

Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM): Aktualisierung 2023

Schlussbericht



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)

Auftragnehmer

Rapp AG

Florian Harder

Matthias Lenz

Wolfgang Scherr

Andreas Justen

Daniele Apicella

Markus Himmelsbach

Melanie Bremgartner

Oliver Buschor

PTV Transport Consult

Eric Pestel

Juliane Pillat

Jens Landmann

Jörg Uhlig

Projektbegleitung ARE

Raphaël Ancel

Thomas Schatzmann

Nicole Mathys

Elisa Tirindelli

Christian Schiller (Berater ARE)

Begleitgruppe

Thomas Frei (ASTRA)

Andreas Catillaz (BAFU)

Sébastien Pearron (BAV)

Martin Babst (BFE)

Katrin Richter (Kanton Bern)

Sabine Cantaluppi (Kanton Basel-Landschaft) & Michael Redle (Kanton Basel-Stadt)

Joschka Bischoff (SBB)

Produktion

Kommunikation ARE

©ARE, Juni 2025

Zusammenfassung	10
Résumé	14
Sintesi	18
1 Hintergründe und Aufgabenstellung	22
2 Übernahme des Modellzustandes 2017+	23
3 Strassennetz	24
3.1 Konsistenzprüfung des Netzmodells NPVM 2017+	24
3.2 Netzaktualisierung: Identifizierung und Codierung von Projekten	30
3.3 Qualitätskontrollen Strassennetz	36
4 ÖV-Angebot	41
4.1 Linien und Fahrpläne	41
4.2 Verkehrssysteme und Betreiber	42
4.3 Streckennetz und Haltestellen	43
4.4 Umsteigepunkte und Fusswege	43
4.5 Fahrzeugtypen und Rollmaterialkapazität	44
4.6 Qualitätskontrollen ÖV-Angebotsnetz	45
5 Velonetz	47
5.1 Aktualisierung Netzelemente	47
5.2 Integration Veloland-Routen	47
5.3 Update Höheninformation	49
5.4 Update Anbindungen	50
5.5 Berechnung Velo-Widerstand	50
6 Anbindungen	51
6.1 Vorgehen NPVM 2023	51
6.2 Anbindungen im MIV	52
6.3 Anbindungen im ÖV	56
7 Beschaffenheit und Aufbereitung der Zählzeiten 2023	60
7.1 Methodisches Vorgehen in der Zählzeitaufbereitung	60
7.2 Zählzeiten des ÖV	61
7.3 Zählzeiten des Strassenverkehrs	69
8 Integration der Strukturdaten	76
9 Finanzielle Kosten in der Ziel- und Moduswahl	82
9.1 Aktualisierung MIV-Kostentool	82
9.2 Aktualisierung ÖV-Kosten	85
10 Aktualisierung des Nachfragemodells	88
10.1 Entwicklung der Verkehrsnachfrage Post-Covid	88
10.2 Grundablauf Segmentierung	90
10.3 Korrekturfaktoren und Implementierungen	91
11 Strassengüterverkehr	96
11.1 Schwerer Strassengüterverkehr	96
11.2 Leichte Nutzfahrzeuge	97
12 Aussenverkehr	99
13 Validierung Angebotsmodelle & Kenngrößen	106
13.1 Validierung von Kenngrößenmatrizen in Anlehnung an die RIN 2008	106
13.2 Zusätzliche ÖV-Prüfungen	110
14 Kalibration Nachfrage	116
14.1 Kalibrationsstrategie	116
14.2 Regionale Kennwerte	117
14.3 Intrazonaler Verkehr	120

14.4	Erzeugung	120
14.5	Ziel- und Moduswahl	121
15	Kalibration Umlegung, Qualitätsanforderungen	127
15.1	Kalibration im MIV	127
15.2	Kalibration ÖV	136
16	Sensitivitätsanalysen	145
16.1	Versuchsplanung zur Modellprüfung	145
16.2	Ergebnisse der Sensitivitätstests	146
16.3	Konvergenzverhalten	154
17	DTV 2023	155
17.1	Aufbereitung Zählwerte	155
17.2	Ableitung der Nachfragematrizen	156
17.3	Umlegung und Kalibration	159
17.4	Modelle für den Tages- und Nachtverkehr	160
18	Update Auswertungen	163
19	Modelle der Spitzenstunden	164
19.1	Aufbereitung Zählwerte	164
19.2	Berechnung der Spitzenstundenmatrizen	164
19.3	Umlegung und Kalibration	167
20	Literaturverzeichnis	172
21	Anhang	174
21.1	Anhang 1: Verbesserung der Codierung von Strecken	174
21.2	Anhang 2: Zählwerte - Benutzerdefinierte Attribute im NPVM	179
21.3	Anhang 3: Reiseweiten- und Reisezeitmessungen PW	183
21.4	Anhang 4: Reiseweiten- und Reisezeitmessungen Velo	197
21.5	Anhang 5: Aufbau Testumfeld	202

Tabelle 1: Codierte Strassenbauprojekte	33
Tabelle 2: Nicht codierte Projekte	34
Tabelle 3: Projektliste in Nachbarländern	36
Tabelle 4: Zahl der manuell überprüften Strecken in Abhängigkeit des Streckentyps	40
Tabelle 5: Verkehrssysteme im ÖV-Angebot des NPVM 2023	42
Tabelle 6: Produktkategorien des Bahnangebotes	43
Tabelle 7: Fahrzeugtypen und Kapazitäten im ÖV-Angebot des NPVM 2023	44
Tabelle 8: Zahl der MIV-Anbindungen im NPVM 2023	52
Tabelle 9: Zahl der ÖV-Anbindungen im NPVM 2023	56
Tabelle 10: Korrekturen langfristiger Verkehrsstörungen	61
Tabelle 11: Zur Verfügung gestellte und berücksichtigte Zählwerte nach Quellen im ÖV	62
Tabelle 12: Variablen pro Haltestellenpaar	63
Tabelle 13: Zur Verfügung gestellte, aber nicht berücksichtigte Zählwerte nach Quellen im ÖV	63
Tabelle 14: Beispiel eines Linienroutenverlaufs im NPVM	64
Tabelle 15: Resultierender Linienverlauf für die Verortung	64
Tabelle 16: Kontrolle Zählwerte mehrerer Linien	65
Tabelle 17: Die 10 grössten Bahnhöfe (nach DWV Ein+ Aussteiger)	67
Tabelle 18: Anzahl Zählwerte nach Quellen im motorisierten Strassenverkehr	69
Tabelle 19: Quellen von Zählwerten im Veloverkehr	70
Tabelle 20: Zuordnung der Fahrzeugtypen nach SWISS10	70
Tabelle 21: Wachstumsfaktoren	72
Tabelle 22: Qualitätsbewertung anhand Vergleichs mit Modellbelastung	73
Tabelle 23: Ausreisseranalyse: Anteile pro Fahrzeugtyp	73
Tabelle 24: Zählstellen mit geringem PW-Anteil	74
Tabelle 25: verwendete Strukturdaten NPVM 2023	76
Tabelle 26: KM-Kosten und Flottenanteile	83
Tabelle 27: Beispielrechnung (Hausen am Albis) KM-Kosten MIV	84
Tabelle 28: Beispielrechnung ÖV-Kosten je Relation	85
Tabelle 29: Preisvergleich NPVM und SBB (online)	86
Tabelle 31: Anteile der MIV-Wege nach Fahrzeugtyp im MZMV 2021	97
Tabelle 32: Wachstumsfaktoren im Grenzpendlerverkehr	99
Tabelle 33: Wegebezogener Modal-Split für Teilräume	119
Tabelle 34: Raumtypenfeine Reduktionsfaktoren für Arbeitswege	120
Tabelle 35: Anzahl Wege je Aktivität je Einwohner	121
Tabelle 36: Bilanzfaktoren der Modi je QZG	121
Tabelle 37: Vergleich mittlere Reisezeiten für PW und ÖV zwischen Modell und Zielwert	123
Tabelle 38: Streckentypspezifische Reisezeitgewichtung im NPVM 2017 und im NPVM 2023	128
Tabelle 39: Modellzustand Z1: Vergleich mit und ohne streckentypspezifische Reisezeitgewichtung	129
Tabelle 40: Ergebnisse der Matrixkorrektur im MIV	132
Tabelle 41: Modellzustand Z1: Vergleich von Belastungen und Zählwerten in Abhängigkeit der Streckenkategorie	132
Tabelle 42: Modellbelastung und Zählwert, sowie relative Abweichung und SQV, an den 10 grössten Bahnhöfen	138
Tabelle 43: Zahl der Umsteiger von ÖV-Verkehrsmittel zu ÖV-Verkehrsmittel im Modellzustand Z1	140
Tabelle 44: Anpassung der Einsteiger und der Querschnittsbelastungen der Tram- und Métronetze (Modellzustand Z1)	140
Tabelle 45: Ergebnisse der Matrixkorrektur	142
Tabelle 46: Anpassung der Einsteiger und der Querschnittsbelastungen der Tram- und Métronetze (Modellzustand Z2)	143

Tabelle 47: Modellanpassungen für die einzelnen Sensitivitätstests	146
Tabelle 48: Wertebereiche der Elastizität und die jeweilige Auswirkung	148
Tabelle 49: Elastizitätsberechnungen - berücksichtigte Nachfrage- und Aufwandsänderungen.....	149
Tabelle 50: Anteil Motorrad nach Strassentyp	155
Tabelle 51: zu verwendende Zählwerte Kalibration DTV, MIV	155
Tabelle 52: zu verwendende Zählwerte Kalibration DTV, ÖV	156
Tabelle 53: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, PW-Binnenverkehr.....	157
Tabelle 54: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, PW QZD	158
Tabelle 55: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, ÖV Binnen	158
Tabelle 56: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, PW QZD	159
Tabelle 57: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV MIV	159
Tabelle 58: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV ÖV	160
Tabelle 59: Anteile Tages- und Nachtverkehr DTV	161
Tabelle 60: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV (22-6 Uhr) MIV	161
Tabelle 61: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV (6-22 Uhr) MIV	162
Tabelle 62: Anteile Tages- und Nachtverkehr nach Kalibrierung DTV.....	162
Tabelle 63: zu verwendende Zählwerte Kalibration Spitzenstunden, MIV	164
Tabelle 64: zu verwendende Zählwerte Kalibration Spitzenstunden, ÖV	164
Tabelle 65: Anteil Spitzenstunden 2017	167
Tabelle 66: Verteilung der Zählstellen nach SQV, MSP MIV	168
Tabelle 67: Verteilung der Zählstellen nach SQV, ASP MIV.....	169
Tabelle 68: Verteilung der Zählstellen nach SQV, MSP ÖV	171
Tabelle 69: Verteilung der Zählstellen nach SQV, ASP ÖV	171
Tabelle 70: Codierung von Autobahnen und -strassen.....	174
Tabelle 71: Codierung von Hauptverkehrsstrassen	175
Tabelle 72: Codierung übriger Strassen	177
Tabelle 73: Codierung von Rampen	178
Tabelle 74: Qualitätsnoten der Zähldaten im Rohformat	179
Tabelle 75: Attribute in PTV Visum für die ÖV-Zähldaten.....	179
Tabelle 76: Attribute in PTV Visum für die ÖV-Zähldaten auf Bahnhöfen.....	180
Tabelle 77: Attribute in PTV Visum für die Zähldaten des Strassenverkehrs.....	180
Tabelle 78: Reiseweiten PW, alle Relationen	195
Tabelle 79: Reiseweiten PW, nur Relationen innerhalb Schweiz	195
Tabelle 80: Reisezeiten PW, alle Relationen.....	195
Tabelle 81: Reisezeiten PW, nur Relationen innerhalb Schweiz	196
Tabelle 82: Reiseweiten Velo	200
Tabelle 83: Reiseweiten E-Bike	200
Tabelle 84: Reisezeiten Velo	201
Tabelle 85: Reisezeiten E-Bike.....	201
Tabelle 86: Finaler Kennwertinput für die Anpassung der Transformationsparameter	203
Tabelle 87: Finaler Kennwertinput für die teilraumfeinen Modusaffinitäten.....	204

Abbildung 1: Einstreifige Autobahnen und Autostrassen im NPVM 2017 (Zoom Winterthur / Schaffhausen) ..	25
Abbildung 2: Kapazitäten von Hauptverkehrsstrassen ausserorts und innerorts im NPVM 2017	26
Abbildung 3: Kapazitäten von Rampen im NPVM 2017	26
Abbildung 4: Rampen der Autobahnauffahrt Lyss Süd (A6)	27
Abbildung 5: Geschwindigkeiten (v_0) von Autobahnen und Autostrassen im NPVM 2017	27
Abbildung 6: Strecken von Autobahnen und Autostrassen mit (im NPVM 2017) $v_0 < v_{zulässig}$	28
Abbildung 7: Geschwindigkeiten (v_0) von Rampen im NPVM 2017	28
Abbildung 8: Rampen mit Unterschied zwischen codierter und zulässiger Höchstgeschwindigkeit im NPVM 2017 (Zoom A3 Zürich)	29
Abbildung 9: Signalisation Vorgezogene Ausfahrt (Beispiel Brugg FRO) [Quelle: GoogleMaps]	32
Abbildung 10: Geschwindigkeitsregime auf Autobahnen und Autostrassen im NPVM 2017	32
Abbildung 11: Beispiel 1 (Lothringer Platz Basel) für Wirkungsweise des Algorithmus LW-Verbot	37
Abbildung 12: Beispiel 2 (Horburtunnel Basel) für Wirkungsweise des Algorithmus LW-Verbot	38
Abbildung 13: Beispiel 3 (Wasen) für Wirkungsweise des Algorithmus LW-Verbot	38
Abbildung 14: Beispiel für vom Algorithmus nicht identifizierte NPVM-Strecken	39
Abbildung 15: ÖV-Angebot im NPVM 2023 – Anzahl Fahrplanfahrten je Strecke	46
Abbildung 16: Unterschiede Veloland-Routen 2017 zu 2024	48
Abbildung 17: Resultate Netzmatching Veloland-Routen & NPVM-Strecken	48
Abbildung 18: Import Höhendaten	49
Abbildung 19: Unterschiede Höheninformationen 2017 und 2023	49
Abbildung 20: Beispiel NPVM Velo-Widerstand	50
Abbildung 21: Anzahl MIV-Anbindungen im NPVM 2017+ und im NPVM 2023 (PW+SGV) pro Verkehrszone	53
Abbildung 22: Summenhäufigkeit der Länge der Anbindungen (PW + SGV), Achtung x-Achse ist nicht linear	53
Abbildung 23: Mittlere Längen im NPVM 2023 und im NPVM 2017+ im MIV (PW + SGV)	54
Abbildung 24: Anbindungsgewichte pro Zone im NPVM 2023 und im NPVM 2017+ (PW + SGV)	54
Abbildung 25: Zahl der Anbindungen in Zug und in Riedholz (nur PW-Anbindungen)	55
Abbildung 26: Mittlere Länge der PW+SGV-Anbindungen in Wolfenschiessen und in La-Punt-Chamues-ch ..	55
Abbildung 27: Anzahl ÖV-Anbindungen im NPVM 2017+ und im NPVM 2023	56
Abbildung 28: Mittlere Längen im NPVM2023 und im NPVM 2017+ (ÖV)	57
Abbildung 29: Anbindungsgewichte pro Zone im NPVM 2023 und im NPVM 2017+	57
Abbildung 30: Zahl der ÖV- Anbindungen in Amriswil und in Ebikon	58
Abbildung 31: Mittlere Länge der Anbindungen in Humlikon und in Eischoll & Unterbach	58
Abbildung 32: Karte der Zählzeiten Bahnhöfe	67
Abbildung 33: Haltestellenbereiche des HB Zürich	68
Abbildung 34: Karte der Zählzeiten ÖV	68
Abbildung 35: Qualitätskontrolle Zählzeiten Strassenverkehr: Vergleich Modellbelastung 2017 mit Zählwert 2023 DWV	73
Abbildung 36: Karte der Zählzeiten des Strassenverkehrs	75
Abbildung 37: Unterschiede FAR 2017 und 2023	86
Abbildung 38: Entwicklung der Mobilitätsrate (Wege je Tag), der Zahl der täglichen Wege pro Wegezweck und des Besetzungsgrades	88
Abbildung 40: schematische Darstellung Kalibration und Umlegung DWV 2023	90
Abbildung 41: Zählstellen im MIV für die Kalibration des Aussenverkehrs	100
Abbildung 42: Zählstellen im ÖV für die Kalibration des Aussenverkehrs	101
Abbildung 43: Umlegung des Aussenverkehrs auf dem Léman Express 2023	102
Abbildung 44: Vergleich von Zählwerten und Modellbelastungen an den Grenzübergängen des MIV	103
Abbildung 45: Vergleich von Zählwerten und Modellbelastungen an den Grenzübergängen des ÖV	104
Abbildung 46: Aussenverkehr 2017 versus 2023 – MIV, aggregiert nach Ländern	104
Abbildung 47: Aussenverkehr 2017 versus 2023 – ÖV, aggregiert nach Ländern	104

Abbildung 48: Vergleich von Zählwerten und Modellbelastungen an den Grenzübergängen des LI	105
Abbildung 49: Erläuterung der Diagramme.....	107
Abbildung 50: Bewertung der Luftliniengeschwindigkeit PW	107
Abbildung 51: Bewertung der Luftliniengeschwindigkeit ÖV	108
Abbildung 52: Bewertung des Umwegfaktor PW	108
Abbildung 53: Bewertung des Reisezeitverhältnisses PW / ÖV	109
Abbildung 54: Bewertung der Umsteigehäufigkeit ÖV	109
Abbildung 55: Ausschnitt NTR-Kenngrössenmatrix	110
Abbildung 56: Verteilung der angepassten Beförderungszeit im NPVM 2023	111
Abbildung 57: Angepasste Beförderungszeit im Vergleich NPVM 2023 zum NPVM 2017+	112
Abbildung 58: Angepasste Beförderungszeit im Vergleich NPVM 2023 zum NPVM 2017+ der Beziehungen im Kanton Zürich	113
Abbildung 59: Differenz zwischen angepassten Beförderungszeit und der angepasste Reisezeit JRTA im NPVM 2023	113
Abbildung 60: Verteilung der Umsteigewartezeit (gewichtet und ungewichtet) im NPVM.....	114
Abbildung 61: Verteilung der Reiseweiten (gewichtet und ungewichtet) im NPVM	114
Abbildung 62: Korrelation zwischen Fahrtweiten und Reiseweiten im NPVM 2023.....	115
Abbildung 63: Schema Kalibrierungsstrategie NPVM 2023	116
Abbildung 64: 16 Arbeitsmarkt-grossregionen der Schweiz.....	117
Abbildung 65: Wegebezogener Modal-Split (Quell-, Ziel- und Binnenverkehr, Territorialprinzip) in Teilräumen	118
Abbildung 66: Anteile der interzonalen Verkehre.....	120
Abbildung 67: Prinzip der Anpassung des Widerstandes für lange PW-Wege	124
Abbildung 68: Reiseweitenverteilung und längenabhängiger Modal-Split	125
Abbildung 69: Vergleich der ÖV-Fernverkehre NPVM 2023 und SBB-Erhebung	126
Abbildung 70: Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A1 von St.Margarethen nach Genf.....	130
Abbildung 71: Einstellungen zur Berechnung der Matrixkorrektur	131
Abbildung 72: Beurteilung der Unterschiede zwischen Modellbelastungen und Zählwerten	133
Abbildung 73: Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A1 von St.Margrethen nach Genf für den Modellzustand Z2	133
Abbildung 74: Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A2 zwischen Basel und Chiasso für den Modellzustand Z2	134
Abbildung 75: Einfluss der Matrixkorrektur auf die Streckenbelastung	134
Abbildung 76: Einfluss der Matrixkorrektur auf die Streckenbelastung in den fünf grossen Städten	135
Abbildung 77: Cross-Validation: SQV-Veränderung von allen Zählstellen sowie nur der gefilterten Zählstellen	136
Abbildung 78: Anbindungen des Bahnhof Dreispitz in Basel	137
Abbildung 79: Modellbelastungen versus Zählwerte, Matrixzustand Z1	139
Abbildung 80: Querschnittsbelastungen und SQV auf den Querschnitten der Bahnlinie von Genf nach Rorschach (Matrixzustand Z1).....	139
Abbildung 81: Spezifikationen bei der Matrixkorrektur im ÖV	141
Abbildung 82: Einsteiger und Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr (Matrixzustand Z2)	142
Abbildung 83: Querschnittsbelastungen auf den Querschnitten der Bahnlinie von Genf nach Rorschach (Matrixzustand Z2).....	142
Abbildung 84: Einfluss der Korrekturmatrix im ÖV.....	143
Abbildung 85: Einfluss der Korrekturmatrix für die fünf Städte mit Tram- oder Métro-netz	144
Abbildung 86: Absolute Nachfrageänderung [Personen-Wege] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08	147

Abbildung 87: Relative Nachfrageänderung [Personen-Wege] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08	147
Abbildung 88: Absolute Nachfrageänderung [Personen-km] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08	147
Abbildung 89: Relative Nachfrageänderung [Personen-km] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08.....	148
Abbildung 90: Elastizitäten für die Sensitivitätstest 01 bis 08	149
Abbildung 91: Vergleich der Modellelastizitäten (bezogen auf Wege) von NPVM 2023 und NPVM 2017	150
Abbildung 92: Vergleich der Modellelastizitäten (bezogen auf Personen-Kilometer) von NPVM 2023 und NPVM 2017	150
Abbildung 93: Absolute Nachfrageänderung für den Sensitivitätstest 09	151
Abbildung 94: Relative Nachfrageänderung für den Sensitivitätstest 09	151
Abbildung 95: Absolute Nachfrageänderung für den Sensitivitätstest 10	152
Abbildung 96: Sensitivitätstest 10 – Streckenbelastungen [Fz/24h] (lokales Strassennetz ist ausgeblendet)	153
Abbildung 97: Sensitivitätstest 10 – Differenzbelastung [Fz/24h] (lokales Strassennetz ist ausgeblendet)	153
Abbildung 98: Anzahl Iterationen je Sensitivitätstest	154
Abbildung 99: Schematischer Verfahrensablauf PW Binnenverkehr	165
Abbildung 100: Ganglinie WA, Distanzklasse kleiner 30km, Lateinische Schweiz	166
Abbildung 101: Vorbelastungen Spitzenstunden MIV, (links: Güterverkehr, rechts: QZD)	168
Abbildung 102: Allgemeine Verfahrenseinstellungen.....	169
Abbildung 103: Umlegungszeitraum	170
Abbildung 104: Vorauswahl Verbindungen	170
Abbildung 105: Für nicht vorhandene Werte wurde der Leerwert «99999999» eingetragen (Bsp. Luzern).....	182
Abbildung 106: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 1.....	184
Abbildung 107: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 2.....	185
Abbildung 108: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 3.....	186
Abbildung 109: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 4.....	187
Abbildung 110: Reisezeitvergleiche PW zwischen Visum und Google	190
Abbildung 111: Reiseweitenvergleiche PW zwischen Visum und Google	192
Abbildung 112: Geschwindigkeitsvergleiche PW zwischen Visum und Google	194
Abbildung 113: Symmetrietest Velo Hin- und Rückrichtung Visum-Kurzwegsuche	198
Abbildung 114: Reisezeitvergleiche Velo zwischen Visum und Google.....	199
Abbildung 115: Reiseweitenvergleiche Velo zwischen Visum und Google.....	199
Abbildung 116: Geschwindigkeitsvergleiche Velo zwischen Visum und Google	200
Abbildung 117: Automatisiertes Testumfeld	205

Zusammenfassung

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) wurde 2020 mit einem Zustand 2017 veröffentlicht (ARE, 2020). Basierend darauf wurden die Verkehrsperspektiven (VP) 2050 erarbeitet (ARE, 2022). 2023 wurde ein Projekt abgeschlossen, welches methodische Weiterentwicklungen des Modells zum Gegenstand hatte (Zustand NPVM 2017+) (ARE, 2023).

Der vorliegende technische Bericht dokumentiert die Aktualisierung auf einen Zustand 2023, insbesondere um ein Mobilitätsverhalten und eine verkehrliche Situation «post-COVID» abzubilden. Die grundlegenden Modellstrukturen (z.B. Verkehrszonierung, Wegezwecke, Personengruppen) blieben dabei weitgehend unverändert; auch methodisch wurden bis auf punktuelle Verbesserungen keine grundsätzlichen Neuerungen umgesetzt (diese wurden bereits im Projekt NPVM 2017+ realisiert). Der Fokus der Arbeiten lag auf der Aktualisierung der Datengrundlagen, einer qualitativ hochstehenden Kalibration der Verkehrsnachfrage sowie der Kalibration der Umlegungsmodelle im MIV und im ÖV. Das NPVM mit Zustand 2023 bildet einen durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) ab. Der Aussenverkehr (Quell- und Zielverkehr, Transit) wurde ebenfalls auf einen Zustand 2023 aktualisiert. Der weitere Modellzustand des DTV (inkl. zeitlicher Differenzierungen) sowie die Zustände der Spitzenstunden (MSP, ASP) wurden aus dem DWV abgeleitet. Die zur Aktualisierung des Modells genutzten Daten und die eingesetzten Methoden sind detailliert dargelegt.

Das NPVM 2023 ist in der Software PTV Visum 2024 umgesetzt. Das im NPVM umgesetzte Nachfragemodell umfasst eine simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl (wie im NPVM 2017). Für die Umlegung der Nachfrage auf die Verkehrsnetze wird analog den Vorgängerversionen des NPVM im öffentlichen Verkehr (ÖV) ein fahrplanfeines Verfahren, im motorisierten Individualverkehr (MIV) ein Gleichgewichtsverfahren eingesetzt. Im Ergebnis stehen vier Modelldateien zur Verfügung: jeweils eine Datei für die Angebotsnetze von ÖV, MIV und Velo sowie eine Nachfrageversion, welche über den Verfahrensablauf die Angebotsversionen ansteuert.

Das NPVM 2023 basiert in der Verkehrserzeugung weiterhin auf 26 Quelle-Ziel-Gruppen (QZG) und rund 100 verhaltenshomogene Gruppen (VHG). Der Berechnung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen für 7'978 Verkehrszonen liegt eine Strukturdatentabelle zu Grunde, die auf einer synthetischen Population (SynPop) beruht. Die SynPop mit Zustand 2022 wurde in auf die Verkehrszonen aggregierter Form ins Nachfragemodell integriert (siehe Kapitel 8).

Verkehrsangebot

Das Strassennetzmodell des NPVM wurde vom Stand 2017 auf den Stand 2023 aktualisiert. Der Fokus bei der Netzaktualisierung lag in erster Linie auf dem Nationalstrassennetz. Im nachgelagerten Netz wurden gezielt jene Änderungen abgebildet, die relevante Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage haben. Darüber hinaus wurden auch Massnahmen im Ausland, sofern sie für den grenzüberschreitenden Strassenverkehr von Bedeutung sind, nachgeführt. Das aktualisierte Netz wurde geprüft, plausibilisiert und systematisch nach Fehlerquellen durchsucht (siehe Kapitel 3).

Das gesamte ÖV-Angebot der Schweiz wurde für das NPVM 2023 auf Basis mehrerer Datenquellen erstellt. Im Modell wurden folgende Informationen abgebildet: Linien und Fahrpläne, Verkehrssysteme und Betreiber, Streckennetz und Haltestellen, Umsteigepunkte und Fusswege sowie Fahrzeugtypen und Rollmaterial. Das Netz stammt zunächst aus dem ÖV-Modell des NPVM 2017, wurde jedoch bezüglich der o.a. Komponenten auf den Stand 2023 aktualisiert, ausgebaut und plausibilisiert (siehe Kapitel 4).

Das Velo-Netz 2023 basiert in seinem Umfang sowie hinsichtlich der für die Modellierung relevanten Attribute weitgehend auf dem Stand des NPVM 2017+. Die wichtigste Grundlage für die Aktualisierung des Velo-Netzes auf einen Zustand 2023 bildete das aktualisierte Strassennetz: neue und angepasste Netzelemente und Anbindungen aus dem Strassennetz 2023 wurden übernommen, die SchweizMobil Veloland-Routen mit Stand 2024 integriert, die Höheninformationen basierend auf dem swisstopo-Höhenmodell DHM25 (swisstopo, 2007)

aktualisiert. Auch hier erfolgte eine Plausibilisierung des Velonetzes über relevante Kenngrössen (siehe Kapitel 5).

Die Anbindungen aller Zonen an die Netze des ÖV und der Strasse wurden basierend auf der im Projekt «Methodik-Update» entwickelten Methode neu für das Jahr 2023 generiert. Die Skripte zur Anbindungsgenerierung wurden dafür aus dem NPVM 2017+ übernommen, in die aktuelle Projektversion (Netzstände 2023) übertragen und an PTV Visum 2024 hinsichtlich Python-Version, Datenstruktur und Schnittstelle (COM-API) angepasst. Die Zahl der anbindungsgeeigneten Knoten im MIV blieb zwischen den beiden Versionen NPVM 2017+ und NPVM 2023 praktisch unverändert, während die Zahl der automatisch erzeugten Anbindungen im ÖV aufgrund des veränderten und verbesserten ÖV-Angebotes gegenüber der Version NPVM 2017+ um 2.2% anstieg (Kapitel 6).

Die Validität der Angebotsmodelle und der daraus berechneten bzw. abgeleiteten Kenngrössenmatrizen (KGM) stellt einen zentralen Baustein der Qualitätssicherung und Validierung des Gesamtmodells dar. Mittels einem etablierten abgestuften Prüfverfahren wurde zuerst für alle Verkehrsmodi der Netzzusammenhang geprüft, um sicherzustellen, dass für jede Quelle-Ziel-Relation eine Route gefunden werden konnte und entsprechende Werte in den Kenngrössenmatrizen vorhanden sind. Anschliessend wurden alle Kenngrössenmatrizen auf Symmetrie und das Vorliegen von Extremwerten untersucht (siehe Kapitel 13).

Im NPVM werden für MIV und ÖV distanzabhängige Kilometerkosten (in Rappen/km) bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl berücksichtigt. Diese wurden für das NPVM 2023 aktualisiert. Grundlage für die Aktualisierung der MIV-Kosten war das sogenannte Kostentool, das im Rahmen der Verkehrsperspektiven 2050 erstellt wurde (ARE, 2022) und neben aktualisierten Datengrundlagen auch strukturell erweitert wurde – insbesondere durch eine differenzierte Betrachtung nach PW-Antriebstypen. Im ÖV erfolgte die Aktualisierung der Kostensätze mit dem gleichen Ansatz wie für das NPVM 2017 (ARE, 2020). Für beide Verkehrsmittel ist die Verwendung der Strukturdatenbasis aus der SynPop zentral. Im MIV bestimmt sie die PW-Verteilung nach Zone und Antriebstyp, im ÖV nimmt die Verteilung des Abo-Besitzes je Verkehrszone Einfluss auf die Berechnung der gewichteten Kostensätze je Relation. Das Ergebnis sind Kilometerkosten für MIV und ÖV nach Verkehrszone mit Stand 2023, die in die Ziel- und Verkehrsmittelwahl eingehen (siehe Kapitel 9).

Verkehrsnachfrage

Das NPVM bildet den Zustand des Jahres 2023 ab – mit dem Ziel, insbesondere das Mobilitätsverhalten und die Verkehrssituation in einer «post-COVID»-Realität realistisch zu erfassen. Um eine noch bessere Kalibration zu erlangen, wurde für das NPVM 2023 eine Differenzierung der Verkehrsmittelaaffinitäten vorgenommen. Mit diesem Ziel wurden Teilräume definiert, die sich durch eine möglichst hohe Homogenität hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl auszeichnen. Als sinnvolle Teilräume erwiesen sich die 16 Arbeitsmarkt-grossregionen in der Schweiz. Zusätzlich wurden die fünf grossen Städte Zürich, Basel, Bern, Genf und Lausanne isoliert, um dem dortigen hohen Anteil von ÖV-Wegen Rechnung zu tragen.

Wichtige Grundlage für die Kalibrierung und die Validierung des NPVM im Ist-Zustand 2023 bilden empirische Verkehrsdaten. Sie dienen dazu, die Modellwerte mit dem beobachteten Verkehr zu vergleichen und gezielt Modellanpassungen vorzunehmen. Die Zählwerte wurden NPVM-Netzobjekten zugeordnet, also in der Regel den richtungsbezogenen Strecken, im ÖV zusätzlich auch zu Bahnhöfen und Haltestellen des städtischen Verkehrs (Einsteiger, Aussteiger und Umsteiger). Das Ergebnis ist ein System von Zählwerten für Strasse, ÖV und Veloverkehr, das eine Kalibration des Modells über alle Teilräume und alle Verkehrsmittel ermöglicht. Im Vergleich zu früheren Modellversionen wurden für das NPVM 2023 deutlich mehr Zählwerte verarbeitet (siehe Kapitel 7):

- fast 5'000 Zählwerte im motorisierten Strassenverkehr,
- fast 22'000 Zählwerte im ÖV, davon ungefähr 1'000 Zählwerte auf Querschnitten der Bahn.

Üblicherweise bildet der MZMV die wichtigste empirische Datengrundlage für die Verkehrsnachfrage, da diese Datenquelle Informationen zu allen relevanten Grössen (Verkehrsmittel, Wegezwecke, Reiseweiten, Start- und Zielzeitpunkte) der Verkehrsnachfrage liefert. Es wurde entschieden, dass der MZMV 2021, ebenso wie die alpen- und grenzquerende Personenverkehrserhebung (A+GQPVE) 2021, nicht als originäre Datenquelle verwendet wird, da die erhobene Verkehrsnachfrage als nicht aussagekräftig für die weitere Entwicklung gesehen wird. Die entsprechenden Kenngrössen wurden daher zunächst aus dem MZMV 2015 übernommen.

Dazu wurden vom ARE bereitgestellte Annahmen zu Verhaltensänderungen bei der Verkehrserzeugung (z.B. Entwicklung der Zahl der Arbeitswege pro Erwerbstätigem unter Annahme von bestimmtem Home-Office-Anteilen, Rebound-Effekte) in die Eingangsdaten integriert. Zusätzlich wurden die Wegelängen und der Modal-Split sowie die Transformationsparameter angepasst, um den gegenüber 2015 veränderten Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen.

Die Nachfrage im schweren Strassengüterverkehr (Lastwagen, Lastzüge) wurde mit der aggregierten Methodik Güterverkehr (AMG) generiert. Die mit leichten Nutzfahrzeugen zurückgelegten Fahrten wurden unterschiedlich behandelt, je nachdem, ob das Fahrzeug einer Privatperson oder einer juristischen Person gehört. Erstere wurden aus den vom NPVM erstellten MIV-Matrizen extrahiert, während letztere vom Lieferwagenmodell (LIM) generiert wurden. Als neues Umlegungsverfahren für die LW- und LZ-Matrizen kommt die Gleichgewichtsumlegung Bi-conjugate Frank-Wolfe zum Einsatz. Zudem erfolgt die Umlegung von LW und LZ nicht mehr in einem unbelasteten Zustand, sondern mit einer Vorbelastung.

Kalibration des NPVM

Die Kalibrierung der Nachfrage des NPVM 2023 erfolgte in drei Phasen. In der ersten Phase wurde ein Kennwertinput erzeugt. Dieser Kennwertinput umfasst Verhaltensdaten wie Mobilitätsraten, mittlere Reiseweiten und Modal-Splits. Die zweite Phase umfasste die Anpassung der Transformationsparameter und der teilraumfeinen Modusaffinitäten. Ziel war, die Kalibrierungskenngrössen, sowohl was die Gesamt-Schweiz betrifft als auch hinsichtlich der 21 Teilräume, zu erreichen. In der dritten Phase erfolgte eine Matrixanpassung mit den gleichzeitigen Zielen, die ursprüngliche Matrix möglichst wenig zu verändern, die Zählwerte bestmöglich zu treffen und ein Overfitting zu vermeiden (siehe Kapitel 14).

Für die Aktualisierung des Aussenverkehrs für PW und ÖV wurde eine vereinfachte Methode verwendet, die hauptsächlich aus der Hochrechnung der entsprechenden Matrizen des NPVM 2017 auf die gemessene Verkehrsnachfrage an den Grenzübergängen im Jahr 2023 besteht. Zusätzlich wurde ein neues Nachfragesegment LI-Aussenverkehr erstellt (siehe Kapitel 12).

Bei der Kalibration der Umlegung wurde zwischen MIV und ÖV unterschieden. In beiden Fällen wurde zunächst ein Modellzustand Z1 hergestellt. Die Arbeiten beinhalten umfassende Prüfungen der Netze, der Zählraten und der Anbindungen. Dadurch konnten zahlreiche Verbesserungen erzielt werden, sowohl hinsichtlich einzelner Netzelemente als auch bezüglich systematischer Spezifikationen. Letztere umfassen im MIV beispielsweise die streckentypbezogene Gewichtung der Reisezeiten und im ÖV die Verbesserung der Codierung der Vorstadtbahnhöfe. Der Modellzustand Z2 wurde durch Matrixkorrekturen erreicht. Diese haben zum Ziel, die in den Modellzuständen Z1 verbliebenen Abweichungen zu minimieren. Dies ist insofern gelungen, als dass die Zählraten gut bzw. sehr gut reproduziert werden, ohne dass die Korrekturmatriken einen zu grossen Anteil der Nachfrage erklären. Bei der Bestimmung der Korrekturmatriken im MIV wurde darauf geachtet, dass die Korrektur keine unerwünschten Auswirkungen auf die Belastungen von Strecken hat ("cross-validation"), deren tatsächliche Belastungen mangels Zählraten nicht bekannt sind (siehe Kapitel 15).

Mit dem final kalibrierten Modellzustand wurden zahlreiche Sensitivitätstests durchgeführt. Es fanden für jede untersuchte Variable vollständige Modellläufe statt, so dass Rückkopplungseffekte bei den Sensitivitätsanalysen enthalten sind. Alle Sensitivitäten liegen in Grössenordnungen, die als plausibel eingeschätzt werden können. Im selben Arbeitsschritt (siehe Kapitel 16) wurden auch erfolgreich Tests hinsichtlich des Konvergenzverhaltens des Modells durchgeführt.

Neben der Modellierung des Tageswertes des DWV umfasst das Modell auch die Ermittlung der Spitzenstunden MSP und ASP sowie des durchschnittlichen täglichen Verkehrs (DTV). Für alle Zeiteinheiten liegen umfassende Zählraten vor. Der DTV leitet sich vom DWV ab und liegt für den MIV in drei Zeitzuständen vor: DTV, DTV 6-22 Uhr (Tagesverkehr) und DTV 22-6 Uhr (Nachtverkehr). Tages- und Nachtverkehre sind für die Lärmberechnungen bestimmt. Der ÖV wird ausschliesslich für den gesamten Tag betrachtet, da dieser im Unterschied zum MIV nicht lärmrelevant ist (siehe Kapitel 17 und 19).

Anwendungen des NPVM

Das NPVM ist ein zentrales Instrument für die Verkehrsplanung und -politik auf nationaler Ebene. Es ermöglicht die Analyse und Prognose des Personenverkehrs unter Berücksichtigung verschiedener Verkehrsträger und dient als Entscheidungsgrundlage für Infrastruktur- und Raumplanungsprojekte. Das Modell dient insbesondere zur Beurteilung der Auswirkungen geplanter Infrastrukturmassnahmen, wie z.B. dem Ausbau von Strassen oder Schienenwegen, auf das Verkehrsaufkommen und die Netzbelastung. Es liefert auch Daten für die Abschätzung von Umweltwirkungen des Verkehrs.

Insbesondere wird das NPVM 2023 im Rahmen der Schweizerischen Verkehrsperspektiven (VP 2060) eingesetzt. Vor diesem Hintergrund ist es zentral, ein robustes und belastbares Vorhersagemodell zu schaffen, das in der Lage ist, neue Infrastrukturen, Betriebskonzepte sowie verkehrspolitische Massnahmen plausibel und realitätsnah abzubilden. Die Modellergebnisse werden in Excel-Dashboards dargestellt. Diese basieren auf den Dashboards der Verkehrsperspektiven 2050, wurden aber um zahlreiche Auswertungen ergänzt, die sich im Kalibrierungsverlauf als wertvoll erwiesen hatten (siehe Kapitel 18).

Résumé

Le modèle national de transport de voyageurs (MNTP) a été publié en 2020 avec un état 2017 (ARE, 2020). Il a ensuite servi de base aux perspectives d'évolution du transport 2050 (ARE, 2022), puis a fait l'objet d'une actualisation méthodologique (état MNTP 2017+) (ARE, 2023).

Le présent rapport technique documente l'actualisation du modèle pour l'état 2023, notamment la démarche mise en œuvre pour décrire les comportements de mobilité et la situation du trafic "après COVID". Les bases du modèle (p. ex. zones de trafic, segmentation de la demande selon les motifs de trajets et groupes de personnes) sont restées en grande partie inchangées. La méthode correspond essentiellement à celle du MNTP 2017+, seules quelques améliorations ponctuelles ont été effectuées. Les travaux se sont concentrés sur l'actualisation des bases de données, sur une calibration fine de la demande de transport ainsi que sur la calibration des charges de trafic dans le TIM et les TP. Le MNTP 2023 décrit le trafic journalier moyen des jours ouvrés (TJMO). Le trafic international (dont l'origine et/ou la destination se situe à l'étranger) a également été actualisé pour l'année 2023. L'état du TJM (Trafic journalier moyen, lundi-dimanche) du modèle, ses différenciations temporelles ainsi que les états des heures de pointe du matin et du soir ont été déduits du TJMO. Les données utilisées pour actualiser le modèle et les méthodes employées sont présentées de manière détaillée.

Le MNTP 2023 est programmé dans le logiciel PTV VISUM 2024. Le modèle de la demande du MNTP 2023 comprend, comme le MNTP 2017, un choix simultané de la destination et du moyen de transport. Pour la répartition de la demande sur les réseaux de transport, on utilise, de manière analogue aux versions précédentes du MNTP, une procédure d'affectation selon l'horaire pour les transports publics (TP) et une procédure d'affectation à l'équilibre pour le transport individuel motorisé (TIM). Comme résultat, quatre fichiers de modèles sont disponibles : un fichier pour chacun des modèles d'offre TP, TIM et vélo, ainsi qu'une version de la demande qui contrôle les versions d'offre via sa séquence de procédures.

En ce qui concerne la génération de trafic, le MNTP 2023 se base toujours sur 26 groupes origine-destination et une centaine de types de personnes dont le comportement de mobilité est considéré homogène. Le calcul des volumes de trafic émis et attirés pour les 7 978 zones de trafic repose sur un tableau de données structurelles basé sur une population synthétique (SynPop). La SynPop utilisée correspond à l'année 2022. Elle a été intégrée dans le modèle de la demande sous sa forme agrégée au niveau des zones de trafic (voir chapitre 8).

Offre de transport

Le modèle de réseau routier du MNTP a été actualisé de l'état 2017 à l'état 2023. Lors de cette actualisation, l'accent a été mis en premier lieu sur le réseau des routes nationales. Les modifications concernant le réseau secondaire n'ont été intégrées que lorsque des répercussions importantes sur la demande de transport pouvaient être attendues. En outre, les modifications du réseau à l'étranger pouvant avoir une importance pour le trafic routier transfrontalier ont également été intégrées. Le réseau actualisé a été vérifié et des tests de plausibilité ont été effectués (voir chapitre 3).

L'offre de transports publics en Suisse a été établie pour le MNTP 2023 sur la base de plusieurs sources de données. Les informations suivantes ont été représentées dans le modèle : lignes et horaires, systèmes de transport et exploitants, réseau et arrêts, points de correspondance et trajets à pied ainsi que types de véhicules et matériel roulant. Le réseau provient initialement du modèle de transport public du MNTP 2017, dans lequel les éléments susmentionnés ont été mis à jour pour correspondre à l'état 2023 (voir chapitre 4).

Le réseau cyclable du MNTP 2023 a été construit en partant de celui du MNTP 2017+. Celui-ci a été modifié pour intégrer les modifications des éléments du réseau routier. Les connecteurs du réseau routier 2023 ont également été repris, les itinéraires cyclables de SuisseMobile (état 2024) ont été intégrés et les informations

altimétriques ont été actualisées sur la base du modèle altimétrique MNT25 de swisstopo (swisstopo, 2007). Ici aussi, la qualité a été contrôlée à l'aide de différents indicateurs (voir chapitre 5).

Les connecteurs entre les zones et les réseaux de transports publics et routiers ont été générés pour l'année 2023 via la méthode développée lors de l'actualisation méthodologique (ARE, 2023). Les scripts de génération des connecteurs ont été repris à cet effet du MNTP 2017+, transférés dans la version actuelle du projet (états des réseaux 2023) et adaptés à PTV Visum 2024 en ce qui concerne la version Python, la structure des données et l'interface (COM-API). Le nombre de nœuds pouvant être utilisés par des connecteurs dans le TIM est resté pratiquement inchangé entre les deux versions MNTP 2017+ et MNTP 2023, tandis que le nombre de connecteurs générés automatiquement pour les TP a augmenté de 2,2% par rapport à la version MNTP 2017+ en raison de la modification et de l'amélioration de l'offre de TP (chapitre 6).

Les contrôles de plausibilité des modèles d'offre et des matrices d'impédance calculées à partir de ces modèles sont au cœur de la stratégie d'assurance qualité du modèle. La cohérence du réseau a d'abord été vérifiée pour tous les modes de transport au moyen d'une procédure standard afin de s'assurer qu'un itinéraire existe pour chaque relation origine-destination (OD) et que les valeurs correspondantes sont disponibles dans les matrices d'impédance. Ensuite, toutes les matrices d'impédance ont été examinées, notamment en termes de symétrie et de valeurs extrêmes (voir chapitre 13).

Dans le cadre du choix de destination et du moyen de transport, le MNTP utilise pour le TIM et les TP des coûts kilométriques dépendant de la distance (en centimes/km). Ces coûts ont été mis à jour pour le MNTP 2023. L'actualisation des coûts du TIM s'est appuyée sur l'outil de calcul des coûts élaboré dans le cadre des perspectives d'évolution du transport 2050 (ARE, 2022). Cet outil a été mis à jour et étendu, notamment en ce qui concerne la différenciation par type de motorisation des voitures particulières. Pour les TP, la mise à jour des coûts kilométriques a été effectuée avec la même approche que pour le MNTP 2017 (ARE, 2020). Les données structurelles 2023 issues de la SynPop jouent un rôle central pour les deux moyens de transport. Pour le TIM, elle détermine la répartition des voitures par zone et type de motorisation. Pour les TP, la répartition des abonnements par zone de transport influence le calcul des coûts kilométriques moyens. Il en résulte des coûts kilométriques pour 2023 pour le TIM et les TP spécifiques à chaque zone de trafic. Ces coûts sont ensuite pris en compte dans le choix de la destination et du mode de transport (voir chapitre 9).

Demande de transport

Un des objectifs du MNTP 2023 est de décrire de manière réaliste les comportements de mobilité et la situation du trafic "après COVID". Afin d'améliorer le réalisme du modèle, l'affinité de la population pour les différents moyens de transport a été différenciée spatialement dans le MNTP 2023. Dans ce but, il était nécessaire de définir des sous-espaces aussi homogènes que possible en ce qui concerne le choix du moyen de transport. 21 sous-espaces ont été créés, dont 16 basés sur les grands bassins d'emploi de Suisse et 5 qui correspondent aux villes de Zurich, Bâle, Berne, Genève et Lausanne, où la part des trajets effectués en TP est plus élevée.

Les données empiriques de trafic constituent une base importante pour la calibration et la validation du MNTP 2023. Elles permettent de comparer les valeurs du modèle avec le trafic observé et de procéder à des adaptations ciblées du modèle. Chaque comptage a été associé à un élément de réseau du MNTP : tronçon directionnel pour le TIM et le vélo, tronçon directionnel ou gare ou arrêt pour les TP. Dans le cas de comptages associés à une gare ou à un arrêt, les trois valeurs sont disponibles : nombre de passagers démarrant un trajet, finissant un trajet et nombre de passagers en correspondance. Il en résulte un ensemble de données de comptage pour la route, les TP et le trafic cycliste, qui permet de calibrer le modèle pour tous les sous-espaces et moyens de transport. Par rapport aux versions précédentes du modèle, le nombre de valeurs de comptage traitées pour le MNTP 2023 est nettement plus important (voir chapitre 7) :

- près de 5 000 comptages dans le trafic routier motorisé,
- près de 22 000 comptages dans les TP, dont environ 1 000 comptages sur des tronçons ferroviaires.

Habituellement, le MRMT constitue la principale base de données empiriques pour la demande de transport. En effet, le MRMT fournit des informations sur toutes les grandeurs pertinentes (moyens de transport, motifs de déplacement, distances parcourues, heures de départ et d'arrivée) de la demande de transport. Pour cette actualisation, le MRMT 2021 n'a cependant pas pu jouer ce rôle du fait du COVID et le MRMT 2015 a été utilisé à la place comme point de départ. De même, l'enquête 2021 sur le transport transalpin et transfrontalier de personnes (A+GQPV) n'a pas été considérée comme pertinente pour le MNTP 2023.

Les grandeurs caractéristiques issues du MRMT 2015 ont néanmoins été ajustées. Tout d'abord, des hypothèses fournies par l'ARE concernant l'évolution du nombre de trajets par personne selon le motif (par exemple pour prendre en compte la hausse du recours au télétravail) ont été intégrées dans les données d'entrée. De plus, les longueurs des trajets et la répartition modale ainsi que les paramètres de transformation ont été adaptés afin de tenir compte des changements globaux par rapport à 2015.

La demande en transport routier lourd de marchandises (poids lourds avec et sans remorques) a été générée à l'aide de la méthode agrégée pour le transport de marchandises (MAM). Les trajets effectués avec des véhicules utilitaires légers (VUL) ont été traités différemment selon que le véhicule appartient à un particulier ou à une personne morale. Les premiers ont été extraits des matrices TIM créées par le MNTP, tandis que les seconds ont été générés par le nouveau modèle pour ces véhicules, le LIM. De plus, l'affectation des poids lourds se fait maintenant avec la procédure d'équilibre Bi-conjugate Frank-Wolfe, et sur un réseau préalablement chargé.

Calibration du MNTP

La calibration de la demande du MNTP 2023 s'est déroulée en trois phases. Dans la première phase, des valeurs cibles pour différentes variables comportementales (taux de mobilité, distances moyennes de déplacement et répartitions modales) ont été déterminées. La deuxième phase a consisté à ajuster les paramètres de transformation liés à l'appréciation des distances et l'affinité pour les différents modes selon les sous-espaces. L'objectif était de se rapprocher des valeurs cibles, à la fois pour la Suisse dans son ensemble et pour les 21 sous-espaces. La troisième phase a consisté à ajuster les matrices de la demande pour reproduire au mieux les comptages tout en évitant un surajustement (voir chapitre 14) et en modifiant le moins possible les matrices initiales.

Le trafic international TIM et TP a été mis à jour en extrapolant à partir des matrices correspondantes du MNTP 2017 et en ajustant la demande de trafic aux comptages disponibles aux frontières pour 2023. De plus, un nouveau segment de demande pour le trafic international VUL a été créé (voir chapitre 12).

La calibration de l'affectation de la demande sur le réseau a été faite séparément pour le TIM et les TP. Dans les deux cas, cette calibration s'est faite en deux temps. D'abord un état de modèle Z1 a été établi. Pour cela, les réseaux, les données de comptage et les connecteurs ont d'abord été vérifiés en détails. De nombreuses améliorations ont ainsi pu être apportées, tant en ce qui concerne les différents éléments du réseau que les spécifications systématiques. Ces dernières comprennent par exemple, pour le TIM, la pondération des temps de parcours en fonction du type de trajet et, pour les TP, les temps d'accès aux gares en périphérie urbaine. L'état Z2 du modèle a ensuite été obtenu via des corrections matricielles. Celles-ci ont pour but de minimiser les écarts avec les données de comptage qui subsistent dans l'état Z1. Cet objectif a été atteint dans la mesure où les comptages sont relativement bien reproduits, sans que les matrices de correction ne modifient trop fortement la demande. Lors de la détermination de la matrice de correction pour le TIM, on a veillé à ce que la correction n'ait pas d'effets indésirables sur les charges des tronçons où il n'y a pas de données de comptage ("cross-validation", voir chapitre 15).

De nombreux tests de sensibilité ont été effectués avec l'état final du modèle calibré. Des exécutions complètes du modèle ont été effectuées pour chaque variable étudiée, de sorte que les effets de rétroaction sont inclus dans les analyses de sensibilité. Toutes les sensibilités ont des ordres de grandeur considérés comme

plausibles. Des tests du comportement de convergence du modèle ont été réalisés avec succès (voir chapitre 16).

Outre la modélisation du trafic journalier TJMO, le modèle comprend également la détermination des heures de pointe du matin et du soir ainsi que du trafic journalier moyen du lundi au dimanche (TJM). Des données de comptage complètes sont disponibles pour toutes les unités de temps. Le TJM est dérivé du TJMO et est disponible pour le TIM en trois états temporels : TJM, TJM 6h-22h (trafic diurne) et TJM 22h-6h (trafic nocturne). Les trafics TIM diurne et nocturne sont destinés aux calculs de bruit. Pour les TP, seul l'état TJM pour l'ensemble de la journée a été calculé (voir chapitres 17 et 19).

Applications du MNTP

Le MNTP est un instrument central pour la planification et la politique des transports au niveau national. Il permet d'analyser et de prévoir le trafic voyageurs en tenant compte des différents modes de transport et sert de base de décision pour les projets d'infrastructure et d'aménagement du territoire. Le modèle sert notamment à évaluer l'impact de mesures d'infrastructure telles que l'extension des routes ou des voies ferrées sur le volume de trafic et la charge du réseau. Il fournit également des données permettant d'évaluer l'impact environnemental des transports.

Le MNTP 2023 est notamment utilisé dans le cadre des perspectives d'évolution du transport 2060. Dans ce contexte, il est essentiel de disposer d'un modèle de prévision robuste, capable de représenter de manière réaliste et plausible les nouvelles infrastructures, les concepts d'exploitation ainsi que les mesures de politique des transports. Les résultats du modèle sont présentés dans des tableaux de bord Excel. Ceux-ci se basent sur les tableaux de bord des perspectives d'évolution du trafic 2050, auxquels de nombreux indicateurs qui se sont avérés utiles lors de la calibration ont été ajoutés (voir chapitre 18).

Sintesi

Il Modello del Traffico Viaggiatori a livello Nazionale (MTVN) è stato inizialmente pubblicato nel 2020 con dati del 2017 (ARE, 2020), successivamente è stato utilizzato come base per le prospettive di evoluzione del trasporto al 2050 (ARE, 2022) ed è poi stato oggetto di un aggiornamento metodologico nel 2023 (stato NVPM 2017+) (ARE, 2023).

Il presente rapporto tecnico documenta l'aggiornamento del modello al 2023, in particolare il processo utilizzato per descrivere i comportamenti di mobilità e la situazione del traffico "post-COVID". Le basi del modello (es. zone di traffico, segmentazione della domanda per motivo di viaggio e gruppi di persone) sono rimaste in gran parte invariate. Il metodo corrisponde sostanzialmente a quello del MTVN 2017+, con alcuni miglioramenti puntuali. Essi riguardano principalmente l'aggiornamento dei dati in input, un affinamento della calibrazione della domanda e del traffico TIM (Trasporto Individuale Motorizzato) e TP (Trasporto Pubblico). Il MTVN 2023 descrive il traffico lavorativo giornaliero medio (TLGM). Il traffico internazionale (con origine e/o destinazione all'estero) è stato anch'esso aggiornato all'anno 2023. Lo stato TGM (Traffico Giornaliero Medio, lun-dom) del modello, le sue variazioni temporali e le condizioni del traffico nelle ore di punta di mattina e sera sono state dedotte dal TLGM (Traffico Lavorativo Giornaliero Medio). I dati utilizzati e i metodi impiegati per aggiornare il modello sono presentati in dettaglio.

Il MTVN 2023 è programmato nel software PTV VISUM 2024. Come il MTVN 2017, il modello di domanda del MTVN 2023 comprende una scelta simultanea di destinazione e mezzo di trasporto. Per la distribuzione della domanda sulla rete di trasporto, si utilizza, analogamente alle versioni precedenti, una procedura di assegnazione basata sugli orari per il trasporto pubblico (TP) e una procedura di assegnazione all'equilibrio per il trasporto individuale motorizzato (TIM). Per questa procedura, sono disponibili quattro file: uno per ciascun modello d'offerta (TP, TIM e bicicletta), e una versione della domanda con una sequenza di procedure che controlla i modelli di offerta.

Per ciò che concerne la generazione del traffico, il MTVN 2023 si basa sempre su 26 possibili coppie origine-destinazione (OD) e circa 100 tipologie di persone con comportamenti di mobilità omogenei. Il calcolo dei volumi di traffico in provenienza e direzione delle 7'978 zone di traffico si basa su dati strutturali ottenuti a partire da una popolazione sintetica (SynPop). La SynPop utilizzata è relativa all'anno 2022 ed è stata integrata nel modello di domanda a livello aggregato per zone di traffico (cfr. capitolo 8).

Offerta di trasporto

Il modello della rete stradale del MTVN è stato aggiornato al 2023, concentrandosi principalmente sulla rete nazionale. Le modifiche alla rete secondaria sono state integrate solo in caso di ripercussioni rilevanti sulla domanda. Anche le modifiche della rete estera rilevanti per il traffico transfrontaliero sono state incluse. La rete aggiornata è stata verificata e sottoposta a un test di plausibilità (capitolo 3).

L'offerta di trasporto pubblico in Svizzera è stata definita per il MTVN 2023 sulla base di più fonti: linee e orari, operatori, rete e fermate, nodi di interscambio, percorsi pedonali e tipi di veicoli. La rete deriva inizialmente dal modello TP del MTVN 2017 e gli elementi sopracitati sono stati aggiornati allo stato 2023 (capitolo 4).

La rete ciclabile del MTVN 2023 è stata costruita a partire da quella del MTVN 2017+ e modificata in modo da integrare i cambiamenti nella rete stradale. Sono stati ripresi i connettori della rete stradale 2023, integrati i percorsi ciclabili di SwissMobile (stato 2024) e aggiornati i dati altimetrici sulla base del modello MNT25 di swisstopo (swisstopo, 2007). Ne è stata verificata la qualità con vari indicatori (capitolo 5).

I connettori tra zone di traffico e rete TP/stradale sono stati generati per il 2023 con il metodo sviluppato nell'aggiornamento metodologico (ARE, 2023). Gli script di generazione dei connettori sono stati ripresi dal NVPM 2017+ e adattati per la versione Python di PTV VISUM 2024, la sua struttura dati e la sua interfaccia COM-API. Il numero di nodi utilizzabili da connettori nel TIM è rimasto sostanzialmente invariato, mentre per il TP il numero di connettori generati automaticamente è aumentato del 2,2% rispetto al MTVN 2017+, grazie al miglioramento dell'offerta TP (capitolo 6).

La plausibilità dei modelli d'offerta e delle matrici di impedenza da essi derivate è centrale per la qualità del modello. La coerenza della rete è stata verificata con procedure standard per assicurare che ogni coppia OD sia connessa con ciascun mezzo di trasporto e che il valore corrispondente sia correttamente riportato nelle matrici di impedenza. Tutte le matrici di impedenza sono state esaminate per simmetria e valori estremi (capitolo 13).

Quanto alla scelta della destinazione e del mezzo di trasporto, il MTVN usa per TIM e TP costi al chilometro in funzione della distanza (cent/Km). I costi TIM sono stati aggiornati con lo strumento sviluppato per le prospettive 2050 (ARE, 2022), esteso alla differenziazione per tipologia di auto. Per i TP, i costi sono stati aggiornati con lo stesso approccio del MTVN 2017 (ARE, 2020). I dati strutturali 2023 provenienti dalla SynPop sono determinanti: per il costo del TIM forniscono la proporzione di auto presenti nelle diverse zone di traffico; per il TP determinano i costi in base al tasso di possessione di abbonamenti TP. Ciò permette di ottenere costi al chilometro 2023 specifici per zona di traffico, che vengono poi utilizzati per la scelta simultanea di destinazione e del mezzo di trasporto (capitolo 9).

Domanda di trasporto

Obiettivo del MTVN 2023 è descrivere in modo realistico la mobilità e la situazione del traffico "post-COVID". Per migliorare il modello, la propensione della popolazione all'utilizzo dei diversi mezzi di trasporto è stata differenziata territorialmente, tramite la creazione di 21 aree il più omogenee possibile. 16 di esse sono basate sui grandi bacini di occupazione svizzeri e le restanti 5 sono state ottenute isolando le aree metropolitane principali (Zurigo, Basilea, Berna, Ginevra, Losanna), che hanno una quota TP più elevata.

I dati empirici di traffico sono una base importante per la calibrazione e la validazione del modello. Essi servono a confrontare i valori del modello con il traffico osservato e ad aggiustarlo di conseguenza. Ogni conteggio è stato associato a un elemento di rete del MTVN (tronco direzionale per TIM e bici, tronco/linea/stazione per TP). Dal conteggio di linea o stazione si ottengono tre valori: partenze, arrivi, corrispondenze. Il dataset così costruito per la rete stradale, TP e bici permette la calibrazione del modello per tutte le 21 aree omogenee e tutti i mezzi di trasporto. Rispetto alle versioni precedenti, il numero di conteggi usati nel MTVN 2023 è superiore (capitolo 7):

- Circa 5 000 conteggi nel traffico stradale motorizzato,
- Circa 22 000 conteggi nei TP, di cui ~1 000 su linee ferroviarie.

Normalmente il Microcensimento Mobilità e Trasporti (MCMT) è la principale base per la domanda di trasporto (mezzi, motivi, distanze, orari). Per l'anno 2021, esso non è tuttavia utilizzabile a causa del COVID, si è quindi ricorso al MCMT 2015. Anche l'indagine 2021 sul trasporto di persone transalpino e transfrontaliero (A+GQPV) non è stata considerata rilevante.

I valori principali provenienti dal MCMT 2015 sono stati comunque aggiustati in base alle ipotesi ARE sull'evoluzione del numero di viaggi per persona per motivo (es. maggiore ricorso al telelavoro), in base alla variazione delle distanze medie percorse, della ripartizione modale e dei parametri di trasformazione, al fine di tener conto dei cambiamenti post-2015.

Il trasporto merci pesante (camion con/senza rimorchio) è stato generato tramite il Metodo Aggregato per il trasporto Merci (MAM). I Veicoli Utilitari Leggeri (VUL) sono stati trattati distintamente: quelli privati sono stati estratti dalle matrici TIM MTVN, quelli aziendali generati dal nuovo modello LIM. L'assegnazione dei mezzi pesanti avviene con procedura di equilibrio Biconiugato Frank-Wolfe su una rete pre-caricata.

Calibrazione del MTVN

La calibrazione della domanda 2023 si è svolta in tre fasi. Nella prima fase sono stati definiti dei valori target per le diverse variabili comportamentali (tasso di mobilità, distanze medie percorse e ripartizione modale). Nella seconda fase sono stati aggiustati i parametri di trasformazione di percezione della distanza e propensione modale in base alle 21 aree omogenee. L'obiettivo è quello di avvicinarsi ai valori target sia nelle 21 aree omogenee che nella Svizzera intera. Nella terza fase sono state aggiustate le matrici di domanda per riprodurre al meglio i conteggi, con l'obiettivo di evitare un sovra-aggiustamento e di modificare il meno possibile le matrici iniziali (capitolo 14).

Il traffico TIM e TP internazionale è stato aggiornato estraendo e calibrando le matrici MTVN 2017 tramite conteggi alle frontiere 2023. Lo stesso è stato fatto per il traffico VUL (capitolo 12).

La calibrazione dell'assegnazione della domanda sulla rete è stata separata per TIM e TP ma in entrambi i casi si è svolta in due fasi. Dapprima è stato stabilito un modello Z1 per il quale la rete, i conteggi e i connettori sono stati verificati nei dettagli. Numerosi miglioramenti sono stati apportati in questa fase, sia per quanto riguarda i diversi elementi della rete che le specifiche sistematiche. Queste ultime comprendono, ad esempio, per il TIM, la ponderazione dei tempi di percorrenza in funzione del tipo di tragitto e, per i TP, il miglioramento nel calcolo dei tempi di accesso alle stazioni nelle periferie urbane.

Lo stato Z2 del modello è stato successivamente ottenuto mediante correzioni matriciali. Queste correzioni mirano a ridurre gli scarti del modello Z1 rispetto ai dati di conteggio. L'obiettivo è quello di riprodurre i conteggi in modo quanto più accurato possibile, senza troppo modificare le matrici di domanda. Nella matrice di correzione per il TIM, è stato necessario evitare che la correzione avesse effetti indesiderati nell'assegnazione su tratti privi di dati di conteggio ("cross-validation", cfr. capitolo 15).

Sono stati effettuati numerosi test di sensibilità con il modello calibrato. Svariate esecuzioni complete del modello sono state effettuate per ciascuna variabile considerata, in modo che gli effetti di retroazione siano inclusi nel modello. Tutte le sensibilità hanno ordini di grandezza plausibili. Sono stati testati con successo anche i comportamenti di convergenza del modello (capitolo 16).

Oltre alla modellizzazione del Traffico Lavorativo Giornaliero Medio (TLGM), il modello determina le ore di punta mattina/sera e il traffico giornaliero medio lun-dom (TGM). Dei conteggi completi sono disponibili per tutte le ore. Il TGM deriva dal TLGM ed è disponibile per il TIM in tre momenti della giornata: TGM, TGM 6–22 h (diurno), TGM 22–6 h (notturno). Il traffico TIM diurno e notturno serve per i calcoli acustici. Per i TP è stato calcolato solo il TGM (capitoli 17 e 19).

Applicazioni del MTVN

Il MTVN è uno strumento centrale per la pianificazione e la politica dei trasporti a livello nazionale. Esso consente di analizzare e prevedere il traffico viaggiatori tenendo conto dei diversi mezzi di trasporto e serve come base decisionale per i progetti infrastrutturali e di sviluppo del territorio. Il modello viene utilizzato in particolare per valutare l'impatto di misure infrastrutturali, come ad esempio l'ampliamento di strade o linee ferroviarie, sul volume di traffico e sul carico della rete. Fornisce inoltre dati per valutare l'impatto ambientale dei trasporti.

Il MTVN 2023 è utilizzato in particolare nell'ambito delle prospettive di sviluppo del trasporto al 2060. In questo contesto, è essenziale disporre di un modello di previsione solido, in grado di rappresentare in modo realistico

e plausibile le nuove infrastrutture, i concetti di esercizio e le misure di politica dei trasporti. I risultati del modello sono forniti in formato Excel. Questi si basano sulle prospettive di sviluppo del traffico 2050, ai quali sono stati aggiunti numerosi indicatori rivelatisi utili durante la calibrazione (cfr. capitolo 18).

1 Hintergründe und Aufgabenstellung

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) wurde 2020 mit einem Zustand 2017 veröffentlicht (ARE, 2020). Das Modell sowie Ergebnisse aus diesem finden vielfältige Verwendung in der Verkehrs- und Raumplanung in der Schweiz. Basierend auf diesem Modell wurden im April 2022 u.a. die auf dem NPVM basierenden Verkehrsperspektiven (VP) 2050 publiziert (ARE, 2022). 2023 wurde ein Projekt abgeschlossen, welches methodische Weiterentwicklungen des Modells zum Gegenstand hatte (ARE, 2023).

Für zukünftige Anwendungen sowie als Grundlage für die nächsten Verkehrsperspektiven musste der Ist-Zustand aktualisiert werden. Ziel war die Aktualisierung auf einen Zustand 2023, insbesondere um ein Mobilitätsverhalten und eine verkehrliche Situation «post-COVID» abzubilden. Mit der Aktualisierung waren besondere Herausforderungen verbunden: Der Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) (BFS, 2023a), die Stated-Preference-Befragung zur Verkehrsmodus-, Routen- und Abfahrtszeitwahl (SP) (ARE, 2024b) sowie die Alpen- und grenzquerende Erhebung im Personenverkehr (A+GQPV) (BFS, 2023b) wurden im COVID-beeinflussten Jahr 2021 erhoben und somit konnten diese Daten nicht, wie bisher in der Verkehrsmodellierung üblich, direkt verwendet werden. Insbesondere zur Verwendung der Daten von MZMV und SP musste eine alternative Vorgehensweise gefunden und umgesetzt werden.

Da eine vollständige ZählDatenbasis 2023 erst im zweiten Quartal 2024 verfügbar war, hatte dies Auswirkungen auf die Planung der vorgesehenen Arbeiten und viele vorbereitende Arbeitsschritte mussten zunächst realisiert werden, bevor das Modell auf die verbindliche ZählDatenreferenz eingestellt werden konnte. Unabhängig davon erweiterte sich stetig der Anspruch, mit dem NPVM noch verlässlichere Grundlagen für tiefere Netzebenen (im öffentlichen Nahverkehr bzw. nachgelagerten Strassennetz) zu liefern. Über die Kalibration des Modells auf regionale Kennwerte sollte diesem Anspruch Rechnung getragen werden.

Ziel dieses Auftrags war die Erstellung eines NPVM mit Zustand 2023 des durchschnittlichen Werktagsverkehrs (DWV, Mo-Fr). Der Aussenverkehr wurde ebenfalls auf einen Zustand 2023 aktualisiert. Die weiteren Modellzustände des DTV (inkl. zeitlicher Differenzierungen) sowie die Zustände der Spitzenstunden wurden aus dem DWV abgeleitet. Die grundlegenden Modellstrukturen (z.B. Verkehrszonierung, Fahrtzwecke, Personengruppen) blieben dabei weitgehend unverändert; auch methodisch wurden bis auf punktuelle Verbesserungen keine grundsätzlichen Neuerungen umgesetzt (diese wurden bereits im Projekt NPVM 2017+ realisiert). Der Fokus der Arbeiten lag auf der Aktualisierung der Datengrundlagen und einer qualitativ hochstehenden Kalibration der Nachfrage bei den Daten zum Mobilitätsverhalten sowie der Kalibration der Umlegungsmodelle auf die ZählDaten.

2 Übernahme des Modellzustandes 2017+

Entsprechend dem Pflichtenheft sollte die Aktualisierung des NPVM auf dem im Zuge des im Modell-Update erzeugten Zustands 2017+ aufsetzen (ARE, 2023). In diesem wurden bereits verschiedene Anpassungen aktiviert (Velo und E-Bike) resp. umgesetzt und zur Aktivierung vorbereitet (Differenzierung PW-Typen). Die übergebenen Daten vom Modellzustand 2017+ (UVEK, 2023) waren nicht reproduzierbar – es konnte auch nicht nachvollzogen werden, ob die Ergebnisse aus einem Modell im Gleichgewicht (wo die Nachfrage dem Angebot entspricht) kommt.

Die Berechnung erfolgt mit dem zu Bearbeitungsbeginn aktuellen Softwarerelease PTV Visum 2024. Dieses Update von PTV Visum 2018 (Softwarerelease der Modellzustandes 2017+) auf PTV Visum 2024 machte einige Anpassungen notwendig, da es zwischenzeitlich Änderungen im verwendeten Python-Release (3.x statt 2.x) und in der PTV Visum-Software (insbesondere das Verhalten bei nicht definierten mathematischen Operationen zu nennen (Division durch Null oder $\ln(0)$)) gab. So mussten, um die Lauffähigkeit wiederherzustellen, Skripte und Verknüpfungen aktualisiert werden, sodass die Nachfrage-Mutterversion wieder mit ihren Modus-Töchterversionen kommunizieren konnte. Mit diesen Anpassungen ist es gelungen, aus dem übergebenen Modellzustand 2017+ einen lauffähigen und eingeschwungenen Modellzustand zu erzeugen. Es handelt sich damit um einen «Referenzzustand».

Bei den übergebenen Matrizen (Stand 2017+) sind Auffälligkeiten festgestellt worden: Bei Fussgängerverkehr (FGV), Velo und E-Bike sind die 2017+ Kenngrössen- und Nachfragematrizen zum Teil nicht nachvollziehbar oder reproduzierbar. Die auffälligen hoch belasteten Relationen verliefen quer durch die Schweiz und wiesen entsprechend hohe Luftliniendistanzen auf. Dies spiegelte sich allerdings nicht in den Kenngrössenmatrizen wider. Die übergebenen zugehörigen Nachfragematrizen konnten daher nicht reproduziert werden.

Während der weiteren Projektbearbeitung wurde zudem festgestellt, dass es beim Modellzustand 2017+ einen Fehler bei der Übertragung der geschätzten SP-Parameter in den «EVA-Verteilung und Moduswahl»-Dialog gegeben hat (konkret betraf dies die Aufwandskenngrössen bei «Fahrtzeit Fuss» und «PW-Kosten»).

Aus den genannten Gründen gibt es Abweichungen zwischen dem übergebenen Stand 2017+ und dem neuen berechneten Referenzzustand. Die neue Berechnung erscheint hierbei plausibler, weil die beschriebenen Effekte nicht mehr auftreten.

Die Rechenzeit des Referenzzustandes betrug ca. 3 Tage und 2.5 Stunden. Im Vergleich mit den Berechnungen des Modellzustand 2017+ in PTV Visum 2018 ist das schnell. Einige Gründe für die Beschleunigung waren eine softwareseitig massiv beschleunigte MIV-Umlegung und eine beschleunigte ÖV-Umlegung mit Anbindungsanteilen. Darüber hinaus gibt es noch weitere kleinere releasebedingte Beschleunigungen.

Für die Berechnung wurden 20 Angebots-Nachfrage-Iterationen benötigt. Dies wiederum ist im Vergleich zum Modellzustand 2017 viel. Auffällig war hierbei, dass bereits ab der 10. Iteration weniger als 10 Strecken nicht im Gleichgewicht waren. Dieses Problem und die dafür umgesetzten Lösungen werden im Kapitel 15 für den Stand 2023 erörtert.

3 Strassennetz

Das Strassennetzmodell des NPVM wurde vom Stand 2017 auf den Stand 2023 aktualisiert. Als Startpunkt wurde das Netz aus dem NPVM 2017+ gewählt (ARE, 2023). Dieses enthält bereits einige Projekte, die zwischen 2017 und 2019 in Betrieb genommen wurden. Die Aktualisierung des Strassennetzes war ein mehrstufiges Verfahren.

In einem ersten Schritt (Kapitel 3.1) wurde das Strassennetzmodell auf Konsistenz geprüft und mit Drittquellen abgeglichen. Dabei wurden dabei Streckentypen, Fahrstreifen, Kapazitäten und Geschwindigkeiten validiert und bei Bedarf angepasst.

Anschliessend wurde die eigentliche Netzaktualisierung vorgenommen (Kapitel 3.2). Der Fokus lag dort in erster Linie auf dem Nationalstrassennetz. Im nachgelagerten Netz (vor allem Kantonsstrassen) wurden gezielt jene Änderungen abgebildet, die relevante Auswirkungen auf die Nachfrageberechnung haben könnten. Darüber hinaus wurden auch grenzüberschreitende Massnahmen im Ausland, sofern sie für den grenzüberschreitenden Strassenverkehr von Bedeutung sind, entsprechend nachgeführt.

Das aktualisierte Netz wurde in Kapitel 3.3 mit Hilfe provisorischer Umlegungen und systematischer Kreuzabfragen von Streckenattributen plausibilisiert und auf mögliche Fehlerquellen hin untersucht.

Ziel war es, eine umlegungsfähige PTV Visum-Version des Strassennetzes bereitzustellen, das den Zustand im Jahr 2023 bestmöglich abbildet.

3.1 Konsistenzprüfung des Netzmodells NPVM 2017+

Massnahmenunabhängig wurde in einem ersten Netzvalidierungsschritt das Strassennetzmodell des NPVM auf Konsistenz geprüft und anschliessend mit Drittquellen verglichen, um bedeutende Unterschiede zu ermitteln, welche nach Prüfung im NPVM-Netzmodell nachgeführt wurden.

Die Abbildung und Attributierung von gleichartigen Streckenabschnitten wurde auf Streckentypen, Anzahl Fahrstreifen, Kapazitäten, zulässige Geschwindigkeiten v_0 und zugelassene Verkehrssysteme geprüft.

3.1.1 Streckentypen

Es gibt insgesamt 100 verschiedene Streckentypen im NPVM (siehe Tabelle 5 des Schlussberichts von NPVM 2017 (ARE, 2020)). In der Schweiz kommen 76 verschiedene Streckentypen vor, die restlichen Streckentypen werden für Strecken im Ausland genutzt.

Die Nomenklatur der Streckentypen beinhaltet Informationen über

- den Typ der Strasse (Autobahn, Autostrasse, Hauptverkehrsstrasse, Rampen, übrige Strasse),
- die Lage der Strasse (innerorts oder ausserorts),
- die Zahl der Fahrstreifen und
- die zulässige Höchstgeschwindigkeit.

Beispiel: der Streckentyp «Autobahn_ao_1FS_80» entspricht einspurigen Autobahnabschnitten ausserorts, die auf 80 km/h begrenzt sind.

Die Ausprägung der Attribute «Typ der Strasse», «Lage der Strasse» sowie «Anzahl der Fahrstreifen» ist in jedem Falle identisch mit der Nomenklatur. Dies betrifft in den allermeisten Fällen auch die codierten freien Geschwindigkeiten v_0 auf Autobahnen und Autostrassen. Bei den codierten Geschwindigkeiten auf anderen Strassen ist dies aber nicht der Fall. Hier basiert v_0 auf der empirisch gemessenen freien Geschwindigkeit, was in der Regel der durchschnittlichen gemessenen Geschwindigkeit im Zeitraum zwischen 19 und 20 Uhr - siehe

NPVM 2017) entspricht. Diese Geschwindigkeiten haben im Stadtverkehr und auf kantonalen Strassen eine höhere Aussagekraft als die zulässige Höchstgeschwindigkeit.

3.1.2 Kapazitäten

Die Überprüfung der Streckenkapazitäten wurde differenziert nach Autobahnen und Autostrassen, Hauptverkehrsstrassen sowie den übrigen Strassen durchgeführt.

Die Kapazitäten von Autobahnen und Autostrassen mit 2 Fahrstreifen pro Richtung weisen mehrheitlich eine Kapazität von 4'000 Fahrzeugen pro Stunde auf. Das entspricht gemäss den Schweizer Richtlinien (ASTRA, 2018) der Zahl der Fahrzeuge, die auf zweispurigen Strassen abfliessen können. Bei 3 Fahrstreifen beträgt die gesetzte Kapazität zumeist 5'800 Fahrzeuge pro Stunde, für Autobahnen mit 4 Streifen beträgt sie 7'850 Fahrzeuge pro Stunde.

Es gab im NPVM keinen offensichtlichen Unterschied zwischen der Setzung von Kapazitäten auf Autobahnen und auf Autostrassen.

Strecken mit Kapazitäten unterhalb der genannten Werte, weisen in der Regel eine starke Längsneigung auf, was insbesondere bei hohem Schwerverkehrsaufkommen die Kapazität verringert.

Autobahnen und Autostrassen mit einem Fahrstreifen weisen im Modell NPVM 2017 zumeist eine Kapazität von 1'000 bis 1'250 Fahrzeuge pro Stunde auf. Es handelt sich hierbei meist um sehr kurze Strecken, allerdings auch um die Autostrasse von Winterthur nach Andelfingen oder die Stadtautobahn von Schaffhausen.



Abbildung 1: Einstreifige Autobahnen und Autostrassen im NPVM 2017 (Zoom Winterthur / Schaffhausen)

Diese Kapazität wurde mangels spezifischer Werte aus den Angaben für zweistreifige Hauptverkehrsstrasse (HVS) abgeleitet. In der aktuellen Norm sind 2'500 Fz/h für beide Richtungen zusammen angegeben, dementsprechend 1'250 Fz/h pro Richtung. Die Norm erwähnt explizit, dass Messwerte für zweistreifige Autostrassen fehlen. Allerdings kann angenommen werden, dass die Kapazität von einstreifigen Autostrassen höher ist als die Kapazität von einstreifigen Hauptverkehrsstrassen, da erstere planfrei ausgebaut sind.

Um den baulichen Sonderstatus der Autostrassen bzw. der Autobahnen zu berücksichtigen, wurde die Kapazität dieser Strecken im NPVM 2023 pauschal von 1'250 auf 1'700 Fz/h erhöht. So wird der bauliche Sonderstatus der Autostrassen bzw. der Autobahnen berücksichtigt.

Bei Hauptverkehrsstrassen ausserorts (HVS_ao) gibt es eine grosse Spannbreite an Kapazitätssetzungen. Die maximal gesetzte Kapazität ist 1'250 Fz/h bei einstreifigen Strassen, 2'300 Fz/h bei zweistreifigen Strassen und 3'400 Fz/h bei dreistreifigen Strassen.

Wie Abbildung 2 zeigt, werden diese Maximalwerte aber nur in ungefähr der Hälfte aller Strecken angewendet, ansonsten liegen die Kapazitäten bis zu 30% niedriger. Bei der Definition der Kapazität spielte auch die Längsneigung und die Kurvigkeit eine Rolle. Je höher die Längsneigung und die Kurvigkeit, je niedriger die Kapazität.

	304	800	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1650	1700	1750	1850	1950	2050	2150	2200	2300	2450	2800	2850	3400	4100	4450
HVS_ao_1FS_50	4	2	92	74	78	1736	24	330	76	1168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_ao_2FS_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	6	18	282	4	86	14	300	0	0	0	0	0	0
HVS_ao_3FS_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	28	0	0
HVS_ao_1FS_60	0	0	162	174	156	2090	100	1334	250	4184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_ao_2FS_60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	2	8	100	8	52	14	288	0	0	0	0	0	0
HVS_ao_3FS_60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	2
HVS_ao_1FS_80	0	6	2544	2696	1336	12742	1146	9186	1902	25905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_ao_2FS_80	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	4	12	80	8	126	36	396	0	0	0	0	0	0
HVS_ao_3FS_80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	12	2	6
HVS_io_1FS_50	1	0	0	0	0	0	#####	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
HVS_io_2FS_50	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4528	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_io_3FS_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0
HVS_io_1FS_60	0	0	0	0	0	0	24105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_io_2FS_60	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_io_3FS_60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0
HVS_io_1FS_80	0	0	0	0	0	0	41102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_io_2FS_80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVS_io_3FS_80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0

Abbildung 2: Kapazitäten von Hauptverkehrsstrassen ausserorts und innerorts im NPVM 2017

Bei Hauptverkehrsstrassen ausserorts wurden keine Kapazitätsanpassungen im NPVM2023 vorgenommen.

Bei Hauptverkehrsstrassen innerorts (HVS_io) gibt es praktisch keine Varianz. Die Kapazität ist in den allermeisten Fällen 1'100 Fz/h bei einstreifigen Strassen, 1'700 Fz/h bei zweistreifigen Strassen und 2'800 Fz/h bei dreistreifigen Strassen. Allerdings sind 23 Strecken vom Typ HVS_io_1FS_50 mit einer Kapazität von 2'300 versehen. Alle diese Strecken sind in der Gemeinde Baden, Bereich Mellinger Strasse, Bruggstrasse und Limmatbrücke. Da diese Streckenabschnitte 2023 (wie auch in 2017) über mindestens 2 Fahrstreifen verfügen, besteht eine fehlerhafte Codierung in Netzmodell 2017. Die entsprechenden Kapazitäten wurden im Netzmodell des NPVM 2023 angepasst.

Die Kapazitäten der «übrigen Strassen» sind sehr homogen, sowohl innerorts als auch ausserorts. Von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen, sind folgende Kapazitäten codiert: 1'100 Fz/h bei einstreifigen Strassen, 1'700 Fz/h bei zweistreifigen Strassen und 2'800 Fz/h bei dreistreifigen Strassen. Diese Kapazitäten sind analog zu denen der Hauptverkehrsstrassen.

Abweichende Kapazitätswerte bei den übrigen Strassen wurden auf die üblichen Werte (1'100, 1'700 resp. 2'800 Fz./h) gesetzt. Falls die bisherigen Einstellungen aus Kalibrationsgründen vorgenommen wurden, waren diese nicht mehr relevant bzw. wurden neu bewertet.

Auch bei den Rampen von Autobahnen resp. Autostrassen sind Kapazitäten von 1'100, 1'700 bzw. 2'800 vorherrschend (siehe Abbildung 3). Allerdings gibt es einige Rampen, die eine höhere oder niedrigere Kapazität aufweisen. Dies betrifft vor allem einstreifige Rampen unabhängig von der gesetzten Geschwindigkeit. So sind beispielsweise fast 1'000 Strecken des Typs Rampe_ao_1FS_80 mit einer Kapazität von weniger als 1'100 Fz/h versehen.

	800	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1650	1700	1850	1950	2050	2150	2200	2300	2700	2800	2850	3400
Rampe_ao_1FS_50	2	14	8	2	165	1121	12	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_2FS_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	38	0	2	0	2	0	0	0	0
Rampe_ao_3FS_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	4
Rampe_ao_1FS_60	0	18	14	20	356	568	88	16	224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_2FS_60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	104	6	36	0	2	4	56	0	0	0	0
Rampe_ao_3FS_60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	2
Rampe_ao_1FS_80	0	16	28	32	911	1764	328	40	689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_2FS_80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214	0	52	6	22	2	100	0	0	0	0
Rampe_ao_3FS_80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	2	2
Rampe_ao_1FS_100	0	0	0	2	22	0	18	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_2FS_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_3FS_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 3: Kapazitäten von Rampen im NPVM 2017

Folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Autobahnauffahrt Lyss-Süd (A6), bei der drei Rampen (Code 68) mit Geschwindigkeit 80 km/h und Kapazität 1'050 Fz/h codiert sind. Es stellte sich die Frage, ob diese Kapazitäten sachgerecht sind. Zur Vereinheitlichung wurde die Kapazität von Rampen mit weniger als 1'100 bzw. 1'700 Fz/h auf diese Werte angehoben.

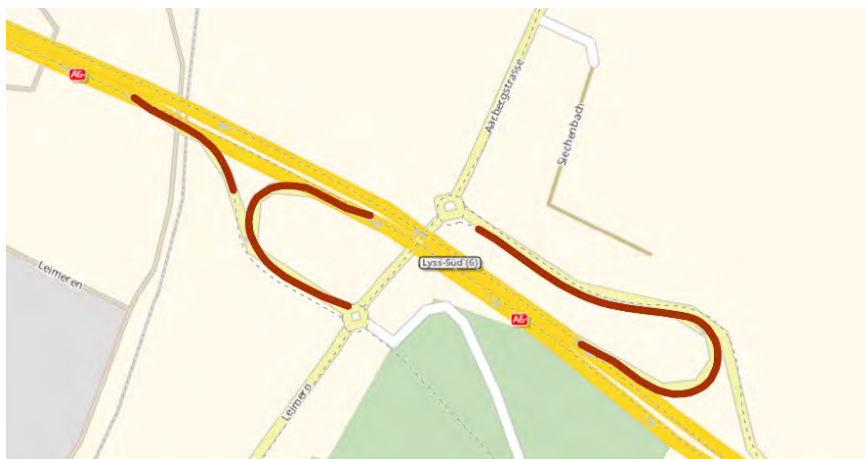


Abbildung 4: Rampen der Autobahnauffahrt Lyss Süd (A6)

Ob die hinterlegten Geschwindigkeiten tatsächlich der Realität entsprechen, wurde nicht im Einzelnen geprüft. Die Geschwindigkeiten können tatsächlich im Einzelfall als eher hoch betrachtet werden. Allerdings kann bemerkt werden, dass die Rampen in der Regel sehr kurz sind. Die dort codierte Geschwindigkeit hat demnach nur wenig Einfluss auf die Routenwahl.

