

MODELLHANDBUCH



MODELLHANDBUCH Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg (LVM-BW)

Auftraggeber/-in:

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM)
Dorotheenstr. 8
70173 Stuttgart

Auftragnehmer/-in:

PTV
Transport Consult GmbH
Stumpfstr. 1
76131 Karlsruhe

SSP Beratende Ingenieure GmbH
Leskanpark, Haus 33, 2.OG
Waltherstraße 49-51
51069 Köln

Dresden/München/Karlsruhe/Stuttgart/Köln, März 2026

Dokumentinformationen

Kurztitel	Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg (LVM-BW) – Modellhandbuch
Auftraggeber/-in	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) Dorotheenstr. 8 70173 Stuttgart
Auftrags-Nr.	
Auftragnehmer/-in	PTV Transport Consult GmbH SSP Beratende Ingenieure GmbH
PTV-Projekt-Nr.	TC2200222
Autor/-in	Wibke Dreyer, Luca Gallina, Jens Landmann, Dirk Linder, Anne Lüttgens, Juliane Pillat, Matthias Schmaus, Fabian Schmidhofer, Andree Thomas, Volker Waßmuth, Christian Fritz
Erstellungsdatum	09.02.2026
zuletzt gespeichert	13.04.2026

Inhalt

0	Einleitung	17
1	Datenblatt.....	18
2	Zusammenfassung Modellspezifikation	19
3	Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur	20
3.1	Eingangsdaten	20
3.2	Planungs- und Untersuchungsraum	21
3.3	Verkehrsbezirke	23
3.3.1	Bildungsregeln	23
3.3.2	Nummerierung.....	24
3.3.3	Attribuierung	28
3.4	Teilräume als Gebiete.....	30
3.5	Strukturdaten	30
3.5.1	Ausgangssituation	30
3.5.2	Verteilung von Beschäftigten am Arbeitsort	31
3.5.3	Aufbau des Grundlagenrasters (Stadtmodellbausteine)	31
3.5.4	Schätzverfahren für die Verteilung von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten und Erwerbstätigen am Arbeitsort	34
3.5.5	Integration der Gebäudedaten und manuelle Recherche	35
3.5.6	Verfahren für die Verteilung von Einwohnern	35
3.6	Adressscharfe Informationen.....	36
3.7	Bildungsdaten, Einkaufs-, Freizeit- und Erledigungspotenziale im Einflussraum	38
4	Abbildung des Verkehrsangebots für den Kfz-Verkehr	39
4.1	Straßennetzgraph	39
4.2	Radverkehrsnetzgraph	40
4.3	Nummerierungskonzept.....	40
4.4	IV-Verkehrssysteme	41
4.5	Streckentypisierung	41
4.6	Knotentypisierung	42
4.7	Anbindungen.....	45

4.8	Widerstandsfunktionen	48
4.9	CR-Funktionen	50
4.10	Lkw-Durchfahrtsverbote	50
4.11	Entfernungskosten	52
4.12	Lkw-Maut	54
4.13	Berechnen der Kenngrößen	55
4.14	Kenngrößen des Parkens	56
4.15	Umlegung	62
4.16	Öffentlicher Verkehr als Grundbelastung	64
5	Abbildung des Verkehrsangebots für den Radverkehr	65
5.1	Attribuierung	65
5.2	Widerstandsfunktionen	65
5.3	Berechnen der Kenngrößen	68
5.4	Umlegung	69
6	Abbildung des ÖV-Angebots	71
6.1	Verkehrssysteme	71
6.2	Netzgraph	71
6.3	Streckentypisierung	73
6.4	Haltestellen	74
6.5	Anbindungen	77
6.6	Fahrplanangebot	79
6.7	Fahrzeugtypen, Gefäßgrößen und Auslastung	82
6.8	Tarifsystem	84
6.8.1	Anforderung	84
6.8.2	Modellierung ÖPNV-Preise	84
6.8.3	Dauerkartenpreise auf Verkehrsbezirksebene und Einzelfahrpreis für Dauerkartenbesitzer	89
6.8.4	Modellierung von Fernverkehrspreisen	89
6.8.5	Modelleingangsdaten im Analysefall	90
6.8.6	Herleitung der Modelleingangsdaten für den Analysefall	94
6.9	ÖV-Kenngrößenberechnung und ÖV-Umlegung	99
6.10	Abbildung intermodaler Angebot P+R und OnDemand	103

7	Verkehrsnachfrageberechnung für Personenverkehr	104
7.1	Nachfragesegmentierung und Datenauswertung der Verkehrsverhaltensdaten	104
7.1.1	Eingangsgroößen	104
7.1.2	Aufbereitung Grenzverkehre	104
7.1.3	Aufbereitung der MiD-Daten.....	107
7.1.4	Segmentierung der Nachfrage in Personengruppen.....	108
7.1.5	Segmentierung der Nachfrage nach Wegezwecken bzw. Aktivitätenpaaren	110
7.1.6	Segmentierung der Nachfrage nach Raumtypen	112
7.1.7	Segmentierung der Nachfrage nach Modi	115
7.1.8	Segmentierung in Nachfrageschichten	115
7.1.9	Beibehalten der Segmentierung auf verschiedenen Ebenen.....	116
7.2	Verkehrserzeugung	116
7.2.1	Input	116
7.2.2	Definition von Randsummenbedingungen	116
7.2.3	Ermittlung der Zielpotentiale.....	118
7.2.4	Umrechnung der Basisstrukturdaten in Personengruppen	118
7.2.5	Ermittlung der Untersuchungsraumanteile an Quelle und Ziel	119
7.2.6	Durchführen Teilraumausgleich	121
7.2.7	Durchführen der Verkehrserzeugung	122
7.3	Ziel- und Moduswahl.....	123
7.3.1	Anforderungen.....	123
7.3.2	Input	123
7.3.3	Berechnung der Kenngrößen auf Matrixebene	123
7.3.4	Bewertung der Kenngrößen	124
7.3.5	Umsetzung einer raumtypenabhängigen Bewertung in VISUM.....	131
7.3.6	Simultane Ziel- und Moduswahl	131
7.3.7	Randsummenausgleich.....	133
7.3.8	Stundenfeine Matrizen	134
7.3.9	Umlegung	135
7.3.10	Output Ergebnis der Nachfrageberechnung	135
7.4	Mobilitätswerkzeugwahl.....	136
7.4.1	Anforderungen.....	136

7.4.2	Input	137
7.4.3	Umsetzung	138
7.5	Abbildung Park – Ride	148
7.6	Abbildung von On-Demand-Verkehren (OnD)	151
7.6.1	Prinzipieller Ablauf der OnD-Modellierung	151
7.6.2	Aktivierung der OnD-Berechnung	152
7.6.3	Allgemeine Voraussetzungen	153
7.6.4	Übersicht über Eingangsgrößen und Parameter	156
7.6.5	Abgebildete OnD-Angebote	158
7.6.6	Beschreibung des Berechnungsverfahrens	158
7.7	Sonderverkehre Flughafen und Messe	161
8	Wirtschaftsverkehr und übergeordnete Verkehre	163
8.1	Modellbeschreibung	163
8.1.1	Modul InterTrans	163
8.1.2	Modul RegioTrans	165
8.1.3	Kalibrierung des Modells	168
8.2	Erarbeitung der Eingabedaten	169
8.2.1	Modul InterTrans	169
8.2.2	Modul RegioTrans	170
8.3	Durchführung der Berechnung(en)	170
8.3.1	Berechnung des Analysejahrs 2019	170
8.3.2	Berechnung des Jahres 2030	171
9	Kalibrierung und Validierung	172
9.1	Vorgehen	172
9.2	Strukturdaten	172
9.3	Angebotsmodelle	173
9.3.1	Kfz-Angebot	173
9.3.2	Rad-Angebot	177
9.3.3	ÖV-Angebot	177
9.4	Erzeugung	178
9.5	Ziel und Moduswahl	178

9.6	Mobilitätswerkzeugwahl.....	182
9.7	Umlegung Kfz	184
9.7.1	Zählstellenmanagement IV.....	184
9.7.2	Kalibrierung Umlegung MIV	189
9.7.3	Validierungsergebnisse Umlegung MIV	192
9.8	Umlegung Rad	195
9.9	Umlegung ÖV	195
9.9.1	Zählstellenmanagement ÖV	195
9.9.2	Kalibrierung Umlegung ÖV.....	202
9.9.3	Validierungsergebnisse Umlegung ÖV	203
9.10	Modellverhalten	206
9.10.1	Konvergenzverhalten	206
9.10.2	Realitätstests	207
9.11	Fazit und Verbesserungspotenzial	213
10	Prognosefall „Referenzszenario 2030“	215
10.1	Modellanwendung.....	215
10.2	Prämissen.....	215
10.3	Strukturdaten	217
10.3.1	Demographische Entwicklung	217
10.3.2	Erwerbstätige am Wohnort.....	221
10.3.3	Erwerbstätige am Arbeitsort	224
10.3.4	Sonstige Strukturdaten	226
10.4	Verkehrsangebot Kfz	226
10.4.1	Netzmodell.....	226
10.4.2	Abbildung Parken	229
10.5	Verkehrsangebot Rad.....	230
10.6	Verkehrsangebot ÖV	231
10.6.1	Öffentlicher Personenfernverkehr	231
10.6.2	Öffentlicher Personennahverkehr – Schiene	231
10.6.3	Öffentlicher Personennahverkehr – Busverkehr	233
10.6.4	Tarife	234
10.6.5	Integrierter On-Demand Verkehr.....	234

10.7 Fahrzeugflotte	235
10.8 Ergebnisse	235
11 Berechnungsumfeld	239
11.1 Verwendete VISUM-Release und empfohlene Hardware	239
11.2 Erweiterung des Arbeitsspeichers	239
11.3 Gesamtkonzept der technischen Umsetzung	243
11.4 Zusammenarbeit verschiedener Teilmodell-Versionen	244
11.5 Dateigröße und Initialisierungskonzept	246
11.6 Arbeiten mit dem Attribut „Modellform“	247
11.7 Datei- und Ablageordner	248
11.8 Mögliches Update des Wirtschaftsverkehrs	250
12 Anwendungsfälle	255
12.1 Neue Kfz-Strecken einfügen	255
12.2 Fahrplanänderungen ÖV	255
12.3 SPNV-Linie einfügen (mit Bedienung neuer Bahnhöfe)	256
12.4 Haltestelle oder Haltepunkt einfügen	256
12.5 Anbindungen einfügen	257
12.6 Verändern / Hinzufügen von OnDemand-Bediengengebieten	258
12.7 Verkehrsbezirke verfeinern	259
12.8 Umlegung Kfz-/Radverkehr rechnen	259
12.9 Umlegung ÖV rechnen	260
12.10 Teilnetze schneiden	260
12.11 Neuberechnung der Nachfrage	261
12.12 Checkliste für notwendige Schritte	261
12.13 Vermeidung üblicher Fehlermeldungen	264
13 Anhang: Maßnahmen Radverkehr Prognose	266

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Inputdaten zur Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur	20
Tabelle 2:	Nummerierung Verkehrsbezirke in BW außerhalb der größeren Städte	25

Tabelle 3:	Nummerierung Verkehrsbezirke in BW innerhalb der größeren Städte	26
Tabelle 4:	Nummerierung Verkehrsbezirke Einflussraum	27
Tabelle 5:	Nummerierung Verkehrsbezirke Außenraum kleiner/gleich BVWP-Zelle	27
Tabelle 6:	Nummerierung Verkehrsbezirke Außenraum größer BVWP-Zelle	28
Tabelle 7:	Sonstige Attribute Verkehrsbezirke	29
Tabelle 8:	Codes der OSM-POIs	37
Tabelle 9:	IV-Verkehrssysteme	41
Tabelle 10:	Streckentypen je Klasse	42
Tabelle 11:	Knotentypen im LVM-BW	43
Tabelle 12:	Abbiegewiderstände im LVM-BW	45
Tabelle 13:	Lkw-Durchfahrtsverbote im LVM-BW	51
Tabelle 14:	Eingangswerte für die Berechnung der Kraftstoffkosten	53
Tabelle 15:	Entfernungskostensätze des MIVs	53
Tabelle 16:	Beharrungsfaktoren der Straßenklassen	54
Tabelle 17:	Ableitung der Parksuchzeit [min] aus dem Parkdruck [-]	58
Tabelle 18:	Mittlere Parkkosten an Parkscheinautomat, Tiefgarage, Parkhaus etc.	59
Tabelle 19:	Anteil Pedelec nach Raumtyp	68
Tabelle 20:	ÖV-Verkehrssysteme	71
Tabelle 21:	Streckentypen im ÖV Netz	73
Tabelle 22:	Haltestellentypen im ÖV Netz	75
Tabelle 23:	Anbindungstypen im ÖV Netz	78
Tabelle 24:	Berechnungsformeln der Anbindezeit	78
Tabelle 25:	Anbindezeiten für ausgewählte Distanzen	79
Tabelle 26:	Als Regiobusse definierte Buslinien im Analysefall	81
Tabelle 27:	Kennwerte des ÖV Angebots (gerundet)	82
Tabelle 28:	Fahrzeugkombinationen im Analysefall	83
Tabelle 29:	Tarifverbünde im Analysefall	91
Tabelle 30:	Funktionsparameter für das Tarifsysteem bei Einzelfahrten (Euro/Fahrt), Analysefall	92
Tabelle 31:	Funktionsparameter für das Tarifsysteem bei Dauerkarten (Euro/Monat), Analysefall	93
Tabelle 32:	Funktionsparameter für die Tarifsysteme BW und DE, Analysefall	94

Tabelle 33:	Preisstand und verbundspezifische Anmerkungen für die Ermittlung der Fahrpreise im Analysefall _____	95
Tabelle 34:	Preisindizes für die Berechnung der ÖV-Fahrpreise im Analysefall _____	96
Tabelle 35:	Verkehrsystemboni – Fahrzeitfaktoren im öffentlichen Verkehr _____	103
Tabelle 36:	Inputdaten zur Bestimmung der Verhaltensdaten und der Nachfragesegmentierung _____	104
Tabelle 37:	Resultierende Personengruppen _____	109
Tabelle 38:	Wegezwecke _____	110
Tabelle 39:	Segmentierung der Aktivitätenpaare im Modell _____	111
Tabelle 47:	Zusammenfassung der 17er Einteilung der Regionalstatistik zu 3 Raumtypen für Baden-Württemberg _____	114
Tabelle 40:	Inputdaten zur Berechnung der Verkehrserzeugung _____	116
Tabelle 41:	Explizite Anforderungen aus der Leistungsbeschreibung an die Verteilung und Moduswahl _____	123
Tabelle 42:	Inputdaten für die Verteilung und Moduswahl _____	123
Tabelle 43:	Abgeleitete Modellspezifikation _____	137
Tabelle 44:	Vorliegende Eingangsgrößen zur Aufbau/Kalibrierung/Validierung der des MWW-Modells _____	138
Tabelle 45:	verwendete Größen und Berechnungsvorschriften für die Mobilitätswerkzeugwahl _____	146
Tabelle 46:	Vorliegende Eingangsgrößen zur Modellierung des P+R-Verkehrs _____	148
Tabelle 47:	Definierte Kenngrößen für Wege-Abfolgen für die OnD-Modellierung _____	156
Tabelle 48:	Parameter verschiedener Ebenen für die OnD-Modellierung _____	157
Tabelle 49:	Segmentierung des Modells RegioTrans _____	167
Tabelle 50:	Auswertung der Reisezeiten im Planungsgebiet _____	176
Tabelle 51:	Auswertung der Reisezeiten im Modellraum in den Bundesländern Bayern, Hessens und Rheinland-Pfalz _____	176
Tabelle 52:	Modusdifferenzierte Validierungsergebnisse der Zielwahl für Wege von Personen aus BW _____	180
Tabelle 53:	Raumtypenfeine Übereinstimmung der Anteile der Mobilitätswerkzeugkombinationen des LVM-BW mit MiD 2017 _____	183
Tabelle 54:	Qualitätsbewertung der Ausprägung je Indikator _____	187
Tabelle 55:	Toleranzbereiche in Abhängigkeit von der Zählstellenklasse _____	188
Tabelle 56:	Lkw-Beharrungsfaktoren _____	190

Tabelle 57:	Erreichung der SQV-Zielwerte im MIV _____	195
Tabelle 58:	Zuordenbare Datensätze aus den Zählraten _____	198
Tabelle 59:	Anzahl aggregierter Datensätze _____	198
Tabelle 60:	Indikatoren der Zählstellenqualität _____	200
Tabelle 61:	Resultat der Zusammenfassung zu einem Gesamtindikator _____	201
Tabelle 62:	Erreichung der SQV-Zielwerte im ÖV _____	205
Tabelle 63:	Test: Erhöhung der Einwohner um 10% - Geforderte und tatsächliche Ergebnisse _____	208
Tabelle 64:	Test: Senkung Bedienungshäufigkeit um 50% - Geforderte und tatsächliche Ergebnisse _____	208
Tabelle 65:	Test: Variation der ÖV-Nutzungskosten um +50% und – 50% - Ergebnisse des Modellverhaltens _____	209
Tabelle 66:	Test: Variation der PKW-Nutzungskosten um +50% und – 50% - Ergebnisse des Modellverhaltens _____	209
Tabelle 67:	Prognoseprämissen im Referenzszenario 2030 _____	216
Tabelle 68:	Einwohnerentwicklung in Baden-Württemberg bis 2030 nach Altersgruppen ____	217
Tabelle 69:	Einwohnerentwicklung in Baden-Württemberg bis 2030 nach Landkreis ____	219
Tabelle 70:	Einwohnerentwicklung im Einflussraum bis 2030 nach Altersgruppen _____	219
Tabelle 71:	Einwohnerentwicklung im Einflussraum bis 2030 nach Landkreis _____	221
Tabelle 72:	Veränderung der Erwerbstätigenquoten 2019- 2030 in Prozentpunkten _____	222
Tabelle 73:	Entwicklung der Erwerbstätigen am Wohnort im Planungsraum bis 2030 nach Landkreis _____	223
Tabelle 74:	Entwicklung der Erwerbstätigen am Arbeitsort im Planungsraum bis 2030 nach Landkreis _____	225
Tabelle 75:	Maßnahmen im Zuge von Autobahnen _____	227
Tabelle 76:	Maßnahmen im Zuge von Bundesstraßen _____	229
Tabelle 77:	Maßnahmen im Zuge von Landesstraßen _____	229
Tabelle 78:	Radschnellwege _____	230
Tabelle 79:	Zusätzliche Regiobuslinien im Referenzszenario 2030 _____	234
Tabelle 80:	Flottenanteile Pkw-Verkehr _____	235
Tabelle 81:	Flottenanteile Lkw größer 12t zGG _____	235
Tabelle 82:	Modellierte Modal-Split-Anteile (Verkehrsaufkommen) _____	236
Tabelle 83:	Entwicklung der Fahrleistungen zwischen Analyse 2019 und Referenzszenario 2030 _____	237

Tabelle 84:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen zwischen Analyse 2019 und Prognose 2030 _____	238
Tabelle 85:	Empfohlene Hardware _____	239
Tabelle 86:	Tabelle mit den Namen der aufzurufenden Versionsdateien für die Angebots-Versionen _____	244
Tabelle 87:	Schalttabelle Verfahrensschritte Pkw/Rad-Verkehr _____	245
Tabelle 88:	Schalttabelle Verfahrensschritte ÖV _____	246
Tabelle 89:	benutzerdefinierte Bezirksattribute für RegioTrans _____	251
Tabelle 90:	Checkliste zur Berechnung eines Nachfragelaufs _____	264

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einflussraum LVM-BW (Quelle: SSP Consult) _____	22
Abbildung 2:	Verkehrsbezirke LVM-BW (Quelle: SSP Consult) _____	24
Abbildung 3:	Aufbau des Grundlagenrasters zur Schätzung von Strukturdaten (Quelle: SSP Consult) _____	32
Abbildung 4:	Rasterzellenbezogene Flächenanteile der Flächenprägung (Quelle: SSP Consult) _____	33
Abbildung 5:	Ausschnitt Wohnbauflächen in ATKIS 2015 (Quelle: SSP Consult) _____	36
Abbildung 6:	Rasterdaten vor der Zusammenfassung _____	46
Abbildung 7:	Rasterdaten nach der Zusammenfassung _____	46
Abbildung 8:	Anbindung außerhalb des Bezirks _____	47
Abbildung 9:	Anbindungen vor der Korrektur auf der Grundlage der Arbeitsplätze _____	47
Abbildung 10:	Anbindungen nach der Korrektur auf der Grundlage der Arbeitsplätze _____	48
Abbildung 11:	Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems Pkw _____	49
Abbildung 12:	Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems Lfz _____	49
Abbildung 13:	Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems LkwK _____	49
Abbildung 14:	Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems LkwM _____	49
Abbildung 15:	Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems LkwG _____	49
Abbildung 16:	CR-Funktionen im LVM-BW _____	50
Abbildung 17:	Lkw-Durchfahrtsverbote im LVM-BW _____	51
Abbildung 18:	Parkdruck _____	57

Abbildung 19:	Zahl der Parkscheinautomaten aus OSM	58
Abbildung 20:	Parkkosten aus dem Parkraummanagement in Stuttgart	60
Abbildung 21:	Parkkosten aus dem Parkraummanagement in Pforzheim	61
Abbildung 22:	Parkkosten aus dem Parkraummanagement in Freiburg im Breisgau	62
Abbildung 23:	Parametrisierung der Umlegung für Schwerverkehr Kfz	63
Abbildung 24:	Parametrisierung der Umlegung für Leichtverkehr Kfz	63
Abbildung 25:	Berechnung der Grundbelastung	64
Abbildung 26:	Faktoren der Längsneigung zur Berechnung der objektiven Geschwindigkeit	66
Abbildung 27:	Berechnung der objektiven Geschwindigkeit für das Rad	66
Abbildung 28:	Kategorie der Radwege aus TFIS	67
Abbildung 29:	Lage der Radwege aus TFIS	67
Abbildung 30:	Widerstandsfunktion für das Verkehrssystem R-B	68
Abbildung 31:	Parametrisierung Radverkehrsumlegung – Parameter Routensuche	69
Abbildung 32:	Parametrisierung Radverkehrsumlegung – Parameter Vorauswahl	70
Abbildung 33:	Parametrisierung Radverkehrsumlegung – Parameter Routenwahl	70
Abbildung 34:	Parallel modellierte Strecken im Bahnhof Karlsruhe-Durlach zur Abbildung nicht möglicher Fahrtbeziehungen	72
Abbildung 35:	Straßennetz im Raum Stuttgart, mit (grün) und ohne (orange) Bus Linienfahrten	73
Abbildung 36:	Beispiel für die gesetzten Übergangsgezeiten (Haltestelle Pforzheim Hbf). Die Tabelle zeigt die Gezeiten zwischen Von-Haltestellenbereich (Zeile) und Nach-Haltestellenbereich (Spalte).	76
Abbildung 37:	Beispielhafte Darstellung einer Tarifsysteem-Überlappung	88
Abbildung 38:	Herleitung der Funktionsparameter der Luftlinientarife anhand der Waben bzw. Zonengröße	97
Abbildung 39:	Validierung Luftlinientarif	98
Abbildung 40:	ÖV-Umlegung, Parametrisierung der Branch&Bound-Suche	100
Abbildung 41:	ÖV-Umlegung, Parametrisierung der Verbindungswahl	101
Abbildung 42:	Definition der verhaltenshomogenen Gruppen in VISUM	109
Abbildung 43:	Auswahl der Bezirksattribute mit der Anzahl der Personen für jede Personengruppe	110
Abbildung 44:	Definition der Aktivitäten	112
Abbildung 45:	Definition der Aktivitätenpaare	112

Abbildung 46:	17er Einteilung der Regionalstatistik für Baden-Württemberg (Quelle: BBSR) _	113
Abbildung 48:	Räumliche Verteilung der 3 aggregierten Raumtypen in Baden-Württemberg, Einfärbung entsprechend der darüberliegenden Tabelle _____	114
Abbildung 49:	Definition von Nachfrageschichten in VISUM _____	115
Abbildung 50:	EVA-Modell in Visum - Definition der Randsummenbedingungen _____	118
Abbildung 51:	Untersuchungsraumanteile am Beispiel des Quellverkehrs für das Aktivitätenpaar FW _____	121
Abbildung 52:	Erzeugungsrechnung mit Teilraumausgleich. Ausschnitt aus dem Visum-Verfahrensablauf _____	122
Abbildung 53:	EVA-Erzeugung in Visum. Verfahrensschritt. _____	122
Abbildung 54:	Verlauf der Box-Tukey-Funktion (oben) und der Verlauf der Elastizität (unten) bei konstantem beta-Parameter _____	126
Abbildung 55:	Verlauf der EVA2-Funktion (oben) und der Verlauf der Elastizität (unten) bei konstantem beta-Parameter _____	127
Abbildung 56:	Variante der EVA2-Funktion für den Nahbereich mit Aufwänden bis 25 _____	128
Abbildung 57:	oben: Variante der EVA2-Funktion für den Wertebereich mit mittleren und hohen Aufwands-werten; unten: Variante der Logit Funktion mit Box-Tukey Transformation für den Wertebereich mit mittleren und hohen Aufwandswerten _____	129
Abbildung 58:	Screenshot des Visum-Dialogs für die EVA-Bewertung (Auszug) _____	130
Abbildung 59:	Auswahldialog für Visum-Verfahrensschritt mit der EVA-Verteilung/Moduswahl _____	133
Abbildung 60:	ÖV-Tagesganglinien von/zur weiterführenden Schule aus MiD 2017 _____	135
Abbildung 61:	Funktion $y = x^{0.01}$ _____	141
Abbildung 62:	Dämpfungsfunktion der Mobilitätswerkzeugverfügbarkeit zur Integration in Ziel/Moduswahl _____	147
Abbildung 63:	Integration der Modusverfügbarkeit in das entsprechende VISUM-interne Attribut _____	148
Abbildung 64:	Verortete P+R-Plätze aus mobidata-bw _____	149
Abbildung 65:	Aktivierung der OnD-Berechnung _____	152
Abbildung 66:	Modelldesign Personen- und Güterwirtschaftsverkehr _____	163
Abbildung 67:	Modellkonzept SSP-Intertrans _____	164
Abbildung 68:	Modellkonzept SSP-Intertrans _____	166
Abbildung 69:	Modellbild der Tour _____	168

Abbildung 70:	Entfernungsverteilung der Lkw über 12t zGG / Branche Verkehr/Lagerei vor und nach Kalibration _____	169
Abbildung 71:	Reisezeiten innerhalb Baden-Württembergs _____	174
Abbildung 72:	Reisezeiten außerhalb Baden-Württembergs _____	175
Abbildung 73:	Zulässige absolute Abweichung der Reisezeit [min] _____	176
Abbildung 74:	Vergleich Mobilitätsraten LVM-BW und MiD 2017 _____	178
Abbildung 75:	Vergleich Modal-Splits LVM-BW und MiD 2017 für Gemeinden im Raumtyp 1 _____	180
Abbildung 76:	Reiseweiten Verteilung ÖV-Wege für LVM-BW und MiD-2017 _____	181
Abbildung 77:	Vergleich entfernungsabhängiger Modal-Split, wegebezogen für LVM-BW und MiD-2017 _____	181
Abbildung 78:	Pkw-Verfügbarkeit für Erwachsene für den Raum Stuttgart, Analyse _____	183
Abbildung 79:	Zeitkarten-Verfügbarkeit für Erwachsene für den Raum Stuttgart, Analyse _____	184
Abbildung 80:	Verteilung der Durchschnittsnoten _____	188
Abbildung 81:	räumliche Verteilung der Zählstellen nach Klasse _____	189
Abbildung 82:	Übereinstimmung der Modellwerte mit den Zählwerten vor der Matrixkorrektur [Kfz/24h] _____	192
Abbildung 83:	Übereinstimmung der Modellwerte mit den Zählwerten nach der Matrixkorrektur [Kfz/24h] _____	193
Abbildung 84:	Gegenüberstellung der Modellwerte und Zählwerte der Dauerzählstellen entlang der A7 [Kfz/24 h] _____	194
Abbildung 85:	ÖV-Zählwerte vs. Modellwerte für Querschnitte _____	204
Abbildung 86:	ÖV-Zählwerte vs. Modellwerte für Haltestellen _____	205
Abbildung 87:	Gegenüberstellung der Zählwerte und der Modellwerte auf der Filstalbahn (Analysefall) _____	206
Abbildung 88:	Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. Gesperrte Verbindungen rot markiert _____	210
Abbildung 89:	Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. - Differenzdarstellung _____	211
Abbildung 90:	Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. - Differenzdarstellung _____	212
Abbildung 91:	Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. - Differenzdarstellung _____	213
Abbildung 92:	Entwicklung erwerbsfähige Personen (18 bis 69 Jahre) 2019 bis Prognose 2030 _____	224

Abbildung 93: Entwicklung Erwerbstätigen am Arbeitsort 2019 bis Prognose 2030	226
Abbildung 94: Anzahl der Fahrplanfahrten vor und nach Angebotsausdünnung	232
Abbildung 95: Entwicklung der Wegezwecke in Baden-Württemberg zwischen Analyse 2019 und Referenzszenario 2030	236
Abbildung 96: Ausschnitt aus einem Python-Skript im Teilmodell Nachfrage	245
Abbildung 97: Visum-Verfahrensschritte für das Teilmodell Nachfrage	246
Abbildung 98: Ordnerstruktur für einen kompletten Modelllauf	248
Abbildung 99: Verfahrensschritte des Wirtschaftsverkehrsmodell in VISUM	252
Abbildung 100: Verfahrensschritte Umlegung Kfz/Rad in der Umlegungsversion	259
Abbildung 101: Verfahrensschritte Umlegung ÖV in der Umlegungsversion	260
Abbildung 102: Typische Pythonfehlermeldung	265

0 Einleitung

Das Ministerium für Verkehr des Landes Baden-Württemberg hat im Jahr 2022 die Erstellung eines makroskopischen Verkehrsnachfragemodells für Baden-Württemberg ausgeschrieben. Das Verkehrsmodell soll zur Unterstützung der operativen und strategischen Planung im Bereich des Öffentlichen, Rad- und Straßenverkehrs eingesetzt werden. Die Bietergemeinschaft aus PTV Transport Consult GmbH, PTV GmbH und SSP-Consult GmbH hat auf die Erstellung dieses Werkzeugs beworben und den Auftrag erhalten.

Das Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg bietet eine landesweit konsistente Datenbasis für Verkehrsplanung, Emissionsberechnung und die Bewertung von Infrastrukturprojekten für Straße, Schiene, ÖPNV und Radverkehr. Es unterstützt nachhaltige Mobilität, kann neue Mobilitätsangebote wie On-Demand-Verkehre oder autonome Systeme simulieren und liefert nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen für Politik, Verwaltung und Planung.

Auf der Basis der Modellrechnungen, welche die Mobilitätswerkzeugwahl, Aktivitätenwahl, Zielwahl, Moduswahl und Routenwahl für den Privaten Personenverkehr und die maßnahmensensitive Berechnung von Tonnenströmen, multimodale Umlegung auf Verkehrsträger sowie regionale Zielwahl und Tourenplanung für den Wirtschaftsverkehr umfassen, wurde ein kalibrierter Analysezustand 2019 und sowie eine Referenzverkehrsprognose mit dem primären Prognosezieljahr 2030 erarbeitet werden, welche den DTVw5 berechnen.

Die vorliegende Dokumentation dient als Basis für die weitere Nutzung und Fortschreibung des Verkehrsangebots- und des Verkehrsnachfragemodells. Die Dokumentation umfasst folgende Aspekte:

- Allgemeine Informationen in Form eines Datenblattes und einer zusammenfassenden Spezifikation (Kapitel 1 und 2)
- Inhaltliche Dokumentation zum Modellaufbau inklusive verwendeter Datenquellen, Kalibrierung/Validierung und Prognose (Kapitel 3 bis 10)
- Hinweise zur Anwendung inklusive Beschreibung des Berechnungsumfelds, möglicher Anwendungsfälle und Anleitung zur Neuberechnung des kompletten Modelllaufs (Kapitel 11 bis 12)
- In der beiliegenden Exceltabelle „**LVM_BW_InfosAttributeMatrizen.xlsx**“ findet sich eine vollumfängliche Beschreibung aller benutzerdefinierten Attribute und Matrizen

1 Datenblatt

Bezeichnung Projekt	Erst-Erstellung eines landesweiten Verkehrsnachfragemodells
Bezeichnung Modell	Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg (LVM-BW) – Modellhandbuch
Auftraggeber	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) Dorotheenstr. 8 70173 Stuttgart
Auftragnehmer	PTV Transport Consult GmbH mit PTV GmbH SSP Beratende Ingenieure GmbH
Erarbeitungszeitpunkt	Juli 2022 bis April 2026
Planungsaufgaben	Raum: Landesweite und kommunale Planungen, Aufgabenfeld: Strategische Planung, Angebotskonzeption ÖV, Nutzen-Kosten-Untersuchungen, Lärmaktionsplanungen, Luftreinhalteplanungen, Formale Planverfahren, Netzplanung
Modelltypologie	Makroskopisch, multimodal, synthetisch
Integrierte Teilmodelle	Privater Personenverkehr, Personenwirtschaftsverkehr, Güterverkehr
Allgemeine Software Anforderungen	Windows als Betriebssystem
Modellierungssoftware	Visum 25, SP16 oder höher, RegioTrans und InterTrans SSP-Software für Wirtschaftsverkehr
Hardwareanforderungen für den Betrieb	Empfohlener Prozessor: Intel(R) Xeon(R) w5-2465X (3.10 GHz), 16/32-Kerne Notwendiger Arbeitsspeicher Bedarf • Nachfrageberechnung inklusive Umlegung: 256 GB • Umlegung IV: 120 GB • Umlegung ÖV: 120 GB Notwendige Festplatte: 4 Terrabyte

2 Zusammenfassung Modellspezifikation

Planungsraum/Einflussraum/Außenraum	Baden-Württemberg / Gürtel um Baden-Württemberg (2 Reihen Landkreise, Kantone, Departments / Europa)
Verkehrszellen	Planungsraum BW: 7.885, Einflussraum: 1.373, Außenraum: 405
Netzmodell:	Knoten: 750.000 Strecken: 1.750.000 Linien: 6.783 Haltestellen: 59.369 Haltepunkte: 67.362 Fahrplanfahrten: 277.005 Straßennetz: im Planungsraum vollständiges Netz mit vereinfachten komplexen Knotenpunkten, sonst NemoBFStr ÖV-Netz: Haltestellen in Haltestellenbereiche aufgelöst, wenn Umstieg von Bus/leichte Schiene/schwere Schiene Netzmodelle sind als „maximal“-Graphen von Prognose/Analyse ausgeprägt und liegen derzeit getrennt für IV/ÖV/Nachfrage vor
Modi	Personenverkehr: Pkw, Pkw-Mitfahrer, ÖV, Rad, Fuß, P+R + OnDemand-Modul Lkw-Verkehr: 4 Klassen mit Grenzen 3,5t/7,5t/12t
Nachfrageteilmodelle	Teilmodelle VISUM: Privater Personenverkehr, Flughafenverkehr, Singuläre Verkehrserzeuger/Besucherverkehre, Modelle zur Wohnorterzeugung für Studenten und Azubis Teilmodelle außerhalb von VISUM: SSP InterTrans für übergeordnete Verkehre und Güterverkehre, SSP RegioTrans für Regionalen, straßengebundenen Wirtschaftsverkehr
Nachfragemodell Privater Personenverkehr	Mobilitätswerkzeugwahl, Erzeugung, simultaner Ziel/Moduswahl, Routenwahl 4 Raumtypen, 44 Personengruppen, 14 Aktivitäten, 100 Nachfrageschichten aktivitätenpaarbasierter EVA-Ansatz mit Teilraumausgleich, Randsummenausgleich, schichtübergreifenden Randsummenbedingungen
Umlegungen	ÖV: Fahrplanfein 00:00 – 24:00, Rad: stochastische Umlegung, Lkw: Sukzessivumlegung, Pkw: Deterministisches Gleichgewicht Bi-Conjugate Frank-Wolfe mit konstanten Knotenwiderständen
Zeitliche Abdeckung	Analysejahr: 2019 Prognosejahr: 2030
Zeitliche Differenzierung	Tageswerte als DTVw5 (Montag bis Freitag außerhalb der Ferien) Stundenwerte DTVw5 als Belastungswerte

3 Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur

3.1 Eingangsdaten

Folgende Tabelle fasst die verwendeten Inputdaten für die Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur zusammen.

Datensatz	Quelle
Pendlerstatistik, BA-Statistiken (Ein- Aus- und Binnenpendler mit Ziel- und Quellort)	Bundesagentur für Arbeit
Gemeindepolygone	geoportal-raumordnung-bw
Grenzen der Stadtteile oder –bezirke der kreisfreien Städte (Statistische Bezirke)	diverse Städte, eigene Recherche
Polygone gewünschter Raumtypen	BBSR
Polygone der Ebene LAU2 (Lokale Verwaltungseinheiten mit NUTS kompatibel) Einflussraum Ausland	Eurostat
Polygone der Verkehrsverbünde	Wikipedia
Singuläre Verkehrserzeuger	Eigene Recherche
Points-of-Interest (POI)	OSM
Schulstandorte mit Anzahl Schüler und Lehrkräfte	Statistisches Landesamt BW
Hochschulstandorte bzw. Hochschulgebäude mit Anzahl Studierende und Beschäftigte	Statistisches Landesamt BW, eigene Recherche
Kindergärten/-tagesstätten mit Anzahl Kinder	OSM
ATKIS-Datensatz zur Flächennutzung (Sie2f) und Gebäudenutzung	Igl-bw
INSPIRE-100m-Gitter mit Einwohnern nach Altersklassen aus dem Zensus 2011	Zensus
Einwohner nach Altersklassen	Statistisches Landesamt BW
Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort und am Arbeitsort nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Teilzeit und Vollzeit	Bundesagentur für Arbeit
Erwerbstätige am Wohnort und Arbeitsort, Teilzeit und Vollzeit	Bundesagentur für Arbeit
Beamte (Gemeinde, Land, Bund), Teilzeit und Vollzeit	Statistisches Landesamt BW
Pkw-Verfügbarkeit	Kraftfahrt-Bundesamt
Studenten am Wohnort	Eigene Recherche
Strukturdaten Frankreich	www.insee.fr
Strukturdaten Schweiz	Bundesamt für Statistik (BFS)
Strukturdaten Österreich	Statistik Austria
Hochschulplätze Rheinland-Pfalz	Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Hochschulplätze Frankreich	https://data.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pages/home/
Hochschulplätze Schweiz	Verkehrsmodell Schweiz
Hochschulplätze Österreich	Verkehrsmodell Österreich

Tabelle 1: Inputdaten zur Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur

3.2 Planungs- und Untersuchungsraum

Der Planungs- und der Untersuchungsraum wurden funktional entsprechend der Empfehlungen des AK 1.2.6 der FGSV mit dem in der abschließenden Abstimmung befindlichen Empfehlungspapier zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr (EVNM-PV) festgelegt. Funktional werden drei Teilräume unterschieden:

- Planungsraum: Raumumgriff, in welchem die mit dem Verkehrsmodell zu bewertenden und zu analysierenden Maßnahmen verortet sind (Bundesland Baden-Württemberg)
- Einflussraum: Raumumgriff außerhalb des Planungsraums, in welchem Maßnahmen noch eine verkehrliche Wirkung haben
- Außenraum: Raumumgriff zur Abbildung des weiträumigen Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs, welcher noch in Interaktion mit dem Planungs- und dem Einflussraum stehen kann.

Der Planungs- und der Einflussraum bilden zusammen den Untersuchungsraum. Der Einflussraum in Deutschland wurde mittels der Pendlermatrix der Bundesagentur für Arbeit (BfA) bestimmt. Aus dieser Matrix wurden die Pendlerverflechtungen hinsichtlich ihrer Interaktion mit dem Planungsraum analysiert und zur Raumabgrenzung genutzt. Rund 60% der Pendlerbeziehungen in Bezug auf Baden-Württemberg (BW) werden abgebildet.

Dies ist nur für Deutschland umsetzbar, da in der Pendlermatrix Pendlerverflechtungen mit dem Ausland nur aggregiert und nicht gemeindescharf dargestellt sind. Der Einflussraum wurde zusätzlich zu den Bedingungen der Pendlerbeziehungen durch die folgenden Festlegungen abgegrenzt:

- Nächstes Oberzentrum im Gürtel um BW
- Mindestens ein Gürtel von zwei Landkreisen um BW

Auf der französischen Rheinseite befinden sich die beiden elsässischen Départements Haut-Rhin und Bas-Rhin im Untersuchungsraum und somit im Einflussraum. In Österreich gehört das Bundesland Vorarlberg zum Einflussraum. Im Hoheitsgebiet der Schweiz wurden die folgenden angrenzenden Kantone dem Einflussraum und somit auch dem Untersuchungsraum zugeordnet:

- Basel
- Basel Landschaft
- Aargau
- Zürich
- Thurgau
- St. Gallen
- Schaffhausen
- Appenzell Ausserrhoden
- Appenzell Innerrhoden

Im LVM-BW wird der Einflussraum wie folgt abgegrenzt:

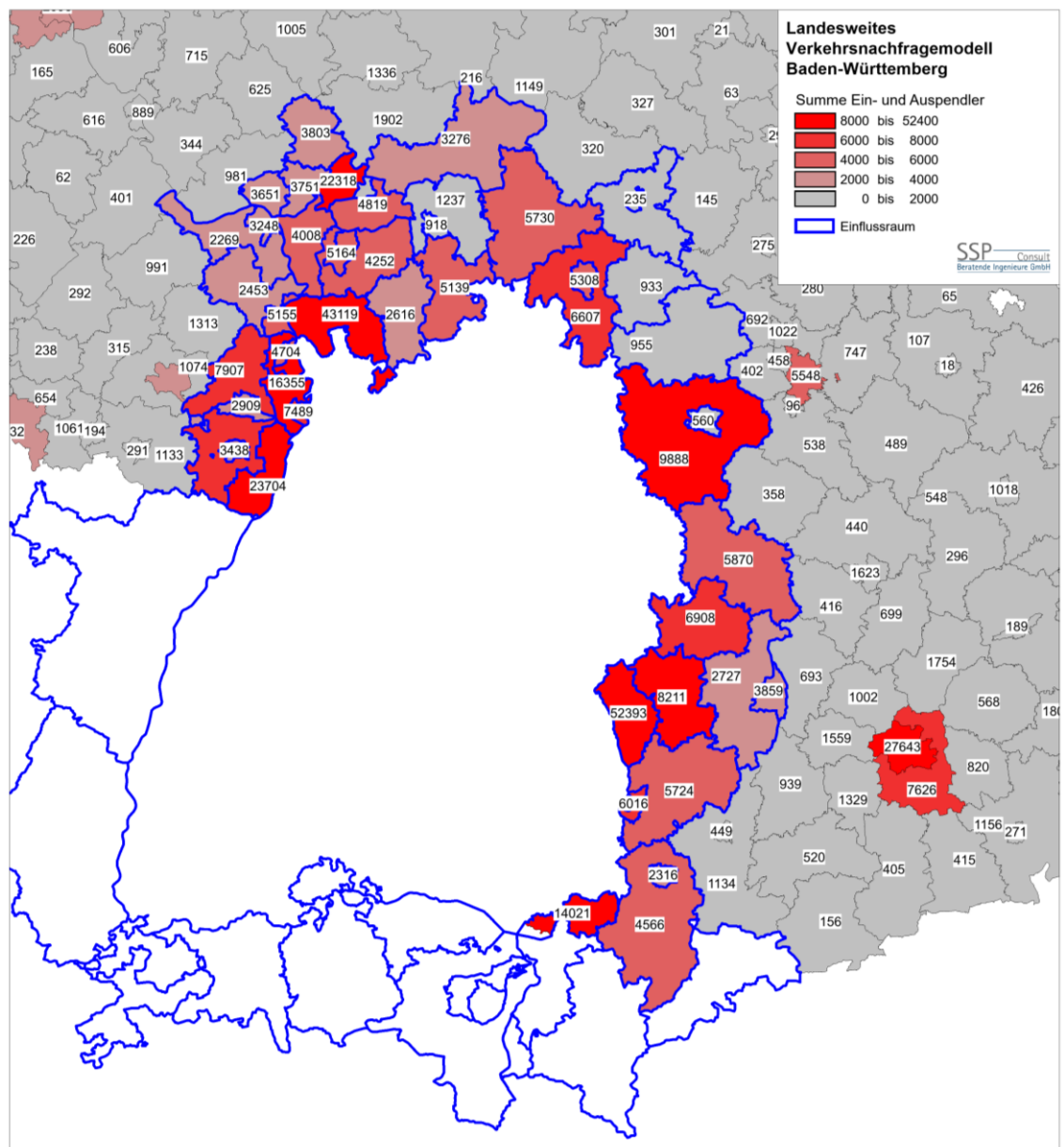


Abbildung 1: Einflussraum LVM-BW (Quelle: SSP Consult)

Der Außenraum wurde in Anlehnung an die Gebietsausdehnung der Bundesverkehrswegeplanung gestaltet. Innerhalb von Deutschland besteht der Außenraum aus aggregierten Nuts 3 Zonen, welche zu Regierungsbezirken oder Bundesländern zusammengefasst wurden. Das weitere Ausland wurde ebenfalls durch aggregierte BVWP-Zonen abgebildet, sodass eine Übernahme der jeweiligen Bundesprognose möglich ist.

Die Einteilung der Verkehrsbezirke in Planungsraum, Einflussraum und Außenraum ist im benutzerdefinierten Attribut [RO_PEK] gesetzt.

3.3 Verkehrsbezirke

Die Verkehrsbezirke wurden entsprechend der Gliederung des Planungs- und Untersuchungsraums in Planungsraum, Einflussraum Deutschland, Einflussraum Ausland und Außenraum aufgebaut.

3.3.1 Bildungsregeln

Planungsraum

Für den Planungsraum bilden die administrativen Grenzen der Gemeinden in Baden-Württemberg den Rahmen bei der Verkehrsbezirksgenese. In größeren Städten wurden die Grenzen der Stadtteile oder –bezirke übernommen.

Die so entstandene Grundlage für die Verkehrsbezirksgenese wurde hinsichtlich der administrativen Abgrenzungen und verkehrlichen Belange überprüft und verfeinert. Hierzu gehörte die Abgrenzung durch siedlungsstrukturell verschiedene Räume (z.B. Wohnen, Gewerbe, Industrie) oder natürliche Grenzen (Flüsse) und trennende Verkehrswege (Autobahnen, Schienenwege). Weiterhin wurde geprüft, ob die Anforderung erfüllt ist, dass nicht mehr als eine SPNV-Haltestelle je Verkehrsbezirk hinterlegt ist. War diese Anforderung nicht erfüllt, wurden Verkehrsbezirke entsprechend aufgeteilt.

Jedem Verkehrsbezirk wurden die Siedlungsflächen aus dem ATKIS-Datensatz des Analysejahres als Polygonobjekte zugeordnet. Mit Hilfe der in entwickelten Rasterzellen wurden Einwohner und Arbeitsplätze auf die Verkehrsbezirke des Planungsraums übertragen und die Verkehrsbezirksgröße wurde hinsichtlich der folgenden Anforderungen laut Leistungsbeschreibung überprüft und ggf. verfeinert:

- Siedlungs- und Verkehrsfläche < 1,0 km²
- Einwohnerzahl < 2.000, Ausnahmen bei Siedlungsflächen mit hoher Dichte
- größter Verkehrsbezirk (Einwohnerzahl + Arbeitsplatzzahl) < 2x Mittelwert aller Verkehrsbezirke (Einwohnerzahl + Arbeitsplatzzahl)

Diese Rahmenbedingungen wurden soweit möglich eingehalten. Abweichungen wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Einflussraum Deutschland

Die im Einflussraum Deutschlands befindlichen Verkehrsbezirke haben in der Regel die Ausdehnung von Gemeinden. In Rheinland-Pfalz haben die Verkehrsbezirke die Ausdehnung von Verbandsgemeinden, da in diesem Bundesland die Gliederung der Gemeinden zu fein für das Verkehrsmodell ist und eine homogene Einteilung der Zellgröße für die Verkehrsmodellrechnung bedeutsam ist. Andererseits wurden größere grenznahe Städte, wie z.B. Ludwigshafen und Neu-Ulm in Stadtbezirke aufgeteilt. Teilweise war aus verkehrlicher Sicht eine Zusammenfassung bzw. Tei-

lung von Gemeinden oder Verbandsgemeinden notwendig. Dabei wurden Gemeinden aus verschiedenen administrativen Raumeinheiten (Kreise oder Regierungsbezirke) nicht zusammengefasst.

Einflussraum Ausland

Im Einflussraum Ausland wurde für die Verkehrsbezirkseinteilung die Ebene LAU2 (Lokale Verwaltungseinheiten mit NUTS kompatibel) verwendet. Diese umfasst die Gemeinden und Kommunen der Nachbarländer. War es aus verkehrlicher oder siedlungsstruktureller Sicht sinnvoll sein diese zu teilen oder zusammenzufassen, wurden Gemeinden aus verschiedenen administrativen Raumeinheiten nicht zusammengefasst.

Außenraum

Der Außenraum wurde in Anlehnung an die Gebietsausdehnung der Bundesverkehrswegeplanung gestaltet. Innerhalb von Deutschland besteht der Außenraum aus aggregierten Nuts 3 Zonen, welche zu Regierungsbezirken oder Bundesländern zusammengefasst wurden. Das weitere Ausland wurde ebenfalls durch aggregierte BVWP-Zonen abgebildet, sodass eine Übernahme der jeweiligen Bundesprognose möglich ist.

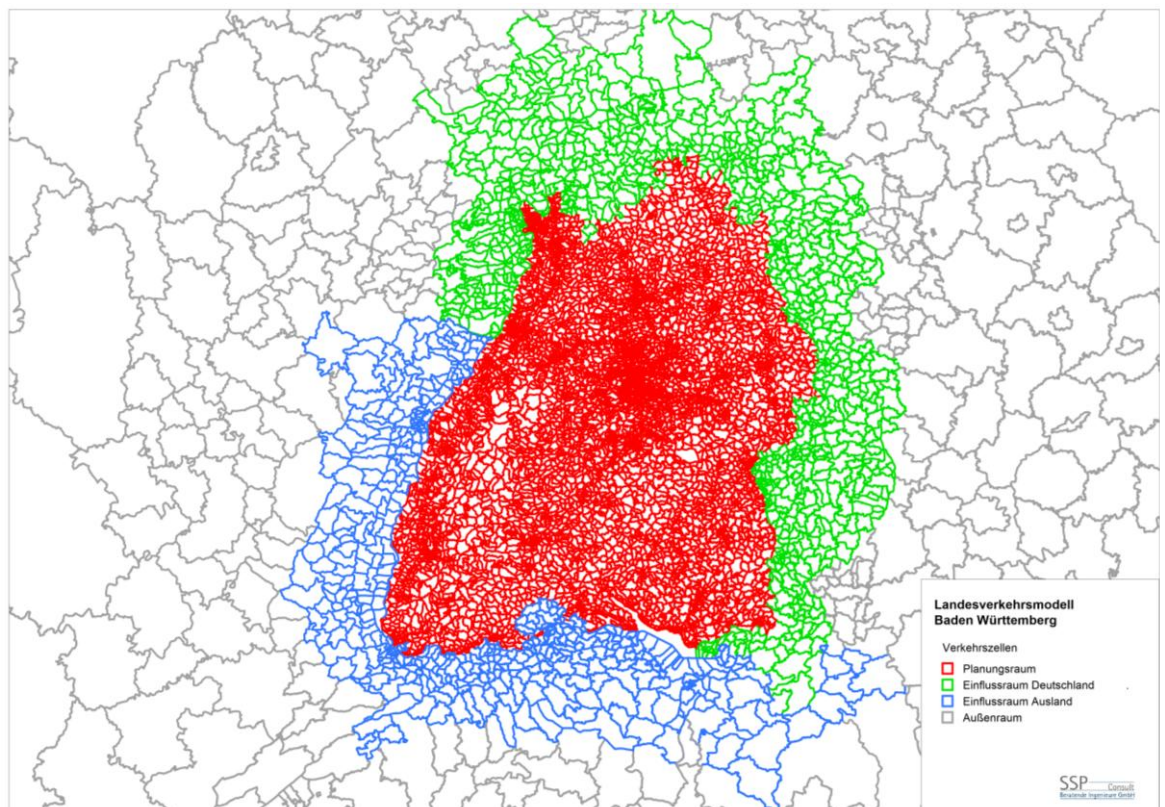


Abbildung 2: Verkehrsbezirke LVM-BW (Quelle: SSP Consult)

3.3.2 Nummerierung

Die Verkehrsbezirke wurden nach den folgenden Regionen unterteilt:

- BW außerhalb der größeren Städte
- BW innerhalb der größeren Städte
- Umland innerhalb von Deutschland
- Umland außerhalb von Deutschland
- Weiteres Umland innerhalb von Deutschland
- Weiteres Umland außerhalb von Deutschland

Die Nummerierung der Verkehrsbezirke sollte möglichst einheitlich und nachvollziehbar sein. Die größte mögliche Nummer, die in VISUM verwendet werden kann, ist 2.147.483.647. Standardmäßig sortiert VISUM im Listenlayout und beim Export von Daten nach Nummern. Daher ist es hilfreich, die Nummerierung derart anzulegen, dass die Bereiche des gesamten Modellraums in Blöcken in der Liste erscheinen.

Die grundlegende Überlegung war, sich in BW und im übrigen Deutschland nach der Gemeindeganziffer (GKZ) oder der Kreiskennziffer (KKZ) zu richten und in den übrigen Ländern der BVWP-Nummerierung zu folgen. Die Bildung der Gruppierung Planungsraum, Umland und weiteres Umland wird durch vorangestellte Nummern erzeugt.

Folgende Nummerneinteilungen wurden für die einzelnen Bereiche gewählt:

BW außerhalb der größeren Städte:

GKZ * 100 + Nummer Verkehrsbezirk in der Gemeinde

Beispiel:

GKZ	Name Gemeinde	VZ-Nr
8116007	Baltmannsweiler	811600701
8116007	Baltmannsweiler	811600702
8116008	Bempflingen	811600801
8116008	Bempflingen	811600802
8116008	Bempflingen	811600803
8116011	Beuren	811601101
8116011	Beuren	811601102
8116012	Bissingen an der Teck	811601201
8116012	Bissingen an der Teck	811601202
8116012	Bissingen an der Teck	811601203
8116014	Deizisau	811601401
8116014	Deizisau	811601402
8116014	Deizisau	811601403
8116014	Deizisau	811601404
8116014	Deizisau	811601405

Tabelle 2: Nummerierung Verkehrsbezirke in BW außerhalb der größeren Städte

BW innerhalb der größeren Städte:

$(\text{KKZ} * 100.000) + (\text{Nummer Stadtteil} * 100) + \text{Nummer Verkehrsbezirk im Stadtteil}$

Beispiel:

KKZ	Name Kreis	Nummer Stadtteil	Name Stadtteil	VZ-Nummer
8211	Baden-Baden	001	Oos	821100101
8211	Baden-Baden	001	Oos	821100102
8211	Baden-Baden	001	Oos	821100103
8211	Baden-Baden	001	Oos	821100104
8211	Baden-Baden	001	Oos	821100105
8211	Baden-Baden	002	Balg	821100201
8211	Baden-Baden	003	Weststadt	821100301
8211	Baden-Baden	003	Weststadt	821100302
8211	Baden-Baden	004	Innenstadt	821100401
8211	Baden-Baden	004	Innenstadt	821100402
8211	Baden-Baden	004	Innenstadt	821100403

Tabelle 3: Nummerierung Verkehrsbezirke in BW innerhalb der größeren Städte

Einflussraum:

$\text{BVWP-Nummer} + 1000000000 + \text{Nummer Verkehrsbezirk in der BVWP-Zelle}$

Beispiel:

BVWP-Nr	Name	VZ-Nr
6414	Wiesbaden	1006414001
6414	Wiesbaden	1006414002
6414	Wiesbaden	1006414003
6414	Wiesbaden	1006414004
6431	Abtsteinach	1006431001
6431	Bensheim	1006431002
6431	Biblis	1006431003
6431	Biblis	1006431004
6431	Birkenau	1006431005
51011	Basel	1051011001
51011	Basel	1051011002
51011	Basel	1051011003
51011	Basel	1051011004
51011	Basel	1051011005
51011	Basel	1051011006
51012	Allschwil	1051012001
51012	Anwil	1051012002
51012	Arisdorf	1051012003
51012	Arlesheim	1051012004
51012	Augst	1051012005

Tabelle 4: Nummerierung Verkehrsbezirke Einflussraum

Außenraum:

Außenraum kleiner/gleich BVWP-Zelle: **BVWP-Nummer** + 2000000001

Beispiel:

BVWP-Nr	Name	VZ-Nr
62001	România	2062001001
63001	Bulgaria	2062001001

Tabelle 5: Nummerierung Verkehrsbezirke Außenraum kleiner/gleich BVWP-Zelle

Außenraum größer BVWP-Zelle: **Bundesland-Nummer** * 100000 + 2000000001 bzw.

die ersten zwei Ziffern der **BVWP-NR** * 1000000 + 2000000001

Beispiel:

Bundesland-Nr bzw. BVWP-Nr	Name	VZ-Nr
2	Hamburg	2000200001
3	Lüneburg	2000300001
3	Weser-Ems	2000300002
3	Braunschweig	2000300003
3	Hannover	2000300004
4	Bremen	2000400001
4	Bremerhaven	2000400002
71xxx	Severovýchod	2071000001
71xxx	Severozápad	2071000001

Tabelle 6: Nummerierung Verkehrsbezirke Außenraum größer BVWP-Zelle

3.3.3 Attribuierung

Hauptort der Gemeinde (Kernort)

In größeren Städten wurde der Kernort im innerstädtischen Bereich mit hohem Anteil Einkauf und Arbeit sowie am Hauptbahnhof hinterlegt. Bei Gemeinden mit nur einem Ort wurden alle besiedelten Flächen des Ortes mit dem Attribut "Kernort" versorgt. Bei Gemeinden mit mehreren Orten wurde recherchiert, welches der Kernort ist. Liegt hierzu keine Information vor, wird entweder dem größten Ort mit dem höchsten Anteilen Einkauf und Arbeit das Attribut zugewiesen oder bei gleichwertigen Orten (z.B. Villingen-Schwenningen) wird beiden Orten das Attribut Kernort zugewiesen.

Entwicklungsart

Die Entwicklungsarten Siedlungsbereich (SB) und Eigenentwicklung (E) wurden soweit nicht anders angegeben den Gemeinden zugeordnet. Sind nur einzelne Teilorte oder der Kernort ausgewiesen, wurden nur die jeweiligen Verkehrsbezirke mit dem Attribut versorgt.

Zentralität

Die Zentralität eines Ortes wurde den Verkehrsbezirken, die als Kernort definiert sind, zugewiesen.

- OZ = Oberzentrum
- Teil-OZ = Teil eines Oberzentrums
- MZ = Mittelzentrum
- UZ = Unterzentrum
- Teil-UZ = Teil eines Unterzentrums
- DZ-UZ = Doppelzentrum - Unterzentrum

- KLZ = Kleinzentrum
- Teil-KLZ = Teil eines Kleinzentrums
- DZ-KLZ = Doppelzentrum - Kleinzentrum

Name	Inhalt
Name	Kfz-Kennzeichen + Gemeindename + Gemeindeteil
Code	Kürzel des Bundeslands bzw. CH oder F
RO_BUNDESLAND	Nummer des Bundeslandes Deutschland
RO_STADTBZIRK_NAME	Name des Stadtbezirks, -teils
RO_STADTBZIRK_NR	Nummer des Stadtbezirks, -teils
RO_GEMEINDE_NAME	Name der Gemeinde
RO_GEMEINDE_NR	Nummer der Gemeinde
RO_VERBANDSGE- MEINDE_NAME	Name der Verbandsgemeinde
RO_VERBANDSGEMEINDE_NR	Nummer der Verbandsgemeinde
RO_KREIS_NAME	Name des Kreises
RO_KREIS_NR	Nummer des Kreises
RO_BVWP_NAME	Name der BVWP-Zelle
RO_BVWP_NR	Nummer der BVWP-Zelle
RO_LAU2_NAME	Name der LAU2
RO_LAU2_NR	Code LAU2
RO_NUTS0_NAME	Name NUTS0
RO_NUTS0_NR	Code NUTS0
RO_NUTS1_NAME	Name NUTS1
RO_NUTS1_NR	Code NUTS1
RO_NUTS2_NAME	Name NUTS2
RO_NUTS2_NR	Code NUTS2
RO_NUTS3_NAME	Name NUTS3
RO_NUTS3_NR	Code NUTS3
RO_REGION_NAME	Name der Region
RO_REGION_NR	Nummer der Region
SIEDLUNGSFLAECHES_GESAMT	Siedlungsfläche in Verkehrsbezirk (qkm)

Tabelle 7: Sonstige Attribute Verkehrsbezirke

3.4 Teilräume als Gebiete

Die folgenden Teilräume wurden als Gebiete im LVM-BW hinterlegt:

- Planungsraum
- Einflussraum Bayern
- Einflussraum Hessen
- Einflussraum Rheinland-Pfalz
- Einflussraum Frankreich
- Einflussraum Schweiz
- Einflussraum Österreich
- Untersuchungsraum
- Regionen im Planungsraum
- Stadt-/Landkreise im Planungsraum
- Verkehrsverbünde in BW
- Regierungsbezirke in BW

3.5 Strukturdaten

3.5.1 Ausgangssituation

Für die Ermittlung der Verkehrsnachfrage wurden detaillierte Strukturdaten möglichst auf kleinster verfügbarer Ebene und für das Jahr 2019 benötigt, da sie die Grundlage für die Erzeugung der Verkehrsnachfrage bilden. Die Verkehrsbezirke in Baden-Württemberg fallen wesentlich kleinteiliger aus als die Ebene der Gemeinde. Je exakter und kleinteiliger die Strukturdaten sind, die in die Verkehrserzeugung eingehen, desto exakter wird die Nachfrageermittlung. Lagen Daten nur auf grober Ebene vor, war es erforderlich über ein Schätzverfahren die Daten für die Verkehrsbezirke zu generieren bzw. auf die Verkehrsbezirke zu verteilen. Je gröber die Ebene der Eingangsdaten ist, desto größer wird der Schätzfehler der konkret hinterlegten Strukturdaten, der in die Erzeugung der Verkehrsnachfrage eingeht.

Insbesondere bei den dicht besiedelten Gemeinden und Städten werden für die Verkehrserzeugung detailliertere Daten benötigt. Diese wurden für die größeren Städte für die kleinste verfügbare Einheit der Stadtgebiete abgefragt und im Internet recherchiert. Die erhältlichen Daten zu den einzelnen Städten sind sehr inhomogen. Teilweise sind keine Daten oder nur Daten für die Stadtbezirke erhältlich, in anderen Städten wiederum sind Daten auf wesentlich kleinerer Ebene verfügbar. Für die Daten zu den Einwohnern nach Altersklassen und die Verteilung von Beschäftigten am Arbeitsort werden daher für Baden-Württemberg im Sinne der Einheitlichkeit folgende Schätzverfahren verwendet.

3.5.2 Verteilung von Beschäftigten am Arbeitsort

Häufig liegen Strukturdaten zu Beschäftigten am Arbeitsort und zu Beamten am Dienstort nur in räumlich aggregierter Form vor. Datennennungen auf der Ebene von Kreisen oder Gemeinden sind aus Datenschutzgründen meist die differenzierteste Raumeinheit, in welcher die Daten verfügbar sind. Betriebsstättenbefragungen oder Postleitzahlenauswertungen von Unternehmensadressen führen ebenfalls häufig zu Schätzfehlern, da der postalische Betriebssitz nicht notwendigerweise dem physischen Arbeitsort entspricht. Dies ist insbesondere bei Großbetrieben mit verteilten Arbeitsstätten häufig ein großes Problem für die Verkehrserzeugung in Verkehrsmodellen. SSP Consult hat daher ein Verfahren entwickelt modellierte Strukturdaten als Verteilungsgrundlage von statistischen Daten zu nutzen, um die genannten Fehlerquellen zu minimieren. Das Verfahren wurde von SSP im Rahmen der Arbeiten zur BVWP 2030 erarbeitet und ist seitdem mehrfach in großen Verkehrsmodellen angewandt worden.

Das Verfahren wurde in den folgenden Schritten abgearbeitet:

1. Aufbau des Grundrasters der Stadtmodellbausteine
2. Zuweisung städtebaulicher Kennziffern aus den Arbeiten der Stadtmodellbausteine der BVWP und der darauf aufbauenden in Abstimmung befindlichen RAS-W/RWS
3. Verknüpfung der Rasterwerte mit den Raumeinheiten für welche die statistischen Vergleichsdaten zur Verfügung stehen.
4. Korrektur der modellierten Werte der Rasterzellen anhand der statistischen Daten
5. Aggregieren der Rasterzellen zu den Verkehrsbezirkzuschnitten und Übertrag der Mengengerüste in das Verkehrserzeugungsmodell
6. Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse

3.5.3 Aufbau des Grundlagenrasters (Stadtmodellbausteine)

Die Stadtmodellbausteine wurden aus der räumlichen Lage, der Siedlungsstruktur, aus Erhebungen und aus Auswertungen mit ATKIS-Daten abgeleitet. Hinterlegt wurden die Flächenanteile für:

- Wohnflächen (W)
- Industrie- und Gewerbeflächen (I)
- Gemischte Nutzung (M)
- Besondere Prägung (S)
- Freizeitanlagen (F)

Sonderflächen mit Nutzung durch die Gemeinde, Land oder Bund wurden gesondert ausgewiesen.

Die Informationen aus den o.g. Datensätzen wurden über Verschneidung auf ein 100m x 100m Raster übertragen (Abbildung 3).

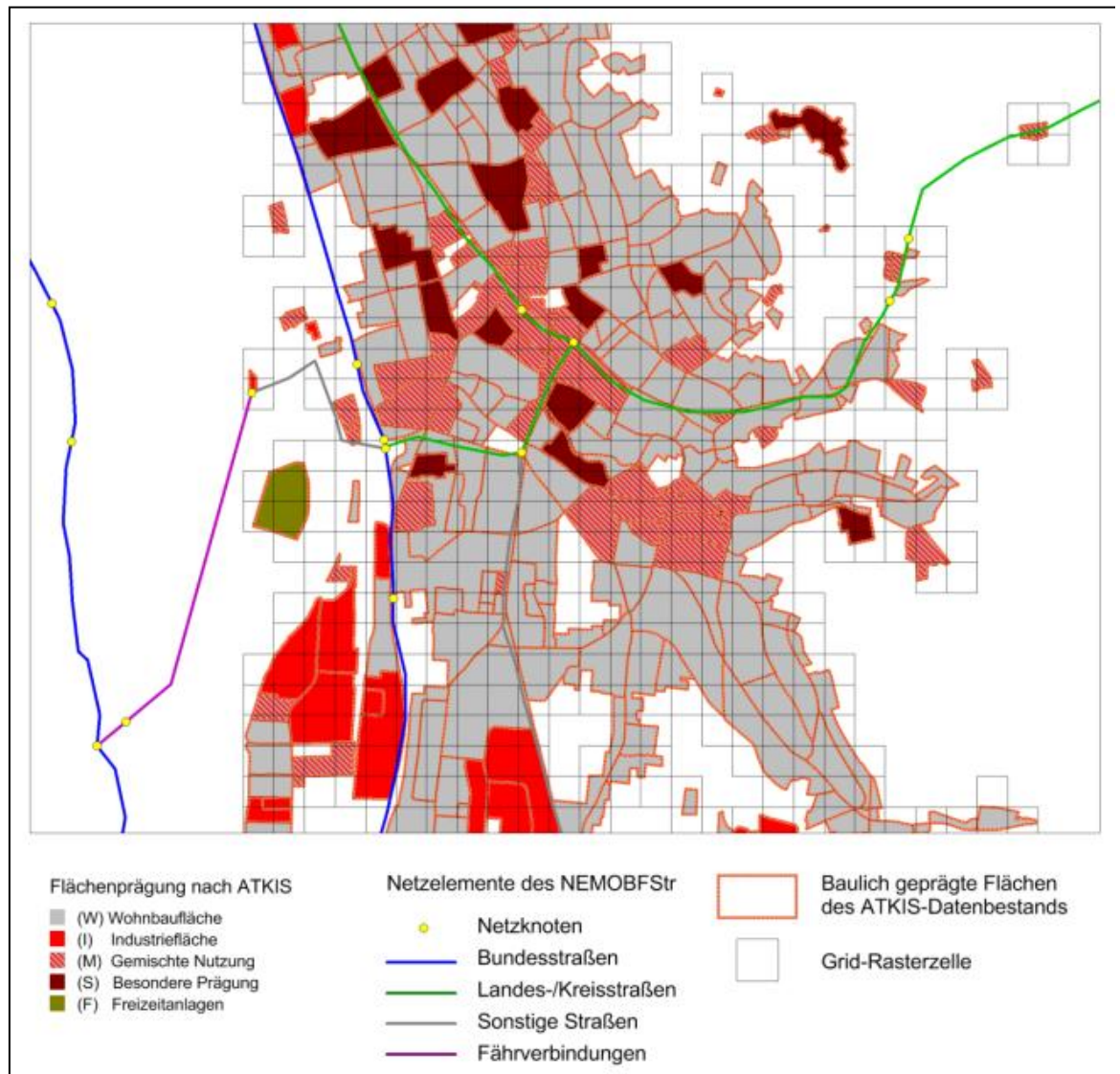


Abbildung 3: Aufbau des Grundlagenrasters zur Schätzung von Strukturdaten (Quelle: SSP Consult)

Da jede Rasterzelle eine einheitliche Größe hat, wurden die Flächeninformationen anteilig zur Rasterzellgröße ausgelesen (Abbildung 4). Die folgenden Daten wurden für jede Rasterzelle berechnet:

- Anteil % baulich geprägter Flächen
- Anteil % Wohnbaufläche
- Anteil % Industriefläche
- Anteil % gemischte Nutzung
- Anteil % besondere Prägung
- Anteil % Freizeitanlagen

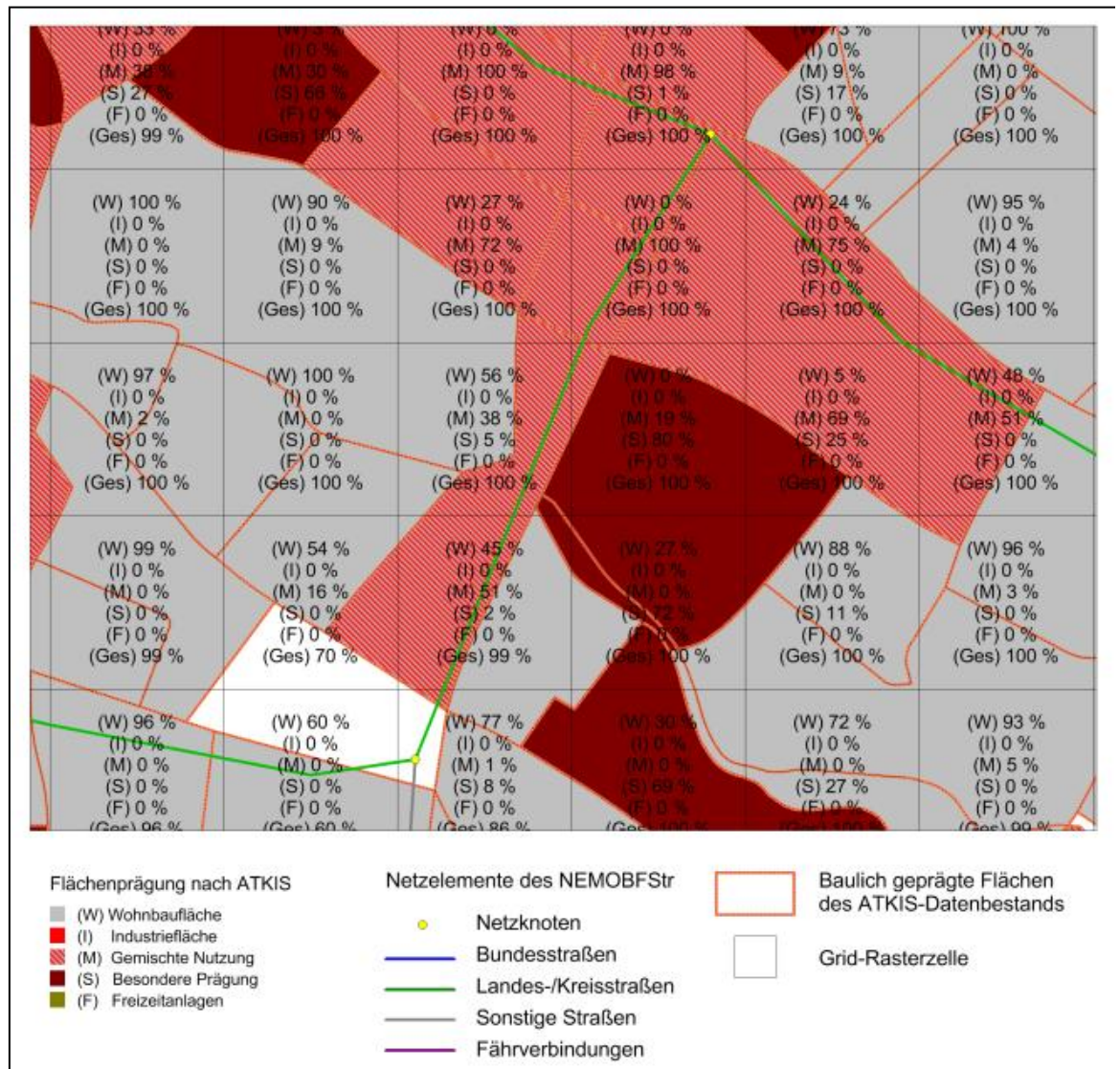


Abbildung 4: Rasterzellenbezogene Flächenanteile der Flächenprägung (Quelle: SSP Consult)

Die verwendeten Stadtmodellbausteine basieren auf einer differenzierten Unterteilung der Siedlungsstruktur. In der ersten Stufe der Differenzierung wird zwischen der folgenden Siedlungs- bzw. Städteinteilung unterschieden.

- Großstädte
- Größere Städte
- Mittelstädte
- Kleinstädte
- Große Dörfer
- Kleine Dörfer

Zusätzlich wird die Lage weiter differenziert nach den Raumtypen des BBR. Hierbei wurde den Mittelstädten, Kleinstädten und den Dörfern eines der folgenden Lageattribute zugewiesen.

- Innerhalb von Agglomerationen
- Innerhalb verstädterter Räume
- Im ländlichen Raum

Die Stadtmodellbausteine weisen ein Lagekriterium auf, das definiert, ob es sich um eine Lage des Stadtmodellbausteins innerhalb der folgenden Klassen handelt:

- Citylage,
- Mittellage,
- Randlage und
- Außenbereich.

Die flächendeckende Ermittlung der Art der Bauweise und der Geschosshöhe wird über eine Ableitung der Informationen über die siedlungsstrukturellen Eigenschaften, das Lagekriterium des Stadtmodellbausteins innerhalb der Siedlungen und einer TK-feldabhängigen Raumgliederung vollzogen. Aus der historischen Siedlungsentwicklung liegen Regional- und Orographieabhängige Siedlungsformen vor.

Diese wurden in der Weiterentwicklung der Stadtmodellbausteine zur Abschätzung der geschlossenen und offenen Bauweise im ländlichen Raum genutzt. Die Siedlungsflächen werden entsprechend mit den TK-feldbezogenen Typisierungen verschnitten und mit den entsprechenden Kenngrößen belegt.

3.5.4 Schätzverfahren für die Verteilung von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten und Erwerbstätigen am Arbeitsort

Für die innere Verteilung von Beschäftigten am Arbeitsort auf die innergemeindlichen Verkehrsbezirke wurde ein Schätzverfahren unter Verwendung der Stadtmodellbausteine angewendet¹. Das Verfahren basiert unter anderem auf den aktuellen Arbeiten zur im Entwurf befindlichen RAS-W, verteilt auf der Basis von GIS-Rasterdaten aus dem Basis-DLM der jeweiligen Landesvermessungsämter die gewünschten Strukturdaten und schätzt Beschäftigtenverteilungen anhand von Kenngrößen für die bauliche Nutzung. Für den Anteil Beschäftigten am Arbeitsort in den einzelnen Flächenausprägungen liegen aus den Arbeiten zur Entwicklung der Stadtmodellbausteine (s.o.) Anteile für die Flächen gemischter Nutzung vor. Hierzu wird der oben erläuterte Schlüssel verwendet. Die Qualität des Schätzverfahren kann durch zusätzliche Daten verbessert werden.

Die sv. Beschäftigten am Arbeitsort aus vorhandenen Statistiken auf Ebene der Gemeinden wurden mit Hilfe der Schätzung der Stadtmodellbausteine auf die Verkehrsbezirke verteilt. Anschließend wurden auf dieser Grundlage die Erwerbstätigen am Arbeitsort auf Ebene der Kreise auf die Verkehrsbezirke verteilt.

¹ Mahmoudi, S., Winand, U., Frenken, T., Huber, F., Meiners, H. und Brosch, K.: Weiterentwicklung der Stadtmodellbausteine als Grundlage für Abschätzungs- und Bewertungsaufgaben in der Verkehrsplanung. FE 70.554/1998 im Auftrag des BMVBW; Aachen/Herzogenrath 2001.

3.5.5 Integration der Gebäudedaten und manuelle Recherche

Im Projektverlauf standen ab einem gewissen Zeitpunkt Gebäudedaten mit Höheninformation zur Verfügung. Die Stadtmodellbausteine wurden zusätzlich mit einem Gewicht resultierend aus der Fläche und Höhe der Gebäude innerhalb des jeweiligen Stadtmodellbausteins versehen. Gebäudedaten welche als Garagen, Parkhäuser, Gewächshäuser, Türme, Tanks bzw. Dächer gekennzeichnet waren, wurden mit einem Abminderungsfaktor zwischen 0 und 0,1 versehen.

Der so entstandene Korrekturfaktor für die Erwerbstätigen am Arbeitsort ist ausschließlich in der Analyseversion vorhanden und dient der Nachvollziehbarkeit dieser Erweiterung. Der Korrekturfaktor ist im Bezirksattribut [VAL_ET_AO_GEW_OSMGEBAEUDE] hinterlegt und wird derart verwendet, dass die Ecksumme der Erwerbstätigen am Arbeitsort für die jeweilige Gemeinde erhalten bleibt.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden zu großen Arbeitsplatzstandorten, z.B. Daimlerwerke, Uni-Standorten, Häfen, Einzelrecherchen durchgeführt. Die vorgenommenen Eingriffe sind in den BDAs [VAL_ET_AO_KF_EINZELFALL] und [VAL_ET_AO_KF_EINZELFALL_KOMMENTAR] mit entsprechenden Quellenangaben kommentiert.

3.5.6 Verfahren für die Verteilung von Einwohnern

Für die Verteilung der Einwohner wurde das 100m-Gitter aus dem Zensus 2011 mit den Einwohnern nach 10 Altersklassen verwendet und mit Hilfe der ATKIS-Daten aus den Jahren 2011-2019 fortgeschrieben.

Durch einen Vergleich der ATKIS-Daten aus dem Jahr 2011 mit 2019 wurden neue Wohnflächen und Flächen gemischter Nutzung identifiziert. Dies sind zum einen Flächen, deren Funktion sich zwischen den Jahren zur Wohnfläche geändert hat und zum anderen Neubau-Wohnflächen (Abbildung 5). Dabei wurden kleine und für das Modell nicht relevante Flächen rausgefiltert. Ein Verschneiden der neuen Wohnflächen mit dem 100m-Gitter aus dem Zensus 2011 ermöglichte eine anteilmäßige Bevölkerungsverteilung für das Jahr 2019.

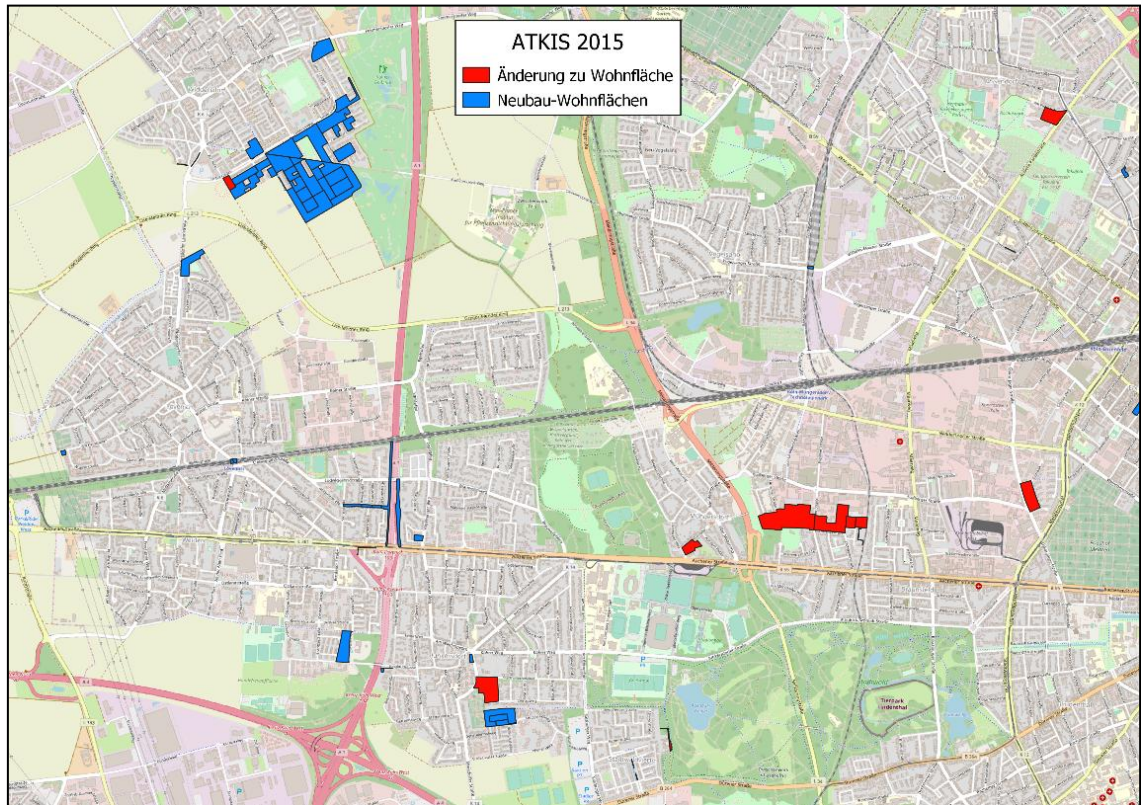


Abbildung 5: Ausschnitt Wohnbauflächen in ATKIS 2015 (Quelle: SSP Consult)

Diesen Flächen wurden mit Hilfe der Schätzung aus den Stadtmodellbausteinen Einwohner zugeordnet. Die Verteilung der Einwohner auf die 10 Altersklassen des Zensus 2011 in Neubaugebieten wurde gemäß einer üblichen Verteilung von Altersklassen in den Neubaugebieten vorgenommen. Anschließend wurde das Raster des Zensus 2011 auf die Einwohner der Gemeindestatistik 2019 hochgerechnet.

Mit Hilfe des Rasters wurden die Einwohner auf die Verkehrsbezirke verteilt. Anschließend wurden über die Einwohner zwischen 15 und 65 Jahren die sv. Beschäftigten am Wohnort (Ebene Gemeinden) auf die Verkehrsbezirke verteilt. Da für die Erwerbstätigen am Wohnort keine Statistiken vorliegen, wurden über den Faktor Erwerbstätige AO/sv. Beschäftigte AO die sv. Beschäftigten am Wohnort auf Erwerbstätige am Wohnort hochgerechnet.

Die verkehrsbezirksfeinen Einwohner nach Altersklassen sind in der VISUM-Versionsdatei für die Nachfrageberechnung LVM_BW_Modellform_NFM_PV_V01.ver in den Bezirksattributen mit dem Präfix „SG_1_EW...“ hinterlegt. Die Erwerbstätigen am Wohnort bzw. am Arbeitsort finden sich in den Bezirksattributen bzw. [SG_3_BES_AO_BERECHNET].

3.6 Adressscharfe Informationen

Ein weiteres Verteilungsverfahren diente der Geokodierung von adressscharfen Informationen. Adressfeine Informationen liegen für die folgenden Strukturgrößen vor, die in der VISUM-Versionsdatei mit Nachfragemodell LVM_BW_Modellform_NFM_PV_V01.ver als POIs hinterlegt sind:

- OSM-Daten, POI-Kategorie 3 „OSM-Daten“
- Schulstandorte, POI-Kategorie 24 „Bildungsdaten BaWü Schulen“
- Hochschulstandorte, POI-Kategorie 23 „Bildungsdaten BaWü Hochschuldaten“

Die VISUM-POIs sind über Listen → Netz → POIs als Listen aufruf- und auswertbar, über Grafikparameter darstellbar und als Shapes exportierbar.

Die POI wurden aus dem Open-Street-Map-Datensatz (OSM) ausgewertet und in die folgenden Kategorien, hinterlegt im POI-Attribut [CODE] für die Daseinsvorsorge unterteilt:

Kategorie	Name
1110	Frühe Bildung
1140	Berufliche Schulen
1150	Hochschule
1160	Sonderpädagogische Bildungs- und Beratungszentren (SBRZ)
1210	Hausärzte und Fachärzte
1240	Apotheken
1250	Krankenhäuser
1260	Pflegeeinrichtungen
1270	Rettungsdienste
1280	Sonstige Dienstleister aus dem Bereich Gesundheit
1310	Supermärkte
1320	Lebensmittelgeschäfte (alias Facheinzelhandel)
1330	Tank- und Ladestellen
1340	Drogerien
1360	Einzelhandel
1410	Sportplätze und Grünanlagen
1420	Schwimmbäder
1430	Restaurants und Cafes
1440	Hotels und Pensionen
1450	Kultur-Veranstaltung
1460	Kultur-Bildung
1470	Religiöse Gebäude
1510	Ämter
1520	Polizei
1530	Jobcenter
1540	Banken
1550	Post
1560	Friseure

Tabelle 8: Codes der OSM-POIs

Für die einzelnen Ziele der Kategorie Bildung wurde die offizielle Schul- und Hochschulstatistik des Landes herangezogen. Georeferenzierte Daten zumindest für die Schulen liegen dem Landesvermessungsamt (LFA) vor. Die Schulstandorte enthalten Schülerzahlen und Anzahl Klassen sowie die Schulform. Die Lehrkräfte konnten über die Anzahl Schüler und Klassen über eine Statistik der KMK² abgeleitet werden. Durch diesen Verschnitt war es möglich die Aktivitätenpotentiale der Schüler je Verkehrsbezirk zu ermitteln, welche für Schulwege benötigt werden. Die Hochschulen Baden-Württembergs wurden ebenfalls adressfein verortet. Sind Hochschulen in Institute unterteilt, wurden diese als eigene POI in die Datenbank implementiert. Studierende an den Hochschulen und in den einzelnen Instituten stehen nicht zur Verfügung, eine Recherche der einzelnen Standorte erfolgte manuell. Die Verteilung der Hochschulplätze auf die einzelnen Standorte wurde im Rahmen des Kalibrierungsprozesses ggf. noch angepasst. Somit stehen für die Wege zur Universität die entsprechenden Aktivitätenpotentiale für die Verkehrsmodellrechnung zur Verfügung.

Singuläre Verkehrserzeuger im Untersuchungsraum wurden für das LKW-Modell zur Abbildung des Güterverkehrs benötigt. Für das LKW-Modell wurden die folgenden beispielhaft aufgelisteten singulären Verkehrserzeuger recherchiert, welche in Abstimmung mit dem AG final festgelegt wurden:

- Güterverteilzentren
- Häfen und Umschlagsanlagen des kombinierten Verkehrs
- Große Logistikstandorte

Diese Singulären Verkehrserzeuger sind ausschließlich im Güterverkehrsmodell implementiert.

Für den Personenverkehr erfolgte keine explizite Kennzeichnung der singulären Verkehrserzeuger. Stattdessen werden die OSM-basierten POIs in Abhängigkeit der Gebäudefläche, der Kategorie und des Names u.a. unter Verwendung der Arbeiten von Bosserhoff, Besucherzahlen abgeschätzt. Für eine Vielzahl von OSM-POIs wurden Besucherzahlen manuell abgeschätzt, dazu gehören u.a. Zoologische Gärten, Museen, Arenen/Großveranstaltungshallen, Baumärkte, Möbelhäuser, Freizeitparks und Spaß- und Erlebnisbäder.

3.7 Bildungsdaten, Einkaufs-, Freizeit- und Erledigungspotenziale im Einflussraum

Die Daten zu Bildung bzw. OSM-Daten zu Einkaufs-, Freizeit- und Erledigungspotenzialen liegen ausschließlich für Baden-Württemberg in bereinigter und aufbereiteter Form vor. Für die Bezirke im Einflussraum erfolgte daher eine Abschätzung der entsprechenden Potenziale. Hierfür wurden anhand der Einwohner in entsprechender Altersgruppe die Attraktionspotenziale je Person in der Bezugsaltersgruppe für die Raumtypen in Baden-Württemberg berechnet und auf die Bezirke im Einflussraum übertragen.

² <https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/statistik/schulstatistik/schueler-innen-klassen-lehrkraefte-und-absolvierende.html>

4 Abbildung des Verkehrsangebots für den Kfz-Verkehr

4.1 Straßennetzgraph

Das Angebotsmodell für den MIV wurde mit der Auflösung eines Navigationsnetzes erstellt. Hierzu wurde die Modellgrundlage des Open Street Map (OSM) Projektes mit dem Stand 2019 genutzt.

Im Planungsraum wurde das Angebotsmodell bis zur Verbindungsfunktionsstufe (VFS) V nach den RIN aufgebaut. Hierbei wurden außerorts alle klassifizierten Straßen zuzüglich der Gemeindeverbindungsstraßen berücksichtigt. Innerorts wurden im Planungsraum alle Straßen bis hinunter zur Sammelstraße und falls notwendig auch Anliegerstraße im Angebotsmodell hinterlegt. Im Einflussraum wurde die Netzdichte bis zur VFS III implementiert. Hierbei handelt es sich in der Regel um Landes- bzw. Staatstraßen, welche die Erschließung von Metropolregionen, Oberzentren und Mittelzentren von den Grundzentren aus abbilden. In dieser VFS sind ebenfalls die Verbindungen von Grundzentren untereinander enthalten.

Die folgenden Netzvereinfachungen des komplexen Aufbaus des OSM-Netzgraphen sind vorgenommen worden:

- Komplexe plangleiche Knotenpunkte und Kreisverkehre sind zu einem Knotenpunkt zusammengefasst worden, während planfreie Knotenpunkte mit ihren Rampen ausmodelliert bleiben.
- Richtungsgetrennte Strecken, welche parallel digitalisiert sind, sind zu einer Strecke zusammengefasst worden.

Das, aus der OSM-Datenbank abgefragte und ausgedünnte, Angebotsmodell für den MIV wurde in die VISUM-Fachsoftware eingelesen und plausibilisiert. Hierbei wurden die Routingfähigkeit, die Vollständigkeit und der Befüllungsgrad der Attribute geprüft.

Die Grundversorgung des Angebotsmodells für den MIV umfasst die folgenden Attribute, die mittels der OSM-Daten, Netzdaten aus der Straßeninformationsbank (SIB) BW und dem Höhenmodell des Basis-DLM in einem Standard-GIS übertragen werden:

- Straßenklasse (SIB)
- Streckentyp zur Beschreibung des Ausbauzustands (OSM, SIB)
- zulässige Verkehrssysteme (OSM, AG)
- zulässige Geschwindigkeit (OSM)
- Länge (Länge Polygon)
- Steigung (Basis-DLM)
- Seitenstreifenfreigabe: ja/nein
- Streckenbeeinflussung: ja/nein
- Anzahl Fahrstreifen
- Tunnelstrecke (SIB, OSM)

Das übergebende Netzmodell ist ein Maximalnetz aus Analyse und verschiedene Prognoseszenarien. Es werden ausschließlich jene Elemente berücksichtigt, die für den vorliegenden gültig sind. Die jeweils nicht gültigen Netzelemente sind über entsprechende Typisierung gesperrt.

4.2 Radverkehrsnetzgraph

Das parametrisierte und geprüfte Straßennetzmodell wurde als Grundlage für die Ergänzung fehlender Radstrecken verwendet. Durch einen Abgleich mit dem Netz des Touristisches Freizeitinformationssystem TFIS wurden fehlende Strecken für die Abbildung des Radverkehrs identifiziert und im Modell ergänzt.

Als Grundlage für die Attribuierung wurde eine Referenzierung des TFIS zum ergänzten OSM-Straßennetz vorgenommen. Die im TFIS vorhandenen Informationen zu Beschreibung des Ausbaustandes bzw. zur Angebotsqualität wurden anschließend übertragen. Strecken, die nicht durch den Radverkehr nutzbar sind (z.B. Autobahnen, mehrstreifige Bundesstraßen usw.) wurden für den Radverkehr gesperrt. Höhendaten zur Berechnung der Längsneigung wurden aus Copernicus- Satellitendaten ermittelt und allen Knoten als Z-Wert zugespielt.

Das übergebende Netzmodell ist ein Maximalnetz aus Analyse und verschiedene Prognoseszenarien. Es werden ausschließlich jene Elemente berücksichtigt, die für den vorliegenden gültig sind. Die jeweils nicht gültigen Netzelemente sind über entsprechende Typisierung gesperrt.

4.3 Nummerierungskonzept

Die Netzmodelle für den IV und den ÖV werden in getrennten Visum Versionen vorgehalten, basieren aber für den Straßenverkehr auf einem gemeinsamen Netzgraphen (vgl. Kapitel 4.1), welcher im ÖV um Schienennetzgraphen ergänzt wird. Der generalisierte Straßennetzgraph wurde mit Knoten- und Streckennummern kleiner 9.999.999 zur Verfügung gestellt. Für die weitere Bearbeitung der Netzmodell wurde zur Gewährleistung der Unterscheidbarkeit ein Nummerierungskonzept implementiert, welches auch die Kompatibilität und Vergleichbarkeit der separaten Netzmodelle ermöglicht. Daher werden die Knotenpunktnummern aus dem gemeinsamen Startnetz in beiden Netzmodellen beibehalten, für neue Knotenpunkte werden getrennte Nummernbereiche verwendet.

Die Knoten- und Streckennummern wurden jeweils bei Übergabe an ÖV bzw. MIV/Rad Bearbeiter in BDA der Form [Startnetz_[FortlaufendeNummerDesAttributs]_[Netzobjekt]] hinterlegt (z.B. [Startnetz-01_NR], [Startnetz-02_VONKNO], [Startnetz-03_NACHKNO], [Startnetz-08_Typ]).

Für die weitere Bearbeitung bekommen die Netze von ÖV und MIV/Rad unterschiedliche Nummernbereich für neue Knoten zugewiesen:

- ÖV 10.000.000 bis 19.999.999 (der Bereich bis 15.000.000 entfällt auf das Schienennetz)
- MIV/Rad ab 20.000.000

Durch die Speicherung der initialen vonKnoten / nachKnoten Nummern an Strecken wird gewährleistet, dass auch nach dem Splitten von Strecken eine Übergabe von streckenbezogenen Attributen (z.B. Streckenbelastung durch Busse) vom ÖV zum IV Netzmodell möglich ist.

4.4 IV-Verkehrssysteme

Die folgende Tabelle zeigt die angelegten IV-Verkehrssysteme mit Angabe der jeweiligen Pkw-Einheiten.

Code	Name	Typ	Pkw-Einheiten
LFZ	Lfz < 3,5 t	IV	1,0
LkwK	Lkw 3,5-7,5t	IV	1,5
LkwM	Lkw 7,5-12t	IV	2,0
LkwG	Lkw >12t	IV	2,5
P	Pkw	IV	1,0
R-B	Rad-Bio	IV	0
R-P	Rad-Pedelec	IV	0
F	Fuß	IV	0
#	gesperrt	IV	0

Tabelle 9: IV-Verkehrssysteme

Das Verkehrssystem „# gesperrt“ wird verwendet, um Strecken zu kennzeichnen, die für alle Verkehrssysteme gesperrt sind.

4.5 Streckentypisierung

Aufbauend auf der Grundattribuierung des Angebotsmodells (s. Kapitel 4.1) wurde eine Typisierung der Strecken entwickelt. Diese umfasst im Sinne der Abbildung der hohen Differenzierung des Straßennetzes 531 verschiedene Streckentypen. Diese unterscheiden sich in den folgenden Kennwerten.

- Zulässiges Verkehrssystem
- Rang
- Anzahl Fahrstreifen
- Kapazität
- Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss v0
- CR-Funktion
- vMax der Verkehrssysteme

- Ortslage
- Straßenklasse/Netzhierarchie

In der folgenden Tabelle ist die Anzahl der Streckentypen je Straßenklasse/Netzhierarchie eingetragen.

Nummer	Name
ÖV-Strecke	50
Autobahn	72
Bundesstraße	95
Landesstraße	77
Kreisstraße	73
Gemeindestraße	45
Hauptstraße	36
Erschließungsstraße	51
Rampe	26

Tabelle 10: Streckentypen je Klasse

Jede Strecke des Angebotsmodells ist einem Typ zugeordnet. Die Attribute Anzahl Fahrstreifen, Kapazität und v0IV der Strecken werden im Verfahrensablauf von denen der Streckentypen übernommen. So ist eine typenstrenge Attribuierung sichergestellt. Jedem Streckentyp wurde für die Emissionsberechnung nach HBEFA ein HBEFA-Streckentyp zugeordnet. Die Zuordnung kann im Verkehrsmodell nachvollzogen werden.

4.6 Knotentypisierung

Für die Knoten des Netzmodells ist wie für die Strecken eine Typisierung umgesetzt. Diese umfasst 14 Knotentypen, die sich anhand der Regelungsart, der Ortslage, der Anzahl der Arme und weiterer Eigenschaften unterscheiden. Jeder Knoten des Netzmodells ist einem dieser Typen zugeordnet. Die Knotentypen sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Nummer	Name
0	Typ noch nicht vergeben
1	zuschlagsfrei (0-armig)
10	zuschlagsfrei (1-armig)
20	zuschlagsfrei (2-armig)
30	zuschlagsfrei (mehrarmig)
31	LSA (innerorts)
32	LSA (außerorts)
33	Vorfahrtsknoten (innerorts)
34	Vorfahrtsknoten (außerorts)
35	gleichrangig Hauptnetz
36	gleichrangig Nebennetz
37	Auf- oder Abfahrt von und zur BAB-Hauptfahrbahn
38	Sonstige Auf- oder Abfahrt oder Knoten innerhalb von Rampensystemen

Tabelle 11: Knotentypen im LVM-BW

Widerstände auf Ebene der Knoten sind nicht implementiert. Die Kapazität aller Knoten beträgt 100.000 Kfz/24h und die t_0 -Zeit 0 s. Dies sind die Standardwerte, die für neu eingefügte Knoten gesetzt werden und anschließend beibehalten werden. Die CR-Funktion ist konstant.

