



Auftraggeber:

Münchener Verkehrsgesellschaft mbH
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München

Landeshauptstadt München
Blumenstraße 31
80331 München

Münchener Verkehrs- und Tarifverbund GmbH
Thierschstraße 2
80538 München

Auftragnehmer:

PTV Planung Transport Verkehr AG
Haid-und-Neu-Str. 15
76131 Karlsruhe

PTV Transport Consult GmbH
Cunnersdorfer Straße 25
01189 Dresden

Dresden, 26.06.2023

Dokumentinformationen

Kurztitel	Verkehrsmodell München - Modellspezifikation
Auftraggeber	Münchener Verkehrsgesellschaft mbH Landeshauptstadt München Münchener Verkehrs- und Tarifverbund GmbH
Auftragnehmer	PTV Planung Transport Verkehr AG PTV Transport Consult GmbH
Autoren	PTV Group
Dokument	20230626_VNM-MUC_Modellspezifikation.docx

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	13
1 Einleitung	15
2 Abgrenzung Untersuchungsgebiet und Verkehrszellen	17
2.1 Anforderungen	17
2.2 Input	17
2.3 Planungs- und Untersuchungsraum	18
2.4 Verkehrszellen	21
2.4.1 Bildungsregeln	21
2.4.2 Nummerierung	24
2.4.3 Oberbezirke und Teirläume	26
3 Angebotsmodelle	27
3.1 Straßenverkehr	27
3.1.1 Netzgraph	27
3.1.2 Strecken- und Knotentypisierung	30
3.1.3 Anbindungen	48
3.1.4 Berechnung der Kenngrößenmatrizen	51
3.1.5 Leistungsfähigkeitsuntersuchung Straße	54
3.2 Öffentlicher Verkehr	59
3.2.1 Anforderungen	59
3.2.2 Allgemeines zum Modellaufbau	60
3.2.3 Input	60
3.2.4 Verkehrssysteme	61
3.2.5 ÖV-Streckentypen	62
3.2.6 Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte	62
3.2.7 Umsteigewege	64
3.2.8 Linien, Linienrouten, Fahrzeitprofile und Fahrpläne	67
3.2.9 Fahrzeuge und Kapazitäten	71
3.2.10 Anbindungen	72
3.2.11 ÖV-Ganglinien	73

3.2.12	Tarifmodellierung	75
3.3	Radverkehr	88
3.4	Fußgängerverkehr	96
3.5	Aufbereitung von Zähldaten	97
4	Merkmale der Raumstruktur	109
4.1	Anforderungen	109
4.2	Input	109
4.3	Raumstrukturdaten	110
4.4	Datenaufbereitung	112
5	Verkehrsverhaltensdaten MiD	114
5.1	Eingangsdaten	114
5.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	114
5.3	Ergebnisse	117
6	Verkehrsnachfragemodell - (privater) Personenverkehr	118
6.1	Segmentierung der Nachfrage	118
6.1.1	Eingangsdaten	118
6.1.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	118
6.2	Verkehrserzeugung	125
6.2.1	Eingangsdaten	125
6.2.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	126
6.3	Ziel- und Moduswahl	131
6.3.1	Eingangsdaten	131
6.3.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	131
6.3.3	Ergebnisse	137
6.4	Implementierung P+R	138
6.4.1	Eingangsdaten	138
6.4.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	138
6.4.3	Ergebnisse	141
6.5	Gäste- und Tourismusmodell	142
6.5.1	Eingangsdaten	142
6.5.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	142

6.5.3	Ergebnisse	143
6.6	Flughafen München	143
6.6.1	Eingangsdaten	143
6.6.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	143
6.6.3	Ergebnisse	144
7	Verkehrsnachfragemodell - Wirtschaftsverkehr	145
7.1	Eingangsdaten	145
7.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	145
7.3	Ergebnisse	156
8	Externe Verkehre	157
8.1	Eingangsdaten	157
8.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	157
8.2.1	Erzeugung eines Teilnetzes in PTV VISUM	157
8.2.2	Berechnung der Nachfragematrizen	158
8.3	Ergebnisse	159
9	Berechnung der Routenwahl (Umlegung)	160
9.1	Umlegung: Straßenverkehr	160
9.1.1	Eingangsdaten	160
9.1.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	160
9.1.3	Ergebnisse	162
9.2	Umlegung: Öffentlicher Verkehr	163
9.2.1	Eingangsdaten	163
9.2.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	163
9.2.3	Ergebnisse	164
10	Kalibrierung und Validierung	165
10.1	Kalibrierung	165
10.1.1	Eingangsdaten für Kalibrierungsprozess	165
10.1.2	Methodischer Aufbau und Umsetzung	165
10.1.3	Ergebnisse	169
10.2	Qualitätssicherung während der Modellerstellung	170
10.3	Validierung der Modellgenauigkeit - angewandte Gütemaße	172