3.1.3 Geschwindigkeiten

Die codierten freien Geschwindigkeiten v_0 auf Autobahnen und Autostrassen entsprechen in den allermeisten Fällen den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten gemäss der Nomenklatur. Eine grundsätzliche Ausnahme bildet der Streckentyp 1FS_100, bei dem die Standard-Geschwindigkeit nur 95 km/h ist.

	50km	60km	70km	80km	95km	100ki	105ki	115ki	120ki
Autobahn_ao_1FS_80	0	0	0	562	0	0	0	0	0
Autobahn_ao_2FS_80	8	2	2	1414	0	0	0	0	0
Autobahn_ao_3FS_80	0	4	0	240	0	0	0	0	0
Autobahn_ao_4FS_80	0	0	0	12	0	0	0	0	0
Autobahn_ao_1FS_100	0	0	0	4	130	0	0	0	0
Autobahn_ao_2FS_100	0	0	0	0	0	2226	0	0	0
Autobahn_ao_3FS_100	0	0	0	0	0	346	0	0	0
Autobahn_ao_4FS_100	0	0	0	0	0	32	0	0	0
Autobahn_ao_1FS_120	0	0	0	0	0	84	0	0	0
Autobahn_ao_2FS_120	0	0	0	2	0	4	0	0	2658
Autobahn_ao_3FS_120	0	0	0	0	0	14	0	342	0
Autobahn_ao_4FS_120	0	0	0	0	0	0	12	0	0
Autostrasse_ao_1FS_80	4	8	6	1624	0	0	0	0	0
Autostrasse_ao_2FS_80	0	0	0	492	0	0	0	0	0
Autostrasse_ao_3FS_80	0	0	0	32	0	0	0	0	0
Autostrasse_ao_4FS_80	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Autostrasse_ao_1FS_100	0	0	0	0	274	0	0	0	0
Autostrasse_ao_2FS_100	0	0	0	0	9	189	0	0	0
Autostrasse_ao_3FS_100	0	0	0	0	14	0	0	0	0
Autostrasse_ao_4FS_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 5: Geschwindigkeiten (v_0) von Autobahnen und Autostrassen im NPVM 2017

Die folgende Karte (siehe Abbildung 6) zeigt Strecken von Autobahnen und Autostrassen, bei denen im NPVM 2017 $v_0 < v_{\text{zulässig}}$ ist. Es handelt sich dabei teilweise um einzelne Strecken, teilweise aber auch um

zusammenhängende Strecken, zum Beispiel im Raum Zürich. Es stellt sich in beiden Fällen die Frage nach der Begründung.

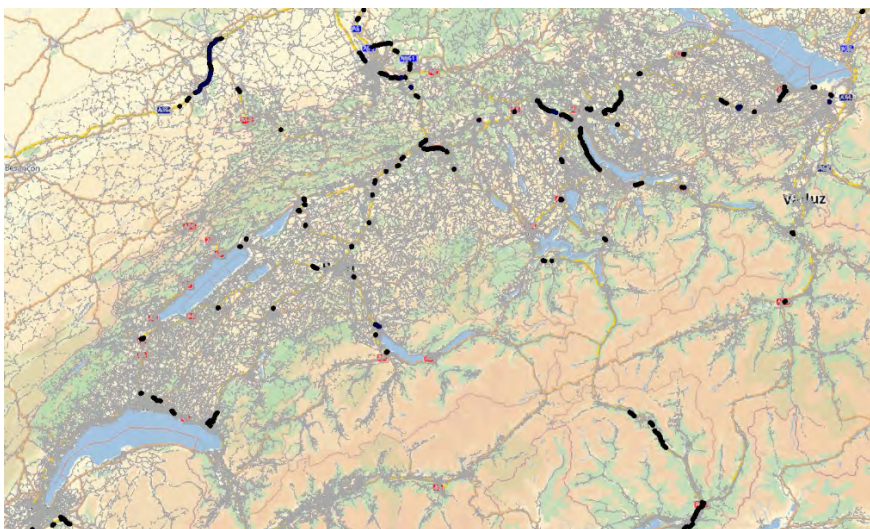


Abbildung 6: Strecken von Autobahnen und Autostrassen mit (im NPVM 2017) $v_0 < v_{\text{zulässig}}$

Bei den Einzelstrecken mit $v_0 < v_{\text{zulässig}}$ wurde $v_0 = v_{\text{zulässig}}$ gesetzt. Bei den zusammenhängenden Strecken wurden die Codierungen überprüft und korrigiert. Es handelt sich um die A3 und die A1 (Ost und West) bei Zürich, die A3 bei Basel, die A2 bei Zofingen und im weiteren Verlauf bei Faido und bei Bellinzona). Entweder wurde der Streckentyp angepasst oder die Geschwindigkeit. Ziel war in jedem Fall die einheitliche Codierung der Autobahnen in Abhängigkeit vom Streckentyp. Da es sich in der Regel um sehr kurze Strecken handelte, sollte dieses Vorgehen keinen Einfluss auf die Umlegung haben.

Auf den Rampen von Autobahnen resp. Autostrassen ist die codierte zulässige Höchstgeschwindigkeit in den allermeisten Fällen plausibel. Insgesamt sind etwa 200 von 7'300 Rampen nicht mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit codiert. Nur in acht Fällen ist die codierte Geschwindigkeit höher als die zulässige (siehe Abbildung 7).

	25km	30km	40km	45km	50km	55km	60km	70km	75km	80km	95km	100km
Rampe_ao_1FS_50	2	2	2	2	1326	0	2	0	0	0	0	0
Rampe_ao_2FS_50	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_3FS_50	0	0	4	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Rampe_ao_1FS_60	0	0	3	0	8	2	1285	2	0	4	0	0
Rampe_ao_2FS_60	0	0	0	0	0	0	212	0	0	0	0	0
Rampe_ao_3FS_60	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Rampe_ao_1FS_80	0	0	0	2	18	2	61	8	0	3716	0	0
Rampe_ao_2FS_80	0	0	0	0	0	0	10	0	0	430	0	0
Rampe_ao_3FS_80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
Rampe_ao_1FS_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0
Rampe_ao_2FS_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
Rampe_ao_3FS_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 7: Geschwindigkeiten (v_0) von Rampen im NPVM 2017

Netzelemente, bei denen die codierte Geschwindigkeit niedriger ist als die zulässige Geschwindigkeit, decken sich im Übrigen nicht mit den im vorangegangenen Kapitel identifizierten Strecken mit $v_0 < v_{\text{zulässig}}$ – mit Ausnahme der A3 südlich von Zürich. Beispielsweise sind alle Rampen der Anschlussstelle Thalwil als Rampe_ao_1FS_80 codiert, wobei die codierte Geschwindigkeit auf 60 km/h beschränkt ist. Es gibt an dieser Rampe laut GoogleMaps aber keine Beschilderung, die eine zulässige Höchstgeschwindigkeit vorschreibt.



Abbildung 8: Rampen mit Unterschied zwischen codierter und zulässiger Höchstgeschwindigkeit im NPVM 2017 (Zoom A3 Zürich)

Zur Vereinheitlichung wurden bei allen Rampen die codierten freien Geschwindigkeiten v_0 gleich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit gesetzt. Angepasst wurden damit obengenannten 200 Strecken.

Bei der Codierung der Strassentypen Hauptverkehrsstrassen und übrigen Strassen innerorts und ausserorts spielt die zulässige Höchstgeschwindigkeit nur eine untergeordnete Rolle. Vielmehr wurden in der Netzmodellerstellung für das NPVM 2017 empirische Geschwindigkeitsdaten verwendet. Diese geben für jede Strecke die tatsächlich gefahrene mittlere Geschwindigkeit an.

Dies ist insofern sachlogisch, da die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf solchen Strassen nur selten ein guter Indikator für die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten ist. Man denke an kantonale Strassen mit starker Längsneigung und / oder starker Kurvigkeit oder an Strecken innerorts zwischen signalgeregelten Knotenpunkten.

Aufgrund der validen Datenlage, welche flächendeckende Auskünfte gibt, wurden die codierten Geschwindigkeiten für die Strassentypen vom NPVM 2017 auch für das NPVM 2023 übernommen (sofern die codierten Geschwindigkeiten $\leq$ der zulässigen Höchstgeschwindigkeit gemäss Streckentyp waren). Mit den vorhandenen Datengrundlagen lässt sich aber nur sehr eingeschränkt feststellen, ob sich die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten auf Hauptverkehrsstrassen und auf übrigen Strassen innerorts und ausserorts zwischen 2017 und 2023 verändert haben, v.a. in Bezug auf die massiven Ausweitungen des Tempo30-Strassennetzes in vielen Städten und Gemeinden.

Es sind aber auch Strecken im Netzmodell 2017 enthalten, bei denen die codierten Geschwindigkeiten über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegen, sowohl innerorts als auch ausserorts. Bei den Hauptverkehrsstrassen sind dies 34 Strassen ausserorts und 554 Strecken innerorts. Bei den übrigen Strassenklassen sind es 14 Fälle ausserorts bzw. 72 Fälle innerorts. Letztere sind allesamt vom Streckentyp übrige Strasse_io_1FS_30, mit codierter Geschwindigkeit über 30 km/h.

In diesen Fällen wurde v_0 auf die Höchstgeschwindigkeit des Streckentyps vermindert. Eine manuelle Überprüfung auf die tatsächlichen Höchstgeschwindigkeiten wäre sehr aufwändig gewesen. Falls die bisherigen Einstellungen aus Kalibrationsgründen vorgenommen wurden, waren diese nicht mehr relevant bzw. wurden neu bewertet.

3.2 Netzaktualisierung: Identifizierung und Codierung von Projekten

Der Fokus bei der Netzaktualisierung lag auf dem Nationalstrassennetz (1. Priorität). Im nachgelagerten Netz wurden die wichtigsten Änderungen abgebildet, welche eine Relevanz auf die Nachfrageberechnung entfalten könnten (2. Priorität). Zusätzlich wurden die für den grenzüberschreitenden Strassenverkehr relevanten Massnahmen im Ausland nachgeführt.

In erster Priorität (Nationalstrassennetz) wurden sämtliche Netzänderungen ohne Einschränkungen ins Netzmodell des NPVM 2023 eingepflegt. Ausgehend von einer Massnahmenliste des ASTRA über alle Projekte, welche zwischen 2017 und 2023 im Bereich der Nationalstrassen realisiert wurden, wurde jedes Projekt einzeln durch manuelles Editieren der Geometrie von Knoten und Strecken im NPVM abgebildet. Auf der Basis der ASTRA-Dokumentation wurden auch die Strecken- und Knotenattribute direkt angepasst, insbesondere Kapazität, Geschwindigkeit v_0 , Öffnung je Richtung und Verkehrssystem. Als Ergebnis dieser Arbeit bildet das Nationalstrassennetz in PTV Visum 2024 exakt die Realität des Jahres 2023 ab.

In zweiter Priorität (nachgelagertes Netz) wurden alle nachfragerrelevanten Strassenbauprojekte der Periode 2017 bis 2023, für die die Kantone die Bauträgerschaft besitzen, ermittelt, auf Relevanz geprüft und entsprechend ins Netzmodell aufgenommen. Nachfragerrelevant bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Projekte einen Einfluss auf die Ziel-, die Verkehrsmittel- und / oder die Routenwahl haben. Gegebenenfalls wurden auch flankierende Massnahmen berücksichtigt, zum Beispiel bei einer Umfahrung durch die Reduktion der Geschwindigkeit auf der bisherigen, durch das Zentrum führenden Strecke (z.B. Ortsumfahrung Mellingen).

Zusätzlich wurden Strassenbaumassnahmen im grenznahen Ausland ermittelt. Sofern diese Projekte eine Routenwahlrelevanz für den grenzüberschreitenden Verkehr entfalten, wurden sie ebenfalls in das Netzmodell des NPVM aufgenommen.

Aufgrund der Grösse der städtischen Strassennetze sowie der Vielzahl an kommunalen Projekten war es nicht im vertretbaren Aufwand möglich, entsprechende Projekte mit Inbetriebnahme zwischen 2016 und 2023 zu ermitteln, mit dem NPVM-Netz zu vergleichen und auf Relevanz hin zu einzustufen. Projekte auf kommunaler Ebene wurden deshalb nicht codiert.

3.2.1 Nationale Strassenbauprojekte

Nachfolgend sind alle Strassenbauprojekte mit Kanton und dem Jahr der Inbetriebnahme benannt, welche bis 2023 auf nationaler Ebene gegenüber dem Netzmodellzustand 2017 angepasst resp. ergänzt wurden (Netzänderungen, 2023):

Blegi – Rütihof (ZG, 2012): Die A4 zwischen der Verzweigung Blegi und Rütihof wurde infolge der Eröffnung der A4 durch die Region Knonaeramt von 4 auf 6 Fahrstreifen ausgebaut. Neben den Verbreiterungsmassnahmen am Trasse waren diverse bestehende Kunstbauten von der Verbreiterung betroffen. Diese Massnahme wurde schon 2012 realisiert, offenbar aber nicht im NPVM 2017 abgebildet.

Allacciamento Grono (GR, 2020): Aufgrund fehlender Angaben wurden die Codierung und Attributwerte aus dem Modellzustand 2025 der Verkehrsperspektiven 2050 übernommen (via Filter PROJEKT-ID = 315)

Allacciamento San Vittore, "Vollanschluss" (TI, 2020): Im Modellzustand 2025 der Verkehrsperspektiven 2050 ist diese Massnahme nicht sachgerecht umgesetzt und wurde daher neu abgebildet: Ein- und Ausfahrten über die Raststätte, Rampen mit NPVM-Streckentyp 65.

Eyholztunnel (VS, 2020): Das Projekt bestand aus vier Einzelteilen:

- Eyholztunnel (Codierung wurde aus Modellzustand 2025 übernommen, 2 Spuren je Richtung, Geschwindigkeit 100 km/h)
- Knoten Talstrasse (neu eingefügt)

- Vispertaltunnel: Fahrtrichtung Sion wurde geöffnet (mit Geschwindigkeit $V_0 = 100$ km/h, 2 Fahrstreifen; die Fahrtrichtung Zermatt/Brig wird erst 2025 eröffnet und verbleibt daher geschlossen).
- Übergang zwischen Eyholtunnel und Vispertaltunnel wurde geöffnet

SG-Winkeln - St. Gallen (SG, 2020): 3-spuriger Ausbau des Autobahnabschnitts zwischen Winkeln und Kreuzbleiche wurde durch Anpassung der Streckenattribute (Streckentyp, Fahrstreifen und Kapazität) abgebildet.

Autobahnknoten Limmattal bzw. Gubristtunnel: Die Verkehrssituation an dieser Stelle wurde auf die Situation im ersten Halbjahr 2023 aktualisiert, d.h. 2 Fahrstreifen in Fahrtrichtung Bern und in Fahrtrichtung St. Gallen.

Einfahrt Aubrugg (Schwamendingen): Die Schliessung der Einfahrt Aubrugg erfolgte im Januar 2019 im Zuge der Bauarbeiten zur Einhausung Schwamendingen. Schon zu Beginn der Planung kamen die drei Projektpartner, das Bundesamt für Strassen ASTRA, der Kanton Zürich und die Stadt Zürich überein, im Zuge der Realisierung die Einfahrt Aubrugg dauerhaft zu schliessen. Die Strecken verbleiben im Netzmodell, wurden jedoch mittels Attributsetzungen auf inaktiv gesetzt.

Pannenstreifenumnutzungen (PUN)

Bei Pannenstreifenumnutzungen (PUN) werden Pannenstreifen zu regulären Fahrstreifen, so dass sich die Kapazität auf dem Streckenabschnitt erhöht. Die Umnutzung wird durch eine aktive Fahrstreifenbewirtschaftung betrieben (Freigabe durch Fahrlichtsignale sowie Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit), welche die statische Signalisation (Randlinie) übersteuert.

Es ist vorgesehen, in den kommenden Jahren über 250 Kilometer PUN in den Agglomerationsräumen auf ihre verkehrliche Wirkung und bauliche Machbarkeit detailliert zu prüfen und in Folge, falls sinnvoll zu realisieren. Derzeit sind vier PUN-Projekte realisiert:

Morges-Est – Ecublens: Im Jahr 2010 wurde ein Abschnitt der A1 am Genfersee zwischen Morges und Ecublens als Testlauf für eine temporäre Pannenstreifenbenutzung (PUN) eingeführt. Die gemachten Erfahrungen waren durchweg positiv: Der Verkehrsfluss verbesserte sich signifikant, und bei freigegebenem Pannenstreifen traten keine Staus mehr auf. Die Kapazität dieses Abschnitts wurde im NPVM 2017 mit 4.000 Fahrzeugen pro Stunde (Fz/h) festgelegt (Streckentyp 5). Durch die Einführung der Pannenstreifenbenutzung wurde die Kapazität auf 5.800 Fz/h erhöht (Streckentyp 6).

A1 Villars-Ste-Croix – Cossonay (2020): Die PUN zwischen Villars-Ste-Croix und Cossonay ist seit Januar 2020 in Betrieb. Sie ist Teil eines regionalen Systems. Die Kapazität ist im NPVM 2017 mit 4'000 Fz/h hinterlegt (Streckentyp 5). Mit PUN wird sie auf 5'800 Fz/h hochgesetzt (Streckentyp 10). Alle Strecken vom Typ 10 haben eine Kapazität von 5'800 Fahrzeugen pro Stunde.

A1 Winterthur zwischen Winterthur-Ohringen und Oberwinterthur: Ende April 2020 wurde die PUN zwischen Winterthur-Ohringen und Oberwinterthur in Betrieb genommen. Sie soll zu einem flüssigeren Verkehr auf diesem Abschnitt beitragen und Rückstaus bei den Anschlüssen minimieren. Die Kapazität ist im NPVM 2017 mit 4'000 Fz/h hinterlegt (Streckentyp 5). Mit PUN wird sie auf 5'800 Fz/h hochgesetzt (Streckentyp 10).

A1 Winterthur zwischen Winterthur-Töss und Winterthur-Nord (2023): Gemeinsam mit der PUN zwischen Winterthur-Töss und Winterthur-Nord wird die PUN Winterthur-Ohringen und Oberwinterthur den Verkehrsfluss im Raum Winterthur verbessern und die Sicherheit im Abschnitt erhöhen. Die Kapazität ist im NPVM 2017 mit 4'000 Fz/h hinterlegt (Streckentyp 5). Mit PUN wird sie auf 5'800 Fz/h hochgesetzt (Streckentyp 6).

Vorgezogene Ausfahrten

An einer Reihe von Autobahn-Ausfahrten wird dem ausfahrenden Verkehr die Möglichkeit gegeben, im Staufall die Ausfahrt auf dem Pannestreifen zu erreichen. Dies wird beispielsweise an den Ausfahrten N03 – Brugg oder N03 Rheinfelden-Ost praktiziert. Die genaue Anzahl dieser Projekte in der Schweiz ist nicht bekannt.



Abbildung 9: Signalisation Vorgezogene Ausfahrt (Beispiel Brugg FRO) [Quelle: GoogleMaps]

Die vorgezogenen Ausfahrten werden nicht explizit im Modell berücksichtigt, denn sie sind nicht als Kapazitätserweiterung der Stammstrecke zu werten, sondern als Verlängerung des Rückstauraums des Anschlussknotens. Die Einstauung des Normalfahrstreifens im NPVM wird nicht abgebildet (kein Rückstaumodell).

Zulässige Höchstgeschwindigkeiten

Die codierte Geschwindigkeit auf dem nationalen Netz ist in den allermeisten Fällen identisch mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Dies wurde durch kartographische Analysen überprüft. Folgende Karte gibt die codierte Geschwindigkeit von Autobahnen und Autostrassen wieder.

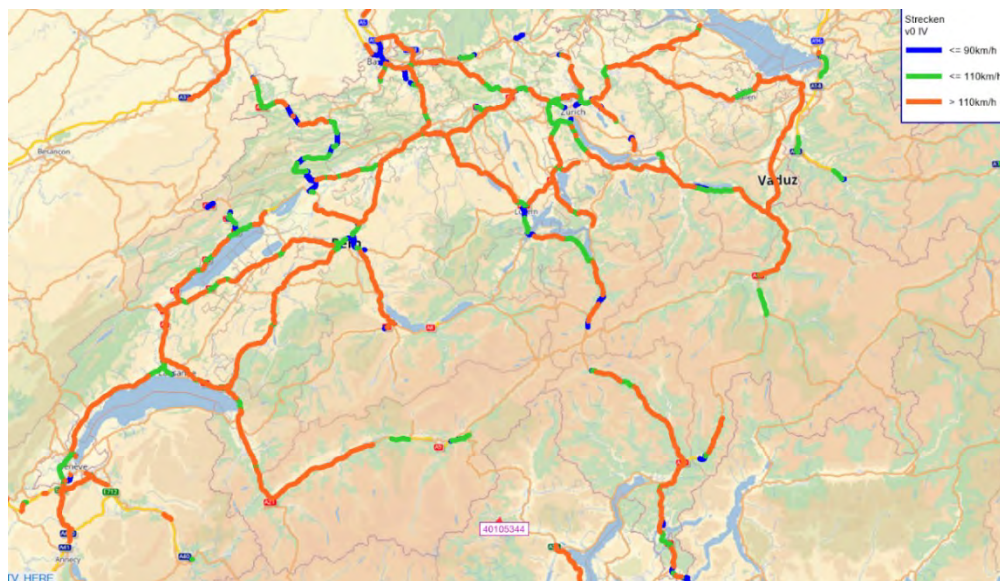


Abbildung 10: Geschwindigkeitsregime auf Autobahnen und Autostrassen im NPVM 2017

Bei den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten wurden keine Änderungen vollzogen, die Abbildung 10 gilt also auch für das NPVM 2023.

Dynamische Höchstgeschwindigkeiten

Auf manchen Autobahn-Strecken werden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Verkehrssituation dynamisch verändert.

Diese dynamische und verkehrsabhängige Adaption des Geschwindigkeitsniveaus, insbesondere die Herabsetzung mittels Geschwindigkeitsharmonisierung (GH), gleicht bei hoher Verkehrsbelastung den Verkehrsfluss an und reduziert grosse Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Fahrzeugen. Durch diese flexible Geschwindigkeitsregelung wird die Durchflusskapazität trotz niedrigerem Tempolimit gesteigert. Zudem wird als positiver Nebeneffekt die Verkehrssicherheit erhöht.

Dynamische Geschwindigkeiten wurden nicht explizit modelliert, da sich damit die Frage nach der über den gesamten Tag zu setzenden Geschwindigkeit gestellt hätte. Alternativ wäre eine (leichte) Erhöhung der Kapazität im Einklang mit den Zielen der dynamischen und verkehrsabhängige Adaption des Geschwindigkeitsniveaus in Frage gekommen. Aus Mangel an empirischen Erkenntnissen wurde jedoch auf eine Erhöhung der Tageskapazität verzichtet.

3.2.2 Kantonale Projekte

Alle nachfrage- oder routenwahlrelevanten Strassenbauprojekte zwischen 2017 und 2023, für die die Kantone die Bauträgerschaft besitzen, wurden ermittelt und im Netzmodell nachgeführt. Nachfragerrelevant heisst in diesem Kontext, dass die Projekte Einfluss auf die Ziel- und / oder die Verkehrsmittelwahl haben. Dies ist der Fall, wenn die Reisezeit auf einzelnen Relationen stark verkürzt werden, so dass weiter entfernte Ziele häufiger aufgesucht werden (Zielwahl) oder sich der Modal-Split auf gegebenen Relationen signifikant ändert.

In einem ersten Schritt wurde eine umfassende Internetrecherche durchgeführt (Stand November/Dezember 2023). Bei dieser Recherche konnten ca. 30 relevante Strassenbauprojekte ermittelt werden. Bei den meisten dieser Projekte handelt es sich um Ortsumfahrungen. Auf den Internet-Seiten der entsprechenden Behörden sind in der Regel alle notwendigen Informationen hinsichtlich der Trassierung, der Knotenpunktgestaltung und der zulässigen Geschwindigkeiten dargestellt.

In einem zweiten Schritt wurden die entsprechenden Behörden aller Kantone angeschrieben mit der Bitte um einen Abgleich der gefundenen Projekte mit den tatsächlich in Betrieb genommenen Projekten.

Massnahmen ausschliesslich mit der Zielsetzung der Verbesserung der Verkehrssicherheit, der Verbesserung der Situation für den öffentlichen Verkehr oder den Langsamverkehr wurden nicht codiert, da diese keinen nennenswerten Einfluss auf die Kapazität der Strecken bzw. die gefahrenen Geschwindigkeiten haben. Auch Projekte mit nur marginaler Änderung der Verkehrsführung oder der Kapazitäten wurden nicht codiert.

Die folgende Liste gibt alle Strassenbauprojekte wieder, welche nach Betrachtung der Relevanz und Abstimmung mit dem ARE in das Netzmodell des NPVM überführt worden sind (Tabelle 1). Einige dieser Projekte wurden schon im Rahmen früherer Arbeiten codiert und ins NPVM 2017+ eingepflegt.

Tabelle 1: Codierte Strassenbauprojekte

Kanton	Bezeichnung	Inbetriebnahme
AG	Südwestumfahrung Sins	2021
AG	Bad Zurzach – Ostumfahrung NK 286	2023
AG	Umfahrung Brugg	2021
AG	Zweispuriger Tunnel unter dem Knoten Neuhoof in Lenzburg	2022

AG	Rekingen/Mellikon – Ausbau Rheintal-/Hauptstrasse	2022
AG	Umfahrungsstrasse Melligen	2022
AG	Wiggertalstrasse Nord in Oftringen / Zofingen	2018
BL	Verlegung Strasse Augst-Pratteln (Rauricastrasse)	2023
BE	Bypass Thun	2018
BE	Umfahrung Wilderswil	2023
BE	Entlastungsstrasse Münsingen	2023
BE	Umfahrung Worb	2016
FR	Pont du Tiguellet Givisiez	2018
FR	Chatel St Denis	2019
GE	Chaussée des Cornouillers à Thônex	2020
GE	La nouvelle route de Suisse	2021
GR	Umfahrung Silvaplana	2018
GR	Umfahrung Ilanz West	2017
GR	Halbanschluss Grono Nord	2019
LU	Autobahn-Anschluss Dagmersellen	2020
NW	Dorfplatz Stans	2017
SG	Umfahrung Bütschwil	2020
SG	Taminabrücke Bad Ragaz	2017
SG	Umfahrung Wattwil	2022
SZ	Südumfahrung Küssnacht	2020
SZ	Kernumfahrung West Lachen	2017
TG	Sirnach	2020
TG	Tägerwilen	2018
VS	A9: Teilstrecke Schnidrigu - Wanne West	2023
VS	Ortsumfahrung Stalden	2023
VS	Umfahrung Sembrancher	2018
VD	Route d'évitement Penthaz	2017
ZG	Verbindung von Zug und Baar nach Menzingen	2023
ZG	Tangente Zug-Baar	2021
ZG	Knoten Zollhaus, Gemeinde Hünenberg:	2022
ZH	Obfelden/Otenbach	2023

Die Trassen und die Gestaltung der Knotenpunkte wurden möglichst detailgetreu codiert. Hinsichtlich der Codierung der Kapazitäten und der Geschwindigkeiten wurden die Werte von vergleichbaren Strecken in der direkten Umgebung übernommen.

Eine umfassende Qualitätskontrolle der Codierung wurde durchgeführt, um etwaige Inkohärenzen zu entdecken und zu korrigieren. Bei Ortsumfahrungen war es wichtig, dass der Durchgangsverkehr im unbelasteten Netz die Ortsdurchfahren meidet. Dies wurde mit einer Kurzwegsuche überprüft.

Folgende Tabelle 2 gibt die nicht-codierten Projekte wieder. Der Grund für die Nicht-Codierung war in der Regel eine fehlende oder geringe Nachfragewirksamkeit.

Tabelle 2: Nicht codierte Projekte

Kanton	Bezeichnung
BS	Aeschengraben
GR	Neutrassierte Valzeinastrasse
GR	Umfahrung Selma
GR	Provis Nord
LU	Anschluss Gisikon/Root

NE	Passage supérieur CFF de Malakoff
SO	Ausbau Knoten Bürenstrasse Biberist
SO	Tropfenkreisel Aarmatt Zuchwil
SO	Pförtneranlage mit Busspur in Wöschnau
VD	Route de Berne
ZH	Rheinbrücke Flaach Rüdlingen
ZH	Dietikon/Spreitenbach, Anschluss «Müesli»
ZH	Dietikon, niveaufreier Bunkerknoten
ZH	Dietikon, Ausbau Winterthurerstrasse (Knoten) mit Verkehrskonzept Dietikon Süd
ZH	Knotenausbau Anschluss Brütisellen und Verlegung Stationsstrasse Brütisellen

3.2.3 Kommunale Projekte

Kommunale Projekte beziehen sich meistens auf die Sanierung von bestehenden Strassen bei gleichzeitiger Verbesserung der Verkehrssicherheit und besserer Berücksichtigung der Belange des öffentlichen Verkehrs und des Langsamverkehrs. Baulich drückt sich dies häufig in der Verschmälerung der Fahrspuren, der Neugestaltung von Knotenpunkten bzw. der Einrichtung von Querungsstellen aus.

Es kann sich auch um die Erschliessung von neuen Wohn- oder Gewerbegebieten handeln oder flächendeckende Geschwindigkeitsreduzierungen.

Als Beispiel für kommunale Projekte kann die Sanierung der Ortsdurchfahrt Erlenbach im Kanton Bern gelten. Dort wurden im Jahr 2021 neben Brückenerneuerungen, Knotenpunkterneuerungen, Massnahmen zur Besserung der Schulwegsicherheit und anderen Massnahmen auch leichte Anpassungen an der Fahrbahntrasse vorgenommen. Dies sollte aber keine Auswirkungen auf das modellierte Verkehrsverhalten haben.

Als Beispiel für flächendeckende Geschwindigkeitsreduzierungen ist die Gemeinde Oberbipp im Kanton Bern anzuführen. Neben den Quartierstrassen gilt seit 2021 auch Tempo 30 auf den Hauptstrassen, mit Ausnahme der Oltenstrasse (N5). Im NPVM befinden sich ungefähr 230 Strecken in der Gemeinde Oberbipp. In ungefähr 90% der Strecken ist die codierte Geschwindigkeit 35 km/h und niedriger. In 40% der Fälle ist die Geschwindigkeit sogar 20km/h oder 25 km/h. Die Geschwindigkeitsreduzierung hat demnach relativ wenig Auswirkung auf die Nachfrage. Auf Grund der Beibehaltung der 50 km/h auf der Oltenstrasse hat die Reduzierung auch wenig Auswirkungen auf den Durchgangsverkehr, jedenfalls nicht auf der Hauptachse.

Ein anderes Beispiel ist der Ausbau der Bürglenstrasse in Weinfelden. Es handelt sich um eine Strasse am Stadtrand, die bisher für Motorfahrzeuge gesperrt war. Das vorrangige Ziel dieser Massnahme ist eine Erschliessungsfunktion. Gleichzeitig kann diese Strasse aber auch von aus Bürglen kommenden Fahrzeugen genutzt werden, was eine gewisse Nachfragerrelevanz hat.

Es ist leider nicht mit vertretbarem Aufwand möglich, Projekte auf kommunaler Ebene flächendeckend zu ermitteln. Projekte auf kommunaler Ebene wurden deshalb nicht codiert, auch wenn diese im Einzelfall lokal nachfragerrelevant sein können.

3.2.4 Internationale Projekte

Ziel war es, alle nachfragerrelevanten Strassenbauprojekte im nahegelegenen Ausland zu ermitteln. Nachfragerrelevant bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Projekte einen Einfluss auf die Routenwahl des auf die Schweiz bezogenen Quell-, Ziel und Durchgangsverkehr haben.

Zur Ermittlung der Projekte wurde eine umfangreiche Internetrecherche durchgeführt, die sich auch auf die Projekterfahrungen der Auftragnehmer stützte.

Insgesamt war die Zahl der relevanten Strassenbauprojekte in den Nachbarländern Deutschland und Frankreich eher gering. Wichtigstes Projekt in Deutschland war die Verlängerung der grenznahen Hochrheinautobahn. In Frankreich war der Ausbau der A36 bei Mulhouse ein relevantes Projekt. Der Contournement Ouest de Strasbourg (COS) hat jedoch kaum Einfluss auf den Quell- und Zielverkehr in der Schweiz, da dieser höchstens im Staufall eine Auswirkung auf die grossräumige Routenwahl haben kann.

In Österreich wurde nur die Neugestaltung der Anschlussstelle Bludenz-Bürs ermittelt. Diese sollte aber keinen Einfluss auf den grenzüberschreitenden Verkehr haben.

In Italien wurde kein relevantes Projekt identifiziert. Die Umfahrungen von Como und Varese sind schon im Modell enthalten.

Tabelle 3: Projektliste in Nachbarländern

Land	Bezeichnung	Inbetriebnahme	codiert
Frankreich	Umfahrung Strasbourg (COS)	2021	nein
Frankreich	Durchfahrverbot von LW auf der entlasteten M35	2021	nein
Frankreich	M353 bei Strasbourg	2017	nein
Frankreich	Déviation de la RN19 à Port sur Saône	2018	nein
Frankreich	Mise à 2x2 voies de l'entrée nord de Besançon sur la RN57	2020	nein
Frankreich	Mise à 2x3 voies de l'A36 à Mulhouse	2019	ja
Frankreich	RD1059 – Déviation de Châtenois	2023	nein
Deutschland	Hochrheinautobahn	2021	ja
Deutschland	Überlingen West - Überlingen Ost	2019	ja
Deutschland	A6: Wiesloch/Rauenberg - Autobahnkreuz Weinsberg	2023	nein
Deutschland	L548 bei Kandel (RLP)	2022	nein
Deutschland	B34 bei Oberlauchringen	2021	nein
Deutschland	B31 zwischen Immenstaad und Friedrichshafen	2021	nein
Österreich	Anschlussstelle Bludenz-Bürs (2021)	2021	nein

Die Codierung der Projekte erfolgte mit den in den verschiedenen Ländern verwandten Attributsausprägungen (Streckentypen, Kapazitäten und Geschwindigkeiten).

3.3 Qualitätskontrollen Strassennetz

Das aktualisierte Netz wurde mit verschiedenen Prüfungen plausibilisiert, welche systematisch nach Fehlerquellen suchen.

Die Differenznetz-Auswertung erfolgte in PTV Visum 2024 zwischen dem 2017+-Netz und dem 2023-Netz, wobei auf beiden eine Umlegung mit den Nachfragematrizen 2017 gerechnet wurde. Dabei wurden folgende Prüfungen gemacht:

- Sind alle neu codierten Strecken belastet?
- Gibt es Strecken, die deutlich weniger oder mehr Verkehr haben als 2017?

Für neu codierte Strecken erfolgte ein Vergleich der Attribute mit denen ihrer Gegenrichtung (ausser in wenigen Ausnahmen sollten Kapazität und v0 identisch sein).

Für jeden Strassentyp und jeden Kanton wurden die Entwicklungen zwischen 2017 und 2023 bestimmt, z.B. prozentuale und absolute Entwicklung der gesamten Netzlänge, Netzkapazität (Netzlänge * Kapazität), Durchschnittsgeschwindigkeit etc.

Kreuzabfragen wurden erstellt zu Streckentyp und Kapazität, Streckentyp und Geschwindigkeit (v0). Alle neuen Strecken mussten sich im Rahmen des Wertebereichs im bisherigen NPVM bewegen.

Allfällige Ausreisser wurden untersucht und falls notwendig korrigiert.

3.3.1 Zugelassene Verkehrsmittel

Nahezu alle Strecken sind für alle Verkehrsmittel des NPVM 2017 geöffnet. Insgesamt weisen 16 Strecken im NPVM 2017 eine Beschränkung für schwere Güterfahrzeuge (SGF) auf, davon sind 10 Strecken Autozug, 2 Strecken Autoverlad, 2 Strecken vom Typ 26 (HVS_ao_1FS_80) und 2 Strecken vom Typ 53 (Uebrig Strasse_io_1FS_50).

Im Verlauf der Kalibration des Güterverkehrs hat das ARE nach Recherchen vier zusätzliche Strecken für den Schwergüterverkehr gesperrt.

Die Anzahl gesperrter Strecken bleibt jedoch weit unter die Realität. In diesem Projekt hat das ARE zusätzliche Daten zu LW-Verboten für das Jahr 2019 einbezogen. Diese Daten stammen von einem kommerziellen Anbieter, der mit einem anderen Netz arbeitet. Die Strecken des kommerziellen Anbieters mit LW-Verboten mussten daher mit den Strecken des Strassennetzes des NPVM verbunden werden. Dabei wurde vom ARE der folgende Algorithmus angewendet:

- Um die Strecken mit LW-Verbot wurde ein Puffer von 5 Meter in alle Richtungen gelegt
- Für jede NPVM-Strecke wurde daraufhin berechnet, welcher Anteil innerhalb eines solchen Puffers liegt
- Befindet sich eine NPVM-Strecke zu mehr als 50 % innerhalb dieses Puffers, wird angenommen, dass sie möglicherweise für LW gesperrt sind.

Dieses Verfahren erzeugte nur wenige falsch-positive Ergebnisse. Die drei nachfolgenden Abbildungen zeigen Beispiele komplizierter Fälle, bei denen verschiedene Strecken übereinander liegen (entweder in Tunnels oder über Brücken), die aber trotzdem mehrheitlich richtig klassifiziert wurden. Rot gekennzeichnet sind jeweils die originalen Strecken mit LKW-Verbot, schwarz die Strecken aus dem Strassennetz des NPVM, die vom Algorithmus identifiziert wurden.

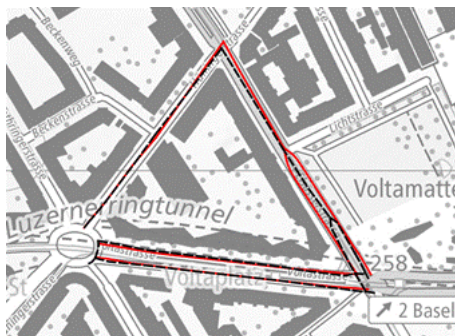


Abbildung 11: Beispiel 1 (Lothringer Platz Basel) für Wirkungsweise des Algorithmus LW-Verbot

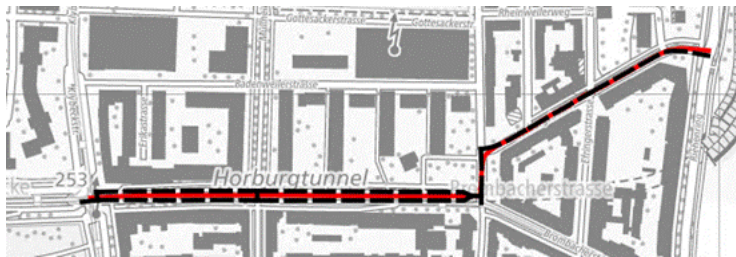


Abbildung 12: Beispiel 2 (Horburtunnel Basel) für Wirkungsweise des Algorithmus LW-Verbot

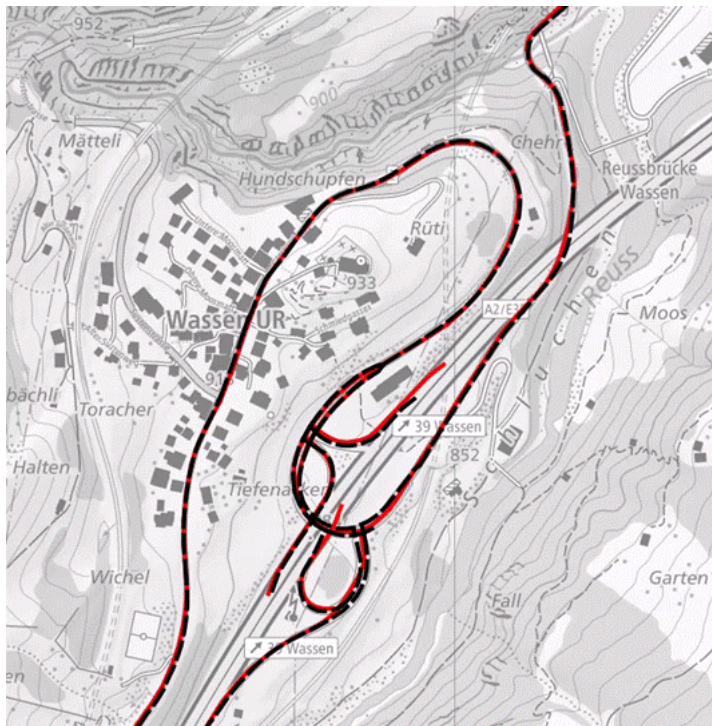


Abbildung 13: Beispiel 3 (Wassen) für Wirkungsweise des Algorithmus LW-Verbot

Es bleiben einige falsch-positive Fälle bestehen, z.B. ein Teil des Kreisels am Lothringerplatz in Basel (siehe Abbildung 11). Solche falsch-positiven Ergebnisse wären problematisch, wenn die entsprechenden Strecken im Modell für den Güterverkehr vollständig gesperrt würden. Deshalb wurden die vom Algorithmus identifizierten Strecken nicht gesperrt, sondern mit einem zusätzlichen Widerstand versehen. Dieser wurde auf das Fünffache der aktuellen Reisezeit t_{akt} gesetzt. Da die betroffenen Abschnitte meist sehr kurz sind, ist davon auszugehen, dass sie keinen signifikanten Einfluss auf die Routenwahl haben.

Einige NPVM-Strecken mit LKW-Verbot konnten aufgrund ihrer ungenauen Lokalisierung nicht identifiziert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel: in Grün sind jene NPVM-Strecken gekennzeichnet, die vom Algorithmus nicht identifiziert wurden.

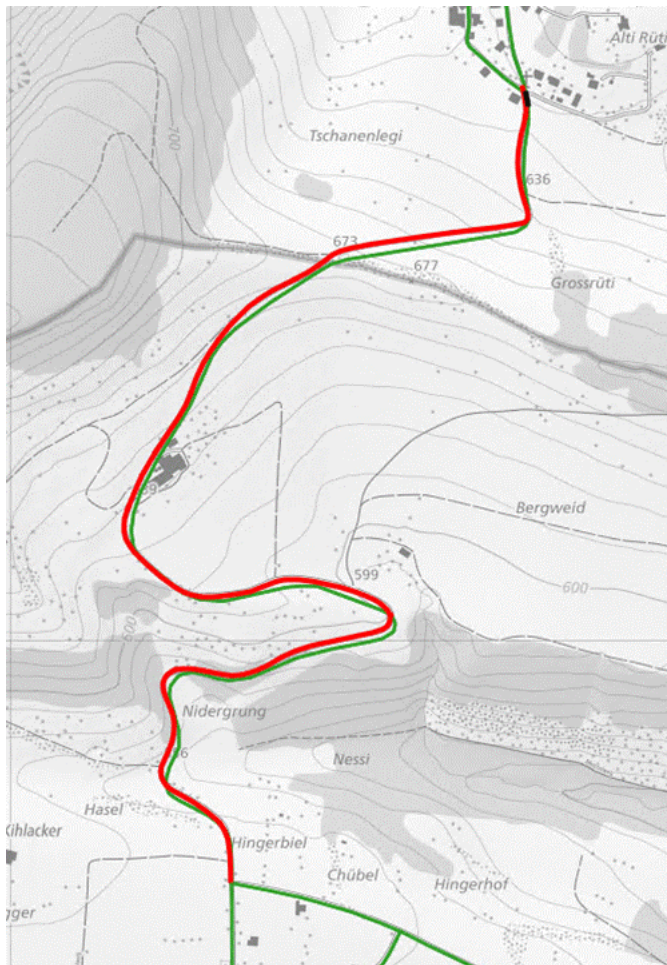


Abbildung 14: Beispiel für vom Algorithmus nicht identifizierte NPVM-Strecken

3.3.2 Einzelfallbasierte Plausibilitätsanalysen

Die wichtigste Eingangsgrösse bei der Definition der Strecken in Kategorien ist die Zahl der Fahrspuren pro Fahrtrichtung. Im NPVM 2017 stammt diese Information aus dem kommerziellen Navigationsnetz der Firma TomTom. Dieses hat ein sehr hohes Qualitätsniveau hinsichtlich der Beschreibung der Strecken.

Allerdings gibt es eine gewisse Zahl von Situationen, bei denen systematische Fehler auftreten:

- In Kreisverkehren gibt es häufig überbreite Fahrbahnen, wobei nicht eindeutig ist, ob diese als eine Fahrspur gelten können oder als zwei Fahrspuren. Kapazitätstechnisch liegt der richtige Wert wohl in der Mitte, was so viel bedeutet wie: es ist nicht wirklich möglich, nebeneinander zu fahren, aber es ist möglich, mit relativ kleinem Abstand versetzt hintereinander zu fahren.
- Bei konventionellen Knotenpunkten kann es ebenfalls zu Ungenauigkeiten kommen, wenn diese aufgelöst modelliert werden. In diesem Fall kann es passieren, dass einzelne Strecken im Modell von zwei unterschiedlichen Strömen passiert werden, obwohl dies in der Realität nicht der Fall ist.
- In Verflechtungsbereichen von Autobahnen und Autostrassen wechselt die Zahl der vorhandenen Fahrstreifen oftmals sehr schnell. Bei langen Verflechtungsspuren ist nicht eindeutig, ob diese als eigene Fahrspuren codiert werden sollen oder nicht. Teilweise stimmt auch die Abgrenzung der Strecken nicht mit einer Änderung der Zahl der Fahrspuren überein. In dem Fall verjüngen oder

erweitern sich Strecken; in der Realität haben diese am Beginn und am Ende nicht die gleiche Anzahl von Fahrstreifen.

Für alle fast 1'200'000 Strecken in der Schweiz wurde zunächst der Koeffizient aus der Belastung und der Kapazität (= Auslastung in %) berechnet. Die Strecken wurden in Abhängigkeit dieses Koeffizienten und des Streckentyps kategorisiert. In fast allen Streckentypen gab es Ausreisser nach oben, also Strecken mit einer Auslastung deutlich über 1. Insgesamt wurden 94 Strecken solcher Strecken identifiziert.

Tabelle 4: Zahl der manuell überprüften Strecken in Abhängigkeit des Streckentyps

Streckentyp	Anzahl
Autobahnen	10
Autostrassen	6
HVS ausserorts	12
HVS innerorts	18
Übrige ausserorts	5
Übrige innerorts	6
Rampen	37
Gesamt	94

Ob die Codierung dieser 94 Strecken mit dem tatsächlichen Ausbauzustand der Infrastruktur übereinstimmt, wurde anhand von GoogleMaps überprüft.

Im Übrigen wurden im Vorfeld der Aktualisierung vom ARE ähnliche Tests durchgeführt. Kriterium war dort nicht die Auslastung, sondern das Verhältnis der mit v_{akt} und mit v_0 berechneten Reisezeiten. Da diese beiden Werte (Auslastung bzw. v_{akt} / v_0) stark korreliert sind, wurden viele Strecken mit beiden Methoden identifiziert. Mit Hilfe der Liste des ARE konnten noch ungefähr 20 weitere Strecken entdeckt werden, bei denen die Codierung des NPVM 2017 zu pessimistisch war.

Bei ungefähr der Hälfte der überprüften Fälle handelte es sich nicht um in der Periode 2017-2023 hinzugekommene Fahrstreifen, sondern um Codierfehler im initialen Netz. In der Regel konnte in diesen Fällen der Streckentyp um 1 erhöht werden und die Kapazität an den neuen Streckentyp angepasst werden.

In rund einem Viertel der Fälle entsprach die Codierung der Fahrstreifenanzahl zwar der baulichen Wirklichkeit, allerdings erschien die hinterlegte Kapazität relativ niedrig – teils auch bei jeweils benachbarten Strecken.

Im verbleibenden Viertel der Fälle war die Codierung korrekt. Die hohe Auslastung liess sich meist durch die spezifische Lage erklären, zum Beispiel einspurige Kreisel in der Nähe einer Autobahnauffahrt.

Weitere Details zu den überprüften Strecken sind im technischen Memo, das zu diesem Abschnitt erstellt wurde, zu finden. Dieses ist beim ARE auf Anfrage erhältlich.

4 ÖV-Angebot

Die SBB hat im Auftrag des ARE das ÖV-Angebot 2023 für das NPVM in PTV Visum 2024 auf der Basis mehrerer Datenquellen aktualisiert.

Im Rahmen dieser Aktualisierung des ÖV-Angebots wurden Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte zwischen dem NPVM-Netzgraphen und den Fahrplandaten abgeglichen. Zudem erfolgte eine Aktualisierung der Fahrpläne und Linienverläufe auf den Stand des Fahrplanwechsels im Dezember 2022 (Fahrplanjahr 2023), inklusive Überprüfung des Routings der Linienwege. Darüber hinaus wurden Fusswege und Gehzeiten überprüft und angepasst und das gesamte Angebotsmodell plausibilisiert.

Als Ergebnis liegt eine rechenfertige PTV Visum 2024-Version vor, die das ÖV-Angebot 2023 der gesamten Schweiz mit folgenden Informationen abbildet: Linien und Fahrpläne, Verkehrssysteme und Betreiber, Streckennetz und Haltestellen, Umsteigepunkte und Fusswege sowie Fahrzeugtypen und Rollmaterial.

4.1 Linien und Fahrpläne

Aus den HAFAS-Rohdaten (OPDCH, 2022) wurde mithilfe der Visum-Importfunktion der Fahrplan für den Stichtag Donnerstag, 15.12.2022, übernommen. Analog zum Vorgehen 2017 und 2020 sind in der Visum-Version die zu übernehmenden Verkehrssysteme gefiltert worden.

Der gewählte Stichtag hat folgende Vorteile: gemäss der Erfahrung der SBB haben die schweizweiten Fahrplandaten (SBB, 2022a) zum Zeitpunkt des Fahrplanwechsels die beste Qualität. Ausserdem enthält der Fahrplan an diesem Stichtag keine saisonalen Spezialangebote, wie z.B. wie Sommerlinien über Alpenpässe.

Nicht im Modell enthaltene, aber durch den Fahrplan genutzte Haltestellen wurden identifiziert und ins NPVM-ÖV-Netz aufgenommen.

Für die Tramlinie 13 in Zürich musste ein zweiter Import vorgenommen werden, da am Stichtag nur ein Tramersatz auf einem Teil der Linie angeboten wurde. Dieser Tramersatz verkehrt als Bus, ist in HAFAS aber als Tram kodiert und bedient dabei aber reine Bushaltestellen, welche in der Folge für das System Tram hätten geöffnet werden müssen. Eine Wahl des alternativen Stichtages am Donnerstag, 14.09.2023 ermöglichte es diese Tramlinie ohne Baustelleneinfluss in das NPVM zu integrieren.

Bei der Luftseilbahn von Unterterzen nach Flumserberg fehlte sowohl im Angebot vom 15.12.2022 als auch vom 14.09.2023 die Zwischenstation Oberterzen. Da jedoch aus den aktuellen Angebotsinformationen ersichtlich ist, dass diese Station weiterhin bedient wird, wurde die entsprechende Linie mitsamt Zwischenstation aus dem NPVM 2020 übernommen.

Im HAFAS-Format sind die Linienbezeichnungen jeweils nur als ein Attribut vorhanden und nicht in der Datenstruktur berücksichtigt. Beim Import nach Visum wurde der Liniennamen aus dem HAFAS-Betreibernamen und der HAFAS-Linienbezeichnung erzeugt. In einer ersten Version ergaben sich bei dieser Methode bei den Linien der Postauto AG aber Linien mit Linienrouten, welche in der ganzen Schweiz verteilt sind. Daher wurde auf Anregung der Rapp AG der Import für Postautolinien verbessert. Alle Linienrouten der PAG wurden von Hand auf PAG-Regionen aufgeteilt, da die PAG-Liniennamen innerhalb einer PAG-Betriebsregion eindeutig sind. Damit konnten neue Liniennamen erzeugt werden, die zusätzlich auch die PAG-Betriebsregion ausweisen. Die Auswertung und Bearbeitung der Postautolinien werden so im neuen NPVM einfacher möglich sein. Ausserdem haben sich die neuen Visum-Liniennamen beim Import von Zählzeiten bewährt.

Das Bahnangebot wurde - wie bereits in den NPVM-Zuständen 2017 und 2017+ - als Systemangebot aus der Angebotsplanung der SBB (SBB, 2022b) übernommen. Dies erleichtert die Weiterentwicklung des Angebotes für zukünftige Prognosehorizonte. Die entsprechenden Linien beginnen im Namen mit «SBB_» und das Attribut «Datenherkunft» wurde auf «Systemangebot_2023» gesetzt.

Für das ÖV-Angebot des NPVM 2017 hatte die SBB die Fahrpläne noch um Fernbuslinien und entsprechende Haltestellen ergänzt, welche weder in HAFAS noch in SIMBA Bahn enthalten sind. Dieses Angebot wurde für 2023 nicht aktualisiert. Eine Auswertung des Modellzustandes NPVM 2040 zeigt, dass die Fernbuslinien in der Umlegung kaum belastet werden und daher von wenig Bedeutung sind.

Bei aus HAFAS importierten Fahrplänen gibt es nach dem automatischen HAFAS-Import in Visum zunächst keine Bündelung von Linienrouten zu Linien. Die SBB fasste zunächst alle Fahrplanfahrten mit gleichem Linienverlauf und gleichem Liniennamen in HAFAS zu einer Linienroute zusammen, gegebenenfalls mit mehreren Fahrzeitprofilen. Im nächsten Schritt wurden alle Linienrouten mit identischem Betreiber und identischem HAFAS-Linien-Namen zu einer Linie aggregiert. Eine Ausnahme gibt es bei der Postauto-AG, wo die Linien zusätzlich nach Betriebsregion separiert wurden.

Die Liniennamen setzen sich aus dem Betreiber-Code und dem HAFAS-Liniennamen zusammen. So ist beispielsweise bei «100_000801» «100» der Liniennamen in HAFAS und «801» der Betreibercode in HAFAS. Falls kein Betreibername angegeben wurde, beginnt der Liniennamen mit «_». In einigen Fällen wird als Liniennamen «#» verwendet, da dies in HAFAS so kodiert war.

Bei aus SIMBA Bahn importierten Fahrplänen wurden Linien und Liniennamen unverändert aus SIMBA übernommen.

4.2 Verkehrssysteme und Betreiber

Die Verkehrssysteme (VSys) im ÖV-Angebot 2023 stammen entweder von SIMBA-Bahn oder von HAFAS. Von allen beim HAFAS-Import generierten VSys wurden nur die behalten, zu denen mindestens eine ÖV-Linie gehört. Dagegen wurden alle in SIMBA Bahn verwendeten VSys übernommen, unabhängig davon, ob dazu im Angebot 2023 Linien vorhanden sind, damit das NPVM auch in anderen Planungshorizonten mit SIMBA kompatibel bleibt.

Tabelle 5: Verkehrssysteme im ÖV-Angebot des NPVM 2023

Code	Name	Typ	Anzahl Linien	Datenherkunft
A	FV – Produkt A	ÖV	10	SBB_Simba
B	FV – Produkt B	ÖV	12	SBB_Simba
C	FV-RV – Produkt C	ÖV	26	SBB_Simba
D	RV – Produkt D	ÖV	165	SBB_Simba
E	Extrazüge	ÖV	0	SBB_Simba
H	IPV - HGV	ÖV	9	SBB_Simba
I	IPV - Konventionell	ÖV	3	SBB_Simba
L	Leerzug	ÖV	0	SBB_Simba
N	IPV - Nachtzug	ÖV	0	SBB_Simba
R	IPV - Regionalverkehr	ÖV	14	SBB_Simba
S	BUS	ÖV	0	SBB_Simba
W	Schiff	ÖV	0	SBB_Simba
Z	FERNVERKEHR	ÖV	0	
BAT	Schiff	ÖV	21	Hafas_2015
BUS	BUS	ÖV	1959	Hafas_2015
FUN	Funicular	ÖV	28	Hafas_2015
GB	Gondelbahn	ÖV	3	Hafas_2015
LB	Luftseilbahn	ÖV	34	Hafas_2015
M	Metro	ÖV	2	Hafas_2015
T	Tram	ÖV	39	Hafas_2015
F	FUSS	ÖVFuss	0	
O	OEV-ZUSATZ	ÖVZusatz	0	

Die VSys in SIMBA Bahn entsprechen Produktkategorien des Bahnangebots und können folgendermassen zugeordnet werden:

Tabelle 6: Produktkategorien des Bahnangebotes

Abkürzung	VSys in SIMBA Bahn
A	IC
B	IR
C	RE (meistens Regionalverkehr, manchmal auch FV)
D	S-Bahn und R
I, H, N	internationaler Fernverkehr
R	internationaler Regionalverkehr

Die VSys F und O, vom Typ ÖVFuss bzw. ÖVZusatz, sind generell in Visum-ÖV-Netzen notwendig, um Anbindungen, Fusswege bzw. Angebote ohne Fahrplan abzubilden.

Es gibt insgesamt 3'073 Betreiber im ÖV-Angebot des NPVM 2023. Diese wurden beim HAFAS-Import erzeugt und enthalten viele Duplikate. Nur 220 Betreiber sind wirklich benutzt, d.h. ihnen ist mindestens eine ÖV-Linie zugeordnet.

4.3 Streckennetz und Haltestellen

Das Netz aus Knoten und Strecken stammt zunächst aus dem ÖV-Modell des NPVM 2017. Die Fahrpläne 2023 wurden beim Import nach Visum auf diesem Netz geroutet.

Das Netz aus Knoten und Strecken wurde in wenigen Fällen erweitert, wenn das automatische Routing einer ÖV-Linie in Visum wegen einer fehlenden Strecke keine Lösung fand. In diesen Fällen wurden neue Strecken erzeugt, um die vollständige Abbildung aller Linienverläufe zu ermöglichen.

Die Haltestellen des ÖV-Angebots 2023 setzen sich zusammen aus Haltestellen, die bereits in den NPVM-Zuständen 2017 und 2020 vorhanden waren. Diese wurden ergänzt um neue Haltestellen aus HAFAS bzw. SIMBA Bahn.

Im Angebot 2020 wurden Haltestellen im grenznahen Ausland mit Haltestellennummern, welche mit Ländercode Schweiz beginnen dargestellt. Im HAFAS 2023 haben diese Haltestellen eine nicht sprechende Nummer in der HAFAS-Logik erhalten. Bei 230 dieser Haltestellen, welche im Namen noch identisch waren wie 2020 konnte einfach die Nummer aktualisiert werden. 436 Haltestellen im grenznahen Ausland, welche nicht über den Namen zugeordnet werden konnten, mussten im Netz des NPVM neu auf Strecken bzw. Knoten zugeordnet werden. Innerhalb der Schweiz sind 744 Haltestellen dazugekommen, welche ebenfalls dem Netz des NPVM zugeordnet worden sind.

Die SBB fügte auf Wunsch der Rapp AG zwei Attribute (HAFAS_NR_23 und UIC_NR_23) zu den Haltestellen hinzu. Das Attribut HAFAS_NR_23 entspricht bei aus HAFAS importierten Haltestellen der DIDOK-Codierung. Obwohl die absolute Richtigkeit der Inhalte dieser beiden Attribute von der SBB nicht garantiert werden kann, hat sich die DIDOK-Referenz beim Import von Zählzeiten in das NPVM 2023 als sehr hilfreich erwiesen.

4.4 Umsteigepunkte und Fusswege

Das Umsteigen von einer ÖV-Linie (bzw. eines Zeitprofils) zu einer anderen wird genauso wie schon im NPVM 2017 bzw. NPVM 2020 über zwei Arten von Netzobjekten ermöglicht:

- Innerhalb eines Haltestellenbereichs
- Über eine Strecke (ein «Fussweg») zwischen zwei Haltestellenbereichen

In beiden Fällen wurden die Umsteigezeiten aus HAFAS oder aus SIMBA Bahn übernommen. Innerhalb einer Haltestelle ist die Umsteigezeit konstant für alle Umsteiger. An grossen ÖV-Umsteigepunkten wie dem Zürich Hauptbahnhof sind die variierenden Umsteigezeiten durch mehrere Fusswege zwischen mehreren Haltestellenbereichen (bzw. Haltestellen) abgebildet.

Im ÖV-Modell des NPVM 2023 wurden 537 neue Fusswege eingefügt, die in HAFAS 2020 noch nicht vorhanden waren. Für weitere 321 Fusswege, die im Jahr 2020 schon vorhanden waren, wurden aus HAFAS neue Fusswegezeiten übernommen.

4.5 Fahrzeugtypen und Rollmaterialkapazität

Für das Bahnangebot aus SIMBA Bahn wurden die Fahrzeugtypen entsprechend der im Projekt STEP AS2030 erstellten Fahrzeugliste zugewiesen. Die Fahrzeuggrösse ist dabei sowohl durch die Anzahl Sitzplätze als auch durch die Gesamtkapazität definiert. Die Gesamtkapazität ergibt sich aus Sitzplätzen plus 3 Personen pro Quadratmeter ausgewiesene Stehplatzfläche. Typischerweise weisen die Fahrzeuge des Fernverkehrs keine Stehplatzflächen auf, weshalb ihre Gesamtkapazität gleich der Anzahl Sitzplätze ist.

Insgesamt wurden 70 Fahrzeugkombinationen für das Bahnangebot verwendet. Diese sind mit ihrer Kapazität in folgender Tabelle aufgelistet:

Tabelle 7: Fahrzeugtypen und Kapazitäten im ÖV-Angebot des NPVM 2023

Fahrzeug-Kombination	Code	Name	Sitz-plätze	Steh-plätze	Gesamt-kapazität
1	EFzg_FVDosto_IR_100	Einheitsfzg FV-Dosto IR / 100m	335	0	335
2	EFzg_FVDosto_IC_200	Einheitsfzg FV-Dosto IC / 200m	633	0	633
3	EFzg_FVDosto_IR_200	Einheitsfzg FV-Dosto IR / 200m	671	0	671
4	EFzg_FVDosto_IC_300	Einheitsfzg FV-Dosto IC / 300m	936	0	936
5	EFzg_FVDosto_IR_300	Einheitsfzg FV-Dosto IR / 300m	1012	0	1012
6	EFzg_FVDosto_IC_400	Einheitsfzg FV-Dosto IC / 400m	1266	0	1266
7	EFzg_FVDosto_IR_400	Einheitsfzg FV-Dosto IR / 400m	1342	0	1342
8	EFzg_IC2000_3W4	Einheitsfzg IC2000_3W4 / 233m	728	0	728
9	EFzg_IC2000_3W5	Einheitsfzg IC2000_3W5 / 260m	854	0	854
10	EFzg_IC2000_3W6	Einheitsfzg IC2000_3W6 / 287m	980	0	980
11	EFzg_IC2000_3W5_M_AB	Einheitsfzg IC2000_3W5_M_AB / 313m	976	0	976
12	EFzg_IC2000_15teilig	Einheitsfzg IC2000_15teilig / 393m	1274	0	1274
13	EFzg_IC2000_2W4_2O4	Einheitsfzg IC2000_2W4_2O4 / 385m	1232	0	1232
14	EFzg_REDoosto_100	Einheitsfahrzeug Regio-Dosto (100) / 100m	337	195	532
15	EFzg_REDoosto_2x100	Einheitsfahrzeug Regio-Dosto (2x100) / 200m	674	390	1064
16	EFzg_REDoosto_3x100	Einheitsfahrzeug Regio-Dosto (3x100) / 300m	1070	618	1688
17	EFzg_REDoosto_150	Einheitsfahrzeug Regio-Dosto (150) / 150m	535	309	844
18	EFzg_REDoosto_150_100	Einheitsfahrzeug Regio-Dosto (150+100)/250m	872	504	1376
19	EFzg_REDoosto_2x150	Einheitsfahrzeug Regio-Dosto (2x150) / 300m	1070	618	1688
20	EFzg_ICN	Einheitsfahrzeug ICN / 189m	474	0	474
21	EFzg_ICN_2x	Einheitsfahrzeug ICN (2x) / 378m	948	0	948
22	EFzg_EWIV_11teilig	Einheitsfzg EWIV_11teilig / 283m	744	0	744
23	EFzg_EWIV_12teilig	Einheitsfzg EWIV_12teilig / 310m	806	0	806
24	EFzg_EWIV_14teilig	Einheitsfzg EWIV_14teilig / 362m	926	0	926
25	EFzg_EWIV_7teilig	Einheitsfzg EWIV_7teilig / 177m	415	0	415
26	EFzg_EWIV_8teilig	Einheitsfzg EWIV_8teilig / 203m	501	0	501
27	EFzg_EWIV_9teilig	Einheitsfzg EWIV_9teilig / 230m	561	0	561
28	EFzg_EWIV_10teilig	Einheitsfzg EWIV_10teilig / 256m	621	0	621
29	EFzg_Giruno_ETR610_2x	Einheitsfahrzeug Giruno/ETR610 (2x200)/400m	844	0	844
30	EFzg_RailJet_2x	Einheitsfahrzeug RailJet (2x205) / 410m	816	0	816
31	EFzg_TGV_Einstock_2x	Einheitsfahrzeug TGV POS (2x200) / 400m	760	0	760

32	EFzg_TGV_Duplex_2x	Einheitsfahrzeug TGV Duplex (2x200) / 400m	1018	0	1018
33	EFzg_ICE1	Einheitsfahrzeug ICE1 / 358m	700	0	700
34	EFzg_ICE3_2x	Einheitsfahrzeug ICE3 (2x200) / 400m	908	0	908
35	EFzg_ICEXK3s	Einheitsfahrzeug ICEXK3s / 346m	830	0	830
36	EFzg_DBDosto5_Modul	Einheitsfahrzeug DB IC-Dosto5+Modul / 208m	597	0	597
37	EFzg_FLIRT_4	Einheitsfahrzeug FLIRT (1x4) / 75m	180	140	320
38	EFzg_FLIRT_2x4	Einheitsfahrzeug FLIRT (2x4) / 150m	360	280	640
39	EFzg_FLIRT_3x4	Einheitsfahrzeug FLIRT (3x4) / 225m	540	420	960
40	EFzg_FLIRT_4x4	Einheitsfahrzeug FLIRT (4x4) / 300m	720	560	1280
41	EFzg_FLIRT_6	Einheitsfahrzeug FLIRT (1x6) / 106m	254	198	452
42	EFzg_FLIRT_6_4	Einheitsfahrzeug FLIRT (6+4) / 181m	434	338	772
43	EFzg_FLIRT_2x6	Einheitsfahrzeug FLIRT (2x6) / 212m	508	396	904
44	EFzg_FLIRT_3x6	Einheitsfahrzeug FLIRT (3x6) / 318m	762	594	1356
45	EFzg_GTW_Seetal_52	Einheitsfahrzeug GTW Seetal (52) / 52m	125	97	222
46	EFzg_GTW_Seetal_2x52	Einheitsfahrzeug GTW Seetal (2x52) / 104m	250	194	444
47	EFzg_GTW_Seetal_3x52	Einheitsfahrzeug GTW Seetal (3x52) / 156m	375	291	666
48	EFzg_GTW_Thurbo_54	Einheitsfahrzeug GTW Turbo (54) / 54m	130	100	230
49	EFzg_GTW_Thurbo_2x54	Einheitsfahrzeug GTW Turbo (2x54) / 108m	260	200	460
50	EFzg_GTW_Thurbo_3x54	Einheitsfahrzeug GTW Turbo (3x54) / 162m	390	300	690
51	EFzg_Nina_3	Einheitsfahrzeug Nina (1x3) / 48m	115	89	204
52	EFzg_Nina_2x3	Einheitsfahrzeug Nina (2x3) / 96m	230	178	408
53	EFzg_Nina_3x3	Einheitsfahrzeug Nina (3x3) / 144m	345	267	612
54	EFzg_Nina_4x3	Einheitsfahrzeug Nina (4x3) / 192m	460	356	816
55	EFzg_Nina_4	Einheitsfahrzeug Nina (1x4) / 62m	148	116	264
56	EFzg_Nina_2x4	Einheitsfahrzeug Nina (2x4) / 124m	296	232	528
57	EFzg_Nina_3x4	Einheitsfahrzeug Nina (3x4) / 186m	444	348	792
58	EFzg_Nina_4x4	Einheitsfahrzeug Nina (4x4) / 248m	592	464	1056
59	EFzg_LoeB	Einheitsfahrzeug Lötschberger / 62m	150	72	222
60	EFzg_LoeB_2x	Einheitsfahrzeug Lötschberger (2x62) / 124m	300	144	444
61	EFzg_LoeB_3x	Einheitsfahrzeug Lötschberger (3x62) / 186m	450	216	666
62	EFzg_LoeB_4x	Einheitsfahrzeug Lötschberger (4x62) / 248m	600	288	888
63	EFzg_KTU_Dummy_50	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (50) / 50m	120	93	213
64	EFzg_KTU_Dummy_100	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (100) / 100m	240	186	426
65	EFzg_KTU_Dummy_125	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (125) / 125m	300	233	533
66	EFzg_KTU_Dummy_150	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (100+50) / 150m	360	279	639
67	EFzg_KTU_Dummy_200	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (2x100) / 200m	480	372	852
68	EFzg_KTU_Dummy_250	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (2x125) / 250m	600	466	1066
69	EFzg_KTU_Dummy_300	Einheitsfahrzeug KTU Dummy (3x100) / 300m	720	558	1278
70	LeerFzg	Leer-Fahrzeug / 0m	0	0	0

4.6 Qualitätskontrollen ÖV-Angebotsnetz

Eine erste Kontrolle wurde direkt beim Import des Angebotes durchgeführt. Wenn kein Weg von einer Haltestelle zur nächsten gefunden werden konnte, dann wurde die Linienroute nicht übernommen und in den Visum-Meldungen eine Fehlermeldung eingetragen mit der Angabe, für welchen Haltestellenabschnitt kein Fahrweg gefunden worden ist. In der Regel zeigte sich dabei, dass bei der automatischen Zuordnung der neuen Haltestellen etwas nicht korrekt funktioniert hat. Nach der Korrektur der Lage des entsprechenden Haltepunktes, wurde die betroffene Linie nochmals eingelesen.

Alle Probleme beim Einlesen der HAFAS-Daten für das Jahr 2023 nach Visum wurden aufgelistet. Durch Beheben von Inkompatibilitäten der Daten wurden diese Probleme nach und nach eliminiert. In der finalen Version wurde über eine Liste aller Fahrplanfahrten aus HAFAS nachgewiesen, dass alle Fahrplanfahrten erfolgreich übernommen worden sind.

Anschliessend wurden, wie bereits auch bei der Aufbereitung des Angebotes 2020, die Trassierung nach Ausreissern bei der resultierenden Geschwindigkeit von Haltestelle zu Haltestelle plausibilisiert. Dadurch konnten weitere fehlende Strecken im Netz identifiziert werden.

Das Angebot 2023 wurde weiter mithilfe von Umlegungen mit der Nachfrage des NPVM 2017 (UVEK, 2019) und den Anbindungen des NPVM 2017+ (UVEK, 2023) getestet. Die Anpassung der Anbindungen an neue Haltestellen und neue Fahrpläne ist in Kapitel 6 beschrieben.

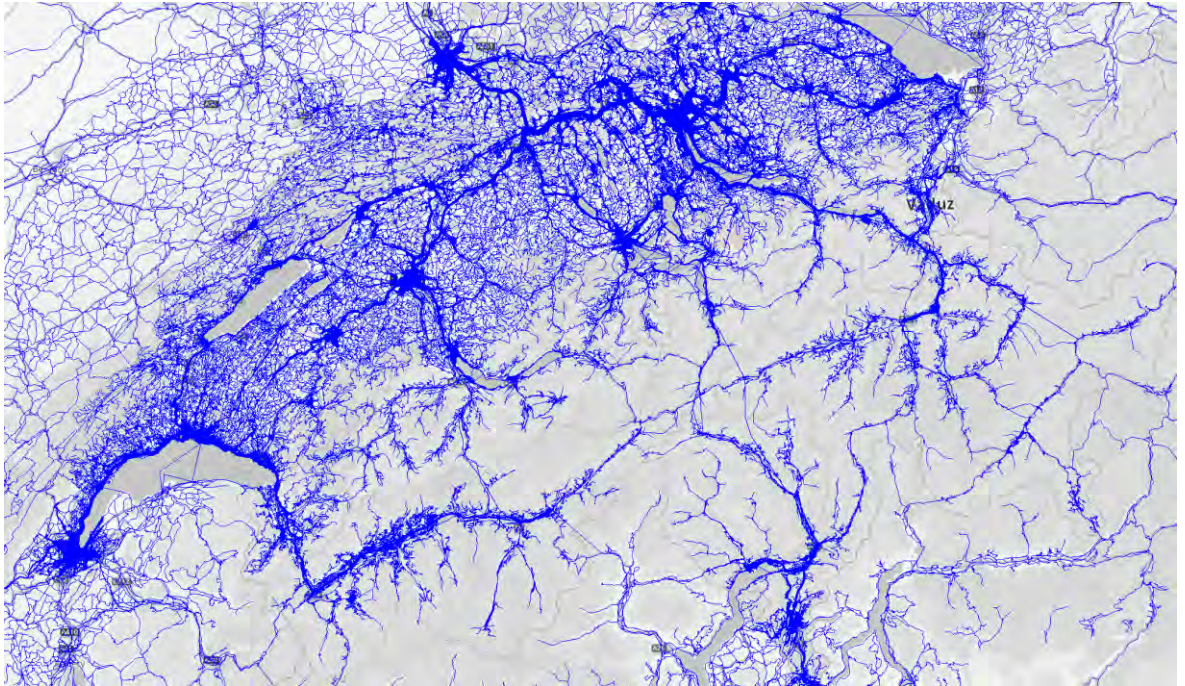


Abbildung 15: ÖV-Angebot im NPVM 2023 – Anzahl Fahrplanfahrten je Strecke

5 Velonetz

Ausgangspunkt für die Aktualisierung bildete das Velo-Netz 2017+, also der Netzzustand gemäss dem Projekt «NPVM 2017+, Methodik-Update» (ARE, 2023). Die darauf aufbauend wichtigste Grundlage für die Aktualisierung auf einen Zustand 2023 bildete das aktualisierte Strassennetz. Zudem wurden weitere Datengrundlagen aktualisiert, die in den nachstehend aufgeführten Kapiteln detaillierter beschrieben sind:

- Überführung der neuen und angepassten Netzelemente aus dem Strassennetz 2023;
- Integration der SchweizMobil Veloland-Routen mit Stand 2024 (SchweizMobil, 2024);
- Update der Höheninformationen mittels des swisstopo-Höhenmodells DHM25 (swisstopo, 2007);
- Überführung der neuen Anbindungen aus dem Strassennetz 2023 (siehe Kapitel 6.2);
- Plausibilisierung und Generierung von Kenngrössen.

Das Velo-Netz 2023 basiert hinsichtlich Netzzumfang sowie Modellierungsattributen im Wesentlichen auf dem Zustand 2017+. Es umfasst ausschliesslich das Schweizer Netz, Verbindungen mit Auslandsbezug wurden weder in der Nachfrage- noch in der Umlegung berücksichtigt.

5.1 Aktualisierung Netzelemente

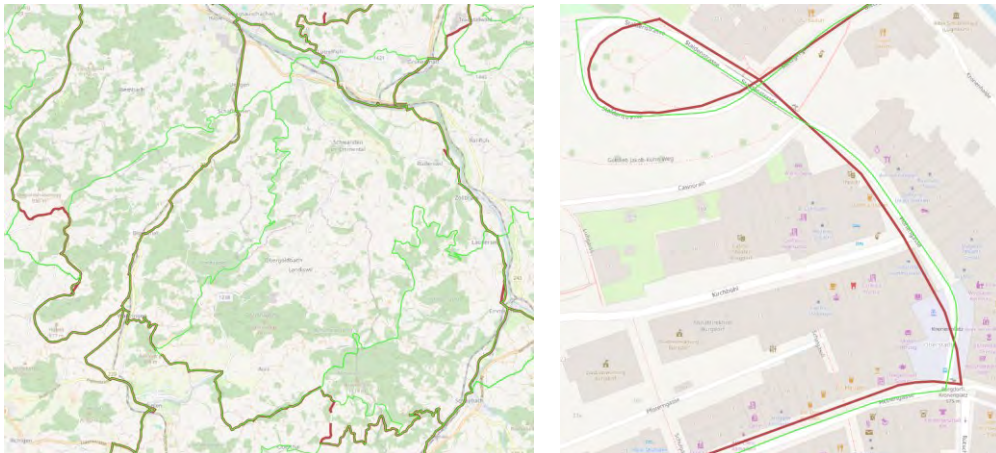
Zum Übertrag neuer und angepasster Netzelemente wurde die Visum-Funktionalität «Modelltransferdateien erzeugen und anwenden» genutzt. Mittels dieser lassen sich Netzunterschiede feststellen und in eine Versionsdatei einlesen. Der Transfer wurde beschränkt auf veränderte Knoten, Strecken, Streckenpolygone und Abbieger. Zur Erstellung der Modelltransferdatei wurde als das «BASIS-Netz» das Velo-Netz 2017+ definiert, als «ZIEL-Netz» das aktualisierte Strassennetz 2023. Die erzeugte Modelltransferdatei wurde anschliessend auf das Netz 2017+ angewendet. Die sich aus dieser Netzvereinigung ergebende Version bildete die Grundlage für die sich anschliessenden Arbeiten zur weiteren Aktualisierung.

5.2 Integration Veloland-Routen

Die Integration der aktuellen Veloland-Routen hatte zum Ziel, Strecken markieren zu können, die vorzugsweise für Velo-Wege genutzt werden. Die verwendete Quelle von SchweizMobil ist dabei identisch zur Etablierung des NPVM 2017, es wurde der aktuell verfügbare Datenstand vom März 2024 genutzt. Die Veloland-Routen 2024 sind lagegenauer als diejenigen von 2017 und verfügen teilweise über andere Attribute und Routenverläufe. Um die NPVM-Strecken mit Informationen darüber zu versehen, ob sie Teil einer Veloland-Route sind, wurden im GIS verschiedene Arbeitsschritte durchgeführt, die nachfolgend aufgeführt sind:

- Einlesen der Veloland-Routen im GIS als Polylinie, Pufferung mit 100 Meter
- Export der NPVM-Strecken (nur Strecken mit Typ < 19, also ohne Autobahnen/Autostrassen) aus Visum und Ermittlung des Mittelpunkts je Strecke im GIS
- Auswahl der NPVM-Strecken (Punkte) die innerhalb der gepufferten Veloland-Routen liegen, Pufferung mit 25 Meter
- Übertrag von Veloland-Attributen an die NPVM-Strecken, wenn sich gepufferte Mittelpunkte mit den Veloland-Routen schneiden.

Nachstehende Abbildungen zeigen exemplarisch Unterschiede zwischen den Datensätzen von 2017 und 2024 sowie die Ergebnisse des Netzübertrags.



Dunkelrot = Veloland-Routen 2017 / Grün = Veloland-Routen 2024

Abbildung 16: Unterschiede Veloland-Routen 2017 zu 2024

Abbildung 16 zeigt, dass die Routen teilweise identisch sind, es neue 2024er-Routen gibt, wie auch einige Abschnitte, die 2024 nicht mehr als Velorouten ausgewiesen werden. In der rechten Abbildung zeigt sich zudem, dass sich die Lagegenauigkeit verbessert hat.



Links: Netzmatching;

Rechts: Grüne Linie = Veloland-Route 2024 / Gelb = Puffer von 100 Metern um Veloland-Route / Rote Punkte = gepufferte Mittelpunkte der NPVM-Strecken

Abbildung 17: Resultate Netzmatching Veloland-Routen & NPVM-Strecken

Abbildung 17 zeigt exemplarisch, dass über diesen Prozess die NPVM-Strecken mehrheitlich korrekt als Veloland-Routen identifiziert werden konnten. Auf eine flächendeckende Prüfung und manuelle Korrektur von Lücken wurde aus Aufwandsgründen verzichtet. Es sei darauf hingewiesen, dass die Integration der Veloland-Routen nicht dazu dient, zusätzliche Netzelemente zu generieren, sondern das bestehende NPVM-Netz um die Information über Velo-Routen zu ergänzen. Diese Netzelemente können somit z.B. über einen Bonusfaktor auf den Velo-Widerstand bei der Routenwahl priorisiert werden.

In Visum lassen sich die NPVM-Strecken, die auch Veloland-Routen 2024 sind, über das Attribut «ObjectID >= 400» identifizieren. Zudem wurden die Veloland-Routen 2024 als POI eingelesen und sind über die Nummern 400-705 selektierbar.

5.3 Update Höheninformation

Die Höhenunterschiede nehmen Einfluss auf die Ermittlung der Velo-Fahrtzeiten und somit des in der Nachfrageberechnung berücksichtigten Velo-Widerstands. Der Einfluss der Steigung auf den Widerstand wurde im Methodik-Update 2017+ (ARE, 2023) überarbeitet und bildet unverändert die Grundlage für die Berechnungen im NPVM 2023. Aufgrund der Notwendigkeit die neuen Netzelemente mit Höheninformationen auszustatten sowie der Verfügbarkeit einer Visum-Funktion zur automatischen und detaillierteren Berechnung der Höheninformationen wurden diese Informationen aktualisiert.

Verwendung fanden die Daten des digitalen Höhenmodells (DHM25) von swisstopo. In Visum wurde die Funktion «Import von Höhendaten» genutzt, siehe nachstehende Abbildung 18.

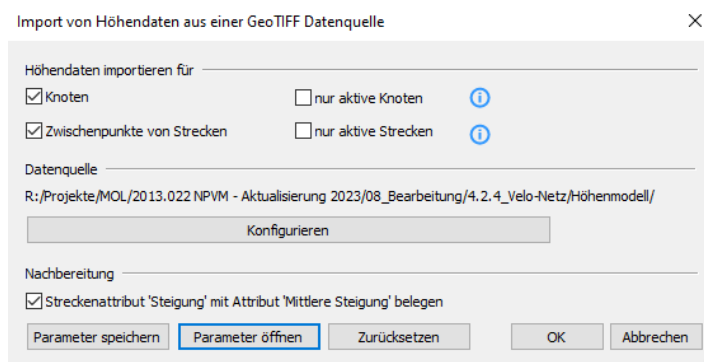


Abbildung 18: Import Höhendaten

Generiert wurde somit die Steigung/Neigung für Knoten und Zwischenpunkte der Strecken. Für die Berechnung des Streckenwiderstands wurde die mittlere Steigung verwendet. In Visum wurden die Werte (prozentuale Steigung/Neigung) im Attribut «Steigung_2023» abgelegt.

Eine flächendeckende Validierung der Werte ist aus Aufwandsgründen nicht möglich. Es wurden ca. 40 manuelle Stichproben geprüft und Angaben von GoogleMaps gegenübergestellt. Dabei zeigte sich, dass mehrheitlich die aktuellen Höheninformationen realistischer sind und insbesondere Steigungswechsel zwischen aufeinanderfolgenden Strecken gleichmässiger abgebildet werden. Nachstehende Abbildung 19 zeigt an einem Ausschnitt für die Stadt Bern die Unterschiede zwischen den Werten für 2017 und 2023.

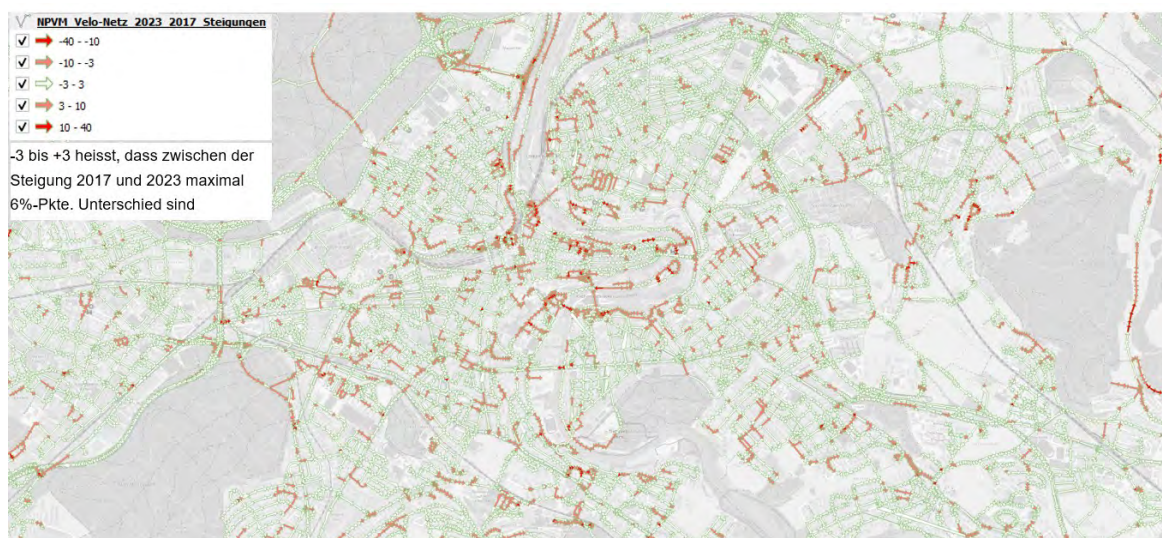


Abbildung 19: Unterschiede Höheninformationen 2017 und 2023

5.4 Update Anbindungen

Im Projekt «Methodik-Update 2017+» erfolgte im Velo-Netz keine Aktualisierung der Anbindungen, d.h. auch im Ausgangszustand für das NPVM 2023 entsprachen die Anbindungen zunächst denen der Modelletablierung des Zustands 2017. Im Anschluss an die Bearbeitung der Anbindungen des ÖV-Angebots- und Strassennetzmodells erfolgte die Übertragung der Anbindungen aus dem Strassennetzmodell in das Velo-Netz 2023.

5.5 Berechnung Velo-Widerstand

Der für die Nachfrageberechnung verwendete Velo-Widerstand basiert auf modifizierten t_0 -Fahrzeiten für Velo und E-Bike. Die Modifikation der t_0 -Werte geht zurück auf Anpassungen gemäss der Steigung/Neigung einer Strecke sowie der auf dieser vorhandenen Belastung an Kraftfahrzeugen (also der Summe aus PW, LI, LW, LZ). Nachstehende Abbildung 20 illustriert die Berechnung des Velo-Widerstands am Beispiel einer Strecke in der Stadt Bern.