Für die Abbieger sind konstante Abbiegezeiten bei freiem Verkehrsfluss t_0 definiert. Eine Berechnung auslastungsabhängiger Widerstände an Knoten erfolgt nicht. Die Abbiegezeiten hängen von der Typ-Nummer des Überknotens, der Typ-Nummer des Abbiegers bzw. der Abbiegerichtung und der Stromhierarchie ab. Die definierten Zeiten sind in Tabelle 12 dargelegt.

Knoten	Abbieger		
Name	Stromhierarchie	Abbiegetyp	Zeitzuschlag [s]
Typ noch nicht vergeben	alle	alle	0
zuschlagsfrei (0-armig)	alle	alle	0
zuschlagsfrei (1-armig)	alle	alle	0
zuschlagsfrei (2-armig)	alle	alle	0
zuschlagsfrei (mehrarmig)	alle	alle	0
LSA (innerorts)	++	alle	10
	+-	R, G	12
		L, W	12
	-+	R, G	12
		L, W	15
	--	alle	15
LSA (außerorts)	++	alle	10
	+-	R, G	13
		L, W	15
	-+	R, G	15
		L, W	20
	--	alle	20
Vorfahrtsknoten (innerorts)	++	alle	1
	+-	R, G	3
		L, W	5
	-+	R, G	8
		L, W	10
	--	alle	10
Vorfahrtsknoten (außerorts)	++	alle	3
	+-	R, G	5
		L, W	8
	-+	R, G	8
		L, W	10
	--	alle	10
gleichrangig Hauptnetz	alle	alle	5
gleichrangig Nebennetz	alle	alle	3
Auf- oder Abfahrt von und zur BAB-Hauptfahrbahn	++	alle	0
	alle anderen	alle	3

Knoten	Abbieger		
Name	Stromhierarchie	Abbiegetyp	Zeitzuschlag [s]
Sonstige Auf- oder Abfahrt oder Knoten innerhalb von Rampensystemen	alle	alle	3

Tabelle 12: Abbiegewiderstände im LVM-BW

Die Kapazität beträgt für alle Abbieger 999.999. Ihr kommt bei konstanten Zeitzuschlägen keine Relevanz zu. Die Zeiten und Kapazitäten sind im Modell in den Abbiegestandards hinterlegt. Von dort werden sie im Verfahrensablauf in das entsprechende Visum-Attribut der Abbieger übertragen.

4.7 Anbindungen

Im Netzmodell werden zwei Anbindungsmethoden unterschieden: die direkte Anbindung (Einfach-anbindung) und die prozentuale Anbindung (Mehrfachanbindung). Die Mehrfachanbindung wird in den Fällen genutzt, in denen aufgrund der Größe oder Struktur der Verkehrsbezirke eine solche erforderlich ist. In dem Modell sind alle Bezirke zunächst direkt angebunden. Nach der Umlegung einer provisorischen Kfz-Matrix wurden ca. 300 Bezirke identifiziert, bei denen die Strecken im Bereich der Anbindeknoten überlastet sind. In diesen Fällen wurde geprüft, ob eine weitere Anbindung sinnvoll ist. Anschließend wurden prozentuale Anbindungsanteile vergeben. Eine Mehrfachanbindung wurde insgesamt bei 171 Bezirken angewandt.

Für die Generierung der Anbindungen standen das Netzmodell, die Verkehrsbezirke (Planungsraum + Einflussraum) und die Rasterdaten für die Einwohner und Erwerbstätige (Baden-Württemberg) zur Verfügung. Die Einspeisung sollte im Planungsraum (Baden-Württemberg) in das Nebennetz und im Einflussraum in das übergeordnete Netz erfolgen.

Bei der Einspeisung im Einflussraum wurden folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- möglichst an mehrarmigen Knoten anbinden
- Anbindungen bevorzugt an Straßen im übergeordneten Netz

Anschließend wurden die Anbindungen manuell geprüft, bei denen der Anbindeknoten außerhalb des Bezirks liegt. Dabei ergaben sich folgende drei Fälle mit den entsprechenden Vorgehensweisen:

- Der Bezirk hat eine einzige übergeordnete Strecke, die jedoch keine Knoten innerhalb des Bezirks aufweist. Dann wurde die Strecke gesplittet und der Bezirk wurde an den entstandenen Knoten angebunden.
- Alle Strecken des Bezirks gehören zum Nebennetz. Die Einspeisung erfolgte dann an einem mehrarmigen Knoten im Nebennetz.
- Innerhalb des Bezirks gibt es keine Strecken. Dann wurde der Bezirk an einen passenden Knoten außerhalb des Bezirks angebunden.

Für die Einspeisung im Planungsraum wurden die Rasterdaten (Einwohner) zu einzelnen zusammenhängenden Gebieten zusammengefasst. Dies ist in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

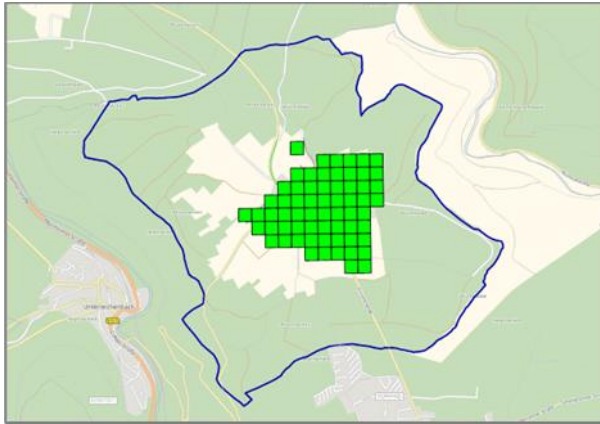


Abbildung 6: Rasterdaten vor der Zusammenfassung

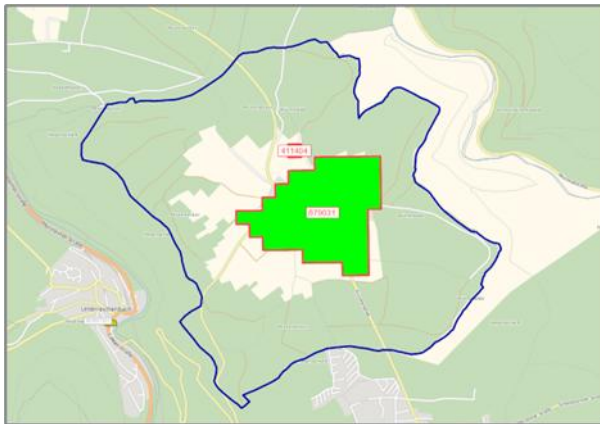


Abbildung 7: Rasterdaten nach der Zusammenfassung

In jedem Bezirk wurde das größte Gebiet (nach Einwohneranzahl) ermittelt. Die Einspeisung erfolgte an die Knoten, die im nachgeordneten Netz innerhalb des ausgewählten Gebietes liegen und vorzugsweise mehrarmig sind. Wenn innerhalb eines Bezirks keine Rasterdaten (Einwohner) vorhanden waren, wurde an den nächstgelegenen geeigneten Knoten angebunden. Dies ist in Abbildung 8 dargestellt.

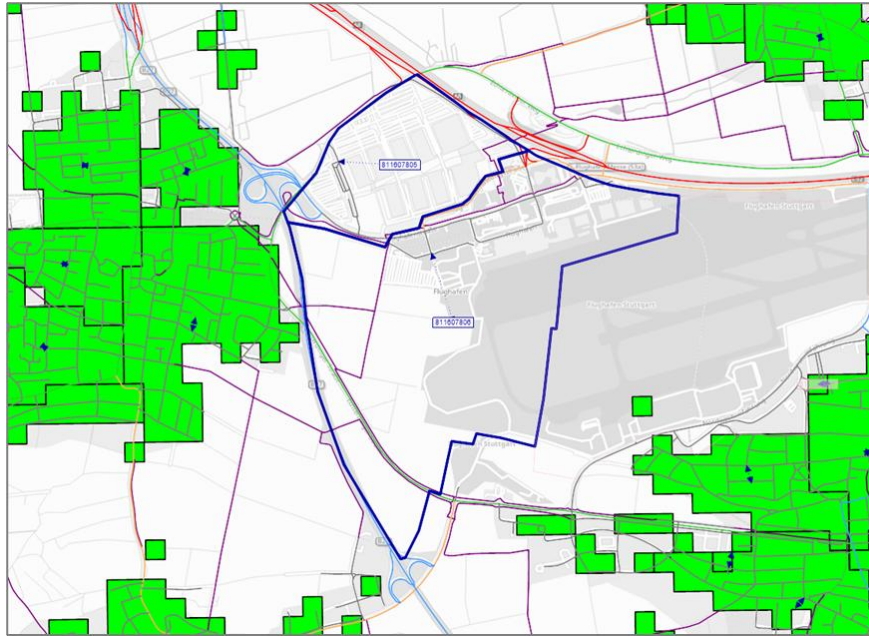


Abbildung 8: Anbindung außerhalb des Bezirks

Ähnlich wie bei dem Einflussraum wurde geprüft, ob die Anbindenknoten außerhalb des Bezirks liegen. Solche Anbindungen wurden manuell korrigiert.

Während der Implementierung der Anbindungen wurden die Rasterdaten für die Arbeitsplätze übergeben. Darauf aufbauend wurden Bezirke, bei denen die Fläche der Rasterdaten für Erwerbstätige größer als die der für Einwohner ist, geprüft. Bei Bedarf erfolgte eine Anpassung der Anbindungen. Dies ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.

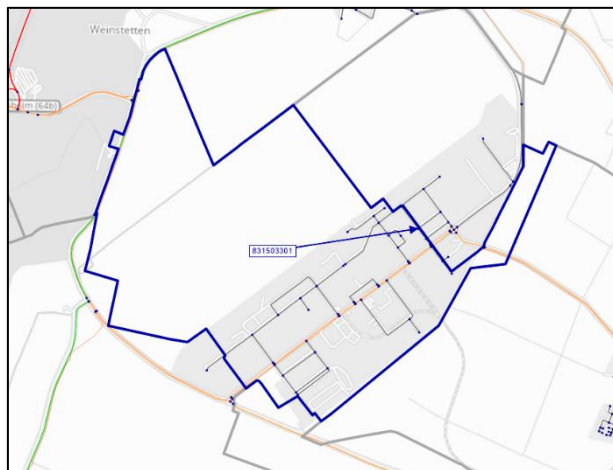


Abbildung 9: Anbindungen vor der Korrektur auf der Grundlage der Arbeitsplätze

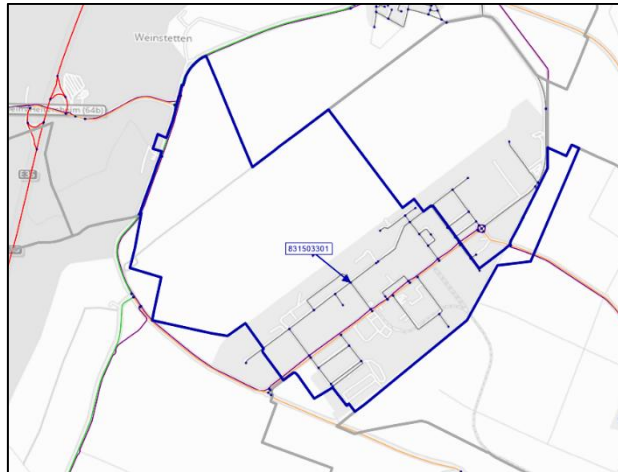


Abbildung 10: Anbindungen nach der Korrektur auf der Grundlage der Arbeitsplätze

Die Attribuierung der Anbindungen wurde wie folgt durchgeführt:

- Typ:
 - 1 – alle IV-Verkehrssysteme
 - 2 – nur Kfz
 - 3 – nur Rad/Pedelec/Fuß
- Länge: einheitlich 0,1 km
- t_0 : bei Fuß – 1 min, bei anderen Verkehrssystemen – 2 min

4.8 Widerstandsfunktionen

Für die Verkehrssysteme des IVs ist in den allgemeinen Verfahrenseinstellungen eine Widerstandsfunktion für die verschiedenen Netzelemente definiert. Für die Anbindungen und die Abbieger ist der Widerstand für alle Verkehrssysteme die Zeit im belasteten Netz t_{Akt} . Für die Strecken umfasst der Widerstand verschiedene Komponenten und unterscheidet sich zwischen den Verkehrssystemen. Für alle Verkehrssysteme werden die Fahrzeit im belasteten Netz t_{Akt} [min] und die Entfernungskosten [€] berücksichtigt. Für den Lkw-Verkehr > 7,5 t (Verkehrssysteme LkwM und LkwG) werden zudem ein Beharrungsfaktor zur Abbildung der Präferenz für das übergeordnete Netz und die Mautkosten auf Autobahnen und Bundesstraßen berücksichtigt. Die einzelnen Komponenten werden additiv zusammengefasst. Dabei werden sie im Sinne einer möglichst hohen Genauigkeit mit dem Faktor 100 multipliziert. Somit liegt der Widerstand in der Einheit Hundertstelsekunden vor. Die Streckenwiderstandsfunktionen der Verkehrssysteme des MIVs sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Widerstand für Verkehrssystem Pkw (Strecken)

Anzahl: 2	Koeffizient	Attribut	Op.	Koeffizient	Attribut
1	100,000000	tAkt-IVSys(PKW)	...		...
2	100,000000	Entfernungskosten_Pkw	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Pkw ...

Abbildung 11: Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems Pkw

Widerstand für Verkehrssystem Lfz (Strecken)

Anzahl: 2	Koeffizient	Attribut	Op.	Koeffizient	Attribut
1	100,000000	tAkt-IVSys(LFZ)	...		...
2	100,000000	Entfernungskosten_Lfz	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...

Abbildung 12: Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems Lfz

Widerstand für Verkehrssystem LkwK (Strecken)

Anzahl: 3	Koeffizient	Attribut	Op.	Koeffizient	Attribut
1	100,000000	tAkt-IVSys(LKWK)	... *	1,000000	Streckentyp\Lkw_Beharrungsfaktor ...
2	100,000000	Entfernungskosten_LkwK	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...
3	100,000000	Mautkosten_LkwK	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...

Abbildung 13: Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems LkwK

Widerstand für Verkehrssystem LkwM (Strecken)

Anzahl: 3	Koeffizient	Attribut	Op.	Koeffizient	Attribut
1	100,000000	tAkt-IVSys(LKWM)	... *	1,000000	Streckentyp\Lkw_Beharrungsfaktor ...
2	100,000000	Entfernungskosten_LkwM	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...
3	100,000000	Mautkosten	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...

Abbildung 14: Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems LkwM

Widerstand für Verkehrssystem LkwG (Strecken)

Anzahl: 3	Koeffizient	Attribut	Op.	Koeffizient	Attribut
1	100,000000	tAkt-IVSys(LKWG)	... *	1,000000	Streckentyp\Lkw_Beharrungsfaktor ...
2	100,000000	Entfernungskosten_LkwG	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...
3	100,000000	Mautkosten	... /	0,000278	Netz\Value-of-Time_Lkw ...

Abbildung 15: Streckenwiderstandsfunktion des Verkehrssystems LkwG

Die Kosten werden mit einem Value-of-Time in Sekunden umgerechnet. Dieser unterscheidet sich zwischen Pkw und Lkw. Für den Pkw beträgt er 10 €/h und für den Lkw 50 €/h. Diese Werte wurden aus "FE 70.919/2015 Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle" S. 99 entnommen und sind in Netzattributen hinterlegt.

Die verschiedenen Komponenten der Widerstandsfunktionen werden in den folgenden Abschnitten genauer erläutert.

4.9 CR-Funktionen

Anhand der CR-Funktionen wird aus der Auslastung der Strecken sowie der Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss v_{0IV} eine Geschwindigkeit im belasteten Netz v_{Akt} berechnet. Diese bildet die Grundlage für die Berechnung der Fahrzeit im belasteten Netz t_{Akt} . Diese ist in die Widerstandsfunktionen integriert.

Im Modell sind für die Strecken sechs verschiedene CR-Funktionen vom Typ LOHSE implementiert. Die verwendete CR-Funktion einer Strecke hängt von ihrem Streckentyp ab. Jedem Streckentyp ist eine CR-Funktion zuzuordnen. Die Zuordnung orientiert sich an der Netzhierarchie und der Ortslage. Die Parameter der CR-Funktionen und die ihnen zugewiesenen Streckentypen sind in Abbildung 16 dargestellt.

CR-Funktionen			
Anzahl: 7	umm	Name	Beschreibung
1	1	Autobahn	LOHSE (0.50 3.80 13.00 1.10)
2	2	Bundesstraßen außerorts	LOHSE (0.60 3.50 13.00 1.10)
3	3	Bundesstraßen innerorts	LOHSE (0.60 3.40 12.00 1.10)
4	4	Landes- und Kreisstraßen außerorts	LOHSE (0.70 3.40 12.00 1.10)
5	5	Landes- und Kreisstraßen innerorts	LOHSE (0.70 3.30 11.00 1.10)
6	6	Gemeindestraßen außer- und innerorts, Hauptstraßen und Erschließungsstraßen	LOHSE (0.70 3.20 10.00 1.10)
7	99	konstant	konstant

Abbildung 16: CR-Funktionen im LVM-BW

4.10 Lkw-Durchfahrtsverbote

Im Sinne einer wirklichkeitsnahen Abbildung des Lkw-Verkehrs sind die geltende Lkw-Durchfahrtsverbote (z. B. in Stuttgart) zu berücksichtigen. Diese werden mit dem Netzelement Regulierte Verkehrsbereiche abgebildet. Im Modell sind sechs Lkw-Durchfahrtsverbote bzw. regulierte Verkehrsbereiche enthalten. Diese sind in Abbildung 17 dargestellt und in Tabelle 13 aufgeführt.

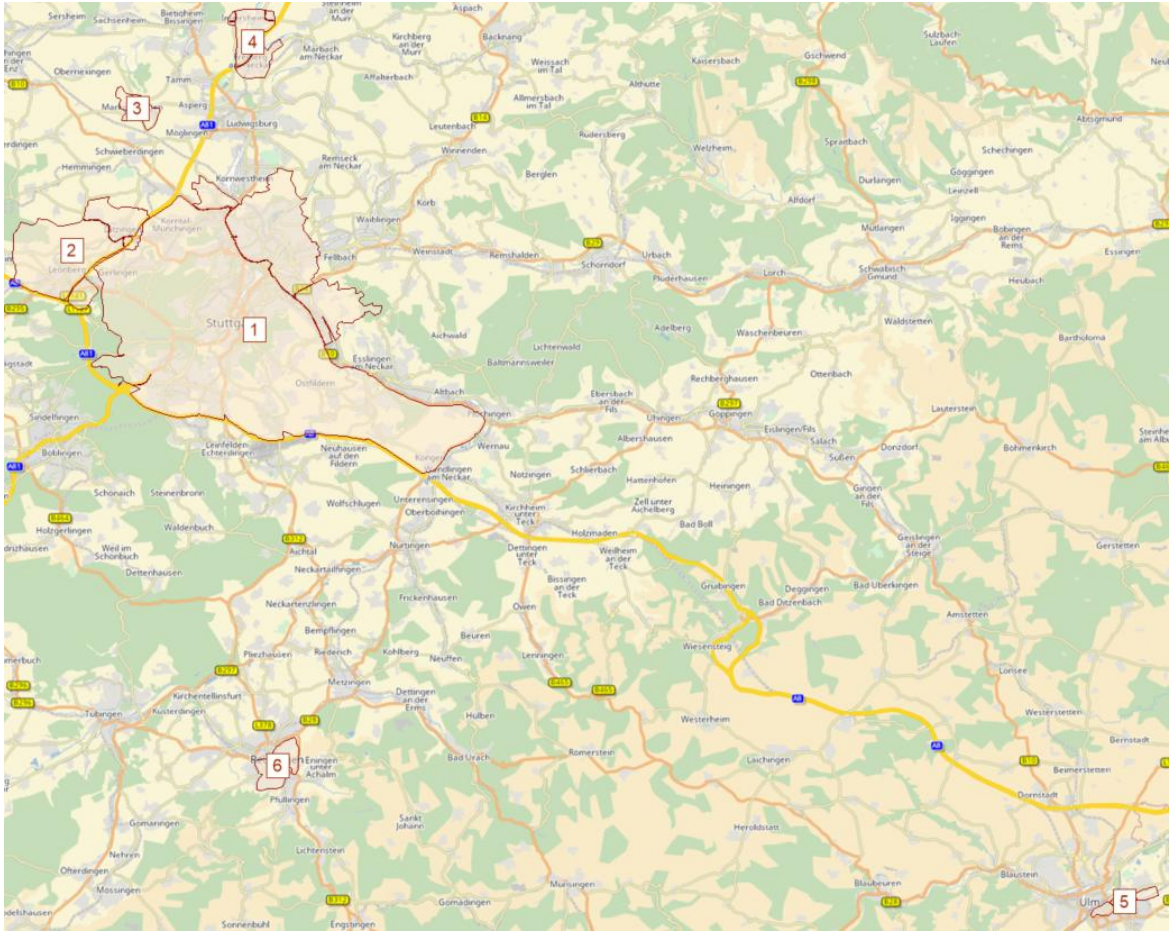


Abbildung 17: Lkw-Durchfahrtsverbote im LVM-BW

Nummer	Name
1	Stuttgart
2	Leonberg
3	Markgröningen
4	Freiberg
5	Neu-Ulm
6	Reutlingen

Tabelle 13: Lkw-Durchfahrtsverbote im LVM-BW

Diese regulierten Verkehrsbereiche gelten für die Lkw > 3,5 t (Verkehrssysteme LkW, LkW und LkW) und sind vom Typ „Durchfahrtsverbot“. Alle in einem solchen Gebiet liegenden Strecken sind diesem zugeordnet (siehe Streckenattribute „Regulierter Verkehrsbereich-Set“). Diese Strecken sind für den Durchgangsverkehr der dem Gebiet zugeordneten Bezirke gesperrt. Für den Binnen-, Quell- und Zielverkehr sind sie geöffnet.

4.11 Entfernungskosten

Für die Verkehrssysteme des MIVs werden die Entfernungskosten auf den Strecken berücksichtigt. Es gibt jeweils unterschiedliche Kostensätze für Pkw, Lfz und drei nach zulässigem Gesamtgewicht differenzierten Lkw-Arten. Zur Herleitung der jeweiligen Kostensätze wurden für die drei Antriebsarten Elektro, Diesel und Benzin die folgenden statistischen Input-Daten berücksichtigt:

- mittlerer Verbrauch je 100 km
- mittleren Kraftstoffkosten
- Flottenanteile

Die Berechnung der Kostensätze erfolgt in der Nachfrageversion. Die verschiedenen Eingangsdaten sind dort in der benutzerdefinierten Tabelle „Kraftstoffkosten“ hinterlegt und in Tabelle 14 aufgeführt.

Antriebsart	Kennwert	Verkehrssystem	Wert
Benzin	Flottenanteil [%]	Pkw	57,077359
Benzin	Verbrauch [l/100km]	Pkw	7,800000
Benzin	Kraftstoffkosten [€/l]	Pkw	1,420000
Diesel	Flottenanteil [%]	Pkw	45,622744
Diesel	Verbrauch [l/100km]	Pkw	7,000000
Diesel	Kraftstoffkosten [€/l]	Pkw	1,250000
Elektro	Flottenanteil [%]	Pkw	0,647470
Elektro	Verbrauch [kWh/100km]	Pkw	15,000000
Elektro	Stromkosten [€/kWh]	Pkw	0,304300
Benzin	Flottenanteil [%]	Lfz < 3,5 t	4,904700
Benzin	Verbrauch [l/100km]	Lfz < 3,5 t	9,475700
Benzin	Kraftstoffkosten [€/l]	Lfz < 3,5 t	1,420000
Diesel	Flottenanteil [%]	Lfz < 3,5 t	94,397000
Diesel	Verbrauch [l/100km]	Lfz < 3,5 t	10,647300
Diesel	Kraftstoffkosten [€/l]	Lfz < 3,5 t	1,250000
Elektro	Flottenanteil [%]	Lfz < 3,5 t	0,313700
Elektro	Verbrauch [kWh/100km]	Lfz < 3,5 t	30,198900
Elektro	Stromkosten [€/kWh]	Lfz < 3,5 t	0,304300
Benzin	Flottenanteil [%]	Lkw 3,5 - 7,5 t	0,000000
Benzin	Verbrauch [l/100km]	Lkw 3,5 - 7,5 t	0,000000
Benzin	Kraftstoffkosten [€/l]	Lkw 3,5 - 7,5 t	1,420000
Diesel	Flottenanteil [%]	Lkw 3,5 - 7,5 t	98,392800
Diesel	Verbrauch [l/100km]	Lkw 3,5 - 7,5 t	17,566500

Antriebsart	Kennwert	Verkehrssystem	Wert
Diesel	Kraftstoffkosten [€/l]	Lkw 3,5 - 7,5 t	1,250000
Elektro	Flottenanteil [%]	Lkw 3,5 - 7,5 t	0,478300
Elektro	Verbrauch [kWh/100km]	Lkw 3,5 - 7,5 t	71,054700
Elektro	Stromkosten [€/kWh]	Lkw 3,5 - 7,5 t	0,304300
Benzin	Flottenanteil [%]	Lkw 7,5 - 12 t	0,000000
Benzin	Verbrauch [l/100km]	Lkw 7,5 - 12 t	0,000000
Benzin	Kraftstoffkosten [€/l]	Lkw 7,5 - 12 t	1,420000
Diesel	Flottenanteil [%]	Lkw 7,5 - 12 t	97,570200
Diesel	Verbrauch [l/100km]	Lkw 7,5 - 12 t	20,143600
Diesel	Kraftstoffkosten [€/l]	Lkw 7,5 - 12 t	1,250000
Elektro	Flottenanteil [%]	Lkw 7,5 - 12 t	0,025300
Elektro	Verbrauch [kWh/100km]	Lkw 7,5 - 12 t	87,429500
Elektro	Stromkosten [€/kWh]	Lkw 7,5 - 12 t	0,304300
Benzin	Flottenanteil [%]	Lkw > 12 t	0,000000
Benzin	Verbrauch [l/100km]	Lkw > 12 t	0,000000
Benzin	Kraftstoffkosten [€/l]	Lkw > 12 t	1,420000
Diesel	Flottenanteil [%]	Lkw > 12 t	99,856000
Diesel	Verbrauch [l/100km]	Lkw > 12 t	32,386800
Diesel	Kraftstoffkosten [€/l]	Lkw > 12 t	1,250000
Elektro	Flottenanteil [%]	Lkw > 12 t	0,001100
Elektro	Verbrauch [kWh/100km]	Lkw > 12 t	97,449500
Elektro	Stromkosten [€/kWh]	Lkw > 12 t	0,304300

Tabelle 14: Eingangswerte für die Berechnung der Kraftstoffkosten

Die Berechnung der Entfernungskostensätze erfolgt im Verfahrensablauf in der Gruppe „Entfernungskosten MIV“. Die resultierenden Kostensätze sind in Tabelle 15 dargelegt.

Verkehrssystem	Entfernungskosten [€/km]
Pkw	0,0996
Lfz < 3,5 t	0,1331
Lkw 3,5 - 7,5 t	0,2196
Lkw 7,5 - 12 t	0,2518
Lkw > 12 t	0,4048

Tabelle 15: Entfernungskostensätze des MIVs

Im Modell sind sie in fünf Netzattributen mit dem Präfix „Entfernungskosten_“ hinterlegt. Im Rahmen der Kommunikation mit dem Netzmodell Straße und Rad werden sie aus der Nachfrageversion heraus an dieses übergeben und dort in den gleichnamigen Netzattributen hinterlegt.

Von diesen aus werden sie an die Streckentypen in die gleichnamigen Attribute übertragen. In Formelattributen mit dem Präfix „Entfernungskosten_“ werden aus ihnen und der Streckenlänge die Entfernungskosten je Strecke berechnet. Diese sind in die Widerstandsfunktion der MIV-Verkehrssysteme integriert.

4.12 Lkw-Maut

Die Lkw-Maut für Lkw > 7,5 t (Verkehrssysteme LkwM und LkwG) wird ebenfalls berücksichtigt. Dazu wurden im Streckenattribut „Mautpflichtig“ alle Autobahnen und Bundesstraßen als mautpflichtig gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung basiert auf den Streckentypen. Aus der Mautstatistik des KBA wurde ein mittlerer Kostensatz von 0,1749 €/km für die LkwG und 0,1023 €/km für die LkwM berechnet. Für den LkwK ist ein Mautsatz von 0,0 €/km implementiert. Die Mautsätze sind in den Netzattributen „Mautsatz_LkwK“, „Mautsatz_LkwM“ und „Mautsatz_LkwG“ hinterlegt. Die Mautkosten je Strecke werden in Formelattributen berechnet.

Des Weiteren wurde ein Lkw-Beharrungsfaktor zur Abbildung der Präferenz Lkw-Fahrer für das übergeordnete Straßennetz definiert. Dieser ist ein Attribut der Streckentypen und wird in der Streckenwiderstandsfunktion der Lkw > 3,5 t mit der Fahrzeit im belasteten Netz tAkt multipliziert. Autobahnen und Bundesstraßen wurde eine hohe Attraktivität für den Lkw-Verkehr unterstellt. Daher wurde für sie ein Faktor kleiner 1,0 angenommen. Für Autobahnen beträgt er 0,8 und Bundesstraßen außerorts 0,9. Für andere Straßenarten wurde eine geringe Attraktivität angenommen und daher Beharrungsfaktoren größer als 1,0 zur Erhöhung des Widerstandes angenommen. Diese sind in Tabelle 16 dargelegt.

Straßenklasse	Beharrungsfaktor [-]
Bundesstraße innerorts	1,25
Landesstraße außerorts	1,75
Kreisstraße außerorts	2,00
Kreisstraße innerorts	2,00
Gemeindestraßen außerorts	2,20
Hauptverkehrsstraßen	2,20
Erschließungsstraßen	2,20

Tabelle 16: Beharrungsfaktoren der Straßenklassen

4.13 Berechnen der Kenngrößen

Im Verfahrensablauf werden die Kenngrößenmatrizen des MIVs berechnet. Für den Pkw werden sie für die Reiseweite sowie die Reisezeit bei freiem Verkehrsfluss t_0 und die Reisezeit im belasteten Netz t_{Akt} ermittelt. Dies geschieht mit den Visum-Verfahrensschritten „IV-Kenngrößenmatrix“ berechnen.

Nach der Berechnung der Kenngrößen und vor ihrer Berücksichtigung in der Berechnung der Ziel- und Moduswahl werden sie bearbeitet. Die Bearbeitung ist ein automatisierter Bestandteil des Verfahrensablaufs. Dabei werden die Kenngrößenmatrizen einerseits symmetrisiert und andererseits wird ihre Hauptdiagonale besetzt. Für die Besetzung der Hauptdiagonalen wurde eine Differenzierung zwischen der Berechnung und der Auswertung implementiert. Die Hauptdiagonale ist somit bei der Durchführung der Modellberechnungen mit einem anderen Wert besetzt als bei der Auswertung der Ergebnisse des Modells.

Die Grundlage der Ermittlung der Werte für die Hauptdiagonale ist die maximale Distanz, die innerhalb eines Bezirks bei einem Weg zurückgelegt werden kann. Diese wurde je Bezirk aus den Rasterdaten der Einwohner und der Arbeitsplätze ermittelt. Dabei wurde jeder Hektarpixel einem Bezirk zugeordnet. Darauf aufbauend wurde das Maximum der Luftlinienentfernungen aller Paaren von Hektarpixeln innerhalb eines Bezirks ermittelt. Sie ist im Modell in den Attributen mit dem Präfix „MaxDist_“ hinterlegt.

Die Berechnung der mittleren Reiseweite für die Berechnung erfolgt durch die Multiplikation dieser maximalen Distanz mit einem Umwegfaktor. Sie ist in den Bezirksattributen mit dem Suffix „Reiseweite_Berechnung“ hinterlegt. Aus der resultierenden Reiseweite auf der Hauptdiagonale und einer mittleren Geschwindigkeit auf der Hauptdiagonale wurde die mittlere Reisezeit auf der Hauptdiagonalen für die Berechnung abgeleitet. Sie ist in den Attributen mit dem Suffix „Reisezeit_Berechnung“ hinterlegt. Die mittlere Geschwindigkeit auf der Hauptdiagonalen und der Umwegfaktor sind in der benutzerdefinierten Tabelle „Berechnung_Parameter“ hinterlegt und können dort angepasst werden.

Die Berechnung der mittleren Reiseweite für die Auswertung basiert auf den Verhaltensdaten aus MiD 2017. Für jede Kombination aus Raumtyp und Modus liegt aus MiD 2017 eine Reiseweitenverteilung vor. Damit wurde für jede Kombination aus Raumtyp und Modus für jede maximale Distanz (in Schritten von 100 m) eine mittlere Reiseweite berechnet. Dabei wurde die Reiseweitenverteilung an der betrachteten maximalen Distanz gekappt. Aus der verbleibenden Reiseweitenverteilung innerhalb der maximalen Distanz wurde eine mittlere Reiseweite berechnet. Diese mittleren Reiseweiten sind in der benutzerdefinierten Tabelle „Auswertung_Reiseweite“ hinterlegt. Von dort aus werden sie in die entsprechenden benutzerdefinierten Bezirksattribute übertragen. Die Berechnung der Reisezeit für die Auswertung erfolgt durch die Division der Reiseweite für die Auswertung durch die mittlere Geschwindigkeit. Die Bezirksattribute zur Besetzung der Hauptdiagonale für die Auswertung sind durch das Suffix „_Auswertung“ gekennzeichnet.

Die Bezirks-Attribute für die Hauptdiagonale sind durch das Präfix „Hauptdiagonale“ gekennzeichnet. Sie werden im Verfahrensablauf in der Gruppe „Kennwerte für Hauptdiagonale berechnen“ berechnet bzw. belegt.

4.14 Kenngrößen des Parkens

Für die mit dem LVM-BW zu bewertenden Maßnahmen sind die Kenngrößen des Parkens von Bedeutung. Diese umfassen die Parksuchzeit und die Parkkosten. Sie beeinflussen die Ziel- und Moduswahl und werden daher im Rahmen von deren Modellierung berücksichtigt.

Die Parksuchzeit wird aus dem Parkdruck abgeleitet. Die Grundlage der Ermittlung des Parkdrucks sind Nutzungsdichten. Diese werden im Verfahrensablauf in der Gruppe „Bezirks-Widerstände MIV“ berechnet. Dazu wird die Summe aus Einwohnern und Arbeitsplätzen sowie den potentialen weiterer Aktivitäten einerseits durch die relevante Fläche im Bezirk andererseits geteilt. Die relevanten Flächen wurden für Baden-Württemberg aus ATKIS und für das Umland aus OSM abgeleitet. Ändert ein in die Berechnung einfließendes Strukturdatum sind die Berechnung der Dichten und die anschließende Setzung der Klassen im Sinne der Aktualität und der Vollständigkeit zu wiederholen. Anhand der resultierenden Nutzungsdichte werden die Bezirke des Modellraumes auf Basis der Dichtepercentile 30, 60, 85 und 95 in 5 Klassen eingeteilt. Diese Perzentile haben sich in bisherigen Modellvorhaben bewährt. Die resultierenden Klassengrenzen sollten bei der Modellanwendung in den jeweiligen Szenarien konstant bleiben. Abbildung 18 zeigt die resultierende Einteilung.

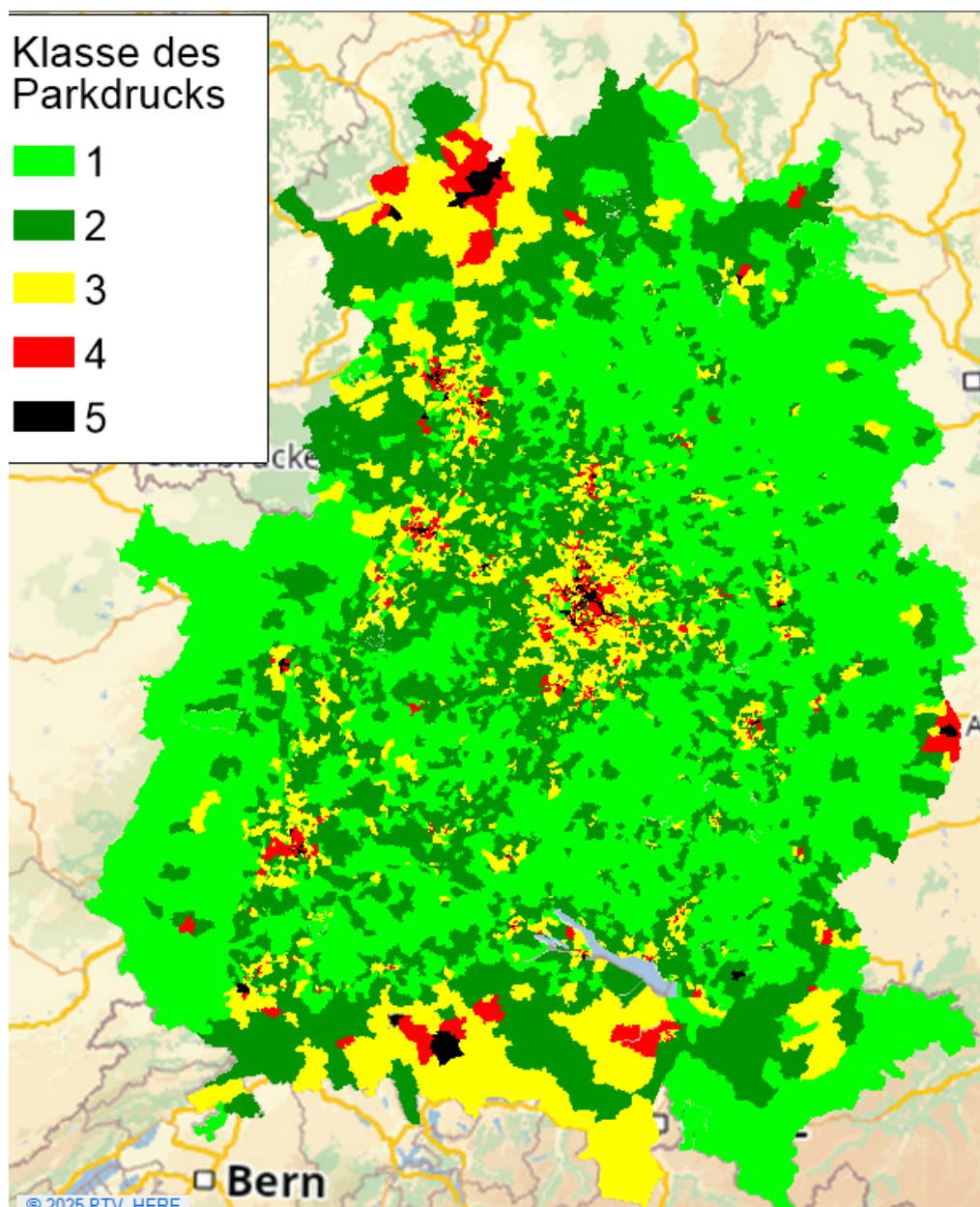


Abbildung 18: Parkdruck

Darauf aufbauend wurde jedem Parkdruck eine Parksuchzeit zugeordnet. Dies geschieht im Verfahrensablauf. Die zugeordneten Parksuchzeiten sind im Modell in der benutzerdefinierten Tabelle „Parksuchzeit“ hinterlegt und können dort angepasst werden. Sie sind in Tabelle 17 dargelegt.

Parkdruck [-]	Parksuchzeit [min]
1	0
2	1
3	3
4	5
5	6

Tabelle 17: Ableitung der Parksuchzeit [min] aus dem Parkdruck [-]

Für die Parkkosten wurden Daten von OSM ausgewertet. Dabei wurde jedem Bezirk die Zahl der in ihm liegenden Parkscheinautomaten zugewiesen. Diese sind im Attribut „Parkscheinautomaten enthalten“ hinterlegt und in Abbildung 19 dargestellt.

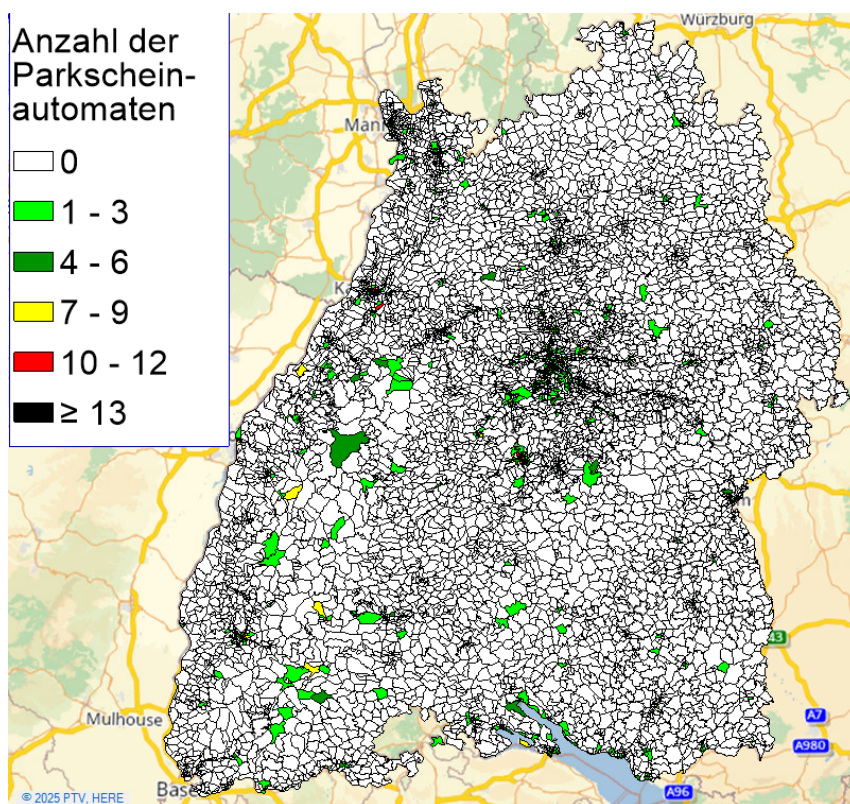


Abbildung 19: Zahl der Parkscheinautomaten aus OSM

Darauf aufbauend wurden die Parkkosten differenziert nach acht kreisfreien Städten einerseits (außer Baden-Baden) und dem restlichen Modellraum andererseits. Für den übrigen Modellraum erfolgte eine vereinfachte Setzung. Bezirke ohne Parkscheinautomaten erhielten einen Kostensatz von 0 €. Bezirke mit Parkscheinautomaten erhalten einen Standard-Parkkostensatz von 2 €. Dieser ist im Netzattribut „Parkkosten_Standard“ hinterlegt und kann dort angepasst werden. Dieser Wert wird in Abhängigkeit des Parkdrucks weiter erhöht. Diese zusätzlichen Parkkosten betragen 1 € bei Parkdruckstufe 4 und 2 € bei Parkdruckstufe 5.

Für die acht kreisfreien Städte erfolgte eine Recherche der Parkkosten. Im Resultat wurde jedem Bezirk dieser Städte ein mittlerer Kostensatz für eine Stunde Parken in/an Parkscheinautomat, Tiefgarage, Parkhaus etc. zugeordnet. Diese sind für jeden Bezirk der Stadt im Bezirksattribut „Parkkosten_Parkscheinautomaten“ hinterlegt und in Tabelle 18 dargelegt.

Stadt	Parkkosten [€/h]
Stuttgart	3,0
Mannheim	2,0
Karlsruhe	2,0
Freiburg im Breisgau	2,5
Heidelberg	2,5
Ulm	2,0
Heilbronn	1,5
Pforzheim	1,8

Tabelle 18: Mittlere Parkkosten an Parkscheinautomat, Tiefgarage, Parkhaus etc.

Andererseits wurde nach Parkraummanagement und Parkgebührenordnung recherchiert. Für die Städte Stuttgart, Pforzheim und Freiburg im Breisgau wurden Ergebnisse³ gefunden und ins Modell integriert. Die Parkkosten aus dem Parkraummanagement sind im Bezirksattribut [Parkkosten_Parkraummanagement] hinterlegt und für die drei genannten Städte in den folgenden drei Abbildungen dargestellt.

³ Stuttgart: <https://www.stuttgart.de/leben/mobilitaet/auto/parken/>

Freiburg im Breisgau: <https://www.freiburg.de/pb/1268180.html>

Pforzheim: https://www.pforzheim.de/fileadmin/user_upload/hauptamt/stadtrecht/1_SICHORD/1-5.pdf

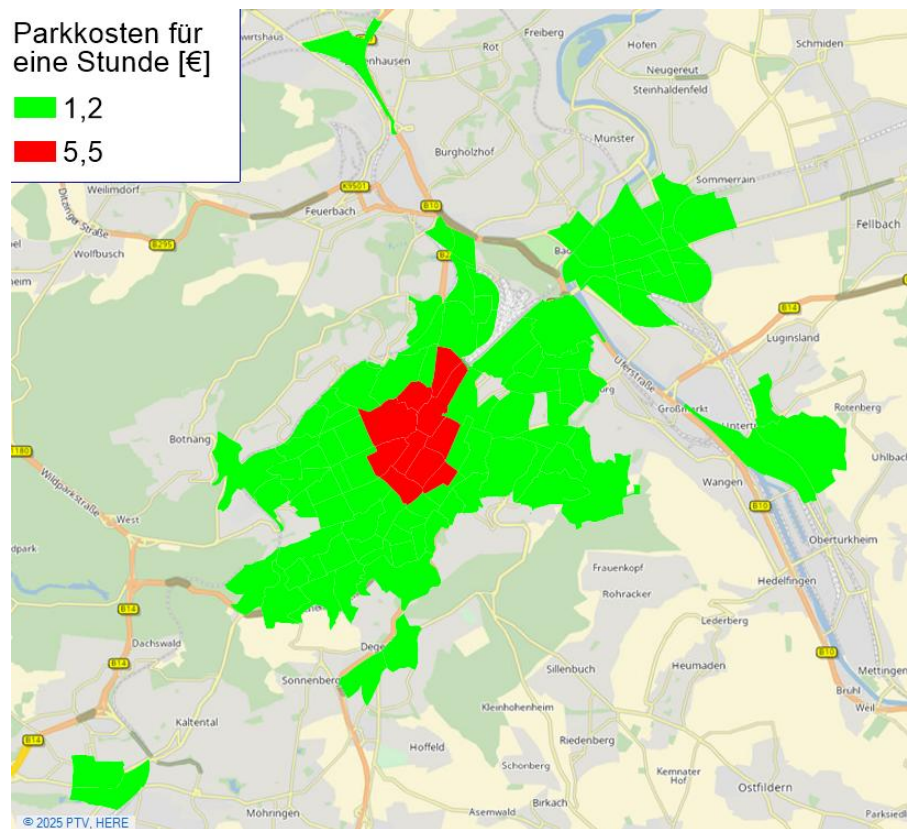


Abbildung 20: Parkkosten aus dem Parkraummanagement in Stuttgart

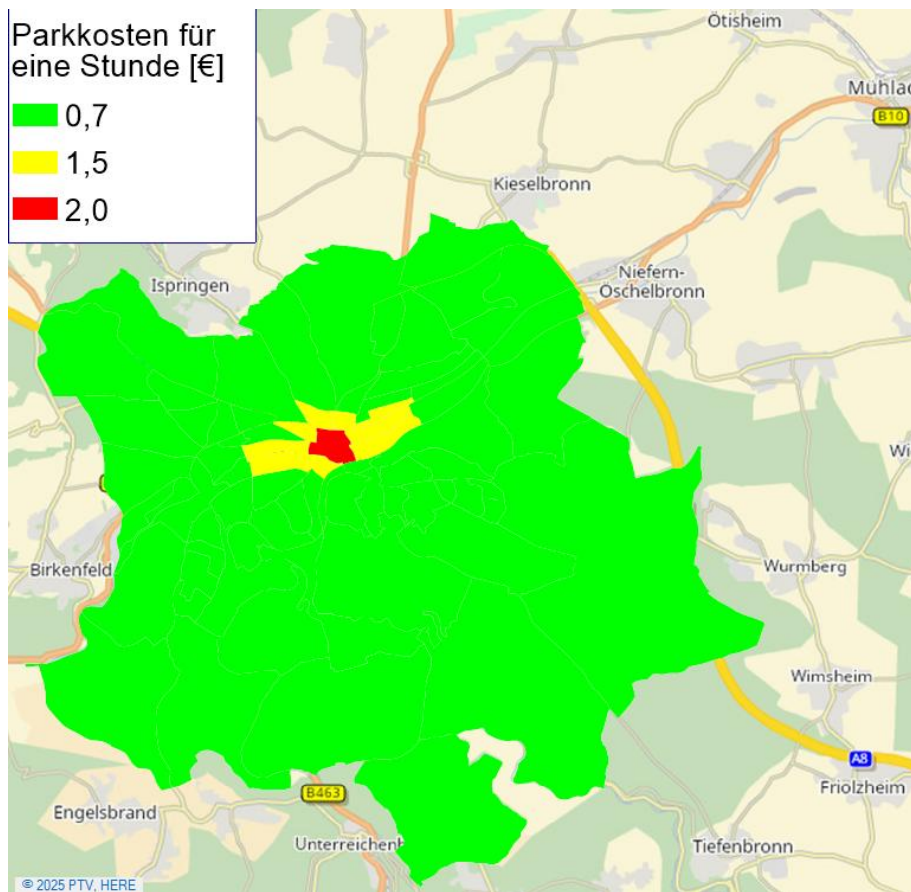


Abbildung 21: Parkkosten aus dem Parkraummanagement in Pforzheim

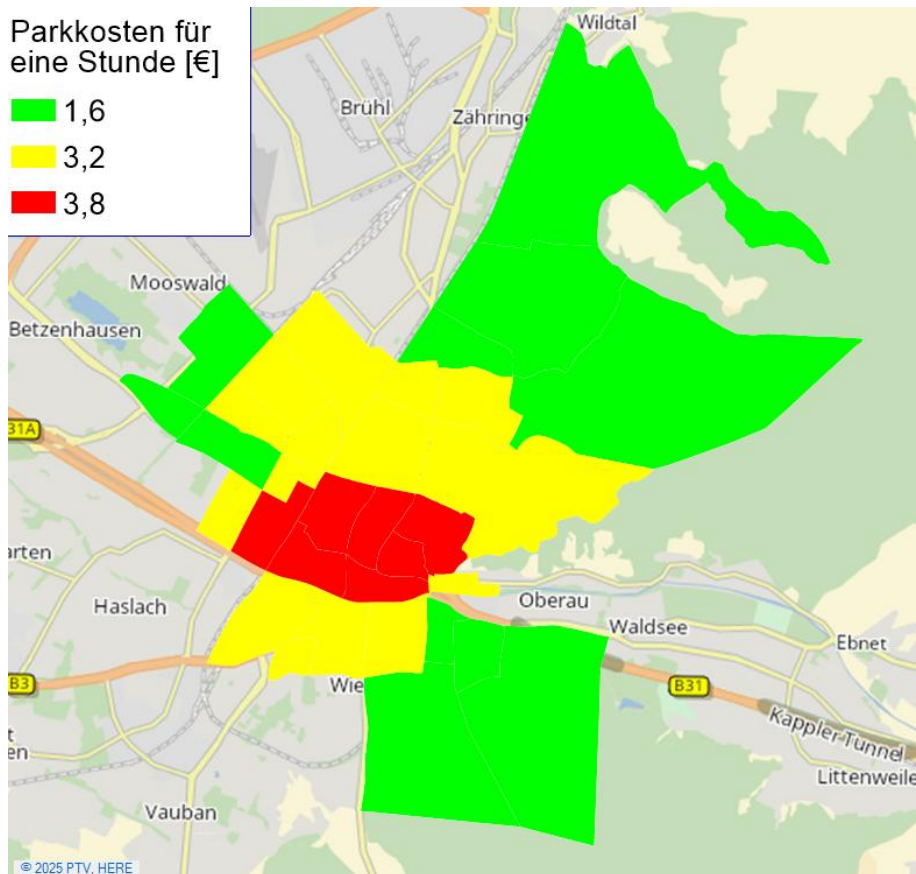


Abbildung 22: Parkkosten aus dem Parkraummanagement in Freiburg im Breisgau

Anschließend wurden für die acht kreisfreien Städte aus den Parkkosten aus dem Parkraummanagement und den recherchierten Parkkosten an Parkscheinautomaten (vgl. Tabelle 18) die finalen Parkkosten berechnet. Die Formel zur Berechnung kann in Verfahrensablauf im Netzmodell IV nachvollzogen werden.

Die Parkkosten werden im Verfahrensablauf gesetzt. Sie gelten für einen Zeitraum von einer Stunde.

4.15 Umlegung

Die Nachfragematrizen des Kfz-Verkehrs werden im Nachfragemodell berechnet und anschließend in die Angebotsversion des Kfz- und des Radverkehrs eingelesen und dort umgelegt. Dies geschieht mit einem Sukzessivverfahren für den Schwerverkehr und dem Umlegungsverfahren Gleichgewichtsumlegung Bi-conjugate Frank-Wolfe für den Leichtverkehr auf der Grundlage der zuvor dargestellten Widerstandsfunktionen. Die Parametrisierung sind in den zwei folgenden Abbildungen dargestellt.

Für die Umlegung des Leichtverkehrs wird innerhalb der Rückkopplungsschleife zwischen Nachfrage und Angebot der Nachfrageberechnung das Konvergenzkriterium gelockert, da hier ausschließlich die resultierende relationsbezogenen Fahrzeiten und nicht die steckenbezogenen Belastungen relevant sind.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	20	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 23: Parametrisierung der Umlegung für Schwerverkehr Kfz

☒ Klassische Konvergenzkriterien verwenden
☐ Erweiterte Konvergenzkriterien verwenden

Abbruchbedingungen

Maximale Anzahl Iterationen: 100
 Maximales Gap: 1e-05

Konvergenzstatistik

Folgende Einstellungen wirken nur in der Liste Qualität IV-Umlegung.

Relative Differenz zwischen vorheriger und jetziger Iteration (%):

Streckenbelastung <= 1
 Streckenwiderstand <= 1
 Abbiegerbelastung <= 1
 Abbiegerwiderstand <= 1

Ignoriere Strecken und Abbieger mit Belastung < 1

Widerstände an ICA-Knoten

☐ Widerstände an Knoten mit Widerstandsmethode ICA während der Umlegung aktualisieren

Abbildung 24: Parametrisierung der Umlegung für Leichtverkehr Kfz

4.16 Öffentlicher Verkehr als Grundbelastung

Im Netzmodell ist die Verkehrsbelastung der Busse im Attribut „Busse_Tagesbelastung“ hinterlegt. Sie wurde im Netzmodell ÖV aus der Zahl der Servicefahrten der verschiedenen Bus-Verkehrssysteme ermittelt.

Aus ihr wird im Verfahrensablauf in der Gruppe Strecken-Widerstände MIV die Grundbelastung für die Umlegung berechnet. Dafür wird die Zahl der Busse mit den Pkw-Einheiten der mittleren Lkw multipliziert. Dies ist in Abbildung 25 dargestellt.

Parameter 'Attribut ändern'

Netzobjekttyp	Strecken
Zielattribut	Q Grundbelastung
☐ Nur aktive	
Das Ergebnisattribut wird durch den nachfolgenden Ausdruck festgelegt.	
$[BUSSE_TAGESBELASTUNG] * [NETZ \setminus DURCHSCHNITT : VSYSE([CODE] = "LkwM") \setminus PKWE]$	

Abbildung 25: Berechnung der Grundbelastung

Diese Grundbelastung ist in den allgemeinen Verfahrenseinstellungen als Grundbelastung für die Umlegung eingestellt.

5 Abbildung des Verkehrsangebots für den Radverkehr

5.1 Attribuierung

Die Strecken-Attribute für den Radverkehr wurden dem touristischen Freizeitinformationssystem des Landes Baden-Württemberg entnommen. Diese „originalen“ Attribute sind im Attribut „Radnetz_Attri“ hinterlegt. In die Widerstandsberechnung wurden die Informationen zur Lage und zur Kategorie des Weges integriert. Diese Namen der Attribute und die vorhandenen Ausprägungen sind nachfolgend dargelegt.

Lage des Weges (Streckenattribut [Radverkehr_Radweg_Lage])

- auf eigenständigem Pfad
- auf land- und forstwirtschaftl. Weg
- auf öffentl. Straße ohne Begleitweg
- keine Angabe
- neben öffentl. Straße auf Begleitweg
- unbekannt

Kategorie des Weges (Streckenattribut [Radverkehr_Radweg_Kategorie])

- Radfernweg
- Radverkehrsnetz
- Regionaler Radwanderweg
- Sonstiger Radwanderweg
- Verbindungsradwanderweg
- gesperrt
- keine Angabe

Das dritte Streckenattribut für den Radverkehr ist die Längsneigung/Steigung. Diese ist im Visum-Attribut [Steigung] hinterlegt. Sie wurde mit der dafür in Visum integrierten Funktionalität berechnet. Diese wurde aus den Z-Koordinaten der Knoten berechnet. Diese wurden aus digitalen Geländemodell des Erdbeobachtungsprogramms Copernikus der EU extrahiert.

5.2 Widerstandsfunktionen

Die Berechnung der Widerstände des Radverkehrs ist nach den beiden Fahrradarten konventionelles Fahrrad und Pedelec differenziert. Dafür wurde für beide ein Modus und ein Nachfragesegment angelegt. Die Grundgeschwindigkeit des konventionellen Fahrrads beträgt 15 km/h und die des Pedelecs 20 km/h. Diese sind auf der Ebene der Streckentypen in der vMax der beiden Verkehrssysteme hinterlegt.

Aus der Grundgeschwindigkeit wird eine angepasste Geschwindigkeit berechnet. Diese hat den Anspruch, eine objektive Geschwindigkeit zu sein. Sie wird im Verfahrensablauf berechnet und in den Attributen [Rad_v0_Rad] und [Rad_v0_Pedelec] hinterlegt. Bei dieser Berechnung wird die Grundgeschwindigkeit mit einem Faktor der Längsneigung [%] multipliziert. Die Faktoren zur Berechnung der Geschwindigkeit werden aus der benutzerdefinierten Tabelle "Radverkehr_Laengsneigung" abgerufen. Sie unterscheiden sich zwischen dem konventionellen Fahrrad und Pedelecs. Unterschiedliche Geschwindigkeiten und Widerstände in Hin- und Rückrichtung sind zu vermeiden. Daher wird aus den Faktoren der beiden Richtungen der Mittelwert gebildet. Dieser wird auf beide Richtungen angewandt. Die im Modell hinterlegten Faktoren sind in Abbildung 26 dargestellt.

Liste (Tabelleneinträge: Radverkehr_Laengsneigung)

Radverkehr_Laengsneigung						
Anzahl: 9	Nr	Untergrenze	Obergrenze	Geschwindigkeits-Faktor_Rad	Geschwindigkeits-Faktor_Pedelec	
1	1	-9.99	-0.08	1.20	1.20	
2	2	-0.08	-0.06	1.15	1.15	
3	3	-0.06	-0.04	1.10	1.10	
4	4	-0.04	-0.02	1.05	1.05	
5	5	-0.02	0.02	1.00	1.00	
6	6	0.02	0.04	0.90	0.94	
7	8	0.04	0.06	0.80	0.88	
8	9	0.06	0.08	0.70	0.81	
9	10	0.08	9.99	0.60	0.75	

Abbildung 26: Faktoren der Längsneigung zur Berechnung der objektiven Geschwindigkeit

Die Formel zur Berechnung der objektiven Geschwindigkeit aus der Grundgeschwindigkeit und der Längsneigung ist in Abbildung 27 für das Rad dargestellt.

Parameter 'Attribut ändern'

Netzobjekttyp: Strecken

Zielattribut: Q_Rad_v0_Rad

☐ Nur aktive

Das Ergebnisattribut wird durch den nachfolgenden Ausdruck festgelegt.

```
[V0-IVSYS(R)]
**
((
  TableLookup(TABLEENTRIES_RADVERKEHR_LAENGSGNEIGUNG LN;[STIEGUNG]<LN[OBERGRENZE]&[STIEGUNG]>=LN[UNTERGRENZE] ; LN[GESCHWINDIGKEITS-FAKTOR_RAD]))+
  TableLookup(TABLEENTRIES_RADVERKEHR_LAENGSGNEIGUNG LN;[GEGENRICHTUNGSTR\STIEGUNG]<LN[OBERGRENZE]&[GEGENRICHTUNGSTR\STIEGUNG]>=LN[UNTERGRENZE] ; LN[GESCHWINDIGKEITS-FAKTOR_RAD]))
/2)
```

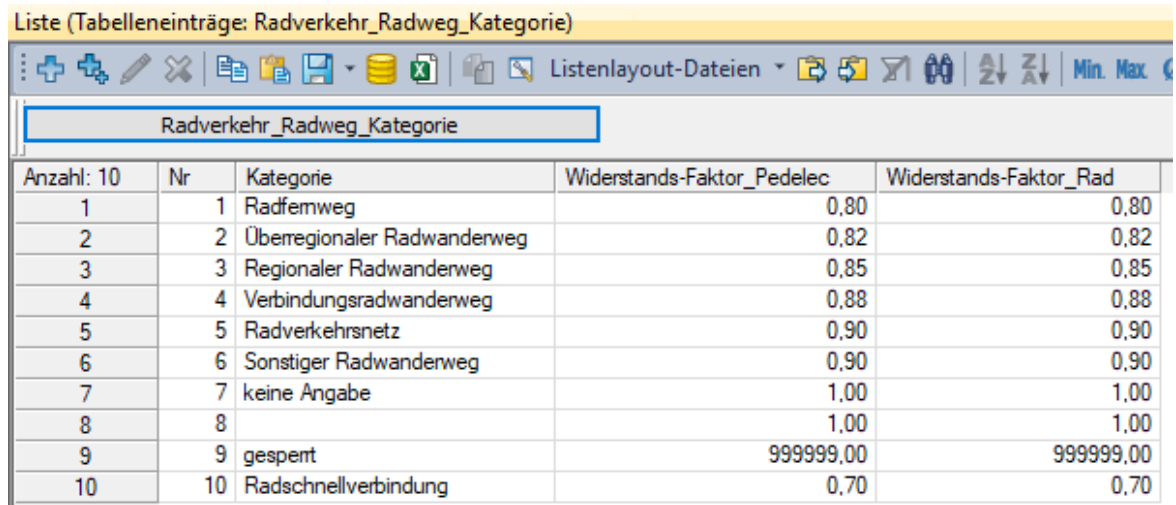
Abbildung 27: Berechnung der objektiven Geschwindigkeit für das Rad

Aus der objektiven Geschwindigkeit wird eine objektive Fahrzeit berechnet. Sie wird im Verfahrensablauf berechnet und in den Attributen [Rad_t0_Rad] und [Rad_t0_Pedelec] hinterlegt.

Zuletzt wird aus der objektiven Fahrzeit eine empfundene Fahrzeit bzw. der Rad-Widerstand berechnet. So wird der Einfluss von subjektiven Faktoren auf die Radfahrenden im Modell abgebildet. Bei dieser Berechnung werden als Einflussfaktoren auf die empfundene Fahrzeit die Lage und die Kategorie der Strecke aus TFIS berücksichtigt. Die empfundene Fahrzeit bzw. der Rad-Widerstand wird im Verfahrensablauf berechnet. Er wird in den Attributen [Rad_Widerstand_Rad] und [Rad_Widerstand_Pedelec] hinterlegt. Bei der Berechnung wird die objektive Fahrzeit mit Faktoren mit einem Wertebereich nahe dem Wert 1,0 multipliziert bzw. angepasst. Die Anpassungsfaktoren

werden aus den benutzerdefinierten Tabellen "Radverkehr_Radweg_Kategorie" und "Radverkehr_Radweg_Lage" abgerufen. Sie unterscheiden sich zwischen dem konventionellen Fahrrad und Pedelegs. Die Faktoren sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

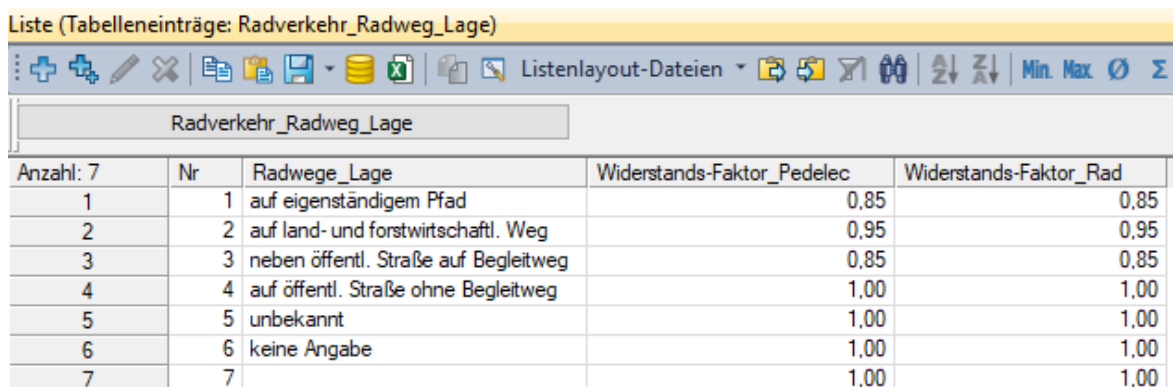
Liste (Tabelleneinträge: Radverkehr_Radweg_Kategorie)



Anzahl: 10	Nr	Kategorie	Widerstands-Faktor_Pedelec	Widerstands-Faktor_Rad
1	1	Radfernweg	0,80	0,80
2	2	Überregionaler Radwanderweg	0,82	0,82
3	3	Regionaler Radwanderweg	0,85	0,85
4	4	Verbindungsradwanderweg	0,88	0,88
5	5	Radverkehrsnetz	0,90	0,90
6	6	Sonstiger Radwanderweg	0,90	0,90
7	7	keine Angabe	1,00	1,00
8	8		1,00	1,00
9	9	gesperrt	999999,00	999999,00
10	10	Radschnellverbindung	0,70	0,70

Abbildung 28: Kategorie der Radwege aus TFIS

Liste (Tabelleneinträge: Radverkehr_Radweg_Lage)



Anzahl: 7	Nr	Radwege_Lage	Widerstands-Faktor_Pedelec	Widerstands-Faktor_Rad
1	1	auf eigenständigem Pfad	0,85	0,85
2	2	auf land- und forstwirtschaftl. Weg	0,95	0,95
3	3	neben öffentl. Straße auf Begleitweg	0,85	0,85
4	4	auf öffentl. Straße ohne Begleitweg	1,00	1,00
5	5	unbekannt	1,00	1,00
6	6	keine Angabe	1,00	1,00
7	7		1,00	1,00

Abbildung 29: Lage der Radwege aus TFIS

Als Ergebnis liegt für jede Strecke eine empfundene Fahrzeit des Radverkehrs vor, die dem Streckenwiderstand entspricht. Diese ist nach dem konventionellen Fahrrad und den Pedelegs differenziert. Neben dem Radwiderstand ist das Attribut [gesperrt_Fuß_Rad] in der Widerstandsfunktion enthalten (siehe nachfolgende Abbildung 30). Über dieses Attribut werden Strecken-Sperrungen für Fuß und Rad modelliert, falls der Streckentypen nicht ohnehin bereits für die Verkehrssysteme Fuß und Rad gesperrt ist. Wenn das Attribut [gesperrt_Fuß_Rad] für eine Strecke auf Eins gesetzt ist, entsteht ein sehr hoher Widerstand, der einer Sperrung gleichkommt.

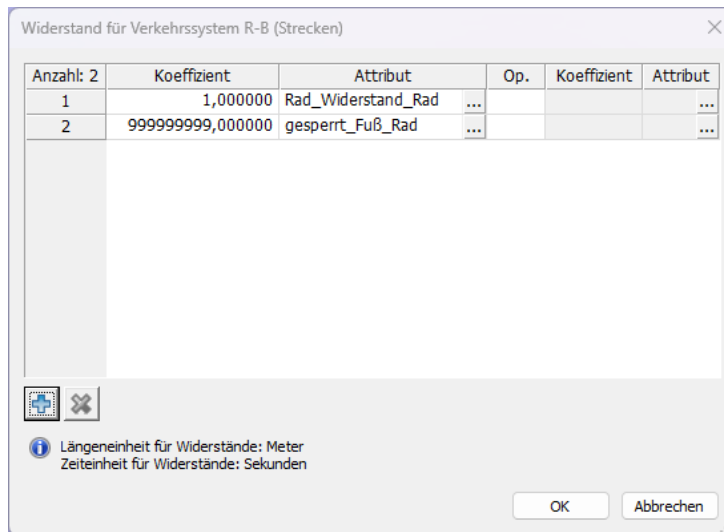


Abbildung 30: Widerstandsfunktion für das Verkehrssystem R-B

Als Abbiegezeiten werden die Zeiten des Kfz-Verkehrs übernommen, da die Radfahrer an den gleichen Knoten warten. Sie unterliegen somit denselben die Wartezeit bestimmenden Faktoren.

5.3 Berechnen der Kenngrößen

Aufbauend auf der Parametrisierung der Netzelemente werden die Kenngrößenmatrizen berechnet. Dies erfolgt separat für die beiden Verkehrssysteme konventionelles Rad und Pedelec. Die Kenngrößenmatrizen der beiden Verkehrssysteme werden anschließend für die Modellierung der Ziel- und Moduswahl zusammengefasst. Dafür ist für jede Relation ein Anteil des Pedelec-Verkehrs am gesamten Rad-Verkehr zu bestimmen. Dafür wurde jedem Bezirk ein solcher Anteil zugewiesen. Der Mittelwert des Anteils des Von- und des Nach-Bezirks ergibt den der Relation. Für die Setzung der Pedelec-Anteile wurde die MiD2017 differenziert nach Raumtypen ausgewertet. Die Anteile aus MiD2017 sind in Tabelle 19 dargelegt.

Raumtyp	Anteil Pedelec [%]
1	3,1
2	7,9
3	5,7
Baden-Württemberg	5,0

Tabelle 19: Anteil Pedelec nach Raumtyp

Den Bezirken außerhalb Baden-Württembergs wurde einheitlich der Anteil des Landes Baden-Württemberg von 5,0 % zugewiesen. Diese Anteile sind im Bezirksattribut "Rad_Pedelecanteil" hinterlegt.

Das Ergebnis ist eine resultierende Kenngrößenmatrix des gesamten Radverkehrs je Kenngröße, welche in die Modellierung der Ziel- und Moduswahl einfließt.

Die empfundene Reisezeit bzw. der Rad-Widerstand ist die zentrale Kenngröße des Radverkehrs in der Modellierung der Ziel- und Moduswahl. Darüber hinaus wird werden die Kenngrößenmatrix für die Reiseweite und die Grundreisezeit (Visum t_0) für die Auswertung bzw. Validierung berechnet.

5.4 Umlegung

In der Ziel- und Moduswahl wird eine Nachfragematrix des Modus Rad berechnet. Sie umfasst das konventionelle Fahrrad und Pedelecs und anschließend in die Angebotsversion des Kfz- und des Radverkehrs eingelesen. Dies Gesamtnachfragematrix für Radverkehr wird daraufhin entsprechend dem o.g. Anteilsfaktor für Pedelecs in 2 Teilmatrizen (konventionelles Rad und Pedelec) aufgeteilt. Die Nachfragematrizen der beiden Verkehrssysteme werden anschließend getrennt voneinander anhand ihrer unterschiedlichen Widerstände umgelegt. Dafür wird die stochastische Radverkehrsumlegung in VISUM genutzt. Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählte Parametrisierung. Die Parameter wurden derart gewählt, dass sich plausible Routenverläufe ergeben (optische Prüfung) und eine möglichst geringe Rechenzeit für die Umlegung ergibt.

Abbildung 31: Parametrisierung Radverkehrsumlegung – Parameter Routensuche

Parameter für Radverkehrsumlegung

Widerstand RAD-B | Widerstand RAD-P | Suche | Vorauswahl | Wahl | Kenngrößen

Eine Route wird gelöscht, wenn

Widerstand R > 1,25 * minimaler Widerstand R + 300

und

t0 > 1,25 * minimales T0 + 300

und

gesamter Widerstand > 1,25 * minimaler gesamter Widerstand + 300

Abbildung 32: Parametrisierung Radverkehrsumlegung – Parameter Vorauswahl

Parameter für Radverkehrsumlegung

Widerstand RAD-B | Widerstand RAD-P | Suche | Vorauswahl | Wahl | Kenngrößen

Aufteilungsmodell: Logit

Nutzen $U = e^{-\beta R}$

R = Widerstand einer Route

β = 0,25

Skalierung R = 1 / 60

Eigenständigkeit

☒ definieren über t0 ☒ exakte Berechnung nach Cascetta

☐ definieren über Länge ☐ schnelle, approximierte Berechnung nach Ben Akiva

Abbildung 33: Parametrisierung Radverkehrsumlegung – Parameter Routenwahl

6 Abbildung des ÖV-Angebots

6.1 Verkehrssysteme

Die Grundlage für das ÖV Fahrplanangebot bildet ein Datensatz im GTFS Format vom NVBW. In diesen Daten sind die Verkehrssysteme

- Tram, Streetcar, Light rail
- Rail und
- Bus

unterschieden.

Die Differenzierung der Verkehrssysteme (siehe Tabelle 20) erfolgte über Linien-Informationen zum Verkehrsmittel (GTFS_NVBW_VERKEHRSMITTEL) oder zum Liniennamen (GTFS_ROUTE_SHORT_NAME). Die Unterscheidung der Buslinien in Stadt-/Regionalverkehr und Regiobus erfolgte auf Basis einer vom NVBW übergebenen Zuordnungsliste.

Im Modus ÖV sind folgende Verkehrssysteme modelliert:

Code	Name	Beschreibung
B	Bus	Alle Buslinien des Stadt- und Regionalverkehrs
B_FERN	Fern Bus	Alle Fernbuslinien
B_REGIO	Regiobus	Alle Regiobuslinien (Produkte des Landes BW)
S_FERN	SPV_Fernverkehr	Alle Linien des Fernverkehrs
S_NAH	SPV_Nahverkehr	Alle Linien des Nahverkehrs auf der schweren Schiene
S_S	SPV_S-Bahn	Alle als S-Bahn bezeichneten Nahverkehrslinien
S_T	SPV_Straßenbahn	Alle Tram- bzw. Straßenbahnlinien
S_U	SPV_U-Bahn	Alle U-Bahnlinien und Stadtbahnlinien
X	Fähre	Alle Fährverkehre
Z	Flex-ÖV	Angebote Rufbusse, Bürgerbusse, AST

Tabelle 20: ÖV-Verkehrssysteme

6.2 Netzgraph

Das ÖV-Angebot auf der Schiene ist auf einem generalisierten Netzgraphen abgebildet. Strecken sind unabhängig ihrer Ausbaustufe immer in eine einzelne Kante zusammengefasst. Redundanzen zur Kapazitätserhöhung, beispielsweise Entflechtungen oder Überwerfungen innerhalb von Kreuzungsbauwerken, sind nicht modelliert. Auf Gleisvorfeldern sind teilweise parallel verlaufende Strecken angelegt, um nicht mögliche Fahrtbeziehungen eindeutig abbilden zu können.



Abbildung 34: Parallel modellierte Strecken im Bahnhof Karlsruhe-Durlach zur Abbildung nicht möglicher Fahrtbeziehungen

Die Quellen des Schienennetzgraphen sind zum einen das Schienenverkehrsnetz gemäß INSPIRE der DB Netz AG im GeoJSON-Format (<https://data.deutschebahn.com/dataset/data-strecken-netz.html#>, Stand 2019). Zum andern wurden als Ergänzung für die nicht-DB Strecken Netzgraphen aus OSM mit Stand 2021 verwendet.

Das ÖV-Angebot auf der Straße ist auf dem generalisierten Straßennetzgraphen abgebildet (vgl. auch Kapitel 4.1). Dafür wurden die Haltepunkte zunächst mit entsprechenden Fangradialen auf bestehende Knotenpunkte des Netzes aufgesetzt. An Stellen, wo keine Knotenpunkte vorhanden waren, wurde die Haltepunkte mit ihren Knoten gemäß Nummerierungskonzept (vgl. Kapitel 4.3) eingesplittet. Außerhalb Baden-Württembergs umfasst der generalisierte Straßennetzgraph mit abnehmender Detaillierung nur das klassifizierte Straßennetz. Hier wurden Strecken als gerade Kanten (Luftlinienverbindungen) eingefügt, wenn diese zur Verbindung isolierter Knoten bzw. Haltepunkte benötigt wurden.



Abbildung 35: Straßennetz im Raum Stuttgart, mit (grün) und ohne (orange) Bus Linienfahrten

6.3 Streckentypisierung

Die Strecken des im ÖV-Angebotsmodell sind wie folgt typisiert:

Typ-Nr.	Bezeichnung	Zugelassene Verkehrssysteme
50	Straße_MIV	B, B_Fern, B_Regio, OnD, Z
52	Straße_MIV_Luftlinie_ergänzt	B, B_Fern, B_Regio, OnD, Z
60	Schiene_allgemein	S_Fern, S_Nah, S_S
61	Schiene_S-Bahn	S_S
62	Schiene_Tram	S_T
63	Schiene_Mehrsystem-Sonderform	S_S, S_T, S_U
64	Schiene_Stadt-U-Bahn	S_U
65	Schiene_Seil-/Bergbahn	S_T
70	Schiene_Schnellfahrstrecke	S_Fern, S_Nah, S_S
75	Schiene_Außenraum	S_Fern, S_Nah, S_S
80	Schiene_Plan	S_Fern, S_Nah, S_S, S_T, S_U
90	Fährstrecke	X
300	ÖV-Fußstrecke	F

Tabelle 21: Streckentypen im ÖV Netz

Das Netz der schweren Schiene setzt sich innerhalb des Untersuchungsraums aus den Typen 60, 61 und 70 zusammen. Innerstädtische Schienennetze und Freizeitbahnen sind, je nach Ausführung, mit den Typen 62-65 abgebildet. Alle Schienenstrecken außerhalb des Untersuchungsraums haben Typ 75.

Im Normalfall sind innerstädtische Tram- bzw. Stadtbahnnetze (BOStrab) vom Typ 3 isoliert vom übrigen Schienennetz modelliert.

Die im Raum Karlsruhe verkehrenden Stadtbahnen mit Mehrsystemfähigkeit (Tram-Trains) erforderten jedoch eine Verknüpfung des Straßenbahnnetzes mit den übergeordneten Netzen. Für die Strecken des Straßenbahnnetzes, welche auch von Mehrsystembahnen bedient werden, ist Typ 63 gesetzt.

In der Stadt Frankfurt am Main existieren zwei größtenteils unabhängig voneinander betriebene Stadtbahnnetze, welche einerseits als U-Bahn, andererseits als Straßenbahn vermarktet werden. Auf einzelnen Streckenabschnitten verkehren diese jedoch gemeinsam. Für diese sowie für die Strecken der schweizerischen privatrechtlich organisierten Privatbahnen wurde ebenfalls Typ 63 gewählt.

Für das Verkehrsmittel ÖV-Fuß sind nur Strecken vom Typ 300 geöffnet. Diese dienen ausschließlich zur Verbindung zwischen ausgewählten nahegelegenen Haltestellen, siehe Kapitel 6.4.

6.4 Haltestellen

Die Modellierung der Haltestellen, der Haltestellenbereiche sowie der Haltepunkte erfolgt grundlegend nach den gängigen Standards, aufgrund der Generalisierung des Schienennetz- sowie des Straßennetzgraphen sind die Haltepunkte jedoch nicht Bahnsteig- bzw. Mastfein. Innerhalb der Haltestellen wurden die Haltepunkte je Verkehrssystem zusammengefasst.

Die deutschlandweit einheitliche Haltestellen-ID (DHID) soll eine deutschlandweit eindeutige Zuordnung von Haltestellen ermöglichen. Für die überwiegende Menge der Haltestellen in Baden-Württemberg und außerhalb ist im Verkehrsmodell eine DHID hinterlegt. Als Quelle wurde der GTFS Fahrplandatensatz und das Zentrale Haltestellenverzeichnis (ZHV, <https://zhv.wvigmh.de/>) mit Stand 20.04.2023 herangezogen.

In manchen Fällen existieren für die Schienenhaltepunkte und Bushaltepunkte derselben Haltestelle unterschiedliche DHIDs. Da im Modell Schiene und Bus unter einer Haltestelle zusammengefasst sind, kann auf Ebene der Modell-Haltestellen in diesen Fällen keine eindeutige DHID vergeben werden. Daher sind die DHIDs nicht auf der Ebene der Haltestellen, sondern der Haltestellenbereiche (Attribut 'GTFS_NVBW_HST_DHID') hinterlegt.

Die Bezeichnung der Haltestellen setzt sich zusammen aus dem jeweiligen Kfz-Kennzeichen des Kreises (bzw. außerhalb BW dem Bundesland- / Länderkürzel) und dem Namen der Haltestelle. Zudem sind den Haltestellen Benutzerdefinierte Attribute zugewiesen, welche Aufschluss über die Lage in bzw. außerhalb Baden-Württembergs und die Lage im jeweiligen Verkehrsverbund geben.

Die Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs sind wie folgt typisiert:

Typ-Nr.	Bezeichnung
1	SPV-Halt_Fernverkehr
2	Halt Fernbus
3	SPV-Halt_Nahverkehr
4	SPV-Halt_S-Bahn
5	SPV-Halt_Stadtbahn / U-Bahn
6	SPV-Halt_Train
7	Halt Busverkehr (Stadt- und Regiobus)
8	Halt Flex-ÖV
9	Halt Fähre
50	Halt ohne Abfahrten

Tabelle 22: Haltestellentypen im ÖV Netz

Die Zuordnung der Haltestellentypen erfolgte hierarchisch (z.B. ein Halt mit mindestens einer Linie des Fernverkehrs zählt zum Typ 1).

Zur Gewährleistung von Umstiegen zwischen Verkehrssystemen wurden

- Haltestellen mit gleichem Namen sowie
- Haltestellen, die in einem Radius von maximal 250m gelegen sind

zusammengefasst. Dabei wurden der Haltestelle mit dem hierarchisch höchsten Verkehrsmittel (vgl. Reihenfolge der Haltestellentypen) die Haltestellenbereiche der übrigen Haltestelle zugeordnet. Damit erhält man Verknüpfungshaltestellen mit mehreren Haltestellenbereichen. Um Mehrfachanbindungen von Haltestellen zu vermeiden, wurde bei den Verknüpfungshaltestellen jeweils ein zusätzlicher "neutraler" Haltestellenbereich im geografischen Mittelpunkt der "realen" Haltestellenbereiche eingefügt. Dieser trägt i.d.R. die Nummer der Haltestelle mit folgender 0 und dient nur der Anbindung der Haltestelle. Neutrale Haltestellenbereiche haben die Typ-Nr. 8, alle anderen Haltestellenbereiche die Typ-Nr. 0.

Um das Umsteigen an einer Haltestelle abzubilden, müssen Gehzeiten für den Übergang zwischen den verschiedenen Haltestellenbereichen der Haltestelle festgelegt werden. Dabei ist zwischen folgenden Fällen zu unterscheiden:

1. Quell-Einstieg an einer Verknüpfungshaltestelle (= vom neutralen Haltestellenbereich zu einem realen Haltestellenbereich der Haltestelle).
2. Ziel-Ausstieg an einer Verknüpfungshaltestelle (= von einem realen Haltestellenbereich zum neutralen Haltestellenbereich der Haltestelle).
3. Umstieg am selben Haltestellenbereich.
4. Umstieg zwischen zwei Haltestellenbereichen.

Da in Fall 1 und 2 nicht umgestiegen wird, wird hier eine Übergangsgezeit von 0min gesetzt. In Fall 3 wird eine pauschale Übergangsgezeit von 1min gesetzt. In Fall 4 wird die Übergangsgezeit in Abhängigkeit von der Luftliniendistanz zwischen den Bereichen, einem Umwegfaktor von 1,2 und einer Gehgeschwindigkeit von 4 km/h gesetzt.

Zusätzlich werden in allen Fällen Zeitzuschläge addiert, wenn der Von- oder Nach-Haltestellenbereich

- ein Haltestellenbereich der SSB-Stadtbahn ist, der sich über oder unter der Erdoberfläche befindet (+1min) → hinterlegt im Haltestellenbereichs-Attribut [UGZ_IST_U-BAHN_EBENENWECHSEL].
- ein SPV-Haltestellenbereich ist (+1min). → hinterlegt im Haltestellenbereichs-Attribut [UGZ_IST_SPV]

Ein Beispiel für die resultierenden Übergangsgezeiten ist in Abbildung 36 dargestellt.

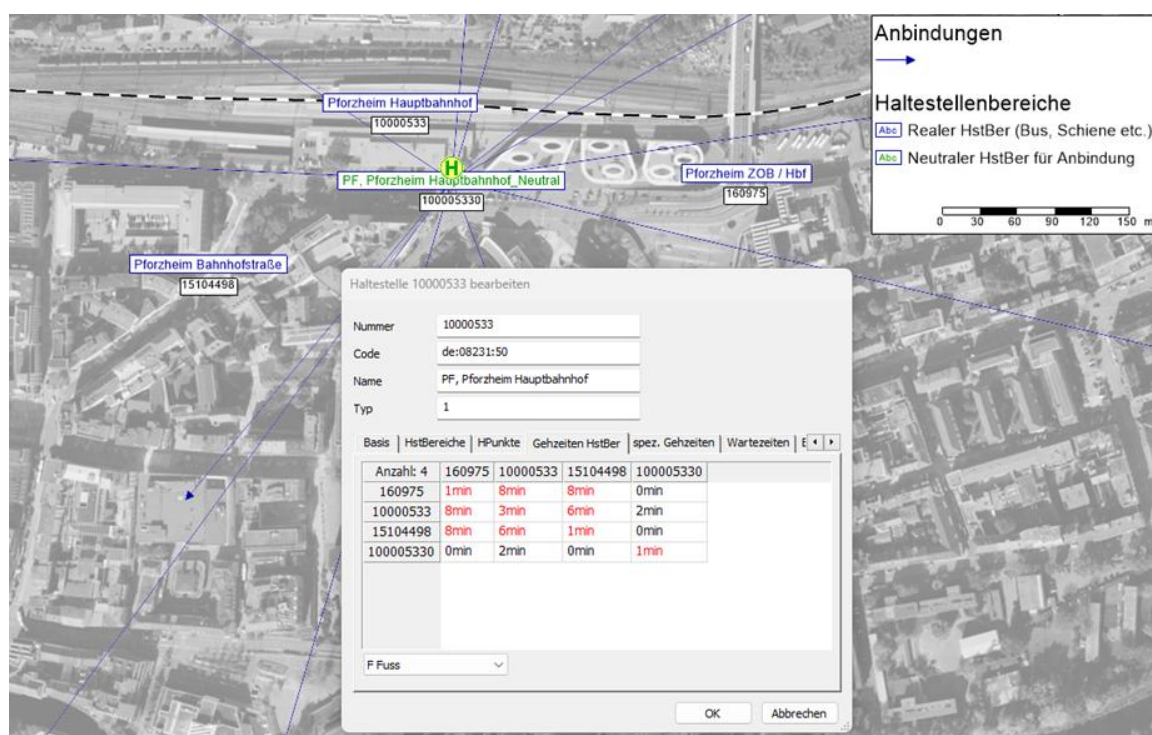


Abbildung 36: Beispiel für die gesetzten Übergangsgezeiten (Haltestelle Pforzheim Hbf). Die Tabelle zeigt die Gehzeiten zwischen Von-Haltestellenbereich (Zeile) und Nach-Haltestellenbereich (Spalte).

In Einzelfällen ist ein Übergang der Fahrgäste zwischen verschiedenen Haltestellen planerisch vorgesehen und sollte im Verkehrsmodell ebenfalls berücksichtigt werden. Dies trifft vor allem an Bahnhöfen des SPV zu, z.B. Heidelberg Hbf und Heidelberg Hbf Süd. Ein weiterer häufiger Fall ist die Verknüpfung von SPV-Bahnhöfen mit entfernt gelegenen Busbahnhöfen. In diesen Fällen wurden im Modell dedizierte Strecken eingefügt, die die Haltestellen miteinander verknüpfen und nur für das ÖV-Fuß-Verkehrssystem geöffnet sind. Diese Strecken haben den separaten Streckentyp 300. Die Gehzeiten auf den Strecken wurden in Abhängigkeit von der Luftliniendistanz zwischen den Haltestellen, einem Umwegfaktor von 1,2 und einer Gehgeschwindigkeit von 4 km/h gesetzt.

6.5 Anbindungen

ÖV-Anbindungen verknüpfen Verkehrsbezirke mit einem Knoten, der Zugangsknoten eines Haltestellenbereichs ist. Daher ist es grundsätzlich möglich, Haltestellen mit mehreren Haltestellenbereichen je Verkehrsbezirk mehrfach anzubinden. Unter anderem aus Rechenzeit- und Übersichtlichkeitsgründen wurde im LVM-BW jede Haltestelle nur einmal pro Bezirk angebunden. Bei Haltestellen mit mehreren Haltestellenbereichen wurde ein virtueller „neutraler“ Haltestellenbereich im Zentrum der Haltestelle erstellt und nur dieser angebunden. Von dem neutralen Haltestellenbereich werden die „realen“ Haltestellenbereiche über die Haltestellenmatrix erreicht. Die Festlegung der Übergangsgehzeiten in der Haltestellenmatrix ist in Kapitel 6.4 beschrieben.

Die Erzeugung der ÖV-Anbindungen wurde schrittweise anhand der Haltestellentypisierung (vgl. Tabelle 22) durchgeführt. Dabei wurden zuerst die Haltestellen an hierarchisch höchster Stelle (Typ 1 Schienen-Fernverkehr) angebunden, dann die Haltestellen an zweithöchster Stelle (Typ 2 Fernbus), usw.

Die Schienenverkehrs-Haltestellen im Planungsraum wurden an alle Verkehrsbezirke angebunden, deren Schwerpunkt sich innerhalb eines Einzugsradius um die Haltestelle befindet. Die verwendeten Radien sind in Tabelle 23 zu finden.

Für die Bus-/Flex-Haltestellen (Typ 6) und für alle Haltestellen im Einflussraum (Typ 9) wurde ein anderes Vorgehen zur Anbindungserstellung verwendet, um die Zahl der Anbindungen geringer zu halten: Es werden nicht alle von einem Verkehrsbezirk erreichbaren Haltestellen angebunden, sondern nur so viele, sodass alle Fahrplanfahrten innerhalb der Verkehrszellfläche erreichbar sind. In manchen Fällen wurde die Zahl der Bus-Anbindungen weiter reduziert. Dies betrifft insbesondere ländliche Verkehrsbezirke mit mehreren räumlich voneinander separierten Siedlungsflächen, in denen das Anbinden mehrerer Siedlungsflächen zu unrealistischen Kenngrößen führen würde. Hier wurde i.d.R. ein möglichst zentral liegendes „repräsentative Siedlungszentrum“ ausgewählt und keine Anbindungen zu anderen Siedlungszentren gesetzt. So konnte die Bus-Anbindungszahl je Verkehrsbezirk auf maximal 6 begrenzt werden.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden weitere manuelle Anpassungen an den ÖV-Anbindungen durchgeführt. Dadurch entstandene zusätzliche Anbindungen sind mit dem Typ 8 (manuell) hinterlegt.

Die Anbindungen an die Kordonbezirke im Außenraum sind mit Typ 12 hinterlegt.

Die ÖV-Anbindungen sind wie folgt typisiert:

Typ-Nr.	Knotenpunkt	Einzugsradius	Anzahl (Analysefall)
1	Neutraler Hst-Bereich mit SPFV, SPNV, S-Bahn (Planungsraum)	1.000	5.376
2	Neutraler Hst-Bereich mit Tram/Stadtbahn inkl. AVG	600	1.478
3	SPFV, SPNV, S-Bahn (Planungsraum)	1.000	1.446
4	Tram/Stadtbahn inkl. AVG	600	616
5	Kombi an Neutral	600	372
6	Bus		37.517
8	Manuell		687
9	SPFV, SPNV, S-Bahn (Einflussraum)		1.742
12	SPFV, Fernbus (Außenraum)		964

Tabelle 23: Anbindungstypen im ÖV Netz

Die Ermittlung der Anbindelängen zu den Haltepunkten erfolgte auf Basis der Einwohner- und Arbeitsplatzrasterdaten. Dafür wurde der Mittelwert der Entfernungen zwischen allen Haltepunkten (getrennt nach SPV, Tram, U-Bahn, S-Bahn, Bus) und allen Rasterpunkten der Einwohner und Arbeitsplätze je Verkehrsbezirk gewichtet über die Anzahl der Einwohner bzw. Arbeitsplätze berechnet.

Bei der Berechnung der Anbindezeiten ist zu berücksichtigen, dass ein Anteil der Zu- und Abgangswege zu den Haltestellen nicht zu Fuß, sondern intermodal, z.B. per Bike and Ride (B+R) oder Kiss and Ride (Bringen zur bzw. Abholen von der Haltestelle mit dem Pkw) zurückgelegt wird. Da der P+R-Verkehr separat berechnet wird, ist in der Durchschnittsgeschwindigkeit neben dem Fußverkehr nur B+R, E-Scooter u.ä. relevant. Der Anteil intermodaler Wege steigt mit zunehmender Distanz zur Haltestelle und ist insbesondere für Haltestellen des SPV relevant. Um dies abzubilden, wird für die Anbindezeiten eine Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen den Alternativen verwendet. Mit steigender Länge der Anbindung steigt auch der Anteil intermodaler Wege und damit die Durchschnittsgeschwindigkeit.

In der Verfahrensanleitung der Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im öffentlichen Personennahverkehr, Version 2016 wird eine Berechnungsformel für die Anbindezeiten vorgegeben, die allerdings auch P+R enthält.

Diese Berechnungsformel wurde als Grundlage für die Anbindezeiten im LVM-BW verwendet, allerdings wurden die Parameter der Berechnungsformel angepasst, um den P+R-Anteil herauszurechnen. Daraus ergibt sich ein reduziertes Geschwindigkeitsniveau, insbesondere bei längeren Anbindungen. Die originale und die modifizierte Berechnungsformel sind in Tabelle 24 dargestellt. Die resultierenden Anbindezeiten mit der originalen und modifizierten Berechnungsformel sind in Tabelle 25 für ausgewählte Längen vergleichend dargestellt.

Formel Standi-Berechnung	Formel modifizierte Standi-Berechnung
$t_{Zu/Ab} = \text{MAX}(0,46 \cdot l_{Zu/Ab}^{0,4} ; 3)$	$t_{Zu/Ab} = \text{MAX}(0,08 \cdot l_{Zu/Ab}^{0,7} ; 3)$

Tabelle 24: Berechnungsformeln der Anbindezeit

Länge	Standi-Berechnung	Modifizierte Standi-Berechnung
250 m	4,2 min	3,8 min
500 m	5,5 min	6,2 min
750 m	6,5 min	8,2 min
1.000 m	7,3 min	10,1 min
1.500 m	8,6 min	13,4 min
2.000 m	9,6 min	16,4 min
3.000 m	11,3 min	21,7 min

Tabelle 25: Anbindezeiten für ausgewählte Distanzen

6.6 Fahrplanangebot

Die Fahrplandaten wurden von der NVBW im GTFS-Format übernommen. Für den Schienenverkehr wurde als Stichtag der 08.11.2022 ausgewählt, hier handelt es sich um einen Werktag außerhalb der Schulferien, für welchen das Angebot im GTFS-Datensatz von NVBW am umfangreichsten abgebildet war. Im Fahrplandatensatz dennoch fehlende Linien wurden entweder aus alternativen Datenquellen abgerufen (z.B. GTFS-Daten von Delfi) oder manuell in das Modell eingepflegt.

Für die Busverkehre wurde der 16.03.2023 aus einer späteren Datenlieferung ausgewählt. Es handelt es sich um einen Werktag außerhalb der Schulferien, für welchen das Angebot im GTFS-Datensatz von NVBW für BW und die angrenzenden Bundesländer / Gebiete am umfangreichsten abgebildet war.

Die unterschiedlichen Datenstände zwischen Schienen- und Busverkehr wurden bestmöglich harmonisiert, so dass z.B. keine parallelen Fahrten von Schienen- und SEV-Angeboten auf gleichen Relationen enthalten sind.

Es wurde geprüft, ob innerhalb des Untersuchungsraums an den ausgewählten Fahrplanstichtagen flächendeckend gültige Fahrplanfahrten vorhanden sind. Dabei sind in einzelnen Orten im Netz Lücken aufgefallen, in denen das Fahrplanangebot an den Stichtagen nicht enthalten war. Das Fahrplanangebot in diesen Orten wurde aus anderen Stichtagen nachgetragen. Dies betrifft die folgenden Gebiete:

- Regionalbuslinien im französischen und österreichischen Teil des Einflussraums
- SPNV-Linien im Elsass
- Busliniennetz in Würzburg (WVV)

Die Bezeichnung der Linien setzt sich zusammen aus dem jeweiligen Verkehrssystem, dem (am längsten durchfahrenen) Verkehrsverbund und dem Liniennamen (abgeleitet aus dem BDA GTFS_ROUTE_SHORT_NAME bzw. der Linienbezeichnung im GTFS-Datensatz). Bei den Fernverkehrslinien wurde anstelle des Verbundes die Bezeichnung ‚Fernverkehr‘ eingetragen. Zudem

sind den Linien Benutzerdefinierte Attribute zugewiesen, welche Aufschluss über die Lage im Verbund sowie die ursprünglichen Informationen aus dem GTFS-Ursprungsdatensatz geben.

Die als Regiobuslinien zu definierenden Linien wurden durch das VM festgelegt. Die im Analysefall als Regiobusse modellierten Buslinien sind in Tabelle 26 aufgeführt.