10.4	Validierung des Modellverhaltens	175
11	Ergebnisse der Modellberechnungen - Analyse 2019	176
11.1	Allgemeine Kennwerte des Untersuchungsgebietes	176
11.2	Ergebnisse Straßenverkehr	179
11.3	Ergebnisse öffentlicher Verkehr	181
11.4	Ergebnisse Radverkehr	184
12	Prognose 2035 - Nullfall	185
12.1	Rahmenbedingungen, Annahmen und Maßnahmen	185
12.2	Ergebnisse	193
13	Prognose 2035 - Maximal	201
14	Berechnungen Spitzstunde	202
15	Berechnungsumfeld	203
15.1	Dateien und Ablageordner	203
15.2	Verfahrensablauf in Analysemodell	205
15.3	Nummerierungskonzept der Matrizen	213
15.4	Nummerierungskonzept der Pol	214
16	Anlagen	216

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anforderungen an die Erstellung der Verkehrszellen und Umsetzung	17
Tabelle 2:	Inputdaten zur Festlegung des Modellumgriffs und der Verkehrszellen	17
Tabelle 3:	Modellraum VNM-MUC: Verkehrszellen	21
Tabelle 4:	Verkehrszellen Planungsraum VNM-MUC und LVM-BY	21
Tabelle 5:	(Land-)Kreise im Einflussraum: Anzahl VZ, EW, mittlere Anzahl EW je VZ	22
Tabelle 6:	Gegenüberstellung Anzahl Verkehrszellen	24
Tabelle 7:	Datenquellen und -formate Straßenverkehr	27
Tabelle 8:	Definierte Streckentypen	41
Tabelle 9:	Parameter der CR-Funktionen	42
Tabelle 10:	Definierte Knotentypen	43
Tabelle 11:	Datenquellen und -formate IV-Anbindungen	48
Tabelle 12:	Datenquellen für die Berechnung der Kenngrößenmatrizen	51
Tabelle 13:	Kenngrößenmatrizen des Straßenverkehrs	54
Tabelle 14:	Datenquellen Leistungsfähigkeitsuntersuchung Straße	54
Tabelle 15:	Anforderungen an die Erstellung des ÖV-Angebots	60
Tabelle 16:	Inputdaten zur Erstellung des ÖV-Angebotsmodells	61
Tabelle 17:	ÖV-Verkehrssysteme	61
Tabelle 18:	ÖV-Streckentypen	62
Tabelle 19:	Nummernbereiche für die verschiedenen Modellbereiche im ÖV	63
Tabelle 20:	Grundtypen von Umsteigepunkten	65
Tabelle 21:	Stichtage der Fahrplandaten	68
Tabelle 22:	Mengeneigenschaften der importierten Fahrplandaten	70
Tabelle 23:	Kapazitäten der ÖV-Fahrzeuge (Herstellerangabe)	71
Tabelle 24:	Fahrausweisnutzung Erwachsene (mit / ohne Dauerkarte)	79
Tabelle 25:	Fahrausweisnutzung Erwachsene (mit / ohne Dauerkarte) – Zusammenfassung	79
Tabelle 26:	Fahrausweisnutzung Erwachsene (ohne Dauerkarte)	80
Tabelle 27:	Fahrausweisnutzung Erwachsene (mit Dauerkarte)	80
Tabelle 28:	Fahrpreise Einzelfahrt, Streifenkarte und Tageskarte	82
Tabelle 29:	Fahrpreise Wochen-, Monats- und Jahreskarte für Erwachsene	82
Tabelle 30:	Statistik Semesterticket	83

Tabelle 31:	Statistik Schülertickets	84
Tabelle 32:	Statistik Monats-, Wochen- und Jahreskarten für Schüler	84
Tabelle 33:	Fahrpreise Wochen-, Monats- und Jahreskarte für Schüler	85
Tabelle 34:	Datenquellen und -formate Radverkehr	88
Tabelle 35:	Streckenattribute des Radverkehrs aus dem VVDM-Radnetz	90
Tabelle 36:	Abbiegezeiten des Radverkehrs	91
Tabelle 37:	Faktoren der Längsneigung	93
Tabelle 38:	Widerstandsfaktoren des Attributs „Rad_Gestaltung“	93
Tabelle 39:	Widerstandsfaktoren des Attributs „Rad_Kfz-Verkehr“	94
Tabelle 40:	Datenquellen und -formate Fußverkehr	96
Tabelle 41:	Eingangsdaten für die Aufbereitung der Zähldaten	97
Tabelle 42:	Datenquelle	98
Tabelle 43:	Kategorie der Zählstellen (BDA „VAL_KAT“)	98
Tabelle 44:	Qualität der Zählstellen (BDA „VAL_QUALI“)	99
Tabelle 45:	DAVe-Kategorien	101
Tabelle 46:	BDA für DAve-Kategorie N	101
Tabelle 47:	BDA der DAve-Zählstellen	102
Tabelle 48:	Nicht berücksichtigte DAve-Zählstellen	104
Tabelle 49:	Erstellung der Raumstrukturdaten	109
Tabelle 50:	Quellen der Raumstrukturdaten	110
Tabelle 51:	Eingangsdaten für die Auswertung der Verhaltensdaten	114
Tabelle 52:	Ergebnisse der Auswertung der Verhaltensdaten	117
Tabelle 53:	Eingangsdaten für Segmentierung der Nachfrage	118
Tabelle 54:	Segmentierung Personengruppen nach Raumtypen, Lebenssituation, Pkw- und Dauerkarten-Verfügbarkeit	122
Tabelle 55:	Aktivitäten der Personengruppen mit Wohnort im Untersuchungsraum	123
Tabelle 56:	Zuordnung der in MiD erfassten Aktivitätenübergänge zu Modulen des Personenverkehrs	124
Tabelle 57:	Einteilung der Personengruppen mit Wohnort im Untersuchungsraum und Besucherverkehr	125
Tabelle 58:	Ergebnisse der Segmentierung der Nachfrage	125
Tabelle 59:	Eingangsdaten der Verkehrserzeugung	126
Tabelle 60:	Eingangsdaten der Ziel- und Moduswahl	131