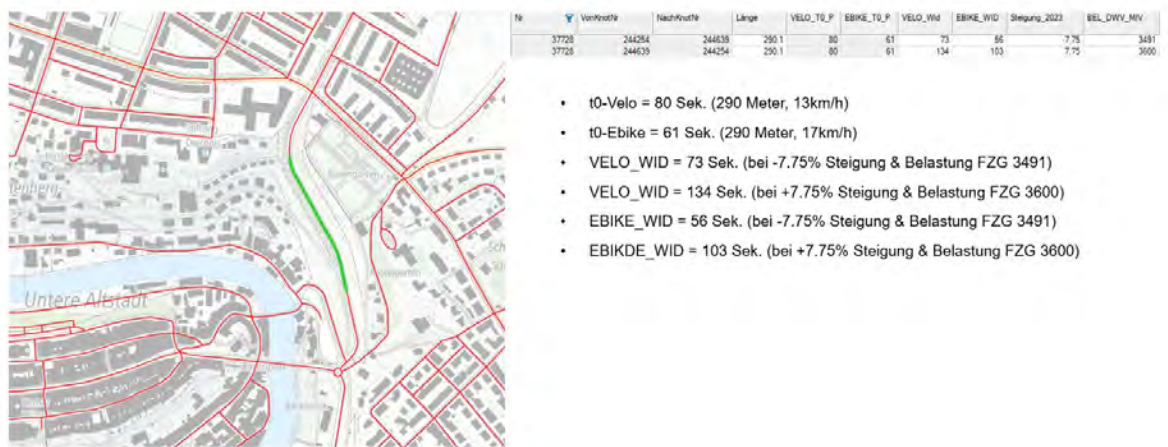


Abbildung 20: Beispiel NPVM Velo-Widerstand

Für die grün markierte Strecke von 290 Meter Länge benötigt ein Velo mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 13km/h 80 Sekunden (ein E-Bike mit 17km/h 61 Sekunden). In ARE (2023) wurden Widerstandsfunktionen für die Steigung/Neigung der Strecke sowie die Belastung mit Fahrzeugen definiert, die auch im NPVM 2023 weiterhin zur Anwendung kommen. Deren Einfluss führt im Beispiel zu entsprechenden Auf- und Abschlägen der t_0 -Fahrzeiten. Das Nachfragemodell im NPVM kann zudem unterschiedliche Kenngrössen des Velo-Widerstands für Pflicht- und Nicht-Pflichtaktivitäten berücksichtigen (im Beispiel ersichtlich durch das «P» für Pflichtaktivitäten Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt) bei den t_0 -Werten). Über eine fahrtzweckspezifische Parametrisierung der Velo-Umlegung entstehen vier unterschiedliche Kenngrössen (Velo und E-Bike, differenziert nach Pflicht- und Nicht-Pflichtaktivitäten).

6 Anbindungen

Die Anbindungen aller Zonen an die Netze des ÖV und der Strasse wurden für das Jahr 2023 vollständig neu generiert – basierend auf der im Projekt «Methodik-Update» entwickelten Vorgehensweise.

6.1 Vorgehen NPVM 2023

Im Rahmen der Modelletablierung 2017 wurde ein neues Anbindungskonzept Strasse entwickelt. (Mehrfach-) Anbindungen für die Verkehrszonen wurden auf Basis der Siedlungsschwerpunkte automatisch erstellt, wobei Einwohner- und Arbeitsplatzdaten (STATPOP 2016, STATENT 2015) zur Gewichtung herangezogen wurden. Die Ergebnisse wurden durch Plausibilitätsprüfungen und visuelle Kontrollen validiert.

Für Zonen mit bis zu drei Mehrfachanbindungen wurden die Polygone der Zonierung verfeinert und die Zonenschwerpunkte neu berechnet. Nach Kalibrierung enthielt das Modell 8'707 MIV-Anbindungen (davon 16 % Mehrfachanbindungen) und 11'087 ÖV-Anbindungen.

Im Update NPVM 2017+ wurde die Methodik durch den Einsatz eines K-Means-Clusteralgorithmus verfeinert. Dadurch erhöhte sich die Zahl der Anbindungen deutlich auf rund 100'000 im MIV und 80'000 im ÖV (Hin- und Rückrichtung einzeln gezählt). Neben STATPOP (BFS, 2024) und STATENT (BFS 2024) wurden weitere Daten wie das Gebäude- und Wohnregister sowie die NOGA-Klassifikation (Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige) berücksichtigt. Zudem wurden durch die Berücksichtigung singulärer Verkehrserzeuger (SVE) die reale Verteilung des Verkehrsaufkommens durch lokal dominante Strukturgrössen wie z.B. Schulen, Hospitäler, Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen besser abgebildet.

Für das NPVM 2023 wurden die Anbindungen aller Zonen an die Netze des ÖV und der Strasse vollständig neu generiert – basierend auf der im Projekt Update NPVM 2017+ entwickelten Vorgehensweise. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Übernahme der Version NPVM 2017+ mit denen für die Generierung der Anbindungen notwendigen Python-Skripten. Übertrag der Skripte in die aktuellen Versionsdateien dieses Projektes mit den für 2023 aktualisierten Verkehrsnetzen Strasse, ÖV und Velo. Überprüfung und Anpassung der Python-Skripte an die aktuelle in PTV Visum 2024 verwendete Python-Version, an allfällige Änderungen der Visum-Datenstruktur und des Visum-COM-APIs.
- Aufbereitung Eingangsdaten: STATPOP, STATENT (jeweils Einzeldaten) und Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) entsprechend des im Bericht «Methodik-Update» dokumentierten Verfahrens. Diese werden dann als Hintergrund-Objekte (POI) in Visum importiert.
- Automatisierte räumliche Zuordnung der STATPOP und STATENT Daten zu den NPVM-Zonen und Clustering der STATPOP und STATENT Punktkoordinaten, mithilfe der erwähnten Python-Skripte.
- Automatische Erzeugung der Anbindungen für MIV, ÖV und Velo in Visum.
- Übernahme der manuellen Anbindungen für singuläre Verkehrserzeuger und Anbindungen, welche in der Kalibration 2017+ angepasst wurden, aus der Version 2017+.
- Berechnung der Widerstände und der Gewichte je Anbindung gemäss den Formeln, die im Bericht des «Methodik Update» (2017+) definiert sind.
- Die Ergebnisse werden systematisch durch einen Vergleich der Anbindungen zwischen der Version 2017+ und den neuen Anbindungen in den Netzen des Jahres 2023 überprüft.
- Kenngrössenberechnungen und Testumlegungen für PW, Strassengüterverkehr, ÖV und Velo, um sicherzustellen, dass alle Zonen angebunden sind und für alle Quelle-Ziel-Beziehungen Verbindungen gefunden werden.

In beiden Modellversionen (NPVM 2017+ und NPVM 2023) beträgt die Zahl der in der Schweiz, inkl. Liechtenstein anzubindenden Zonen 7'978 (inkl. Ausland 8'719).

Als Datenbasis der Strukturdaten standen STATPOP 2022 bzw. STATENT 2021 zur Verfügung. Diese Datensätze lagen in der gleichen Formatierung wie die Datensätze aus dem Jahr 2017 vor. STATENT enthält die Koordinaten von 5'418'000 Erwerbstätigen am Arbeitsort in 626'000 Unternehmen. Diese wurden in fast 800 verschiedene Wirtschaftszweige (NOGA) eingeteilt.

Auch die Datensätze zum Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) sowie zur Allgemeinen Systematik der Wirtschaftszweige NOGA lagen in der gleichen Formatierung wie 2017 vor.

6.2 Anbindungen im MIV

Für das NPVM 2023 wurden die anbindungsgerechten Knoten automatisch neu generiert, wobei deren Anzahl mit 350'931 nahezu identisch zur Version NPVM 2017+ (350'932) blieb. Weitere Anpassungen an den Anbindungsknoten selbst wurden nicht vorgenommen. Die Anbindungen singulärer Verkehrserzeuger (SVE) blieben unverändert.

Dieser geringe Unterschied in der Anzahl Knoten liegt an der Vorgehensweise bei der Aktualisierung des Strassennetzes, bei der nur ungefähr 50 Strassenbauprojekte im übergeordneten Bereich (mit wenigen anbindungsgerechten Knoten) eingearbeitet wurden (siehe Kapitel 3). Strassennetze im nachgeordneten Bereich (mit vielen anbindungsgerechten Knoten) wurden nicht aktualisiert.

Bei der Zahl der MIV-Anbindungen zwischen NPVM 2017+ (98'110) und NPVM 2023 (97'508) ging einzig die Zahl der automatisch erzeugten Anbindungen um 0.6% zurück - von 94'562 auf 93'960. Von diesen beinhalten mindestens 43'340 Anbindungen ein Gewicht für SGV (teilweise verfügen die Anbindungen über ein Gewicht PW und SGV). Die Zahl der Anbindungen im Ausland sowie jene der singulären Verkehrserzeuger (SVE) blieben unverändert.

Tabelle 8: Zahl der MIV-Anbindungen im NPVM 2023

Typ	NPVM 2023
0 Ausland	1'772
1 Automatisch (PW+SGV)	93'960
2 SVE Einkauf	126
3 SVE Freizeit	172
4 SVE Flughäfen	96
5 SVE	1'152
6 Manuell SGV	172
7 Anpassung Kalibrierung	58
Gesamt	97'508

Der Anbindungsalgorithmus bestimmt die Anbindungen an MIV-Anbindungsknoten innerhalb der jeweiligen Zone. Bei 658 Zonen gibt es mindestens eine Anbindung, die ausserhalb der Zone angebunden wird, was methodisch unproblematisch ist (entscheidend ist, wie gut die Zone erreichbar ist, nicht wo exakt der Anschluss liegt). Im Vergleich zum NPVM 2017+ ist dies ein Rückgang um fünf Zonen.

Die Anzahl Anbindungen pro Zone ist sehr variabel. Manche Zonen haben nur eine einzige Anbindung, andere wiederum bis zu 22 Anbindungen. Für einen Grossteil der Zonen (5'818) änderte sich die Zahl der Anbindungen zwischen dem NPVM 2017+ und dem NPVM 2023 nicht. In weiteren 2'459 Fällen ändert sich die Zahl der Anbindungen um 1 nach oben oder unten.

19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2	5	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	9	4	1	2	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	5	6	10	9	0	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	7	17	15	13	4	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	13	24	32	15	4	1	0	1	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	5	5	18	33	62	38	6	2	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	2	3	2	22	47	95	50	14	2	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	10	20	75	138	63	21	2	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	3	31	129	240	117	22	4	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	3	38	193	451	155	27	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	19	213	838	240	42	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	7	200	2002	311	42	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	3	75	759	264	21	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	25	261	97	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	140	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	762	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Abbildung 21: Anzahl MIV-Anbindungen im NPVM 2017+ und im NPVM 2023 (PW+SGV) pro Verkehrszone

Die Längenverteilung der Anbindungen für den PW ist praktisch identisch. Bei der Länge handelt es sich um die Entfernung zwischen Clusterschwerpunkt und Anbindungsknoten. Die Summenhäufigkeitslinien sind mehr oder weniger deckungsgleich. Jeweils ungefähr zwei Drittel der Anbindungen sind kürzer als 200 Meter.

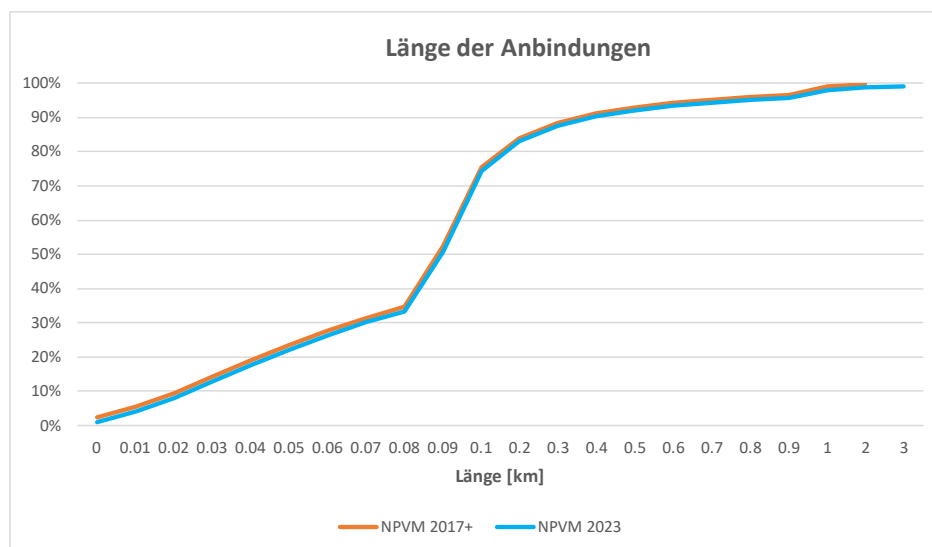


Abbildung 22: Summenhäufigkeit der Länge der Anbindungen (PW + SGV), Achtung x-Achse ist nicht linear

Beim Projekt NPVM 2017 Methodik Update wurden die Mindestabstände für Anbindungsknoten für den SGV auf minimal 100 m gesetzt. Diese Anpassung wurde auch in der Version 2023 beibehalten, ohne dass im Einzelfall geprüft wurde, warum dies so ist.

Die mittleren Längen der Anbindungen pro Zone haben sich in den meisten Fällen nur wenig verändert (siehe nachfolgende Abbildung), nur insgesamt 18 Zonen haben eine mittlere Anbindungslänge, die mehr als 1'000m vom NPVM 2017+ abweicht. Diese Unterschiede können durch veränderte Clusterschwerpunkte zustande kommen; eine tiefer gehende Prüfung gegenüber dem NPVM 2017+ war aufgrund von nicht vorhandenen Daten nicht vollständig möglich.

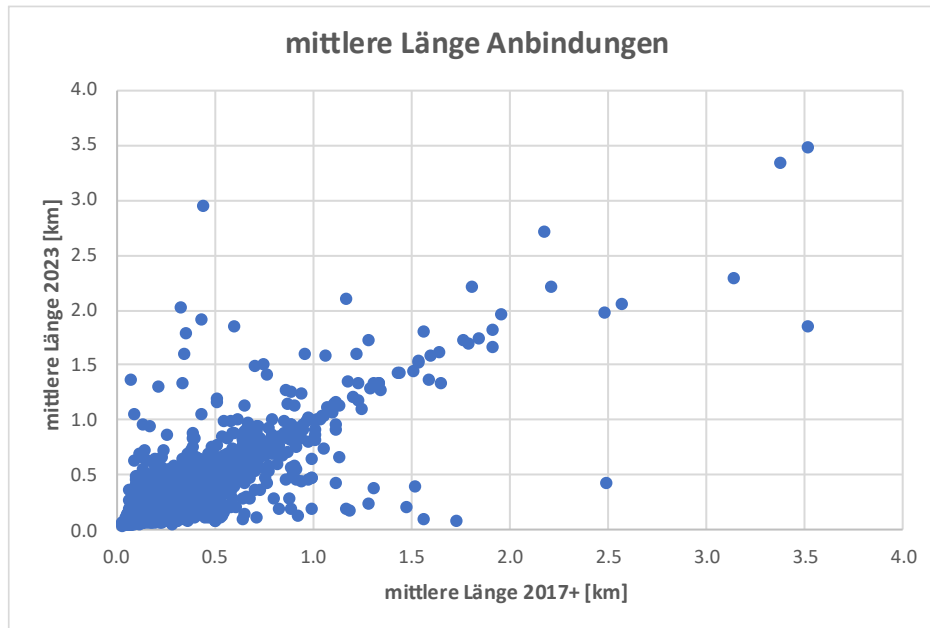


Abbildung 23: Mittlere Längen im NPVM 2023 und im NPVM 2017+ im MIV (PW + SGV)

Bei der Summe der Anbindungsgewichte pro Zone ergaben sich ebenfalls sehr häufig ähnliche Werte wie im NPVM 2017+. Allerdings ist die Zahl der Zonen, die entlang und oberhalb der Diagonalen liegen weitaus höher als darunter. Da sich die Anbindungsgewichte beim PW und SGV an der ständigen Wohnbevölkerung und den Beschäftigten pro Zone orientieren, lassen diese Veränderungen Rückschlüsse auf sozioökonomisches Wachstum zu.

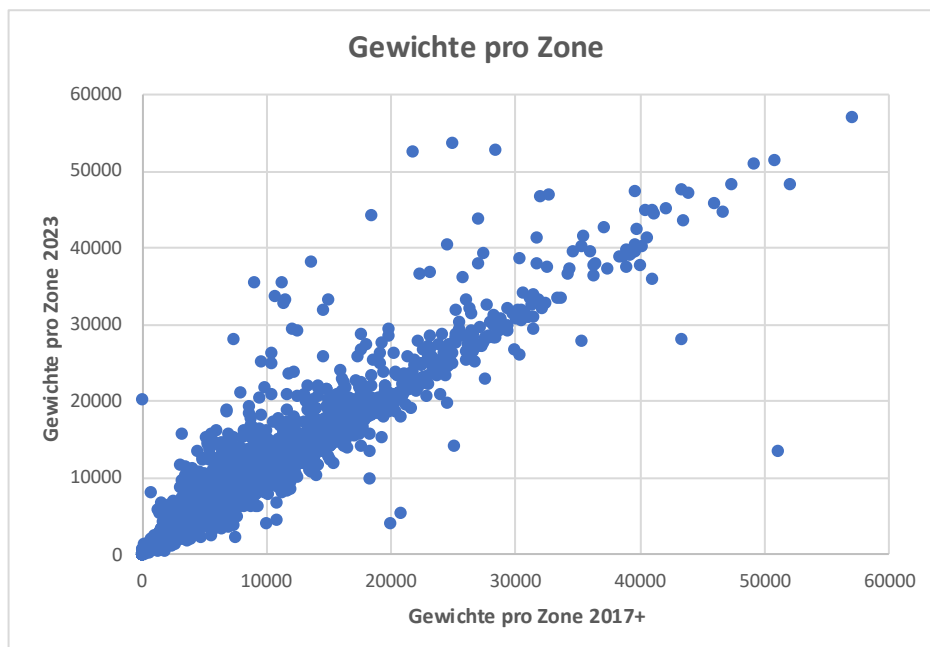


Abbildung 24: Anbindungsgewichte pro Zone im NPVM 2023 und im NPVM 2017+ (PW + SGV)

Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel mit einem starken Rückgang der Zahl der Anbindungen (Zug) und ein gegenläufiges Beispiel (Riedholz).

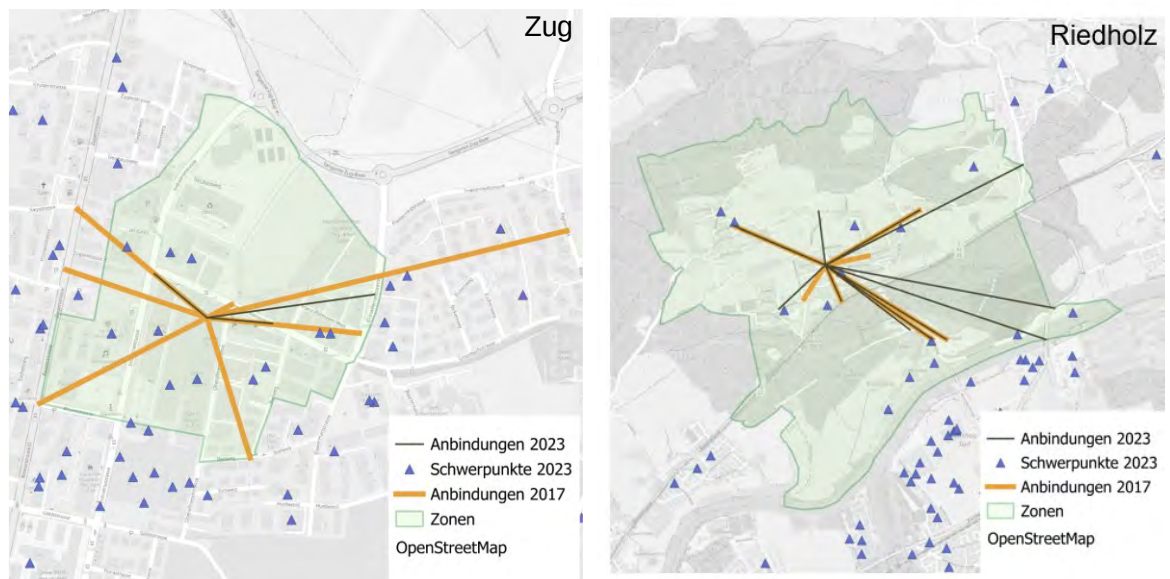


Abbildung 25: Zahl der Anbindungen in Zug und in Riedholz (nur PW-Anbindungen)

Mit Hilfe der vorhandenen Daten sind die beiden Entwicklungen nicht umfassend zu erklären. Wahrscheinlich gibt es einen Zusammenhang mit der Entwicklung der Siedlungsschwerpunkte seit 2017.

Nachfolgende Abbildung zeigt zwei Beispiele mit starker Änderung der mittleren Anbindungsängen:

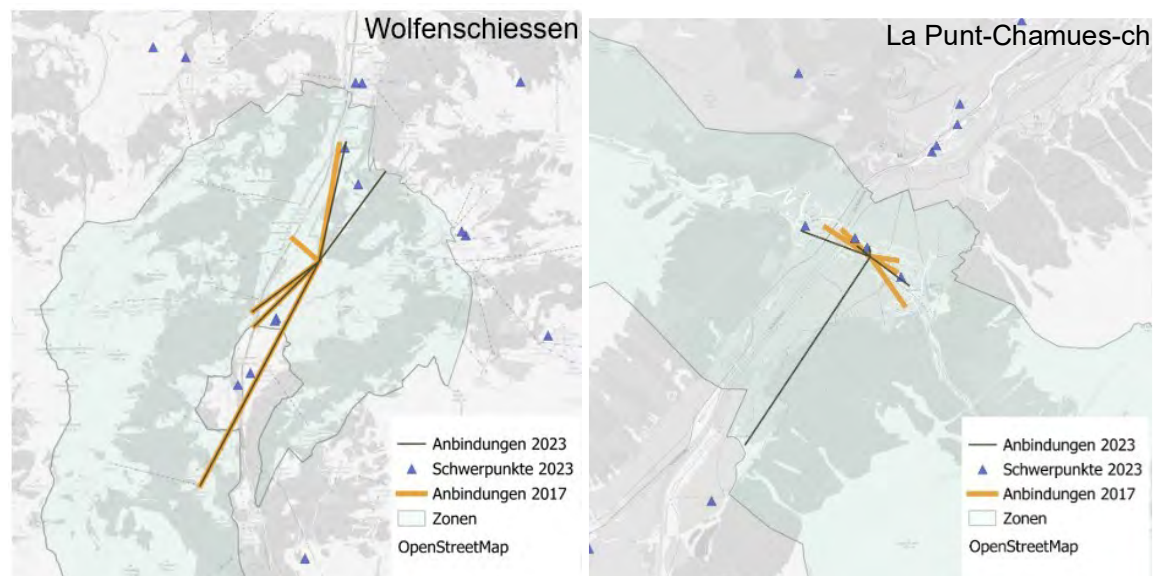


Abbildung 26: Mittlere Länge der PW+SGV-Anbindungen in Wolfenschiessen und in La-Punt-Chamues-ch

Im Rahmen des später erfolgten Kalibrierungsprozesses (siehe Kapitel 15.1) wurden die Anbindungen im MIV nur marginal verändert. Zur Prüfung der Anbindungen wurde eine Testumlegung für PW und SGV durchgeführt.

In vier Zonen fehlten SGV-Gewichte, diese wurden manuell ergänzt. Zudem erfolgten kleinere Korrekturen an Strecken, Knoten und Abbiegern im Rahmen der Prüfung der Strasseninfrastrukturprojekte. Auch wurden einige Anbindungen für die Kalibration des Güterverkehrs angepasst.

6.3 Anbindungen im ÖV

Die Zahl der automatisch erzeugten Anbindungen im ÖV stieg im Vergleich zum NPVM 2017+ (ARE, 2023) um 2.2% auf 78'408. Hauptgrund dafür ist das erweiterte und verbesserte ÖV-Angebot – die Zahl der Haltestellen nahm zwischen 2017 und 2023 um 7,9 % zu.

Die Anbindungen im Ausland und die Anbindungen der singulären Verkehrserzeuger (SVE) blieben unverändert.

Tabelle 9: Zahl der ÖV-Anbindungen im NPVM 2023

Typ	NPVM 2023
0 (Ausland)	1'602
1 (Automatisch)	78'408
2 (SVE Einkauf)	54
3 (SVE Freizeit)	92
4 (SVE Flughafen)	30
5 (SVE)	170
6 (Manuell SGV)	466
7 (Anpassung Kalibrierung)	1'602
Gesamt	82'484

Die maximale Zahl der Anbindungen pro Zone ist 20 im NPVM 2017+ und 19 im NPVM 2023. Für einen Grossteil der Zonen (5'299) änderte sich die Zahl der Anbindungen zwischen dem NPVM 2017+ und dem NPVM 2023 nicht. In weiteren 2'532 Fällen ändert sich die Zahl der Anbindungen um 1 nach oben oder unten. Starke Abweichungen sind auch hier der absolute Ausnahmefall.

NPVM 2023	12	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	8	12	14
	11	0	0	0	0	0	1	1	1	7	12	25	44	16
	10	0	0	0	0	1	0	2	11	19	53	70	21	7
	9	0	0	0	0	0	3	21	43	105	130	30	13	4
	8	0	0	0	1	7	15	54	150	222	64	23	4	3
	7	0	0	1	9	23	79	210	357	108	30	5	0	0
	6	0	2	2	19	73	246	540	180	27	10	2	0	0
	5	0	4	13	62	257	643	197	44	6	2	2	1	0
	4	0	8	33	177	661	150	47	14	4	0	0	0	0
	3	0	24	121	624	131	38	10	2	2	0	0	0	0
	2	0	71	658	115	24	3	0	1	1	0	0	0	0
	1	0	1243	77	23	2	3	0	1	0	0	0	0	0
	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
NPVM 2017+														

Abbildung 27: Anzahl ÖV-Anbindungen im NPVM 2017+ und im NPVM 2023

Die Längenverteilung der Anbindungen und die mittleren Längen der Anbindungen pro Zone sind ähnlich dem NPVM 2017+. Es gibt nur einzelne Zonen, bei denen die Anbindungen deutlich länger oder kürzer werden, bei insgesamt 30 Zonen beträgt der Unterschied gegenüber dem NPVM 2017+ mehr als 500 Meter. Unterschiede können aufgrund von neuen Clusterschwerpunkten oder verändertem ÖV-Angebot zustande kommen.

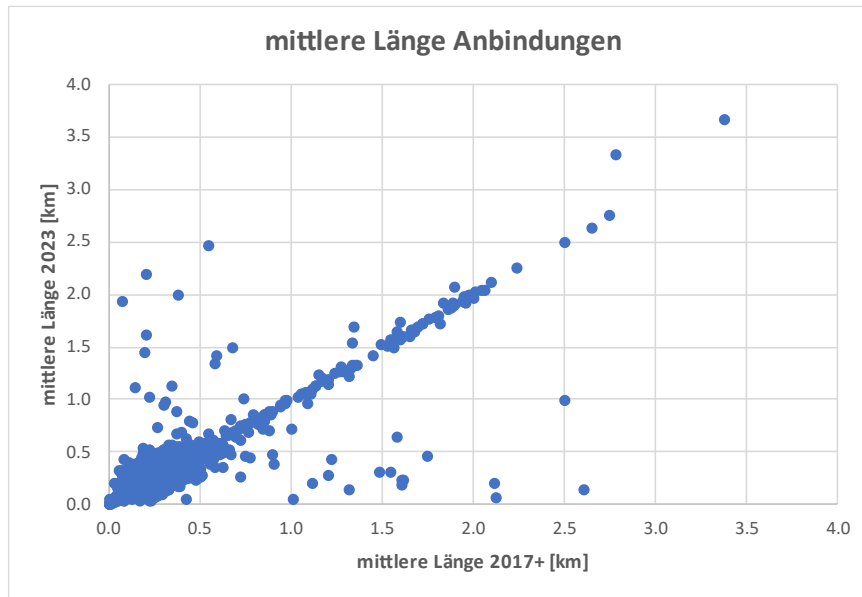


Abbildung 28: Mittlere Längen im NPVM2023 und im NPVM 2017+ (ÖV)

Die Gewichte pro Zone sind zwar korreliert, der Streubereich ist jedoch ziemlich weit (siehe nachfolgende Abbildung). Dies liegt vor allem daran, dass sich der Clusteringalgorithmus im ÖV nur in wenigen Zonen an den eingegebenen Strukturdaten, wie Einwohner und Beschäftigte, orientiert. Der ÖV-Anbindungsalgorithmus selbst weist jeder Zone jeweils die drei nächstgelegenen Haltestellen sowie eine SBB-Haltestelle zu – unabhängig davon, ob diese innerhalb oder ausserhalb der Zone liegen. Dabei fließen neben der Distanz auch die Angebotsdichte (Zahl der täglichen Abfahrten) in die Bewertung ein: Haltestellen mit geringer Bedienung erhalten einen höheren Widerstand und werden dadurch nur bei sehr kurzer Entfernung bevorzugt.

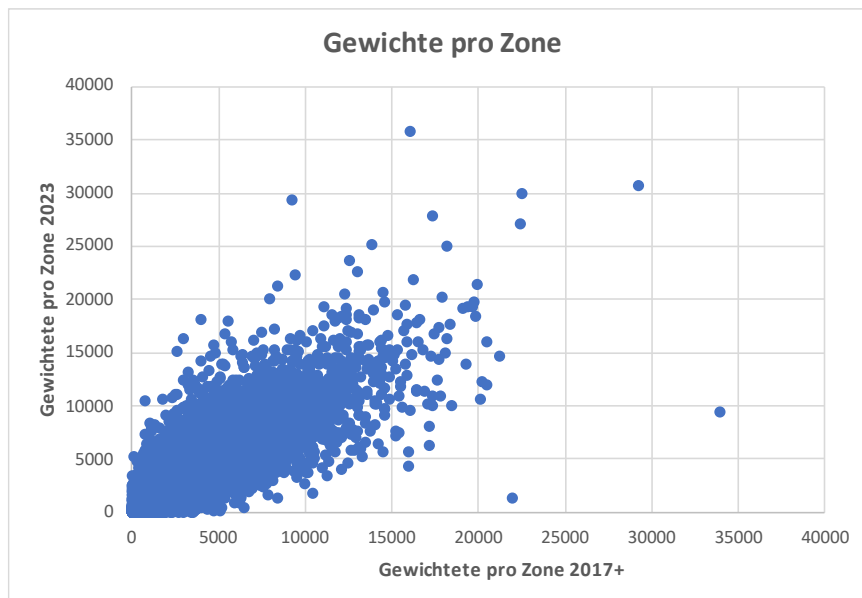


Abbildung 29: Anbindungsgewichte pro Zone im NPVM 2023 und im NPVM 2017+

Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel mit einem starken Rückgang der Zahl der Anbindungen und ein gegenläufiges Beispiel.

In beiden Gemeinden hat sich das ÖV-Angebot stark verändert. In Amriswil haben sich im Fahrplan Änderungen bei der Routenführung ergeben. Die tatsächlichen Änderungen werden gut abgebildet. In Ebikon betrifft es eher die Angebotsqualität (Zahl der täglichen Abfahrten).

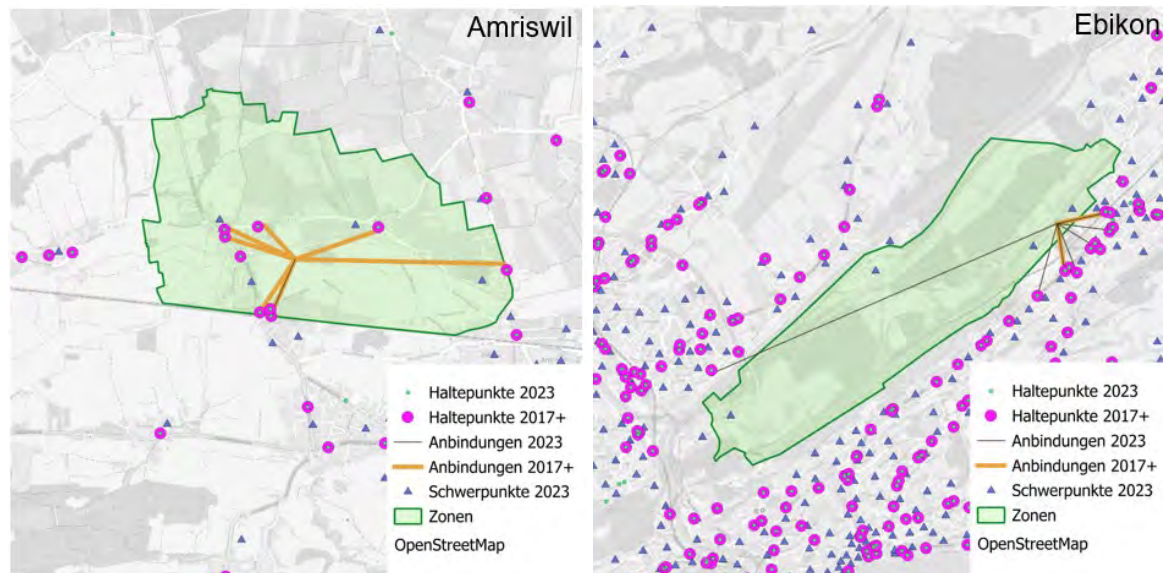


Abbildung 30: Zahl der ÖV- Anbindungen in Amriswil und in Ebikon

Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel mit starkem Anstieg der mittleren Anbindungsängen (Humlikon). Im Beispiel Eischoll & Unterbach werden dagegen zwei lange Anbindungen durch zwei kurze ersetzt.

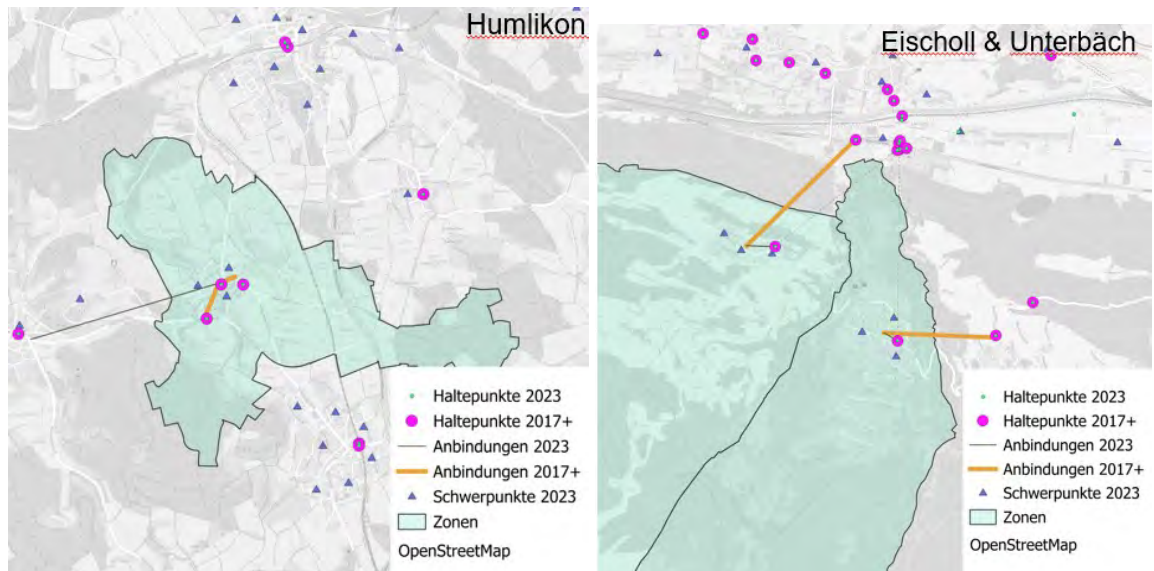


Abbildung 31: Mittlere Länge der Anbindungen in Humlikon und in Eischoll & Unterbach

Im Rahmen des später erfolgenden Kalibrierungsprozesses der ÖV-Umlegung (siehe Kapitel 15.2) wurden die Anbindungen der Vorstadtbahnhöfe geändert. Diese wurden systematisch über die nahegelegenen Tramhaltestellen angebunden, aber nicht mehr direkt (siehe Kapitel 15). Dieses Vorgehen wurde im NPVM 2017+ schon für die vom Fernverkehr bedienten Bahnhöfe angewandt. Dieses Vorgehen erwies sich als zielführend bei der Kalibration. Die Massnahme führte zu einer Erhöhung der Einsteiger in den Tramhaltestellen bei gleichzeitigem Rückgang der Einsteiger in den Bahnhoftestellen.

7 Beschaffenheit und Aufbereitung der Zähldaten 2023

Empirische Verkehrsdaten sind eine wichtige Grundlage für die Kalibrierung und die Validierung des NPVM im Ist-Zustand 2023. Sie werden verwendet, um die Übereinstimmung der Modellwerte mit dem beobachteten Verkehr zu messen und daraus Schlüsse für die Verbesserung des Modells zu ziehen. Deshalb hängt die Qualität des Modells von der Anzahl und der Qualität der Zählwerte, sowie von der räumlichen Abdeckung der Schweiz durch die Zähldaten ab (Zähldaten, 2023).

Die zu importierenden Rohdaten wurden durch das ARE angefordert und bereitgestellt. Für den Strassenverkehr stammen die Rohdaten hauptsächlich vom ASTRA und kantonalen Ämtern, während die Daten für den ÖV von Verkehrsverbünden, der SBB und weiteren Betreibern geliefert wurden.

Die Aggregation der Daten erfolgte sowohl zeitlich als auch nach Fahrzeugtypen. Bei der zeitlichen Aggregation wurden als tägliche Werte der DWV und DTV erfasst, für den DWV zudem die Morgenspitze (MSP, 7-8h) und die Abendspitze (ASP, 17-18h). Falls ohne zusätzlichen Aufwand möglich, wurde auch der DNWV, also Samstag und Sonntag, erfasst. Im Strassenverkehr und für den DTV erfolgte noch eine Unterscheidung zwischen Nachtverkehr (22-6h) und Tagesverkehr (6-22h).

Im motorisierten Strassenverkehr wurden die Daten in fünf Fahrzeugtypen (PW, MR, LI, LW, LZ) unterteilt, sofern diese Klassifizierung in den Rohdaten verfügbar war.

Die Zählwerte wurden zu NPVM-Netzobjekten zugeordnet, also in der Regel den Strecken und deren Richtungen, im ÖV zusätzlich auch zu Bahnhöfen. Im Strassenverkehr bedeutet dies, dass jeder Zählstellendatensatz einer Streckenrichtung zugeordnet wird. Im ÖV wurden die Daten aller Linien, die dieselbe Strecke befuhren, zusammengefasst und summiert. Falls die Daten für 2022 geliefert wurden, erfolgte eine Hochrechnung auf 2023. Zusätzlich wurden ein Qualitätsattribut (z. B. zur Messdauer) erzeugt sowie eine systematische Plausibilitätsprüfung und Fehlersuche zur Qualitätskontrolle durchgeführt. Die Details dazu sind im technischen Memo zu diesem Arbeitspaket dokumentiert, dieses ist beim ARE auf Anfrage erhältlich.

Das Ergebnis ist ein System von Zählwerten für Strasse, ÖV und Veloverkehr, das über Netzattribute auf dem für 2023 aktualisierten Netzmodellen verortet ist und die Kalibration des Modells über alle Teilräume und alle Verkehrsmittel ermöglicht. Für das NPVM 2023 wurden deutlich mehr Zählwerte verarbeitet und erfasst als in früheren Modellzuständen. Insgesamt standen für die Modell-Kalibration folgende Werte zur Verfügung

- über 5'000 Zählwerte für den motorisierten Strassenverkehr und
- fast 22'000 Zählwerte im ÖV.

Einige Netzbereiche, die in früheren Modellzuständen des NPVM nur unzureichend mit Zählwerten abgedeckt waren, sind für 2023 deutlich besser mit Daten versorgt. Dazu gehören z.B. der Strassenverkehr und der ÖV in Teilen der Romandie, der ÖV im ländlichen Raum landesweit, sowie der Strassenverkehr innerhalb grosser Städte wie Zürich, Bern oder Genf.

Alle in den Rohdaten verfügbaren Datenquellen wurden verwertet. Nur in wenigen Fällen wurden Daten nicht verarbeitet, etwa bei rein touristischen oder saisonalen Verkehren im kleinräumigen ÖV (siehe Tabelle 13).

7.1 Methodisches Vorgehen in der Zähldatenaufbereitung

Alle aufbereiteten Zählwerte sind Verkehrsstärken pro Zeiteinheit. Bei Zählwerten auf Strecken werden Mengen des Verkehrsflusses angegeben. Im Strassenverkehr wird dabei die Anzahl Fahrzeuge pro Zeiteinheit gemessen, im ÖV dagegen die Anzahl Reisende pro Zeiteinheit.

Bei Zählwerten auf Bahnhöfen steht jeder Zählwerte für die Anzahl der ein- und aussteigenden Fahrgäste je Zeiteinheit, wobei ein Umsteiger zweimal gezählt wird.

Grundsätzlich besteht ein Zählwert aus Informationen zur räumlichen Lage (Zählstelle) und Verkehrsmengen (Zählraten). Ein Zählwert beschreibt die Verkehrsmengen pro Richtung. Meist werden für einen Zählort Hin- und Rückrichtung erfasst.

Falls der Wochenendverkehr (DNWV) nicht bereits in der Rohdatenquelle vom Werktagsverkehr getrennt war, wurde folgende Formel verwendet. Dieser Zusammenhang leitet sich ab aus der Anzahl Samstage und Sonntage in 2023 (105) und der Anzahl Montag bis Freitage in 2023 (260):

- $DTV = 260/365 * DWV + 105/365 * DNWV$ bzw.
- $DNWV = 365/105 * DTV - 260/105 * DWV$

Das wichtigste Ergebnis ist der DWV-Wert für das Jahr 2023, gefolgt von DTV, ASP, MSP. Falls DNWV und/oder Tag- und Nachtverkehr ohne zusätzlichen Aufwand mathematisch exakt abgeleitet werden konnten, wurden diese Zeitintervalle ebenfalls verwendet.

Um den maximalen Mehrwert für die NPVM-Qualität innerhalb des verfügbaren Budgets zu erzielen, wurde die Verarbeitung nachfolgenden Prioritäten vorgenommen: Einfache Datenformate wurden vor komplexen bevorzugt. Im Strassenverkehr zusätzlich: Hauptverkehrsstrassen hatten Vorrang vor untergeordneten Strassentypen, permanente Zählstellen wurden vor temporären berücksichtigt und Zählstellen an der Landesgrenze wurden vorrangig behandelt. Im ÖV hatten Datensätze mit grosser räumlicher Abdeckung Priorität vor kleineren Gebieten, innerhalb einer Quelle wurde der Schienenverkehr vor dem Busverkehr bevorzugt.

Beim Umgang mit Alpenpässen und langfristigen Baustellen, bei denen das Jahresmittel der Verkehrsstärke durch saisonale Sperrungen oder Einschränkungen verzerrt wäre, wurde – sofern es die Daten erlauben - der Mittelwert der Tage berechnet, an denen die Infrastruktur geöffnet war bzw. der ÖV ungestört betrieben wurde. Diese Vorgehensweise entspricht der Datenverarbeitung des ASTRA.

Falls bei Baustellen oder anderen Störungen des regelmässigen Verkehrs keine Filterung in den Originaldaten möglich war, wurden Korrekturfaktoren eingesetzt. Es handelt sich um die in folgender Tabelle gelisteten Fälle. Die Korrekturfaktoren wurden seitens SBB vorgeschlagen und seitens ARE validiert:

Tabelle 10: Korrekturen langfristiger Verkehrsstörungen

Ort	Art der Störung	Korrektur des Zählwerts
Gotthard Basistunnel (GBT)	Wegen Unfall / Baustelle nur eingeschränkt für den Personenverkehr befahrbar	$ZW_{2023} * 110\%$
St. Gallen - Rheintal	Dauerbaustelle mit eingeschränktem Fahrplan	$ZW_{2017} * 110\%$
Koblenz-Waldshut	Dauerbaustelle mit eingeschränktem Fahrplan	$ZW_{2017} * 110\%$
Basel-Laufen	Dauerbaustelle mit eingeschränktem Fahrplan	$ZW_{2017} * 103\%$

7.2 Zählraten des ÖV

7.2.1 Aufbereitung der Streckenzählwerte

Das Vorgehen der Datenverarbeitung für die Aufbereitung der Zählwerte im ÖV und der Verortung in das NPVM erfolgte in mehreren Schritten.

Aufbereitung der Rohdaten in ein einheitliches Format

Die Aufbereitung der ÖV-Zählwerten basiert auf den Angaben von Transportunternehmen, Verkehrsverbünden und Kantonen. Verwendet wurden die folgenden Datensätze:

Tabelle 11: Zur Verfügung gestellte und berücksichtigte Zählwerte nach Quellen im ÖV

Quelle (Betreiber)	Abk.	Anzahl Zählstellen in Visum verortet*	Zeitliche Differenzierung	Bemerkung
SBB	Bahn	668	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	Streckenzählwerte Bahn
SBB	Bahn	1'059	DWV, DTV, DNWV	Bahnhofsanzahlwerte
Postauto	PAG	14'466	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	
Zürcher Verkehrsverbund	ZVV	2'974	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	Zählwerte von SBB und Postauto nicht berücksichtigt
Transports publics genevois	TPG	1'172	DWV, DTV, DNWV**, MSP, ASP	
Tessin	TI	740	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	Zählwerte von Postauto nicht berücksichtigt
Transports publics lausannois	TL	637	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	
Transports Publics Neuchâtelois	TransN	473	DWV, DTV, DNWV**, MSP, ASP	Zählwerte aus dem Jahr 2022 verwendet, 2023 ist fehlerbehaftet.
Verkehrsbetriebe Schaffhausen	VBSH	342	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	
Regionalverkehr Bern- Solothurn	RBS	252	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	
Transport Public du Chablais	TPC	95	DWV, DTV, DNWV	Nur Bahn berücksichtigt da die übrigen fehlerhaft aggregiert waren.
Ostwind	AB	93	DWV, DTV, DNWV	Es wurden nur die Zählwerte der Appenzeller Bahnen berücksichtigt.
Chemin de fer du Jura	CJ	84	DWV, DTV, DNWV, MSP, ASP	
Basler Verkehrsbetriebe	BVB	106	DWV, MSP, ASP	
AVJ – Transports & Voyages	AVJ	46	DTV	
Verkehrsbetriebe STI	STI	30	DWV, DTV, DNWV**, MSP, ASP	
Aare Seeland mobil	ASM	26	DWV, DTV, DNWV**, MSP, ASP	
Busbetrieb Lichtensteig - Wattwil - Ebnat-Kappel	BLWE	24	DWV, DTV, DNWV	
Verkehrsbetrieb St. Gallen	VBSG	13	DWV, DTV, DNWV	
TOTAL		23'300		

* – beinhalten die Zählwerte, die auf eine Zählstelle der entsprechenden Strecke aggregiert und über die Qualitätsnote der Zählstelle bereinigt sind.

** – aus DWV und DTV berechnet

Die Datenformate der unterschiedlichen Quellen sind sehr heterogen. Einige Quellen stellten die Zählwerte bereits in einem Format zur Verfügung, in dem für sämtliche Linien die benötigten Informationen in einer Datei aggregiert waren. Für andere Quellen mussten die zur Verfügung gestellten Daten erst in ein maschinenlesbares Format übersetzt werden.

Auch die Heterogenität der zur Verfügung gestellten Informationen war gross. So beinhalten einige Quellen bereits die Informationen zum DWV, DTV, DNWV, ASP und MSP. Bei anderen Quellen beschränkte sich der Inhalt auf einzelne Zeitfenster. Wo es möglich war, wurden die fehlenden Inhalte aus den bestehenden aggregiert.

Für jede individuelle Datenquelle wurde eine spezifische Methodik programmiert, um die vorhandenen Informationen in ein einheitliches Format zu überführen. Dabei erfolgte eine Aggregation der Rohdaten nach Haltestellenfolgen. Für jedes Haltestellenpaar wurden die Anzahl der Fahrgäste über alle zur Verfügung gestellten Bus- bzw. Zugfahrten einer Quelle aufsummiert. Dazu war es erforderlich, die jeweiligen Haltestellenpaare aus den Quelldaten zu identifizieren. Während die meisten Datenquellen direkte Angaben zu Von-Haltestelle und Nach-Haltestelle enthielten, musste in anderen Fällen zunächst die Abfolge der Haltestellen rekonstruiert und den entsprechenden Paaren die korrekten Zählwerte zugewiesen werden. Letztendlich wurde für jedes Haltestellenpaar und jede berücksichtigte Linie ein Eintrag in einem einheitlichen Format erstellt. Dieser enthält je Haltestellenpaar, Linie und Quelle die folgenden Variablen:

Tabelle 12: Variablen pro Haltestellenpaar

Von	Nach	Linie	Anzahl Fahrgäste pro		
Von Didok	Nach Didok	Linien Code Betreiber	DWV	DTV	DNWV
Von Haltestelle	Nach Haltestelle		DWV_MSP	DTV_MSP	DNWV_MSP
Von Ortsname	Nach Ortsname		DWV ASP	DTV ASP	DNWV ASP

Da die Verortung der Zählwerte über die Haltestellennamen und Ortsnamen (Von-Haltestelle, Von-Ortsname, Nach-Haltestelle, Nach-Ortsname) erfolgte, waren diese Angaben zwingend. Bei einigen Quellen waren diese Namen teilweise nicht kongruent mit denjenigen aus den Linienroutenverläufen des NPVM. Bei anderen waren diese nicht vorhanden. In beiden Fällen wurden diese Namen aus der DIDOK-Datenbank über die entsprechenden DIDOK-Nummern ergänzt. Teilweise waren nur Haltestellennummern angegeben. In diesem Fall wurde erst aus der Haltestellennummer die DIDOK-Nummer identifiziert.

Aus diesem ersten Schritt resultierte für jede Quelle ein einheitliches Format, welches in den nächsten Schritten für die Verortung in das NPVM verwendet werden konnte.

Die zur Verfügung gestellten Daten der nachfolgenden Quellen wurden aus unterschiedlichen Gründen nicht berücksichtigt.

Tabelle 13: Zur Verfügung gestellte, aber nicht berücksichtigte Zählwerte nach Quellen im ÖV

Quelle	Begründung
Aargau Verkehr	Unterschiedlichste Datenformate, die schwer in ein maschinenlesbares Format übersetzbar sind.
Transports Vallée de Joux–Yverdon-les-Bains–Ste-Croix	Daten basieren auf Einzelkursen, die schwer in ein maschinenlesbares Format übersetzbar sind.
Busbetrieb Olten Gösigen Gäu	Datenformat, das schwer in ein maschinenlesbares Format übersetzbar ist
Ortsbus St. Moritz («Graubünden»)	Spezielles Datenformat und sehr kleinräumiger Verkehr. Der öffentliche Verkehr in Graubünden ist durch Zählwerte von Postauto und RhB sehr gut abgedeckt.
Jungfrauabahn	Rein touristische Linien sind für die Anwendung des NPVM wenig relevant.
Ostwind	Werte der Appenzeller Bahnen wurden importiert. Zählwerte von Turbo sind bereits in den Daten der SBB berücksichtigt. Die restlichen Daten sind schwer in ein maschinenlesbares Format übersetzbar.
BLS	Zählwerte sind bereits in den Daten der SBB berücksichtigt.
Zentralbahn, RegionAlps, Wiesentalbahn	Zählwerte sind bereits in den Daten der SBB berücksichtigt.
Schweizerische Südostbahn	Zählwerte sind bereits in den Daten der SBB berücksichtigt.
Rhätische Bahn	Zählwerte sind bereits in den Daten der SBB berücksichtigt.
Matterhorn Gotthard Bahn	Zählwerte sind bereits in den Daten der SBB berücksichtigt.
Automobilverkehr Frutigen-Adelboden	Sehr geringe Fahrgastzahlen

Verortung im NPVM

Da die Zählwerte im NPVM auf Strecken verortet wurden, musste für jedes Haltestellenpaar eine Strecke (und ihre Richtung) identifiziert werden, bzw. die korrespondierenden Knoten-Nummern der NPVM-Strecke in der passenden Richtung der Strecke. Als Datengrundlage für die Zuordnung zu Strecken wurden die Linienverläufe des im NPVM hinterlegten ÖV-Angebots 2023 für die ganze Schweiz exportiert. Aus dieser Datengrundlage wurden für sämtliche Linien und sämtliche Haltestellenpaare die entsprechenden Knotennummern (NODENO) und die dazugehörigen Haltestellennamen (STOPPOINTNAME) abgeleitet. Ein Beispiel für den Linienroutenverlauf im NPVM ist nachfolgender Tabelle gegeben.

Tabelle 14: Beispiel eines Linienroutenverlaufs im NPVM

Index	NODENO	STOPPOINTNO	STOPPOINTNAME
1	40494687	485027601	Hütten, Schöntal
2	40494455	485027601	
3	40494260	485027601	
4	40493930	485027601	
5		485885081	Hütten, Schulhaus
6	40493563		
7	40493502		
8	40493340		
9	40493281	485791821	Hütten, Friedhof

Der resultierende Output der Analyse ist in Tabelle 15 dargestellt. Für sämtliche Haltestellenpaare wurden somit mehrere Paare «Von-Knoten zu Nach-Knoten» berücksichtigt.

Tabelle 15: Resultierender Linienverlauf für die Verortung

Von	Nach	Von	Nach	Von	Nach
STOPPOINTNO	STOPPOINTNO	STOPPOINTNAME	STOPPOINTNAME	NODENO	NODENO
485027601	485885081	Hütten, Schöntal	Hütten, Schulhaus	40494687	40494455
485027601	485885081	Hütten, Schöntal	Hütten, Schulhaus	40494455	40494260
485027601	485885081	Hütten, Schöntal	Hütten, Schulhaus	40494260	40493930
485885081	485791821	Hütten, Schulhaus	Hütten, Friedhof	40493563	40493502
485885081	485791821	Hütten, Schulhaus	Hütten, Friedhof	40493502	40493340
485885081	485791821	Hütten, Schulhaus	Hütten, Friedhof	40493340	40493281
485885081	485791821	Hütten, Schulhaus	Hütten, Friedhof	40493340	40493281

Die Verortung der Zählwerte wurde aufgrund der Haltestellennamen in den aufbereiteten Quelldaten mit den «STOPPOINTNAME» aus dem Linienroutenverlauf bestimmt. Dadurch wird in einem ersten Schritt für sämtliche Haltestellenpaare aus den Quelldaten die Variablen «Von STOPPOINTNO», «Nach STOPPOINTNO», «Von NODENO», «Nach NODENO» ergänzt.

Aggregation mehrerer Zählwerte auf einzelne Strecken (Zählstellen)

Viele Haltestellenpaare, v.a. im städtischen Gebieten, werden von mehreren Linien und oft auch von unterschiedlichen Betreibern befahren. In diesem Fall gab es dann mehrere Zählwerte, die für das NPVM zu einem einzelnen Zählwert pro Strecke aggregiert wurden. Demzufolge wurde für Haltestellenpaare mit mehreren Zählwerten die Summe gebildet und die gesamte Summe auf die Strecke verortet.

Um Inkonsistenzen zu vermeiden, wurden die Werte nur dann aufsummiert, wenn sie für alle unterschiedlichen Linien auch vorhanden waren. Somit wurden zum Beispiel für den DWV nur Werte aufsummiert, wenn auch für alle Linien einer Haltestellenfolge in den Quelldaten ein DWV-Wert gegeben war. Wenn von einer Linie in dem Fall der DWV nicht bestimmt war, für die anderen Linien dieser Strecke jedoch schon, wurde der DWV-Wert für diese Strecke verworfen.

Dieser Sachverhalt war besonders häufig im Stadtgebiet von Genf. Dort verkehren Busse und Trams der TPG im selben Strassenraum. Im Modellnetz verkehren diese aber auf unterschiedlichen Strecken. Dies stellte eine besondere Herausforderung für die Verortung der Zählwerte dar.

Angabe einer eindeutigen Zählstellen ID

Damit die Quellen der Zählwerte nachverfolgt werden konnten, wurde jedem verorteten Zählwert eine eindeutige Zählstellen-ID zugewiesen. Diese setzt sich zusammen aus (mit «_» getrennt) der Abkürzung des Betreibers, der Linien-ID des Betreibers und einer vierstelligen zufälligen und eindeutigen Buchstabenabfolge. Dies wird an folgendem Beispiel erklärt: Die Linie 1654 der Postauto AG und die Linien 14 und 9 der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) aus dem Zürcher Verkehrsverbund (ZVV) bedienen dasselbe Haltestellenpaar von «Triemli, Zürich» nach «Schaufelbergerstrasse, Zürich». Folglich resultiert als ID: PAG_1654.0-ZVVVBZ_14_9-BVAF. Die vierstellige zufällige Buchstabenabfolge ist eindeutig und kommt somit pro verortetem Zählwert nur einmal vor.

Im Fall der von der SBB gelieferten Bahndaten sind grundsätzlich mehrere Betreiber in einem Zählwert enthalten. Hier wurde der Betreibername nicht in der ID verwendet, sondern anstelle des Betreibers das Wort «Bahn» ergänzt.

Qualitätskontrolle von Quelldaten und verorteter Zählwerte

Die Rohdaten jeder verwendeten Quelle wurden auf Qualität geprüft und plausibilisiert. So konnten bei drei Quellen Fehler in den Rohdaten erkannt werden, weil z.B. die Werte unplausibel hoch oder tief waren.

Weitere Qualitätskontrollen fanden auf aggregierter Ebene statt. Es wurde zum Beispiel geprüft, ob die DWV-Werte kleiner als die DTV- und DNWV-Werte sind. Dies sollte im städtischen ÖV nur selten auftreten, ist jedoch typisch für Linien, die stark für Freizeit- und Tourismus-Verkehr genutzt werden. Eine weitere Plausibilitätsprüfung ist das Verhältnis von DNWV, DTV und DNWV untereinander, entsprechend der verwendeten Formel aus Kapitel 7.1.

In diesen Fällen wurden die Fachleute der Datenlieferanten kontaktiert, allfällige Missverständnisse in der Definition der NPVM-Zählwerte geklärt und um eine Neuberechnung und Neulieferung der Daten gebeten. In den meisten Fällen waren die Rohdaten plausibel, so dass in der weiteren Bearbeitung davon ausgegangen wurde, dass die von den Betreibern zur Verfügung gestellten Werte korrekt sind. In einzelnen unsicheren Fällen wurde darauf verzichtet, die Zählwerte zu verwenden.

Die Korrektheit der geographischen Verortung auf Visum-Strecken wurde anhand der Quelldaten geprüft. Dafür fand eine visuelle stichpunktartige Kontrolle statt, ob die verorteten und aufsummierten Zählwerte mehrerer Linien dem korrekten Haltestellenpaar zugewiesen waren. Dies wird an einem Beispiel dargestellt.

Tabelle 16: Kontrolle Zählwerte mehrerer Linien

FROM-NODENO	TO-NODENO	ZST_ID_2023	ZST_VON_HST_NAME_ORT_2023	ZST_NACH_HST_NAME_ORT_2023	ZW_DWV_OEV_2023
40625700	40625812	VBSG_3-R1_4-R1-BPCS	Sporthalle St. Gallen	St.Leonhard St. Gallen	3'350
40625812	40625700	VBSG_3-R2_4-R2-BPCA	St.Leonhard St. Gallen	Sporthalle St. Gallen	3'546

Die Linien 3 und 4 der Verkehrsbetriebe St. Gallen (VBSG) bedienen beide die Haltestellen St. Leonhard und Sporthalle. So sind in den Quelldaten des VBSG für die Linien 3 respektive 4 eine Besetzung im DWV von 1'727 respektive 1'623 für die Fahrt von Sporthalle nach St. Leonhard hinterlegt. In Visum wird folglich der Zählwert von 3'350 auf die Strecke verortet, beziehungsweise 3'546 für die Gegenrichtung.

Analoge Plausibilitätsprüfungen fanden bei allen verarbeiteten Quellen statt.

In wenigen Ausnahmefällen waren die Zählwerte bereits seitens der Betreiber auf Strecken (bzw. Haltestellenfolgen) aggregiert. Die Zählwerte im Bahnnetz wurden von der SBB geliefert und waren auch von der SBB bereits den NPVM-Strecken bzw. -Haltestellen zugeordnet.

Qualitätsnote von verorteten Zählwerten

Damit die Aussagekraft der verorteten Zählwerten erhöht werden konnte, wurde eine Qualitätsnote für jede Zählstelle vergeben. Diese bildete ab, wie gut die verorteten Zählwerte mit denjenigen aus dem NPVM übereinstimmten.

Ein Zählwert einer Zählstelle kann für mehrere Linien zusammengefasst sein. Dabei kann es jedoch sein, dass sich die Anzahl sowie die Namen der Linien aus den Quelldaten von denjenigen aus dem NPVM unterscheidet. Die Qualitätsnote bildet diese Unterschiede wie folgt ab: Stimmten über 90 % der Liniennummern überein, erhielt die Zählstelle die Note 6. Bei geringerer Übereinstimmung wurde geprüft, ob die Anzahl der hinterlegten Linien einer verorteten Zählstelle mit der Anzahl der hinterlegten Linien im NPVM zu über 90 % übereinstimmt – auch dann wurde die Note 6 vergeben. Andernfalls wurde die Note 3 vergeben.

Teilweise wurden für verortete Zählstellen im NPVM keine Liniennummern auf der entsprechenden Strecke hinterlegt. In diesem Fall wurde die Note 1 vergeben und die Zählstelle gelöscht.

Zusammenfassend ist die Qualitätsnote:

- Note 6: Über 90 % der Liniennummern einer Zählstelle stimmen mit dem NPVM überein oder die Anzahl Linien entspricht zu über 90 % dem NPVM. Es wird angenommen, dass alle Linien gezählt wurden.
- Note 3: Die Anzahl der Linien entspricht zu weniger als 90 % der im NPVM erfassten Linien. Es wird davon ausgegangen, dass ein wesentlicher Teil der Linien nicht gezählt wurde.

7.2.2 Zählwerte zu Ein- und Aussteigern an Bahnhöfen

Zusätzlich zu den Streckenzählwerten wurden von der SBB auch Zählwerte an Bahnhöfen geliefert. Diese Zählwerte messen die Anzahl Ein- und Aussteiger, wobei jeder Umsteiger zweimal gezählt wird. Sie wurden den entsprechenden Visum-Haltestellen zugeordnet. In Absprache mit der SBB wurden nur Bahnhöfe verwendet, die in der Schweiz liegen und mindestens 100 Ein- Aus- und Umsteiger pro Tag aufweisen. Bei niedrigeren Werten wäre die Fehlerwahrscheinlichkeit in den Daten zu gross. Im Gegensatz zu den Streckenzählwerten wurden bei den Bahnhöfen nur Tageswerte geliefert (DWV, DNWV und DTV).

In den Daten sind nur die Fahrgäste der Betreiber enthalten, die an den Fahrgast-Erhebungssystemen FQ/HOP teilnehmen. Dies sind: SBB, SBB-Töchter (Turbo, Zentralbahn, RegionAlps, SBB GmbH), BLS, SOB, RhB, MGB, transN, tpf. Nicht enthalten sind z.B. RBS am Bahnhof Bern, SZU am Zürich-HB, Lyria-TGV Basel-SBB und Zürich, Lyria und SNCF in Basel und Genf. Ebenso sind sämtliche Bus, Tram- und Metro-Fahrgäste nicht in diesen Bahnhofszählwerten enthalten. Die enthaltenen Betreiber sind in einem entsprechenden Attribut notiert. Trotz fehlender Betreiber repräsentieren die Zählwerte fast immer 100% oder nahezu 100% der Fahrgäste.

Eine Ausnahme ist der Bahnhof Bern, wo durch das Fehlen der Linien der RBS (3 S-Bahnen und eine Regionalbahn) ein Teil der Fahrgäste am Bahnhof nicht erfasst wurde. Dies hat aber keine negativen Auswirkungen auf die Kalibration, da diese versucht, die Zahl der SBB-Einsteiger am entsprechenden Haltestellenbereich zu reproduzieren (siehe Kapitel 15.2.1).

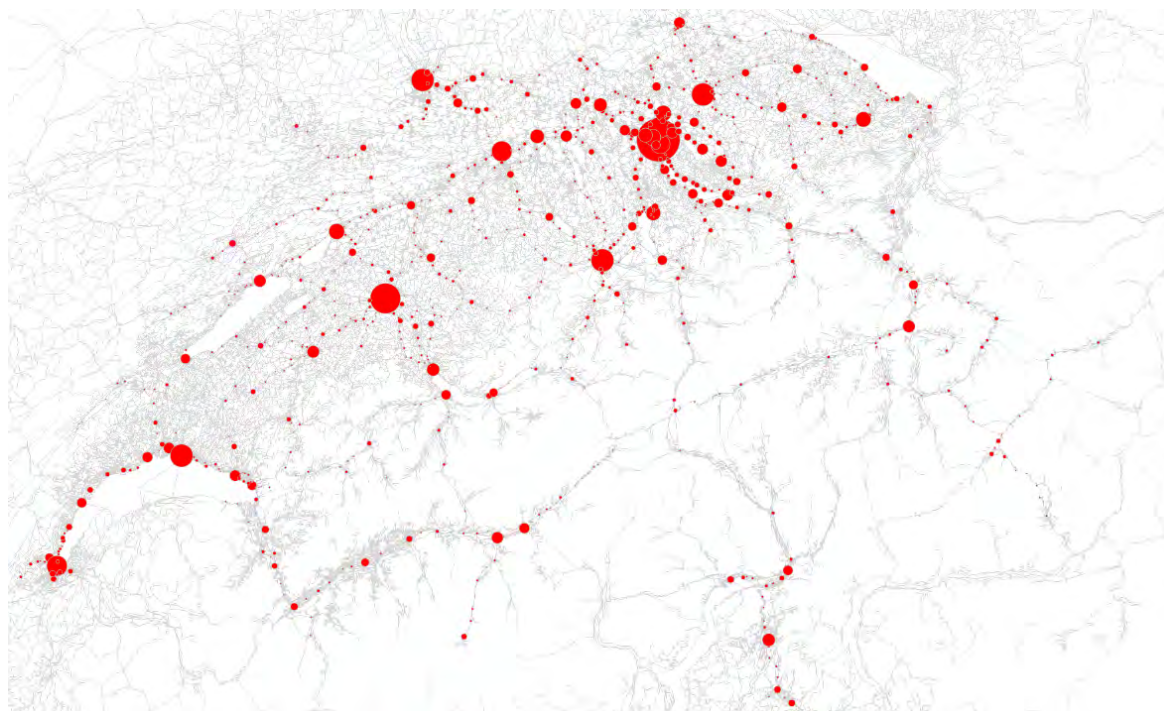
Die erfassten Bahnhofswerte erreichen Werte zwischen 100 und gut 400'000 Ein- und Aussteigern pro Tag (DWV). Die grössten Bahnhöfe sind:

Tabelle 17: Die 10 grössten Bahnhöfe (nach DWV Ein+ Aussteiger)

Bahnhof	Kanton	Ein+ Aussteiger DWV	Visum HST-Nr.
Zürich HB	ZH	419'626	3289
Bern	BE	189'246	1311
Winterthur	ZH	110'894	3140
Lausanne	V	105'920	2157
Basel SBB	BS	105'867	1388
Luzern	LU	104'414	2194
Zürich Oerlikon	ZH	94'228	3278
Genève	GE	88'507	1805
Olten	SO	80'920	2411
Zürich Stadelhofen	ZH	80'431	3286

* Fahrgastzahl Bern ohne RBS

Die folgende Karte zeigt die Lage der Bahnhofzählwerte:



Kreisfläche proportional zur Anzahl Ein-/Aus- und Umsteiger an den Bahnhöfen (ohne Bus und Tram)

Abbildung 32: Karte der Zähldaten Bahnhöfe

Einige Bahnhöfe, wie der Hauptbahnhof Zürich, Frauenfeld oder Montreux, sind im Netzmodell in mehrere Haltestellenbereiche (HSB) unterteilt. Da für diese keine differenzierten Zähldaten vorliegen, wurden die Einsteigerzahlen anhand der Anteile aus einer ersten Umlegung der ÖV-Nachfragematrix auf die einzelnen HSB verteilt. Dadurch wurde sichergestellt, dass nicht nur die Gesamtzahl der Ein- und Aussteiger, sondern auch die Aufteilung der einzelnen Haltestellenbereiche der Realität entspricht.

Haltestelle 3289 bearbeiten

Nummer: 3289
Code: ZUE
Name: Zürich HB
Typ: 0

Basis | HstBereiche | HfPunkte | Gehzeiten HstBer | spez. Gehzeiten | Wartezeiten | Benutzerdef. Attr.

Anzahl: 4	Nummer	Code	Name	Knoten	Anzahl Haltepunkte
1	803	ZLOE	Zürich HB Löwenstrasse	410076; 1	
2	3276	ZMUS	Zürich HB Museumsstrasse	410076; 1	
3	3289	ZUE	Zürich HB	410076; 1	
4	90071	ZUSZ	Zürich HB SZU	410076; 1	

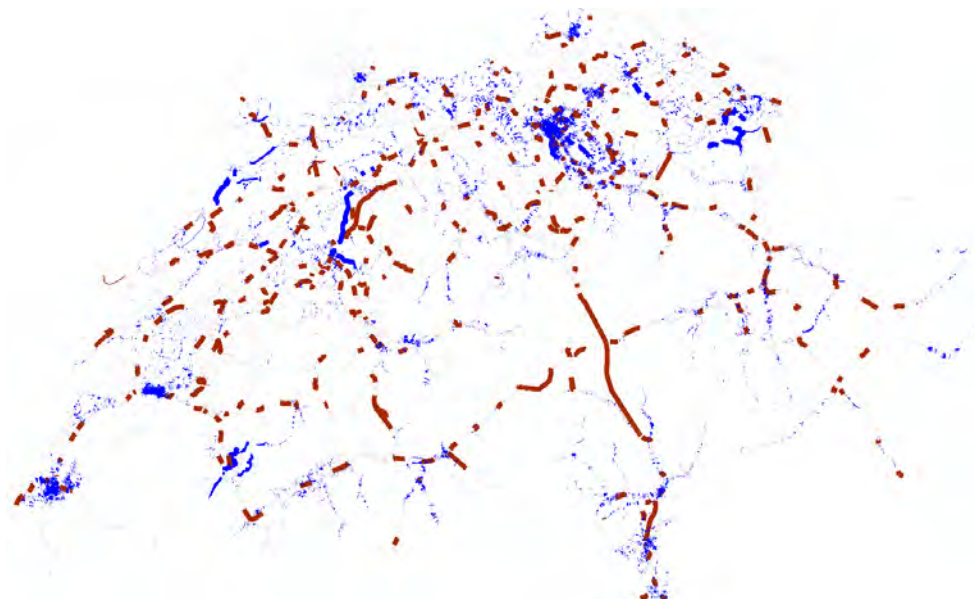
OK Abbrechen

Abbildung 33: Haltestellenbereiche des HB Zürich

7.2.3 Zähl Datenset ÖV

Insgesamt sind Zählstellen an 16'332 Haltestellen mit einer Einsteigerzahl >0, davon mehr als 1'000 Bahnhöfe ins Netzmodell integriert worden. Eine geographische Übersicht aller Streckenzählwerte ist in Rot: Bahnverkehr, Blau = sonstige ÖV-Systeme

Abbildung 34 zu sehen.



Rot: Bahnverkehr, Blau = sonstige ÖV-Systeme

Abbildung 34: Karte der Zähl Daten ÖV

Für das NPVM 2023 wurden deutlich mehr ÖV-Zählwerte verarbeitet und erfasst, als das in früheren Modellzuständen des NPVM der Fall war. Damit steht eine sehr robuste Datenbasis für die Kalibration und Validation des Modells zur Verfügung.

Einige Netzbereiche, die in früheren Modellzuständen des NPVM unzureichend mit Zählwerten abgedeckt waren, sind für 2023 deutlich besser mit Daten versorgt. Dazu gehören z.B. die Romandie sowie landesweit der ländliche Raum.

Alle in den Rohdaten verfügbaren Datenquellen wurden genutzt. Nur in wenigen Fällen wurden Daten nicht verarbeitet, etwa bei rein touristischen oder saisonalen Verkehren im kleinräumigen ÖV.

7.3 Zähldaten des Strassenverkehrs

Das methodische Vorgehen bei der Aufbereitung der Zähldaten des Strassenverkehrs war abhängig von der jeweiligen Datenquelle und den entsprechenden Formaten. Prinzipiell erfolgte das Vorgehen für die Aufbereitung der Zählwerte im Strassenverkehr und ihrer Verortung im NPVM in mehreren Schritten.

7.3.1 Aufbereitung der Zählwerte im Strassenverkehr

Zähldatenprüfung und -verarbeitung

Die Daten stammen aus unterschiedlichen Quellen des Bundes und der Kantone. Daher lagen sie in unterschiedlichen Formaten vor. Verwendet wurden die folgenden Datensätze:

Tabelle 18: Anzahl Zählwerte nach Quellen im motorisierten Strassenverkehr

Quelle	Kürzel	Anzahl ZW	Differenzierung nach Fahrzeugtypen	Differenzierung nach Zeit
ASTRA	ASTRA	720	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton AG	AG	255	keine	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton AI	AI	15	keine	DWV, DTV
Kanton AR	AR	50	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton BL	BL	40	keine	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton BS	BS	56	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton BE	BE	862	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton FR	FR	70	keine	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton GE	GE	359	keine	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton GL	GL	0	keine	keine
Kanton GR	GR	38	keine	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton JU	JU	26	6 Fahrzeugtypen (teilweise)	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton LU	LU	144	6 Fahrzeugtypen (teilweise)	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton NE	NE	246	6 Fahrzeugtypen (DTV)	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton NW	NW	12	keine	DTV, 6-22, 22-6
Kanton OW	OW	0	keine	keine
Kanton SH	SH	36	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Kanton SZ	SZ	161	2 Fahrzeugtypen (teilweise)	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton SO	SO	43	2 Fahrzeugtypen (teilweise)	DWV, DTV
Kanton SG	SG	219	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV
Kanton TI	TI	123	keine	DWV, DTV
Kanton TG	TG	388	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton UR	UR	62	keine	DWV, DTV

Quelle	Kürzel	Anzahl ZW	Differenzierung nach Fahrzeugtypen	Differenzierung nach Zeit
Kanton VD	VD	52	keine	DTV
Kanton VS	VS	120	6 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton ZG	ZG	168	2 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP
Kanton ZH	ZH	581	4 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
Stadt ZH	ZH	191	4 Fahrzeugtypen	DWV, DTV, MSP, ASP, 6-22, 22-6
TOTAL		5'037		

Tabelle 19: Quellen von Zählzeiten im Veloverkehr

Quelle	Kürzel	Anzahl ZW	Differenzierung nach Zeit
SchweizMobil	SM	143	DWV
Kanton AG	AG	70	DWV, DTV, DNWV
Kanton BL	BL	12	DWV, DTV, DNWV
Kanton BS	BS	39	DWV, DTV, DNWV
Kanton BE	BE	45	DWV, DTV, DNWV
Kanton SO	SO	36	DWV, DTV, DNWV
Kanton TI	TI	21	DWV, DTV, DNWV
TOTAL		366	

Teilweise lieferte eine Quelle mehrere Datenformate für verschiedene Zählstellen. Am häufigsten wurden die Daten als CSV-Dateien geliefert. Weitere Formate waren PDF und SHP. In diesen Fällen mussten die Daten erst als csv extrahiert werden. Ausserdem wurden die Daten nicht immer in einer Datei geliefert. Teilweise wurden die Rohdaten für jede Zählstelle einzeln zur Verfügung gestellt. Eine weitere Herausforderung war, wenn die räumlichen Daten getrennt von den Zählzeiten geliefert wurden und nicht für alle Zählstellen aktuelle/brauchbare Daten vorlagen. In diesem Fall mussten zuerst die relevanten Zählstellen identifiziert werden. Alle weiterverwendbaren Rohdaten wurden in ein einheitliches Datenformat konvertiert.

Anschliessend wurden die Daten jeder Zählstelle nach Zeitintervallen und Fahrzeugtypen aggregiert. Idealerweise sind die Zählzeiten dazu nach SWISS10 klassifiziert. Dann erfolgte die Aggregation nachfolgender Zuordnung:

Tabelle 20: Zuordnung der Fahrzeugtypen nach SWISS10

Klasse	Name	SWISS10	Fahrzeugtyp
2	Motorrad	MR	MR
3	Personenwagen	PW	PW
4	Personenwagen + Anhänger	PWAN	PWoMR
5	Lieferwagen	LI	
6	Lieferwagen + Anhänger	LIAN	LI
7	Lieferwagen + Auflieger	LIAU	
8	Lastwagen	LW	LW
1	Bus, Car	CA	
9	Lastzug	LZ	LZ
10	Sattelzug	SZ	
	Gesamt	Total	FZG

Waren die Daten nicht nach SWISS10 klassifiziert, erfolgte die Zuordnung entsprechend der Klassifizierung. Teilweise konnten einzelne Fahrzeugtypen nicht zugeordnet werden. Wenn nur zwischen leichten und schweren Fahrzeugen unterschieden wurde, erfolgt die Zuordnung zu den Attributen ZW_[...]_LEICHT_2023 und ZW_[...]_SCHWER_2023. Bei genauerer Differenzierung wurden diese Attribute nicht mit Werten gefüllt. Ähnlich verhielt es sich bei den Attributen ZW_[...]_PWoMR_2023 und ZW_[...]_MR_2023. So wurde MR nur ausgewiesen, wenn dies in den Rohdaten explizit vorhanden war. Ansonsten wurde keine Abschätzung des MR-Anteils vorgenommen.

Die Daten liegen in verschiedenen Zeitintervallen vor. Idealerweise konnten aus Stundendaten ohne grossen Aufwand Jahreswerte, Spitzenstunden und Tag-/Nachtverkehr ermittelt werden. In vielen Fällen wurden jedoch bereits aggregierte Daten geliefert. Die Unterscheidung nach Tag und Nacht war deshalb oft nicht oder nur mit unverhältnismässig grossem Aufwand möglich. In diesen Fällen wurde die Unterscheidung zwischen Tag und Nacht nicht codiert.

Zudem haben die Kantone unterschiedliche «Zählkonzepte»: Während die meisten Quellen permanente Zählungen mit vereinzelt temporären Zählungen ergänzen, wurden von einigen Kantonen in der Romandie verstärkt temporäre Zählungen an möglichst verschiedenen Orten durchgeführt. Damit unterscheidet sich die Dauer der Datenerhebung deutlich. Gleichzeitig erhöht sich die Komplexität der Aufbereitung, da eine Vielzahl von Datensätzen entsteht und teilweise zu unterschiedlichen Zeiten am selben Ort gezählt wurde. Zählstellen, bei denen für jeden Tag des gesamten Jahres 2023 Daten erhoben wurden, liegen ebenso vor, wie andere, die nur in einer bestimmten Jahreszeit (Sommer) oder für bestimmte Ereignisse aktiv oder wegen Baustellen temporär inaktiv waren. Zähldauer und Zählzeitpunkt haben selbstredend Einfluss auf die Verkehrszählungen.

Die Datenaufbereitung erfolgte hauptsächlich in MS Excel, vereinzelt mit Hilfe eines Python-Skripts.

Zählstellenverortung

Mit der Verortung einer Zählstelle ist die eindeutige Zuordnung zu einer Strecke des NPVM gemeint. Dabei war es wichtig, die richtige Zuordnung der Fahrtrichtung einer Zählstelle auf die entsprechende Streckenrichtung in der Visum-Software zu treffen. Die Strecken sind über Von-Knoten-Nr. und Nach-Knoten-Nr. richtungsbezogen identifizierbar.

Es wurde geprüft, ob für eine Datenquelle ein Teil der Zählstellen bereits aus früheren Projekten im NPVM verortet ist. In diesem Fall entfallen die folgenden Schritte.

Meist lag für jede Quelle eine Datei mit Metadaten vor, in der die Zählstellen und ihre Koordinaten und weitere Informationen aufgeführt werden (Geolokalisierung). Gab es keine solche Metadaten-Datei mussten die Informationen aufwändig aus verschiedenen Dateien zusammengestellt werden. Je nach Datenquelle erfolgte dies meist durch Import eines Punkt- oder Strecken-Features als Hintergrund in Visum oder in seltenen Fällen durch Matching von Strassennamen.

Die Zuordnung der Zählstelle zu Strecke und Streckenrichtung im NPVM wurde, von wenigen Ausnahmen abgesehen, manuell durchgeführt. Besonders herausfordernd war diese Zuordnung an Rampen und Verkehrsknoten.

Im Verarbeitungsprozess wurde sowohl den Zählstellen als auch den Zählungen eine einzigartige ID als Kombination aus Datenquelle, Zählstellennummer und Richtung vergeben (ZST_ID_Ri_2023). Über diese ID erfolgte die Zuordnung.

Aufdatieren und Qualitätskontrolle

Falls notwendig (Zähldaten aus 2022 oder 2021) wurden die Daten mit Hilfe eines Faktors auf 2023 hochgerechnet:

Die Hochrechnung von Werten aus 2022 auf 2023 erfolgte mit globalen Wachstumsraten, die aus den Zähldaten des ASTRA abgeleitet wurden (Wachstum 2022-2023, schweizweit):

- DWV: + 1.58%
- DTV: + 1.39%

Da nur für zwei Kantone Zählwerte aus 2021 vorlagen, erfolgte die Hochrechnung von Werten aus 2021 auf 2023 mit kantonalen Wachstumsraten. So wurden die Zählstellen des Kantons Jura mit Faktoren hochgerechnet, die aus dem Mittel der ASTRA-Zählstellen im Kanton Jura abgeleitet wurden, wobei die Autobahn A16 (mit hohem Anteil an Durchgangsverkehr) als Ausreisser ausgenommen wurde. Analog wurde für die Zählstellen des Kantons St.-Gallen verfahren. Dabei wurden folgende Werte angewandt (Wachstum 2021-2023):

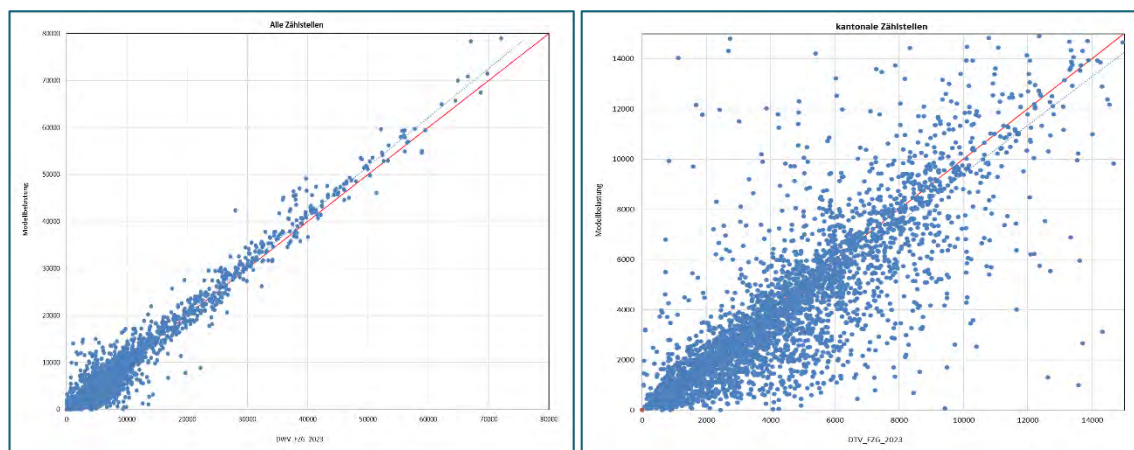
Tabelle 21: Wachstumsfaktoren

in %	JU	SG
DWV	+ 6.77	+ 5.87
DTV	+ 7.86	+ 7.36

Für den Veloverkehr wurde aus den Daten des Kantons Basel-Stadt ein Wachstumsfaktor abgeleitet. So nahmen die Veloverkehrsmengen von 2022 bis 2023 um 10% zu.

Zur Qualitätskontrolle wurden die erarbeiteten Zählwerte bei bekannten Zählstellen mit früheren Erhebungen verglichen. Gab es keinen früheren Wert, erfolgte die Überprüfung durch den Vergleich mit Modellbelastungen des NPVM 2017. Zusätzlich wurde durch eine Plausibilisierung der Fahrzeuganteile Ausreisser identifiziert. Die Verortung wurde durch den Abgleich mit Zählstellen aus anderen Projekten überprüft und bei Bedarf korrigiert. Zusätzlich wurden Dopplungen, also ASTRA-Zählstellen, die auch in den kantonalen Datensätzen enthalten sind, erkannt.

Beim Vergleich der Zähldaten mit der Modellbelastung des NPVM 2017 wurden 188 Zählstellen identifiziert, die auf Strecken liegen, die keine Belastung aufwiesen. Bei näherer Betrachtung waren diese Zählstellen meist falsch verortet. Die Verortung wurde in der Folge korrigiert. War die Korrektur bei einer Zählstelle nicht in vertretbarem Aufwand möglich, wurde diese mit einer «3» im Attribut «ZW_Qualiko_2023» markiert. Final weisen 29 Zählstellen eine «3» auf. Von diesen 29 Fällen ist an 13 Zählstellen das Netz im Modell gesperrt, obwohl die Zählstellen Verkehr ausweisen. Beispiele sind die Zufahrt zum Ort Zermatt und der kleine Grenzübergang «Douane de Chancy» im Kanton Genf. Die entsprechenden Strecken wurden teilweise im Modell geöffnet. In Zermatt blieb die Strecke geschlossen, da die Autofahrer in den autofreien Ferienort die lange Zugangszeit in Kauf nehmen müssen, was sich bei der Verkehrsmittelwahl auswirkt.



Links: alle Zählstellen; Rechts: kantonale Zählstellen

Abbildung 35: Qualitätskontrolle Zähldaten Strassenverkehr: Vergleich Modellbelastung 2017 mit Zählwert 2023 DWV

Als Ergebnis des Vergleichs mit der Modellbelastung des NPVM 2017 wurden zusätzlich diejenigen Zählstellen identifiziert, deren Zählwerte 50% unter bzw. 50% über der Modellbelastung lagen. Insgesamt wurden in diesem Zusammenhang 1'154 Zählstellen detektiert und mit einer «2» im Attribut «ZW_QualiKo_2023» gekennzeichnet (siehe Tabelle 22). Diese Zählstellen konnten nicht per se als fehlerhaft ausgeschlossen werden, da die grosse Abweichung von der Modellbelastung verschiedene Ursachen haben kann.

Theoretisch muss bei grossen Abweichungen kein Datenfehler vorliegen. Bei der stichprobenartigen Betrachtung war dies bei einigen Zählstellen der Fall. So hätten alle identifizierten Zählstellen einzeln überprüft werden müssen, dies war aus Aufwandsgründen leider nicht möglich. Das Attribut «ZW_QualiKo_2023» ist daher als Mass für die Unsicherheit des Zählwertes zu verstehen. Demnach sind 3'378 Zählwerte als zuverlässig zu bewerten («ZW_QualiKo_2023» = 1).