Liniennr. (Bestandslinien)	Liniennummer Modell	Relation (mit Via)
700	B_REGIO_bodo_700	Ravensburg - Konstanz via Markdorf
7547	B_REGIO_bodo_7547	Tett nang - Wangen
R41	B_REGIO_bodo_R41	Wangen - Isny
R45	B_REGIO_bodo_R45	Ravensburg - Tett nang
R80	B_REGIO_bodo_R80	Bad Waldsee - Bad Wurzach
R90	B_REGIO_bodo_R90	Leutkirch - Bad Wurzach
S40	B_REGIO_bodo_S40	Wangen - Ravensburg
X250	B_REGIO_DING_X250	Biberach (Riß) - Erolzheim via Ochsenhausen
X365	B_REGIO_DING_X365	Laichingen - Blaubeuren
X380	B_REGIO_DING_X380	Biberach (Riß) - Riedlingen
11	B_REGIO_HNV_11	Dörzbach - Möckmühl via Krautheim
19	B_REGIO_HNV_19	Künzelsau - Bad Mergentheim via Krautheim / Dörzbach
	B_REGIO_HNV_640	Beilstein - Heilbronn via Ilsfeld
7	B_REGIO_HNV_7	Künzelsau - Waldenburg
RB14	B_REGIO_KVSH_RB14	Bühlertann - Schwäbisch Hall via Obersontheim
RB72	B_REGIO_KVSH_RB72	Crailsheim - Gerabronn
X34	B_REGIO_KVV_X34	Rastatt - Bühl via Lichtenau u. Flughafen Karlsruhe / Baden-Baden (FKB)
X44	B_REGIO_KVV_X44	Bühl - Bad-Herrenalb via Baden-Baden / Gernsbach
X45	B_REGIO_KVV_X45	Ruhestein - Baden-Baden
500	B_REGIO_naldo_500	Sigmaringen - Überlingen via Pfullendorf
600	B_REGIO_naldo_600	Sigmaringen - Meßkirch
800	B_REGIO_naldo_800	Bad Saulgau - Pfullendorf
X2	B_REGIO_naldo_X2	Münsingen - Bad Urach
X3	B_REGIO_naldo_X3	Flughafen Stuttgart - Reutlingen
X340	B_REGIO_naldo_X340	Laichingen - Bad Urach
X82	B_REGIO_naldo_X82	Flughafen Stuttgart - Tübingen
400	B_REGIO_RVF_400	Breisach - Bad Krozingen
54	B_REGIO_RVL_54	Kandern - Lörrach

Liniennr. (Bestandslinien)	Liniennummer Modell	Relation (mit Via)
7309	B_REGIO_RVL_7309	Schopfheim - Rheinfelden
400	B_REGIO_TGO_400	Ruhestein - Achern
670	B_REGIO_VGC_670	Calw - Weil der Stadt
X63	B_REGIO_VGC_X63	Calw - Bad Herrenalb via Bad Wildbad
100	B_REGIO_VGF_100	Ruhestein - Freudenstadt
200	B_REGIO_VGF_200	Baiersbronn - Ruhestein
X78	B_REGIO_VGF_X78	Bad Wildbad - Freudenstadt
750	B_REGIO_VRN_750	Schwetzingen - Wiesloch-Walldorf
798	B_REGIO_VRN_798	Speyer - Wiesloch-Walldorf
799	B_REGIO_VRN_799	Sinsheim - Walldorf via Wiesloch
899	B_REGIO_VRN_899	Sinsheim - Mosbach-Neckarelz
999	B_REGIO_VRN_999	Buchen - Tauberbischofsheim via Walldürn
500	B_REGIO_VSB_500	Villingen - Furtwangen
900	B_REGIO_VSB_900	Donaueschingen - Blumberg
X10	B_REGIO_VVS_X10	Flughafen Stuttgart - Kirchheim unter Teck via Wendlingen
X60	B_REGIO_VVS_X60	Flughafen Stuttgart - Leonberg
X93	B_REGIO_VVS_X93	Göppingen - Lorch

Tabelle 26: Als Regiobusse definierte Buslinien im Analysefall

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Eckwerte des ÖV-Angebots nach Verkehrssystemen im Analysefall.

Code	Name	Linien	Linien- routen	Fahrzeit- profile	Fahrplan- fahrten	Service- Kilometer	Service-Std
B	Bus	5.026	50.213	59.428	200.287	2.265.663	84.870
B_Fern	Fern Bus	94	210	214	241	204.214	3.067
B_Regio	Regiobus	45	534	611	1.980	48.394	1.288
F	Fuss	0				0	0
OnD	OnDemand	0				0	0
S_Fern	SPV_Fernverkehr	71	284	394	1.112	249.846	2.756
S_Nah	SPV_Nahverkehr	302	1.649	4.890	9.298	511.772	8.455
S_S	SPV_S-Bahn	107	496	1.572	7.423	274.357	6.129
S_T	SPV_Straßenbahn	95	423	1.121	17.502	176.467	9.334
S_U	SPV_Stadt-U- Bahn	27	108	225	5.957	75.010	2.844
X	Fähre	0				0	0
Z	Flex-ÖV	687	2.011	2.171	9.378	202.913	3.129

Tabelle 27: Kennwerte des ÖV Angebots (gerundet)

Das übergebende Netzmodell ist ein Maximalnetz aus Analyse und verschiedene Prognoseszenarien. Es werden ausschließlich jene Elemente berücksichtigt, die für den vorliegenden gültig sind. (Analyse: FALL_ANALYSE und Prognose: z.B. FALL_REF2030).

6.7 Fahrzeugtypen, Gefäßgrößen und Auslastung

Für ca. 100 SPNV-Linien in Baden-Württemberg, die im Auftrag des NVBW verkehren, wurden gerundete Kapazitäten für die Hauptverkehrszeit übergeben. Diese wurden den Linien entsprechend zugeordnet. Für Busse und die Fahrzeuge der Verkehrssysteme Tram, Stadtbahn, S-Bahn wurden vom ISV durchschnittliche Kapazitäten vorgeschlagen und den Linien zugewiesen. Für die übrigen Linien des SPNV und SPFV wurden ebenfalls Fahrzeuge mit durchschnittlichen Kapazitäten definiert und zugewiesen. Die folgende Tabelle verdeutlicht die Fahrzeuge mit ihren Kapazitäten sowie die Anzahl der damit verkehrenden Linien.

Nr	Name	Sitzplätze	Gesamtplätze	Linien Analysefall
1	Standardbus Stadt	30	52	4068
3	Standardbus Überland	40	40	108
5	Tram	90	127	64
6	Stadtbahn	108	166	54
7	S-Bahn Kurzzug	192	363	26
8	S-Bahn Vollzug	384	726	10
10	SPV RE 825	825	1650	1
13	SPV IR_ME_RE_RB 550	550	100	4
14	SPV RE 500	500	1000	1
15	SPV IR_RB 450	450	900	4

Nr	Name	Sitzplätze	Gesamtplätze	Linien Analysefall
16	SPV ME_RE_RB_S 425	425	850	7
17	SPV RE_S 400	400	800	8
18	SPV IR_RB 325	325	650	1
19	SPV RS 300	300	600	1
20	SPV IR_RE_RB 275	275	550	7
21	SPV RE_RB 250	250	500	7
22	SPV RB 225	225	450	7
23	SPV RB_RS_S 200	200	400	21
24	SPV RE_RB_S 175	175	350	10
25	SPV IRE_RE_RB_RS 150	150	300	10
26	SPV RB 125	125	250	18
28	SPV RB 75	75	150	11
29	Flex-ÖV	10	10	684
30	Standard SPNV	275	450	207
31	Standard SPFV	560	560	47
32	DB_IC_2_Twindexx	461	461	3
34	ICE_4	830	830	5
36	ICE_3	450	450	4
37	ICE_3_Velaro	444	444	1
38	ICE_4_lang	918	918	3
40	ICE_4_kurz	444	444	2
43	DB_IC_1x1KI+5x2KI	404	404	2
45	ICE_3_M	409	409	1
46	SBB_EC_3x1KI+7x2KI+1xRestaurant	756	756	1
47	TGV	509	509	1
48	SBB_Giruno	422	422	1
49	Stadtbahn_Doppeltraktion	216	332	2

Tabelle 28: Fahrzeugkombinationen im Analysefall

Die Zuordnung der Fahrzeugkombinationen erfolgt im Modell grundsätzlich über die Fahrplanfahrabschnitte.

Auf Strecken-, Haltestellen- und Verkehrssystemebene sind jeweils die BDAs [AUSLASTUNG_AKTIVE_LINIEN_SITZPL] und [AUSLASTUNG_AKTIVE_LINIEN_GESAMTPL] angelegt. Damit lassen sich beispielsweise die Auslastungen einzelner Linien oder bestimmter Verkehrssysteme im Netz anzeigen, indem ein entsprechender Linienfilter gesetzt wird.

6.8 Tarifsystem

6.8.1 Anforderung

Das Tarifmodell liefert für die Modellierung der Verkehrsmittel-, Ziel- und Moduswahl die Fahrpreise auf Relationsebene. Das Verkehrsnachfragemodell soll die Untersuchung relativer und absoluter Preisänderungen (z.B. kostenloser ÖV oder ein um x% reduzierter Tarif) differenziert nach Verkehrsbezirksrelationen (z.B. in einem bestimmten Verbund oder nur den BW-Tarif betreffend) ermöglichen.

Jedem Verkehrsbezirk sollen mehrere Verbünde zugeordnet werden können. Für Fahrten im Verbund (Quellbezirk und Zielbezirk im selben Verbund) soll der Verbundtarif gelten. Für verbundübergreifende Fahrten (Quellbezirk und Zielbezirk in unterschiedlichen Verbünden) mit dem Nahverkehr kommt in Baden-Württemberg der Baden-Württemberg-Tarif (bwTarif) zum Einsatz. Überschreiten Nahverkehrsfahrten die Landesgrenze, oder handelt es sich um Nahverkehrsanteile von Fernverkehrsfahrscheinen, kommt der Tarif nach Beförderungsbedingungen der DB zum Einsatz.

Im Analysejahr gab es im Land Baden-Württemberg 21 Verkehrsverbünde. Für verbundsübergreifende Verkehre innerhalb Baden-Württembergs galt für Einzelfahrkarten bereits der bwTarif. Für Dauerkarten wurde dieser erst im Jahr 2020 eingeführt, weshalb im Analysejahr hier noch die Tarife der Beförderungsbedingungen der DB galten. Weiterhin gab es im Analysejahr noch kein Deutschlandticket, d.h. die vorhandenen Dauerkarten hatten i.d.R. nur in sehr beschränkten Gebieten Gültigkeit. Die Wirkung der Umstellung auf ein Deutschlandticket in der Prognose, das Gültigkeit für den gesamten Nahverkehr in Deutschland hat, soll durch das Preismodell darstellbar sein.

6.8.2 Modellierung ÖPNV-Preise

Im Modell sind die Tarifverbünde als POIs unter der POI-Kategorie Nr. 39 „Verbünde“ angelegt. Diese sind mit folgenden Attributen versehen:

- [NR]: Die Nummer der Verbünde ist frei wählbar und nicht berechnungsrelevant.
- [CODE]: Kürzel für die Verbundsbezeichnung.
- [NAME]: Name des Verkehrsverbunds.
- [TARIF_NR]: Verknüpft den Verbund mit einem Tarifsystem. Die Nummer endet immer mit einer Null und muss zwingend mit einer NR der Tarif-Tabelle übereinstimmen (siehe unten).

Jedem Bezirk kann eine beliebige Zahl von Verbünden zugeordnet werden. Zu diesem Zweck wird die Fläche der Verbunds-POI mit der Fläche der Bezirke verschnitten. Ist der Flächenanteil, den der Verbund von der Bezirksfläche abdeckt, größer als 0,75, wird der Verbund dem Bezirk zugeordnet. Auf Bezirksebene werden dafür folgende Attribute genutzt:

- [VERBUENDE_NR]: Die Nummern der einem Bezirk zugeordneten Verbünde werden aufgelistet, getrennt durch ", ".

- [VERBUENDE_CODE]: Die Codes der einem Bezirk zugeordneten Verbünde werden aufgelistet, getrennt durch ", ".

Als Ergebnis der Tariffberechnung für den Nahverkehr werden fünf Kenngrößenmatrizen berechnet:

- [TARIF_NR]: Nummer des Tarifs, der auf der jeweiligen Relation Anwendung findet.
- [PREIS_EF_EW_NAH]: Mittlerer Preis einer Einzelfahrt für Erwachsene im Nahverkehr (Euro/Fahrt)
- [PREIS_EF_KIND_NAH]: Mittlerer Preis einer Einzelfahrt für Kinder im Nahverkehr (Euro/Fahrt)
- [PREIS_DK_EW]: Mittlerer Preis einer Dauerkarte für Erwachsene (Euro/Monat)
- [PREIS_DK_KIND]: Mittlerer Preis Dauerkarte für Kinder (Euro/Monat)

Für die Tariffberechnung steht die benutzerdefinierte Tabelle [TARIFE] zur Verfügung. Diese umfasst folgende Attribute:

- [NR]: Eindeutige Nummer eines Tarifs. Die Werte haben inhaltliche Bedeutung und sind berechnungsrelevant. Standardmäßig wird auf der 2ten Stelle durchnummeriert. Die mit einer Null endende Nummer ist mit dem Verbundgebiet-POI verknüpft. Tarifsysteme, die auf die Ziffern 1 bis 9 enden, dienen dazu, innerhalb eines Tarifsystems für unterschiedliche Entfernungsbereiche unterschiedliche Funktionen zu verwenden (siehe unten). Die Nummer gibt die Einordnung in unterschiedliche Klassen von Tarifsystemen mit folgender Bedeutung wieder:
 - 10 bis 999: Tarifsysteme innerhalb BW.
 - 1000 bis 1999: Tarifsysteme außerhalb BW.
 - Ab 2000: Übergreifende Tarifsysteme.
- [TARIF_NAME]: Frei wählbarer Name des Tarifs.
- [TARIF_ZONENGROESSE]: Aus Verbundfläche berechneter Radius des Verbundgebiets (km)
- [TARIF_EF_EW_MINPREIS]: Funktionsparameter, der die untere Preisgrenze für eine Einzelfahrt für Erwachsene angibt (Euro/Fahrt).
- [TARIF_EF_EW_MAXPREIS]: Funktionsparameter, der die obere Preisgrenze für eine Einzelfahrt für Erwachsene angibt (Euro/Fahrt).
- [TARIF_EF_EW_KMPREIS]: Funktionsparameter, der den Kilometerpreis für eine Einzelfahrt für Erwachsene angibt (Euro/km).
- [TARIF_EF_EW_PREISVERSATZ]: Funktionsparameter, der den Versatz des Kilometerpreises gegenüber dem Schnittpunkt mit 0 für eine Einzelfahrt für Erwachsene angibt.
- [TARIF_EF_EW_UNTERGRENZE_ENTF]: Untere Grenze (LLW in km), bei der für Einzelfahrten von Erwachsenen die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
- [TARIF_EF_EW_OBERGRENZE_ENTF]: Obere Grenze (LLW in km), bei der für Einzelfahrten von Erwachsenen die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.

- [TARIF_EF_KIND_MINPREIS]: Funktionsparameter, der die untere Preisgrenze für eine Einzelfahrt für Kinder angibt (Euro/Fahrt).
 - [TARIF_EF_KIND_MAXPREIS]: Funktionsparameter, der die obere Preisgrenze für eine Einzelfahrt für Kinder angibt (Euro/Fahrt).
 - [TARIF_EF_KIND_KMPREIS]: Funktionsparameter, der den Kilometerpreis für eine Einzelfahrt für Kinder angibt (Euro/km).
 - [TARIF_EF_KIND_PREISVERSATZ]: Funktionsparameter, der den Versatz des Kilometerpreises gegenüber dem Schnittpunkt mit 0 für eine Einzelfahrt für Kinder angibt.
 - [TARIF_EF_KIND_UNTERGRENZE_ENTF]: Untere Grenze (LLW in km), bei der für Einzelfahrten von Kindern die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
 - [TARIF_EF_KIND_OBERGRENZE_ENTF]: Obere Grenze (LLW in km), bei der für Einzelfahrten von Kindern die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
-
- [TARIF_DK_EW_MINPREIS]: Funktionsparameter, der die untere Preisgrenze für eine Dauerkarte für Erwachsene angibt (Euro/Monat).
 - [TARIF_DK_EW_MAXPREIS]: Funktionsparameter, der die obere Preisgrenze für eine Dauerkarte für Erwachsene angibt (Euro/Monat).
 - [TARIF_DK_EW_KMPREIS]: Funktionsparameter, der den Kilometerpreis für eine Dauerkarte für Erwachsene angibt (Euro/km).
 - [TARIF_DK_EW_PREISVERSATZ]: Funktionsparameter, der den Versatz des Kilometerpreises gegenüber dem Schnittpunkt mit 0 für eine Dauerkarte für Erwachsene angibt (Euro).
 - [TARIF_DK_EW_UNTERGRENZE_ENTF]: Untere Grenze (LLW in km), bei der für Dauerkarten von Erwachsenen die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
 - [TARIF_DK_EW_OBERGRENZE_ENTF]: Obere Grenze (LLW in km), bei der für Dauerkarten von Erwachsenen die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
-
- [TARIF_DK_KIND_MINPREIS]: Funktionsparameter, der die untere Preisgrenze für eine Dauerkarte für Kinder angibt (Euro/Monat).
 - [TARIF_DK_KIND_MAXPREIS]: Funktionsparameter, der die obere Preisgrenze für eine Dauerkarte für Kinder angibt (Euro/Monat).
 - [TARIF_DK_KIND_KMPREIS]: Funktionsparameter, der den Kilometerpreis für eine Dauerkarte für Kinder angibt (Euro/km).
 - [TARIF_DK_KIND_PREISVERSATZ]: Funktionsparameter, der den Versatz des Kilometerpreises gegenüber dem Schnittpunkt mit 0 für eine Dauerkarte für Kinder angibt (Euro).

- [TARIF_DK_KIND_UNTERGRENZE_ENTF]: Untere Grenze (LLW in km), bei der für Dauerkarten von Kindern die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
- [TARIF_DK_KIND_OBERGRENZE_ENTF]: Obere Grenze (LLW in km), bei der für Dauerkarten von Kindern die entsprechende Preisfunktion innerhalb des Tarifsystems gilt.
- [TARIF_SZENARIO]: Identifiziert das Szenario, für das der entsprechende Tarif gilt (Analysefall oder unterschiedliche Prognosefälle)
- [TARIF_SZ_CODE]: Nummer des entsprechenden Szenarios für die Zuordnung im Verfahrensablauf.

Zunächst wird die Matrix „TARIF_NR“ befüllt. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

1. Fahrten innerhalb eines Verbundes in BW:
Für jeden Verbund sollen die spezifischen Funktionsparameter auf der TARIFE-Tabelle genutzt werden. Es wird geprüft, ob im Quell-Bezirk und im Ziel-Bezirk übereinstimmende Tarifsysteme vorliegen. Da ein Bezirk mehreren Verbünden zugeordnet sein kann, können mehrere Tarifsysteme gültig sein. In diesem Fall dominiert das Tarifsystem mit der höheren Nummer.
Ein Beispiel ist in Abbildung 37 dargestellt: Auf Relation a gilt das Tarifsystem Nummer 210, auf Relation c das Tarifsystem Nummer 100. Auf Relation b gilt das Tarifsystem mit der höheren Nummer, d.h. Tarifsystem 210.
Durch den Modellierungsansatz ist es auch möglich, spezielle Tarife innerhalb eines Verbunds zu modellieren, beispielsweise Stadttarife. Dafür wäre für das Gebiet, in dem der spezielle Tarif gelten soll, eine eigene POI-Verbundsfläche einzufügen, dem eine höhere Tarif-Nummer zugewiesen wird als dem eigentlichen Verbund.
2. Fahrten in Verbünden im Erzeugungsraum außerhalb von BW:
Verbundtarife außerhalb des Planungsraums werden nicht spezifisch abgebildet, es gilt ein einheitliches Tarifsystem, das mittlere Verbundpreise widerspiegelt. Die Funktionsparameter sind unter der Tarif-Nr 2010 in der benutzerdefinierten TARIFE-Tabelle abgespeichert.
3. Verbundsübergreifende Fahrten innerhalb von BW:
Für Fahrten innerhalb von BW kann ein eigenes Tarifsystem genutzt werden, das beispielsweise den bwTarif widerspiegelt. Die Funktionsparameter sind unter der Tarif-Nr 2020 in der benutzerdefinierten TARIFE-Tabelle abgespeichert.
4. Verbundsübergreifende Fahrten mit Quelle und/oder Ziel außerhalb von BW:
Für diese Fahrten ist ein eigenes Tarifsystem hinterlegt, das beispielsweise den Normaltarif der deutschen Bahn widerspiegelt. Die Funktionsparameter sind unter der Tarif-Nr 2030 in der benutzerdefinierten TARIFE-Tabelle abgespeichert.

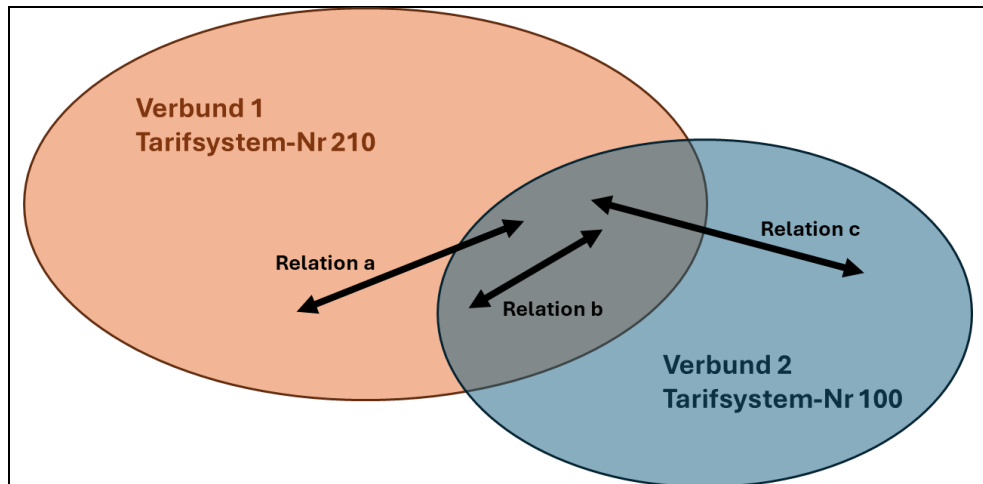


Abbildung 37: Beispielhafte Darstellung einer Tarifsystem-Überlappung

Auf Grundlage der Matrix TARIF_NR werden die Funktionsparameter zur Berechnung der Fahrpreis-Matrizen aus der TARIFE-Tabelle ausgewählt. Als Tarifmodell wird in allen Fällen ein vereinfachter Luftlinientarif angenommen. Die Fahrpreise steigen linear an und sind durch eine untere und obere Preisgrenze beschränkt. Formal ausgedrückt:

$$P = \min (P_O; \max (P_U; P_{km} \cdot LLW + P_V))$$

mit

- P Fahrpreis
- P_O Obere Preisgrenze
- P_U Untere Preisgrenze
- P_{km} Preis pro Kilometer Luftlinienweite
- P_V Versatz der Preisfunktion

Dabei werden jeweils die Parameter des jeweilig geltenden Tarifsystems herangezogen, die für die jeweiligen Preise (Einzelfahrt Erwachsene, Einzelfahrt Kind, Dauerkarte Erwachsene, Dauerkarte Kind) hinterlegt sind.

Da die Tarife nicht immer linear mit der Entfernung ansteigen, können bis zu 10 Funktionen für ein Tarifsystem hinterlegt werden. Sie unterscheiden sich durch die letzte Ziffer der [TARIF_NR]. Die Attribute [..._UNTERGRENZE_ENTF] und [..._OBERGRENZE_ENTF] geben an, in welchem Entfernungsbereich die jeweiligen Funktionsparameter aus der Tariftabelle genutzt werden.

Die so berechneten, für den Nahverkehr geltenden Tarife basieren rein auf der Luftlinienweite und sind deshalb von der Umlegung unabhängig.

6.8.3 Dauerkartenpreise auf Verkehrsbezirksebene und Einzelfahrpreis für Dauerkartenbesitzer

Auch Dauerkarten können für unterschiedliche Relationen bzw. Entfernungen gültig sein (Normalzustand vor Einführung des Deutschlandtickets). Deshalb kosten Dauerkarten im Modell für unterschiedliche Relationen unterschiedlich viel. Für die Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodellierung und die Nachfragemodellierung werden diese unterschiedlichen Dauerkarten zusammengefasst, es gibt nur die Entscheidung Dauerkarte ja/nein. Die Modellierung erfolgt so, dass Personen einen mittleren Dauerkartenpreis – abhängig vom Wohnort – für den Besitz einer Dauerkarte bezahlen. Dadurch wird eine Fahrt für bestimmte Relationen kostenlos, für andere günstiger. Die Berechnung der Preise erfolgt folgendermaßen

- Berechnung von Zielwahl für Arbeitswege und Schulwege: Annahme, dass die Aufteilung der abgedeckten Entfernungen durch eine vorhandene Dauerkarte der Entfernung zwischen Wohnort und Arbeits- bzw. Schulstandort entspricht.
- Dauerkartenpreise auf Verkehrsbezirksebene: Für einen Quellbezirk werden die Kosten der Dauerkarten zu allen Zielbezirk über die Nachfrageanteile aus der Zielwahl gewichtet aufsummiert.

$$p_o = \frac{\sum_{d \in D} p_{o,d} \cdot d_{o,d}}{\sum_{d \in D} d_{o,d}}$$

- Einzelfahrpreis für Dauerkartenbesitzer: Auf Relationsebene wird ermittelt, wieviel eine Person mit Dauerkarte im Mittel bezahlen muss. Dies hängt von der Verteilung der vorhandenen Dauerkarten im jeweiligen Verkehrsbezirk ab. Beispiel: Wohnen zwei Dauerkartenbesitzende in einem Verkehrsbezirk, einer mit 2-Zonen-Dauerkarte, einer mit 4-Zonen-Dauerkarte, so müssen im Mittel für eine Fahrt in 4 Zonen der Preis einer Zone bezahlt werden (der 2-Zonen-Dauerkartenbesitzende zahlt für 2 Zonen, der 4-Zonen-Dauerkartenbesitzende zahlt nichts). Dies lässt sich formal folgendermaßen darstellen, wobei p^D der Fahrpreis für eine Einzelfahrt mit Dauerkarte, p^E der Fahrpreis für eine Einzelfahrt ohne Dauerkarte und z alle Zielorte sind, für die eine Dauerkarte vorhanden sein kann.

$$p_{o,d}^D = \frac{\sum_{z \in D} d_{o,z} \cdot \max(p_{o,d}^E - p_{o,z}^E; 0)}{\sum_{z \in D} d_{o,z}}$$

Die so berechneten Kosten für Einzelfahrten mit Dauerkartenbesitz gelten für alle Nicht-Pflichtaktivitäten. Es wird angenommen, dass, sofern eine Dauerkarte besessen wird, diese auf Relationen zum Erreichen von Pflichtaktivitäten gültig ist, weshalb für diese immer ein Preis von 0 Euro angesetzt wird. Die Einzelfahrpreise für Dauerkartenbesitzer werden zunächst wiederum nur für den Nahverkehr berechnet und in den Matrizen mit PREIS_EF_EW_DKBESITZ_NAH für Erwachsene und mit PREIS_EF_KIND_DKBESITZ für Kinder gespeichert.

6.8.4 Modellierung von Fernverkehrspreisen

Für Relationen mit hohen Entfernungen ist zusätzlich die Entscheidung zwischen der Nutzung von Nah- und/oder Fernverkehr (und hier Bahn oder Fernbus) relevant. Diese wird in der Verbindungs-

wahl abgebildet. Die Verkehrssysteme S_FERN und B_FERN werden dazu mit konstanten fahrweitenbezogenen Kostensätzen belegt, die in der benutzerdefinierten Tabelle TARIFE FERN gespeichert sind

- [OEV_KM_FERNVERKEHR]
- [OEV_KM_FERNVERKEHR_KIND]
- [OEV_KM_FERNBUS]
- [OEV_KM_FERNBUS_KIND]

gespeichert sind. Die Werte der Attribute werden jeweils für das zu berechnende Szenario (Analyse oder Prognoseszenarien) aus der Tabelle ausgewählt und in Netzattribute übertragen.

Den Werten wird für den ÖPNV ein Vergleichswert gegenübergestellt, der je nach Personenzahl, die für eine bestimmte Relation eine Dauerkarte besitzt, variiert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das Modell bei Abbildung der Einführung des Deutschlandtickets mit einem Shift vom Fern- zum Nahverkehr reagiert.

Der zugrundgelegte Gesamtpreis für eine Fahrt mit dem ÖPNV berechnet sich aus den Preismatrizen für Fahrten mit und ohne Dauerkartenverfügbarkeit (PREIS_EF_EW_NAH und PREIS_EF_EW_DKBESITZ_NAH) und deren anteilige Gewichtung über anhand des Anteils der Personen mit Dauerkarte im entsprechenden Startbezirk. Das Ergebnis wird durch eine aus der Luftlinienweite abgeleitete Fahrweite (siehe folgenden Formel) auf einen entfernungsabhängigen Kostensatz umgerechnet.

$$\text{Fahrweite} = 10^{0.56+0.35 \cdot \ln(\text{Luftlinienweite})}$$

Die drei Kostensätze werden entsprechend dem jeweiligen Verkehrssystem auf die Fahrplanfahrverläufe in das Attribut [PREIS_FAHRWEITE_UMLEG] übertragen. Dieses Attribut wird für die Kenngrößenberechnung und bei der Umlegung als Widerstandskomponente verwendet (Verwendung des erweiterten Widerstands).

Die Kenngrößenmatrizen PREIS_EF_EW, PREIS_EF_KIND, PREIS_EF_EW_DKBESITZ, und PREIS_EF_KIND_DKBESITZ werden aus den jeweiligen Matrizen für den Nahverkehr „..._NAH“ (Berechnung siehe oben) und den entfernungsabhängigen Preisen für den Fernverkehr berechnet. Dafür werden die einzelnen Kostenkomponenten mit den Anteilen, die mit dem Nahverkehr, dem SPFV oder dem Fernbus zurückgelegt werden, gewichtet.

6.8.5 Modelleingangsdaten im Analysefall

Für den Analysefall sind 21 Verkehrsverbünde im Planungsraum und 16 Verkehrsverbünde im Einflussraum hinterlegt (Tabelle 29).

Nr	Code	Name
1	TGO	Tarifverbund Ortenau
2	VGF	Verkehrs-Gemeinschaft Landkreis Freudenstadt
3	RVL	Regio Verkehrsverbund Lörrach
4	VHB	Verkehrsunternehmen Hegau-Bodensee Verbund
5	OAM	OstalbMobil
6	KVSH	KreisVerkehr Schwäbisch Hall
7	WTV	Waldshuter Tarifverbund
8	HTV	Heidenheimer Tarifverbund
9	RVF	Regio-Verkehrsverbund Freiburg
10	bodo	Bodensee-Oberschwaben Verkehrsverbund
11	VPE	Verkehrsverbund Pforzheim-Enzkreis
12	naldo	Verkehrsverbund Neckar-Alb-Donau
13	DING	Donau-Iller-Nahverkehrsverbund
14	VGC	Verkehrsgesellschaft Bäderkreis Calw mbH
15	KVV	Karlsruher Verkehrsverbund
16	HNV	Heilbronner · Hohenloher · Haller Nahverkehr GmbH
17	VSF	Verkehrsverbund Schwarzwald-Baar
18	VVR	Verkehrsverbund Rottweil
19	TUTicket	Verkehrsverbund Landkreis Tuttlingen
20	VRN	Verkehrsverbund Rhein-Neckar
21	VVS	Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart
50	VGN	Verkehrsverbund Großraum Nürnberg
51	VAB	Verkehrsgemeinschaft am Bayerischen Untermain
52	LVG	Landsberger Verkehrs Gemeinschaft
53	VVM	Verkehrsverbund Mittelschwaben GmbH
54	VDR	Verkehrsgemeinschaft Donau-Ries
55	VVM	Verkehrsunternehmens Verbund Mainfranken
56	RMV	Rhein-Main-Verkehrsverbund
57	RNN	Rhein-Nahe Nahverkehrsverbund
58	MONA	Mobilitätsgesellschaft Nahverkehr Allgäu
59	AVV	Augsburger Verkehrs- und Tarifverbund
70	VVV	Vorarlberg
80	Ostwind	Tarifverbund Ostwind
81	ZVV	Zürcher Verkehrsverbund
82	A-Welle	Tarifverbund für öffentlichen Verkehr in Aargau
83	TNW	Tarifverbund Nordwestschweiz
90	ELS	Elsass

Tabelle 29: Tarifverbünde im Analysefall

Für die Verkehrsverbünde im Planungsraum sowie den Tarif für Verbünde im Einflussraum sind die Funktionsparameter in Tabelle 30 und Tabelle 31 dargestellt.

Tarif Nr	Verbund Code	EW Min-Preis	EW Max-Preis	EW Km-Preis	EW Preis Versatz	Kind Min-Preis	Kind Max-Preis	Kind Km-Preis	Kind Preis Versatz
10	TGO	2,39	5,81	0,14	0,35	1,95	4,00	0,08	0,75
20	VGF	2,05	4,96	0,09	1,61	1,45	3,00	0,06	1,10
30	RVL	2,25	4,37	0,07	2,02	1,40	2,70	0,04	1,27
40	VHB	2,16	5,27	0,09	1,63	1,35	3,15	0,05	1,06
50	OAM	1,80	8,01	0,14	1,65	1,30	5,80	0,10	1,19
60	KVSH	1,71	6,03	0,12	0,93	1,20	4,10	0,08	0,83
70	WTV	2,09	3,83	0,07	1,49	1,31	2,27	0,04	0,97
80	HTV	2,12	4,68	0,20	0,54	1,45	3,15	0,13	0,40
90	RVF	2,07	5,13	0,22	0,83	1,40	3,40	0,15	0,59
100	bodo	1,92	6,70	0,11	1,35	1,26	4,46	0,07	0,91
110	VPE	1,83	4,27	0,10	1,02	1,16	2,41	0,05	0,82
120	naldo	2,38	8,06	0,14	1,01	1,82	6,24	0,11	0,76
130	DING	1,71	7,38	0,11	1,34	1,25	5,00	0,07	0,90
140	VGC	2,11	5,86	0,16	1,85	1,62	4,54	0,13	1,45
150	KVV	1,89	6,84	0,10	1,07	1,49	4,01	0,06	0,49
160	HNV	2,30	7,54	0,11	2,30	1,28	4,19	0,06	1,26
170	VSB	2,00	5,92	0,13	1,01	1,71	4,93	0,11	0,91
180	VVR	2,66	6,59	0,13	1,70	2,27	5,49	0,11	1,49
190	TUTicket	1,74	3,92	0,09	0,70	1,49	3,27	0,07	0,63
200	VRN	1,71	10,08	0,26	-0,21	1,35	7,80	0,20	-0,20
210	VVS	2,25	7,74	0,15	1,66	1,30	4,20	0,08	0,96
2010	Verbünde Einzugsraum	2,06	6,17	0,13	1,24	1,47	4,21	0,09	0,89

Tabelle 30: Funktionsparameter für das Tarifsysteem bei Einzelfahrten (Euro/Fahrt), Analysefall

Tarif Nr	Verbund Code	EW Min-Preis	EW Max-Preis	EW Km-Preis	EW Preis Versatz	Kind Min-Preis	Kind Max-Preis	Kind Km-Preis	Kind Preis Versatz
10	TGO	40,20	67,80	1,14	23,77	35,20	59,10	0,99	20,91
20	VGF	46,80	117,30	2,25	36,76	46,90	117,10	2,20	37,65
30	RVL	46,00	54,40	1,00	28,70	37,50	45,00	0,60	28,30
40	VHB	44,90	72,50	1,23	20,86	33,10	53,40	0,91	15,38
50	OAM	54,40	180,80	3,08	39,65	43,40	71,30	1,91	26,94
60	KVSH	45,60	109,60	1,70	44,23	40,50	79,50	0,97	43,75
70	WTV	39,90	47,50	0,97	15,00	36,80	44,00	0,58	23,27
80	HTV	47,20	83,60	2,99	21,15	44,00	78,00	2,83	18,87
90	RVF	44,00	44,00	1,00	10,00	41,30	41,30	1,00	10,00
100	bodo	34,40	117,30	1,87	29,13	26,70	80,40	1,22	23,03
110	VPE	39,10	75,50	1,26	32,02	36,60	70,70	1,19	29,59
120	naldo	49,20	161,50	2,73	22,86	39,30	112,90	1,79	21,93
130	DING	35,40	145,50	2,10	27,33	29,50	101,70	1,38	24,10
140	VGC	50,50	133,50	3,75	42,50	43,40	114,70	3,22	36,59
150	KVV	52,80	141,60	2,10	23,25	49,30	131,70	1,95	21,93
160	HNV	49,10	129,60	2,09	40,68	48,20	100,40	1,35	42,82
170	VSB	41,80	70,40	1,51	15,64	39,40	65,30	1,36	15,96
180	VVR	50,80	84,70	1,78	21,77	47,90	78,50	1,61	21,90
190	TUTicket	25,40	44,70	1,12	6,68	23,90	41,50	1,01	7,07
200	VRN	53,50	209,00	4,42	14,12	40,20	115,10	2,48	31,29
210	VVS	54,10	176,80	3,01	51,04	46,20	102,10	1,36	44,94
2010	Verbünde Einflussraum	45,20	108,30	2,06	27,11	39,70	81,40	1,53	26,12

Tabelle 31: Funktionsparameter für das Tarifsysteem bei Dauerkarten (Euro/Monat), Analysefall

Für die verbundübergreifenden Tarife (BW-Tarif und DE-Tarif) werden für unterschiedliche Entfernungsbereiche unterschiedliche Funktionsparameter verwendet. Die entsprechenden Parameter sind in Tabelle 32 angegeben. Es ist zu berücksichtigen, dass im Analysefall kein BW-Tarif für Dauerkarten gültig war, weshalb für Dauerkarten im BW gleichermaßen die Parameter des DE-Tarifs angesetzt wurden.

Parameter	BW-Tarif Nah EF	BW-Tarif Weit EF	DE-Tarif Nah EF	DE-Tarif Weit EF	DE-Tarif Nah DK	DE-Tarif Mittel DK	DE-Tarif Weit DK
Tarif-Nr	2020	2021	2030	2031	2030	2031	2032
EW Min-Preis	1,64	1,64	1,49	1,49	41,60	41,60	41,60
EW Max-Preis	23,22	23,22	40,99	40,99	580,00	580,00	580,00
EW Km-Preis	0,20	0,11	0,22	0,15	3,33	0,43	1,32
EW Preis-Versatz	1,06	4,95	1,97	9,53	35,68	193,33	44,78
EW Untergrenze Entf	0,0	43,3	0,0	107,6	0,0	54,5	167,2
EW Obergrenze Entf	43,3	-	107,6	-	54,5	167,2	-
Kind Min-Preis	0,82	0,82	0,75	0,75	30,60	30,60	30,60
Kind Max-Preis	20,32	20,32	20,49	20,49	574,80	574,80	574,80
Kind Km-Preis	0,10	0,05	0,11	0,08	2,51	0,63	1,31
Kind Preis-Versatz	0,53	2,48	0,98	4,76	27,94	159,05	45,94
Kind Untergrenze Entf	0,0	43,3	0,0	107,6	0,0	69,6	165,2
Kind Obergrenze Entf	43,3	-	107,6	-	69,6	165,2	-

Tabelle 32: Funktionsparameter für die Tarifsysteme BW und DE, Analysefall

Für den Fernbus wurde ein Preis von 0,08 Euro pro km Fahrweite, für den Schienenpersonenfernverkehr ein Preis von 0,24 Euro pro km Fahrweite angesetzt.

6.8.6 Herleitung der Modelleingangsdaten für den Analysefall

Die Funktionsparameter wurden aus den Zonen- bzw. Wabentariifen der Verkehrsverbünde abgeleitet. Nach Möglichkeit wurden Daten aus dem Analysejahr 2019 verwendet. Nicht für alle Verbünde lagen die Daten für das Analysejahr vor. Der Preisstand der Datengrundlagen ist in Tabelle 33 wiedergegeben. Für das Angleichen der Preisniveaus wurde die Preisentwicklung des Statistischen Bundesamtes für die Personenbeförderung im Eisenbahnverkehr, Verkehrsart Nahverkehr, verwendet. Die Preisindizes bezogen auf das Analysejahr 2019 sind in Tabelle 34 wiedergegeben. Für viele Verbünde lagen keine Informationen zu Preisen zu Kindertickets aus dem Analysejahr vor. Für diese Verbünde wurden die Tarife rückwirkend aus dem Verhältnis der Erwachsenen- und Kindertarife der aktuellen Preise (Preisstand 2024) abgeleitet.

Bei Wabentariifen wurde die Gesamtfläche des Verbunds durch die Wabenzahl geteilt, um so den mittleren Durchmesser einer Wabe zu bestimmen. Dieser Wert wurde als mittlere Fahrtweite angesetzt, für die der Fahrtpreis zum Durchfahren einer Wabe zu entrichten ist. Bei radialen Zonentariifen (Verkehrsverbund Stuttgart und Regio-Verkehrsverbund Freiburg) wurden die Durchmesser der Ringe ermittelt und die mittleren Fahrweiten je Zone daran angepasst.

Tarif Nr	Verbund Code	Preis-stand	Anmerkungen
10	TGO	2019	
20	VGF	2018	
30	RVL	2019	
40	VHB	2019	
50	OAM	2019	
60	KVSH	2019	
70	WTV	2018	
80	HTV	2019	
90	RVF	2019	• Ringzonen-Tarif. Berechnung der mittleren Fahrweite über mittlere Breite eines Rings.
100	bodo	2018	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) abgeschätzt.
110	VPE	2018	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) abgeschätzt.
120	naldo	2020	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) abgeschätzt.
130	DING	2019	
140	VGC	2020	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) abgeschätzt.
150	KVV	2019	
160	HNV	2021	
170	VSB	2018	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) des Move-Tarifs abgeschätzt.
180	VVR	2020	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) des Move-Tarifs abgeschätzt.
190	TUTicket	2018	• Preise für Kinder-Ticket über Verhältnis Erwachsenen- und Kindertickets nach aktuellem Preisstand (2024) des Move-Tarifs abgeschätzt.
200	VRN	2019	
210	VVS	2019	• Ringzonen-Tarif. Berechnung der mittleren Fahrweite über mittlere Breite eines Rings.
2010	Verbünde Einflussraum	-	• Für alle Verbünde im Einflussraum wurde einheitlich der mittlere Tarif aller Verbünde im Planungsraum angenommen.
2020	Baden-Württemberg Tarif	2018	• Einzelfahrpreise des BW-Tarif entfernungsabhängig. • Für Dauerkarten war der BW-Tarif es zum Zeitpunkt des Analysejahres noch nicht eingeführt. Aus diesem Grund wurden die Preise des DE-Tarifs übernommen.
2030	Deutschland-tarif	2022	• Die Preise stellen die Normalpreise für die zweite Klasse im Nahverkehr dar. • Für solche Fahrten lagen entfernungsabhängige Preisinformationen (kilometerscharf) sowohl für Einzelfahrten als auch Dauerkarten vor.

Tabelle 33: Preisstand und verbundspezifische Anmerkungen für die Ermittlung der Fahrpreise im Analysefall

Jahr Preisstand	Preisindex (ggü. 2019)
2018	96,8%
2019	100,0%
2020	101,8%
2021	102,2%

Tabelle 34: Preisindizes für die Berechnung der ÖV-Fahrpreise im Analysefall

Für jede Tarifzone wurden folgende Fahrpreise ermittelt: Normalpreise für Einzelfahrten von Erwachsenen und Kindern sowie Normalpreise für Monatskarten (ohne Abo) für Erwachsene und Kinder (bzw. Schüler und/oder Auszubildende).

Für eine Skalierung der anzusetzenden Fahrpreise anhand verkaufter Ticketarten lagen nur vereinzelt Verbundstatistiken vor (VVS, RVL, TGO, HTV und OAM). Die jeweiligen Datensätze waren unterschiedlich detailliert. Für die Skalierung der angesetzten Normalpreise wurden folgende Ansätze abgeleitet:

- Einzelfahrten Erwachsene: Angesetzter Fahrpreis = Normalpreis - 10 %
- Einzelfahrt Kinder: Keine Anpassung
- Dauerkarte Erwachsene: Angesetzter Monatspreis: Normalpreis - 20 %
- Dauerkarte Kinder:
 - Angebot von Schüler-Monatskarte und Monatsabo: Preiszusammensetzung 50/50
 - Angebot von Schüler-Monatskarte und Freizeit-Netzkarte⁴: Preiszusammensetzung 70/30

In Abbildung 38 ist die Herleitung der Funktionsparameter beispielhaft für zwei Verbünde dargestellt. Die Stufen in den durchgezogenen Linien stellen die Sprünge zwischen den Waben bzw. Zonen dar.

⁴ In mehreren Verbünden werden Dauerkarten für Jugendliche angeboten, die verbundweit jedoch nur außerhalb der Schulzeiten (z.B. ab 14 Uhr wochentags und am Wochenende) gültig sind.

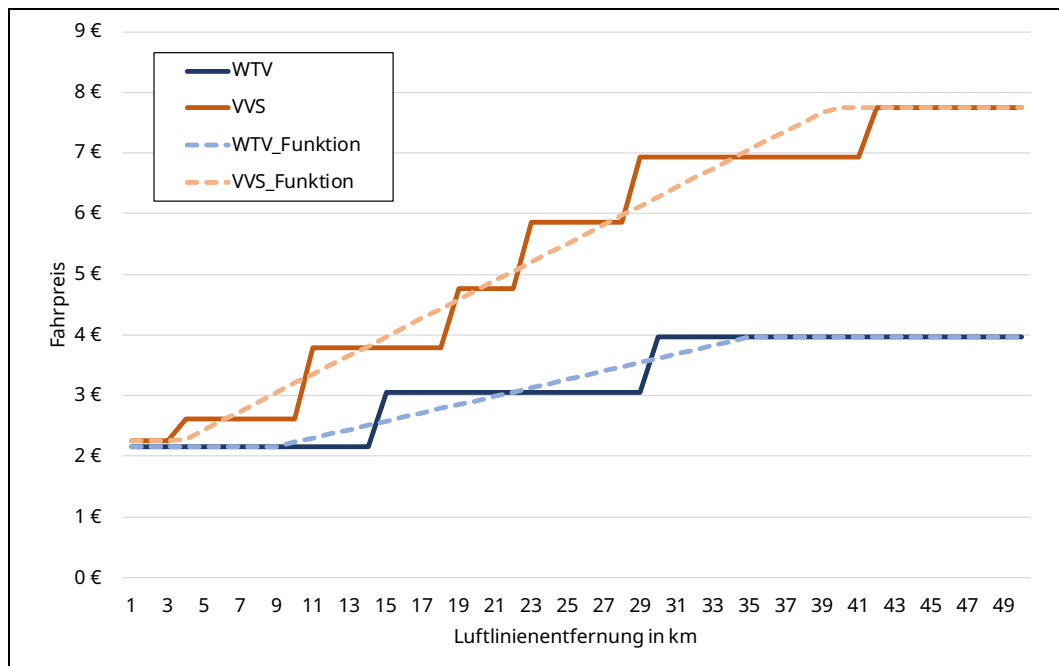


Abbildung 38: Herleitung der Funktionsparameter der Luftlinientarife anhand der Waben bzw. Zonengröße

Für Verbünde außerhalb des Planungsraums wurde aus den berechneten Preisfunktionen der Tarife in Baden-Württemberg eine mittlere Preisfunktion abgeleitet. Diese wurde einheitlich für alle Verbünde im Erzeugungsraum angewandt.

Für verbundübergreifende Fahrten innerhalb von Baden-Württemberg wurde für Einzelfahrten der BW-Tarif (Erwachsenen- bzw. Kindertarif) angesetzt. Das Tarifsystem ist direkt abhängig von der Luftlinienweite, die Daten standen für das Jahr 2018 zur Verfügung. Der Preisanstieg ist nahezu linear mit der Luftlinienweite verknüpft, lediglich ab einer Entfernung von 43 km wird der Anstieg etwas flacher. Dem wurde durch die Verwendung von zwei Funktionsparametersets Rechnung getragen. Als Obergrenze wurde der Preis von 24 Euro für ein BW-Ticket für eine Person angesetzt. Für Dauerkarten galten im Analysejahr noch die Tarife entsprechend den Beförderungsbedingungen der Deutschen Bahn. Die Werte wurden deshalb vom hinterlegten Preissystem für Fahrten über die Landesgrenze hinaus übernommen (siehe Folgeabsatz).

Für den Deutschlandtarif lagen Tarifinformationen für das Jahr 2022 für Einzelfahrten und Dauerkarten vor. Diese gelten für die Nutzung des Nahverkehrs. Es wurden die Preise für die Zweite Klasse angesetzt. Ebenso wie für den BW-Tarif sind kilometerscharf Luftlinienweitenpreise vorgegeben. Für Einzelfahrten lassen sich die Preise durch zwei Funktionsparameter gut beschreiben (Abflachen des Anstiegs ab rund 173 km). Als obere Preisgrenze für Einzelfahrten von Erwachsenen wurde der Preis des Quer-Durchs-Land-Ticket angesetzt, der im Analysejahr 44 Euro betrug. Die Dauerkartenpreise haben einen komplexeren Verlauf (steiler Anstieg im Nahbereich, anschließend flacher Verlauf, bei weiten Entfernungen erneut steiler), weshalb drei Parametersets verwendet wurden (siehe Tabelle 32).

Das entwickelte Tarifmodell wurde anhand zufällig ausgewählter Haltestellen-Relationen validiert. Für jeden Verbund wurden bis zu 20 Relationen ausgewählt, zehn Relationen im Nahbereich bis zu 10 km Luftlinienweite und weitere Relationen mit Entfernungen von über 10 km in 5-km-Schritten

bis zur Verbundgröße. Da die Abfrage der Tarife nur für den aktuellen Fahrplanstand möglich war, mussten die Tarifsysteme solcher Verbünde, in denen eine Reform der Tarifzonen stattfand, aus der Auswertung ausgeschlossen werden. Abbildung 39 zeigt die Ergebnisse der Validierung.

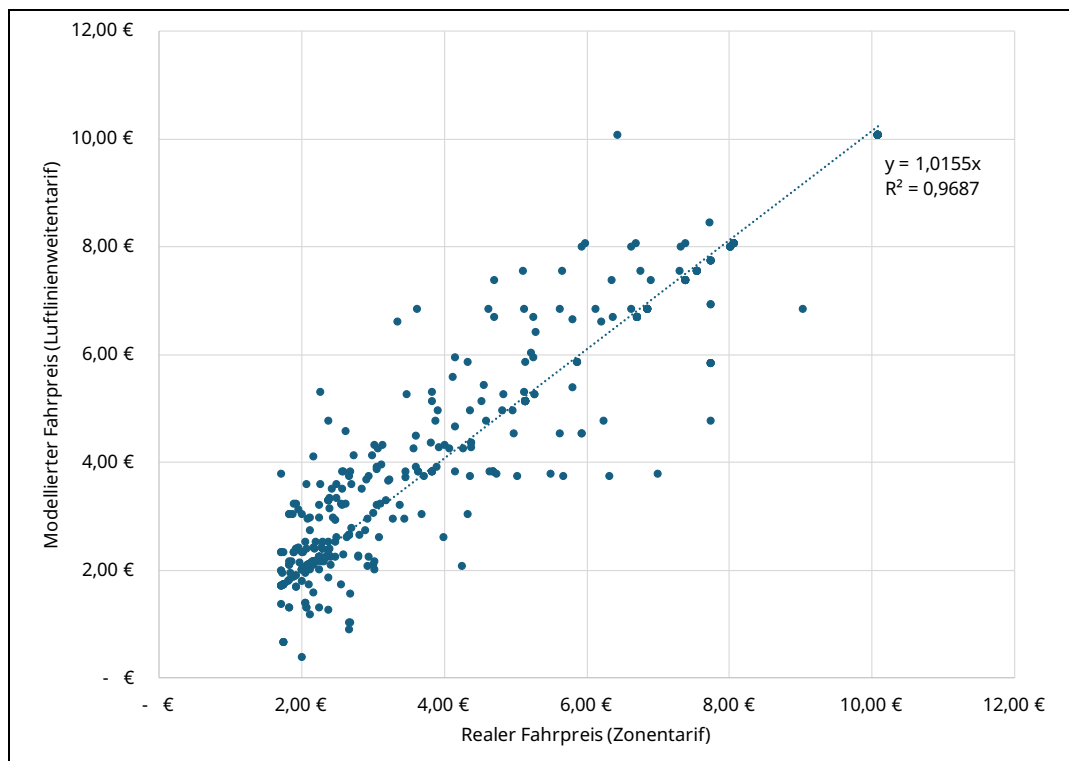


Abbildung 39: Validierung Luftlinientarif

Auch wenn die Streuung der Datenpunkte in Abbildung 39 verhältnismäßig groß aussieht, ist die Fehlersumme mit $R^2 = 0,9687$ sehr gering. Diese Diskrepanz ist damit zu begründen, dass sich viele Datenpunkte auf der Diagonalen überlagern, nämlich dann, wenn der Mindest- oder Maximalpreis sowohl im realen Zonentarif als auch im modellierten Fahrpreis übereinstimmen. Größere relative Abweichungen ergeben sich insbesondere im Bereich niedriger realer Fahrpreise. Hier handelt es sich in der Regel um gesonderte, räumlich abgegrenzte Stadttarife oder Kurzstreckentarife, die durch das Modell derzeit nicht abgebildet werden können.

Für die Herleitung der entfernungsabhängigen Preise für Fernbus und Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) wurden die Preise unterschiedlicher Relationen in Deutschland recherchiert. Dabei wurden für SPFV-Fahrten vom Suchzeitpunkt aus zwei Monate in der Zukunft liegend gesucht. Der Preis für den SPFV setzt sich zu einem Drittel aus den dabei gefundenen Sparpreisen, zu zwei Dritteln aus dem jeweiligen Flex-Preis zusammen. Für den Fernbus wurde ebenfalls eine in zwei Monaten stattfindende und eine in zwei Tagen stattfindende Fahrt gesucht. Für die Preisberechnung wurde die zeitnahe Fahrt hier mit einem Drittel, die zukünftige Fahrt mit zwei Dritteln gewichtet. Die Kosten wurden anhand der Entwicklung der Fernverkehrspreise zwischen Analysejahr und

dem Zeitpunkt der Suche zurückgerechnet⁵, wobei sich aufgrund der Preisrückgänge durch die Covid-Pandemie und die folgenden Preissteigerungen in Summe nahezu keine Veränderung ergab.

6.9 ÖV-Kenngrößenberechnung und ÖV-Umlegung

Die Kenngrößenberechnung und Umlegung erfolgt fahrplanbasiert im ÖV-Tochtermodell. Die verwendeten Parameter der entsprechenden Verfahrensschritte wurden final in der Kalibrierung eingestellt. Dabei wurde grundsätzlich auf eine einheitliche Parametrisierung zwischen Verbindungssuche, Verbindungswahl und der Bewertung in der Kenngrößen in der Ziel- und Moduswahl abgezielt. Die final gewählte Parametrisierung ist für die Verbindungssuche in Abbildung 40, für die Verbindungswahl in Abbildung 41 dargestellt.

⁵ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/202967/umfrage/geplante-preiserhoehungen-der-deutschen-bahn-fuer-nah-und-fernverkehr/>

Suchwiderstand =

zahl:	Koeffizient	Attribut	
	1.00	Fahrzeit im Fzg	* ...VSYSBONUS_PLUSEINS
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	* 1.0
+	1.50	Zugangszeit	
+	1.50	Abgangszeit	
+	1.50	Gehzeit	
+	0.01	Umsteigewartezeit	
+	20min	Umsteigehäufigkeit	
+	0.00	Verkehrssystem-Widerstand	Parameter
+	7.50	Fahrplanfahrt-Widerstand	Parameter

Fahrplanfahrtspezifischer Widerstand

Einstiege-Zuschlag:

Diskomfort-Zuschlag:

Aggregationsfunktion:

OK Abbrechen

Abschneideregeln

Eine Verbindung wird gelöscht, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

Suchwiderstand > * minimaler Suchwiderstand +

Reisezeit > * minimale Reisezeit +

Umsteigehäufigkeit > minimale Umsteigehäufigkeit +

Dominanz

Eine Verbindung c wird durch eine Verbindung c' dominiert, falls die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das Reisezeitintervall von c' ist in dem von c enthalten.
- c' enthält nicht mehr Umstiege als c.
- c' ist hinsichtlich Suchwiderstand so viel besser als c, dass gilt:
Suchwiderstand (c) >= * Suchwiderstand (c') +
- In mindestens einer der Bedingungen 1.-3. gilt echte Ungleichheit.

☐ Direktverbindungen nicht dominieren

☒ Im Suchwiderstand von c' Wartezeit bis zur Ankunft von c hinzurechnen (empfohlen)

Dominanz äquivalenter Verbindungen

☒ Dominanz zwischen äquivalenten Verbindungen erlauben (empfohlen):
c und c' sind äquivalent, wenn sie sich nur in den Umsteigehalten unterscheiden. In diesem Fall fahren sie zeitgleich ab, kommen zeitgleich an, haben dieselbe Anzahl Umstiege, denselben Suchwiderstand und c benutzt dieselben Fahrzeitprofile wie c'.

☐ Priorität von Haltestellenbereichen für Umstiege:

☐ Priorität von geplanten Anschlüssen für Umstiege:

Es bleibt jeweils die Verbindung mit Umstieg an Haltestellenbereichen mit niedrigerer Priorität erhalten.

☒ Bei Gleichheit wird der erste der äquivalenten Umstiege gewählt.

☐ Bei Gleichheit wird der letzte der äquivalenten Umstiege gewählt.

Abbildung 40: ÖV-Umlegung, Parametrisierung der Branch&Bound-Suche

Widerstand

Empfundene Reisezeit (ERZ) =

zahl:	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda
	0.00	Fahrzeit im Fzg	*	1.0	☐ 1.00
+	1.00	ÖV-Zusatz-Fahrzeit	*	1.0	☐ 1.00
+	1.50	Zugangszeit			☐ 1.00
+	1.50	Abgangszeit			☐ 1.00
+	1.50	Gehzeit			☐ 1.00
+	1.50	Startwartezeit	Parameter	☐	1.00
+	0.01	Umsteigewartezeit	Parameter	☐	1.00
+	23min	Umsteigehäufigkeit	*	Formel	☐ 1.00
+	0min	Anzahl Betreiberwechsel	Parameter	☐	1.00
+	1.00	Erweiterter Widerstand	Parameter	☐	1.00

Startwartezeit

Startwartezeit = * (Zeit / BDH)

Max.

Fahrzeit im Fahrzeug

☒ = 7.5000 * [min] + (1 + 1.0000 *) * Teilwegzeit

Fahrplanfahrtelement-Attribut aufsummiert

☐ Verbindungen mit DeltaT > 0 berücksichtigen, wenn es Verb. mit DeltaT = 0 gibt (empfohlen)

DeltaT = Zeitabstand von gewünschter und tatsächlicher Abfahrts- bzw. Ankunftszeit

Widerstand =

zahl:	Koeffizient	Attribut		BoxCox	Lambda
	1.00	ERZ [min]		☐	1.00
+	0.00	Fahrpreis		☐	1.00
+	1.00	DeltaT(früh) [min]		☐	1.00
+	1.00	DeltaT(spät) [min]		☐	1.00

Zeitabhängige Widerstandsberechnung

☐ Ganglinienintervalle feiner aufrastern

Maximale Intervalllänge: 24h

Wahl

Aufteilungsmodell:

Nutzen $U = e^{-\beta R}$

R = Widerstand einer Verbindung

$\beta =$

☒ Eigenständigkeit verwenden

Maximales Zeitfenster:

Einfluss von ERZ und Fahrpreis: (0 = kein, 1 = max. Einfluss)

Wirkung auf Verbindungen mit hoher Qualität:

Wirkung auf Verbindungen mit geringer Qualität:

[Was bedeutet Eigenständigkeit einer Verbindung?](#)

Abbildung 41: ÖV-Umlegung, Parametrisierung der Verbindungswahl

Im Folgenden werden die wichtigsten Parameter-Einstellungen erklärt:

- Die Fahrzeit im Fahrzeug wird mit dem Verkehrssystembonus multipliziert. Bei der Suche geht dieser über das Attribut VSYSBONUS_PLUSEINS ein, bei der Verbindungswahl über das Attribut VSYSBONUS im erweiterten Widerstand. Die eingestellten Verkehrssystemboni sind in Tabelle 35 wiedergegeben.
- Zugangs-, Abgangs- und Gehzeit werden jeweils wie 1,5min Fahrzeit bewertet.

- Die Startwartezeit wird mit 1,5min Fahrzeit bewertet. Die Startwartezeit wird durch anhand der Bedienungshäufigkeit transformiert ($\text{Zeit}/\text{BDH}^{0,40}$) und ist auf einen Maximalwert von 10 min beschränkt.
- Ein Umstieg wird pauschal mit 23 min bestraft, die sich aus der Verbindung ergebende Umsteigewartezeit wird nicht berücksichtigt, da diese auf Grundlage des Verkehrsangebots in der Prognose nicht ausreichend genau berechnet werden kann (aufgrund der noch fehlenden Anschlussplanung ergeben sich in der Regel in der Prognose zu hohe Umsteigewartezeiten). Im Zuge der Kalibrierung wurde der Wert so festgelegt, dass die Umsteigehäufigkeit bei Wegen in BW im Mittel bei 0,26 liegt. Es wurden unterschiedlich parametrisierte Berechnungen durchgeführt, in denen auch die sich aus der Verbindung ergebenden Umsteigewartezeit berücksichtigt wurde, um zu prüfen, ob aufgrund der Nicht-Berücksichtigung eine systematische Verzerrung der Ergebnisse entsteht (z.B. zwischen einzelnen Verkehrssystemen oder Haltestellentypen). Eine solche Verzerrung konnte nicht beobachtet werden.
- Die Kosten werden mit einem Value of Time von 8 €/h bewertet. Sie gehen als Faktor von 7,5 min/€ bei der Suche über den Diskomfort-Faktor des Fahrplanfahrt-Widerstands und über bei der Wahl über den Erweiterten Widerstand in die Berechnung ein. Dabei wird das Attribut PREIS_FAHRWEITE_UMLEG genutzt, das einen mittleren entfernungsabhängigen Fahrpreis differenziert nach ÖPNV (kommunale Verkehre sowie SPNV), Fernbahn und Fernbus angibt (siehe dazu Kapitel 6.8.4).
- Sofern Verbindungen innerhalb des Wunschabfahrtszeitraums (entsprechend den Nachfrage-Zeitintervallen) existieren, dürfen keine Verbindungen außerhalb des Wunschabfahrtszeitraums genutzt werden. Das führt zu einem realistischerem Verbindungswahlverhalten, ohne dabei die Ganglinienintervalle feiner aufrastern zu müssen, was aus Gründen der Rechenzeit nicht möglich war.

VSys-Code	VSys-Name	VSYSBONUS	VSYSBONUS_PLUSEINS
B	Bus	0.30	1.30
B_Fern	Fern Bus	0.00	1.00
B_Regio	Regiobus	0.20	1.20
F	Fuss	0.00	1.00
OnD	OnDemand	0.00	1.00
S_Fern	SPV_Fernverkehr	-0.15	0.85
S_Nah	SPV_Nahverkehr	0.00	1.00
S_S	SPV_S-Bahn	0.00	1.00
S_T	SPV_Tram	-0.10	0.90
S_U	SPV_Stadt-U-Bahn	-0.10	0.90
X	Fähre	0.00	1.00
Z	Flex-ÖV	0.80	1.80

Tabelle 35: Verkehrssystemboni – Fahrzeitfaktoren im öffentlichen Verkehr

Die Liste der berechneten Kenngrößen findet sich im Kapitel zur Beschreibung der Ziel- und Moduswahl, Kapitel 7.3.3, Seite 123.

6.10 Abbildung intermodaler Angebot P+R und OnDemand

Die Modellierung der intermodalen Wege mit P+R und OnDemand wird aufgrund der engen Verknüpfung zum Nachfragemodell des Privaten Personenverkehrs im folgenden Kapitel 7 in den Unterkapiteln 7.5 und 7.6 beschrieben,

7 Verkehrsnachfrageberechnung für Personenverkehr

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage erfolgt in einer getrennten VISUM-Versionsdatei, welche im Namen mit dem Kürzel „_NFMO_“ gekennzeichnet ist. Alle Aussagen zu benutzerdefinierten Attributen, Tabellen und Verfahrensabläufen beziehen sich auf diese VISUM-Versionsdatei. Notwendige Beschreibung der Elemente in den Tochterversionen zum ÖV- bzw. IV-Netz, u.a. bei den On-Demand-Verkehren, sind explizit gekennzeichnet.

7.1 Nachfragesegmentierung und Datenauswertung der Verkehrsverhaltensdaten

7.1.1 Eingangsgrößen

In Tabelle 36 sind die Inputdaten für die Generierung der Verhaltensdaten und die Segmentierung der Verkehrsnachfrage beschrieben, sowie deren Quelle aufgeführt

Datensatz	Beschreibung	Quelle
Mobilität in Deutschland – MID 2017	Bundesweite Befragung von Haushalten zu ihrem alltäglichen Verkehrsverhalten. Durchführung war 2017, etwa 155.000 Haushalte mit 300.000 Personen wurden befragt, die etwa 900.000 Wege berichtet haben. Stichprobe BW: 42.000 Personen, 129.000 Wege (vgl. Mobilität in Tabellen, 2017).	Clearingstelle des DLR

Tabelle 36: Inputdaten zur Bestimmung der Verhaltensdaten und der Nachfragesegmentierung

7.1.2 Aufbereitung Grenzverkehre

Für die Modellierung und Kalibrierung des Personenverkehrs im grenznahen Bereich werden Vergleichsdaten benötigt. Dazu wurden aus den Erhebungen zum grenzüberschreitenden Verkehr Matrizen erstellt (vgl. dazu gesondertes Berichtsdokument), die nach Modus und Aktivität differenziert werden. Ausgewertet werden die Modi Pkw, ÖV-Schienenverkehr, Rad und Fuß sowie die Aktivitäten Arbeit, Ausbildung, Einkauf/Erledigung, Freizeit sowie Wohnen (Heimwege). Lkw-Verkehr wird zunächst nicht betrachtet, wurde in den Befragungsdatensätzen jedoch mit aufbereitet und kann bei Bedarf ausgewertet werden.

Zur Ermittlung der grenzüberschreitenden Verkehre wurden im Zuge der Ersterstellung des LVM-BW Kordon-Erhebungen an den Grenzen von Baden-Württemberg mit Frankreich und am Autobahngrenzübergang Lindau – Bregenz durchgeführt (siehe gesonderter Berichtszeit „Zusatz Erhebung Grenzüberschreitender Verkehr“). Diese umfassten Erhebungen im IV differenziert nach den Modi Fuß, Rad, Pkw und Lkw sowie im ÖV auf allen relevanten Schienestrecken. Die Erhebungen fanden an mittleren Werktagen im März 2023 außerhalb der Schulferien statt. An den Kordonstellen wurde der Verkehr mehrheitlich in nur eine Richtung erhoben.

Für die grenzüberschreitenden Verkehre in die Schweiz wurden die Erhebungsdaten aus 2015 verwendet⁶. Auf die Verwendung der Daten von 2021 wurde verzichtet, da aufgrund der Covid-19-Pandemie die Querung der Landesgrenzen zum Teil nur unter bestimmten Auflagen möglich war (Impfnachweis, negatives Testresultat usw.) und deshalb deutlich geringere Verkehrsmengen erhoben wurden.

Befragungsdaten Grenzerhebung

Die erfassten und hochgerechneten Befragungsdaten werden übernommen. Für die Geocodierung der Datensätze können die erhobenen Postleitzahlen verwendet werden. Die PLZ-Bezirke von Deutschland, Frankreich, Schweiz und Österreich werden mit der Verkehrsbezirkseinteilung des LVM-BW verschnitten. Bei der Zugehörigkeit zu mehreren Bezirken wird der Bezirk mit dem flächenmäßig größten Anteil ausgewählt. Datensätze ohne Angabe von Postleitzahlen werden über die Ortsangaben so gut wie möglich manuell nachbearbeitet. Aufgrund fehlender Angaben können im Befragungsdatensatz IV ca. 4 % und im Befragungsdatensatz Fährer ca. 1 % der erfassten Wege nicht geocodiert werden, im ÖV können alle Quell- und Zielorte den Verkehrsbezirken zugeordnet werden.

Für die Auswertung der Datensätze werden Wege zu touristischen Zwecken herausgefiltert, da diese im Verkehrsmodell nicht weiter betrachtet werden.

An den Befragungsposten auf den Straßen wurde an 10 Stellen die Fahrtrichtung Deutschland – Frankreich erhoben, an 2 Stellen die Richtung Frankreich – Deutschland. An 2 Befragungsstellen wurde zudem in beide Richtungen der Fuß- und Radverkehr erhoben. Um die Aktivitäten des Grenzverkehrs besser abbilden zu können, wird der Datensatz gespiegelt. Die Fuß- und Radverkehre, die in beide Richtungen erhoben wurden, sind davon ausgenommen.

Im Ergebnis liegen 3 Datensätze für IV, ÖV-Schiene und Fährer vor, wobei die Wege aus der Erhebung der Fährer den jeweiligen Modi Fuß, Rad und Pkw zugerechnet werden können.

Grenzverkehr Schweiz

Die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs auf Straße und Schiene wurde 2015 in der Schweiz durchgeführt. Der Straßenverkehr wurde nur in eine Richtung befragt, der Schienenverkehr sowohl ein- als auch ausstrahlend.

Die Datenbank enthält Werte aus zwei Erhebungskordons:

- Alpenhauptkamm mit den Werten der Alpenquerung (UEBERGANGSART = 2)
- Grenzübergänge der Schweiz mit den Werten des grenzüberschreitenden Verkehrs (UEBERGANGSART = 1)

Für die Erzeugung von Matrizen mit dem Grenzverkehr ist lediglich der grenzüberschreitende Verkehr relevant. Darüber hinaus werden nur die Daten verwendet, welche die Grenzen zu Deutschland oder Österreich überschreiten (GRENZABSCHNITT= DE oder AT). Verkehre zwischen

⁶ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/grenzquerend.html>

Deutschland und der Schweiz, die über die französische Grenze verlaufen, sind vernachlässigbar. Es werden nur Verkehre betrachtet, die werktags stattfinden (TAGESTYP = Werktag).

Die relevanten Daten werden aus dem Gesamtdatensatz herausgefiltert und daraus jeweils ein Datensatz für den Straßenverkehr bzw. Schienenverkehr erstellt.

- Straßenverkehr: VERKEHRSTRAEGER = 1 & FAHRZEUGTYP = 1, 3
- Öffentlicher Verkehr: VERKEHRSTRAEGER = 2

In dem Datensatz sind auch Reisebusse enthalten, die für den täglichen privaten Personenverkehr nicht berücksichtigt werden.

Nach dem Filtern der Daten erfolgten weitere Schritte der Aufbereitung:

- Überarbeitung der Fahrzwecke: In der Schweizer Erhebung werden die Fahrzwecke Arbeit, Ausbildung, Einkauf/Erledigung, Geschäftliche Fahrt, Freizeit-/Urlaubsfahrt, Sonstige und Transport von Gütern unterschieden. Als Vorbereitung für die Spiegelung der Datensätze wird der Zweck Wohnen (Heimfahrt) definiert und anhand des jeweiligen Wohnorts den entsprechenden Datensätzen zugewiesen. Zum Beispiel erhält ein Weg mit Einreise aus Deutschland in die Schweiz mit dem Zweck Arbeit im gespiegelten Datensatz dann den Rückweg CH->DE mit Zweck Wohnen und kann dadurch bei Auswertungen von Zielaktivitäten besser zugeordnet werden.
- Geocodierung der Fahrten: Die Erhebungsdaten enthalten zu jeder Fahrt den Start- und Zielort mit Angabe der Koordinaten. Diese werden als POI im Modell angelegt und mit den Verkehrsbezirken verschnitten. Damit ist für nahezu alle Datensätze eine eindeutige Zuordnung zu einem Quell- und Ziel-Verkehrsbezirk vorhanden. Nichteuropäische Quell- und Zielorte werden in Abhängigkeit des Grenzübergangs auf die Verkehrsbezirke mit den internationalen Flughäfen (Zürich-Kloten, Basel-Mulhouse, Frankfurt, Stuttgart, München) umcodiert.
- Anpassung der Gewichte: Für jede erhobene Fahrt ist ein Hochrechnungsfaktor enthalten. Dieser bezieht sich auf das jeweilige Fahrzeug und nicht auf die Anzahl der Insassen. Für den Schienenverkehr wird dem Datensatz deshalb noch ein Personenverkehrsgewicht hinzugefügt, das sich aus der Gruppengröße und dem Hochrechnungsfaktor berechnet.

Der angegebene Hochrechnungsfaktor bezieht sich auf Wege pro Jahr. Für die Ermittlung der Wege für einen durchschnittlichen Werktag wird das Gewicht durch 261 Tage geteilt. Der Teiler wurde aus den veröffentlichten Statistiken des Bundesamtes für Statistik CH übernommen. Es sollte bei der Bewertung der Daten berücksichtigt werden, dass bei einzelnen Wegen der Hochrechnungsfaktor sehr groß sein kann, was dazu führt, dass in der Matrix unplausible Werte auftreten. Zum Beispiel ist in dem Schienenverkehrs-Datensatz eine Fahrt von der Türkei nach Singen über den Grenzübergang Thayngen mit einem Hochrechnungsgewicht von 524,46 und einer Gruppengröße von 961 enthalten, das ergibt auf einen DTVw umgerechnet einen Wert von ca. 1931 Personenwegen pro Tag, was sehr unrealistisch ist.

Erstellung von Matrizen

Aus den aufbereiteten Daten werden Matrizen für die einzelnen Modi sowie die Aktivitäten erstellt und in eine Visum-Version eingelesen. Es erfolgt eine erste Plausibilisierung anhand einer visuellen Überprüfung der Einzelmatrizen als Matrixspinnen. Hier zeigt sich bereits, dass einzelne Verkehrsströme sehr stark hervortreten, was auf teilweise sehr hohe Gewichtungsfaktoren in der Schweizer Datengrundlage zurückzuführen ist.

Zur Ableitung der mittleren Reiseweite für die jeweiligen Modi und Aktivitäten werden aus dem Verkehrsmodell die Distanzmatrizen für Fußgängerverkehr, Rad und Pkw übernommen und mit den Wegematrizen verknüpft

7.1.3 Aufbereitung der MiD-Daten

Verkehrsverhaltensdaten beschreiben die Mobilität von Personengruppen sowie die Art und Intensität der Verkehrsmittelnutzung. Die Daten wurden sowohl als Modelleingangsdaten als auch für die Modellkalibrierung und -validierung verwendet.

Für die Ableitung der Parameter wurden der Regionale (B2) und der Basisdatensatz (B1) der MiD 2017 verwendet. Für die Auswertungen wurden ausschließlich plausibilisierte und gefilterte Datensätze verwendet. Folgende Aufbereitungen wurden am Datensatz vorgenommen:

- Die Daten sind zeitlich und räumlich nach relevanten Wegen gefiltert:
Betrachtet werden ausschließlich Wege, die werktags, außerhalb von Schulferien und Brückentagen durchgeführt werden. Räumlich werden Wege betrachtet, die in Baden-Württemberg starten. Wege über 500km werden für Reisezeiten und -weiten Verteilungen nicht berücksichtigt, für die Berechnung der Mobilitätsrate bleiben die Wege erhalten. Für Fußwege wird eine maximale Länge von 10 km und für Radwege eine maximale Länge von 40 km festgesetzt.
- Aktivitätenketten werden geschlossen:
In der MiD sind deutlich mehr Wege verzeichnet, die von zu Hause starten, als die zu Hause enden. In einzelnen Fällen kann es richtig sein, dass eine Wegekette nicht zu Hause endet. Im Mittel über die Bevölkerung sollte es jedoch ebenso viele Wege geben, die zu Hause enden wie starten. Um die fehlenden Wege den richtigen Aktivitätenpaaren zuzuordnen, werden diese an die letzte Aktivität des Tages, sofern diese nicht „Wohnen“ ist, angehängt.
- Streuung von gerundeten Angaben zu Reiseweite und Reisezeit:
In der MiD sind Häufungen von Reisezeiten und Reiseweiten nahe runder Werte (z.B. 5 Min/ 60 Min/ 1 km) festzustellen. Es soll verhindert werden, dass diese Häufungen in einer Auswertungs-Klasse landen. Daher werden Wegelängen/-zeiten, die nahe an den festgelegten Auswertungsgrenzen/Bucketgrenzen liegen, zufällig um diese gestreut. Die Streuung erfolgt unter Beibehaltung der Reisegeschwindigkeit. Wird die Reisezeit gestreut, wird also die Reiseweite entsprechend der ursprünglichen Reisegeschwindigkeit ebenfalls angepasst. Die sich ergebenden Verteilungen wurden anhand von Histogrammen plausibilisiert.
- Umcodieren von Modi und Aktivitäten:
Um einen möglichst großen Datensatz zu erhalten, werden unplausible Angaben zu Modus und Aktivität wo eindeutig möglich umkodiert. So wird der Modus Pkw-Fahrer bei Personen unter 16

Jahren zu Pkw-Mitfahrer umkodiert. Die Wegezwecke G „Grundschule inkl. KiTa“ und S „weiterführende Schule“ werden, wenn sie von Erwachsenen angegeben wurden, zu Q „Bringen / Holen“ umkodiert. In der MiD gibt es den Wegezweck „Begleitung Erwachsener“, der hauptsächlich von Kindern durchgeführt wird. Wege dieses Zweckes werden auf den Wegezweck des begleiteten Erwachsenen umkodiert.

- **Herausfiltern Unplausibler Wege:**
Unplausible Angaben/Wege, die sich nicht durch umkodieren lassen, werden herausgefiltert. Dabei werden stets alle Wege einer Person herausgefiltert, die Person bleibt lediglich für die Berechnung der Personengruppenanteile erhalten. Es ist sinnvoll alle Wege zu filtern, da durch das Filtern einzelner Wege Aufkommensraten verfälscht werden würden. Zudem kann die Plausibilität aller Angaben einer Person bei einer falschen Angabe angezweifelt werden. Auf Plausibilität geprüft wurden z.B. Reisegeschwindigkeiten und Wegelängen in Abhängigkeit des Modus und die Auftretenshäufigkeit einzelner Aktivitäten.

Die Daten wurden zum einem als unmittelbare Eingangsdaten für den Modellaufbau verwendet. Hierfür verwendete Kenngrößen sind:

- Faktoren für die Zuordnung der Einwohner nach Altersgruppen zu den verhaltens-homogenen Gruppen
- Mobilitätsraten für Personengruppen und Aktivitätenpaare
- Modal-Split je Nachfrageschichten

Zum anderen werden die Befragungen ausgewertet, um Daten für die Modellkalibrierung und -validierung bereitzustellen. Diesbezügliche Auswertungen sind:

- Reiseweitenmittelwerte- und verteilungen für Personengruppen, Aktivitäten und Modi
- Reisezeitenmittelwerte- und verteilungen für Personengruppen, Aktivitäten und Modi
- Anteile Selbst- und Mitfahrer für P+R-Wege
- Anteile von Mobilitätswerkzeugverfügbarkeiten
- Tagesganglinien
- Modal-Split je Landkreis

7.1.4 Segmentierung der Nachfrage in Personengruppen

Für die Modellierung des Personenverkehrs hat sich eine Unterteilung der Einwohner in Personengruppen bewährt, da die typischerweise durchgeführten Aktivitäten und deren Häufigkeit mit der Lebensphase und somit dem Alter und dem Erwerbsstatus verbunden sind. Diese Personengruppen werden auch als verhaltenshomogen bezeichnet.

In Tabelle 37 ist die umgesetzte Basis-Differenzierung der Personengruppen enthalten. Neben der Differenzierung nach der Tätigkeit werden die Gruppen der Erwerbstätigen, nicht Erwerbstätigen und Rentner in je zwei Altersgruppen differenziert. In einigen Modellen erfolgt zudem eine Differenzierung nach Pkw- und Dauerkartenbesitz, was, zum teilweise ungewünschten, Effekte führt, dass

sich je nach Verfügbarkeit die Wegehäufigkeit ändert. Im LVM-BW erfolgt daher keine derartige Differenzierung. Für die Ziel- und Moduswahl wird allerdings ein Bezirksvektor berücksichtigt, der die Verfügbarkeiten beschreibt und ein endogenes Modellergebnis darstellt (vgl. Kapitel 7.4).

Name	Kürzel
Kinder	Kind
Grundschüler	GSch
Schüler	WSch
Auszubildende	Azubi
Hochschüler	Stud
Erwerbstätige bis 54	EWT54
Erwerbstätige ab 55	EWT55
Nichterwerbstätige bis 54	NEWT54
Nichterwerbstätige ab 55	NEWT55
Rentner bis 74 Jahre	R74
Rentner ab 75 Jahren	R75

Tabelle 37: Resultierende Personengruppen

Die resultierende Einteilung in Personengruppen wird in VISUM unter Nachfrage → Nachfragemodelle → Personengruppen definiert (vgl. Abbildung 42). Die Anzahl der Personen einer Personengruppen wird für jeden Verkehrsbezirk als Attribut hinterlegt, kann dann z.B. in einer Liste abgerufen werden (vgl. Abbildung 43).

Aus dem Basisstrukturdatensatz in AP3 ergibt sich für jeden Verkehrsbezirk die Anzahl der Einwohner differenziert nach Altersklasse. Die Berechnung Anzahl der Personen je Personengruppe und Verkehrsbezirk aus den Basisstrukturdaten ist in Kap. 7.2.4 beschrieben.

Nachfragemodelle

Nachfragemodell auswählen

PV Nachfragemodell Privater Personenverkehr

Basis | **Personengruppen** | Strukturgrößen | Aktivitäten | Aktivitätenpaare | Nachfrageschichten | Randsummenbedingungen

Anzahl: 44	Code	Name
1	1001_RT1_Kind	Kinder bis 5 Jahre im Raumtyp 1
2	1002_RT1_GSch	Grundschüler im Raumtyp 1
3	1003_RT1_WSch	Weiterführender Schüler im Raumtyp 1
4	1004_RT1_Azubi	Auszubildende im Raumtyp 1
5	1005_RT1_Stud	Studenten im Raumtyp 1
6	1006_RT1_EWT54	Erwerbstätig bis 54 im Raumtyp 1
7	1007_RT1_EWT55	Erwerbstätig ab 55 im Raumtyp 1
8	1008_RT1_NEWT54	Nichterwerbstätig bis 54 im Raumtyp 1
9	1009_RT1_NEWT55	Nichterwerbstätig ab 55 im Raumtyp 1

Abbildung 42: Definition der verhaltenshomogenen Gruppen in VISUM

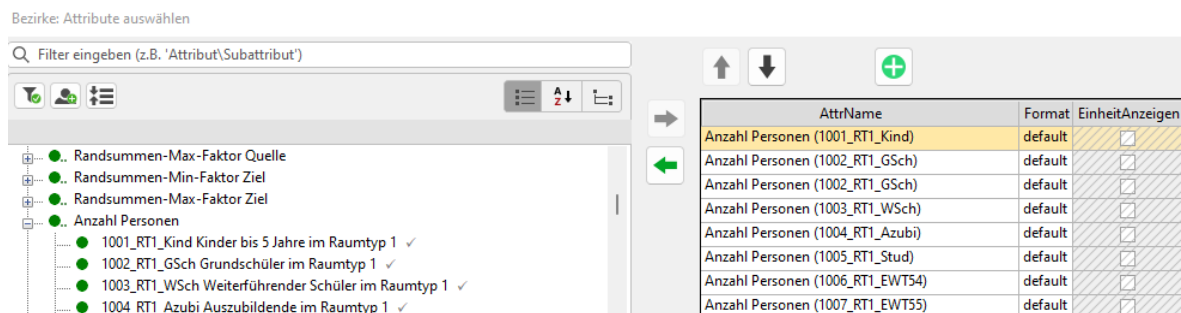


Abbildung 43: Auswahl der Bezirksattribute mit der Anzahl der Personen für jede Personengruppe

7.1.5 Segmentierung der Nachfrage nach Wegezwecken bzw. Aktivitätenpaaren

Analog zu den Personengruppen determiniert auch der Wegezweck bestimmte Ausprägungen eines Weges u.a. den Modal-Split und die Reiseweitenverteilung. Darüber hinaus suchen bestimmte Personengruppen bestimmte Aktivitätenorte auf. So wird ein Grundschulplatz ausschließlich von Grundschulern aufgesucht. Die im Modell umgesetzte Differenzierung der Wegezwecke ist in Tabelle 38 dargestellt.

Code	Wegezweck
W	Wohnen
A	Arbeiten
G	Grundschule inkl. KiTa
S	Weiterführende Schule
B	Berufsschule / Hochschule
E	Einkaufen (täglich)
N	Einkaufen (nicht täglich)
F	Freizeit Erwachsener
P	Private Erledigung inkl. Sonstiges Erwachsener
I	Freizeit Kind
J	Private Erledigung inkl. Sonstiges Kind
Q	Bringen und Holen
Y	Sonstiges (Konglomerat in Kombination mit Arbeit)
Z	Sonstiges (Konglomerat)

Tabelle 38: Wegezwecke

Das verwendete EVA-Modell basiert auf Aktivitätenpaaren. Wird jeder dieser 14 Tätigkeitsbereiche sowohl als Quelle als auch als Ziel angenommen, ergeben sich theoretisch 196 mögliche Aktivitätenpaare. Die meisten dieser theoretisch möglichen Aktivitätenpaare haben jedoch einen sehr geringen Anteil am gesamten Personenverkehr. Damit besitzen sie keine signifikante Bedeutung. Deshalb werden Quelle-Ziel-Kombinationen mit geringen Anteilen bzw. mit ähnlicher Charakteristik

zusammengefasst. Zur Zusammenfassung werden wohnungsgebundene und nicht wohnungsgebundene Aktivitäten unterschieden. Als wohnungsgebunden wird ein Aktivitätenpaar bezeichnet, wenn eine der beiden Aktivitäten Wohnen ist. Typischerweise bleiben wohnungsgebundene Aktivitätenpaare explizit erhalten. Die nicht wohnungsgebundenen Arbeitswegkombinationen werden zu Arbeit – Sonstiges und umgekehrt, sowie zu Sonstiges-Sonstiges zusammengefasst. Die resultierende Definition der Aktivitätenpaare zeigt Tabelle 39.

	W	A	G	S	B	E	N	F	P	I	J	Q
Wohnen	ZZ	WA	WG	WS	WB	WE	WN	WF	WP	WI	WJ	WQ
Arbeiten	AW	ZZ	-	AY								
Grundschule inkl. KiTa	GW	-	ZZ									
Weiterführende Schule	SW	YA										
Berufsschule/ Hochschule	BW											
Einkaufen (täglich)	EW											
Einkaufen (Nicht täglich)	NW											
Freizeit Erwachsener	FW											
Private Erledigung Erwachsener	PW											
Freizeit Kind I	IW											
Private Erledigung Kind J	JW											
Bringen / Holen Q	QW											

Tabelle 39: Segmentierung der Aktivitätenpaare im Modell

Die resultierende Einteilung der Aktivitäten und die Definition der Aktivitätenpaare wird in VISUM unter Nachfrage → Nachfragemodelle → Aktivitäten bzw. Aktivitätenpaare definiert (vgl. Abbildung 44). Die Quantitative Ausprägung der den Aktivitäten zugehörigen Strukturgrößen wird für jeden Verkehrsbezirk als Attribut hinterlegt und kann dann z.B. in einer Liste abgerufen werden (vgl. Abbildung 45).

Anzahl: 14	Code	Name
1	A	Arbeit
2	B	Berufsschule/Hochschule
3	E	Einkaufen täglich
4	F	Freizeit Erwachsener
5	G	Grundschule inkl. Kita
6	I	Freizeit Kind
7	J	Private Erledigung Kind (inkl. Sonstiges)
8	N	Einkaufen nichttäglich
9	P	Private Erledigung Erwachsener (inkl. Sonstiges)
10	Q	Bringen Holen
11	S	Weiterführende Schule
12	W	Wohnen
13	Y	Sonstiges (Konglomerat in Kombi mit Arbeit)
14	Z	Sonstiges (Konglomerat)

Abbildung 44: Definition der Aktivitäten

Nachfragemodelle							
Nachfragemodell auswählen							
PV Nachfragemodell Privater Personenverkehr							
Basis Personengruppen Strukturgrößen Aktivitäten Aktivitätenpaare Nachfrageschichten Randsourcenbedingungen							
Anzahl: 25	Code	Name	Quellaktivität	Zielaktivität	Quelle-Ziel-Typ	NSchichten gemeinsam koppeln	
1	011_WA	Wohnen-Arbeit	W Wohnen	A Arbeit	1	↕	↕
2	012_AW	Arbeit-Wohnen	A Arbeit	W Wohnen	2	↕	↕
3	021_WB	Wohnen-Hoch/Berufsschule	W Wohnen	B Berufsschule/Hochschule	1	↕	↕
4	022_BW	Berufsschule/Hochschule-Wohnen	B Berufsschule/Hochschule	W Wohnen	2	↕	↕
5	031_WE	Wohnen-Einkaufen täglich	W Wohnen	E Einkaufen täglich	1	↕	↕
6	032_EW	Einkaufen täglich-Wohnen	E Einkaufen täglich	W Wohnen	2	↕	↕
7	041_WF	Wohnen-Freizeit (Erwachsener)	W Wohnen	F Freizeit Erwachsener	1	↕	↕
8	042_FW	Freizeit Erwachsener-Wohnen	F Freizeit Erwachsener	W Wohnen	2	↕	↕
9	051_WG	Wohnen-Grundschule/Kita	W Wohnen	G Grundschule inkl. Kita	1	↕	↕
10	052_GW	Grundschule inkl. Kita-Wohnen	G Grundschule inkl. Kita	W Wohnen	2	↕	↕
11	061_WI	Wohnen-Freizeit (Kinder)	W Wohnen	I Freizeit Kind	1	↕	↕
12	062_IW	Freizeit Kind-Wohnen	I Freizeit Kind	W Wohnen	2	↕	↕
13	071_WJ	Wohnen-Private Erledigung (Kinder)	W Wohnen	J Private Erledigung Kind (inkl. Sonstiges)	1	↕	↕
14	072_JW	Private Erledigung Kind (inkl. Sonstiges)-Wohnen	J Private Erledigung Kind (inkl. Sonstiges)	W Wohnen	2	↕	↕
15	081_WN	Wohnen-Nichttäglicher Einkauf	W Wohnen	N Einkaufen nichttäglich	1	↕	↕
16	082_NW	Einkaufen nichttäglich-Wohnen	N Einkaufen nichttäglich	W Wohnen	2	↕	↕
17	091_WP	Wohnen-Private Erledigung (Erwachsener)	W Wohnen	P Private Erledigung Erwachsener (inkl. Sonstiges)	1	↕	↕
18	092_PW	Private Erledigung Erwachsener (inkl. Sonstiges)-Wohnen	P Private Erledigung Erwachsener (inkl. Sonstiges)	W Wohnen	2	↕	↕
19	101_WQ	Wohnen-Holen Bringen	W Wohnen	Q Bringen Holen	1	↕	↕
20	102_QW	Bringen Holen-Wohnen	Q Bringen Holen	W Wohnen	2	↕	↕
21	111_WS	Wohnen-Weiterführende Schule	W Wohnen	S Weiterführende Schule	1	↕	↕
22	112_SW	Weiterführende Schule-Wohnen	S Weiterführende Schule	W Wohnen	2	↕	↕
23	121_YA	Sonstiges (Konglomerat in Kombi mit Arbeit)-Arbeit	Y Sonstiges (Konglomerat in Kombi mit Arbeit)	A Arbeit	3	↕	↕
24	122_AY	Arbeit-Sonstiges (Konglomerat in Kombi mit Arbeit)	A Arbeit	Y Sonstiges (Konglomerat in Kombi mit Arbeit)	3	↕	↕
25	133_ZZ	Sonstiges (Konglomerat)-Sonstiges (Konglomerat)	Z Sonstiges (Konglomerat)	Z Sonstiges (Konglomerat)	3	↕	↕

Abbildung 45: Definition der Aktivitätenpaare

7.1.6 Segmentierung der Nachfrage nach Raumtypen

Das Verhalten von Verkehrsteilnehmenden wird zum einen vom Verkehrsangebot (Erreichbarkeit) beeinflusst. Zum anderen sind Auswirkungen des Raumtyps auf die Zahl der durchgeführten Wege (Mobilitätsraten), die Reiseweite und die Moduswahl festzustellen.

Um den Raumtyp bei der Verkehrsnachfragemodellierung abzubilden, werden die Personengruppen nach Raumtyp differenziert. Um die Zahl der Personengruppen und Nachfrageschichten bei Modellierung gering zu halten, ist es sinnvoll Regionalstatistische Raumtypen zusammenzufassen.

Für die Zusammenfassung der Raumtypen wurden für jede Personengruppe die Mobilitätsrate, die mittleren Reiseweiten, der Modal-Split untersucht. Raumtypen mit ähnlichen Mobilitätskennwerten wurden zusammengefasst.

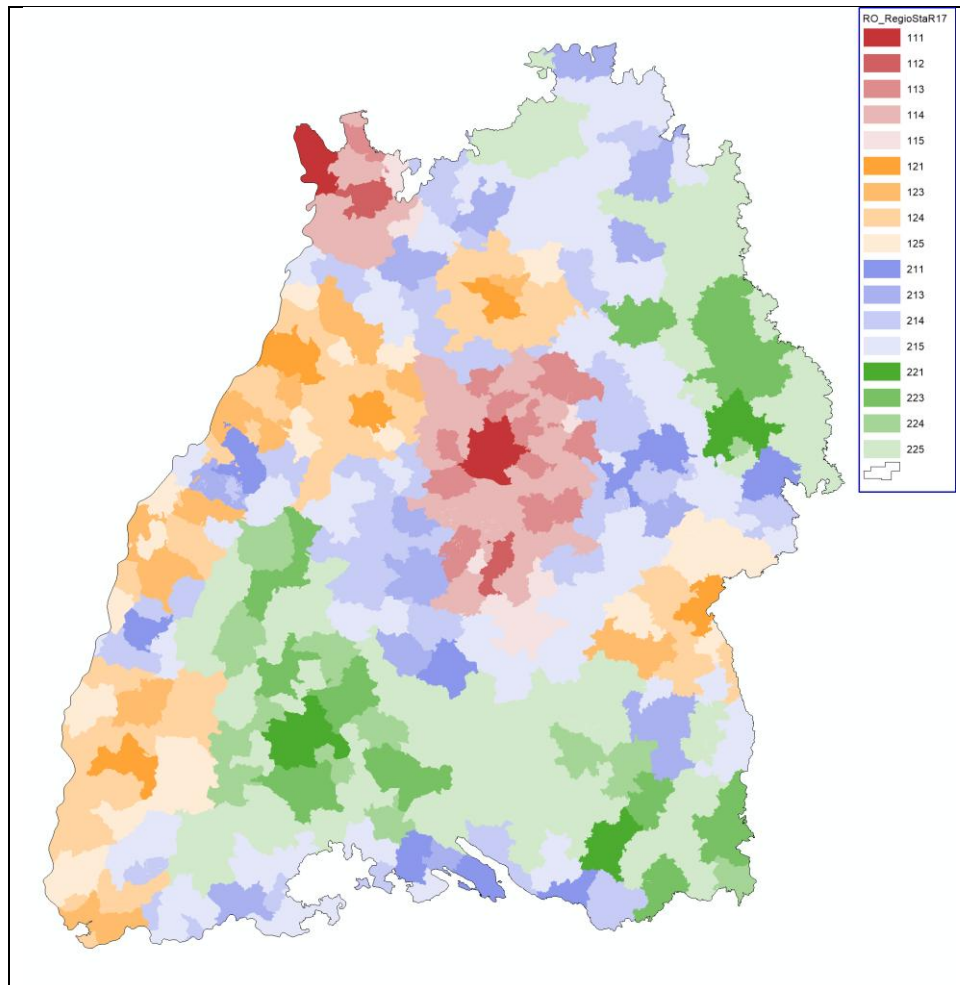


Abbildung 46: 17er Einteilung der Regionalstatistik für Baden-Württemberg (Quelle: BBSR)

Ausgangslage ist 17er Einteilung der Regionalstatistik (vgl. Abbildung 46). Um die Rechenzeiten zu optimieren und die Anzahl erfasster Datensätze je Segment nicht zu weit zu reduzieren wurden die 17 Gruppen zu folgenden 3 Raumtypen anhand der Modal-Split-Werte und der Mobilitätsraten zusammengefasst:

- 1 metropolitane Stadtregion, Zentrale Stadt
- 2 Mittelstädte/zentrale Städte
- 3 Außerhalb zentrale Stadt

RegioStaR17 Code	Regionalstatistischer Raumtyp (17 Kategorien)	Raumtyp BW
111	Metropolitane Stadtregion- Metropole	1
112	Metropolitane Stadtregion - Großstadt	1
113	Metropolitane Stadtregion - Mittelstadt	2
114	Metropolitane Stadtregion - Städtischer Raum	3
115	Metropolitane Stadtregion - kleinstädt. / dörflicher Raum	3
121	Regiopolitane Stadtregion- Regiopole	1
123	Regiopolitane Stadtregion - Mittelstadt	2
124	Regiopolitane Stadtregion - Städtischer Raum	3
125	Regiopolitane Stadtregion - kleinstädt. / dörflicher Raum	3
211	Stadtregionssnahe ländliche Region- zentrale Stadt	2
213	Stadtregionssnahe ländliche Region - Mittelstadt	2
214	Stadtregionssnahe ländliche Region - Städtischer Raum	3
215	Stadtregionssnahe ländliche Region - kleinstädt. / dörflicher Raum	3
221	Periphere ländliche Region- zentrale Stadt	2
223	Periphere ländliche Region - Mittelstadt	2
224	Periphere ländliche Region - Städtischer Raum	3
225	Periphere ländliche Region - kleinstädt. / dörflicher Raum	3

Tabelle 47: Zusammenfassung der 17er Einteilung der Regionalstatistik zu 3 Raumtypen für Baden-Württemberg

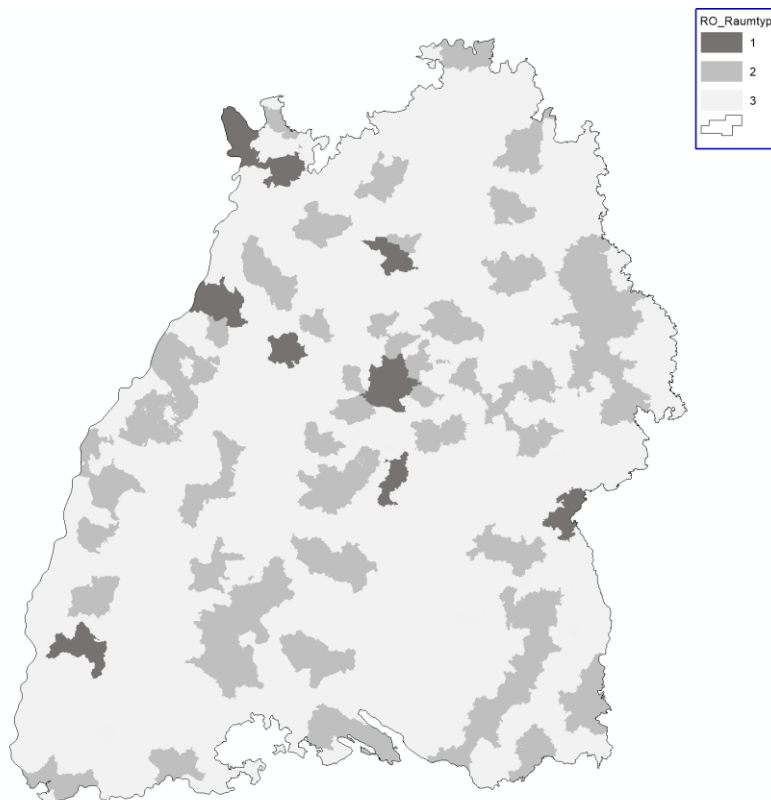


Abbildung 48: Räumliche Verteilung der 3 aggregierten Raumtypen in Baden-Württemberg, Einfärbung entsprechend der darüberliegenden Tabelle

Der Heimatverkehrsbezirk im Sinne der EVA-Modellierung bekommt den Raumtyp. Dieser Typ gilt für die zugeordnete Nachfrageschicht. Bei Aktivitätenpaaren ohne Wohnungsbezug gilt trotzdem der Bezug zum Heimatbezirk. Die zusätzliche Segmentierung der Nachfrage nach Raumtypen erhöht somit die Zahl der Nachfrageschichten und der Personengruppen.

