040, jeweils im Personen- und Güterverkehr). Im Personenverkehr lässt das Regulativ autonome Fahrzeuge zu, so dass in 2040 15% des PW-Bestands aus autonomen PWs besteht. In Kombination mit der Durchdringung des Bestands im Strassengüterverkehr, entstehen Kapazitätsgewinne auf den HLS. Autonome PWs sind auch für den Einsatz ausserhalb der HLS zugelassen und in den Städten und auf dem Land etablieren sich erste Geschäftsmodelle (in der Stadt in Form von autonomen (Sammel-)Taxis, auf dem Land in Form von autonomen Sammeltaxis und Kleinbussen); deren Einfluss auf Kapazitäten bzw. die städtischen Verkehrssysteme bleibt gering. * Gemäss einer Studie zum Zusammenhang „Bestand autonome Fahrzeuge und Kapazitätseffekte“ wäre bei Anteilen von 30% (Lkw) und 15% (PW) von einer Kapazitätserweiterung von +10.5% auszugehen (Klaussner & Irtenkauf, 2013, in: Prognos, 2016: Synthesebericht zum Thema: Technologien im Personen- und Güterverkehr – autonome Fahrzeuge und Sharing-Modelle). Aufgrund der hohen Sensitivität des Verkehrsmodells auf Änderungen der Kapazität sowie den Annahmen folgend, dass bei geringer Durchdringung im Bestand eine Kolonnenbildung von Fahrzeugen nicht durchgängig möglich ist und zudem gegenüber der Studie von grösseren Sicherheitsabständen zwischen den Fahrzeugen ausgegangen wird, erscheint eine reduzierte Kapazitätserweiterung (8%) angebracht (Summe aus Verkehrsmanagement und autonomes Fahren).				
Werte 2020: lineare Interpolation zwischen 2010 und 2030				
LANGSAMVERKEHR				
Die Reisezeiten im Langsamverkehr (Fuss, Velo) verbleiben auf dem Niveau der Referenz. Den Massnahmen und Entwicklungen im Langsamverkehr (zunehmende Verbreitung von E-Bikes, Ausbau von Velo-Infrastrukturen und die Priorisierung gegenüber dem MIV) stehen starke allgemeine Nachfragezuwächse, v.a. in den Städten gegenüber. Die hohe Verkehrsdichte allgemein lässt keine Verbesserungen der mittleren Reisezeiten (= Erhöhung der Geschwindigkeiten) zu.				
Werte 2020/2030: lineare Interpolation				

PERSONENVERKEHR	Einheit	REFERENZ	FOKUS	
WEGEAUFKOMMEN* (Wege pro Person und Tag nach Fahrtzweck)				
- Arbeiten - Ausbildung - Einkauf - Nutzfahrt - Freizeit	Änderung in %	-3	-5 (Stadt) / -3 (Land)	
		1 ^c / 3 ^d / 1.5 ^e	1 ^c / 3 ^d / 1.5 ^e	
		1.5 ^c / 5 ^d / 2.5 ^e	1.5 ^c / 5 ^d / 2.5 ^e	
* Die Wegeaufkommen sind im NPVM für die Fahrtzwecke Einkaufen und Freizeit nach Altersklassen differenziert, diese sind: ^a0-14 Jahre, ^b15-24 Jahre, ^c25-59 Jahre, ^d60-79 Jahre, ^e80+ Jahre.				
Möglichkeiten des Homeoffice finden im Vergleich zur Referenz eine verstärkte Nutzung, da dadurch Verkehr in den Spitzenstunden, insbesondere in den verkehrsbelasteten Städten, vermieden werden kann. Im ländlichen Raum eröffnet Homeoffice die Möglichkeit Wege einzusparen, die aufgrund der verringerten Erschliessungsqualität schwieriger zu bewältigen sind. Teilweise werden die „eingesparten“ Fahrten, z.B. im Einkaufs- oder Freizeitbereich, substituiert.				
Die ältere Generation zeigt bei Einkaufs- und Freizeitwegen einen – analog zur Referenz – ansteigenden Mobilitätsbedarf. Wie in der Referenz wirken hier neben generellen Verhaltensänderungen der in der älteren Generation höhere Führerausweisbesitz und die damit verbundene, erhöhte PW-Verfügbarkeit. Leicht mobilitätsinduzierend wirken neue Verkehrsangebote (vor allem in den Städten). Mobilitätsreduzierende Wirkungen gehen von den steigenden Mobilitätskosten und steigenden Aufwänden allgemein aus (aufgrund sehr hoher Verkehrsdichte in den Städten, geringerer Erschliessungsqualitäten im ländlichen Raum), so dass in Summe keine Änderungen gegenüber der Referenz angenommen werden.				
Werte 2020/2030: lineare Interpolation				
BESETZUNGSGRAD (Anzahl Personen pro Personenwagen nach Fahrtzweck)				
-			Stadt (U1)	Land (U2)
- Arbeiten - Ausbildung - Einkauf - Nutzfahrt - Freizeit	Pers./PW	1.12	1.23 (+10%)	1.08 (-3%)
		1.26	1.39 (+10%)	1.22 (-3%)
	1.41	1.62 (+15%)	1.28 (-8%)	
	1.62	1.78 (+10%)	1.57 (-3%)	
	1.54	1.77 (+15%)	1.40 (-8%)	
Der Besetzungsgrad von Personenwagen steigt in den Städten an und sinkt leicht auf dem Land: in den Städten lässt der Raum- und Kostendruck im MIV Geschäftsmodelle entstehen, die auf der gemeinsamen Nutzung von Fahrzeugen basieren; nach Möglichkeit werden auch für Pflichtaktivitäten (Arbeiten, Ausbildung) Fahrgemeinschaften gebildet. Die Motorisierungsrate sinkt. Im ländlichen Raum werden zur Überbrückung der reduzierten Erschliessungsqualitäten vermehrt Fahrten gemeinsam durchgeführt bzw. koordiniert; dies auch unter Nutzung erster, autonom agierender Angebote (Kleinbusse, Ruftaxis). In Ermangelung alternativer Verkehrsangebote steigt die Motorisierungsrate; dies führt in Summe zu einer Reduktion des durchschnittlichen Besetzungsgrads.				
Werte 2020/2030: lineare Interpolation				

GÜTERVERKEHR		Einheit	REFERENZ		FOKUS	
VERKEHRSART			BIE	T	BIE	T
AUSLASTUNG auf Relationen innerhalb sowie von und zu den 10 grössten Städten						
Schiene	- WLV	Netto-Tonnen je Sendung	21.0 (+5%)	21.0	22.0 (+10%)	21.0
	- UKV		12.8 (+10%)	16.8	13.3 (+15%)	16.8
	- RoLa		18.1 (+5%)	18.1	18.1	18.1
Strasse	- SNF	Netto-Tonnen je Fahrzeug	6.7 (+2.5%)	14.5	6.7 (+2.5%)	14.5
	- LI		0.3 (+2.5%)	-	0.3 (+2.5%)	-
Binnenschiff		Netto-Tonnen je Schiff	1'000 (0%)	-	1'000 (0%)	-
AUSLASTUNG auf Relationen ausserhalb der 10 grössten Städte						
Schiene	- WLV	Netto-Tonnen je Sendung	21.0 (+5%)	21.0	20.0 (0%)	21.0
	- UKV		12.8 (+10%)	16.8	11.6 (0%)	16.8
	- RoLa		18.1 (+5%)	18.1	18.1	18.1
Strasse	- SNF	Netto-Tonnen je Fahrzeug	6.7 (+2.5%)	14.5	6.5 (+0%)	14.5
	- LI		0.3 (+2.5%)	-	0.3 (+0%)	-
Binnenschiff		Netto-Tonnen je Schiff	1'000 (0%)	-	1'000 (0%)	-
GESCHWINDIGKEITEN auf Relationen innerhalb sowie von und zu den 10 grössten Städten						
Schiene	- WLV	Km/h	32 (+5%)	32	33 (+10%)	32
	- UKV		32 (+5%)	42	35 (+15%)	42
	- RoLa		42 (+5%)	42	42 (+5%)	42
Strasse	- SNF	Km/h	52 (+5%)	56	50 (0%)	56
	- LI		21 (+5%)	21	20 (0%)	21
GESCHWINDIGKEITEN auf Relationen ausserhalb der 10 grössten Städte						
Schiene	- WLV	Km/h	32 (+5%)	32	27 (-10%)	32
	- UKV		32 (+5%)	42	29 (-5%)	42
	- RoLa		42 (+5%)	42	42 (+5%)	42
Strasse	- SNF	Km/h	52 (+5%)	56	53 (+5%)	56
	- LI		21 (+5%)	21	21 (+5%)	21