Tabelle 22: Qualitätswertung anhand Vergleichs mit Modellbelastung

ZW_Qualiko_2023	Bewertung	Anzahl ZST
1	Zuverlässig	3'378
2	Unsicher	1'154
3	Modellbelastung = 0	29

Eine zusätzliche Ausreisseranalyse verglich die Anteile der Fahrzeugtypen und detektierte Auffälligkeiten. Typischerweise war die Aufteilung zwischen den Fahrzeugtypen wie folgt:

Tabelle 23: Ausreisseranalyse: Anteile pro Fahrzeugtyp

Fahrzeugtyp	Als Ausreisser deklarierte Anteile pro Fahrzeugtyp
PW	> 85%
PWoMR	> 80%
MR	< 5%
LI	< 10%
LW	< 5%
LZ	< 3%

Die genaue Aufteilung ist selbstredend von der spezifischen Situation an der Zählstelle abhängig. Deshalb war eine auffällige Ausprägung lediglich ein Anhaltspunkt und genau zu prüfen. Ausserdem verzerrte die relative Betrachtung bei Zählstellen mit geringen absoluten Werten die Auswertung.

Für den PW sind 528 Zählstellen auffällig. Folgende 15 Beispiele stellen die Zählstellen mit dem geringsten PW-Anteil dar:

Tabelle 24: Zählstellen mit geringem PW-Anteil

Zählstelle	Name	Anteile						Beurteilung
		PW	PWoMR	MR	LI	LW	LZ	
ASTRA-262.2	SUSTENPASS MEIEN	56%	56%	32%	10%	1%	0%	PLAUSIBEL
ASTRA-260.1	FURKAPASS	56%	56%	29%	12%	2%	0%	PLAUSIBEL
ASTRA-263.1	NUFENENPASS	58%	58%	27%	10%	3%	2%	PLAUSIBEL
ASTRA-260.2	FURKAPASS	59%	59%	28%	11%	2%	0%	PLAUSIBEL
ZG-11_43.2	Sihlbrugg - Neuheim	60%	NaN	NaN	31%	8%	1%	UNPLAUSIBEL
ASTRA-264.2	KLAUSENPASS W	60%	60%	30%	8%	2%	0%	PLAUSIBEL
ASTRA-262.1	SUSTENPASS MEIEN	60%	60%	26%	12%	2%	0%	PLAUSIBEL
ASTRA-263.2	NUFENENPASS	61%	61%	27%	9%	3%	1%	PLAUSIBEL
ASTRA-261.1	OBERALPPASS W	61%	61%	22%	14%	2%	0%	PLAUSIBEL
ASTRA-261.2	OBERALPPASS W	62%	62%	22%	14%	2%	0%	PLAUSIBEL
ZH-4391.2	MARTHALEN	63%	NaN	NaN	8%	27%	1%	PLAUSIBEL
ASTRA-584.2	FURKASTRASSE	65%	65%	11%	19%	5%	0%	PLAUSIBEL
ZH-4391.1	MARTHALEN	65%	NaN	NaN	9%	26%	1%	PLAUSIBEL
ASTRA-264.1	KLAUSENPASS W	65%	65%	26%	7%	2%	0%	PLAUSIBEL
ASTRA-329.1	MURTEN	65%	65%	1%	20%	4%	9%	PLAUSIBEL
ASTRA-261.2	SUSTENPASS MEIEN	62%	62%	22%	14%	2%	0%	PLAUSIBEL

Bei den aufgeführten ASTRA-Zählstellen gehen die geringen PW-Anteile mit hohen MR- und LI-Anteilen einher. Lediglich die Zählstelle ASTRA-329.1 ist von hohen LI- und hohen LZ-Anteilen geprägt. Bei den kantonalen Zählstellen ist vor allem der hohe LI-Anteil auffällig.

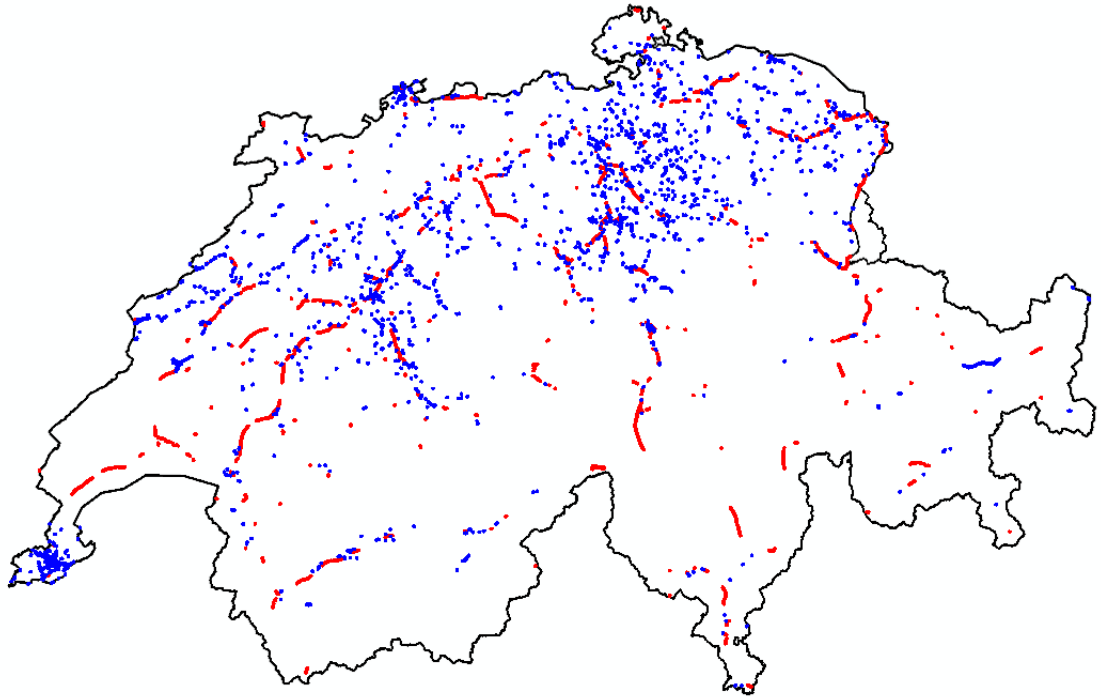
Die dargestellten Auffälligkeiten können bis auf die Zählstelle ZG-11_43.2 als «plausibel» bewertet werden. So sind die Zählstellen ASTRA-260, ASTRA-261, ASTRA-262, ASTRA-263 und ASTRA-264 allesamt Passstrecken, die sich durch ausgeprägten Freizeitverkehr auszeichnen, was die hohen Anteile von MR erklärt. Schwierig zu erklären sind die hohen LI-Anteile. Möglicherweise gründen sie in einer hohen Anzahl von Personenwagen mit Anhänger oder durch als Lieferwagen gezählte SUV oder Camping Cars. Obwohl diese nach Definition zwar den PW zugeordnet werden, ist eine Abgrenzung bei der Datenerhebung durch die Zähltechnik nicht immer sauber möglich. Die hohen LI-Anteile der Zählstellen ASTRA-329 und ZH-4391.2 sind ebenfalls nicht unplausibel.

Dagegen weist die Zählstelle ZG-11_43.2 einen nicht erklärbar hohen LI-Anteil auf. Zudem liegt der LI-Anteil in der Gegenrichtung nicht auf ähnlichem Niveau. Letztendlich wurden bei fünf Zählstellen die LI-Werte aufgrund der Ausreiseranalyse nicht übernommen. Die Zählstelle blieb jedoch erhalten mit den nicht nach Fahrzeugtyp differenzierten Zählwerten.

Die Gegenüberstellung von DWV und DTV an den Zählstellen, für die beide Werte vorliegen, ergab sich für das Verhältnis DTV zu DWV eine Spannweite von 63 bis 201%. Der Median liegt bei 92% des DWV. Bei genauerer Untersuchung erwiesen sich aber auch die Extremwerte als plausibel, da es sich um geringe absolute Abweichungen handelt.

7.3.2 Zählensatz Strassenverkehr

Insgesamt sind 4'855 Zählstellen mit einem DWV>0 im Strassenverkehr ins Netzmodell integriert worden. Diese können für die Kalibration der Umlegung verwendet werden. Einige Netzbereiche, die in früheren Editionen des NPVM unzureichend mit Zählwerten abgedeckt waren, sind für 2023 deutlich besser mit Daten abgedeckt. Dazu gehören z.B. im Allgemeinen die Romandie sowie grosse Städte wie Zürich oder Genf.



Legende: Rot = ASTRA, Blau = Kantone oder Städte

Abbildung 36: Karte der Zählstellen des Strassenverkehrs

8 Integration der Strukturdaten

Die übergebenen Strukturdaten wurden ins Nachfragemodell eingelesen. Eine Überprüfung der eingelesenen Daten ergab keine Abweichung zu den übergebenen Strukturdaten.

Die folgende Tabelle zeigt die übergebenen und eingelesenen Strukturdaten. Manche Attribute mussten für das Nachfragemodell noch berechnet werden, andere Daten wurden nicht eingelesen, weil sie für das Nachfragemodell irrelevant sind, wieder andere Daten wurden der Vollständigkeit halber eingelesen, obwohl auch sie für das Nachfragemodell irrelevant sind. Eine farbliche Markierung weist auf diese Unterschiede hin.

Tabelle 25: verwendete Strukturdaten NPVM 2023

No	Attribut	Beschreibung
1	ID_NPVM	Zonen-ID NPVM
2	ID_GEM_2023	BFS Gemeindenummer Stand 1.1.2023
3	N_GEM_2023	BFS Gemeindename Stand 1.1.2023
4	ID_SL3_2020	BFS Stadt-Land-Typologie 3 Nummer Definition 2020
5	N_SL3_2020	BFS Stadt-Land-Typologie 3 Name Definition 2020
6	ID_GEMTYP9_2020	BFS Gemeindetypologie 9 Nummer Definition 2020
7	N_GEMTYP9_2020	BFS Gemeindetypologie 9 Nummer Definition 2020
8	ID_KT	BFS Kantonsnummer
9	N_KT	BFS Kantonsname
10	ID_AGGLO_2020	BFS Agglomerationsnummer Definition 2020
11	N_AGGLO_2020	BFS Agglomerationsname Definition 2020
12	ID_AMR_2020	BFS Arbeitsmarktregionnummer Definition 2020
13	N_AMR_2020	BFS Arbeitsmarktregionname Definition 2020
14	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_E_E)	Anzahl Arbeitsplätze (einfach, effektiv Beschäftigte)
15	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_E_M)	Anzahl Arbeitsplätze (qualifiziert, effektiv Beschäftigte)
16	grenzgaenger	Anzahl Grenzgänger (effektiv Beschäftigte)
17	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_BES)	Anzahl Arbeitsplätze (effektiv Beschäftigte) inkl. Grenzgänger
18	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_EINKOMMEN)	Durchschnittliches Einkommen je Zone
19	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R)	Anzahl Einwohner
20	RE_E	Anzahl Erwerbstätige (einfach)
21	RE_M	Anzahl Erwerbstätige (qualifiziert)
22	RE	Anzahl Erwerbstätige (total)
23	WERTSTRUKTURGROESSE(SGFH_BES)	Anzahl Arbeitsplätze (effektiv Beschäftigte) inkl. Grenzgänger
24	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_LEBENSALTER)	Durchschnittsalter je Zone
25	ANZPERSONEN(R_0017_CARNOTC)	Bevölkerung nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
26	ANZPERSONEN(R_1824_CARNOTC)	
27	ANZPERSONEN(R_2544_CARNOTC)	
28	ANZPERSONEN(R_4564_CARNOTC)	
29	ANZPERSONEN(R_6574_CARNOTC)	
30	ANZPERSONEN(R_75XX_CARNOTC)	
31	ANZPERSONEN(R_0017_CARTC)	Bevölkerung nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
32	ANZPERSONEN(R_1824_CARTC)	
33	ANZPERSONEN(R_2544_CARTC)	
34	ANZPERSONEN(R_4564_CARTC)	
35	ANZPERSONEN(R_6574_CARTC)	
36	ANZPERSONEN(R_75XX_CARTC)	
37	ANZPERSONEN(R_0017_NOCNOTC)	Bevölkerung nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
38	ANZPERSONEN(R_1824_NOCNOTC)	
39	ANZPERSONEN(R_2544_NOCNOTC)	

No	Attribut	Beschreibung
40	ANZPERSONEN(R_4564_NOCNOTC)	Bevölkerung nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
41	ANZPERSONEN(R_6574_NOCNOTC)	
42	ANZPERSONEN(R_75XX_NOCNOTC)	
43	ANZPERSONEN(R_0017_NOCTC)	
44	ANZPERSONEN(R_1824_NOCTC)	
45	ANZPERSONEN(R_2544_NOCTC)	
46	ANZPERSONEN(R_4564_NOCTC)	
47	ANZPERSONEN(R_6574_NOCTC)	
48	ANZPERSONEN(R_75XX_NOCTC)	Erwerbstätige nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
49	ANZPERSONEN(RE_0017_CARNOTC)	
50	ANZPERSONEN(RE_1824_CARNOTC)	
51	ANZPERSONEN(RE_2544_CARNOTC)	
52	ANZPERSONEN(RE_4564_CARNOTC)	
53	ANZPERSONEN(RE_6574_CARNOTC)	
54	ANZPERSONEN(RE_75XX_CARNOTC)	
55	ANZPERSONEN(RE_0017_CARTC)	Erwerbstätige nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
56	ANZPERSONEN(RE_1824_CARTC)	
57	ANZPERSONEN(RE_2544_CARTC)	
58	ANZPERSONEN(RE_4564_CARTC)	
59	ANZPERSONEN(RE_6574_CARTC)	
60	ANZPERSONEN(RE_75XX_CARTC)	
61	ANZPERSONEN(RE_0017_NOCNOTC)	Erwerbstätige nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
62	ANZPERSONEN(RE_1824_NOCNOTC)	
63	ANZPERSONEN(RE_2544_NOCNOTC)	
64	ANZPERSONEN(RE_4564_NOCNOTC)	
65	ANZPERSONEN(RE_6574_NOCNOTC)	
66	ANZPERSONEN(RE_75XX_NOCNOTC)	
67	ANZPERSONEN(RE_0017_NOCTC)	Erwerbstätige nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
68	ANZPERSONEN(RE_1824_NOCTC)	
69	ANZPERSONEN(RE_2544_NOCTC)	
70	ANZPERSONEN(RE_4564_NOCTC)	
71	ANZPERSONEN(RE_6574_NOCTC)	
72	ANZPERSONEN(RE_75XX_NOCTC)	
73	ANZPERSONEN(RE_E_0017_CARNOTC)	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
74	ANZPERSONEN(RE_E_1824_CARNOTC)	
75	ANZPERSONEN(RE_E_2544_CARNOTC)	
76	ANZPERSONEN(RE_E_4564_CARNOTC)	
77	ANZPERSONEN(RE_E_6574_CARNOTC)	
78	ANZPERSONEN(RE_E_75XX_CARNOTC)	
79	ANZPERSONEN(RE_E_0017_CARTC)	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
80	ANZPERSONEN(RE_E_1824_CARTC)	
81	ANZPERSONEN(RE_E_2544_CARTC)	
82	ANZPERSONEN(RE_E_4564_CARTC)	
83	ANZPERSONEN(RE_E_6574_CARTC)	
84	ANZPERSONEN(RE_E_75XX_CARTC)	
85	ANZPERSONEN(RE_E_0017_NOCNOTC)	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
86	ANZPERSONEN(RE_E_1824_NOCNOTC)	
87	ANZPERSONEN(RE_E_2544_NOCNOTC)	
88	ANZPERSONEN(RE_E_4564_NOCNOTC)	
89	ANZPERSONEN(RE_E_6574_NOCNOTC)	
90	ANZPERSONEN(RE_E_75XX_NOCNOTC)	
91	ANZPERSONEN(RE_E_0017_NOCTC)	Erwerbstätige (einfach) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
92	ANZPERSONEN(RE_E_1824_NOCTC)	
93	ANZPERSONEN(RE_E_2544_NOCTC)	

No	Attribut	Beschreibung
94	ANZPERSONEN(RE_E_4564_NOCTC)	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
95	ANZPERSONEN(RE_E_6574_NOCTC)	
96	ANZPERSONEN(RE_E_75XX_NOCTC)	
97	ANZPERSONEN(RE_M_0017_CARNOTC)	
98	ANZPERSONEN(RE_M_1824_CARNOTC)	
99	ANZPERSONEN(RE_M_2544_CARNOTC)	
100	ANZPERSONEN(RE_M_4564_CARNOTC)	
101	ANZPERSONEN(RE_M_6574_CARNOTC)	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
102	ANZPERSONEN(RE_M_75XX_CARNOTC)	
103	ANZPERSONEN(RE_M_0017_CARTC)	
104	ANZPERSONEN(RE_M_1824_CARTC)	
105	ANZPERSONEN(RE_M_2544_CARTC)	
106	ANZPERSONEN(RE_M_4564_CARTC)	
107	ANZPERSONEN(RE_M_6574_CARTC)	
108	ANZPERSONEN(RE_M_75XX_CARTC)	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
109	ANZPERSONEN(RE_M_0017_NOCTC)	
110	ANZPERSONEN(RE_M_1824_NOCTC)	
111	ANZPERSONEN(RE_M_2544_NOCTC)	
112	ANZPERSONEN(RE_M_4564_NOCTC)	
113	ANZPERSONEN(RE_M_6574_NOCTC)	
114	ANZPERSONEN(RE_M_75XX_NOCTC)	Erwerbstätige (qualifiziert) nach Altersklasse, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
115	ANZPERSONEN(RE_M_0017_NOCNOTC)	
116	ANZPERSONEN(RE_M_1824_NOCNOTC)	
117	ANZPERSONEN(RE_M_2544_NOCNOTC)	
118	ANZPERSONEN(RE_M_4564_NOCNOTC)	
119	ANZPERSONEN(RE_M_6574_NOCNOTC)	
120	ANZPERSONEN(RE_M_75XX_NOCNOTC)	Schüler am Wohnort (Primar und Sekundar I)
121	R_pupils	
122	R_06_24	Bevölkerung 6 bis 24 Jahre
123	ANZPERSONEN(R_pupils_CAR)	Schüler, PW verfügbar
124	ANZPERSONEN(R_pupils_NOCTC)	Schüler, kein PW verfügbar, mit ÖV-Abonnement (GA oder Verbund)
125	ANZPERSONEN(R_pupils_NOCNOTC)	Schüler, kein PW verfügbar, kein ÖV-Abonnement
126	R_students	Studierende am Wohnort (Hochschulen)
127	R_18_44	Bevölkerung 18 bis 44 Jahre
128	ANZPERSONEN(R_students_CAR)	Studierende, PW verfügbar
129	ANZPERSONEN(R_students_NOC)	Studierende, kein PW verfügbar
130	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R_CARAVBL)	Bevölkerung, PW verfügbar
131	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R_HT)	Anzahl Halbtax
132	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R_GATC)	Anzahl GA
133	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R_LTC)	Anzahl Verbund-Abonnemente
134	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R_LTC_HT)	Anzahl Personen mit Halbtax und Verbundsabonnement
135	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_R_NOTC)	Anzahl Personen ohne Abo
136	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_MAENNERANTEIL)	Bevölkerung, Anteil männlich
137	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_sales)	Besucher pro Tag Einkaufen
138	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_sales_st)	Besucher pro Tag Einkaufen kurzfristiger Bedarf
139	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_sales_lt)	Besucher pro Tag Einkaufen langfristiger Bedarf
140	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_NatureReserve)	Besucher pro Tag
141	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Theatre)	Besucher pro Tag
142	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Cinema)	Besucher pro Tag
143	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Library)	Besucher pro Tag
144	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Museum)	Besucher pro Tag
145	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_histBuilding)	Besucher pro Tag

No	Attribut	Beschreibung
146	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Sports)	Besucher pro Tag
147	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Fitness)	Besucher pro Tag
148	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Gastronomy)	Besucher pro Tag
149	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Bar_Disco)	Besucher pro Tag
150	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Hotels)	Besucher pro Tag
151	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Hospital)	Besucher pro Tag
152	airport_passengers	Flughafenpassagiere pro Tag
153	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Cableway_car)	Besucher pro Tag
154	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Culture)	Besucher pro Tag (Summe Nr. 132-137)
155	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Leisure)	Besucher Freizeit (Summe)
156	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_VISITORS_Total)	Besucher pro Tag (Summe Culture, Leisure, Hospital)
157	SingVE	Typisierung singulärer Verkehrserzeuger 1 kein SVE 2 Einkauf 3 Freizeit 4 Flughafen
158	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_pupils_I)	Schulplätze Primar und Sekundar I
159	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_pupils_II)	Schulplätze Sekundar II
160	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_E_A)	Auszubildendenplätze
161	scl_e_a	Schulplätze Berufsbildung
162	WERTSTRUKTURGROESSE(SG_students)	Studienplätze
163	W_1864	Bevölkerung 18 bis 64 Jahre
164	R_0017	Bevölkerung 0 bis 17 Jahre
165	R_1824	Bevölkerung 18 bis 24 Jahre
166	R_2544	Bevölkerung 25 bis 44 Jahre
167	R_4564	Bevölkerung 45 bis 64 Jahre
168	R_6574	Bevölkerung 65 bis 74 Jahre
169	R_75plus	Bevölkerung über 74 Jahre
170	RE_0017	Anzahl Erwerbstätige 0 bis 17 Jahre
171	RE_1824	Anzahl Erwerbstätige 18 bis 24 Jahre
172	RE_2544	Anzahl Erwerbstätige 25 bis 44 Jahre
173	RE_4564	Anzahl Erwerbstätige 45 bis 64 Jahre
174	RE_6574	Anzahl Erwerbstätige 65 bis 74 Jahre
175	RE_75plus	Anzahl Erwerbstätige über 74 Jahre
176	Empl_1	Anzahl Arbeitsplätze agriculture
177	Empl_2	Anzahl Arbeitsplätze production
178	Empl_3	Anzahl Arbeitsplätze wholesale
179	Empl_4	Anzahl Arbeitsplätze retail
180	Empl_5	Anzahl Arbeitsplätze gastronomy
181	Empl_6	Anzahl Arbeitsplätze finance
182	Empl_7	Anzahl Arbeitsplätze services fC
183	Empl_8	Anzahl Arbeitsplätze other services
184	Empl_9	Anzahl Arbeitsplätze others
185	Empl_10	Anzahl Arbeitsplätze non movers
186	R_1844	Bevölkerung 18 bis 44 Jahre
187	R_1520	Bevölkerung 15 bis 20 Jahre
188	hh_1a	Einpersonenhaushalt
189	hh_pair	Paarhaushalt
190	hh_1a_c	Einelterhaushalt
191	hh_pair_c	Paarhaushalt mit Kindern
192	hh_multi	Haushalt mit mehreren Personen
193	hflag_retire	Altersheime
194	hflag_border	Internate, Wohnheime

No	Attribut	Beschreibung
195	R_DE	Bevölkerung deutschsprechend
196	R_FR	Bevölkerung französischsprechend
197	R_IT	Bevölkerung italienischsprechend
198	R_RT	Bevölkerung rätoromanischsprechend
199	R_0612	Bevölkerung 6 bis 15 Jahre
200	R_1316	Bevölkerung 13 bis 16 Jahre
201	R_schueler_primar	Primarschüler
202	R_schueler_sek	Sekundarschüler (Sekundarschule I+II, inkl. Lehrlinge)
203	nr_of_scholars	Schulplätze/ Ausbildungsplätze
204	R_FTE	VZÄ
205	RE_e_a	Erwerbstätige Lehrlinge
206	RE_cb	Erwerbstätige Grenzgänger
207	nr_of_CH	Anzahl Schweizer
208	income_RE	Summiertes Einkommen Erwerbstätige
209	income_hh	Durchschnittliches Haushaltseinkommen je Zone
210	car_Benzin_klein	Auto nach Leistung und Antriebsart
211	car_Diesel_klein	Auto nach Leistung und Antriebsart
212	car_Hybrid_klein	Auto nach Leistung und Antriebsart
213	car_Elektrisch_klein	Auto nach Leistung und Antriebsart
214	car_HybridStecker_klein	Auto nach Leistung und Antriebsart
215	car_sonstige_klein	Auto nach Leistung und Antriebsart
216	car_Benzin_mittel	Auto nach Leistung und Antriebsart
217	car_Diesel_mittel	Auto nach Leistung und Antriebsart
218	car_Hybrid_mittel	Auto nach Leistung und Antriebsart
219	car_Elektrisch_mittel	Auto nach Leistung und Antriebsart
220	car_HybridStecker_mittel	Auto nach Leistung und Antriebsart
221	car_sonstige_mittel	Auto nach Leistung und Antriebsart
222	car_Benzin_gross	Auto nach Leistung und Antriebsart
223	car_Diesel_gross	Auto nach Leistung und Antriebsart
224	car_Hybrid_gross	Auto nach Leistung und Antriebsart
225	car_Elektrisch_gross	Auto nach Leistung und Antriebsart
226	car_HybridStecker_gross	Auto nach Leistung und Antriebsart
227	car_sonstige_gross	Auto nach Leistung und Antriebsart
228	R_DrivingLicence	Anzahl Führerscheine
229	ANZPERSONEN(R_W_0017_CAR)	Bevölkerung Weiblich 0 bis 17 Jahre mit Autoverfügbarkeit
230	ANZPERSONEN(R_W_1824_CAR)	Bevölkerung Weiblich 18 bis 24 Jahre mit Autoverfügbarkeit
231	ANZPERSONEN(R_W_2544_CAR)	Bevölkerung Weiblich 25 bis 44 Jahre mit Autoverfügbarkeit
232	ANZPERSONEN(R_W_4564_CAR)	Bevölkerung Weiblich 45 bis 64 Jahre mit Autoverfügbarkeit
233	ANZPERSONEN(R_W_6574_CAR)	Bevölkerung Weiblich 65 bis 74 Jahre mit Autoverfügbarkeit
234	ANZPERSONEN(R_W_74XX_CAR)	Bevölkerung Weiblich > 74 Jahre mit Autoverfügbarkeit
235	ANZPERSONEN(R_M_0017_CAR)	Bevölkerung Männlich 0 bis 17 Jahre mit Autoverfügbarkeit
236	ANZPERSONEN(R_M_1824_CAR)	Bevölkerung Männlich 18 bis 24 Jahre mit Autoverfügbarkeit
237	ANZPERSONEN(R_M_2544_CAR)	Bevölkerung Männlich 25 bis 44 Jahre mit Autoverfügbarkeit

No	Attribut	Beschreibung
238	ANZPERSONEN(R_M_4564_CAR)	Bevölkerung Männlich 45 bis 64 Jahre mit Autoverfügbarkeit
239	ANZPERSONEN(R_M_6574_CAR)	Bevölkerung Männlich 65 bis 74 Jahre mit Autoverfügbarkeit
240	ANZPERSONEN(R_M_74XX_CAR)	Bevölkerung Männlich > 74 Jahre mit Autoverfügbarkeit
241	FTE	VZÄ
242	FTE_E	einfache VZÄ
243	FTE_M	qualifizierte VZÄ
244	FTE_e_a	VZÄ Lehrlinge
245	Bike_ownership	Fahrradbesitz
246	Bike25_ownership	E-Bike 25kmh Besitz
247	Bike45_ownership	E-Bike 45kmh Besitz
248	bike_E_ownership	E-Bike-Besitz (Summe e25+e45)
249	HH_with_car	Alle Haushalte mit mind. 1 Auto
250	HH_with_1car	Haushalte mit 1 Auto
251	HH_with_2cars	Haushalte mit 2 Autos
252	HH_with_3cars	Haushalte mit 3 Autos
253	HO_Bes	HomeOffice-taugliche Arbeitsplätze
254	HO_share_RE	Anteil Erwerbstätige mit HomeOffice-tauglichem Arbeitsplatz
255	VALSTRUCTURALPROP(SGFH_HOTELS)	identisch zu Attribut VALSTRUCTURALPROP(SG_VISITORS_HOTELS), analog dem Vorgehen in 2017+
256	VALSTRUCTURALPROP(SGFH_R)	identisch zu Attribut VALSTRUCTURALPROP(SG_R), analog dem Vorgehen in 2017+
257	VALSTRUCTURALPROP(SG_R_CAROWNER)	Summe der Attribute 210 bis 227
258	VALSTRUCTURALPROP(SG_R_BIKEOWN)	Quotient der Attribute Bike_ownership und NUMPERSONS(R)
259	VALSTRUCTURALPROP(SG_R_EBIKEOWN)	Quotient der Attribute bike_E_ownership und NUMPERSONS(R)
260	NUMPERSONS(AIRPORT_PASSENGERS)	identisch zu Attribut AIRPORT_PASSENGERS
261	NUMPERSONS(R)	identisch zu Attribut VALSTRUCTURALPROP(SG_R)
262	VALSTRUCTURALPROP(SG_PRKKSTN)	Übernahme der Werte vom Stand 2017+, weil die SP-Schätzung für 2017 durchgeführt wurde
263	VALSTRUCTURALPROP(SG_PSUCHZ)	Übernahme der Werte vom Stand 2017+, weil die SP-Schätzung für 2017 durchgeführt wurde

Legende:

- direkte Übernahme der Werte vom ARE
- keine Übernahme der Werte, da für die Berechnung nicht erforderlich
- Übernahme der Werte, obwohl für Berechnung nicht direkt erforderlich
- Berechnung der Attribute aus übergebenen Werten
- Übernahme der Werte vom Stand 2017+

9 Finanzielle Kosten in der Ziel- und Moduswahl

Im NPVM werden für MIV und ÖV distanzabhängige Kilometerkosten in Rp./Km bei der Bewertung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl berücksichtigt. Die Bestimmung der Kostensätze wurde methodisch im Rahmen der Erstellung des NPVM 2017 (ARE, 2020) etabliert und im Projekt zu den schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 (ARE, 2022) weiterentwickelt. Auf diesen Grundlagen, die insbesondere in ARE (2020) im Kapitel 2.3 beschrieben sind, basiert die Aktualisierung der Kostensätze für das NPVM 2023.

Ausgangspunkt für die Aktualisierung der MIV-Kosten bildet das sogenannte Kostentool, welches in den Verkehrsperspektiven 2050 (ARE, 2022) entwickelt wurde und online verfügbar ist (ARE, 2022a). Neben der Aktualisierung von Datengrundlagen innerhalb des Tools erfolgte eine strukturelle Erweiterung mittels einer stärkeren Ausdifferenzierung nach PW-Antriebstypen. Im ÖV resultieren aktualisierte Kostensätze u.a. aus der Integration des ÖV-Angebotsmodell 2023 (siehe Kapitel 4). Relevant für die Kostenentwicklung beider Verkehrsmittel ist die Verwendung der Strukturdatentabelle mit Stand 2022. Aus den Strukturdaten leitet sich für den MIV die Anzahl an PW nach Verkehrszone und Antriebstyp ab, im ÖV nimmt die Verteilung des Abo-Besitzes je Verkehrszone Einfluss auf die Berechnung gewichteter Kostensätze je Relation.

Im Ergebnis liegen für MIV und ÖV jeweils Kostenmatrizen vor, welche Eingang in die Berechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl finden.

9.1 Aktualisierung MIV-Kostentool

Nachfolgend sind die aktualisierten Datengrundlagen mit Stand 2023 aufgeführt, jeweils mit Angaben zu Quelle, Ausdifferenzierung und ihrer Verortung im Kostentool.

Strukturdaten 2022: Die Strukturdatentabelle, wie sie im Nachfragemodell Verwendung findet, ist auch im Kostentool abgelegt («STD_2022_20240415»). Die relevanten Daten (Anzahl PW nach Antriebs- und Grössenklasse) sind für die weiteren Berechnungen verlinkt. Es erfolgt eine differenzierte Ermittlung der Kilometerkosten für 18 Klassen (nach Antrieb und Grösse). Die Unterscheidung in klein, mittel und gross ist über eine Eingruppierung nach Leistung (in kW) umgesetzt, mit klein (< 80 kW), mittel (≥ 80 und < 150 kW) und gross (≥ 150 kW). Die Strukturdaten weisen in Summe 4.894 Mio. PW aus; aus den Strukturdaten wird u.a. der im Weiteren im Tool genutzte Flottenmix ermittelt («B_Berechnung Flottenmix_1»), also die PW-Anzahl nach den 18 Klassen (siehe Tabelle 26).

- **Jahresfahrleistungen:** Aus der Gesamtenergiestatistik 2022 des BFE (BFE, 2023) wurden mittlere PW-Jahresfahrleistungen übernommen und unter Nutzung des MZMV 2015 gemäss den Antriebs- und Grössenklassen ausdifferenziert («G_Fahrleistung_Jährlich»).
- **Anschaffungskosten und Durchschnittsverbräuche:** Setzungen auf Grundlage der TCS-Fahrzeugtabelle sowie punktuellen Anpassungen gemäss Rückmeldungen des BFE. Die Bandbreite bei den Anschaffungskosten liegt zwischen 21590 CHF (Hybrid, klein) und 85000 CHF (Elektro, gross); bei den Verbräuchen (Treibstoff pro 100km) zwischen 4.9 Litern (Diesel, klein) und 10.3 Litern (Benzin, gross).
- **Kostenbausteine:** Im Tool im «B_Entwicklung Kostenbausteine» werden eine Vielzahl von Annahmen und Parametern gesetzt, um die Kilometerkosten für die 18 Klassen zu bestimmen. Die wichtigsten Referenzen zu deren Aktualisierung sind Inputs seitens des BFE sowie die TCS-Datenbank. Nachstehend sind die wichtigsten Annahmen aufgeführt:
- **Treibstoff- und Strompreis:** Benzin 1.86 CHF/l, Diesel 1.92 CHF/l, Strom 0.3679 CHF/kWh
- **ICCT-Aufschlag:** 21% (Aufschlag auf den Treibstoff- und Energieverbrauch für alle Fahrzeuge ausser PHEV, aufgrund der Abweichung zwischen Norm- und Realverbrauch, in Anlehnung an Berechnungen des BFE)

- **PHEV-Aufschlag:** 250% (Aufschlag auf den Treibstoffverbrauch von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen, in Anlehnung an Abschätzungen des ICCT/BFE)
- **Wertverlust in CHF/100km:** Annahme eines 2%igen Wertverlust unter Einbezug des Anschaffungspreis und der jährlichen Fahrleistung (unveränderte Annahme zum NPVM 2017)
- **Erhaltung in CHF/100km:** Neuberechnung und spezifische Kosten je Klasse unter Einbezug der Jahresfahrleistung und einer Pflegepauschale (angepasst gemäss TCS, siehe «TCS_Erhalt_Reifen»)
- **Reifen:** Neuberechnung und spezifische Kosten je Klasse unter Einbezug der Jahresfahrleistung und einer Pauschale für Lagerung/Wechsel (angepasst gemäss TCS, siehe «TCS_Erhalt_Reifen»)

Als Resultat aus den Setzungen können im Tool durchschnittliche Kilometerkosten für die 18 Klassen ermittelt werden, wie folgt:

Tabelle 26: KM-Kosten und Flottenanteile

Klasse		Kosten (Rp./Km)	Flottenanteil
BENZIN_KLEIN	B_K	25.4	19.8%
BENZIN_MITTEL	B_M	29.7	31.5%
BENZIN_GROSS	B_G	46.1	11.6%
DIESEL_KLEIN	D_K	21.3	2.6%
DIESEL_MITTEL	D_M	26.8	21.2%
DIESEL_GROSS	D_G	37.4	4.2%
ELEKTRISCH_KLEIN	E_K	22.6	0.2%
ELEKTRISCH_MITTEL	E_M	23.6	1.0%
ELEKTRISCH_GROSS	E_G	32.1	1.3%
HYBRID_KLEIN	H_K	22.7	1.8%
HYBRID_MITTEL	H_M	27.2	2.2%
HYBRID_GROSS	H_G	40.1	0.9%
HYBRIDSTECKER_KLEIN	HS_K	25.4	0.1%
HYBRIDSTECKER_MITTEL	HS_M	28.1	0.8%
HYBRIDSTECKER_GROSS	HS_G	34.6	0.5%
SONSTIGE_KLEIN	S_K	25.4	0.1%
SONSTIGE_MITTEL	S_M	29.6	0.2%
SONSTIGE_GROSS	S_G	45.9	0.01%
GESAMTE FLOTTE		30.1	

Im Tool wurden auf Basis dieser Informationen spezifische Kilometerkosten für jede NPVM-Verkehrszone berechnet. Dazu wurde die Anzahl PW pro Klasse und Verkehrszone mit der mittleren Jahresfahrleistung multipliziert (siehe (D) in der nachfolgenden Abbildung). Diese Gesamtleistung wurde mit den durchschnittlichen Kostensätzen der Grössen- und Antriebsklasse (siehe (E) in nachfolgender Abbildung) multipliziert. Abschliessend wird die Summe der Kosten (E) durch die Summe der Leistung (D) dividiert. Ein Beispiel für die Verkehrszone 401003 (Hausen am Albis) verdeutlicht dieses Vorgehen.

Tabelle 27: Beispielrechnung (Hausen am Albis) KM-Kosten MIV

Klasse	A	B	C	D	E	
	Kosten (Rp./Km)	Anzahl	Jahresfahrleistung	B * C	D * A	E / D
B_K	25.4	197	9'186	1'812'685	46'116'587	
B_M	29.7	272	10'922	2'973'185	88'405'617	
B_G	46.1	128	11'173	1'426'128	65'764'046	
D_K	21.3	25	13'757	348'519	7'426'878	
D_M	26.8	199	14'959	2'975'522	79'815'456	
D_G	37.4	38	17'153	656'516	24'542'510	
E_K	22.6	4	9'755	38'133	862'052	
E_M	23.6	26	11'599	298'416	7'048'057	
E_G	32.1	28	11'866	330'811	10'629'153	
H_K	22.7	14	10'572	151'218	3'435'589	
H_M	27.2	10	12'571	127'620	3'472'867	
H_G	40.1	0	12'860	-	-	
HS_K	25.4	0	12'769	-	-	
HS_M	28.1	9	13'885	124'961	3'517'395	
HS_G	34.6	12	15'921	187'679	6'502'673	
S_K	25.4	8	9'333	75'511	1'915'391	
S_M	29.6	1	11'097	10'087	298'885	
S_G	45.9	0	11'352	-	-	
		971		11'536'993	349'753'156	30.3

Im Beispiel führt die Gewichtung über die Anzahl der PW nach Klasse und die Jahresfahrleistung zu einem durchschnittlichen Kostensatz von 30.3 Rp./Km. Im Mittel über alle Verkehrszonen ergeben sich für das NPVM 2023 Kosten von 30.1 Rp./Km (Minimum: 21.3, Maximum: 46.1).

Als Ergebnis liegt ein zonenspezifischer Vektor mit Kosten in Rp./Km vor («EXPORT_2023»), der als Zonenattribut dient und in Multiplikation mit den relationsspezifischen Distanzen im Nachfragemodell zu den effektiven Kosten jeder Relation führt.

Zusätzlich zu den distanzabhängigen Kilometerkosten wurde im NPVM ein sogenannter «Grundaufwand» eingesetzt, der bei jeder PW-Fahrt anfällt, unabhängig von der Länge der Fahrt. Mit diesem Aufwand wird ein Anteil der jährlich anfallenden Kosten berücksichtigt, da diese bei den alltäglichen Entscheidungen der Ziel- und Verkehrsmittelwahl keine oder nur eine stark untergeordnete Rolle spielen (siehe ARE, 2020, Kapitel 2.3). Für das NPVM 2023 wurde, basierend auf den nachstehenden Aktualisierungen, ein Grundaufwand von 1.70 CHF ermittelt (gegenüber 1.54 CHF im NPVM 2017):

- **Versicherung:** 1'028 CHF/Jahr für einen mittleren PW (-25% für einen kleinen PW, +25% für einen grossen PW) (angepasst gemäss TCS-Datenbank)
- **Steuer:** 450 CHF/Jahr für PW mit Diesel/Benzin, 338 CHF/Jahr für Elektro/Hybrid (angepasst gemäss TCS-Datenbank)
- **Parken zu Hause:** 1'560 CHF/Jahr (angepasst gemäss TCS-Datenbank)
- **Vignette:** 40 CHF/Jahr (unverändert)

Der Grundaufwand von 1.70 CHF ist bei den Netzattributen hinterlegt und wird für jede Fahrt einmalig einbezogen.

9.2 Aktualisierung ÖV-Kosten

Die methodische Herleitung der ÖV-Kosten basiert auf der im NPVM 2017 dokumentierten Vorgehensweise (siehe ARE, 2020) und wurde für das NPVM 2023 unverändert übernommen. Dabei blieben wesentliche Grundlagen und Prämissen gleich:

- Die distanzabhängigen ÖV-Kosten werden für vier Tarifarten (GA, Verbund, Reduziert, Vollpreis) für die 2. Klasse ermittelt und auf Stufe der Verkehrszonen mit den Abo-Besitzraten gewichtet. Die distanzabhängigen Preise – sowohl Vollpreise als zum reduzierten Preis (Halbtax) – blieben unverändert, da sie den Stand 2023 abbilden und seit 2016 auf nationaler Ebene nicht angepasst wurden (die letzte Tarifierfassung vom 10.12.2023 fällt ausserhalb des betrachteten Zeitraumes und ist somit nicht relevant für den Zustand 2023).
- Weiterhin werden 23 Tarifzonen (Agglomerationen, Städte) davon separat betrachtet und für Wege innerhalb dieser Zonentarife angewendet.
- Es gilt, analog dem Grundaufwand im MIV, bei Besitz eines GA ein Mindesttarif von 3 CHF je ÖV-Weg.
- Hinsichtlich der Häufigkeit der Nutzung der einzelnen Abo-Typen wurde die bestehende Auswertung unverändert übernommen (ARE, 2020).

Änderungen im Vergleich mit 2017+ in den relationenspezifischen ÖV-Kosten gehen folglich allein zurück auf das aktualisierte ÖV-Angebotsmodell bzw. die damit verbundenen Fahrplanverbindungen sowie die Strukturdaten bzw. die Verfügbarkeit und räumliche Verteilung der ÖV-Abo-Typen.

Zur Berechnung der distanzabhängigen ÖV-Kostenmatrix wurde zunächst für jede Tarifart eine Matrix berechnet. Dabei wurde für die Diagonale sowie als Mindestwert 2.60 CHF («Kein Abo»), 2.00 CHF («Halbtax»), 3.00 CHF («GA») und für Distanzen bis 12 km innerhalb des Verbundes («Verbund») 3.00 CHF verwendet. Die weiteren Relationen der Matrix «Verbund» wurden mit dem Mittelwert aus Vollpreis und Halbtax ausgefüllt. Im Falle des GA («GA») wurde zudem distanzunabhängig ein pauschaler Wert von 3.00 CHF eingesetzt.

Anschliessend erfolgte eine Gewichtung unter Einbezug der Strukturdaten (Anzahl Abo-Typ pro Zone) sowie der Nutzungshäufigkeit der Abo-Typen nach Raumtyp.

Nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel für die Berechnung für eine Relation zwischen den Zonen Renens (VD) (559101016) und Saint-Aubin (FR) (204101001).

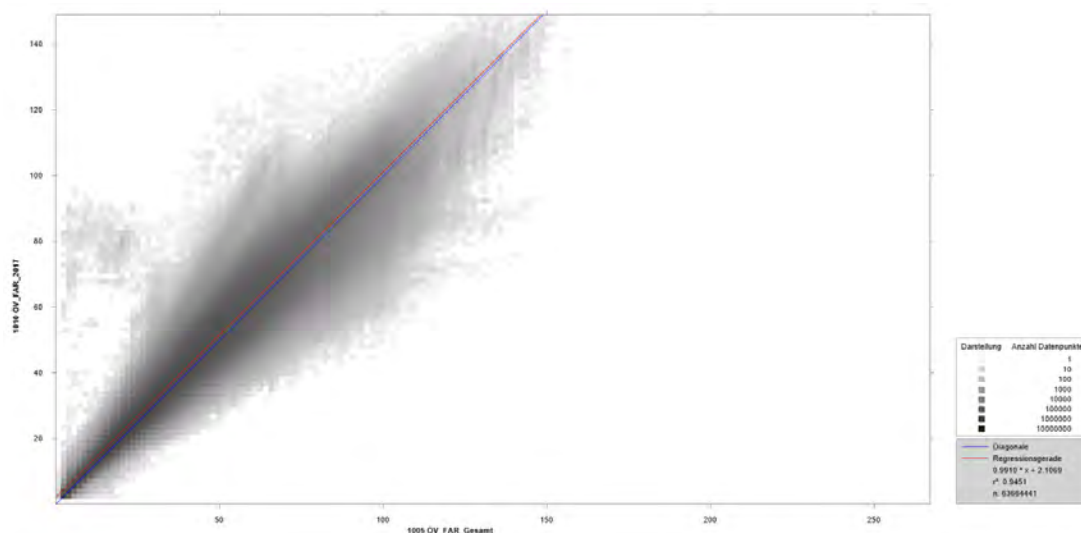
Tabelle 28: Beispielrechnung ÖV-Kosten je Relation

	Relation Renens (VD) --> Saint-Aubin (FR)					
		Halbtax	GA	Verbund	Kein Abo	Summe
Verteilung Abo-Besitz	A	180	33	191	559	964
Kosten je Tarifart in CHF	B	13.3	3.0	20.4	27.5	
Nutzungshäufigkeit in % (MZMV 2015, Raumtyp städtisch)	C	18.5%	24.1%	43.7%	13.8%	100%
Gewichtung mit Abo-Besitz	A * C	33	8	84	77	202
Gewicht-Anteil in %	$D = (A * C) / \sum (A * C)$	16.5%	3.9%	41.4%	38.2%	100.0%
Beitrag je Tarifart in CHF	$E = B * D$	2.2	0.1	8.4	10.5	
Mittlere Gesamtkosten für die Relation in CHF	$\sum E$					21.2

Gemäss der Strukturdaten für die Zone Renens (VD) verteilt sich die Verfügbarkeit der Abo-Typen gemäss Zeile A. Aus dem Angebotsmodell bzw. den hinterlegten Fahrpreisen ergeben sich die in Zeile B dargestellten Kosten für die Beispielrelation in CHF für Halbtax und kein Abo (= Vollpreis), die Kosten für Verbund leiten sich daraus ab, die Kosten für GA sind, wie oben aufgeführt, pauschal besetzt. Anschliessend erfolgt eine Gewichtung über

die empirische Nutzungshäufigkeit gemäss MZMV 2015 (Zeilen C, D); damit lässt sich ein Tarifbeitrag je Tarifart ermitteln, der in Summe zu mittleren Gesamtkosten von 21.20 CHF für die Relation führt. Dementsprechend sind die relativen ÖV-Kosten in einer Verkehrszone umso höher, je geringer der Anteil an Bewohnerinnen und Bewohnern mit GA, Halbtax oder Verbund-Abo ist – und umgekehrt.

Mit folgender Abbildung 37 wird ein Vergleich der Gesamtkostenmatrizen (Kürzel «FAR» in Visum) 2017/2017+ und 2023 vorgenommen. Es zeigen sich Änderungen in beide Richtungen, d.h. Relationen, die im Jahr 2017/2017+ günstiger waren und solche, die im Zustand 2023 einen niedrigeren Preis ausweisen als im Zustand 2017.



X-Achse: ÖV-Kostenmatrix NPVM 2023; Y-Achse: ÖV-Kostenmatrix NPVM 2017

Abbildung 37: Unterschiede FAR 2017 und 2023

Um eine Einschätzung darüber treffen zu können, inwiefern Angebotsänderungen oder die Strukturdaten die Änderungen begründen, wurde für eine zufällige Auswahl an Relationen für 2017 und 2023 jeweils der Vollpreis (Modell) und der Preis inkl. Gewichtung (FAR) gegenübergestellt, zudem ergänzt um die Angaben gemäss aktuellen SBB-Onlinepreisen (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29: Preisvergleich NPVM und SBB (online)

				NPVM					SBB	
Name	Nummer	Name	Nummer	FAR 2017	FAR 2023	diff	Vollpreis 2017	Vollpreis 2023	diff	Online-Vollpreis
Wädenswil	14201014	Zuchwil	253401004	26.4	29.2	-11%	43.5	42.6	2%	50.0
Chavannes-des-Bois	570801001	Jegenstorf	54001007	46.3	42.8	8%	54.0	55.3	-2%	58.4
Dielsdorf	8601003	Männedorf	15501010	11.8	11.4	3%	16.6	16.6	0%	15.6
Gossau (SG)	344301009	Rocourt	680301001	56.0	62.6	-12%	78.2	78.3	0%	100.6
Basel	270101133	Fällanden	19301003	29.6	29.2	1%	39.7	40.3	-1%	41.8
Prilly	558901005	Genève	662101028	17.1	18.2	-6%	22.9	22.4	2%	22.0
Bülach	5301007	Illnau-Effretikon	17401014	9.2	10.2	-11%	14.8	14.1	5%	11.2
Menzingen	170401002	Bremgarten (AG)	406301003	17.0	16.0	6%	23.6	21.9	7%	25.8
Porrentruy	680001001	Grandfontaine	679201001	7.2	6.3	12%	8.4	8.0	5%	9.4
Muri (AG)	423601001	Olten	258101004	10.8	12.1	-12%	17.6	17.7	0%	19.6
Toffen	88401002	Hasle bei Burgdorf	40601001	15.3	12.3	19%	20.9	19.8	5%	20.8
Oppens	592301001	Unterentfelden	401301001	42.6	44.2	-4%	52.8	50.8	4%	58.2
La Chaux-de-Fonds	642101006	Dübendorf	19101003	42.0	42.6	-2%	57.5	57.7	0%	64.0
Monthey	615301001	Ecublens (VD)	563501012	15.9	18.3	-15%	21.6	22.3	-3%	21.6
Entlebuch	100201002	Russikon	17801002	33.3	31.6	5%	41.0	38.2	7%	45.8
Givisiez	219701001	Frenkendorf	282401006	37.0	35.4	4%	46.0	46.0	0%	40.4
Eschenbach (SG)	334201004	Landquart	395501001	20.6	18.2	12%	27.0	26.0	4%	25.2
Affoltern am Albis	201007	Dietlikon	5401001	11.1	11.3	-2%	15.7	15.1	4%	13.4
Frauenkappelen	66301001	Oberriet (SG)	325401007	66.8	56.0	16%	83.1	81.6	2%	98.0
Turgi	404201001	Bussnang	492101001	25.0	19.8	21%	34.5	33.8	2%	40.0
Lausanne	558601051	Rüti (ZH)	11801011	59.8	61.6	-3%	81.0	81.0	0%	88.0
Münchenstein	276901010	Kloten	6201014	26.4	29.5	-12%	40.0	39.2	2%	40.0
Uster	19801018	Ellikon an der Thur	21801001	12.5	10.9	13%	17.6	17.9	-2%	15.6

Während der Unterschied zwischen den FAR-Matrizen teilweise ausgeprägt ist (bis +21 bzw. -15% Unterschied), sind die Abweichungen zwischen den im jeweiligen ÖV-Angebotsmodell 2017 und 2023 ermittelten Vollpreisen eher gering (bis +7 bzw. -3%). Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Differenzen zwischen den FAR stärker durch die Strukturdaten begründet werden. Im Abgleich zwischen Vollpreis 2023 zum SBB-Onlinepreis zeigen sich gewisse Unterschiede, wobei die Grössenordnung grundsätzlich übereinstimmt. Zudem ist dieser Vergleich nur bedingt geeignet, da die Online-Preisabfrage für eine spezifische Verbindung von Haltestelle zu Haltestelle erfolgte, während der modellbasierte Vollpreis auf mehreren Verbindungen zwischen dem jeweils untersuchten Zonenpaar (mit allenfalls mehreren Haltestellen je Zone) basiert.

Abschliessend wurde die ÖV-Kostenmatrix ins Nachfragemodell integriert.

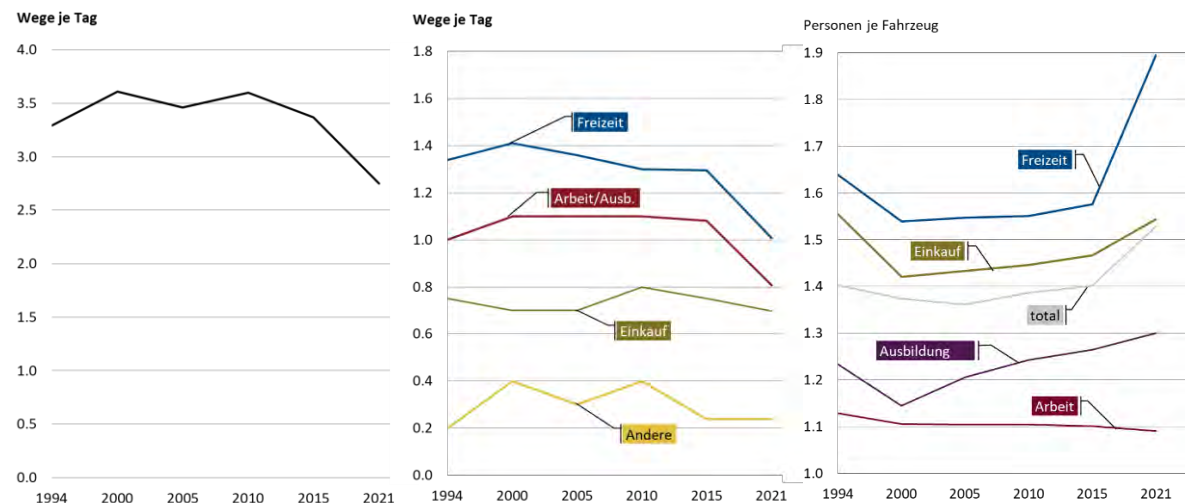
10 Aktualisierung des Nachfragemodells

In diesem Kapitel werden verschiedene technische Anpassungen dargestellt, die im Nachfragemodell gemacht wurden. Einerseits werden jetzt Personenwagen, Lieferwagen und Motorrädern besser abgegrenzt. Dies bedingte verschiedene Anpassungen, sowohl in den Mobilitätsraten als auch beim Grundablauf. Diese Änderungen sind im Kapitel 10.2 beschrieben. Andererseits wurden viele andere kleinere Anpassungen vorgenommen. Sie sind im Kapitel 10.3 kurz beschrieben. Zudem befindet sich in Kapitel 10.1 eine Herleitung des Post-Covid-Zustandes.

10.1 Entwicklung der Verkehrsnachfrage Post-Covid

Für die Verkehrsmodellierung im Jahr 2023 wurde auf den MZMV 2015 als Datengrundlage zurückgegriffen, obwohl zwischenzeitlich ein neuerer MZMV aus dem Jahr 2021 vorliegt. Der Grund dafür liegt in den aussergewöhnlichen Umständen, unter denen der MZMV 2021 (BFS, 2023a) durchgeführt wurde: Die Covid-19-Pandemie hat das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung in vielerlei Hinsicht massgeblich verzerrt. Einschränkungen des öffentlichen Lebens, Homeoffice-Regelungen und verändertes Einkaufs- und Freizeitverhalten führten dazu, dass die Mobilitätskennzahlen im Jahr 2021 – insbesondere Mobilitätsraten, Fahrleistungen, Modal-Split und Besetzungsgrade – als nicht repräsentativ für das Verkehrsverhalten in den Folgejahren betrachtet werden können.

Da für das Jahr 2023 keine aktuelleren und zugleich robusten Erhebungsdaten verfügbar waren, erschien der Rückgriff auf den MZMV 2015 als methodisch sinnvoll. Um dennoch die erwarteten Entwicklungen in der Mobilität zwischen 2015 und 2023 angemessen abzubilden, wurden zentrale Kennzahlen auf Basis verfügbarer Sekundärstatistiken, Trends und Fachwissen angepasst. Auf diese Weise wurde eine realitätsnahe Grundlage für die Verkehrsmodellierung geschaffen, die einerseits auf verlässlichen Strukturdaten basiert und andererseits direkte pandemiebedingte Verzerrungen vermeidet.



Quelle: Abbildungen aus den VP 2050 (ARE, 2022) mit den Ergebnissen des MZMV 2021 (BFS, 2023a) aktualisiert

Abbildung 38: Entwicklung der Mobilitätsrate (Wege je Tag), der Zahl der täglichen Wege pro Wegezweck und des Besetzungsgrades

Für die Anpassung der Mobilitätskennzahlen 2023 wurden mehrere zentrale Annahmen getroffen, um aktuelle Entwicklungen im Verkehrsverhalten angemessen abzubilden.

Mobilitätsraten

Zunächst wurde die Zahl der täglichen Arbeitswege pro Erwerbstätigem um 5 bis 8% reduziert. Dabei wurde zwischen der Produktionsseite (Mobilitätsraten der Erwerbstätigen) und der Attraktionsseite (Zahl der Arbeitsplätze) unterschieden. Ebenfalls wurde der Raumtyp berücksichtigt. Dafür wurde die schweizerische Arbeitskräfteerhebung (SAKE) für 2015 und 2023 (BFS, 2016 und 2024b) in Bezug auf die Häufigkeit von Homeoffice ausgewertet (siehe Kapitel 14.2). Gemäss den Daten der SAKE arbeiten die Erwerbstätigen, die in städtischen Gemeinden wohnen, häufiger von zu Hause aus. Die Gemeinde des Arbeitsorts ist der in den SAKE-Daten nicht verfügbar, aber die Branche ist bekannt. Aus diesem Grund wurde die durchschnittliche Homeoffice-Kompatibilität erst nach Branchen berechnet. Die Home-Office Kompatibilität der Arbeitsplätze einer Zone wurde dann aus der Branchenzusammensetzung hergeleitet. Wie erwartet weisen die städtischen Arbeitsplätze eine höhere Home-Office-kompatibilität als Arbeitsplätze in intermediären und ländlichen Gemeinden (siehe Kapitel 14.2, Tabelle 33). Zusätzlich zur Arbeitskräfteerhebung gab es eine Vielzahl empirischer Hinweise, dass sich Home-Office auch nach dem Abklingen der Pandemie als fester Bestandteil des Arbeitsalltags etabliert hat und weiterhin zu einem spürbaren Rückgang der beruflichen Pendelaktivitäten führt (siehe auch Heimgartner und Axhausen, 2024).

Zweitens wurde die Zahl der dienstlich motivierten Wege (Nutzfahrten) um 10 % pro Erwerbstätigem gesenkt, da Geschäftsreisen und dienstliche Termine vermehrt virtuell durchgeführt werden. Da für die Schweiz keine empirischen Daten vorliegen, wurde dafür die durchschnittliche Wegestatistik nach Wegezweck für das United Kingdom (UK) zum Vergleich ausgewertet (Department for Transport, 2024). Die Auswertung zeigt, dass im UK die Business Trips zwischen 2019 und 2023 um circa 27% sanken.

Des Weiteren wurde entschieden, die Zahl der Freizeitwege pro Person nicht zu verändern. Dieser Entscheid war Gegenstand intensiver Diskussionen, da vereinzelt Hinweise auf einen Rebound-Effekt vorlagen – also auf eine mögliche Zunahme der Freizeitmobilität mit längeren oder zusätzlichen Fahrten als Ausgleich für wegfallende Pendelfahrten und Dienstreisen. Aufgrund der unklaren Datenlage und fehlender belastbarer quantitativer Nachweise wurde darauf verzichtet, den Rebound-Effekt explizit in die Modellierung zu übernehmen.

Da das NPVM in der Erzeugungsrechnung auf dem Konzept der Bezugspersonen basiert, sind die verwendeten Mobilitätsraten zu einem gewissen Grad auf die ursprünglich verwendeten Strukturdaten aus dem NPVM 2017 bezogen. Die Fortschreibung der Strukturdaten auf 2023 macht daher die Einführung eines Korrekturfaktors notwendig, um die mittlere Mobilitätsrate je Einwohner adäquat zu treffen. Die Mobilitätsraten aller Wegezwecke wurden vor diesem Hintergrund im Laufe der Kalibration pauschal um 2% nach oben korrigiert, um eine bessere Übereinstimmung mit den tatsächlich zurückgelegten Wegen und gefahrenen Kilometern zu erzeugen. Diese Multiplikation führt dazu, dass die durchschnittliche Zahl der Wege pro Person im Vergleich zum NPVM 2017 ungefähr konstant blieb. Das war aber kein Ziel an sich, sondern ein Kalibrierungsergebnis.

Reiseweiten

Es wurde entschieden, die mittlere Reiseweite je Weg für die meisten Wegezwecke unverändert beizubehalten, da keine konsistenten Hinweise für eine signifikante Veränderung seit 2015 vorliegen. Die Wegezwecke Arbeit und Freizeit bilden die Ausnahmen. Tatsächlich gab erste Anzeichen dafür, dass sich die mittleren Pendlerwege mit zunehmenden Home-Office- Anteilen verlängern könnten. Das BFS (2024) weist beispielsweise in seiner Statistik «Erwerbstätige Pendler/-innen nach Länge und Zeitbedarf für den Arbeitsweg» im Jahr 2023 etwas mehr Pendler mit «langen» Wegen aus als im Jahr zuvor (sowohl «zeitlang» als auch «weglang»). Deshalb wurde im Vorfeld der Kalibration die Zielgrösse für Reiseweiten der Arbeitswege um 5% erhöht. Gleiches war für Freizeitwege der Fall.

Modal-Split

Man ging davon aus, dass die Veränderungen beim Modal-Split seit 2017 eher gering waren (bzw. dass sich der Modal-Split nach der zwischenzeitlichen pandemiebedingten Entwicklung wieder der Verteilung von 2017 angenähert hatte). Die Zielgrößen der Kalibration für den MIV und das E-Bike wurden um ungefähr 1 Prozentpunkt nach oben korrigiert. Beim ÖV und beim Fussverkehr ging es ungefähr einen Prozentpunkt nach unten. Eine Besonderheit stellt dabei der Anteil des E-Bike dar. Dieser wurde direkt aus dem MZMV 2021 übernommen, da man einhellig der Meinung war, dass der E-Bike-Modal-Split des MZMV 2021 (2.5%) näher an der Realität lag als der E-Bike-Modal-Split des Jahres 2015 (1.5%). Es sei bemerkt, dass der Anstieg des Anteils der E-Bikes nicht zu einem Rückgang des konventionellen Velos geführt hat (siehe Kapitel 21.5).

Der Besetzungsgrad pro Wegezweck blieb ebenfalls unverändert, obwohl der MZMV 2021 einen Anstieg der Anzahl Personen im Fahrzeug ausweist (siehe Abbildung 38). Durch die Verringerung der Wege mit Wegezweck Arbeit und Nutzfahrt (niedriger Besetzungsgrad) resultiert aber, insgesamt gesehen, ein leicht höherer Besetzungsgrad.

10.2 Grundablauf Segmentierung

Änderung der Mobilitätsraten

Die Mobilitätsraten wurden in zweierlei Hinsicht geändert. Zum einen wurden bei der Berechnung der Mobilitätsraten anhand der Daten der MZMV 2015 die Fahrten mit Motorrädern berücksichtigt (diese waren in NPVM 2017 nicht berücksichtigt worden). Zum anderen wurden die Mobilitätsraten reduziert, um Fahrten mit Firmenlieferwagen auszuschliessen und so eine doppelte Modellierung der mit diesen Fahrzeugen zurückgelegten Wegen zu vermeiden. Da es nicht immer möglich ist, den Eigentümer des verwendeten Fahrzeugs zu ermitteln, erfolgte diese Änderung der Mobilitätsraten in aggregierter Form (auf der Grundlage von Fahrzeugregisterstatistiken und Informationen aus dem Mikrozensus) auf der Ebene der Quelle-Ziel Gruppen (QZG) – die Anteile sind in der Tabelle 30 in Kapitel 11.2 gelistet.

Änderung des Grundablaufes

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die Kalibration, Umlegung und die Nachfragesegmente für DWV:

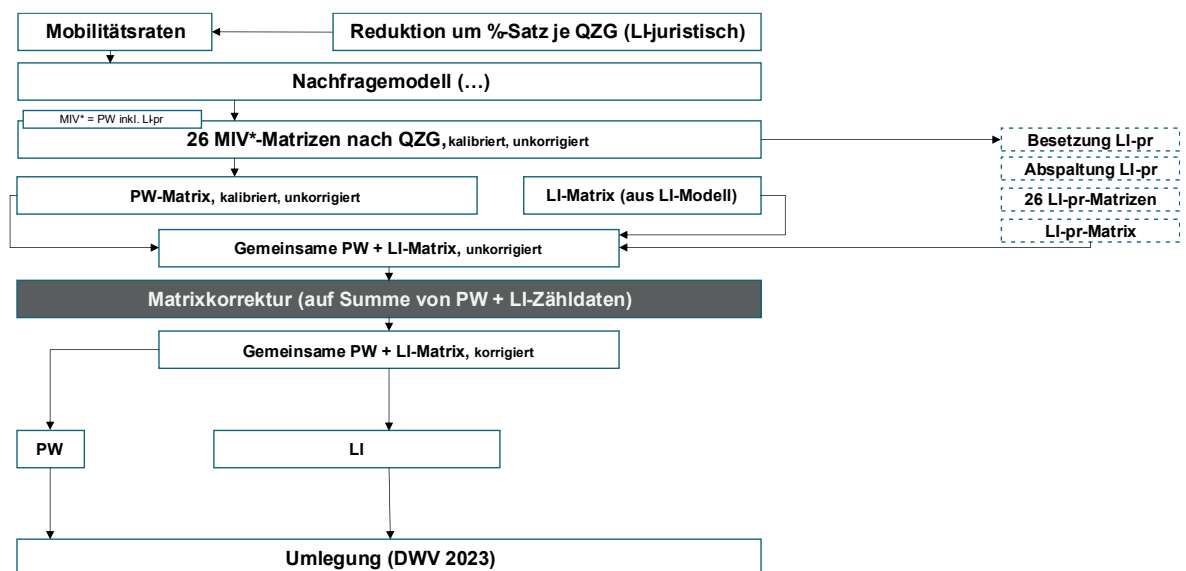


Abbildung 39: schematische Darstellung Kalibration und Umlegung DWV 2023

Das Nachfragemodell bildet die Ausgangslage des DWV-Prozesses und enthält Informationen zu den Mobilitätsraten. Da die ursprünglichen Mobilitätsraten auf Ebene der Quell-Zielgruppe (QZG) inklusive den Mobilitätsraten des juristischen Lieferwagens (LI-juristisch) waren, wurden diese dementsprechend prozentual reduziert. Der Output aus dem Nachfragemodell sind 26 QZG-Matrizen, welche anschliessend mittels einer Abspaltung des LI-privat in PW und LI-Privat aufgeteilt werden können. Gemeinsam mit der Matrix LI aus dem Lieferwagenmodell (Anteil LI-juristisch), werden die Matrizen summiert und auf die Summe der Zählwerte von PW und LI (Leichtverkehr) korrigiert. Nach der Korrektur der gemeinsamen Matrix werden die Matrizen in PW und LI aufgeteilt und entsprechend in der DWV-Umlegung umgelegt.

Nach der Nachfrageberechnung (EVA-Verteilung und Moduswahl) werden die weiterhin enthaltenen privaten Lieferwagen und die Motorräder von den PW-Matrizen abgespalten (als Personenwege und Fahrzeugfahrten). Private Lieferwagen-Fahrten werden anschliessend gemeinsam mit den juristischen Lieferwagen-Fahrten (zugehörige Matrix wurde vom ARE bereitgestellt) umgelegt. Motorräder werden später gemeinsam mit den PW umgelegt.

Implementierung: Die Abspaltung der Motorräder ist technisch implementiert. Da Motorräder im DWV nicht betrachtet wurden, wurde die Verfahrensgruppe 332 abgeschaltet. Somit wird die MR-Nachfrage nicht von der PW-Nachfrage abgezogen und ist daher in Abbildung 39 nicht dargestellt. Dies hatte keine Auswirkungen auf die Umlegung.

10.3 Korrekturfaktoren und Implementierungen

Globale Korrektur der Mobilitätsraten

Im NPVM 2017+ gab es einen Fehler bei der Berechnung der Mobilitätsraten, der zu überhöhten Werten führte. Dieser Fehler blieb damals zunächst unbemerkt, weshalb in der finalen Berechnung die Raten der Nicht-Pflichtaktivitäten pauschal um 7% gesenkt wurden – wie im entsprechenden Schlussbericht vermerkt ist. Wäre der Fehler nicht aufgetreten, läge das tatsächliche Ergebnis etwa 4% unter dem angestrebten MZMV-Wert von ca. 3.74 Wegen pro Person und Tag.

Für 2023 wurden die Berechnungen angepasst und mit 2023er-Strukturdaten durchgeführt. Zusätzlich flossen Anpassungen ein, wie etwa die QZG-spezifische Reduktionsfaktoren für Wege durch juristische Lieferwägen (im Durchschnitt ca. -2% pro QZG). Zudem entwickelten sich die Strukturdaten von 2017 bis 2023 dergestalt, dass Personengruppen mit eher tiefen Raten (ohne PW, ohne Abo) relativ gesehen stärker vertreten sind sowie Personengruppen mit eher hohen Raten (PW ohne Abo) etwas schwächer. Aufgrund der veränderten Bevölkerungsstruktur und der Berücksichtigung von juristischen Lieferwägen kann für 2023 von einer insgesamt tieferen Rate als 3.75 ausgegangen werden. Weil der wahre globale Eckwert für 2023 nicht bekannt ist, wurde iterativ auf Grund der Zählraten ein 2%-iger Aufschlag auf die 2023er-Mobilitätsraten bestimmt.

Die Berücksichtigung dieses Korrekturfaktors findet jeweils in den Szenarien über das im Kapitel 21.5 (Anhang 5) erwähnte Excel-Tool statt.

Korrekturfaktor des Modal-Splits

Für die Referenzwerte des Modal-Split – insbesondere auf Teilraumebene (= Arbeitsmarktgrossregionen) – waren Korrekturfaktoren notwendig, um eine konsistente Berechnung und Auswertung zu gewährleisten. Die Korrekturfaktoren wurden so bestimmt, dass die teilraumfeine Modal-Split-Auswertung des MVMZ 2015 global betrachtet (= über alle Teilräume) mit den Modal-Split-Werten des NPVM 2017+ (siehe ARE, 2023) übereinstimmt.

Aktualisierung SP-Parameter

Ein aktualisierter SP-Parameter-Datensatz wurde in der «EVA-Verteilung und Moduswahl» implementiert. Die Daten stammen aus dem Projekt «Analysis of the Stated Preference Survey 2021 on Mode, Route and Departure Time Choices» (ARE, 2024b). Der resultierende SP-Parameter-Datensatz wurde mit den Daten des MZMV 2015 und der gleichen Struktur wie im NPVM 2017 geschätzt, wobei kleinere Fehler identifiziert und korrigiert wurden.

Angebotsmodell PW

- Ausbau der bestehenden PW-Differenzierung (Berechnungsschritte, Nachfragesegmente, Matrizen)
- Ausbau der Auswertung zu Tonnenkilometern
- Umbenennung von Nachfragesegment «PW Binnen» in «PW Aggregat»
- Übergabe Szenariocode aus dem Nachfragemodell
- Einlesen der Nachfragematrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen); keine Rundung, da bereits in Nachfragemodell gerundet
- Speichern der Kenngrössenmatrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen)
- Anlegung MR als neues VSys & Modus & NSeg (gleiche Strecken wie PW) und Einbau von Matrizen
- LW / LZ (siehe auch Kapitel 11):
 - o Einlesen aktualisierter Matrizen
 - o Runden der Matrizen mit Randomround auf 2 Dezimalstellen
 - o Aktualisierung Streckenwiderstand von LW/LZ bei Allgemeinen Verfahrenseinstellungen
 - o Setzen der Vorbelastung vor der Umlegung mit IV-Kapazität * 1.1 * 12 (Attribut: Vorbelastung_Umlegung_PW)
- PW QZD / LI QZD
 - o Einlesen aktualisierter Matrizen
 - o Runden der Matrizen mit Randomround auf 2 Dezimalstellen
 - o Setzen der Vorbelastung vor der Umlegung mit IV-Kapazität * 0.5 * 12 (Attribut: Vorbelastung_Umlegung_PW)
- PW:
 - o Umstellung der Umlegung auf Gleichgewichtsumlegung Bi-conjugate Frank-Wolfe
 - o Gemeinsame Umlegung von PW Aggregat (PW Personenverkehr + PW Flughafen), LI und MR
- Implementierung der Matrixkorrektur vor finaler Umlegung: Berechnung der Umlegungsmatrizen mit Delta- und Phi-Matrizen (Abweichungsmatrizen zwischen synthetischem Modell und VStrom-Matrizen) für PW Aggregat, LI und MR
- Übertrag von umgelegten Ergebnisattributen von Strecken- auf Bezirksebene mit vereinfachtem aber viel schnellerem Verfahren
(Im NPVM2017+ wurden nach der finalen Umlegung diverse Strecken-Attribute mit Bezirken verschnitten. Dies ist zwar genauer, weil man Streckenattribute anteilig zu Bezirken zuordnen kann, aber auch sehr rechenzeitintensiv. Im vereinfachten Verfahren findet eine einmalige Zuordnung der Strecken zu den Bezirken statt (maximaler Streckenanteil definiert die Bezirkszuordnung). Diese vereinfachte Zuordnung bringt einen kleinen Fehler mit sich, weil die Strecken im komplett zu einem Bezirk zugeordnet werden, sie spart aber insgesamt ca. 3,5 Stunden Rechenzeit.)
- Nach Möglichkeit Zusammenfassung von Matrixoperationen

Angebotsmodell ÖV

- Übergabe Szenariocode aus dem Nachfragemodell
- Einlesen der Nachfragematrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen); keine Rundung, da bereits in Nachfragemodell gerundet
- Einlesen aktualisierter QZD-Matrix (Aussenverkehr)
- Speichern der Kenngrössenmatrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen)
- Implementierung der Matrixkorrektur vor finaler Umlegung: Berechnung der Umlegungsmatrizen mit Delta- und Phi-Matrizen (Abweichungsmatrizen zwischen synthetischem Modell und VStrom-Matrizen) für Nachfragesegment ÖV (ÖV Binnen + ÖV QZD)
- Übertrag von umgelegten Ergebnisattributen von Strecken- auf Bezirksebene mit vereinfachtem aber viel schnellerem Verfahren
(Im NPVM2017+ wurden nach der finalen Umlegung diverse Strecken-Attribute mit Bezirken verschnitten. Dies ist zwar genauer, weil man Streckenattribute anteilig zu Bezirken zuordnen kann, aber auch sehr rechenzeitintensiv. Im vereinfachten Verfahren findet eine einmalige Zuordnung der Strecken zu den Bezirken statt (maximaler Streckenanteil definiert die Bezirkszuordnung). Diese vereinfachte Zuordnung bringt einen kleinen Fehler mit sich, weil die Strecken im komplett zu einem Bezirk zugeordnet werden, sie spart aber insgesamt ca. 3,5 Stunden Rechenzeit.)
- Nach Möglichkeit Zusammenfassung von Matrixoperationen

Angebotsmodell Velo

- Übergabe Szenariocode aus dem Nachfragemodell
- Einlesen der Nachfragematrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen); keine Rundung, da bereits in Nachfragemodell gerundet
- Speichern der Kenngrössenmatrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen)
- Übertrag von umgelegten Ergebnisattributen von Strecken- auf Bezirksebene mit vereinfachtem aber viel schnellerem Verfahren
(Im NPVM2017+ wurden nach der finalen Umlegung diverse Strecken-Attribute mit Bezirken verschnitten. Dies ist zwar genauer, weil man Streckenattribute anteilig zu Bezirken zuordnen kann, aber auch sehr rechenzeitintensiv. Im vereinfachten Verfahren findet eine einmalige Zuordnung der Strecken zu den Bezirken statt (maximaler Streckenanteil definiert die Bezirkszuordnung). Diese vereinfachte Zuordnung bringt einen kleinen Fehler mit sich, weil die Strecken im komplett zu einem Bezirk zugeordnet werden, sie spart aber insgesamt ca. 3,5 Stunden Rechenzeit.)
- Nach Möglichkeit Zusammenfassung von Matrixoperationen
- Korrektur der Berechnungsvorschrift von benutzerdefinierten Formelattributen für die E-Bike-Widerstandberechnung

Nachfragemodell

- Ausbau bestehende PW-Differenzierung (Berechnungsschritte, Nachfragesegmente, Matrizen)
- Einbau eines benutzerdefinierten Attributes «Szenariocode» für eindeutige Matrizen und um Überspeichern zu verhindern; wird auch an Angebotsmodelle übergeben
- Einbau der Aufspaltung MR und PR_LI
 - o Anlegung neuer Matrizen für MR, LI_PR, LI_JU, etc.
 - o Einbau der Abspaltungsfaktoren LI_pr und MR auf NSch-Ebene
 - o Berechnung Gesamt-LI aus PR_LI und JU_LI

- o Berechnung MR-Fahrten mit benutzerdefinierte Attribut c_BGrad_MR
 - o Korrektur der PW-Fahrten-Matrix um PR_LI und MR
- Runden der Nachfragematrizen mit Randomround auf 2 Dezimalstellen
- Speichern der Nachfragematrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen); Reduktion der gespeicherten Nachfragematrizen auf berechnungsrelevante Matrizen
- Einlesen der Kenngrössenmatrizen mit Skript (um Szenariocode zu berücksichtigen)
- AddIn "HD setzen" mit Matrixoperation ersetzt
- Einlesen und Bearbeiten der Kenngrössen von Velo und FGV und sonstigen Matrizen vor der Rückkopplungsschleife
- Berechnung der Verkehrserzeugung vor der Rückkopplungsschleife
- Aktualisierung der EVA-Verkehrserzeugung (Visum-internen Teilraumausgleich aktiviert und bisherige Skript-Lösung entfernt; neue Teilraumattribute eingestellt und alte Teilraumattribute entfernt)
- Aktualisierung der «EVA-Verteilung und Moduswahl» (Aufwandskenngrössen, Matrizen/Attribute, Parameter)
- Einbau von teilraumfeinen Modusaffinitäten (siehe Kapitel 14.2)
- Einbau einer Längen- und Kostenkorrektur für lange PW- und ÖV-Wege (siehe Kapitel 0)

Nach Möglichkeit Zusammenfassung von Matrixoperationen

11 Strassengüterverkehr

Die Nachfrage im Strassengüterverkehr wurde differenziert nach Fahrzeugtypen des schweren Strassengüterverkehrs (LW, LZ) und leichten Nutzfahrzeugen analysiert. Die leichten Nutzfahrzeuge wurden dabei sowohl nach privaten als auch juristischen Eigentümern differenziert, wobei Letztere zusätzlich branchenbezogen unterteilt wurden.

11.1 Schwerer Strassengüterverkehr

Die Nachfrage für die Fahrzeugtypen des schweren Strassengüterverkehrs (LW, LZ) wurde vom ARE mit der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG, ARE 2019) aufbereitet. Die Startmatrix, die Auslastungsgrade sowie die Leerfahrtenparameter wurden aus den aktuellen Daten der Gütertransporterhebung (BFS, 2024a) und der Erhebung zum grenzquerenden Güterverkehr (BFS, 2015 und 2020) abgeleitet. Die Methode zur Disaggregation der Ergebnisse auf Ebene der Verkehrszonen wurde ebenfalls aktualisiert. Diese Arbeiten sind in einem technischen Memo des ARE dokumentiert (verfügbar auf Nachfrage).

Anschliessend wurde eine Matrixkorrektur durchgeführt, um die Zähldaten so gut wie möglich zu reproduzieren. Diese Matrixkorrektur wurde in drei Schritten umgesetzt:

1. Zuerst für die Summe der Matrizen LW und LZ im Vergleich zu den Zählstellen, die nur eine Kategorie «Schwergüterverkehr» ausweisen (ohne Differenzierung LW/LZ).
2. Dann für die Matrix LW allein mit den Zählstellen, die eine Kategorie «LW» ausweisen und
3. schliesslich für die Matrix LZ allein mit den Zählstellen, die eine Kategorie «LZ» ausweisen.

Für alle 3 Schritte wurden nur Zählstellen mit «QUALIKO_2023» =1 und «ZST_QUALITAET_2023» >=5 verwendet.

Dieses Verfahren wurde mit vier verschiedenen Toleranzfunktionen getestet:

- a) Toleranzfunktion 1 = $\max(100, \text{Zählwert})$
- b) Toleranzfunktion 2 = $\min(1000, \max(100, \text{Zählwert}))$
- c) Toleranzfunktion 3 = $\min(1000, \max(200, \text{Zählwert}))$
- d) Toleranzfunktion 4 = $\max(200, \text{Zählwert})$

Als «Schnelltest» wurden diese vier Funktionen auf 80 Prozent der verfügbaren Zähldaten angewendet, während die Ergebnisse für die übrigen 20 Prozent mit den Zähldaten verglichen wurden. Alle vier Funktionen führten zu verbesserten Ergebnissen (im Sinne der R^2) im Vergleich zu einer Version ohne Matrixkorrektur. Letztendlich wurde die Toleranzfunktion a) weiterverwendet, da sie relativ einfach ist und die besten Ergebnisse lieferte.

Weiter wurden, basierend auf der Toleranzfunktion a) folgende Anpassungen gemacht:

- Das neue Attribut «ANR_ZOLLWIDERSTAND» stellt sicher, dass der Schwerverkehr nur durch zugelassene Grenzübergänge fährt. Es ersetzt die alte Variable «SSP_ZOLLWIDERSTAND». Daher sind auch die Strecken-Widerstände in den IV-Einstellungen für LW und LZ entsprechend aktualisiert worden.
- «V0 IV» wurde nach unten angepasst, wenn zu viel Verkehr auf kleinen Strassen beobachtet wurde. Zur Kennzeichnung dieser Anpassungen weist das Attribut «v0_angepasst_juli24» den Wert 1 auf, andernfalls 0.
- Es wurden nicht alle aufbereiteten Zählstellen zur Kalibration des LW und LZ benutzt. Das Attribut «ignore_ZST» zeigt mit TRUE an, welche Zählstellen nicht verwendet wurden. Dieses ist insbesondere auf Unplausibilitäten, Nichtkorrespondenz zwischen Zählstellenstandort und Netzstruktur oder örtliche

Sonderfälle (gezählte Fahrzeuge sind eindeutig keine Güterfahrzeuge, sondern Reisecars; z.B. beim Parking Rheinfall) zurückzuführen.

- Als neues Umlegungsverfahren für die LW- und LZ-Matrizen wird nun die Gleichgewichtsumlegung Bi-conjugate Frank-Wolfe genutzt. Die Umlegung von LW und LZ erfolgt nun auch nicht mehr auf einem unbelasteten Zustand, sondern mit einer Vorbelastung von $1.1 \cdot 12 \cdot [\text{KAPIV}]$. Diese Vorbelastung ermöglicht eine bessere Reproduktion der Zählraten und somit eine geringere Matrixkorrektur.

11.2 Leichte Nutzfahrzeuge

Für das NPVM 2023 stand das neue Lieferwagenmodell (LIM) des ARE zur Verfügung (ARE, 2024a). Im Lieferwagenmodell wird die Nachfrage nicht wie im NPVM nach dem Fahrtzweck, sondern nach dem Eigentümer differenziert. Einerseits wird zwischen privaten und juristischen Personen unterschieden, andererseits werden die juristischen Personen weiter nach Branchen unterteilt (BFS, 2008). Es war wichtig, eine klare Abgrenzung zwischen den beiden Modellen zu definieren, um Doppelzählungen zu vermeiden.

Es wurde entschieden, die Fahrten mit privaten Lieferwagen weiterhin im NPVM zu modellieren und das Lieferwagenmodell nur für die Fahrten mit gewerblichen Lieferwagen anzuwenden. Dementsprechend mussten die Mobilitätsraten des NPVM um die Fahrten mit gewerblichen Lieferwagen reduziert werden. Diese Anpassung erfolgte pauschal auf Ebene der Quell-Ziel-Gruppen. Die entsprechenden Faktoren sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst. Die Ableitung des Fahrzeugtyps erfolgte durch das ARE und ist in einem technischen Memo beschrieben (verfügbar auf Nachfrage).

Tabelle 30: Anteile der MIV-Wege nach Fahrzeugtyp im MZMV 2021
Quelle: BFS, 2023

Quelle-Ziel Gruppe	gewerblichen Lieferwagen	privaten Lieferwagen	Personenwagen und Motorräder
A(A)_W	2.2%	1.5%	96.4%
A(SK)_W	3.6%	3.3%	93.1%
A_E(k)F(k)	2.6%	1.6%	95.8%
A_S	9.6%	2.3%	88.1%
B(S)_W	0.6%	1.5%	97.9%
B(U)_W	0.4%	1.2%	98.4%
Bg(K)_W	0.3%	1.0%	98.7%
E(k)F(k)_A	4.4%	1.9%	93.7%
E(k)F(k)_E(k)F(k)	0.4%	1.1%	98.5%
E(k)_W	0.7%	1.3%	98.0%
E(l)_W	0.9%	1.7%	97.4%
F(k)_W	0.6%	1.4%	97.9%
F(l)_W	0.8%	1.7%	97.6%
N_W	9.7%	2.9%	87.3%
Rundwege	1.3%	2.5%	96.2%
S_A	7.0%	2.2%	90.8%
S_S	1.9%	1.6%	96.5%
W_A(A)	2.4%	1.5%	96.1%
W_A(SK)	3.4%	3.2%	93.4%
W_B(S)	0.4%	1.4%	98.1%
W_B(U)	0.3%	1.6%	98.1%
W_Bg(K)	0.3%	0.9%	98.8%
W_E(k)	0.7%	1.3%	98.0%
W_E(l)	0.8%	1.9%	97.4%

W_F(k)	0.7%	1.4%	97.9%
W_F(l)	0.6%	1.4%	97.9%
W_N	8.1%	3.3%	88.6%

Die Wege mit gewerblichen Lieferwagen wurden mit dem Lieferwagenmodell modelliert. Die Bevölkerung und Anzahl Arbeitsplätze nach Verkehrszonen wurden aus der STATPOP und STATENT 2021 hergeleitet. Die Ergebnisse des Lieferwagenmodells sind dann als Fahrtenmatrix ins NPVM eingeflossen. Die Wege mit privaten Lieferwagen wurden aus den MIV-Nachfragematrizen des NPVM abgespaltet. Dabei wurden die QZG-spezifischen Faktoren in Tabelle 30 angewendet. Die Matrixkorrektur wurde im NPVM simultan für alle Lieferwagen und PW durchgeführt.

12 Aussenverkehr

Der Aussenverkehr umfasst den Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr (QZD) für den ÖV und den Fahrzeugtyp PW und LI im MIV. Für den schweren Strassengüterverkehr (LW, LZ) wird die Nachfrage des QZD durch die Vorarbeiten des ARE geliefert.

Für die Aktualisierung des QZD wurde eine vereinfachte Methode verwendet, die hauptsächlich aus der Hochrechnung der entsprechenden Matrizen des NPVM 2017 besteht (UVEK, 2019). Dazu wurden aktuelle Grenzpendlerdaten und aktuelle Zählwerte im MIV und im ÖV verwendet. An zwei Grenzübergängen mit neuem S-Bahnangebot, die im Jahr 2017 noch nicht in Betrieb waren, wurde die Nachfrage separat ermittelt. Mittels den Testumlegungen wurden zudem Überprüfungen und Anpassungen der Einflussgrössen der Routenwahl behoben, z.B. durch Korrektur der ÖV-Anbindungen ausländischer Verkehrszonen oder der MIV-Geschwindigkeiten auf den Strecken im Ausland.

Im NPVM 2017 wurde der Quell-, Ziel und Durchgangsverkehr mittels einer statischen Matrix für die Umlegung bereitgestellt. Diese Matrix wird im Wesentlichen aus der Erhebung des Alpen- und Grenzquerenden Personenverkehrs (A+GQPV) 2015 (BFS, 2021) abgeleitet.