Tabelle 61:	Verkehrssystembonus	135
Tabelle 62:	Ergebnisse der Ziel- und Moduswahl	137
Tabelle 63:	Eingangsdaten für die Implementierung von P+R	138
Tabelle 64:	Ergebnisse der Implementierung von P+R	141
Tabelle 65:	Eingangsdaten für das Gäste- und Tourismusmodell	142
Tabelle 66:	Ergebnisse des Gäste- und Tourismusmodells	143
Tabelle 67:	Eingangsdaten für das Flughafenverkehrsmodell	143
Tabelle 68:	Ergebnis des Flughafenmodells	144
Tabelle 69:	Eingangsdaten Wirtschaftsverkehr	145
Tabelle 70:	LVM-BY Personen-WV-Modell - Aktivitäten	146
Tabelle 71:	LVM-BY Personen-WV-Modell - Personengruppen und Strukturgrößen	147
Tabelle 72:	Wirtschaftsverkehrsklassen des Güterverkehrsmodells	150
Tabelle 73:	Eingangsdaten für die Berechnung der externen Verkehre	157
Tabelle 74:	Ergebnisse der Bestimmung der externen Verkehre	159
Tabelle 75:	Eingangsdaten für die Umlegung	160
Tabelle 76:	Ergebnisse der Umlegung	162
Tabelle 77:	Eingangsdaten für die ÖV-Umlegung	163
Tabelle 78:	Ergebnisse der ÖV-Umlegung	164
Tabelle 79:	Übersicht Eingangsdaten für die Kalibrierung/Validierung	165
Tabelle 80:	Ergebnisse der Kalibrierung	169
Tabelle 81:	Zielwerte für die Validierung	174
Tabelle 82:	Im Rahmen der Modellvalidierung durchgeführte Realitätstests	175
Tabelle 83:	Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) MVV-Busse	182
Tabelle 84:	Linienbeförderungsfälle MVG-Verkehrssysteme	183
Tabelle 85:	Überblick der Anpassungen im Prognose-Nullfall	185
Tabelle 86:	Eckwerte Strukturdaten Analyse und Prognose 2035	186
Tabelle 87:	Veränderung des Modal Splits von der Analyse zum Prognose-Nullfall	193
Tabelle 89:	Analyse / Prognose: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) MVV-Busse	198
Tabelle 91:	Verfahrensschritte des VNM-MUC	211
Tabelle 92:	Nummerierungskonzept der Matrizen	213
Tabelle 93:	Pol-Kategorien	215

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gliederung Untersuchungsraum	18
Abbildung 2: Finale Festlegung Untersuchungsraum	19
Abbildung 3: Nummernsystem Landeshauptstadt München	25
Abbildung 4: Nummernsystem Umland	25
Abbildung 5: Netzergänzungen im Umland	28
Abbildung 6: Strecken mit Standfahrstreifenfreigabe	31
Abbildung 7: Abschnitt Dachauer Straße - Frankfurter Ring - Föhringer Ring mit gesonderten Streckentypen	32
Abbildung 8: Parkkosten in München	44
Abbildung 9: Parksuchzeiten in München	45
Abbildung 10: Mautpflichtige Strecken in München	46
Abbildung 11: Mautpflichtige Strecken im Umland	47
Abbildung 12: Gegenüberstellung der Kapazitätsbetrachtung auf Ebene des Gesamtknotens oder auf Ebene einzelner Abbieger	55
Abbildung 13: CR-Funktionen für Abbieger	57
Abbildung 14: CR-Funktionen Knoten	57
Abbildung 15: Umrechnung der Knoten- und Abbiegerwiderständen in Stundenwert	58
Abbildung 16: Verfahrensablauf zur Berechnung der Knoten- und Abbiegerwiderstände	59
Abbildung 17: Ermittlung des Umwegefaktors f_u in Abhängigkeit der Luftlinienentfernung	66
Abbildung 18: Entscheidungsbaum bei der Ermittlung der Umsteigezeit	67
Abbildung 19: Strecken- und knotenbasierte Haltepunkte im Datensatz des MVV	69
Abbildung 20: Ausschnitt Tarifplan München	77
Abbildung 21: Strecken des Typs „Radweg“ im bestehenden Netzmodell	89
Abbildung 22: Berechnung der Streckensteigungen mit der in Visum integrierten Funktion	92
Abbildung 23: Streckenwiderstand des Radverkehrs	95
Abbildung 24: Jahresganglinie der Tagesverkehrsaufkommen für Werkstage (Beispiel)	100
Abbildung 25: Armbezeichnungen an Knoten (DAVe-Systematik)	103
Abbildung 26: Formel zur Berechnung des SQV-Wertes	105
Abbildung 27: Zuordnung Bezirke zu RegioStaR7	115
Abbildung 28: Raumtypisierung Modellraum	119