Die Abbildung der Raumtypen in Visum erfolgt über benutzerdefinierte Attribute, für Bezirke z.B. mit dem Attribut [RO_RAUMTYP]. Neben den Raumtypen werden auch weitere Elemente der Raumordnung, wie z.B. administrative Kategorien (Zuordnung zu Gemeinden, Kreisen etc.) in benutzerdefinierten Attributen abgebildet. Die Benamung erfolgt einheitlich über das Präfix „RO_“. Nach Zuordnung der Raumtypen können jedem Bezirk die raumtypspezifischen Mobilitätsraten zugeordnet werden.

7.1.7 Segmentierung der Nachfrage nach Modi

Für den privaten Personenverkehr werden die Modi Fußgängerverkehr (FGV), Öffentlicher Verkehr (OEV), Radverkehr (RAD), Pkw-Selbstfahrer (PPS), Pkw-Mitfahrer (PPM) und P+R (PNR) berücksichtigt. Die Differenzierung zwischen Pkw-Selbstfahrer (PPS) und Pkw-Mitfahrer (PPM) ermöglicht die direkte Differenzierung zwischen PKW-Fahrten und Personenfahrten ohne eine Umrechnung über Besetzungsgrade.

7.1.8 Segmentierung in Nachfrageschichten

Die Segmentierung der Nachfrageschichten erfolgt als Kombination aus Raumtypen und Aktivitätenpaaren und ist ausschließlich für die Ziel- und Moduswahl relevant. Für 3 Raumtypen und 25 Aktivitätenpaare ergibt sich eine Anzahl von 75 Segmenten. Zudem wird ein Raumtyp für Verkehrsbezirke im Einflussraum erstellt, der als Summe der anderen drei Raumtypen gebildet wird. Dadurch kann der Einflussraum in der Kalibrierung ohne weiteres separat behandelt werden. Unter Einbezug dieses Raumtyps ergeben sich 100 Segmente.

Die resultierende Einteilung in Nachfrageschichten wird in VISUM unter Nachfrage → Nachfragemodelle → Nachfrageschichten definiert. Auf Ebene der Nachfrageschichten erfolgt Berechnung der Ziel- und Moduswahl unter Vorgabe der Modal-Splits in der Analyse.

Nachfragemodell auswählen
PV Nachfragemodell Privater Personenverkehr

Basis | Personengruppen | Strukturgrößen | Aktivitäten | Aktivitätenpaare | Nachfrageschichten | Randsumberbedingungen |

☒ Benutzerdefinierte Attribute anzeigen

Anzahl	Code	Name	NSeg-Set	Personengruppen	Aktivitätenpaar	Quelle-Ziel-Typ	Strukturgrößen Quelle	Strukturgrößen Ziel
2	1012_RT1_AW	Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	...	1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud,1006_RT1_EWT54	012_AW	2:ZielWohnung	SG_3_BES_AO_GES	
3	1021_RT1_WB	Raumtyp 1 Wohnen-Berufsschule/Hochschule	...	1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	021_WB	1:QuelleWohnung		SG_4_BS,SG_4_HS
4	1022_RT1_BW	Raumtyp 1 Berufsschule/Hochschule-Wohnen	...	1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	022_BW	2:ZielWohnung	SG_4_BS,SG_4_HS	
5	1031_RT1_VE	Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	031_VE	1:QuelleWohnung		SG_5_EK_TB
6	1032_RT1_EW	Raumtyp 1 Einkaufen täglich-Wohnen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	032_EW	2:ZielWohnung	SG_5_EK_TB	
7	1041_RT1_WF	Raumtyp 1 Wohnen-Freizeit Erwachsener	...	1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud,1006_RT1_EWT54,1007_RT1_EWT	041_WF	1:QuelleWohnung		SG_6_BESUCH,SG_6_FREIZEIT
8	1042_RT1_FW	Raumtyp 1 Freizeit Erwachsener-Wohnen	...	1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud,1006_RT1_EWT54,1007_RT1_EWT	042_FW	2:ZielWohnung	SG_6_BESUCH,SG_6_FREIZEIT_GES	
9	1051_RT1_WG	Raumtyp 1 Wohnen-Grundschule/Kita	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch	051_WG	1:QuelleWohnung		SG_4_GSch,SG_4_KITA
10	1052_RT1_GW	Raumtyp 1 Grundschule/Kita-Wohnen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch	052_GW	2:ZielWohnung	SG_4_GSch,SG_4_KITA	
11	1061_RT1_WI	Raumtyp 1 Wohnen-Freizeit Kind	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh	061_WI	1:QuelleWohnung		SG_6_BESUCH,SG_6_FREIZEIT
12	1062_RT1_JW	Raumtyp 1 Freizeit Kind-Wohnen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh	062_JW	2:ZielWohnung	SG_6_BESUCH,SG_6_FREIZEIT_GES	
13	1071_RT1_WJ	Raumtyp 1 Wohnen-Private Erledigung Kind	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh	071_WJ	1:QuelleWohnung		SG_6_PRIVERL
14	1072_RT1_JW	Raumtyp 1 Private Erledigung Kind-Wohnen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh	072_JW	2:ZielWohnung	SG_6_PRIVERL	
15	1081_RT1_WN	Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen nichttäglich	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	081_WN	1:QuelleWohnung		SG_5_EK NTB
16	1082_RT1_NW	Raumtyp 1 Einkaufen nichttäglich-Wohnen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	082_NW	2:ZielWohnung	SG_5_EK NTB	
17	1091_RT1_WP	Raumtyp 1 Wohnen-Private Erledigung Erwachsener	...	1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud,1006_RT1_EWT54,1007_RT1_EWT	091_WP	1:QuelleWohnung		SG_1_EW_GES,SG_6_BEHOERDE_BANK,SG_6_FREIZEIT
18	1092_RT1_PW	Raumtyp 1 Private Erledigung Erwachsener-Wohnen	...	1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud,1006_RT1_EWT54,1007_RT1_EWT	092_PW	2:ZielWohnung	SG_1_EW_GES,SG_6_BEHOERDE_BANK,SG_6_FREIZEIT_GES	
19	1101_RT1_WQ	Raumtyp 1 Wohnen-Bringen Holen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	101_WQ	1:QuelleWohnung		SG_3_BES_AO_GES
20	1102_RT1_QW	Raumtyp 1 Bringen Holen-Wohnen	...	1001_RT1_Kind,1002_RT1_GSch,1003_RT1_WSCh,1004_RT1_Azubi,1005_RT1_Stud	102_QW	2:ZielWohnung	SG_3_BES_AO_GES,SG_4_BS,SG_4_GSch,SG_4_HS	
21	1111_RT1_WS	Raumtyp 1 Wohnen-Weiterführende Schule	...	1003_RT1_WSCh	111_WS	1:QuelleWohnung		SG_4_WSCh

Abbildung 49: Definition von Nachfrageschichten in VISUM

7.1.9 Beibehalten der Segmentierung auf verschiedenen Ebenen

Für die Entscheidungsstufen im Verkehrsmodell erfolgt eine differenzierte Betrachtung der Verkehrsteilnehmenden:

- Erzeugungsebene: alle Kombinationen von Personengruppen, Raumtypen und Aktivitätenpaaren
- Verteilung und Moduswahl: Kombination aus Raumtypen, Aktivitätenpaaren und Modusverfügbarkeit
- Kalibrierung: Kombination aus Personengruppenaggregat, Raumtypenaggregat und Aktivitätenpaaren, Modal-Split-Konstanten für den Radverkehr um Landkreisfeine Besonderheiten abbilden zu können.
- Validierung: Kombination aus Personengruppenaggregat, Raumtypen und Aktivitätenpaaren
- Umlegung: Wege als Pkw- Selbstfahrer, im ÖV und mit Rad ohne Segmentierung nach Aktivitäten oder Personengruppen

7.2 Verkehrserzeugung

7.2.1 Input

In Tabelle 40 sind die Inputdaten für die Verkehrserzeugung aufgeführt:

Datensatz	Beschreibung	Quelle
Definition der Nachfrageschichten	Für jede Nachfrageschicht: Zuordnung Personengruppe, Aktivitätenpaar, Raumtyp, Quelle-Ziel-Typ	Eigene Berechnungen aus MiD
Anzahl der Personen je Personengruppe		Eigene Berechnungen aus MiD und Basisstrukturdaten
Attraktionspotenzial für jede Aktivität		Eigene Berechnungen aus MiD und Basisstrukturdaten
Mobilitätsraten, Quell- und Zielaufkommensraten je Nachfrageschicht		Eigene Berechnungen aus MiD und Basisstrukturdaten
Untersuchungsraumanteile		PTV-Validate, Pendlerdaten und eigene Abschätzungen

Tabelle 40: Inputdaten zur Berechnung der Verkehrserzeugung

7.2.2 Definition von Randsummenbedingungen

Bei der simultanen Verteilung und Moduswahl wird ein Gleichungssystem mit Nebenbedingungen aufgestellt und gelöst. Durch die Nebenbedingungen („Randsummenbedingungen“) wird erwirkt, dass jede Matrixzeile bzw. Matrixspalte so zu berechnen ist, dass die Zeilensumme dem im Schritt

Erzeugung berechneten Verkehrsaufkommen entspricht. Inhaltlich bedeutet das, dass in der berechneten Nachfragematrix die Zahl der in einem Bezirk tatsächlich endenden Wege exakt so groß ist, wie vorab in der Erzeugung aus den Strukturgrößen kalkuliert wurde. Die Erreichbarkeit eines Bezirkes hat hierbei keinen Einfluss auf das Quell- bzw. Zielaufkommen, was im Falle von Wegen von und zur Arbeit oder zu Bildungseinrichtungen eine plausible Annahme ist.

Es gibt andere Wegezwecke, bei denen die Erreichbarkeit eines Bezirkes relevant für das entstehende Verkehrsaufkommen ist. Die Überlegungen führen zur Formulierung verschiedener Arten von Randsummenbedingungen:

- **hart:** Verkehrsmenge laut Flächennutzung (Modellschritt Erzeugung) und Matrixwert (Modellschritt Verteilung/Moduswahl) stimmen überein. Die Verkehrsmenge ergibt sich allein aus der Flächennutzung.
Anwendung bei Pflichtaktivitäten wie Arbeiten und Bildung
- **weich:** Neben der Flächennutzung spielt auch die Erreichbarkeit des Bezirkes eine Rolle bei der Verteilung und Moduswahl. Der Matrixwert (Modellschritt Verteilung/Moduswahl) darf unterhalb einer Verkehrsmenge laut Flächennutzung (Modellschritt Erzeugung) liegen. Für die Berechnung wird für die Verkehrsmenge eine Obergrenze definiert, die oberhalb des „harten“ Wertes liegt. Bei der Berechnung wird diese Obergrenze ausgeschöpft, wenn die Lagegunst des Bezirkes sehr gut ist. Im Gegenzug werden schlecht erreichbare Bezirke weniger stark nachgefragt.
Anwendung bei fakultativen Wegezwecken wie Einkaufen und Freizeit und Zwischenwegen.
- **elastisch:** Funktioniert im Prinzip wie „weich“.
Der Unterschied zu „weich“ ist, dass hier nicht nur eine Obergrenze, sondern auch eine Untergrenze definiert werden kann.
Anwendung bei fakultativen Wegezwecken wie Einkaufen und Freizeit und Zwischenwegen.
- **offen:** Verkehrsmenge laut Flächennutzung (Modellschritt Erzeugung) wirkt nur als Gewicht, die Lagegunst ist bestimmend für die Verteilung und eine Nebenbedingung im mathematischen Sinn gibt es nicht. Das Modell ist vergleichbar mit einem einseitig gekoppelten Gravitationsmodell.
Anwendung für Nachfrageschichten wo die Erreichbarkeit wirklich überwiegt und die Flächennutzung schlecht oder gar nicht beschrieben werden kann.

Die Randsummenbedingungen werden in Visum beim Anlegen des Nachfragemodells definiert. Die Abbildung 50 zeigt den Dialog im Menü Nachfragemodelle, wo die Art der Bedingung ausgewählt und die Faktoren für die Ober- und Untergrenze der elastischen Randsummenbedingungen angegeben werden.

Nachfragemodell auswählen
PV Nachfragemodell Privater Personenverkehr

Basis | Personengruppen | Strukturgrößen | Aktivitäten | Aktivitätenpaare | Nachfrageschichten | Randsummenbedingungen

☒ Benutzerdefinierte Attribute anzeigen

Anzahl: 100	NSchicht-Code	Quelle-Ziel-Typ	RSA	Aufk. als Potential	RSB Quelle	RSF QMin konst.	RSF QMin	RSF QMax konst.	RSF QMax	RSB Ziel	RSF ZMin konst.	RSF ZMin	RSF ZMax konst.	RSF ZMax
1	1011_RT1_WA	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
2	1012_RT1_AW	2:ZielWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
3	1021_RT1_WB	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
4	1022_RT1_BW	2:ZielWohnung	☒	☒	Hart	☒	0,900	☒	1,100	Hart	☒	1,000	☒	1,000
5	1031_RT1_WE	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000
6	1032_RT1_EW	2:ZielWohnung	☒	☒	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
7	1041_RT1_WF	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000
8	1042_RT1_FW	2:ZielWohnung	☒	☒	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
9	1051_RT1_WG	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
10	1052_RT1_GW	2:ZielWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
11	1061_RT1_WI	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000
12	1062_RT1_IW	2:ZielWohnung	☒	☒	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
13	1071_RT1_WJ	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000
14	1072_RT1_JW	2:ZielWohnung	☒	☒	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
15	1081_RT1_WN	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000
16	1082_RT1_NW	2:ZielWohnung	☒	☒	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000
17	1091_RT1_WP	1:QuelleWohnung	☒	☒	Hart	☒	1,000	☒	1,000	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000
18	1092_RT1_PW	2:ZielWohnung	☒	☒	Elastisch	☒	0,300	☒	3,000	Hart	☒	1,000	☒	1,000

Abbildung 50: EVA-Modell in Visum - Definition der Randsummenbedingungen

7.2.3 Ermittlung der Zielpotentiale

Die Strukturdaten werden in für einen durchschnittlichen Werktag wirksame Zielpotentiale umgerechnet. Dazu werden die ermittelten Strukturdaten S_n mit Gewichtungsfaktoren an verknüpft, um die Zielpotentiale zu ermitteln.

$$Z_j = a_1 * S_1 + a_2 * S_2 + \dots + a_n * S_n$$

Die Abschätzung der Zielpotentiale ist insbesondere relevant für Aktivitäten, deren Zielpotential durch mehrere Strukturdaten bestimmt wird. Dies betrifft im LVM-BW Potentiale für Bildungswege, Private Erledigungen, Bringen und Holen, Freizeit und die agglomerierten Wegezwecke Sonstiges. Die anteilige Zusammensetzung der Wege zu zugehörigen Strukturgrößen je Aktivität wird aus der MiD abgeleitet. Anhand dieser Zusammensetzung und den tatsächlichen Anteilen der Strukturgrößen wird raumtypenfein ein resultierendes Gewicht berechnet.

Die Strukturgrößen sind in den Bezirksattributen mit dem Präfix „SG_“ hinterlegt. Die verwendeten Gewichtungsattribute sind in der Tabelle „MID – Freizeitaktivitäten“ hinterlegt. Die Berechnung der Attraktionspotentiale je Aktivität erfolgt skriptbasiert in der Verfahrensgruppe „2.2 | Gruppe Init PG & AttrPot | Berechnung aus Strukturgrößen“.

Die berechneten Werte werden in das Bezirksattribut „Wert der Strukturgröße (XY)“ geschrieben.

7.2.4 Umrechnung der Basisstrukturdaten in Personengruppen

Die Basisstrukturdaten enthalten auf Verkehrsbezirksebene die Einwohnerzahlen differenziert nach Altersklassen (Bezirksattribute mit Präfix „SG_1_EW_“ und zusätzliche Informationen bezüglich Wohnorten Erwerbstätiger, Raumtypen etc. Mittels der Information der raumtypenfeinen Häufigkeit der Personengruppe je Altersklasse aus MiD 2017 und den genannten Merkmalen der Basisstrukturdaten wird die Anzahl der Personen je Personengruppe und Verkehrsbezirk nach Folgendem Prinzip berechnet:

- Bestimmen der Anteile jeder Personengruppen an Altersgruppen differenziert nach Raumtypen aus MiD, Ergebnis ist hinterlegt in Tabelle „MID – Anteil der Personengruppen an Altersgruppen“
- Multiplizieren dieser Anteile aus MiD mit den nach Alter differenzierten Bevölkerungsdaten je Verkehrsbezirk (Attribute mit Präfix „SG_1_EW“ für eine initiale Personengruppenaufteilung)
- Wichtung und Umverteilung dieser initialen Personengruppenaufteilung anhand von Strukturgrößen zu Erwerbstätigen am Wohnort und Azubi- bzw. Studentenwohnorten. Die Strukturgrößen zu Erwerbstätigen sind im Modell als benutzerdefinierte Bezirksattribute hinterlegt. Die Studenten/Azubiwohnorte werden aus den Hoch/Berufsschulstandorten abgeleitet. Hierzu wird ein umgekehrtes Gravitationsmodell zwischen den Studien/Berufsschulplätzen und den Wohnorten der Personen in passenden Altersgruppen berechnet (Umsetzung in VISUM in Verfahrensgruppen „2.1.1 | Gruppe Init PG & AttrPot | Studentenwohnorte“ und „2.1.2 | Gruppe Init PG & AttrPot | Azubiwohnorte“).
- Die Umverteilung erfolgt derart, dass die Ecksumme der Anzahl der Einwohner je Bezirk und die Ecksumme je Personengruppe für jeden Raumtypen eingehalten wird.

Die Berechnung der Personengruppen erfolgt skriptbasiert im Verfahrensablauf in der Verfahrensgruppe „2.2 | Gruppe Init PG & AttrPot | Berechnung aus Strukturgrößen“ in Visum. Die erforderliche Auswertung der MID zu Anteilen jeder Personengruppe an den Altersgruppen je Raumtyp wird als benutzerdefinierte Tabelle im Modell hinterlegt und dient neben den genannten Strukturgrößen als Eingangswert für die Berechnung. Die Wichtung der Personengruppen erfolgt iterativ, bis ein Zielwert oder eine maximale Anzahl an Iterationen erreicht wird. So werden Abweichungen von den Statistikwerten minimieren.

Die berechneten Werte werden in das Bezirksattribut „Anzahl Personen (XY)“ geschrieben.

7.2.5 Ermittlung der Untersuchungsraumanteile an Quelle und Ziel

Die Untersuchungsraumanteile definieren den Anteil des Verkehrs, der innerhalb des Untersuchungsraums stattfindet, der sogenannte Binnenverkehr. Quell- und Zielverkehre werden durch externe Quellen zugespielt.

Anhand der MiD kann nicht ausgewertet werden, welcher Anteil als Binnenverkehr betrachtet werden muss, da keine georeferenzierten Auswertungen auf Basis der Modellbezirke möglich sind. Dadurch sind in den aus der MiD ermittelten Erzeugungsraten immer alle Verkehre enthalten, egal ob sie den Untersuchungsraum verlassen oder nicht. Da die Nachfragemodellrechnung nur den Binnenverkehr im Untersuchungsraum betrachtet, muss festgelegt werden, welcher Anteil des Wegeaufkommens den Untersuchungsraum verlässt und welcher dort verbleibt. Des Weiteren wurde ermittelt, welcher Anteil der Zielpotentiale durch externe Verkehre „besetzt“ wird und damit in der Zielwahl nicht für den Binnenverkehr zur Verfügung steht.

Grundsätzlich sind die Anteile der Pendlerverkehre in den Randgebieten des Untersuchungsraums höher als in den innenliegenden Bereichen. Deshalb wurden keine pauschalen Faktoren angenom-

men, sondern die Anteile auf Bezirksebene ermittelt. Basis für die Auswertung bildet das deutschlandweite Verkehrsmodell Validate, das wegezweckbezogene Matrizen enthält. Für Wege mit Arbeitsbezug wird zudem die Pendlerstatistik der Bundesagentur für Arbeit herangezogen.

Aus Validate und der Pendlerstatistik wurden die folgenden Anteile ermittelt:

- für jedes Aktivitätenpaar
- jeweils quellseitig: welcher Anteil des pro Bezirk erzeugten Verkehrs verlässt den bzw. verbleibt im Untersuchungsraum?
- jeweils zeilseitig: welcher Anteil des Zielpotentials wird durch einpendelnden Verkehr beansprucht.

Aktivitätenpaare mit Arbeitsbezug

Die Untersuchungsraumanteile für Aktivitätenpaare mit Arbeitsbezug (WA, AW, YA, AY) wurden aus den gemeindefeinen Pendlerdaten der Bundesagentur für Arbeit abgeleitet. Aus den Pendlerbeziehungen für Ein- und Auspendler, sowie der Anzahl der am Wohnort arbeitenden, wurden richtungsgetrennt Untersuchungsraumanteile abgeleitet. Die Daten wurden auf Gemeindeebene ermittelt und anschließend mit den Bezirken des LVM-BW verschnitten

Aktivitätenpaare ohne Arbeitsbezug

Es wurde eine Visum-Version angelegt, in der die folgenden Gebietseinheiten enthalten sind:

- als Bezirke: Validate-Bezirke
- als POI: LVM-BW-Bezirke
- als Oberbezirke: eine gemeinsame Aggregationsebene zwischen Validate- und LVM-BW-Bezirken (bedingt durch unterschiedlich feine Verkehrsbezirkseinteilungen); beide Bezirkseinteilungen haben eine eindeutige Zuordnung zu einem Oberbezirk.

Die Validate-Bezirke werden zunächst auf Oberbezirksebene aggregiert. Alle Bezirke, die außerhalb des Untersuchungsraums liegen, werden zusammengefasst und gelöscht. Damit verbleibt nur der Binnenverkehr im Untersuchungsraum. Der Untersuchungsraumanteil ergibt sich je Verkehrsbezirk als Quotient aus Binnenverkehr und Gesamtverkehr. Die Anteile können über die Zuordnung der POIs zu den Oberbezirken auf die POIs übertragen werden.

Da die Bezirke im Ausland in Validate nur unzureichend abgedeckt sind, wird für diese ein Mittelwert auf der Basis der Werte in Deutschland und der Lage im Raum berechnet und zugewiesen.

Die Ausgabe der Anteile erfolgt in benutzerdefinierten Attributen (beispielsweise [URA_FW_HV], [URA_FW_QV], [URA_WF_ZV], [URA_WF_HV]). In der folgenden Abbildung sind die quellseitigen Untersuchungsraumanteile für das Aktivitätenpaar FW dargestellt.

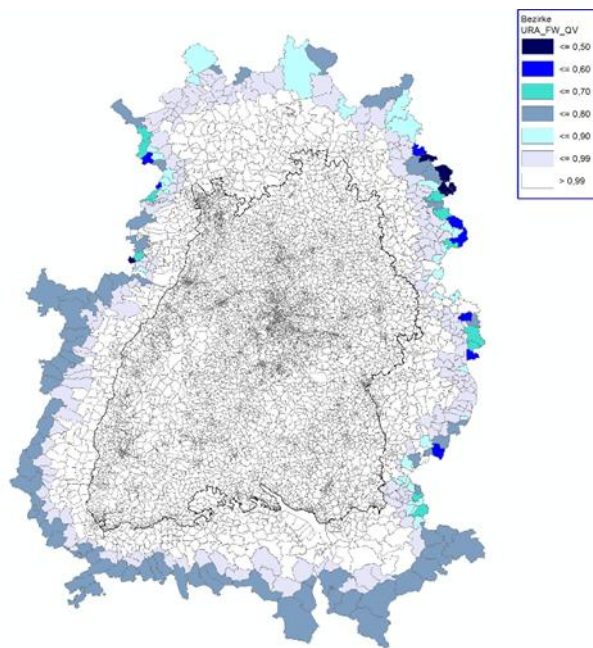


Abbildung 51: Untersuchungsraumanteile am Beispiel des Quellverkehrs für das Aktivitätenpaar FW

7.2.6 Durchführen Teilraumausgleich

Ein Teilraumausgleich soll sicherstellen, dass Ortsveränderungen für Wegezwecke, die typischerweise Quelle und Ziel in einem Teilraum haben, nicht den Teilraum verlassen müssen. Beispiel für derartige Wegezwecke sind Grundschule, Schule und Einkaufen (täglich).

Bei einem Teilraumausgleich wird die Erzeugung so erweitert, dass die Summe der Quell- und Zielaufkommen innerhalb eines jeden Teilraum ausgeglichen (d. h. identisch) ist.

Der Teilraumausgleich findet nur auf der Ebene der Erzeugung statt. Auf der Ebene der simultanen Verteilung-/Moduswahl ist ein Verlassen des Teilraumes schon möglich, zum Beispiel, wenn ein Bezirk eines anderen Teilraumes günstiger zu erreichen ist.

In Visum ist eine interne Standardlösung für den Teilraumausgleich vorhanden, welche für das LVM-BW verwendet wird. Die Erzeugung wird auf mehrere Schritte aufgeteilt, sodass Teilraumausgleiche auf verschiedenen Ebenen für verschiedenen Nachfrageschichten möglich sind. Als Teilräume werden die Gemeinden, die Landkreise oder die Nationen verwendet. In benutzerdefinierten Attributen wird für jeden Bezirk die Gemeinde, der Landkreis und die Nation zu dem dieser gehört vermerkt. Im Erzeugungsschritt wird das jeweils relevante Attribut ausgewählt (vgl. folgende Abbildung). Nachfrageschichten, für die kein Teilraumausgleich in der Erzeugung berechnet werden soll, werden in einem vierten Berechnungsschritt ohne Teilraumausgleich erzeugt.

☒	▼ 3.1 Gruppe EVA-Erzeugung PV in Teilräumen	13 / 13
☒	▼ 3.2.1 Gruppe EVA-Erzeugung Teilräume "Gemeinde" PV	1 / 1
☒	EVA-Verkehrserzeugung	1031_RT1_WE Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich, 1032_RT1_EW Raumtyp 1 Einkaufen täglich-Wohnen, 1051_RT1_WG Raumtyp 1 Wohnen-Weiterführende Schule, 1052_RT1_SW Raumtyp 1 Weiterführende Schule-Wohnen, 2111_RT1_WB Raumtyp 1 Wohnen-Berufsschule
☒	▼ 3.2.2 Gruppe EVA-Erzeugung Teilräume "Landkreis" PV	1 / 1
☒	EVA-Verkehrserzeugung	1111_RT1_WS Raumtyp 1 Wohnen-Weiterführende Schule, 1112_RT1_SW Raumtyp 1 Weiterführende Schule-Wohnen, 2111_RT1_WB Raumtyp 1 Wohnen-Berufsschule
☒	▼ 3.2.3 Gruppe EVA-Erzeugung Teilräume "National" PV	11 / 11
☒	EVA-Verkehrserzeugung	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit, 1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen, 1021_RT1_WB Raumtyp 1 Wohnen-Berufsschule

Parameter EVA-Verkehrserzeugung

☒ Nur für aktive Bezirke
☐ Alle Ergebnis-Attribute vor der Berechnung auf 0 setzen
☒ Teilraum-Ausgleich verwenden
 Attribut zur Definition der Teilräume:

Ein Randsummenausgleich ist nicht möglich.

	Schlüssel	Nachfrageschicht	Typ	Art des Aufkommens	Personengruppe / Strukturgröße	Rate konstant	Rate	Untersuchungsraumanteil
1	1031_RT1_WE/Hemat/1001_RT1_Kind	1031_RT1_WE Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich	1	Heimataufkommen	1001_RT1_Kind Kinder bis 5 Jahre im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
2	1031_RT1_WE/Hemat/1002_RT1_GSch	1031_RT1_WE Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich	1	Heimataufkommen	1002_RT1_GSch Grundschüler im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
3	1031_RT1_WE/Hemat/1003_RT1_WSch	1031_RT1_WE Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich	1	Heimataufkommen	1003_RT1_WSch Weiterführender Schüler im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
4	1031_RT1_WE/Hemat/1004_RT1_Azubi	1031_RT1_WE Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich	1	Heimataufkommen	1004_RT1_Azubi Auszubildende im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
5	1031_RT1_WE/Hemat/1005_RT1_Stud	1031_RT1_WE Raumtyp 1 Wohnen-Einkaufen täglich	1	Heimataufkommen	1005_RT1_Stud Studenten im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐

Abbildung 52: Erzeugungsrechnung mit Teilraumausgleich. Ausschnitt aus dem Visum-Verfahrensablauf

7.2.2 Durchführen der Verkehrserzeugung

Die Rechenvorschrift für das Erzeugungsmodell (Kennwertmodell nach Lohse) ist in Visum verfügbar und wird genutzt.

Parameter EVA-Verkehrserzeugung

☒ Nur für aktive Bezirke
☐ Alle Ergebnis-Attribute vor der Berechnung auf 0 setzen
 Ein Randsummenausgleich ist nicht möglich.

	Schlüssel	Nachfrageschicht	Typ	Art des Aufkommens	Personengruppe / Strukturgröße	Rate konstant	Rate	Untersuchungsraumanteil
1	1011_RT1_WA/Hemat/1003_RT1_WSch	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1003_RT1_WSch Weiterführender Schüler im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
2	1011_RT1_WA/Hemat/1004_RT1_Azubi	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1004_RT1_Azubi Auszubildende im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
3	1011_RT1_WA/Hemat/1005_RT1_Stud	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1005_RT1_Stud Studenten im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
4	1011_RT1_WA/Hemat/1006_RT1_EWT54	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1006_RT1_EWT54 Erwerbstätig bis 54 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
5	1011_RT1_WA/Hemat/1007_RT1_EWT55	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1007_RT1_EWT55 Erwerbstätig ab 55 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
6	1011_RT1_WA/Hemat/1008_RT1_NEWT54	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1008_RT1_NEWT54 Nichterwerbstätig bis 54 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
7	1011_RT1_WA/Hemat/1009_RT1_NEWT55	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1009_RT1_NEWT55 Nichterwerbstätig ab 55 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
8	1011_RT1_WA/Hemat/1010_RT1_R74	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1010_RT1_R74 Rentner bis 74 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
9	1011_RT1_WA/Hemat/1011_RT1_R75	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Heimataufkommen	1011_RT1_R75 Rentner ab 75 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
10	1011_RT1_WA/Hemat/1012_RT1_Ziel	1011_RT1_WA Raumtyp 1 Wohnen-Arbeit	1	Zielaufkommen	SG_3_BES_AO_GES Beschäftigte Gesamt (Arbeitsort)	☐	aus Bezirksattribut	☐
11	1012_RT1_AW/Hemat/1003_RT1_WSch	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1003_RT1_WSch Weiterführender Schüler im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
12	1012_RT1_AW/Hemat/1004_RT1_Azubi	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1004_RT1_Azubi Auszubildende im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
13	1012_RT1_AW/Hemat/1005_RT1_Stud	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1005_RT1_Stud Studenten im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
14	1012_RT1_AW/Hemat/1006_RT1_EWT54	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1006_RT1_EWT54 Erwerbstätig bis 54 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
15	1012_RT1_AW/Hemat/1007_RT1_EWT55	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1007_RT1_EWT55 Erwerbstätig ab 55 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
16	1012_RT1_AW/Hemat/1008_RT1_NEWT54	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1008_RT1_NEWT54 Nichterwerbstätig bis 54 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐
17	1012_RT1_AW/Hemat/1009_RT1_NEWT55	1012_RT1_AW Raumtyp 1 Arbeit-Wohnen	2	Heimataufkommen	1009_RT1_NEWT55 Nichterwerbstätig ab 55 im Raumtyp 1	☐	aus Bezirksattribut	☐

Abbildung 53: EVA-Erzeugung in Visum. Verfahrensschritt.

Für die Erzeugung in einem Nachfragemodell wird ein Verfahrensschritt „EVA-Erzeugung“ benutzt. Der Verfahrensschritt ist Teil des Verfahrensablaufes und ist so in Berechnung eingebunden. Aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungen der Teilräume wird die Verkehrserzeugung in mehreren Verfahrensschritten sequenziell durchgeführt.

Die Ergebnisse der Verkehrserzeugung sind in den Bezirksattributen [QUELLAUFKOMMEN(XY)], [ZIELAUFKOMMEN(XY)] und [HEIMATAUFKOMMEN(XY)] für die jeweilige Nachfrageschicht „XY“ hinterlegt.

7.3 Ziel- und Moduswahl

7.3.1 Anforderungen

Kategorie	Anforderungen an die Ziel- und Moduswahl
Kenngroßen IV	Fahrtzeit im Verkehrsmittel, Zu- und Abgangszeit, Parkplatzsuchzeiten, Reisekosten (Kraftstoffkosten, Straßen und Parkplatznutzungsgebühren), Pkw-Verfügbarkeit
Kenngroßen ÖV	ÖV-Dauerkartenverfügbarkeit, Zu- und Abgangszeit, Fahrtzeit im Verkehrsmittel, Startwartezeit oder Bedienungshäufigkeit oder Anpassungszeit, Reisekosten, Umsteigewartezeit, Auslastung ÖV
Kenngroßen Rad/Fuß	Fahrtzeit im Verkehrsmittel (Abhängig von Pedelec Anteil)
Simultaneität	Zielwahl- und Moduswahl sollen simultan erfolgen
Randsummenausgleich	Beachtung von Randsummenbedingungen
Arbeitswege	Einbeziehung einer empirischen Matrix (Pendlermatrix) in die Nutzenfunktion
Fixierung Zielwahl	Das Vorgehen bei der Berechnung mittels fixierter Zielwahl wird im separaten Handbuch zum Störfallmanagement beschrieben. Die Implementierung erfolgt aufgrund der Komplexität in einer separaten VISUM-Versionsdatei.

Tabelle 41: Explizite Anforderungen aus der Leistungsbeschreibung an die Verteilung und Moduswahl

7.3.2 Input

Datensatz	Beschreibung	Quelle
Kenngroßen	Beschreibung der Angebotsqualität auf Matrixebene, z.T. auch als Vektor auf Bezirksebene	Ergebnisse aus Netzmodellen
Modal-Split	Modal-Split im Analysezustand je Nachfrageschicht	MiD 2017
Verkehrserzeugungsergebnisse	Verkehrsaufkommen je Nachfrageschicht	Ergebnis aus Verkehrserzeugung

Tabelle 42: Inputdaten für die Verteilung und Moduswahl

7.3.3 Berechnung der Kenngroßen auf Matrixebene

Die Ermittlung von Kenngroßen der Verkehrsangebotsqualität auf der Ebene von Quelle-Ziel-Relationen ist eine Voraussetzung für eine simultane Verteilung und Moduswahl. Diese Kenngroßen beschreiben den Aufwand der Verkehrsteilnehmer für eine Ortsveränderung mit einem bestimmten Modus. Für die Ziel und Moduswahl werden folgende Kenngroßen berücksichtigt:

- Fußverkehr: Reisezeit, basierend auf Luftlinie
- Radverkehr: bewertete Reisezeit
- Öffentlicher Verkehr:

- Fahrtzeit im Fahrzeug, differenziert nach Verkehrssystem. Dabei ist zu beachten, dass die Fahrzeiten in den einzelnen Verkehrssystemen mit Boni und Mali gewichtet und summiert werden. Diese Kenngröße stellt somit eine bereits linear bewertete Zeit dar und ist daher nicht mit der Reisezeit für die Auswertung vergleichbar
 - Bedienungshäufigkeit,
 - Zu- und Abgangszeit,
 - Umsteigewartezeit,
 - Umsteigehäufigkeit,
 - Fahrpreise nach diversen Differenzierungen,
 - Dauerkartenverfügbarkeit
- Pkw-Verkehr: Zu- und Abgangszeit, auslastungsabhängige Fahrtzeit, Parksuchzeit, Parkkosten, Fahrtkosten, PKW-Verfügbarkeit (nach AP-Verkehrsmittelverfügbarkeit)
 - P+R: Reisezeit im ÖV, Reisezeit im PKW, Reisekosten für ÖV, Reisekosten für PKW, Reisezeit gesamt, Reisekosten gesamt
 - Modusunabhängige Kenngrößen: Luftlinienentfernung, Externe Matrizen zur Beschreibung von Teilräumen (gekennzeichnete Relationen innerhalb einer Gemeinde, eines Landkreises, eines Bundeslandes oder einer Nation, Relationen zwischen Gemeinden bestimmten Raumtyps), Matrizen zur Pendlerkorrektur, Matrizen zur Kalibrierung der Grenzüberschreitenden Verkehre
 - Reiseweite: Für die Ermittlung von Reiseweiten werden außerdem für jeden Modus Reiseweiten ermittelt. Für die Ermittlung der Reiseweitenverteilungen werden die modusspezifischen Reiseweiten verwendet.

Für das Berechnen von Kenngrößenmatrizen existieren in Visum eigene Verfahrensschritte. Diese werden in den Verfahrensablauf eingebunden. Im LVM-BW werden die Matrizen in den Modellen für Rad und PKW, sowie ÖV separat berechnet und anschließend an das Nachfragemodell übergeben. Eine detaillierte Beschreibung zur technischen Implementierung der Kenngrößenberechnung findet sich für Pkw in Kapitel 4.13, Rad in Kapitel 5.3 oben und für den ÖV in Kapitel 6.9.

7.3.4 Bewertung der Kenngrößen

In Nachfragemodellen werden alle relevanten Kenngrößen mit einer Bewertungsfunktion bewertet. Für die Bewertungsfunktion stehen verschiedenen Funktionsformen zur Verfügung. Für das LVM-BW werden folgende Funktionsformen gewählt, die für jede Aufwandskenngröße festgelegt werden müssen:

- EVA2-Funktion: Als Bewertungsfunktion für alle berechneten Kenngrößen wird die EVA2-Funktion verwendet. Die Funktion hat drei Parameter.
- Logit-Modell: Für externe Bewertungsmatrizen mit feststehenden diskreten Werten wird die Exponentialfunktion verwendet. Die Funktion hat einen Parameter.

Für alle Bewertungsfunktionen gibt es in der Literatur die entsprechende theoretische Ableitung. Bei der Auswahl einer Funktion für das LVM-BW standen zwei Aspekte im Fokus:

- Die Elastizität einer Kenngrößen soll einen plausiblen Verlauf haben und durch den Nutzer gut eingestellt werden können.
- Die Funktion soll flexibel sein, um nicht nur den Mittelwert der Kenngröße, sondern auch deren Verteilung beeinflussen zu können.

Der erste Punkt ist wichtig für valide Ergebnisse von Prognoseszenarien und der zweite Punkt spielt eine wichtige Rolle bei der Kalibrierung des Modells. Die Verfügbarkeit von Parametern ist dabei zweitrangig, da jeder Untersuchungsraum andere Parameter hat und diese im Rahmen einer Kalibrierung immer neu eingestellt werden müssen. Daten aus anderen Projekten werden nur als Startlösung für die Kalibrierung verwendet.

Die Eigenschaften der EVA2-Funktion im Vergleich zu anderen Bewertungsfunktionen sind im Folgenden dargestellt.

Bei der einfachen Logit-Funktion gibt es nur einen Parameter. Der beta-Parameter (in Visum Parameter c) bestimmt gleichzeitig die Elastizität und die mittlere Reiseweite. Die Fixierung lässt keine Kalibrierung auf Reiseweitenverteilungen zu, sodass die einfache Logit-Funktion für berechnete Kenngrößen nicht verwendet werden soll.

Eine Alternative wäre ein Logit-Modell mit Box-Turkey-Transformation. Diese hat zwei Parameter (in Visum Parameter b und c) und die in Abbildung 54 dargestellten Eigenschaften.

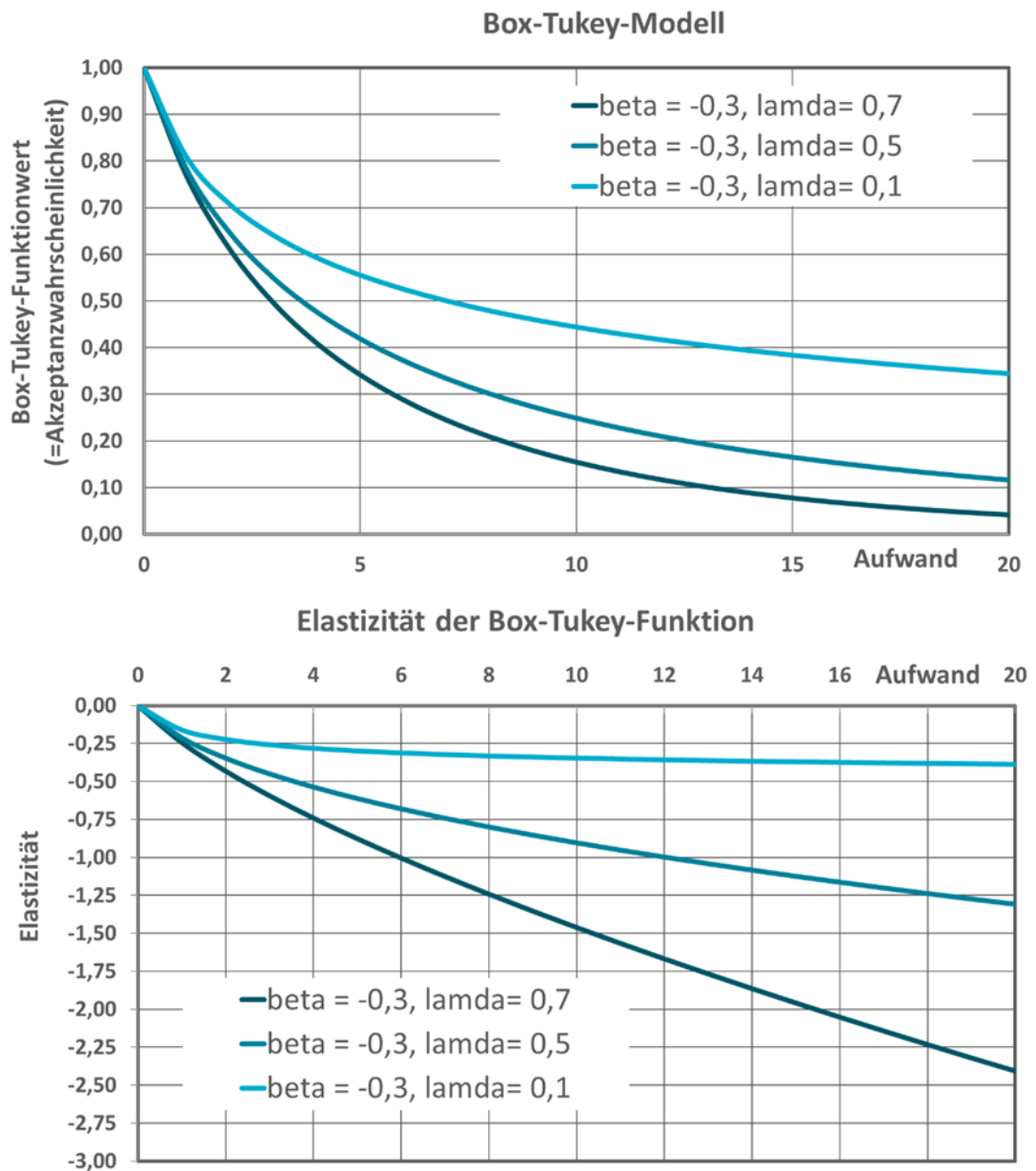


Abbildung 54: Verlauf der Box-Tukey-Funktion (oben) und der Verlauf der Elastizität (unten) bei konstantem beta-Parameter

Die EVA2-Funktion hat drei Parameter. Das Produkt von zwei Parametern ergibt zusammen die Elastizität. Wenn man eine bestimmte Elastizität einhalten will, hält man also zwei Parameter konstant und arbeitet mit dem dritten Parameter zur Einstellung der mittleren Aufwände.

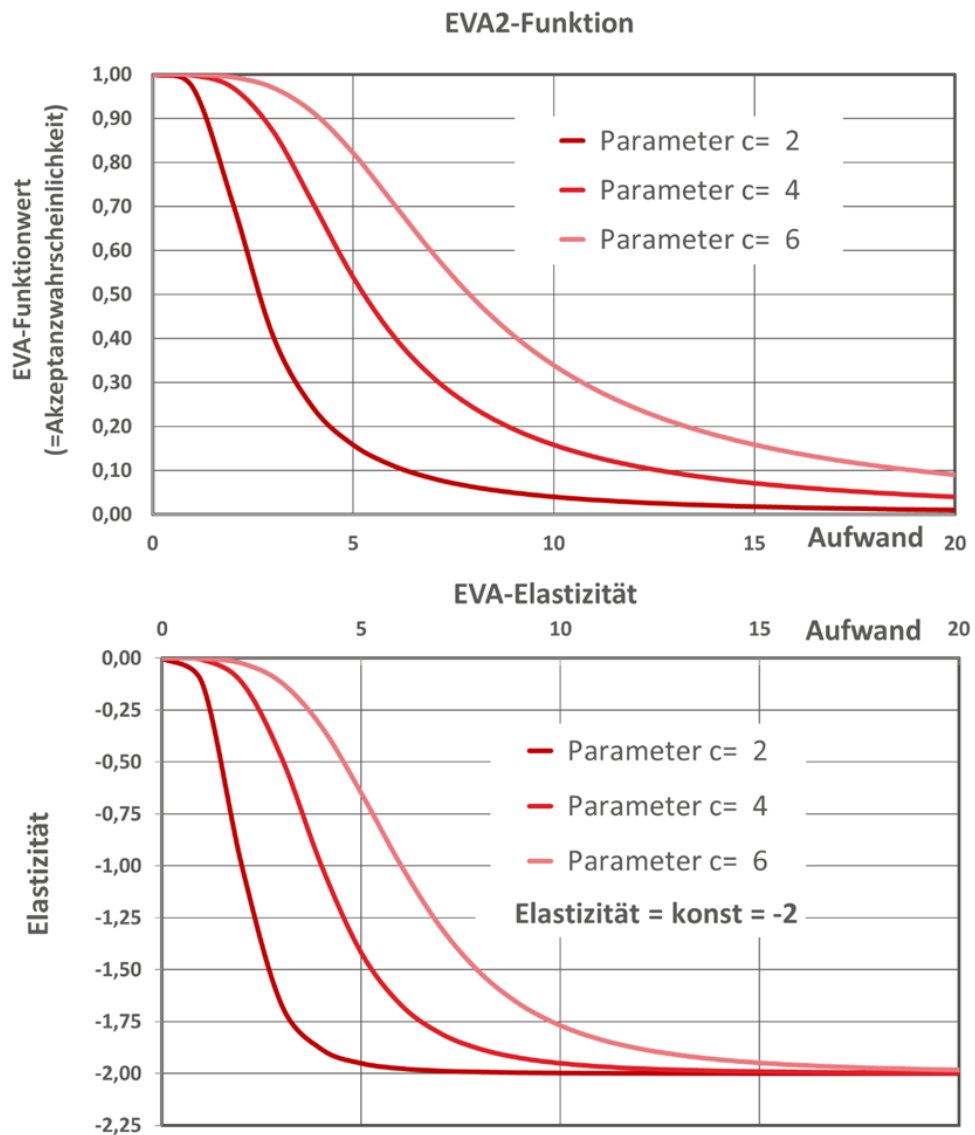


Abbildung 55: Verlauf der EVA2-Funktion (oben) und der Verlauf der Elastizität (unten) bei konstantem beta-Parameter

Was bei der Logit-/Box-Tukey-Variante auffällt, ist die fallende Elastizitätsfunktion. Bei großen Aufwandswerten werden hohe Elastizitätswerte erreicht, zum Beispiel den Wert -20. Hohe Elastizitätswerte sind wahrscheinlich nicht plausibel und können in der Prognose zu unplausiblen Ergebnissen führen. Die Elastizität der EVA2-Funktion hat hier Vorteile, denn die hat einen Grenzwert für die Elastizität.

Ein weiterer Punkt für die Auswahl einer Funktion ist die Formenvielfalt der Kurven, die durch die Setzung der Parameter entsteht. Hierbei ist sowohl der Nahbereich und auch der Bereich für lange Fahrten betrachtenswert.

Der Nahbereich für kurze Wege /geringe Aufwände ist typischerweise der Entfernungsbereich, in welchem sich vorrangig Fußgänger und Radfahrer bewegen und mit dem PKW konkurrieren. Die Abbildung zeigt anhand von drei Kurvengruppen symbolisch die unterschiedlichen Werte.

Die Kurven können „sehr eng und steil“ (blaue Kurvenschar) gestellt werden. Hier endet die Wahrscheinlichkeit schon bei geringen Aufwandswerten. Markant ist aber, dass – hier beispielsweise Werte bis 5 trotzdem eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit haben. Mit dieser Kurve gelingt es, gleichzeitig den geringen Aufwänden hohen Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen (Wertebereich bis 5) und ab einem Wert x nahezu auszuschließen (Werte ab 12). Diese Variante mit zwei gegenläufigen Krümmungen wird als Halbglockenkurve bezeichnet.

Die zweite Kurvenschar (grün) zeigt ein milde Variant der ersten Kurvenschar. Hier ist die Wahrscheinlichkeit für hohe Werte immer noch sehr hoch, aber auch längere Entfernungen sind zulässig. Wenn die Parameter verändert werden, dann gehen diese Kurven ineinander über.

Die dritte Kurvenschar (violett) ähnelt in ihrer Form der Logit-Funktion. Der Verlauf ist nur in eine Richtung gekrümmt. Folglich erfolgt eine starke Abwertung in geringen Wertebereichen, der Abstieg ist in diesem Bereich am steilsten. Für den Fußgängerverkehr ist das vermutlich ungeeignet, sie kann aber für den PKW-Verkehr richtig sein.

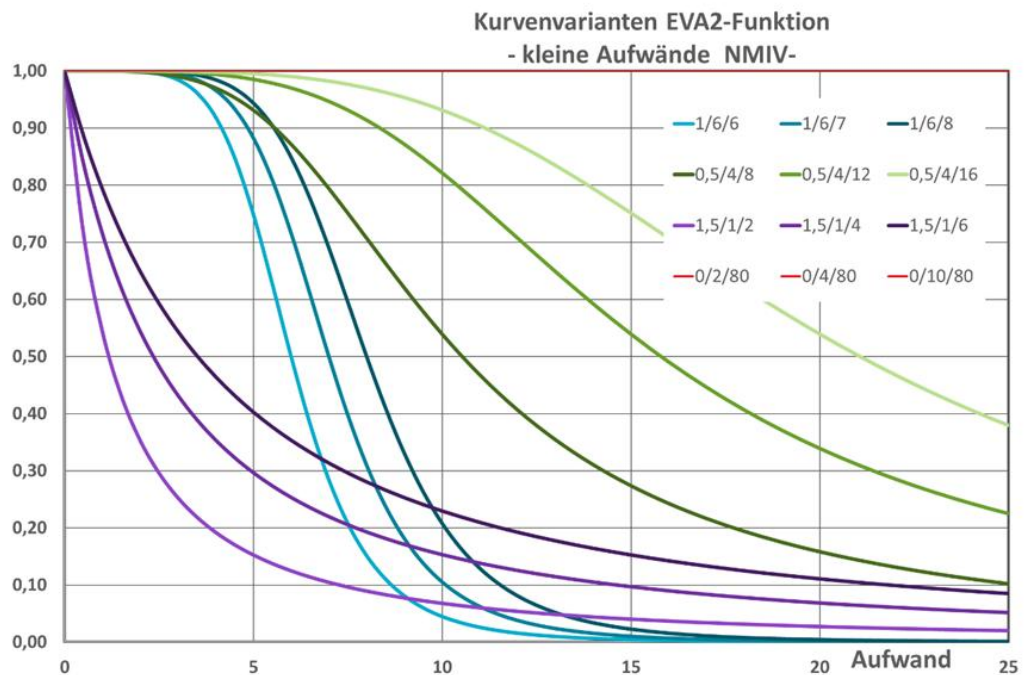


Abbildung 56: Variante der EVA2-Funktion für den Nahbereich mit Aufwänden bis 25

Der Bereich für große Aufwände ist in diesem Projekt interessant, weil es wegen des Raumumgriffs viele Relationen im Bereich mit hoher Aufwandswerte geben wird, es eine Nachfrage nach solchen Wegen gibt und diese prognostiziert werden müssen.

Die folgende Abbildung zeigt EVA2-Kurvenscharen für diesen Bereich. Die Halbglockenform und die drei Parameter bieten die Möglichkeiten, die Kurve stärker oder langsamer fallen zu lassen und auch ab einem Wert x wirklich „zu schließen“ (d.h. die Kurve erreicht die x -Achse, Wahrscheinlichkeit für Aufwände $>x:=0$). Das ist ein Unterschied zu der Logit-Funktion mit Box-Tukey-Transformation, die in der zweiten Abbildung gezeigt wird. Die Kurvenvarianten haben alle sehr ähnliche (negative) Anstiege und nähern sich nur sehr langsam der x -Achse.

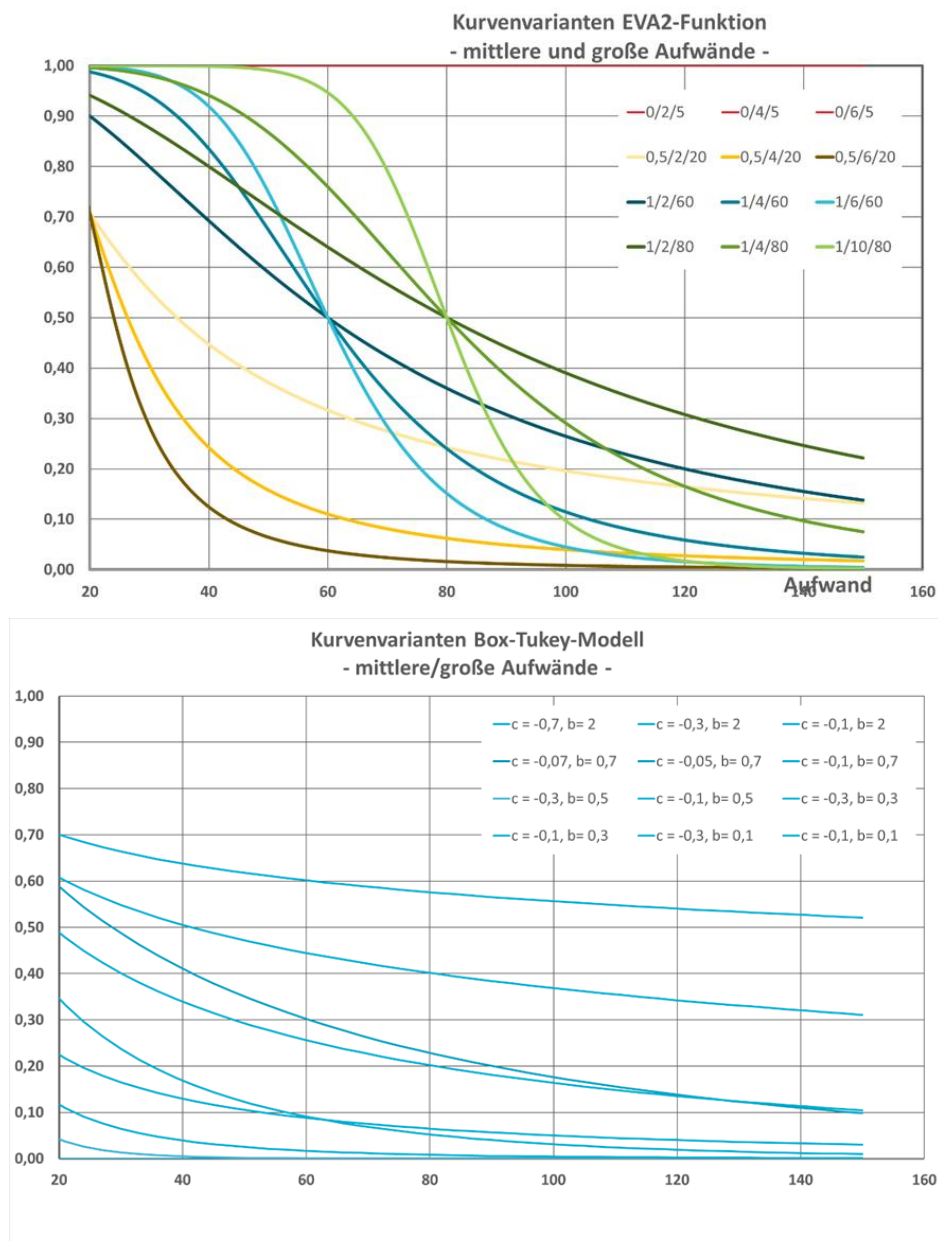


Abbildung 57: oben: Variante der EVA2-Funktion für den Wertebereich mit mittleren und hohen Aufwandswerten; unten: Variante der Logit Funktion mit Box-Tukey Transformation für den Wertebereich mit mittleren und hohen Aufwandswerten

Nach diesen Betrachtungen mit praktischem und heuristischem Hintergrund wird im Projekt die EVA2- Funktion verwendet.

Die Implementierung der Bewertung erfolgt über die vorgesehenen Dialoge. Die große Anzahl an raumtypabhängigen Nachfrageschichten führt zu zwei Herausforderungen. Zum einen wird eine große Anzahl an nachfrageschichtfeinen Bewertungs- und Nachfragematrizen berechnet. Diese können nicht alle zeitgleich abgespeichert werden. Daher wird die EVA-Bewertung und Ziel- und Moduswahl auf mehrere Schritte aufgeteilt. Die berechneten Matrizen werden aggregiert und anschließend initialisiert. Zum anderen entsteht durch die Kombination von Nachfrageschichten und

zu bewertenden Kenngrößen eine große Anzahl von Zeilen in den EVA-Bewertungsdialogen. Für die initiale Setzung der Bewertungsparameter wird daher ein Parametersatz als benutzerdefinierte Tabelle. Die Tabelle ermöglicht eine bessere Übersicht, durch Möglichkeiten zum Filtern und Sortieren.

Parameter EVA-Bewertung

☐ Nur für aktive Beziehungen
☐ Beziehungen zwischen passiven Bezirken ausschließen
☐ Alle Ergebnis-Matrizen vor der Berechnung auf 0 setzen
☒ Heimatbezirk für Nachfrageschichten vom Typ 3 berücksichtigen
☐ Ergebnis-Matrizen in Daten speichern

Maximale Anzahl Relationen mit negativer Bewertung in der Protokolldatei: 50

Aufwandsarten festlegen...

	Schlüssel	Typ	Modus	Modusverfügbarkeit	Kapazitätsauslastung	Aufwandsart	Gen. Kosten	KennMat / BeizAttr / Linkomb	Transformationsfunktion	a	b	c	Max. Wdg.	R
85	PPM/Resezeit/1011_RT1_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Resezeit	☐	232 TTM PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1,3	4,4	20		
86	PPM/Resezeit/2011_RT2_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Resezeit	☐	232 TTM PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1,2	5,1	18		
87	PPM/Resezeit/3011_RT3_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Resezeit	☐	232 TTM PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1,1	4,8	28		
88	PPM/Resezeit/4011_RT4_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Resezeit	☐	232 TTM PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1,5	4,5	29		
89	PPM/Kosten/1011_RT1_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Kosten	☐	234 KOS PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1	1,5	6		
90	PPM/Kosten/2011_RT2_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Kosten	☐	234 KOS PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1	1,5	6		
91	PPM/Kosten/3011_RT3_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Kosten	☐	234 KOS PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1	1,5	6		
92	PPM/Kosten/4011_RT4_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Kosten	☐	234 KOS PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	1	1,5	6		
93	PPM/Parkkosten/1011_RT1_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Parkkosten	☐	238 PKO PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	2	2	8		
94	PPM/Parkkosten/2011_RT2_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Parkkosten	☐	238 PKO PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	2	2	8		
95	PPM/Parkkosten/3011_RT3_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Parkkosten	☐	238 PKO PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	2	2	8		
96	PPM/Parkkosten/4011_RT4_WA	1	PPM Pkw-Privat-Mefahrer	MVVW_MV_PPM	1.0	Parkkosten	☐	238 PKO PPS bearb (PPS PKW)	EVA2	2	2	8		

Abbildung 58: Screenshot des Visum-Didialogs für die EVA-Bewertung (Auszug)

7.3.5 Umsetzung einer raumtypenabhängigen Bewertung in VISUM

Im LVM-BW werden die Bewertungsparameter in Abhängigkeit des Raumtyp eines Bezirkes gesetzt. Maßgebend hierbei ist der Wohnstandort der Person, das heißt bei Nachfrageschichten mit Quelle-Ziel-Typ 1 die Quelle und bei Quelle-Ziel-Typ 2 und 3 der Zielbezirk.

In Visum wird die Option „gekoppelte Nachfrageschichten“ herangezogen. Hierbei können pro Aktivitätenpaar (zum Beispiel Wohnung-Arbeit) mehrere Nachfrageschichten angelegt werden. Für die Nachfrageschichten können dann unterschiedliche EVA-Bewertungsparameter und unterschiedliche Modal-Splits eingestellt werden, sodass sich unterschiedliche Bewertungen der Relationen ergeben. Die Randsummenbedingung gilt jedoch übergreifend über alle Nachfrageschichten dieses Aktivitätenpaares.

Beispiel für das Aktivitätenpaar Wohnung-Arbeit: Im LVM-BW werden 4 Raumtypen verwendet. Damit werden für dieses Aktivitätenpaar 4 Nachfrageschichten etabliert: W-A RT1, W-A RT2, W-A RT3, W-A RT4. Die Verkehrsproduktion an der Wohnortseite unterscheidet sich nach den Raumtypen. Es können unterschiedliche Mobilitätsraten vorgegeben werden. Bei der Verkehrsattraktion (Arbeitsseite) verwenden alle drei Nachfrageschichten den gleichen Strukturgrößenvektor. Bei der Berücksichtigung der Randsummenbedingung werden die Verkehrsmengen aller vier Raumtypen gemeinsam betrachtet.

Im nachfolgenden Schritt Verteilung/Aufteilung können auch unterschiedliche Bewertungsfunktionen und Analyse-Modal-Split-Werte vorgegeben werden. So ist es möglich, dass für unterschiedliche Raumtypen explizit ein unterschiedliches Verkehrsverhalten unterstellt wird.

7.3.6 Simultane Ziel- und Moduswahl

Eingangsdaten in die simultane Verteilung und Aufteilung sind die Quell- und Zielaufkommen aus der Erzeugung und die Bewertungsmatrizen. Im Analysemodell sind zudem die Modal-Split-Werte pro Nachfrageschicht für das Untersuchungsgebiet Eingangsdaten. Im Prognosemodell sind stattdessen die Modusbilanzfaktoren Eingangsdaten.

Die Modal-Split-Werte pro Nachfrageschicht für das Untersuchungsgebiet sind aus der MiD Auswertung bekannt. Sie sind das Ergebnis der Wahlentscheidung im Ist-Zustand.

Mathematisch entsteht ein 3-lineares Gleichungssystem.

$$v_{ijm} = BW_{ijm} * f_{q_i} * f_{z_j} * f_{a_m}$$

Mit den Randsummenbedingungen

$$Q_i = \sum_{jm} v_{ijm}$$

$$Z_i = \sum_{im} v_{ijm}$$

$$M_m = \sum_{ij} v_{ijm}$$

mit den Variablen:

v_{ijm}	Verkehrsstrom von Quelle i zum Ziel j mit Modus m
BW_{ijm}	Bewertungsgröße für den Aufwand für die Ortsveränderung von i nach j mit Modus m
f_{qi}, f_{zj}, f_{mk}	Faktoren für die Einhaltung der Randsummenbedingungen; f_q für die Quellbezirke, f_z für die Zielbezirke und f_m für den Modus m
Q_i	Aufkommen eines Quellverkehrsbezirkes i
Z_j	Aufkommen eines Zielverkehrsbezirkes i
M_m	Verkehrsaufkommen des Modus m

Die Verkehrsströme v sind so zu bestimmen, dass die Verkehrsmengen pro Quell- Zielbezirk und pro Modus eingehalten werden.

Der Ausbau und die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in Visum im Verfahrensschritt EVA Verteilung/Moduswahl. Die Lösung erfolgt in einem iterativen Verfahren. Bei der Berechnung sind Genauigkeitsschranken einzuhalten. Im Dialog zur EVA-Verteilung und Modus Wahl werden auch die Modal-Split-Werte eingetragen, die als dritte Randsummenbedingung wirken.

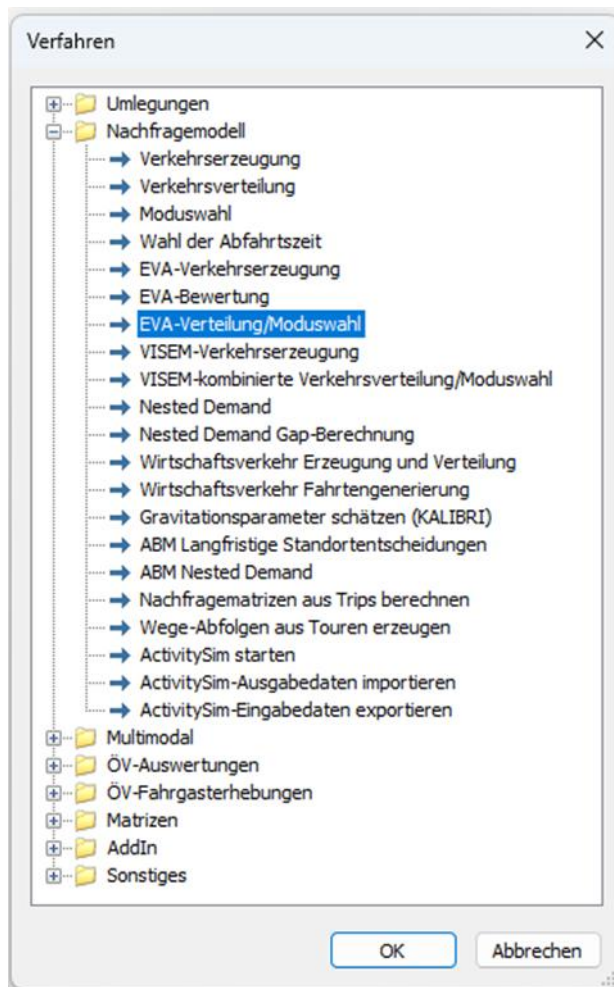


Abbildung 59: Auswahldialog für Visum-Verfahrensschritt mit der EVA-Verteilung/Moduswahl

7.3.7 Randsummenausgleich

Es wird im Modell davon ausgegangen, dass jeder Verkehrsteilnehmer „im Durchschnitt“ seine Wegeketten im Untersuchungsgebiet erledigt und nach 24 Stunden zu seinem Wohnstandort zurückkehrt. Aus verschiedenen Gründen kann bei der Berechnung der Fall entstehen, dass Quell- und Zielverkehrsaufkommen nicht exakt gleich groß sind.

In Visum gibt es keine integrierte Lösung für einen Randsummenausgleich für raumtypendifferenzierte Nachfrageschichten. Daher wird im LVM-BW eine individuelle Lösung für den Randsummenausgleich integriert.

Durch den individuellen Randsummenausgleich kann sichergestellt werden, dass je Bezirk über alle Nachfrageschichten einer Raumtyps die Summe des Zielaufkommens der Summe des Quellaufkommens entspricht. Diese Bedingung ist für die Modi RAD, PPS und austauschbar einzuhalten. In austauschbar sind die Modi PPM, FGV, PNR, OEV zusammengefasst, zwischen denen innerhalb einer Wegekette gewechselt werden kann. Asymmetrien zwischen Quell- und Zielverkehrsaufkommen werden über das Aktivitätenpaar ZZ ausgeglichen.

Der Randsummenausgleich wird nach erfolgter Ziel- und Moduswahl durchgeführt, da aufgrund der Verwendung von elastischen Randsummenbedingungen erst zu diesem Zeitpunkt die finalen Quell- und Zielverkehrsaufkommen berechnet sind.

7.3.8 Stundenfeine Matrizen

Für die Berechnung der stundenfeinen Matrizen für ÖV und Pkw-Fahrten wurden die Tagesganglinien der MiD für die Aktivitätenpaare differenziert nach Raumtyp für die Modi ÖV und PPS (Pkw-Selbstfahrer) jeweils quell- und zielbezogen ausgewertet.

Folgende Abbildung 60 verdeutlicht den Hintergrund dieser differenzierten Auswertung, dargestellt sind exemplarisch die Wege von und zur weiterführenden Schule mit dem ÖV für Raumtyp 1:

- Aktivitätenpaare haben einen klaren Richtungsbezug. Wege von der Wohnung zur Aktivität finden dabei früher statt als die Wege von der Aktivität zur Wohnung.
- Die entstehenden Ganglinien sind unterschiedlich, je nachdem ob man nach Abfahrtszeit (quellbezogen) oder nach Ankunftszeit (zielbezogen) auswertet.
- Es ist sinnvoll, die Wege von der Wohnung zur Aktivität zielbezogen und die Wege von der Aktivität zur Wohnung quellbezogen auszuwerten. Dies wird besonders bei Bildungswegen deutlich, die fast immer mit einer fixen Uhrzeit zu Beginn und zum Ende der Aktivität verbunden sind. Entsprechend richtet sich die Abfahrtszeit auf dem Weg zur Schule nach der Ankunftszeit und entsprechend umgedreht beim Rückweg. Entsprechend dieser Logik wird für jedes Aktivitätenpaar festgelegt, ob der Zeitbezug der Auswertung ziel- oder quellbezogen ist. In Abbildung 60 sind die verwendeten Ganglinien mit der dunkleren Einfärbung markiert.

Die aus der MiD ausgewerteten quell- und zielbezogenen Tagesganglinien sind für jede Kombination aus Raumtyp und Aktivitätenpaar in den Tabellen „Tagesganglinien_PPS_PV_Modell“ und „Tagesganglinien_PPS_PPS_Modell“ hinterlegt. Es ist außerdem vermerkt, ob für das jeweilige Aktivitätenpaar die quell- oder zielbezogene Ganglinie verwendet wurde.

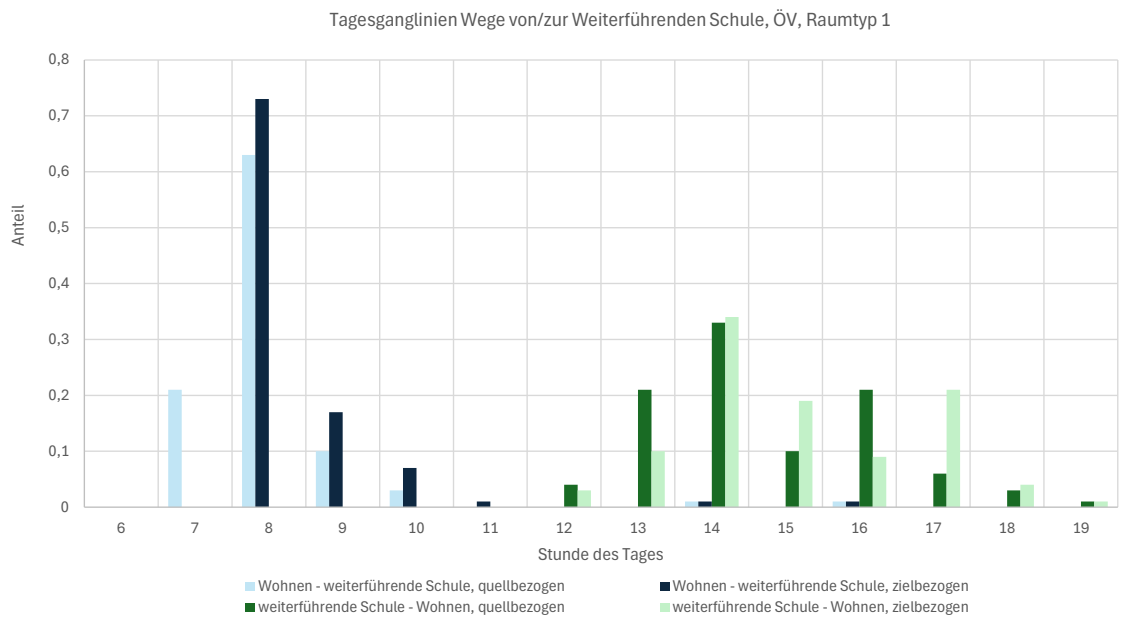


Abbildung 60: ÖV-Tagesganglinien von/zur weiterführenden Schule aus MiD 2017

Mittels der Anteile Tagesganglinien werden nun für jede Kombination aus Raumtyp, Aktivitätenpaar und Modus durch Multiplizieren mit der passenden Nachfragematrix mit den Anteilen der Tagesganglinie und Summieren über alle Kombinationen aus Raumtyp und Aktivitätenpaar die Stundenmatrizen für ÖV und PPS gefüllt. Für die Matrizen mit zielbezogenen Zeitbezug erfolgt eine Umrechnung in Quellbezogene Matrizen anhand der relationsbezogenen Fahrzeit. Die Berechnung ist skriptbasiert umgesetzt und schließt sich jeweils an die berechnete Ziel- und Moduswahl an.

7.3.9 Umlegung

Da die Umlegung zum einen Voraussetzung für die Kenngrößenberechnung ist, zum anderen die Umlegung häufiger ohne Durchführung einer Nachfrageberechnung durchgeführt wird, erfolgt die Beschreibung der Verfahren innerhalb der Kapitel zu den Angebotsmodellen: für Kfz siehe Kapitel 4.15, für Rad siehe Kapitel 5.4, für ÖV siehe Kapitel 6.9.

7.3.10 Output Ergebnis der Nachfrageberechnung

Die nach Nachfrageschichten und Modi differenzierten Nachfragematrizen (Nummern 210111 bis 260001) werden im Verfahrensablauf initialisiert, da der für die Berechnung vorgesehene Arbeitsspeicher nicht ausreicht, um diese zwischenzuspeichern. Neben den Umlegungsmatrizen noch weitere potenziell benötigte Aggregationen berechnet und gespeichert.

Die Ergebnisse der Nachfrageberechnung werden im Verlauf der Rechnung in die Matrizen mit folgenden Nummernbereichen geschrieben (siehe dazu auch mitgelieferte Exceltabelle „LVM_BW_InfosAttributeMatrizen.xlsx“):

- 1 – 9:
Resultierende Nachfragematrizen aus dem privaten Personenverkehrsmodell, Input für Umlagerungsrechnung.
BITTE BEACHTEN: Matrizen besitzen in den Netzmodellen eine andere Matrixsumme als in der Nachfragemutter. Grund hierfür ist das zufällige Runden und das Ausfiltern von Relationen außerhalb von Baden-Württemberg, für die nicht ausreichend Netz vorhanden ist.
- 10001 bis 13001:
Nachfragematrizen aus Nachfragemodell PV auf verschiedenen Aggregationsebenen
- 30000 bis 30199:
Matrixganglinien ÖV und PPS

7.4 Mobilitätswerkzeugwahl

7.4.1 Anforderungen

Das LVM-BW sollen u.a. in der Lage sein, Maßnahmen für die Erreichung der CO₂-Minderungsziele bewerten zu können. Dies umfasst Maßnahmen, die die Verkehrsmittelverfügbarkeit hinsichtlich Pkw-Besitz und ÖV-Zeitkartenbesitz beeinflussen. Beispiele für geplante Maßnahmen sind z.B. Parkraumbewirtschaftung, Änderung von Tarifstrukturen im ÖV oder das Einführen von emissionsfreien Zonen. Dadurch entstehen besondere Anforderungen an den Arbeitsbereich der Maßnahmensensitivität des Modells. So muss das Modell in der Lage sein, z.B. die Einführung eines bundeslandweiten Schienentarifs (z.B. BW-Tarif) und des Deutschland-Tickets so abzubilden, dass eine adäquate Bewertung der dadurch entstehenden Veränderungen möglich ist. Beide tariflichen Veränderungen stellen eine weitreichende Veränderung des vorher bestehenden Tarifsystems dar. Auch die Einführung von flächendeckenden emissionsfreien Zonen hat einen erheblichen Einfluss auf die Erreichbarkeit mit dem Pkw.

Funktionalität des MWW-Modells bezüglich Flottenzusammensetzung

Die Mobilitätswerkzeugwahl umfasst hier ausschließlich auf die Frage, ob ein Pkw bzw. eine Zeitkarte zur Verfügung steht und nicht welche Art von Pkw bzw. welche Art von Zeitkarte. Eine Differenzierung der Flottenzusammensetzung für den Pkw erfolgt im Nachgang zur Nachfragemodellierung als Setzung und wird nicht explizit maßnahmensensitiv modelliert.

Folgende Tabelle fasst exemplarisch abzubildende Maßnahmen und die daraus abgeleiteten, notwendigen Modelleigenschaften zusammen.

Geplante Maßnahme /Veränderung der Rahmenbedingungen	Geforderte Modelleigenschaft	Modellspezifikation Verkehrsangebot / Mobilitätswerkzeugwahl (MWW)
Parkraumbewirtschaftung	sensitiv gegenüber Parkkosten	Angebotsmodell: Modell muss vorher/nachher Parkkosten überall gleichgut kennen MWW: Integration Variable für Parkkosten
Deutschlandticket	Sensitiv gegenüber Fixkosten bei ÖV-Anschaffung Sensitiv gegenüber Kosten je Fahrt	Tarifmodell: Kosten je ÖV-Fahrt muss jeweils für den Fall Dauerkartenbesitz ja oder nein berechnet werden MWW: Integration der Kosten je Kombination Dauerkarte ja/nein
Emissionsfreie Zonen	Sensitiv gegenüber Pkw-Erreichbarkeit Sensitiv gegenüber Anschaffungskosten Pkw	MWW: Integration Variable der Pkw-Erreichbarkeit Integration von Anschaffungskosten für Pkw
Veränderte Erreichbarkeiten aus verändertem Verkehrsangebot	Sensitiv gegenüber Veränderungen im ÖV-, Kfz- und Radangebot Wenn das Radverkehrsangebot deutlich besser wird, sollte sich Zeitkarten- und Pkw-Verfügbarkeit ändern	Integration der Erreichbarkeiten aller Modi
Veränderte Erreichbarkeiten aus Raumstruktur	Sensitiv gegenüber veränderten Aktivitätenorten: Wenn mehr Arbeitsorte „auf der grünen Wiese“ entstehen, erhöht sich Pkw-Verfügbarkeit	Integration der aktuellen Strukturorte Wichtung der Strukturorte über Häufigkeit des Aussuchens des identischen Aktivitätenortes, dazu ein Beispiel: Im Durchschnitt gibt ähnlich viele Wege verbunden mit Freizeit wie zur Arbeit bzw. zur Schule. Der Arbeitsweg bzw. der Schulort sind jedoch immer identisch und können nur sehr langfristig angepasst werden. Daher sollte die Erreichbarkeit von Pflichtaktivitäten eine größere Rolle spielen. Dies kann über ein Faktor eingehen, der die Zielgebundenheit beschreibt.
Änderung der Bevölkerungsstruktur	Modell muss sensitiv hinsichtlich der Alterszusammensetzung und der Erwerbstätigkeit sein	1. Variante: Integration der Variablen Erwerbstätigkeit und Alter, mindestens jedoch zwischen Kindern und Erwachsenen. 2. Variante: Personengruppenfeine Berechnung

Tabelle 43: Abgeleitete Modellspezifikation

7.4.2 Input

Für die Beschreibung der Verkehrsmittelverfügbarkeit liegen die Daten in der folgenden Tabelle vor.

Datensatz	Quelle	Mögliche Verwendung
Pkw- und Dauerkartenverfügbarkeit je Raumtyp, je Landkreis und Personengruppe	Liegt vor: Mobilität in Deutschland	Eckwert in der Analyse bezogen auf die enthaltene Raumtypisierung Mit Einschränkung aufgrund der Stichprobengröße auch für Landkreisebene verwendbar.
Motorisierungsgrad je Gemeinde, differenziert nach verschiedenen Kfz-Arten	Liegt vor: KBA	Konstanten je Gemeinde, unter der Annahme das Pkw-Verfügbarkeit und Motorisierung proportional sind
Sensitivitäten von Pkw-Besitz und Dauerkartenbesitz gegenüber verschiedenen Einflussgrößen	Liegt vor: Dissertation Matthias Schmaus Handbuch zur Modellierung von Maßnahmen im Rahmen der Klimamobilitätspläne	Kalibrierung und Validierung der Parameter z.B. für Kosten mittels iterativer Sensitivitätstests

Tabelle 44: Vorliegende Eingangsgrößen zur Aufbau/Kalibrierung/Validierung der des MWW-Modells

Neben den empirischen Daten und den Erkenntnissen aus der Literaturanalyse liegen die Modellergebnisse aus der Erzeugung und der Ziel- und Moduswahl vor. Diese Ergebnisse können unmittelbar für die Berechnung der Erreichbarkeiten und die Wichtung der jeweiligen Aktivitäten genutzt werden.

7.4.3 Umsetzung

Einflussgrößen

Aus der Ausgangssituation lassen die vier wesentlichen Einflussgrößen Fixkosten, Erreichbarkeiten, lokale Besonderheiten und die Bevölkerungsstruktur ableiten, vgl. dazu Tabelle 43.

- **Fixkosten:**

Fixkosten werden für die Beschaffung einer Zeitkarte und die Beschaffung bzw. den möglichen Betrieb eines Pkws in das Wahlmodell integriert. Die Fixkosten werden als Kosten bezogen auf eine Fahrt integriert. Die mittlere Anzahl der Fahrten im Jahr mit dem Pkw bzw. mit ÖV-Zeitkarte entstammt aus der Empirie und wird im Modell nicht zurückgekoppelt, sondern als konstant angenommen. Die Rückkopplung bestünde darin, dass die Zahl der zurückgelegten Wege mit den Pkw/ÖV-Zeitkarte im Maßnahmenfall dem Modell entnommen wird und somit verringerte oder erhöhte Fixkosten entstünden, die wiederum eine andere Mobilitätswerkzeugwahl und daraus abgeleitet eine andere Ziel- und Moduswahl nach sich ziehen würde. Diesen Rückkopplungseffekt zu vernachlässigen hat zum einen rechenzeittechnische Gründe und zum anderen ist der zu erwartende Rückkopplungseffekt sehr klein. Für die Berechnung der Fixkosten gelten folgende Aspekte:

- **Fixkosten für den Pkw-Besitz:**
Die Fixkosten für den Pkw ergeben sich aus den Anschaffungskosten, der mittleren

Lebensdauer eines Pkws, der Fixkosten für den Betrieb (ggf. Kfz-Steuer, Versicherung, Anwohnerparkausweis) bezogen auf die mittlere Anzahl der Wege mit genutztem Pkw im Jahr, vgl. dazu Formel 1.1 in Tabelle 45.

- **Fixkosten für Dauerkartenbesitz:**
Die Fixkosten für den Dauerkartenbesitz ergeben sich aus den Anschaffungskosten für eine Monatskarte multipliziert mit 12 (Anzahl der Monate im Jahr), bezogen auf die mittlere Anzahl der Wege mit genutzter Dauerkarte im Jahr.

- **Erreichbarkeiten**

Die Erreichbarkeiten werden ausschließlich aus den Ergebnissen der Verkehrserzeugung (Attraktions- und Produktionspotenziale) und der Ziel- und Moduswahl (Übernahme der kalibrierten Präferenzen bezüglich der Widerstandskomponenten) abgeleitet. Für die Erreichbarkeiten gilt:

- In die Erreichbarkeiten gehen alle verfügbaren Modi aufgrund der verfügbaren Mobilitätswerkzeuge ein.
- Für die Erreichbarkeiten gehen alle relevanten Aktivitäten mit ein.
- Die Erreichbarkeiten der Aktivitäten sind sinnvoll zu gewichten.

Eine detaillierte Berechnung der Erreichbarkeiten wird im folgenden Unterkapitel „Berechnung der Erreichbarkeit“ beschrieben.

- **Abbildung lokaler Besonderheiten und Präferenzen**

Die Abbildung lokaler Besonderheiten und lokaler Präferenzen erfolgt über eine Konstante Nutzenfunktionskomponente je Raumtyp und je Kreis.

- **Bevölkerungsstruktur**

Auf eine explizite Integration der Bevölkerungsstruktur als Teil der Nutzenfunktion wurde an dieser Stelle verzichtet, um die Anzahl der Einflussgrößen minimal zu halten und die Komplexität der Aufgabe zu minimieren. Implizit ist die Bevölkerungsstruktur in den mobilitätswerkzeugkombinationsspezifischen Konstanten enthalten.

Berechnung der Erreichbarkeit

Die Erreichbarkeit wird folgendermaßen berechnet, wobei in Tabelle 45 alle Formeln und Eingangsgrößen zusammengefasst sind:

- Basis bildet ein relationsbezogenes, modusunabhängiges Erreichbarkeitsgewicht, welches für jeden Wegezweck berechnet wird (vgl. dazu Formel 2.1, Tabelle 45). Dieses Gewicht wird, aufbauend aus den Erzeugungs-, Ziel und Moduswahl-Ergebnissen, als Produkt aus quellbezogenem Attraktionspotenzial, zielbezogenem Produktionspotenzial und der relationsbezogenen Summe der Bewertungswahrscheinlichkeiten aller Modi (multipliziert mit Verkehrsmittelkonstanten) berechnet. Die Bewertungswahrscheinlichkeiten entsprechen den bewerteten Nutzenkomponenten aus der Ziel- und Moduswahl und enthalten entsprechend auch alle Nutzenkomponenten (u.a. Umsteigehäufigkeiten, Kostenkomponenten, Zeitkomponenten, Zugangszeiten, Moduskonstanten), die in der Ziel- und Moduswahl eine Rolle spielen. Für die Berechnung der Erreichbarkeiten werden alle Aktivitätenpaare mit Heimatbezug an der Quelle herangezogen. Analog zur Ziel- und Moduswahl werden die Erreichbarkeiten aus rechentechnischen Gründen

nacheinander berechnet und schließen sich in einer gesonderten Verfahrensablaufgruppe „MWW: Calc Erreichbarkeiten“ jeweils den Verfahrensschritten zur Bewertung und Ziel/Moduswahl des privaten Personenverkehrs an.

- Aus dem relationsbezogenen, modusunabhängigen Erreichbarkeitsgewicht wird durch Aufsummierung über alle Relationen und der Gesamtwegemenge des jeweiligen Wegezweckes ein zweckbezogenes, modusunabhängiges Erreichbarkeitsgewicht bestimmt (vgl. dazu Formel 2.2, Tabelle 45). Dieses Erreichbarkeitsgewicht dient dazu, die berechneten Erreichbarkeiten für unterschiedliche Zwecke zu normieren und in einen vergleichbaren Wertebereich zu transformieren, da dieser durch die Anwendung der jeweiligen Bewertungsfunktionen nicht zwingend gegeben ist.
- Mittels der zweck-, modus- und raumtypenspezifischen Bewertungswahrscheinlichkeiten inklusive Moduskonstanten (Ergebnis der Kalibration der Ziel- und Moduswahl), dem zweckbezogenen, modusunabhängigen Erreichbarkeitsgewicht (Ergebnis aus Berechnungsschritt 2.2), dem Attraktionspotenzial am Zielbezirk (Ergebnis Erzeugung) und der zweckspezifischen Zielgebundenheit (vgl. Eingangsgröße 0.14, Tabelle 45) wird eine relationsgebundene, modus- und zweckspezifische Erreichbarkeit berechnet (vgl. dazu Formel 2.3, Tabelle 45).
- Aus der relationsgebundenen, modus- und zweckspezifischen Erreichbarkeit wird durch Summierung über die Zielbezirke und der Normierung auf die Anzahl der relevanten Wege eine bezirksbezogene, modusspezifische Erreichbarkeit berechnet. Durch Zuordnung der Wegezwecke kann nach Personengruppen Erwachsene und Kinder unterschieden werden (vgl. dazu Formel 2.4, Tabelle 45).
- Durch gewichtetes Aufsummieren der bezirksbezogenen, modusspezifischen Erreichbarkeiten über alle Modi ergibt sich eine bezirksbezogene Erreichbarkeit für jede Mobilitätswerkzeugkombination, ggf. differenziert nach Kindern und Erwachsenen (vgl. dazu Formel 2.5, Tabelle 45). Die Spezifik für jede Mobilitätswerkzeugwahlkombination ergibt sich dabei aus den Gewichten, die wiederum abhängig sind von Modi, Raumtyp, Personengruppe und verfügbaren Mobilitätswerkzeugwahlkombination. Der Wert dieses Gewichts entspricht dem Verhältnis aus wegebezogenem Modal-Split-Anteil innerhalb der Personengruppe mit bestimmter Mobilitätswerkzeugwahlprägung und dem wegebezogenem Modal-Split-Anteil aller Personen. Ein Beispiel: Für einen bestimmten Raumtyp sind 30% aller Wege der Erwachsenen Pkw-Selbstfahrer-Wege. Im selben Raumtyp beträgt für Erwachsene ohne verfügbaren Pkw mit verfügbarer Dauerkarte der Modal-Split-Anteil für Pkw-Selbstfahrer 5%. Der Faktor MS würde in diesem Fall für den Modus Pkw-Selbstfahrer, den entsprechenden Raumtyp, für Erwachsene mit der verfügbaren Mobilitätswerkzeugkombination PNZJ 0,17 betragen.
Die bezirksbezogene Erreichbarkeit für jede Mobilitätswerkzeugkombination, differenziert nach Kindern und Erwachsenen stellt das Ergebnis der Erreichbarkeitsberechnung und stellt den Erreichbarkeitsindikator für die Mobilitätswerkzeugwahl dar.

Wahlmodell und Nutzenfunktion

Die allgemeine Formulierung der Mobilitätswerkzeugwahl erfolgt mit einem Logitmodell. Dabei werden für jeden Bezirk und jede Personengruppe die Anteile derjenigen Personen

berechnet, die über die jeweilige Mobilitätswerkzeugwahlkombination verfügen (vgl. dazu Formel 3.1, Tabelle 45).

Für jede Ausprägung möglicher Mobilitätswerkzeugkombinationen wird eine Nutzenfunktion als Linearkombination aus logarithmierter bezirksbezogener Erreichbarkeit, den untransformierten Fixkostenelementen und einer Beta-Konstante für die jeweilige Mobilitätswerkzeugkombination (vgl. dazu Formel 3.2-3.5, Tabelle 45).

Wenn ein Bezirk nicht erreichbar ist für Pkws bzw. keinen ÖV-Anschluss aufweist, sollten die Anteile der Mobilitätswerkzeugkombinationen mit verfügbarem Pkw bzw. verfügbarer Zeitkarte den Wert Null aufweisen. Dies wird derart implementiert, dass die Erreichbarkeit über alle Modi für die jeweilige Mobilitätswerkzeugkombination zusätzlich mit dem transformierten Verhältnis aus modusspezifischer Erreichbarkeit und Erreichbarkeit über alle Modi multipliziert wird. Für Kombinationen mit verfügbarem Pkw wird das Verhältnis für den Pkw integriert, für Kombinationen mit verfügbarer ÖV-Zeitkarte wird das Verhältnis für den ÖV integriert, für die Kombination ohne Verfügbarkeit ist keines dieser Verhältnisse integriert. Die zusätzliche Wirksamkeit der Verhältnisse soll auf Wertebereiche beschränkt sein, in denen die Erreichbarkeit für Pkw bzw. ÖV nahezu Null ist, ohne Sprünge in Funktion zu erzeugen. Um dies zu erreichen, wird das Verhältnis mit 0,01 potenziert. Die entstehende Transformationsfunktion ist in folgender Abbildung dargestellt. In der Abbildung ist gut erkennbar, dass die Funktion schon für sehr kleine Werte des Verhältnisses (abgetragen auf der x-Achse) einen Wert nahe 1 annimmt.

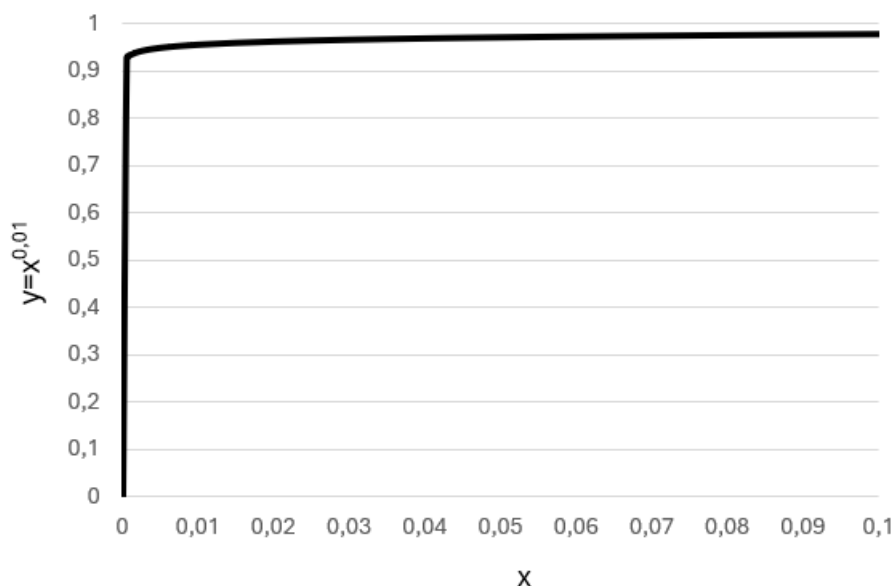


Abbildung 61: Funktion $y = x^{0.01}$

Ergebnis der Mobilitätswerkzeugwahl sind die Anteile der Personen einer Personengruppe mit einer verfügbaren Mobilitätswerkzeugkombination bezogen auf die Gesamtanzahl der Personen an der Personengruppe für den jeweiligen Bezirk.

Zusammenfassung der Berechnungsvorschriften für das MMW

Die folgende Tabelle fasst die in das LVM-BW implementierten Formeln für das Mobilitätswerkzeugwahlmodell zusammen und stellt die dafür verwendeten benutzerdefinierten Attribute gegenüber.