Die folgenden Daten wurden in der Matrixhochrechnung verwendet:

- Wachstumsfaktoren aus der Grenzpendler-Statistik des BFS auf aggregierter Ebene (Zu- resp. Abnahme zwischen Arbeitskanton und Herkunftsland);
- Zählwerte an den Grenzquerschnitten für ÖV, PW und LI;
- Für zwei grenzüberschreitende Bahnlinien (Léman Express und Ferrovia Mendrisio-Varese (SBB, 2024)), die nach 2017 eröffnet wurden und daher keine Nachfrage in der existierenden QZD-Matrix des NPVM enthalten, wurden neue QZ-Werte ermittelt. Daten über die Quelle-Ziel-Relationen und die Nachfragemengen konnten hierzu von der SBB («HOP-Daten») bezogen werden.

Die Qualitätssicherung erfolgte durch Test-Umlegungen im DWV, mit den auf 2023 hochgerechneten Matrizen und einem Vergleich mit den Zählwerten an den Grenzstellen.

Anwendung von Wachstumsfaktoren aus der Grenzgänger-Statistik

In einem ersten Schritt wurden die QZD-Matrizen an das Wachstum des Grenzpendler-Aufkommens angepasst. Dabei wurden nur Relationen zwischen der Schweiz und den Nachbarländern bis 100 km Fahrtweite bearbeitet.

Aus der Grenzgänger-Statistik des BFS (BFS, 2023c) wurden auf aggregierter Ebene – zwischen Schweizer Kantonen und Nachbarländern – Wachstumsfaktoren des Grenzpendler-Aufkommens zwischen 2017 und 2023 berechnet. Diese Faktoren wurden dann auf die QZD-Matrizen MIV und ÖV des Jahres 2017 angewendet und der Modalsplit bleibt unverändert. Dies geschah unter der Hypothese, dass der Grenzpendlerverkehr auf Relationen bis 100 km das dominante Nachfragesegment im Quell- und Zielverkehr der Schweiz mit seinen Nachbarländern ist und dass das Wachstum des Grenzverkehrs sehr stark mit dem Grenzpendleraufkommen korreliert.

Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele von Wachstumsfaktoren.

Tabelle 31: Wachstumsfaktoren im Grenzpendlerverkehr

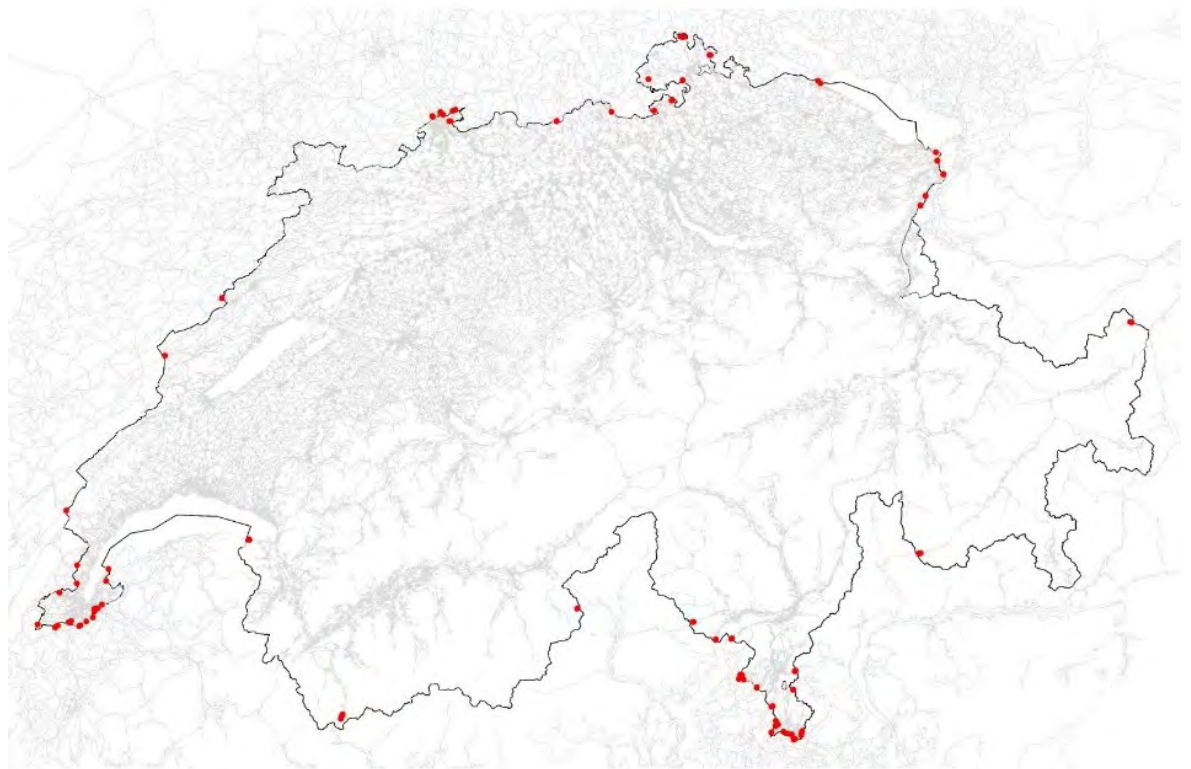
Arbeitskanton	Herkunftsland	Wachstum 2017-2023
Basel-Stadt	Deutschland	-7%
	Frankreich	1%
St. Gallen	Österreich	4%
Graubünden-Grigioni-Grischun	Italien	53%
Aargau	Deutschland	1%

Thurgau	Deutschland	13%
Ticino	Italien	17%
Vaud	Frankreich	43%
Neuchâtel	Frankreich	35%
Genève	Frankreich	26%
Jura	Frankreich	50%

Auswahl relevanter Zählstellen entlang der Grenzen

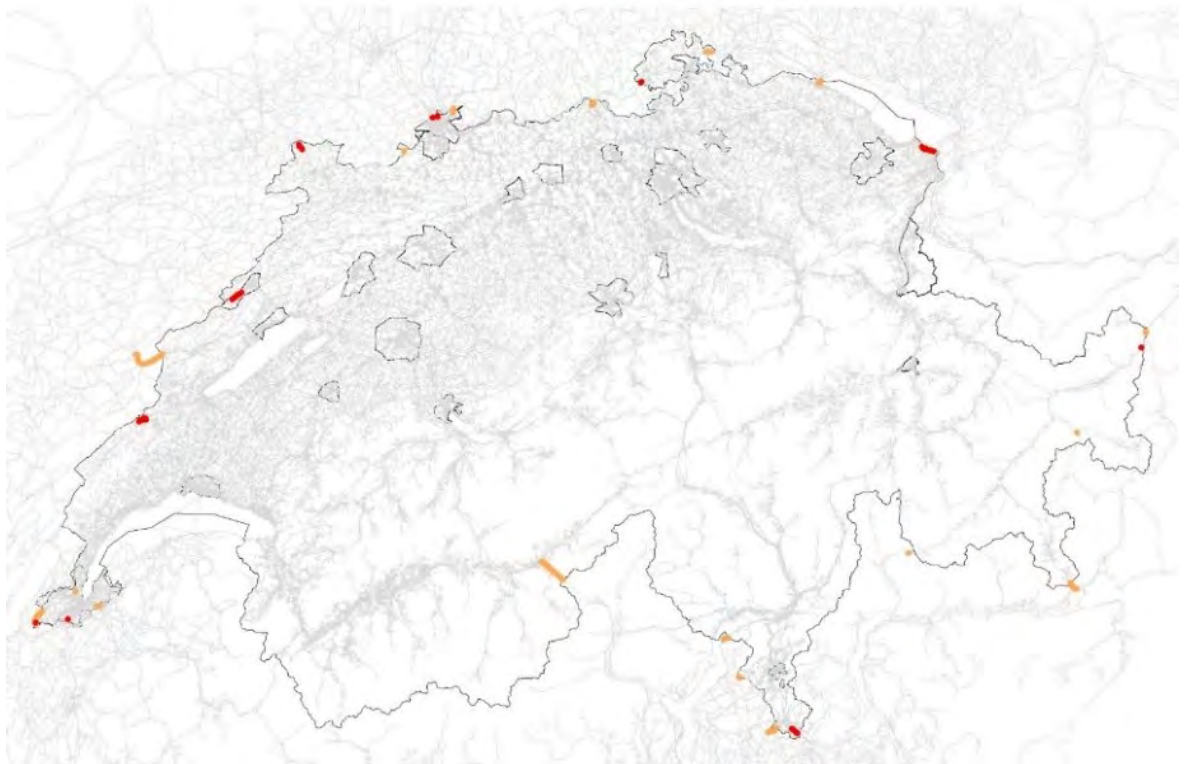
Für den nächsten Schritt der Hochrechnung des QZD wurden Zählwerte an Grenzübergängen zwischen der Schweiz und dem Ausland aufbereitet. Im MIV konnten für das Jahr 2023 insgesamt 121 Zählwerte an Grenzübergängen gefunden werden.

Im ÖV war dagegen oft kein Zählwert auf dem Grenzquerschnitt selbst vorhanden. Daher wurden hier überwiegend Zählwerte in der Nähe der Grenze verwendet. Diese Zählwerte enthalten sowohl Binnenverkehr der Schweiz als auch Aussenverkehr. Für die weitere Bearbeitung war es jedoch unerlässlich, dass die Zählwerte ausschliesslich Aussenverkehr repräsentieren. Daher wurden an solchen Zählstellen der Anteil des Aussenverkehrs an der gesamten Streckenbelastung aus einer Umlegung des NPVM 2017+ ermittelt und auf die Zählwerte 2023 angewendet.



Rot = Zählwert für Aussenverkehr, MIV, 2023, 121 Zählstellen

Abbildung 40: Zählstellen im MIV für die Kalibration des Aussenverkehrs



Rot = Zählwert für Aussenverkehr, Orange = Abgeschätzter Zählwert für Aussenverkehr, ÖV, 2023, 58 Zählstellen

Abbildung 41: Zählstellen im ÖV für die Kalibration des Aussenverkehrs

Automatische Matrix-Korrektur mit dem Verfahren «VStromFuzzy»

Aufgrund der im vorherigen Schritt ermittelten Zählwerte wurde die QZD-Nachfrage 2017 mithilfe von «VStromFuzzy¹» für die beiden Nachfragesegmente PW und ÖV hochgerechnet, so dass sie die Zählwerte des Jahres 2023 getroffen werden. Die Qualität der Ergebnisse wird im Abschnitt Qualitätssicherung gezeigt.

Das Optimierungsverfahren VStromFuzzy ist ein Modul innerhalb der Verkehrsplanungssoftware PTV VISUM, das zur Kalibrierung von Nachfragematrizen in Verkehrsmodellen eingesetzt wird. Es dient dazu, die modellierten Verkehrsströme an reale Zähldaten anzupassen, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Modells zu erhöhen. VStromFuzzy arbeitet mit einem iterativen Verfahren, bei dem die ursprüngliche Nachfragematrix schrittweise angepasst wird, um die Differenzen zwischen den modellierten und den tatsächlich gemessenen Verkehrsbelastungen zu minimieren. Dabei werden insbesondere Zähldaten berücksichtigt, um die Umlegungsergebnisse im Modell mit den realen Netzbelastungen in Einklang zu bringen. Es sollte beachtet werden, dass die Qualität der Ergebnisse stark von der Verfügbarkeit und Genauigkeit der zugrunde liegenden Zähldaten abhängt.

Zudem ist eine sorgfältige Auswahl der zu kalibrierenden Bereiche und Parameter erforderlich, um Überanpassungen oder Verzerrungen zu vermeiden. Deshalb ist auch stets zu prüfen, wie stark die Prozedur

¹ «VStromFuzzy» ist ein Optimierungsverfahren, welches die Möglichkeit bietet, die Matrizen an Zählwerte anzupassen und die Matrix auf eine aktuelle Verkehrsnachfragematrix zu bringen. Dieses Verfahren ist bereits in PTV-Visum integriert und ermöglicht die Anpassungen nach manueller Eingabe automatisch und verteilt über den gesamten Modellperimeter auszuführen. Eine Kontrolle und Prüfung der Matrizen sowie weiteren Kenngrößen ist nach der Anwendung von «VStromFuzzy» empfohlen, da starke Matrixkorrekturen auftreten können.

die Matrix beeinflusst. Wenn die Prozedur die Matrix zu stark beeinflusst, könnte die Prognosefähigkeit des Modells gemindert werden.

Zusatznachfrage für neue ÖV-Korridore

Nach 2017 wurden zwei neue grenzüberschreitende S-Bahn-Verbindungen zwischen der Schweiz und dem Ausland eröffnet, welche zu einem starken Anstieg des Modal-Splits in den betroffenen Gebieten führten:

- Der Léman Express wurde im Jahr 2019 für das Fahrplanjahr 2020 eröffnet. Er umfasst mehrere S-Bahnlinien, die die Stadt Genf mit den Städten Annemasse, Evian, Annecy und St-Gervais in Frankreich verbinden. Im Februar 2023 beförderte der Léman Express 80'000 Fahrgäste am Tag.
- Die Ferrovia Mendrisio-Varese wurde 2018 eröffnet. Auf der neuen grenzüberschreitenden Bahn-Infrastruktur verkehren S-Bahn-Züge zwischen der Schweiz und der Provinzhauptstadt Varese sowie dem Flughafen Milano-Malpensa in der Lombardei.

Da beide ÖV-Verbindungen im Jahr 2017 nicht existierten, wurden neue Matrizen des Aussenverkehrs für diese beiden Achsen erzeugt. In beiden Fällen wurden aus den Pendlerdaten der beiden Länder Basis-Matrizen zwischen den bedienten Bahnhöfen in Frankreich bzw. Italien und den Kantonen Genf und Vaud bzw. Tessin abgeleitet. Diese Grundmatrizen wurden dann mithilfe eines Gravitationsmodells auf die Verkehrszonen in der Schweiz aufgeteilt. Die endgültigen Verkehrsmengen wurden dann an die Zählstellen an den Grenzen angepasst.

Die so gewonnen Matrizen enthalten keinen inner-französischen bzw. inner-italienischen Binnenverkehr. Die aus ihrer Umlegung erhaltenen Verkehrsvolumen repräsentieren also im Ausland nicht die gesamte Fahrgastmenge in den Zügen. Im Rahmen von Testumlegungen der neuen Matrizen wurden auch die Anbindungen der ausländischen Zonen im Einzugsbereich der neuen S-Bahn-Linien überprüft und bei Bedarf angepasst. So konnte sichergestellt werden, dass die Nachfrage an den jeweiligen Grenzquerschnitten realistisch abgebildet wird.

Die folgende Abbildung zeigt die QZD-Nachfrage des Léman Express, nach der Umlegung auf das ÖV-Angebot des NPVM.



Abbildung 42: Umlegung des Aussenverkehrs auf dem Léman Express 2023

Qualitätssicherung PW und ÖV

Die Qualität der Aussenverkehrsnachfrage wurde mithilfe eines Vergleiches von Zähl- und Modellwerten an allen Grenzübergängen überprüft, sowie durch visuelle Kontrolle der Verkehrsflüsse im Grenzgürtel der Schweiz plausibilisiert.

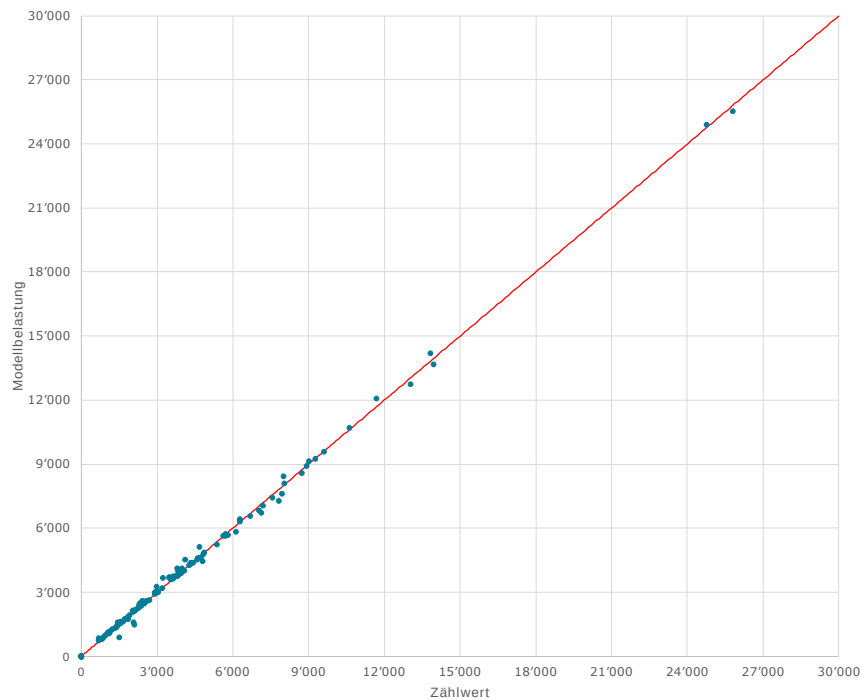


Abbildung 43: Vergleich von Zählwerten und Modellbelastungen an den Grenzübergängen des MIV

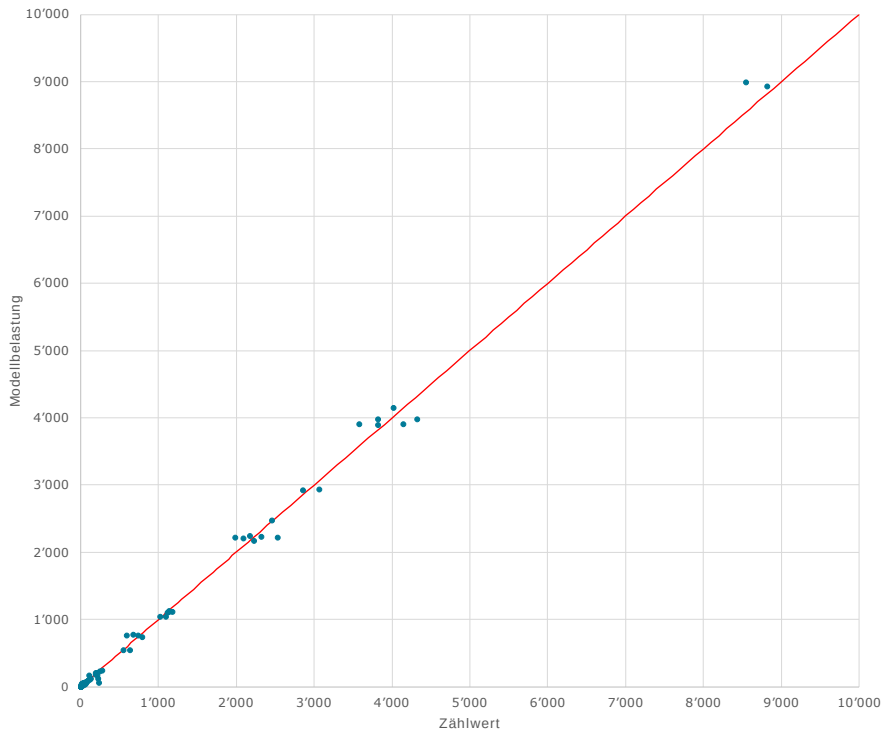


Abbildung 44: Vergleich von Zählwerten und Modellbelastungen an den Grenzübergängen des ÖV

Verkehrsmengen des Aussenverkehrs PW und ÖV

Die finalen Verkehrsmengen des Aussenverkehrs sind aggregiert in den folgenden zwei Abbildungen dargestellt:

PW 2023						PW 2017					
	CH	DE	IT	FR	AT		CH	DE	IT	FR	AT
CH	0	97271	85110	202191	20075	CH	0	120846	84047	198863	33380
DE	98720	6104	1657	1643	364	DE	120846	7455	1833	1676	528
IT	81547	1252	2811	1106	175	IT	84047	1833	3317	1283	224
FR	199769	1596	1108	9140	118	FR	198863	1676	1283	7983	137
AT	21942	397	188	118	613	AT	33380	528	224	137	746
835015						905135					

Abbildung 45: Aussenverkehr 2017 versus 2023 – MIV, aggregiert nach Ländern

ÖV 2023						ÖV 2017					
	CH	DE	IT	FR	AT		CH	DE	IT	FR	AT
CH	0	20965	12882	22873	1487	CH	0	18515	6657	18393	1514
DE	20965	10353	42	214	17	DE	18515	9527	20	186	16
IT	12882	42	1282	66	1	IT	6657	20	1129	33	1
FR	22873	214	66	786	0	FR	18393	186	33	719	0
AT	1487	17	1	0	67	AT	1514	16	1	0	60
129582						102104					

Abbildung 46: Aussenverkehr 2017 versus 2023 – ÖV, aggregiert nach Ländern

Abschätzung des QZD Lieferwagen

Die Berechnung des QZD-Verkehrs für den Lieferwagen wurde im NPVM 2023 neu eingefügt und wurde daher mit einer neuen Methodik hergeleitet. Dafür wurde in einem ersten Schritt die Matrix PW QZD final kalibriert und davon von jeder Relation 4.5% der Nachfrage in eine neue Matrix abgespalten. Damit hatte man eine erste initiale Matrix und konnte die Kalibration des LI QZD starten. Die final auf PW QZD Zählwerte kalibrierte Matrix blieb in ihrem Zustand unverändert.

Anschliessend wurde die LI-QZD Matrix in drei Schritten und mit drei Toleranzfunktionen mittels «VStromFuzzy» auf die Zählwerte kalibriert. Die drei Toleranzfunktionen lauten wie folgt:

- Schritt 1: $\max(200, [ZW] * 2)$
- Schritt 2: $\max(100, [ZW] * 1)$
- Schritt 3: $\min(150, \max(100, [ZW] * 1))$

Der Vergleich der Zählwerte und Modellbelastungen an den Grenzübergängen zeigt folgendes Resultat für den LI-QZD:

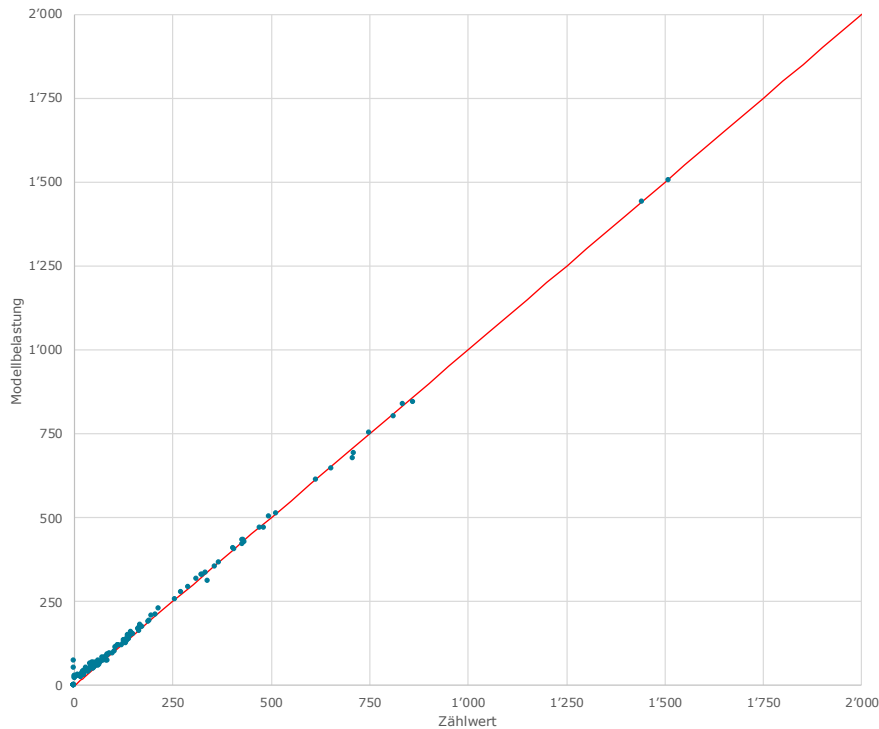


Abbildung 47: Vergleich von Zählwerten und Modellbelastungen an den Grenzübergängen des LI

13 Validierung Angebotsmodelle & Kenngrößen

Die Validität der Angebotsmodelle und der daraus berechneten resp. abgeleiteten Kenngrößenmatrizen bildet einen zentralen Baustein der Qualitätssicherung und Validierung des Gesamtmodells. Mittels etablierter Testroutinen kam ein abgestuftes Prüfverfahren zur Anwendung: Zunächst wurden für alle Modi der Netzzusammenhang geprüft. Damit konnte sichergestellt werden, dass für jeden Modus und für jede Relation eine Route gefunden wird und Werte in den Kenngrößenmatrizen existieren. Alle Kenngrößenmatrizen wurden darüber hinaus auf ihre Symmetrie sowie auf Extremwerte geprüft. Die Prüfungen fanden vor der eigentlichen Kalibration statt.

13.1 Validierung von Kenngrößenmatrizen in Anlehnung an die RIN 2008

Die Validierung erfolgte anhand von Diagrammen, die bestimmte Kenngrößen gegenüber der Luftlinienweite aufrägt. Die **Luftlinienweite** bezeichnet die **euklidische Distanz** zwischen zwei Punkten. In diesem Fall wird diese zwischen den Zentrumskoordinaten der entsprechenden Zonen gemessen. Diese Art der Auswertung ist an die Richtlinien integrierte Netzgestaltung (RIN) 2008 der deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV, 2008) angelegt, in der Referenzkurven für bestimmte Servicequalitäten ausgewiesen werden.

Als Kenngrößen wurden verwendet:

- Luftliniengeschwindigkeit PW
- Luftliniengeschwindigkeit ÖV
- Umwegfaktor PW
- Reisezeitverhältnis PW / ÖV
- Umsteigehäufigkeit ÖV

Die nachfolgende Abbildung erläutert den Aufbau der Auswertungsdiagramme in den Kapiteln 13.1.1 bis 13.1.5. In allen Diagrammen wurden dabei ausschliesslich Schweizer Binnenrelationen berücksichtigt, bei denen es sowohl eine ÖV- als auch eine PW-Kenngrösse gibt. Der grau gefärbte Bereich beschreibt die Qualitätsstufen A bis F aus der RIN, welche innerhalb der Ober- und Untergrenze des Wertebereiches (rot) liegen. Punkte ausserhalb der Ober- und Untergrenze sollten geprüft werden, so dass systematische Fehler ausgeschlossen werden können.

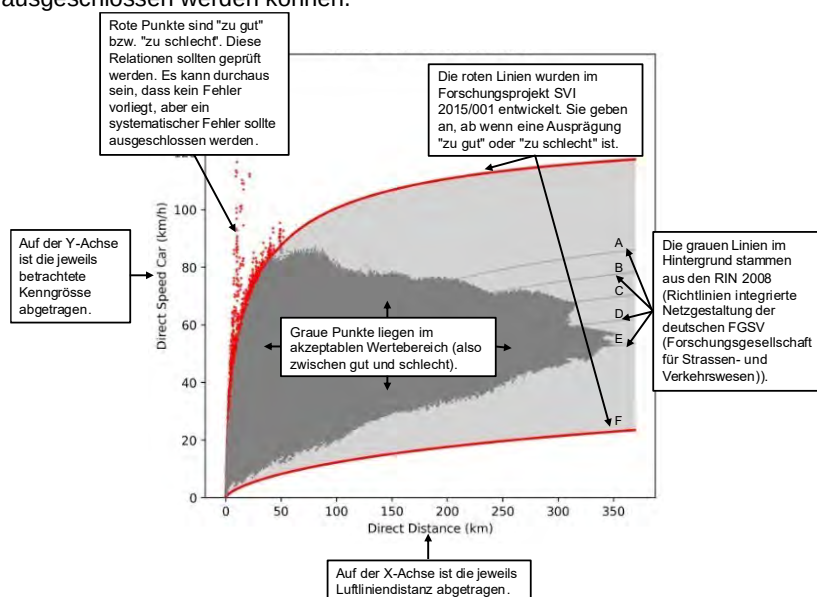
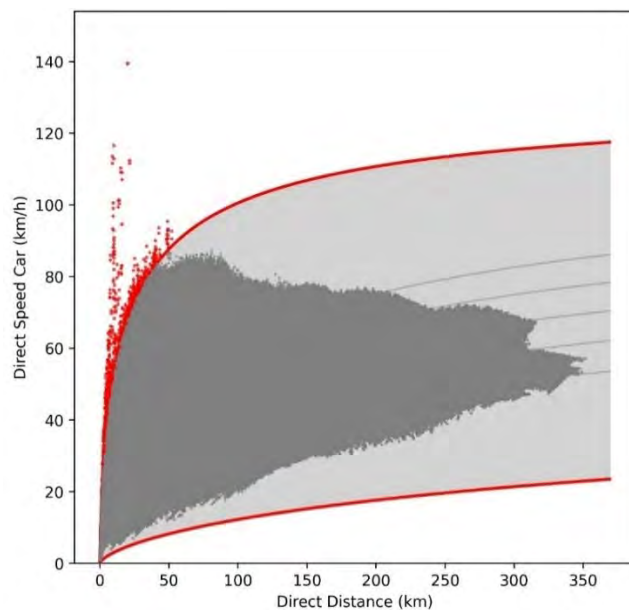


Abbildung 48: Erläuterung der Diagramme

13.1.1 Luftliniengeschwindigkeit PW

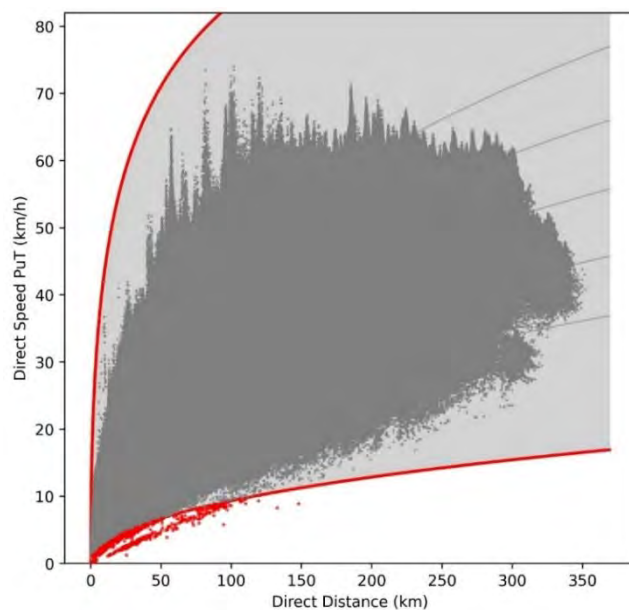


x-Achse: Luftlinie [km], y-Achse: Luftliniengeschwindigkeit PW

Abbildung 49: Bewertung der Luftliniengeschwindigkeit PW

Für die Berechnung wurde die Kenngrösse Fahrzeit unter Belastung (TTC) herangezogen, was die Fahrzeit im belasteten Netz darstellt. Grundsätzlich befindet sich die Punktwolke im guten Bereich. Ausreisser auf der linken Seite lassen sich in der Regel auf sehr lange Anbindungen oder auf Anbindungen in der Nähe von Autobahnen zurückführen. Es sind keine systematischen Fehler erkennbar.

13.1.2 Luftliniengeschwindigkeit ÖV

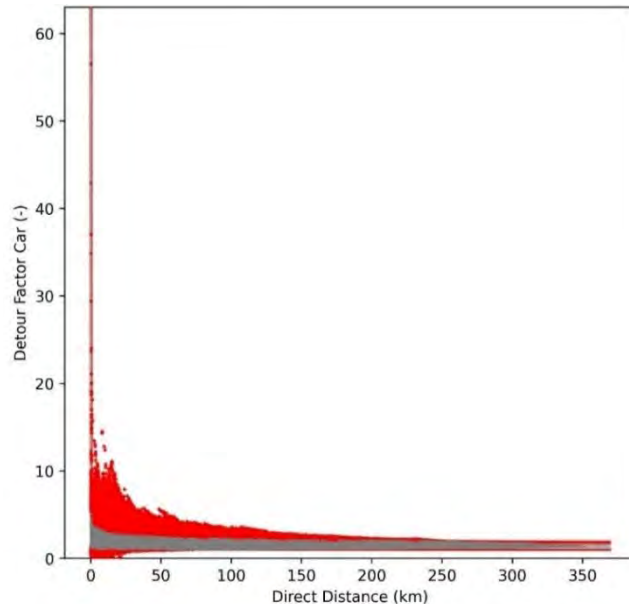


x-Achse: Luftlinie [km], y-Achse: Luftliniengeschwindigkeit ÖV

Abbildung 50: Bewertung der Luftliniengeschwindigkeit ÖV

Für die Berechnung wurde als Kenngrösse die angepasste Reisezeit (JRTA) herangezogen. Die Punktwolke befindet sich im guten Bereich und weist keine systematischen Auffälligkeiten auf.

13.1.3 Umwegfaktor PW

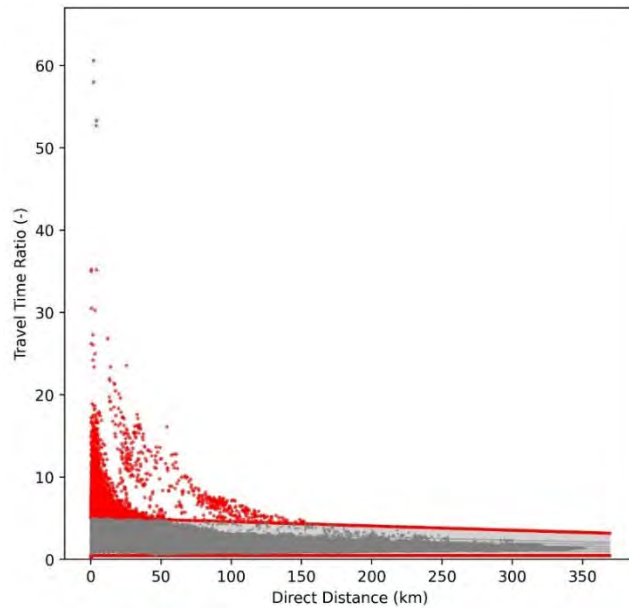


x-Achse: Luftlinie [km], y-Achse: Umwegfaktor PW

Abbildung 51: Bewertung des Umwegfaktor PW

Für die Berechnung wurde die Kenngrösse Distanz (DIS) herangezogen. Umwegfaktoren kleiner 1 resultieren daraus, dass die festgesetzte Anbindungslänge hier kürzer ist als die «Anbindungsluftlinienlänge» – ein Phänomen, das insbesondere bei kurzen Relationen auftritt. Der Grossteil der Punktwolke liegt im unauffälligen Bereich. Die Ausreisser finden sich vor allem an topografischen Besonderheiten wie Bergen oder Seen, in Verkehrszellen mit Exklaven oder bei Anbindungen ausserhalb der Zonen. Eine stichprobenartige Prüfung dieser Ausreisser-Relationen hat keine Fehler aufgezeigt.

13.1.4 Reisezeitverhältnis PW / ÖV

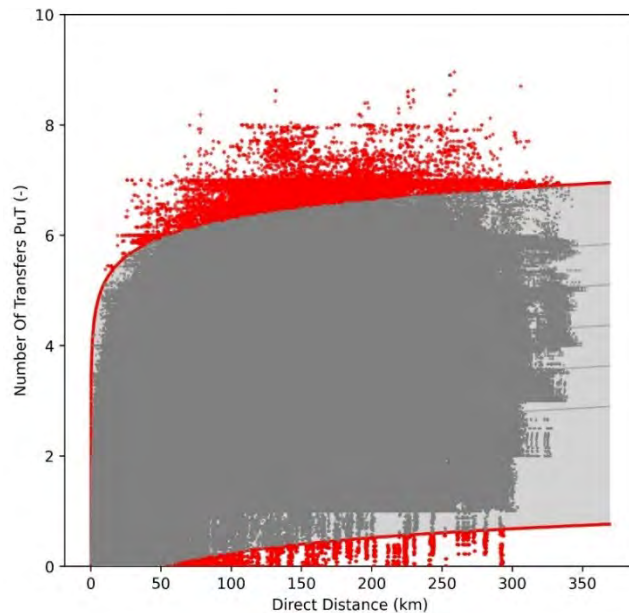


x-Achse: Luftlinie [km], y-Achse: Reisezeitverhältnis PW/ÖV

Abbildung 52: Bewertung des Reisezeitverhältnisses PW / ÖV

Für die Berechnung wurden die Kenngrößen TTC (Fahrtzeit im belasteten Netz) und JRTA (ÖV) herangezogen. Die Ausreisser unter 150 km liegen an topografischen Besonderheiten wie Bergen und Seen. Eine stichprobenartige Prüfung dieser Ausreisser-Relationen hat keine Fehler aufgezeigt. Insgesamt befindet sich die Punktwolke im guten Bereich und zeigt keine systematischen Auffälligkeiten.

13.1.5 Umsteigehäufigkeit ÖV



x-Achse: Luftlinie [km], y-Achse: Umsteigehäufigkeit ÖV

Abbildung 53: Bewertung der Umsteigehäufigkeit ÖV

Für die Berechnung wurde die Kenngrösse NTR herangezogen. Es wurden ausschliesslich Binnen-Schweizer-Beziehungen berücksichtigt, und zwar nur jene, bei denen auch ÖV-Kenngrössen berechnet werden konnten. Die resultierende Punktwolke liegt im unauffälligen Bereich und weist keine systematischen Auffälligkeiten auf.

13.2 Zusätzliche ÖV-Prüfungen

13.2.1 Verbindungssuche ÖV

Alle Zonen sind ans ÖV-Netz angebunden. Für einzelne Q-Z-Beziehungen wurde jedoch kein ÖV-Weg gefunden. Es handelte sich in der Regel um adjazente Zonen z.B.:

- Zell 23101003 mit Zell 23101004
- Freimettingen 60701001 mit Häutlingen 60901001 und Niederhünigen 61701001
- Valbirse 71701002 mit 71701003, 71701004 und 71701005

Es handelte sich um Zonen, die an die gleichen Haltestellen angebunden sind, weswegen keine Korrekturen gemacht wurden. Im NPVM 2017+ war dies auch der Fall, allerdings nicht notwendigerweise die gleichen Beziehungen.

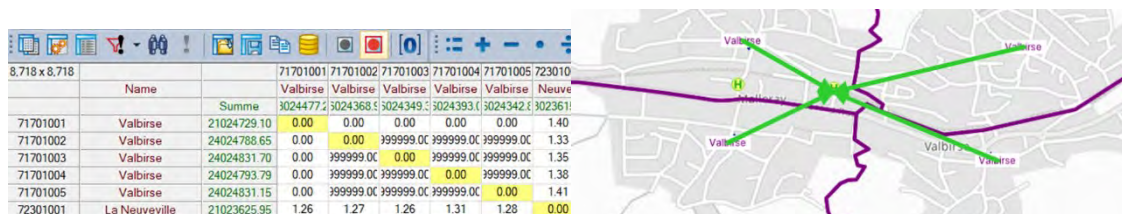


Abbildung 54: Ausschnitt NTR-Kenngrössenmatrix

13.2.2 Weitere Kenngrössen im ÖV

Folgende ÖV-Kenngrössen wurden analysiert:

- 1-RITA (angepasste Beförderungszeit):
 - o Beförderungszeit ist die Zeit vom Einstieg bei der ersten Haltestelle des ersten Teilweges bis zur letzten Haltestelle des letzten Teilweges, inklusive Umsteigegeh- und -wartezeiten.
 - o «Angepasst»: anstelle der echten Start- und Umsteigewartezeiten sind diejenigen Terme enthalten, die in der Definition der empfundenen Reisezeit (ERZ) eingestellt sind.
- 2-JRTA (angepasste Reisezeit): Zeit von der Abfahrt am Quellbezirk bis zur Ankunft am Zielbezirk
- 3-TWTA (Umsteigewartezeit): Wartezeit zwischen Ankunft und Abfahrt an einem Umsteigehaltepunkt
- 4-JRD (Reiseweite): Reiseweite = Zugangsweite + Fahrtweite + Gehweite + Abgangsweite
- 5-RID (Fahrtweite): Im Verkehrsmittel zurückgelegte Entfernung ohne Umsteigefusswege

Die Berechnung der Kenngrössenmatrizen erfolgte mit Hilfe der Tagesganglinie, bestehend aus 24 Anteilsmatrizen aus dem NPVM2017+. Es ist möglich, hier mit den Matrizen des NPVM 2017+ zu arbeiten, da diese eine plausible Aufteilung auf die Stundenscheiben bieten. Als Umlegungsverfahren wurde Branch & Bound verwendet.

Mit den erwähnten Prüfungen war das Ziel, dass einerseits mögliche Ausreisser (Gesamtmatrizen mit mehr >63 Millionen Beziehungen innerhalb der Schweiz) entdeckt werden und andererseits systematische Fehler gefunden werden. Dafür wurde jede zehnte Zone (636'004 Relationen, mit 51'753 ÖV-Fahrten) innerhalb der Schweiz für die Prüfung in einer 1%-Stichprobe ausgewählt.

Die dargestellten Verteilungen der Kenngrössen betreffen die Modellsituation vor der Kalibration. Einige Handlungen im Rahmen der ÖV-Kalibration haben zu einer leichten Veränderung der Kenngrössen geführt, beispielsweise die Neubewertung der Vorstadtbahnhöfe.

1 – RITA (Angepasste Beförderungszeit)

Die wichtigste Kenngrösse im öffentlichen Verkehr ist die angepasste Beförderungszeit RITA. Diese wurde entsprechend ausführlich analysiert. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der angepassten Beförderungszeit im NPVM 2023, sowohl ungewichtet als auch gewichtet mit der Nachfragematrix aus dem NPVM 2017+. Die mittlere Beförderungszeit beträgt 20.1 Minuten.

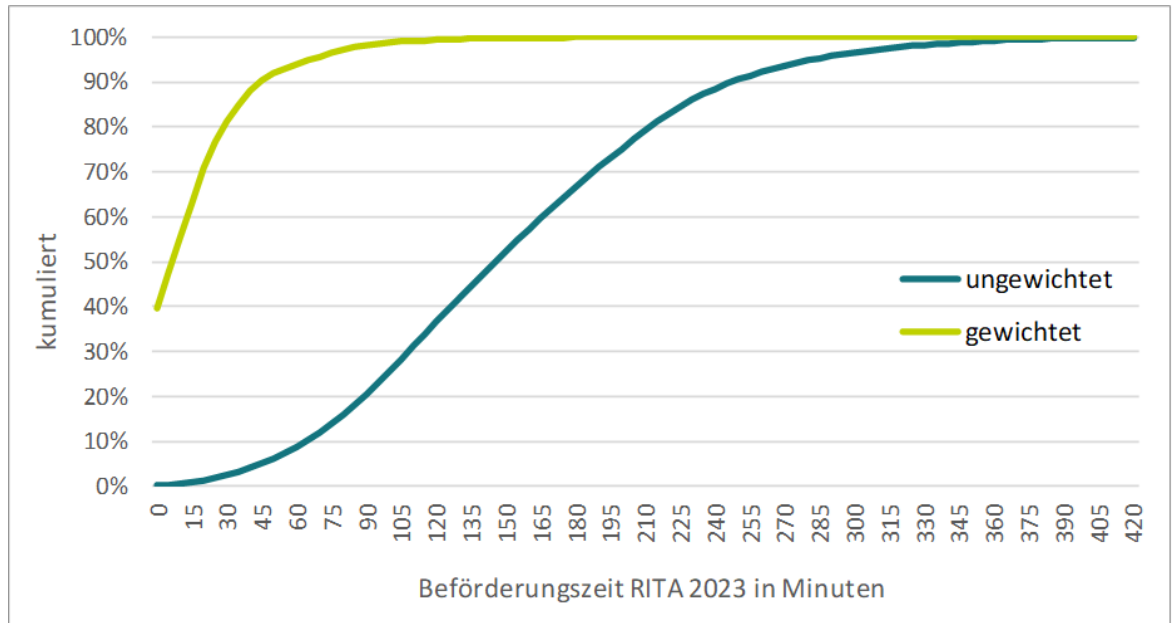


Abbildung 55: Verteilung der angepassten Beförderungszeit im NPVM 2023

Die folgende Abbildung zeigt die angepasste Beförderungszeit im Vergleich NPVM 2023 zum NPVM 2017+.

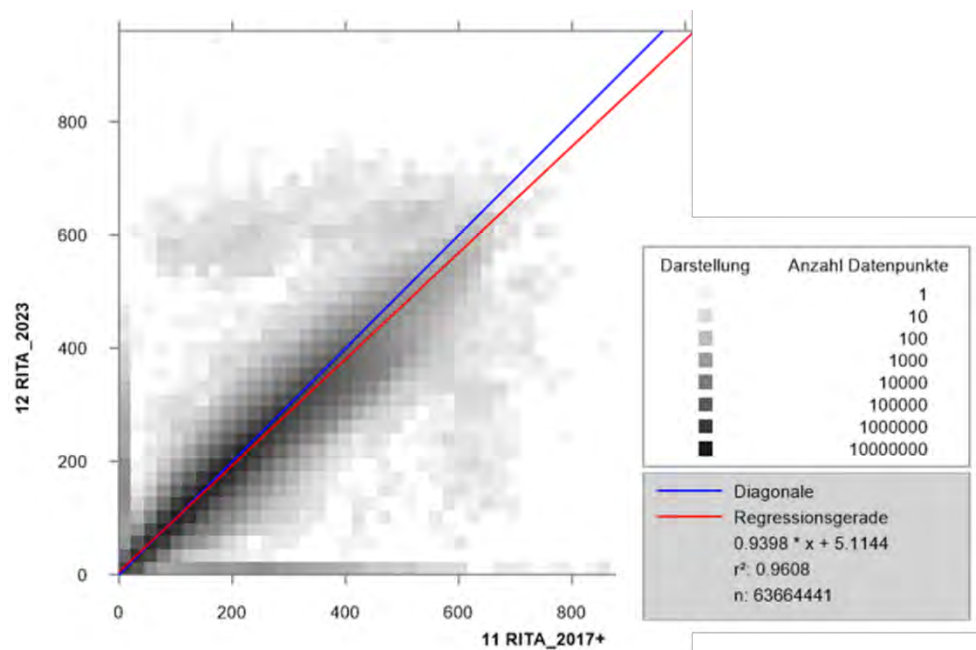


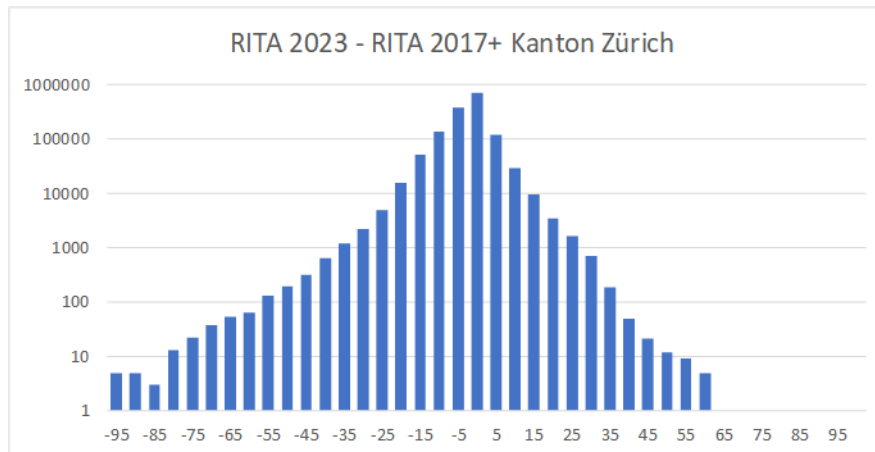
Abbildung 56: Angepasste Beförderungszeit im Vergleich NPVM 2023 zum NPVM 2017+

Zur graphischen Darstellung der Beförderungszeit wurden alle Werte «99999» (kein Weg gefunden, siehe Kapitel 13.2.1) auf «0» gesetzt (in beiden Matrizen). Dies ermöglicht eine unverzerrte Darstellung der Werte. Die Punkte auf den Achsen zeigen Beziehungen mit einseitigem «99999»-Wert.

Die Punktwolke bei (≈ 200 ; ≈ 600) und bei (≈ 600 ; ≈ 200) wird verursacht durch eine geringe Zahl an Fahrtbeziehungen, wo Übernachtbeziehungen berechnet werden, d.h. die Ankunft am Zielort findet erst am nächsten Morgen statt. Beispiel: 519201054 Lugano - 603101009 Bagnes RITA 2023: 379 Minuten, RITA 2017+: 613 Minuten. Diese uneinheitlichen Ergebnisse sind nicht von praktischer Relevanz, weswegen keine weiteren Analysen angestellt wurden.

Die Punktwolke im Bereich unter zwei Stunden Beförderungszeit enthält einen Grossteil der wichtigen Beziehungen. Aus diesem Grund erfolgte eine weitergehende Analyse in diesem Intervall. Als Beispiel wurden die Quelle-Ziel-Beziehungen innerhalb des Kantons Zürich ausgewählt. Man erhält folgende Resultate:

- 49% der QZ-Beziehungen haben einen Unterschied von weniger als +/- 2.5 Minuten. 83% haben einen Unterschied von weniger als +/- 7.5 Minuten (die drei längsten Säulen in nachfolgender Abbildung).
- Die durchschnittliche Differenz ist bei -2.4 Minuten. Die Reisezeiten im NPVM 2023 sind also leicht kürzer als die Reisezeiten im NPVM 2017+. Entsprechend gibt es auch viel mehr Beziehungen mit einem Rückgang der Reisezeit (linke Hälfte der Säulen in der folgenden Abbildung) als Beziehungen mit einem Anstieg.
- Auf Gemeindeebene aggregiert (das heisst, der Durchschnitt aller Beziehungen ausgehend von einer Gemeinde), gibt es nur zwei Gemeinden mit einer Differenz von mehr als 15 Minuten. Es handelt sich um die Gemeinden Volken (381 Ew) und Dorf (712 Ew), zwischen Andelfingen und Flaach.



x-Achse: RITA 2023- RITA 2017+, y-Achse: Anzahl QZ-Verbindungen innerhalb Kanton Zürich (logarithmische Darstellung)

Abbildung 57: Angepasste Beförderungszeit im Vergleich NPVM 2023 zum NPVM 2017+ der Beziehungen im Kanton Zürich

Eine Analyse der Beziehungen zwischen den Gemeinden auf der Zuglinie Zofingen – Lenzburg zeigte, dass im Modell der Systemfahrplan der SBB verwendet wird. Dieser hat im Vergleich mit dem öffentlich zugänglichen Fahrplan kürzere Fahrtzeiten zwischen zwei Haltepunkten und längere Haltezeiten in den Bahnhöfen. Entsprechend können sich bei der Berechnung der angepassten Beförderungszeit Werte ergeben, die leicht unter den Fahrtzeiten der öffentlichen Fahrpläne liegen.

2-JRTA (angepasste Reisezeit)

Die angepasste Reisezeit berechnet sich aus der angepassten Beförderungszeit zuzüglich der Startwartezeit. Dies wurde mit maximal 20 Minuten angenommen. Entsprechend ist die Korrelation sehr stark. Wie aus der folgenden Abbildung hervorgeht, ist die Differenz zwischen den beiden Kenngrössen zwischen 0 und 20 Minuten. Die Kenngrössen der angepassten Reisezeit sind demnach konform der Definition berechnet.

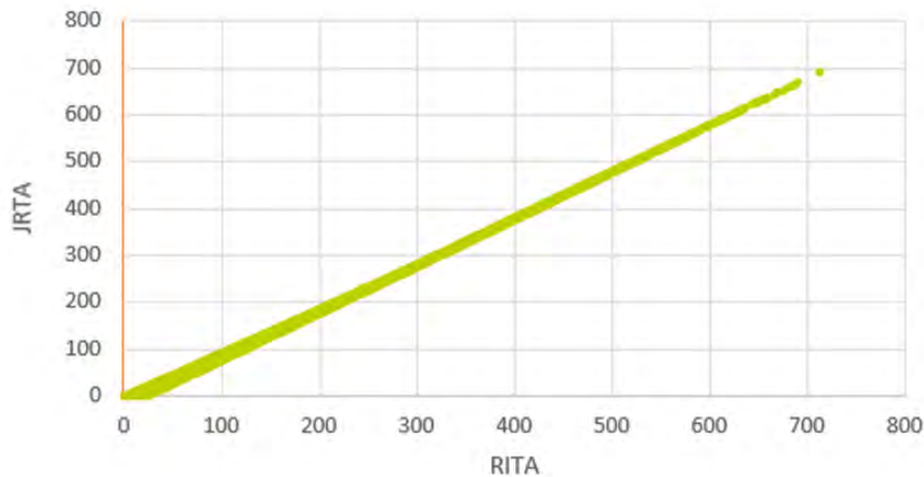


Abbildung 58: Differenz zwischen angepassten Beförderungszeit und der angepasste Reisezeit JRTA im NPVM 2023

3-TWTA (Umsteigewartezeit)

Die Analyse der Umsteigewartezeit zeigt, dass 63% der tatsächlichen Fahrten (aus dem NPVM 2017+) ohne Umsteigewartezeit erfolgen (davon ungefähr die Hälfte in der Diagonalen). Bei 99% der tatsächlichen Fahrten liegt die Umsteigewartezeit bei unter 17 Minuten. Im Durchschnitt über alle Fahrten beträgt diese 1.8 Minuten.

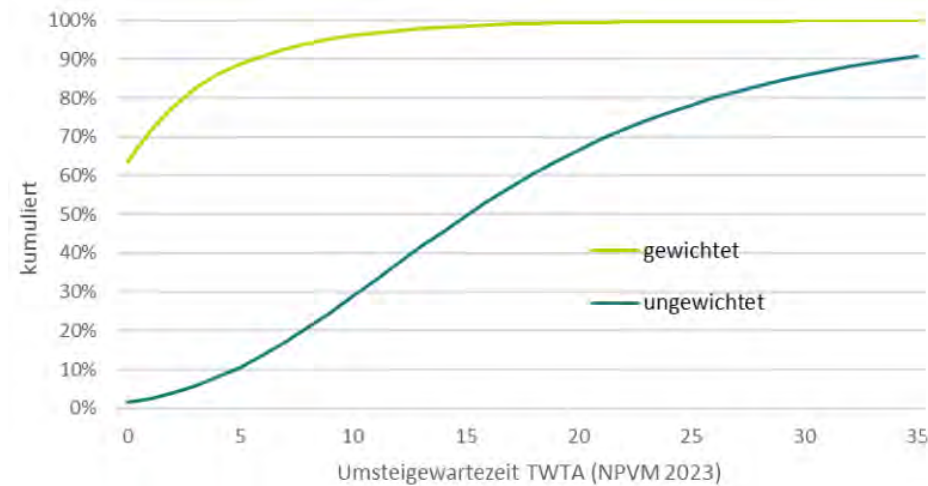


Abbildung 59: Verteilung der Umsteigewartezeit (gewichtet und ungewichtet) im NPVM

4-JRD (Reiseweite)

Die Analyse der (gewichteten) Reisezeit ergab, dass 32% der Fahrten in der Diagonalen keine Reiseweite aufweisen. 90% aller Fahrten sind kürzer als 33 km. Der Durchschnitt über alle Fahrten liegt bei 12.2 km.

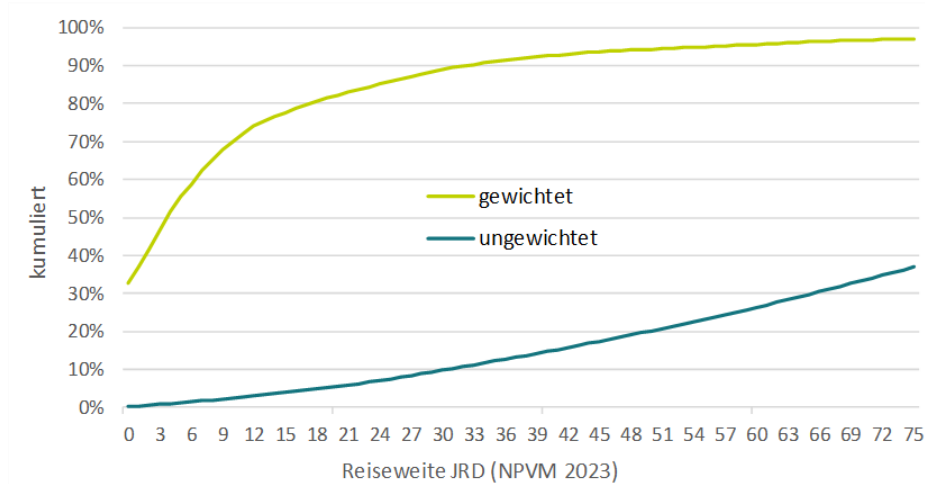


Abbildung 60: Verteilung der Reiseweiten (gewichtet und ungewichtet) im NPVM

5-RID (Fahrtweite)

Es ist grundsätzlich zu erkennen, dass zwischen Fahrtweiten und Reiseweiten eine Korrelation besteht. Als Durchschnitt der Differenz zwischen Fahrtweiten und Reiseweiten ergibt sich über alle Relationen 0.76 km.

Reiseweite = Zugangsweite + Fahrtweite + Gehweite + Abgangsweite

Es wurden keine Ausreisser beobachtet.

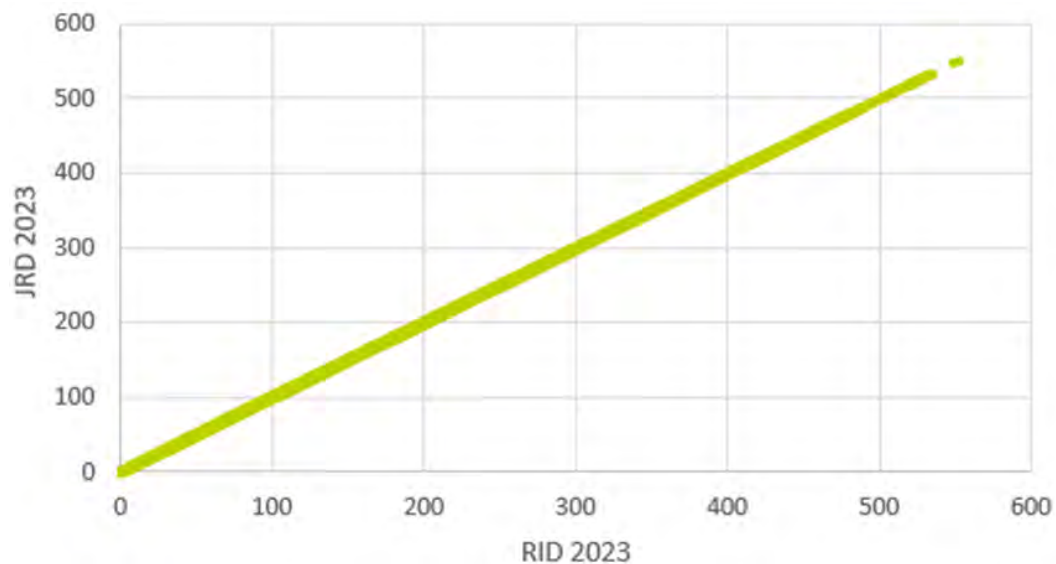


Abbildung 61: Korrelation zwischen Fahrtweiten und Reiseweiten im NPVM 2023

14 Kalibration Nachfrage

Nachfolgend wird die Kalibration der Nachfrage im NPVM 2023 beschrieben – mit Fokus auf die angewandte Kalibrierungsstrategie, den Einbezug regionaler Kennwerte, die Plausibilisierung des intrazonalen Verkehrs, die Anpassung der Mobilitätsraten gegenüber dem NPVM 2017+ sowie die Kalibrierung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Hinweise zur Herleitung des Post-Covid-Zustandes sind in Kapitel 10.1 zu finden.

14.1 Kalibrationsstrategie

Die Kalibrierung des NPVM 2023 erfolgte in drei Phasen, wie in Abbildung 62 illustriert. In der **ersten Phase** wurde basierend auf dem aktualisierten Modellzustand 2023 ein Kennwertinput erzeugt, siehe dazu Kapitel 10.3. Dieser Kennwertinput umfasst Verhaltensdaten wie Mobilitätsraten, mittlere Reiseweiten und Modal-Splits. Eine unmittelbare Übernahme war weder aus dem MZMV 2015 aufgrund fehlender Aktualität noch aus dem MZMV 2021 infolge der Corona bedingten Auswirkungen möglich. Entsprechend wurden Kennwerte definiert ein stimmiges Gesamtbild mit den angenommenen Veränderungen zu Mobilitätsraten, Reiseweiten und Modal-Splits und dem Vergleich des Zählstellenniveaus ergab.

Die **zweite Phase** umfasste sowohl die Anpassung der Transformationsparameter und teilraumfeinen Modusaffinitäten um diese Kennwerte als Kalibrierungszielgrösse zu erreichen, als auch die Regionalisierung der Kennwerte. Die Regionalisierung umfasste dabei eine Anpassung der Mobilitätsraten und eine teilraumfeine Anpassung der Modal-Splits. Neben der Ziel- und Verkehrsmittelwahl erfolgte ausserdem eine Kalibrierung der Umlegung durch Vergleich der Zählwerte mit den Umlegungsergebnissen auf unterschiedlichen räumlichen und inhaltlichen Aggregationsebenen, siehe Kapitel 15. Ergebnis dieser Kalibrierungsphase war ein Modellzustand Z1, in dem noch keine Matrixanpassung stattgefunden hatte.

In der **dritten Phase** erfolgte eine Matrixanpassung mit dem Ziel die ursprüngliche Matrix möglichst wenig zu verändern, die Zählwerte bestmöglich zu treffen und ein Overfitting zu vermeiden, siehe Kapitel 15.

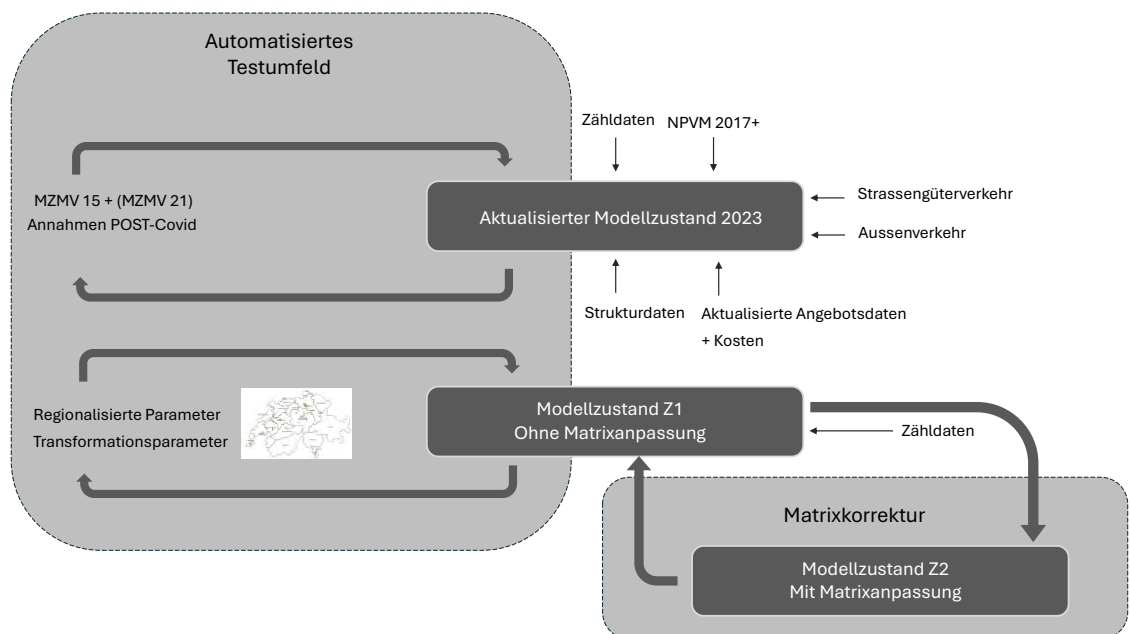


Abbildung 62: Schema Kalibrationsstrategie NPVM 2023

14.2 Regionale Kennwerte

Modalsplit nach Teilräumen

Das Nachfragemodell 2017+ für den Personenverkehr enthielt differenzierte Verhaltensparameter sowohl für die Erzeugung als auch – teilweise - für die Ziel- und Verkehrsmittelwahl nach Raumtypen. Darüber hinaus gab es relationsspezifische Anpassungen der Parametrisierung zwischen ausgewählten Grossstädten. Um eine noch bessere Übereinstimmung der Zählwerte auf lokalerer Ebene zu erlangen, wurde für das NPVM 2023 eine Differenzierung der Verkehrsmittelaaffinitäten vorgenommen. Zunächst wurden Teilräume definiert, wobei folgende Aspekte berücksichtigt wurden: die zu erwartenden Stichprobengrösse, die eindeutige Zuordenbarkeit der MZMV-Daten und die zu erwartende Homogenität innerhalb der entstehenden Teilräume. Als sinnvolle Teilräume erwiesen sich die 16 Arbeitsmarkt-grossregionen in der Schweiz (siehe nachfolgende Abbildung). Die Regionen sind so definiert, dass mindestens 70% der Erwerbstätigen sowohl ihren Wohn- als auch Arbeitsort innerhalb der Region haben.

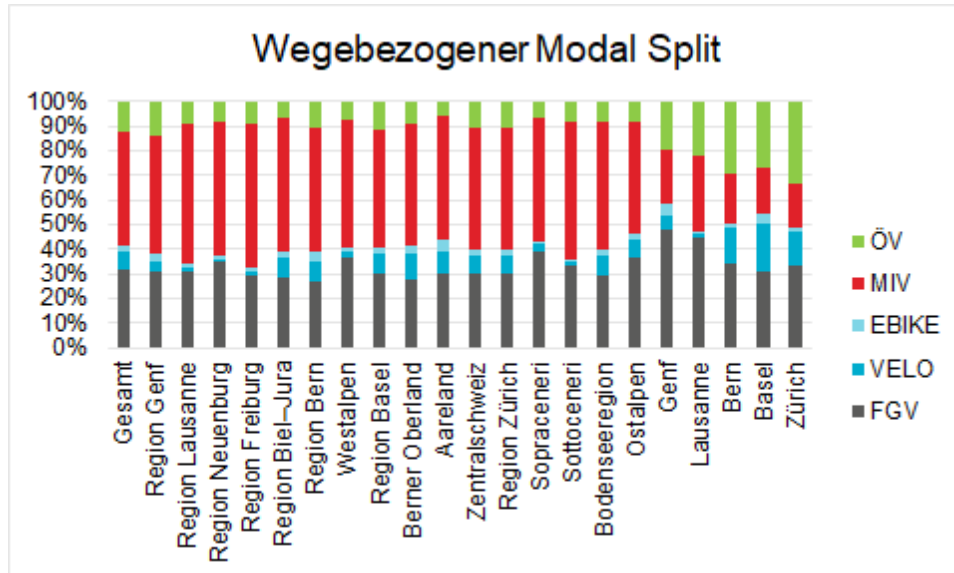


Quelle: BFS, 2019

Abbildung 63: 16 Arbeitsmarkt-grossregionen der Schweiz

Aufgrund der erwartbaren Unterschiede des Verkehrsverhaltens wurden zusätzlich die Städte Genf, Lausanne, Bern, Basel und Zürich als getrennte Teilräume definiert und aus den eigentlichen Arbeitsmarkt-grossregionen entfernt. An dieser Stelle ist das Argument des möglichst homogenen Verkehrsverhaltens vor allem bezüglich Moduswahl entscheidend gegenüber dem Argument, dass die Arbeitswege möglichst innerhalb eines Teilraumes stattfinden. Für die so entstehenden 21 Teilräume wurde der MZMV 2015 hinsichtlich des wegebezogenen Modal-Splits der Quell-, Ziel- und Binnenverkehre ausgewertet und durch Verwendung von teilraumfeinen Verkehrsmittelkonstanten kalibriert, siehe Kapitel 10.3. Das Ergebnis ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Es ist sehr gut erkennbar, dass die Anteile der Modi in den Teilräumen sehr stark differieren. Auffällig ist vor allem der deutlich höhere ÖV-Anteil und im Gegenzug deutlich kleineren MIV-Anteil in den 5 grossen Städten. Diese regionalen Besonderheiten lassen sich nicht ausschliesslich mit den unterschiedlichen Angebotsqualitäten und den verfügbaren Mobilitätswerkzeugen wie PW und Abo erklären.

Die unterschiedlichen Modal-Splits sind zu einem gewissen Teil auf lokal unterschiedliche Verkehrsmittelaaffinitäten zurückzuführen, wie sie auch im Kalibrierungsprozess kantonaler Modelle entstehen würden.



Quelle: BFS, 2017

Abbildung 64: Wegebezogener Modal-Split (Quell-, Ziel- und Binnenverkehr, Territorialprinzip) in Teilräumen

Vor diesem Hintergrund wurden für das NPVM 2023 für jeden der 21 Teilräume Affinitätsfaktoren für jeden Modus festgelegt. Diese Faktoren wirken analog zu den Verkehrsmittelkonstanten in der «EVA-Verteilung und Moduswahlberechnung». Die Affinitätsfaktoren sind im NPVM als Bezirksattribute «Teilraumaffinitaet_XY» für den jeweiligen Modus XY hinterlegt. Ihre Wirkungsweise hängt vom Typ des Aktivitätenpaares wie folgt ab:

- Quellseitige Vektoren, wenn Heimat = Quelle
- Zielseitige Vektoren, wenn Heimat = Ziel
- Matrix aus arithmetisch gemittelten Vektoren, wenn Quelle oder Ziel ungleich Heimat

Die Faktoren wurden in einem iterativen Prozess derart angepasst, dass die teilraumfeinen Modal-Splits aus dem MZMV 2015 möglichst gut mit denen aus dem NPVM 2023 zusammenpassen. Die ermittelten Affinitätsfaktoren sind in Tabelle 85 zusammengefasst. Für die Interpretation spielt lediglich die Unterschiedlichkeit der Werte für den jeweiligen Modus eine Rolle, da die Werte innerhalb der Ziel- und Verkehrsmittelwahl nochmals mit einer für alle Teilräume wirksamen Verkehrsmittelkonstante multipliziert werden. Ein deutlicher Einfluss ist beispielsweise für den MIV für die 5 grossen Städte erkennbar. Der geringe MIV-Anteil aus dem MZMV 2015 in diesen Städten kann nur mit einer deutlich geringen Affinität erklärt werden.

In Tabelle 32 sind die teilraumfeinen Modal-Splits aus dem NPVM 2023 denjenigen aus dem MZMV 2015 gegenübergestellt. Die MZMV 2015-Werte wurden angepasst, wie in Kapitel 10.3 beschrieben. Die Übereinstimmung beider Modal-Splits wurde mit dem Koinzidenzverhältnis (Coincidence Ratio (CR)) quantifiziert und ist ebenfalls in der Tabelle dargestellt. Für alle Teilräume ist das Koinzidenzverhältnis CR grösser als 0.75.

Tabelle 32: Wegebezogener Modal-Split für Teilräume

Teilraum	Modellwert NPVM 2023					Vergleichswerte (siehe Kapitel 10.3, basierend auf MZMV 2015)					CR
	FGV	VELO	EBIKE	MIV	ÖV	FGV	VELO	EBIKE	MIV	ÖV	
Gesamt	32%	7%	2%	46%	12%	33%	7%	2%	46%	13%	0.97
Region Genf	31%	4%	3%	48%	14%	34%	4%	2%	46%	15%	0.92
Region Lausanne	31%	2%	1%	57%	9%	31%	2%	1%	56%	10%	0.97
Region Neuenburg	35%	1%	1%	54%	9%	34%	2%	1%	54%	9%	0.98
Region Freiburg	29%	2%	1%	59%	9%	31%	2%	1%	57%	9%	0.96
Region Biel–Jura	28%	8%	3%	54%	7%	28%	9%	2%	53%	8%	0.97
Region Bern	27%	8%	4%	51%	10%	27%	9%	3%	50%	12%	0.95
Westalpen	36%	2%	2%	53%	7%	37%	2%	1%	53%	7%	0.99
Region Basel	30%	8%	3%	48%	12%	29%	9%	2%	46%	14%	0.94
Berner Oberland	28%	10%	3%	50%	9%	27%	12%	2%	49%	10%	0.97
Aareland	30%	9%	4%	50%	6%	29%	10%	3%	51%	7%	0.95
Zentralschweiz	30%	8%	3%	49%	11%	30%	8%	2%	49%	11%	0.98
Region Zürich	30%	7%	2%	50%	11%	30%	7%	1%	48%	12%	0.96
Sopraceneri	39%	4%	1%	50%	7%	37%	4%	1%	53%	6%	0.94
Sottoceneri	33%	1%	1%	56%	8%	36%	1%	1%	55%	7%	0.95
Bodenseeregion	29%	8%	2%	52%	8%	29%	8%	2%	52%	10%	0.96
Ostalpen	37%	7%	2%	46%	8%	36%	8%	2%	46%	8%	0.97
Genf	48%	6%	5%	22%	20%	55%	5%	3%	18%	19%	0.86
Lausanne	45%	2%	1%	31%	22%	49%	1%	1%	27%	22%	0.91
Bern	34%	15%	1%	21%	29%	37%	14%	0%	17%	31%	0.90
Basel	31%	19%	4%	19%	27%	38%	17%	2%	15%	27%	0.87
Zürich	33%	14%	1%	18%	33%	39%	12%	1%	14%	34%	0.88

Reduktion der Arbeitswege durch Homeoffice

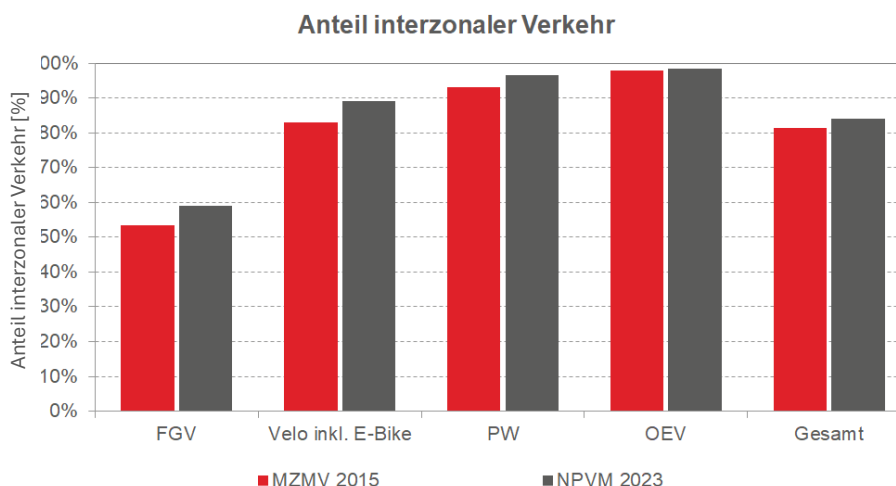
Eine weitere Kennwertregionalisierung fand für die Fortschreibung der Homeofficequote statt. Dazu wurden SAKE (Schweizer Arbeitskräfteerhebung) -Daten für 2015 und 2023 ausgewertet (BFS, 2016 und 2024b). Aus den Antwortkategorien zur Frage nach der Häufigkeit des Homeoffice wurde ein Homeoffice-Index bestimmt und aus der Veränderung des Homeoffice-Index der Reduktionsfaktor für die Häufigkeit der Arbeitswege errechnet. Auf Seiten des Wohnortes konnte dies direkt nach Raumtyp erfolgen. Auf Seite des Arbeitsortes ist eine Differenzierung über die NOGA-Branche und der Verteilung der Arbeitsplätze der NOGA-Branchen innerhalb der Zellen des NPVM vorgenommen worden. Über die Aggregation der Zellen nach Raumtyp konnten so auch für den Arbeitsort die Reduktionsfaktoren raumtypenfein bestimmt werden. Die Faktoren sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst. Die Anpassungsfaktoren wurden direkt als Reduktionsfaktoren in die Berechnungen der Mobilitäts-, Quell- und Zielverkehrsaufkommensraten implementiert und so in das NPVM 2023 integriert.

Tabelle 33: Raumtypenfeine Reduktionsfaktoren für Arbeitswege
Quelle: BFS, 2016 und 2024b

Raumtyp des Wohnorts bzw. Arbeitsorts	Reduktionsfaktor auf der Produktionsseite	Reduktionsfaktor auf der Attraktionsseite
Städtisch	8.4%	7.8%
Intermediär	6.4%	5.6%
Ländlich	5.0%	4.7%

14.3 Intrazonaler Verkehr

Auf den Diagonalelementen der Kenngrössenmatrizen waren Werte enthalten, deren Genese nicht nachvollziehbar war. Zudem waren diese Werte unplausibel gross. Im Rahmen der Plausibilisierung der Zellbinnenaufkommen und Hauptdiagonalelementen der Kenngrössenmatrizen wurden unplausible Werte korrigiert, indem das Setzen der Diagonalelemente komplett in den Verfahrensablauf integriert wurde und somit nun inhaltlich nachvollziehbar ist. Abbildung 65 zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem MZMV 2015. Die Veränderungen gegenüber dem Modellzustand 2017 sind zum einen auf die veränderten Diagonalelemente zurückzuführen. Zum anderen ist durch die Steigerung des E-Bike-Anteils eine höhere Reiseweite für Velos inklusive E-Bikes vorhanden, was zur Erhöhung des Anteils des interzonalen Verkehrs führt.



Quelle: BFS, 2017

Abbildung 65: Anteile der interzonalen Verkehre

14.4 Erzeugung

Die Mobilitätsraten wurden im Rahmen der Bestimmung des Kennwertinputs gegenüber dem NPVM 2017+ angepasst (siehe Kapitel 10.3). Dies geschah auf Ebene der Bezugspersonen je QZG für täglichen Arbeitswege (-5 bis -8% abhängig vom Raumtyp) und Nutzfahrten (-10%), siehe Kapitel 10.1. Im Rahmen der Validierung wurden die resultierenden Häufigkeiten der Wege je Einwohner aktivitätenfein ausgewertet. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Mobilität je Einwohner insgesamt um 3% zurückgegangen ist. Das ist einerseits mit den angepassten Mobilitätsraten zu erklären, andererseits ergeben sich auch leichte Veränderungen aus der veränderten Bevölkerungszusammensetzung und den unterschiedlichen Mobilitätsraten der Personengruppen. Die zweckfeinen Werte bzw. deren Veränderungen gegenüber dem NPVM 2017+ spiegeln die gewünschten Entwicklungen im Rahmen der Festlegung des Kennwertinputs bzw. von Korrekturen in den Strukturdaten (z.B. korrigierte Schülerzahlen) wider.

Tabelle 34: Anzahl Wege je Aktivität je Einwohner

Wegezzweck	NPVM 2017+	NPVM 2023	Relative Veränderung	Erklärung für Veränderung
Alle Wegezzwecke	3.62	3.52	-3%	Anpassung der Mobilitätsraten für Arbeit und Nutzfahrt, Korrektur Schülerzahlen, andere Bevölkerungszusammensetzung
Arbeit (Angestellte)	0.41	0.37	-10%	Anpassung der Mobilitätsraten für Arbeit
Arbeit (Selbständige, Kader)	0.24	0.22	-8%	Anpassung der Mobilitätsraten für Arbeit
Bildung Schule	0.19	0.24	26%	Korrektur Strukturdaten
Bildung Uni	0.02	0.02	0%	
Einkauf (kurz & lang)	0.69	0.68	-1%	Änderung der Bevölkerungszusammensetzung
Nutzfahrt		0.08	-11%	Anpassung der Mobilitätsraten für Arbeit und Nutzfahrt
Begleitung(Kinder)		0.11	-8%	Änderung der Bevölkerungszusammensetzung
Freizeit (kurz & lang)		1.07	-2%	Änderung der Bevölkerungszusammensetzung
Sonstiges		0.73	-4%	Änderung der Bevölkerungszusammensetzung

14.5 Ziel- und Moduswahl

Die Kalibrierung der Verkehrsmittelwahl (Moduswahl) im NPVM erfolgte unter Vorgabe der Modal-Splits für jede QZG. Die vorgegebenen Modal-Splits entsprechen den angepassten Modal-Splits aus dem MZVM 2015, vgl. dazu Kapitel 10.3. Dabei wurden je QZG für jeden Modus Bilanzfaktoren derart bestimmt, dass der Modal-Split je QZG eingehalten wird. Der Modal-Split je QZG wird so nach der Berechnung im Analysemodus des EVA-Modells immer eingehalten wird.

Die entstandenen Bilanzfaktoren für jede QZG und jeden Modus sind in Tabelle 35 zusammengefasst. Es ist gut erkennbar, dass keiner der Faktoren aussergewöhnlich grosse (>100) oder sehr kleine (< 0.01) Werte annimmt. Ebenso zeigt sich die erwartbare Tendenz, dass die Faktoren für Fusswege deutlich grösser 1 sind und die Wege mit dem Velo unter 1. Dies bestätigt den bei Verkehrsmodellen üblichen Zustand, dass Fusswege ohne Multiplikation mit dem Fuss-Bilanzfaktor unterrepräsentiert wären, Wege mit dem Velo hingegen ohne den Bilanzfaktor überrepräsentiert wären. Im Vergleich zu anderen Modellen sowie zum Vorgängermodell NPVM 2017+ bewegen sich die Werte in einem üblichen Bereich, was auf eine gute Kalibrierungsqualität hinweist.

Tabelle 35: Bilanzfaktoren der Modi je QZG

QZG	FGV	VELO	EBIKE	MIV	ÖV
Wohnen-Arbeit A	5.89	0.17	1.14	3.68	0.55
Wohnen-Arbeit SK	7.02	0.13	1.74	4.13	0.23
Wohnen-Bildung S	130.06	0.33	0.00	0.71	0.04
Wohnen-Bildung U	18.38	0.83	5.22	1.11	0.72
Wohnen-Einkauf kurzfristig	22.94	0.14	0.65	2.95	0.10
Wohnen-Einkauf langfristig	8.00	0.08	0.63	3.40	0.18
Wohnen-Nutzfahrt	6.04	0.11	2.09	2.87	0.20
Wohnen-Begleitung (Kinder)	10.91	0.04	1.31	3.51	0.07
Wohnen-Freizeit kurz	14.76	0.12	0.93	3.52	0.11
Wohnen-Freizeit lang	1.07	0.24	1.23	3.95	0.24
Arbeit A-Wohnen	6.46	0.17	1.22	3.80	0.48

QZG	FGV	VELO	EBIKE	MIV	ÖV
Arbeit ASK -Wohnen	7.63	0.14	1.75	4.12	0.19
Bildung Schule-Wohnen	161.05	0.31	0.00	0.31	0.03
Bildung Uni-Wohnen	18.74	0.48	3.72	1.45	0.73
Einkauf kurzfristig-Wohnen	20.97	0.16	0.70	3.18	0.09
Einkauf langfristig-Wohnen	7.66	0.10	0.59	3.42	0.20
Nutzfahrt-Wohnen	6.02	0.09	1.59	2.86	0.17
Begleitung(Kinder)-Wohnen	11.05	0.04	1.52	3.50	0.07
Freizeit kurz - Wohnen	13.56	0.12	1.04	3.83	0.12
Freizeit lang - Wohnen	0.88	0.25	1.03	4.04	0.25
Arbeit Gesamt - Sonstiges	20.06	0.09	1.08	12.28	0.45
Sonstiges - Arbeit Gesamt	20.71	0.08	1.24	12.99	0.27
Arbeit Gesamt - Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz	138.40	0.17	1.99	4.59	0.34
Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz - Arbeit Gesamt	220.31	0.10	1.53	3.59	0.16
Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz - Einkauf kurzfristig / Freizeit kurz	25.62	0.13	1.28	5.87	0.18
Sonstiges - Sonstiges	18.07	0.11	1.03	8.33	0.31

Die Ziel- und Moduswahl im NPVM verwenden eine Logit-Funktion als Bewertungsfunktion, wobei auf den Widerstand w zusätzlich eine Box-Tukey-Transformation angewandt wird. Der so transformierte Widerstand w^* wird folgendermassen berechnet (für eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise vgl. den Schlussbericht NPVM 2017 (ARE, 2020)):

$$w^* = \begin{cases} ((w+1)^b - 1)/b \\ \ln(w+1) \end{cases}$$

Im Rahmen der Kennwertbestimmung wurden Zielwerte für die mittleren Reiseweiten für den ÖV und PW je Aktivität festgelegt. Der Box-Tukey-Parameter b wurde bei der Kalibrierung derart angepasst, dass eine möglichst gute Übereinstimmung der mittlere Reiseweite aus dem Modell mit den Zielwerten erreicht wird. Die Parameter wurden nur soweit wie nötig angepasst, um ein Overfitting zu vermeiden. Dafür wurden die Parameter Werte aus dem NPVM 2017* übernommen und mit einem Faktor nahe dem Wert 1 (+/- 10%) angepasst. Im Zweifel wurden grössere Abweichung zwischen Modell und Empirie akzeptiert. Für den Velo-, E-Bike und Fussverkehr erfolgte keine Kalibrierung, sondern eine Übernahme des Box-Tukey-Parameter b aus dem NPVM 2017+. Im Folgenden wird daher auf eine Darstellung der Velo-, E-Bike und Fussreiseweiten verzichtet und der Fokus auf PW und ÖV gelegt. Die Ergebnisse der Kalibrierung der Mittleren Reiseweiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Zielwerte basieren auf der MZMV 2015 und wurden im Rahmen der Kennwertbestimmung festgelegt (siehe Anhang 5-T). Alle Werte zeigen eine gute Übereinstimmung der mittleren Reiseweiten. Einzig die Wege von und zur Universität weisen etwas höhere Abweichung mit etwas zu kurzen PW- und etwas zu langen ÖV-Wegen auf. Für diesen Wegezweck ist die eine akzeptable Abweichung, da hier üblicherweise die bestehende Raumstruktur und daraus resultierende Randsummen einen grossen Einfluss haben. Auch das Koinzidenzverhältnis der Verteilungen zeigt bei den meisten Wegezwecken einen Wert grösser als 0.7, wobei 0.7 die Grenze zum guten Bereich markiert. Bei der Betrachtung der Koinzidenzverhältnisse ist zu beachten, dass der Kennwert CR basierend auf dem MZMV 2015 berechnet wurde und auf Ebene der Verteilung keine für 2023 korrigierten Referenzwerte vorliegen, sondern ausschliesslich für die Mittelwerte. Auf eine explizite graphische Darstellung der Reiseweitenverteilungen für jedes Aktivitätenpaar wird aufgrund der fehlenden Referenzwerte für die Verteilungen verzichtet.