Abbildung 29: Mittlere Reiseweite der Rentner (R+) mit (mD) bzw. ohne (oD) Dauerkarten-Verfügbarkeit	121
Abbildung 30: Hierarchie der Aktivitäten für die Bestimmung der Untersuchungsraumanteile je Nachfragesegment	128
Abbildung 31: Grundschulsprengel in München	130
Abbildung 32: Weiterführende Schulsprengel im Modell	130
Abbildung 33: Korrekturmatrix Pendler	132
Abbildung 34: Umsetzung der fixen Zielwahl für Pflichtaktivitäten	137
Abbildung 35: Quellseitige Untersuchungsraumanteile des Pkw-Wirtschaftsverkehrs	148
Abbildung 36: Quellseitige Untersuchungsraumanteile der Lkw-k	150
Abbildung 37: Quellseitige Untersuchungsraumanteile der Lkw-m	151
Abbildung 38: Quellseitige Untersuchungsraumanteile der Lkw-g	151
Abbildung 39: Zuordnung der Bezirke zu den Gebietstypen	153
Abbildung 40: Anpassungsfaktoren der Flächennutzung	154
Abbildung 41: Bezirke mit einem Gleisanschluss	154
Abbildung 42: Gleisanschlussfaktoren der betroffenen Bezirke	155
Abbildung 43: Quellseitige Kalibrierungsfaktoren des Lkw-g	155
Abbildung 44: Ein Bezirk (blau) umfasst mehrere Oberbezirke (orange)	158
Abbildung 45: Ein Oberbezirk (orange) umfasst mehrere Bezirke (blau)	158
Abbildung 46: Qualitätssicherungsprozess beim Aufbau des VNM-MUC	171
Abbildung 47: Vergleich der Reisezeiten Pkw-Verkehr	173
Abbildung 48: Vergleich Anzahl Wege Raumtyp 1 (LHM)	176
Abbildung 49: Vergleich Modal Split Modell-/Zielwert Gesamtmodell und Raumtyp 1	177
Abbildung 50: Vergleich mittlere Reiseweite Modellwert/Zielwert nach Modus	177
Abbildung 51: Vergleich mittlere Reiseweite Modellwert/Zielwert nach Zielaktivität	178
Abbildung 52: Vergleich Reiseweitenverteilung Pkw Modellwert/Zielwert	178
Abbildung 53: Statistisches Gütemaß Reiseweitenverteilung nach Modus	178
Abbildung 54: Streckenbelegungen Kfz: Fahrzeuge/24h	179
Abbildung 55: Regressionsplot Modellwert und Zählwert Pkw	180
Abbildung 56: Streckenbelegungen öffentlicher Verkehr	181
Abbildung 57: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) an 28 S-Bahn Halten (Zählwert aus MVV-Landkreisheften)	182

Abbildung 58: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) MVG für 25 Stadtbezirke, U-Bahn, Tram, Busse	183
Abbildung 59: Entwicklung der Einwohner von Analyse zu Prognose 2035	187
Abbildung 60: Entwicklung der Beschäftigten von Analyse zu Prognose 2035	187
Abbildung 61: Veränderung der Streckenkapazitäten in München	189
Abbildung 62: Veränderung der Streckenkapazitäten im Umland	189
Abbildung 63: Radschnellverbindungen im Prognose-Nullfall	190
Abbildung 64: Veränderung der Servicefahrten in München	191
Abbildung 65: Veränderung der Servicefahrten im Umland	192
Abbildung 66: Belastungsdifferenz des Pkw in München	194
Abbildung 67: Belastungsdifferenz des Pkw im Umland	195
Abbildung 68: Belastungsdifferenz des Lkw-Verkehrs in München	195
Abbildung 69: Belastungsdifferenz des Lkw-Verkehrs im Umland	196
Abbildung 70: Prognose-Nullfall, Streckenbelegungen öffentlicher Verkehr	197
Abbildung 71: Belastungsdifferenz des Radverkehrs im Stadtgebiet Münchens	199
Abbildung 72: Belastungsdifferenz des Radverkehrs in München und den angrenzenden Gemeinden	199