Größe Lfd. Nr.	Formel / Beschreibung	Benennung / Attribut in VISUM
<i>0 Eingangsgrößen</i>		
<i>Quelle i</i> 0.1	Entspricht Quelle i einer Relation, die Anzahl der Quellen entspricht der Anzahl der Bezirke im Verkehrsmodell	Nummer Von-Bezirk, Nummer des Bezirks für den die Zeilensumme gebildet wird
<i>Ziel j</i> 0.2	Entspricht Ziel einer Relation, die Anzahl der Quellen entspricht der Anzahl der Bezirke im Verkehrsmodell	Nummer Nach-Bezirk, Nummer des Bezirks für den die Spaltensumme gebildet wird
<i>Modus m</i> 0.3	Es werden insgesamt 6 Modi unterschieden: Fußverkehr FGV, ÖV, P+R PNR, Pkw-Selbstfahrer PPS, Pkw-Mitfahrer PPM, Radverkehr RAD	Modus [CODE]
<i>BW_{ijmrz}</i> 0.4	Entspricht den Elementen der EVA-Bewertungsmatrizen, mit Quelle i, Ziel j, Modus m, Raumtyp r, Zweck z	Bewertungswahrscheinlichkeit Kenngrößen-Daten-Matrix mit [NAME] = „EVA-Weighting Raumtyp_Aktivitätenpaar x Modus“
<i>Zweck z</i> 0.5	Der Zweck z adressiert im Rahmen der Mobilitätswerkzeugwahl jene Wege, die von der Wohnung startend den jeweiligen Zweck z aufweisen. Es gibt dabei Wegezwecke die nur für eine der Personengruppe Erwachsene oder Kinder relevant sind: Ausschließlich relevante Wegezwecke für Erwachsene: Arbeit, Hochschule, Berufsschule, täglicher Einkauf, sonstiger Einkauf, Holen&Bringen Ausschließlich relevante Wegezwecke für Kinder: Grundschule, weiterführende Schule, Die Wegezwecke Freizeit und private Erledigung sind für Erwachsene und Kinder relevant, daher werden die Wegezwecke hier in Freizeit für Kinder, Freizeit für Erwachsene, Private Erledigung für Kinder und private Erledigung für Erwachsene unterschieden.	Aktivität [CODE]
<i>PGruppe p</i> 0.6	Entspricht einem Anteil der Bevölkerung, für den die Mobilitätswerkzeugwahl differenziert wird. Im LVM-BW wird zwischen Erwachsenen EW und Kindern KIND unterschieden.	Die Kürzel EW und KIND sind in den Entsprechenden Attributen und Spaltenbeschriftungen der benutzerdefinierten Tabellen enthalten
<i>f_{mrz}</i> 0.7	Entspricht der Moduskonstanten, welche für jeden Modus, Zweck und Raumtyp so kalibriert wird, dass die gewünschten zweck- und raumtypenspezifischen Modal-Splits in der Analyse (abgeleitet aus der Mid) eingehalten werden.	Zweck- und Raumtypenspezifische Moduskonstante
<i>MWWKOMBI_w</i> 0.8	Gewählte Kombination von Mobilitätswerkzeugen. Folgende Werte kann w annehmen: PJZJ: Pkw-Besitz = Ja und Dauerkarten- bzw. Zeitkartenbesitz = Ja PJZN: Pkw-Besitz = Ja und Dauerkarten- bzw. Zeitkartenbesitz = Ja	Die Kombinationen PJZJ, PJZN, PNZJ, PNZN sind als Kürzel in den Entsprechenden Attributen und Spaltenbeschriftungen der benutzerdefinierten Tabellen enthalten

Größe Lfd. Nr.	Formel / Beschreibung	Benennung / Attribut in VISUM
	PNZJ: Pkw-Besitz = Ja und Dauerkarten- bzw. Zeitkartenbesitz = Ja PNZN: Pkw-Besitz = nein und Dauerkarten- bzw. Zeitkartenbesitz = Nein	
MS_{mrpw} 0.9	Das Gewicht ist differenziert nach Modus, Raumtyp, Personengruppe Erwachsene und Kinder und gewählter Mobilitätswerkzeugkombination. Der Wert entspricht dem Verhältnis aus wegebezogenem Modal-Split-Anteil innerhalb der Personengruppe mit bestimmter Mobilitätswerkzeugwahl ausprägung und dem wegebezogenem Modal-Split-Anteil aller Personen. Ein Beispiel: Für einen bestimmten Raumtyp sind 30% aller Wege der Erwachsenen Pkw-Selbstfahrer-Wege. Im selben Raumtyp beträgt für Erwachsene ohne verfügbaren Pkw mit verfügbarer Dauerkarte der Modal-Split-Anteil für Pkw-Selbstfahrer 5%. Der Faktor MS würde in diesem Fall für den Modus Pkw-Selbstfahrer, den entsprechenden Raumtyp, für Erwachsene mit der verfügbaren Mobilitätswerkzeugkombination PNZJ 0,08 betragen.	Modal-Split-basiertes Gewicht, um modusspezifische Erreichbarkeiten zu Gesamterreichbarkeit zusammenzufassen. Die Gewichte finden sich im bezirksbezogenen Formelattributen. Siehe Formel zu Attribut Bezirk [MWW_ER_ALLE_MWWKOMBI_EW] [MWW_ER_ALLE_MWWKOMBI_KIND]
β_{ER} 0.10	Parameter zur Gewichtung der Erreichbarkeit im Nutzenthem für eine bestimmte Mobilitätswerkzeugwahlkombination	Netzattribut [MWW_BETA_ER]
$\beta_{KFixPkw}$ 0.11	Parameter zur Gewichtung der Fixkosten für einen verfügbaren Pkw im Nutzenthem für eine bestimmte Mobilitätswerkzeugwahlkombination	Netzattribut [MWW_BETA_KOSTENFIX_PKW]
$\beta_{KFixÖV}$ 0.12	Parameter zur Gewichtung der Fixkosten für eine verfügbare Zeitkarte im Nutzenthem für eine bestimmte Mobilitätswerkzeugwahlkombination	Netzattribut [MWW_BETA_KOSTENFIX_OEV]
β_{prw} 0.13	Raumtypenabhängige Konstante, um Eckwerte für die relativen Anteile der Mobilitätswerkzeugkombinationen differenziert nach Raumtypen kalibrieren zu können. Inhaltlich bildet die Konstante alle raumtypenspezifischen Einflussgrößen ab, die nicht explizit in die Nutzenfunktion eingehen, wie z.B. mittleres Einkommen, Alters- und Erwerbstätigen Struktur aber auch raumtypenspezifische individuelle Präferenzen.	Benutzerdefinierte Tabelle RO_RAUMTYPEN_RT [MWW_BETA_CONST_RT_MWWKOMBI_EW]
ZG_z 0.14	Sollte Werte zwischen 0 und 1 annehmen, beschreibt inwiefern der Zielort für den Zweck austauschbar ist. Für Pflichtaktivitäten wie Arbeitsplatz und Bildungsaktivitäten liegt der Wert bei 1, für Einkaufen und Freizeitaktivitäten sind Werte wie zwischen 0,3 und 0,5 sinnvoll. Rechnerisch geht dieser Wert als Gewicht in die Erreichbarkeit ein. Je höher der Wert für einen Zweck, desto höher der Einfluss der Erreichbarkeit für Aktivitäten dieses Zweckes auf die Mobilitätswerkzeugwahl.	Zweckspezifische Zielgebundenheit Netzattribut [MWW_ZIELGEBUNDENHEIT_NSCHICHT_CURR] VISUM-Attribut ist immer nur für aktuell behandelte Nachfrageschicht gefüllt Nachfrageschichtattribut [MWW_ZIELGEBUNDENHEIT]
$K_{PkwKauf}$ 0.15	Mittlerer Kaufpreis für einen Pkw	Anschaffungskosten [€] Netzattribut [KOSTEN_ANSCHAFFUNG_PKW]
$LD_{DauerPkw}$ 0.16	Mittlere Lebensdauer für einen Pkw	Lebensdauer Pkw [a] Netzattribut [LEBENSDAUER_PKW]
$K_{FixPkwBetrieb}$ 0.17	Fixkosten für den Betrieb eines Pkws (ggf. Kfz-Steuer, Versicherung, Anwohnerparkausweis), festzulegen auf Ebene der Verkehrsbezirke, um Preise für Anwohnerparken differenziert festlegen zu können.	Fixe Betriebskosten Pkw [€] Bezirk [FIXKOSTEN_PKW_NUTZUNG_JAHR]
$Wege_{Pkw}$ 0.18	Mittlere Anzahl Wege, die mit dem Pkw pro Jahr durchgeführt werden.	Jährliche Wege mit dem Pkw [Anzahl/a] Netzattribut [ANZAHL_WEGE_JE_PKW_JAHR]

Größe Lfd. Nr.	Formel / Beschreibung	Benennung / Attribut in VISUM
K_{ZKKauf} 0.19	Mittlere Kosten für eine Dauerkarte, räumlich differenziert, um verbundspezifische Regelungen abbilden zu können.	Monatliche Kosten für eine ÖV-Zeitkarte [€/Monat] Bezirk [DK_PREIS_EW] [DK_PREIS_KIND]
$Wege_{ÖVDK}$ 0.20	Mittlere Anzahl Wege, die mit einer ÖV-Zeitkarte pro Jahr durchgeführt werden.	Jährliche ÖV-Wege mit der ÖV-Zeitkarte [Anzahl/a] Netzattribut [ANZAHL_WEGE_JE_ZEITKARTE_JAHR]

1 Kostenberechnung

K_{FixPkw} 1.1	$\frac{K_{PkwKauf} \text{ [€]}}{LD_{DauerPkw} \text{ [a]} \cdot Wege_{Pkw} \left[\frac{\text{Anzahl}}{a} \right]} + \frac{K_{FixPkwBetrieb} \text{ [€/a]}}{Wege_{Pkw} \left[\frac{\text{Anzahl}}{a} \right]}$ Die Fixkosten für den Pkw ergeben sich aus den Anschaffungskosten, der mittleren Lebensdauer, der Fixkosten für den Betrieb (ggf. Kfz-Steuer, Versicherung, Anwohnerparkausweis) bezogen auf die mittlere Anzahl der Wege mit genutztem Pkw im Jahr.	Fixkosten für Pkw-Besitz Bezirk [FIXKOSTEN_PKW_GESAMT_PROFAHRT]
$K_{FixÖV}$ 1.2	$\frac{12 \cdot K_{ZKKauf} \text{ [€/Monat]}}{Wege_{ÖVDK} \left[\frac{\text{Anzahl}}{a} \right]}$ Die Fixkosten für den Dauerkartenbesitz ergeben sich aus den Anschaffungskosten für eine Monatskarte multipliziert mit 12, bezogen auf die mittlere Anzahl der Wege mit genutzter Dauerkarte im Jahr.	Fixkosten für Dauerkarten-Besitz Bezirk [FIXKOSTEN_DAUERKARTE_PROFAHRT_EW] [FIXKOSTEN_DAUERKARTE_PROFAHRT_KIND]

2 Erreichbarkeitsberechnung

GEW_{ijz} 2.1	$\left(\sum_m \sum_r BW_{ijmzr} \cdot f_{mzr} \right) \cdot PP_{iz} \cdot AP_{jz}$ Relationsbezogenes, modusunabhängiges Erreichbarkeitsgewicht für einen Wegezweck, entspricht dem Produkt aus quellbezogenem Attraktionspotenzial, zielbezogenem Produktionspotenzial und der relationsbezogenen Summe der Bewertungswahrscheinlichkeiten aller Modi (multipliziert mit Verkehrsmittelkonstanten).	Relationsbezogenes, modusunabhängiges Erreichbarkeitsgewicht, spezifisch für einen Wegezweck z Kenngrößen-Daten-Matrix mit [CODE] = „MWW IstGewicht“
GEW_z 2.2	$\frac{\sum_i PP_{iz}}{\sum_i \sum_j GEW_{ijz}}$	Zweckbezogenes, modusunabhängiges Erreichbarkeitsgewicht Bezirksattribut [MWW_GEWICHTUNG_NSCHICHT] VISUM-Attribut ist immer nur für aktuell behandelte Nachfrageschicht gefüllt
ER_{ijmz} 2.3	$\left(\sum_r BW_{ijmzr} \cdot f_{mzr} \right) \cdot GEW_z \cdot AP_{jz} \cdot ZG_z$ Relationsbezogene, modusspezifische Erreichbarkeit für einen Wegezweck, entspricht Produkt aus Bewertungswahrscheinlichkeiten, zweckbezogenem, modusunabhängigem Erreichbarkeitsgewicht, zielbezogenem Attraktionspotenzial und Zielgebundenheit	Relationsbezogene, modus- und zweckspezifische Erreichbarkeit, gewichtet mit Zielgebundenheit ZG, Attraktionspotenz Kenngrößen-Daten-Matrix mit [CODE] = „MWW_Erreichbarkeit_MODUS“

Größe Lfd. Nr.	Formel / Beschreibung	Benennung / Attribut in VISUM
ER_{imp} 2.4	$\frac{\sum_j \sum_z ER_{ijmz}}{\sum_z PP_{iz}}$ Die Anzahl der relevanten Wege, welche in die Erreichbarkeitsgröße miteinfließen, ergibt sich aus der Summe der Produktionspotenziale über alle (relevanten) Wegezwecke. Relevante Wegezwecke für Erwachsene: Arbeit, Hochschule, Berufsschule, täglicher Einkauf, sonstiger Einkauf, Freizeit, private Erledigung, Holen&Bringen Relevante Wegezwecke für Kinder: Grundschule, weiterführende Schule, Freizeit, private Erledigung Da im LVM-BW die Nachfrageschichten aus rechentechnischen Gründen nacheinander und nicht gleichzeitig berechnet werden, wird diese Größe ebenfalls iterativ berechnet. Dafür wird die ungenormte Summe der Erreichbarkeiten im Zähler der dargestellten Summe im Attribut [MWW_ER_MODUS_EW_ungenormt] bzw [MWW_ER_MODUS_KIND_ungenormt] gespeichert und darauf aufbauend die auf das Aufkommen (Summe im Nenner) genormte Erreichbarkeit berechnet.	Bezirksbezogene, modusspezifische Erreichbarkeit differenziert nach Kindern und Erwachsenen Bezirksattribut [MWW_ER_MODUS_EW] bzw: [MWW_ER_MODUS_KIND]
ER_{ipw} 2.5	$\sum_m \sum_r ER_{imp} \cdot MS_{mrpw}$ Die bezirksbezogene Erreichbarkeit ergibt sich aus der Summe der gewichteten Erreichbarkeiten differenziert nach Modi. Das Gewicht ist hierbei abhängig von Modi, Raumtyp, Personengruppe und gewählter Verkehrsmittelverfügbarkeit	Bezirksbezogene Erreichbarkeit für die Mobilitätswerkzeugkombination über alle Modi, differenziert nach Kindern und Erwachsenen Bezirk [MWW_ER_ALLE_MWWKOMBI_EW] [MWW_ER_ALLE_MWWKOMBI_KIND]
3 Mobilitätswerkzeugwahlmodell		
$Anteil_{ipw}$ 3.1	$\frac{e^{v_{piw}}}{\sum_w e^{v_{piw}}}$ Der Anteil der Personen einer Personengruppe, die eine bestimmte Mobilitätswerkzeugwahlkombination aufweisen, ergibt sich aus der Anwendung eines Logitmodells mit den berechneten Nutzenthermen.	Anteil der Personen, welche die jeweilige Mobilitätswerkzeugkombination gewählt haben Relativer Anteil Bezirk [MWW_MWWKOMBI_LVMBW_REL_EW] [MWW_MWWKOMBI_LVMBW_REL_EW] Absoluter Anteil Bezirk [MWW_MWWKOMBI_LVMBW_ABS_EW] [MWW_MWWKOMBI_LVMBW_ABS_EW]
v_{ipPJZJ} 3.2	$\beta_{ER} \cdot \ln \left(ER_{ipPJZJ} \cdot \sqrt[10]{\frac{ER_{iPPSp}}{ER_{ipPJZJ}} \cdot \frac{ER_{iÖVDKp}}{ER_{ipPJZJ}}} \right) + \dots$ $\dots + \beta_{KFixPkw} \cdot K_{FixPkw} + \beta_{KFixÖV} \cdot K_{FixÖV} + \beta_{prPJZJ}$	Bezirksbezogener Nutzen für die für die Mobilitätswerkzeugkombination PJZJ, differenziert nach Kindern und Erwachsenen Bezirk [MWW_NUTZEN_PJZJ_EW] [MWW_NUTZEN_PJZJ_KIND]
v_{ipPJZN} 3.3	$\beta_{ER} \cdot \ln \left(ER_{ipPJZN} \cdot \sqrt[10]{\frac{ER_{iPPSp}}{ER_{ipPJZJ}}} \right) + \dots$ $\dots + \beta_{KFixPkw} \cdot K_{FixPkw} + \beta_{prPJZN}$	Bezirksbezogener Nutzen für die für die Mobilitätswerkzeugkombination PJZN, differenziert nach Kindern und Erwachsenen Bezirk [MWW_NUTZEN_PJZN_EW] [MWW_NUTZEN_PJZN_KIND]

Größe Lfd. Nr.	Formel / Beschreibung	Benennung / Attribut in VISUM
v_{ipPNZJ} 3.4	$\beta_{ER} \cdot \ln \left(ER_{ipPNZJ} \cdot \sqrt[10]{\frac{ER_{iÖVDKp}}{ER_{ipPJZN}}} \right) + \dots$ $\dots + \beta_{KFixÖV} \cdot K_{FixÖV} + \beta_{prPNZJ}$	Bezirksbezogener Nutzen für die für die Mobilitätswerkzeugkombination PNZJ, differenziert nach Kindern und Erwachsenen Bezirk [MWW_NUTZEN_PNZJ_EW] [MWW_NUTZEN_PNZJ_KIND]
v_{ipPNZN} 3.5	$\beta_{ER} \cdot \ln(ER_{ipPNZN}) + \beta_{prPNZN}$	Bezirksbezogener Nutzen für die für die Mobilitätswerkzeugkombination PNZN, differenziert nach Kindern und Erwachsenen Bezirk [MWW_NUTZEN_PNZN_EW] [MWW_NUTZEN_PNZN_KIND]

Tabelle 45: verwendete Größen und Berechnungsvorschriften für die Mobilitätswerkzeugwahl

Integration in die Ziel- und Moduswahl des Nachfragemodells für den privaten Personenverkehr

Um Rechenzeit und Speicherbedarf zu optimieren, basiert das Nachfragemodell für die Aktivitäten-, Ziel- und Moduswahl auf Wegepaaren ohne explizite Differenzierung der Personengruppen. Die Verfügbarkeiten der Pkw und Zeitkarte lassen sich in diesem Fall dennoch in die Nutzenfunktion der Ziel- und Moduswahl integrieren. Es ergeben sich folgende Implementierungsaspekte:

- Die Verkehrsmittelverfügbarkeit hat keinen Einfluss auf die Häufigkeiten der ausgeführten Aktivitäten
- Der Einfluss der Verkehrsmittelverfügbarkeit wird differenziert nach Aktivitätenpaaren im Modell implementiert. Die räumlich differenzierte Verkehrsmittelverfügbarkeit ist mit dem Wohnort bzw. Heimatort verknüpft. Somit ergibt sich die Verfügbarkeit als Bezirksvektor.
- Durch Zuordnung der Wegezwecke zu Personengruppen kann im Nachgang trotzdem eine einfache Differenzierung der Personengruppen in z.B. Kinder und Erwachsene erfolgen, da diese im LVM-BW durch die durchgeführten heimatgebundenen Aktivitätenpaare eindeutig unterscheidbar sind.
- Der Verfügbarkeitsvektor wird in die Nutzenfunktion des Ziel- und Moduswahlmodells integriert und bezieht sich auf den Heimatstandort.

In der einfachsten Variante kann die Verfügbarkeit unmittelbar als Faktor der Auswahlwahrscheinlichkeit implementiert werden. Sind keine großen Änderungen der Verfügbarkeiten zu erwarten bzw. geplant, kann die Verfügbarkeit linear eingehen. Für das LVM-BW wird jedoch für die Prognose u.a. ein Verkehrswendeszenario berechnet, sodass dieser lineare Eingang nicht adäquat ist. Bei erwartbaren Änderungen im zweistelligen Prozentbereich muss beachtet werden, dass die Personen mit Änderung der Mobilitätswerkzeugverfügbarkeit ihr Verhalten nicht alle gleichermaßen ändern werden. Würde man z.B. allen Verkehrsteilnehmenden eine Dauerkarte zur Verfügung bzw. den ÖV umsonst gestalten, würde sich in der Realität nicht der Modal-Split einstellen, der sich mit der entsprechenden Moduskonstanten angewandt auf alle Verkehrsteilnehmenden ergeben würde,

da die Präferenzen der heutigen Dauerkartenbesitzer nicht übertragbar wären. Daher wird die Verfügbarkeit mittels einer Dämpfungsfunktion in einer Verkehrsmittelkonstante umgerechnet.

Das folgende Diagramm zeigt die angewandte Dämpfungsfunktion, die davon ausgeht, dass sich der maximale Modal-Split-Effekt zu 50% einstellen würde. Dargestellt ist auf der x-Achse der Anteil der Zeitkartenbesitzer, auf der y-Achse der zu erwartende Faktor für die Entwicklung des ÖV-Anteils. Die ungedämpfte Funktion stellt eine Maximal-Abschätzung dar und ist aus der MiD abgeleitet. Für den Wert 0 ergibt sich der Y-Wert als Verhältnis des ÖV-Anteils der Wege für Personen ohne Zeitkarte und dem ÖV-Anteil für alle Personen. Entsprechend ergibt sich für den Wert 1 der Y-Wert als Verhältnis des ÖV-Anteils der Wege für Personen mit Zeitkarte und dem ÖV-Anteil für alle Personen. Im gedämpften Fall sind die Y-Werte für die x-Werte 0 und 1 halbiert.

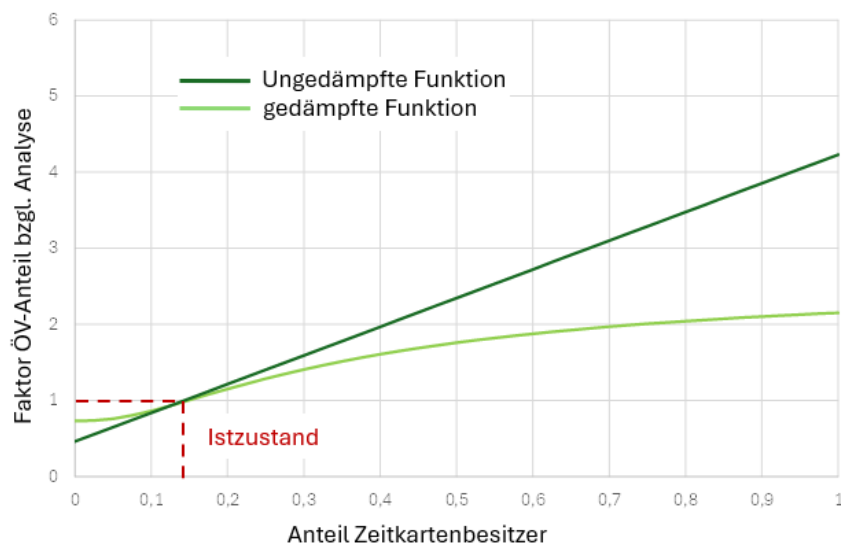


Abbildung 62: Dämpfungsfunktion der Mobilitätswerkzeugverfügbarkeit zur Integration in Ziel/Moduswahl

Die dargestellte Dämpfungsfunktion ist differenziert nach Kindern und Erwachsene für jeden Raumtyp für die Modi Pkw-Selbstfahrer und ÖV implementiert und kann in den Formeln der benutzerdefinierten Attribute [MWW_INPUT_EVAVERF_EW_OEV], [MWW_INPUT_EVAVERF_EW_PPS], [MWW_INPUT_EVAVERF_KIND_OEV] und [MWW_INPUT_EVAVERF_KIND_PPS].

Der resultierende, gedämpfte Faktor geht nun direkt in die Ziel- und Moduswahl mit ein. Dafür wird das VISUM-interne Attribut „Modusverfügbarkeit“ mit dem benutzerdefinierten Attribut [MWW_MW_OEV] gesetzt, dass den jeweils aktuellen Faktor enthält.

Parameter EVA-Bewertung

☐ Nur für aktive Beziehungen

☐ Beziehungen zwischen passiven Bezirken ausschließen

☐ Alle Ergebnis-Matrizen vor der Berechnung auf 0 setzen

☒ Heimatbezirk für Nachfrageschichten vom Typ 3 berücksichtigen

☐ Ergebnis-Matrizen in Datei speichern

Maximale Anzahl Relationen mit negativer Bewertung in der Protokolldatei

50

Aufwandsarten festlegen...

	Schlüssel	Nachfrageschicht	Typ	Modus	Modusverfügbarkeit	Kapazitätsauslastung	Aufwandsart	Gen. Kosten	KennMa
49	OEV/Abgangszeit/1081_RT1_WN	1081_RT1_WN Raumtyp 1 Wohnen	1	OEV ÖV	MWW_MV_OEV	1.0	Abgangszeit	☐	266 EGT O
50	OEV/Abgangszeit/1091_RT1_WP	1091_RT1_WP Raumtyp 1 Wohnen	1	OEV ÖV	MWW_MV_OEV	1.0	Abgangszeit	☐	266 EGT O
51	OEV/Abgangszeit/1101_RT1_WQ	1101_RT1_WQ Raumtyp 1 Wohnen	1	OEV ÖV	MWW_MV_OEV	1.0	Abgangszeit	☐	266 EGT O
52	OEV/Abgangszeit/2081_RT2_WN	2081_RT2_WN Raumtyp 2 Wohnen	1	OEV ÖV	MWW_MV_OEV	1.0	Abgangszeit	☐	266 EGT O
53	OEV/Abgangszeit/2091_RT2_WP	2091_RT2_WP Raumtyp 2 Wohnen	1	OEV ÖV	MWW_MV_OEV	1.0	Abgangszeit	☐	266 EGT O
54	OEV/Abgangszeit/2101_RT2_WO	2101_RT2_WO Raumtyp 2 Wohnen	1	OEV ÖV	MWW_MV_OEV	1.0	Abgangszeit	☐	266 EGT O

Abbildung 63: Integration der Modusverfügbarkeit in das entsprechende VISUM-interne Attribut

Da der Faktor beeinflusst ist von der Erreichbarkeit mit dem Pkw und somit von der aktuellen Reisezeit, wird der beschriebene Berechnungsalgorithmus in jeder Rückkopplungsschleife analog zur Ziel- und Moduswahl berechnet. Die entstehenden Bewertungsmatrizen aus dem Verfahrensschritt EVA-Bewertungen werden dabei direkt verwendet.

Der am Ende der Schleife berechnete Faktor wird dann erst in der darauffolgenden Rückkopplungsiteration wirksam. Ist das Modell eingeschwungen, sind die Ergebnisse zwischen zwei Iterationen so minimal, dass sich keine relevanten Modellunterschiede daraus ergeben.

7.5 Abbildung Park – Ride

Die nachstehende Tabelle zeigt die verwendeten Datensätze zur Abbildung des P+R-Verkehrs.

Datensatz	Quelle	Mögliche Verwendung
Anteile Selbst- und Mitfahrer je Raumtyp	Liegt vor: Mobilität in Deutschland	Modellparameter zur Umrechnung der P+R-Pkw-Teilwege in Pkw-Selbstfahrer-Wege
Anteile der Wegelängen Pkw/ÖV-teil		Kalibrierung der P+R-Teil-Wege
Datenbank der Parkstandorte, inkl. Stellplatzkapazitäten und Parkkosten	mobidata-bw	P+R-Standorte innerhalb von BW Abbildung der Kapazitäten der P+R-Standorte

Tabelle 46: Vorliegende Eingangsgrößen zur Modellierung des P+R-Verkehrs

Als Basisdatensatz wurde der Parkplatzdatensatz von mobidata-bw verwendet und im Model unmittelbar in der POI-Kategorie 6 „501 PNR“ hinterlegt. Alle vorhandenen Daten sind als benutzerdefinierte Attribute hinterlegt. Für das LVM-BW werden die Angaben zur Anzahl der Stellplätze verwendet. Daten zu Preisen liegen nicht vor, es wird außerdem davon ausgegangen, dass alle Stellplätze für P+R genutzt werden können. Die folgende Abbildung zeigt die eingepflegten P+R-Plätze innerhalb von BW.

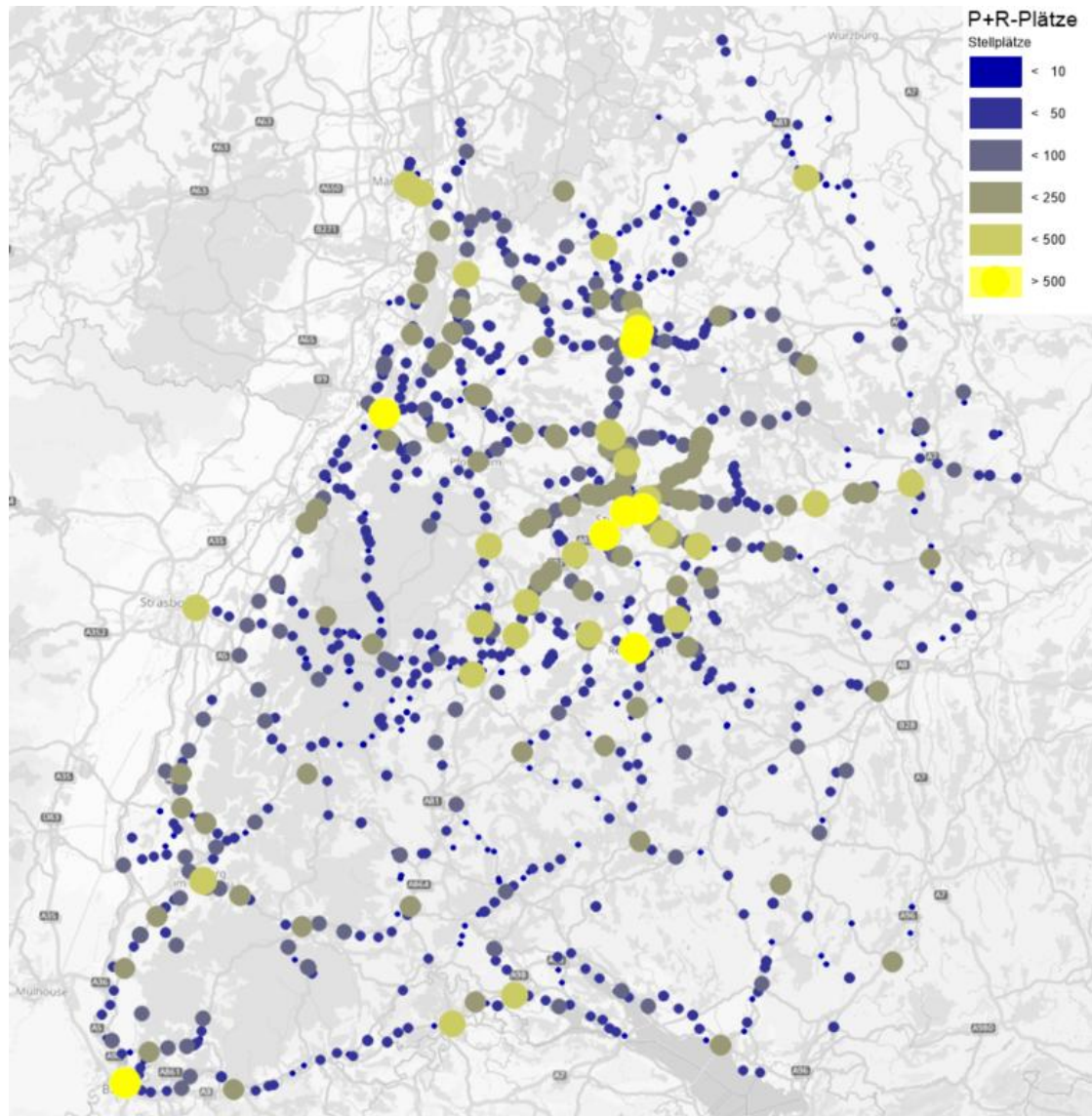


Abbildung 64: Verortete P+R-Plätze aus mobidata-bw

Die Berechnung der P+R-Verkehre wurde im LVM-BW mit der Multimodalen Umlegung umgesetzt. Dafür wurden entsprechende Modi, Nachfragesegmente und Wege-Abfolge-Mengen angelegt.

Zunächst erfolgt eine Initiale Setzung der P+R-Kenngrößen vor Beginn der Nachfragerückkopplungsschleife im Verfahrensblock

„1.10 | Gruppe Initiale Matrixbearbeitungen | PNR-KGM bearbeiten“:

- Setzen des Bezirksattribut [PNR_PLÄTZE]:
Für BW wird das Attribut [STELLPLATZANZAHL_INSGESAMT] der P+R-POIs räumlich mit den Bezirken verschnitten. Außerhalb von BW existieren zum einen keine Infos zum P+R. Es wird angenommen, dass jeder Bezirk mit einem angebundenen Schienenhalt ausreichend P+R-Plätze aufweist. Die Anzahl der Stellplätze wird daher aus Anzahl der SPNV-Halte (aus dem ÖV-Netz übernommen) multipliziert mit dem Faktor 5 gesetzt. Ziel ist für den Einflussraum, dass keine Kapazitätsabhängige P+R-Platzwahl erfolgt.

- Setzen der Umsteigezeit [PNR_UMSTEIGEZEIT] in Abhängigkeit der Anzahl der PNR-Plätze
- Initialisieren des Attributs [PNR_AUSLASTUNG] mit dem Wert 0,8
- Setzen der Kosten und Reisezeitmatrizen, jeweils für Pkw und ÖV
 - Matrix([CODE]="KOS PKW PNR")
PNR Teil Pkw-Kosten entsprechen den entfernungsabhängigen Entfernungskosten
 - Matrix([CODE]="TTC PKW PNR")
PNR Teil Pkw-Reisezeit entspricht der aktuellen Reisezeit plus der halben Parksuchzeit am Quellbezirk, Beziehungen ohne P+R-Plätze am Ziel erhalten den Wert „999998“ (Umsteigebezirk für PNR-Kombi Pkw → ÖV)
 - Matrix([CODE]="TTC OEV PNR")
PNR Teil ÖV-Reisezeit entspricht einer Linearkombination aus Fahrzeit im Fahrzeug, Abgangszeit, Anzahl Umstiege, Bedienungshäufigkeit und einem Zeitzuschlag, der vom Auslastungsgrad des P+R-Platzes abhängt
 - Matrix([CODE]="KOS OEV PNR")
PNR Teil ÖV-Kosten entspricht den ÖV-Kosten für Erwachsene plus den PNR-Kosten am Quellbezirk (Umsteigebezirk für PNR-Kombi Pkw → ÖV)
- Aus technischen Gründen werden Sicherungskopien für die bestehenden Nachfragematrizen für die Modi PPS und OEV angelegt.
- Multimodale Umlegung einer initialen PNR-Matrix (alles Elemente mit Wert 1) mit den folgenden Parametern:

Parameter Multimodale Umlegung	Wert
Anzahl: 1	NSeqCode: PNR H
ErgebnisWegeAbfolgeMenge: 2	PNR K
MaxAnteilLuftDistZubringer:	0,6
WidA:	1
WidB:	0,3
ZubringerWidA:	3
ZubringerWidB:	0,3
SuchWidA:	1
SuchWidB:	0,3
Lambda:	1
Koeffizient(DIS PNR):	0
Koeffizient(KOS PNR):	0,3
Koeffizient(TTC PNR):	0,05
UntergeordneteNSeqfolge:	[PPS],OEV

Berechnet wird hierbei ausschließlich die Umlegung für die „Hinwege“, sprich die Kombination Pkw → ÖV. Verpflichtend ist ausschließlich der Modus OEV. Später werden die Relationen mit ausschließlichen gewählttem ÖV ausgefiltert und sind nicht wählbar in der Ziel- und Moduswahl.

Ergebnis ist nun eine initiale Wege-Abfolge-Menge, aus der initiale Kenngrößen berechnet werden können. Mit Eintritt in die Nachfragerückkopplungsschleife werden zur Berechnung der Kenngrößen nach Import der aktuellen Pkw-Kenngrößen in der Verfahrensgruppe „5.6 | Aktuelle R+R Kenngrößenberechnen“ die folgenden Schritte ausgeführt:

- Aus der aktuell berechneten multimodalen Umlegung für P+R werden die Kenngrößen P+R-Reisezeit und P+R-Kosten für den Hinweg (Kombi Pkw → OEV) bestimmt
- Für Relationen, in denen ausschließlich der ÖV und keine Kombination aus ÖV und Pkw gefunden wird, wird der Sperrwert 99999 für die P+R-Reisezeit gesetzt
- Aus den Kenngrößen für den Hinweg (Kombi Pkw → OEV) werden durch Transponieren die P+R-Kenngrößen für den Rückweg (Kombi OEV → Pkw) berechnet.

Die Kenngrößen gehen nun in den folgenden Schritten des Verfahrensablaufs in die Ziel- und Moduswahl ein. Für Nachfrageschichten mit Wohnort bzw. Arbeitsort an der Quelle werden die Hinweg-Kenngrößen genutzt. Für Nachfrageschichten mit Wohnort bzw. Arbeitsort am Ziel werden die Rückweg-Kenngrößen genutzt. Für die weder Arbeits- noch Wohnungsgebundenen Wege werden

die Hin-Weg Kenngrößen genutzt. Aus der Ziel- und Moduswahl ergeben sich in analoger Logik für den P+R-Verkehr eine Matrix für den Hinweg und eine Matrix für den Rückweg. Die erneute Berechnung der Teilwege erfolgt mit einer weiteren Multimodalen Umlegung am Anschluss der Nachfrageberechnung im Verfahrensblock „8.2 | Gruppe Umlegungen | PNR Platzwahl“, welche folgende Schritte umfasst:

- Ablage der aktuellen ÖV- und PPS-Nachfrage als Sicherungskopie
- Update der Kenngrößen analog zum Block „5.6 | Aktuelle R+R Kenngrößenberechnen“
- Multimodale Umlegung der P+R-Hinwege aus dem Nachfragemodell
- Berechnung der Pkw-Teilwege aus den entstandenen Wegeabfolgen
- Umrechnen der Pkw-Teilwege in Pkw-Selbstfahrer-Teilwege
- Update der PNR-Auslastung
- Rücksprung zum Kenngrößen-Update → Es werden 5 Iterationen gerechnet
- Abschließende Multimodale Umlegung mit aktuellen Kenngrößen mit aktueller Auslastung und anschließende Berechnung der ÖV-Teilwege und Pkw-Selbstfahrer-Teilwege für Hinrichtung
- Dummy-Umlegung analog zum Verfahrensblock „1.10 | Gruppe Initiale Matrixbearbeitungen | PNR-KGM bearbeiten“ um Umlegungsinput für Kenngrößenberechnung im Block „5.6 | Aktuelle R+R Kenngrößenberechnen“ zu erzeugen
- Abschließende Multimodale Umlegung mit aktuellen Kenngrößen mit aktueller Auslastung und anschließende Berechnung der ÖV-Teilwege und Pkw-Selbstfahrer-Teilwege für Rückrichtung
- Zusammenaddieren der Teilwege für Hin- und Rückrichtung für Pkw-Selbstfahrer und ÖV

Zunächst wird die Ergebnismatrix „PNR PKW PV“ an die IV-Tochterversion zur Umlegung übergeben. Im Rahmen der Rückkopplungsschleife der Nachfrageberechnung erfolgt dann ein erneutes Durchlaufen der Blöcke und „8.2 | Gruppe Umlegungen | PNR Platzwahl“. Nach Austritt aus der Rückkopplungsschleife der Nachfrageberechnung wird die Ergebnismatrix „PNR PKW PV“ zur Umlegung an die ÖV-Tochterversion übergeben.

7.6 Abbildung von On-Demand-Verkehren (OnD)

7.6.1 Prinzipieller Ablauf der OnD-Modellierung

Im Folgenden wird der Nachfrage-Berechnungsablauf für On-Demand-Verkehre (OnD) grob skizziert:

1. Die Kenngrößen für OnD werden unabhängig der restlichen Nachfrageberechnung in der ÖV-Tochterversion ermittelt. OnD stellt in der ÖV-Tochterversion einen eigenen Modus dar. Diese Kenngrößenberechnung findet nach Anschluss der Rückkopplung zwischen Angebot und Nachfrage statt. Diese Kenngrößenberechnung erfolgt mit Hilfe der Multimodalen Umlegung.
Die Kenngrößen des OnD werden mit den Kenngrößen des ÖV verrechnet. Es wird geprüft

auf welchen Relationen der OnD besser ist als der ÖV. Nur dann werden die OnD-Kenngrößen verwendet.

2. Es wird eine weitere Nachfrageberechnung mit den durch OnD verbesserten Kenngrößen durchgeführt. Diese Nachfrageberechnung findet zwingend im EVA-Prognosemodus statt, um modale Verschiebungen zu erreichen. OnD taucht in der Nachfrageberechnung nicht als eigener Modus auf, sondern ist über die verbesserten Kenngrößen als in den ÖV integriert betrachtet. Die Differenz der ÖV-Nachfragematrizen ist der Anteil, der dem OnD zugerechnet wird.
3. Die so erzeugte OnD-Nachfragematrix wird in der ÖV-Tochterversion über die Multimodale Umlegung in die IV- und ÖV-Wegbestandteile aufgespalten und mit den enthaltenen ÖV- und IV-Umlegungsverfahren umgelegt.

Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Abschnitt 7.6.6.

7.6.2 Aktivierung der OnD-Berechnung

Wenn OnD berechnet werden soll, muss in der benutzerdefinierten Tabelle „Berechnungseinstellungen“ der Nachfrage-Mutterversion die Option „OnD berechnen“ aktiviert werden.

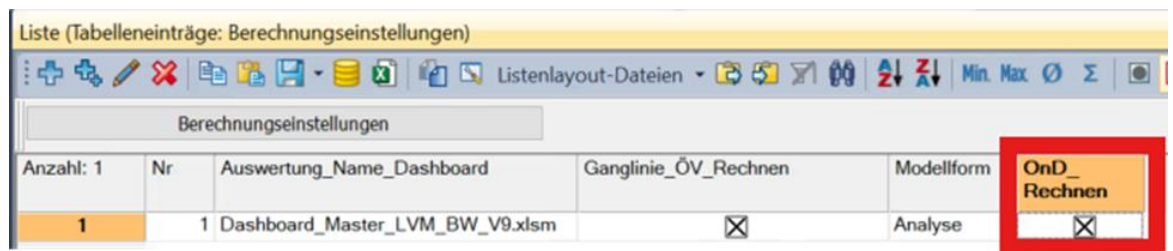


Abbildung 65: Aktivierung der OnD-Berechnung

Diese Einstellung wird an die ÖV-Tochterversion übergeben.

Veränderungen im Verfahrensablauf bei aktiver OnD-Berechnung

Veränderungen in Nachfrage-Version

- Bevor die finale ÖV-Umlegung stattfindet, werden die OnD-Kenngrößenmatrizen bzw. die „verbesserten“ ÖV-Kenngrößenmatrizen berechnet.
- Mit den „verbesserten“ ÖV-Kenngrößenmatrizen wird eine weitere EVA-Nachfrageberechnung im Prognosemodus (!) inkl. Randsummenausgleich durchgeführt.
- Anschließend wird die ÖV-Tochterversion zur finalen ÖV-Umlegung inkl. Multimodaler Umlegung der OnD-Wege und einer einfachen OnD-Shuttle-Umlegung (IV-Umlegung) aufgerufen.

Veränderungen in ÖV-Version

- Berechnung der ÖV-Kenngrößenmatrizen:
 - Die ÖV-Kenngrößenmatrizen werden zusätzlich für die definierten Zeitscheiben berechnet.
 - Die zeitscheibenfeinen ÖV-Kenngrößenmatrizen werden gespeichert.

- Berechnung der OnD-Kenngrößenmatrizen und „Verbesserung“ der ÖV Kenngrößenmatrizen:
 - Eigener Berechnungsblock: Erläuterung siehe Abschnitt 7.6.6.
- Berechnung der Multimodalen Umlegung:
 - Eigener Berechnungsblock: Erläuterung siehe Abschnitt 7.6.6.
- Berechnungsblock: ÖV-Umlegung:
 - Die erzeugten OnD-Teilwege, die mit dem ÖV getätigt werden, werden hier umgelegt. Die Umlegung findet mit der Ganglinie statt, die auch zur Berechnung der OnD-Nachfrage verwendet wurde.
 - Die Umlegung findet nur statt, wenn OnD aktiv ist, wenn vorher bereits der Block „OnD-Kenngrößenberechnung“ berechnet wurde und wenn die ÖV-Teilwegematrix eine Summe größer 0 hat.

7.6.3 Allgemeine Voraussetzungen

Folgende Beschreibungen beziehen sich auf die ÖV-Netzversion.

Netzattribute

- Attribute, die durch den Nutzer angepasst werden können:
 - Mittlere Shuttlegeschwindigkeit: [OND_SHUTTLE_GESCHWINDIGKEIT]
 - Theoretischer Takt, der mit On-Demand-Verkehr erreicht wird: [OnD-Shuttle-Takt]
- Attribute, die zur Berechnung notwendig sind und entweder im Verfahrensablauf gesetzt werden oder in der Kalibrierung festgelegt wurden (und dementsprechend nicht vom Nutzer angepasst werden sollten):
 - Iterationsvariablen: [OnD_Aktuelle_Iteration], [OnD_Aktuelle_VONZEIT], [OnD_Aktuelle_NACHZEIT], [OnD_Aktuelle_Zeitdauer]
 - Marker, ob OnD-Kenngrößenmatrizen bereits berechnet sind: [VSE_OND_KGM_Berechnet]
 - Nummern der Berechnungsböcke im Verfahrensablauf: [VSN_BLOCK_OND_KG], [VSN_BLOCK_OND_UML]
 - Verkehrssystemmalus und modusspezifische Konstante für OnD: [OnD_Skalierungsfaktor] und [OnD_Moduskonstante]
 - Bei Bedarf könnten die Netz-Attribute [OnD_Min_Zeit_OEV] oder [OnD_Min_Zeit_Pkw] mit einem Wert gesetzt werden. Es wird geprüft, ob es eine direkte ÖV- oder Pkw-Verbindung gibt, die schneller als die angegebene Mindestzeit ist. Standardmäßig sind diese Parameter mit durch eine Setzung auf -1 deaktiviert.

Matrizen

Die benötigten Kenngrößenmatrizen und Nachfragematrizen sind angelegt. Wenn OnD berechnet wird, wird im Verfahrensschritt „ÖV-Kenngrößen berechnen“ die Option „Kenngrößen zusätzlich je Analysezeitintervall berechnen“ aktiv geschaltet. Eine Nutzereingabe ist hierfür nicht notwendig - über Bedingungen im Verfahrensablauf werden die Fälle unterschieden.

Verkehrssysteme, Modi, Nachfragesegmente

Folgende Verkehrssysteme, Modi und Nachfragesegmente wurden für die Abbildung von OnD angelegt:

- Verkehrssystem „OnD“
- Modus „OnD“
- Nachfragesegmente⁷ für
 - OnD_Direkt (für Multimodale Umlegung)
 - OnD_Vorlauf (für Multimodale Umlegung)
 - OnD_Nachlauf (für Multimodale Umlegung)
 - OnD-Shuttle (für Netzattribution, finale Nachfragematrizen und Umlegung)
 - OnD-OEV (für finale Nachfragematrizen und Umlegung)

Anbindungen

In BW wurden alle Bezirke einfach für das Verkehrssystem OnD angebunden. Dies ist notwendig für die Umlegung dieses Verkehrssystems. Die Anbindungszeiten wurden konstant auf 0 gesetzt. Dies ist unproblematisch, weil alle Bezirke nur einfach angebunden sind (also keine Entscheidung stattfindet) und diese Anbindungszeit auch sonst in keine Entscheidung einfließt. Die entscheidungsrelevanten Kenngrößen Zu- und Abgangszeit berechnen sich aus einer Funktion der Bediengebietsfläche, des angenommenen Umwegfaktors, der angenommenen Shuttlegeschwindigkeit, der Flottengröße, der Einwohnerdichte und eines pauschalen Zeitzuschlags.

Strecken

Strecken, die für Busse freigegeben sind, werden auch für das Verkehrssystem OnD freigegeben. Dies ist notwendig für die Umlegung dieses Verkehrssystems.

⁷ Aus einem technischen Grund ist eine getrennte Berechnung für OnD direkt und OnD im Vor- oder Nachlauf notwendig. Man kann bei der Multimodalen Umlegung nur einen Nachfragesegment-Index als verpflichtend angeben. Dies hat zur Folge, dass bei OnD im Vor- oder Nachlauf auch Direktwege gefunden würden. Daher muss man diese Direktwege zuerst berechnen und dann aus der Potenzialmatrix entfernen.

Benutzerdefinierte Tabelle „KG-Codes“

Diese Tabelle ist eine Schlüsselbrücke für die einzelnen Kenngrößenmatrizen-Codes von ÖV-Kenngrößenmatrizen (Tag), ÖV-Kenngrößenmatrizen (Zeitscheibe) und OnD-Kenngrößenmatrizen.

Diese Tabelle sollte nicht verändert werden.

Benutzerdefinierte Tabelle „Verkehrszeiten“

In diese Tabelle werden Informationen zu den Verkehrszeiten (VZ) gespeichert. Es handelt sich hierbei um eine Kopie der Standardganglinie 1000 (OnD). Diese greift auf die Zeitintervallmenge 1 (ZI) zu.

Folgende Verkehrszeiten wurden angelegt:

- Hauptverkehrszeit (HVZ): 6-9, 15-19 Uhr
- Nebenverkehrszeit (NVZ): 5-6, 9-15, 19-21 Uhr
- Schwachverkehrszeit (SVZ): Rest

Die eingetragenen Zeitscheibengewichte entsprechen der zeitlichen Nachfrageverteilung über alle Modi (Quelle: MiD 2017).

Diese Tabelle sollte nicht verändert werden. Die Inhalte [Weight], [Share] und [AccumShare] werden im Verfahrensablauf gefüllt.

POI-Liste „OnD_Gebiete“

In dieser Liste der POI (Points-of-Interest) werden Informationen zu den OnD-Bediengengebieten abgelegt. Dies sind:

- Name des Bedienggebietes
- Verkehrszeiten mit OnD-Angebot
- Modellform (Analyse bzw. z.B. REF2030), in der das Bedienggebiet aktiv ist
- Größe der OnD-Fahrzeugflotte
- Größe des Bedienggebiets (automatisch berechnet)
- Anzahl Einwohner im Bedienggebiet (automatisch berechnet)
- Mittlerer Umwegfaktor
- Minimale (pauschale) Wartezeit auf ein OnD-Shuttle
- Mittlerer OnD-Shuttle-Besetzungsgrad (z. T. aus vorliegenden Daten berechnet)
- Auswertungskenngrößen je Bedienggebiet für Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung

Bezirks-Attribute

Auf Ebene der Bezirke gibt es drei OnD-relevante Attribute, die ggf. vom Nutzer angepasst werden können:

- Bezirks-BDA [OnD-Gebiet_Num_Analyse] bzw. [OnD-Gebiet_Num_REF2030] weisen Bezirken je Szenario ein Bediengebiet zu. Die Nummer verweist auf die POI-Liste „OnD_Gebiete“. Die Zuweisung zum Berechnungsattribut [OnD-Gebiet_Num] geschieht automatisch im Verfahrensablauf.
- Die anderen OnD-BDA auf Bezirksebene werden im Verfahrensablauf gesetzt.

Allgemeine Verfahrenseinstellungen (Kenngößen für Wege-Abfolgen)

In den Einstellungen für „Kenngößen für Wege-Abfolgen“ werden die Kenngößen für die ÖV- bzw. OnD-Teilwege angelegt

	Code	Name	Erläuterung
1	OnD_ACT	Zugangszeit	Kenngößenmatrizen je Nachfragesegment (ÖV-Kenngößenmatrizen je Zeitscheibe bzw. OnD-Zugangszeit aus POI-Liste)
2	OnD_BBV	Bediengebiets-binnenverkehr	Steuerungsmatrix, sodass OnD-Shuttle nur innerhalb ihres Bediengebiets verkehren (zeitscheibenunabhängig)
3	OnD_EGT	Abgangszeit	Kenngößenmatrizen je Nachfragesegment (ÖV-Kenngößenmatrizen je Zeitscheibe bzw. OnD-Zugangszeit aus POI-Liste)
4	OnD_in_VZ_Aktiv_Direkt	OnD_in_VZ_Aktiv_Direkt	Steuerung für OnD-Direktwege (OnD muss in Start- und Zielbezirk in der aktiven Zeitscheibe aktiv sein – ob es innerhalb eines Bediengebietes ist, wird über die Kenngöße OnD_BBV abgefragt)
5	OnD_IVT	Fahrzeit im Fahrzeug	Kenngößenmatrizen je Nachfragesegment (ÖV-Kenngößenmatrizen je Zeitscheibe bzw. OnD-Kenngößenmatrizen)
6	OnD_KOM	Komfort	Kenngößenmatrizen je Nachfragesegment (vereinfachende Annahmen)
7	OnD_KOS	Kosten	Kenngößenmatrizen je Nachfragesegment (vereinfachende Annahmen)
8	OnD_T_OEV-S	Umstieg ÖV-Shuttle	Steuerung für OnD-Nachlauf-Wege (Umstieg nur an Umstiegsbezirken) und für zeitliche Verfügbarkeit von OnD (OnD muss in Umstiegsbezirk in der aktiven Zeitscheibe aktiv sein)
9	OnD_T_S-OEV	Umstieg Shuttle-ÖV	Steuerung für OnD-Vorlauf-Wege (Umstieg nur an Umstiegsbezirken) und für zeitliche Verfügbarkeit von OnD (OnD muss im Umstiegsbezirk in der aktiven Zeitscheibe aktiv sein)

Tabelle 47: Definierte Kenngößen für Wege-Abfolgen für die OnD-Modellierung

7.6.4 Übersicht über Eingangsgrößen und Parameter

Eingangsgrößen

- **Verkehrszeiten** (siehe Benutzerdefinierte Tabelle „Verkehrszeiten“)?
Die Verkehrszeiten müssen mit dem Zeitraum harmonisieren, für den Kenngößen berechnet werden. Aus diesem Grund, sollte z.B. 0 bis 5 Uhr immer deaktiviert bleiben.
- Informationen zum OnD-Angebot in den **Bediengebieten** (siehe POI-Liste „OnD_Gebiete“).

- mittlere **Shuttlegeschwindigkeit** und theoretischer **Shuttle-Takt** (siehe Netz-Attribute)

Parameter

Ebene	Parameter	Wert	Kommentar
Netz-BDA	OnD_Min_Zeit_OEV	-1	Deaktiviert durch diese Setzung
	OnD_Min_Zeit_Pkw	-1	Deaktiviert durch diese Setzung
	OnD_Shuttle_Geschwindigkeit	25 km/h	Annahme für mittlere Geschwindigkeit
	OnD-Shuttle-Takt	30 min	Annahme für theoretischen Shuttle-Takt
	OnD_Skalierungsfaktor	8,0	Kalibrierungsergebnis
	OnD_Moduskonstante	23,0	Kalibrierungsergebnis
POI (Bediengebiete)	OnD_Flottengroesse	-	Individuelle Setzung, z. T. aus Bestandsdaten
	OnD_Umwegfaktor	-	Individuelle Setzung, z. T. aus Bestandsdaten, Standardwert: 1,5
	OnD_Min_Wartezeit	10 min	Annahme
	OnD_Mittlerer_Besetzungsgrad_OnD-Shuttle	-	Individuelle Setzung, z. T. aus Bestandsdaten, Standardwert: 1,4
Multimodale Umlegung:	OnD_KOM (OnD_OEV)	1	Vereinfachende Annahme („OnD ist doppelt so komfortabel wie ÖV“)
	OnD_KOM (OnD_OnD_S)	0,5	
	OnD_KOS (OnD_OEV)	1	Vereinfachende Annahme („OnD ist doppelt so teuer wie ÖV“)
	OnD_KOS (OnD_OnD_S)	2	
Multimodale Umlegung: Parameter	MaxAnteilLuftDistZubringer	100	Konstant, Keine Einschränkung diesbezüglich
	WidA	1	Abschneideregeln für die Vorauswahl: Eine Wegeabfolge wird gelöscht, wenn deren Widerstand größer ist als [WidA] * minimaler
	WidB	0	
	ZubringerWidA	1	Widerstand + [WidB] ODER wenn deren Zubringer-Widerstand größer ist als [ZubringerWidA] * minimaler Zubringer-Widerstand + [ZubringerWidB]
	ZubringerWidB	0	
	SuchWidA	1	Abschneideregeln für die Wegesuche: Eine Wegeabfolge wird gelöscht, wenn deren Widerstand größer ist als [SuchWidA] * minimaler Widerstand + [SuchWidB]
	SuchWidB	0	
	Lambda	0,2	Parameter für Wahlmodell (Logit)
Multimodale Umlegung: Koeffizienten	OnD_ACT	1,5	Analog zum ÖV-Widerstand
	OnD_BBV	1	Konstant, Steuerung der Teilwege
	OnD_EGT	1,5	Analog zum ÖV-Widerstand
	OnD_in_VZ_Aktiv_Direkt (OnD_Direkt)	1	Konstant, Steuerung der Teilwege
	OnD_in_VZ_Aktiv_Direkt (OnD_Vorlauf, OnD_Nachlauf)	0	
	OnD_IVT	1	Kalibrierungsergebnis
	OnD_KOM	0,9	Kalibrierungsergebnis
	OnD_KOS	10	Kalibrierungsergebnis (ähnlich dem ÖV-Widerstand)
	OnD_T_OEV-S (OnD_Direkt, OnD_Vorlauf)	0	Konstant, Steuerung der Teilwege
	OnD_T_OEV-S (OnD_Nachlauf)	1	
	OnD_T_S-OEV (OnD_Direkt, OnD_Nachlauf)	0	Konstant, Steuerung der Teilwege
	OnD_T_S-OEV (OnD_Vorlauf)	1	

Tabelle 48: Parameter verschiedener Ebenen für die OnD-Modellierung

7.6.5 Abgebildete OnD-Angebote

Analysezustand

Folgende OnD-Angebote werden im Analysezustand abgebildet:

- fips (Mannheim inkl. Seckenheim)
- mobil[er]leben/ ÖPNV-Taxi (Landkreis Freudenstadt)
- KVVMyShuttle (Ettlingen und Völkersbach, Marxzell und Ittersbach, Hardt West, Hardt Ost, Karlsbad, Pfinztal und Walzbachtal, Keltern und Remchingen (im VPE), Waldbronn)
- SSB-Flex (Stuttgart)

Folgende Angebot werden nicht modelliert, weil sie schon im „klassischen“ ÖV enthalten sind:

- ADKflex (Landkreis Alb-Donau-Kreis)
- Rufbus (Landkreis Schwäbisch Hall)
- Anrufbus (Landkreis Rottweil)
- AnrufSammelTaxi (Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen)

Referenzszenario 2030

Es werden zusätzlich abgebildet:

- fips (Heidelberg)
- VVSrider (Esslingen, Göppingen)
- Hey! move (Landkreis Tuttlingen)
- KVVMyShuttle (Karlsruhe, Enzkreis)
- PforzheimShuttle (Pforzheim)
- FlexMobil (Esslingen)
- MOBI (Ravensburg)

7.6.6 Beschreibung des Berechnungsverfahrens

Folgende Beschreibung bezieht sich auf die *Verfahrensgruppe 9.0: OnD-Berechnung* in der Nachfrage-Version.

Aufruf der ÖV-Versionsdatei

Analog zum Aufruf der Modus-Versionsdateien wird die ÖV-Versionsdatei gestartet. Es erfolgt die Berechnung der Kenngrößenmatrizen IVT (In-Vehicle-Time = Fahrzeit im Fahrzeug), ACT (Access-Time = Zugangszeit), EGT (Egress-Time = Abgangszeit), NTR (Number of Transfers = Umsteigehäufigkeit) und SFQ (Service Frequency = Bedienungshäufigkeit), wobei darauf geachtet wird,

dass es nur zu Verbesserungen durch OnD gegenüber den Original-ÖV-Kenngrößenmatrizen kommt.

Berechnung der OnD-Kenngrößenmatrizen

Das Verfahren gliedert sich in drei Hauptphasen:

1. Vorbereitung vor der Schleife
 - Zuordnung der Bezirke zu Bediengebieten und POIs.
 - Initialisierung relevanter Matrizen (OnD, zeitscheibenfein, Nachfrage, Filter).
 - Einlesen und Sichern der ÖV-Nachfrage- und Kenngrößenmatrizen.
 - Setzen multimodaler Schnittstellen (Umstiegsbezirke, OnD-/ÖV-Relationen).
 - Berechnung der Shuttle-Kenngrößen und Prüfung, ob Relationen innerhalb von Bediengebieten liegen.
2. Schleife über Zeitscheiben
 - Iteration über alle Zeitintervalle mit Aktualisierung der Netz- und Bezirksvariablen.
 - Berechnung von Potenzialmatrizen (Direkt, Vorlauf, Nachlauf)
 - Multimodale Umlegung zur Bestimmung der OnD-Kenngrößen pro Zeitscheibe.
 - Ableitung der Kenngrößenmatrizen aus Wegeabfolgen (Minimum aus Direkt, Vorlauf, Nachlauf).
3. Berechnung der Tagesmatrizen
 - Aggregation zeitscheibenfeiner OnD-Kenngrößen zu Tagesmatrizen. Es gilt hierbei, dass es kann keine Verschlechterung durch OnD geben kann. Zeitscheibenfeine Verbesserungen gehen mit einem zeitscheibenfeinen Gewicht ein. Der Skalierungsfaktor und die Moduskonstante werden berücksichtigt, um nicht modellierbaren Präferenzen der Verkehrsteilnehmer Rechnung zu tragen.
 - Bereinigung unrealistischer Werte (> 99999) und Vernachlässigung minimaler Unterschiede ($< 0,1$ min).
 - Speicherung der Kenngrößenmatrizen.

Steuerung über Netz-BDA

Vor dem Start der Kenngrößenberechnung wird das Netz-BDA VSE_OnD_KGM_Berechnet auf 0 gesetzt, nach Abschluss des Aufrufs auf 1.

Export und Weiterverarbeitung der Kenngrößenmatrizen

Die Matrizen OnD_IVT, OnD_ACT, OnD_EGT, OnD_NTR und OnD_SFQ werden aus der ÖV-Versionsdatei exportiert und in die Nachfrage-Versionsdatei importiert. Dort erfolgt eine Symmetrisierung analog zu den Bearbeitungsschritten im vorgelagerten Nachfrageprozess. Es wird zusätzlich eine Matrix OnD_TWT (Transfer Wait Time = Umstiegswartezeit) berechnet, die die bisherige ÖV-Umstiegszeit = 0 setzt, wenn keine Umstiege mehr stattfinden. Die Hauptdiagonale wird mit den

Werten der ursprünglichen ÖV-Matrizen belegt, womit impliziert ist, dass im Zellbinnenverkehr kein OnD existiert.

Erneute EVA-Berechnung

Anschließend werden EVA-Ziel und Moduswahl erneut berechnet, inklusive Randsummenausgleich und PNR-Platzwahl. Grundlage ist das Verfahren des vorgelagerten Nachfrageprozesses, angepasst um folgende Punkte:

- Austausch der Kenngrößenmatrizen IVT, ACT, EGT, NTR, SFQ und TWT gegen die OnD-basierten Matrizen in der EVA-Bewertung.
- Umstellung des Projekttyps von EVA-Ziel und Moduswahl auf Prognose, um modale Verschiebungen zu ermöglichen.
- Übernahme der im Nachfrageprozess bestimmten Vektoren für die Mobilitätswerkzeugwahl.

Export und finale Umlegung

Die neu berechneten Nachfragematrizen werden aus der Nachfrage-Versionsdatei exportiert. Beim erneuten Aufruf der ÖV-Versionsdatei zur finalen ÖV-Umlegung werden diese Matrizen importiert. Neu entstehende ÖV-Wege werden in diesem Schritt auf ÖV und OnD verteilt.

Berechnung der finalen OnD-Wege und Shuttle-Umlegung

Die Berechnung der finalen OnD-Nachfrage muss vor der ÖV-Umlegung erfolgen, weil die ÖV-Teilwege von OnD dort auch umgelegt werden.

1. Initialisierung

- Zuordnung der OnD-Potenzialmatrizen zu Nachfragesegmenten.
- Initialisierung von Variablen (Zeiten, Wegeabfolgen, Shuttle-/ÖV-Matrizen).
- Einlesen von Nachfrage- und Kenngrößenmatrizen mit/ohne OnD.
- Berechnung vereinfachter Shuttle-Kenngrößenmatrizen.
- Setzung von Aktivitätsindikatoren für POIs/Bezirke mit OnD-Angebot.
- Potenzialberechnung auf Basis der veränderten ÖV-Nachfragematrix.

2. Multimodale Umlegung

- Berechnung der OnD-Nachfrage für Direkt-, Vor- und Nachlaufwege⁷.
- Transformation der Wegematrix in Fahrtenmatrizen (mit Besetzungsgrad).
- Bestwegumlegung der OnDemand-Shuttles.

3. Ergebnisauswertung

- Erstellung und Aggregation von Verkehrsleistungsmatrizen.
- Speicherung der Resultate.

7.7 Sonderverkehre Flughafen und Messe

Im LVM-BW werden Flughafenverkehr und Messeverkehr in separaten Teilmodellen berücksichtigt. Diese beiden Typen von Sonderverkehren haben hohe, punktuelle Attraktions-potentiale, die ein hohes Verkehrsaufkommen produzieren und werden zudem nur zum Teil von den Einwohnern im Untersuchungsraum und zum Teil von Besuchern durchgeführt.

Flughafenverkehr

Im Teilmodell Flughafenverkehr wird für die Flughäfen im Untersuchungsraum der Verkehr ermittelt, der durch das Passagieraufkommen entsteht. Modelliert werden sowohl dienstliche und als auch private Wege.

Modelliert werden die Aktivitätenpaare:

- FH_D-A Dienstreise ab Arbeitsort
- FH_D-W Dienstreise ab Wohnort
- FH_D-ÜD Dienstreise ab Hotel
- FH_P-W Privatreise ab Wohnort
- FH_P-ÜP Privatreise ab Hotel/FeWo

Zur Vereinfachung des Ansatzes werden nur die Hinwege berechnet und die Rückwege entsprechend gespiegelt.

Als relevante Flughäfen werden im Untersuchungsraum in Deutschland alle Verkehrsflughäfen betrachtet. Im Untersuchungsraum im Ausland erfolgt die Auswahl basierend auf dem Bundesverkehrswegeplan 2030, sodass die Verkehrsflughäfen mit Relevanz für den Verkehr von/nach Deutschland betrachtet werden. Die relevanten Flughäfen werden als POI im Modell hinterlegt (POI-Kat 25 SVE_Flughafen).

Neben den aus dem Nachfragemodell privater Personenverkehr bekannten **Strukturgrößen** Einwohner, Arbeitsplätze und Erwerbstätige am Wohnort werden die Übernachtungsmöglichkeiten und Passagierzahlen benötigt.

Als Übernachtungsmöglichkeiten für dienstliche Reisen werden Hotels, als Übernachtungsmöglichkeiten für private Reisen Hotels und Ferienwohnungen betrachtet. Die Verteilung von Hotels und Ferienwohnungen auf die Bezirke wird aus OSM-Daten abgeleitet. Die Verhältnisse der Übernachtungszahlen werden anschließend auf Kreisebene anhand der amtlichen Statistik der Ankünfte von Übernachtungsgästen korrigiert.

Das Passagieraufkommen wird für das Jahr 2019 recherchiert. Zusätzlich werden die Anteile von Umsteigern für jeden Flughafen recherchiert und aus dem relevanten Passagieraufkommen herausgerechnet. Zur Berechnung des relevanten Wegeaufkommens wird das resultierende Passagieraufkommen halbiert, da Rückwege durch Matrixumkehr modelliert werden.

Die Untersuchungsraumanteile werden aus der Bundesverkehrswegematrix abgeleitet, in welcher die Flughäfen als eigener Verkehrsbezirk enthalten sind. Untersuchungsraumanteile werden zum

einen für die Passagieraufkommen der Flughäfen berechnet und zum anderen auf Kreisebene für Wege zu Flughäfen. Im LVM-BW sind die Untersuchungsraumanteile besonders relevant, da zum einen der Flughafen Frankfurt am Rand Untersuchungsraumes liegt zum anderen der Flughafen München knapp außerhalb des Untersuchungsraumes. Die Untersuchungsraumanteile für Bezirke im Ausland werden anhand der für deutsche Bezirke berechneten Anteile geschätzt. Für diese Bezirke ist die Auswertung der Bundesverkehrswegematrix nicht aussagekräftig, da die Matrix nur Beziehungen nach Deutschland betrachtet.

Betrachtet werden die Modi ÖV, PPS und PPM, wobei die Nachfragematrix für PPM direkt aus der PPS-Matrix abgeleitet wird, da für den Flughafenverkehr für beide Modi ein ähnliches Verhalten zu erwarten ist, hierzu wird ein entsprechender Besetzungsgrad berücksichtigt. Der Modal Split wird aus der Bundesverkehrswegematrix (Verkehre mit Quelle oder Ziel Flughafen) abgeleitet. Der Modal Split ergibt sich als gewichteter Mittelwert aller Verkehre zu Flughäfen im Untersuchungsraum.

Messeverkehr

Im Teilmodell „Singuläre Verkehrserzeuger“ wird der Besucherverkehr Messe modelliert. Modelliert wird das Aktivitätenpaar:

- SVE_M Besuch Messe

Auf der Quellseite stehen die Potentiale der Strukturgrößen Einwohner und Übernachtungspotentiale. Auf Zielseite werden die durchschnittlichen täglichen Besucher der Messestandorte recherchiert und hinterlegt. Die relevanten Messestandorte werden im Modell als POI hinterlegt. (POI-Kat 26 SVE_Messe) Zur Vereinfachung des Ansatzes werden nur die Hinwege berechnet und die Rückwege entsprechend gespiegelt.

Modelliert werden die Modi ÖV, PPS und PPM. Die Untersuchungsraumanteile werden äquivalent zum Vorgehen im Modell privater Personenverkehr bestimmt.

8 Wirtschaftsverkehr und übergeordnete Verkehre

8.1 Modellbeschreibung

Im Rahmen der Erstellung verschiedener Erstellung von Verkehrsmodellen hat sich für die Modellierung des Wirtschaftsverkehrs mit Pkw und Lkw, sowie für die Bereitstellung der externen Lkw- und Pkw-Matrizen – des gesamten Pkw-Verkehrs – ein Modelldesign etabliert, welches auf zwei Modulen basiert.

Dem Modul „InterTrans“, welches im Wesentlichen den Externen Verkehr berechnet und dem Modul „RegioTrans“, welches den Wirtschaftsverkehr mit Lkw- und Pkw innerhalb des Untersuchungsraums erstellt.

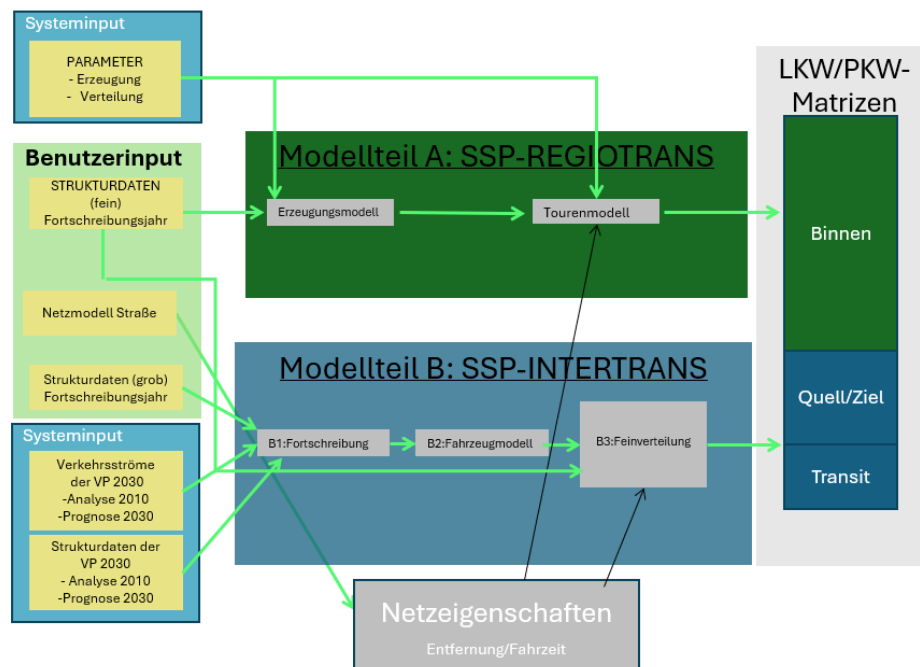


Abbildung 66: Modelldesign Personen- und Güterwirtschaftsverkehr

8.1.1 Modul InterTrans

Grundlage dieses Moduls sind die Verkehrsströme der im Zeitraum der Erstellung des LVM-BW gültigen Verkehrsprognose 2030 des Bundes (VP 2030) mit dem Basisjahr 2010.

Für den Güterwirtschaftsverkehr beschreiben die Matrizen die Güterströme in Tonnen p.a. für verschiedene Güterarten, für den Personenwirtschaftsverkehr die Personenfahrten im Fahrzweck geschäftlich im motorisierten Individualverkehr, sowie wie später noch erläutert wird, auch die der übrigen Fahrzwecke sowie die Fahrten im ÖV.

Die Matrizen der VP2030 liegen dabei in einer im Vergleich zum LVM-BW deutlich aggregierteren Raumstruktursystem vor, das in Deutschland aus den Kreisen (NUTS3-Einheiten) gebildet wird.

Die Umrechnung in werktägliche Ströme, die Umrechnung in Fahrzeugströme – im Güterverkehr unter Berücksichtigung von Leerfahrten – und die Verteilung auf die Verkehrsbezirke des LVM-BW sind Teil des Moduls InterTrans. Die Ergebnisse von InterTrans im Binnenverkehr des Erzeugungsraum werden nicht verwendet, da insbesondere im Güterverkehr die den Daten zu Grunde liegende Erhebung – die Güterkraftverkehrsstatistik -die Fahrten für den Zweck einer feinräumigen Umlegung zu grob erfasst. Diese Verkehre werden vom Modul RegioTrans bereitgestellt.

Der Zweck von InterTrans innerhalb des LVM-BW ist damit die Bereitstellung der externen Verkehre aus den Daten der Verkehrsprognose 2030, d.h. der Verkehrsverflechtungen deren Quelle und/oder Ziel nicht im Erzeugungsraum liegen.

Eine wesentliche Funktion von InterTrans ist die Fortschreibung dieser Verkehre an die Veränderung von Strukturdaten, entweder weil sich die Jahre selbst unterscheiden oder andere, vor allem aktualisierte Strukturdatenprognosen berücksichtigt werden. Konkret: Die Verkehrsprognose 2030 des Bundes liefern Verkehrsströme für ein Analysejahr 2010 und das Prognosejahr 2030. Für das LVM-BW werden die Matrizen auf die Jahre 2019 fortgeschrieben und für 2030 sind veränderte Strukturdatenvorgaben vorhanden.

Das Ergebnis von InterTrans sind Matrizen in der gleichen Fahrzeugklassensegmentierung – aber ohne Wirtschaftskategorien - wie sie in RegioTrans verwendet wird (siehe Tabelle 49). Standardmäßig wird erst auf ein auch in der Bundesprognose verwendetes Verkehrsbezirkssystem aufgeteilt, welche final auf die Verkehrsbezirke des LVM-BW verteilt werden. Weiterhin wird mit einer Transitmatrix, Verkehr des sicher nicht den Erzeugungsraum durchfährt ausgenullt.

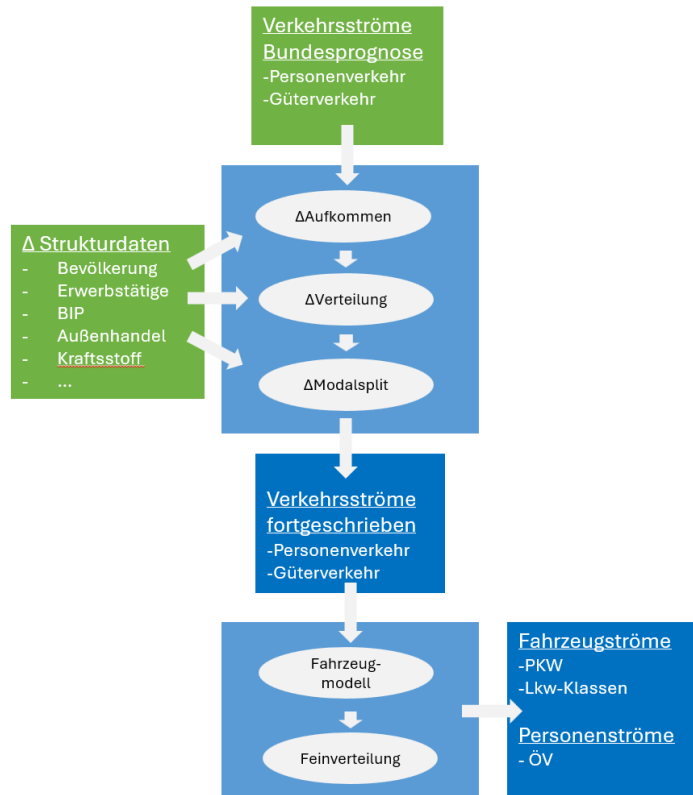


Abbildung 67: Modellkonzept SSP-Intertrans

Die fortgeschriebenen Matrizen werden direkt für die Bereitstellung der externen Verkehre verwendet. Im Erzeugungsraum stellt die Fortschreibung die Grundlage für eine Makroprognose des Wirtschaftsverkehrs – einer Berechnung von Wachstumsraten auf einem aggregierten Raumsystem – dar, die auf die Ergebnisse der Erzeugungsrechnung angewendet wird. Hintergrund ist, dass im Wirtschaftsverkehr die Zusammenhänge zwischen Verkehr und verwendeten Strukturdaten für die Beschreibung der Struktur des Verkehrs geeignet sind. Die zeitliche Entwicklung der Verkehre (z.B. aufgrund einer veränderten Produktivität) nicht berücksichtigt wird. Die Grundlage der Wachstumsraten für die Prognose 2030 innerhalb des LVM-BW wird damit aus der Bundesprognose übernommen, wobei die gegenüber der Bundesprognose veränderten Rahmenbedingungen was Einwohner, BIP, Außenhandel sowie spezielle Annahmen betrifft, diese Wachstumsraten etwas verändern.

Wie beschrieben verwendet das Modul InterTrans im Vergleich zum LVM-BW eine andere Raumstruktur, im Detail sogar zwei unterschiedliche Systeme. Eine Implementierung der Berechnungsschritte innerhalb der Visum-Version des LVM-BW ist somit nicht möglich. Der Datensatz "Externe Daten" ist als festes Datum zu verstehen.

8.1.2 Modul RegioTrans

Die SSP Eigenentwicklung RegioTrans kennzeichnet zwei Dinge: das grundsätzliche Design des Modells, welches Segmentierung und empirische Grundlage betrifft sowie die Software, die das Modell implementiert.

Das grundsätzliche Modelldesign beruht auf der Erhebung vom Typ KID (Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland) und orientiert sich an einem von Prof. Lohse beschriebenen Modell⁸.

⁸ Schnabel, Lohse: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung; 3. Auflage 2011 Kapitel 11.3



Abbildung 68: Modellkonzept SSP-Intertrans

Das Modell ist ein Kenngrößenmodell, welches vergleichbar mit dem Nachfragemodell des Personenverkehrs ausgehend von Strukturdaten und Raumeigenschaften synthetisch Verflechtungsmatrizen berechnet.

Im Fall von RegioTrans ist das Ergebnis eine Matrix mit den werktäglichen Fahrten eines Fahrzeugsegments. Die Segmente sind gekennzeichnet durch eine Kombination von Fahrzeugklassen und Wirtschaftskategorie. Dabei gibt die Wirtschaftskategorie – im Weiteren als „Branche“ bezeichnet – an, in welchem Auftrag das Fahrzeug unterwegs ist.

Fahrzeugklassen	Nachfragematrix im LVM-BW ([CODE])
Lkw ≤ 2,8t zGG	WV_LKWU28
Lkw > 2,8 bis 3,5t zGG	WV_LKW28B35
Lkw > 3,5 t zGG und < 7,5 t zGG	WV_LKW35B75

Wirtschaftskategorien
Produktion
Bau
Handel

Lkw $\geq 7,5$ t zGG und <12 t zGG	WV_LKW75B12	Verkehr/Lagerei
Lkw ≥ 12 t zGG	WV_LKWGT12	Sonstiges
Pkw	WV_PKW	

Tabelle 49: Segmentierung des Modells RegioTrans

Die technischen Implementierungsdetail – z.B. Bezeichnung der Matrizen in Visum – sind im letzten Abschnitt dieses Kapitels aufgeführt.

Bei der Aufkommensberechnung wird in einem ersten Schritt die Anzahl der Tourenstarts je Verkehrsbezirk errechnet. Sie ergibt sich aus

$$T_{wf,v} = P_{1,wf} \cdot S_{w,v}$$

mit

w Branche

f Fahrzeugklasse

v Verkehrsbezirk

$T_{wf,v}$ die Anzahl der Touren der Branche w und Fahrzeugklasse f des Verkehrsbezirk v

$P_{1,wf}$ Mobilitätsparameter: Anzahl Tourenstarts der Branche w der Fahrzeugklasse f je Strukturdatum S_w

$S_{w,v}$ Strukturdatum. Hier sozialversicherungspflichtig Beschäftigte der Branche w in Verkehrsbezirk z

Anschließend folgt die übliche Reduzierung der Touren mit einem verkehrsbezirksspezifischen sogenannten u -Faktor, der beschreibt, welcher Anteil der Touren im Erzeugungsraum stattfindet, der restliche Verkehr ist in den externen Daten. Es folgt die Berechnung der Bedienhalte, die sich durch Ausmultiplikation der Anzahl der Touren mit einem Parameter, der die Bedienhalte je Tour je Segment angibt. Die der Betrachtung zugrunde liegende Erhebung KID 2010 verwendet den Begriff Einzelfahrt, der Fahrten zwischen Startort und Bedienhalt, zwischen Bedienhalt und Bedienhalt und Bedienhalt und Endpunkt. Bedienhalt ist ein Halt des Fahrzeugs an einem Ort, wo eine dienstliche/geschäftliche Tätigkeit verübt wird, das kann ein Be- oder Entladevorgang sein oder beispielsweise ein Halt zur Durchführung einer gewerblichen Leistung.

$$B_{wf} = P_{2,wf} \cdot \sum_v T_{wf,v} \cdot u_{f,v}$$

mit

B_{wf} ist die Summe der Bedienhalte im Segment

$P_{2,wf}$ Mobilitätsparameter: Anzahl Bedienhalte der Branche w und der Fahrzeugklasse f je Tour

$u_{f,v}$ sind die genannten u -Faktoren

Letzter Teil der Aufkommensberechnung ist die Verteilung der Bedienhalte auf die Verkehrsbezirke. Die Gewichtung ist formuliert über die verfügbaren Strukturdaten. Zu den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten je Branche kommen noch die Einwohner der Verkehrsbezirke.

$$G_{wf,v} = \sum_s P_{3,wf,s} \cdot S_{s,v}$$

mit

$G_{wf,v}$ ist das segmentspezifische Gewicht für den Anteil der Bedienhalte in Verkehrsbezirk v

$P_{2,wf,s}$ ist der segmentspezifische Parameter für das Strukturdatum S_s , wobei s die Branchen und die Einwohner indiziert.

Ähnlich wie bei den Tourenstarts werden auch diese Gewichte noch mit einem verkehrsbezirksspezifischen Faktor, dem sogenannten v -Faktor multipliziert, der angibt, welcher Anteil der Bedienhalte aus dem Erzeugungsraum selbst kommt.

Die u,v -Faktoren werden aus den Ergebnissen von Intertrans abgeleitet. InterTrans abgeleitet. Da hier die Matrizen annähernd symmetrisch sind, sind die u - und v -Faktoren je Verkehrsbezirk identisch.

Nach der Aufkommensberechnung liegt je Verkehrsbezirk die Anzahl der Startfahrten, die Anzahl der Bedienhalte und die Zahl Ankünfte von letzten Fahrten vor. Damit wird in eine Verteilungsrechnung hineingegangen, die sich an einem Tourenbild orientiert, allerdings werden diese Touren nicht explizit erstellt, was die Rechenleistung und Speicherbedarf überfordern würden.

Der Sachverhalt wird durch drei Matrizen abgebildet, einer Matrix mit den Startfahrten, einer mit den Zwischenfahrten und einer mit den Endfahrten. Initial werden diese Matrizen mit den Inhalten einer von der Entfernung abhängigen – und mit wachsender Entfernung abnehmenden, degressiven – Funktion belegt und dann einem Algorithmus unterworfen, der diese drei Matrizen an die geforderten Randbedingungen anpasst.

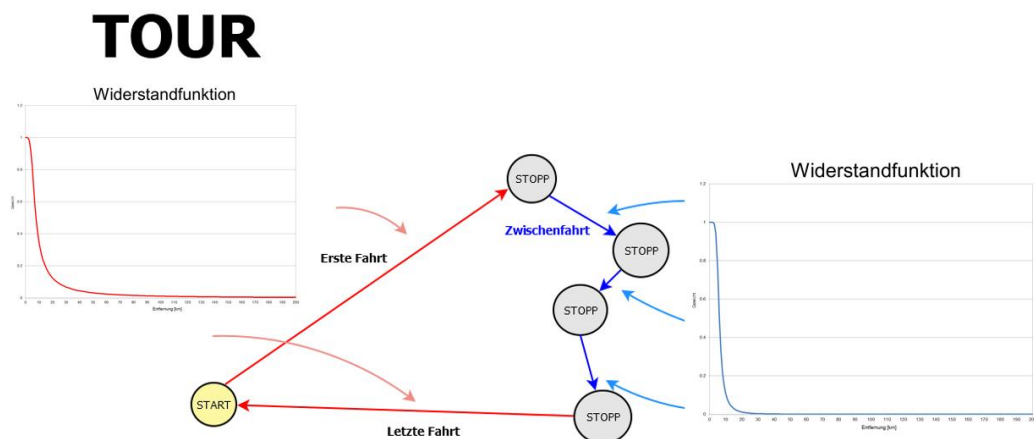


Abbildung 69: Modellbild der Tour

8.1.3 Kalibrierung des Modells

Die Parameter der Aufkommensberechnung – Touren/Beschäftigten, Bedienhalte pro Tour, Zielgewichtungen – ergeben sich direkt aus der Erhebung und bedürfen keiner weiteren Kalibrierung.

Deren Kalibrierung fand im Rahmen der Erarbeitung des Landesverkehrsmodells Bayern in einem gesamtdeutschen Modell statt. Dabei wurden die Parameter in der Weise eingestellt, dass die Entfernungsverteilungen aus der KID sich für jedes Nachfragesegment aus dem Modell ergaben.

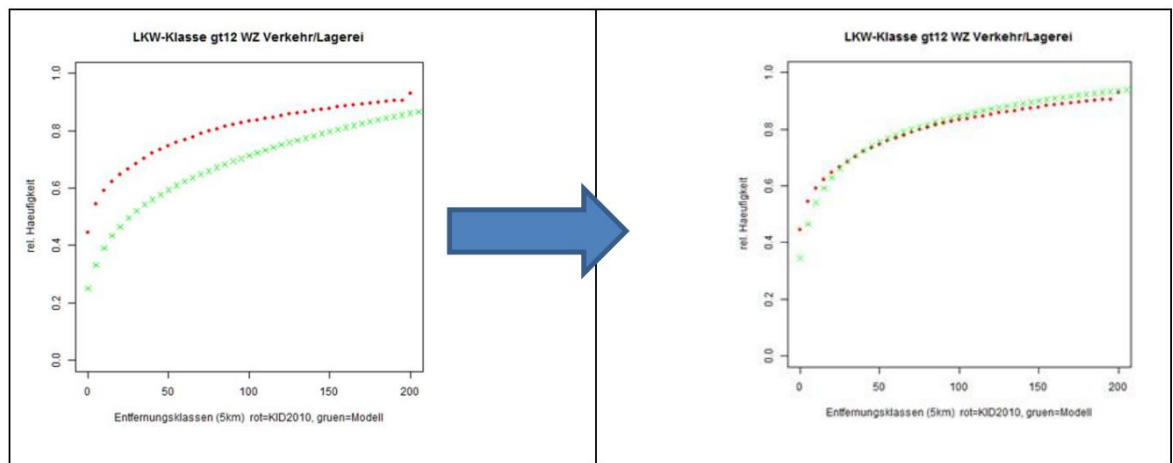


Abbildung 70: Entfernungsverteilung der Lkw über 12t zGG / Branche Verkehr/Lagerei vor und nach Kalibrierung

8.2 Erarbeitung der Eingabedaten

8.2.1 Modul InterTrans

Der wesentliche Input für das Modul InterTrans sind die Verkehrsströme aus der VP 2030. Dies betrifft sowohl die Güterverkehrsströme, als auch die Verkehrsströme des Personenverkehrs. Die Fortschreibungsfunktion von InterTrans wird auch für die Fortschreibung der übrigen Fahrzwecke des Personenverkehrs sowie der Verkehre des ÖVs verwendet, was im Abschnitt „Externe Daten“ beschrieben ist.

InterTrans rechnet Veränderungen von Strukturdatensätzen in die Matrizen ein. Im Rahmen der VP 2030 stehen die zugehörigen Strukturdaten für Analysejahr (2010) und Prognosejahr (2030) zur Verfügung. Es ist aber zu beachten, dass die zur Strukturdatenprognose der VP 2030 veröffentlichten Bevölkerungsdaten auf einem Datensatz beruhen, der die Ergebnisse des Zensus 2011 nicht enthält, während intern (vgl. Verkehrsverflechtungsprognose 2030) die Einflüsse des Zensus beachtet wurden. Insofern werden von uns die Ergebnisse der Raumordnungsprognose 2030 des BBSR für die Einwohnerzahlen der Jahre 2010 bzw. 2030 verwendet. Dadurch ist die Verwendung von aktuellen Bevölkerungszahlen bzw. -prognose für 2019 bzw. 2030 im Fortschreibungsmodell möglich.

Für die Fortschreibung auf das Jahr 2019, das Analysejahr des LVM-BW, werden folgende Strukturdaten benötigt:

- die Strukturdaten Einwohner auf Kreisebene zum Analysejahr 2010 nach Altersklassen. Die entsprechenden Strukturdaten Einwohner auf Kreisebene für das Jahr 2019,
- die Erwerbstätigen am Arbeitsort 2010,

- die Erwerbstätigen am Arbeitsort 2019,
- das BIP je Kreis im Jahr 2010 und
- das BIP je Kreis im Jahr 2019.

Für die Veränderung der Prognosedaten der VP2030 im Jahr werden folgende Daten benötigt:

- die bisher für das Jahr 2010 genannten Daten für das Jahr 2030. Dabei wieder die in der VP 2030 angenommenen Daten und die .
- Für die Anwendung im Güterverkehr werden noch zusätzlich Zahlen zur Entwicklung des Außenhandels verwendet. Je Land wird die Entwicklung des Außenhandels für Export und Import in der Form von Veränderung zwischen Fortschreibungs- und Analysejahr genutzt.

8.2.2 Modul RegioTrans

Die notwendigen Strukturdaten sind die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Arbeitsort nach Branchen (siehe Tabelle 49) und die Einwohner je Verkehrsbezirk. Dieser Datensatz auf Gemeindebasis wurde bei der Bundesanstalt für Arbeit bezogen. Die Aufteilung auf die Verkehrsbezirke erfolgt mit einem Verfahren, welches auf der einen Seite die Gemeindesummen je Branche erhält und auf der anderen Seite die vom Personenverkehrsmodell gelieferten Beschäftigtensummen je Verkehrsbezirk – wobei jeweils mit einem gemeindespezifischen Faktor die Gesamtbeschäftigtenzahl je Verkehrsbezirk in sozialversicherungspflichtig Beschäftigte umgerechnet wird. Das Ergebnis des verwendeten Verfahrens hängt dabei von initialen Gewichtungen der Branchen in den Verkehrsbezirken ab. Diese ergeben sich aus Flächenanteilen des Siedlungsflächenlayers (Sie02f) aus den ATKIS-Daten. Die verwendeten Flächen sind dabei Gewerbe- und Industriefläche, Wohnbaufläche und gemischte Fläche.

Ein weiterer Input des Modells sind die u,v-Faktoren, die den Anteil des Quell- bzw. Zielverkehrs eines Verkehrsbezirks beschreiben, der aus dem Erzeugungsraum kommt. Dieser wird aus den Daten der VP 2030 berechnet.

8.3 Durchführung der Berechnung(en)

8.3.1 Berechnung des Analysejahrs 2019

- Berechnung InterTrans 2019 Personenverkehr. ÖV-Ergebnis externer Verkehr, Pkw-Ergebnis externer Verkehr werden in das LVM-BW eingespielt. Dabei wird eine grobe Transitmatrix angewandt, die verhindert, dass Verkehre von beispielsweise Köln nach Hamburg im Modell vorkommen.
- Berechnung InterTrans 2019 Güterverkehr. Die entstehenden Lkw-Matrizen werden in das LVM-BW eingespielt.

- Berechnung RegioTrans 2019. Das Pkw-Segment Wirtschaftsverkehr und die Lkw-Segmente werden in das LVM-BW eingespielt.

8.3.2 Berechnung des Jahres 2030

- Berechnung InterTrans 2030 Personenverkehr. ÖV-Ergebnis externer Verkehr, Pkw-Ergebnis externer Verkehr werden in das LVM-BW eingespielt.
- Berechnung InterTrans 2030 Güterverkehr, die Lkw-Matrizen werden in das LVM-BW eingespielt.
- Berechnung RegioTrans 2030.
- Anwendung der Makroprognose für das Pkw-Segment und die Lkw-Segmente aus der RegioTrans-Berechnung für 2030. Übergabe an LVM-BW.

9 Kalibrierung und Validierung

9.1 Vorgehen

Die Kalibrierung und Validierung erfolgte entlang der kausalen Kette der Verkehrsentstehung. In einem ersten Schritt wurden die Kfz-Netze und ÖV-Netze anhand von empirisch erfassten Reisezeiten verglichen. Strukturdaten wurden auf Gemeinde- und Kreisebene abgeglichen. Zusätzliche erfolgte eine Prüfung der Extremwerte der Strukturgrößen je Verkehrszelle. Die Lage und das Aufkommen großer Verkehrserzeuger wurde mit dem AG gemeinsam abgestimmt und qualitätsgesichert.

Nach Validierung der Eingangsgrößen erfolgte die Kalibrierung und darauffolgend die Validierung der Verkehrsnachfrageberechnung entlang der Entscheidungsstufen Mobilitätswerkzeugwahl, Aktivitätenwahl, Ziel- und Moduswahl und Routenwahl.

Die einzelnen Schritte

- zur Qualitätssicherung sind in der Exceltabelle „20260113_QS_PTV.xlsx“ protokolliert.
- zur detaillierten Validierung in „2026-03-18-1455_Dashboard_gesamt_LVM_BW_Analyse_NFMo_PV_V01_calc.xlsm“ für den Analysefall
- und „2026-03-27-1228_Dashboard_gesamt_LVM_BW_REF2030_NFMo_PV_V01_calc.xlsm“ für den Prognosereferenzfall „REF2030“ dokumentiert.

Alle durchgeführten Validierungsschritte und verwendeten Kenngrößen zur Validierung entsprechen den Vorgaben aus den FGSV-Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr.

Im vorliegenden Bericht werden einige ausgewählte Kalibrierungs- und Validierungsergebnisse vorgestellt. Abschließend sind im Kapitel „9.11“ bemerkenswerte Punkte zur Kalibrierung und Validierung nochmals zusammenfassend aufgelistet.

9.2 Strukturdaten

Für die Strukturdatengenese wurden u.a. folgende Schritte der Qualitätssicherung durchgeführt:

- Prüfung der Extremwerte für alle Strukturdaten differenziert nach Planungsraum und Einflussraum
- Prüfung der sich ergebenden Strukturdatendichte
- Prüfung der Erwerbstätigenquote
- Prüfung der Anteile der Altersklassen
- Prüfen der Eckwerte auf Bundesland-, Kreis- und Gemeinde Ebene für Erwerbstätige am Arbeitsort, Erwerbstätige am Wohnort und Einwohner gesamt

- Prüfen der Zellen mit Nullwerte
- Ausgesuchte Einzelwertprüfung für große Arbeitgeber, Freizeitpotenziale und Bildungsstandorte

9.3 Angebotsmodelle

Die der Angebotsmodelle umfassten die systematische Abarbeitung von vorherfestgelegten Validierungsprüfpunkten sowie eine anlassbezogene manuelle Prüfung und Korrektur.

9.3.1 Kfz-Angebot

Prüfung Reisezeit

Zur Plausibilisierung und Bewertung der Reisezeiten im unbelasteten Netz t_0 wurden diese für den Pkw aus dem Verkehrsmodell ausgewertet. Darauf aufbauend wurden sie mit den Zeiten aus dem Forschungsprojekt FE 01.0197/2016/FRB „Methoden zur Bewertung der Verbindungsqualität in Straßennetzen“ verglichen. Dabei wurden die Zeiten von 1.815 Relationen innerhalb Baden-Württembergs einerseits und andererseits die Zeiten von 902 Relationen innerhalb des Modellraumes in den Bundesländern Hessen, Bayern und Rheinland-Pfalz (Bezirke 1006411001 bis 1009780033) ausgewertet und verglichen. Aus den Vergleichsdaten wurden die Reisezeiten „T_FZ_FreeFlow_soll (P,vzul)“ aus TomTom verwendet. Sie wurden gewählt, da sie die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten v_{zul} berücksichtigen und die Fahr- und Reisezeiten des Pkws im unbelasteten Netz bzw. bei freiem Verkehrsfluss repräsentieren. Die Reisezeiten des Modells wurden über Kurzwegsuchen zwischen Knoten ermittelt. Dazu wurde den Start- und Zielorten der Vergleichsdaten anhand von deren Koordinaten ein Knoten des Netzmodells zugewiesen. Anschließend wurden die Kurzwege zwischen den Knoten ermittelt. Das Kriterium der Wegewahl war der Widerstand. Die t_0 -Zeit der Kurzwege wurden für den Vergleich der Reisezeiten herausgeschrieben. Zur Auswertung der Reisezeitvergleiche wurden die folgenden Regressionsdiagramme erstellt.