GÜTERVERKEHR		Einheit	REFERENZ		FOKUS	
VERKEHRSART			BIE	T	BIE	T
TRANSPORTKOSTEN* auf Relationen innerhalb sowie von und zu den 10 grössten Städten						
Schiene	- WLW	Fr. je n-tkm	0.23 (+5%)	0.22	0.22 (+1%)	0.22
	- UKV		0.38 (+5%)	0.12	0.32 (-10%)	0.12
	- RoLa		0.25 (+7%)	0.25	0.25 (+7%)	0.25
Strasse	- SNF	Fr. je n-tkm	0.47 (+10%)	0.15	0.50 (+17%)	0.15
	- LI		7.76 (+14%)	-	8.24 (+21%)	-
Binnenschiff		Fr. je n-tkm	0.04 (+12%)	-	0.04 (+12%)	-
TRANSPORTKOSTEN* auf Relationen ausserhalb der 10 grössten Städte						
Schiene	- WLW	Fr. je n-tkm	0.23 (+5%)	0.22	0.26 (+13%)	0.22
	- UKV		0.38 (+5%)	0.12	0.43 (+18%)	0.12
	- RoLa		0.25 (+7%)	0.25	0.25 (+7%)	0.25
Strasse	- SNF	Fr. je n-tkm	0.47 (+10%)	0.15	0.47 (+8%)	0.15
	- LI		7.76 (+14%)	-	7.11 (+5%)	-
Binnenschiff		Fr. je n-tkm	0.04 (+12%)	-	0.04 (+12%)	-
Abkürzungen: WLW = Wagenladungsverkehr, UKV = unbegleiteter kombinierter Verkehr, RoLa = Rollende Landstrasse, SNF = schwere Nutzfahrzeuge (> 3.5t), LI = Lieferwagen (<= 3.5t), BIE = Binnen, Import, Export, T = Transit						
Relative Veränderungen gegenüber 2010						
* Dargestellt sind die Gesamtkostensätze. Diesen sind Detailannahmen für Betrieb, Energie, Infrastruktur, Aufwänden für Vor-, Nachlauf und Umschlag und Personal hinterlegt. Zur Vereinfachung wird die Diskussion entlang der Gesamtkostensätze geführt.						
Zur Umsetzung des Szenarios Fokus ist vorgesehen: a) die räumlichen Änderungen der Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung bei der Erstellung der Wunschlinienmatrix einfließen zu lassen (dies geschieht auch bei den anderen Szenarien; im Szenario Fokus sind aufgrund der akzentuierten Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung aber eher Effekte zu erwarten) und b) die Relationen zwischen den 10 grössten Städten gesondert zu attribuieren, indem dort die Auslastungen, Geschwindigkeiten und Kostensätze des bahnfreundlichen Szenarios Balance angenommen und auf allen übrigen Relationen die Annahmen des Szenarios Sprawl übernommen werden.						

Annex

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Excel-Tools	11
Abbildung 2: Aufbau Modul 1	12
Abbildung 3: Auszug Strukturdatentabelle NPVM 2010	15
Abbildung 4: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Referenz, MS-Regionen	31
Abbildung 5: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Balance, MS-Regionen	31
Abbildung 6: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Sprawl, MS-Regionen	32
Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Szenario Fokus, MS-Regionen	32
Abbildung 8: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Sensitivität hoch, MS-Regionen	33
Abbildung 9: Bevölkerungsentwicklung 2010-2040, Sensitivität tief, MS-Regionen	33
Abbildung 10: Vorgehen zur Modellierung der Mobilitätswerkzeuge	35
Abbildung 11: Referenzkonzept 2025 08/14	44
Abbildung 12: MIV-Kostensätze in CHF/Personenkilometer im NPVM, (Auszug)	46
Abbildung 13: ÖV-Kostensätze in CHF/Personenkilometer im NPVM, (Auszug)	46
Abbildung 14: Übersicht zum Gesamtkonzept der AMG	64
Abbildung 15: Modifikation des Routinghiffs im alpenquerenden Nord-Süd-Verkehr	75
Abbildung 16: Aufbau Modul 2	78
Abbildung 17: Datenblatt NPVM-Schaltzentrale	80
Abbildung 18: Ablauf der Berechnung in der NVPM-Schaltzentrale	82
Abbildung 19: Aufbau Modul 3	85
Abbildung 20: Verteilung der Delta-Matrix für MIV Gesamt (ohne Hauptdiagonale)	110
Abbildung 21: Verteilung der Delta-Matrix für ÖV Gesamt (ohne Hauptdiagonale)	111
Abbildung 22: Verteilung der Delta-Matrix für MIV Gesamt	114
Abbildung 23: Delta-Phi-Verteilung der Delta-Matrix ÖV-Gesamt	115
Abbildung 24: Matrixkorrektur	117
Abbildung 25: Vergleich zwischen den Berechnungsfällen A und B (MIV)	120
Abbildung 26: Vergleich zwischen den Berechnungsfällen A und B (ÖV)	121
Abbildung 27: Codeeditor in Excel mit einer Übersicht über die erstellten VBA-Klassen	164
Abbildung 28: Visum- Version mit einem Beispiel für die Verfahrensparameterschritte	165

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingangsgrößen in das NPVM	13
Tabelle 2: Flächennachfrage des klassischen Mittelstands (Bsp.: Agrargemeinde)	17
Tabelle 3: Flächenanteil für Arbeitsplätze je Bauzonen- und ARE-Gemeindetyp	18
Tabelle 4: Flächenangebot für Wohnen und Arbeiten (Agrargemeinde)	18
Tabelle 5: Verhältnis Nachfrage/Angebot nach ARE-Gemeindetypen	19
Tabelle 6: Ermittlung der Bauzonenflächen (Beispielgemeinde des Typs Agrargemeinde)	20
Tabelle 7: Erreichbarkeit Arbeitsplätze (Beispielgemeinde des Typs Agrargemeinde)	21
Tabelle 8: maximale Bewertungssumme (Beispielgemeinde des Typs Agrargemeinde)	21
Tabelle 9: Elastizitäten zu Bevölkerungs- und Preisentwicklung	24
Tabelle 10: Einstellungen der Parameter des TBB zur Abbildung der Szenarien	29
Tabelle 11: Bevölkerungsverteilung nach Szenarien, Sensitivitäten und ARE-Gemeindetypen	30
Tabelle 12: Herkunft der Eingangsdaten für die Modellierung der Mobilitätswerkzeuge	36
Tabelle 13: Anteil Erwerbstätige nach Alter, Geschlecht und Grossregion	36
Tabelle 14: Parameter Logit-Modell Mobilitätswerkzeuge	38
Tabelle 15: Kalibrierte Konstanten Logit-Modell Mobilitätswerkzeuge	39
Tabelle 16: Mobilitätskenngrößen (Reisezeiten)	41
Tabelle 17: Modellierung der generalisierten Kosten des Parkens im NPVM 2010	49
Tabelle 18: Aktuelle PW-Parkkosten je Stunde in zufällig ausgewählten Parkhäusern	50
Tabelle 19: Spezifische Verkehrsaufkommen im NPVM 2010	52
Tabelle 20: Veränderung der Anzahl Wege pro Person und Tag	53
Tabelle 21: Einflussparameter Verkehrserzeugung	54
Tabelle 22: PW-Besetzungsgrade im NPVM 2010 [Personen/Fahrzeug]	56
Tabelle 23: Einflussparameter Besetzungsgrad	56
Tabelle 24: Einflussparameter Besetzungsgrade flughafenbezogener Relationen	59
Tabelle 25: Eurostat Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung	62
Tabelle 26: Stellschrauben zur AMG	66
Tabelle 27: Quellen von Strukturdaten	69
Tabelle 28: Modifikation der Transportintensitäten	70
Tabelle 29: Elastizitäten zum Güterverkehr auf Zeit- und Kostenveränderungen	71
Tabelle 30: Quellen angebotsbeschreibender Daten zur AMG	73
Tabelle 31: Modifikation des Modalshift	74
Tabelle 32: Quellen sonstiger Eingangsgrößen	76
Tabelle 33: Besetzungsgrade für das Referenzszenario und die Alternativszenarien	89
Tabelle 34: Mittlere Wegelängen im Zonenbinnenverkehr	90