Tabelle 36: Vergleich mittlere Reiseweiten für PW und ÖV zwischen Modell und Zielwert

Modus/Aktivität	Modell –	Zielwert –	Absolute	CR (> 0.7 = «Gut»)
	NPVM 2023 [km]	MZMV 2015 [km]	Abweichung [km]	
PW/Arbeit (A)	14.00	14.1	-0.1	0.86
PW/Arbeit Kader (SK)	14.21	14.5	-0.3	0.82
PW/Schule	6.04	6.2	-0.2	0.55
PW/Universität	20.08	24.5	-4.4	0.75
PW/Einkauf kurz	6.18	6.2	-0.1	0.70
PW/Einkauf Lang	11.20	11.3	-0.1	0.80
PW/Nutzfahrt	19.69	20.1	-0.4	0.72
PW/Begleitung	7.03	7.1	0.0	0.65
PW/Freizeit kurz	4.00	4.0	0.0	0.91
PW/Freizeit lang	34.83	33.9	0.9	0.74
PW/Arbeit/Sonstiges	14.46	12.8	1.7	0.73
PW/Sonstiges	11.54	11.5	0.0	0.69
ÖV/Arbeit (A)	23.21	22.5	0.7	0.77
ÖV/Arbeit Kader (SK)	28.07	26.9	1.2	0.81
ÖV/Schule	11.51	12.0	-0.4	0.69
ÖV/Universität	34.36	30.2	4.2	0.81
ÖV/Einkauf kurz	9.52	9.8	-0.3	0.68
ÖV/Einkauf Lang	10.58	10.8	-0.2	0.79
ÖV/Nutzfahrt	34.83	33.8	1.0	0.83
ÖV/Begleitung	5.49	5.9	-0.4	0.63
ÖV/Freizeit kurz	4.78	4.8	-0.1	0.82
ÖV/Freizeit lang	53.70	50.1	3.6	0.72
ÖV/Arbeit/Sonstiges	19.11	18.5	0.6	0.83
ÖV/Sonstiges	16.48	16.1	0.4	0.65

Im NPVM 2017+ ist aufgefallen, dass im Vergleich zum MZMV 2015 zu wenige PW-Wege existieren, die länger als 100 km sind. Dies liegt darin begründet, dass die verwendete Logit-Funktion trotz Box-Tukey-Funktion eine stetig fallende Elastizität mit steigender Distanz aufweist. Die geschätzte Elastizität aus den SP-Experimenten weist dabei einen Gültigkeitsbereich auf, der die Häufigkeit der langausgeprägten Wege nicht genug abdeckt. Auch greifen ab einer bestimmten Wegelänge andere Wahrnehmungsmechanismen, da Wege dieser Länge häufiger mit Übernachtungen verbunden sind.

Um die im SP-Experiment geschätzten Sensitivitäten zwischen Kosten und Reisezeit bis 100 km nicht zu verändern, wurden eine zusätzliche Bewertungsgrösse eingeführt, deren Funktionsweise in Abbildung 66 schematische verdeutlicht ist. Für Wege ab ca. 100km wird die Bewertung des Widerstandes so angepasst, dass der Abfall der Widerstandsbewertung abgemindert wird, in dem eine leicht positive Korrektur der Bewertung vorgenommen wird (grün dargestellt in Abbildung 66). Die Grenze von 100km wurde im Rahmen der Kalibrierung variiert und hat sich als optimal herausgestellt.

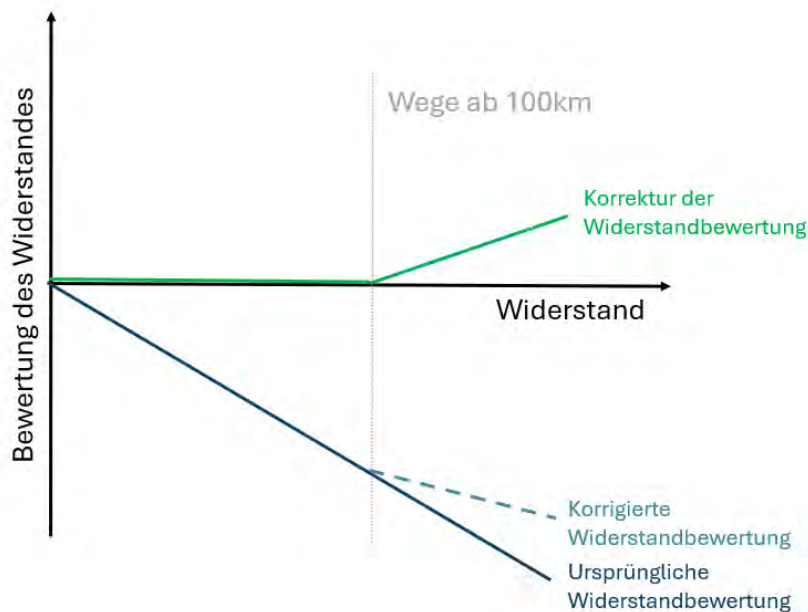


Abbildung 66: Prinzip der Anpassung des Widerstandes für lange PW-Wege

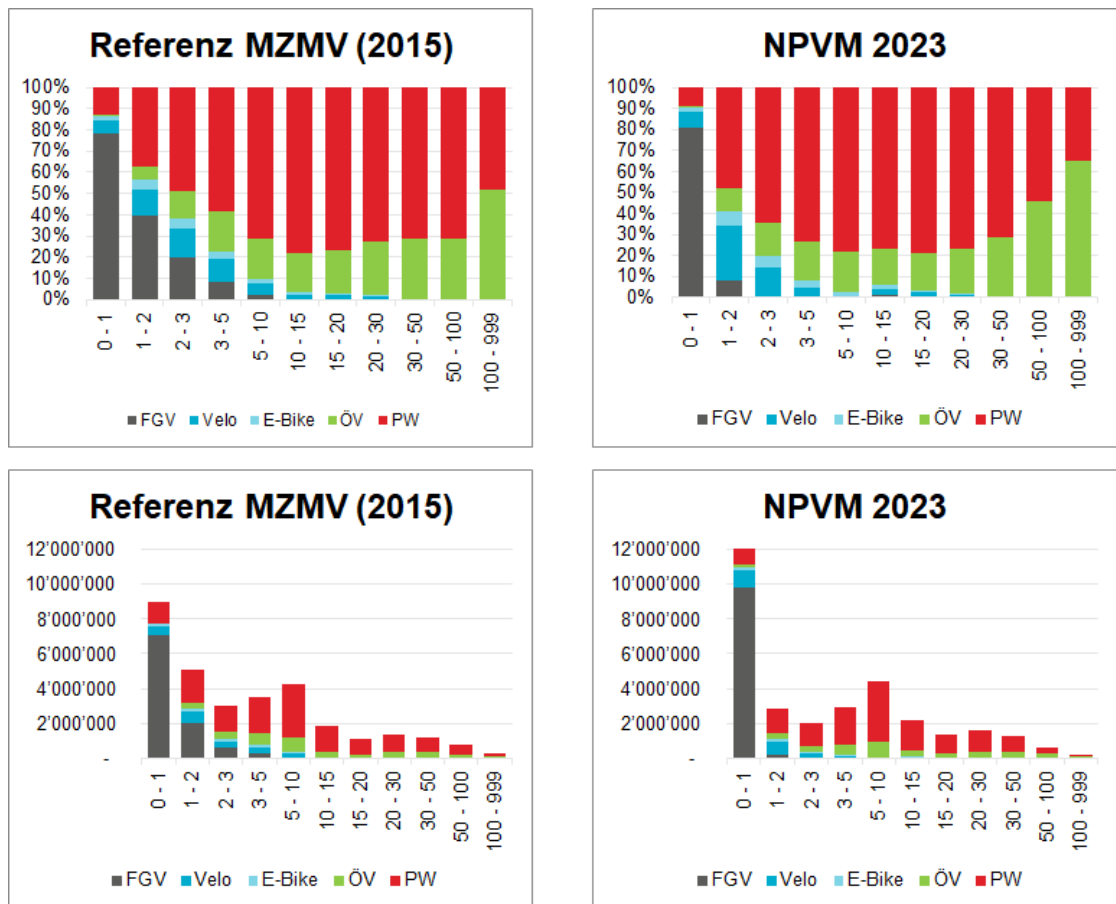
Für die Umsetzung im NPVM 2023 wurden zwei zusätzliche Kenngrössenmatrizen eingeführt. Zum einen eine PW-Kostenmatrix, welche für Wege bis 22 Franken eine Null enthält, ansonst den Wert der Kosten reduziert um 22. Analog wurde zum anderen eine PW-Fahrzeit Matrix mit dem Grenzwert 75min eingeführt. Die Werte entsprechen etwa einer mittleren Wegelänge von 100km. Beide Grenzwerte wurden im Rahmen der Kalibrierung variiert, diese Werte führten zum besten Korrektoreffekt. Die eingeführten Kenngrössenmatrizen werden im entsprechenden EVA-Bewertungsschritt in die Bewertung BW der Widerstandskomponenten w_k mittels einer Box-Tukey-Transformation integriert:

$$BW = \exp(c_{kosten} * w_{kosten}^* + c_{zeit} * w_{zeit}^* \dots c_k * w_k^*) \text{ mit } w^* = \begin{cases} ((w+1)^b - 1)/b \\ \ln(w+1) \end{cases}$$

Dabei entsprechen die Verhältnisse der c-Parameter für Kosten und Zeit den Resultaten aus der SP-Befragung. Die Kalibrierung erfolgte so, dass die Anzahl langer PW-Wege für die betreffenden Aktivitätenpaare möglichst dem MZMV 2015 entspricht. Kalibriert wurden alle QZG welche die Aktivitäten Arbeit, Nutzfahrt, lange Freizeit und lange Einkaufswege enthalten.

Die Ergebnisse der Reiseweitenverteilung und der resultierende distanzabhängige Modal-Split sind in den vier Diagrammen in Abbildung 67 zusammengefasst. Die beiden oberen Diagramme zeigen die sehr gute optische Übereinstimmung des längenabhängigen Modal-Splits bezogen auf die Wege in allen Distanzklassen.

Die beiden unteren Diagramme zeigen die Reiseweitenverteilung für alle Wege, eingefärbt mit den entsprechenden Modusanteilen. Hier ist gut erkennbar, dass im NPVM 2023 zu viele Fusswege in der Distanzklasse 0 bis 1km vorhanden sind. Für die anderen Modi zeigt sich hingegen eine sehr gute Übereinstimmung.



Quelle: BFS, 2017

Abbildung 67: Reiseweitenverteilung und längenabhängiger Modal-Split

Im Rahmen der Kalibrierung wurde ein Vergleich des Schienenverkehrs aus der ÖV-Umlegung mit den Daten aus der Frequenzbefragung der SSB durchgeführt, siehe Abbildung 68. Die Erhebungswerte bezogen für Zugfahrten innerhalb der Schweiz wurden auf die Tageswerte umgerechnet und auf Ebene von 13 Aggregationsräumen zusammenaddiert. Aus dem NPVM wurde mit der Einschränkung auf Schienenverkehr eine Spinne gerechnet und die entstehende Matrix auf die 13 Teilräume aggregiert. So entstehen zwei Matrizen, die relationsfein mit dem SQV auf Übereinstimmung geprüft wurden. Für die Korridorwerte (Nummern grösser als 9000) ist zu beachten, dass die SBB-Matrix nicht vollständig ist, da es sich um Verkehre handelt, die Quelle und/oder Ziel nicht in der Schweiz aufweisen. Innerhalb der Schweiz zeigen sich bis auf die Agglomerationen gute Übereinstimmungen ($SQV > 0.7$). Innerhalb der Agglomerationen sind die Werte aus dem NPVM 2023 leicht höher. Der tendenziell niedrige SQV-Wert resultiert einerseits daraus, dass innerhalb der Agglomerationen sehr hohe Werte miteinander verglichen werden und der SQV dadurch strenger wirkt (gleiche relative Abweichungen führen bei höheren Werten zu einem geringeren SQV). Andererseits ist der pauschale Umrechnungsfaktor von Jahres- auf Tageswerte der empirischen Matrix für die Agglomerationen falsch und in der Realität anders. Die Abweichungen wurden nach Rücksprache mit der SBB als akzeptabel eingestuft.

SQV(NPVM; SBB; f=10.0000)

13 x 13			1001	1002	1003	1004	2001	2002	2003	3001	3002	9001	9002	9004	9005
	Name		Agglo Zürich	Agglo Basel	Agglo Bern	Agglo Léman	Rest Romandie	Ticino	Rest Deu-CH	Jura	Alpen	Korridor Nord	Korridor Ost	Korridor Süd	Korridor West
		Summe													
1001	Agglo Zürich		0.47	0.83	0.87	0.80	0.98	0.79	0.62	0.78	0.63	1.00	0.94	0.76	0.83
1002	Agglo Basel		0.76	0.78	0.81	0.98	0.92	0.99	0.56	0.74	1.00	0.99	0.98	0.94	0.87
1003	Agglo Bern		0.87	0.81	0.51	0.75	0.73	0.86	0.70	0.71	1.00	0.93	0.98	0.94	0.84
1004	Agglo Léman		0.81	0.94	0.73	0.97	0.97	0.95	0.65	0.84	0.87	0.87	0.99	0.81	0.79
2001	Rest Romandie		0.92	0.92	0.72	0.98	0.97	0.88	0.65	0.94	0.91	0.91	0.98	0.81	0.21
2002	Ticino		0.79	0.93	0.87	0.91	0.89	0.90	0.98	0.98	0.97	0.90	0.98	0.76	0.73
2003	Rest Deu-CH		0.62	0.56	0.71	0.65	0.65	0.94	0.76	0.98	0.93	0.61	0.63	0.89	0.72
3001	Jura		0.79	0.70	0.69	0.83	0.93	0.99	0.98	0.86	0.98	0.98	1.00	0.97	0.54
3002	Alpen		0.62	0.94	0.98	0.83	0.91	0.99	0.94	0.98	0.78	0.75	0.79	0.99	0.54
9001	Korridor Nord		0.97	0.93	0.94	0.88	0.94	0.91	0.60	0.98	0.76	0.49	0.99	0.97	0.88
9002	Korridor Ost		0.94	0.98	0.97	0.99	0.98	0.98	0.61	0.99	0.79	0.98	0.30	0.98	0.98
9004	Korridor Süd		0.81	0.92	0.98	0.90	0.78	0.79	0.86	0.98	0.99	0.97	0.98	0.89	0.57
9005	Korridor West		0.83	0.91	0.77	0.78	0.19	0.72	0.67	0.58	0.51	0.93	0.98	0.43	0.17

Abbildung 68: Vergleich der ÖV-Fernverkehre NPVM 2023 und SBB-Erhebung

15 Kalibration Umlegung, Qualitätsanforderungen

Bei der Kalibration der Umlegung wurde zwischen MIV und ÖV unterschieden. Beide Kalibrierungen erfolgten in einem zweistufigen Verfahren (Modellzustand Z1 und Z2), das nachfolgend erläutert wird.

15.1 Kalibration im MIV

15.1.1 Vorgehensweise

Die Kalibration der Umlegung im MIV ist ein zweistufiges Verfahren. Zunächst wurde ein Modellzustand Z1 angestrebt.

Dieser Modellzustand wurde durch folgende Aktionen erreicht:

- Überprüfen von bestimmten QZG-Matrizen (Arbeit, Freizeit, Ausbildung (Schule)) auf Kantonsebene
- Analyse der Umlegungsergebnisse der im Rahmen des Kapitels 3 codierten Strassenbauprojekte (werden alle neu codierten Strecken belastet?)
- Visuelle Prüfung der Differenzen zwischen Modellwert und Zählwert pro Teilraum, zur Identifikation von systematischen Fehlern im Nachfragemodell
- Kritische Revision der Zählzeiten und Ausschluss von nicht plausiblen Zählwerten (siehe Kapitel 7)
- Analyse von Strecken mit sehr hoher oder sehr niedriger Belastung und gegebenenfalls Korrektur von Netzelementen oder Zählzeiten
- Identifikation der Strecken mit Konvergenzproblemen und gegebenenfalls Korrektur von Netzelementen
- Prüfung der Belastung auf ausgewählten Strassenzügen (A1 St. Margrethen-Genf, A2 Basel-Chiasso)
- Anwendung einer Matrixkorrektur mit dem Ziel, Nachkalibrierungsbedarf aufzuzeigen bzw. fehlerhafte Netzelemente oder Zählzeiten zu entdecken.

Grundlage für die Validierung sind zahlreiche Kenngrößen und Gütemasse. Diese werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels vorgestellt. Die plausible Modellreaktion wurde darüber hinaus durch Sensitivitätsanalysen bestätigt.

Weiter wurden für das Modell die Konvergenzen auf drei verschiedenen Modellebenen nachgewiesen:

- Konvergenz unter Einhalten der Randsummenbedingungen bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl.
- Konvergenz zwischen Angebot und Nachfrage.
- Konvergenz der Umlegung.

Die Erstellung des Modellzustands Z2 erfolgte anhand einer automatisierten Matrixkorrektur, welche neben dem Erreichen einer höheren Übereinstimmung mit den Zählzeiten auf einen möglichst kleinen Eingriff in die Matrixstruktur abstellt.

Die Arbeitsschritte dabei waren:

- **Hierarchisierung und Filtern der Zählwerte:** Durch die Matrixkorrektur wurden noch einige Zählwerte entdeckt, die wenig plausibel waren. Diese wurden für die Matrixkorrektur gefiltert. Für die Auswertung wurden dagegen alle zulässigen Zählwerte herangezogen.
- **Bestimmung der Nachfragesegmente:** Im MIV wurde die Matrixkorrektur mit Hilfe der Summe der Matrizen aus PW_Binnen und LI durchgeführt. Entsprechende Zählwert sind DWV_LEICHT.

- **Methode und Parametrisierung der Matrixanpassung:** Die Matrixkorrektur fand mit Hilfe der Methode «VStromFuzzy» statt. Die maximal zulässige Abweichung zwischen Modell- und Zählwerten wurde iterativ festgelegt.

Bei der Matrixkorrektur im MIV wurde zusätzlich noch eine Methode («CrossValidation») mit dem Ziel der Kontrolle und Interpretation der Fehler auf Strecken ohne Zählwerte und somit Bewertung der Gesamtgüte der Umlegungsprozedur angewandt. Dazu wurden 20% der Zählstellen zufällig ausgewählt und aus dem Korrekturprozess ausgeschlossen, bei sonst gleicher Verfahrensanordnung.

15.1.2 Streckentypspezifischer Reisezeitgewichtung

Erste Umlegungen der aus dem Nachfragemodell kommenden Matrizen brachten einen systematischen Fehler des Umlegungsmodells zu Tage. Auf Autobahnen, Autostrassen und Rampen war der umgelegte Verkehr im Mittel deutlich höher als die Zählwerte. Der Unterschied betrug im Mittel 17% auf Autobahnen und 18% auf Autostrassen. Bei Innerortsstrassen war genau das Gegenteil der Fall. Hier wurden die Zählwerte im Mittel nicht erreicht. Bei Ausserortsstrassen war die mittlere Anpassung vergleichsweise gut. Dieser Umstand zeigte sich konkret auf weiten Teilen der A1. Dort waren die Modellbelastungen zum Teil deutlich höher als die Zählwerte. Auf den parallel verlaufenden Kantonsstrassen war dies aber nicht der Fall.

Aus diesem Grund wurde eine streckentypspezifische Reisezeitgewichtung eingeführt. Bei der MIV-Umlegung wurde die Bewertung der Reisezeit auf Strecken von Autobahnen, Autostrasse und Rampen pauschal um 20% erhöht (EVA-Berechnung bleibt unverändert). Umgekehrt wurde die Bewertung der Reisezeit auf Strecken innerorts pauschal um 20% abgesenkt. Im Rahmen der Kalibration 2017 wurde schon auf eine solche Gewichtung zurückgegriffen. Allerdings war diese relativ schwach, da sie nur den Streckentyp der Autobahnen betraf und mit einer Reduktion von 3.5% auch wesentlich weniger stark ins Modell eingriff.

Tabelle 37: Streckentypspezifische Reisezeitgewichtung im NPVM 2017 und im NPVM 2023

Widerstand Reisezeit	NPVM 2017	NPVM 2023
Autobahn	0.965	1.2
Autostrasse	1	1.2
HVS_ao	1	1
HVS_io	1	0.8
uebrige_ao	1	1
uebrige_io	1	0.8
Rampe	1	1.2

Als mögliche Gründe für diesen systematischen Fehler (der 2017 ganz offensichtlich nicht auftrat) konnten folgende Einflussfaktoren geltend gemacht werden:

- Bessere Abbildung von langen Wegen (>100 km) im MIV (50'600 Wege, 0.3% der MIV-Wege, knapp 5% der Verkehrsleistung MIV), wobei davon ausgegangen werden kann, dass ein Grossteil dieser Verkehrsleistung auf Autobahnen geleistet wird.
- Teilraumspezifische Parameter der Verkehrsmittelwahl: Bessere Differenzierung der Verkehrsmittelwahl innerhalb des städtischen Raumtyps.

Als mögliche Alternative zur streckentypspezifischen Reisezeitgewichtung wurde vor allem eine Absenkung des c-Wertes von 12 auf 10 diskutiert und getestet. Diese Absenkung wäre bereits in der Nachfrageberechnung relevant. Sie hätte bei der Nachfrageberechnung zur Folge, dass Ziele, die vor allem mit (stark belasteten) Autobahnen erreicht werden können, weniger attraktiv werden. Bei der Umlegung wäre die Folge gewesen,

dass die Belastung auf stark befahrenen Autobahnen weniger hoch ausfällt. Diese Alternative wurde verworfen. Ein Grund hierfür war, dass die Anpassung des c-Wertes nur für stark belastete Strecken wirksam ist. Die streckentypspezifische Belastung betrifft dagegen alle Strecken. Dies ist wichtig, da die systematische Überschätzung der Zählwerte auch Strecken betrifft, die nicht stauanfällig sind.

Die Elastizität der streckentypspezifischen Belastung von Autobahnen liegt bei ungefähr -0.5. Eine Erhöhung der bewerteten Reisezeit um 20%, wie im Modell umgesetzt, führt folglich zu einem Rückgang der Belastung von circa 10%. Die Kreuzelastizität gegenüber anderen Streckentypen liegt zwischen +0.1 und +0.3.

Die Anwendung der streckentypspezifischen Bewertung führte zu einem deutlichen Ausgleich bei den Belastungswerten. Auch der Anteil der Zählstellen, die einen SQV von mehr als 0.75 bzw. mehr als 0.85 aufweisen, stieg deutlich an.

15.1.3 Ergebnisse der Kalibration im MIV

Modellzustand Z1

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse (der Anteil der Zählstellen, die einen SQV von weniger als 0.75 aufweisen und die mittlere Abweichung der Belastung im Vergleich zu den Zählwerten) für den Zustand ohne streckentypspezifische Reisezeitgewichtung und für den Modellzustand Z1.

Tabelle 38: Modellzustand Z1: Vergleich mit und ohne streckentypspezifische Reisezeitgewichtung

	Anzahl	Ohne streckentypspezifische Reisezeitgewichtung		Mit streckentypspezifischer Reisezeitgewichtung (Modellzustand Z1)	
		SQV<0.75	Mittlere Abweichung	SQV<0.75	Mittlere Abweichung
Autobahn	470	42%	17%	24%	4%
Autostrasse	76	25%	18%	12%	3%
HVS_ao	981	15%	-6%	13%	-7%
HVS_io	2'908	28%	-15%	26%	-8%
uebrige_ao	41	20%	-19%	20%	-12%
uebrige_io	289	32%	-29%	31%	-22%
Rampe	76	22%	11%	30%	0%
Alle	4'841	27%	-1%	23%	-4%

Die folgende Abbildung zeigt für den Modellzustand Z1 den Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A1 von St. Margrethen nach Genf. Im unteren Teil der Abbildung wird der SQV für jeden Streckenabschnitt präsentiert. Tendenziell sind die Modellbelastungen auf der A1 immer noch leicht zu hoch, mit Ausnahme der Abschnitte Bern-Yverdon, Winterthur-Zürich und Genf.

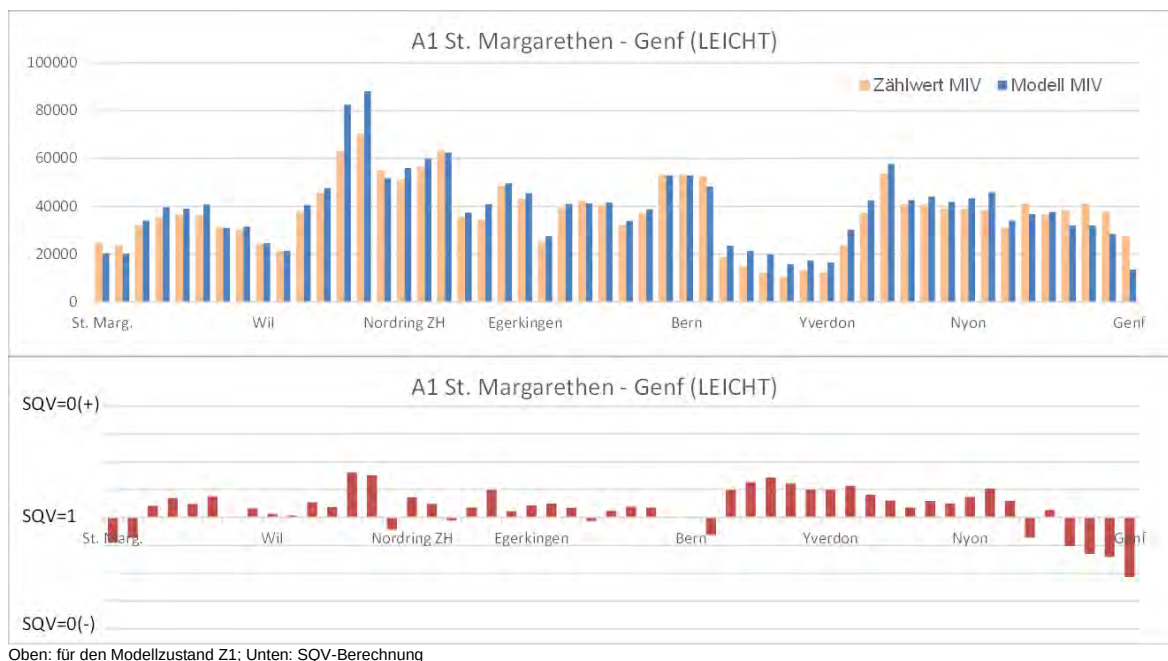


Abbildung 69: Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A1 von St. Margarethen nach Genf

Modellzustand Z2

Die Matrixkorrektur wurde mit Hilfe der Methode «VStromFuzzy¹» durchgeführt (Beschreibung der Prozedur siehe Kapitel 12). Dabei wurde darauf geachtet, dass die ursprüngliche Matrix möglichst wenig verändert wird und gleichzeitig die Zählwerte bestmöglichst getroffen werden, ohne dass es zu einem Overfitting führt. So ist die Prognosefähigkeit der Korrekturmatrix gegeben und starke Korrekturen können ermittelt werden.

Als Toleranzfunktion für die Erstellung der Korrekturmatrix wurde eine Funktion gewählt, die sich am SQV orientiert. Die Funktion erlaubt ein Abweichen von $SQV = 0.7$ für Autobahnen und ein SQV von 0.65 für alle anderen Strassentypen. Für kleine Zählwerte wird eine Abweichung von $1'000$ toleriert ($\max(1'000; \sqrt{10'000 \cdot ZW} \cdot (1/g - 1))$), mit $g = 0.7$ bzw. 0.65 . Diese Funktion ist schwach (d.h. sie gibt der Prozedur relativ viel Spielraum), vor allem für Zählstellen mit grossen Werten (Autobahnen etc.). Nichtsdestotrotz führt diese Funktion wie gewünscht zu einer deutlichen Reduzierung des Unterschieds zwischen Modellbelastungen und Zählwerten. Andere Funktionen, z.B. solche, bei denen die Toleranzfunktion proportional zum Zählwert liegt, wurden ebenfalls getestet, liefern aber schlechtere Ergebnisse.

Es wurden Toleranzfunktionen mit und ohne Matrixkontrolle getestet. Die Matrixkontrolle betraf sowohl die Ecksumme der Matrix als auch einzelne Distanzklassen. Dadurch wird sichergestellt, dass sich die Zahl der Fahrten in der Matrix nicht zu stark in eine Richtung entwickelt, was üblicherweise unerwünscht ist, da die Zahl der Fahrten gesamthaft und pro Distanzklasse ein Kalibrationsziel darstellt. Nachteil dieser Methode mit Matrixkontrolle ist, dass wenn in gewissen Regionen Verkehr hinzugefügt werden muss (z.B. Kantone Thurgau, Neuchâtel), dieser in anderen Regionen vermindert werden muss, ohne dass es dafür eine anderweitige Begründung gibt. Aus diesem Grund wurde die Toleranzfunktion mit Matrixkontrolle verworfen.

Nachfragematrix-Korrektur (VStromFuzzy)

Zahlwerte | Zahlwerte IV | Verteilung PW_binnen | Verfahrenssteuerung | Ergebnismatrix

Allgemeines

☐ Nur Bezirksbeziehungen mit M > 0 korrigieren

M =

Analyse

☒ Protokoll

☒ Diagnose

☒ Verlaufstatistik

Speicherort für Statistiken

Verfahrensparameter

max. Korrekturfaktor

Abbruch bei Änderung <

Anzahl Iterationen

geschätzte Fahrtenzahl

Alpha-Niveau

Bezirksbeziehungen ohne Zahlwerte

☒ Unverändert lassen

☐ Mit mittlerem Korrekturfaktor skalieren

Anteilsmatrix

Anzahl: 1	NSeg	Laden/Speichern	Dateiname
1	PW_binnen PW Binnenverkehr neu berechnen		

Alte Einstellungen öffnen OK Abbrechen

Nachfragematrix-Korrektur (VStromFuzzy)

Zahlwerte | Zahlwerte IV | Verteilung PW_binnen | Verfahrenssteuerung | Ergebnismatrix

☒ Nur Netzobjekte mit Belastung > 0 und Zahlwert > 0 verwenden

Bezirke

☐ Zeilen- und Spaltensummen der Matrix zugrunde legen

☐ nur aktive Bezirke

Zeilensummen: +/-

Spaltensummen: +/-

Strecken

☒ gezählte Streckenbelastungen zugrunde legen

☒ nur aktive Strecken

Belastung: +/-

Abbieger und Oberabbieger

☐ gezählte Abbieger- und Oberabbiegerbelastungen zugrunde legen

☐ nur aktive Abbieger und Oberabbieger

Belastung: +/-

Screenlines

☐ gezählte Belastungen in Richtung der Screenline zugrunde legen

☐ nur aktive Screenlines

Belastung: +/-

Gesamtverkehr

☐ gezählten Gesamtverkehr (alle Nachfragesegmente) zugrunde legen

Gesamtverkehr: +/-

Alte Einstellungen öffnen OK Abbrechen

Abbildung 70: Einstellungen zur Berechnung der Matrixkorrektur

Die folgende Tabelle zeigt die Statistiken der Matrixkorrekturen, ohne und mit Matrixkontrolle. Die Korrekturmatrix ohne Matrixkontrolle erklärt 19% der Gesamtmatrix, d.h. die Summe der positiven und negativen Abweichungen zusammen ergeben 19% der Gesamtmatrix. Ein positiver Aspekt des Verzichts auf die Matrixkontrolle ist, dass die Diagonale der Matrix unverändert bleibt. Beim Verfahren mit Matrixkontrolle wird die Zahl der Fahrten in der Diagonale weniger (-20'704), d.h. zusätzliche Fahrten werden umgelegt.

Tabelle 39: Ergebnisse der Matrixkorrektur im MIV

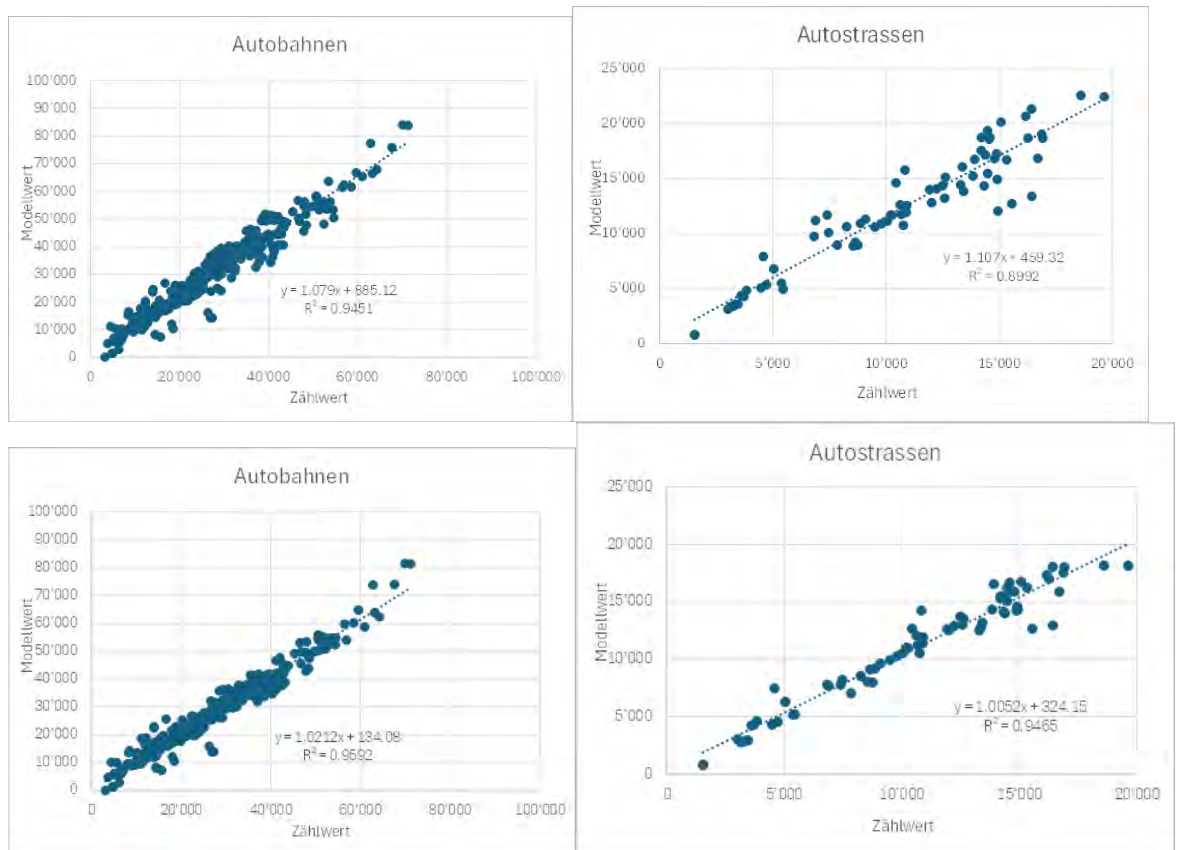
	«VStromFuzzy» ohne Matrixkontrolle		«VStromFuzzy» mit Matrixkontrolle	
	Ecksumme	Diagonalsumme	Ecksumme	Diagonalsumme
Nachfrage Ausgangslage	10'394'771	445'296	10'394'770	445'296
Nachfrage «VStrom Fuzzy»	11'339'487	445'296	10'413'660	421'800
Differenz	944'716	0	18'889	-20'704
Differenz in %	9%	0%	0.2%	-5%
Differenz absolut	1'983'230	0	2'038'448	-20'704
Differenz absolut in %	19%	0%	20%	-5%

Durch die Anwendung dieser Korrekturmatrix (ohne Matrixkontrolle) wurde die Anpassung der Modellbelastungen an die Zählwerte deutlich verbessert. Die folgende Tabelle zeigt die mittlere Abweichung, den Anteil der Strecken mit $|SQV| < 0.75$ und die Zahl der Zählstellen pro SQV-Klasse. Vor allem für die wichtigen Streckentypen Autobahn und Autostrasse ist der Anteil der Zählstellen, die den SQV von 0.75 verfehlen, sehr gering geworden.

Tabelle 40: Modellzustand Z1: Vergleich von Belastungen und Zählwerten in Abhängigkeit der Streckenkategorie

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	[0;0.75]	[0.75;0.85]	[0.85;1]	SQV<0.75	Abweichung
Autobahn	470	169	22	12	21	44	202	7%	2%
Autostrasse	76	21	4	2	4	1	44	8%	1%
HVS_ao	981	483	62	44	39	28	325	8%	-3%
HVS_io	2'908	1'332	256	219	204	110	787	15%	-2%
uebrige_ao	41	14	12	3	3	0	9	15%	-11%
uebrige_io	289	95	63	56	30	6	39	30%	-18%
Rampe	76	31	2	8	7	5	23	20%	3%
Alle	4'841	2'145	421	344	308	194	1'429	13%	-1%

Eine genauere Betrachtung der Unterschiede zwischen Modellbelastungen und Zählwerten kann mit Hilfe von Streudiagrammen erstellt werden. In der folgenden Abbildung stehen sich jeweils die Streudiagramme der Modellzustände Z1 und Z2 für Autobahnen und Autostrassen gegenüber. Man erkennt zwei positive Wirkungen der Matrixkorrektur: erstens sinkt die Varianz zwischen Modellwert und Zählwert, d.h. die einzelnen Punkte liegen näher an der Winkelhalbierenden, und die Steigung der Regressionsgeraden liegt näher bei 1 (Abbildung 71). Diese Steigungen waren im Zustand Z1 noch deutlich grösser als 1 – genau genommen 1.08 bei den Autobahnen und 1.10 bei den Autostrassen.



Oben: Modellzustand Z1, unten: Modellzustand Z2

Abbildung 71: Beurteilung der Unterschiede zwischen Modellbelastungen und Zählwerten

Auch die Streckenabschnitte der A1 sind grösstenteils sehr gut kalibriert. Grössere Unterschiede gibt es noch im Bereich Winterthur - Zürich und zwischen Bern und Yverdon.

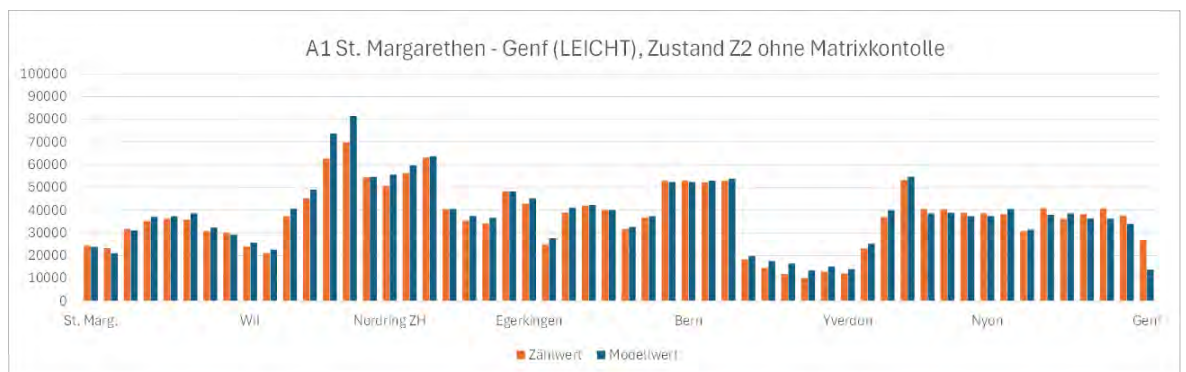


Abbildung 72: Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A1 von St.Margrethen nach Genf für den Modellzustand Z2

Auch auf der A2 zwischen Basel und Chiasso sind die Unterschiede zwischen Modellbelastungen und Zählwerten an fast allen Strecken sehr gering. Dies gilt auch für die Alpenquerung (Gotthard-Tunnel).

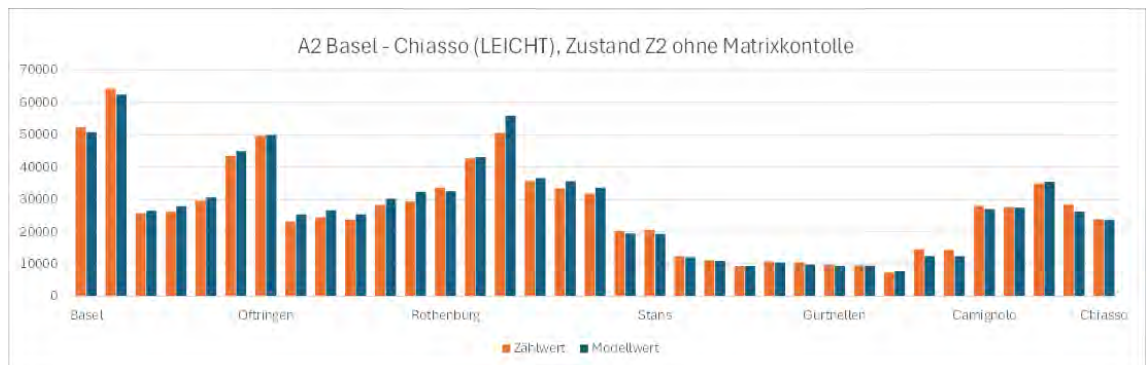
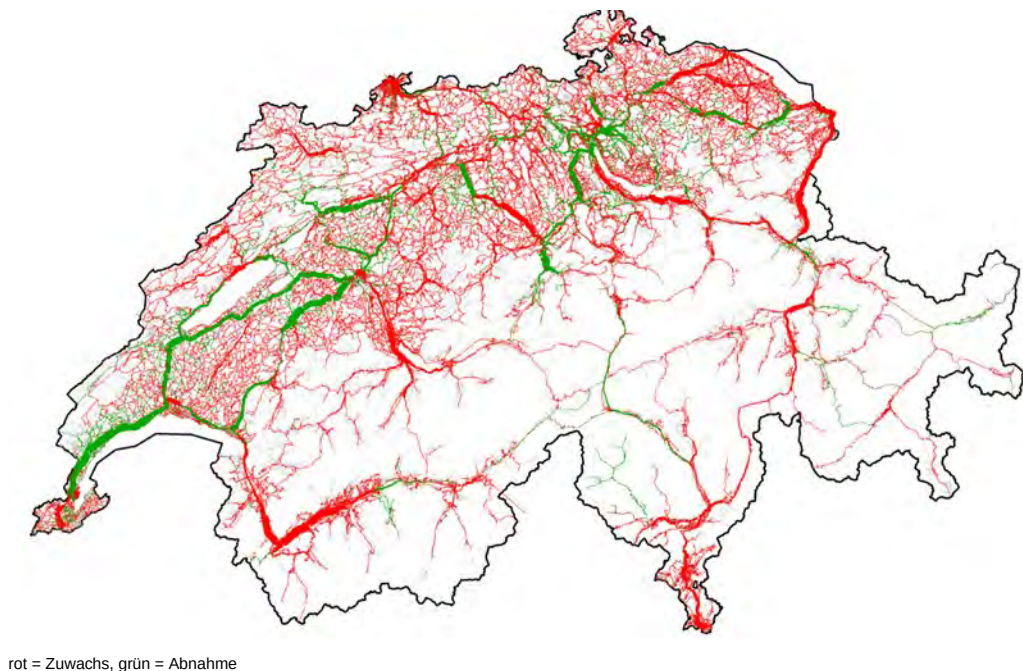


Abbildung 73: Vergleich von Belastungen und Zählwerten auf den Abschnitten der A2 zwischen Basel und Chiasso für den Modellzustand Z2

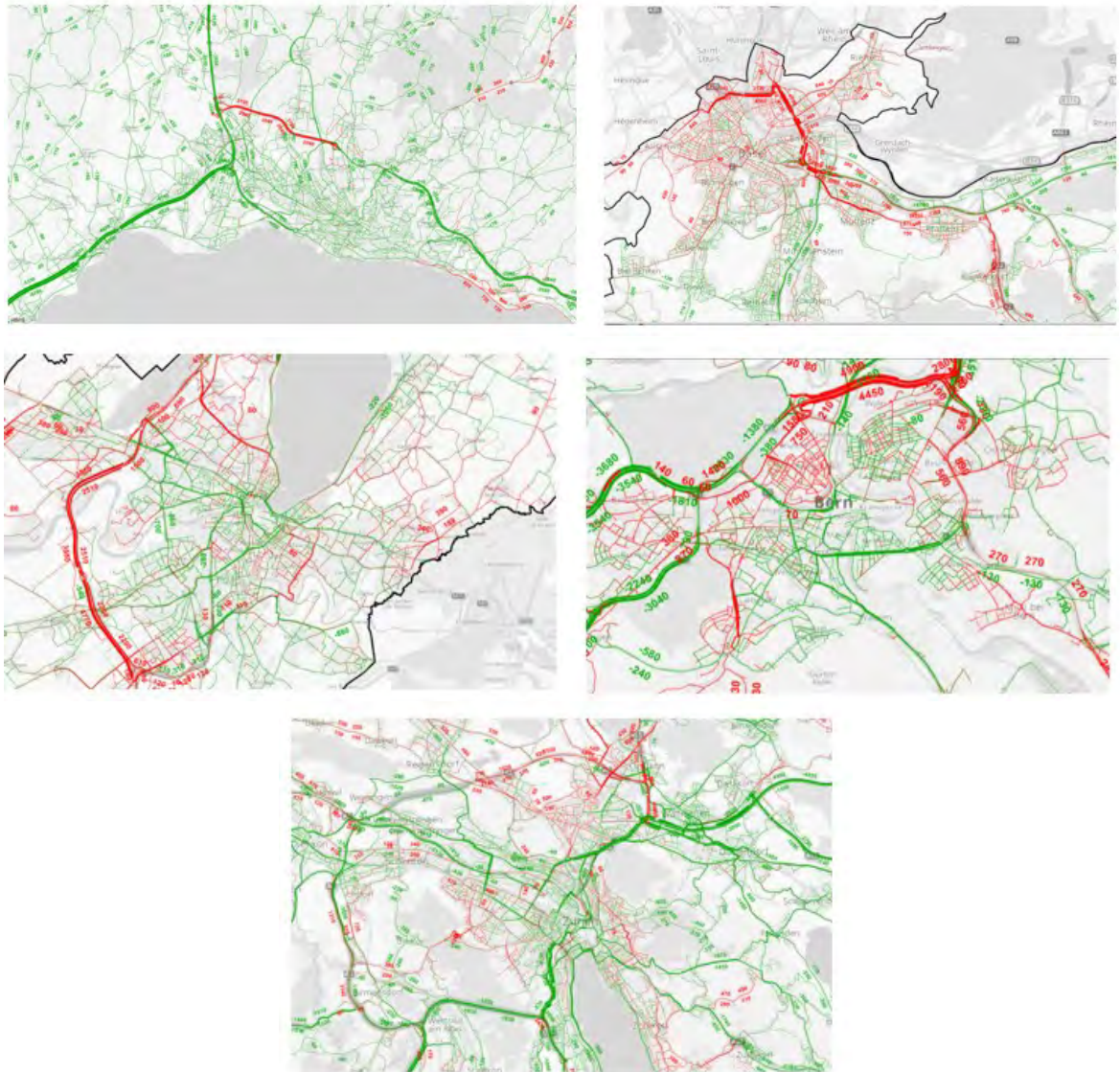
Die folgende Karte zeigt für jeden Streckenabschnitt im Netz auf, ob durch die Matrixkorrektur Verkehr addiert oder subtrahiert wird. Die Korrektur geht tendenziell nach oben (rot), vor allem im (Vor-) Alpenbereich, im Thurgau und im Jura. Die Reduktion von Belastungen ist auf relativ wenige Strecken verteilt, zum Beispiel die A1 von Lausanne nach Genf oder die Westumfahrung Zürich.



rot = Zuwachs, grün = Abnahme

Abbildung 74: Einfluss der Matrixkorrektur auf die Streckenbelastung

In der folgenden Abbildung sind Zooms der gleichen Abbildung zu sehen. Diese Zooms betreffen die Städte (von oben links nach unten rechts: Lausanne, Basel, Genf, Bern, Zürich).



rot = Zuwachs, grün = Abnahme

Abbildung 75: Einfluss der Matrixkorrektur auf die Streckenbelastung in den fünf grossen Städten

Cross-Validation

Als Ausgangsbasis für die Cross-Validation wurde die Datenbasis mit 3'625 Zählstellen genommen. Davon wurden 20% zufällig unter Kontrolle von Streckentyp und Teilraum gefiltert. So konnten lokale oder funktionale Häufungen vermieden werden.

Die Toleranzfunktion war nach wie vor $\max(1'000; \sqrt{10'000 \cdot ZW} \cdot (1/g - 1))$ mit $g=0.7$ für Autobahnen, -strassen und Rampen; $g=0.65$ ansonsten, ohne Kontrolle der Matrixsumme bzw. der Distanzverteilungen.

Die durchschnittliche Verbesserung des SQV ist höher bei nicht gefilterten Zählstellen (+7.5%) als bei gefilterten Zählstellen (+4.7%). D.h. dass die Matrixkorrektur auch auf Strecken, auf denen keine Zähldaten vorliegen, zu einer systematischen Verbesserung der Belastungsanpassung führt. Die Bedenken, nach denen die Matrixkorrektur auf solchen Strecken nicht wirksam wäre oder sogar zu einer Verschlechterung der Anpassung führte, konnten somit verworfen werden.

Dieser Unterschied ist grösser für Zählstellen auf HVS und übrigen Strassen (+8.6% und +5.0%). Der Unterschied ist nicht vorhanden bzw. sogar in die andere Richtung für Autobahnen und Autostrassen (0.9% und 2.7%).

Für Autobahnen lagen für einen Grossteil der Querschnitte Zählraten vor. Wenn im Durchschnitt jeder fünfte Zählquerschnitt von der Korrektur ausgeschlossen wird, hat dies offenbar keine negativen Auswirkungen. Das Ergebnis für HVS und übrige Strassen kam eventuell auch dadurch zu Stande, dass die dortigen Zählstellen oft räumlich geklumpt auftreten und somit ein ähnlicher Effekt wie bei den Autobahnen zu beobachten ist.

Die folgende Abbildung zeigt die relative SQV-Veränderung von allen Zählstellen sowie nur der gefilterten Zählstellen. Man sieht, dass die gefilterten Zählstellen tendenziell weiter links angeordnet sind. Verschlechterungen durch die Matrixkorrektur sind somit häufiger zu beobachten als für nicht gefilterte Zählwerte.

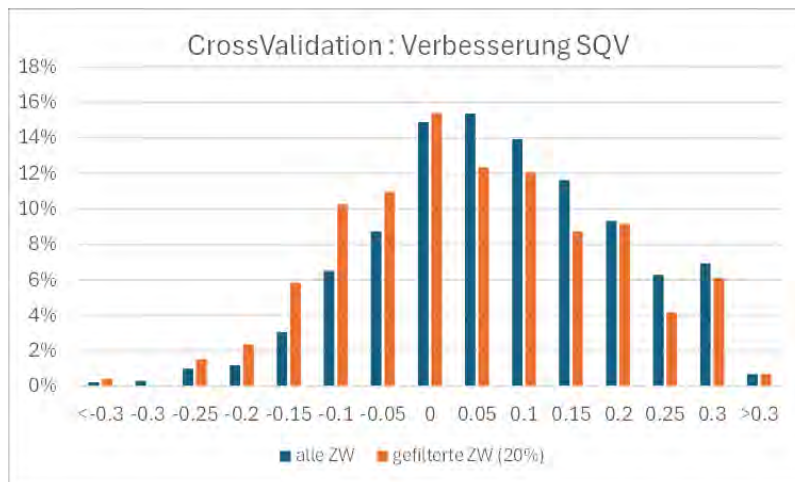


Abbildung 76: Cross-Validation: SQV-Veränderung von allen Zählstellen sowie nur der gefilterten Zählstellen

15.2 Kalibration ÖV

15.2.1 Vorgehensweise

Die Kalibration der Umlegung im ÖV ist ebenfalls ein zweistufiges Verfahren. Die Kalibration der Umlegung im ÖV konzentriert sich in erster Linie auf die Einsteiger und die Querschnittsbelastungen im Bahnverkehr sowie im städtischen Nahverkehr der fünf grossen Städte. Hierbei wird der Fokus auf den schienengebundenen Nahverkehr gelegt (Tram in Basel, Zürich, Bern und Genf sowie Métro in Lausanne).

Zunächst wurde ein Modellzustand Z1 erstellt. Dieser Modellzustand wurde durch folgende Aktionen erreicht:

- Kritische Prüfung der Zählwerte sowohl bezüglich der Einsteiger als auch der Querschnittsbelastungen. Dabei wurden 10 Querschnittsbelastungen im Bahnverkehr ermittelt, bei denen ganz offensichtlich fehlerhafte Werte kommuniziert wurden. Diese wurden in Abstimmung mit der SBB korrigiert. Im städtischen Verkehr gab es einige Dutzend Zählstellen mit offensichtlich fehlerhaften Zählwerten. Diese resultierten meist aus fehlerhaften Geolokationen. Diese Zählstellen wurden nicht korrigiert, wurden aber vom Kalibrierungsprozess ausgeschlossen. Im Busverkehr Stadtgebiet Genf kam es zu zahlreichen fehlerhaften Zuweisungen.
- Ausschaltung eines Zuschlags pro durchfahrener Haltestelle. Dieser im NPVM aktivierte Zuschlag soll dafür sorgen, dass Fahrgäste ÖV-Linien bevorzugen, die seltener halten als ÖV-Linien, die häufig halten. Im städtischen Verkehr betrifft dies oft parallele Angebote von Trams und Bussen oder aber

auch von S-Bahnen und Trams. Der Zuschlag im NPVM 2017 war bei 20 Sekunden pro Haltestelle. Der Zuschlag wurde ausgeschaltet, da der Anpassungsbedarf in die entgegengesetzte Richtung gezeigt hat.

- Verbesserung der Anbindungen der Vorstadtbahnhöfe (siehe folgendes Kapitel).
- Die Zählwerte im Hauptbahnhof Zürich und in anderen Bahnhöfen wurden auf verschiedene Haltestellenbereiche aufgeteilt (Beschreibung siehe Kapitel 7.2).
- Eine geringe Zahl (<10) von Anbindungen wurde an Haltestellen des ÖV, die nicht direkt angebunden waren, ergänzt. Es handelte sich hierbei zum Beispiel um Haltestellen der Limmattalbahn.
- Die Nachfrage auf der Schiffsverbindung zwischen der französischen Seite des Genfersees und dem Hafen Lausanne wurde ins Modell integriert. Es handelt sich laut den Jahresberichten der CGN um etwa 7'500 Fahrgäste pro Tag. Diese Fahrgäste steigen in grosser Mehrzahl im Hafen Lausanne in die Métro 2 um.

15.2.2 Verbesserung der Anbindungen der Vorstadtbahnhöfe

Diese Änderung wurde nötig, da sich gezeigt hat, dass diese Vorstadtbahnhöfe fast allesamt zu viel Einsteiger anziehen und dies in den meisten Fällen auf Kosten der in der Nähe liegenden Tram- und Bushaltestellen. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft den Bahnhof Dreispitz in Basel. Dort war der Zugang zur Tram (Linien 10 und 11) bzw. zur Bushaltestelle nur über den Bahnhof möglich, was die Zugangszeiten erhöht hat. Durch die Neukalibration dieser Bahnhöfe wird genau der umgekehrte Effekt erzeugt, nämlich eine Erleichterung des Zugangs zu Tram und Bussen sowie eine Erschwerung des Zugangs zur Bahn. Dies entspricht der physischen Realität des Bahnhofs Dreispitz.

Dieses Verfahren wurde bei etwa 40 solcher Bahnhöfe angewandt. Bei manchen Bahnhöfen war dies schon der Fall, z.B. Zürich Altstetten. Grund hierfür ist, dass diese Bahnhöfe vom Fernverkehr bedient werden, wo genau dieses Verfahren schon beim NPVM 2017+ angewandt wurde. Das entsprechende manuelle Attribut wurde «IST_KNOTEN_VORSTADT» genannt (im NPVM wurde das Attribut, das die Fernverkehrsbahnhöfe identifiziert mit «IST_ZUGANGSKNOTEN_SBB_OHNE_FV» benannt). Es wurde keine überzeugende Möglichkeit gefunden, das Attribut automatisch zu berechnen.

Als Fusswegzeit zwischen der Tramhaltestelle und dem Bahnhof wurden pauschal 8 Minuten definiert. Dieser Wert ermöglicht es, die Vorstadtbahnhöfe im Mittel auf die richtige Einsteigerzahl zu kalibrieren.



Abbildung 77: Anbindungen des Bahnhof Dreispitz in Basel

Als alternative Möglichkeit wurde eine verkehrsmittelspezifische Reisezeitgewichtung diskutiert. Diese wurde jedoch verworfen. Diese wäre wirksam geworden auch an Stellen im Modell, wo dies nicht gewünscht war.

15.2.3 Modellzustand Z1

Die nachfolgende Tabelle zeigt für die zehn grössten Bahnhöfe der Schweiz die Modellbelastung, den Zählwert und die relative Abweichung und SQV. Überschätzungen und Unterschätzungen halten sich etwa die Waage. Dies wird auch durch die Summe aller Einsteiger an Bahnhöfen unterstrichen, die 5% über dem Gesamtzählwert liegt. Für die 50 grössten Bahnhöfe stimmt die Zahl der Einsteiger im Modell mit den Zählwerten sehr gut überein.

Tabelle 41: Modellbelastung und Zählwert, sowie relative Abweichung und SQV, an den 10 grössten Bahnhöfen

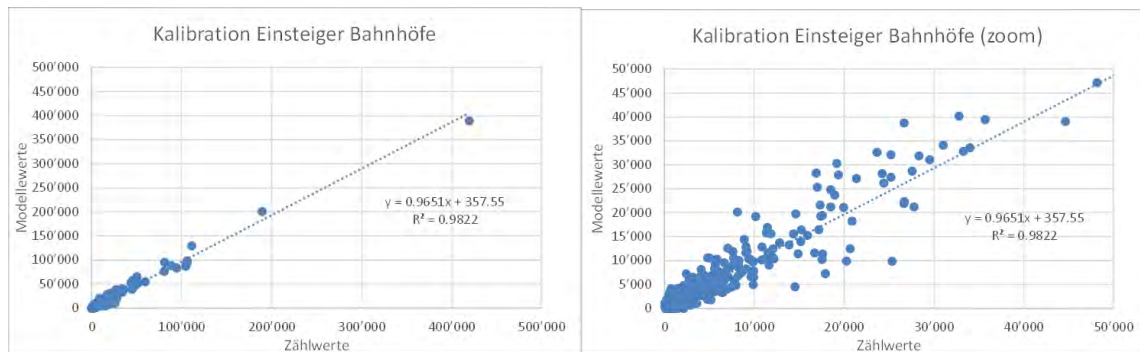
Kanton	Bahnhof	Zählwert	Modell	Abweichung	SQV(10'000)
ZH	Zürich HB	419'626	388'753	-7%	-0.68
BE	Bern	189'246	200'680	6%	0.79
ZH	Winterthur	110'894	129'589	17%	0.64
VD	Lausanne	105'920	94'375	-11%	-0.74
BS	Basel SBB	105'867	98'411	-7%	-0.81
LU	Luzern	104'414	86'807	-17%	-0.65
ZH	Zürich Oerlikon	94'228	83'266	-12%	-0.74
GE	Genève	88'507	88'296	0%	-0.99
SO	Olten	80'920	95'205	18%	0.67
ZH	Zürich Stadelhofen	80'431	76'645	-5%	-0.88
	Alle Bahnhöfe	4'361'640	4'588'227	5%	
	50 grösste Bahnhöfe	2'515'705	2'525'671	0%	

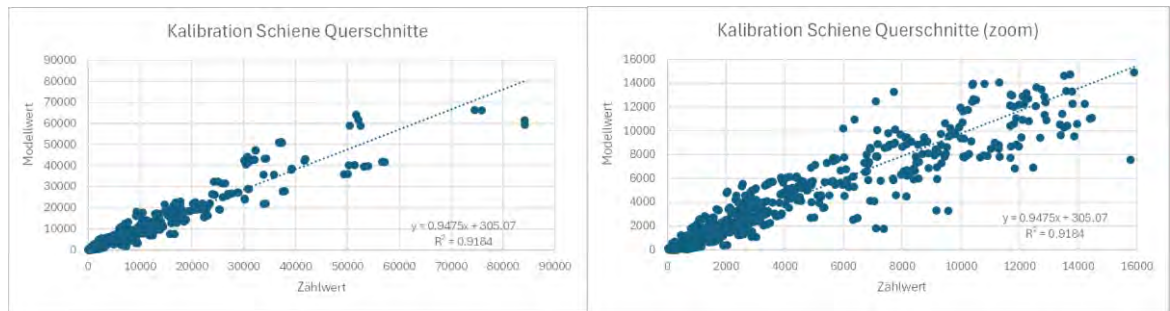
Zum Bahnhof Bern sei angemerkt, dass in den Modelldaten auch die Einsteiger in die Bahnen der RBS enthalten sind. Es dürfte sich dabei um etwa 10'000 bis 15'000 Einsteiger am Tag handeln. Die höhere Anzahl im Modell ist daher folgerichtig.

Die folgende Abbildung zeigt Streudiagramme sowohl für die Zahl der Einsteiger (Modellbelastungen versus Zählwerte) im Bahnverkehr als auch die Querschnittsbelastungen, jeweils für alle Bahnhöfe und alle Querschnitte als auch per Zoom zum besseren Verständnis des kleineren Wertebereiches.

Bei den Querschnittsbelastungen ergibt sich ebenfalls ein Gleichgewicht zwischen Modell- und Zählwerten. Die mittlere Abweichung beträgt nur 0.5%. Zusammen mit den 5% Abweichung bei den Einsteigern ergeben sich sehr gute mittlere Reiseweiten.

Bei den Einsteigern und bei den Querschnitten gibt es zwei systematische Abweichungen. Die erste betrifft die Bahnhöfe und die Querschnitte im Alpen- bzw. im Voralpengebiet (Bahnhöfe Bellinzona, Visp, Interlaken, Brig, Spiez, Montreux etc.). Diese wurden fast alle vom Modell unterschätzt. Man kann davon ausgehen, dass es nicht explizit modellierte, touristische Verkehre der Grund sind.





Oben: Zahl der Einsteiger im Bahnverkehr unten: Querschnittsbelastungen, links: gesamter Wertebereich, rechts: Zoom

Abbildung 78: Modellbelastungen versus Zählwerte, Matrixzustand Z1

Ähnlich wie im MIV wurde auch im ÖV die Modellqualität auf der wichtigsten West-Ost-Achse, der Bahnlinie von Genf nach Rorschach geprüft. Der obere Teil der Abbildung zeigt für zahlreiche Strecken die Modellwerte neben den Zählwerten. Der untere Teil der Abbildung zeigt den zugehörigen SQV. Man sieht, dass es einerseits viele Strecken mit sehr guter Anpassung gibt, es andererseits vor allem zwischen Genf und Lausanne sowie im Raum Zürich noch systematische Abweichungen gibt.



Abbildung 79: Querschnittsbelastungen und SQV auf den Querschnitten der Bahnlinie von Genf nach Rorschach (Matrixzustand Z1)

Eine weitere Auswertung betrifft die Zahl der Umsteiger. Bei den Bahnfahrten liegt der Umsteigefaktor im Modell bei 42%. Als Referenzwert kann hier ein Wert aus dem MZMV 2015 (BFS, 2017) angegeben werden (28%²). Ein Wert von 42% besagt, dass eine Bahnfahrt im Durchschnitt aus 1.42 Etappen besteht. Über alle ÖV-Verkehrsmittel betrachtet, besteht die Umsteigequote bei 83%. D.h. eine durchschnittliche ÖV-Fahrt besteht aus 1.83 Etappen.

² Die 28% als Umsteigefaktor stammen aus dem MZMV 2015 (BFS, 2017) und werden auch in der Modellierung bei der SBB eingesetzt.

Tabelle 42: Zahl der Umsteiger von ÖV-Verkehrsmittel zu ÖV-Verkehrsmittel im Modellzustand Z1

	Zug	Bus	Tram	Métro	Sonstige	Gesamt
Zug	676'564	657'407	149'057	21'239	3'148	1'507'416
Bus	637'985	376'624	177'923	21'913	3'423	1'217'868
Tram	149'392	181'556	103'496	0	852	435'296
Métro	21'072	22'564	0	5'701	3'750	53'087
Sonstige	3'096	3'742	955	3'750	66	11'609
Gesamt	1'488'108	1'241'893	431'431	52'603	11'239	3'225'276

Eine Analyse der städtischen Verkehre (nur Tram bzw. Métro) zeigt eine generelle Unterschätzung der Belastungen durch das Modell, und zwar trotz der Änderungen bei der Anbindung der Vorstadtbahnhöfe. Die entsprechenden Zählwerte bei den Einsteigern sind den Jahresberichten 2023 der jeweiligen Verkehrsbetriebe entnommen. Für das Tramnetz Bern liegen leider keine Querschnittszählungen vor.

Tabelle 43: Anpassung der Einsteiger und der Querschnittsbelastungen der Tram- und Métronetze (Modellzustand Z1)

	Einsteiger			Querschnitte		
	Σ Zählwerte	Σ Modellwerte	Mittlere Abweichung	Mittlere Zählwerte	Mittlere Modellwerte	Mittlere Abweichung
Lausanne	153'716	113'624	-26%	18'102	13'991	-23%
Genève	300'159	169'111	-44%	13'345	8'889	-33%
Basel	346'865	279'351	-19%	9'434	7'756	-18%
Bern	134'862	175'308	30%	--	--	--
Zürich	619'572	554'348	-11%	8'301	9'005	8%
Gesamt	1'555'174	1'291'741	-17%	11'309	10'715	-2%

15.2.4 Modellzustand Z2

Um den Modellzustand Z2 zu erreichen wurde eine automatische Matrixkorrektur durchgeführt. Diese weist folgende Spezifikationen auf:

- Die Matrixkorrektur wird mit Hilfe der Methode «VStrom Fuzzy» durchgeführt.
- Die Matrixkorrektur basiert auf richtungsbezogenen Querschnittsbelastungen.
- Als Zielvariable wird der werktägliche Verkehr im ÖV gewählt (ZW_DVW_OEV).

Obwohl insgesamt 21'658 ÖV-Zählstellen im Modell vorhanden sind, wurden nur die Querschnittsbelastungen Schiene Schweiz (N=980) und Tram Schweiz (N=534, enthält auch die Métro Lausanne) für die Matrixkorrektur ausgewählt.

Als Toleranzfunktion wurde $\max(1000; 1.0 \cdot \text{ZW})$ ausgewählt. Es handelt sich um eine eher schwache Toleranzfunktion, die trotzdem die gewünschten Ergebnisse liefert.

Nachfragematrix-Korrektur (VStromFuzzy)

Zählwerte | Zählwerte ÖV | Verteilung X | Verfahrenssteuerung | Ergebnismatrix

Allgemeines

☐ Nur Bezirksbeziehungen mit M > 0 korrigieren

M =

Analyse

☒ Protokoll
☒ Diagnose
☒ Verlaufstatistik

Speicherort für Statistiken:

Verfahrensparameter

max. Korrekturfaktor:
 Abbruch bei Änderung <:
 Anzahl Iterationen:
 geschätzte Fahrtzahl:
 Alpha-Niveau:

Bezirksbeziehungen ohne Zählwerte

☒ Unverändert lassen
☐ Mit mittlerem Korrekturfaktor skalieren

Anteilsmatrix

Anzahl: 1	NSeg	Laden/Speichern	Dateiname
1	X OEV	neu berechnen	-

Alte Einstellungen öffnen OK Abbrechen

Nachfragematrix-Korrektur (VStromFuzzy)

Zählwerte | Zählwerte ÖV | Verteilung X | Verfahrenssteuerung | Ergebnismatrix

☒ Nur Netzobjekte mit Belastung > 0 und Zählwert > 0 verwenden
☒ Gezählte Belastungen beziehen sich nur auf aktive Linienroumenelemente

Bezirke

☐ Zeilen- und Spaltensummen der Matrix zugrunde legen
☐ nur aktive Bezirke

Zeilensumme: +/-
 Spaltensumme: +/-

Strecken

☒ gezählte Streckenbelastungen zugrunde legen
☐ nur aktive Strecken

Belastung: +/-

Abbieger und Oberabbieger

☐ gezählte Abbieger- und Oberabbiegerbelastungen zugrunde legen
☐ nur aktive Abbieger und Oberabbieger

Belastung: +/-

Screenlines

☐ gezählte Belastungen in Richtung der Screenline zugrunde legen
☐ nur aktive Screenlines

Belastung: +/-

Gesamtverkehr

☐ gezählten Gesamtverkehr (alle Nachfragesegmente) zugrunde legen

Gesamtverkehr: +/-

Alte Einstellungen öffnen OK Abbrechen

Abbildung 80: Spezifikationen bei der Matrixkorrektur im ÖV

Tabelle 44 zeigt die Ergebnisse der Matrixkorrektur. Die Korrekturmatrix erklärt somit 22% der Gesamtnachfragematrix im ÖV. In der Diagonalen bleiben die Modellwerte erhalten.

Tabelle 44: Ergebnisse der Matrixkorrektur

	Ecksumme
Nachfrage Ausgangslage	3'989'854
Nachfrage «VStromFuzzy»	3'886'016
Differenz	-103'837
Differenz in %	-2.6%
Differenz absolut	871'342
Differenz absolut in %	22%

Durch die Matrixkorrektur wurden die Unterschiede zwischen Modellbelastungen und Zählwerten systematisch verringert. In der Folge werden mehrere bereits mit dem Modellzustand Z1 vorgestellte Auswertungen präsentiert, die den Einfluss der Korrekturmatrix widerspiegeln.

Die deutlichsten Fortschritte wurden bei den Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr erzielt (siehe folgende Abbildung); mithin die Zielvariable der Matrixkorrektur.

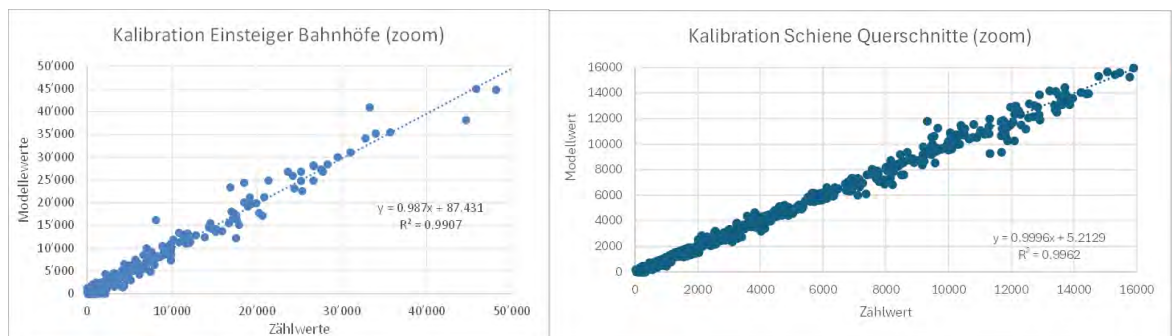


Abbildung 81: Einsteiger und Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr (Matrixzustand Z2)

Dies zeigt sich auch auf der Bahnlinie Genf-Rorschach, wo kaum noch nennenswerte Abweichungen zu beobachten sind (siehe Abbildung 82).

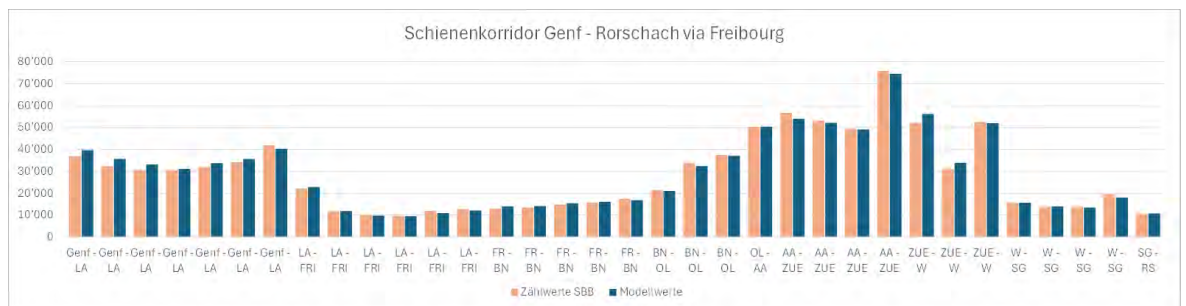


Abbildung 82: Querschnittsbelastungen auf den Querschnitten der Bahnlinie von Genf nach Rorschach (Matrixzustand Z2)

Die grössten Abweichungen gibt es im Modellzustand Z2 noch in den städtischen Verkehren, wo nicht alle systematischen Abweichungen aufgelöst werden konnten.

Tabelle 45: Anpassung der Einsteiger und der Querschnittsbelastungen der Tram- und Métronetze (Modellzustand Z2)

	Einsteiger			Querschnitte		
	Σ Zählwerte	Σ Modellwerte	Mittlere Abweichung	Mittlere Zählwerte	Mittlere Modellwerte	Mittlere Abweichung
Lausanne	153'716	144'569	-6%	18'102	18'780	4%
Genève	300'159	201'202	-33%	13'345	11'771	-12%
Basel	346'865	298'830	-14%	9'434	9'001	-5%
Bern	134'862	165'132	22%	--	--	--
Zürich	619'572	500'940	-19%	8'301	7'903	-5%
Gesamt	1'555'174	1'310'673	-16%	11'309	10'742	-6%

Die folgende Abbildung zeigt die Strecken mit positiver (rot) und negativer Matrixkorrektur (grün).

Positive Korrekturen fanden vor allem auf den folgenden Strecken statt: Bern-Zürich, Gesamter Alpenraum. Basel-Olten und Lausanne-Montreux. Negative Korrekturen sind auf den Strecken Lausanne-Genf, Zürich-Winterthur, Bern-Neuchâtel und Kantone TG, SH zu erkennen.

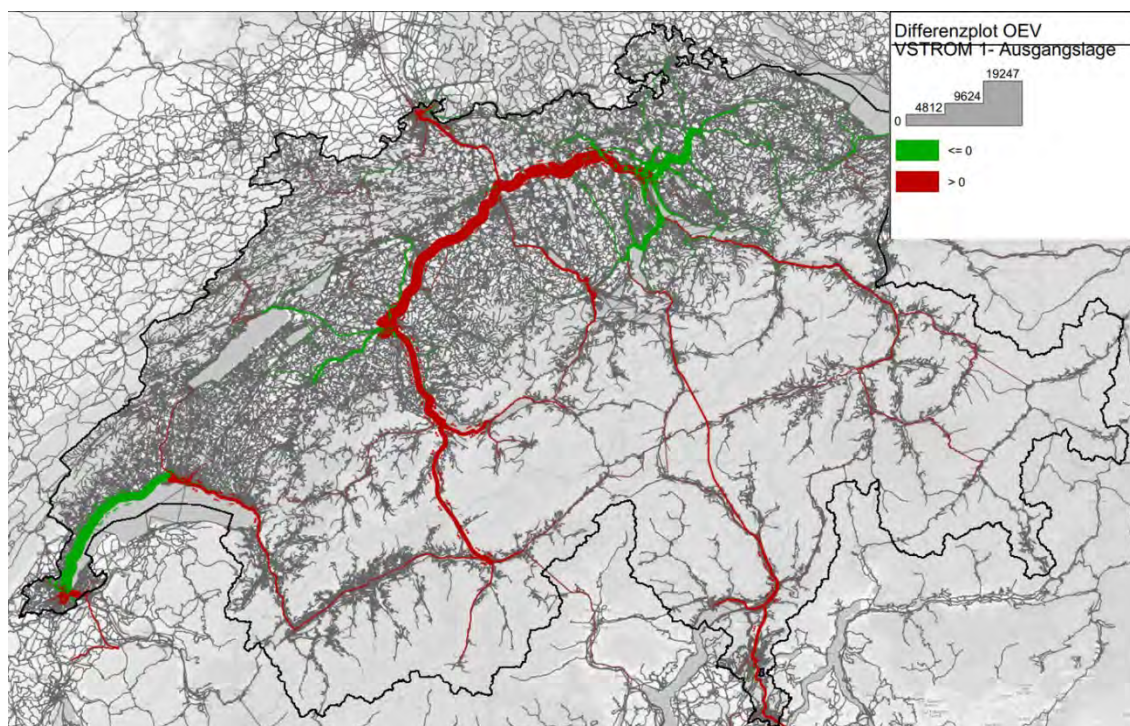


Abbildung 83: Einfluss der Korrekturmatrix im ÖV

Der grösste Einfluss der Korrekturmatrix ergab sich auf einigen Querschnitten zwischen Zürich und Aarau, mit jeweils etwa 13'000 Fahrgästen pro Richtung zusätzlich. Die folgende Abbildung zeigt den Einfluss der Korrekturmatrix für die fünf Städte mit Tram- oder Métronetz (oben von links nach rechts: Lausanne, Basel, unten von links nach rechts: Genf, Bern, Zürich).



Abbildung 84: Einfluss der Korrekturmatrix für die fünf Städte mit Tram- oder Métronetz

16 Sensitivitätsanalysen

Das NPVM 2023 bildet die Modellgrundlage für die Berechnung und Bewertung der schweizerischen Verkehrsperspektiven bis 2060 sowie für zahlreiche weitere Anwendungen. Vor diesem Hintergrund ist es von grosser Wichtigkeit, dass das erstellte Analyse-Modell ein robustes und zuverlässiges Werkzeug darstellt, welches plausibel und realitätsnah prognostische Änderungen und Massnahmen abbilden und berechnen kann. Im Rahmen der Modellprüfung wurde deshalb das Modellverhalten in Form von Sensitivitätstests analysiert. Die Durchführung dieser Tests und deren Ergebnisse werden nachfolgend beschrieben.

16.1 Versuchsplanung zur Modellprüfung

Die Sensitivitätstests wurden mit dem final kalibrierten Modellzustand durchgeführt. Es fanden vollständige Modellläufe einschliesslich Rückkopplung statt, so dass Rückkopplungseffekte in den Sensitivitätsanalysen enthalten sind. Um Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigen zu können, wurde das Nachfragemodell für die Sensitivitätstests auf Prognose³ umgestellt.

Für die Sensitivitätsanalyse ist es wichtig, dass Modellanpassungen definiert werden, die eine eindeutige Zuordnung der ermittelten Effekte zu den eingestellten Anpassungen zulassen. Ziel ist also eine klare und eindeutige Zuordnung der Ursache-Wirkung-Beziehung.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurden die folgenden Sensitivitätstest durchgeführt:

1. Sensitivitätstest 01: Reduzierung der IV-Reisezeit um 10%;
2. Sensitivitätstest 02: Reduzierung der ÖV-Reisezeit um 25%;
3. Sensitivitätstest 03: Reduzierung der E-Bike-Reisezeit um 10%;
4. Sensitivitätstest 04: Erhöhung der IV-Kosten um 25%;
5. Sensitivitätstest 05: Erhöhung der ÖV-Kosten um 25%;
6. Sensitivitätstest 06: Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50%;
7. Sensitivitätstest 07: Erhöhung der ÖV-Umsteigehäufigkeit um +0.5 absolut;
8. Sensitivitätstest 08: Pauschale Erhöhung der Einwohner und Arbeitsplätze um 10%;
9. Sensitivitätstest 09: Setzen der modusspezifischen Bilanzfaktoren auf 1;
10. Sensitivitätstest 10: Implementierung einer konkreten Infrastrukturmassnahme («Lückenschluss Oberlandautobahn»)

Einige Tests wurden bewusst gegenüber dem NPVM 2017 identisch gewählt, um Vergleiche vornehmen zu können.

Die Sensitivitätsanalyse umfasste für jeden Modelltest die folgenden Schritte:

- Die Modellversion (Referenzfall) wurde gemäss dem jeweiligen Sensitivitätstest angepasst.
- Je Sensitivitätstest erfolgte ein vollständiger Modelllauf bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums.
- Die Modellläufe wurden jeweils unter Berücksichtigung der Rechenzeiten und des Konvergenzverhaltens, der Ecksummen der Nachfragematrizen sowie der Fahr- und Verkehrsleistung sowie der Modellelastizitäten auf Ebene der Matrixecksummen ausgewertet.

³ Im Verfahrensschritt «EVA-Verteilung/Moduswahl» des EVA-Nachfragemodells wird zwischen den Projektarten «Analyse» und Prognose» unterschieden. Wird die Option Prognose gewählt, so werden die aus der Analyse vorhandenen Bilanzfaktoren für die Moduswahl als Grundlage für die Berechnung verwendet. Anders als in der Analyse ist der Modal-Split nicht als Inputgrösse vorgegeben, sondern Ergebnis der Berechnung.

Tabelle 46 führt die vorgenommenen Modellanpassungen für die einzelnen Sensitivitätstests auf.

Tabelle 46: Modellanpassungen für die einzelnen Sensitivitätstests

Sensitivitätstest	Anpassungen am NPVM
01: Reduzierung der IV-Reisezeit um 10%	Einheitliche Erhöhung der Streckengeschwindigkeit v0 sowie Reduktion der Abbiegezeitzuschläge um 10%
02: Reduzierung der ÖV-Reisezeit um 25%	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix RITA mit Faktor 0.75
03: Reduzierung der E-Bike-Reisezeit um 10%	Multiplikation der Velo-Kenngrössenmatrix UDS EBIKE mit Faktor 0.9
04: Erhöhung der IV-Kosten um 25%	Multiplikation der IV-Kenngrössenmatrix KOS PW mit Faktor 1.25 Multiplikation der Strukturgrösse SG_PRKKSTN mit Faktor 1.25
05: Erhöhung der ÖV-Kosten um 25%	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix FAR mit Faktor 1.25
06: Erhöhung der ÖV-Bedienungshäufigkeit um 50%	Multiplikation der ÖV-Kenngrössenmatrix EJT mit Faktor 2/3 Multiplikation der konstanten ÖV-Auslastungsmatrix mit Faktor 2/3
07: Erhöhung der ÖV- Umsteigehäufigkeit um +0.5	Erhöhung der Werte der ÖV-Kenngrössenmatrix NTR um 0.5
08: Pauschale Erhöhung der Einwohner und Arbeitsplätze um 10%	Multiplikation der Personengruppen und entsprechenden Strukturdaten (Einwohner, Arbeitsplätze) mit Faktor 1.1
09: Setzen der Bilanzfaktoren auf 1	Setzen der modusspezifischen Bilanzfaktoren auf 1
10: Lückenschluss Oberlandautobahn	Einbau der Massnahme ins Netzmodell

16.2 Ergebnisse der Sensitivitätstests

Die Sensitivitätstests unterscheiden sich hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Zielsetzung und Methodik. Sensitivitätstests 01 bis 08 dienen im Sinne eines Realitätstests der Bewertung der globalen Prognosefähigkeit des Modells. Hierzu wird jeweils eine zentrale Stellgrösse der Nachfrageberechnung modellweit angepasst, um die Reaktion des Modells auf systematische Veränderungen zu analysieren. Der Sensitivitätstest 09 untersucht gezielt den Einfluss der modusspezifischen Bilanzfaktoren auf die Nachfrageergebnisse, wohingegen der Sensitivitätstest 10 die Wirkung einer lokalen Infrastrukturmassnahme untersucht.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Testcharakteristika variieren sowohl die inhaltliche Ausrichtung der Auswertung als auch die Grössenordnung der Modellreaktionen deutlich. Deshalb werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen im Folgenden differenziert nach den drei Testgruppen 01 bis 08, 09 sowie 10 dargestellt und bewertet.

Sensitivitätstests 01 bis 08

Nachfrageänderungen

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen für die Sensitivitätstests 01 bis 08 die absoluten und relativen Nachfrageänderungen gegenüber dem Referenzfall. Die Auswertung erfolgte auf Ebene der Personenwege differenziert nach den fünf Modi PW, ÖV, Velo, E-Bike und Fuss.

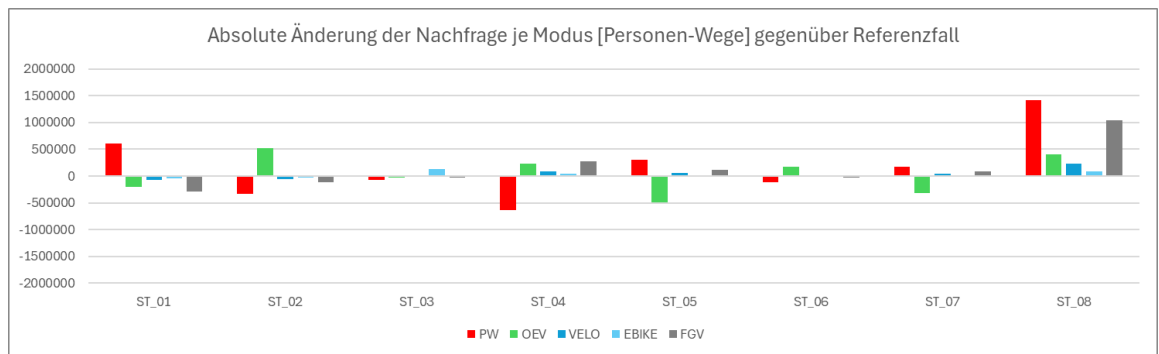


Abbildung 85: Absolute Nachfrageänderung [Personen-Wege] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08

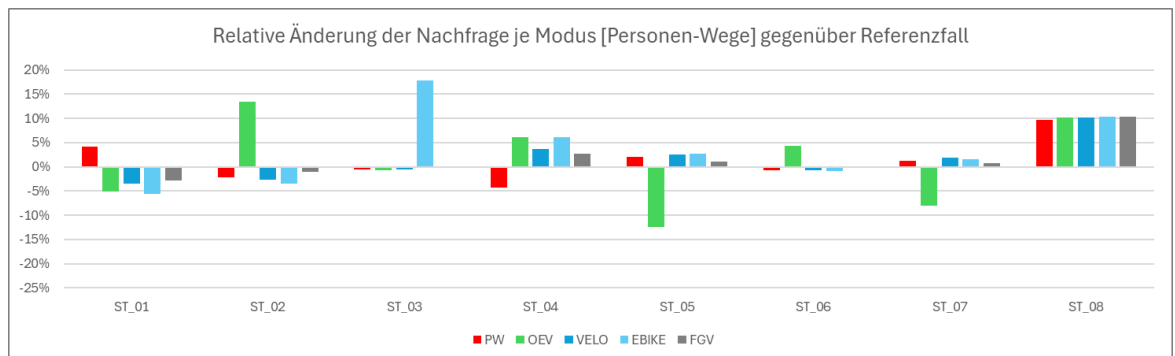


Abbildung 86: Relative Nachfrageänderung [Personen-Wege] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08

Für alle Sensitivitätstests können plausible Aufkommensänderungen sowie modale Verlagerungen gezeigt werden. Die Ergebnisse entsprechen der erwarteten Modellreaktion. Gleiches trifft auf die absoluten und relativen Nachfrageänderungen je Sensitivitätstest bezogen auf die Verkehrsleistung zu. Diese sind in den folgenden zwei Abbildungen dargestellt.