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
aHVZ	abendliche Hauptverkehrszeit
AN	Auftragnehmer
ao	außerorts
AP	Arbeitspaket
ADZS	automatische Dauerzählstelle
BAS	Bundesanstalt für Straßenwesen
BDA	Benutzerdefiniertes Attribut
BDT	Benutzerdefinierte Tabelle
BES	Beschäftigte
BfA	Bundesagentur für Arbeit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CR-Funktion	capacity-restraint-Funktion
DTV-W	durchschnittlicher täglicher Verkehr (werktags)
DTV-W4	durchschnittlicher täglicher Verkehr (werktags Montag bis Donnerstag)
DZ	Dauerzählstelle
ERZ	empfundene Reisezeit
EW	Einwohner
ICA	Intersection Capacity Analysis
io	innerorts
IV	Individualverkehr
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeuge
KGM	Kenngrößenmatrizen
KiD	Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland
LBF	Linienbeförderungsfall
LDBV	Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
LHM	Landeshauptstadt München
LK	Landkreis
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
LVM-BY	Landesverkehrsmodell Bayern
MFS	Mischfahrstreifen

mHVZ	morgendliche Hauptverkehrszeit
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	motorisierter Individualverkehr
Mo-Fr	Montag - Freitag
MOR	Mobilitätsreferat der Landeshauptstadt München
MVG	Münchener Verkehrsgesellschaft mbH
MVV	Münchener Verkehrs- und Tarifverbund GmbH
NATP	Anzahl Abfahrten (Berechnung der Bedienungshäufigkeit)
NTR	Number of Transfers (Umsteigehäufigkeit)
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	öffentlicher Verkehr
OSM	OpenStreetMap
P+R	Park+Ride
Pkw	Personenkraftwagen
PLAN	Referat für Stadtplanung und Bauordnung der Landeshauptstadt München
Pol	Point of Interest
RegioStaR	Regionalstatistischer Raumtyp
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SPV	Schienenpersonenverkehr
SQV	Scalable Quality Value
SV	sozialversicherungspflichtig (Beschäftigte)
SVZ	Straßenverkehrszählung
TMF	Total Misplaced Flow
TWT	Travel Waiting Time
VHG	verhaltenshomogene Gruppe
VNM-MUC	Verkehrsnachfragemodell München
VSN	Nummer der Verfahrensschritte
VZ	Verkehrszelle
WV-Modell	Wirtschaftsverkehrsmodell
WVK	Wirtschaftsverkehrsklasse
Zst.	Zählstelle
ZW	Zählwert

1 Einleitung

Die Einwohnerzahl des Großraum Münchens wird in den nächsten zwanzig Jahren voraussichtlich um 300.000 auf rund 3,2 Millionen steigen. Um weiterhin die wirtschaftliche Attraktivität und Lebensqualität im Großraum München zu gewährleisten, ist u. a. eine effiziente Verkehrsplanung und Umsetzung von Verkehrsinfrastrukturprojekten notwendig. Eine planerische Grundlage stellt das multimodale Verkehrsmodell VNM-MUC dar. Mit diesem Modell können unterschiedliche Verkehrskonzepte und Stadtentwicklungsszenarien bewertet werden. Es dient als Entscheidungsgrundlage für mittelfristige, strategische Entscheidungen der Verkehrs- und Stadtplanung.

VNM-MUC wird gemeinschaftlich vom Mobilitätsreferat der Landeshauptstadt München (MOR), dem Münchner Verkehrs- und Tarifverbund GmbH (MVV) und der Münchner Verkehrsgesellschaft mbH (MVG) betreut. Um den aktuellen Fragestellungen der Verkehrsplanung im Großraum München gerecht zu werden, muss das bestehende Modell aktualisiert und erweitert werden. Wesentliche Fragestellungen richten sich an

- ▶ die Analyse der Wirkung von baulichen und verkehrlichen Maßnahmen im Straßennetz,
- ▶ Maßnahmen im öffentlichen Verkehr,
- ▶ Parkraummanagement und Betrachtung von Tarif und Fahrpreisen für den öffentlichen Verkehr und
- ▶ siedlungsstrukturelle und Flächennutzungsmaßnahmen sowie die Wirkung des demografischen Wandels.

Darüber hinaus soll das VNM-MUC für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Nutzen-Kosten-Untersuchungen herangezogen werden.

Gegenstand der Arbeiten sind damit insbesondere

- ▶ die Aktualisierung und räumliche Erweiterung der Angebotsmodelle des Straßenverkehrs und des öffentlichen Verkehrs,
- ▶ die Aktualisierung und Aufbereitung der Raumstrukturdaten,
- ▶ die Auswertung von Kennwerten des Verkehrsverhaltens,
- ▶ die Erstellung, Kalibrierung und Validierung des Verkehrsfragebogens unter Verwendung von Zähldaten für das Analysejahr sowie
- ▶ die Modellierung des Verkehrsgeschehens im Untersuchungsraum für die Prognose.

Für die **Analyse wird das Jahr 2019 beschrieben**. Prognosehorizont ist das Jahr 2035.

Die vorliegende Modellspezifikation baut auf den Anforderungen von MOR, MVG und MVV auf. Mit der Spezifikation werden das methodische Vorgehen und Verfahrensweisen inkl. der Berechnungsverfahren aufgezeigt, mit denen das Verkehrsmodell erarbeitet wurde. Damit wird der Modellaufbau konkretisiert. Weiterhin werden die notwendigen Eingangsdaten und Datenstände beschrieben und dokumentiert. Bestehende Abhängigkeiten werden beachtet.

Ziel der Modellspezifikation ist die gemeinsame Abstimmung zum Vorgehen in den einzelnen Arbeitsschritten. Die abgestimmte Spezifikation dient als Basis für die Implementierung des Verkehrsangebots- und des Verkehrs nachfragermodells.