Tabelle 35: Anteile und mittlere Distanzen Fuss- und Veloverkehr	91
Tabelle 36: Hochrechnungsfaktoren Langsamverkehr	92
Tabelle 37: Fahrleistungsvergleich AMG und BFS	93
Tabelle 38: Fahrleistungsvergleich Schwere Nutzfahrzeuge inkl. Anbindungen	96
Tabelle 39: Vergleich der Ecksummen der Nachfragematrizen	108
Tabelle 40: Grösste Abweichungen in der jeweiligen Delta-Matrix	109
Tabelle 41: Überblick Kriterien für mehrstufige Übertragung der Matrixkorrektur	119
Tabelle 42: Güterverkehrsleistungen in den Matrizen vor/nach Anpassung	123
Tabelle 43: Stellgrössen zu Referenzszenario und Alternativszenario Balance	127
Tabelle 44: Stellgrössen zu Referenzszenario und Alternativszenario Sprawl	131
Tabelle 45: Stellgrössen zu Referenzszenario und Alternativszenario Fokus	135

Wichtigste Abkürzungen

%-P.	Prozentpunkte
AMG	Aggregierte Methode Güterverkehr
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BFS	Bundesamt für Statistik
ETCS	European Train Control System
FzKm	Fahrzeugkilometer
GA	Generalabonnement
HLS	Hochleistungsstrassen
HTA	Halbtax
HVS	Hauptverkehrsstrassen
KV	Kombinierter Verkehr
LIK	Landesindex der Konsumentenpreise
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LV	Langsamverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell
NRP	Neue Regionalpolitik
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p.a.	per annum (Jahresbezug)
Pkm	Personenkilometer
PW	Personenwagen
ROLA	Rollende Landstrasse
Tkm	Tonnenkilometer
UKV	Unbegleiteter kombinierter Verkehr
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WLV	Wagenladungsverkehr

Glossar

Arbeitsverkehr:	Wege zwischen Wohnort und Arbeitsstätte.
Auslastung:	Einerseits Verhältnis von Transportgut und Fahrzeugkapazität, im Personenverkehr synonym zum Besetzungsgrad, im Güterverkehr Verhältnis des Gewichts des Transportgutes zur Nutzlast des Fahrzeuges. Andererseits Verhältnis von Fahrzeugen und Streckenkapazität als Mass der Belastung von Strecken im Netzmodell.
Fahrleistung:	Fahrten über Strecken, unabhängig vom Besetzungsgrad von Personenfahrzeugen und der Auslastung von Güterfahrzeugen (Fzkm).
Güterstruktureffekt:	Güter werden individueller, kleiner, leichter und hochwertiger; dadurch sinkt die Transportintensität, je Franken-Wert des Transportgutes werden weniger Tonnen transportiert.
Kombinierter Verkehr:	Transport von Gütern mit mehreren Verkehrsträgern in standardisierten Behältern (beispielsweise Container oder Sattelaufleger), die mit entsprechender Technik umgeschlagen werden.
Langsamverkehr:	Sammelbegriff für den Fahrrad- und Fussverkehr.
Mobilitätskennziffern:	Sammelbegriff für Mobilitätsraten, Mobilitätswerkzeugbesitz und Besetzungsgrade.
Mobilitätsrate:	Mittlere Anzahl Wege pro Person und Tag; die Mobilitätsrate lässt sich durch Verkehrszwecke differenzieren.
Mobilitätswerkzeuge:	Sammelbegriff für Abonnemente im ÖV und den Besitz von Personewagen.
Modal Split:	Anteile der Verkehrsmittel am Verkehrsaufkommen respektive an der Verkehrsleistung in %; die Summe dieser Anteile entspricht 100 %.
Modus, Modi:	Oft als Synonym für Verkehrsmittel genutzt, fungiert der Modus als Sammelbegriff (z. B. der öffentliche Verkehr) während das Verkehrsmittel der Bus, das Tram etc. wäre.
Nutzfahrzeuge:	Werden nach ihrem zulässigen Gesamtgewicht zwei Kategorien zugeordnet, den leichten Nutzfahrzeugen bis höchstens 3,5 t (LNF) und den schweren Nutzfahrzeugen über 3,5 t (SNF).
Nutzverkehr:	Fahrt im Zusammenhang mit einer geschäftlichen Tätigkeit, auch Dienstfahrt oder Geschäftsverkehr.
ÖV-Abos:	Halbtax- und Generalabonnemente.
Reiseweiten:	Distanzen von Wegen und Fahrten im Personen- und Güterverkehr (dann auch als Transportweiten bezeichnet).

Transportintensität:	Verkehrsleistung je Werteinheit des transportierten Gutes, beispielsweise Tonnenkilometer je Franken.
Verkehrsangebot:	Bauliche Infrastruktur in Verbindung mit der Möglichkeit zur Nutzung, beispielsweise Strassen und Schienen, auch Fahrten nach Fahrplan.
Verkehrsarten:	Differenzierung des Güterverkehrs nach dessen Zielen wie Import, Export, Transit und Binnenverkehr.
Verkehrsaufkommen:	Anzahl Wege oder Fahrten im Personenverkehr, Anzahl Tonnen im Güterverkehr.
Verkehrsleistung:	Transport von Personen oder Gütern über eine Entfernung, quantifiziert in Personenkilometern (Pkm) respektive Tonnenkilometern (Tkm).
Verkehrsverlagerung:	Übernahme von Transportleistungen durch alternative Verkehrsmittel.
Verkehrszwecke:	Gründe von Wegen und Fahrten, beispielsweise Einkaufswege oder Freizeitfahrten.
Warengruppen:	Nach der Struktur statistischer Grundlagen differenzierte Gruppen von Gütern.

Statistische Grundlagen

ARE/BFS MZMV: Mikrozensus Mobilität und Verkehr, Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik, Bern/Neuchâtel.

ASTRA/BFS MFZ: Strassenfahrzeugbestand (Motorfahrzeugbestand), Bundesamt für Strassen und Bundesamt für Statistik, Bern/Neuchâtel.

BAV/BFS AQGV: Alpenquerender Güterverkehr, Bundesamt für Verkehr und Bundesamt für Statistik, Bern/Neuchâtel.

BAV AlpInfo: Alpenquerender Güterverkehr auf Strasse und Schiene, Bundesamt für Verkehr, Bern.