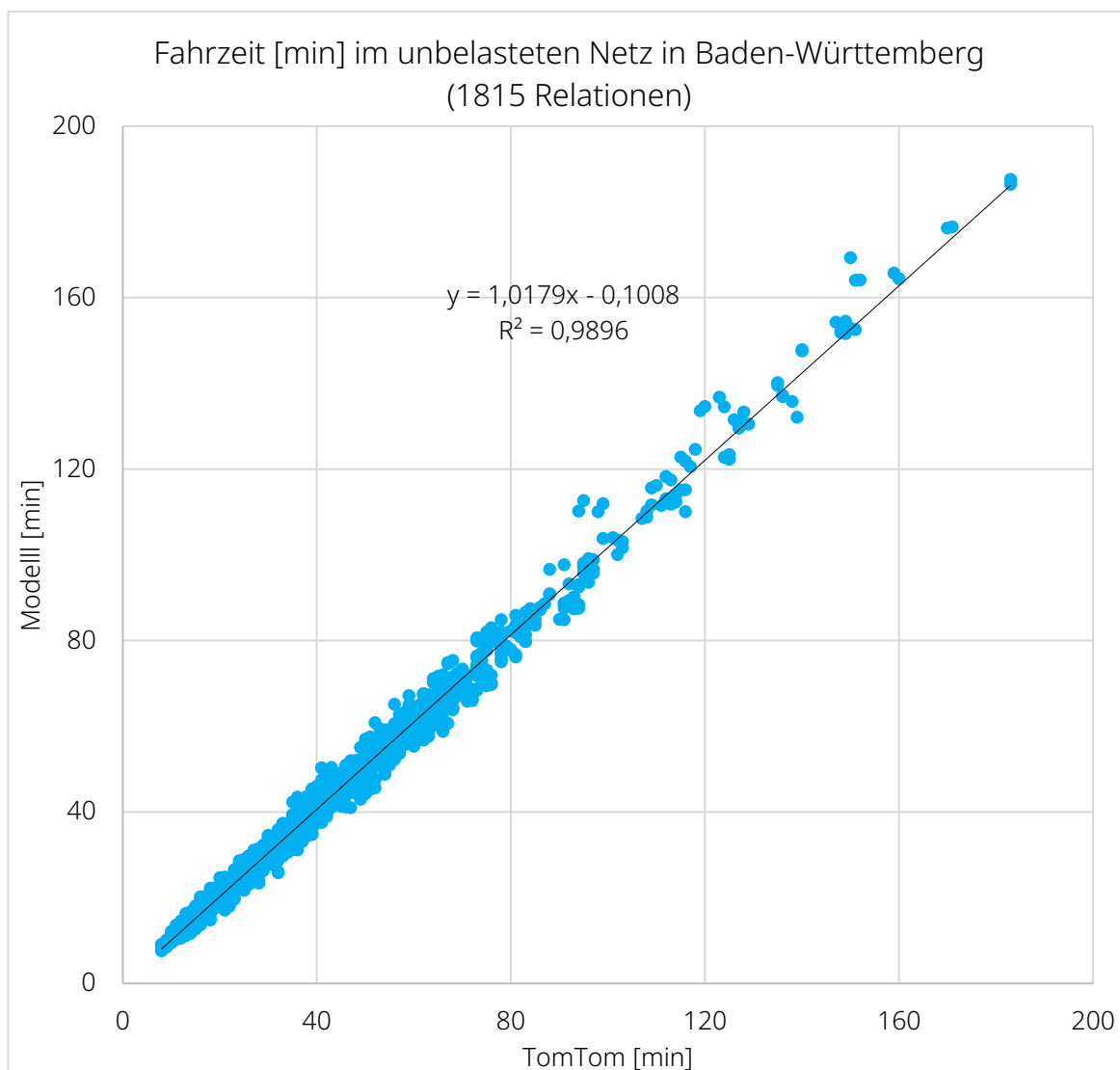


Abbildung 71: Reisezeiten innerhalb Baden-Württembergs

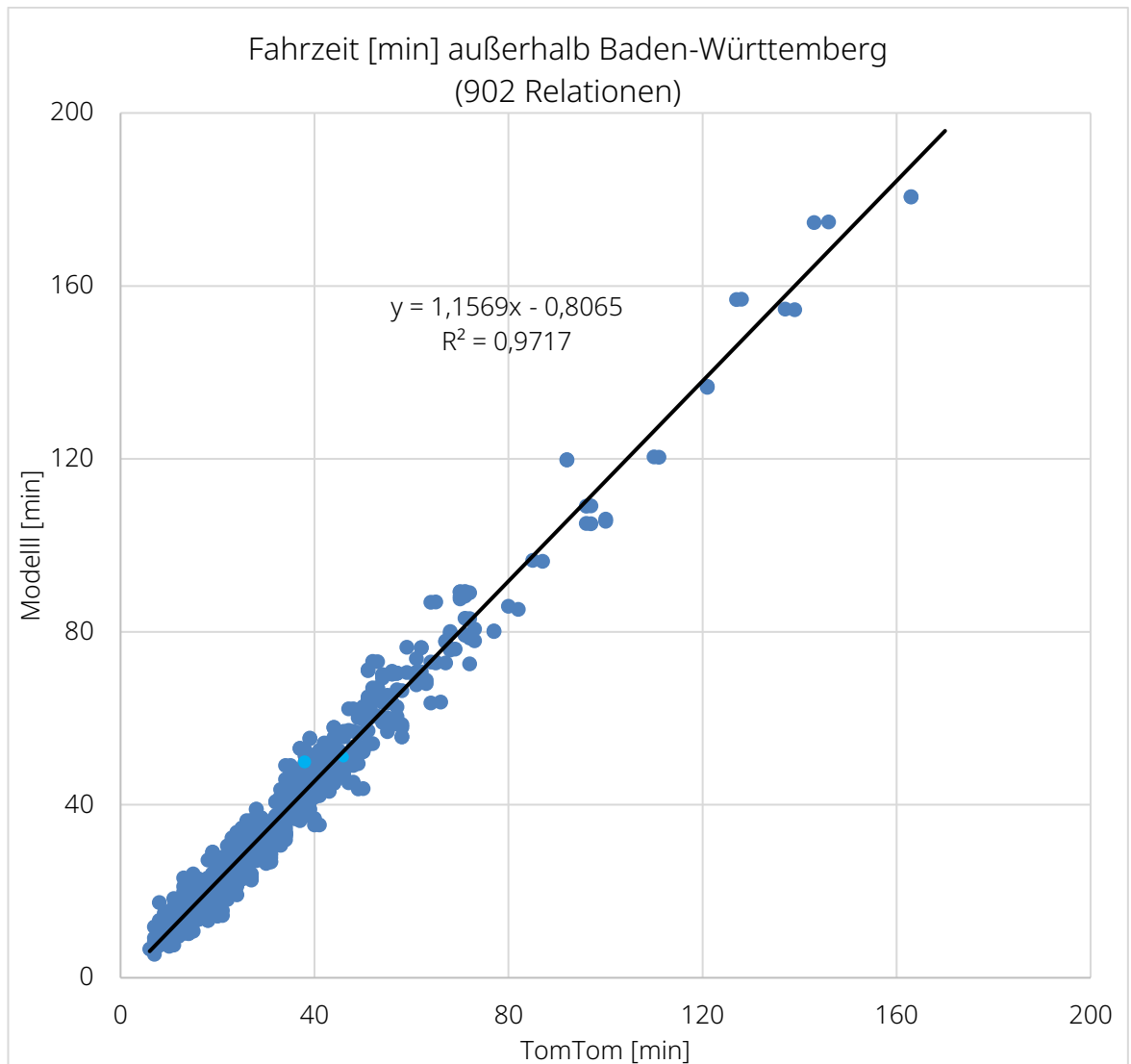


Abbildung 72: Reisezeiten außerhalb Baden-Württembergs

Die Diagramme zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Vergleichsdaten aus TomTom und den Reisezeiten im Verkehrsmodell. Besonders im Planungsgebiet Baden-Württemberg gruppieren sich die Punkte gut um die Diagonale.

Die zulässigen absoluten Abweichungen der Reisezeiten sind in Abbildung 73 dargestellt.

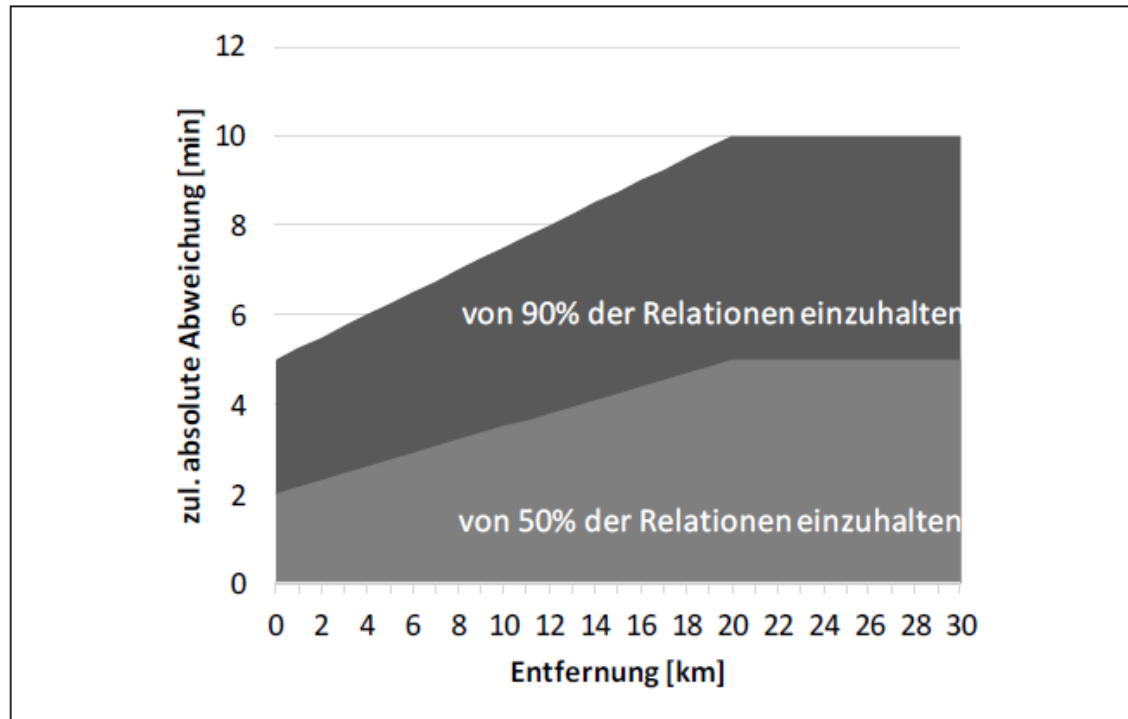


Abbildung 73: Zulässige absolute Abweichung der Reisezeit [min]

Die zulässigen und die vorhandenen Abweichungen wurden für die betrachteten Relationen auf der Grundlage der Entfernungen aus TomTom berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 50 und Tabelle 51 dargestellt.

Absolute Abweichung	Relationen die dieses Kriterium erfüllen	Relationen die dieses Kriterium nicht erfüllen
Von 50 % der Relationen einzuhalten	93,5%	6,5%
Von 90 % der Relationen einzuhalten	99,4%	0,6%

Tabelle 50: Auswertung der Reisezeiten im Planungsgebiet

Absolute Abweichung	Relationen die dieses Kriterium erfüllen	Relationen die dieses Kriterium nicht erfüllen
Von 50 % der Relationen einzuhalten	61,2%	38,6%
Von 90 % der Relationen einzuhalten	86,5%	13,5%

Tabelle 51: Auswertung der Reisezeiten im Modellraum in den Bundesländern Bayern, Hessens und Rheinland-Pfalz

Die Auswertung zeigt, dass die Reisezeiten bei freiem Verkehrsfluss im Modell die Anforderungen erfüllen und den Qualitätskriterien entsprechen.

Manuelle Netzprüfung und Korrektur

In Baden-Württemberg gibt es Bundesstraßen, die hinsichtlich ihres Ausbaus Autobahnen ähneln. Diese wurden entsprechend gekennzeichnet und als Autobahnstrecken typisiert.

Nach der automatischen Streckentypisierung wurden etwa 2.000 unplausible Strecken rausgefiltert (z. B. Bundesstraße innerorts mit der Geschwindigkeit von 100 km/h). Diese Strecken wurden manuell geprüft und ihr Typ wurde korrigiert.

Während der Routenprüfung wurde festgestellt, dass einige Abbieger bei den Rampen geöffnet sind, obwohl diese Fahrrichtungen unzulässig sind. In diesen Einzelfällen wurde die Korrektur vorgenommen.

Für die regulierten Verkehrsbezirke wurde geprüft, dass die vom Lkw-Durchfahrtsverbot ausgenommenen Strecken auch wirklich für den Lkw-Durchgangsverkehr offen sind.

Das übergeordnete Straßennetz wurde hinsichtlich Netzlücken überprüft. Dies erfolgte mittels verschiedener Filtereinstellungen aber auch manuell über die Plausibilisierung von Verkehrsbelastungen im übergeordneten Straßennetz.

Im Zuge der Kalibrierung erfolgte eine Überprüfung der Abbiegezuschläge für Ab- und Auffahrten von und zur Hauptfahrbahn der Autobahnen, und eine anschließende Anpassung dieser Zuschläge. Ebenso wurden im Zuge der Kalibrierung die Autobahnen und wichtige Bundesstraßen hinsichtlich „Flaschenhälsen“ geprüft. Dazu wurden die Parameter der Strecken mit einer überproportional hohen Auslastung überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

9.3.2 Rad-Angebot

Für das Radangebot wurden u.a. folgende Qualitätssicherungsschritte durchgeführt:

- Grafische Darstellung der Attribute zu Lage und Kategorie der Radinfrastruktur und optische Prüfung
- Überprüfung der resultierenden Geschwindigkeiten und Luftliniengeschwindigkeiten.
- Überprüfung der lückenlosen Routingfähigkeit des Netzes.

9.3.3 ÖV-Angebot

Für das ÖV-Angebot wurden u.a. folgende Qualitätssicherungsschritte durchgeführt:

- Stichprobenartige Prüfung der Routenverläufe im Detail,
- Stichprobenartige Prüfung der gefundenen Verbindung im LVM-BW mit Verbindungsauskunft,
- BW-Weite und Verbunddifferenzierte Prüfung der Service- und Sitzplatzkilometer bezogen auf die Einwohner mittels der Kennwerte mittlere tägliche Verkehrsleistung einer Person im ÖV im Vergleich zu Verkehr in Zahlen, mittlere tägliche ÖV-Service/Sitzplatzkilometer pro Einwohner, durchschnittlicher Besetzungsgrad pro Servicefahrt, durchschnittliche Sitzplatzauslastung.

- Überprüfung der resultierenden ÖV-Kenngrößen und Luftliniengeschwindigkeiten nach RIN.

9.4 Erzeugung

Die Parametrisierung der Mobilitätsraten und Quell/Zielaufkommensraten der Verkehrserzeugung erfolgte unmittelbar aus der MiD 2017. Die Quell/Zielaufkommensraten für Arbeitswege wurden so angepasst, dass die Grenzverkehre aus der Erhebung der Grenzverkehre und Pendlerbilanzen auf Bundesladebene in Deutschland möglichst adäquat abgebildet wurden.

Für die Validierung der Verkehrserzeugung wurden im Wesentlichen folgenden Schritte durchgeführt:

- Visualisierung und Plausibilisierung der Untersuchungsraumanteile
- Prüfung der spezifischen Verkehrsaufkommen je Personengruppe
- Teilraumausgleich für verschiedene Aktivitäten auf verschiedenen räumlichen Ebenen
- Prüfen der resultierenden Wegehäufigkeiten auf verschiedenen Aggregationsebenen u.a. auf Personenebene. Abbildung 74 zeigt exemplarisch, dass die Wegehäufigkeiten auf Personenebene im LVM-BW sehr gut mit den Werten aus der MiD 2017 übereinstimmen.

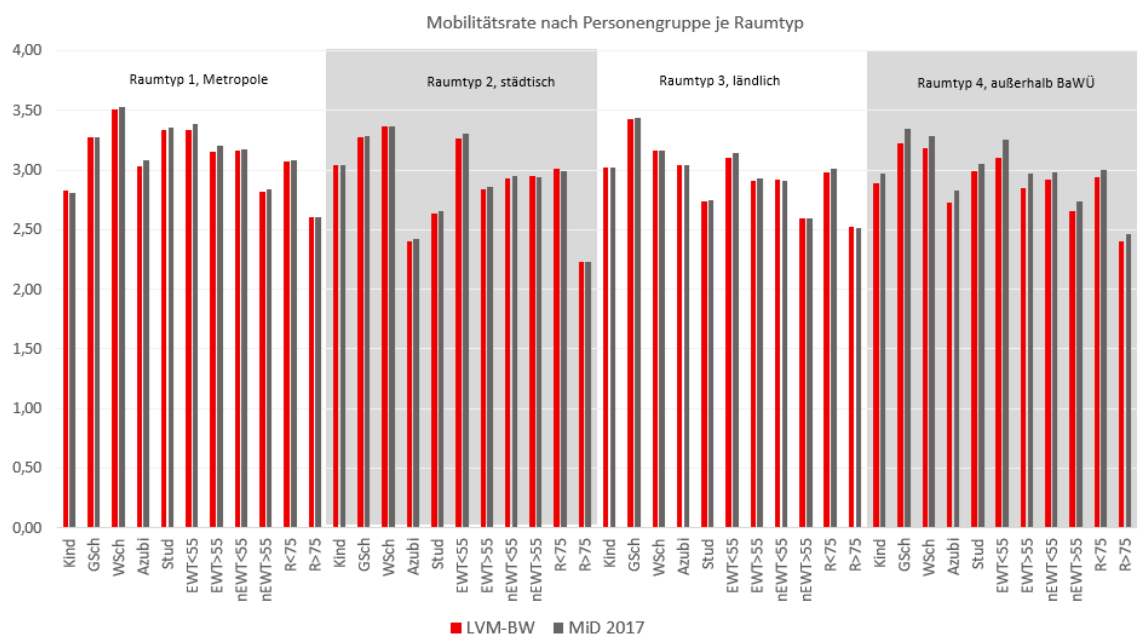


Abbildung 74: Vergleich Mobilitätsraten LVM-BW und MiD 2017

9.5 Ziel und Moduswahl

Für die Ziel- und Moduswahl wurden folgende Parameter kalibriert:

- Moduswahl
 - Setzen der Moduskonstanten differenziert nach Nachfrageschichten so, dass je Nachfrageschicht vorgegebener Modal-Split der Analyse erreicht wird
 - Anpassen der Modusverfügbarkeit des Radverkehrs, sodass Rad-Modal-Split für große Städte passt (vgl. Abbildung 75)
- Zielwahl
 - Startparameter der Bewertungsfunktionen aus anderen Modellvorhaben übernommen, dann anhand von Reisezeiten und Reiseweitenverteilungen und Mittelwerten angepasst
 - Einführen von Teilraummatrizen für Nationen-, Bundesländer-, Landkreise und Gemeinden
 - Einführen einer Pendlerkorrektur
 - Einführen einer Bonus-Widerstandsmatrizen für Arbeitswege zwischen Gemeinden vom Raumtyp 1, um überdurchschnittlich lange Arbeitswege im Modell repräsentieren zu können.

Die resultierenden Parameter der Ziel- und Moduswahl können im Bezirksattribut [MWW_MV_PPM], [MWW_MV_PPS], [MWW_MV_RAD], [MWW_MV_OEV], im Nachfrageschicht Attribut [Bilanzfaktor] und der benutzerdefinierten Tabelle „EVA_Bewertung Parameter Initial“ nachgeschlagen werden.

Die Validierung der Ziel- und Moduswahl erfolgte anhand der Auswertung folgender Kennwerte, verglichen wurden dabei stets das LVM-BW und die Werte aus der MiD 2017:

- SQV der mittlere Reiseweiten und Reisezeiten je Modus, je Aktivitätenpaar und je Kombination daraus differenziert nach Raumtypen. Differenziert nach Modi sind die Ergebnisse in Tabelle 52 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die mittleren Reiseweiten für Fuß- und Radverkehr sehr gut übereinstimmen, die Pkw- und ÖV-Wege sind tendenziell etwas zu kurz. Für P+R-Wege ist der Umfang der Stichprobe aus der MiD 2017 vergleichsweise kleine, die Abweichungen sind daher akzeptabel.
- Koinzidenzverhältnis der Reiseweiten- und Reisezeitenverteilung je Modus, je Aktivitätenpaar und je Kombination daraus differenziert nach Raumtypen. Differenziert nach Modi sind die Ergebnisse in Tabelle 52 dargestellt. Die Koinzidenzverhältnisse stimmen für die Reiseweiten sehr gut überein. Bei der optischen Betrachtung der Verteilungen fällt auf, dass für die Pkw-Wege und die ÖV-Wege tendenziell die langen Relationen unterrepräsentiert sind. Exemplarisch ist das für die ÖV-Wege in Abbildung 76 dargestellt. Bei der Verwendung des LVM-BW ist entsprechend zu beachten, dass lange Wege, besonders zwischen Großstädten etwas unterrepräsentiert sind.
- Optische Prüfung des entfernungsabhängigen Modal-Split. Die Prüfung ergab eine weitestgehende Übereinstimmung des LVM-BW mit der MiD 2017, vgl. Abbildung 77. Lediglich für Wege ab 75 km ist erkennbar, dass die erwartungskonforme Wiederanstieg des ÖV-Anteils ab einer Wegelänge von 75km beim LVM-BW nicht eintritt.

- SQV der Verkehrsleistung je Modus und aggregierter Aktivität
- Plausibilisierung der Verkehrsaufkommen und Mobilität nach Modus und Kreisen
- Prüfen, ob Randsummenausgleich (Quell-Verkehr = Zielverkehr, bezirksfein für nicht austauschbare Modi und Summe austauschbare Modi).

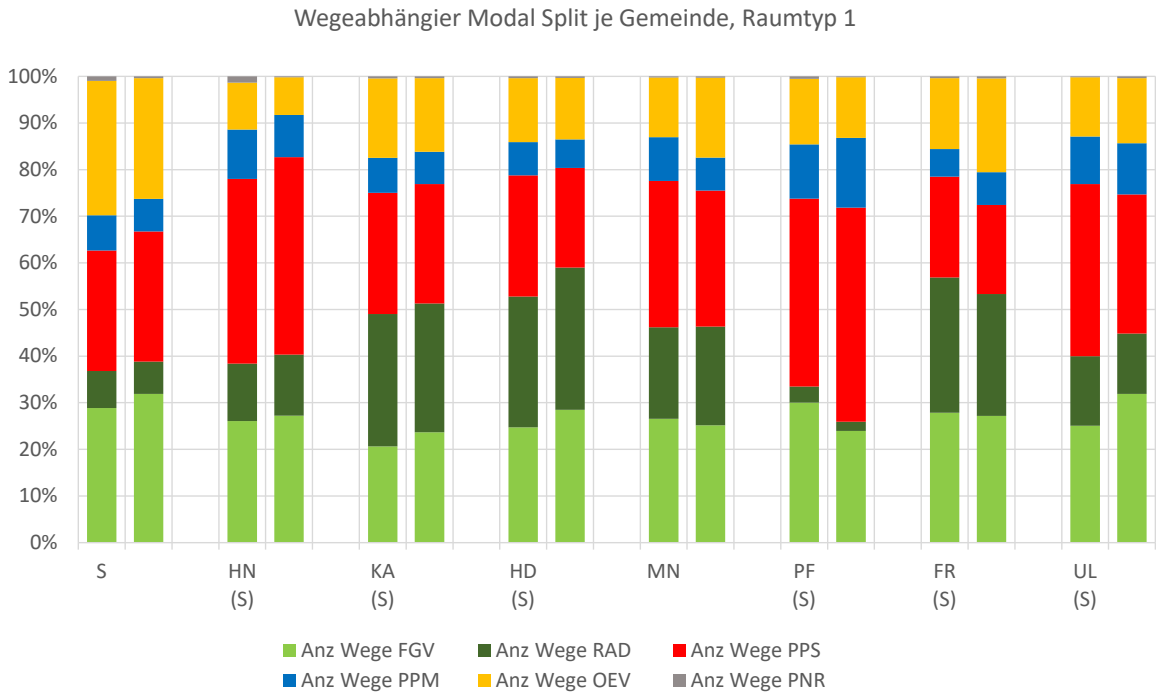


Abbildung 75: Vergleich Modal-Splits LVM-BW und MiD 2017 für Gemeinden im Raumtyp 1

Modus	mittlere Reise- weite [km]		mittlere Reise- weite [min]		Koinzidenz- verhältnis der Reiseweite	Koinzidenz- verhältnis der Reisezeit
	LVM-BW	MiD 2017	LVM-BW	MiD 2017		
Fuß	1,1	1,2	16,8	19,0	0,84	0,7
ÖV	11,3	14,2	29,9	41,8	0,83	0,68
P+R	28,7	38,5	73,2	73,5	0,66	0,76
Pkw-Selbstfahrer	10,9	11,9	18,3	19,9	0,89	0,7
Pkw-Mitfahrer	11,9	12,3	18,9	20,1	0,74	0,69
Rad	3,1	3,1	15,9	15,9	0,77	0,85

Tabelle 52: Modusdifferenzierte Validierungsergebnisse der Zielwahl für Wege von Personen aus BW

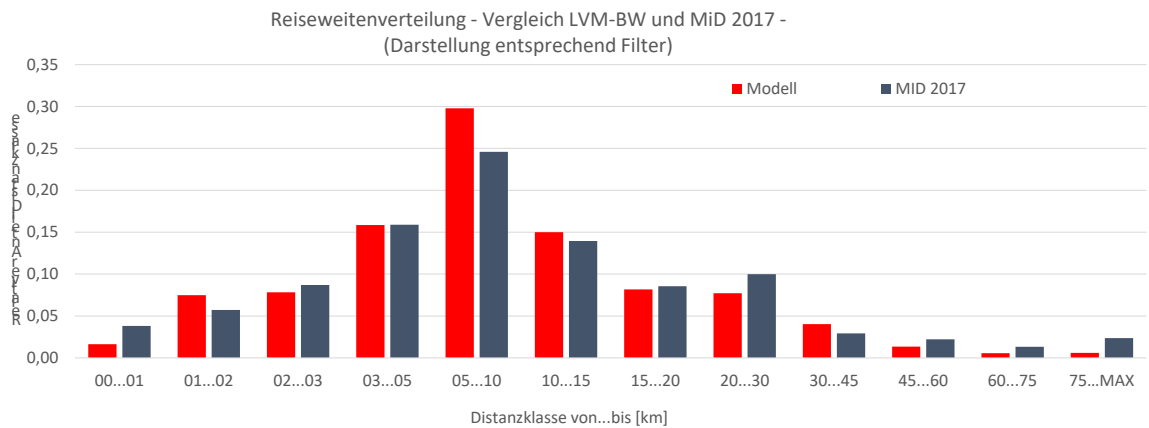


Abbildung 76: Reiseweiten Verteilung ÖV-Wege für LVM-BW und MiD-2017

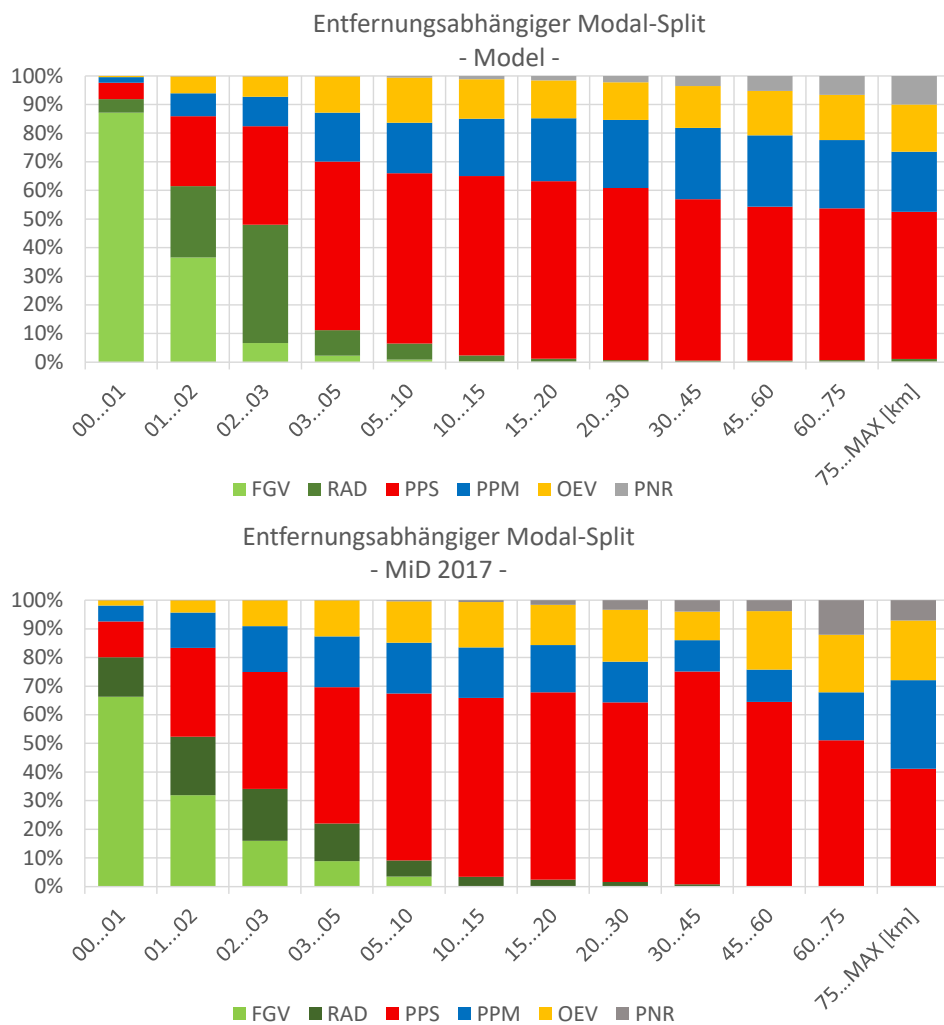


Abbildung 77: Vergleich entfernungsabhängiger Modal-Split, wegebezogen für LVM-BW und MiD-2017

9.6 Mobilitätswerkzeugwahl

Das makroskopische Mobilitätswerkzeugwahlmodell wurde anhand folgender Aspekte kalibriert:

- Es wurden so wenig wie möglich Parameter variiert, um die Interpretierbarkeit der Parameter so hoch wie möglich zu halten. So wurden z.B. bei vier möglichen Mobilitätswerkzeugkombinationen nur drei Modellkonstanten eingeführt.
- Es wurde ein besonderes Augenmerk auf die resultierenden Elastizitäten bezüglich der Fixkosten gelegt.

Folgende Reihenfolge hat sich bei der Kalibrierung als empfehlenswert erwiesen:

- Widerstandsparameter der Ziel-/Moduswahl zur korrekten Reiseweiten- und -zeiten-Verteilung bestimmen.
- Prüfung der Elastizitäten der Ziel-/Moduswahl mit Realitätstests. Falls das Modell zu stark oder schwach reagiert, sollten die Parameter für Kosten, Zeit sowie eventuell die Luftlinienentfernung angepasst werden
- Verkehrsmittelkonstanten der Ziel- und Moduswahl bestimmen
- Setzen der Standardparameter für Fixkosten
- Kalibrierung der Parameter für die Erreichbarkeit anhand der Elastizitäten aus Literaturanalyse
- Kalibrierung der raumtypenfeinen Konstanten für die MWW-Kombinationen. Tabelle 53 zeigt die gute Übereinstimmung der Anteile der MWW-Kombinationen über alle Raumtypen.
- Optische Prüfung der Ergebnisse, hierbei besteht die Erwartungshaltung, dass sich in den Innenstädten mit erhöhtem Parkdruck und/guten ÖV-Zugang eine verringerte Pkw-Verfügbarkeit und gleichzeitig erhöhte Zeitkartenverfügbarkeit ergibt. In Abbildung 78 und Abbildung 79 ist sehr gut erkennbar, dass diese Erwartungshaltung im LVM-BW erfüllt wird.
- Zum Abschluss nochmals Anpassen der Moduskonstanten, um sicherzustellen, dass der Referenz-Modal-Split auch mit Abbildung der Mobilitätswerkzeugwahl weiterhin erreicht wird.

Modellraumtyp / Personen- gruppe		Anteil [%] Pkw Ja / Zeitkarte Ja		Anteil [%] Pkw Ja / Zeitkarte Nein		Anteil [%] Pkw Nein / Zeitkarte Ja		Anteil [%] Pkw Nein / Zeitkarte Nein	
		LVM	MiD	LVM	MiD	LVM	MiD	LVM	MiD
1	Erwachsene	12,4	11,7	52,4	51,8	17,4	17,5	17,8	19,0
2	Erwachsene	3,7	6,5	71,9	71,6	7,1	7,3	14,2	14,5
3	Erwachsene	3,1	5,9	77,7	77,0	4,6	4,3	12,2	12,8
4	Erwachsene	8,5	7,6	68,1	68,8	9,3	8,7	14,2	14,9
1	Kinder	14,0	15,5	6,4	7,0	50,0	49,0	29,6	29,5
2	Kinder	18,6	19,4	20,3	17,8	36,1	42,8	25,1	20,8
3	Kinder	23,1	24,9	7,1	6,0	47,7	50,9	22,1	18,2
4	Kinder	20,9	20,6	8,8	9,1	50,6	48,3	19,1	21,9

Tabelle 53: Raumtypenfeine Übereinstimmung der Anteile der Mobilitätswerkzeugkombinationen des LVM-BW mit MiD 2017

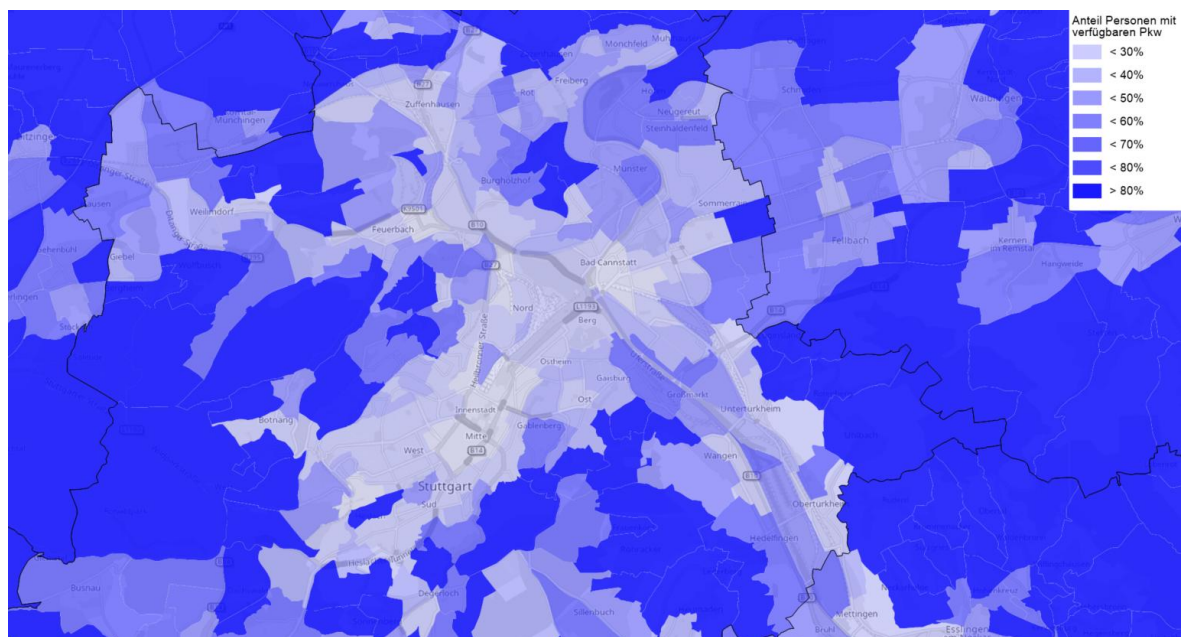


Abbildung 78: Pkw-Verfügbarkeit für Erwachsene für den Raum Stuttgart, Analyse

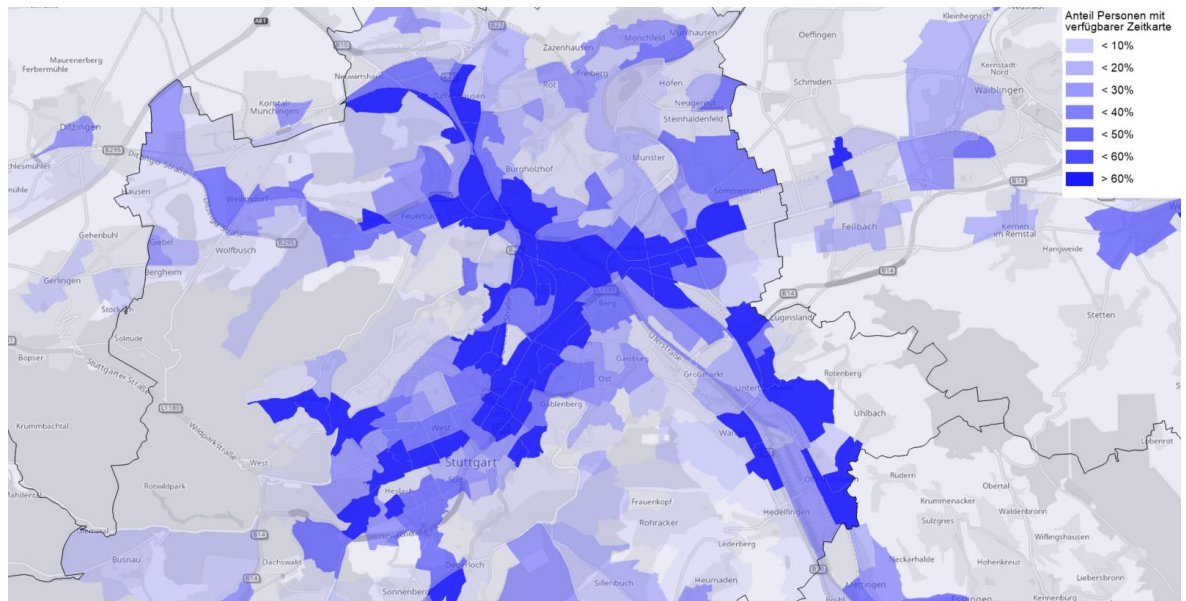


Abbildung 79: Zeitkarten-Verfügbarkeit für Erwachsene für den Raum Stuttgart, Analyse

9.7 Umlegung Kfz

9.7.1 Zählstellenmanagement IV

Verortung der Zählstellen

Das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg hat die Zählzeiten der Dauerzählstellen und des Verkehrsmonitorings bereitgestellt. Zusätzlich wurde eine Shapedatei mit Lageinformationen übergeben. Falls für eine Zählstelle Zählzeiten vorlagen, aber keine Lageinformationen vorhanden waren, wurde diese manuell verortet. Außerdem wurde überprüft, ob alle Zählstellen brauchbare Daten aufwiesen, basierend auf den entsprechenden Hinweisen oder Vermerken.

Nach dem Einlesen der Zählzeiten wurden die Zählstellen den jeweiligen Strecken zugeordnet und auf beide Fahrtrichtungen aufgeteilt (die Zählwerte der BAST-Dauerzählstellen wurden richtungsbezogen zugewiesen, die restlichen Querschnittswerte wurden halbiert). Im Planungsraum sind nun insgesamt 11.180 Zählstellen (Hin- und Rückrichtung). Die Zählstellen sind realitätsnah entlang der Strecke positioniert.

Außerdem wurde das Modell um 240 Dauerzählstellen im Einflussraum (Deutschland), 40 Zählstellen an der Grenze zu Frankreich und 6 Zählstellen für die Rheinfähren ergänzt. Die Zählwerte (2019, 2022, 2023) wurden, sofern vorhanden, richtungsbezogen zugewiesen. Damit werden die externen Verkehre kalibriert bzw. validiert.

Die Typisierung der Zählstellen ist wie folgt umgesetzt:

- Typ 1 – Baden-Württemberg
- Typ 2 – Einflussraum

- Typ 3 – Kordonzählstellen (Deutschland)
- Typ 4 – Grenzübergänge DE-FR (deutsche Seite)
- Typ 5 – Grenzübergänge DE-FR (französische Seite)
- Typ 6 – Rheinfähren

Die Attribute „Straßenname“ und „Lage_Abschnitt“ wurden ebenfalls eingefügt. Das Attribut „Lage_Abschnitt“ beschreibt die Lage der Zählstelle, also zwischen welchen Anschlussstellen, Autobahnkreuzen oder Knotenpunkten diese sich befinden. Bei den BAST-Zählstellen wurden diese Informationen, soweit automatisiert möglich, richtungsbezogen (also von/nach) hinterlegt.

Es gibt Fälle, dass mehrere Zählstellen einer Strecke zugewiesen wurden. Bei der Validierung wird in diesen Fällen die Zählstelle berücksichtigt, die beim Zählstellenmanagement die höchste Bewertung erhielt.

Umgang mit Zähldaten

Ein Verkehrsnachfragemodell wird u.a. anhand gezählter Verkehrsstärken validiert. Im Rahmen eines Zählstellenmanagements werden die Zähldaten der Zählstellen im Planungsraum vor der Validierung im Hinblick auf ihre Eignung für die Zwecke der Validierung geprüft. Auf diese Weise sollen Zählstellen identifiziert werden, die für die Validierung entweder eine hohe Bedeutung haben oder die aufgrund unzureichender Repräsentativität nicht in der Validierung berücksichtigt werden. Folgende Eigenschaften sind für die Nutzbarkeit einer Zählstelle von besonderer Bedeutung:

- Zeitdauer der Datenerfassung
- Einfluss von Baustellen
- Zeitliche Entwicklung der Verkehrsstärken

Um die Eigenschaften der Zählstellen zu berücksichtigen, wird folgende Vorgehensweise gewählt:

- Zähldaten werden anhand der gewählten Indikatoren benotet und entsprechend ihrer Eignung in vier Klassen unterteilt.
- Jeder Klasse wird ein Toleranzbereich für die Berechnung des SQV-Wertes zugeordnet.

Klassifizierung der Zählstellen nach Repräsentativität

Die Zählstellen in Baden-Württemberg (Typ 1) wurden in Hinblick auf die Modellvalidierung hinsichtlich ihrer Qualität und Zuverlässigkeit bewertet und klassifiziert.

Indikatoren

Um die Repräsentativität der Zählstellen zu klassifizieren, wurden sieben Indikatoren herangezogen, die je nach ihrer Ausprägung bewertet wurden. Der Zusammenhang zwischen Ausprägung und Bewertung ist in der Tabelle 54 dargestellt. Je nach verfügbaren Daten konnten nicht für jede Zählstelle alle Indikatoren ermittelt und bewertet werden. So konnten beispielsweise die Abwei-

chungen zwischen Mittelwert und Median sowie zwischen den Mittelwerten von Hin- und Rückrichtungen nur für Dauerzählstellen berechnet werden. Falls für einen Indikator keine Werte vorlagen, wurde die Note „0“ vergeben.

Zählart		Note
DZ: Dauerzählstelle		1
TM: Temporäre Messung		2
Informationen zu Baustellen		
Baustelle von wenigen Tagen- unter 1 Monat		1
Baustelle 1-2 Monate		2
Baustelle über 2 Monate bzw. Vermerk Baustelle ohne Zeitraum		3
Ausprägung der Zählwerte 2010, 2015, 2019		
SQV der DTV-Werte SVZ zwischen 2015 und 2019 > 0,85		1
SQV der DTV-Werte SVZ zwischen 2015 und 2019 > 0,65 UND SQV der DTV-Werte SVZ zwischen 2010 und 2015 > 0,65		3
SQV der DTV-Werte SVZ zwischen 2015 und 2019 < 0,65		3
Sonst		2
SV-Anteil		
SV-Anteil < 1% ODER > 50%		3
Abweichung DTVw5 und DTV DiMiDo		
Bundesstraßen und Autobahnen		
kleiner 9%		1
	zwischen 10% und 15%	2
	größer als 16%	3
Landesstraßen, Kreisstraßen		
kleiner 10%		1
	zwischen 10% und 16%	2
	größer als 17%	3
kein DTVw5-Wert vorhanden		4
Abweichung Median und Mittelwert (DZ)		
Autobahn und Bundesstraße		
kleiner 2,18%		1
zwischen 2,19% und 5%		2
größer als 5%		3
Landesstraßen		
kleiner 2,15%		1
zwischen 2,15% und 5%		2
größer als 5%		3
Abweichung Mittelwert Hin- und Rückrichtung (DZ)		
Autobahn		
kleiner 4,2%		1
zwischen 4,2% und 9%		2
größer als 9%		3
Bundesstraße		
kleiner 2,7%		1
zwischen 2,7% und 5,5%		2
größer als 5,5%		3

Tabelle 54: Qualitätsbewertung der Ausprägung je Indikator

Klassenbildung

Im nächsten Schritt wurde für jede Zählstelle der Durchschnitt aller Noten berechnet, die nicht null sind. Die Verteilung der Endnoten ist in der Abbildung 80 dargestellt.

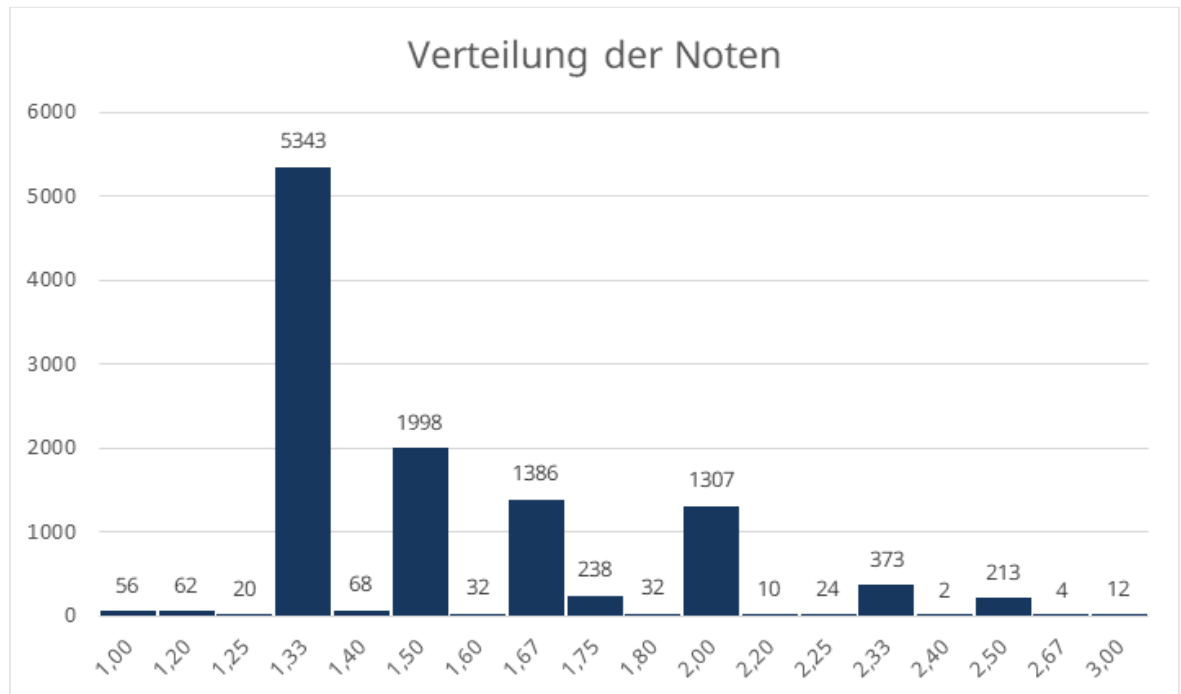


Abbildung 80: Verteilung der Durchschnittsnoten

Anhand dieser Durchschnittsnote wurden die Zählstellen in vier Klassen unterteilt:

- Klasse 1: $\leq 1,25$ (138 Zählstellen, 1%)
- Klasse 2: $\leq 1,5$ (7.409 Zählstellen, 66%)
- Klasse 3: ≤ 2 (2.995 Zählstellen, 27%)
- Klasse 4: > 2 (638 Zählstellen, 6%)

Zählstellen der Klasse 1 weisen demnach eine besonders hohe Qualität auf, während die Zählstellen der Klasse 4 das niedrigste Vertrauensniveau haben. Dies ist bei der Validierung zu berücksichtigen.

Jede Zählstellen ist mit Messungenauigkeiten und Schwankungen behaftet. Dies wird bei der Validierung beachtet, indem jeder Zählstelle ein Toleranzbereich um den durchschnittlichen Zählwert zugewiesen wird. Die Größe des Toleranzbereichs richtet sich nach der Klasse, in die die Zählstelle eingeordnet wurde.

In der Tabelle 55 sind die Toleranzbereiche für jede Klasse dargestellt.

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Toleranzbereich	-1% bis 1%	-2% bis 2%	-5% bis 5%	-10% bis 10%

Tabelle 55: Toleranzbereiche in Abhängigkeit von der Zählstellenklasse

Liegt der Modellwert innerhalb dieses Bereichs, wird der SQV-Wert auf 1 gesetzt. Andernfalls wird der SQV-Wert basierend auf dem Verhältnis zwischen dem Modellwert und dem nächstgelegenen Schrankenwert (Ober- oder Untergrenze des Toleranzbereichs) berechnet. Gemäß der Leistungsbeschreibung soll bei mindestens 85 % aller Zählstellen ein SQV-Wert von über 0,8 erreicht werden.

Ergebnis

Die Abbildung 81 zeigt das Ergebnis der Klassifizierung und ihre räumliche Verteilung.

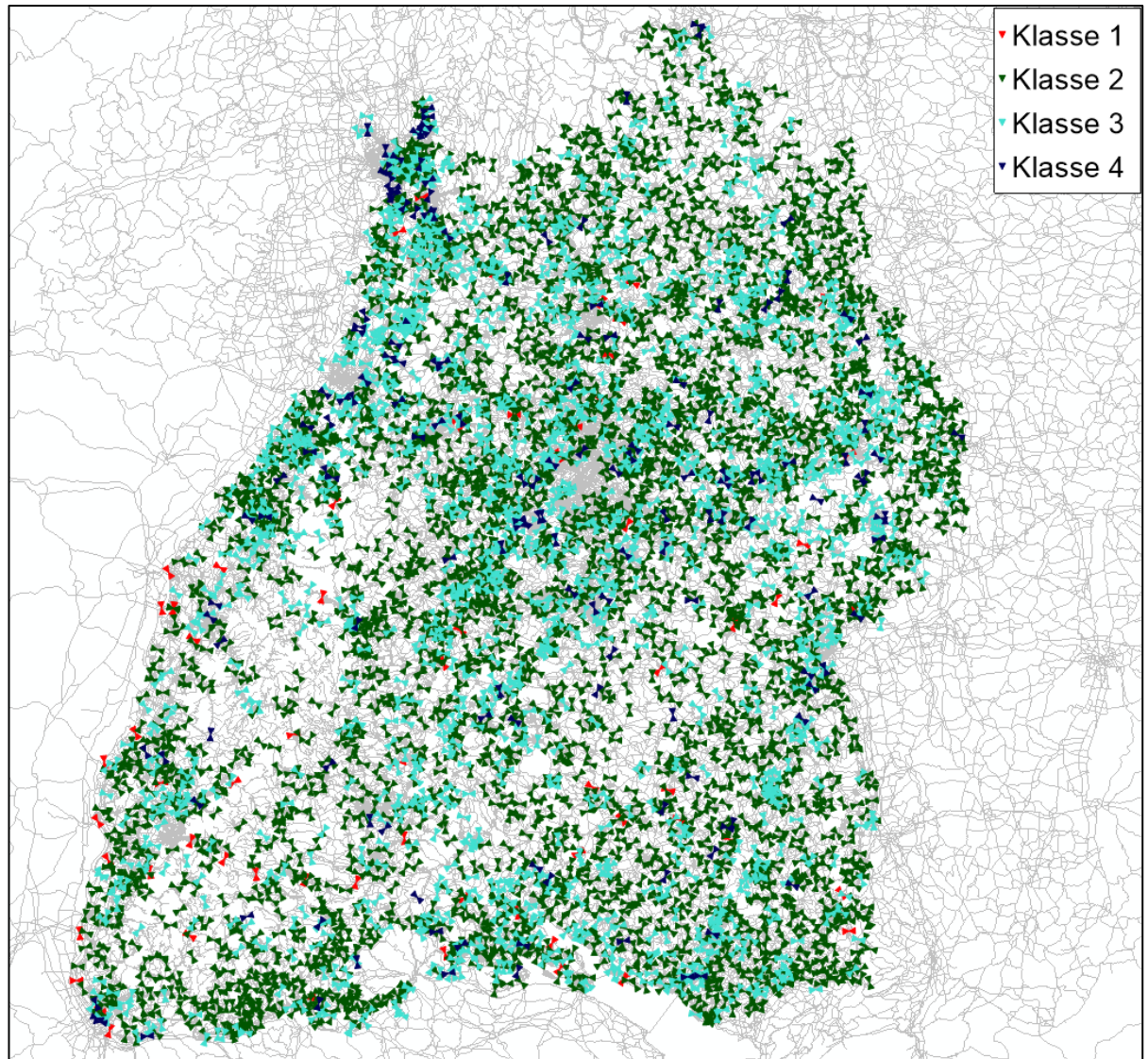


Abbildung 81: räumliche Verteilung der Zählstellen nach Klasse

9.7.2 Kalibrierung Umlegung MIV

Die Kalibrierung der MIV-Umlegung im MIV ist ein zweistufiges Verfahren. Zunächst wird ein Modellzustand ohne jegliche Matrixkorrektur angestrebt.

Dieser Modellzustand wurde durch folgende Kalibrierungsschritte erreicht:

- Systematische Auswertung der MIV-Zählstellen:
Die Zählstellen wurden hinsichtlich der Übereinstimmung von Zählwert und Modellwert systematisch analysiert. Dabei wurden differenzierte Auswertungen nach folgenden Merkmalen durchgeführt:
 - Räumliche Lage innerhalb Baden-Württembergs
 - Straßenkategorie
 - Ortslage

Auf dieser Grundlage konnten im Kalibrierungsprozess systematische Abweichungen erkannt und reduziert werden.

So gibt es beispielsweise eine tendenzielle Unterschätzung von Zählstellen innerhalb (kleiner) Gemeinden. Im Rahmen der Kalibrierung wurden deshalb die v_0 -Geschwindigkeiten der Strecken des nachgeordneten innerörtlichen Netzes nach oben angepasst, um diesen Effekt zu reduzieren. Es wird darauf hingewiesen, dass das LVM-BW bei Innerortsbelastungen, insbesondere im Neben-netz, grundsätzlich eine begrenzte Aussagekraft hat. Des Weiteren wurden Beharrungsfaktoren in der Widerstandsfunktion für den Lkw-Verkehr eingeführt, welche das übergeordnete Straßennetz bei der Routenwahl attraktiviert. Dieser Beharrungsfaktor wirkt in der Widerstandsfunktion multiplikativ auf die t_{Akt} des jeweiligen Verkehrssystems und ist als benutzerdefiniertes Attribut den Streckentypen zugeordnet. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Beharrungsfaktoren bei der Routenwahl.

Straßenklasse der Streckentypen	Lkw-Beharrungsfaktor
Autobahn	0,80
Bundesstraße außerorts	0,90
Rampe Bundesstraße außerorts	1,20
Bundesstraße innerorts	1,25
Rampe Bundesstraße innerorts	1,50
Landesstraße außerorts	1,75
Landesstraße innerorts	1,85
Kreisstraßen außerorts und innerorts	2,00
Gemeindestraße außerorts Hauptstraßen Erschließungsstraßen	2,20
Sonstige Streckentypen	1,00

Tabelle 56: Lkw-Beharrungsfaktoren

Aufgrund festgestellter räumlicher Clusterungen von Zählstellen mit Über- und Unterschreitung wurden intensive Auswertungen der zweckfeinen Verkehrsverflechtungen im Modell vorgenommen

und mit empirischen Daten (z. B.) Pendlerstatistik abgeglichen. Auffällige Abweichungen wurden durch Korrekturen an den Strukturdaten beseitigt.

- Analyse von Strecken mit sehr großen Unterschieden zwischen Zählwert und Modellwert und gegebenenfalls Korrektur von Netzelementen oder Zählstellen-Lage
- Kritische Revision der Zählzeiten und Ausschluss von nicht plausiblen Zählzeiten:

Unplausible Zählzeiten wurden aus der Modellkalibrierung ausgeschlossen. Zudem wurden die Lage der Zählstellen dahingehend geprüft, ob sie sich innerhalb von Verflechtungsbereichen von BAB- und Bundesstraßen befinden. Diese Zählstellen weisen grundsätzlich größere Unsicherheiten in Hinblick auf die erfassten Verkehrsmengen auf, da nicht bekannt ist, ob und in welchem Umfang z. B. der Verkehr von Auf- und Abfahrten bzw. auf Verflechtungstreifen mit erfasst wurde.

- Identifikation der Strecken mit Konvergenzproblemen und gegebenenfalls Korrektur von Netzelementen.
- Prüfung der Belastungen auf ausgewählten Straßenzügen (z.B. A5 LG Hessen – LG Schweiz, A6 LG Hessen – LG Bayern, A8 Karlsruhe – LG Bayern)

Mit den oben genannten Kalibrierungsarbeiten wurde ein Modellzustand erzielt, der bereits eine gute Übereinstimmung mit den Validierungszielgrößen erreicht. Die Streckenbelastungen für den Leichtverkehr im Verkehrsmodell setzen sich aus den Umlegungsergebnissen verschiedener Nachfragesegmente zusammen. Neben dem vom Verkehrsmodell berechneten Binnenverkehr werden externen Matrizen umgelegt, die den Quell-, Ziel-, Durchgangsverkehr der Pkw und Nutzfahrzeuge enthalten sowie externe Matrizen für den (Personenwirtschaftsverkehr). Die externen Matrizen wurden aus übergeordneten Planungen (z. B. Bundesprognose 2040) abgeleitet. Die Granularität und die Rahmenbedingungen weichen in den übergeordneten Planungen vom LVM-BW in Teilen ab. Entsprechend können die daraus abgeleiteten Verkehrsverflechtungen nur bedingt in Einklang mit den hohen Anforderungen an die Qualität des Umlegungsergebnisses des LVM-BW gebracht werden. Aus diesem Grund wurden in einer zweiten Kalibrierungsstufe die externen Matrizen einer automatisierten Matrixanpassung unterzogen, welche neben dem Erreichen einer höheren Übereinstimmung mit den Zählzeiten auf einen möglichst kleinen Eingriff in die Matrixstruktur abstellt.

Die Arbeitsschritte dabei sind:

- Auswahl der Zählzeiten. Es werden nur die Zählzeiten für die Matrixanpassung verwendet, die im Rahmen der kritischen Revision der Zählstellen als belastbar eingestuft wurden
- Bestimmung der Nachfragesegmente: Im MIV wird die Matrixkorrektur mit Hilfe der Summe der externen Matrizen aus LFZ, QZD PPS und Pkw-Wirtschaftsverkehr durchgeführt
- Methode und Parametrisierung der Matrixanpassung: Die Matrixkorrektur findet mit Hilfe der Methode „Kleinste Quadrate“ statt. Die maximal zulässige Abweichung zwischen Modell- und Zählzeiten wird iterativ festgelegt.
- Prüfung der Matrixanpassungen und Übertragung der Matrixanpassungen in eine Korrekturmatrix für die Übernahme in das Prognosemodell

9.7.3 Validierungsergebnisse Umlegung MIV

Die Validierungsergebnisse der Kalibrierung sind im Dashboard zu finden. Die relevanten Arbeitsblätter für die MIV-Umlegung sind: „71 ZS Kfz“, „71 ZS SV“, „71 ZS LV“ und „71 ZS Autobahnzüge“.

Zur besseren Veranschaulichung sind die Ergebnisse jeweils in Form von Streudiagrammen dargestellt – getrennt nach allen Kraftfahrzeugen, Leichtverkehr und Schwerverkehr. Die X-Achse zeigt die Zählwerte, die Y-Achse die Modellwerte. In Grün sind die Zählstellen dargestellt, die den SQV-Zielwert von 0,8 erreicht haben. In Blau und Gelb sind jene Zählstellen markiert, die diesen Zielwert nicht erreichen; dabei stehen die gelb gefärbten Punkte für innerörtliche Zählstellen.

Die Abbildung 82 zeigt die Übereinstimmung von Modell- und Zählwerten nach den Kalibrierungsmaßnahmen und vor der Matrixkorrektur (s. Kapitel 9.7.2).

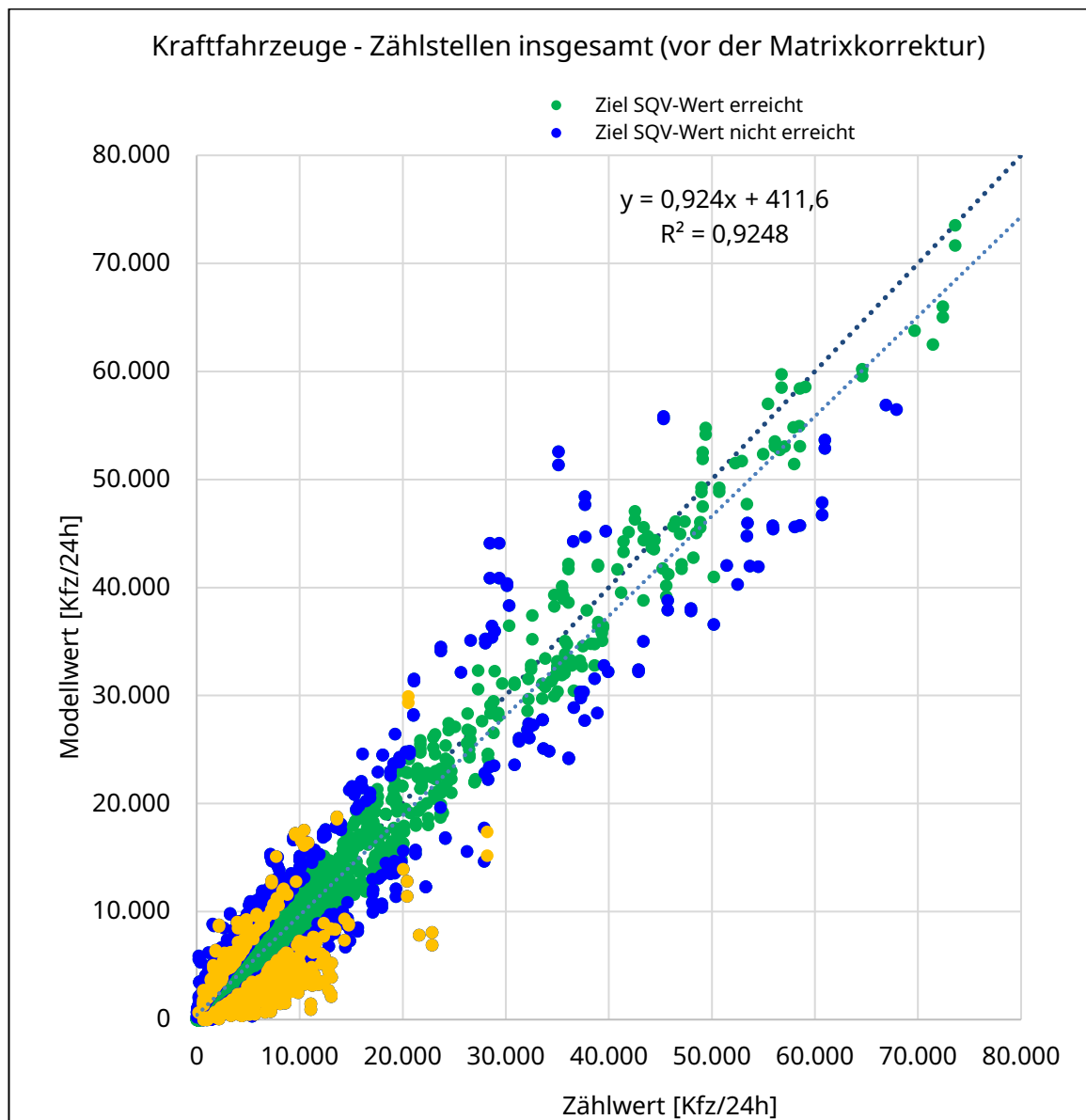


Abbildung 82: Übereinstimmung der Modellwerte mit den Zählwerten vor der Matrixkorrektur [Kfz/24h]

Die Abbildung 83 zeigt die Übereinstimmung von Modell- und Zählwerten nach der Matrixkorrektur. Die Darstellung macht deutlich, dass dadurch eine größere Anzahl an Zählstellen den SQV-Zielwert erreicht.

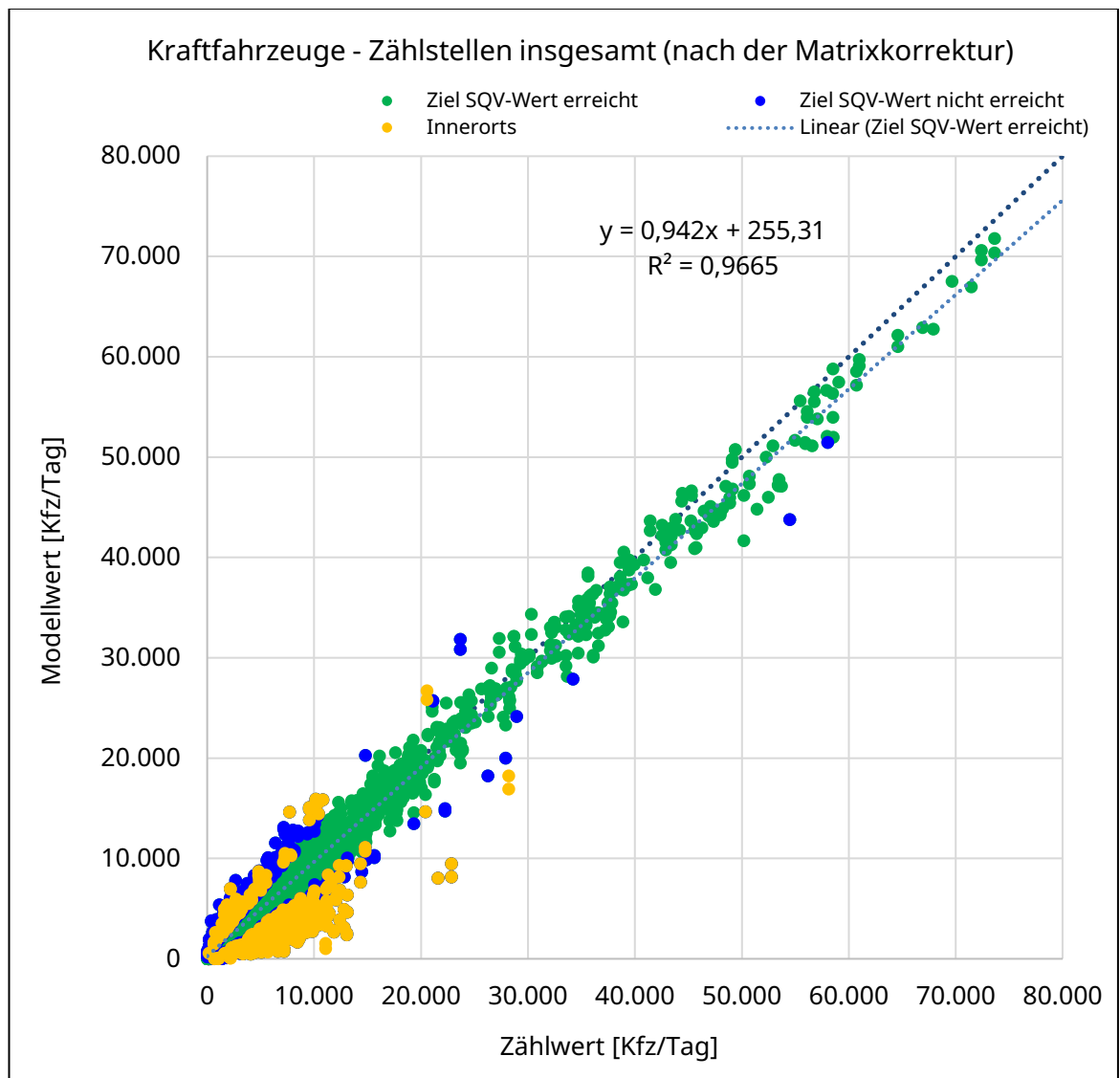


Abbildung 83 Übereinstimmung der Modellwerte mit den Zählwerten nach der Matrixkorrektur [Kfz/24h]

Außerdem befindet sich im Dashboard im Blatt „71 ZS Autobahnzüge“ eine Auswertung der Dauerzählstellen entlang der Bundesautobahnen. Eine beispielhafte Darstellung für die A7 ist in Abbildung 84 zu sehen.

Das Diagramm zeigt Modellwerte (in blauen Tönen) und Zählwerte (in orangenen Tönen) für die einzelnen Dauerzählstellen im Abschnitt zwischen der Landesgrenze BY (Nord) und der Landesgrenze BY (Süd) – jeweils für beide Fahrtrichtungen. Die Zählstellen sind nummeriert (Spalte D „A-ZÜGE“) nach dem folgenden Schema: Nummer der Bundesautobahn (1 oder 2 Zeichen), Richtungskennung (1 oder 2) und laufende Nummer (xx). In der Spalte H „AUSWERTUNG_KOMMENTAR“ sind mögliche Gründe für größere Abweichungen zwischen Modell- und Zählwerten angegeben.

Im Dashboard sind darüber hinaus auch folgende Autobahnabschnitte dargestellt:

- A5 LG Hessen – LG Schweiz
- A6 LG Hessen – LG Bayern
- A8 Karlsruhe – LG Bayern
- A81 Würzburg – LG Schweiz
- A96 LG Bayern – LG Schweiz

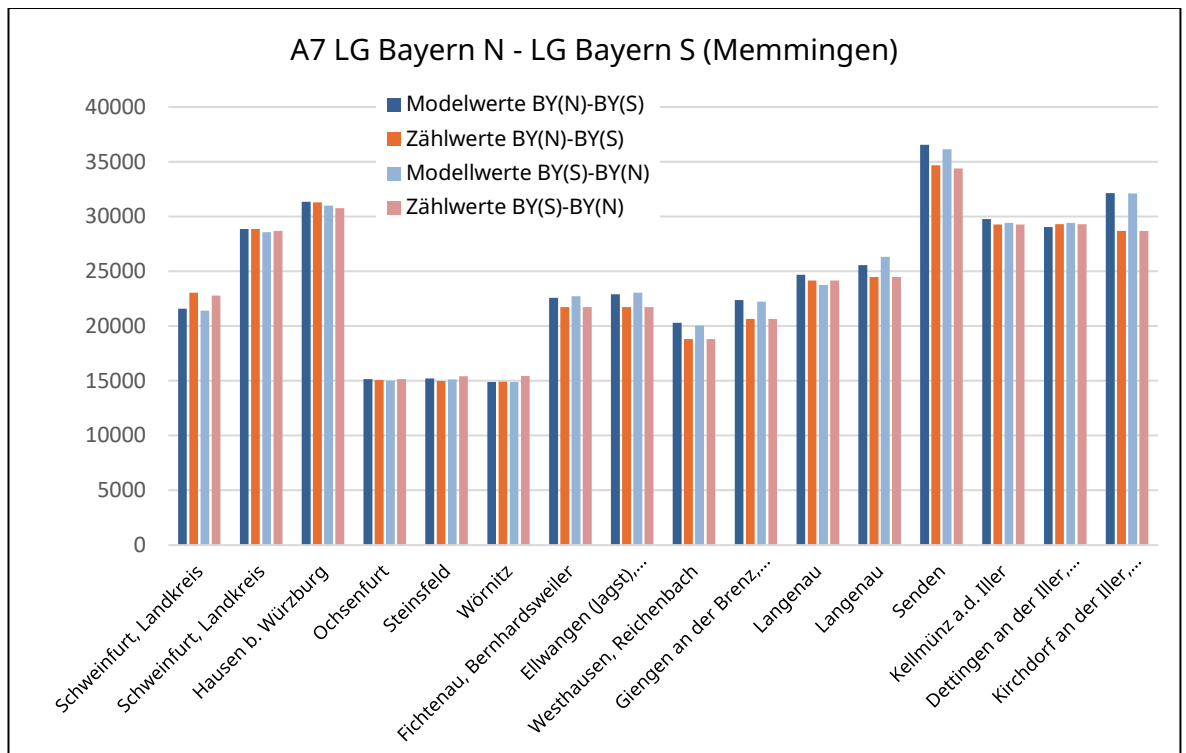


Abbildung 84: Gegenüberstellung der Modellwerte und Zählwerte der Dauerzählstellen entlang der A7 [Kfz/24 h]

Die Überprüfung der Modellgenauigkeit erfolgt unter anderem mithilfe des SQV-Wertes. Gemäß der Leistungsbeschreibung soll der SQV-Wert bei mindestens 85% der Zählstellen größer als 0,8 sein. Die Tabelle 57 zeigt die Ergebnisse der Güteprüfung anhand der SQV-Berechnung. Durch die Kalibrierungsmaßnahmen konnte bei 78% der Zählstellen (Kfz) ein SQV-Wert von mindestens 0,8 erreicht werden, was die Zielvalidierungsgröße nicht erreicht. Nach der Anwendung der Matrixkorrektur konnte der Wert auf 87% verbessert werden.

Rund 3% der Zählstellen (entspricht ca. 350) weisen den SQV-Wert unter 0,7 auf. Davon liegen ca. 100 Zählstellen nur knapp drunter (SQV zwischen 0,68 und 0,69). Weitere 34 Zählstellen befinden sich in Rampenbereichen, bei denen die Genauigkeit der Position und der Zählzeiten schwer zu prüfen ist. Die verbleibenden Zählstellen liegen entweder innerorts oder an Stellen, deren gezählte Verkehrsstärke für ein Landesmodell nicht signifikant ist.

SQV	Vor der Matrixkorrektur			Nach der Matrixkorrektur der QZD- und Pkw-Wirtschaftsverkehre		
	Kfz	LV	SV	Kfz	LV	SV
$\geq 0,8$	78%	77%	95%	87%	87%	95%
$< 0,8, \geq 0,7$	22%	23%	5%	13%	13%	5%
$< 0,7$	6%	7%	1%	3%*	3%*	1%*

Tabelle 57: Erreichung der SQV-Zielwerte im MIV

9.8 Umlegung Rad

Für die Umlegung des Radverkehrs lagen keine Zielwerte vor. Eine Validierung wurde daher in Form von Plausibilisierung folgender Aspekte durchgeführt:

- Optische Prüfung des Umlegungsergebnisses in der Gesamtschau und differenziert nach Einfluss- und Planungsraum.
- Stichprobenartige Prüfung der resultierenden Routenverläufe.
- Landkreisfeine Überprüfung der maximalen Streckenbelastungen.

9.9 Umlegung ÖV

9.9.1 Zähldatenmanagement ÖV

Datengrundlage

Durch den Auftraggeber wurden RES-Daten zu Ein- und Aussteigern an Haltestellen und Querschnittsbelastungen zur Verfügung gestellt. Folgende Datensätze bezüglich der **Ein- und Aussteiger je Haltestelle** lagen vor:

- S-Bahn Stuttgart:
 - Ein- und Aussteiger (getrennt) und Anz. gezählte Fahrten
 - für einem mittleren Werktag im Jahr 2019
 - Daten zu 83 Haltestellen
- SPNV ohne S-Bahn Stuttgart⁹:
 - Ein- und Aussteiger (getrennt)

⁹ Im Folgenden in diesem Kapitel vereinfacht als SPNV bezeichnet

- für einen mittleren Werktag im Jahr 2019
- Daten zu 896 Haltestellen
- SPNV:
 - Ein- und Aussteiger (getrennt) je Linie (129 Linien der Zuggattungen IRE, MEX, RB, RE, RS, S)
 - für einen mittleren Werktag im Oktober 2022
 - Daten zu 1105 Haltestellen
- SPNV:
 - Ein- und Aussteiger je Linie (111 Linien der Zuggattungen IRE, MEX, RB, RE, RS, S)
 - für einen mittleren Werktag im Mai 2023
 - Daten zu 1.197 Haltestellen

Folgende Datensätze bezüglich **Querschnittsbelastungen** lagen vor:

- S-Bahn Stuttgart:
 - Querschnittsbelastungen (für Hin- und Rückrichtung getrennt)
 - für einen mittleren Werktag im Jahr 2019
 - Daten zu 84 Querschnitten
- SPNV:
 - Querschnittsbelastungen (Summe Hin- und Rückrichtung) je Zuggattung (IRE, RE, RB, S)
 - für einen mittleren Werktag in den Jahren 2018 und 2019
 - Daten zu 931 Querschnitten
 - Kommentare zu einzelnen Querschnitten
- SPNV:
 - Querschnittsbelastungen (Summe Hin- und Rückrichtung)
 - für einen mittleren Werktag im Jahr 2022
 - Daten zu 945 Querschnitten
 - Kommentare zu einzelnen Querschnitten

Verwendete Zählzeiten

Ein Verkehrsnachfragemodell wird u.a. anhand der ÖV-Zählwerte validiert. Für die Validierung des LVM-BW werden nach Möglichkeit Zählzeiten von 2019 verwendet, da dies dem Analysejahr entspricht. Für die Haltestellen-Zählzeiten des SPNV werden die Daten von 2022 verwendet, da hier bekannt ist, welche Linien gezählt wurden. Folgende Daten werden somit genutzt:

- S-Bahn Stuttgart, Mittelwert Ein- und Aussteiger je Haltestelle, 2019
- SPNV, Mittelwert Ein- und Aussteiger je Haltestelle, Oktober 2022
- S-Bahn Stuttgart, Belastung Mittelwert aus Hin- und Rückrichtung auf Querschnitt, 2019
- SPNV, Belastung Mittelwert aus Hin- und Rückrichtung auf Querschnitt, 2019

Die verwendeten Daten weichen in Teilen von den in der Leistungsbeschreibung benannten Ziel-daten ab.

- Erstens sieht das Konzept vor, anstatt der in der ursprünglichen Einsteiger je Linie (Linienbeförderungsfälle) die Ein- und Aussteiger auf Ebene der Haltestellen als Kontrollmaß heranzuziehen, da nur dafür Zähl-daten vorliegen.
- Zweitens ist die Validierung auf den SPNV beschränkt, die Belastungen bei Bus- und Tram-verkehren werden nicht validiert, da hier keine Vergleichsdaten zur Verfügung gestellt wurden und die Granularität des Modells für den Busverkehr keine zuverlässigen Aussagen zulässt.

Drittens liegen keine Stundenwerte für den ÖPNV vor, weshalb nur die durchschnittlichen Ta-geswerte als Validierungsgröße betrachtet werden.

Zuordnung zu Modellwerten

Die Zuordnung der Zähl-daten erfolgte über die Haltestellen-Namen aus den Zähl-daten und aus dem Modell, da keine eindeutige Kennung in den Zähl-daten enthalten war. Die Zuordnung musste somit manuell erfolgen. Für die Querschnittsbelastungen wurde ebenfalls anhand der Von- und Nach-Haltestellen-Namen manuell eine passende Strecke im Modell identifiziert.

Für den SPNV wurden entsprechend der vorliegenden Daten die Bezugswerte aus dem Modell hergeleitet. Für die Querschnittswerte liegen betriebszweigfeine Daten vor – es werden in der Vali-dierung nur die Modellbelastungen verglichen, die in den Zähl-daten enthalten sind. Für die Ein- und Aussteiger lagen die Zähl-daten linienfein vor – es werden in der Validierung nur die Modell-werte von Linien verglichen, die einer Linie der Zähl-daten zugeordnet werden konnten.¹⁰

In Tabelle 58 ist die Anzahl der vom AG zur Verfügung gestellten Datensätze der Anzahl der zu-ordenbaren Datensätze gegenübergestellt.

¹⁰ Die Zuordnung der Linien aus den Zähl-daten zu den modellierten Linien war nur über die Liniennamen möglich. So konnten 96 % der Zähl-daten verwendet werden.

Zählzeiten-Set	Verfügbare Datensätze	Zugeordnete Datensätze
S-Bahn Stuttgart, Mittelwert Ein- und Aussteiger je Haltestelle, 2019	83	83
SPNV, Mittelwert Ein- und Aussteiger je Haltestelle, Oktober 2022	1.105	1.056
S-Bahn Stuttgart, Belastung Mittelwert aus Hin- und Rückrichtung auf Querschnitt, 2019	84	84
SPNV, Belastung Mittelwert aus Hin- und Rückrichtung auf Querschnitt, 2019	945	908

Tabelle 58: Zuordenbare Datensätze aus den Zählzeiten

Sofern sich die Zählwerte der S-Bahn Stuttgart und des SPNV auf denselben Bahnhof bzw. denselben Querschnitt beziehen, werden die Zählwerte und Modellwerte aufsummiert und das Modell anhand der jeweiligen Summen validiert.

Die Zahl der zuordenbaren Haltestellen und Querschnitten, die im Modell mit Zählwerten versehen sind, sind in Tabelle 59 vermerkt (Zuordenbare Datensätze). Diese Datensätze wurden in einem ersten Schritt hinsichtlich ihrer räumlichen Lage (liegt in BW) und der Kommentare der SPNV-Querschnittsdaten plausibilisiert. Eine große Zahl der Bahnhöfe, für die Zählzeiten zur Verfügung gestellt wurden, liegt außerhalb BW (216 Datensätze). Nach Ausschluss dieser offensichtlich nicht nutzbaren Daten verblieben die in Tabelle 59 vermerkten Datensätze (Datensätze nach Plausibilisierung).

Zählzeiten-Set	Zugeordnete Datensätze	Datensätze nach Plausibilisierung
Ein- und Aussteiger, SPNV + S-Bahn Stuttgart	1.102	907
Querschnitte, SPNV + S-Bahn Stuttgart	976	919

Tabelle 59: Anzahl aggregierter Datensätze

Zielkriterium der Validierung

Auf alle Zielwerte wird zunächst das in der Leistungsbeschreibung geforderte Zielkriterium von einem SQV mit $f = 10.000 > 0,8$ für 85 % der Zählzeiten angewandt. Diese Zielwerte werden entsprechend der Beschreibung in den folgenden Kapiteln anhand der Datenqualität teilweise angepasst.

Bewertung der Zählzeiten

Methodik

Im Rahmen des Zählstellenmanagements werden die Zählzeiten vor der Validierung im Hinblick auf ihre Eignung für die Zwecke der Validierung geprüft. Die Eignung kann dadurch eingeschränkt sein, dass die Daten selbst mit einer Unsicherheit behaftet sind (z.B. aufgrund einer geringen Stichprobengröße) oder dass die Realität, für die die Daten Gültigkeit haben, nicht mit der Situation, die im Verkehrsmodell abgebildet, übereinstimmt (z.B. generelle strukturelle Abweichungen oder konkrete netzbezogene Unterschiede wie Baustellen und Ersatzverkehre auf einzelnen Linien aufgrund eines zeitlichen Versatzes zwischen Datenerhebung und Modellstand).

Bezüglich der generellen Unsicherheiten in den Zählwerten liegen keine direkten Informationen vor. Als Hinweis können deutliche Unterschiede zwischen Ein- und Aussteigern bzw. Belastungen in Hin- und Rückrichtung dienen.

Für die Validierung des LVM-BW stellt insbesondere der zeitliche Versatz zwischen modelliertem Angebot (Netzstand Schiene 08.11.2022 und Netzstand Busverkehre 16.03.2023) und dem eigentlichen Analysefall (Jahr 2019) eine Herausforderung dar. Deutliche Unterschiede der Zähldaten aus den Jahren 2018 und 2019 zu den Daten aus den Jahren 2022 und 2023 können ein Hinweis sein, dass sich das Verkehrsangebot oder die Siedlungsstruktur zwischen 2018/19 und 2022/23 maßgeblich geändert hat.

Um die Eigenschaften der Zähldaten zu berücksichtigen, wird folgende Vorgehensweise gewählt:

- Die beschriebenen Eigenschaften werden als Indikatoren formuliert.
- Die Indikatoren werden gewichtet zusammengefasst und in eine Qualitätsklasse (1 – 4) überführt.
- Jeder Qualitätsklasse wird ein Toleranzbereich für die Berechnung des SQV-Wertes zugeordnet.

Indikatoren

In Tabelle 60 sind die Indikatoren für die Ermittlung der Zählstellenqualität aufgeführt. Für drei der vier Zähldaten-Quellen wurden jeweils zwei Indikatoren gebildet, für die Querschnittsdaten des SPNV wird nur ein Indikator genutzt. In der Spalte „gew. Mittel“ in Tabelle 60 ist der über die Zählwerte an der jeweiligen Haltestelle bzw. dem jeweiligen Querschnitt gewichtete Mittelwert des Indikators angegeben.

Die Abweichungen in den Zählwerten zwischen Analysejahr und Fahrplanstand liegen nicht für alle Datensätze vor. Sofern keine Information vorlag, wurde für die Bewertung eine Abweichung von 10 % angenommen. Für die S-Bahn Stuttgart liegt die Information grundsätzlich nicht vor. Für SPNV-Datensätze fehlt die Information, wenn für eines der beiden Jahre keine Daten verfügbar waren (169 SPNV-Haltestellen und 78 SPNV-Querschnitte). Dies gilt jedoch tendenziell für kleinere Zählwerte, weshalb sich das gewichtete Mittel unter Berücksichtigung dieses Kriteriums kaum verändert (Werte in Klammern unter „gew. Mittel“ in Tabelle 60).

Zählzeiten	Indikator	Berechnung	gew. Mittel
S-Bahn Stuttgart Ein- und Aussteiger	Einsteiger vs. Aussteiger	$\frac{Max(Ein; Aus)}{Avg(Ein; Aus)} - 1$	3,0 %
S-Bahn Stuttgart Ein- und Aussteiger	Zughalte Modell vs. Zughalte Zählwerte	$Abs\left(\frac{Halte_Mod}{Halte_Zaehl} - 1\right)$	17,5 %
SPNV Ein- und Aussteiger	Einsteiger vs. Aussteiger	$\frac{Max(Ein; Aus)}{Avg(Ein; Aus)} - 1$	4,8 %
SPNV Ein- und Aussteiger	Zählwerte 2019 vs. Zählwerte 2022	$\frac{Max(ZW_2019; ZW_2022)}{Avg(ZW_2019; ZW_2022)} - 1$	9,7 % (9,7 %)
S-Bahn Stuttgart Querschnitte	Hinrichtung vs. Rückrichtung	$\frac{Max(Hin; Rück)}{Avg(Hin; Rück)} - 1$	2,2 %
S-Bahn Stuttgart Querschnitte	Zughalte Modell vs. Zughalte Zählwerte	$Abs\left(\frac{Halte_{Mod_{VonHst}} + Halte_{Mod_{NachHst}}}{Halte_{Zaehl_{VonHst}} + Halte_{Zaehl_{NachHst}}} - 1\right)$	17,4 %
SPNV Querschnitte	Zählwerte 2019 vs. Zählwerte 2022	$\frac{Max(ZW_2019; ZW_2022)}{Avg(ZW_2019; ZW_2022)} - 1$	6,5 % (6,6 %)

Tabelle 60: Indikatoren der Zählstellenqualität

Gewichtung und Qualitätsklassen

Die einzelnen Indikatoren für die einzelnen Datensets werden gleichgewichtet miteinander verrechnet (beispielsweise wird für die Ein- und Aussteiger im SPNV der Mittelwert aus dem Indikator „Einsteiger vs. Aussteiger“ und dem Indikator „Zählwerte 2019 vs. Zählwerte 2022“ gebildet). Die Indikatoren für S-Bahn Stuttgart und SPNV o Stu werden über die Zählzeiten gewichtet zu einem Gesamt-Indikator verrechnet.

Das Ergebnis der Zusammenfassung ist in Tabelle 61 dargestellt. Darauf aufbauend wurde die Einteilung in die Qualitätsklassen vorgenommen. Folgende Einteilung wurde festgelegt:

- Gesamtindikator < 10%: Qualitätsklasse 1
- Gesamtindikator < 25%: Qualitätsklasse 2
- Gesamtindikator < 50%: Qualitätsklasse 3
- Gesamtindikator >= 50%: Qualitätsklasse 4

Gesamtindikator		Haltestellen		Querschnitte	
...größer gleich	...kleiner	Anzahl Datensätze	Anteil je Qualitätsklasse	Anzahl Datensätze	Anteil je Qualitätsklasse
0%	5%	246	Klasse 1: 65,3 %	379	Klasse 1: 72,9 %
5%	10%	346		291	
10%	15%	101	Klasse 2: 20,7 %	126	Klasse 2: 22,4 %
15%	20%	47		58	
20%	25%	40		22	
25%	30%	35	Klasse 3: 11,4 %	13	Klasse 3: 4,1 %
30%	35%	23		13	
35%	40%	21		4	
40%	45%	13		5	
45%	50%	11		3	
50%	55%	5	Klasse 4: 2,6 %	3	Klasse 4: 0,5 %
55%	60%	3		0	
60%	65%	2		1	
65%	70%	2		0	
70%	75%	7		1	
75%	80%	1		0	
80%	85%	1		0	
85%	90%	1		0	
90%	95%	0		0	
95%	100%	2		0	

Tabelle 61: Resultat der Zusammenfassung zu einem Gesamtindikator

Nach der Bewertung können im Zuge der Validierung aufgrund individueller Situationen weitere Zählstellen markiert werden, die in der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Diese wird zur Nachvollziehbarkeit in einem dafür angelegten BDA vermerkt.

Zuordnung Toleranzbereich

Die Toleranzbereiche orientieren sich jeweils an der Untergrenze des jeweiligen Gesamtindikator-Bereichs. Die Ausnahme stellt die Qualitätsklasse 4 dar. Bei einem Gesamtindikator $\geq 50\%$ Unsicherheit, wird davon ausgegangen, dass der Zählwert nicht genutzt werden kann, weshalb dieser komplett aus der Betrachtung ausgeschlossen wird.

- Qualitätsklasse 1: kein zusätzlicher Toleranzbereich für den SQV
- Qualitätsklasse 2: Toleranzbereich von +/- 10 %
- Qualitätsklasse 3: Toleranzbereich von +/- 25 %
- Qualitätsklasse 4: Ausschluss des Zählwerts

9.9.2 Kalibrierung Umlegung ÖV

Die Kalibrierung der ÖV-Umlegung basierte maßgeblich auf der Überprüfung der Zählstellendaten sowie Plausibilisierungen anhand von Auslastungsgraden der ÖV-Verkehrsmittel (insbesondere für den Fernverkehr aus dem Außenraum).

Für die Kalibrierung wurden primär Zählraten aus dem Jahr 2019 genutzt, lediglich bei Ein- und Aussteigern im SPNV wurden Daten aus dem Jahr 2022 genutzt, da hier eine linienfeine Zuordnung vorlag (siehe Kapitel 9.9.1). Die ÖV-Nutzung ging nach 2019 aufgrund der Covid-Pandemie generell zurück und hatte sich im Jahr 2022 auch noch nicht komplett erholt. Nach VDV-Statistik lagen die Fahrgastzahlen im Jahr 2022 gegenüber dem Jahr 2019 rund 10 % niedriger. Bei der Kalibrierung wurde diese Abweichung im Gesamtniveau berücksichtigt. Ziel war es, die aus dem Jahr 2019 stammenden Zählraten im Mittel genau zu treffen, während die SPNV-Zählraten für Ein- und Aussteiger in einer Größenordnung von 10 % unter dem Modellniveau liegen sollten. Auf Ebene der Einzelzählstellen wird diese mögliche Abweichung bereits in den Toleranzbereichen zur Berechnung der SQV-Zielwerte berücksichtigt (siehe Kapitel 9.9.1).

Bestandteil der Umlegungskalibrierung ist, die Umlegungsparameter einzustellen. Dabei wurde grundsätzlich auf eine einheitliche Parametrisierung zwischen Verbindungssuche, Verbindungswahl und der Bewertung in der Kenngrößen in der Ziel- und Moduswahl abgezielt. Die final gewählte Parametrisierung ist für die Verbindungssuche in Abbildung 40, für die Verbindungswahl in Abbildung 41 im Kapitel 6.9 dargestellt.

Darüber hinaus wurden unterschiedliche Netzkorrekturen vorgenommen, die durch Abweichungen zwischen den Zählstellen und generelle Probleme bei der Umlegungsrechnung im Kalibrierungsprozess aufgefallen waren. Folgende Schritte wurden vorgenommen:

- Die Anbindungen generell neu gesetzt und mit neuen Anbindungszeiten bespielt, da festgestellt wurde, dass die alte Anbindungsmethode in Teilen zu viele Anbindungen verursachte. Die finale Beschreibung der Anbindungsmethodik findet sich in Kapitel 6.5.
- Netzkorrekturen eingeführt, um einen möglichst baustellenfreien Zustand herzustellen.
- Zählraten aussortiert, die durch den Abgleich mit den berechneten Belastungen auffielen und deren Ausschluss netz- und angebotsseitig begründbar war.

In Rückkopplung mit der Kalibrierung des Nachfragemodells wurde die Bewertung der ÖV-Kenngrößen mehrfach angepasst. Insbesondere die Bewertungsfunktion der Bedienungshäufigkeit und der Umsteigewartezeit wurde neu eingestellt.

Die ÖV-QZD-Verkehre im LVM-BW wurden aus der Bundesverkehrsprognose entnommen. Für den Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) standen allerdings keine Zählraten zur Verfügung. Um dennoch prüfen zu können, dass die QZD-Verkehre im ÖV in einer realitätsnahen Größenordnung liegen, wurden die SPFV-Streckenbelastungen an den Untersuchungsraum-Außengrenzen mit den Platzkapazitäten verglichen. Dabei wurden an mehreren Stellen unplausibel hohe Belastungen festgestellt, weshalb eine automatisierte Matrixkorrektur der ÖV-QZD-Matrix vorgenommen wurde.

Für die Matrixkorrektur wurden alle Schienenfernverkehrs-Querschnitte an den Untersuchungsraum-Außengrenzen einbezogen, die in Deutschland und Frankreich verortet sind. Die SPFV-Strecken an den Untersuchungsraum-Außengrenzen innerhalb der Schweiz konnten nicht verwendet werden, weil hier ein maßgeblicher Teil der Verkehrsnachfrage Schweiz-Binnenverkehre sind und diese in der QZD-Matrix nicht enthalten sind.

Da für den Fernverkehr keine Zählwerte vorliegen, wurde der Zielkorridor der Matrixkorrektur in Abhängigkeit von der Sitzplatzauslastung gewählt:

- Untergrenze des Zielkorridors: 50% Sitzplatzauslastung (Tagesmittelwert am Querschnitt)
- Obergrenze des Zielkorridors: 100% Sitzplatzauslastung (Tagesmittelwert am Querschnitt)

Nach Matrixkorrektur liegen alle einbezogenen SPFV-Strecken innerhalb des Zielkorridors. Der Eckwert der QZD-Verkehrsnachfrage reduziert sich durch die Matrixkorrektur um 15 %.

9.9.3 Validierungsergebnisse Umlegung ÖV

Für den Öffentlichen Verkehr wurden die Modellergebnisse mit Erhebungsdaten auf Querschnitts- und Haltestellenebene verglichen (Datengrundlage siehe Kapitel 9.9.1).

Bei den Querschnitten wird für 88,6 % der Messpunkte ein SQV-Wert $> 0,8$ erreicht. Die Anzahl der Messpunkte mit zu hohen und zu niedrigen Modellwerten sind gleichmäßig verteilt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 85 als Streudiagramm aufgetragen.

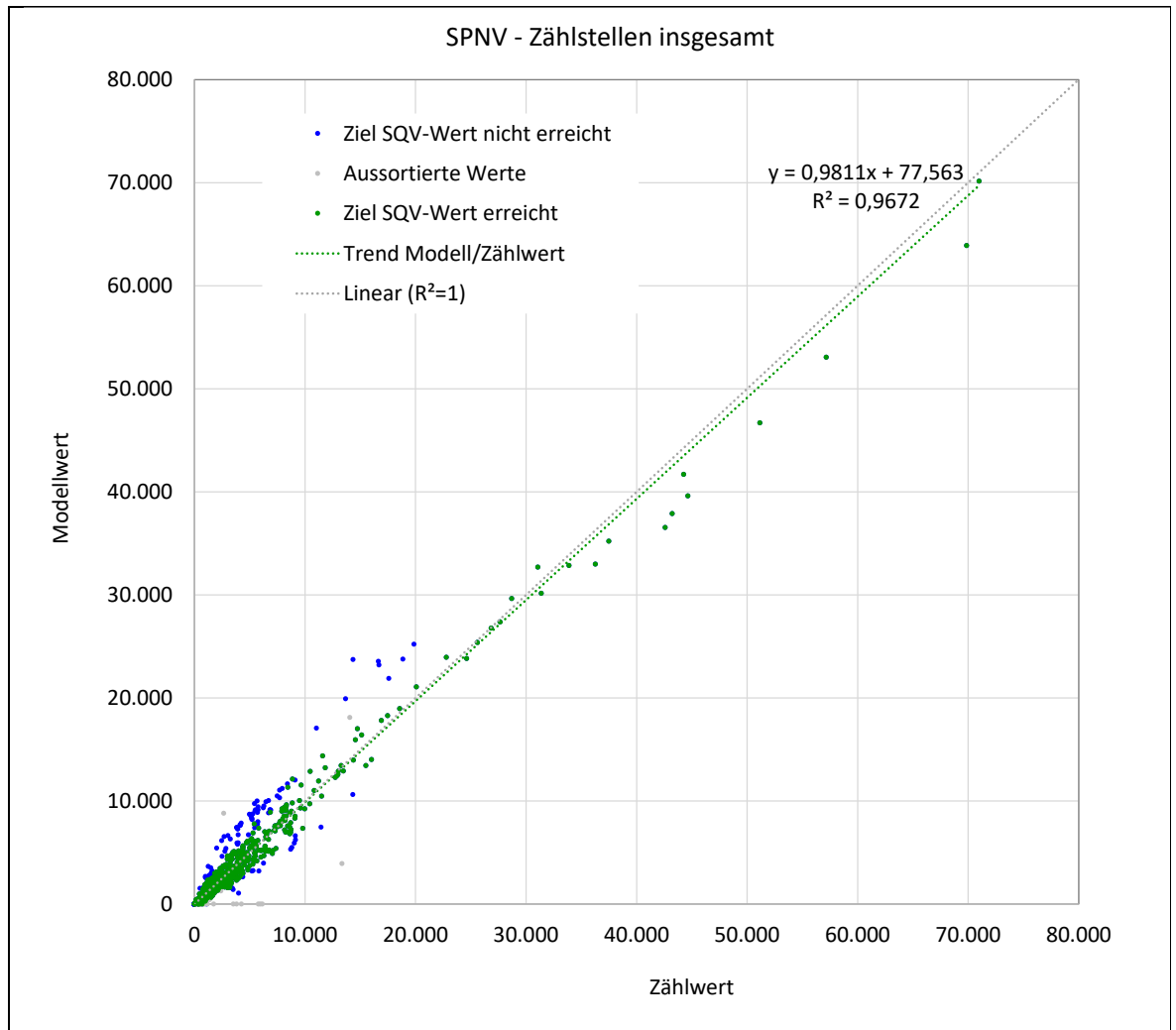


Abbildung 85: ÖV-Zählwerte vs. Modellwerte für Querschnitte

Bei den Haltestellen wird für 79,2 % der Messpunkte ein SQV-Wert $> 0,8$ erreicht. Rund 70 % der Messpunkte weisen einen zu hohen Modellwert auf. Dies liegt insbesondere daran, dass die SPNV-Zählwerte aus dem Jahr 2022 stammen, in dem noch keine vollständige Erholung nach dem Einbruch der Fahrgastzahlen aufgrund der Covid-Pandemie erfolgt war. Die Ergebnisse sind in Abbildung 86 als Streudiagramm aufgetragen.

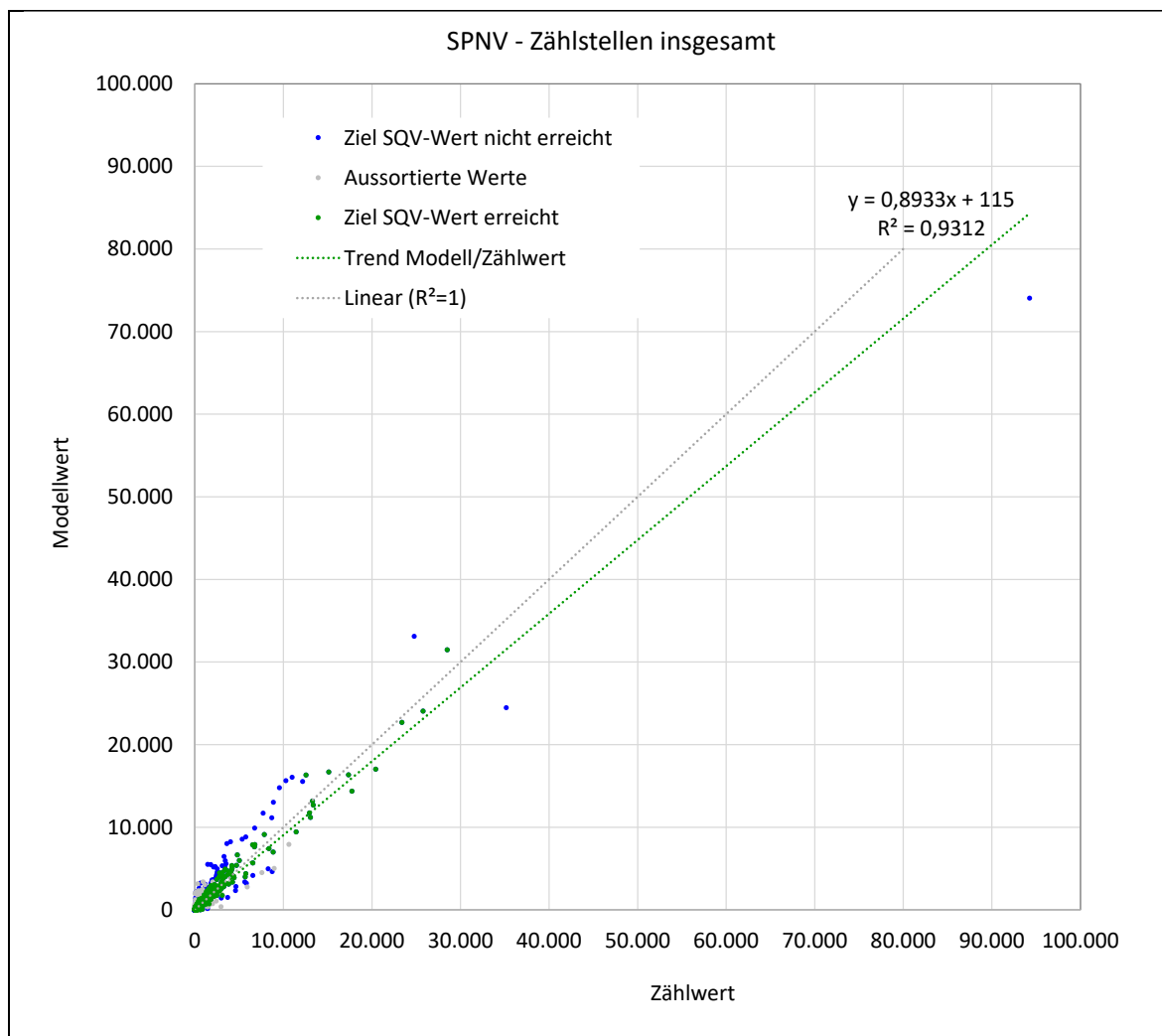


Abbildung 86: ÖV-Zählwerte vs. Modellwerte für Haltestellen

Tabelle 62 zeigt die Ergebnisse der Güteprüfung anhand der SQV-Berechnung.