Neben der technischen Beschreibung des Vorgehens enthält die Spezifikation außerdem Festlegungen zu Begriffsdefinitionen, Namenskonventionen und Nummerierungskonzepte für Poles und Matrizen, Hinweise zum Verfahrensablauf der Modellberechnungen sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Während der Bearbeitung wurde der Inhalt der Spezifikation entsprechend den getroffenen Vereinbarungen angepasst, fortgeschrieben und ergänzt.

2 Abgrenzung Untersuchungsgebiet und Verkehrszellen

2.1 Anforderungen

Kategorie	Anforderungen	Resultierende (Teil-)Spezifikation
Modellumgriff	Prüfung und Überarbeitung / Begründung der Ausdehnung des Verkehrsmodells, Gewährleistung der Abbildung und Modellierung von täglichen Verkehrsbeziehungen	Analyse von Pendlerströmen (Pendlerdaten der BfA) sowie Verflechtungsdaten aus dem LVM-BY / BVWP 2030 Reduzierung Modellumgriff als Konsequenz aus Verkehrszellenzuschnitt vor dem Hintergrund von Lizenzbeschränkungen
zielführender Zuschnitt der Verkehrszellen	Prüfung und Anpassung der Verkehrszellen (VZ) zur Vermeidung von zu großem Zellinnenverkehr, über eine SPNV-Haltestelle je VZ, vergleichbare Größe der relevanten Strukturdaten je VZ (z. B. 0,4 bis 2,5-faches der Mittelwerte), Beibehaltung Referenz zu administrativen Einheiten, Bildungsvorschriften aus Leitungsbeschreibung	Analyse und Vergleich von Strukturdaten, Disaggregation (und ggf. Aggregation) von VZ des alten Modells entlang nachvollziehbarer Grenzen, Aggregation von Verkehrszellen aus dem LVM-BY, Überarbeitung Nummerierungskonzept

Tabelle 1: Anforderungen an die Erstellung der Verkehrszellen und Umsetzung

2.2 Input

Datensatz	Beschreibung	Quelle
VNM-MUC	Multimodales Verkehrsmodell	MOR, MVG, MVV durch AG überarbeitete Verkehrszellenstruktur in der LHM
BfA Pendlerdaten 2017	Verkehrsverflechtungen SVP Beschäftigte für Gemeinden	PTV
LVM-BY	Landesverkehrsmodell Bayern 2015 / 2019	PTV
Einwohnerdaten 2018/19	Einwohner für Untersuchungsgebiet (Gemeinden und Kreise) und mit unterschiedlichen Datensätzen (z. B. nach Altersklassen, Beschäftigungsstatus)	Genesis Bayern
Beschäftigtendaten 2018/19	Beschäftigte (BES) für Untersuchungsgebiet in unterschiedlichen Auflösungen (Gemeinden und Kreise) und mit unterschiedlichen Datensätzen (z. B. Wirtschaftszweige, Arbeitsumfang für sozialversicherungspflichtig Beschäftigte und alle Erwerbstätigen)	Genesis Bayern
Polygone Verkehrszellen	Abwägung zum Zuschnitt der Verkehrszellen in zur LH München benachbarten Landkreisen	Datenbasis MVV

Tabelle 2: Inputdaten zur Festlegung des Modellumgriffs und der Verkehrszellen

2.3 Planungs- und Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum (Planungs- und Einflussraum) und damit der Modellumgriff wurde initial vorgegeben. Der Planungsraum umfasst neben der Landeshauptstadt München die Landkreise Dachau, Ebersberg, Erding, Freising, Fürstenfeldbruck, München, Starnberg, Bad Tölz-Wolfratshausen, Landsberg und Miesbach. Als Einflussraum waren zunächst die Städte Augsburg, Kaufbeuren, Landshut und Rosenheim sowie die Landkreise Augsburg, Aichach-Friedberg, Ostallgäu, Neuburg-Schrobenhausen, Rosenheim, Pfaffenhofen a. d. Ilm, Weilheim-Schongau, Landshut, Kelheim, Garmisch-Partenkirchen sowie Mühldorf a. Inn spezifiziert. Die ursprünglich gewünschte Einbeziehung der Stadt Ingolstadt sowie der Landkreise Traunstein und Altötting wurde wegen Beschränkungen der PTV VISUM-Lizenzgröße verworfen.