BFS GQGV: Grenzquerender Güterverkehr auf der Strasse, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS GTE: Gütertransporterhebung, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS GTS: Gütertransportstatistik, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS HABE: Haushaltsbudgeterhebung, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS LIK: Landesindex der Konsumentenpreise, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS STATPOP: Statistik der Bevölkerung und Haushalte, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS VGR: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS PV-L: Leistungen des Personenverkehrs, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS OeV: Statistik des öffentlichen Verkehrs, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

Eurostat Comext: Aussenhandelsstatistik (Datenbank), Statistisches Amt der Europäischen Union, Luxemburg.

Eurostat VGR: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Statistisches Amt der Europäischen Union, Luxemburg.

EZV AH: Aussenhandelsstatistik, Eidgenössische Zollverwaltung, Bern.

SBB: Die SBB in Zahlen und Fakten, Schweizerische Bundesbahnen, Bern.

SRH: Jahresstatistik der Schweizerischen Rheinhäfen, Schweizerische Rheinhäfen, Basel.

Literatur

ARE 2004: Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030 – Hypothesen und Szenarien, Protrans und INFRAS, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Basel / Bern.

ARE 2006: Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, Protrans und INFRAS, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Basel / Bern.

ARE 2012a: Ergänzungen zu den schweizerischen Verkehrsperspektiven bis 2030, Bern.

ARE 2012b: Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK – Referenzzustand 2030+, TransOptima & TransSol, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

ARE 2012c: Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK (NPVM), Fahr- und Verkehrsleistungen des privaten Strassenverkehrs 2005/2008: Methodenbericht und räumliche Auswertungen, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

ARE 2013: Verkehrsverhalten spezifischer Gesellschaftsgruppen – Entwicklung seit 1994 bis 2010, synergo Mobilität, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

ARE 2014: Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK - Aktualisierung auf den Basiszustand 2010, TransOptima, TransSol und regioConcept, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Olten / Bern.

ARE 2015a: Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG) – Anwendungstool, Benutzeranleitung und technische Dokumentation, INFRAS / TCI Röhling, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

ARE 2015b: Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG) – Methodenbeschreibung, INFRAS / TCI Röhling, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

Artho J., A. Jenny und A. Karlegger 2012: Wissenschaftsbeitrag. Energieforschung Stadt Zürich. Bericht Nr. 6, Forschungsprojekt FP-1.4. Online: www.energieforschung-zuerich.ch

Axhausen, K.W., Beige, S. & Bernhard, M. 2004: Prognose über Besitz und Nutzenintensität von Mobilitätswerkzeugen im Personenverkehr - Grundlagenbericht für die Perspektiven des Schweizer Personenverkehrs bis 2030, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung.

Baldwin R.E. and Martin Ph. 1999: Two Waves of Globalisation: Superficial Similarities, Fundamental Differences, NBER Working Paper No. 6904, Issued in January 1999.

Baldwin R.E. and Lopez-Gonzalez J. 2015: Supply-chain Trade: A Portrait of Global Patterns and Several Testable Hypotheses, The World Economy, Volume 38, Issue 11, p. 1682–1721, November 2015

BAV 2014: Dokumentation Planungsgrundlagen STEP Ausbauschnitt 2030, Bericht, Bundesamt für Verkehr, Bern, April 2014.

- Benz, Matthias 2014:** Eine kleine Revolution auf Deutschlands Strassen, in NZZ, Nr. 44, 22. Februar 2014.
- BFS 2012:** Produzenten- und Importpreisindex Dezember 2010=100, Grundlagen. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BFS 2013:** Haushaltsbudgeterhebung 2009-2011, Spezialauswertungen des Bundesamt für Statistik, Juli 2013.
- BFS 2015a:** Pendlermobilität in der Schweiz 2013, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, 2015.
- BFS 2015b:** Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2015–2045, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, Juni 2015.
- Blinder A. 2008:** Offshoring: The Next Industrial Revolution?“ Foreign Affairs, 85:2, 113-128.
- BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2014:** Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Schlussbericht. Forschungsbericht FE-Nr. 96.0981/2011, 11. Juni 2014.
- BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2009:** Verkehrsprognose Österreich 2025+ – Endbericht. Teile 1-7, Wien.
- Bretzke 2012:** Globalisierung stösst an Grenzen, DVZ Sonderbeilage, 24. Mai 2012.
- BVU/TNS 2014:** Entwicklung eines Modells zur Berechnung von modalen Verlagerungen im Güterverkehr für die Ableitung konsistenter Bewertungssätze für die Bundesverkehrswegeplanung, Freiburg/München 2014.
- de Haan, Zah 2013:** Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz, TA Swiss 59/2013, Zürich, 2013.
- Ecoplan 2015:** Branchenszenarien 2011 bis 2030/2050 – Aktualisierung 2015, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern 2015.
- Ecoplan 2016:** Räumliche Entwicklung der Arbeitsplätze in der Schweiz – Entwicklung und Szenarien bis 2040, i.A. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- Ecoplan/INFRAS 2007:** Volkswirtschaftliche Auswirkungen der LSVA mit höherer Gewichtslimite, Schlussbericht, herausgegeben vom Bundesamt für Raumentwicklung, Altdorf/Bern/Zürich 2007.
- Ecoplan, NEA, Rapp Trans und Herry 2011:** ALBATRAS, Alignment of the heavy traffic management instruments ACE, AETS and TOLL+ on a comparable scientific, technical and operational level taking into account the introduction of different thresholds in order to analyze transport flow impacts on Alpine routes, Bern.
- Ernst Basler + Partner 2011:** Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen, Forschungsauftrag ASTRA 2009/009 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen.
- Ernst Basler + Partner AG 2012:** Leitbild its-CH Landverkehr 2025/30, Forschungsauftrag ASTRA 2011/003 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen.

- Ernst Basler + Partner, Hochschule Luzern, KOF der ETH Zürich 2014:** Auswirkungen neuer Arbeitsformen auf den Energieverbrauch und das Mobilitätsverhalten, Studie für das Bundesamt für Energie.
- EU-Kommission 2013:** EU Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050 – Reference Scenario 2013. ISBN 978-92-79-33728-4.
- Flughafen Zürich 2014:** Modalsplit-Erhebung Flughafen Zürich 2013, Schlussbericht, Kloten.
- Flury-Kleubler & Gutscher 2001:** Psychological principles of inducing behaviour change. In R. Kaufmann-Hayoz & H. Gutscher (Eds.), Changing things – moving people (pp. 109-129). Basel: Birkhäuser.
- Fröhlich P. et al. 2014** Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten, Forschungsprojekt SVI 2010/003
- Goldhammer B. 2007:** Die neuen Erzeugerpreisindizes für Güterverkehr und Logistik. Wirtschaft und Statistik, 11/2007, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Hansen, C. O. 2009** Report on Scenario, Traffic Forecast and Analysis of Traffic on the TEN-T, Taking into Consideration the External Dimension of the Union–TRANS-TOOLS Model Version 2: Calibration and Forecasts 2020 and 2030. Funded by DG TREN, Copenhagen, Denmark.
- Hunecke M. 2000:** Ökologische Verantwortung, Lebensstile und Umweltverhalten. Heidelberg: Asanger. 39-47.
- IEA International Energy Agency 2014:** World Energy Outlook 2014. ISBN: 978-92-64-20805-6.
- ifmo 2014:** Langstreckenmobilität – Aktuelle Trends und Perspektiven, Grundlagenbericht, INF-RAS und NIT-Institut, i.A. Institut für Mobilitätsforschung München, Bern / Kiel.
- ifmo 2015:** Die Zukunft der Mobilität – Szenarien für Deutschland in 2035, Hamburg, Basel/München, Karlsruhe
- IHS 2014:** Self-Driving Cars Moving into the Industry's Driver's Seat, IHS Pressroom, 2. January 2014
- INFRAS, BAK Basel and IVT 2012:** Marktanalyse und Marktprognose Schienengüterverkehr 2030. Studie im Auftrag des Verbandes öffentlicher Verkehr, Bern.
- INTERFACE and INFRAS 2006:** Evaluation Car Sharing. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.
- Kowald M., Kieser B., Mathys, N. A. & Justen A. 2016:** Determinants of mobility resource ownership in Switzerland: changes between 2000 and 2010, Transportation, DOI 10.1007/s11116-016-9704-8.
- Klößner C.A. 2013:** A comprehensive model of the psychology of environmental behaviour—A metaanalysis. Global Environmental Change. 23. 1028–1038.