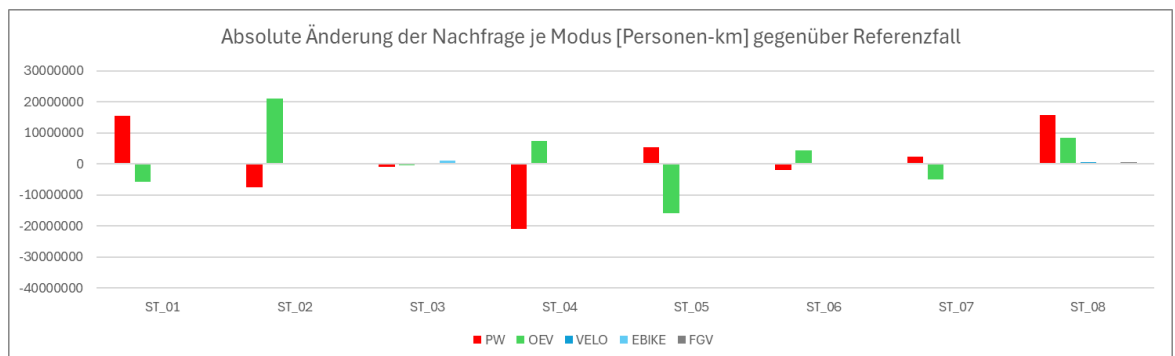


Abbildung 87: Absolute Nachfrageänderung [Personen-km] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08

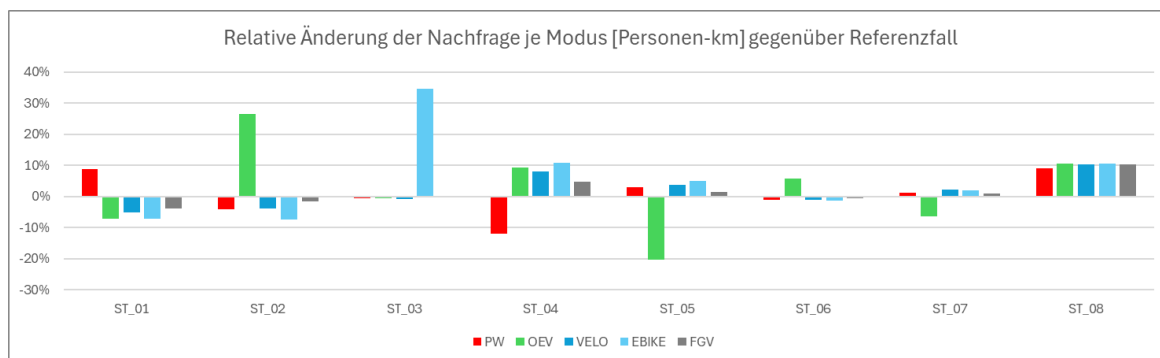


Abbildung 88: Relative Nachfrageänderung [Personen-km] gegenüber Referenzfall für die Sensitivitäten 01 bis 08

Nachfrage-Elastizitäten

Für jeden Sensitivitätstest wurden die Nachfrage-Elastizitäten ε nach folgender Formel berechnet:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_2 - N_1}{N_1}}{\frac{K_2 - K_1}{K_1}}$$

- ε Elastizität
- N2 Nachfrage Sensitivitätstest
- N1 Nachfrage Referenzlauf
- K2 Aufwandskenngrösse Sensitivitätstest
- K1 Aufwandskenngrösse Referenzlauf

Die Elastizität ist also ein Mass, welches die relative Änderung der Verkehrsnachfrage auf die relative Veränderung einer Aufwandskenngrösse angibt. Bezüglich der Aussagekraft der berechneten Elastizitäten sind in der folgenden Tabelle die Auswirkungen für die jeweiligen Wertebereiche von ε benannt.

Tabelle 47: Wertebereiche der Elastizität und die jeweilige Auswirkung

Wert von ε	Bezeichnung	Auswirkung
$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = 0$ Nachfrage ist vollkommen unelastisch	Die Nachfrage reagiert nicht auf eine Änderung des Aufwands.
$0 < \varepsilon < 1$	Nachfrage ist unterproportional elastisch.	Die Nachfrageänderung fällt relativ weniger stark aus als die Aufwandsänderung.
$ \varepsilon = 1$	Nachfrage ist proportional elastisch.	Die relative Änderung der Nachfrage ist gleich der relativen Aufwandsänderung.
$ \varepsilon > 1$	Nachfrage ist elastisch.	Die Nachfrageänderung fällt relativ stärker aus als die Aufwandsänderung.

Die Nachfrageelastizitäten wurden auf Ebene der Nachfrage-Eckwerte bezogen auf die Fahrtenanzahl sowie auf die Verkehrsleistung ermittelt. Die folgende Tabelle stellt eine Übersicht dar, welche Nachfrageänderungen und welche Aufwandsänderungen für die Berechnung der Elastizitäten für die einzelnen Sensitivitätstests herangezogen wurden.

Tabelle 48: Elastizitätsberechnungen - berücksichtigte Nachfrage- und Aufwandsänderungen

Sensitivitätstest	Nachfrageänderung	Aufwandsänderung
01	Änderung der Nachfragematrix PW; Änderung der Verkehrsleistung PW	Änderung der PW-Reisezeiten-Matrix
02	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Reisezeiten-Matrix
03	Änderung der Nachfragematrix E-Bike; Änderung der Verkehrsleistung E-Bike	Änderung der E-Bike-Widerstands-Matrix
04	Änderung der Nachfragematrix PW; Änderung der Verkehrsleistung PW	Änderung der PW-Kosten-Matrix
05	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Kosten-Matrix
06	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Bedienungshäufigkeit
07	Änderung der Nachfragematrix ÖV; Änderung der Verkehrsleistung ÖV	Änderung der ÖV-Umsteigehäufigkeit
08	Änderung der Gesamt-Nachfrage Änderung der Gesamt-Verkehrsleistung	Änderung der Einwohner und Arbeitsplätze

Die nachfolgende Abbildung zeigt die berechneten Elastizitäten (jeweils bezogen auf die Fahrtenanzahl sowie auf die Verkehrsleistung) je Sensitivitätstest. Es ist hilfreich, die Elastizitäten stets auch vor dem Hintergrund der in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl eingesetzten Bewertungsparameter zu analysieren. Die Modellreaktion ist dahingehend als insgesamt plausibel einzuschätzen, die Werte für die Sensitivitäten liegen in einem nachvollziehbaren Wertebereich. Die Nachfrageänderungen, die sich aus der Änderung der Reisezeiten ergeben (Sensitivitätstests 01 für IV bzw. Sensitivitätstest 02 für ÖV), fallen stärker aus als die Nachfrageänderungen, die sich aus der Änderung der Kosten ergeben (Sensitivitätstest 04 für IV bzw. Sensitivitätstest 05 für ÖV). Ebenso ist es als realistisch einzuschätzen, dass die Änderung der ÖV-Bedienungshäufigkeit in Sensitivitätstest 06 und die Änderung der ÖV-Umsteigehäufigkeit in Sensitivitätstest 07 eine geringere Elastizität aufweisen als die Änderungen von ÖV-Reisezeiten oder -kosten.



Abbildung 89: Elastizitäten für die Sensitivitätstest 01 bis 08

Die berechneten Elastizitäten auf Ebene der Nachfrage-Eckwerte werden als gute Kennwerte in Hinblick auf den prognostischen Einsatz des Modells eingeschätzt.

Einige Sensitivitätstests wurden bewusst gegenüber dem NPVM 2017 identisch gewählt, um Vergleiche vornehmen zu können. Abbildung 90 und Abbildung 91 stellen die ermittelten Elastizitäten für das NPVM 2023 den Elastizitäten gegenüber, die im Zuge der Erstellung des NPVM 2017 ermittelt worden waren. Der Ergebnisvergleich zeigt grosse Ähnlichkeiten zwischen den Modellelastizitäten des NPVM 2017 und denen des NPVM 2023.

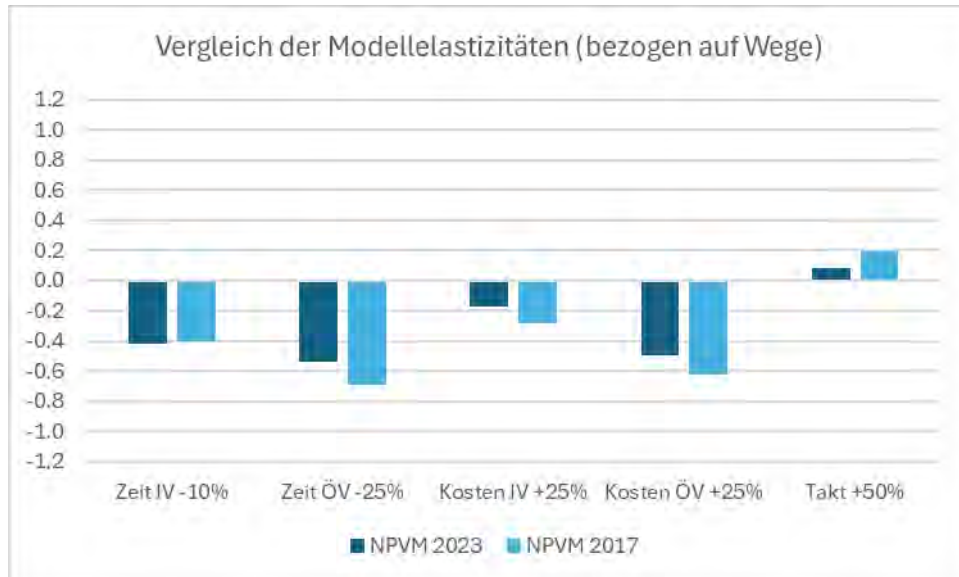


Abbildung 90: Vergleich der Modellelastizitäten (bezogen auf Wege) von NPVM 2023 und NPVM 2017

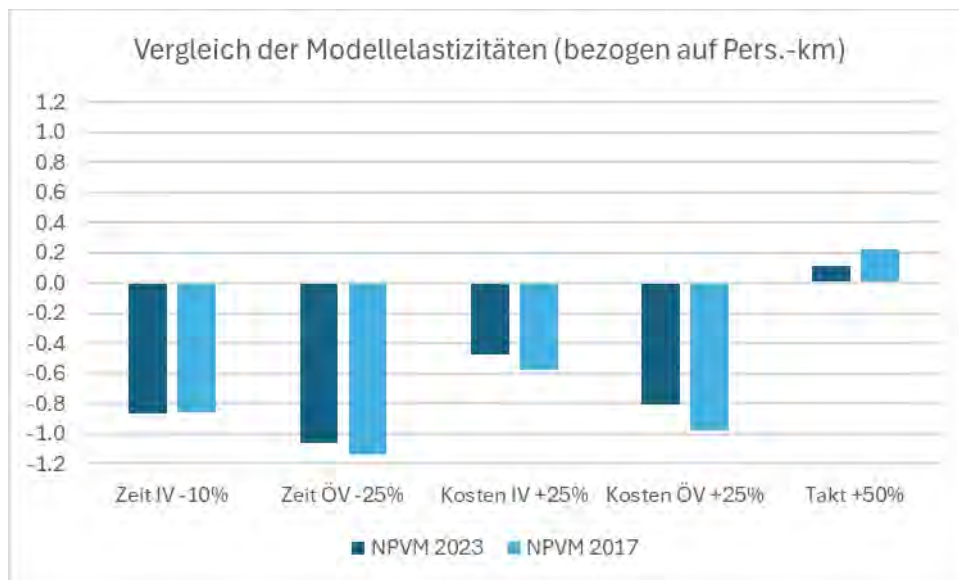


Abbildung 91: Vergleich der Modellelastizitäten (bezogen auf Personen-Kilometer) von NPVM 2023 und NPVM 2017

Sensitivitätstest 09

Mit dem Sensitivitätstest 09 wird der Einfluss der modusspezifischen Bilanzfaktoren (f_{ak}) untersucht. Im EVA-Nachfragemodell steht der modusspezifische Bilanzfaktor für das Verhältnis zwischen beobachteter (statistischer) Verkehrsleistung und modellierter Verkehrsleistung. Über die Bilanzfaktoren werden Effekte abgebildet, die durch den modelltheoretischen Ansatz sowie die verwendeten Bewertungsfunktionen nicht vollständig erfasst werden können. Die modusspezifischen Bilanzfaktoren des EVA-Nachfragemodells ergeben sich im Analysefall als Ergebnis der Nachfrageberechnung (siehe Tabelle 35) und sind für die Prognoseberechnungen grundsätzlich aus dem kalibrierten Analyselauf zu übernehmen.

Für den Sensitivitätstest 09 wurden die Bilanzfaktoren testweise auf den Wert 1 gesetzt. Mit diesen neutralisierten Faktoren wurde ein vollständiger Modelllauf durchgeführt.

Die absoluten und relativen Nachfrageänderungen gegenüber dem Referenzlauf sind in Abbildung 92 und Abbildung 93 dargestellt. Die Änderungen sind so zu interpretieren, dass die Modi mit starken Aufkommensänderungen in besonderem Umfang von den Bilanzfaktoren profitiert haben bzw. im Analysefall stark korrigiert werden mussten. Eine hohe relative Differenz weist darauf hin, dass die im Modell berechnete Nachfrage ohne f_{ak} -Korrektur deutlich von den beobachteten Verkehrsleistungen abweicht. Solche Abweichungen deuten darauf hin, dass das im Modell abgebildete modale Verkehrsangebot – insbesondere seine Bewertung durch die Verkehrsteilnehmer – von der tatsächlichen Wahrnehmung und Nutzung in der Realität abweicht. Dies kann bedeuten, dass bestimmte qualitative Aspekte des Angebots (z. B. Komfort, Zuverlässigkeit, Information, Netzstruktur) im Modell nicht vollständig abgebildet sind oder im Rahmen der Nutzenfunktionen nicht die tatsächliche Relevanz für die Verkehrsmittelwahl widerspiegeln. In diesem Sinne liefert der Sensitivitätstest wichtige Hinweise darauf, welche Modi im Modell strukturell über- oder unterbewertet sind.

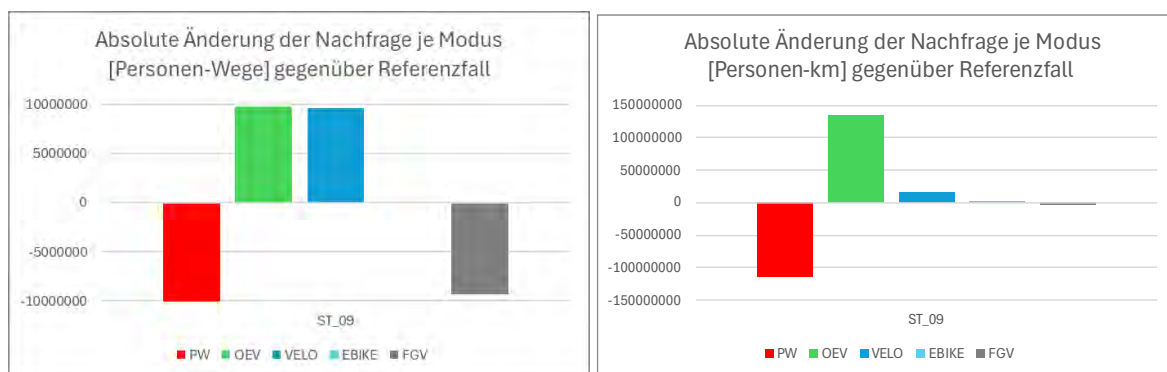


Abbildung 92: Absolute Nachfrageänderung für den Sensitivitätstest 09

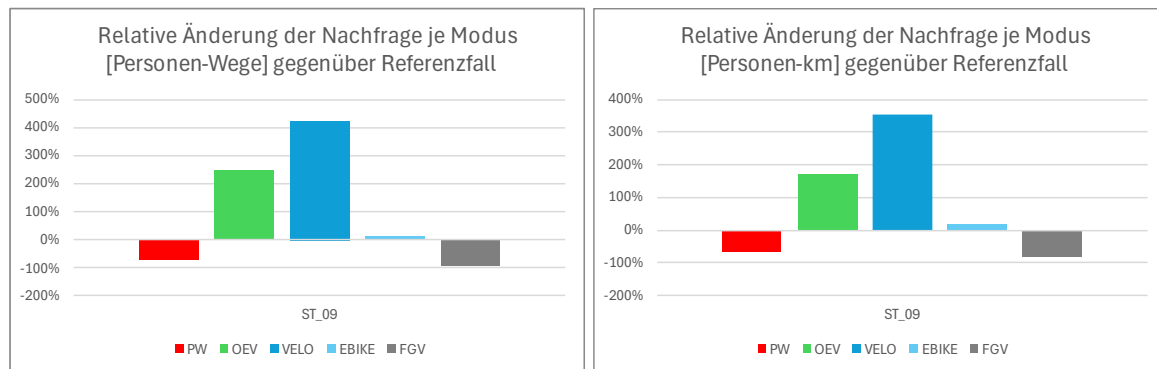


Abbildung 93: Relative Nachfrageänderung für den Sensitivitätstest 09

Sensitivitätstest 10

Gegenstand des Sensitivitätstests 10 ist der Einbau einer konkreten Infrastrukturmassnahme, um das entsprechende Modellverhalten zu prüfen. Im Rahmen des Tests wurde der Lückenschluss der Oberlandautobahn modelliert. Anschliessend wurden die resultierenden Nachfrageänderungen sowie die Belastungsveränderungen im Strassennetz ausgewertet. Dabei ist zu beachten, dass die Auswertungen nicht den Anspruch einer detaillierteren Verkehrsuntersuchung erheben. Ziel ist es vielmehr, das grundlegende Reaktionsverhalten des Modells im Hinblick auf eine Infrastrukturveränderung zu analysieren. Abbildung 94 zeigt die modalen Nachfrageänderungen. Erwartungsgemäss führt der Ausbau der Infrastruktur zu einer Zunahme sowohl bei den PW-Wegezahlen als auch bei den PW-Personenkilometern.

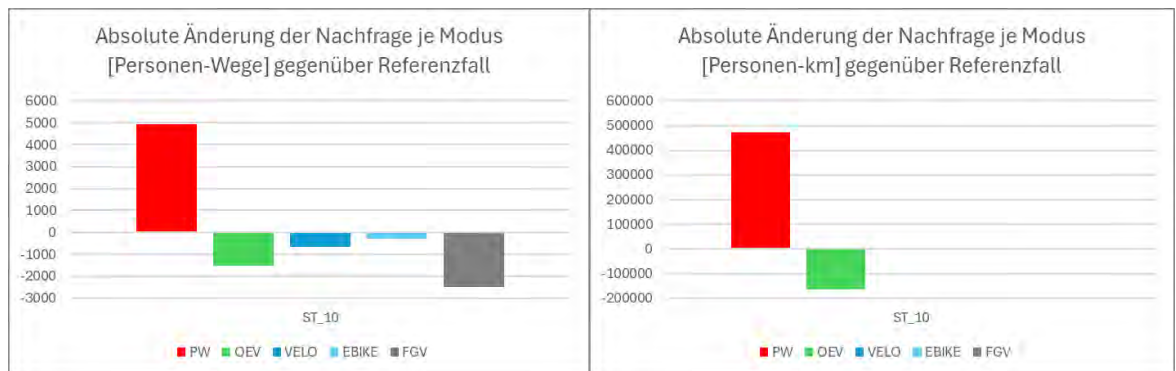


Abbildung 94: Absolute Nachfrageänderung für den Sensitivitätstest 10

Die Streckenbelastungen [Fz/24h] nach Einbau der Infrastrukturmassnahme sind in Abbildung 95 dargestellt, Abbildung 96 zeigt die Differenzbelastungen gegenüber dem Referenzzustand. Zur besseren Visualisierung der modellseitigen Wirkung wurde das lokale Strassennetz ausgeblendet. Dabei ist erkennbar, dass der neu modellierte Abschnitt der Oberlandautobahn im Sensitivitätstest 10 eine Querschnittsbelastung von rund 44'000 bis 57'000 Fz/24h aufweist. Die Differenzbelastungen zeigen eine starke Bündelungswirkung auf der Autobahn sowie eine signifikante Entlastung alternativer Routen im Nebennetz.

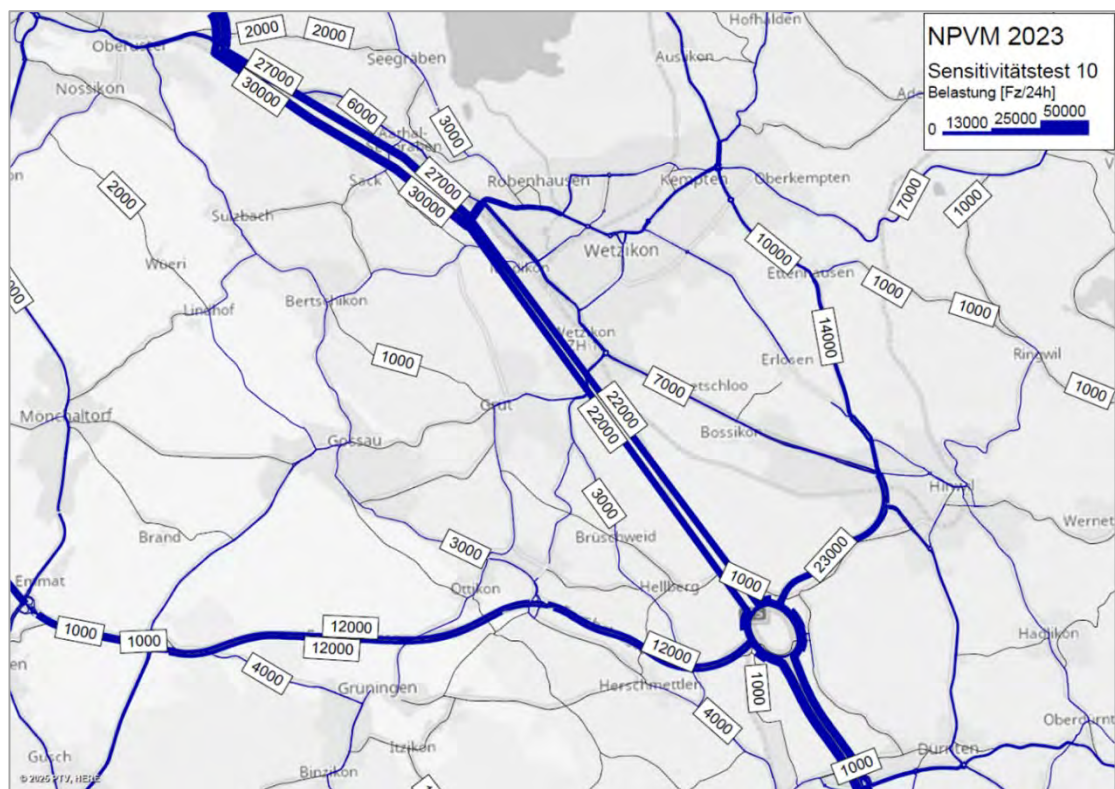


Abbildung 95: Sensitivitätstest 10 – Streckenbelastungen [Fz/24h] (lokales Strassennetz ist ausgeblendet)

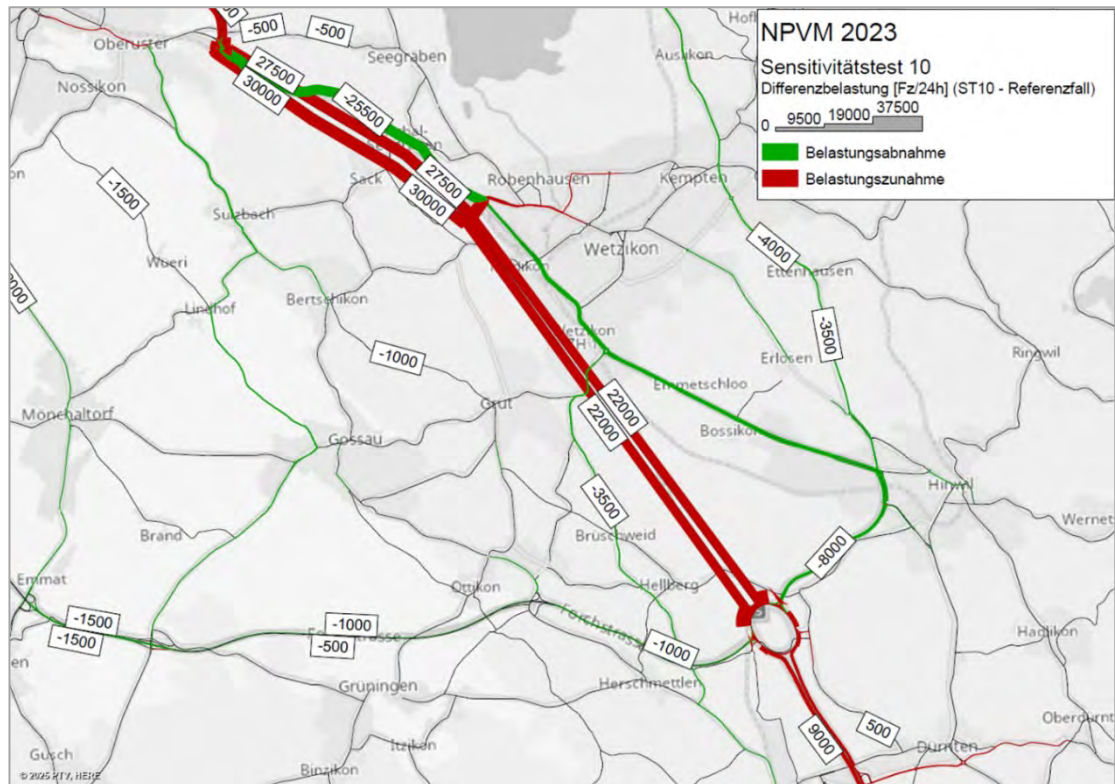


Abbildung 96: Sensitivitätstest 10 – Differenzbelastung [Fz/24h] (lokales Strassennetz ist ausgeblendet)

16.3 Konvergenzverhalten

Für alle Sensitivitätstests wurde ein vollständiger Modelllauf bis zum Erreichen des Konvergenzzustands durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die jeweils benötigte Anzahl an Iterationsschritten.

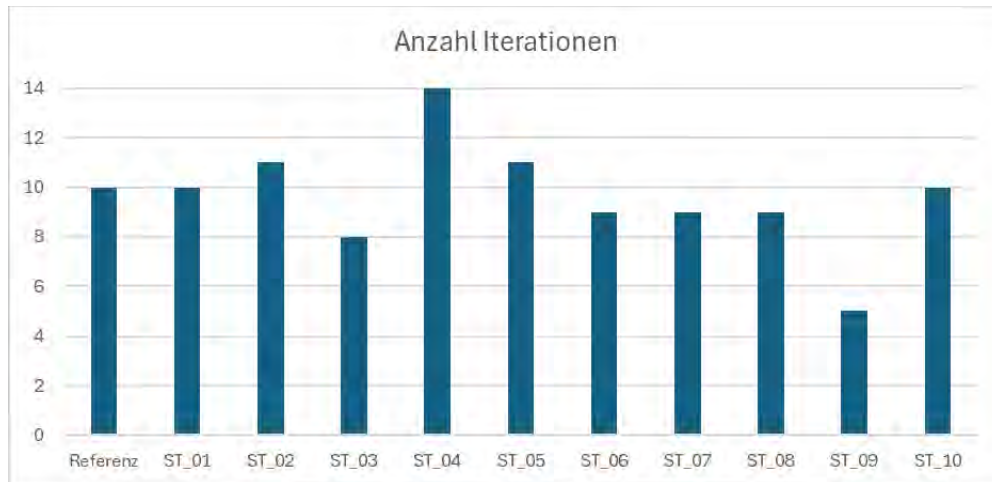


Abbildung 97: Anzahl Iterationen je Sensitivitätstest

Es zeigt sich, dass in den meisten Fällen eine vergleichbare Anzahl an Iterationen wie im Referenzlauf erforderlich war (9 bis 11 Schritte). Grössere Abweichungen nach oben sind auf lokale Effekte einzelner Streckenungleichgewichte zurückzuführen. Die deutlich geringe Anzahl an Iterationen für den Sensitivitätstest 09 (Setzen der Bilanzfaktoren auf den Wert 1) ist dadurch zu erklären, dass die PW-Verkehrsleistung und damit die Netzauslastung gegenüber dem Referenzfall stark zurückgehen.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass das Modell in Hinblick auf zukünftige Prognoseberechnungen ein stabiles und robustes Konvergenzverhalten zeigt. Für künftige Prognoseberechnungen ist daher von einer praxisgerechten Rechenzeit mit moderatem Iterationsaufwand auszugehen.

17 DTV 2023

Der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) leitet sich vom DWV ab und liegt für den MIV in drei Zeitzuständen vor: DTV, DTV 6-22 Uhr (Tagesverkehr) und DTV 22-6 (Nachtverkehr). Der ÖV wird ausschliesslich über den gesamten Tag (0-24) betrachtet, da dieser im Unterschied zum MIV nicht lärmrelevant ist.

Zu Beginn wurden die vorhandenen Zählwerte plausibilisiert und analysiert. Die weiteren Schritte beinhalteten die Ableitung der Nachfragematrizen sowie die Umlegung und Kalibration des Modells.

17.1 Aufbereitung Zählwerte

MIV

Für alle Zählwerte, bei denen keine Unterscheidung zwischen PW und Motorrad vorhanden war, wurden die fehlenden Motorrad Zählwerte aus den vorhandenen Daten hergeleitet. Diese Unterscheidung ist im DTV für die Lärmberechnungen von Bedeutung. Die fehlenden Zählwerte Motorrad wurden einzeln für die drei Zustände und differenziert nach Strassentyp hergeleitet. Die Faktoren in nachfolgender Tabelle zeigen jeweils den mittleren Anteil von MR an PW und wurden in der Aufbereitung verwendet:

Tabelle 49: Anteil Motorrad nach Strassentyp

Anteil MR	Autobahn	Hauptstrasse	Übrige Strassen
DTV	2.61%	5.16%	4.04%
DTV 6-22 (Tag)	1.54%	4.10%	6.20%
DTV 22-6 (Nacht)	1.39%	2.77%	6.17%

In einigen weiteren Fällen waren Zählwerte für LI, LW oder LZ nicht gesondert vorhanden, weswegen davon ausgegangen wurde, dass diese nicht differenziert erhoben wurden. Anhand der vorhandenen Zählwerte über alle Fahrzeuge (FZG) und den vorhandenen Zählwerten für Leicht- oder Schwerverkehr wurden die fehlenden Kategorien bei Möglichkeit mit den verfügbaren Zählwerten ermittelt. Konnten die Zählwerte nicht errechnet werden, so wurden sie ausgeschlossen. Im DTV ist zudem zu beachten, dass eine Unterscheidung in Tag und Nacht notwendig ist. Falls zwei von drei Zuständen (z.B. DTV 6-22 und DTV 22-6) bekannt waren, konnte der fehlende Zustand berechnet werden.

Am Ende konnten für die Kalibration von den insgesamt 5'037 vorhandenen Zählwerten für MIV 55 % für den DTV und 46 % für die Zustände Tag (6–22 Uhr) und Nacht (22–6 Uhr) verwendet werden.

Tabelle 50: zu verwendende Zählwerte Kalibration DTV, MIV

	DTV	DTV 6-22 (Tag)	DTV 22-6 Uhr (Nacht)
Gesamtzahl Zählwerte	5'037	5'037	5'037
Zu verwendende Zählwerte	2'758	2'299	2'299
Anteil (%)	55%	46%	46%

ÖV

Für die Kalibration im ÖV standen sowohl Werte für die Haltestellen⁴ als auch für die Strecken zur Verfügung. Ausgehend von den verwendeten Zählwerten in der DWV-Kalibration (1'056 Zählwerte für Haltestellen und 1'516 Zählwerte für Strecken) wurde die Plausibilisierung der Zählwerte gestartet. Für die SQV-Auswertungen wurden alle verfügbaren Zählwerte des DTV verwendet.

Die Plausibilisierung des Verhältnisses zwischen dem DTV und dem DWV Zählwert wurde für die Haltestellenbereiche auf Ebene der Haltestellen ausgeführt. In der Analyse war zu beachten, dass das Verhältnis zwischen den DTV und den DWV-Zählwerten aufgrund von grossem Freizeit- oder Arbeitsattraktionspotential grösser oder kleiner 1 sein kann. Mit dieser Analyse wurde für die Kalibration der Haltestellenbereiche eine Haltestelle ausgeschlossen.

Die Analyse der Strecken basierte auf zwei Ansätzen: Einerseits wurde das Verhältnis zwischen dem DTV und dem DWV-Zählwert berechnet, andererseits wurden die durchschnittlichen Passagiere pro Servicefahrt berechnet. Ausgehend von den 1'516 Zählwerten wurden 75 Zählwerte aufgrund eines zu grossen Verhältnisses oder, weil der Zählwert im DTV nicht verfügbar ist, ausgeschlossen. Weitere 113 Zählwerte wiesen pro Servicefahrt weniger als 10 Passagiere auf, weshalb diese ebenfalls aus der Kalibration ausgeschlossen wurden. Insgesamt wurden für die Kalibration des DTV 99.9% der Zählwerte auf den Haltestellen und 87.6% der Streckenzählwerte vom DWV verwendet.

Tabelle 51: zu verwendende Zählwerte Kalibration DTV, ÖV

	DTV- Haltestellen	DTV- Strecken
Gesamtzahl Zählwerte	1'056	1'516
Zu verwendende Zählwerte	1'055	1'328
Anteil (%)	99.9%	87.6%

17.2 Ableitung der Nachfragematrizen

Die Nachfragematrizen für den DTV 2023 leiten sich aus den kalibrierten Matrizen des DWV ab. Dafür wurden die Ableitung für die einzelnen Nachfragesegmente wie folgt ausgeführt:

Vorbereitungen

Im Vorlauf zur Berechnung der einzelnen DTV-Startmatrizen mussten die kalibrierten Umlegungsmatrizen aus dem DWV (PW FH und PW Binnen, LI Gewerblich und LI Privat) in einzelne Matrizen aufgeteilt werden. Dazu wurden die kalibrierten und nicht kalibrierten DWV-Matrizen in die Version des DTV geladen und anschliessend anteilmässig auf jede QZ-Relation verteilt. Zusätzlich wurden die vorhandenen 26 QZG-Matrizen des PW Binnen aus dem Nachfragemodell um den Anteil des LI-Privat mittels einer Subtraktion reduziert.

Die Kalibration im ÖV wurde gesamthaft über die drei Nachfragesegmente ÖV Binnen, ÖV FH und ÖV QZD erstellt. Daher war es erst notwendig die Korrektur anteilmässig auf die drei Nachfragesegmente und für jede Q-Z-Relation aufzuteilen.

⁴ Die Zählwerte auf Ebene der Haltestellen wurden für die Kalibration auf Ebene der Haltestellenbereiche betrachtet und verwendet. Eine Haltestelle kann über mehrere Haltestellenbereiche verfügen, z.B. der französische und schweizerische Teil des Bahnhof Basels. Anhand von Informationen über welche Haltestellenbereiche der Zählwert erhoben wurde, sowie den Umlegungsergebnissen aus der ersten Umlegung wurden, die Zählwerte anteilmässig auf die Haltestellenbereiche aufgeteilt.

PW-Binnenverkehr, LI Privat

Ausgehend auf den 26 QZG-Matrizen des PW-Binnen, welche um die jeweilige Matrix des LI-Privat reduziert wurden, wurden die Matrizen zu fünf Fahrtzwecken (Arbeit, Bildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) aggregiert. Zusätzlich wurde eine totale Matrix über die fünf Fahrtzwecke gebildet. Mit dem zu errechnenden Verhältnis zwischen der Fahrtzweckmatrix und der totalen Matrix wurde der Anteil je Q-Z Relation pro Zweck berechnet. Die anteilmässige Korrekturmatrixt des PW-Binnen wurde anschliessend anteilmässig auf die fünf Zwecke verteilt. Die nun vorliegenden Matrizen wurden mittels einem Umrechnungsfaktor aus Nachfrage und dem Besetzungsgrad in einen DTV-Ausgangszustand umgerechnet. Die verwendeten Umrechnungsfaktoren (ARE, 2020) sind in Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, PW-Binnenverkehr

	Nachfrage	Besetzungsgrad
Arbeit	0.77	1.00
Bildung	0.80	0.98
Einkauf	0.97	0.95
Nutzfahrt	0.83	0.98
Freizeit	1.11	0.94

Abschliessend wurden die fünf umgerechneten Fahrtzweckmatrizen zu einer Gesamtmatrix zusammengeführt. Dasselbe Vorgehen, inkl. derselben Faktoren wurde auch für die Herleitung des LI Privat angewendet – im Unterschied zum PW Binnen wurde jedoch der Korrekturmatrixtanteil basierend auf der gesamten LI-Matrix abgeleitet.

Motorrad

Die Anteilsmatrix zur Abspaltung des Motorrads wurde durch das ARE aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Diese Matrix basiert auf der Auswertung des Etappendatensatzes des MZMV 2021 (BFS, 2023a) und wurde differenziert nach Raumtyp der Quell- und Zielzone sowie nach Kanton ausgewertet. Die erhaltene Matrix wurde anschliessend mit der PW Binnenmatrix multipliziert und das Resultat wurde von der PW-Binnenmatrix abgezogen. Zusätzlich wurde ein Teil der PW QZD Matrix für das Motorrad abgespalten, so dass auch Grenzüberschreitender Verkehr für das Motorrad vorhanden ist. Der Anteil beträgt 2.64% und errechnet sich aus den Zählwerten für die Kalibration des QZD (Grenzzählstellen) und wurde der PW QZD Matrix abgezogen.

PW-Flughafenverkehr

Der PW-Flughafenverkehr wurde aus zwei QZG-Matrizen abgeleitet, die zunächst summiert und anschliessend durch den Besetzungsgrad von 1.46 (Umrechnung von Wegen zu Fahrten) dividiert wurden. Anschliessend wurde der Anteil der Korrekturmatrixt hinzugefügt, wodurch eine korrigierte DWV-Matrix für den PW-FH entstand. Für die Umrechnung in den DTV und die Verwendung als Startmatrix wurde die Matrix mit dem Faktor 1.07 (Personenwege) und 0.92 (Besetzungsgrad) umgerechnet (ARE, 2020).

PW QZD

Die kalibrierte DWV-Matrix für den PW QZD bildete die Ausgangslage für den DTV. Sie wurde zunächst anteilmässig in vier Fahrtzwecke (Arbeit und Bildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) unterteilt und anschliessend mit einem DTV-Umrechnungsfaktor skaliert. Dafür wurden die nachfolgenden Umrechnungsfaktoren aus dem NPVM 2017 (ARE, 2020) und den VP 2050 (ARE, 2022) verwendet:

Tabelle 53: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, PW QZD

	Anteil Zweck	Umrechnungsfaktor DTV
Arbeit & Bildung	0.3687	0.77
Einkauf	0.2205	0.98
Nutzfahrt	0.1233	0.80
Freizeit	0.2875	1.27

Da ein Teil des QZD-Verkehrs zum Motorrad verlagert wurde, wurde diese Matrix anschliessend mit 97.36% (o.a. Abzug Motorrad von 2.64%) multipliziert.

LI Gewerblich und LI QZD

Der Anteil der Korrekturmatrix für den gewerblichen Lieferwagenverkehr wurde aus der LI-Matrix berechnet und zur DWV-Matrix vor Korrektur hinzugefügt. Anschliessend erfolgte eine Skalierung mit dem Faktor von 0.803, der das gewichtete Verhältnis zwischen dem DTV und dem DWV Zählwert widerspiegelt. Abschliessend wurden die Matrizen LI Privat und LI Gewerblich als Matrix LI zusammengeführt.

Die LI QZD Matrix wurde vom DWV übernommen und mit einem Faktor von 0.929, errechnet aus dem DTV und DWV ZW für die Grenzzählstellen, in eine DTV-Matrix umgerechnet.

Lastwagen und Lastzüge

Für den Lastwagen LW und den Lastzug LZ wurde die kalibrierte DWV-Matrix mithilfe eines Umrechnungsfaktors in eine DTV-Matrix überführt. Der Faktor errechnet sich aus dem Verhältnis der Zählwerte des DTV im Verhältnis zum DWV und beträgt für den LW 0.79 sowie 0.71 für den LZ.

ÖV (Binnen, FH und QZD)

Analog zum PW-Binnenverkehr waren die 26 QZG-Matrizen die Ausgangslage für den Binnenverkehr im ÖV. Diese wurden ebenfalls zu fünf Fahrtzwecken (Arbeit, Bildung, Einkauf, Nutzfahrt und Freizeit) aggregiert, so dass der Korrekturmatrixanteil des DWV-Binnenverkehrs auf die fünf Zwecke aufgeteilt werden konnte. Diese fünf Fahrtzwecke wurden anschliessend mit einem Umrechnungsfaktor vom DWV in den DTV überführt (ARE, 2020):

Tabelle 54: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, ÖV Binnen

	Umrechnungsfaktor
Arbeit	0.77
Bildung	0.74
Einkauf	0.90
Nutzfahrt	0.78
Freizeit	1.06

Für den Flughafenverkehr wurde der Faktor 0.87 für die Umrechnung des DWV in einen DTV aus dem NPVM 2017 übernommen (ARE, 2020). Die Ableitung des QZD für den DTV basiert auf den verwendeten Faktoren des NPVM 2017 (ARE, 2020). Dafür wurde die Matrix analog des PW QZD in vier Fahrtzwecke (Arbeit und Bildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) aufgeteilt und mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert, dargestellt in nachfolgender Tabelle (ARE, 2020 und 2022).

Tabelle 55: Umrechnungsfaktor DWV zu DTV, PW QZD

	Anteil Zweck	Umrechnungsfaktor DTV
Arbeit & Bildung	0.2545	0.76
Einkauf	0.0900	0.99
Nutzfahrt	0.1781	0.83
Freizeit	0.4773	1.06

Da der ÖV nicht als einzelnes Nachfragesegment umgelegt wird, wurden die drei erstellten Matrizen im Anschluss summiert. Für die Umlegung wurde die Ganglinie des DWV verwendet.

17.3 Umlegung und Kalibration

Die Kalibration des DTV erfolgte in mehreren Schritten, welche nacheinander nach der initialen Aufbereitung aller Startmatrizen (Kapitel 17.2) ausgeführt wurden:

1. Kalibration des Schwerverkehrs (Total LW und LZ auf Zählwerte «Schwer»)
2. Kalibration von LW und LZ getrennt
3. Kalibration PW QZD und LI QZD
4. Kalibration Leichtverkehr (Total PW, MR und LI)

Zur Kalibration wurde «VStromFuzzy» verwendet, welches jeweils den Zählwert sowie die Definition einer Toleranzfunktion benötigt. Die Toleranzfunktionen des Güterverkehrs (Schwer, LW und LZ), dem QZD-Verkehr für PW und LI lauteten wie folgt:

- **Güterverkehr:** $\max^5(100, [ZW])$.
- **PW und LI QZD:**

$$\max(1'000, \sqrt{10'000 * [ZW]}) * \left(\frac{1}{\text{if}((([TYPNR] \geq 0 \& [TYPNR] \leq 19)) | [TYPNR] \geq 62 \& [TYPNR] \leq 73, 0.7, 0.65)} - 1 \right)$$
- **Leichtverkehr:**

$$\max(1'000, \sqrt{10'000 * [ZW]}) * \left(\frac{1}{\text{if}((([TYPNR] \geq 0 \& [TYPNR] \leq 19)) | [TYPNR] \geq 62 \& [TYPNR] \leq 73, 0.7, 0.65)} - 1 \right)$$

Die Formeln des Güterverkehrs sowie des Leichtverkehrs orientieren sich am DWV, die Kalibration des QZD wurde aufgrund von den Erkenntnissen aus der DWV-Kalibration angepasst. Mit der durchgeführten Kalibration wurde folgendes Ergebnis über alle vorhandenen Zählwerte erzielt:

Tabelle 56: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV MIV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	[0;0.75]	[0.75;0.85]	[0.85;1]
Schwer	3'158	34%	6%	5%	7%	6%	42%
LW	2'755	40%	5%	1%	2%	5%	46%
LZ	2'747	36%	3%	1%	4%	7%	49%
PW QZD	118	29%	4%	3%	8%	6%	49%
LI QZD	126	46%	0%	0%	15%	14%	25%
Leicht	2'975	49%	4%	2%	1%	1%	42%
Fahrzeuge	4'947	45%	8%	5%	4%	2%	36%

⁵ Die Formel $\max(x,y)$ ermöglicht die Verwendung von unterschiedlichen Toleranzen, abhängig vom Zählwert. Dabei wird immer der grössere der beiden möglichen Werten verwendet.

Die Kalibration des DTV für den Schwerverkehr, LW und LZ sowie den QZD und Leichtverkehr ist über alle Fahrzeuge hinweg für über 90% der Zählwerte gut ($|SQV| > 0.75$) bis sehr gut ($|SQV| > 0.85$). Unterteilt nach den einzelnen kalibrierten Matrizen zeigt sich, dass mindestens über 85% der Zählwerte einen $|SQV| > 0.75$ haben und somit die Kalibration bereits sehr gute Ergebnisse zeigt.

Die Betrachtung der Matrixkorrektur und der Auswertung des durch «VStromFuzzy» erklärten Anteils der Matrix bestätigt die oben ausgeführte Kalibration weiter. Die absoluten Korrekturen über alle kalibrierten Matrizen hinweg bewegen sich zwischen 8% und 33%, mit Ausnahme des LI-QZD mit 44%. Insbesondere hervorzuheben ist das Resultat des Leichtverkehrs, welches mit 8% die geringste Korrektur aufweist.

Für die ÖV-Kalibration lagen sowohl Zählwerte für die Haltestellen (für die Kalibration auf Ebene der Haltestellenbereiche verwendet) sowie für die Strecken vor. Die Zählwerte auf Ebene der Haltestellenbereiche wurden anschliessend noch auf Ein- und Aussteiger in einem Verhältnis 50:50 aufgeteilt. Diese wurden analog dem DWV vorbereitet und mittels derselben Toleranzfunktion bei «VStromFuzzy» kalibriert. Die Toleranzfunktionen lauteten wie folgt:

- **Haltestellenbereiche:** $\max(1'000, 1.0 * [ZW] * 0.5^6)$.
- **Strecken:** $\max(1'000, 1.0 * [ZW])$.

Mit der durchgeführten Kalibration wurde folgendes Ergebnis erzielt:

Tabelle 57: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV ÖV

	Anzahl	$[-1;-0.85[$	$[-0.85;-0.75[$	$[-0.75;0[$	$]0;0.75]$	$]0.75;0.85]$	$]0.85;1]$
Tram Schweiz	516	20%	5%	5%	13%	16%	41%
Schiene Schweiz	1'000	22%	0%	0%	3%	7%	67%
Total	16'774	45%	3%	1%	7%	6%	37%

	Anzahl	$[-1;-0.85[$	$[-0.85;-0.75[$	$[-0.75;0[$	$]0;0.75]$	$]0.75;0.85]$	$]0.85;1]$
Haltestellen	1'056	24%	2%	0%	3%	5%	64%

Die Kalibration des DTV ÖV wurde analog zum DWV ausgeführt, weshalb ausschliesslich Zählwerte für das Tram und die Schiene Schweiz einbezogen wurden. Die Betrachtung der Resultate in der obenstehenden Tabelle über alle Zählwerte zeigt, dass bei über 90% der Streckenzählwerte ein $|SQV| > 0.75$ erreicht wird. Bei den Haltestellen weisen nach der Kalibration über 97% der Zählwerte einen $|SQV| > 0.75$ auf.

Zur Überprüfung und Validierung der Kalibration wurde für die Gesamtmatrix ÖV der Anteil der «VStromFuzzy» Korrektur berechnet. Die korrigierte Matrix weist eine Differenz von 4% aus, währenddessen die absolute Differenz 21% beträgt, ausgehend von der Matrixsumme von 3.56 Mio. ÖV Fahrten.

17.4 Modelle für den Tages- und Nachtverkehr

Neben dem DTV wurden auch eigene MIV-Matrizen für den Tagesverkehr (6-22 Uhr) und den Nachtverkehr (22-6 Uhr) erstellt. Das gewählte Vorgehen teilte die kalibrierte DTV-Matrix erst anteilmässig für den Tag und Nacht auf, siehe dargestellte Anteile in nachfolgender Tabelle (BAFU, 2023).

⁶ Der Faktor 0.5 steht hier ausschliesslich in der Formel, da der Zählwert in PTV-Visum für Einsteiger und Aussteiger aufgeteilt werden musste.

Tabelle 58: Anteile Tages- und Nachtverkehr DTV

Nr.	Name	Anteil Tag (6-22Uhr)	Anteil Nacht (22-6Uhr)
1	PW Binnen	93.5%	6.5%
5	PW FH	91.3%	8.7%
7	PW QZD	93.5%	6.5%
9	LI QZD	93.6%	6.4%
10	Lieferwagen	93.6%	6.4%
11	Lastwagen	93.6%	6.4%
12	Lastzug	93.6%	6.4%
14	Motorrad ⁷	93.5%	6.5%

Neben der Aufteilung der Nachfrage war es zudem notwendig, die Streckenkapazitäten («KapazitätIV») sowie die Vorbelastungen («Vorbelastung_Umlegung_PW») zu senken. Die Streckenkapazitäten wurden für den Tag mit 0.93 und für die Nacht mit 0.75 multipliziert. Die Vorbelastungen des PW für die Umlegung des QZD-Verkehrs wurden für den Tag mit dem Faktor 0.95 und 0.07 für die Nacht verrechnet (BAFU, 2023). Weitere Anpassungen an Einstellungen waren für die Berechnung nicht notwendig.

Umlegung und Kalibration

Die nun durch die Tabelle 58 aufgeteilte Nachfrage wurde ein erstes Mal mit allen Änderungen umgelegt. Zusätzlich wurde entschieden, dass der Nachtverkehr aufgrund der geringeren Verkehrsmenge korrigiert wird und der Tagesverkehr die Differenz aus dem DTV und dem Nachtverkehr bildet.

Da die Verkehrsmenge in der Nacht deutlich geringer ist, wurden die verwendeten Toleranzfunktionen und die SQV- Auswertungen aus dem DTV um den Faktor 10 reduziert (analog Spitzenstunden). Mit der Kalibration des Nachtverkehrs ergaben sich die folgenden Resultate für den Nachtverkehr:

Tabelle 59: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV (22-6 Uhr) MIV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	]0;0.75]	]0.75;0.85]	]0.85;1]
Schwer	3'158	34%	6%	5%	7%	6%	42%
LW	2'755	40%	5%	1%	2%	5%	46%
LZ	2'747	36%	3%	1%	4%	7%	49%
PW QZD	118	29%	4%	3%	8%	6%	49%
LI QZD	126	46%	0%	0%	15%	14%	25%
Leicht	2'975	49%	4%	2%	1%	1%	42%
Fahrzeuge	4'947	45%	8%	5%	4%	2%	36%

Die Ergebnisse des Tagesverkehrs, gebildet aus der Differenz des DTV und des Nachtverkehrs sind in der untenstehenden Tabelle dargestellt. Für diese SQV-Auswertung wurde analog zum DWV und dem DTV (0-24) der Skalierungsfaktor 10'000 verwendet.

⁷ Motorrad orientiert sich am PW Binnen und LI QZD an LI.

Tabelle 60: Verteilung der Zählstellen nach SQV, DTV (6-22 Uhr) MIV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	]0;0.75]	]0.75;0.85]	]0.85;1]
Schwer	3'158	34%	6%	5%	7%	6%	42%
LW	2'755	40%	5%	1%	2%	5%	46%
LZ	2'747	36%	3%	1%	4%	7%	49%
PW QZD	118	29%	4%	3%	8%	6%	49%
LI QZD	126	46%	0%	0%	15%	14%	25%
Leicht	2'975	49%	4%	2%	1%	1%	42%
Fahrzeuge	4'947	45%	8%	5%	4%	2%	36%

Die Ergebnisse der Kalibration des Nachtverkehrs zeigen, dass über alle Fahrzeuge über 90% der Zählwerte einen $|\text{SQV}| > 0.75$ aufweisen. Die Auswertung des SQV für den QZD-Tagesverkehr findet nur circa auf einem Drittel der Zählwerte 0-24 statt. Trotzdem weisen über 75% einen $|\text{SQV}| > 0.75$ auf. Die übrigen Verkehrsmittel können bei mindestens 85% der Zählwerte einen $|\text{SQV}| > 0.75$ aufweisen.

Die Auswertungen des Tagesverkehrs beziehen sich auf die ergebene Differenz zwischen dem DTV und dem Nachtverkehr. Der Vergleich mit allen vorhandenen Zählwerten für den Tagesverkehr zeigt, dass circa 90% der Zählwerte (ausgenommen LI QZD) einen $|\text{SQV}| > 0.75$ haben, wobei über 85% einen $|\text{SQV}| > 0.85$ haben.

Nach der Kalibration zeigen sich die Anteile leicht verändert für den Tag und die Nacht. Sie sind in der untenstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 61: Anteile Tages- und Nachtverkehr nach Kalibrierung DTV

Nr.	Name	Anteil Tag (6-22Uhr)	Anteil Nacht (22-6Uhr)
1	PW Binnen	92.6%	7.4%
5	PW FH	84.8%	15.2%
7	PW QZD	93.2%	6.8%
9	LI QZD	95.4%	4.6%
10	Lieferwagen	92.2%	7.8%
11	Lastwagen	93.3%	6.7%
12	Lastzug	91.5%	8.5%
14	Motorrad	92.2%	7.8%

18 Update Auswertungen

Die aktualisierten Dashboards basieren auf den Dashboards der Verkehrsprognosen 2050. Sie wurden um weitere Auswertungen ergänzt, die sich im Kalibrierungsverlauf als wertvoll erwiesen hatten.

Die Excel-basierten Auswertungen werden mit Python-Skripten am Ende der Verfahrensabläufe von Nachfrage-, MIV-, ÖV und Velo-Version erzeugt. Es entstehen somit vier Dashboards.

Wichtig ist hierfür,

- dass das Projektverzeichnis die Ablageorte für die Skriptdateien, die Excel-Masterdateien, die Listenlayoutdateien und die Filterdateien kennt.
- dass die benutzerdefinierte Tabelle «Dashboard Liste der Listen» gefüllt ist.
- dass während des Skriptdurchlaufes keine anderen Excel-Dateien geöffnet sind und nicht in der sich öffnenden Excel-Datei herumgeklickt wird.

19 Modelle der Spitzenstunden

Die Spitzenstundenmodelle repräsentieren die Morgenspitze (MSP) von 7 bis 8 Uhr sowie die Abendspitze (ASP) von 17-18 Uhr für den MIV und den ÖV. Dafür wurden erst die vorhandenen Zählwerte plausibilisiert und analysiert sowie die Berechnung der Spitzenstundenmatrizen durchgeführt. Zum Abschluss wurden diese umgelegt und mittels der Kalibration auf die Zählwerte angepasst.

19.1 Aufbereitung Zählwerte

MIV

Vor der Kalibration der Spitzenstunden wurden die Zählwerte analysiert und geprüft. Dafür wurden die vorhandenen Zählwerte miteinander verglichen und fehlende Zählwerte, wenn möglich, hergeleitet. Da für die Spitzenstunden im MIV, im Gegensatz zum DTV, keine genauere Betrachtung für das Motorrad erfolgte, wurden diese Zählwerte nicht zusätzlich abgeleitet. Maximal konnten dabei 48% der Zählwerte (MSP) und 50% der Zählwerte für die ASP verwendet werden.

Tabelle 62: zu verwendende Zählwerte Kalibration Spitzenstunden, MIV

	MSP	ASP
Gesamtzahl Zählwerte	5'037	5'037
Zu verwendende Zählwerte	2'423	2'497
Anteil (%)	48%	50%

ÖV

Für den ÖV wurden die gleichen Zählwerte, welche zur Kalibration im DWV verwendet wurden, für die Spitzenstunden genauer betrachtet, wobei keine Zählwerte für die Haltestellen vorhanden sind. Die Analyse basierte dabei auf dem Verhältnis zwischen dem Spitzenstunden Zählwert und dem DWV Zählwert sowie den Anzahl Passagieren pro Servicefahrt (für eine durchschnittliche Stunde). Über dieses Vorgehen wurden in der MSP 42 und in der ASP 25 Zählwerte ausgeschlossen. Darüber hinaus waren in der MSP für 451 und in der ASP für 444 keine Zählwerte für die Spitzenstunde vorhanden. Somit konnten für die Kalibration in der MSP 67% und für die ASP 69% der Zählwerte in der Kalibration verwendet werden.

Tabelle 63: zu verwendende Zählwerte Kalibration Spitzenstunden, ÖV

	MSP -Strecken	ASP- Strecken
Gesamtzahl Zählwerte	1'516	1'516
Zu verwendende Zählwerte	1'023	1'047
Anteil (%)	67%	69%

19.2 Berechnung der Spitzenstundenmatrizen

Analog zum Vorgehen im NPVM 2017 (ARE, 2020) und den VP 2050 (ARE, 2022) wurden die Startmatrizen für die einzelnen Stundenscheiben (MSP von 7 bis 8 Uhr und ASP von 17 bis 18 Uhr) von den kalibrierten DWV-Matrizen abgeleitet. Für den Binnenverkehr (PW Binnen, LI Privat, ÖV Binnen) sowie den Flughafenverkehr (PW FH und ÖV FH) wurde ein mehrstufiges Verfahren (Abbildung 98) ausgeführt. Für die übrigen Nachfragesegmente (PW QZD, ÖV QZD, LI gewerblich, LI QZD, LW und LZ) wurden die Anteile aus den Versionen NPVM 2017 (UVEK, 2019) für jede Quell-Ziel-Relation hergeleitet und verwendet.

Alle Schritte wurden zur Vorbereitung in einer separaten Kopie des Nachfragemodells ausgeführt und die finalen Matrizen am Ende exportiert.

PW Binnen, LI Privat und ÖV Binnen

Ausgangslage für die Aufbereitung der Spitzenstunden Matrizen bildeten jeweils die 26 QZG-Matrizen sowie die entsprechend kalibrierten DWV-Matrizen. Wie im DTV war es zudem notwendig, den LI-Privat von den einzelnen PW-QZG-Matrizen zu subtrahieren, so dass diese getrennt voneinander betrachtet werden konnten. Anschliessend wurde das in nachfolgender Abbildung aufgezeigte Verfahren (ARE, 2022) umgesetzt, welches anhand des PW-Binnen näher erläutert wird.

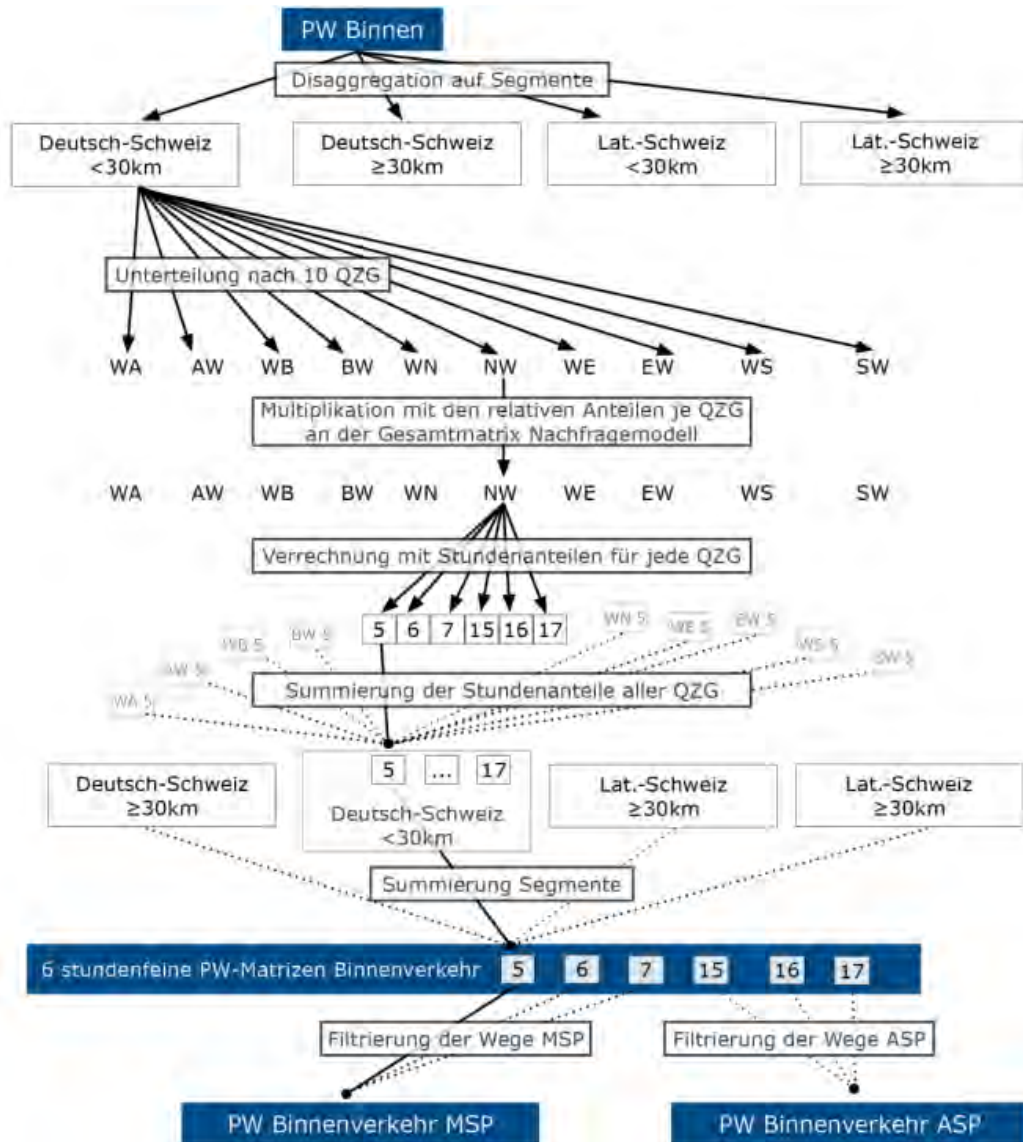


Abbildung 98: Schematischer Verfahrensablauf PW Binnenverkehr

In einer ersten Stufe wurden die 26 QZG-Matrizen in zwei regionale Gruppen (Deutsch-Schweiz und Lateinische Schweiz) mit je zwei Distanzklassen (kleiner 30 km und grösser 30 km) unterteilt. Für die Zuordnung einer Zone zur Lateinischen Schweiz oder Deutsch-Schweiz wurde das Attribut «MAKROBEZ_SPRACHRAUM» verwendet. Die Zuordnung einer Quell-Ziel-Beziehung zu einer Region wird durch die Quelle entschieden. Die so aufgeteilten 26 QZG-Matrizen wurden anschliessend innerhalb der Gruppe zu je 10 QZG-Matrizen zusammengefasst. Für jede der 10 QZG-Gruppen lagen getrennt nach PW und ÖV unterschiedliche Ganglinien

vor, welche aus dem MZMV 2015 im Rahmen des NPVM 2017 und des VP 2050 aufbereitet wurden. Ein Beispiel einer Ganglinie ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

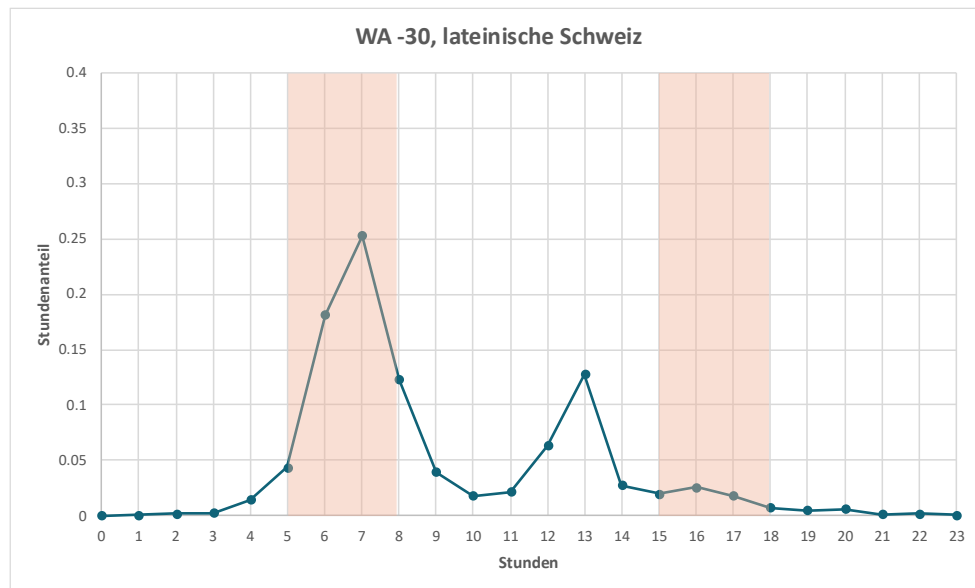


Abbildung 99: Ganglinie WA, Distanzklasse kleiner 30km, Lateinische Schweiz

Das Beispiel aus obenstehender Abbildung zeigt die Ganglinie für den Zweck Wohnen-Arbeiten (WA) und für die Distanz kleiner 30 km in der lateinischen Schweiz. Für die Spitzenstunden waren dabei nur die Stunden zwischen 5-8 Uhr (MSP) und 15-18 Uhr (ASP) relevant (orange Markierung in Abbildung 99), weshalb die 10 QZG-Matrizen pro Gruppe jeweils für diese Stunden extrahiert wurden. Als Resultat liegen sechs Matrizen pro QZG-Matrix und Gruppe.

Da aufgrund der Reisezeit zwischen der Quelle und dem Ziel nicht alle Fahrten innerhalb der Stunde der Abfahrtszeit, war es notwendig, die stundenfeinen Matrizen mit einer Wahrscheinlichkeit unterschieden nach Reisezeit (t) und der Stunde umzurechnen. Die unten aufgeführten Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Stunden orientieren sich am NPVM 2017 (ARE, 2020) und an den VP 2050 (ARE, 2022):

- Spitzenstundenmatrix (7.00-8.00 und 17.00-18.00 Uhr)
 - o Wenn $t \leq 60$ min $P=1-(t/120)$
 - o Wenn $t > 60$ min $P=30/t$
- Vorherige Stunden (6.00-7.00 und 16.00-17.00 Uhr)
 - o Wenn $t \leq 60$ min $P=t/90$
 - o Wenn $60 \text{ min} < t \leq 90 \text{ min}$ $P=2/3$
 - o Wenn $t > 90$ min $P=60/t$
- Zwei Stunden vorher (05.00-06.00 und 15.00-16.00 Uhr)
 - o Wenn $t \leq 60$ min $P=0$
 - o Wenn $60 \text{ min} < t \leq 120 \text{ min}$ $P=(t/60) / 240$
 - o Wenn $t > 120$ min $P=1/3$

Die 10 QZG-Matrizen wurden anschliessend zu einer Stundenmatrix für die MSP und für die ASP zusammengeführt.

PW FH und ÖV FH

Im Unterschied zum Binnenverkehr waren für den Flughafenverkehr lediglich zwei QZG-Matrizen vorhanden. Für jede QZG-Gruppe gab es analog zum PW Binnen eine Ganglinie, welche sich zwischen PW und ÖV nicht unterscheidet. Dabei sind, wie bereits im PW Binnen beschrieben, nur die Stunden zwischen 5-8 Uhr und 15-18 Uhr relevant, weshalb für die beiden QZG-Gruppen je sechs Matrizen extrahiert wurden. Analog den Wahrscheinlichkeiten des PW Binnen wurden auch diese Matrizen entsprechend reduziert und am Ende zu einer einzigen Inputmatrix pro Verkehrssystem und pro Zeitscheibe (MSP und ASP) zusammengefasst.

Güterverkehr (LI gewerblich, LI QZD, LW, LZ), PW und ÖV QZD

Für die Güterverkehrsmatrizen und die QZD-Matrizen wurden die Anteile zur Umrechnung des DWV in Spitzenstunden aus den Versionen des NPVM 2017 (UVEK, 2019) übernommen. Dafür wurde auf Ebene der Quell-Ziel-Relationen der Anteil der jeweiligen Spitzenstunde gegenüber dem DWV-Zustand ermittelt und mit der jeweiligen Fahrtenanzahl für jede Quell-Ziel-Beziehung des NPVM 2023 multipliziert.

Wichtig war, dass es in der neuen Version auch Verkehr für Quell-Ziel-Verbindungen geben kann, den es 2017 noch nicht gab. Für solche Quell-Ziel-Relationen wurden aus den bisherigen Versionen des NPVM 2017 das allgemeine Verhältnis auf Ebene der Matrizen zwischen den Spitzenstunden und dem DWV berechnet, siehe nachfolgende Tabelle.

Tabelle 64: Anteil Spitzenstunden 2017

Nr.	Name	Anteil MSP	Anteil ASP
1	PW Binnen	7.38%	10.49%
4	ÖV QZD	7.16%	9.46%
5	PW FH	8.01%	9.67%
7	PW QZD	8.63%	12.32%
9	LI QZD	8.79%	13.49%
10	Lieferwagen	8.79%	13.49%
11	Lastwagen	8.95%	10.87%
12	Lastzug	8.16%	9.08%

19.3 Umlegung und Kalibration

MIV

In der MIV-Version waren für die Berechnungen der Spitzenstunden Anpassungen in den Umlegungseinstellungen notwendig. Es wurde der C-Faktor der CR-Streckenfunktionen von 12 (Tagesverkehr von 0-24) auf 1 (Spitzenstundenverkehr) und die CR-Knotenfunktion von 1 auf 0.083 umgestellt. Des Weiteren wurde die Vorbelastung für die Umlegung des Güterverkehrs sowie des QZD-Verkehrs reduziert. Die Vorbelastungen definieren sich in den Spitzenstunden wie folgt (siehe nachfolgende Abbildung):

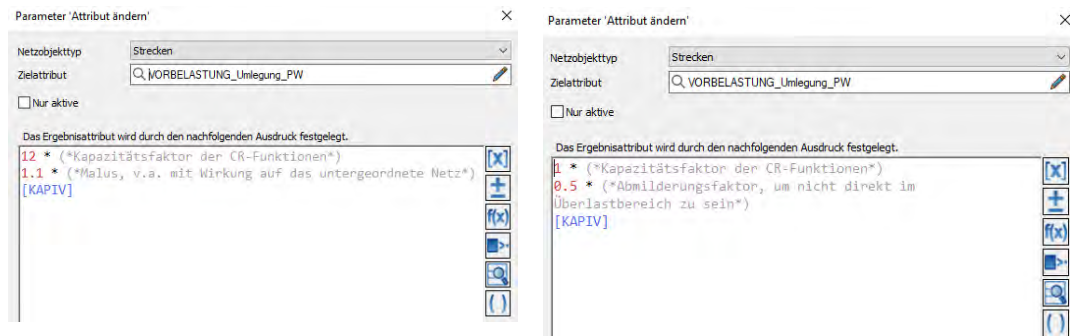


Abbildung 100: Vorbelastungen Spitzenstunden MIV, (links: Güterverkehr, rechts: QZD)

Die Kalibration der Spitzenstundenmodelle hat wie im DTV nach der initialen Aufbereitung der Startmatrizen stattgefunden und anhand derselben Reihenfolge.

1. Kalibration des Schwerverkehrs (Total LW und LZ auf Zählwerte «Schwer»)
2. Kalibration von LW und LZ getrennt
3. Kalibration PW QZD und LI QZD
4. Kalibration Leichtverkehr (PW, inkl. Motorrad und LI)

Zur Kalibration wurde «VStromFuzzy» verwendet, welches jeweils den Zählwert sowie die Toleranzfunktion benötigt. Die Toleranzfunktionen des Güterverkehrs (Schwer, LW und LZ), dem QZD-Verkehr für PW und LI lauteten wie folgt:

- **Güterverkehr:** $\max(100, [ZW])$.
- **PW und LI QZD:** $\max(100, \sqrt{1'000 * [ZW]}) * (\frac{1}{\text{if}(((TYPNR) \geq 0 \& [TYPNR] \leq 19))[(TYPNR) \geq 62 \& [TYPNR] \leq 73, 0.7, 0.65]} - 1))$
- **Leichtverkehr:** $\max(100, \sqrt{1'000 * [ZW]}) * (\frac{1}{\text{if}(((TYPNR) \geq 0 \& [TYPNR] \leq 19))[(TYPNR) \geq 62 \& [TYPNR] \leq 73, 0.7, 0.65]} - 1))$

Anhand dieser Kalibration wurden für die MSP (Tabelle 65) und die ASP (Tabelle 66) diese Resultate erzielt:

Tabelle 65: Verteilung der Zählstellen nach SQV, MSP MIV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	]0;0.75]	]0.75;0.85]	]0.85;1]
Schwer	2'372	35%	9%	5%	3%	3%	45%
LW	2'284	34%	8%	4%	2%	4%	49%
LZ	1'981	35%	6%	2%	2%	4%	51%
PW QZD	44	20%	9%	5%	20%	9%	36%
LI QZD	44	45%	0%	0%	2%	5%	48%
Leicht	2'423	38%	7%	5%	5%	4%	41%
Fahrzeuge	2'423	39%	7%	5%	5%	4%	41%

Tabelle 66: Verteilung der Zählstellen nach SQV, ASP MIV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	]0;0.75]	]0.75;0.85]	]0.85;1]
Schwer	2'324	36%	6%	3%	3%	4%	48%
LW	2'211	34%	5%	1%	3%	4%	52%
LZ	1'676	34%	5%	1%	1%	3%	55%
PW QZD	44	30%	7%	7%	16%	5%	36%
LI QZD	44	45%	2%	0%	2%	2%	48%
Leicht	2'497	44%	6%	4%	4%	3%	40%
Fahrzeuge	2'497	44%	6%	5%	4%	3%	40%

Die Kalibration der Spitzenstunden (MSP und ASP) ist analog dem Vorgehen des DWV und des DTV geschehen und unterscheidet sich in der Skalierung des SQV um den Faktor 10. Über alle Fahrzeuge weisen circa 90% der Zählwerte einen $|SQV| > 0.75$ auf. Die Betrachtung der einzelnen Nachfragesegmente zeigt zudem, dass mit Ausnahme des PW QZD ebenfalls über 90% der Zählwerte einen $|SQV| > 0.75$ aufweisen. Der Vergleich der Korrekturmatriizen zeigt zudem, dass die angewendeten Faktoren für den QZD sowie die Aufbereitung des Leichtverkehrs sehr gut zu den Zählwerten passen (absolute Differenz gegenüber Ausgangslage $<10\%$). Die Korrekturen im Güterverkehr sind mit 22% bis 37% sowohl in der ASP als auch in der MSP leicht höher.

ÖV

Für die Kalibration der ÖV-Version war es ebenfalls notwendig, dass Einstellungen in den Umlegungen angepasst werden. Diese umfassen folgende Punkte:

- Die allgemeinen Verfahrenseinstellungen müssen bei der ÖV-Umlegung auf 6 Nachkommastellen gerundet werden und die Wege müssen als Verbindungen gespeichert sein

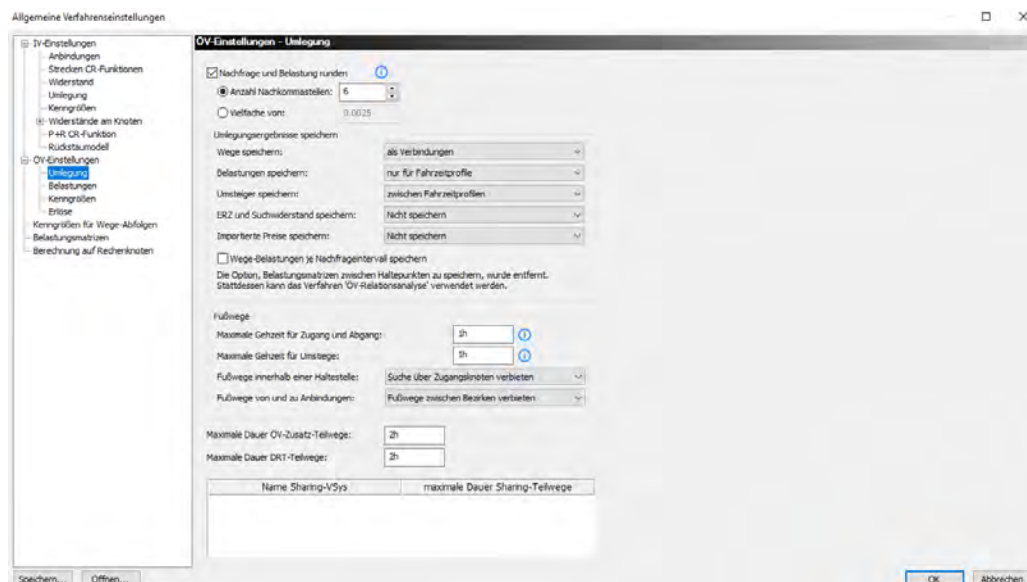


Abbildung 101: Allgemeine Verfahrenseinstellungen

- Der Umlegungszeitraum (von, bis) sowie der Vorlauf und Nachlauf muss in der Umlegung für die jeweilige Spitzenstunde (MSP: 7.00-8.00, ASP: 17.00-18.00) angepasst werden. Dieser entspricht den Einstellungen der VP 2050 (ARE, 2022).

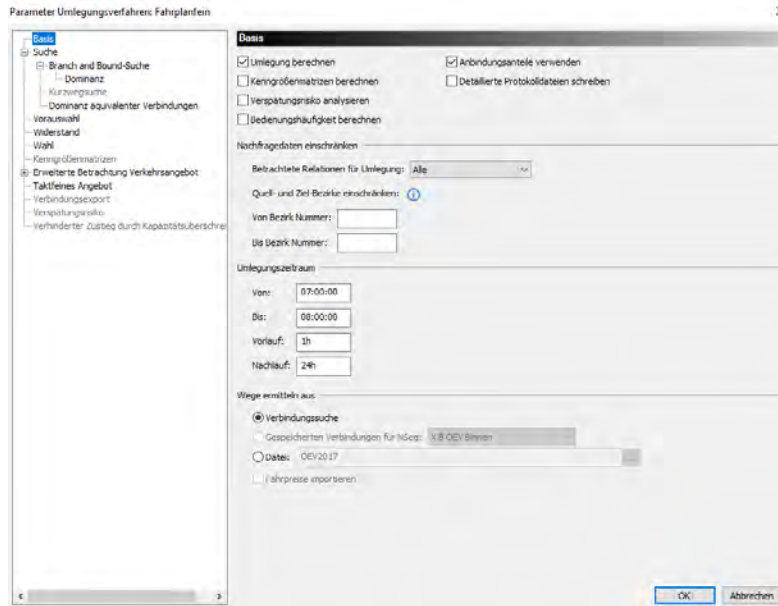


Abbildung 102: Umlegungszeitraum

- In der Vorauswahl der Umlegungseinstellungen ist es zudem notwendig, dass Verbindungen, welche vollständig im Vor- oder Nachlauf liegen nicht gelöscht werden. Diese Einstellungsänderung ist in den Spitzenstunden von Bedeutung, damit mit Sicherheit eine Verbindung zwischen einer Quelle und einem Ziel gefunden wird.

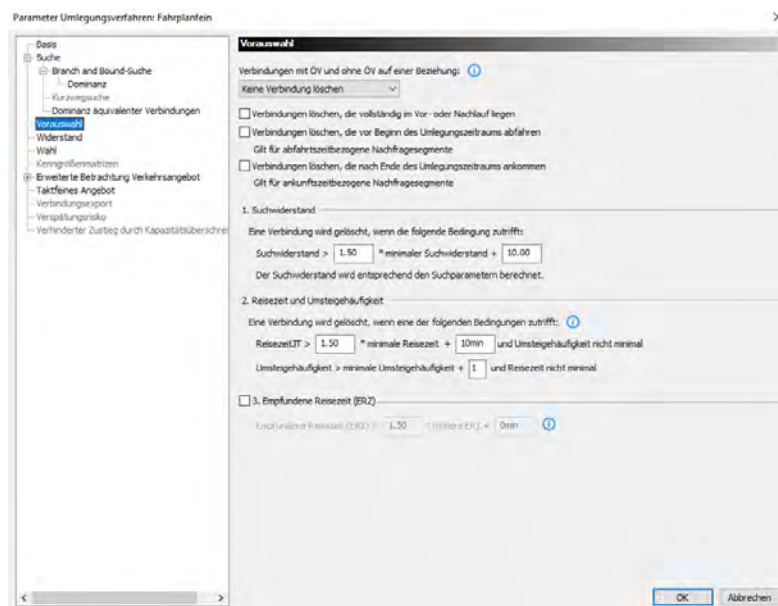


Abbildung 103: Vorauswahl Verbindungen

Für die Kalibration der Spitzenstunden ÖV lagen ausschliesslich Zählwerte für die Strecken vor. Dafür wurde die folgende Toleranzfunktion verwendet:

- **Strecken:** $\max(100, 1.0 * [ZW])$.

Mit der durchgeführten Kalibration sind folgende Ergebnisse erzielt worden:

Tabelle 67: Verteilung der Zählstellen nach SQV, MSP ÖV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	]0;0.75]	]0.75;0.85]	]0.85;1]
Tram Schweiz	353	37%	5%	3%	7%	7%	41%
Schiene Schweiz	743	32%	4%	1%	3%	6%	54%
Total	15'272	51%	9%	2%	7%	6%	25%

Tabelle 68: Verteilung der Zählstellen nach SQV, ASP ÖV

	Anzahl	[-1;-0.85[	[-0.85;-0.75[	[-0.75;0[	]0;0.75]	]0.75;0.85]	]0.85;1]
Tram Schweiz	355	42%	6%	3%	7%	4%	38%
Schiene Schweiz	745	37%	1%	0%	2%	4%	56%
Total	15'200	51%	5%	1%	6%	6%	30%

Die Tabelle 67 und die Tabelle 68 zeigen die Resultate über alle vorhandenen Zählwerte nach der Kalibrierung auf. Über 90% der Zählwerte haben einen $|SQV| > 0.75$ und sind damit als gut oder sehr gut zu bezeichnen. Wie im DWV und im DTV bereits ausgeführt, wurde für die Kalibration nur ein Teil der Zählwerte aus der Kategorie Tram Schweiz und Schiene Schweiz verwendet.

Zum Vergleich und der Einordnung der Ergebnisse wurden die absolute Korrektur sowie die Korrektur gegenüber der Ausgangslage analysiert. Letztere zeigt, dass die Matrizen durch «VStromFuzzy» in der MSP um -1% und in der ASP um -2% reduziert wurden. Die absolute Korrektur ist mit 27% in der MSP und 22% in der ASP vorliegen.

20 Literaturverzeichnis

- ARE (2019): Aktualisierung der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) auf den Basiszustand 2016 – Schlussbericht, Infras Bern, SSP Consult Waldkirch im Auftrag des ARE, Ittigen
- ARE (2020): Modelletablierung Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017, TransOptima GmbH, TransSol GmbH, PTV Transport Consult GmbH, PTV AG, Strittmatter Partner AG im Auftrag des ARE, Ittigen.
- ARE (2022): Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050, Schlussbericht, Rapp AG, PTV Transport Consult GmbH, Strittmatter Partner AG, Prognos AG, BAK Economics AG im Auftrag von ARE, BAV, ASTRA, BAFU und BFE, Ittigen.
- ARE (2022a): Verkehrsperspektiven 2050. Ergebnisse, <https://zenodo.org/records/7827099>
- ARE (2023): Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017+ Methodik-Update, ARE, Ittigen.
- ARE (2024a): Establishment of the Swiss LCV model, Technical Report, ARE, Ittigen.
- ARE (2024b): Analysis of the Stated Preference Survey 2021 on Mode, Route and Departure Time Choices, ARE, Ittigen.
- ASTRA (2018): Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität von Verflechtungsbereichen auf Hochleistungsstrassen, ASTRA, Ittigen.
- BAFU (2023): Lärmberechnung Strasse: Verkehrsdaten 2021, Rapp AG im Auftrag von BAFU, Bern.
- BFE (2023): Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2022, BFE, Ittigen.
- BFS (2008): NOGA 2008 Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige Struktur, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2015): Grenzquerender Güterverkehr auf der Strasse 2014, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2016): Schweizerische Arbeitskräfteerhebung (SAKE), BFS, Neuchâtel.
- BFS (2017): Verkehrsverhalten der Bevölkerung, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2019): Raumgliederungen der Schweiz, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2023a): Mobilitätsverhalten der Bevölkerung, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2021, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2023b): Alpen- und grenzquerender Personenverkehr 2021, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2023c): Grenzpendlerstatistik (GGS), BFS, Neuchâtel.
- BFS (2024a): Gütertransporterhebung (GTE), 2016–2023, BFS, Neuchâtel.
- BFS (2024b): Schweizerische Arbeitskräfteerhebung (SAKE), BFS, Neuchâtel.

BFS (2024c): Statistik der Bevölkerung und der Haushalte, Neuchâtel.

BFS (2024d): Statistik der Unternehmensstruktur, Neuchâtel.

BFS (2024e): Erwerbstätige Pendler/-innen nach Länge und Zeitbedarf für den Arbeitsweg, Neuchâtel.

Department for Transport (2024): National Travel Survey, London.

FGSV (2008): Richtlinien integrierte Netzgestaltung RIN, FGSV, Köln.

Heimgartner, Daniel; Axhausen, Kay W. (2024): Multimodality in the Swiss New Normal-Data collection methods and response behavior in a multi-stage survey with linked stated preference designs. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung. Band 1895. IVT, ETH Zurich

Netzänderungen (2023): diverse Quellen (ohne) Liste und Beschrieb an Nationalstrassen zwischen 2017 und 2023)

OPDCH (2022): HAFAS Rohdaten, opentransportdata.swiss.

SBB (2022a): Fahrplandaten Stand 2023.

SBB (2022b): Systemfahrplan der SBB in PTV Visum Format.

SBB (2024): Nachfragedaten Léman Express und Ferrovia Mendriso-Varese.

SchweizMobil (2024): Veloland-Routen im GIS-Format, SchweizMobil, Bern.

Stadt Zürich (2017): Verkehrszählung MIV 2017, https://data.stadt-zuerich.ch/dataset/sid_dav_verkehrszaehlung_miv_od2031

Stadt Zürich (2023): Verkehrszählung MIV 2023, https://data.stadt-zuerich.ch/dataset/sid_dav_verkehrszaehlung_miv_od2031

swisstopo (2007): digitales Höhenmodell der Schweiz DH25.

UVEK (2019): Verkehrsmodellierung im UVEK; Daten Zustand 2017, <https://zenodo.org/records/13589099>

UVEK (2023): Verkehrsmodellierung im UVEK; Daten Zustand 2017+, <https://zenodo.org/records/7649359>

Zählwerte (2023): diverse Quellen für Strasse, ÖV, Velo- wie im Pflichtenheft gelistet.

21 Anhang

21.1 Anhang 1: Verbesserung der Codierung von Strecken

21.1.1 Autobahnen und Autostrassen

Tabelle 69: Codierung von Autobahnen und -strassen

Streckennr.	Streckentyp	Anzahl FS	Kapazität	Auslastung	Aktion
1275726	0	1	1'150	1.4	Gesamtes Autobahnkreuz Limmattal überprüfen
1214604	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
912740	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1274846	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1274852	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1257544	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1056924	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1323410	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1015226	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
992186	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1275726	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1147902	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
1386490	0	1	1'150		Typ 1, 2 FS, Kap 2'300
116422	1	2	1'700	1.23	Kap 2'300
188988	1	2	1'700	1.23	Kap 2'300
1275724	4	1	1'050	1.53	Gesamtes Autobahnkreuz Limmattalüberprüfen
76578	5	2	4'000	1.62	Typ 6, 3 FS, Kap 5'800
647674	5	2	4'000	1.34	Typ 6, 2 FS, Kap 7'850
1216682	5	2	4'000	1.43	Typ 6, 3 FS, Kap 5'800
1361504	5	2	4'000	1.44	Typ 6, 3 FS, Kap 5'800
1386704	5	2	4'000	1.41	Typ 6, 3 FS, Kap 5'800
1423434	7	4	7'850	0.6	Typ 5, 2 FS, Kap 4'000.
417098	12	1	1'150	1.4	Typ 13, 2 FS, Kap 1950
529974	12	1	1'250	1.99	Typ 13, 2 FS, Kap 4'000
37600	20	1	1'250	1.62	Typ 21, 2 FS, Kap 1950
115206	20	1	1'200	1.9	Typ 21, 2 FS, Kap 2150
1144956	20	1	1'050	1.7	Typ 21, 2 FS, Kap 1950.
1144958	20	1	1'050	1.7	Typ 21, 2 FS, Kap 1950.
1178730	20	1	1'050	1.6	Typ 21, 2 FS, Kap 1950.
1209702	20	1	1'050	0.83	Typ 21, 2 FS, Kap 1950.
1313496	20	1	1'050	1.6	Typ 21, 2 FS, Kap 1950.
1313498	20	1	1'050	0	Typ 21, 2 FS, Kap 1950.