SQV	Querschnitte	Haltestellen
$\geq 0,9$	59,1%	53,5%
$< 0,9, \geq 0,8$	29,5%	25,8%
$< 0,8, \geq 0,7$	8,8%	12,3%
$< 0,7$	2,6%	8,4%

Tabelle 62: Erreichung der SQV-Zielwerte im ÖV

Es gibt 26 Querschnittsmesspunkte und 73 Haltestellenmesspunkte mit einem SQV $< 0,7$. Bei Betrachtung der einzelnen Messpunkte fällt auf, dass ausschließlich an zwei Haltestellen zu geringe Modellwerte vorliegen. Dabei handelt es sich um den Hauptbahnhof in Stuttgart und den Hauptbahnhof in Singen (Hohentwiel). Die 26 Querschnittsmesspunkte verteilen sich auf sechs Streckenabschnitte im Netz. Ein Großteil der Haltestellen, die einen zu hohen Modellwert aufweisen, haben

geringe Ein- und Aussteigerzahlen als Zählwerte (17 Stück < 100 Personen am Tag, 50 Stück < 500 Personen am Tag). Es sind jedoch auch die Hauptbahnhöfe der Städte Mannheim und Pforzheim darunter. Anhand der Überprüfung der Einzelwerte lässt sich kein systematischer Fehler erkennen. Eine mögliche Interpretation der Ergebnisse ist, dass an touristisch relevanten Querschnitten und Umsteigepunkten zu wenig Verkehr stattfindet. Somit könnte es zu einer Verbesserung der Modellergebnisse führen, wenn bei künftigen Modellfortschreibungen ein Tourismusmodell in das LVM-BW integriert wird.

Die Zähldaten wurden auch für Streckenabschnitte überprüft. Beispielhaft sind die Ergebnisse im abschließend kalibrierten Analysefall auf der Filstalbahn in Abbildung 87 dargestellt.

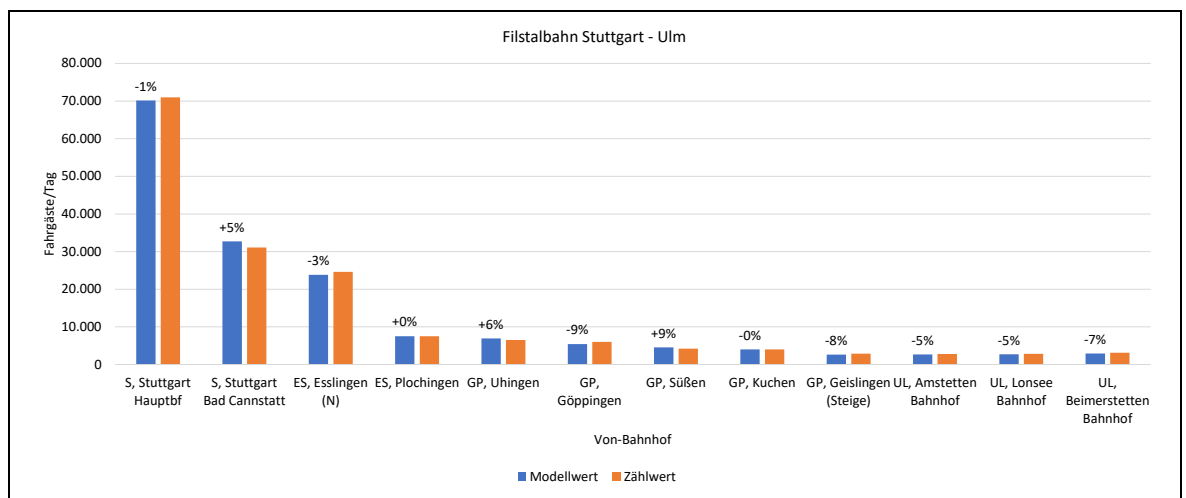


Abbildung 87: Gegenüberstellung der Zählwerte und der Modellwerte auf der Filstalbahn (Analysefall)

9.10 Modellverhalten

9.10.1 Konvergenzverhalten

Das Konvergenzverhalten wird im LVM-BW auf drei Ebenen geprüft:

- Ebene Ziel- und Moduswahl:**
 Für den Konvergenznachweis der Ziel- und Moduswahl werden die Anzahl der notwendigen Iterationsschritte zum Erreichen der vorgegebenen Genauigkeit beim Einhalten der Randsummenbedingungen und des vorgegebenen Modal-Splits betrachtet. Alle Nachfrageschichten benötigen deutlich weniger Schritte als die vorgegebene maximale Schrittzahl von 1.000. Dies kann im Nachfrageschichtattribut „EVA_Verteilung_Moduswahl_Iterationen“ nachvollzogen werden.
- Ebene Angebot und Nachfrage:**
 Für den Konvergenznachweis der Rückkopplungsschleife zwischen Angebot und Nachfrage wird die Differenz des Reziprokes der belastungsabhängigen Pkw-Geschwindigkeit zwischen dem aktuellen Rückkopplungsschritt und dem vorherigen Rückkopplungsschritt gemessen. Die Schleife bricht dann ab, wenn die Differenz der reziproken Geschwindigkeiten für alle Strecken klein genug ist. Die Anzahl der sich noch nicht im Gleichgewicht befindlichen Strecken kann in

der Tabelle „Auswertung - Rückkopplungsstatistik“ nachvollzogen werden und ist außerdem im Validierungsexcelsheet protokolliert.

- Ebene Umlegung:

Die finale Analyse-Umlegung des Leichtverkehrs erreicht als Konvergenzkriterium ein relativ GAP von 10-5 nach 90 Iterationsschritten.

9.10.2 Realitätstests

Im Rahmen der Realitätstests wird das Verhalten des Modells bei gezielten Änderungen einzelner Variablen überprüft. Dabei werden Eingangsgrößen kontrolliert variiert, um die Reaktion des Modells zu analysieren. Anschließend wird geprüft, ob die Modellreaktionen den theoretischen Erwartungen entsprechen und mit bekannten Elastizitätswerten aus der Literatur übereinstimmen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das Modell auf Änderungen der Einflussgrößen realitätsgerecht reagiert.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die im Rahmen der Modellvalidierung durchgeführten Realitätstests. Dargestellt sind jeweils die variierte Eingangsgröße sowie die zugehörige Zielkenngröße, für die die Elastizität berechnet wurde. Zudem ist aufgeführt, welche Tests gemäß Leistungsbeschreibung (LB) und gemäß dem Handbuch Modellierung zur modellgestützten Erstellung von Klimamobilitätsplänen (KMP) vorgesehen sind. Ergänzend zu den geforderten Tests wurden weitere Realitätstests durchgeführt, um die Reaktionsfähigkeit des Modells auf Variation von Eingangsgrößen in verschiedene Richtungen und für alle Modi zu prüfen.

Für alle Realitätstests werden Erzeugung, Ziel- und Moduswahl inklusive Nachfragerückkopplung Neuberechnet. Die Rückkopplung wird auf Basis eines befüllten IV-Modells gestartet. Es werden so viele Iterationen durchgeführt, bis die Konvergenzkriterien im IV-Netz erfüllt sind.

Die im Modell erzielten Elastizitäten sind in der folgenden Tabellen zusammengefasst. Die dargestellten Elastizitäten sind nach $\epsilon = \frac{\ln\left(\frac{y_{nachher}}{y_{vorher}}\right)}{\ln\left(\frac{x_{nachher}}{x_{vorher}}\right)}$ berechnet.

Für die erforderlichen Realitätstests sind neben den Elastizitäten weitere erwartete Ergebnisse formuliert. Für diese Realitätstests sind die Ergebnisse im Folgenden ausführlicher zusammengestellt.

Test: Erhöhung der Einwohner um 10%

Für den Realitätstest wird die Anzahl der Personen in jeder Personengruppe um 10% erhöht. Die nach Leistungsbeschreibung erwarteten Ergebnisse werden den erzielten Ergebnissen gegenübergestellt. Die Verkehrsleistung des PKW-Selbstfahrers nimmt wie erwartet um knapp unter 10% zu, da mittlere Reiseweite und PKW-Anteil sinken. Die Elastizität liegt damit für den PKW-Selbstfahrer knapp unter 1.

Erwartete Ergebnisse (LB)	Ergebnis
Zunahme der Verkehrsleistung PPS	+ 8,9%
Rückgang der mittleren Reiseweite PPS	- 0,6 % (10,55 km -> 10,48 km)
Rückgang des Pkw-Anteils	Modal Split PPS 43,0% -> 42,8% Elastizität PPS 0,95

Tabelle 63: Test: Erhöhung der Einwohner um 10% - Geforderte und tatsächliche Ergebnisse

Test: Bedienungshäufigkeit -50%

Die Reduktion der Bedienungshäufigkeit wird im Modell auf Matrixebene umgesetzt. Die Kenngrößenmatrix Bedienungshäufigkeit wird auf allen Relationen um 50% gesenkt. Der erwartete deutliche Rückgang im ÖV tritt ein.

Erwartete Ergebnisse (LB)	Ergebnis
deutlicher Rückgang im ÖV	-30% ÖV-Wege Modal Split ÖV 11,0% -> 7,7%
Weitere Ergebnisse	
Elastizität der ÖV-Wege	0,37

Tabelle 64: Test: Senkung Bedienungshäufigkeit um 50% - Geforderte und tatsächliche Ergebnisse

Test: Variation der ÖV-Nutzungskosten: +50% & - 50%

Um die Modellreaktion auf ÖV-Nutzungskosten zu testen, müssen die Preise für Einzelfahrscheine und Dauerkarten im Modell modifiziert werden. Hierzu werden ÖV-Preismatrizen angepasst und die ÖV-Dauerkartenpreise auf Bezirksebene verändert. Die Kosten werden einmal um 50% erhöht und einmal um 50% gesenkt.

Bei einer Kostensenkung wird nach Leistungsbeschreibung eine Steigerung der ÖV-Nachfrage und eine Zunahme der mittleren ÖV-Reiseweite erwartet. Diese Anforderungen werden erfüllt. Für Klimamobilitätspläne wird eine Elastizität der ÖV-Wegezählung liegt zwischen -0,60 und -0,15 erwartet. Hier liegt die Modellreaktion unterhalb der erwarteten Elastizitätsspanne. Im Zusammenhang

mit der Betrachtung der Verkehrsleistungselastizität, sowie der Reaktion in Gegenrichtung wird das Ergebnis jedoch als hinreichend betrachtet.

	Ergebnis (Kosten -50%)	Ergebnis (Kosten 50%)
Wegeanzahl ÖV	+5 %	- 4,1 %
mittlere Reiseweite ÖV	+5,7% (9,8 km -> 10,4 km)	- 4,3% (9,8 km -> 9,4 km)
Elastizität der ÖV-Wegezahl	-0,07	- 0,1
Elastizität der ÖV-Verkehrsleistung	-0,14	- 0,17

Tabelle 65: Test: Variation der ÖV-Nutzungskosten um +50% und – 50% - Ergebnisse des Modellverhaltens

Test: Variation der MIV-Nutzungskosten: +50% & - 50%

Für diesen Test wird das Netzattribut Entfernungskosten PKW einmal um 50% erhöht und einmal um 50% gesenkt. Die Ergebnisse beider Realitätstests werden gegenübergestellt. Dargestellt sind Entwicklung von Wegeanzahl, Modal Split, Reiseweite, sowie die Fahrleistungselastizität.

Bei einer Erhöhung der Kosten wird nach Leistungsbeschreibung ein Rückgang der PKW-Nachfrage und ein Rückgang der mittleren Reiseweite erwartet. Für Klimamobilitätspläne wird eine Elastizität der PKW-Fahrleistung zwischen -0,45 und -0,30 gefordert. Diese Anforderungen werden vom Modell erfüllt. Bei einer Senkung der Kosten um 50% ist eine entgegengesetzte Modellreaktion zu erwarten. Auch dies wird erfüllt. Zudem sind die liegen Reaktionen in beide Richtungen in einer ähnlichen Höhe.

	Ergebnis (Kosten +50%)	Ergebnis (Kosten -50%)
Wegeanzahl PPS	- 4,9%	+3,6%
Modal Split PPS	43,0% -> 40,9%	43,0% -> 44,5%
mittleren Reiseweite PPS	-10% (10,55 km -> 9,49 km)	+13% (10,55 km -> 11,92 km)
Elastizität der Pkw-Fahrleistung	-0,38	- 0,23

Tabelle 66: Test: Variation der PKW-Nutzungskosten um +50% und – 50% - Ergebnisse des Modellverhaltens

Test: Variation einer IV-Streckenkapazität

Für den Realitätstest zur Variation der IV-Streckenkapazität wird im Modell die Autobahnanschlussstelle Karlsruhe-Mitte vollständig gesperrt. Betroffen sind sämtliche Verflechtungstrecken zwischen der B3 (Südtangente) und der A5, die in der nachfolgenden Abbildung rot markiert dargestellt sind. Die Durchfahrt auf der A5 und der Südtangente bleibt dabei weiterhin möglich. Auch für diesen Test wird eine Nachfrageberechnung mit Rückkopplung berechnet, die Rückkopplung wird beendet, sobald die Konvergenzkriterien im IV-Netz erfüllt sind. Anschließend wird die finale IV-Umlegung berechnet. Das Ergebnis dieser finalen Umlegung wird mit der finalen Umlegung einer Rechenlaufes ohne Sperrung verglichen.



Abbildung 88: Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. Gesperrte Verbindungen rot markiert

Im Ergebnis wird eine räumliche Verlagerung der KFZ-Nachfrage erwartet. Im Nahbereich der Maßnahme sind große Verkehrsstärkenänderungen zu erwarten, im Fernbereich geringe Änderungen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Änderungen in der PKW-Belastung im Vergleich zum freien Netz. Belastungsabnahmen im Sperrungs-Fall sind durch grüne Streckenbalken dargestellt. Belastungszunahmen sind durch rote Streckenbalken dargestellt.

In der ersten Abbildung sind die Auswirkungen der Maßnahme im Nahbereich dargestellt. Der Ort der Sperrung ist durch den blauen Pfeil markiert. Insbesondere die von der Sperrung betroffene Relation zwischen A5 und Südtangente in Richtung Innenstadt wird entlastet. Andere Zufahrten der Innenstadt Karlsruhe und umliegende Abfahrten der A5 werden dagegen stärker belastet. Auch die Südtangente selbst ist Süd-Östlich der Sperrung stärker belastet, da die Durchfahrt von hier Richtung Innenstadt nicht gesperrt ist.

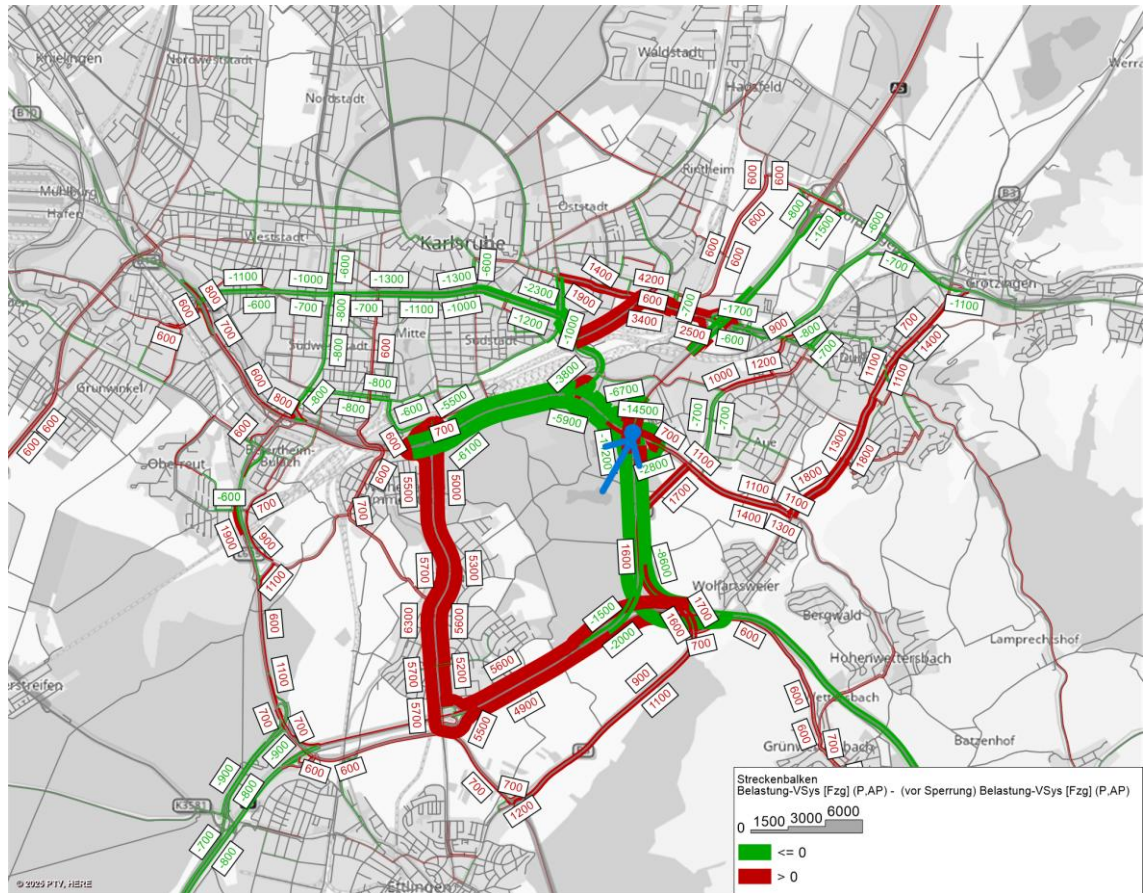


Abbildung 89: Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. - Differenzdarstellung

Die folgende Abbildung zeigt die Auswirkungen der Maßnahme im Großraum Karlsruhe. Südlich von Karlsruhe zeigt sich eine Verlagerung von der A5 auf die B36, diese Route über die B36 stellt eine Alternativroute zur Zufahrt Richtung Innenstadt dar. Östlich von Karlsruhe eine Zunahme des Verkehrs auf der A8 und A5 zu sehen, der Verkehr auf der B35 nimmt dagegen ab. Die Route über A5 und A8 ist von der Sperrung nicht betroffen. Die A5 wird durch die Sperrung jedoch im Bereich Karlsruhe entlastet. Die Verlagerung im Osten erklärt sich damit durch die Entlastung der A5, wodurch die Route über A8 und A5 im Vergleich zur Route über die B35 attraktiver wird.

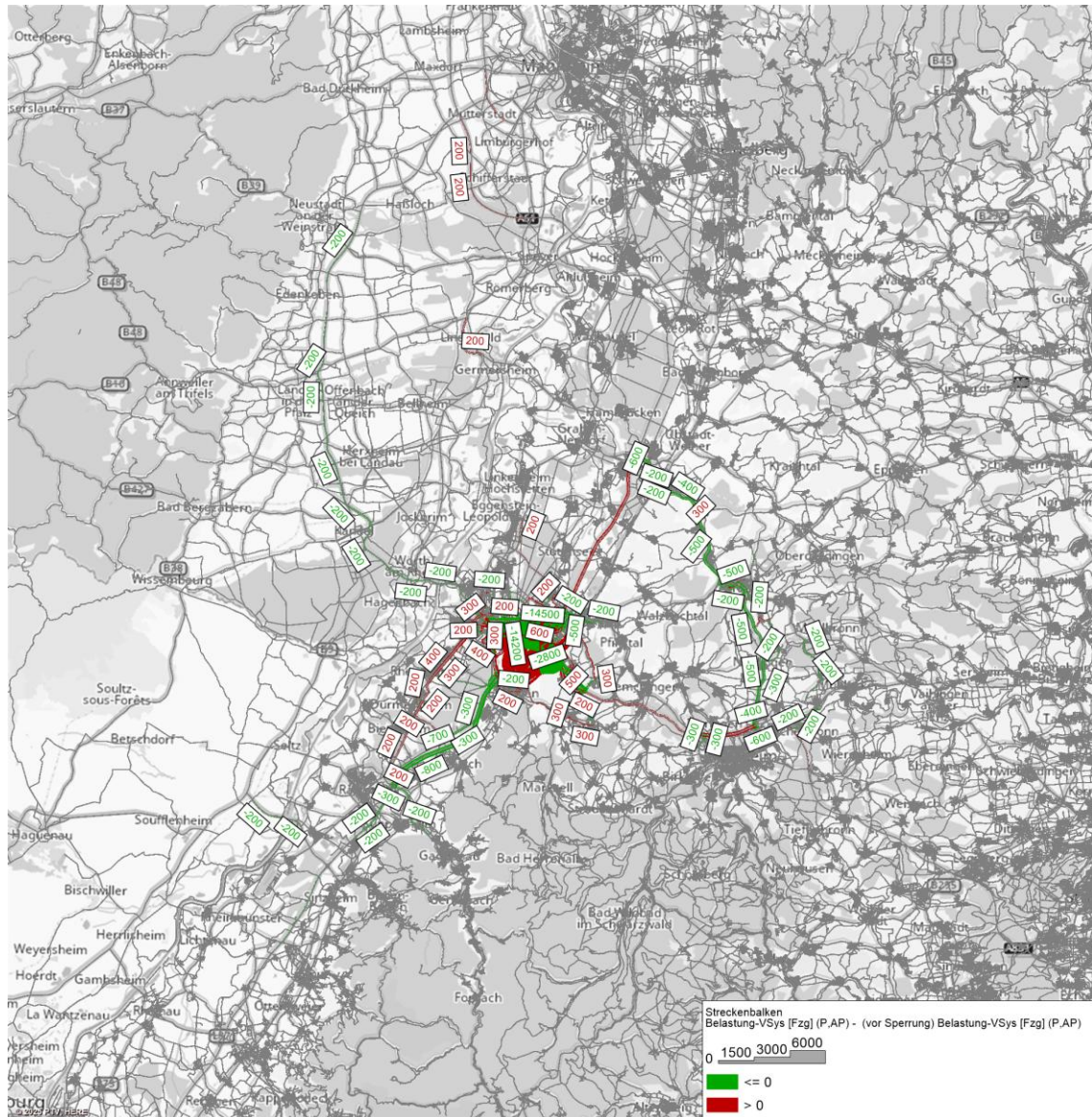


Abbildung 90: Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. - Differenzdarstellung

In der letzten Abbildung ist das Gesamtnetz dargestellt. Beschriftet sind Belastungsänderungen ab 100 Pkw/Tag. Es zeigt sich, dass die größten Belastungsänderungen im Bereich der Sperrung auftreten. Neben den Änderungen im Umfeld der Maßnahme treten Belastungsänderungen im Bereich Frankfurt, Nürnberg, Zürich und Mülhausen auf. Diese stehen nicht im Zusammenhang mit der Maßnahme, sondern sind Modellartefakte. Die Artefakte treten ausschließlich außerhalb des Planungsraumes auf. In diesen Bereichen ist das Netz nicht vollständig abgebildet und entsprechend hoch belastet.

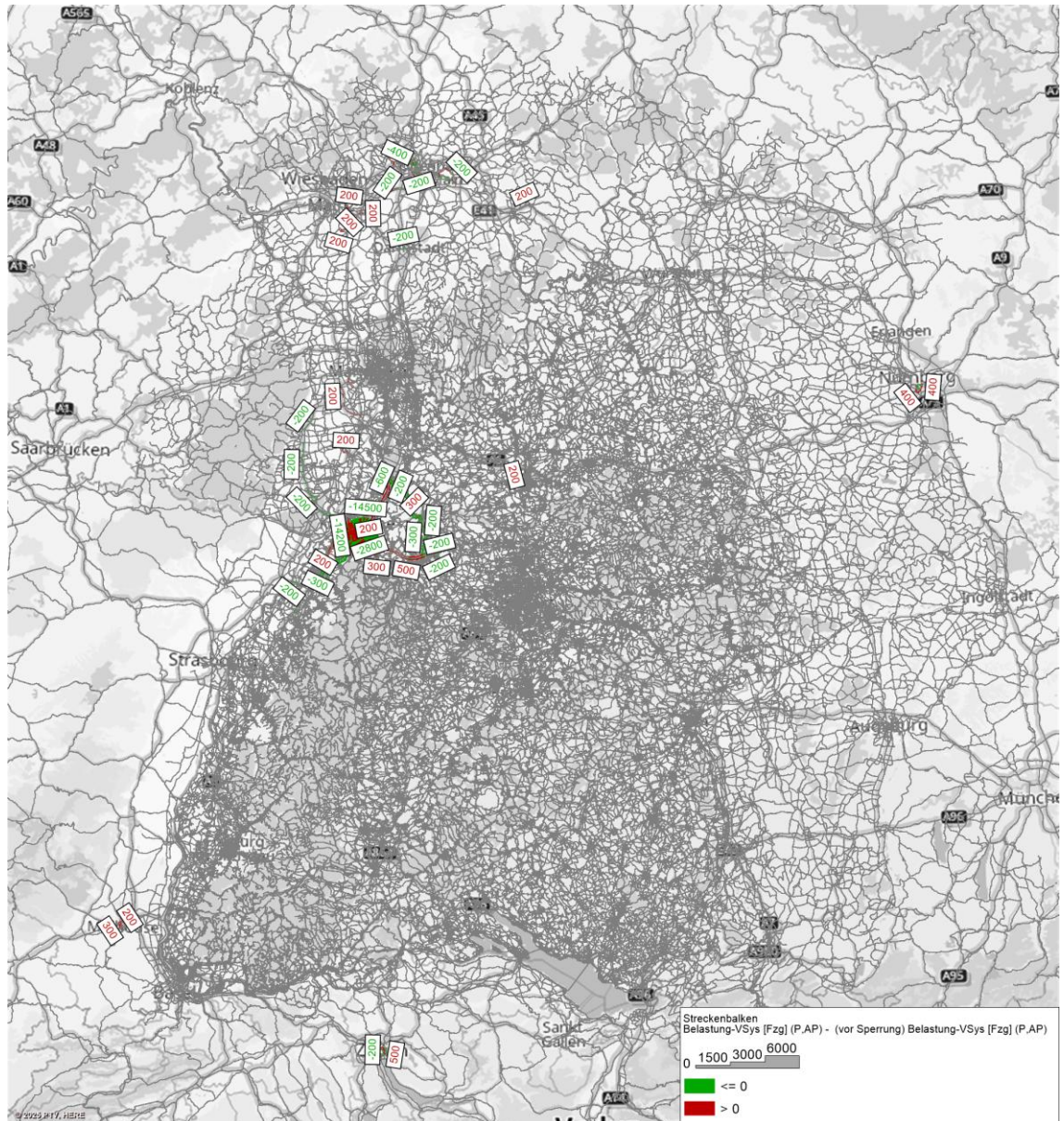


Abbildung 91: Realitätstest: Sperrung der Anschlussstelle A5 Karlsruhe Mitte. - Differenzdarstellung

9.11 Fazit und Verbesserungspotenzial

Die Validierungsergebnisse sind im Validierungsexcel „2026-03-18-1455_Dashboard_gesamt_LVM_BW_Analyse_NFMo_PV_V01_calc.xlsm“. Bestehende Abweichungen sind im Qualitätssicherungsexcel „20260113_QS_PTV.xlsx“ vermerkt und begründet.

Für das Modell kann insgesamt festgestellt werden, dass die Validierungsziele umfassend erreicht wurden.

Explizit bestehende folgende Verbesserungspotenziale, die bei der Verwendung des LVM-BW beachtet werden sollten:

- **Zielwahl:**
Lange Wege für Pkw- und ÖV sind im Modell tendenziell unterrepräsentiert. Hier liegt vermutlich Verbesserungspotenzial in der Abbildung langer Arbeits- und Freizeitwege. Vermutlich kann hier durch die Differenzierung der sehr langen Freizeitwege eine verbesserte Abbildung erreicht werden.
- **Sensitivitäten:** Die entstehenden Preissensitivitäten bezüglich der Nutzerkosten ÖV/Pkw sind vergleichsweise gering. Bei der Bewertung entsprechender Maßnahmen muss beachtet werden, dass das LVM-BW an dieser Stelle eher eine Mindestreaktion auf implementierte Maßnahmen aufzeigt.
- **Umlegung generell:** Die Umlegung ist ausschließlich aus SPNV-Zählwerte und auf Zählwerte der BAST/SVZ kalibriert. Lokal ergeben sich hierbei Abweichungen. Für lokale Untersuchungen ist das LVM-BW stets mit aktuellen Zählwerten detaillierter zu kalibrieren.
- Die Pkw-Verkehrsstärken innerorts können z.B. stark Abweichen da weder eine lokale Korrektur der Streckentypen noch eine manuelle Korrektur der Pkw-Anbindungen vorgenommen wurde.
- Das Aufkommen an großen Bahnhöfen zeigt. z.B. für Stuttgart größere Abweichungen.

10 Prognosefall „Referenzszenario 2030“

10.1 Modellanwendung

Für weitere Arbeiten mit dem LVM-BW wurde für jeden Modellfall eine eigenständige Variante der Modellgrundlage erstellt. In Benutzerdefinierten Tabellen, Attributnamen, Formelattributen und an unterschiedlichen Stellen im Verfahrensablauf ist der Fall-Name des jeweiligen Falls noch enthalten. Das Referenzszenario 2030 wird im Modell als „REF2030“ bezeichnet.

Ausschließlich Strecken und ÖV-Linien wurden so angelegt, dass die Netzelemente aus allen Modellfällen in allen Modellvarianten vollständig enthalten sind. Diese Abbildung eines Maximalnetzes vereinfacht es, Ergebnisse unterschiedlicher Fälle zu vergleichen und beispielsweise Teilnetze zu schneiden.

10.2 Prämissen

Das LVM-BW bietet umfassende Möglichkeiten zur Abbildung verkehrlicher Wirkungen auf Basis verschiedener planerischer, gesellschaftlicher, juristischer, wirtschaftlicher oder politischer Entwicklungen. Im Rahmen von Prämissenworkshops wurden mit zahlreichen Fachexperten des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg die Prämissen festgelegt, die die Entwicklung bis zum Prognosejahr 2030 beschreiben. Grundlage der Diskussion waren die Annahmen, die im Rahmen des Klimaschutzszenarios Baden-Württemberg initial gesetzt wurden. Hierbei sind auch die Prämissen der aktuellen Bundesverflechtungsprognose 2040 enthalten.

Für das Referenzszenario 2030 wurden die folgenden Prämissen betrachtet und mit ihren Ausprägungen im Verkehrsmodell operationalisiert.

Prämisse	Ausprägung
Lkw-Maut	auf Bundesfernstraßen 3,5 t inkl. CO2-Komponente
Erweiterung GV-Terminals	Horb 2023
Homeoffice	im Mittel Zunahme Homeoffice / Rückgang Pendlerfahrten um 6 %, nach Verkehrsmittel / Reiseweite etc. differenziert
Online-Einkauf (statt stationärem Einkauf)	Rückgang des stationären Einkaufs durch Online-Handel um 5-10 %.
AVF (autonomes und vernetztes Fahren)	Komfort und Sicherheit ansteigend, Widerstände sinken (pauschal 1 %)
Fernlinienbus	Bedienung wächst mit der Nachfrage (pauschal +5 %, Widerstände sinken), leichte Beschleunigung um 1 % pauschal
Fußverkehr allgemeine Verbesserung	Reduktion der Widerstände in Abhängigkeit der Lage um 1,7 % pauschal (Querungen, Durchschlupfe, Ortsmitten)
Tankstelleninfrastruktur / Refuels	Anpassung Flottenmodell aus Klimaschutzszenario
Bundesautobahnen	Festlegung des VM zu den 2030 realisierten Projekten (vgl. Abschnitt 10.4)

Prämisse	Ausprägung
Bundesstraßen	Umsetzungskonzeption des Landes zum BVWP (bis 2030 abgeschlossene oder begonnene Projekte), in angrenzenden Ländern vordringlicher Bedarf (vgl. Abschnitt 10.4)
Landesstraßen	Maßnahmenplan 2021 bis 2035 des Landes gem. Prioliste - (vgl. Abschnitt 10.4)
Radwegeplanung	21 zusätzliche Radschnellwege, Umsetzung Radnetz BW, Radwege an Bundes- und Landesstraßen: Umsetzung "VB" des Bedarfsplans (vgl. Abschnitt 10.5)
Kommunale Schiene	GVFG- und LGVFG-Projekte bis 2030 in Kategorie A (Programmaufnahme auf Basis eines Finanzierungsantrags) - (vgl. Abschnitt 10.6)
Eisenbahn-Infrastruktur und Angebot	ITF-Netzgrafik 2033 (inkl. 5 Reaktivierungsstrecken)
Regiobuslinien	Beschlossene oder fest geplante Linien entsprechend Antragslage
Neue Mobilitätsformen	aktuell geförderte OnDemand-Verkehre sowie Liste der bereits absehbaren, zukünftigen Verkehre;
Preisentwicklung ÖV	Jetzige Tarifstruktur mit Deutschlandticket, jährliche Preissteigerung um ca. 7,5 %
Angebot Schienenpersonenverkehr	Gebremster Aufbau auf Niveau von 15 % gegenüber vollumfänglicher Umsetzung der ITP-Netzgrafik 2033
Parken	Parkraumbewirtschaftung in Städten > 50T EW für fossil angetriebene Pkw
CO2-Preis	100 €/t
Motorisierung / Flottenzusammensetzung	Anpassung Flottenmodell aus Klimaschutzenszenario
Tempolimit	Status quo
Allgemeine Verbesserung Radverkehr	Reduktion Widerstände um 2,5% durch allgemeine Verbesserung
Radnetze in Vorbildkommunen	Reduktion Widerstände um 5% durch allgemeine Verbesserung

Tabelle 67: Prognoseprämissen im Referenzszenario 2030

Auf zentrale Prognoseannahmen wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

Die Operationalisierung der Prämissen erfolgt direkt im Verkehrsmodell. Je nach Prämisse wird einer der folgenden Operationalisierungsansätze verwendet:

- Abbildung von Maßnahmen im Netzmodell (veränderte Netzstruktur, Fahrplandaten, Geschwindigkeiten)
- Anpassung von Bezirksattributen, die im Nachfragemodell berücksichtigt werden (Strukturdaten, Parkdruck usw.)
- Pauschale Anpassung von Kenngrößenmatrizen oder Modellparametern (z.B. Erzeugungsraten, Kosten)
- Anpassung sonstiger Modelleingangsdaten (z.B. Flottenmodell)

10.3 Strukturdaten

10.3.1 Demographische Entwicklung

Für das Land Baden-Württemberg wird die Entwicklung der Einwohnerzahlen zum Prognosehorizont 2030 aus der Bundesprognose des BBSR¹¹ entnommen. Auf Grundlage dieser Bevölkerungsvorausberechnung wird bis 2030 eine Zunahme der Einwohner von +259.106 Einwohnern auf insgesamt rd. 11.359.500 erwartet. Dies entspricht einer Zunahme um +2,3% im Vergleich zum Analysejahr 2019. Die Tabelle 68 zeigt die Entwicklung für das Land Baden-Württemberg in den einzelnen Altersgruppen. Die stärkste Abnahme ergibt sich mit -18,0 % in der Altersgruppe 55 bis 59 Jahre. Die größte Zunahme verzeichnet hingegen die Altersgruppe 65 bis 69 Jahre mit einem Anstieg von 33,1%. Die Veränderungen in den Landkreisen werden in Tabelle 69 dargestellt.

Bevölkerung Altersgruppe	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
0 bis 5 Jahre	649.045	672.599	+23.554	+3,6%
6 bis 9 Jahre	399.112	462.694	+63.582	+15,9%
10 bis 14 Jahre	510.371	575.501	+65.130	+12,8%
15 bis 17 Jahre	320.255	330.415	+10.160	+3,2%
18 bis 24 Jahre	906.213	826.476	-79.737	-8,8%
25 bis 29 Jahre	731.216	611.096	-120.120	-16,4%
30 bis 34 Jahre	745.124	755.188	+10.064	+1,4%
35 bis 44 Jahre	1.372.309	1.510.458	+138.149	+10,1%
45 bis 54 Jahre	1.605.360	1.474.733	-130.627	-8,1%
55 bis 59 Jahre	876.981	719.461	-157.520	-18,0%
60 bis 64 Jahre	724.704	719.521	-5.183	-0,7%
65 bis 69 Jahre	599.815	798.626	+198.811	+33,1%
70 bis 74 Jahre	463.523	579.391	+115.868	+25,0%
75 bis 79 Jahre	476.231	579.373	+103.142	+21,7%
80 und älter	720.136	743.967	+23.831	+3,3%
Summe	11.100.393	11.359.499	+259.106	+2,3%

Tabelle 68: Einwohnerentwicklung in Baden-Württemberg bis 2030 nach Altersgruppen

Bevölkerung Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Stuttgart	635.912	666.797	+30.885	+4,9%
Böblingen	392.807	408.181	+15.374	+3,9%
Esslingen	535.024	554.950	+19.926	+3,7%
Göppingen	258.145	260.998	+2.853	+1,1%

¹¹ Maretzke, S.; Hoymann, J.; Schlömer, C.; Stelzer, A., 2021: Raumordnungsprognose 2040: Bevölkerungsprognose: Entwicklung nach Altersgruppen. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). BBSR-Analysen KOMPAKT 04/2021.

Bevölkerung Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Ludwigsburg	545.423	575.714	+30.291	+5,6%
Rems-Murr-Kreis	427.248	437.797	+10.549	+2,5%
Heilbronn	126.592	129.095	+2.503	+2,0%
Heilbronn	344.456	353.677	+9.221	+2,7%
Hohenlohekreis	112.655	117.822	+5.167	+4,6%
Schwäbisch Hall	196.761	199.421	+2.660	+1,4%
Main-Tauber-Kreis	132.399	129.605	-2.794	-2,1%
Heidenheim	132.777	132.297	-480	-0,4%
Ostalbkreis	314.025	313.702	-323	-0,1%
Baden-Baden	55.185	56.100	+915	+1,7%
Karlsruhe	312.060	309.502	-2.558	-0,8%
Karlsruhe	445.101	451.410	+6.309	+1,4%
Rastatt	231.420	232.597	+1.177	+0,5%
Heidelberg	161.485	165.098	+3.613	+2,2%
Mannheim	310.659	316.588	+5.929	+1,9%
Neckar-Odenwald-Kreis	143.633	139.687	-3.946	-2,7%
Rhein-Neckar-Kreis	548.355	564.685	+16.330	+3,0%
Pforzheim	125.957	128.606	+2.649	+2,1%
Calw	159.201	160.023	+822	+0,5%
Enzkreis	199.556	201.212	+1.656	+0,8%
Freudenstadt	118.243	116.794	-1.449	-1,2%
Freiburg im Breisgau	231.195	247.694	+16.499	+7,1%
Breisgau-Hochschwarzwald	263.601	274.370	+10.769	+4,1%
Emmendingen	166.408	173.993	+7.585	+4,6%
Ortenaukreis	430.953	436.093	+5.140	+1,2%
Rottweil	139.878	137.098	-2.780	-2,0%
Schwarzwald-Baar-Kreis	212.506	213.581	+1.075	+0,5%
Tuttlingen	140.766	143.796	+3.030	+2,2%
Konstanz	286.305	295.595	+9.290	+3,2%
Lörrach	228.736	236.694	+7.958	+3,5%
Waldshut	171.003	173.403	+2.400	+1,4%
Reutlingen	287.034	294.096	+7.062	+2,5%
Tübingen	228.678	233.087	+4.409	+1,9%
Zollernalbkreis	189.363	189.910	+547	+0,3%
Ulm	126.790	130.289	+3.499	+2,8%
Alb-Donau-Kreis	197.076	200.595	+3.519	+1,8%
Biberach	201.282	207.690	+6.408	+3,2%
Bodenseekreis	217.470	223.980	+6.510	+3,0%

Bevölkerung Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Ravensburg	285.424	294.773	+9.349	+3,3%
Sigmaringen	130.849	130.404	-445	-0,3%

Tabelle 69: Einwohnerentwicklung in Baden-Württemberg bis 2030 nach Landkreis

Für den Einflussraum wurde die Einwohnerentwicklung auf Basis der Bevölkerungsvorausberechnungen bis 2030 der entsprechenden Bundesländer und Länder auf Ebene der Gemeinden ermittelt. In Tabelle 70 ist die Entwicklung der Einwohner bis 2030 je Altersgruppe und in Tabelle 71 je Landkreis im Einflussraum dargestellt. Insgesamt ergibt sich im Einflussraum eine Zunahme von ca. +747.700 Einwohnern bzw. einer Veränderung von +5,2 %.

Bevölkerung Altersgruppe	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
0 bis 5 Jahre	846.012	817.325	-28.687	-3,4%
6 bis 9 Jahre	561.501	631.789	+70.288	+12,5%
10 bis 14 Jahre	742.267	760.628	+18.361	+2,5%
15 bis 17 Jahre	476.645	431.973	-44.672	-9,4%
18 bis 24 Jahre	1.184.052	1.101.517	-82.535	-7,0%
25 bis 29 Jahre	935.318	858.800	-76.518	-8,2%
30 bis 34 Jahre	939.530	960.241	+20.711	+2,2%
35 bis 44 Jahre	1.883.872	2.022.615	+138.743	+7,4%
45 bis 54 Jahre	2.159.866	2.013.833	-146.033	-6,8%
55 bis 59 Jahre	969.941	961.121	-8.820	-0,9%
60 bis 64 Jahre	848.956	1.015.438	+166.482	+19,6%
65 bis 69 Jahre	733.348	997.573	+264.225	+36,0%
70 bis 74 Jahre	877.366	794.290	-83.076	-9,5%
75 bis 79 Jahre	514.746	641.407	+126.661	+24,6%
80 und älter	618.049	1.030.529	+412.480	+66,7%
Summe	14.291.469	15.039.079	+747.610	+5,2%

Tabelle 70: Einwohnerentwicklung im Einflussraum bis 2030 nach Altersgruppen

Bevölkerung Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Darmstadt (HE)	159.876	161.743	+1.867	+1,2%
Frankfurt am Main (HE)	763.384	810.184	+46.800	+6,1%
Offenbach am Main (HE)	130.280	136.851	+6.571	+5,0%
Wiesbaden (HE)	278.478	280.280	+1.802	+0,6%
Bergstraße (HE)	270.342	279.951	+9.609	+3,6%
Darmstadt-Dieburg (HE)	297.849	303.610	+5.761	+1,9%
Groß-Gerau (HE)	275.732	288.375	+12.643	+4,6%
Hochtaunuskreis (HE)	236.914	243.560	+6.646	+2,8%
Main-Kinzig-Kreis (HE)	420.554	437.606	+17.052	+4,1%

Bevölkerung Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Main-Taunus-Kreis (HE)	238.555	249.535	+10.980	+4,6%
Odenwaldkreis (HE)	96.705	97.027	+322	+0,3%
Offenbach (HE)	355.814	375.763	+19.949	+5,6%
Frankenthal (Pfalz) (RP)	48.764	49.402	+638	+1,3%
Landau in der Pfalz (RP)	46.881	46.602	-279	-0,6%
Ludwigshafen am Rhein (RP)	172.256	176.990	+4.734	+2,7%
Mainz (RP)	218.579	222.499	+3.920	+1,8%
Neustadt an der Weinstraße (RP)	53.266	53.401	+135	+0,3%
Speyer (RP)	50.560	51.799	+1.239	+2,5%
Worms (RP)	83.543	84.798	+1.255	+1,5%
Alzey-Worms (RP)	129.693	129.794	+101	+0,1%
Bad Dürkheim (RP)	132.677	131.895	-782	-0,6%
Germersheim (RP)	129.011	129.896	+885	+0,7%
Südliche Weinstraße (RP)	110.513	111.099	+586	+0,5%
Rhein-Pfalz-Kreis (RP)	154.609	158.303	+3.694	+2,4%
Mainz-Bingen (RP)	211.419	214.104	+2.685	+1,3%
Ansbach (BY)	41.795	42.500	+705	+1,7%
Ansbach (BY)	184.595	192.905	+8.310	+4,5%
Neustadt a.d. A.-Bad Windsheim (BY)	101.021	106.394	+5.373	+5,3%
Aschaffenburg (BY)	71.004	73.200	+2.196	+3,1%
Schweinfurt (BY)	53.426	53.100	-326	-0,6%
Würzburg (BY)	127.932	127.200	-732	-0,6%
Aschaffenburg (BY)	174.206	177.004	+2.798	+1,6%
Kitzingen (BY)	91.155	95.298	+4.143	+4,5%
Miltenberg (BY)	128.742	129.213	+471	+0,4%
Main-Spessart (BY)	126.154	125.596	-558	-0,4%
Schweinfurt (BY)	115.445	118.201	+2.756	+2,4%
Würzburg (BY)	162.313	167.189	+4.876	+3,0%
Augsburg (BY)	296.577	312.300	+15.723	+5,3%
Kempten (Allgäu) (BY)	69.148	72.199	+3.051	+4,4%
Memmingen (BY)	44.095	47.302	+3.207	+7,3%
Augsburg (BY)	253.470	274.312	+20.842	+8,2%
Dillingen a.d. Donau (BY)	96.565	102.809	+6.244	+6,5%
Günzburg (BY)	127.031	136.593	+9.562	+7,5%
Neu-Ulm (BY)	175.203	186.501	+11.298	+6,4%
Lindau (Bodensee) (BY)	81.979	84.709	+2.730	+3,3%
Unterallgäu (BY)	145.339	159.194	+13.855	+9,5%
Donau-Ries (BY)	133.771	139.202	+5.431	+4,1%

Bevölkerung Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Oberallgäu (BY)	156.011	163.004	+6.993	+4,5%
Außerfern (AT)	32.838	33.489	+651	+2,0%
Bludenz-Bregenzer Wald (AT)	92.362	95.072	+2.710	+2,9%
Rheintal-Bodenseegebiet (AT)	304.777	320.050	+15.273	+5,0%
Appenzell Ausserrhoden (CH)	55.445	58.526	+3.081	+5,6%
Appenzell Innerrhoden (CH)	16.128	17.424	+1.296	+8,0%
Basel-Landschaft (CH)	289.468	306.097	+16.629	+5,7%
Basel-Stadt (CH)	195.841	207.840	+11.999	+6,1%
St. Gallen (CH)	491.821	561.955	+70.134	+14,3%
Solothurn (CH)	275.247	306.210	+30.963	+11,2%
Schaffhausen (CH)	82.348	91.848	+9.500	+11,5%
Zürich (CH)	1.560.199	1.729.068	+168.869	+10,8%
Aargau (CH)	685.855	781.632	+95.777	+14,0%
Thurgau (CH)	279.547	313.879	+34.332	+12,3%
Bas-Rhin (FR)	1.140.060	1.156.988	+16.928	+1,5%
Haut-Rhin (FR)	766.302	748.009	-18.293	-2,4%

Tabelle 71: Einwohnerentwicklung im Einflussraum bis 2030 nach Landkreis

10.3.2 Erwerbstätige am Wohnort

Für die Prognose der Erwerbstätigen am Wohn- und Arbeitsort lagen keine Berechnungen des Landes Baden-Württemberg vor. Mit dem Auftraggeber wurde die in Tabelle 72 dargestellte Veränderung der Erwerbstätigenquote abgestimmt. Aufgrund der Anhebung des Renteneintrittalters seit 2015 sowie des generellen Fachkräftemangels, wird davon ausgegangen, dass die Erwerbstätigkeit insbesondere in den höheren Altersgruppen ansteigt. Aus der resultierenden Erwerbstätigenquote lassen sich die verfügbaren Erwerbstätigen im Jahr 2030 ermitteln. Aufgrund des demographischen Wandels sinkt die Anzahl an Beschäftigten im Planungsraum dennoch um -5 % gegenüber 2019. Im Zuge der Bilanzierung wurden die Werte auf Kreisebene hochgerechnet. Die Entwicklung der Erwerbstätigen am Wohnort im Planungsraum in den Landkreisen ist in Tabelle 73 dargestellt.

Erwerbstätige WO Altersgruppe	Anteil erwerbstätig 2019	Zunahme Erwerbstätigkeit	Anteil erwerbstätig 2030
18 bis 24 Jahre	29%	+1%	30%
25 bis 29 Jahre	69%	+1%	70%
30 bis 34 Jahre	80%	+1%	81%
35 bis 44 Jahre	86%	+2%	88%
45 bis 54 Jahre	88%	+4%	92%
55 bis 59 Jahre	82%	+7%	89%
60 bis 64 Jahre	51%	+9%	60%
65 bis 69 Jahre	0%	+3%	3%

Tabelle 72: Veränderung der Erwerbstätigenquoten 2019- 2030 in Prozentpunkten

Erwerbstätige WO Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Stuttgart	348.982	352.424	+3.442	+1,0%
Böblingen	208.737	203.581	-5.156	-2,5%
Esslingen	290.676	283.161	-7.515	-2,6%
Göppingen	135.464	127.774	-7.690	-5,7%
Ludwigsburg	292.787	290.176	-2.611	-0,9%
Rems-Murr-Kreis	225.724	214.777	-10.947	-4,8%
Heilbronn	64.033	62.009	-2.024	-3,2%
Heilbronn	188.269	177.582	-10.687	-5,7%
Hohenlohekreis	63.114	60.002	-3.112	-4,9%
Schwäbisch Hall	108.936	100.704	-8.232	-7,6%
Main-Tauber-Kreis	71.217	63.598	-7.619	-10,7%
Heidenheim	67.678	62.882	-4.796	-7,1%
Ostalbkreis	165.769	152.431	-13.338	-8,0%
Baden-Baden	28.075	26.763	-1.312	-4,7%
Karlsruhe	174.621	163.793	-10.828	-6,2%
Karlsruhe	240.467	224.690	-15.777	-6,6%
Rastatt	124.126	115.086	-9.040	-7,3%
Heidelberg	88.026	86.617	-1.409	-1,6%
Mannheim	159.763	154.685	-5.078	-3,2%
Neckar-Odenwald-Kreis	76.339	66.536	-9.803	-12,8%
Rhein-Neckar-Kreis	289.040	275.145	-13.895	-4,8%
Pforzheim	59.931	57.633	-2.298	-3,8%
Calw	83.849	77.570	-6.279	-7,5%
Enzkreis	108.814	101.305	-7.509	-6,9%
Freudenstadt	64.406	57.762	-6.644	-10,3%
Freiburg im Breisgau	127.383	126.883	-500	-0,4%
Breisgau-Hochschwarzwald	144.148	137.464	-6.684	-4,6%

Erwerbstätige WO Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Emmendingen	90.970	86.348	-4.622	-5,1%
Ortenaukreis	234.238	215.732	-18.506	-7,9%
Rottweil	75.366	67.686	-7.680	-10,2%
Schwarzwald-Baar-Kreis	110.333	103.064	-7.269	-6,6%
Tuttlingen	75.513	72.095	-3.418	-4,5%
Konstanz	152.356	145.886	-6.470	-4,2%
Lörrach	119.925	115.003	-4.922	-4,1%
Waldshut	90.584	85.762	-4.822	-5,3%
Reutlingen	151.854	144.247	-7.607	-5,0%
Tübingen	128.285	119.101	-9.184	-7,2%
Zollernalbkreis	101.744	93.203	-8.541	-8,4%
Ulm	68.082	66.047	-2.035	-3,0%
Alb-Donau-Kreis	108.259	101.265	-6.994	-6,5%
Biberach	113.264	107.035	-6.229	-5,5%
Bodenseekreis	117.280	111.760	-5.520	-4,7%
Ravensburg	160.309	152.573	-7.736	-4,8%
Sigmaringen	72.200	64.648	-7.552	-10,5%

Tabelle 73: Entwicklung der Erwerbstätigen am Wohnort im Planungsraum bis 2030 nach Landkreis

Die Entwicklungen der erwerbsfähigen Personen sind in Abbildung 92 dargestellt.

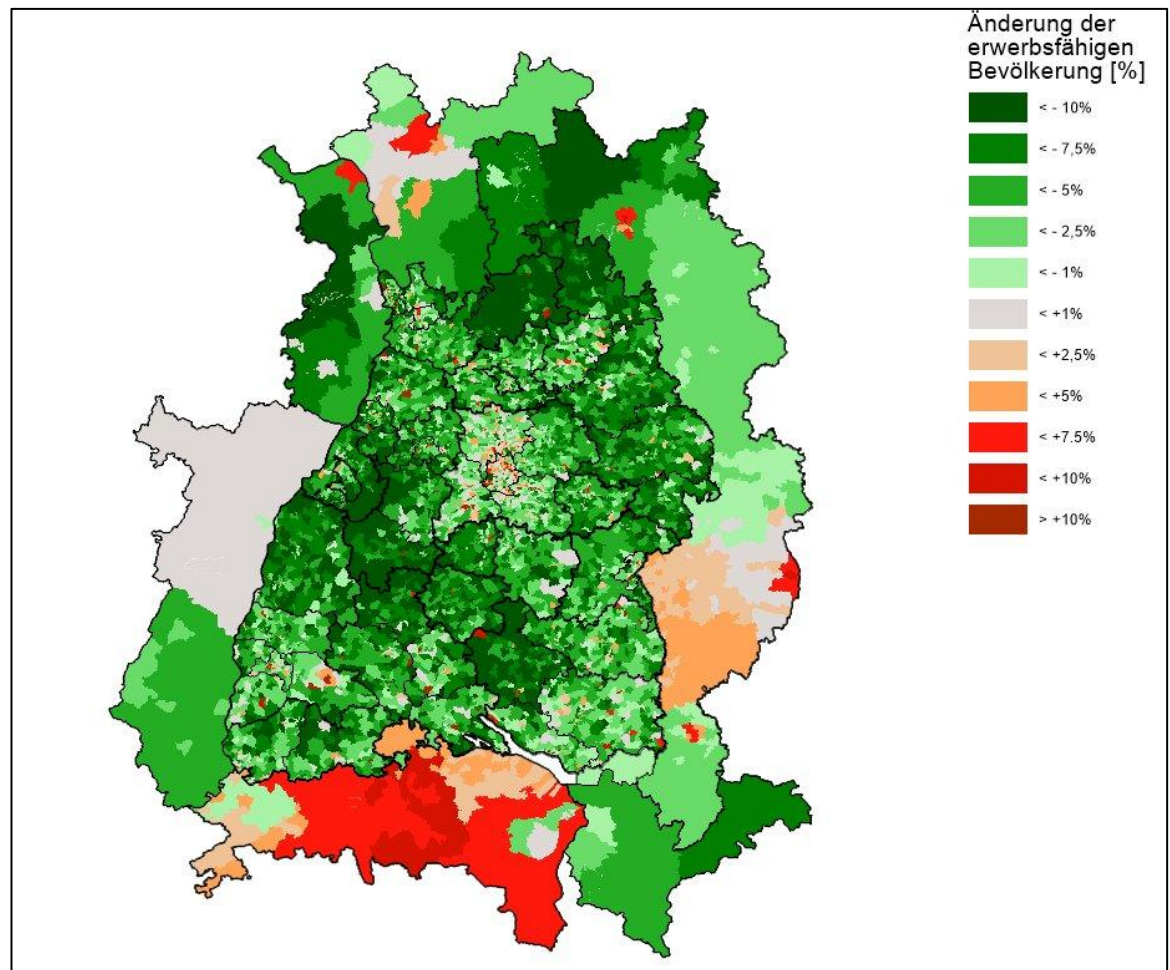


Abbildung 92: Entwicklung erwerbsfähige Personen (18 bis 69 Jahre) 2019 bis Prognose 2030

10.3.3 Erwerbstätige am Arbeitsort

Aufbauend auf den Erwerbstätigen am Arbeitsort 2019 auf Ebene der Verkehrsbezirke werden die Erwerbstätigen am Arbeitsort 2030 über die Ein- und Binnenpendler 2019 auf Ebene der Kreise bilanziert. Auch hier findet eine Bilanzierung über prozentuale Zu- und Abgänge durch die Ermittlung von Binnenpendlern statt. Das Bilanzierungsverfahren ist hier wieder notwendig, da die Grundlagedaten (Beschäftigte am Wohnort und Arbeitsort) auf Gemeindeebene vorliegen, aber für sinnvollere Prognosen auf Kreisebene hochzurechnen sind. Die Entwicklungen der Erwerbstätigen Personen am Arbeitsort sind in Tabelle 74 und in Abbildung 93 dargestellt.

Erwerbstätige AO Landkreis	Analyse 2019	Prognose 2030	Entwicklung abs.	Entwicklung rel.
Stuttgart	536.995	528.779	-8.216	-1,5%
Böblingen	232.883	225.514	-7.369	-3,2%
Esslingen	291.781	283.920	-7.861	-2,7%
Göppingen	122.504	116.177	-6.327	-5,2%
Ludwigsburg	271.637	267.223	-4.414	-1,6%
Rems-Murr-Kreis	209.336	200.465	-8.871	-4,2%

Heilbronn	97.659	93.387	-4.272	-4,4%
Heilbronn	184.020	174.542	-9.478	-5,2%
Hohenlohekreis	74.079	70.110	-3.969	-5,4%
Schwäbisch Hall	114.603	106.582	-8.021	-7,0%
Main-Tauber-Kreis	78.006	70.739	-7.267	-9,3%
Heidenheim	68.309	64.090	-4.219	-6,2%
Ostalbkreis	172.571	159.924	-12.647	-7,3%
Baden-Baden	42.223	39.810	-2.413	-5,7%
Karlsruhe	239.651	225.021	-14.630	-6,1%
Karlsruhe	216.641	203.147	-13.494	-6,2%
Rastatt	121.959	113.785	-8.174	-6,7%
Heidelberg	124.112	119.639	-4.473	-3,6%
Mannheim	242.016	232.763	-9.253	-3,8%
Neckar-Odenwald-Kreis	67.687	59.931	-7.756	-11,5%
Rhein-Neckar-Kreis	242.530	231.121	-11.409	-4,7%
Pforzheim	77.612	73.524	-4.088	-5,3%
Calw	67.700	62.978	-4.722	-7,0%
Enzkreis	86.984	81.894	-5.090	-5,9%
Freudenstadt	64.509	58.344	-6.165	-9,6%
Freiburg im Breisgau	179.235	174.308	-4.927	-2,7%
Breisgau-Hochschwarzwald	122.282	117.275	-5.007	-4,1%
Emmendingen	77.275	73.581	-3.694	-4,8%
Ortenaukreis	251.777	233.458	-18.319	-7,3%
Rottweil	78.499	71.287	-7.212	-9,2%
Schwarzwald-Baar-Kreis	122.308	114.454	-7.854	-6,4%
Tuttlingen	90.089	85.382	-4.707	-5,2%
Konstanz	148.871	142.510	-6.361	-4,3%
Lörrach	109.796	105.374	-4.422	-4,0%
Waldshut	78.990	74.919	-4.071	-5,2%
Reutlingen	152.231	144.682	-7.549	-5,0%
Tübingen	117.620	110.145	-7.475	-6,4%
Zollernalbkreis	96.188	88.388	-7.800	-8,1%
Ulm	127.054	123.644	-3.410	-2,7%
Alb-Donau-Kreis	82.696	78.388	-4.308	-5,2%
Biberach	116.880	111.006	-5.874	-5,0%
Bodenseekreis	127.887	121.949	-5.938	-4,6%
Ravensburg	167.996	160.211	-7.785	-4,6%
Sigmaringen	70.312	63.803	-6.509	-9,3%

Tabelle 74: Entwicklung der Erwerbstätigen am Arbeitsort im Planungsraum bis 2030 nach Landkreis

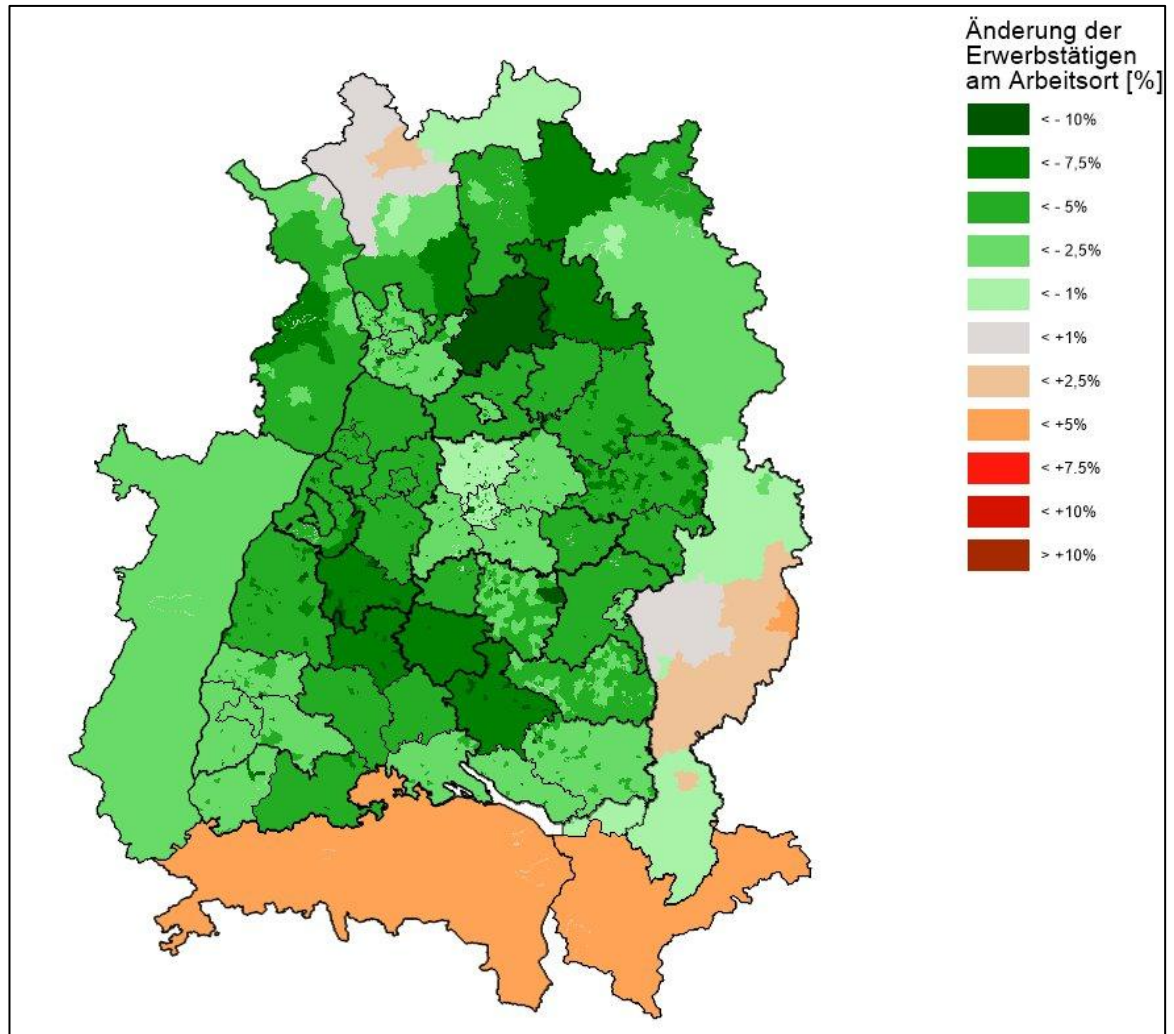


Abbildung 93: Entwicklung Erwerbstätigen am Arbeitsort 2019 bis Prognose 2030

10.3.4 Sonstige Strukturdaten

Zur Entwicklung der Schul- und Studienplätze, Points-of-Interest oder sonstigen Entwicklungen im Land Baden-Württemberg und dem Einflussraum liegen keine Informationen vor. Dementsprechend wird im Verkehrsmodell diese Strukturen unverändert aus dem Analysefall 2019 übernommen. Es wird keine Veränderung abgebildet. Damit korrespondierend wird auch die Zahl der Studierenden in der Wohnbevölkerung unverändert gegenüber der Analyse belassen.

10.4 Verkehrsangebot Kfz

10.4.1 Netzmodell

Das Verkehrsangebotsmodell für den MIV wurde in der Prognose 2030 um die folgenden Maßnahmen ergänzt:

Straße	Projektbezeichnung	Bauziel	Einstufung BPL
A 3	LGr. BY/BW – LGr. BW/BY	4 → 6	FD
A 8	AS Pforzheim/N – AS Pforzheim S	4 → 6	FD-E
A 8	Hohenstadt – AS Ulm/Nord	4 → 6	FD
A 98.4	AD Hochrhein – Rheinfelden Karsau	0 → 4	FD
A 6	AK Weinsberg – AS Bretzfeld	4 → 6	VB-E
A 6	AS Bretzfeld – AS Öhringen	4 → 6	VB-E
A 6	AS Öhringen – AS Kupferzell	4 → 6	VB-E
A 6	AS Kupferzell – AS Ilshofen/Wolpertshausen	4 → 6	VB-E
A 6	AS Ilshofen/Wolpertshausen – AS Kirchberg	4 → 6	VB-E
A 6	AS Kirchberg – LG BW/BY	4 → 6	VB-E
A 8	AS Mühlhausen – Hohenstadt	4 → 6	FD
A 8	AS Ulm/Nord – AS Ulm/Ost	4 → 6	FD
A 81	AS Sindelfingen/Ost – Böblingen Hulb	4 → 6	FD-E
A 81	AK Stuttgart – AS Sindelfingen/Ost	4 → 6	VB
A 98.5	Rheinfelden Karsau – Schwörstadt (1. Fahrbahn)	0 → 2	VB
A 98.6	Schwörstadt – Bad Säckingen – Murg (1. Fahrbahn)	0 → 2	VB
A 860	Stadttunnel Freiburg	0 → 4	VB
A 5	AK Heidelberg - AS Walldorf/Wiesloch	4 → 6	VB
A 98.8	Hauenstein - Tiengen (1. Fahrbahn)	0 → 2	VB
A 8	A 8, AD Leonberg - AK Stuttgart	6 → 8	VB
A 6	AK Mannheim - Schwetzingen/Hockenheim	4 → 6	VB-E
A 8	AK Stuttgart - AS Stuttgart/ Degerloch	6 → 8	VB-E
A 8	AS Stuttgart/ Degerloch - AS Esslingen	6 → 8	VB-E
A 8	AS Esslingen - AS Wendlingen	6 → 8	VB-E
A 5	AS Offenburg/Süd - Freiburg Mitte	4 → 6	WB*
A 5	AK Walldorf - AD Karlsruhe	6 → 8	WB*
A 81	AK Weinsberg - AS Ilsfeld	6 → 8	WB*
A 81	AS Pleidelsheim - AS S-Zuffenhausen	6 → 8	WB*

Tabelle 75: Maßnahmen im Zuge von Autobahnen

Straße	Projektbezeichnung	Bauziel
B 27	Donaueschingen – Hüfingen	
B 27	OU Behla	
B 33	Allensbach-West – Konstanz; Abschn. A, B, E, F	
B 33	Allensbach-West – Konstanz; Abschn. C, D	
B 34	OU Oberlauchringen	

Straße	Projektbezeichnung	Bauziel
B 34	OU Wyhlen	
B 294	OU Winden	1+1
B 33	OU Haslach	
B 34	OU Grenzach	
B 311	OU Immendingen	
B 14	OU Stockach	
B 33	3-streifiger Ausbau Steinach-Haslach	2+1
B 32	OU Horb (Neckartalquerung)	
B 292	OU Adelsheim	
B 463	Westtangente Pforzheim 1.BA	
B 10	Pforzheim/Eutingen – Niefern	2+2
B 293/B 10	Lgr. RP/BW 2. Rheinbrücke	
B 36	Querspange 2. Rheinbrücke Karlsruhe	2+2
B 293	OU Berghausen	1+1
B 293	OU Jöhlingen	2+1
B 462/A 5	Ausbau bei Raststatt (mit Umbau AS Rastatt Nord und B3/B36/B462	
B 462	Bad Rotenfels – Rotherma Querspange	2+2
B 462	Freudenstadt (Tunnel)	1+1
B 10	Süßen/Ost – Gingen/Ost	
B 14	Backnang-West - Nellmersbach (1.BA / 2. BA)	
B 14/B19	Verlegung in Schwäbisch Hall	
B 29	Essingen – Aalen	
B 29	OU Mögglingen	
B 10	Verlegung in Enzweihingen	1+1
B 10	Schwieberdingen – Stuttgart/Zuffenhausen (A 81)	2+2
B 10	Gingen/Ost – Geislingen/Mitte	2+1
B 10	Geislingen/Mitte – Geislingen/Ost	
B 14	OU Oppenweiler	1+1
B 27	AS Leinfelden–Echterdingen Nord – AS Aich	3+3 (teilw.TFS)
B 29	Schwäbisch Gmünd – Mögglingen	2+2
B 28	Rottenburg – Tübingen (L 370 alt)	
B 30	OU Ravensburg/Eschach – Baidt (Egelsee) BA VI	
B 31	Immenstaad – Friedrichshafen/Waggershausen	2+2
B 31	Überlingen/West – Überlingen/Ost	
B 311	Erbach – Dellmensingen (Querspange B 30)	
B 313	OU Grafenberg	
B 27	Tübingen (Bläsibad) – B 28 (Schindhaubasistunnel)	
B 27	Bodelshausen (L 389) – Nehren (L 394)	2+2
B 30	Friedrichshafen (B 31) – Ravensburg/Eschach	

Straße	Projektbezeichnung	Bauziel
B 31	Meersburg/West – Immenstaad	

Tabelle 76: Maßnahmen im Zuge von Bundesstraßen

Straße	Projektbezeichnung	Bauziel
L 123	OU Staufen	1+1
L 134	OU Zienken	1+1
L 422	OU Röttenberg	
L 433	Teil-OU Reichenbach am Heuberg	
L 77	OU Rastatt-Niederbühl	
L 78 B	Querspange zur B3 bei Rastatt	
L 410	OU Empfingen	
L 355	BÜ-Beseitigung zw. Horb und Talheim	
L 597	Ausbau zw. Friedrichsfeld und Ladenburg mit Neckarbrücke	2+2
L 723	Wieslocher Straße bis A 6 Rauenberg (2. Fahrbahn)	
L 1134	Ausbau Heimsheim	1+1
L 1135	Ausbau zw. L 1177 und Wiernsheim	
L 67	Umbau Förcher Kreuzung (L 67/K 3711) zum Kreisverkehrsplatz	
L 1100	OU Ilsfeld	1+1
L 1103	OU Güglingen/Pfaffenhofen	1+1
L 1138	Nordumfahrung Benningen inkl. neuer Neckarbrücke	1+1
L 1161	OU Heubach	1+1
L 1177	OU Heimerdingen (von Kreisgrenze bis L 1177)	
L 1204	OU Stuttgart / Plieningen	2+2
L 1100	2-bahniger Ausbau zw. HN-Neckargartach und AS HN/Untereisesheim	
L 530	L 530 K 2120 Rampe Bad Rappenau	
L 1100	MPHN 3-streifiger Ausbau Neckartalstraße	2+2
L 1101	MPHN Südtangente NSU, zus. Fahrstreifen	
L 259	OU Rißtissen	
L 1165	OU Beimerstetten	
L 265	BÜ-Beseitigung in Kißlegg	

Tabelle 77: Maßnahmen im Zuge von Landesstraßen

10.4.2 Abbildung Parken

Effekte einer Parkraumbewirtschaftung fließen an verschiedenen Stellen in das LVM-BW ein. Die Fixkosten (Bewohnerparkausweise) sind Input in das Pkw-Verfügbarkeitsmodell. Die bei Nutzung anfallenden Parkkosten fließen in die Nutzungskosten ein und beeinflussen somit u.a. das Modalwahlverhalten. Die Parkkosten sind als Bezirksattribut versorgt. Ergänzend fließt der Parkdruck (ebenfalls ein Bezirksattribut) als Suchzeit in die Pkw-Reisezeit mit ein.

Im Referenzszenario 2030 werden folgende Ansätze hinterlegt:

- Parkraumbewirtschaftung in Städten und Gemeinden mit mehr als 50.000 Einwohnenden
 - Parkgebühren:
 - Pro Stunde: 1,40 EUR
 - Pro Tag: 14 EUR
 - Pro Jahr (Parkausweis): 160 EUR
- Parkdruck analog zu Analyse

10.5 Verkehrsangebot Rad

Das Verkehrsangebotsmodell für den Radverkehrs wird im Referenzszenario 2030 um die Rad-schnellweg-Maßnahmen in Tabelle 78 sowie um die Maßnahmen im Anhang: Maßnahmen Rad-verkehr ergänzt:

Projekt	Klassifizierung	Verbindung
RS 06	L	Freiburg-Emmendingen/Waldkirch
RS 07	K	Lörrach-Schopfheim (Wiesental)
RS 12	K	Gengenbach-Offenburg
RS 02	L*	Heidelberg-Mannheim
RS 10	L*	Karlsruhe-Ettlingen
RS 13	L*	Karlsruhe-Rastatt
RS 15	K	Mannheim-Viernheim-Weinheim
RS 16	L	Heidelberg-Schwetzingen
RS 22	L/K	Heidelberg-Walldorf/Wiesloch
RS 01	K	Brücke RS1 Böblingen-Stuttgart
RS 03	L*	Bad Wimpfen-Heilbronn
RS 04	L*	Esslingen-Reichenbach (Neckartal)
RS 05	L*/K	Fellbach-Schorndorf
RS 08	K	Waiblingen-Ludwigsburg
RS 14	L/K	Ebersbach-Süßen (Filstal)
RS 17	L/K**	Weil der Stadt-Ditzingen
RS 18	K	Renningen-Magstadt(-Holzgerlingen)
RS 21	L	Stuttgart-Bietigheim-Bissingen

Tabelle 78: Radschnellwege

10.6 Verkehrsangebot ÖV

10.6.1 Öffentlicher Personenfernverkehr

Das Angebot des SPFV bildet im Referenzszenario 2030 einen Netzgraphen nach, der für das Gebiet von Baden-Württemberg durch die DB Fernverkehr AG zur Verfügung gestellt wurde und der einen Arbeitsstand des Netzes 2027 widerspiegelt. Der Linienverlauf der einzelnen Prognoselinien außerhalb Baden-Württembergs entsprechen den öffentlichen verfügbaren Fernverkehrsliniennetz 2025. Die Fahrzeiten außerhalb des Netzgraphen entsprechen den Fahrzeiten der einzelnen Linien aus dem Fahrplanjahr 2025. Dies gilt auch für die im Modell angegebenen Fahrzeuge und damit verbundenen Sitzplatzkapazitäten.

Der Netzgraph des SPFV ist streng vertraulich zu behandeln. Sofern das Referenzszenario 2030 genutzt wird, ist zu diesem Zweck eine gesonderte Datenschutzvereinbarung mit dem Verkehrsministerium Baden-Württemberg abzuschließen, die bei der Nutzung zu berücksichtigen ist.

Für Fernbusse wird das Angebot aus der Analyse übernommen. Eine Verbesserung des Angebots im Referenzszenario 2030 wird über eine Anpassung der Kenngrößenmatrizen abgebildet. Es wird eine Reduzierung der Fahrzeit (Beschleunigung um 1 %) und eine häufigere und bessere Bedienung (pauschale Widerstandsreduktion um 5 %) für die Fahrzeitanteile, die auf einer Relation mit dem Fernbus zurückgelegt werden, angenommen.

10.6.2 Öffentlicher Personennahverkehr – Schiene

Das im Model hinterlegte Netz des SPNV basiert größtenteils auf einem durch die NVBW zur Verfügung gestellten Netzgraphen, der das Angebotskonzept für das Jahr 2033 abbildet. Enthalten sind alle Bahnen die in, von und nach Baden-Württemberg mit den Zuggattungen Regional Express (RE), Regional Bahn (RB), S-Bahn (S), Regio S-Bahn/Regionalstadtbahn (RS) und Metropol-express (MEX) verkehren. Zusätzlich sind noch die mit Tramfahrzeugen verkehrenden Linien S1/S11 und S2 der KVV als Tramlinien aufgeführt.

Der Netzgraph bildet Knoten und größere Haltestellen ab und zeigt, welcher Zug zu welcher Uhrzeit Abfährt bzw. ankommt. Die Fahrzeiten für die im Netzgraphen nur als Zwischenhalt ersichtlichen Haltestellen wurden auf Basis der heutigen verkehrenden Züge verteilt. Wenn dies nicht möglich war, weil es diese Verbindung noch nicht gibt oder die Fahrzeiten abweichend sind, wurden die Fahrzeiten mittels der Distanz zwischen den Haltestellen verteilt.

Zusätzlich wurde die Prämisse gesetzt, dass der vorgegebene Netzgraph in den Schwach- und Nebenverkehrszeiten um Fahrplanfahrten ausgedünnt werden soll, so dass das Fahrplanangebot in Summe um 15 % ggü. dem Netzgraphen reduziert ist, da dieser auf das Jahr 2033 und nicht auf das abgebildete Prognosejahr 2030 ausgerichtet ist. Das Ausdünnen der Fahrplanfahrten erfolgte manuell. Dabei wurde dem Prinzip gefolgt, dass bei hohen Takten mehr Fahrplanfahrten aus dem Angebot entfernt wurden als bei einem ohnehin dünnen Angebot. Abbildung 94 stellt dieses Vorgehen dar. Linien, die weniger als 21 Fahrplanfahrten am betrachteten Werktag im Ausgangszustand

hatten, wurden nicht ausgedünnt. Den höchsten relativen Rückgang an Fahrplanfahrten weisen Linien mit mehr als 80 Fahrplanfahrten am abgebildeten Werktag auf (-18%). In Summe ergibt sich durch die Ausdünnung ein Rückgang der Fahrplanfahrten um 15,1 % und ein Rückgang der Servicekilometer um 13,8 %.

Die Namen der Prognoselinien sollten keinen Bezug zur aktuellen Linienbenennung haben, weshalb die Linien innerhalb der jeweiligen Produktkategorie (Mex, RB, RE, RS) durchnummeriert wurden.

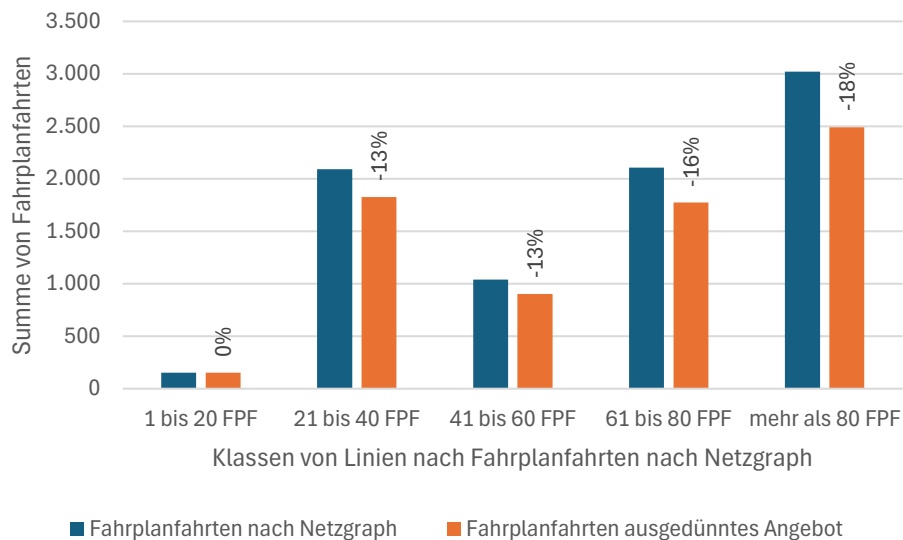


Abbildung 94: Anzahl der Fahrplanfahrten vor und nach Angebotsausdünnung

Der weitere schienengebundene Verkehr (primär Stadt- und U-Bahnverkehre sowie Straßenbahnen) wurde zunächst aus der Analyse übernommen.

Als für den Schienenverkehr weitere relevante Prämisse sollte das Angebot um Maßnahmen ergänzt werden, für die eine GVFG- oder LGVFG-Förderung beantragt wurde und die bereits bewilligt wurden (Kategorie A). Durch das Verkehrsministerium wurde eine Liste mit rund 350 solcher Vorhaben zur Verfügung gestellt. Ein Großteil der Maßnahmen ist nicht modellrelevant (z.B. barrierefreier Ausbau von Haltestellen). Folgende Maßnahmen wurden modelliert:

- Wutachtalbahn

Mit der Reaktivierung der Wutachtalbahn entstehen auch neue Haltestellen. Die Ortschaften Offerdingen und Hornheim bekommen eine Haltestelle. Stühlingen bekommt am ehemaligen Bahnhof, Weizen auf Höhe der Firma STO jeweils eine neue Haltestelle. In Offerdingen wird ein neuer Kreuzungsbahnhof gebaut. Als Prognoselinie wurde die Linie _PRO_S_NAH_RB_P49 hinterlegt.

- S-Bahn Verlängerung Stuttgart Filderstadt

Die SSB als Bauräger verlängert die S-Bahn-Strecke von Filderstadt über Sielmingen nach Neuhausen. Die Strecke befindet sich bereits im Bau und wurde für beide Szenarien in das Modell eingepflegt. Zukünftig soll die S-Bahnlinie S3 von Backnang nach Neuhausen verkehren, während die S2 von Schorndorf in S-Vaihingen endet.

- **S-Bahn Stuttgart Linie S5**
Die Linie wird im Halbstundentakt von Stuttgart-Schwabstraße nach Böblingen verlängert. Im Modell wird die Linie unter den Namen `_PRO_S_S_VVS_S5` geführt.
- **Nordbahnhof Stuttgart**
Im Rahmen von Stuttgart 21 gibt es mehrere Überlegungen wie die Panoramabahn in das S-Bahn-Netz integriert werden soll. Da es hierzu bisher keine konkreten Pläne in welcher Form dies passieren soll gibt, wurden hierzu keine Änderungen im Modell vorgenommen. Leidglich der geplante Tunnel zwischen Feuerbach und Bad Cannstatt wurden in das Modell aufgenommen und ein unterirdischer Haltepunkt, Stuttgart Nord (tief) angelegt. Über den Tunnel verkehren keine Linien.
- **Verbindungskurve Rastatt – Ettlingen**
Mit dem Bau einer Verbindungskurve in Ettlingen West Richtung Rastatt soll eine neue Zweisystem-Linie zwischen Rastatt und Ettlingen eingeführt werden. Sie verkehrt im Halbstundentakt und wurde als Linie `_PRO_S_S_S10` im Modell angelegt.
- **Neue Haltestelle Bad Friedrichhall Süd**
Mit dem Bau des Schwarz Digit Campus im Bad Friedrichshaller Süden entsteht auch eine neue S-Bahn Haltestelle. Im Modell halten die Prognose Linien `_PRO_S_S_HNV_S41` und `_PRO_S_S_HNV_S42/43`.
- **Hermann-Hesse-Bahn**
Die Hermann-Hesse-Bahn zwischen Weil der Stadt und Calw steht kurz vor der Inbetriebnahme. Laut Netzgraph verkehrt die Linie Halbstündlich zwischen Weil der Stadt und Rellingen. Die Linie wurde unter dem Namen `_PRO_S_Nah_RB_P18` angelegt.
- **Regio-S-Bahn Donau Iller**
Die Regio S-Bahn Donau Iller wurde nach Rücksprache mit der NVBW so modelliert, wie es der uns vorliegende Netzgraph abbildet. Im Modell wurden die Linien unter dem Namen `_PRO_S_NAH_RS_P03` bis `_PRO_S_NAH_RS_P10` modelliert.
- **VAG Straßenbahn Freiburg Line 2**
Der Linienvverlauf der Linie 2 wurde in die Waldkircherstraße verlegt. Dieses wurde im Modell angepasst und eine Prognoselinie erstellt. Als Fahrplan wurden die Fahrzeiten aus dem Fahrplanjahr 2025 übernommen.
- **Stadtbahn Stuttgart Linie U5**
Die Linie U5 wurde von Leinfelden, Bahnhof nach Leinfelden, Neuer Markt verlängert. Die Inbetriebnahme des Abschnitts ist bereits erfolgt. Der Abschnitt wurde ins Modell modelliert und eine Prognoselinie (U5) erstellt. Der Fahrplan der Prognoselinie entspricht dem Fahrplan nach der Eröffnung der Verlängerung (Fahrplanjahr 2025).

10.6.3 Öffentlicher Personennahverkehr – Busverkehr

Im Busverkehr wurde das Angebot aus der Analyse übernommen. Lediglich Regiobuslinien, die zum Zeitpunkt der Prognosemodellierung fest geplant waren, wurden zu solchen hochgestuft und

in einem Fall neu eingefügt. Die neu eingefügte Linie wurde mit einem Stundentakt von 5 Uhr bis 24 Uhr modelliert. Die zusätzlich als Regiobuslinien definierten Linien sind in Tabelle 79 aufgeführt.

Liniennr. (Bestandslinien)	Liniennummer Modell	Relation (mit Via)
220	_PRO_B_REGIO_RVL_220	Lörrach - EuroAirport Basel (FR) via St. Louis (FR)
773	_PRO_B_REGIO_VGC_773	Herrenberg - Calw
263	_PRO_B_REGIO_VVS_263	Schorndorf - Welzheim
40	_B_REGIO_Prognose_VVR_40	Rottweil - Schramberg
50	_B_REGIO_Prognose_VVR_50	Schramberg - Schiltach
-	_PRO_B_REGIO_Neuenstadt_Heilbronn	Neuenstadt - Heilbronn

Tabelle 79: Zusätzliche Regiobuslinien im Referenzszenario 2030

10.6.4 Tarife

Bezüglich des Tarifsystems wird die Einführung des Deutschlandtickets modelliert, das es zum Zeitpunkt der Analyse im Jahr 2019 noch nicht gab. Dabei wurde ausgehend von Preis im Jahr 2026 von 63 € pro Monat mit einer jährlichen Preissteigerung von 7,5 % gerechnet (nominal). Damit ergibt sich für das Jahr 2030 ein Nominalpreis von 84 €/Monat und ein Realpreis (Preisstand 2019) von 62 €/Monat.

Für Einzelfahrten bleibt das Tarifsystem mit den 21 Tarifverbünden aus der Analyse bestehen. Es wird eine pauschale Preissteigerung von 5 % pro Jahr angenommen (nominal). Dies führt dazu, dass die im Modell angesetzten Realpreise (Preisstand 2019) in der Prognose um 21 % höher liegen als in der Analyse.

10.6.5 Integrierter On-Demand Verkehr

Für das Referenzszenario 2030 wird angenommen, dass On-Demand-Angebote, die in seit dem Analysejahr 2019 realisiert oder fest geplant waren, bestehen. Aus diesem Grund werden folgende On-Demand-Gebiete ergänzt:

- FIPS_Heidelberg
- VVSrider_Leinfelden-Echterdingen
- VVSrider_Geislingen
- HeyMove_LKTuttlingen
- KVVMysShuttle_Enzkreis
- PforzheimShuttle_Pforzheim
- FlexMobil_Wernau

- MOBI_Ravensburg

10.7 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte ist in erster Linie relevant für die Ermittlung des Energieverbrauchs und der verkehrsabhängigen Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen. Die Flottenzusammensetzung wird in Anlehnung an die Vorgehensweise zum Klimaschutzszenario Baden-Württemberg mit einem externen Fortschreibungsmodell abgeleitet, kann aber auch an planerische oder politische Zielvorgaben angepasst werden.

Tabelle 80 (Pkw) und Tabelle 81 (Lkw größer 12t zGG) zeigen die für den Planfall Trendszenario hinterlegten Flottenentwicklungen.

Antriebsart Pkw	Analyse 2019	Referenz 2030
BEV	0,4%	16%
Sonstige Emissionsfrei	0,6%	8%
Benzin	65,1%	46%
Diesel	32,6%	21%
Sonstige	1,3%	8%

Tabelle 80: Flottenanteile Pkw-Verkehr

Antriebsart Lkw >12t zGG	Analyse 2019	Referenz 2030
BEV	0%	13%
Sonstige Emissionsfrei	0%	1%
Diesel	100%	86%
Sonstige	0%	0%

Tabelle 81: Flottenanteile Lkw größer 12t zGG

10.8 Ergebnisse

Der Modelllauf des Referenzszenarios 2030 ergibt eine Abbildung der verkehrlichen Situation für das Jahr 2030 unter der Voraussetzung, dass die gesetzten Prämissen so eintreten und gleichzeitig keine weiteren Entwicklungen oder Trendbrüche passieren. Im Folgenden wird ein Überblick über die Ergebnisse des Prognosefalls gegeben und zudem exemplarisch aufgezeigt, welche Auswertungen mit dem LVM-BW auf Ebene des Bundeslandes Baden-Württemberg möglich sind.

Tabelle 82 zeigt die Änderung des Modal-Splits zwischen dem Analysefall 2019 und dem Referenzszenario 2030. Zu erkennen sind die durch die Prognoseannahmen ausgelösten Änderungen bei der Verkehrsmittelnutzung.

Modus	Analyse 2019	Referenz 2030
zu Fuß	22%	24%
Fahrrad	10%	11%
MIV-Fahrer	44%	43%
MIV-Mitfahrer	14%	11%
P+R	1%	1%
ÖV	9%	9%

Tabelle 82: Modellierter Modal-Split-Anteile (Verkehrsaufkommen)

Relevant sind hierbei die netzseitigen Angebotsentwicklungen der einzelnen Verkehrsträger, aber auch die Einflüsse von Kosten und Preisen, betriebliche Anpassungen und Änderungen bei Zu- und Abgängen zu den Modi, wie z.B. die Annahmen zu Parken. Ein zusätzlicher Einfluss ergibt sich durch die veränderte Soziodemografie, wie Verschiebungen zwischen den Altersgruppen auch eine Veränderung des Verkehrsverhaltens der Gesellschaft auslösen.

Dieser Effekt wird auch aus Abbildung 95 deutlich. So führen veränderte Alters- und Beschäftigungsstrukturen dazu, dass sich die Anteile der Wegezwecke verschieben. Hinzu kommt der Effekt der Prämisse „Homeoffice“ die den altersbedingten Effekt des Rückgangs an Arbeitswegen deutlich verstärkt.

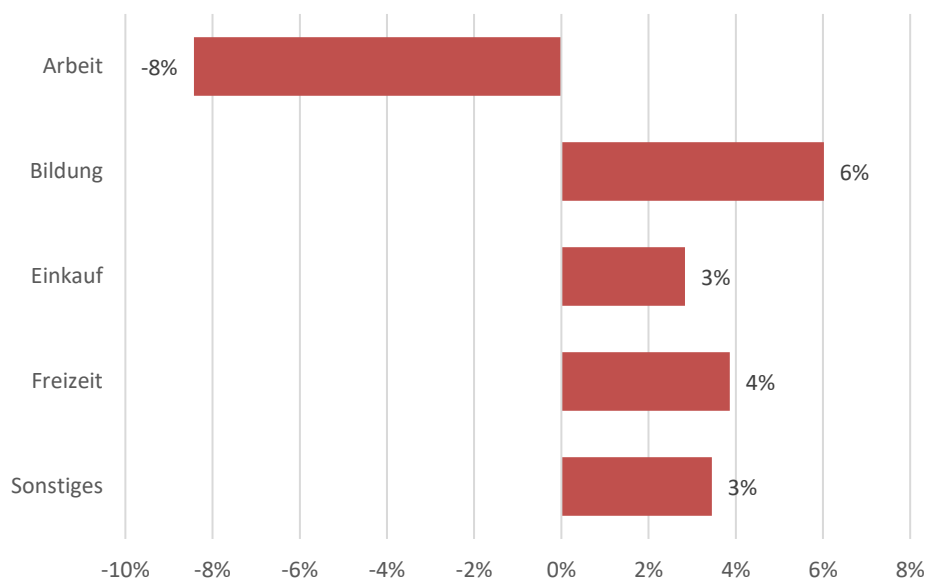


Abbildung 95: Entwicklung der Wegezwecke in Baden-Württemberg zwischen Analyse 2019 und Referenzszenario 2030

Darüber hinaus spielt auch die Verkehrsmittelverfügbarkeit für die Moduswahl eine Rolle. Diese wird im LVM-BW ebenfalls als Modellergebnis berechnet. Im Referenzszenario 2030 bleibt die Pkw-Verfügbarkeit in Baden-Württemberg nahezu unverändert (-1 %), während der Zeitkartenbesitz im Mittel um 8 % zunimmt, was insbesondere auf die Einführung des Deutschlandtickets zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse der Umlegungsrechnungen im Individualverkehr sind in Tabelle 83 in Form von differenzierten Fahrleistungsauswertungen dargestellt. Hier werden neben den Fahrzeugarten Pkw und Lkw die jeweils im Modell enthaltenen Verkehrssysteme differenziert. Zu erkennen ist, dass die leichte Zunahme im Pkw-Verkehr insbesondere aus den (stärkeren) Zunahmen im Pkw-Wirtschaftsverkehr und im externen Verkehr resultiert. Der private Pkw-Verkehr in Baden-Württemberg nimmt leicht ab. Bei den Lkw-Verkehren entsteht die Zunahme in erster Linie durch die großen Lkw ab 12t zGG. In der Gesamtsumme nimmt die Verkehrsleistung von Kfz um 3 % zu. Die Zunahme der Fahrleistung in Radverkehr resultiert durch die starke Zunahme der Nutzung elektrifizierter Fahrräder, während die Nutzung konventioneller Fahrräder (Rad – Bio) nahezu konstant bleibt. Hier überlagern sich allgemeine Zunahmen der Fahrradnutzung mit einer Substitution vermehrten Nutzung elektrifizierter Fahrräder.

Fahrleistung (Mio Fz-km/d)	Analyse 2019	Referenz 2030	Änderung
Pkw Summe	215,9	220,8	+2%
privater Pkw-Verkehr	164,0	162,4	-1%
Pkw-Wirtschaftsverkehr	37,0	41,1	+11%
Pkw-extern	13,4	15,9	+18%
P+R	1,5	1,4	-4%
Lkw-Summe	50,2	53,2	+6%
Lkw -klein (bis 3,5t)	23,8	24,7	+4%
Lkw - mittel (3,5 bis 7,5t)	4,8	4,8	+2%
Lkw – mittel-plus (7,5 bis 12t)	2,2	2,3	+4%
Lkw - groß (> 12t)	19,5	21,5	+10%
Kfz-Summe	266,1	274,0	+3%
Rad- Bio	9,9	9,8	-1%
Rad - Pedelec	0,6	3,6	> +500%
Rad-Summe	10,4	13,4	+28%

Tabelle 83: Entwicklung der Fahrleistungen zwischen Analyse 2019 und Referenzszenario 2030

Aus den Änderungen des Verkehrsgeschehens kann das Modell auch abgeleitete Wirkungen ermitteln, z.B. die Summe auch verkehrsbedingten Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen.

Tabelle 84 zeigt den Vergleich der CO₂-Emissionen in den Modellläufen 2019 und 2030. Die CO₂-Emissionen werden im Verkehrsmodell aus den veränderten Fahrleistungen, der veränderten Fahrzeugflotte und veränderten Verkehrssituationen (Anteil Stau, Anteil freier Verkehr usw.) berechnet.

CO ₂ -Emissionen je Fahrzeugkategorie (Tonnen pro Tag)	Analyse 2019	Referenz 2030	Änderung
Pkw Summe	44.395	34.309	-23%
privater Pkw-Verkehr	33.118	24.691	-25%
Pkw-Wirtschaftsverkehr	8.145	6.768	-17%
Pkw-extern	3.131	2.851	-9%
Lkw-Summe	33.784	29.838	-12%
Lkw -klein (bis 3,5t)	6.895	5.838	-15%
Lkw - normal (3,5 bis 7,5t)	2.323	1.632	-30%
Lkw - normalplus (7,5 bis 12t)	1.239	1.044	-16%
Lkw - groß (> 12t)	23.327	21.323	-9%
Kfz	78.179	64.147	-18%

Tabelle 84: Entwicklung der CO₂-Emissionen zwischen Analyse 2019 und Prognose 2030

Das Modell ergibt im Referenzszenario 2030 einen Rückgang der Kfz-bedingten CO₂-Emissionen um 18 %. Die Entwicklung im Pkw-Verkehr liegt mit 23%-Rückgang deutlich über den Entwicklungen im Lkw-Verkehr mit 12 %.

11 Berechnungsumfeld

11.1 Verwendete VISUM-Release und empfohlene Hardware

Das derzeit verwendete VISUM-Release ist 25, Servicepack 16. Da das Servicepack 16 Korrekturen im Routensuchalgorithmus der ÖV-Umlegung enthält, ist für eine Reproduktion der Ergebnisse zwingend ein Servicepack 16 oder höher zu verwenden.

Die Hardwareanforderungen werden von der Modellgröße bestimmt. Das LVM-BW ist mit ca. 10.000 Verkehrsbezirken eines der größten existierenden makroskopischen multimodalen Verkehrsnachfragemodelle im deutschsprachigen Raum. Die folgende Tabelle 85 beschreibt den Rechner, mit dem das LVM-BW kalibriert wurde.

Es ist möglich einen vergleichbaren Rechner anderer Hersteller einzusetzen. Wird ein Rechner mit weniger Hauptspeicher bzw. einem langsameren Prozessor eingesetzt, muss von wesentlich längeren Rechenzeiten des Verkehrsnachfragemodells im Vergleich zu den Rechenzeiten des in Tabelle 85 genannten Rechners ausgegangen werden.