- Klößner C.A. and A. Blöbaum 2010:** A comprehensive action determination model: Toward a broader understanding of ecological behaviour using the example of travel mode choice. *Journal of Environmental Psychology*, 30, 574-586.
- Lässer C., T. Bieger and J. Meister 2007:** Betriebswirtschaftliche Kosten und Sensitivitäten des Alpen querenden Güterverkehrs. Institut für Öffentliche Dienstleistungen und Tourismus, Universität St. Gallen.
- Metron 2009:** Verlagerungswirkung des Gotthard-Basistunnels im Güterverkehr, Schlussbericht. Studie im Auftrag der Alpen-Initiative.
- Nordlund, A. M., Garvill J. 2002:** Value structures behind proenvironmental behavior. *Environment & Behavior*, 34 (6), 740-756.
- OECD-ITF International Transport Forum 2014:** ITF Transport Outlook 2015. Draft, 8 October 2014, OECD-ITF, Paris.
- Ohnmacht T. 2014:** Verändertes Konsumverhalten in der Mobilität: Auswirkungen auf die Autobranche, in: *Strasse und Verkehr* Nr. 11, S. 31-37.
- Petersen et al. 2009:** Report on Scenario, Traffic Forecast and Analysis of Traffic on the TEN-T, taking into Consideration the External Dimension of the Union – Final Report. Funded by DG TREN, Copenhagen, Denmark.
- PLANCO 2007:** Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Strasse, Schiene und Wasserstrasse. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Essen.
- Prognos 2016:** Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040, Basel.
- Progrants 2006:** Kannibalisierungseffekt Wagenladungsverkehr – Unbegleiteter Kombierter Verkehr, Analyse intramodaler Verlagerungseffekte im alpenquerenden Schienengüterverkehr, Schlussbericht. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr, Bern.
- Progrants 2011:** Differenzierungsmöglichkeiten bei der Abgeltung des unbegleiteten kombinierten Verkehrs (UKV), Kostenvergleich Lkw – Kombierter Verkehr. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr, Bern.
- PTV Swiss AG, IVT ETH Zürich, Rundum mobil GmbH (2011):** Potenzial von Fahrgemeinschaften, Forschungsauftrag des ASTRA 2008/017.
- Rapp Trans AG und IVT ETH Zürich 2008:** Modal Split Funktionen im Güterverkehr. Forschungsauftrag 2004/081 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Bundesamt für Strassen, Zürich.
- Shell 2009:** Pkw-Szenarien bis 2030: Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Hamburg.

- Shell 2014:** Shell PKW-Szenarien bis 2040: Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität, Hamburg
- Straube F. und H.-C. Pfohl 2008:** Trends und Strategien in der Logistik 2008: Globale Netzwerke im Wandel, DVV, Bremen.
- swissfuture 2011:** Wertewandel in der Schweiz. Vier Szenarien, swissfuture, Luzern.
- Vereinigung der Strassenverkehrsämter asa 2011:** Personenwagen in der Schweiz: Neuzulassungen und Flotte bis 2030. April 2011, Bern.
- Vrtic et al., 2014:** Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK Aktualisierung auf den Basiszustand 2010.
- Weis C. und K.W. Axhausen 2012:** Aktivitätsorientierte Analyse des Neuverkehrs, SVI 2004/012.
- Wittenbrink P. 2012:** Systemkostenvergleich Strasse und Schiene im Güterverkehrsbereich: Eine systematische Betrachtung der Kostenstrukturen. Güterbahnen, Heft 2/2012, 14-17.

Kostensätze Güterverkehr

Referenzszenario: Binnenverkehr, Import, Export

Schienengüterverkehr - WLK		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.79	0.79	0.79	0.78
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.27	0.29	0.30
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.55	2.71	2.83
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	31	31	32
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.79	0.77	0.76
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.35	4.51	4.67	4.80
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	20.0	20.4	20.7	21.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.04
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.12	0.13	0.13	0.13
Personal	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.04
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.22	0.22	0.23	0.23
Schienengüterverkehr - UKV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.66	0.66	0.66	0.65
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.28	0.30	0.31
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.62	2.85	3.02
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	31	31	32
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.79	0.77	0.76
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.22	4.45	4.69	4.87
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	11.6	12.0	12.4	12.8
Betrieb	CHF je n-tkm	0.06	0.05	0.05	0.05
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.21	0.22	0.23	0.24
Personal	CHF je n-tkm	0.07	0.07	0.06	0.06
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.36	0.37	0.38	0.38

Strassengüterverkehr - Schwere Nutzfahrzeuge		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.96	0.96	0.95	0.95
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.54	0.58	0.62	0.65
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.82	0.87	0.93	0.97
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km				
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	26.14	28.29	30.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	50	51	51	52
Personal	CHF je Fahrzeug-km	0.48	0.52	0.55	0.58
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	2.80	2.93	3.05	3.15
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	6.5	6.6	6.6	6.7
Betrieb	CHF je n-tkm	0.15	0.15	0.14	0.14
Energie	CHF je n-tkm	0.08	0.09	0.09	0.10
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.13	0.13	0.14	0.15
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.07	0.08	0.08	0.09
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.43	0.45	0.46	0.47
Strassengüterverkehr - Lieferwagen		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.32	0.32	0.32	0.32
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.18	0.19	0.21	0.22
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	26.14	28.29	30.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	20	20	20	21
Personal	CHF je Fahrzeug-km	1.20	1.29	1.38	1.46
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	1.70	1.81	1.91	1.99
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	0.3	0.3	0.3	0.3
Betrieb	CHF je n-tkm	1.28	1.26	1.25	1.24
Energie	CHF je n-tkm	0.72	0.76	0.81	0.84
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	4.80	5.13	5.44	5.68
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	6.80	7.16	7.50	7.76

Rheinschifffahrt		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Schiff-km	5.00	4.98	4.96	4.95
Energie	CHF je Schiff-km	18.00	18.64	19.29	19.80
Infrastrukturbenützung	CHF je Schiff-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Schiff-km	0.63	0.67	0.71	0.74
Personal	CHF je Schiff-Stunde	65.00	70.80	76.61	81.25
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	8	8	8	8
Personal	CHF je Schiff-km	8.13	8.85	9.58	10.16
Gesamtkostensatz	CHF je Schiff-km	31.76	33.15	34.54	35.65
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Schiff	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.01	0.00	0.00	0.00
Energie	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.04

Szenario Balance: Binnenverkehr, Import, Export

Schienengüterverkehr - WLV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.79	0.78	0.76	0.75
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.27	0.29	0.30
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.55	2.71	2.83
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	31	32	33
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.77	0.75	0.73
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.35	4.49	4.62	4.73
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	20.0	20.7	21.4	22.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.03
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.12	0.12	0.13	0.13
Personal	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.03	0.03
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.22	0.22	0.22	0.22
Schienengüterverkehr - UKV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.66	0.64	0.61	0.59
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.28	0.30	0.31
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.49	2.57	2.64
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	32	33	35
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.76	0.72	0.70
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.22	4.27	4.32	4.36
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	11.6	12.2	12.8	13.3
Betrieb	CHF je n-tkm	0.06	0.05	0.05	0.04
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.21	0.20	0.20	0.20
Personal	CHF je n-tkm	0.07	0.06	0.06	0.05
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.36	0.35	0.34	0.33