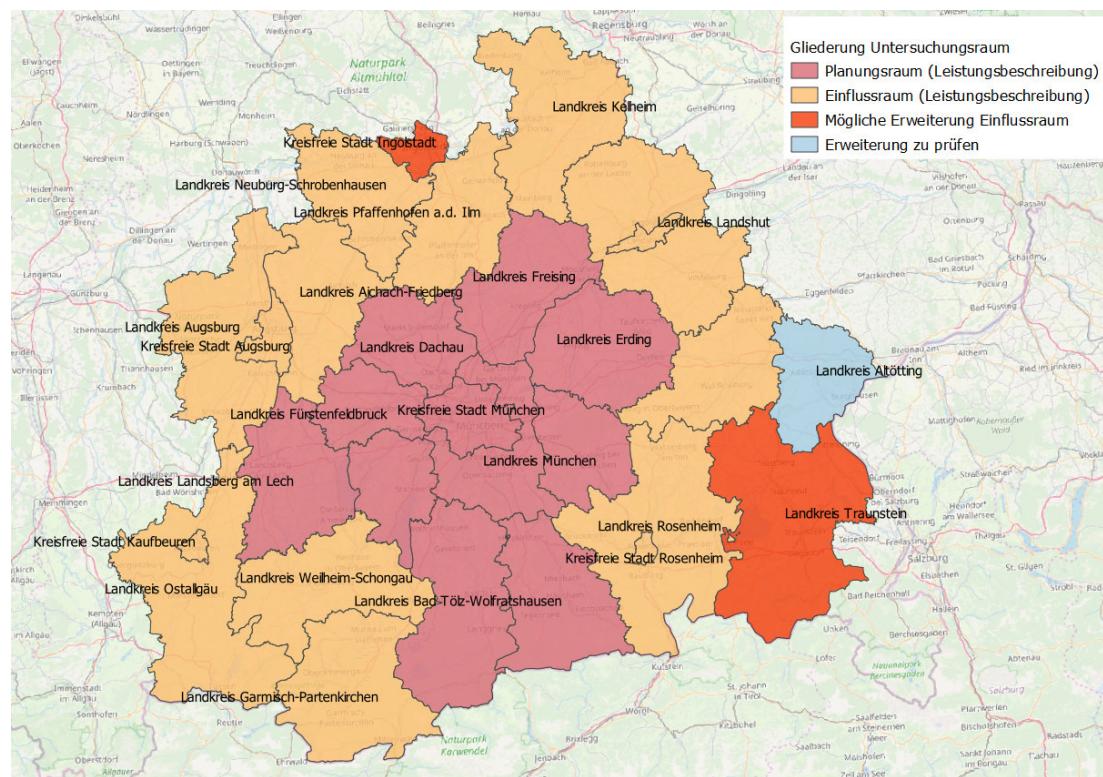


Abbildung 1: Gliederung Untersuchungsraum

Trotz Vorgabe des Untersuchungsraumes wird der Modellumgriff geprüft. Ziel ist die Einbeziehung aller derzeit und zukünftig möglicherweise relevanten Linien des MVV sowie die Gewährleistung der Abbildung und Modellierung von relevanten täglichen Verkehrsbeziehungen auf der einen Seite. Demgegenüber steht die Vermeidung großer Potenzial-Cluster am Rand des Untersuchungsgebietes, die z. B. mit den Städten Augsburg und Ingolstadt verbunden sind.

Damit gehen folgende Abwägungen einher:

- Auch mit vielen disaggregierten Verkehrszellen müssten die Verkehre (insb. ÖV) in diesen Städten mit ähnlicher Detaillierung abgebildet werden.
- Schwierigkeit der Abspaltung von regionalen Verkehren nach außerhalb des Modellumgriffs
- Reduzierung des Rechenaufwandes und der Rechenzeit

Im Ergebnis dieser Prüfung wurde ein Vorschlag für den Modellumgriff unterbreitet und mit den AG abgestimmt.