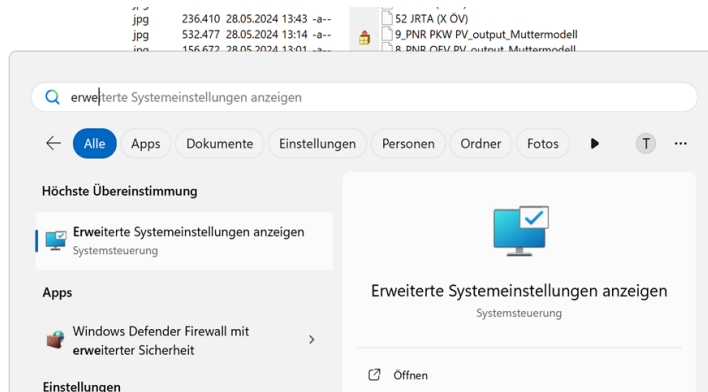
Kategorie	Empfehlung
Prozessor	Intel(R) Core(TM) i9-10980XE CPU
Anzahl Kerne/Threads	18/36
Grundtaktfrequenz	3,00 GHz
Hauptspeicher	256 GB RAM
Festplatte	8 TB SSD für schnelles Laden und Speichern

Tabelle 85: Empfohlene Hardware

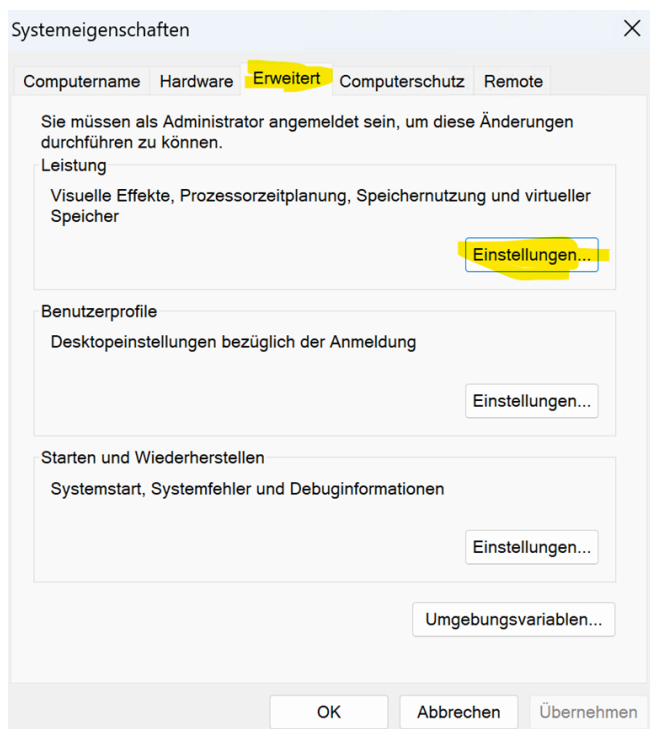
11.2 Erweiterung des Arbeitsspeichers

Während der Berechnung der ÖV-Umlegung kann der benötigte Arbeitsspeicher den Wert von 256 GB zeitweise kurz überschreiten. Wir empfehlen daher die Größe der Auslagerungsdatei für den Arbeitsspeicher auf 400 GB zu erweitern. Exemplarisch sind hier die durchzuführenden Schritte in Windows 11 dargestellt:

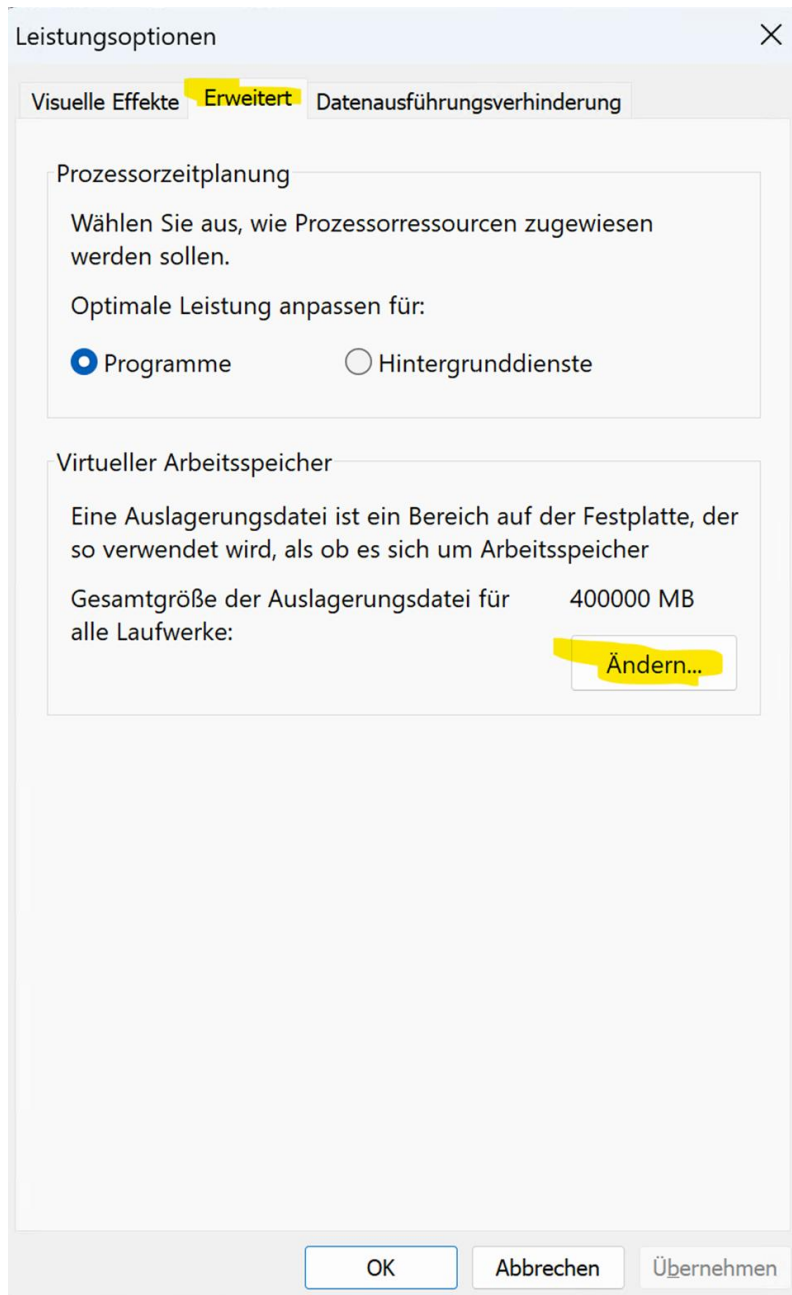
- Auf Windowsfähnchen klicken, dann in der Such-Zeile "erweiterte Systemeinstellungen anzeigen":



- Beim aufgepoppten Fenster auf den Reiter "Erweitert" und dann auf Button "Einstellungen" bei Visuelle Effekte, Prozessorzeitplanung usw.



- Dann im aufgepoppten Fenster auf Reiter "Erweitert" und bei virtueller Arbeitsspeicher auf "Ändern"



- Dann im aufgepoppten Fenster das Häkchen bei "Dateigröße für alle Laufwerke automatisch verwalten" deaktivierten und dann bei Benutzerdefinierte Größe zweimal die 400000 MB eingeben:

Virtueller Arbeitsspeicher ✕

☐ Dateigröße für alle Laufwerke automatisch verwalten

Auslagerungsdateigröße für jedes Laufwerk

Laufwerk [Bezeichnung]	Auslagerungsdatei (MB)
C:	400000 - 400000
D: [Volume]	Keine
E: [NRW]	Keine

Ausgewähltes Laufwerk: C:
Verfügbarer Speicherplatz: 478917 MB

☒ Benutzerdefinierte Größe

Anfangsgröße (MB):

Maximale Größe (MB):

☐ Größe wird vom System verwaltet

☐ Keine Auslagerungsdatei

Festlegen

Gesamtgröße der Auslagerungsdatei für alle Laufwerke

Minimal zugelassen:	16 MB
Empfohlen:	25435 MB
Zurzeit zugeteilt:	400000 MB

OK **Abbrechen**

==> Festlegen und alles mit ok bestätigen, Rechner neu starten.

11.3 Gesamtkonzept der technischen Umsetzung

Die Etablierung des LVM-BW ist wegen seines Raumdurchmessers und der Granularität eine große Herausforderung, denn

- die Angebotsmodelle enthalten sehr viele Elemente und sind entsprechend speicherintensiv,
- eine Anzahl von rund 10.000 Zonen führt zu Matrizen mit rund 100 Millionen Matrixelementen und
- die Segmentierung in 100 Nachfrageschichten und sechs Verkehrsmodi eine Vielzahl von Matrizen im Modell erfordert.

Für die Umsetzung der Nachfrageberechnung in Visum wurde eine individuelle Lösung entwickelt. Folgende Leitgedanken wurden diskutiert:

- Der Anspruch, alle Teilmodelle gemeinsam in einer Visum-Versionsdatei zu halten, führt zu sehr großen Dateien. Eine derartige Dateigröße würde aufgrund des Arbeitsspeicherbedarfs nicht mehr von einem handelsüblichen Rechner geöffnet werden können.

Andererseits erfordert ein Verkehrsnachfragemodell den Datenaustausch zwischen allen Teilmodellen, und zwar

- Kenngrößenmatrizen finden Eingang in das Nachfragemodell,
- Nachfragematrizen finden Eingang in die Umlegungsroutine des Angebotsmodells,
- die Umlegungs- und Matrizenberechnungsprozesse müssen in abgestimmter Reihenfolge automatisch nacheinander ausgeführt werden,
- an verschiedenen Stellen müssen die Schrittzahlen und Information zum Gleichgewicht zusammengeführt werden und
- eine Rückkopplung muss ausgeführt werden, die bei Erreichen des Gleichgewichtes abbricht.

Alle vorab genannten Aspekte zusammen führen zu folgendem Konzept zur technischen Umsetzung:

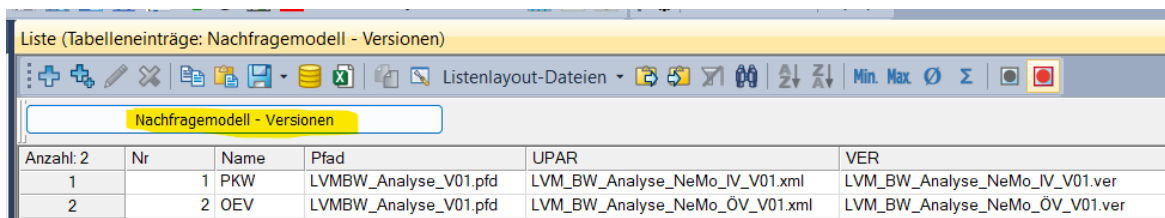
- Steuerung der gesamten Berechnung aus einer Visum-Versionsdatei für die Nachfrageberechnung („Nachfrage-Version“):
- Diese Nachfrage-Version ist „netzfrei“ und enthält nur die Verkehrsbezirke, die Struktur des Nachfragemodells und die Verfahrensschritte zur Berechnung der Verkehrsnachfrage,
- sie übernimmt den Aufruf der externen Angebotsmodelle innerhalb des Berechnungsablaufes,
- sie steuert die Rückkopplung, das Protokoll und Abbruchprüfung,
- organisiert den direkten Datenaustausch zwischen den Teilmodellen, sofern es sich um kleine Datenmengen handelt (Beispiel: Wert zur Netzleistung),
- sorgt für den Austausch von Nachfrage- und Kenngrößenmatrizen und Attributen über das Speichern und Lesen von Festplatte.

- Parallele Haltung von zwei autonomen Angebots-Versionen in eigenen Visum-Versionsdateien, eine für Pkw+Lkw+Rad, eine für den ÖV:

Diese Angebotsmodell-Versionen enthalten die Umlegungs- und Kenngrößenmatrizen und die Verfahrensschritte, um Kenngrößen zu schreiben, die Umlegung auszuführen und für die automatische Auswertung.

11.4 Zusammenarbeit verschiedener Teilmodell-Versionen

Der Aufruf von externen Angebots-Version erfolgt von der Nachfrage-Version aus. Der Name der Version, der Pfaddatei und der Datei mit den Umlegungsparametern sind in der Nachfrageversion in der Benutzerdefinierten Tabelle „Nachfragemodell - Versionen“ hinterlegt (siehe Tabelle 86, Aufruf über Listen → Benutzerdefinierte Tabellen → Tabellendefinitionen → ggf. über Attributauswahl die relevanten Spalten auswählen).



Anzahl: 2	Nr	Name	Pfad	UPAR	VER
1	1	PKW	LVMBW_Analyse_V01.pfd	LVM_BW_Analyse_NeMo_IV_V01.xml	LVM_BW_Analyse_NeMo_IV_V01.ver
2	2	ÖEV	LVMBW_Analyse_V01.pfd	LVM_BW_Analyse_NeMo_ÖV_V01.xml	LVM_BW_Analyse_NeMo_ÖV_V01.ver

Tabelle 86: Tabelle mit den Namen der aufzurufenden Versionsdateien für die Angebots-Versionen

Der Aufruf erfolgt durch ein internes Python-Skript (siehe Abbildung 96). Nachdem die Version gestartet ist, wird eine Verfahrensparameterdatei geladen. Weiterhin werden benutzerdefinierte Attribute zwischen den Versionen ausgetauscht, zum Beispiel die aktuelle Rückkopplungsschrittnummer und die maximale Rückkopplungsschrittzahl.

Von der Hauptversion aus werden alle Schritte aktiv gesetzt und der Berechnungsstart ausgelöst. Die einzelnen Verfahrensschritte werden in einem ersten Schritt identifiziert. Je nach Berechnungsfortschritt der Hauptversion (initialer Schritt oder «normaler» Rückkopplungsschritt oder finaler Schritt) werden dann nicht benötigte Verfahrensschritte abgeschaltet. So wird zum Beispiel die Auswertung nur dann benötigt, wenn der aktuelle Aufruf der abschließende Umlegungsschritt ist. Auf diesem Weg ist nur eine Umlegungsparameterdatei zu pflegen, obwohl der Aufruf des Teilmodells von verschiedenen Punkten innerhalb des gesamten Verfahrens erfolgen kann. Welche Arbeiten in welchen Rückkopplungsschritten ausgeführt werden, ist in den Schalttabellen (Tabelle 87 bis Tabelle 88) dokumentiert. Ein wichtiges Ergebnis der Umlegung sind die aktuellen Kenngrößenmatrizen. Diese werden auf Festplatte gesichert und stehen damit der Nachfrage-Version zur Verfügung. Dieses Verfahren kommt bei beiden Angebots-Versionen zum Einsatz.

Mit dieser „Mechanik“, eine bestimmte Umlegungsparameterdatei einzulesen, Verfahrensschritte eindeutig zu identifizieren, zuerst alle Verfahrensschritte anzuschalten, anschließend bestimmte Verfahrensschritte nach einem Schema abzuschalten, soll bestmöglich sichergestellt werden, dass immer die gleichen, fest definierten Verfahrensschritte ausgeführt werden. Gleichzeitig ist es für

einen Bearbeiter auch möglich, zwischenzeitlich einzelne Verfahrensschritte temporär an- oder abzuschalten, zu testen oder temporär hinzuzufügen, ohne um die korrekte Ausführung des Gesamtmodells zu fürchten.

```

Skript ausführen
Skript-Umgebung: Python 3.11
Skript-Code direkt eingeben:
#####
# Öffnen einer zweiten Visum-Instanz
# und Abarbeiten der Verfahrensschritte
#
# PTV, BD / AnLü / EP
#
#####

# Import von Bibliotheken-----
import win32com.client
import time
import os

# Nutzereinstellungen -----
Tabellenname = 'Nachfragemodell - Versionen'          # Kategorie mit Dateinamen der Externen Versionen
Tabellenname_Auswertung = "Auswertung - Rückkopplungsstatistik"

# POIKatRueckkopplungsstatistik=101

# Sonstige Initialisierungen -----
t1= time.time() #Startzeit speichern
NameVersion = Visum.Net.TableDefinitions.ItemByKey(Tabellenname).TableEntries.ItemByKey(2).AttValue("VER")
NamePfad = Visum.Net.TableDefinitions.ItemByKey(Tabellenname).TableEntries.ItemByKey(2).AttValue("Pfad")
NamePar = Visum.Net.TableDefinitions.ItemByKey(Tabellenname).TableEntries.ItemByKey(2).AttValue("UPAR")

# Berechnung -----

def visum_error_message(Vis):
    output_message = ""
    for procedure in range(1, len(Vis.Procedures.Operations.GetAll) + 1):
        prod = Vis.Procedures.Operations.ItemByKey(procedure)
        if prod.AttValue("Messages"):
            if prod.AttValue("Messages").startswith("Fehler"):
                output_message += f"VFS {procedure}: {prod.AttValue('Messages')}"
            elif prod.AttValue("Messages").find("COM Error") != -1:
                output_message += f"VFS {procedure}: {prod.AttValue('Messages')}"

```

Abbildung 96: Ausschnitt aus einem Python-Skript im Teilmodell Nachfrage

Wenn Szenarien berechnet werden, sind in der Nachfrage-Version lediglich der Name und Pfad der Angebotsversionen auszutauschen. Auf diesem Wege kann jede beliebige Angebots-Version mit der Nachfrage-Version „gekoppelt“ werden.

Aufgabe	Initialer Schritt / erster Aufruf	Standardschritt als Teil einer Rückkopplung	Finale Umlegung / Berechnungsabschluss
Nachfragematrix lesen Pkw	nur statischer Teil	x	x
Nachfragematrix lesen Rad			x
Kenngößen berechnen und schreiben Pkw	x	x	
Kenngößen berechnen und schreiben Rad	x		
Umlegung Pkw		x	x
Umlegung Rad			x
Auswertung Pkw/Rad			x

Tabelle 87: Schalttable Verfahrensschritte Pkw/Rad-Verkehr

Aufgabe	Initialer Schritt / erster Aufruf	Standardschritt als Teil einer Rückkopplung	Finale Umlegung / Berechnungsabschluss
Nachfragematrix lesen			x
Kenngößen berechnen und schreiben	x		
Verbindungsexport	x		
Umlegung mit Verbindungsimport			x
Auswertung			x

Tabelle 88: Schalttabelle Verfahrensschritte ÖV

Die Verfahrensschritte in der Nachfrage-Version entsprechen dem klassischen 4-Stufen-Modell mit den Einzelschritten Erzeugung, Verteilung/Moduswahl und Umlegung. Dazu kommen Verfahren zum Initialisieren, zum Vorbehandeln von Kenngößenmatrizen, Summation von Nachfragematrizen zu Umlegungsmatrizen, Führen von Statistiken, Sichern und Auswerten.

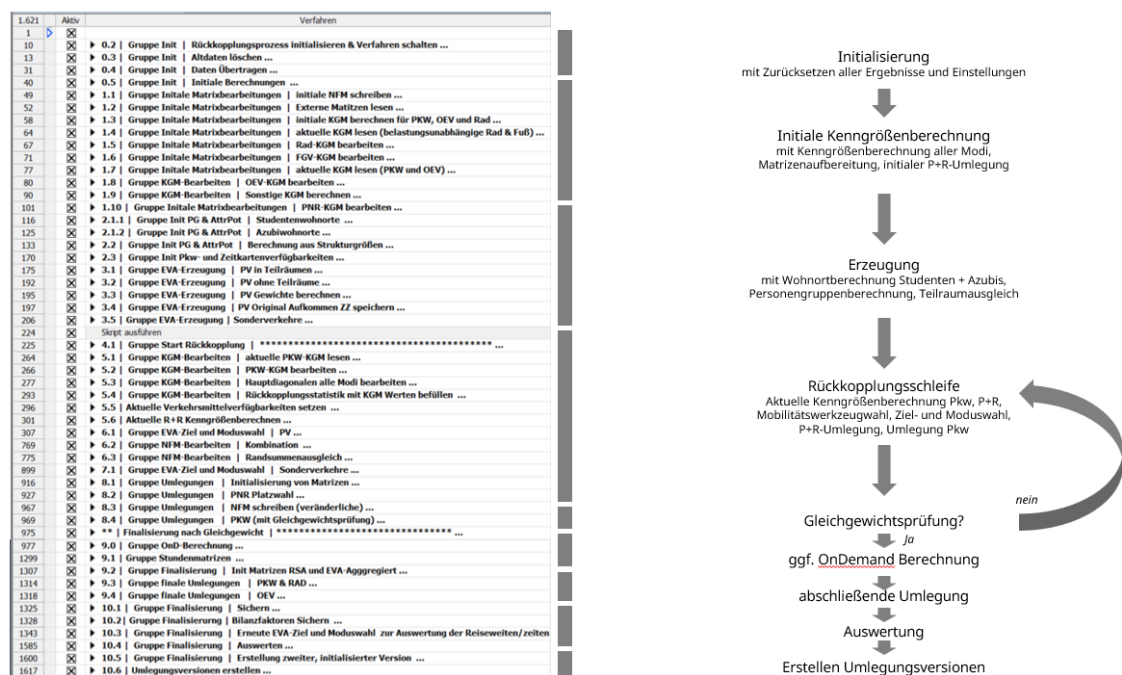


Abbildung 97: Visum-Verfahrensschritte für das Teilmodell Nachfrage

11.5 Dateigröße und Initialisierungskonzept

Die Dateigröße für das Nachfragemodell ist sehr davon abhängig, in welcher Arbeitsphase das Modell gespeichert wird. Die geschätzte theoretisch maximale Dateigröße beträgt > 1 Terrabyte. Durch Initialisieren nicht benötigter Matrizen und sukzessive Berechnung der Nachfrageschichten kann die Dateigröße für die Nachfrageversion zwischen 30 und 50 Gigabyte gehalten werden.

Um die Nachfrageversion während der Berechnung möglichst schlank zu halten, wurde ein Initialisierungskonzept entwickelt. Das sieht vor, dass nach bestimmten Verfahrensschritten nicht mehr benötigte Matrizen initialisiert werden. Die Initialisierungen sind als einzelne Verfahrensschritte eingefügt. Hierfür wird das benutzerdefinierte Matrizenattribut «Inhaltstyp» benutzt. Auf diesem Wege ist transparent, welche Matrizen wann initialisiert werden. Außerdem wird das Nachfragemodell für den privaten Personenverkehr in parkettierter Form berechnet: Zusammengefasst werden jene Nachfrageschichten, die gemeinsame Randsummenbedingungen erfüllen. So kann der maximal benötigte Arbeitsspeicherbedarf ebenfalls reduziert werden.

Nach Abschluss der Berechnung wird eine Version mit maximal möglichem Initialisierungsgrad erstellt und unter neuem Namen gespeichert. Hiermit liegt eine Dateiversion vor, die speziell für Übergaben an den nächsten Bearbeiter gedacht ist.

11.6 Arbeiten mit dem Attribut „Modellform“

In der benutzerdefinierten Tabelle „Berechnungseinstellung“ ist in der Spalte „Modellform“ eine Zeichenfolge angelegt, welche die vorliegende Modellform bezüglich Parametrisierung und Zeithorizont beschreibt. In den standardmäßigen Auslieferungen für Analyse und das Prognosereferenzszenario sind die Werte mit „Analyse“ und „REF2030“ gesetzt. Der hinterlegte Wert hat direkte Auswirkungen auf folgende Funktionalitäten/Benamungen im Laufe der Berechnung:

- Alle notwendigen Inputdateien sind mit dem jeweiligen Wert im Namen gekennzeichnet, z.B. “ oder “
- Das ÖV-Angebotsmodell berücksichtigt ausschließlich jene Linien, Anbindungen und Haltestellbereiche die in der jeweiligen Modellform aktiv sind. Der Filter wird über die benutzerdefinierten Attribute z.B. [FALL_ANALYSE] bzw. [FALL_REF2030] gesteuert.
- Im Laufe des Verfahrens werden Attribute und Werte in Abhängigkeit der Modellform gesetzt. Dies betrifft u.a. und ist in den jeweiligen Kapiteln zur den Netzmodellen näher beschreiben
 - Die Bediengebiete beim OnDemand-Angebot
 - Werte für die Parksuchzeit in Abhängigkeit vom Parkdruck
 - Werte für den Parkdruck
 - Werte für die Parkkosten
- Für das IV-Angebotsmodell ist über die Streckenattribute mit der jeweiligen Modellform im Namen erkennbar, welcher Streckentyp gültig ist. Die Setzung dieses Streckentyps erfolgte bei der Erstellung des Netzmodells und wird während des Verfahrensablaufes nicht aktualisiert.

Für die Anwendung des Modells empfiehlt es sich, **die Modellform NICHT ZU ÄNDERN**. So ist auch immer eindeutig, auf welches Szenario (Analyse, Prognose, ggf. weitere Prognoseszenarios) aufgesetzt wurde.

11.7 Datei- und Ablageordner

Für eine Berechnung mit dem LVM-BW werden bestimmte Dateien benötigt, die mit dem Verkehrsmodell ausgeliefert werden. Dazu empfiehlt es sich eine Ordnerstruktur nach dem folgenden Prinzip anzulegen:

[Auto] Name	Ext	↓ Size
⌂ [..]		<DIR>
[att]		<DIR>
[lla]		<DIR>
[log]		<DIR>
[mtx]		<DIR>
[par]		<DIR>
[ucon]		<DIR>
[xls_Input]		<DIR>
[xls_Output]		<DIR>
Vsu 25 LVM_BW_Analyse_NeMo_IV_V01	ver	11.828.864.479
Vsu 25 LVM_BW_Analyse_NFMo_PV_V01	ver	1.808.548.118
Vsu 25 LVM_BW_Analyse_NeMo_ÖV_V01	ver	411.649.717

Abbildung 98: Ordnerstruktur für einen kompletten Modelllauf

Für einen Modelllauf werden dabei folgende Dateien als Eingangsdateien ausgeliefert.

- Ordner „att“
 - Keine Inputdateien
- Ordner “lla”
 - Input_BilanzfaktorenQuellZiel_Analyse.llax
 - Input_BilanzfaktorenModi_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_Reiseweite_Analyse.llax
 - Input_Zaehlwerte_Haltestellen_OEV_Export_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_ZaehlEinAus_OEV_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_zaehlwerte_Haltestellen_OEV_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_Reisezeit_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_ZS_OEV_Analyse.llax
 - Input_Zaehlstellen_OEV_Export_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_PG_AnzWege_UR_D_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_PG_AnzWege_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_zaehlwerte_Strecken_OEV_Analyse.llax
 - Input_Auswertung_entfabh_Modal_Split_Analyse.llax

- Input_Auswertung_RSA_Analyse.llax
- Input_Auswertung_ZS_Kfz_Analyse.llax
- Input_Zaehlstellen_MIV_Export_Analyse.llax
- Input_MIV_Zaehlstellen_nach_BDT_Analyse.llax
- Input_Auswertung_Verkehrsaufkommen_Analyse.llax
- Input_uebergabe_bezirksattribute_NFM_nach_IV_Analyse.llax
- Input_Auswertung_Rueckkopplung_Analyse.llax
- Input_Auswertung_BinnenModus_Analyse.llax
- Input_uebergabe_bezirksattribute_NFM_nach_OEV_Analyse.llax
- Input_Auswertung_NSch_Analyse.llax
- Input_uebergabe_bezirksattribute_IV_nach_NFM_Analyse.llax
- Input_Auswertung_Kreise_BinnenQuellZiel_Analyse.llax
- Input_Auswertung_Kreise_BinnenModus_Analyse.llax
- Input_Zaehlstellen_Auswertung_Autobahn_Export_Analyse.llax
- Input_uebergabe_bezirksattribute_OEV_nach_NFM_Analyse.llax
- Input_MIV_Zaehlstellen_Auswertung_Autobahn_Analyse.llax
- Input_Auswertung_PG_Analyse.llax
- Input_Auswertung_Netzleistung_Analyse.llax
- Ordner “log”
 - Keine Inputdaten
- Ordner “mtx”
 - 13_20250729_LFZ_MKKQ_input_Analyse.mtx
 - 14_20250729_LkwG_input_Analyse.mtx
 - 15_20250729_LkwK_input_Analyse.mtx
 - 16_20250729_LkwM_input_Analyse.mtx
 - 1997_Filtermatrix_Städte_Umland_input_Analyse.mtx
 - 1998_Transitmaske_OEV_Strasse_input_Analyse.mtx
 - 1999_Transitmaske_QZD_input_Analyse.mtx
 - 2002_Transitmaske_SV_input_Analyse.mtx
 - 20_20251215_QZD_PPS_MKKQ_input_Analyse.mtx
 - 21_20251210_QZD_OEV_input_Analyse.mtx
 - 24_20251215_PWV_MKKQ_input_Analyse.mtx

- Ordner „par“
 - Heimataufkommen_Main.py
 - Heimataufkommen_Modul.py
 - Heimataufkommen_Modul.pyc
- Ordner „ucon“
 - Keine Inputdaten
- Ordner „xls_Output“
 - Keine Inputdaten
- Ordner „xls_Input“
 - Analyse_Input\xls_Input\Dashboard_Master_LVM_BW_V11.xlsm
- Ohne Ordner
 - Analyse_Input\LVM_BW_Analyse_NeMo_IV_V01.ver
 - Analyse_Input\LVM_BW_Analyse_NeMo_ÖV_V01.ver
 - Analyse_Input\LVM_BW_Analyse_NFMo_PV_V01.ver

In den Ordnern „att“, „log“ und „ucon“ werden im Laufe der Nachfrageberechnungen Zwischenergebnisse und Ergebnisse erzeugt. Das Ergebnisdashboard wird in „xls_Output“ gespeichert. Eingangsdaten sind hier nicht abzulegen.

11.8 Mögliches Update des Wirtschaftsverkehrs

Der Wirtschaftsverkehr kann zum einen direkt über Faktoren mittels der im Modell für den Personenverkehr enthalten WiVer-Matrizen fortgeschrieben werden.

Alternativ ist eine Fortschreibung mit der Software Regiontrans, die auch für die Erstellung der Matrizen genutzt wurden. RegioTrans ist eine Eigenentwicklung von SSP Consult. Den Kern des Modells stellen Skripten und ausführbare Programme dar, die unter dem Betriebssystem Linux lauffähig sind. In Windows existieren mehrere Möglichkeiten Linux-Programme laufen zu lassen, u.a. das schon seit 1995 existierende cygwin (siehe www.cygwin.org) und das von Microsoft selbst eingeführte WSL (Windows Subsystem Linux).

Die übliche RegioTrans Implementierung, die zum Teil auch noch für das LVM-BW Gültigkeit war, war folgende:

Die vollständigen Eingabedaten und Parameter des Modells waren in einer Excel-Datei in verschiedenen Tabellenblättern enthalten. Der Anwender sollte im wesentlichen Strukturdaten ändern können, konnte hier auch leicht Modellparameter bearbeiten.

Aus Excel heraus war es möglich durch einen Klick den Modelllauf zu starten. Dabei wurden Daten und Parameter unter Verwendung von VBA (Visual Basic for Applications) in eine Schnittstellendatei herausgeschrieben, die cygwin-Umgebung mit einem Systemaufruf gestartet, die dann das eigentliche Modellskript aufrief.

In einem ersten Schritt wurde die Schnittstellendatei decodiert, sodass Dateien entstanden, die den Anforderungen der Modellimplementierung entsprachen. Im zweiten Schritt wurde der Modelllauf gestartet. Ergebnis waren die Fahrzeugmatrizen, die bei Bedarf auch für den Import in Visum aufbereitet werden konnten.

Innerhalb des LVM-BW wurde dieser Ablauf etwas verändert. Ziel war, dass

- die für das Modellergebnis notwendigen Strukturdaten in VISUM gehalten werden,
- der Start des Modells aus dem Verfahrensablauf heraus erfolgt und
- der Import der Ergebnisse ebenfalls Teil des Verfahrensablaufs ist.

Technisch ist dies folgendermaßen realisiert:

Die für den Lauf des Modells von den Verkehrsbezirken abhängigen Daten sind als benutzerdefinierte Attribute in VISUM vorhanden. Diese sind in folgender Tabelle dargestellt:

	Bemerkung
Spezielles	
WIVE_CODE_LFD	eindeutige laufende Nummer der Verkehrszelle
WIVE_SG_RAUMTYP	siedlungsstruktureller Raumtyp
WIVE_FLAG_ERZRAUM	Flag ob Zelle Teil des Erzeugungsraums
Strukturdaten	
WIVE_SG_BEV	Bevölkerung
WIVE_SG_BESCH_PRODUKTION	sozialversicherungspfl. Beschäftigte nach Branchen
WIVE_SG_BESCH_BAU	
WIVE_SG_BESCH_HANDEL	
WIVE_SG_BESCH_VERKEHR/LAGEREI	
WIVE_SG_BESCH_SONSTIGES	
WIVE_SG_BESCH_INSGESAMT	
u,v-Faktoren	Q entspricht u und Z entspricht V
WIVE_FAK_Q_LKW1	LKWU28 und LKW28B235
WIVE_FAK_Q_LKW2	LKW35B75
WIVE_FAK_Q_LKW3	LKW75B12
WIVE_FAK_Q_LKW4	LKWGT12
WIVE_FAK_Q_PKW	PKW Wirtschaftsverkehr
WIVE_FAK_Z_LKW1	LKWU28 und LKW28B235
WIVE_FAK_Z_LKW2	LKW35B75
WIVE_FAK_Z_LKW3	LKW75B12
WIVE_FAK_Z_LKW4	LKWGT12
WIVE_FAK_Z_PKW	PKW Wirtschaftsverkehr

Tabelle 89: benutzerdefinierte Bezirksattribute für RegioTrans

Parameter und Skripten sind weiterhin in externen Dateien vorhanden. Dies alles in einem Ordner mit der Bezeichnung WiVe. Für den Lauf des Modells aus einem Visum-Verfahrensablauf heraus, ist der Ordner in den Ordner der entsprechenden Visumversion zu kopieren.

Im Ordner WiVe sind mehrere Unterordner vorhanden:

- bin – enthält die unter WSL lauffähigen Programme
- cmds – enthält die verwendeten bash Skripten. Bash entspricht der Eingabeaufforderung unter Windows und wird hier in seiner Funktion als Skriptinterpreter verwendet.
- Ergebnis – Ordner in den die Ergebnismatrizen geschrieben werden
- perls – enthält perl Skripten. Perl ist eine sehr leistungsfähige Skriptsprache
- Sonst – enthält u.a. eine Excel-Datei mit den Modellparameter und entspricht einem Teil der originalen RegioTrans Excel-Steuerungsdaten. Es enthält weiterhin den Teil der Steuerungsdatei, der die Parameter bereitstellt. Die Beschreibung der Vorgehensweise folgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

Der Lauf des Modells wird im Verfahrensablauf gestartet. Er enthält drei Schritte, jeder Schritt ist dabei ein Python Skript.

Aktiv	Verfahren	xc	Kommentar	A
☒	▼ Wirtschaftsverkehrsmodell		Steuerung Wirtschaftsverkehrsmodell	
☒	Skript ausführen		Strukturdaten etc. rausschreiben	
☒	Skript ausführen		Skriptaufruf von RegioTrans	
☒	Skript ausführen		Einlesen der Ergebnisse	

Abbildung 99: Verfahrensschritte des Wirtschaftsverkehrsmodell in VISUM

Schritt 1 ist ein vergleichsweise umfangreicheres Skript, in dem die aufgeführten benutzerdefinierten Attribute des Wirtschaftsverkehrsmodells zusammen mit Codes in die Textdatei mit Namen REGIOTRANS_VISUM_INPUT.txt geschrieben werden. Dies sind die wesentlichen Benutzereingaben.

Schritt 2 ist ein Skript welches das Hauptskript außerhalb von Visum startet. Der Aufruf eines WSL Programm unter Windows python verlangt gewisse Umwege, die die Interpretation des Ablaufs erschweren:

Aus Python heraus wird erst die Windows Eingabeaufforderung aufgerufen (cmd) die über ein Eingabeaufforderungs-Skript (run_wsl_visum.cmd) -oft auch als Batch-Datei bezeichnet - welches dann wsl mit einem Argument aufruft. Das Argument ist selbst ein Skript, welches von wsl nun interpretiert wird. Es wird in den Ordner der laufenden Visum-Version gewechselt und dann das eigentliche Modellskript cmd.do_calc_wsl aufgerufen.

Das Skript cmd.do_calc_wsl fügt die Standard-Parameterdatei aus dem Ordner Sonst/ und die Datei mit den Benutzereingaben zusammen und startet dann den Berechnungskern des Modells. Es erscheint ein neues Fenster auf dem Desktop in dem die einzelnen Berechnungsschritte sichtbar

werden. Visum wartet nun auf die Vollendung dieser Berechnung. Diese Berechnung kann bei Bedarf mit einem Klick in das Berechnungsfenster und der Eingabe von Steuerung-C abgebrochen werden.

Die Berechnung selbst ist rechenzeitaufwändig, insbesondere geschieht viel I/O auf die Massenspeicher. Idealerweise wird auf dem lokalen Rechner mit einer SSD gearbeitet. Netzwerklaufwerke sind unter WSL Performancebremser, von einer Berechnung auf einem Netzwerklaufwerk wird abgeraten.

Schritt 3 ist ein Skript welches die erzeugten Matrizen im Ordner Ergebnis einliest. Es werden die Matrizen mit den Codes

- WV_LKWU28
- WV_LKW28B35
- WV_LKW35B75
- WV_LKW75B12
- WV_LKWGT12
- WV_PKW

mit Werten gefüllt.

Zu erwähnen ist, dass diese Matrizen keine eigentlichen Visum-Nachfragesegmente darstellen und auch vor eigentlicher Umlegung noch bearbeitet werden. Dies ist an anderer Stelle beschrieben.

Installation von WSL/Ubuntu

Neben der Kopie des Ordners WiVe in den Ordner mit der Visumversion, ist die WSL Umgebung einzurichten.

Die Installation von WSL hat sich seit Erscheinen immer öfters verändert, Dokumentationen dazu sind leicht im Internet vor allem unter Nutzung eines KI-gestützten Chatbots zu finden.

Hier die aktuell einfachste Installations-Methode (ab Windows10 21H2 und Windows11):

Powershell als Administrator starten.

```
wsl --install
```

eingeben. Fertig!

Gegebenenfalls sind für den Lauf von RegioTrans zusätzliche Pakete zu installieren, eine Installationsanleitung wird dann im Fenster des gescheiterten Aufruf mit ausgegeben. Folgendes kann aber vorab schon getestet werden. Dazu

Ubuntu

in Windows aufrufen.

Im erscheinenden Terminalfenster

`sudo apt update`

eingeben. Die Paketlisten werden aktualisiert. Es wird ein Passwort verlangt, das bei der Ersteinrichtung von WSL vom Nutzer vergeben wurde.

Wichtige Programme, wo nicht klar ist, ob sie zur Standardinstallation gehören, sind:

dos2unix

eingeben. Wenn es nicht vorhanden ist

`sudo apt install dos2unix`

eingeben.

Ebenfalls

perl -v

eingeben. (Die Eingabe von perl allein würde auf Input warten, deshalb hier das -v)

Wenn nicht vorhanden

`sudo apt install perl`

eingeben.

Gegebenenfalls tauchen im Modelllauf weitere noch nicht installierte Programme auf, die dann entsprechend zu installieren sind. Erfahrungsgemäß ist es aber nur dos2unix.

12 Anwendungsfälle

12.1 Neue Kfz-Strecken einfügen

Beim Einfügen einer Kfz-Strecke ist zu beachten, dass die Strecke eine entsprechende Streckentypisierung erhält.

Außerdem sind für die Strecken ggf. die entsprechenden benutzerdefinierten Attribute zu setzen. Die Bedeutung der benutzerdefinierten Attribute ist im Kapitel zur Angebotserstellung Kfz-Netz nachzulesen bzw. ist in den Kommentaren der benutzerdefinierten Attribute vermerkt.

Für den Radverkehr sind die Attribute: [RADVERKEHR_RADWEG_KATEGORIE] und [RADVERKEHR_RADWEG_LAGE], für den MIV relevant ist ggf. das Attribut [BUSSE_TAGESBELASTUNG].

12.2 Fahrplanänderungen ÖV

An dieser Stelle wird darauf eingegangen, wie die Attribuierung neuer Linien und den Linien untergeordneter Elemente des ÖV-Angebots zu erfolgen hat. Sofern neue Haltepunkte oder Haltestellen in das Netzmodell eingefügt werden müssen, ist dabei Kapitel 12.4 zu berücksichtigen.

Auf Ebene der Linien ist es relevant, die benutzerdefinierten „FALL_“-Attribute richtig zu setzen, die angeben, in welchem Fall die Linie aktiv sein soll. Da eine Variante des Modells für einen bestimmten Fall aufgebaut ist (siehe Kapitel 11.6), ist es insbesondere wichtig, das Bool-Attribut für diesen Fall aktiv zu setzen, soll eine Linie in der Berechnung aktiv sein.

Auf Ebene der Linienrouten und Linienroutenelemente sind keine Angaben zu machen. Das Attribut „LAGE_IN_PEK“ auf Linienroutenelement-Ebene wird automatisiert im Verfahrensablauf gesetzt.

Soll die Ankunft und Abfahrt bzw. die Fahrzeit für ein Fahrzeitprofilelement gesetzt werden, ist zu berücksichtigen, dass die Streckenfahrzeiten in der ÖV-Version nicht korrekt sein müssen, weshalb die Fahrzeiten nicht über das Streckennetz übernommen werden sollten. Eine mögliche Alternative ist es, Fahrzeiten von bestehenden Linien abzuleiten.

Auf Ebene der Fahrplanfahrten und Fahrplanfahrtelemente sind keine Angaben zu machen. Das rechenrelevante Attribut „PREIS_FAHRWEITE_UMLEG“ auf Fahrplanfahrtelement-Ebene wird automatisiert im Verfahrensablauf gesetzt.

Die Fahrzeugkombinationen sind im LVM-BW grundsätzlich auf Ebene der Fahrplanfahrabschnitte gesetzt. Es ist darauf zu achten, dass diese bei angepassten oder neu eingefügten Linien korrekt gesetzt werden, um Kapazitäten und Auslastungen richtig berechnen zu können.

12.3 SPNV-Linie einfügen (mit Bedienung neuer Bahnhöfe)

Das Einfügen einer SPNV-Linie erfolgt generell entsprechend dem Einfügen neuer Linien in der verwendeten Visum-Version. Mit Blick auf das LVM-BW hat die Modellierung neuer Haltepunkte (siehe Kapitel 12.4) und deren Anbindung (siehe Kapitel 12.5) entsprechend der Modellphilosophie zu erfolgen.

12.4 Haltestelle oder Haltepunkt einfügen

Haltestellen können im LVM-BW auf zwei Arten aufgebaut sein:

1. Haltestelle mit einem Haltestellenbereich
2. Haltestelle mit mehreren Haltestellenbereichen

Haltestellen sind im LVM-BW grundsätzlich so abstrahiert, dass es pro Haltestellenbereich nur einen Haltepunkt gibt. Im ersten Fall wird direkt an den Haltestellenbereich angebunden, auf der der Haltepunkt liegt. Im zweiten Fall wird ein zusätzlicher Neutraler Haltestellenbereich eingefügt. Dieser hat keinen eigenen Haltepunkt. Alle Anbindungen laufen zu diesem Neutralen Haltestellenbereich.

Die Lage des Neutralen Haltestellenbereichs ist relevant, da die Übergangsgehzeiten aus den Entfernungen zwischen den Haltestellenbereichen im Verfahrensablauf gesetzt werden. Somit kann es sinnvoll sein, für die Anbindung des Neutralen Haltestellenbereichs einen (isolierten) Knoten einzufügen.

Beispielhaft für das Einfügen einer SPNV-Linie: Im Modell soll eine neue SPNV-Linie eingefügt werden, die einen neuen Haltepunkt bekommt. Dieser Haltepunkt liegt (wie in den meisten Fällen) an einer bereits bestehenden Bushaltestelle. In diesem Fall sollte a) der Haltepunkt für den SPNV-Halt mit einem neuen Haltestellenbereich und b) ein Neutraler Haltestellenbereich eingefügt werden. Sofern bereits Anbindungen zur bestehenden Bushaltestelle laufen, sollten diese gelöscht werden und neue Anbindungen an den Neutralen Haltestellenbereich gesetzt werden. Unter Umständen können zusätzliche Anbindungen von weiteren Bezirken zu dem Neutralen Haltestellenbereich aufgrund des größeren Einzugsbereichs von Schienenhaltestellen gesetzt werden (siehe dazu und zum Setzen der Anbindungszeiten Kapitel 12.5).

Auf Ebene der Haltestelle sind die Attribute „LAGE_IN_PEK“, „VERBUENDE_CODE“ und „VERBUENDE_NR“ zu setzen, die jedoch nicht rechenrelevant sind. Ebenso sind die „TYP_MANUELL“-Attribute manuell zu setzen. Sie haben ausschließlich Bedeutung für eine automatisierte bzw. einheitliche Anbindungssetzung und -zeitberechnung und sind im Rahmen des vorgegebenen Verfahrensablaufs ebenfalls nicht rechenrelevant. Das Attribut „TYP_FORMEL“ berechnet automatisch den Haltestellentyp (siehe Kapitel 6.4). Sofern eine Haltestelle über einen ÖV-Fußweg mit einer anderen Haltestelle verbunden ist, funktioniert diese automatisierte Berechnung nicht. In diesem Fall ist der Typ manuell in dem „TYP-MANUELL“-Attribut für die entsprechende Modellvariante zu setzen. Sofern das „TYP-MANUELL“-Attribut ungleich 0 ist, wird dieser Wert anstatt des Attributs „TYP_FORMEL“ übernommen.

Auf Ebene der Haltestellenbereiche ist die Typ-Nr und das „FALL_“-Attribut durch den Modellanwender zu setzen. Bei der Typ-Nummer wird zwischen 0 (Haltestellenbereiche mit Haltepunkt) und 8 (Neutrale Haltestellenbereiche) unterschieden. Das „FALL_“-Attribut muss aktiviert sein, sofern der Haltestellenbereich nutzbar sein soll, was in der Regel der Fall ist, wenn dieser neu eingefügt wurde.

Auf Ebene der Haltepunkte sind keine gesonderten Attribute zu setzen.

12.5 Anbindungen einfügen

Für den IV ergeben sich keine gesonderten Anforderungen beim Ergänzen der Anbindungen über die Standard-VISUM-Attributierung hinaus. Fakultativ kann das Attribut „Modellraum“ gesetzt werden: 1 für BaWü, 2 für den Einflussraum, sonst 3.

Folgende Setzungen sind aus Konsistenzgründen beim Verwenden der Umlegungsversion mit reduziertem Verfahrensablauf wünschenswert:

- Länge 0,1km
- Zeit „Fuss“: 60s
- Zeit restliche VSys: 120s

Die Erstellung neuer ÖV-Anbindungen oder die Anpassung bestehender ÖV-Anbindungen ist in den folgenden Fällen notwendig:

1. Neue Haltestellen wurden angelegt
2. Bestehende Haltestellen erhalten zusätzliche höherrangige Verkehrssysteme (z.B. eine ursprüngliche Bushaltestelle erhält zusätzlich einen Eisenbahnhalt)
3. Verkehrsbezirke werden verfeinert oder aggregiert

Es ist zu empfehlen, in der Modellanwendung die ÖV-Anbindungen analog zur Modellphilosophie des Analysemodell zu erstellen (vgl. Kapitel 6.5). Dabei wird eine Haltestelle mit nur einem einzigen Haltestellenbereich an dessen Zugangsknoten angebunden. Bei Haltestellen mit mehreren Haltestellenbereichen wird ausschließlich der sog. **neutrale Haltestellenbereich** angebunden (vgl. Kapitel 12.4). Zudem wird analog zum Anbindungskonzept zwischen Bus- und Schienenhaltestellen unterschieden:

- **Fall 1 Schienenhaltestellen im Planungsraum:** Hier sind alle Haltestellen anzubinden, deren Einzugsradius (600m für Tram/Stadtbahn, 1000m für schwere Schiene) sich mit dem Bezirkspolygon überschneidet. Als Länge der Anbindung wird die Luftlinienentfernung zwischen Bezirksschwerpunkt und Knoten automatisch gesetzt. Diese ist so anzupassen, dass sie die tatsächliche Fußwegdistanz zwischen Bezirksschwerpunkt und Haltestelle abbildet. Im Analysemodell wurde dies über einen pauschalen Umwegfaktor von 1,3 umgesetzt.
- **Fall 2 reine Bushaltestellen, alle Haltestellen im Einflussraum:** Hier ist es mindestens erforderlich, analog zur Analyse-Modellphilosophie alle Linienrouten anzubinden, die Haltepunkte innerhalb des Bezirkspolygons enthalten. Die übrigen fußläufig erreichbare Bushaltestellen können

optional angebunden werden, aber dies ist nicht zwingend erforderlich. Die automatisch gesetzte Anbindungslänge muss angepasst werden, wobei für alle Anbindungen eines Verkehrsbezirks ein einheitlicher Wert zu setzen ist: die aus Perspektive der Bebauung innerhalb des Verkehrsbezirks mittlere Zugangsweite zur nächstgelegenen Bushaltestelle. Im Analysemodell wurde diese automatisch anhand von Gebäudedaten berechnet. In der Modellanwendung kann sie z.B. über das Luftbild abgeschätzt werden.

Die folgenden Attribute sind nach dem Erstellen der Anbindungen zu setzen:

- VSYSSET: "F"
- LÄNGE: siehe oben: Fall 1 und 2
- T0-VSYS(F): Berechnung über Länge und Zu-/Abgangsgeschwindigkeit (Berechnungsformel im Analysemodell: siehe Tabelle 24)

Zudem ist das Setzen der Typ-Nummer nicht berechnungsrelevant, empfiehlt sich aber in vielen Fällen aus Gründen der Übersichtlichkeit. Ansonsten sind keine Attribute berechnungsrelevant. Insbesondere die benutzerdefinierten Attribute FALL_ANALYSE, VSYS_SET_ORIGINAL und T0_FUSS_ANALYSE sind NICHT berechnungsrelevant und müssen nicht gesetzt werden. Es werden zudem keine Anbindungsanteile verwendet, weshalb Gewicht(ÖV) ebenfalls nicht berechnungsrelevant ist.

12.6 Verändern / Hinzufügen von OnDemand-Bediengebieten

Eingangsgrößen

Falls Einstellungen geändert werden sollen, kann man sich an folgender Liste orientieren:

- Welche **Verkehrszeiten** sollen berechnet werden (siehe Benutzerdefinierte Tabelle „Verkehrszeiten“)?
Die Verkehrszeiten müssen mit dem Zeitraum harmonisieren, für den Kenngrößen berechnet werden. Aus diesem Grund, sollte z.B. 0 bis 5 Uhr immer deaktiviert bleiben.
- Informationen zum OnD-Angebot in den **Bediengebieten** (siehe POI-Liste „OnD_Gebiete“).
- Was ist die mittlere **Shuttlegeschwindigkeit** und der theoretische **Shuttle-Takt** (siehe Netz-Attribute)?

Veränderung in den Bediengebieten

- Ggf. Anpassen der POI-Liste „OnD_Gebiete“ (Ändern / Hinzufügen / Löschen von Zeilen)
- Ggf. Anpassen der Bezirks-BDA „OnD-Gebiet_Num_Analyse“ bzw „OnD-Gebiet_Num_REF2030“:
Zuordnung der Bediengebietsnummern (entsprechend der POI-Liste „OnD_Gebiete“) anpassen.

12.7 Verkehrsbezirke verfeinern

Die Verfeinerung von Verkehrsbezirken empfiehlt sich ausschließlich in Teilnetzen. Hier sind entsprechende Splitfaktoren für die umzulegenden Matrizen anzugeben.

Das Splitten der Verkehrsbezirke in der ganzheitlichen Version, mit dem Ziel, eine neue Nachfrageberechnung zu erhalten, erfordert komplexe Anpassungen im Nachfragemodell und in den Umlegungsversionen:

- Anpassung der Bezirksstruktur in allen Tochterversionen (Angebotsnetze) und der Mutterversion (Nachfrageberechnung) und im Güterverkehrsmodell
- Setzen der notwendigen Anbindungen in den Umlegungsversionen
- Anpassung aller Eingangsmatrizen (Transitmaske, Bewertung Grenzverkehre, Quell-Ziel- und Durchgangsverkehre ggf. Güterverkehrsmatrizen) inklusive Aktualisierung der Matrixbezüge für das Einlesen.

- Anpassung aller notwendigen benutzerdefinierten Attribute auf Bezirksebene:

In einem ersten Schritt ist es sinnvoll, den Wert aller benutzerdefinierten Attribute der verfeinerten Attribute aus der gröberen Struktur beizubehalten. Für die Attribute ist entsprechend der in den Kommentaren beschriebenen Bedeutungen zu evaluieren, inwiefern ein Update erfolgen muss.

In einem zweiten Schritt sind in jedem Fall die Werte der Strukturgrößen in den Attributen gekennzeichnet mit dem Präfix „SG_“ und „SIEDLUNGSFLAECH_“ anhand von Split-Faktoren zu aktualisieren.

12.8 Umlegung Kfz-/Radverkehr rechnen

Für eine reine Umlegungsrechnung für Kfz/Radverkehr empfiehlt es sich die ausgelieferten Versionsdateien „LVM_BW_Modellform_NeMo_IV_V01_calc_Final_Umlegungsversion.ver“ heranzuziehen, die gewünschten Änderungen vorzunehmen (siehe Kapitel 12.1, 12.2, 12.7) und die Umlegung neu zu rechnen. Dafür ist der enthaltene Verfahrensablauf zu starten (siehe Abbildung 100). Ggf. sind die Gruppen so zu aktivieren/deaktivieren dass nur der Radverkehr, nur der Kfz-Verkehr oder beides umgelegt wird.

Verfahrensablauf				
	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)	Kommentar
10	☒	Alle Filter zurücksetzen		Filter initialisieren
1	☒	▼ Rad Umlegung	2 / 2	:: Umlegen der Radverkehrsmatrizen
2	☒	Umlegungsergebnisse löschen		Initialisierung aller Umlegungsergebnisse
3	☒	IV-Umlegung	RAD-B Rad-Bio, RAD-P Rad-Pedelec	Umlegung Rad
4	☒	▼ Finale MIV Umlegung	5 / 5	:: Finale MIV-Umlegung
5	☒	Attribut ändern	Strecken - VORLAST_SV	Attribut "Vorlast_SV" initialisieren
6	☒	Attribut ändern	Strecken - GRUNDBELASTUNG	Attribut "Grundbelastung" = "Vorlast_SV"
7	☒	IV-Umlegung	LkwG Lkw > 12t, LkwK Lkw 3,5-7,5t, LkwM Lkw 7, ...	Umlegung der Lkw-Matrizen mit Sukzessivumlegung
8	☒	Attribut ändern	Strecken - GRUNDBELASTUNG	Grundbelastung aus der Tagesbelastung der Linienbusse
9	☒	IV-Umlegung	LFZ Lfz < 3,5t, PNR P+R, PPS PKW, PPS Sonder ...	Umlegung Lieferwagen und Pkw-Matrizen mit Gleichgewichtsverfahren
10	☒			

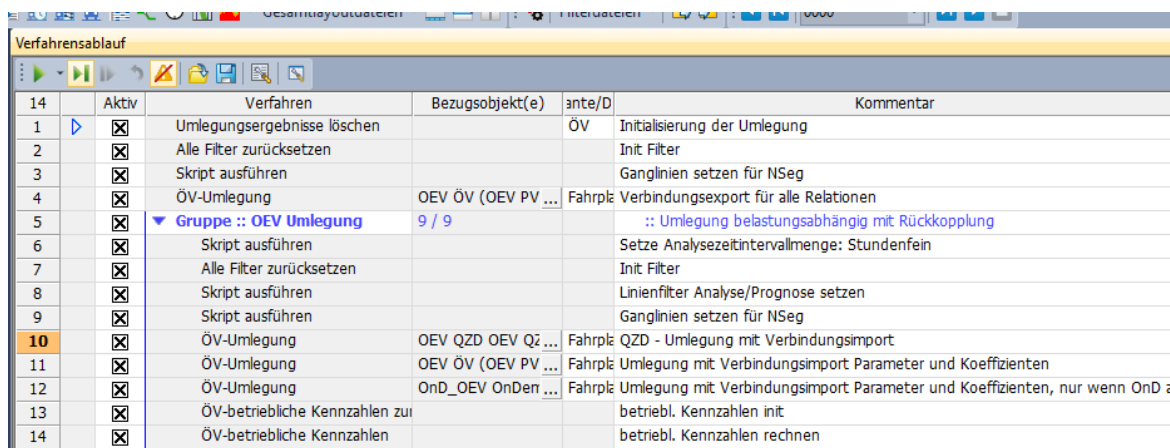
Abbildung 100: Verfahrensschritte Umlegung Kfz/Rad in der Umlegungsversion

12.9 Umlegung ÖV rechnen

Für eine reine Umlegungsrechnung für den ÖV empfiehlt es sich die ausgelieferten Versionsdateien „LVM_BW_Modellform_NeMo_ÖV_V01_calc_Final_Umlegungsversion.ver“ heranzuziehen, die gewünschten Änderungen vorzunehmen (siehe Kapitel 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, 12.7) und die Umlegung neu zu rechnen. Dafür ist der enthaltene Verfahrensablauf zu starten (siehe Abbildung 101).

Ggf. sind die Gruppen so zu aktivieren/deaktivieren dass nur die Gruppe „ÖEV Umlegung“ berechnet wird. Dies ist nur dann sinnvoll, wenn die Verbindungsexporte aus Schritte 4 bereits vorliegen und darauf hin keine neuen Angebotsänderungen sondern ausschließlich Änderungen in den Nachfragematrizen vorgenommen wird.

Bei der initialen Berechnung bzw. bei Änderungen des ÖV-Angebotes sind die ersten vier Schritte zwingend auszuführen. Bitte beachten Sie dabei, dass in Abhängigkeit der Netzgröße dabei ein erhebliches Datenvolumen beim Verbindungsexport erzeugt wird. Für den gesamten Modellumgriff werden derzeit ca. 300 GB für den Verbindungsexport benötigt.



	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)	ante/D	Kommentar
14					
1	☒	Umlegungsergebnisse löschen		ÖV	Initialisierung der Umlegung
2	☒	Alle Filter zurücksetzen			Init Filter
3	☒	Skript ausführen			Ganglinien setzen für NSeg
4	☒	ÖV-Umlegung	ÖEV ÖV (ÖEV PV ...	Fahrpl	Verbindungsexport für alle Relationen
5	☒	Gruppe :: ÖEV Umlegung	9 / 9		:: Umlegung belastungsabhängig mit Rückkopplung
6	☒	Skript ausführen			Setze Analysezeitintervallmenge: Stundenfein
7	☒	Alle Filter zurücksetzen			Init Filter
8	☒	Skript ausführen			Linienfilter Analyse/Prognose setzen
9	☒	Skript ausführen			Ganglinien setzen für NSeg
10	☒	ÖV-Umlegung	ÖEV QZD ÖEV QZ ...	Fahrpl	QZD - Umlegung mit Verbindungsimport
11	☒	ÖV-Umlegung	ÖEV ÖV (ÖEV PV ...	Fahrpl	Umlegung mit Verbindungsimport Parameter und Koeffizienten
12	☒	ÖV-Umlegung	OnD_ÖEV OnDen ...	Fahrpl	Umlegung mit Verbindungsimport Parameter und Koeffizienten, nur wenn OnD a
13	☒	ÖV-betriebliche Kennzahlen zu			betriebl. Kennzahlen init
14	☒	ÖV-betriebliche Kennzahlen			betriebl. Kennzahlen rechnen

Abbildung 101: Verfahrensschritte Umlegung ÖV in der Umlegungsversion

12.10 Teilnetze schneiden

Das Teilnetz schneiden kann prinzipiell so erfolgen, wie es im VISUM-Handbuch bzw. in der VISUM-Hilfe beschrieben ist und wird gestartet über Rechnen → Teilnetzgenerator.

Vor dem Start des Teilnetzgenerators ist zu beachten, dass ein Umlegungsergebnis mit abgespeicherten Routen zu erzeugen ist. Dazu ist zu prüfen, ob die Option „Speichern der Wege als Routen“ unter Rechnen → Allgemeine Verfahrenseinstellungen → IV-Einstellungen → Umlegung bzw. ÖV-Einstellung → Umlegungen aktiviert ist. Beim Verwenden der Umlegungsversionsdateien „LVM_BW_Modellform_NeMo_IV_V01_calc_Final_Umlegungsversion.ver“ bzw. „LVM_BW_Modellform_NeMo_IÖ_V01_calc_Final_Umlegungsversion.ver“ ist das Standardmäßig der Fall.

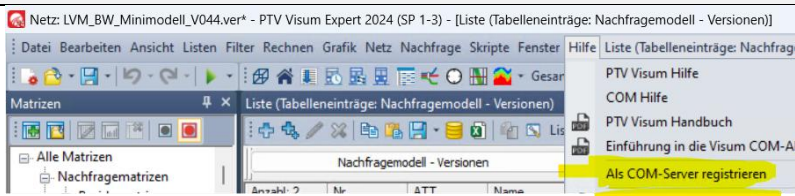
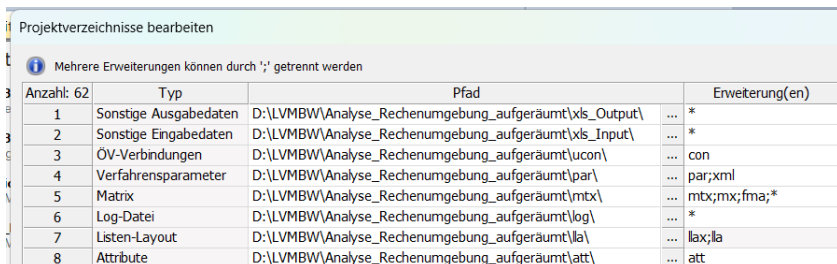
12.11 Neuberechnung der Nachfrage

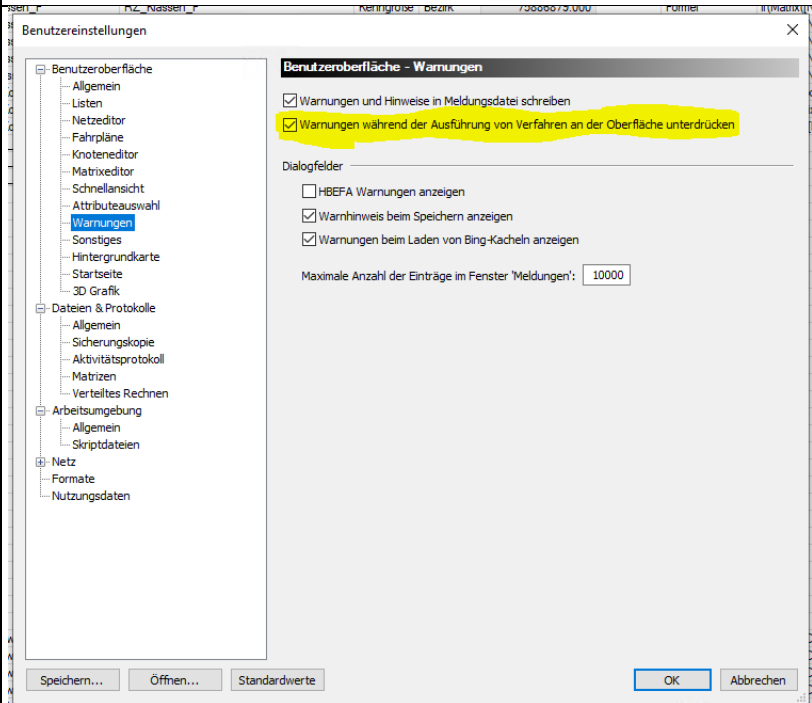
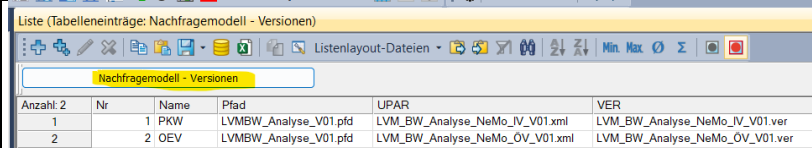
Um eine Neuberechnung der Nachfrage zu starten, müssen Eingangsdateien bzw. Einstellungen in der VISUM-Version geprüft werden. Um die Einstellung elektronisch zu dokumentieren, kann für jeden Nachfragelauf z.B. ein Word-Dokument erstellt werden, das die folgende Tabelle enthält und versionsspezifisch dokumentiert wird.

Die nachstehende Tabelle enthält die notwendigen Inputdaten für den Modellauf „Analyse“. Für den Prognoselauf "REF2030" enthalten die notwendigen Inputdateien entsprechend „REF2030“ statt „Analyse“.

Beachten Sie bitte: Grundlage aller durchgeführten Berechnungen ist das Erstellen einer VISUM-Pfad-Datei und die Registrierung VISUM 25 als com-Server.

12.12 Checkliste für notwendige Schritte

Arbeitsschritte	Verwendete Dateien / Verfahrensschritte																																													
																																														
VISUM 25 als COM-Ser- ver registrieren	• Öffnen Sie die gewünschte Visum-Instanz. • Wählen Sie im Menü Hilfe den Eintrag Als COM-Server registrieren.																																													
Prüfen des verfügbaren Speichers	Ein Modellauf produziert bis 1TB Daten. Dieses Volumen muss min- destens frei sein, bevor der Modellauf gestartet wird.																																													
Öffnen einer VISUM-Ver- sion in VISUM 25	Bitte ausschließlich VISUM 25, SP16 und höher verwenden.																																													
	Es ist eine Pfad-Datei zu erstellen, in der auf folgende Ordner zugegriffen wird: [mtx] → Matrix [att] → Attribute [ucon] → ÖV-Verbindungen [lla] → Listen-Layout [log] → Logdatei [par] → Verfahrensparamter (.xml) [xls_Input] → Sonstige Eingabedaten																																													
Erstellen bzw. Einlesen einer Pfad-Datei	 <table><tr><th>Anzahl:</th><th>62</th><th>Typ</th><th>Pfad</th><th>Erweiterung(en)</th></tr><tr><td>1</td><td></td><td>Sonstige Ausgabedaten</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\xls_Output\</td><td>...</td></tr><tr><td>2</td><td></td><td>Sonstige Eingabedaten</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\xls_Input\</td><td>...</td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>ÖV-Verbindungen</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\ucon\</td><td>con</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>Verfahrensparameter</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\par\</td><td>par.xml</td></tr><tr><td>5</td><td></td><td>Matrix</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\mtx\</td><td>mtx;mx;fma;*</td></tr><tr><td>6</td><td></td><td>Log-Datei</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\log\</td><td>*</td></tr><tr><td>7</td><td></td><td>Listen-Layout</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\lla\</td><td>lla;la</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>Attribute</td><td>D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\att\</td><td>att</td></tr></table>	Anzahl:	62	Typ	Pfad	Erweiterung(en)	1		Sonstige Ausgabedaten	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\xls_Output\	...	2		Sonstige Eingabedaten	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\xls_Input\	...	3		ÖV-Verbindungen	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\ucon\	con	4		Verfahrensparameter	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\par\	par.xml	5		Matrix	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\mtx\	mtx;mx;fma;*	6		Log-Datei	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\log\	*	7		Listen-Layout	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\lla\	lla;la	8		Attribute	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\att\	att
Anzahl:	62	Typ	Pfad	Erweiterung(en)																																										
1		Sonstige Ausgabedaten	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\xls_Output\	...																																										
2		Sonstige Eingabedaten	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\xls_Input\	...																																										
3		ÖV-Verbindungen	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\ucon\	con																																										
4		Verfahrensparameter	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\par\	par.xml																																										
5		Matrix	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\mtx\	mtx;mx;fma;*																																										
6		Log-Datei	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\log\	*																																										
7		Listen-Layout	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\lla\	lla;la																																										
8		Attribute	D:\LVMBW\Analyse_Rechenumgebung_aufgeräumt\att\	att																																										

Arbeitsschritte	Verwendete Dateien / Verfahrensschritte
	Die Pfad Datei muss zunächst erstellt werden und anschließend vor Start im Nachfragemodell aktiviert/eingelesen werden.
Deaktivieren der Warnmeldungen in den Benutzereinstellungen (Bearbeiten → Benutzereinstellungen)	
Setzen der Attribute für den Zugriff auf die Angebotsmodelle	 Dies geschieht über die Benutzerdefinierte Tabelle „Nachfragemodell - Versionen“ Ggf müssen über die Attributsauswahl die benutzerdefinierten Attribute „PFAD“, „UPAR“ und „VER“ ausgewählt werden. Die Spalten sind entsprechend für Pkw/Rad und ÖV zu befüllen. Pfad – Name der eben erstellten Pfad Datei UPAR – Name der Verfahrensparameter für Netzversionen VER – Name der Versionsdatei Hinweis: Die Kenngrößen und Umlegungsrechnung für Rad und Kfz-Verkehr finden alle in der Version statt, die in der Zeile „PKW“ hinterlegt ist. Die Kenngrößen und Umlegungsrechnung für ÖV und OnDemand-Verkehr finden alle in der Version statt, die in der Zeile „ÖEV“ hinterlegt ist.
Setzen der Attribute für die Einstellungen der Berechnung	In der benutzerdefinierten Tabelle „Berechnungseinstellungen“ sind die gewünschten Einstellungen vorzunehmen und der Name für den Master des zu füllenden Dashboards zu vermerken. Das zu befüllende Dashboard liegt im

Arbeitsschritte	Verwendete Dateien / Verfahrensschritte
	Ordner „xls_Input“, das befüllte Dashboard wird am Ende des Verfahrensablaufes in den Order „xls_Output“ geschrieben.  Optionale Berechnungen aktivieren/deaktivieren Gesetzte Modellform, in diesem Fall „Analyse“, gesetzt lassen, da daraus die Namen aller vorliegenden Input-Dateien beruhen.
Einlesen der .par-Datei zur Nachfrageberechnung	Prüfen, ob alle Verfahrensschritte aktiviert sind. Falls nur ein Teil des Verfahrensablaufs durchlaufen soll prüfen, ob die relevanten Verfahrensschritte aktiviert sind.
Check Eingangsdaten Nicht aktuell	Ordner „att“ • Keine Inputdateien Ordner „Ila“ • Input_Auswertung_BinnenModus_Analyse.Ila • Input_Auswertung_entfahh_Modal_Split_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Kreise_BinnenModus_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Kreise_BinnenQuellZiel_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Netzleistung_Analyse.Ila • Input_Auswertung_NSch_Analyse.Ila • Input_Auswertung_PG_Analyse.Ila • Input_Auswertung_PG_AnzWege_Analyse.Ila • Input_Auswertung_PG_AnzWege_UR_D_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Reiseweite_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Reisezeit_Analyse.Ila • Input_Auswertung_RSA_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Rueckkopplung_Analyse.Ila • Input_Auswertung_Verkehrsaufkommen_Analyse.Ila • Input_Auswertung_ZaehlEinAus_OEV_Analyse.Ila • Input_Auswertung_zaehlwerte_Haltestellen_OEV_Analyse.Ila • Input_Auswertung_zaehlwerte_Strecken_OEV_Analyse.Ila • Input_Auswertung_ZS_Kfz_Analyse.Ila • Input_Auswertung_ZS_OEV_Analyse.Ila • Input_BilanzfaktorenModi_Analyse.Ila • Input_BilanzfaktorenQuellZiel_Analyse.Ila • Input_MIV_Zaehlstellen_Auswertung_Autobahn_Analyse.Ila • Input_MIV_Zaehlstellen_nach_BDT_Analyse.Ila • Input_uebergabe_bezirksattribute_IV_nach_NFM_Analyse.Ila • Input_uebergabe_bezirksattribute_NFM_nach_IV_Analyse.Ila • Input_uebergabe_bezirksattribute_NFM_nach_OEV_Analyse.Ila • Input_uebergabe_bezirksattribute_OEV_nach_NFM_Analyse.Ila

Arbeitsschritte	Verwendete Dateien / Verfahrensschritte
	• Input_Zaehlstellen_Auswertung_Autobahn_Export_Analyse.llax • Input_Zaehlstellen_MIV_Export_Analyse.llax • Input_Zaehlstellen_OEV_Export_Analyse.llax • Input_Zaehlwerte_Haltestellen_OEV_Export_Analyse.llax • Ordner "log" • Keine Inputdaten Ordner "mtx" • 13_20250729_LFZ_MKKQ_input_Analyse.mtx • 14_20250729_LkwG_input_Analyse.mtx • 15_20250729_LkwK_input_Analyse.mtx • 16_20250729_LkwM_input_Analyse.mtx • 1997_Filtermatrix_Städte_Umland_input_Analyse.mtx • 1998_Transitmaske_OEV_Strasse_input_Analyse.mtx • 1999_Transitmaske_QZD_input_Analyse.mtx • 20_20251215_QZD_PPS_MKKQ_input_Analyse.mtx • 2002_Transitmaske_SV_input_Analyse.mtx • 21_20251210_QZD_OEV_input_Analyse.mtx • 24_20251215_PWV_MKKQ_input_Analyse.mtx • Ordner "ucon" • Keine Inputdaten Ordner "xls_Output" • Keine Inputdaten Ordner "xls_Input" • Analyse_Input\xls_Input\Dashboard_Master_LVM_BW_V11.xlsm Ordner „ver“ • LVM_BW_Analyse_NeMo_IV_V01.ver • LVM_BW_Analyse_NeMo_ÖV_V01.ver • LVM_BW_Analyse_NFMo_PV_V01.ver

Tabelle 90: Checkliste zur Berechnung eines Nachfragelaufs

12.13 Vermeidung üblicher Fehlermeldungen

Es wird empfohlen, die nachfolgende Liste bei der Anwendung des Modells kontinuierlich durch die Modellanwender fortzuschreiben. Zum Zeitpunkt der Erstellung wurden folgende potenzielle Fehlerquellen bei Ausführung des Verfahrens identifiziert:

- VISUM 25 ist nicht als COM-Server registriert
- Das installierte ServicePack ist 15 oder niedriger
- Pfaddatei wurde nicht oder falsch angelegt
- Pfaddatei wurde nicht eingelesen
- Warnmeldungen wurden nicht deaktiviert
- Es liegen nicht alle notwendigen Matrizen im Ordner

- Es wird ein VISUM-Release abweichend von VISUM 25 verwendet
- Es besteht nicht genügend Speicherplatz auf der Festplatte, ein Komplettlauflauf produziert bis zu 1TB Daten
- Es laufen parallele VISUM-Versionen und der Arbeitsspeicher reicht nicht aus
- Der Python-Cache ist vollgelaufen → Löschen der Dateien im Pfad `c:\Users\IhrUserName\AppData\Local\Temp\gen_py\`

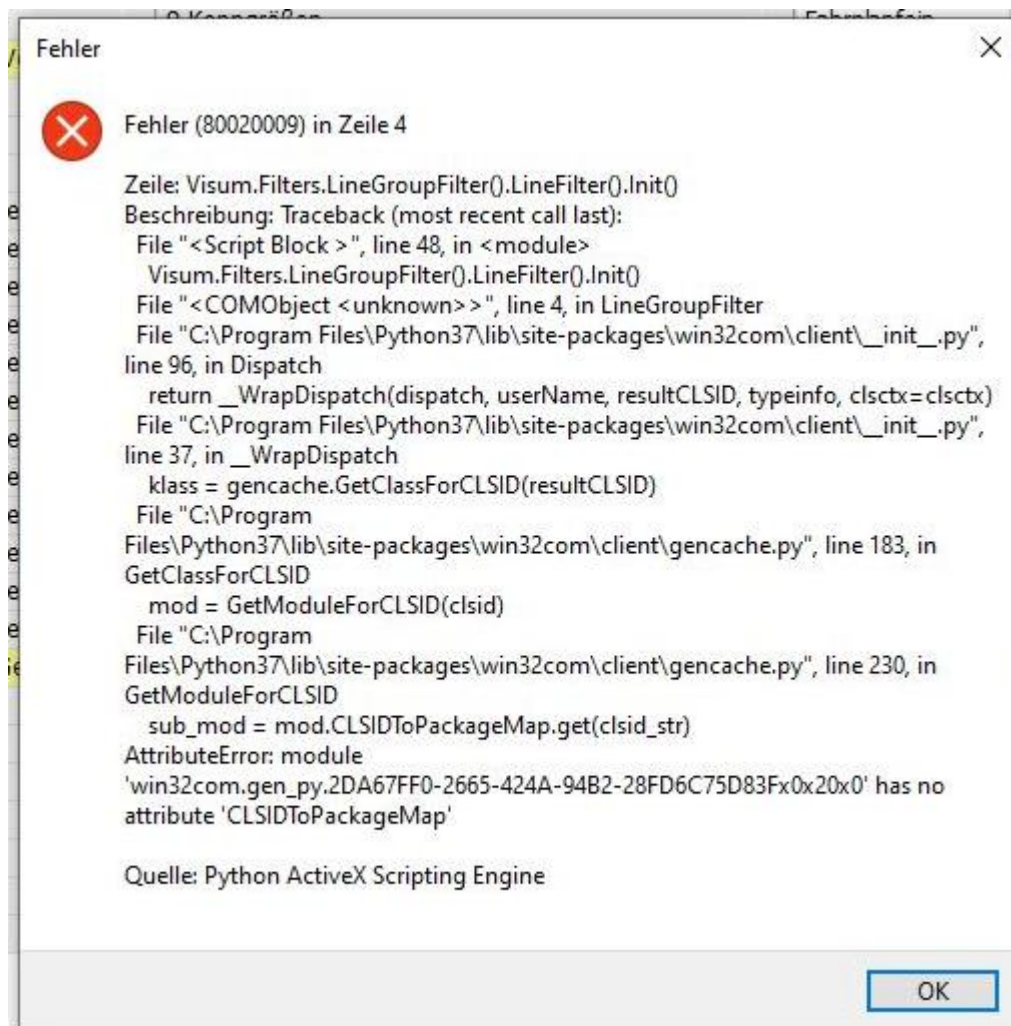


Abbildung 102: Typische Pythonfehlermeldung

13 Anhang: Maßnahmen Radverkehr Prognose

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 84	/K3763 Radweg Bühl-Eisental	Neubau
L 1095	Adelsheim/Sennfeld	Neubau
B 34	Albbruck	Neubau
B 34	Albbruck - Dogern	Neubau
L 448	Albstadt-Ebingen - Bitz (Hochfläche)	Neubau
B 294	Alpirsbach	Neubau
B 316	AS Lörrach Ost - Inzlingen - Rheinfelden/Degerfelden	Neubau
L 1201	Ausbau RGW Hochdorf	Ausbau
L 288	Ausbau RW, Gossetsweiler-Horgenzell	Ausbau
B 14	B 28, Radwegunterführung Postfrachtzentrum bei Eutingen (B 14 alt)	Neubau
B 27	Bad Friedrichshall/Jagstfeld - B27/K2029 Abzweigung Duttenberg	Neubau
B 39	Bad Rappenau/Füfelfeld	Neubau
B 34	Bad Säckingen	Neubau
L 300	Bad Waldsee RW entlang L 300/K 8033 zum Gewerbegebiet Wasserstall	Neubau
L 67	Baden-Baden/Haueneberstein - Kuppenheim (Abschnitt Haueneberstein - Förcher Kreisverkehr)	Neubau
B 312	Biberach - Riedlinger Straße	Neubau
B 27	Bietigheim-Bissingen	Neubau
B 27	Blumberg/Randen Zollstraße bis Grenze D/CH	Neubau
B 27	Blumberg/Zollhaus	Neubau
L 389	Bodelshausen	Neubau
B 32	Bodelshausen - Stockachwasen	Neubau
B 32	Bodnegg/Rotheidlen - Amtzell/Korb	Neubau
L 558	Bruchsal/Bünchenau - Bruchsal	Neubau
B 295	Calw	Neubau
L 362	Calw	Neubau
B 290	Crailsheim	Neubau
L 1066	Crailsheim - Kreßberg/Rudolfsberg	Neubau
L 204	Deggenhausertal / westlich Urnau-ab K7781	Neubau
B 34	Dogern	Neubau
B 10	Dornstadt - Stadt Ulm	Neubau
B 27	Dotternhausen - Erzingen, Radweg	Neubau
B 37	Eberbach - Landesgrenze BW/HE	Neubau
B 312	Edenbach - Eichberg	Neubau
L 137	Efringen-Kirchen/Istein	Neubau
B 465	Ehingen-Dettingen - Ehingen (zw. UF B 465 an der Donau u. Einmündung in RW von Ehingen-Berg)	Neubau
B 294	Elzach - Kreisgrenze EM/OK	Neubau
B 312	Erlenmoos - Edenbach	Neubau
L 360	Eyachtalradweg Bad Imnau - Mühlingen	Neubau
L 360	Eyachtalradweg Mühlingen - VKP L 360/K6941	Neubau
L 1050	Fichtenberg	Neubau
L 1066	Fichtenberg/Plapphof - Kreisgrenze SHA/RMK	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 440	Fridingen-Bergsteig - Freilichtmuseum	
B 500	Fuß-/Radunterführung bei der Staustufe Iffezheim	Neubau
L 623	Geh- und Radweg Karlsruhe Wolfartsweier-Grünwettersbach	Aus- und Neubau
L 1036	Geh-und Radwegbrücke Cappel	Neubau
L 163	Gemeindegrenze Dettighofen/Jestetten - Jestetten	Neubau
L 409	Glatttalradweg (3. BA) zw. Neuneck - VKP L 409/K 4756	Neubau
B 313	Grafenberg - Tischardt Grafenberg - Tischardt straßenbegleitend zur B 313 und Weiterführung zum Radweg nach Großbettlingen einschl. Anschluss Tischardt	Neubau
L 87a	GRW Achern-Hesselbach - B3	Neubau/Ausbau
L 86	GRW Lücke Achern Sasbachwalden	Neubau
L 103	GRW Münchweier - Ettenheimmünster	Neubau
L 118	GRW Schuttern - Friesenheim (DB-Brücke)	
L 115	GRW zw. L104 und Niederrotweil	Neubau
L 443	GRW zwischen Mühlheim und Königsheim	Neubau
B 33	Gutach (Schwarzwaldbahn)	Neubau
B 39	Heilbronn Wanderparkplatz "Am Sattel" - Haller Straße/Riedstraße	Neubau
L 200	Heiligenberg/Heiligenholz - Heiligenberg/Hattenweiler	Neubau
B 35	Helmsheim	Neubau
B 39	HN/Kirchhausen - Bad Rappenau/Fürfeld	Neubau
L 108	Hornberg	Neubau
B 33	Hornberg - Niederwasser	Neubau
B 33	Hornberg/Niederwasser - Kreisgrenze OK/SBK	Neubau
B 27	Hüfingen/Behla	Neubau
L 78a	Iffezheim	Neubau
B 27	Jestetten - Landesgrenze D/CH (Richtung Neuhausen am Rheinfeld)	Neubau
B 10	Karlsruhe/Knielingen - Rheinbrücke Maxau	Neubau
B 31	Kirchzarten/Himmelreich - Buchenbach/Falkensteig - Breitnau Einmündung Oberhölsteig	Neubau
L 163	Klettgau/Grießen - Riedern am Sand	Neubau
L 177	Königsfeld im Schwarzwald	Neubau
L 456	Krauchenwies Bereich alter Sportplatz bis Anschl. B 311	Neubau
L 1137	Kreisgrenze BB/LB - Ditzingen	Neubau
B 39	Kreisgrenze HN/RNK - Kirchart	Neubau
B 33	Kreisgrenze SBK/OK - Triberg im Schwarzwald/Steinbis	Neubau
L 1066	Kreßberg/Haselhof - Leukershausen	Neubau
L 1066	Kreßberg/Leukershausen - Landesgrenze BW/BY	Neubau
L 1179	L 1179, Radweg Heimsheim - Perouse	Neubau
L 534	L 534 RGW HD-Ziegelhausen-N'Gemünd	Neubau
B 3	L67 RW am KNPT B3/L67 Neumalsch	Neubau
L 67	L67 RW Förcher KVP bis Kuppenheim	Neubau
L 597	Ladenburg	Neubau
L 1076	Landesgrenze BY – Bergheim	Neubau
B 29	Lauchheim - Röttingen	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 309	Leutkirch/Mailand - Leutkirch/Unterzeil	Neubau
L 80	Lückenschluss bei Sinzheim	Neubau
L 1045	Lückenschluss kurz vor Künzelsau/Kocherstetten	Neubau
L 1153	Lückenschluss RW nördlich von Alfdorf	Neubau
L 2310	Maintalradweg Tremhof - Rosenmühle	
B 294	Mühlenbach - Kreisgrenze OK/EM	Neubau
B 313	Mühligen/Schwackenreute	Neubau
L 154	Murg - Laufenburg	Neubau
L 154	Murg - Rothaus	Neubau
L 1124	NB RW L 1124 Schweißbrücke - Marbach	Neubau
B 290	NB RW Steinbach a.d.Jagst Lückenschl.	Neubau
L 1080	NB RW zw. Abtsgmünd und Hohenstadt	
B 45	Neckargemünd	Neubau
L 1200	Neidlingen - Wanderparkplatz "Untere Wendung"	Neubau
L 1140	Neub Radverkehrsführg. Winnenden RadNETZ	Neubau
B 290	NEUB RW Kalkhöfe - Schweighausen	Neubau
L 1055	Neub. RW Michelbach - Rauhenbretzingen	Neubau
L 165	Neubau eines RW im Wangental	Neubau
B 34	Neubau RW Wyhlen-Warmbach	Neubau
L 449	Neubau RW zw. Winterlingen und Bitz	Neubau
L 1095	Neuenstadt am Kocher - Neckarsulm	
L 433	Nusplingen - Egesheim	Neubau
L 594	Nußloch - Leimen	Neubau
B 465	Oberessendorf	Neubau
L 549	Obergimpern - Untergimpern	
B 19	Obergröningen/Algishofen - Fach	Neubau
L 424	Oberndorf am Neckar	Neubau
L 1035	Obersulm Affaltracher Straße	Neubau
B 30	OD Meckenbeuren, zw. Bahnhofstr. (L 329) und K 7719	Neubau
B 30	OD Meckenbeuren/Lochbrücke, zw. K 7727 und L 333	Ausbau
B 3	Offenburg	Neubau
L 99	Ortenberg	Neubau
L 570	Pforzheim KVP Hachelallee bis Waisenrainweg Richtung Ispringen	Neubau
L 1016	Plieningen - S/Birkach	Neubau
B 462	Radw. Freudenstadt Wölperwiesenw.+Christophstal	Neubau
L 134	Radw. Kandern-Riedlingen	Neubau
L 260	Radweg + QH OD Erolzheim (Langgasse)	Neubau
B 294	Radweg Alpirsbach - Loßburg	Neubau
B 295	Radweg Althengstett - Neuhengstett	Neubau
B 312	Radweg Attenweiler/Schammach - Attenweiler/Gutershofen	Neubau
L 360	Radweg bei Weitingen Mühle, Eutingen im Gäu	Neubau
L 128	Radweg Buchenbach - Wagensteig	Neubau
L 434	Radweg bzw. Rad- und Wirtschaftsweg zwischen der KG gegen Rottweil und der K 7157 bei Schörzingen	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 240	Radweg Donaustetten - Unterweiler	Neubau
B 35	Radweg im Zuge von B35, Ersatzneubau Uf L1131 u. DB Maulbronn-West (ENZ 10)	Neubau
B 28	Radweg Kniebis-Alexanderschanze	Neubau
L 200	Radweg Lippertsreute - Altheim BA 2: Lippersreute - Abzw. Bruckfelden	Neubau
L 406	Radweg Lombach-Glatten	Neubau
L 338	Radweg OD Engelsbrand	Neubau
L 1134	Radweg Ortsausgang Mönshelm bis Zufahrt Golfplatz	Neubau
L 1135	Radweg Ortsausgang Wurmberg bis VKP L 1135/K 4570	Neubau
L 1134	Radweg Osttangente Mühlacker (zwischen Lienzinger Str. und Industriestr.) Nord	Neubau
L 260	Radweg Rank (Campus Hock) - KVP Ferthofen (Memminger Str.)	Neubau
L 320	Radweg Ratzenried- Abzweigung K 8010	Neubau
L 358	Radweg VKP L 357/L 358 - Sulz am Eck - RP Grenze	Neubau
L 1201	Radweg Weißer Stein - Aichwald	
L 1103	Radweg zw. Bretten + Grossvillars	Neubau
B 294	Radweg zw. K 4527 u. Bauschlott	Neubau
L 324	Radweg zw. Vogt-Moser und Wolfegg	Neubau
L 230	Radweg zwischen der L 247 und der B 465 bei Münsingen	Neubau
L 230	Radweg zwischen der L 249 und Steingebronn - Abschnitt Steingebronn-	Neubau
B 465	Radweg zwischen Frankenhofen und Bremelau	Neubau
L 570	Radweg zwischen KVP Bilingen und Ersingen	Neubau
L 247	Radweg zwischen Marbach und der Einmündung "Grafeneck"	Neubau
B 500	Radweg zwischen Staustufe und Iffezheim	Neubau
B 293	Radwegausbau bei Dürrenbüchig	Ausbau
L 404	Radweglückenschluss bei Pfalzgrafenweiler	Neubau
L 346	Radweglückenschluss bei Siehdichfür, Oberreichenbach	Neubau
L 350	Radweglückenschluss Besenfeld	Neubau
L 1115	Radweglückenschluss OD Besigheim	Neubau
L 1134	Radweglückenschluss VKP L 1134/L 1180 (Diebknoten) - Heimsheim	Neubau
L 408	Radweglückenschluss Vogelsberg (24-Höfe)	Neubau
B 3	Rastatt - Sandweiler	Neubau
L 77	Rastatt/Ludwigvorstadt - Niederbühl	Neubau
L 77	Rastatt/Niederbühl - Kuppenheim	Neubau
L 325	Ravensburg/Albertshofen - Schlier/Fenzen	Neubau
B 3	Renchen	Ausbau
B 295	Renningen Am Längenbühl	Neubau
B 45	RGW Bammental - Neckargemünd	Neubau
B 298	RGW Durlangen-Amandusmühle Lückenschluss	Neubau
B 30	RGW Englerts - Kreisgrenze	Neubau
L 324	RGW Holzmühleweiher - Grenis	Neubau
L 126	RGW Lückenschluss Oberried - Kirchzarten	Neu- und Ausbau
B 298	RGW Mutlangen - Durlangen-Amandusmühle	Neubau
L 333	RGW Tettang bis Einm. K 7719	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 204	RGW Urnau - Oberteuringen/Hefigkofen (BAII)	Neubau
L 317	RGW Weingarten - Unterankenreute - BA 1, Weingarten-Abzw. Rösserweiher (Neuhaselhaus)	Neubau
L 335	RGW zw. Grünkraut und Sigmarshofen	Neubau
B 34	Rheinfelden/Riedmatt - Schwörstadt	Neubau
L 87	RW Furschenbach - Ottenhöfen	Neubau
B 28	RW Löcherberg - Bad Peterstal	Neubau
B 462	RW "Tour de Murg" 2014, Weisenbach	Neubau
L 139	RW Adelhausen - Maulburg	Neubau
L 514	RW Althausen - Assamstadt	Neubau
B 465	RW Ampfelbronn - Mühlhausen	Neubau
L 1138	RW Asperg – Markgröningen	
B 28	RW Ausbau zwischen Tübingen-Weilheim und Tübingen-Bühl	Ausbau
L 260	RW Autohof Aichstetten (A96) - Aichstetten/Altsmannhofen	Neubau
B 28	RW Bad Peterst.- Bad Griesbach	Neubau
L 152	RW Bad Säckingen - Waldbad	Neubau
L 314	RW Baienfurt - Bergatreute	Neubau
B 290	RW bei Hollenbach	Neubau
L 554	RW bei Knittlingen	Neubau
L 1165	RW Beimerstetten - Butzenhöfe	Neubau
B 28	RW Blaubeurer Steige (K 7406 - L 1230)	
B 29	RW Böbingen - Mögglingen	Neubau
L 1184	RW Bondorf - Ergenzingen	Neubau
L 230	RW Breithülen - Heroldstatt	
B 35	RW Bruchsal-Heidelsheim - Helmsheim	Ausbau
B 14	RW Bubenorbis - Michelfeld	Neubau
L 104	RW Burkheim - Hp Burkheim-Bischoffingen	Neubau
B 316	RW Degerfelden (L143) - Rheinfelden	Neubau
L 1164	RW Dettingen - Anhausen	Neubau
L 255	RW Dintenhofen - Dettingen (Ehingen)	Neubau
B 32	RW Eggwald-Rotheidlen	Neubau
B 465	RW Ehingen/Abzw. Wolfsgurgel - Ehingen/Altsteußlingen	Neubau
B 311	RW Ehingen/Gamerschwang - Öpfingen	Neubau
B 313	RW EINM K 8224 in Richtung Krumbach	Neubau
B 29	RW Essingen - Aalen	Neubau
L 613	RW Ettlingen - Ettlingen-Spessart	Aus- und Neubau
L 107	RW Fisnacht - Oberprechtal-Dorf	Neubau
L 173	RW Furtwangen Südtangente	Neubau
L 175	RW Furtwangen-Rohrbach - Furtwangen-Schönenbach	Neubau
B 19	RW Gaildorf - Rosengarten	Neubau
L 191	RW Geisingen-Hegaublick	Neubau
B 10	RW Geislingen an der Steige - Amstetten	Neubau
L 1107	RW Gemmingen-Stetten	Neubau
L 230	RW Genkingen bis K 6732 (Lückenschluss)	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 409	RW Glatttal zwischen Leinstetten und Bettenhausen	Neubau
L 275	RW Haslach - Laimbach(BAI)	Neubau
L 578	RW Heckfeld - Dittwar	Neubau
L 1184	RW Herrenberg - Nebringen	Neubau
B 39	RW HN-Frankenbach - HN-Kirchhausen Radroute Nordwest	Neubau
L 1046	RW Hohebuch - Waldenburg	Neubau
L 1060	RW Hohenberg-Lindenkeller	Neubau
B 28	RW Ibach - Löcherberg	Neubau
B 518	RW in Bad Säckingen zw.KVP u. Rheinbr.	Neubau
L 154	RW in Laufenburg-Rhina	Neubau
L 257	RW Kirchbierlingen - Schaiblishausen	Neubau
B 19	RW Kocher-Jagst Dörzbach	Neubau
L 513	RW Krautheim - Assamstadt (Lückenschluss)	Neubau
B 30	RW KrGr. Englerts - Oberessendorf	Neubau
B 14	RW L 440 - B 14 auf Gem.Liptingen	Neubau
L 280	RW Laupertshausen - Maselheim	Neubau
L 95	RW Legelshurst - Urloffen	Neubau
L 1170	RW Lonsee/Halzhausen - Westerstetten	Neubau
L 277	RW Lückenschl. L440-Bergsteig	Neubau
L 225	RW Mauenheim - KVP Höwenegg	Neubau
L 104	RW Meißenheim - Ichenheim	Neubau
B 29	RW Mögglingen - Hermannsfeld	Neubau
L 1022	RW Mulfingen	Neubau
L 1095	RW Neuenstadt - Bürg	Neubau
L 1020	RW Niederstetten bis B 290	Neubau
L 1025	RW Oberregenbach - Bächlingen	Neubau
B 290	RW OD Crailsheim, Ellwanger Str.	
B 290	RW OD Jagstzell	Neubau
L 87	RW OD Ottenhöfen i.Schw.	Neubau
B 27	RW Ostrampe - Ludwigsburg	
L 83A	RW Ottersweier-Hub bis Neusatz	Neubau
B 33	RW Peterzell - Mönchweiler	Neubau
L 604	RW Querungen Karlsruhe	Neubau
L 1060	RW Röhlingen-Zöbingen	Neubau
L 170	RW Schluchsee - Grafenhausen	Neubau
L 129	RW Staufen-Gallenweiler	Neubau
B 293	RW Stebbach - Gemmingen Schwaigern	Neubau
B 39	RW Steinsfurt - Kirchart	Neubau
L 578	RW TBB - Kist	Neubau/Ausbau
B 313	RW Tischardt - Großbettlingen	Neubau
L 1079	RW Ulm/Seligweiler - Langenau/Albeck	Neubau
B 311	RW Unlingen - Obermarchtal/Datthausen	Neu-/Ausbau
L 1170	RW Urspring - Lonsee	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 1103	RW Verlängerung Knipfelesweg Brackenheim	Neubau
L 1036	RW Verrenberg - Öhringen	Neubau
L 163	RW von L 165 bis Jestetten	Neubau
B 34	RW Waldshut Bahnhof – Zoll	Neubau
L 508	RW Wertheim - Vockenrot - Nassig	Neubau
L 139	RW Wieslet - Tegernau	Neubau
B 28	RW Willstätt i. Z. Sanierung BW 7413 528	Neubau
B 294	RW Wolfach - Schiltach (Halbmeil-Schiltach)	Neubau
L 104	RW Wyhl - Weisweil	Neubau
L 87A	RW Zell-Moos	Neubau
B 39	RW zw. Hirrweiler u. Weißenbronn (LückS)	Neubau
L 1150	RW zw. Hohengehren u. Goldbodenkreuzung	Neubau
B 313	RW zw. Hoppetenzell und Mühlingen	Neubau
L 1141	RW zwischen Unterriexingen und Sachsenheim	Neubau
L 1045	RW_Ohrnberg_KP-Umgestaltung	Neubau
L 104	RW-Lückenschluss Sasbach-Jechtingen	Neubau
L 87	RWW Achern B3 - Eselsgasse	
L 280	RWW Stafflangen - B 312	Neubau
L 67	Sandweiler - Baden-Baden/Oos	Neubau
B 33	Sankt Georgen im Schwarzwald	Neubau
B 3	Schliengen - Efringen-Kirchen/Welmlingen	Neubau
B 29	Schwäbisch Gmünd B29/L1161	Neubau
B 29	Schwäbisch Gmünd/Zimmern	Neubau
B 415	Seelbach-Schönberg - Biberach	
L 432	Seitingen-Oberflacht – Tuttlingen-Möhringen	Ausbau
L 455	Sigmaringendorf/Laucherthal - Bingen/Hitzkofen	Neubau
B 500	Staustufe Iffezheim	Neubau
L 424	Sulz am Neckar/Fischingen	Neubau
B 33	Triberg im Schwarzwald - Steinbis	Neubau
L 205	Überlingen / Radweg Lippertsreute - Wackenhausen	Neubau
L 546	ÜFG RW Rot-Malsch	Ausbau
B 296	Unterjesingen	Neubau
L 257	Untermarchtal - Munderkingen	Neubau
B 463	Unterreichenbach	Neubau
B 463	Unterreichenbach - Dennjacht	Neubau
L 1125	Vaihingen Enz /Kleinglattbach	Neubau
B 10	Vaihingen Enz Tankstelle B10 (Kreisgrenze LB/ENZ)	Neubau
L 201	Verb. Radverkehrsführung in Meersburg, Fährhafen	Neubau
B 462	Verbesserung Tour de Murg Bereich Baiersbronn-Schwarzenberg	Ausbau
L 638	Waghäusel - L638/L560	Neubau
B 34	Waldshut-Tiengen	Ausbau
L 160	Waldshut-Tiengen - Lauchringen	Neubau
L 333	Wangen/Niederwangen Einm. Ortsstraße - L 320	Neubau

Straße	Maßnahmenbezeichnung	Art der Maßnahme
L 532	Wiesenbach Radweglückenschluss	Neubau
B 463	Wildberg	Neubau
L 96	Wolftalradweg (3. BA) Bärenpark bis Töskurve	Neubau
B 312	WW nördl. Pfronstetten	Neubau