Strassengüterverkehr - Schwere Nutzfahrzeuge		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.96	0.96	0.95	0.95
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.54	0.60	0.66	0.70
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.82	0.91	1.00	1.07
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km				
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	26.57	29.14	31.20
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	50	50	50	50
Personal	CHF je Fahrzeug-km	0.48	0.53	0.58	0.62
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	2.80	2.99	3.19	3.34
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	6.5	6.6	6.6	6.7
Betrieb	CHF je n-tkm	0.15	0.15	0.14	0.14
Energie	CHF je n-tkm	0.08	0.09	0.10	0.11
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.13	0.14	0.15	0.16
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.07	0.08	0.09	0.09
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.43	0.46	0.48	0.50
Strassengüterverkehr - Lieferwagen		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.32	0.32	0.32	0.32
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.18	0.20	0.22	0.23
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	26.57	29.14	31.20
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	20	20	20	20
Personal	CHF je Fahrzeug-km	1.20	1.33	1.46	1.56
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	1.70	1.85	1.99	2.11
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	0.3	0.3	0.3	0.3
Betrieb	CHF je n-tkm	1.28	1.26	1.25	1.24
Energie	CHF je n-tkm	0.72	0.79	0.86	0.91
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	4.80	5.27	5.73	6.09
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	6.80	7.32	7.83	8.24

Rheinschiffahrt		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Schiff-km	5.00	4.98	4.96	4.95
Energie	CHF je Schiff-km	18.00	18.64	19.29	19.80
Infrastrukturbenützung	CHF je Schiff-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Schiff-km	0.63	0.67	0.71	0.74
Personal	CHF je Schiff-Stunde	65.00	70.80	76.61	81.25
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	8	8	8	8
Personal	CHF je Schiff-km	8.13	8.85	9.58	10.16
Gesamtkostensatz	CHF je Schiff-km	31.76	33.15	34.54	35.65
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Schiff	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.01	0.00	0.00	0.00
Energie	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.04

Szenario Sprawl: Binnenverkehr, Import, Export

Schienengüterverkehr - WLV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.79	0.82	0.85	0.87
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.27	0.29	0.30
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.61	2.83	3.00
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	29	28	27
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.83	0.86	0.89
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.35	4.65	4.94	5.18
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	20.0	20.0	20.0	20.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.04
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.02
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.12	0.13	0.14	0.15
Personal	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.04
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.22	0.23	0.25	0.26
Schienengüterverkehr - UKV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.66	0.66	0.66	0.66
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.28	0.30	0.31
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.62	2.85	3.02
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	29	29	29
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.81	0.83	0.84
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.22	4.48	4.75	4.96
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	11.6	11.6	11.6	11.6
Betrieb	CHF je n-tkm	0.06	0.06	0.06	0.06
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.03	0.03
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.21	0.23	0.25	0.26
Personal	CHF je n-tkm	0.07	0.07	0.07	0.07
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.36	0.39	0.41	0.43

Strassengüterverkehr - Schwere Nutzfahrzeuge		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.96	0.94	0.93	0.91
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.54	0.58	0.62	0.65
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.82	0.87	0.93	0.97
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km				
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	24.86	25.71	26.40
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	50	51	52	53
Personal	CHF je Fahrzeug-km	0.48	0.49	0.50	0.50
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	2.80	2.88	2.96	3.03
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	6.5	6.5	6.5	6.5
Betrieb	CHF je n-tkm	0.15	0.15	0.14	0.14
Energie	CHF je n-tkm	0.08	0.09	0.09	0.10
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.13	0.13	0.14	0.15
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.07	0.08	0.08	0.08
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.43	0.44	0.46	0.47
Strassengüterverkehr - Lieferwagen		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.32	0.31	0.31	0.30
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.18	0.19	0.21	0.22
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	24.86	25.71	26.40
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	20	20	21	21
Personal	CHF je Fahrzeug-km	1.20	1.22	1.24	1.26
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	1.70	1.73	1.76	1.78
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	0.3	0.3	0.3	0.3
Betrieb	CHF je n-tkm	1.28	1.26	1.23	1.22
Energie	CHF je n-tkm	0.72	0.77	0.82	0.86
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	4.80	4.88	4.97	5.03
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	6.80	6.91	7.02	7.11

Rheinschiffahrt		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Schiff-km	5.00	4.98	4.96	4.95
Energie	CHF je Schiff-km	18.00	18.64	19.29	19.80
Infrastrukturbenützung	CHF je Schiff-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Schiff-km	0.63	0.67	0.71	0.74
Personal	CHF je Schiff-Stunde	65.00	70.80	76.61	81.25
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	8	8	8	8
Personal	CHF je Schiff-km	8.13	8.85	9.58	10.16
Gesamtkostensatz	CHF je Schiff-km	31.76	33.15	34.54	35.65
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Schiff	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.01	0.00	0.00	0.00
Energie	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.04

Referenz und Alternativszenarien: Transitverkehr

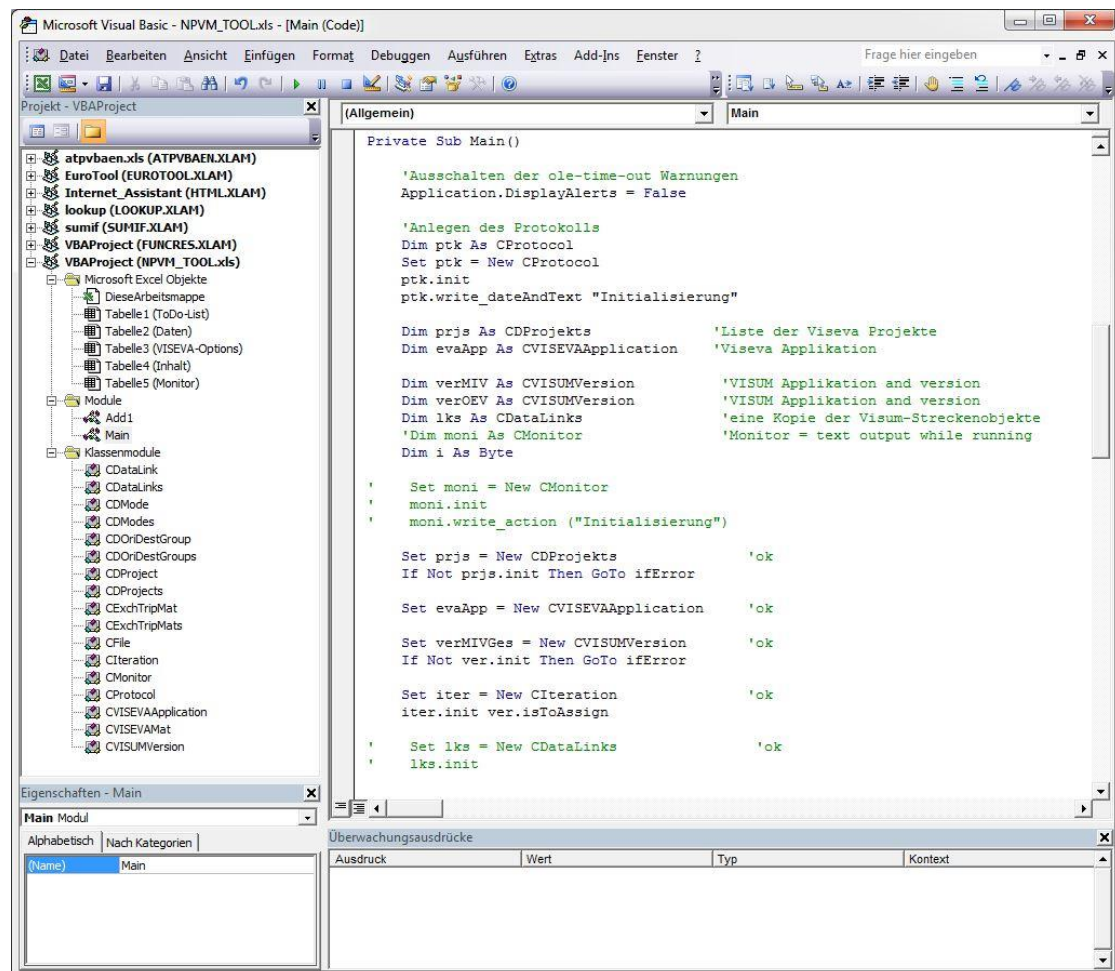
Schienengüterverkehr - WLV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.66	0.66	0.66	0.65
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.10	0.11	0.11	0.12
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.26	0.27	0.29	0.30
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	2.40	2.55	2.71	2.83
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	24.00	24.00	24.00	24.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	30	31	31	32
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.80	0.79	0.77	0.76
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	4.22	4.38	4.54	4.67
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	20.0	20.4	20.7	21.0
Betrieb	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.03
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.12	0.13	0.13	0.13
Personal	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.04
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.21	0.22	0.22	0.22
Schienengüterverkehr - UKV		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.54	0.54	0.54	0.53
Energie	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.11	0.12	0.13	0.13
Infrastrukturbenützung	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.25	0.27	0.29	0.30
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.50	0.55	0.61	0.65
Personal	CHF je Sendungs-Stunde (Wagen-Stunde)	20.00	20.00	20.00	20.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	40	41	41	42
Personal	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	0.50	0.49	0.48	0.48
Gesamtkostensatz	CHF je Sendungs-km (Wagen-km)	1.90	1.97	2.04	2.10
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Sendung (Wagen)	16.0	16.3	16.6	16.8
Betrieb	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.03
Energie	CHF je n-tkm	0.01	0.01	0.01	0.01
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.04	0.04
Personal	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.03
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.12	0.12	0.12	0.12