21.1.2 Hauptverkehrsstrassen

Tabelle 70: Codierung von Hauptverkehrsstrassen

Streckenr.	Streckentyp	Anzahl FS	Kapazität	Auslastung	Aktion
1134838	23	1	1'150	1.58	Typ 24, 2 FS, Kap 2'300
1144146	23	1	1'250	0.09	Typ 24, 2 FS, Kap 1'700
1216898	23	1	1'250	1.06	Typ 24, 2 FS, Kap 2'300
1437496	23	1	1'150	1.16	Typ 24, 2 FS, Kap 1'700
1437510	23	1	1'150	0.65	Typ 24, 2 FS, Kap 1'700
217886	26	1	1'250	0.86	Typ 27, 2 FS, Kap 1'700
483008	26	1	1'150	1.11	Typ 27, 2 FS, Kap 2'300
1'200734	26	1	1'250	0	Typ 27, 2 FS, Kap 1'700
1216892	26	1	1'250	1.64	Typ 27, 2 FS, Kap 2'300
1410420	26	1	1'100	0.96	Typ 27, 2 FS, Kap 1'700
1437504	26	1	1'200	1.11	Typ 27, 2 FS, Kap 1'700
1507380	26	1	1'250	0.84	Typ 27, 2 FS, Kap 2'300
464260	29	1	1'100		Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
333318	29	1	1'100		Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
31696	29	1	1'100	0.06	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
342292	29	1	1'100	0.54	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
366212	29	1	1'100	1.1	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
380306	29	1	1'100	1.07	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
430208	29	1	1'100	0.53	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
434280	29	1	1'100	0.86	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
443438	29	1	1'100	0.54	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
449310	29	1	1'100	0.54	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
453444	29	1	1'100	0.86	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
463512	29	1	1'100	1.07	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
463514	29	1	1'100	1.07	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
463516	29	1	1'100	1.1	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
463518	29	1	1'100	0.86	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
463520	29	1	1'100	0.86	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
463522	29	1	1'100	0.86	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
526912	29	1	1'100	0.36	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
540010	29	1	1'100	1.1	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
567954	29	1	1'100	1.42	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
584944	29	1	1'100	0	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
632638	29	1	1'100	1.42	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
663786	29	1	1'100	1.56	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
663788	29	1	1'100	1.26	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
694512	29	1	1'100	0	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
730532	29	1	1'100	1.1	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
734540	29	1	1'100	0.8	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
799384	29	1	1'100	1.56	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
850282	29	1	1'100	1.64	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1012158	29	1	1'100	1.6	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1015078	29	1	1'100	1.43	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1015080	29	1	1'100	1.56	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1021336	29	1	1'100	0.49	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1021338	29	1	1'100	0.49	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700

1032312	29	1	1'100	0.46	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1032314	29	1	1'100	0.46	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1058242	29	1	1'100	0.86	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1078106	29	1	1'100	0.25	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1112948	29	1	1'100	1.37	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1147928	29	1	1'100	1.03	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1161898	29	1	1'100	1.58	Typ 30, 2 FS, Kap 2'300
1161906	29	1	1'100	1.65	Typ 30, 2 FS, Kap 2'300
1190776	29	1	1'100	1.44	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1210806	29	1	1'100	0.88	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1210808	29	1	1'100	1.32	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1221590	29	1	1'100	0.58	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1240522	29	1	1'100	1.59	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1'250856	29	1	1'100	1.5	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1'250858	29	1	1'100	1.49	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1'250862	29	1	1'100	0.84	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1'250914	29	1	1'100	1.54	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1313514	29	1	1'100	0.81	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1322508	29	1	1'100	1.75	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1340642	29	1	1'100	1.54	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1342468	29	1	1'100	0.56	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1345728	29	1	1'100	0.81	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1346512	29	1	1'100	1.44	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1377516	29	1	1'100	0.35	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1377518	29	1	1'100	1.14	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1393394	29	1	1'100	1.75	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1423304	29	1	1'100	1.62	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1426326	29	1	1'100	1.56	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1455414	29	1	1'100	0.58	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1455416	29	1	1'100	1.59	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1460362	29	1	1'100	1.39	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1460364	29	1	1'100	0.72	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
1477324	29	1	1'100	1.64	Typ 30, 2 FS, Kap 1'700
432082	30	2	1'700	1.19	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
432084	30	2	1'700	1.2	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
459230	30	2	1'700	1.36	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
464248	30	2	1'700	1.51	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
464250	30	2	1'700	1.73	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
464252	30	2	1'700	1.57	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
464254	30	2	1'700	1.57	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
464258	30	2	1'700	1.57	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
465406	30	2	1'700	1.2	Typ 31, 3 FS, Kap 2'800
1056924	32	1	1'100		Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
80510	32	1	1'100	1.3	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
93286	32	1	1'100	1.8	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
107258	32	1	1'100	0	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
112374	32	1	1'100	0.87	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1032372	32	1	1'100	1.25	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1032374	32	1	1'100	0.69	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1067086	32	1	1'100	1.68	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700

11'15092	32	1	1'100	2.1	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1161888	32	1	1'100	1.65	Typ 33, 2 FS, Kap 2'300
1161900	32	1	1'100	1.58	Typ 33, 2 FS, Kap 2'300
1220874	32	1	1'100	0.13	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437498	32	1	1'100	1.22	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437502	32	1	1'100	0.68	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437506	32	1	1'100	0.61	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437512	32	1	1'100	1.22	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437514	32	1	1'100	0.68	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437522	32	1	1'100	1.22	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1437524	32	1	1'100	1.21	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1501334	32	1	1'100	1.59	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1501334	32	1	1'100	1.64	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1509174	32	1	1'100	1.33	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
1531158	32	1	1'100	1.76	Typ 33, 2 FS, Kap 1'700
330584	33	2	1'700	1.62	Typ 34, 3 FS, Kap 2'800
43492	35	1	1'100	0.79	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
356494	35	1	1'100	1.16	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
432118	35	1	1'100	1.35	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
432120	35	1	1'100	1.11	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
455208	35	1	1'100	1.53	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
600824	35	1	1'100	1.16	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
966538	35	1	1'100	1.4	Typ 36, 2 FS, Kap 2'300
1233842	35	1	1'100	1.41	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
1437500	35	1	1'100	0.68	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
1437520	35	1	1'100	1.21	Typ 36, 2 FS, Kap 1'700
567798	36	2	1'700	1.25	Typ 37, 3 FS, Kap 2'800
1023372	38	1	1'100	1.19	Typ 39, 2 FS, Kap 1'700
1074878	38	1	1'100	1.07	Typ 39, 2 FS, Kap 1'700

21.1.3 Übrige Strassen

Tabelle 71: Codierung übriger Strassen

Streckennr.	Streckentyp	Anzahl FS	Kapazität	Auslastung	Aktion
1253528	41	1	1'100	1.21	Typ 42, 2 FS, Kap 1'700
1274528	41	1	1'100	1.19	Typ 42, 2 FS, Kap 1'700
1386574	41	1	1'100	1.21	Typ 42, 2 FS, Kap 1'700
1507382	41	1	1'100	0.96	Typ 42, 2 FS, Kap 2'300

21.1.4 Rampen

Tabelle 72: Codierung von Rampen

Streckenr.	Streckentyp	Anzahl FS	Kapazität	Auslastung	Aktion
92540	62	1	1'250	1.24	Typ 63, 2 FS, Kap 1950
413402	62	1	1'100	0.99	Typ 63, 2 FS, Kap 1'700
448080	62	1	1'050	1.26	Typ 63, 2 FS, Kap 1'700
448082	62	1	1'100	1.2	Typ 63, 2 FS, Kap 1'700
703576	62	1	1'100	0.3	Typ 63, 2 FS, Kap 1'700
1080290	62	1	1'050	1.21	Typ 63, 2 FS, Kap 1'700
24644	65	1	1'100	1.85	Typ 66, 2 FS, Kap 1950
395180	65	1	1'100	1.49	Typ 66, 2 FS, Kap 1950
491968	65	1	1'100	1.49	Typ 66, 2 FS, Kap 1950
1249616	65	1	1'100	1.43	Typ 66, 2 FS, Kap 1950
1261666	65	1	1'250	1.24	Typ 66, 2 FS, Kap 1950
1290648	65	1	1'050	0.02	Typ 66, 2 FS, Kap 1950
331620	66	2	1'700	1.24	Typ 67, 3 FS, Kap 2'800
1364668	68	1	1'100	1.03	Typ 69, 2 FS, Kap 1'700
1457244	68	1	1'100	1.43	Typ 69, 2 FS, Kap 1'700

21.2 Anhang 2: Zählwerte - Benutzerdefinierte Attribute im NPVM

21.2.1 Qualitätsstufen

Die folgenden Qualitätsstufen wurden für jede Zählstelle ermittelt. Sie geben an, in welcher Qualität die Rohdaten zur Verfügung standen.

Tabelle 73: Qualitätsnoten der Zählzeiten im Rohformat

Qualitätsnote	Definition Strasse	Definition ÖV
6	mindestens 250 Tage gezählt	mindestens 250 Tage gezählt und Linien aller Betreiber auf der Strecke vollständig gezählt
5	weniger als 250 Tage und mindestens 10 Tage gezählt	weniger als 250 Tage und mindestens 10 Tage gezählt und Linien aller Betreiber vollständig gezählt
4	Bisher nicht verwendet	Zählwert angepasst zum Ausgleich von Dauerbaustellen, und Linien aller Betreiber vollständig gezählt
3	Bisher nicht verwendet	nicht alle Linien gezählt (z.B. bei mehreren Betreibern auf einer Strecke)
2	Bisher nicht verwendet	Bisher nicht verwendet
1	Sonst	Sonst

Anmerkung 1: Im Rahmen der Kalibration der MIV-Umlegung wurde geprüft, inwieweit dieses Qualitätsmerkmal Einfluss auf die Anpassung zwischen Modellbelastung und Zählwert hat. Dabei ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Zählstellen der Kategorie 5 und 6 festgestellt worden.

Anmerkung 2: Im Rahmen der Kalibration der MIV-Umlegung wurden ungefähr 70 Zählstellen ermittelt, bei denen der Zählwert ganz offensichtlich nicht mit dem Strassentyp bzw. der konkreten Situation vor Ort übereinstimmt. In der Regel handelte es sich um sehr niedrige Zählwerte an viel befahrenen Strassen.

Diese Zählstellen wurden mit der Qualitätsnote 1 versehen. Bei weiteren 30 Zählstellen waren erhebliche Zweifel angebracht, ob es sich um realistische Zählwerte handelt. Diese Zählstellen wurden mit der Qualitätsnote 2 versehen. Es handelte sich in diesen Fällen um eine Einzelfallprüfung der Zählzeiten mit Hilfe einer ersten Umlegung der Matrix aus dem Nachfragemodell.

21.2.2 Streckenattribute ÖV

Für die ÖV-Strecken-Zählwerte wurden folgende Attribute in Visum verwendet:

Tabelle 74: Attribute in PTV Visum für die ÖV-Zählzeiten

Attribut	Beschreibung	Datentyp
ZST_ID_2023	Eindeutige Identifikation der Zählstelle	Text
ZST_QUELLEN_OEV_2023	Herkunft der Rohdaten (Verkehrsverbund, ÖV-Betreiber)	Text
ZST_VON_HST_NR_2023	Von Haltestelle Nummer der Zählstelle aus dem NPVM	Integer
ZST_NACH_HST_NR_2023	Nach Haltestelle Nummer der Zählstelle aus dem NPVM	Integer
ZST_VON_DIDOK_2023	Von Haltestelle DIDOK-Nummer der Zählstelle	Integer
ZST_NACH_DIDOK_2023	Nach Haltestelle DIDOK-Nummer der Zählstelle	Integer
ZST_VON_HST_NAME_ORT_2023	Von Haltestelle Name und Ortschaft der Zählstelle	Text
ZST_NACH_HST_NAME_ORT_2023	Nach Haltestelle Name und Ortschaft der Zählstelle	Text
ZST_LINIEN_OEV_2023	Linien Nummern gemäss Quelldaten der aufsummierten Zählwerte für eine Zählstelle, getrennt mittels «-»	Text
ZST_QUALITAET_2023	Qualitätsnote anhand Vergleichs der Quelldaten mit dem NPVM (6 oder 3)	integer
ZW_DWV_OEV_2023	DWV des ÖV	float

ZW_DWV_OEV_MSP	DWV (Morgenspitze) des ÖV	float
ZW_DWV_OEV_ASP	DWV (Abendspitze) des ÖV	float
ZW_DTV_OEV	DTV des ÖV	float
ZW_DTV_OEV_MSP	DTV (Morgenspitze) des ÖV	float
ZW_DTV_OEV_ASP	DTV (Abendspitze) des ÖV	float
ZW_DNWV_OEV	DNWV des ÖV	float
ZW_DNWV_OEV_MSP	DNWV (Morgenspitze) des ÖV	float
ZW_DNWV_OEV_ASP	DNWV (Abendspitze) des ÖV	float

21.2.3 Bahnhofsattribute ÖV

Für die Haltestellen- bzw. Bahnhofsattribute des Bahnverkehrs wurden die Daten in folgenden Attributen gespeichert:

Tabelle 75: Attribute in PTV Visum für die ÖV-Zählraten auf Bahnhöfen

Attribut	Beschreibung	Datentyp
ZST_ID_2023	Eindeutige ID, zusammengesetzt aus Bahnhof-Code und Kanton	Text
ZST_QUELLEN_OEV_2023	Herkunft der Rohdaten (Verkehrsverbund, ÖV-Betreiber)	Text
ZST_VON_HST_NAME_ORT_2023	Von-HST-Name in PTV Visum	
ZST_NACH_HST_NAME_ORT_2023	Nach-HST-Name in PTV Visum	
ZST_HST_NAME_2023	HST-Name in PTV Visum	Text
ZST_HST_CODE_2023	HST-Code in PTV Visum	Text
ZST_HST_KT_2023	Kanton, in dem die Haltestelle liegt	Text
ZST_BETREIBER_OEV_2023	Betreiber, die im ZW enthalten sind, bzw. nicht enthalten sind	Text
ZST_QUALITAET_2023	Qualität der Rohdaten (6 bis 1)	integer
ZW_DWV_OEV_2023	DWV Ein-, Aus- und Umsteiger	float
ZW_DTV_OEV_2023	DTV Ein-, Aus- und Umsteiger	float
ZW_DNWV_OEV_2023	DNWV Ein-, Aus- und Umsteiger	float

21.2.4 Streckenattribute Strassenverkehr

Tabelle 76: Attribute in PTV Visum für die Zählraten des Strassenverkehrs

Attribut	Beschreibung	Datentyp
ZST_ID_RI_2023	Eindeutige ID mit Richtung	text
ZST_ID_2023	ID bzw. Nummer der Zählstelle, optional	integer
ZST_NAME_2023	Name der Zählstelle, optional	text
ZW_QUELLE_2023	Herkunft der Daten (Kanton, Behörde)	text
ZW_JAHR_2023	Jahr der Datenerhebung (2022 oder 2023)	integer
ZST_RICHTUNG_2023	Fahrtrichtung	integer
ZW_FAKTOR_DTV_2023	Faktor für mögliche Hochrechnung DTV	float
ZW_FAKTOR_DWV_2023	Faktor für mögliche Hochrechnung DWV	float
ZST_QUALITAET_2023	Qualität der Rohdaten (6 bis 1)	integer
ZW_DWV_VELO_2023	DWV - Velo	float
ZW_DTV_VELO_2023	DTV - Velo	float
ZW_DNWV_VELO_2023	DNWV - Velo	float
ZW_DWV_FZG_2023	DWV - alle Fahrzeuge	float
ZW_DWV_PW_2023	DWV - Personenwagen inklusive Motorrad	float
ZW_DWV_PWoMR_2023	DWV - Personenwagen ohne Motorrad	float
ZW_DWV_MR_2023	DWV - Motorrad	float
ZW_DWV_LI_2023	DWV - Lieferwagen	float
ZW_DWV_LW_2023	DWV - Lastwagen	float
ZW_DWV_LZ_2023	DWV - Lastzug	float
ZW_DWV_LEICHT_2023	DWV - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DWV_SCHWER_2023	DWV - Schwerverkehr (LW + LZ)	float

ZW_DTV_FZG_2023	DTV - alle Fahrzeuge	float
ZW_DTV_PW_2023	DWV - Personenwagen inklusive Motorrad	float
ZW_DTV_PWoMR_2023	DWV - Personenwagen ohne Motorrad	float
ZW_DTV_MR_2023	DTV - Motorrad	float
ZW_DTV_LI_2023	DTV - Lieferwagen	float
ZW_DTV_LW_2023	DTV - Lastwagen	float
ZW_DTV_LZ_2023	DTV - Lastzug	float
ZW_DTV_LEICHT_2023	DTV - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DTV_SCHWER_2023	DTV - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DNwV_FZG_2023	DNwV- alle Fahrzeuge	float
ZW_DNwV_PW_2023	DWV - Personenwagen inklusive Motorrad	float
ZW_DNwV_PWoMR_2023	DWV - Personenwagen ohne Motorrad	float
ZW_DNwV_MR_2023	DNwV- Motorrad	float
ZW_DNwV_LI_2023	DNwV- Lieferwagen	float
ZW_DNwV_LW_2023	DNwV- Lastwagen	float
ZW_DNwV_LZ_2023	DNwV- Lastzug	float
ZW_DNwV_LEICHT_2023	DNwV- Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DNwV_SCHWER_2023	DNwV- Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DWV_MSP_FZG_2023	DWV (Morgenspitze) - alle Fahrzeuge	float
ZW_DWV_MSP_PW_2023	DWV (Morgenspitze) - Personenwagen inkl. MR	float
ZW_DWV_MSP_PWoMR_2023	DWV (Morgenspitze) - Personenwagen ohne MR	float
ZW_DWV_MSP_MR_2023	DWV (Morgenspitze) - Motorrad	float
ZW_DWV_MSP_LI_2023	DWV (Morgenspitze) - Lieferwagen	float
ZW_DWV_MSP_LW_2023	DWV (Morgenspitze) - Lastwagen	float
ZW_DWV_MSP_LZ_2023	DWV (Morgenspitze) - Lastzug	float
ZW_DWV_MSP_LEICHT_2023	DWV (Morgenspitze) - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DWV_MSP_SCHWER_2023	DWV (Morgenspitze) - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DWV_ASP_FZG_2023	DWV (Abendspitze) - alle Fahrzeuge	float
ZW_DWV_ASP_PW_2023	DWV (Abendspitze) - Personenwagen inkl. MR	float
ZW_DWV_ASP_PWoMR_2023	DWV (Abendspitze) - Personenwagen ohne MR	float
ZW_DWV_ASP_MR_2023	DWV (Abendspitze) - Motorrad	float
ZW_DWV_ASP_LI_2023	DWV (Abendspitze) - Lieferwagen	float
ZW_DWV_ASP_LW_2023	DWV (Abendspitze) - Lastwagen	float
ZW_DWV_ASP_LZ_2023	DWV (Abendspitze) - Lastzug	float
ZW_DWV_ASP_LEICHT_2023	DWV (Abendspitze) - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DWV_ASP_SCHWER_2023	DWV (Abendspitze) - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DTV_6_22_FZG_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - alle Fahrzeuge	float
ZW_DTV_6_22_PW_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Personenwagen inkl. MR	float
ZW_DTV_6_22_PWoMR_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Personenwagen ohne MR	float
ZW_DTV_6_22_MR_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Motorrad	float
ZW_DTV_6_22_LI_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Lieferwagen	float
ZW_DTV_6_22_LW_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Lastwagen	float
ZW_DTV_6_22_LZ_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Lastzug	float
ZW_DTV_6_22_LEICHT_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DTV_6_22_SCHWER_2023	DTV (Tag: 6 - 22 Uhr) - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DTV_22_6_FZG_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - alle Fahrzeuge	float
ZW_DTV_22_6_PW_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Personenwagen inkl. MR	float
ZW_DTV_22_6_PWoMR_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Personenwagen ohne MR	float
ZW_DTV_22_6_MR_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Motorrad	float
ZW_DTV_22_6_LI_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Lieferwagen	float
ZW_DTV_22_6_LW_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Lastwagen	float
ZW_DTV_22_6_LZ_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Lastzug	float
ZW_DTV_22_6_LEICHT_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DTV_22_6_SCHWER_2023	DTV (Nacht: 22 - 6 Uhr) - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DTV_7_22_FZG_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - alle Fahrzeuge	float
ZW_DTV_7_22_PW_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Personenwagen inkl. MR	float

ZW_DTV_7_22_PWoMR_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Personenwagen ohne MR	float
ZW_DTV_7_22_MR_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Motorrad	float
ZW_DTV_7_22_LI_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Lieferwagen	float
ZW_DTV_7_22_LW_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Lastwagen	float
ZW_DTV_7_22_LZ_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Lastzug	float
ZW_DTV_7_22_LEICHT_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DTV_7_22_SCHWER_2023	DTV (Tag: 7 - 22 Uhr) - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_DTV_22_7_FZG_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - alle Fahrzeuge	float
ZW_DTV_22_7_PW_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Personenwagen inkl. MR	float
ZW_DTV_22_7_PWoMR_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Personenwagen ohne MR	float
ZW_DTV_22_7_MR_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Motorrad	float
ZW_DTV_22_7_LI_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Lieferwagen	float
ZW_DTV_22_7_LW_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Lastwagen	float
ZW_DTV_22_7_LZ_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Lastzug	float
ZW_DTV_22_7_LEICHT_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Leichtverkehr (PW+MR+LI)	float
ZW_DTV_22_7_SCHWER_2023	DTV (Nacht: 22 - 7 Uhr) - Schwerverkehr (LW + LZ)	float
ZW_QUALIKO_2023	Bewertung des Zählwerts im Rahmen Qualitätskontrolle	integer

Bemerkungen:

- 1) «Leicht» und «Schwer»: nur ausgewiesen, falls die Rohdaten keine feineren Fahrzeugtypen enthalten.
- 2) «MR und folglich «PWoMR»: nur ausgewiesen, wenn in Rohdaten vorhanden. Ansonsten keine Abschätzung des MR-Anteils.

ZST_ID_RI_2023	ZST_ID_ZI	ZST_NAM	ZW_QUEL	ZW_DTV_FZG_2023	ZW_DTV_PW_2023	ZW_DTV_PWoMR_2023	ZW_DTV_MR_2023	ZW_DTV_LI_2023	ZW_DTV_LW_2023	ZW_DTV_LZ_2023
LU-128.1		128 Waldbrücke LU		5219.863014	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999
LU-128.2		128 Waldbrücke LU		5561.213699	4942.361644	4817.2	125.1616438	374.0712329	184.139726	60.64109589
LU-130.1		130 Markt LU		5768.586301	5156.813699	4996.30411	160.509589	368.5890411	190.4575342	52.7260274
LU-130.2		130 Markt LU		5769.967123	5152.112329	5001.580822	150.5315068	368.5808219	186.4082192	62.86575342
LU-202.1		202 Schachen LU		6251.750685	5500.515068	5374.687671	125.8273973	426.5369863	248.139726	76.55890411
LU-202.2		202 Schachen LU		6497.528767	5727.016438	5584.147945	132.8684932	436.9205479	246.9452055	86.64657534
LU-203.1		203 Sedel LU		8969.509589	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999
LU-203.2		203 Sedel LU		8286.457534	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999
LU-204.1		204 Zentrum LU		8717.791781	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999
LU-204.2		204 Zentrum LU		8864.180822	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999
LU-207.1		207 Badschacher LU		2001.153425	1782.682192	1685.734247	96.94794521	124.8657534	84.84657534	8.75890411
LU-207.2		207 Badschacher LU		2050.627397	1826.265753	1689.928767	136.3369863	120.3863014	96.43561644	7.539726027
LU-209.1		209 Reusseggstr LU		11288.91233	10050.83014	9906.816438	144.0136986	771.5616438	304.6246575	161.8958904
LU-209.2		209 Reusseggstr LU		10846.46027	9659.279452	9531.526027	127.7534247	712.8383662	322.2712329	152.0712329
LU-226.1		226 Landbrücke LU		3259.545205	2863.742466	2740.30137	123.4410959	263.9561644	101.3726027	30.4739726
LU-226.2		226 Landbrücke LU		3296.20274	2869.10411	2754.835616	114.2684932	280.4109589	106.4136986	40.2739726
LU-260.1		260 Rothenstrass LU		7547.583562	6467.723288	6364.419178	103.3041096	594.5452055	304.5835616	180.7315068
LU-260.2		260 Rothenstrass LU		7685.427397	6578.520548	6448.112329	130.4082192	590.5753425	328.1315068	188.2
LU-261.1		261 Gerliswilstrass LU		6460.054795	5986.452055	5834.643836	151.8082192	339.1534247	112.3123288	22.1369863
LU-261.2		261 Gerliswilstrass LU		6793.742466	6317.041096	6143.852055	173.1890411	341.4821918	115.1205479	20.09863014
LU-264.1		264 Zentrum LU		3236.622807	2995.903509	2956.005848	39.89766082	155.2397661	72.85380117	12.62573099
LU-264.2		264 Zentrum LU		3242.25731	2998.432749	2952.307018	46.12573099	159.4912281	73.37134503	10.9619883
LU-265.1		265 Eggerswil LU		3879.10411	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999
LU-265.2		265 Eggerswil LU		3825.353425	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999	99999999

Abbildung 104: Für nicht vorhandene Werte wurde der Leerwert «99999999» eingetragen (Bsp. Luzern)

21.3 Anhang 3: Reiseweiten- und Reisezeitmessungen PW

21.3.1 Durchführung

Betrachtete Relationen:

- Typ 1: Relationen zwischen den 10 grössten Städten der Schweiz (Anzahl: 90)
- Typ 2: Aufkommensstarke Relationen innerhalb der Schweiz⁸ (Anzahl: 244)
- Typ 3: grossräumige Relationen Ausland / Schweiz sowie Ausland / Ausland (Anzahl: 90)
- Typ 4: kleinräumige Relationen Ausland / Schweiz (Anzahl: 66)

Kurzwegsuche in Visum:

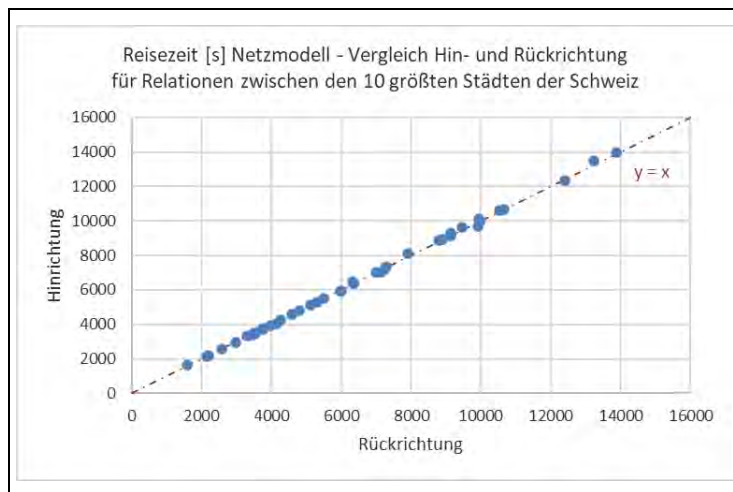
- Auswahl eines repräsentativen Bezirks je Stadt/ Gemeinde
- Kurzwegsuche von Anbindungsknoten zu Anbindungsknoten der Bezirkspaare; jeweils für Hin- und Rückrichtung
- Routensuchkriterium: Widerstand (tAkt (bzw. t0) ergänzt um Beharrungsfaktor)

Routensuche in Google:

- Für Koordinatenpaare der Anbindungsknoten durchgeführt; jeweils für Hin- und Rückrichtung
- Für mittleren Werktag im September 2024; Abfahrtszeit: relationsspezifische Abfahrtszeit mit dem Reisezeiten-Minimum
- Aus stundenfeiner Analyse der Google-Reisezeiten wurde die relationsspezifische Abfahrtszeit mit dem Reisezeiten-Minimum gewählt

21.3.2 Symmetrietest Hin- und Rückrichtung Visum-Kurzwegsuche

Relationen Typ 1



⁸ Auswahlkriterien: Nachfrage in NPVM2010-Matrix ≥ 10 PW/ Tag; Luftlinienentfernung zwischen Zonen ≥ 15 km; gleichmässige Verteilung über alle Kantone

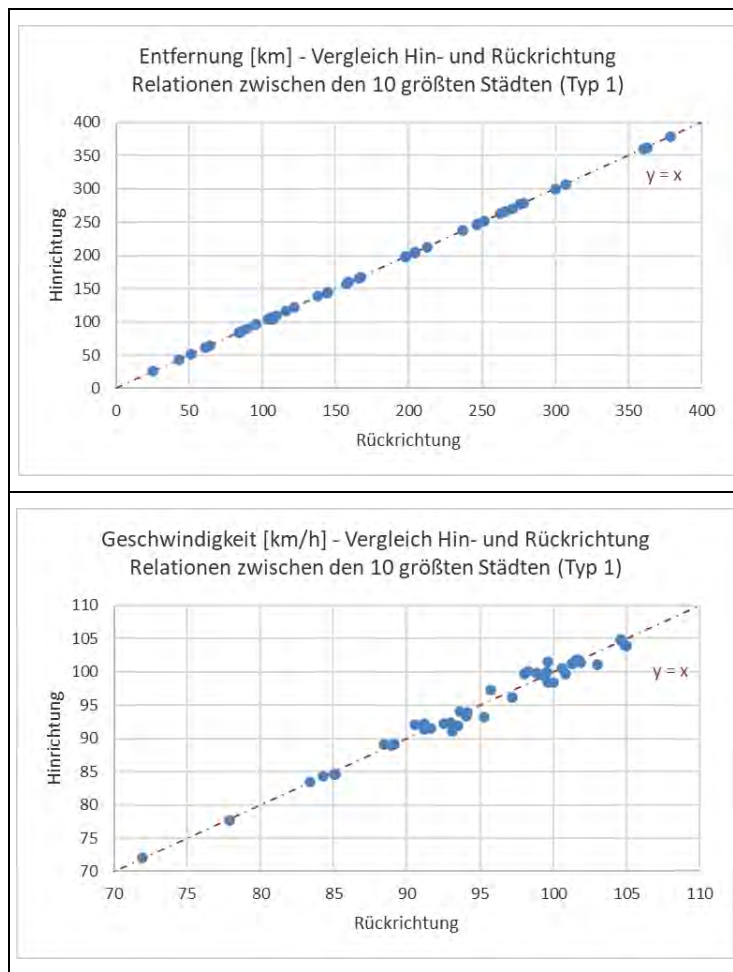


Abbildung 105: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 1

Relationen Typ 2

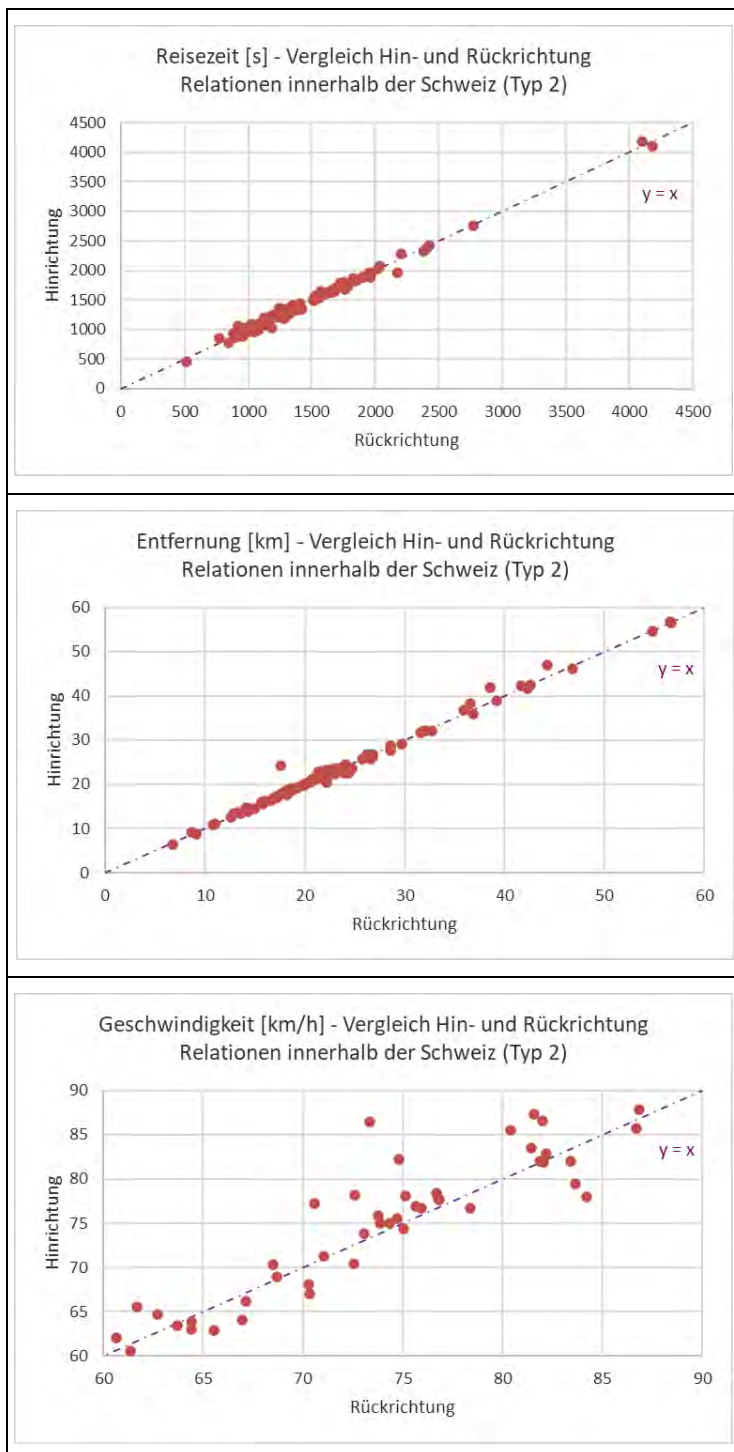


Abbildung 106: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 2

Relationen Typ 3

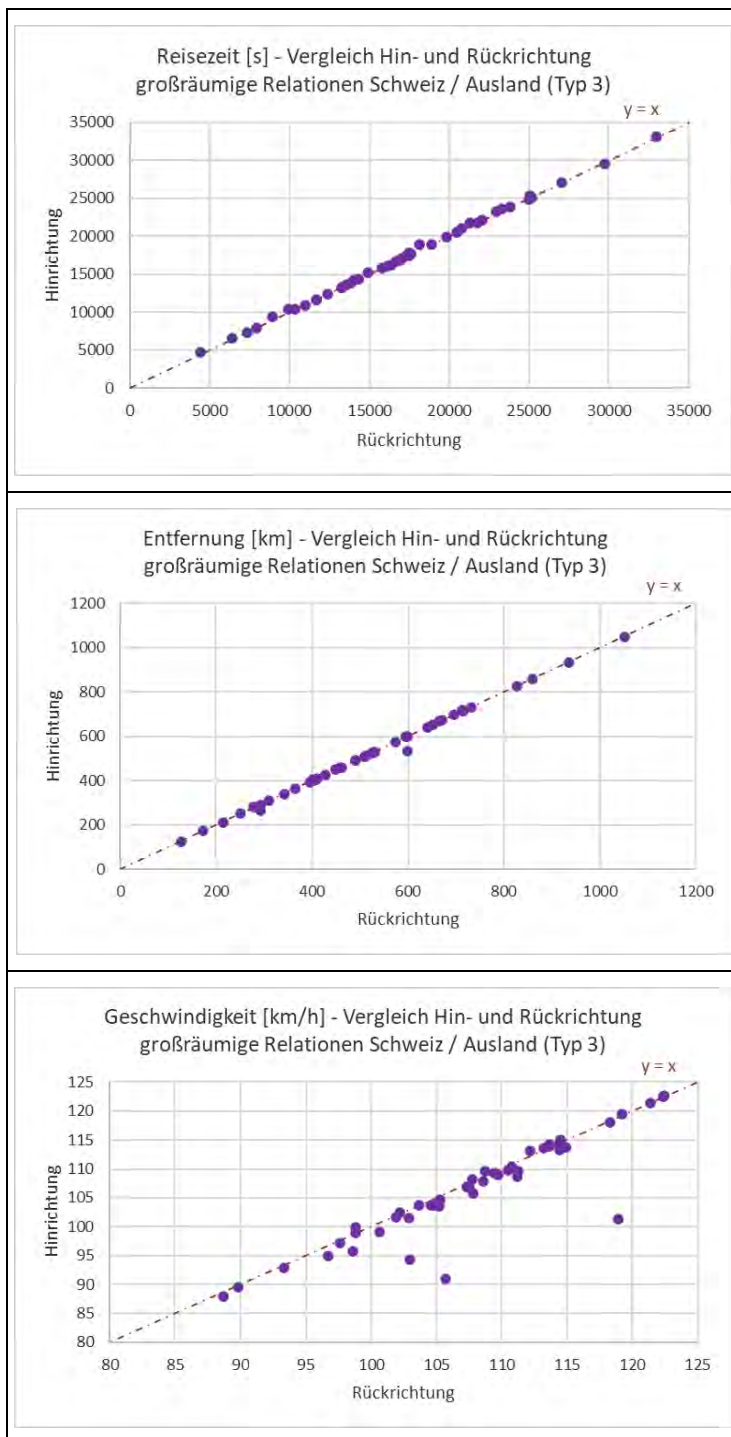


Abbildung 107: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 3

Relationen Typ 4

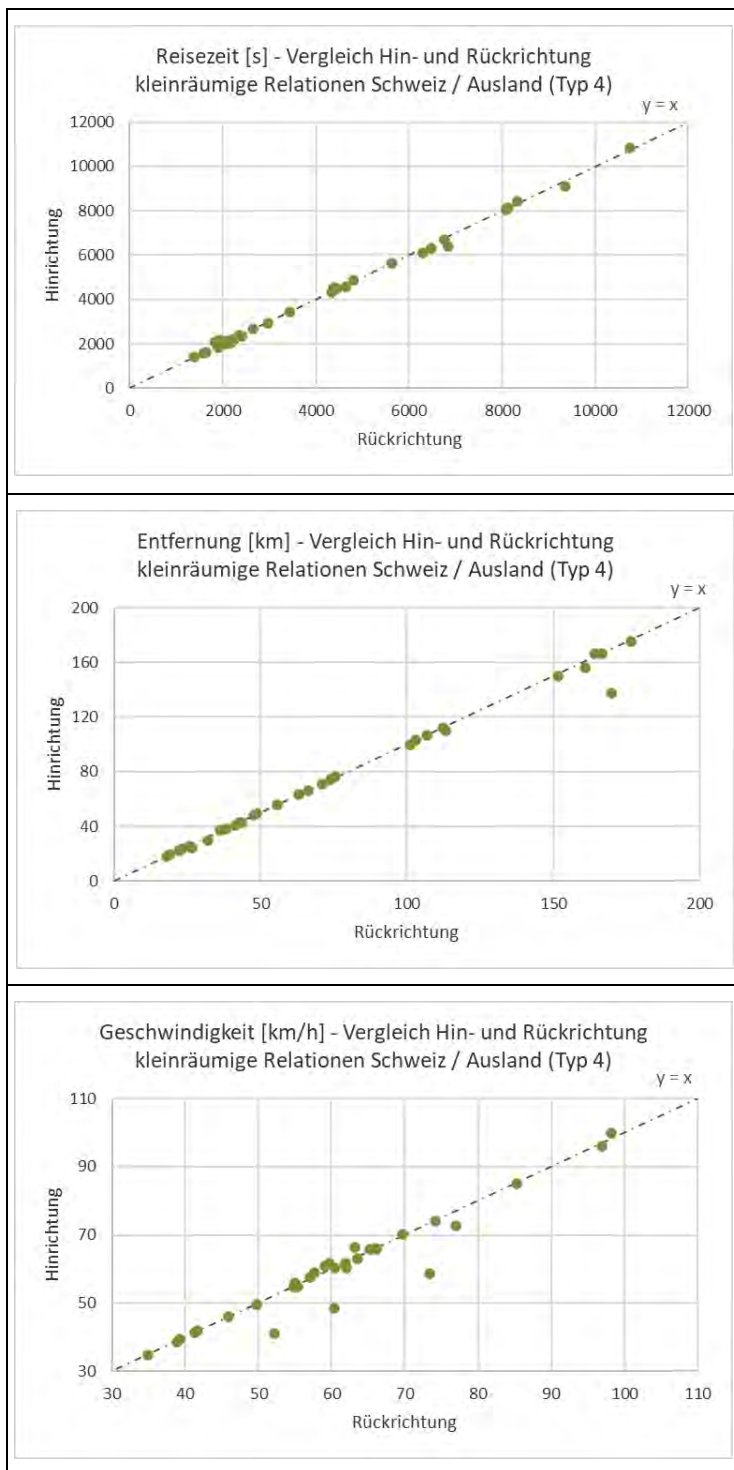
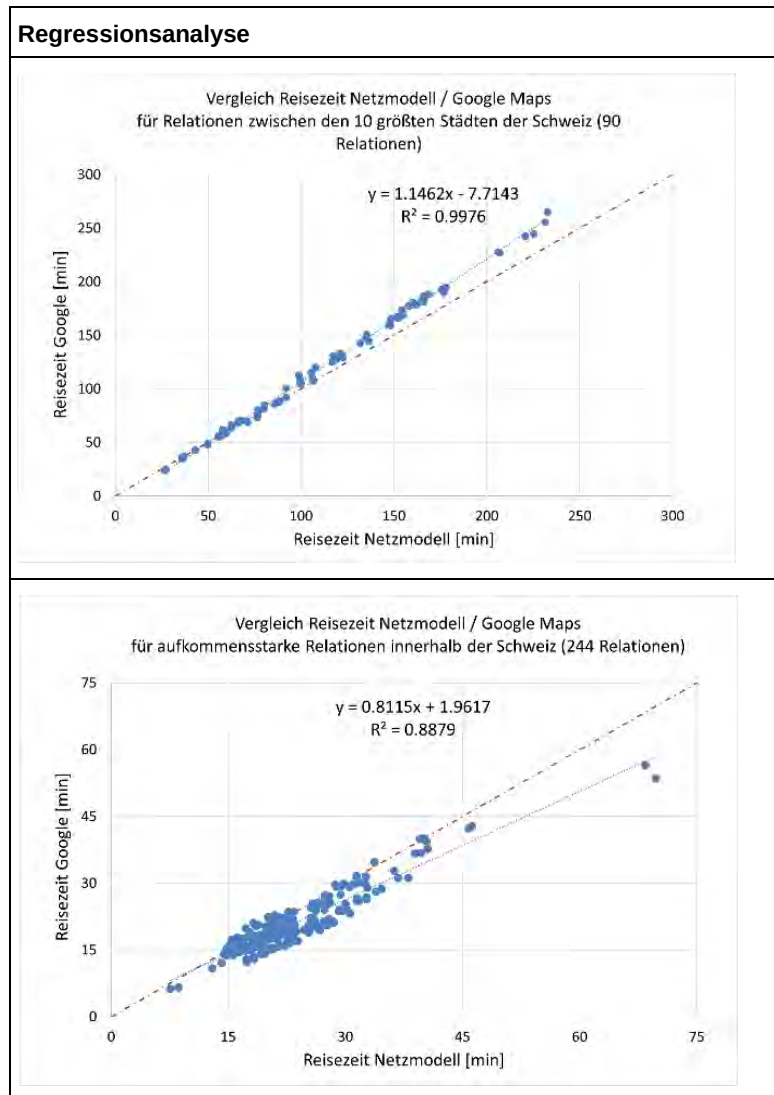
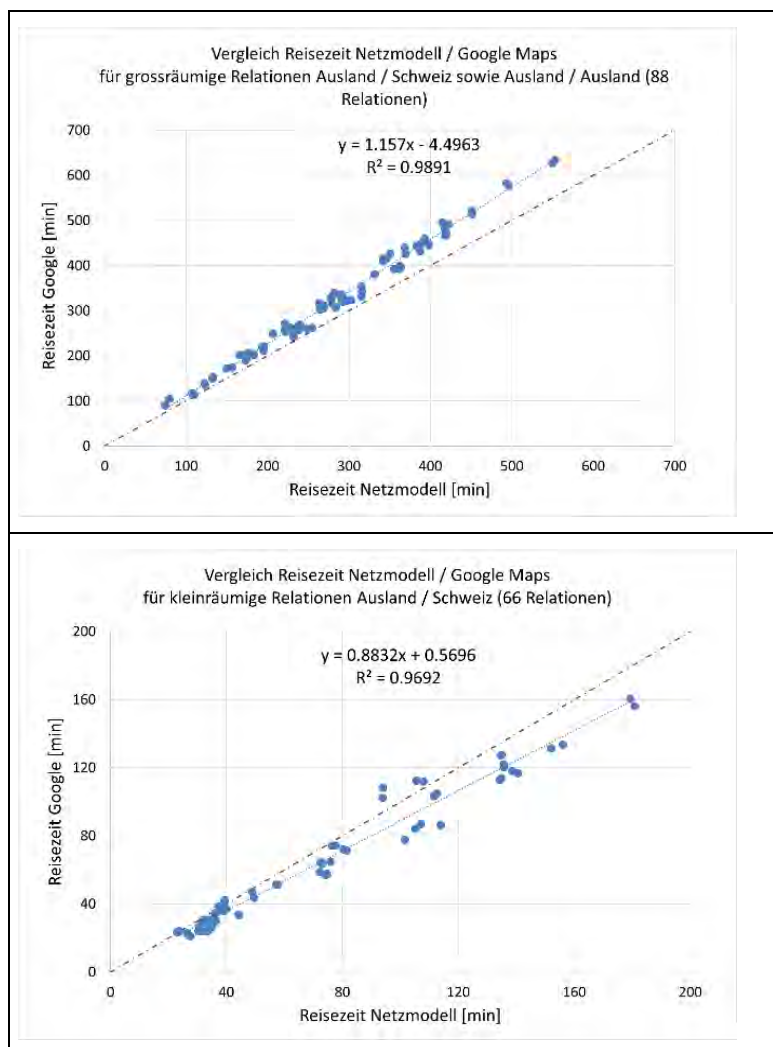


Abbildung 108: Symmetrietests Hin- und Rückrichtung, Relationen Typ 4

21.3.3 Vergleich zwischen Visum und Google

Reisezeitvergleich





Relativer Vergleich

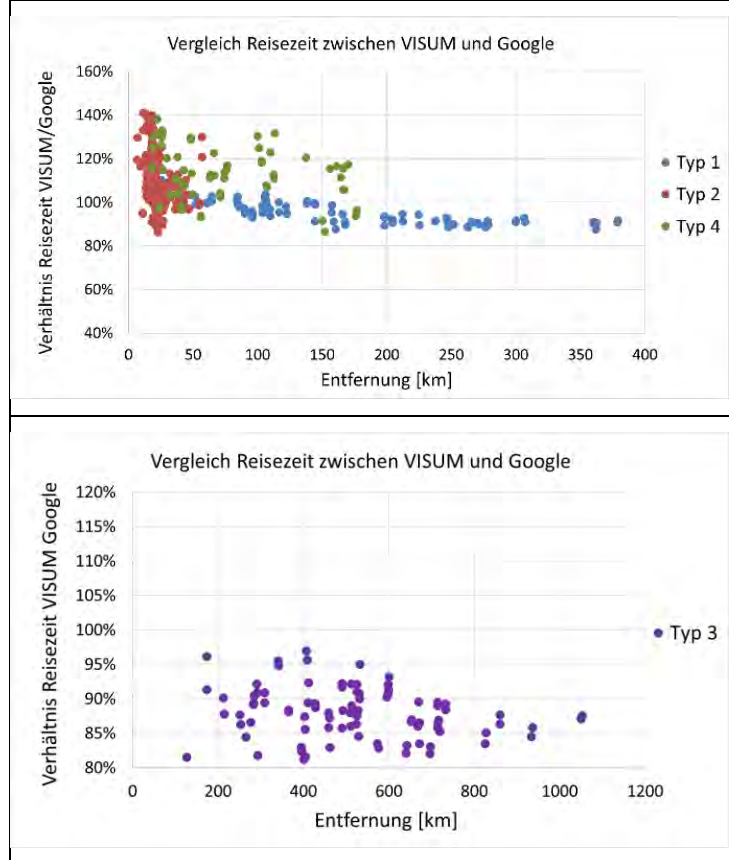
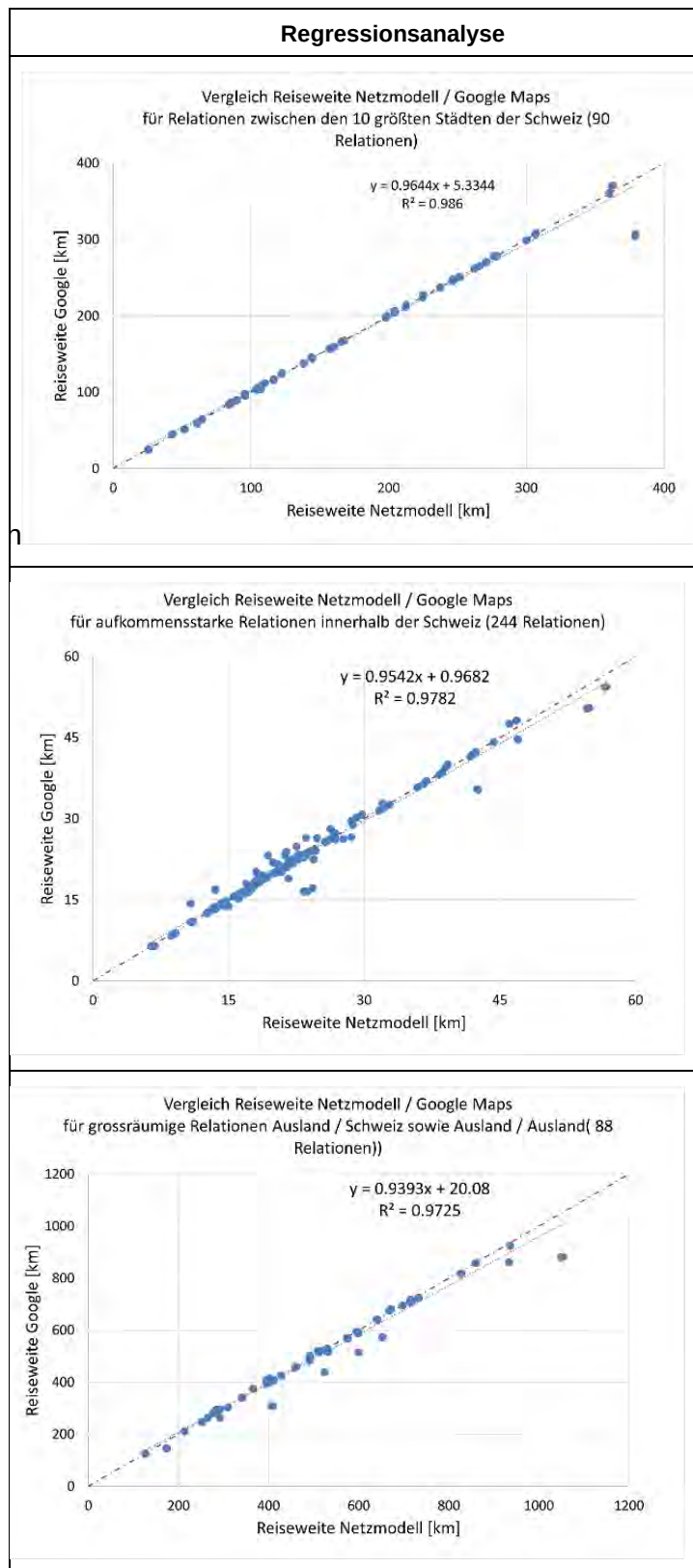


Abbildung 109: Reisezeitvergleiche PW zwischen Visum und Google

Reiseweitenvergleich



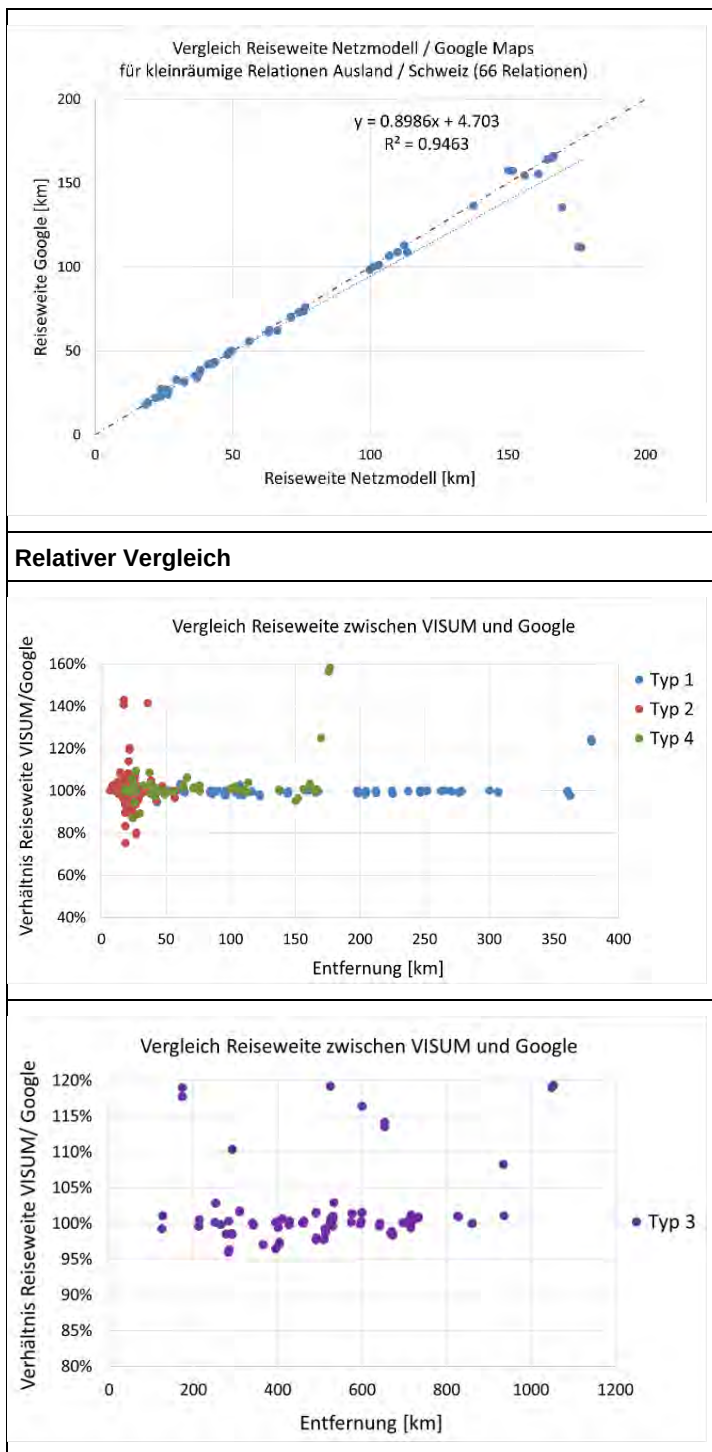
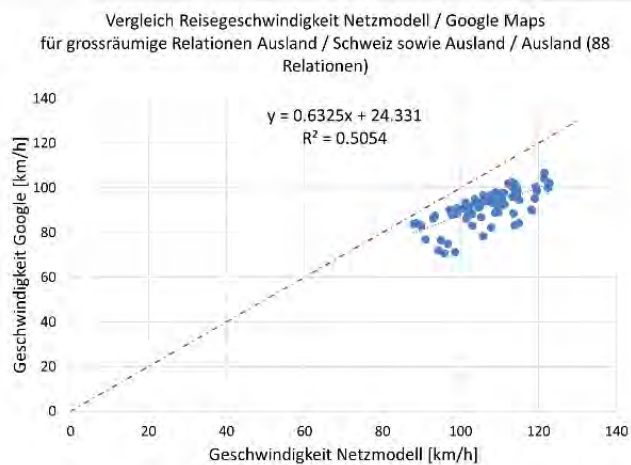
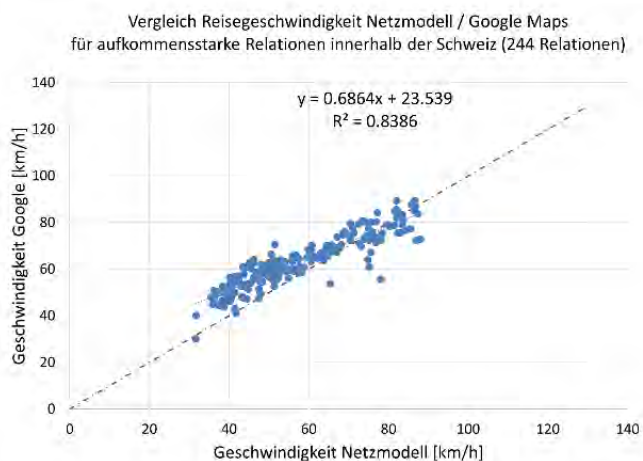
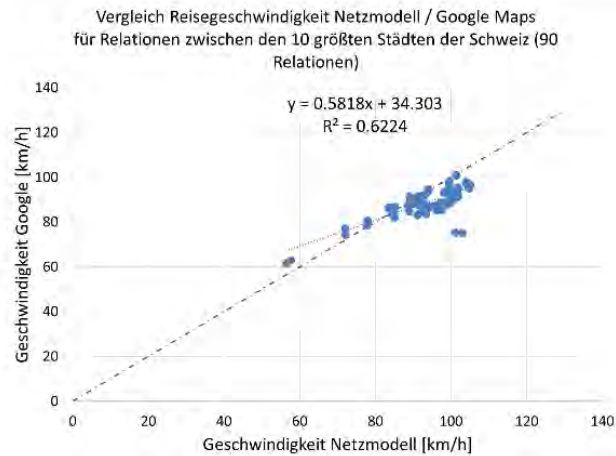


Abbildung 110: Reiseweitenvergleiche PW zwischen Visum und Google

Geschwindigkeitsvergleich

Regressionsanalyse



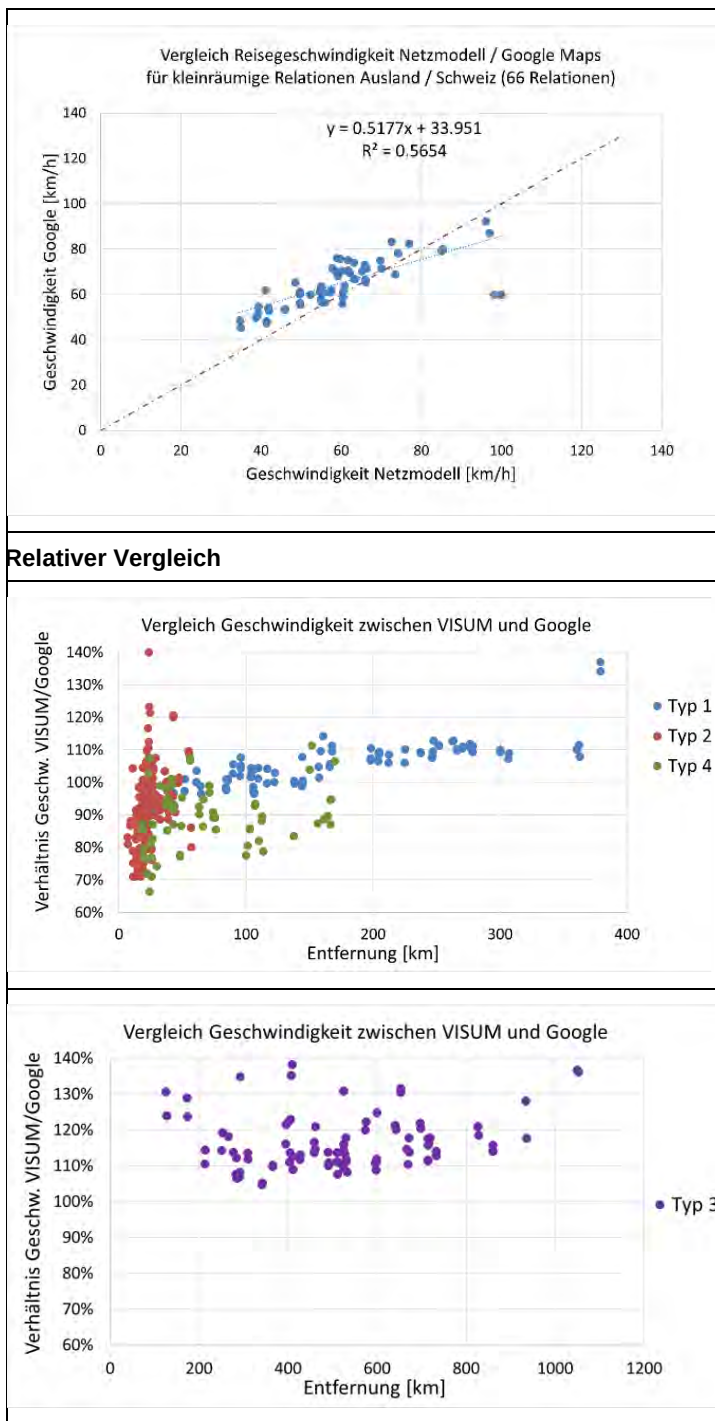


Abbildung 111: Geschwindigkeitsvergleiche PW zwischen Visum und Google

21.3.4 Ergebniszusammenfassung

Reiseweite

Tabelle 77: Reiseweiten PW, alle Relationen

Alle Relationen			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reiseweite [km]	Anzahl	Anteil
0 - 20	107	21.9%	2	101	94.4%
20 - 50	167	34.2%	4	162	97.0%
50 - 100	37	7.6%	6	37	100.0%
100 - 200	57	11.7%	10	52	91.2%
200 - 9999	120	24.6%	20	108	90.0%
Summe	488			460	94.3%

Tabelle 78: Reiseweiten PW, nur Relationen innerhalb Schweiz

Nur Relationen innerhalb Schweiz			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reiseweite [km]	Anzahl	Anteil
0 - 20	103	30.8%	2	97	94.2%
20 - 50	139	41.6%	4	134	96.4%
50 - 100	24	7.2%	6	24	100.0%
100 - 200	32	9.6%	10	32	100.0%
200 - 9999	36	10.8%	20	34	94.4%
Summe	334			321	96.1%

Reisezeit

Tabelle 79: Reisezeiten PW, alle Relationen

Alle Relationen			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reisezeit [min]	Anzahl	Anteil
0 - 20	107	21.9%	4	61	57.0%
20 - 50	167	34.2%	8	160	95.8%
50 - 100	37	7.6%	12	33	89.2%
100 - 200	57	11.7%	15	43	75.4%
200 - 9999	120	24.6%	20	43	35.8%
Summe	488			340	69.7%

Tabelle 80: Reisezeiten PW, nur Relationen innerhalb Schweiz

Nur Relationen innerhalb Schweiz			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reisezeit [min]	Anzahl	Anteil
0 - 20	103	30.8%	4	59	57.3%
20 - 50	139	41.6%	8	139	100.0%
50 - 100	24	7.2%	12	22	91.7%
100 - 200	32	9.6%	15	32	100.0%
200 - 9999	36	10.8%	20	29	80.6%
Summe	334			281	84.1%

Fazit PW

Der Vergleich der Reisezeiten zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen den Reisezeiten der VISUM-Kurzwegsuche und den ermittelten Reisezeiten aus Google Maps.

Für grossräumige Relationen (Typ 1, Typ 3, Typ 4) liegt die VISUM-Reisezeit tendenziell etwas niedriger als bei Google Maps. Als Ursache dafür lässt sich anführen, dass die Modell-Reisezeit aus einem unbelasteten Netz ermittelt wurde, während bei Google - trotz der Auswahl einer Nebenverkehrszeit - verkehrliche Belastungen eine Rolle spielen.

Für kurzräumige Relationen (Typ 2) liegt die Reisezeit tendenziell etwas höher als bei Google Maps. Auf kurzen Relationen ist der relative Anteil von Strecken, bei denen die zulässige Geschwindigkeit in der Realität häufig übertreten wird (v.a. bei Strecken mit einer Tempo-30-Begrenzung), grösser als auf den grossräumigen Relationen. Eine Ursache für die leicht höheren Modell-Reisezeiten auf kurzen Relationen kann folglich in der Kappung der v0-Geschwindigkeit bei der zulässigen Geschwindigkeit im Netzmodell sein.

21.4 Anhang 4: Reiseweiten- und Reisezeitmessungen Velo

21.4.1 Durchführung

Betrachtete Relationen:

Für die Velo-Auswertungen wurden grundsätzlich die gleichen Relationen gewählt wie für die PW-Auswertungen. Allerdings wurden nur die Relationen betrachtet, deren Länge 40 km nicht überschreitet. Entsprechend wurden 212 Relationen in die Auswertung einbezogen.

Kurzwegsuche in Visum:

- Gleiche Von-Knoten/Nach-Knoten-Paare je Relation wie für PW-Auswertung
- Routensuchkriterium: Widerstand (t_0 inkl. der Berücksichtigung von Steigung/Gefälle)
- Jeweils für Velo und E-Bike

Routensuche in Google:

- Gleiche Koordinatenpaare wie für PW-Auswertung
- Für mittleren Werktag im September 2024

21.4.2 Symmetrietest Hin- und Rückrichtung Visum-Kurzwegsuche

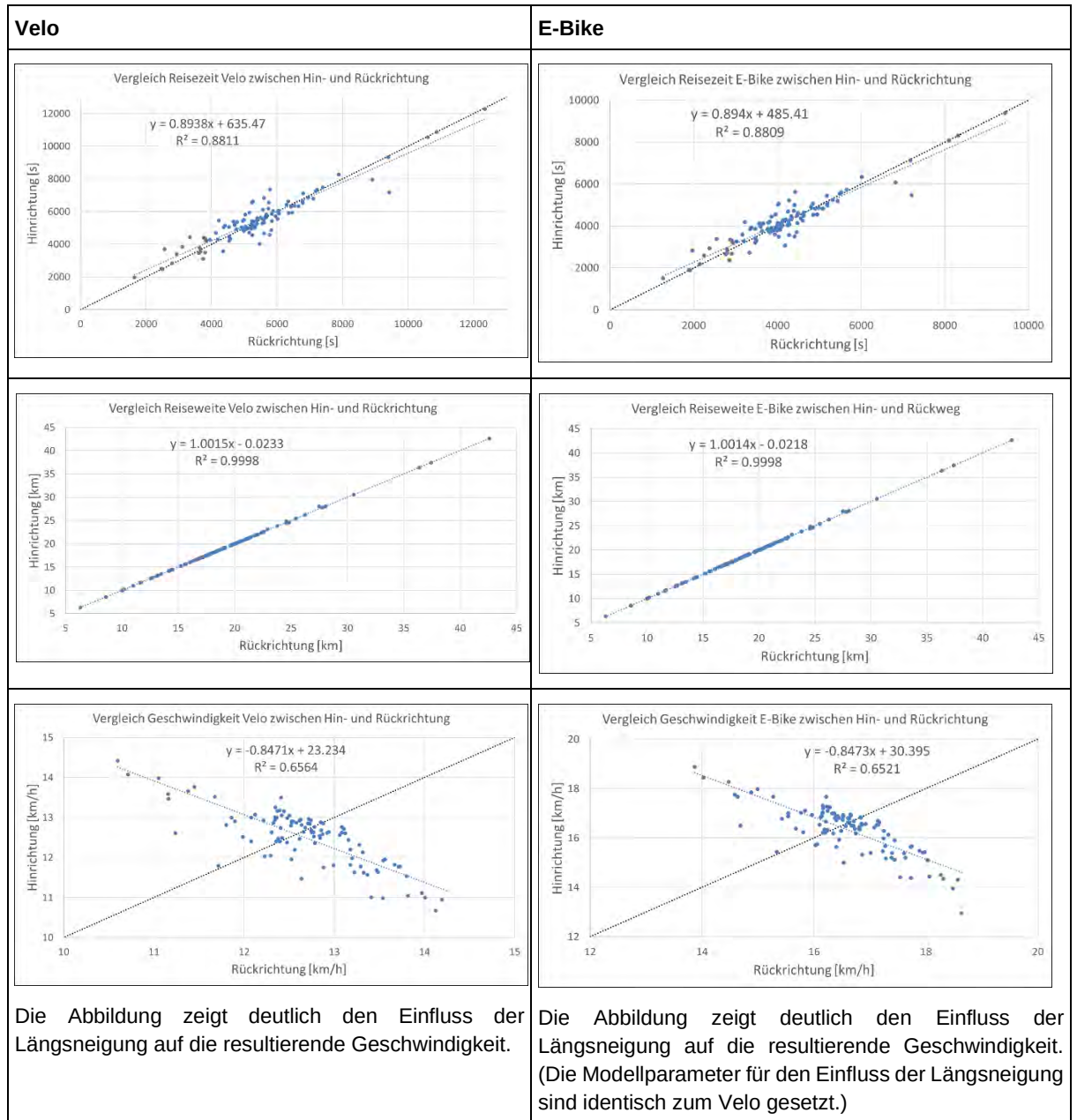


Abbildung 112: Symmetrietest Velo Hin- und Rückrichtung Visum-Kurzwegsuche

21.4.3 Visum-Kurzwegsuche – Vergleich zwischen Visum und Google

Reisezeitvergleich

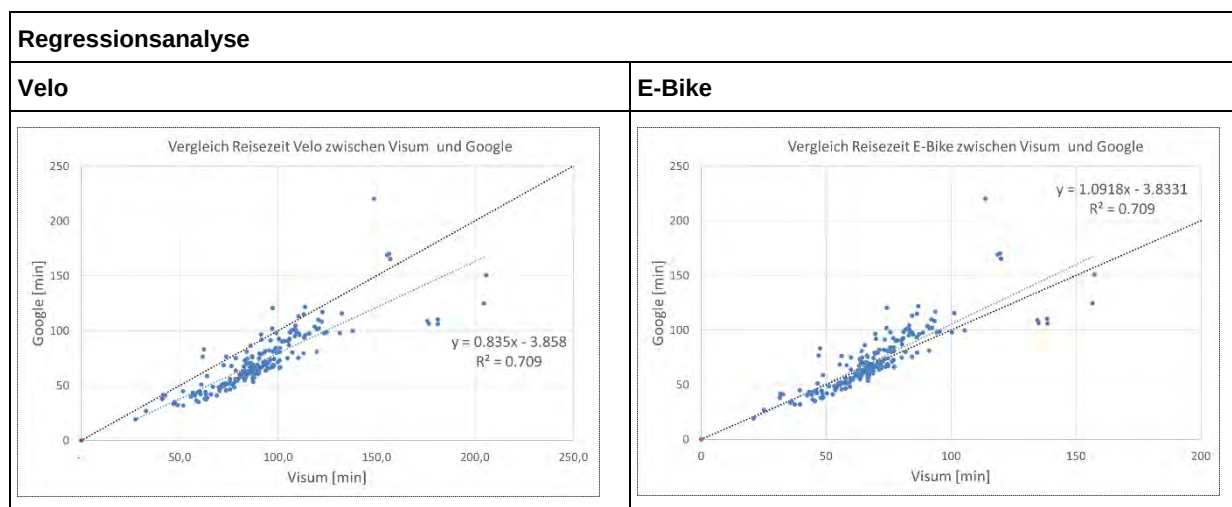


Abbildung 113: Reisezeitvergleiche Velo zwischen Visum und Google

Reiseweitenvergleich

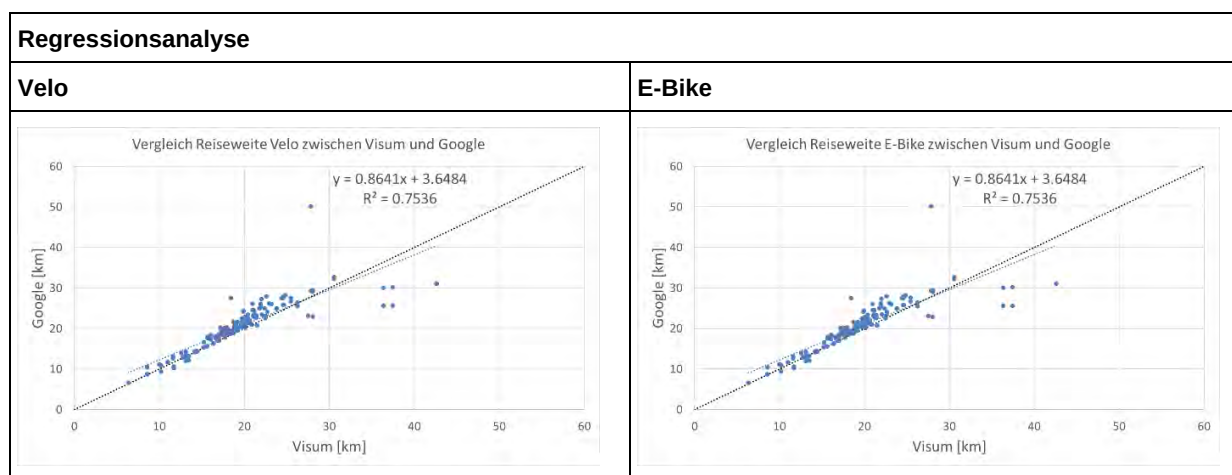


Abbildung 114: Reiseweitenvergleiche Velo zwischen Visum und Google

Geschwindigkeitsvergleich

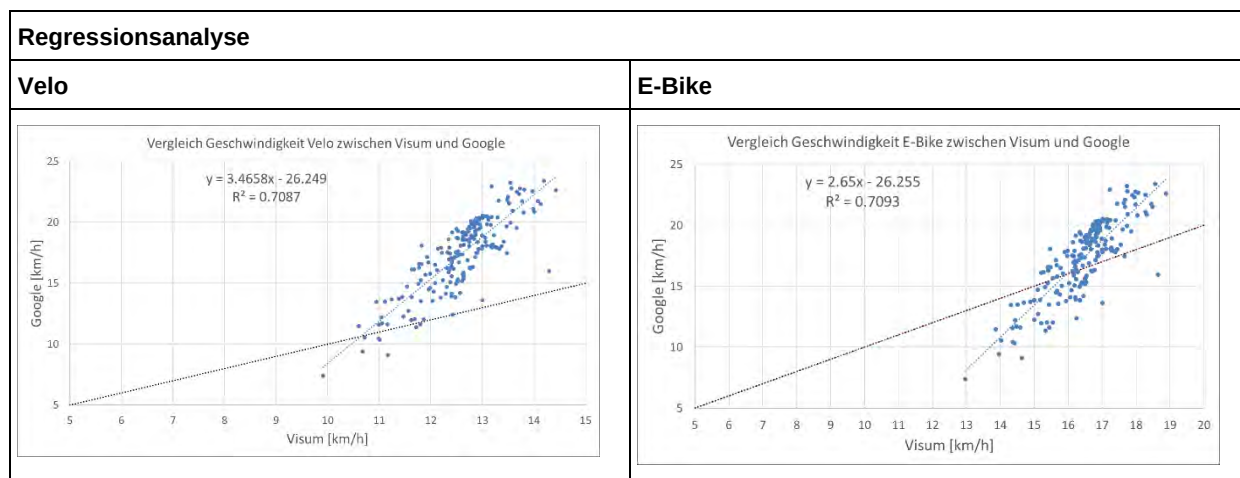


Abbildung 115: Geschwindigkeitsvergleiche Velo zwischen Visum und Google

21.4.4 Ergebniszusammenfassung

Reiseweite

Tabelle 81: Reiseweiten Velo

Velo			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reiseweite [km]	Anzahl	Anteil
0 - 20	138	65.1%	2	121	87.7%
20 - 50	74	34.9%	4	61	82.4%
Summe	212			182	85.8%

Tabelle 82: Reiseweiten E-Bike

E-Bike			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reiseweite [km]	Anzahl	Anteil
0 - 20	138	65.1%	2	120	87.0%
20 - 50	74	34.9%	4	61	82.4%
Summe	212			181	85.4%

Reisezeit

Tabelle 83: Reisezeiten Velo

Velo			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reisezeit [min]	Anzahl	Anteil
0 - 20	138	65.1%	15	40	29.0%
20 - 50	74	34.9%	30	57	77.0%
Summe	212			97	45.8%

Tabelle 84: Reisezeiten E-Bike

E-Bike			zulässige Abweichung	zulässige Abweichung eingehalten	zulässige Abweichung eingehalten
Klasse Entfernung	Anzahl	Anteil	Reisezeit [min]	Anzahl	Anteil
0 - 20	138	65.1%	15	126	91.3%
20 - 50	74	34.9%	30	67	90.5%
Summe	212			193	91.0%

Fazit Velo

Anders als beim PW streuen die Velo-Geschwindigkeiten in der Realität sehr stark, da sie massgeblich vom individuellen Fitnessstand abhängen.

Die Velo-Geschwindigkeit ist im Modell langsamer als in Google Maps. Dies entspricht den Erfahrungen aus vergleichbaren Analysen und liegt daran, dass die Velo-Geschwindigkeit im Modell eine durchschnittliche Geschwindigkeit für die Gesamtbevölkerung (Nicht-Fahrer / Gelegenheitsfahrer / Vielfahrer) repräsentiert. Bei Google hingegen wird die ermittelte Reisezeit stark von Vielfahrern beeinflusst, die eine höhere Geschwindigkeit fahren.

Die E-Bike-Geschwindigkeit hingegen ist im Modell geringfügig schneller als Google Maps. Hier spielt der Einfluss der individuellen Fitness eine deutlich geringere Rolle.

Alternative Routenplaner (Komoot) bestätigen die grosse Streuung bei den Reisezeiten, die stark von der Fitness des Fahrers und der Art der Unterstützung (E-Bike) abhängen. Die Toleranzen sind entsprechend grösser als bei PW anzusetzen (15 min bei Relationen bis 20 km und 30 min bei Relationen bis 50 km).

Insgesamt zeigen die Reiseweitenvergleiche eine gute Übereinstimmung und die Reisezeitenvergleiche liefern ein plausibles Bild, insbesondere in Hinblick auf die Unterschiede zwischen Velo und E-Bike.

21.5 Anhang 5: Aufbau Testumfeld

E - Anpassung der Mobilitätsraten

Mithilfe eines Excel-Tools war es möglich, die getroffenen Annahmen zu den Mobilitätsraten in der benötigten Form bereitzustellen. Die Dateien wurden im Testumfeld hinterlegt, sodass sie in den Szenarien eingelesen werden konnten.

Zielgrösse der Anpassung waren zweckfeine Mobilitätsraten (Wege pro Person), wobei (abgestimmte) Annahmen hinsichtlich der Entwicklung seit dem MZMV 2015 getroffen wurden, sowie der Gesamtverkehr im System (Übereinstimmung der aussummierten Zählstellenwerte mit den korrespondierenden Modellwerten).

Übersicht finaler Kennwert-Input für die Nachfragekalibrierung

- Die Wegeanzahl bleibt insgesamt (über alle Modi und Wegezwecke) konstant.
- Arbeit:
 - o -8.4% (städtisch)
 - o -6.4% (intermediär)
 - o -5.0% (ländlich)
- Nutzfahrt: -10%
- pauschaler Korrekturfaktor: 1.02

Die Anzahl Wege über alle Modi und alle Wegezwecke konnten mit der Kalibration konstant gehalten werden. Die Abnahme der Arbeitswege sowie der Wege für Nutzfahrten wurden durch andere Wegezwecke mit dem pauschalen Faktor von 1.02 in der Kalibration kompensiert.

M - Anpassung der Modal-Split

Mithilfe eines Excel-Tools war es möglich, die getroffenen Annahmen zum Modal-Split in der benötigten Form bereitzustellen. Die Dateien wurden im Testumfeld hinterlegt, sodass sie in den Szenarien eingelesen werden konnten.

Zielgrösse der Anpassung war der Modal-Split, wobei in einem iterativen Prozess zwischen dem ARE und dem Auftragnehmer die Entwicklungen seit dem MZMV 2015 (BFS, 2017) sowie der Gesamtverkehr im System (Übereinstimmung der aussummierten Zählstellenwerte mit den korrespondierenden Modellwerten) abgestimmt wurden. Beeinflusst wurden die Anpassungen vom MZMV 2021 (BFS, 2023a), von Post-COVID-Entwicklungen im In- und Ausland (UK, Niederlanden) und von Zählstellenentwicklungen.

Übersicht finaler Kennwert-Input für die Nachfragekalibrierung

- F: 30.8%
- V: 7.1%
- V+: 2.5%
- ÖV: 12.6%
- PW: 47.0%

T - Anpassung der Transformationsparameter (Anpassung der mittlere Reiseweite)

Die Transformationsparameter der Box-Tukey-Transformation wurde iterativ angepasst (in PTV Visum entspricht es dem Parameter b in der «EVA-Verteilung und Moduswahl»). Dies geschah für die Modi PW und ÖV für die Aufwandskenngrössen Kosten und Zeit. Die Anpassungen wurden in der Verfahrensparametern-Dateien hinterlegt, die in den Szenarien eingelesen wurden.

Zielgrösse der Anpassung waren dabei Auswertungen zur zweckfeinen mittleren Reiseweite des MZMV 2015, welche folgendermassen für 2023 angepasst wurden, um die Verhaltensentwicklung seit 2015 abzubilden:

- PW: 2% Reduktion für Arbeits- und Freizeitwege sowie eine 7% Reduktion für alle übrigen Wegezwecke
- ÖV: 3% Erhöhung für Arbeits- und Freizeitwege sowie eine 2% Reduktion für alle übrigen Wegezwecke

Übersicht finaler Kennwert-Input für die Nachfragekalibrierung

Tabelle 85: Finaler Kennwertinput für die Anpassung der Transformationsparameter

Wegezweck	Modus	Zielwert für mittlere Reiseweite [km]	Anpassungsfaktor ggü. dem Ausgangszustand (2017+) für den Skalierungsfaktor der Box-Tukey-Transformation (gerundet)
Arbeit (Angestellte)	PW	14.1	1.06
Arbeit (Selbständige, Kader)	PW	14.5	1.07
Bildung Schule	PW	6.2	1.33
Bildung Uni	PW	24.5	0.77
Einkauf (kurz)	PW	6.2	1.03
Einkauf (lang)	PW	11.3	1.07
Nutzfahrt	PW	20.1	1.15
Begleitung(Kinder)	PW	7.1	1.00
Freizeit (kurz)	PW	4.0	0.98
Freizeit (lang)	PW	33.9	0.98
Arbeit	PW	12.8	1.07
Sonstiges	PW	11.5	1.04
Arbeit (Angestellte)	ÖV	22.5	1.00
Arbeit (Selbständige, Kader)	ÖV	26.9	0.99
Bildung Schule	ÖV	12.	1.51
Bildung Uni	ÖV	30.2	0.64
Einkauf (kurz)	ÖV	9.8	1.02
Einkauf (lang)	ÖV	10.8	1.02
Nutzfahrt	ÖV	33.8	1.13
Begleitung(Kinder)	ÖV	5.9	1.00
Freizeit (kurz)	ÖV	4.8	0.93
Freizeit (lang)	ÖV	50.1	0.97
Arbeit	ÖV	18.5	0.96
Sonstiges	ÖV	16.1	1.00

A - Anpassung der teilraumfeinen Modusaffinitäten (Anpassung des teilraumfeiner Modal-Split)

Es wurde ein eigene Bewertungsgrösse «teilraumfeine Modusaffinitäten» implementiert, die iterativ angepasst wurde. Die zugehörigen Excel-Dateien wurden im Testumfeld hinterlegt, sodass sie in den Szenarien eingelesen werden konnten.

Zielgrösse der Anpassung waren dabei teilraumfeine Auswertungen zum Modal-Split des MZMV 2015. Analog zum Methodikupdate 2017+ wurden die MZMV 2015-Modal Splits pauschal angepasst (z.B. MIV um 2.2%Punkte., ÖV um 1.8%Punkte)).

Übersicht finaler Kennwert-Input für die Nachfragekalibrierung

Tabelle 86: Finaler Kennwertinput für die teilraumfeinen Modusaffinitäten

Teilraum	Finale Modusaffinitäten für Teilräume				
	FGV	VELO	ÖV	MIV	EBIKE
Region Genf	1.22	0.55	0.04	0.59	1.98
Region Lausanne	1.30	0.32	0.03	0.74	1.69
Region Neuenburg	1.21	0.25	0.02	0.76	1.81
Region Freiburg	1.37	0.30	0.03	0.70	1.85
Region Biel–Jura	1.26	1.94	0.07	0.71	1.22
Region Bern	1.43	2.19	0.09	0.50	1.40
Westalpen	1.50	0.44	0.04	0.69	1.11
Region Basel	1.27	1.72	0.05	0.49	1.80
Berner Oberland	1.08	2.24	0.07	0.58	1.64
Aareland	1.38	2.56	0.11	0.56	0.75
Zentralschweiz	1.36	1.67	0.05	0.54	1.76
Region Zürich	1.51	1.65	0.05	0.54	1.25
Sopraceneri	1.27	0.79	0.02	0.77	1.70
Sottoceneri	1.33	0.22	0.01	0.74	1.56
Bodenseeregion	1.23	1.77	0.05	0.65	1.72
Ostalpen	1.40	1.60	0.04	0.51	1.58
Genf	1.12	0.47	0.03	0.16	1.70
Lausanne	1.03	0.15	0.01	0.23	1.93
Bern	0.65	1.18	0.00	0.05	1.88
Basel	0.58	1.07	0.01	0.07	2.13
Zürich	0.93	1.12	0.01	0.04	1.47

Funktionsweise Testfeld

Es wurde ein Python-Skript geschrieben, was im Sinne der Stapelverarbeitung viele Kombinationen von Testfeld-Inputs abarbeiten kann.

Nachfolgende Abbildung zeigt den Teil des Skripts, wo die Eingangsgrössen Versionsdatei, Pfaddatei, Verfahrensparameter (Anpassung der Transformationsparameter der BoxTuckey-Transformation), Mobilitätsraten und Modal-Splits definiert werden:



Abbildung 116: Automatisiertes Testumfeld

Für eine schnelle Berechnung und Kalibration des Modells, wird nur ein «schneller» Lauf des Modells berechnet, d.h. ohne Kenngrössenberechnung und Rückkopplung zwischen Angebot und Nachfrage. Die benötigten Kenngrössen stammen aus einem eingeschwungenen Komplettlau des Modells.

Am Ende jeder Berechnung wird ein Dashboard ausgegeben, in dem wichtige Kennzahlen aus dem Modell veranschaulicht werden. Mithilfe dieses Dashboards werden Anpassungen für die nächsten Szenarien bestimmt (iteratives Vorgehen).