Strassengüterverkehr - Schwere Nutzfahrzeuge		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.78	0.78	0.78	0.78
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.50	0.54	0.57	0.60
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.30	0.32	0.34	0.36
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km				
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	20.00	21.79	23.57	25.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	55	55	56	56
Personal	CHF je Fahrzeug-km	0.36	0.39	0.42	0.45
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	1.94	2.03	2.12	2.19
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	14.1	14.2	14.4	14.5
Betrieb	CHF je n-tkm	0.06	0.05	0.05	0.05
Energie	CHF je n-tkm	0.04	0.04	0.04	0.04
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.02	0.02	0.02	0.02
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	0.03	0.03	0.03	0.03
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	0.14	0.14	0.15	0.15
Strassengüterverkehr - Lieferwagen		2010	2020	2030	2040
Betrieb	CHF je Fahrzeug-km	0.26	0.26	0.26	0.26
Energie	CHF je Fahrzeug-km	0.17	0.18	0.19	0.20
Infrastrukturbenützung	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je Fahrzeug-km	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je Fahrzeug-Stunde	24.00	26.14	28.29	30.00
Durchschnittsgeschwindigkeit (System)	km je Stunde	20	20	20	21
Personal	CHF je Fahrzeug-km	1.20	1.29	1.38	1.46
Gesamtkostensatz	CHF je Fahrzeug-km	1.63	1.73	1.83	1.91
mittlere Beladung	netto-Tonnen je Fahrzeug	0.3	0.3	0.3	0.3
Betrieb	CHF je n-tkm	1.04	1.03	1.01	1.00
Energie	CHF je n-tkm	0.67	0.71	0.75	0.78
Infrastrukturbenützung	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	CHF je n-tkm	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	CHF je n-tkm	4.80	5.13	5.44	5.68
Gesamtkostensatz	CHF je n-tkm	6.51	6.86	7.20	7.47

Technische Beschreibung zum Modul 2: Schaltzentrale

Im Folgenden werden auszugsweise die Abläufe der Schaltzentrale visualisiert, vor allem werden Hinweise im Umgang mit dem Tool gegeben. Nachstehende Abbildung ist ein Screenshot der Programmierumgebung für VBA in Excel. Es ist sichtbar, dass der Code in Klassendateien organisiert ist, die aussagekräftige Variablennamen und zahlreiche Kommentare enthält. Der Code selbst ist das „Anhängsel“ einer Exceldatei und kann auf diese Weise auch weitergegeben werden.

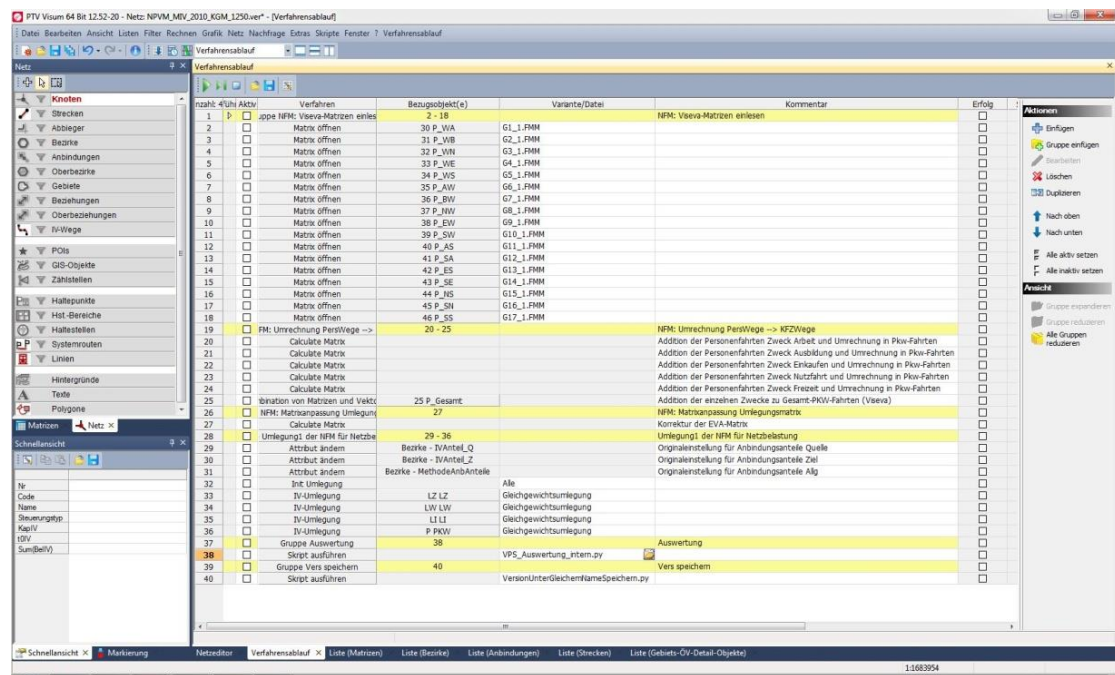
Abbildung 27: Codeeditor in Excel mit einer Übersicht über die erstellten VBA-Klassen



Quelle: Excel-Tool.

Die nachstehende Abbildung zeigt die Verfahrensschritte in Visum. Die auszuführenden Aktionen müssen aktiviert sein. Die Verfahrensschritte selbst werden bereitgestellt. Die Namen der Verfahrensschritte sind in der Schaltzentrale einzutragen.

Abbildung 28: Visum- Version mit einem Beispiel für die Verfahrensparameterschritte



Quelle: NPVM.

Protokollierung der Arbeitsschritte

Im Verzeichnis, von dem aus das NVPM-Tool gestartet wird, wird eine Protokolldatei im txt-Format angelegt. In dieser Datei werden die einzelnen Berechnungsschritte protokolliert. Diese Datei kann zwischenzeitlich mit einem Texteditor geöffnet werden. Da insgesamt hohe Rechenzeiten zu beobachten sind, ist dies eine Möglichkeit den Arbeitsfortschritt zu beobachten.

Hinweise zur Vorbereitung der xlsx-Datei

- Sicherheitseinstellungen ändern, so dass die Ausführung von Code möglich ist.
- Pfadeinstellungen vornehmen, dabei auf Laufwerksbuchstaben verzichten.
- im VBA-Editor die Verweise kontrollieren.

Hinweise zur Vorbereitung der Visum-Versionen

- Es gibt je zwei Visum-Versionen für den MIV und zwei Versionen für den ÖV.
- Der Langsamverkehr wird nicht umgelegt, die Kenngrössenmatrizen sind konstant.
- Die Umlegung und die Berechnung der Kenngrössenmatrizen erfolgt in der gleichen Version. Hierfür werden jeweils andere Verfahrensparameterdateien gelesen.
- Die Verfahrensparameter sind „rechenfertig“ vorzubereiten. Das Tool ruft ausschliesslich Verfahrensparameterdateien auf. Andere Bearbeitungsschritte werden von Visum aus nicht ausgeführt.
- Altersmatrix, Kostenmatrizen, LIV-Aufwandsmatrizen, Güterverkehrsmatrizen und Aussenverkehrsmatrizen der Szenarien werden durch die Verfahrensparameterdateien automatisch eingelesen.
- Einpflegen der gültigen Strukturdaten in die MIV-Version: Für die Berechnung von strukturdatenabhängigen Matrizen sind die Strukturdaten notwendig (siehe Bezirksattribute).
- Für die Umrechnung der Viseva-Nachfragematrizen in der Einheit Personenwege pro Tag in die Einheit Kfz-Wege pro Tag sind die Besetzungsgradmatrizen in die MIV-Version einzupflegen.
- Die Laufwerke werden üblicherweise mit Buchstaben bezeichnet, d.h. die Pfadangaben enthalten Laufwerksbuchstaben. Diese können auf jedem Rechner anderen Verzeichnissen zugeordnet sein. Deswegen sollten alle Laufwerksbezeichnungen innerhalb von Visum und Viseva durch die IP-Adresse des Verzeichnisses ausgetauscht werden.

Hinweise zur Vorbereitung der Viseva-Versionen

- Ein lauffähiges Projekt installieren und testen, ob eine Rechnung fehlerfrei durchgeführt werden kann.
- Testen, ob das Öffnen der Projektdatei OHNE Rückfragen erfolgt.

Subroutine „Auswerteskript“

Technische Umsetzung und Datenorganisation:

Python-Script:

- Das Script wird von Visum aus gestartet. Dazu ist in den Visum-Verfahrensschritten ein Schritt „Script ausführen“ einzufügen und der Scriptname einzutragen.
- Es gibt nur ein gemeinsames Script für alle vier Visum-Versionen. Das Script kann unterscheiden, aus welcher der vier Versionen heraus es gestartet wird. Die Erkennungsmerkmale sind bestimmte Buchstabenkombinationen innerhalb des Versionsnamens:
 - „OEV“ und „MIV“
 - „zweck“ oder „Zweck“ bzw. kein Auffinden der beiden Wörter

Exceldatei:

- Es gibt eine Vorlage im xlsx-Format, in die alle Visum-Listen hineinkopiert werden. Die Datei enthält:
 - ein Infoblatt für organisatorische Inhalte z. B. Projektname, Auftraggeber, Datum etc.,
 - mehrere Blätter zur Aufnahme der Visum-Rohdaten und
 - mehrere Auswertungstabellen, auf denen die Daten in übersichtlicher Form aggregiert werden.
- Der Name und Pfad der Exceldatei ist im Script einzutragen (siehe Zeile 548 und 549). Beim Eintragen des Strings ist auf die korrekte Verwendung des Backslash-Zeichens zu achten.
- Das Script aktualisiert nur die Rohdaten auf den entsprechenden Tabellenblättern, die Auswerteverknüpfungen bleiben erhalten.
- Bestehende Daten auf den Rohdatenblättern werden überschrieben. Überzählige Daten außerhalb des Einfügebereiches (z.B. alte Daten aus einem vorherigen Lauf) sind ggf. von Hand zu löschen.
- Wenn der Bedarf besteht Zwischenstände zu sichern, dann muss diese Exceldatei manuell unter anderem Namen gespeichert werden.
- Die Namen der Tabellenblätter für die Visum-Listen sind bereits in der Exceldatei definiert und im Script fest eingestellt. Wenn ein Blatt nicht gefunden wird, dann wird der Programmpunkt übersprungen und die entsprechenden Daten nicht eingefügt.
- Während der Laufzeit des Scriptes muss die Masterdatei geschlossen sein.

Layoutdateien für die Visum-Listen:

- Die Dateinamen der Layoutdateien müssen im Script eingetragen werden (siehe Zeile 554 bis einschliesslich 563 und 565 bis einschliesslich 575). Dies gilt nur für den Fall, dass Änderungen an den Namen der Layoutdateien vorgenommen werden sollen. Ansonsten wird die Auswertung mit den bereits eingetragenen Layoutdateien durchgeführt. Wenn die Dateien in den Verzeichnissen nicht gefunden werden, dann wird dieser Programmpunkt übersprungen.
- Zum Verändern der Dateinamen im Code ist die Nutzung des Python-Editors „PyScripter“ hilfreich. Der „PyScripter“ ist im Internet kostenlos verfügbar.
- Wenn die Liste den Filter berücksichtigen soll, dann ist diese Einstellung („Filterknopf“ anschalten“) in der Layoutdatei zu speichern.

Filterdateien für Visum:

- Die Dateinamen müssen im Script eingetragen werden (siehe Zeile 552). Dies gilt nur für den Fall, dass Änderungen an den Namen der Filterdateien vorgenommen werden sollen. Ansonsten wird die Auswertung mit den bereits eingetragenen Filterdateien durchgeführt. Wenn die Dateien in den Verzeichnissen nicht gefunden werden, dann wird dieser Programmpunkt übersprungen.
- Zum Verändern der Dateinamen im Code ist die Nutzung des Python-Editors „PyScripter“ hilfreich. Der „PyScripter“ ist im Internet kostenlos verfügbar.
- Wenn der Filter auf die Liste wirken soll, dann ist diese Einstellung („Filterknopf“ anschalten“) in der Listen-Layoutdatei zu speichern.

Die laufenden Visum-Versionen:

- In der scriptausführenden Programmversion müssen die Pfade für Scripte, Filterdateien und Listenlayoutdateien eingestellt sein. Das Script liest die Pfadeinstellungen und sucht dann in den entsprechenden Verzeichnissen nach den Ila- und Filterdateien. Wenn die Dateien in den Verzeichnissen nicht gefunden werden, dann wird dieser Programmpunkt übersprungen.
- Es sollen nicht mehrere Versionen gleichzeitig das Script bzw. die Exceldatei aufrufen.
- **Bitte beachten:** Umlaute in Datei oder Versionsnamen (z. B. „ÖV“) werden von Python derzeit nicht verstanden. Deshalb ggf. die Dateinamen und Versionsnamen anpassen.

Einzeltest und Anwendung des Auswerteskriptes

Das Script kann einzeln getestet werden. Dazu sind folgende Schritte auszuführen:

- Die Dateinamen und Verzeichnisse sind laut obiger Beschreibung im Script anzupassen.
- Das Script ist als Visum-Verfahrensschritt einzufügen.
- Visum-Verfahrensschritt ausführen.

Das Script ist ein Baustein innerhalb eines umfangreicheren Tools zur Berechnung der Verkehrsnachfrage (NPVM-Tool). In diesem übergeordneten Tool ist das Auswerteskript als Verfahrensschritt eingebunden.