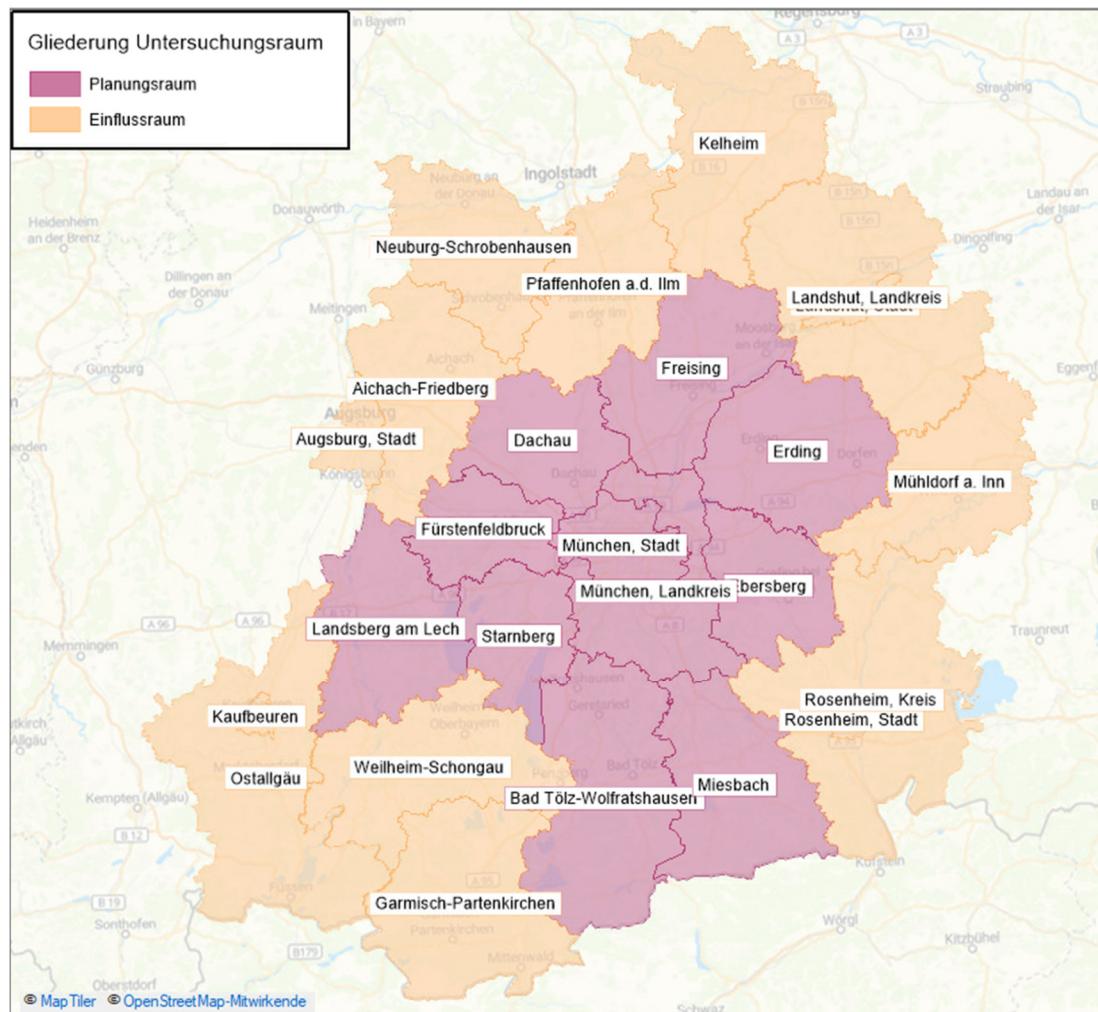


Abbildung 2: Finale Festlegung Untersuchungsraum

Für die Landeshauptstadt München wurde vom AG eine neue Verkehrszellenstruktur mit 1.149 Verkehrszellen übergeben, die dann der beschriebenen Prüfung hinsichtlich Einwohner- und Arbeitsplatzstrukturdaten unterzogen wurden. In Abstimmung mit dem AG wurden 66 VZ mit über 3.500 Einwohnern bzw. 2.500 Arbeitsplätzen geteilt. Im Ergebnis wird die Stadt München nun mit 1.216 VZ abgebildet.

Für die an München angrenzenden Landkreise Dachau und München wurde eine VZ-Kulisse aus dem ursprünglichen VNM-MUC mit 61 bzw. 122 VZ übergeben. Während in Dachau die Anzahl und damit Detailierung der VZ die im LVM-BY (38) übersteigt, ist der LK München im LVM BY mit 150 VZ detaillierter repräsentiert. In Abstimmung mit den AG wurden die nun 62 VZ für Dachau unter Berücksichtigung beider Datenquellen teilweise neu zugeschnitten. Die VZ-Struktur des LK München wurde aus dem LVM-BY übernommen.

Zusammen mit den VZ des LVM-BY der übrigen als Untersuchungsgebiet vorgesehenen Städte und Landkreise wäre eine Gesamtzahl von über 2.700 räumlichen VZ erreicht gewesen, die dann mit ca. 100 VZ für P&R-Plätze sowie den benötigten Kordonzellen die Lizenzgröße von 3.000 VZ bei Weitem überschritten hätte. Daher wurde in Abstimmung mit dem AG eine Reduzierung des Modellumgriffs sowie die Aggregation von VZ unter Berücksichtigung von Strukturdatenobergrenzen vereinbart.

Im Ergebnis wurde eine Kulisse mit 2.485 Verkehrszellen (ohne Kordons) erarbeitet, indem:

- ▶ der gesamte Landkreis Augsburg sowie der nördliche Teil des LK Kehlheim aus dem Untersuchungsgebiet genommen wurden
- ▶ in den Landkreisen Mühldorf a. Inn, Neuburg-Schrobenhausen, Pfaffenhofen a.d. Ilm, Aichach-Friedberg, Ostallgäu Verkehrszellen des LVM-BY aggregiert wurden
- ▶ wobei einerseits Verkehrszellen einer Gemeinde (teilweise) zusammengefasst wurden, welche im LVM-BY disaggregiert waren und
- ▶ andererseits Gemeinden zusammengefasst wurden, welche relativ homogene Räume bilden, ähnlich von den Hauptverkehrswegen erreichbar sind und zusammen die Grenze von 5000 Einwohnern nicht überschreiten
- ▶ die Vorgabe, maximal eine Haltestelle des SPNV je VZ wurde eingehalten. Für potenzielle Haltestellen der S- und U-Bahn wurden zusätzliche VZ vorbereitet

2.4 Verkehrszellen

2.4.1 Bildungsregeln

Das Untersuchungsgebiet mit fast 3,2 Millionen Einwohnern und über 1,8 Millionen Arbeitsplätzen gliedert sich in die Stadt München, den Verdichtungsraum und das Umland. Es umfasst zusätzlich den Einflussraum (vgl. Kapitel 2.3). Die Grundlage für die Verkehrszelleneinteilung in der Stadt und im Verdichtungsraum bildet zunächst die vom AG überarbeitete Verkehrszellenkulisse des VNM-MUC. Darin wird die LHM in 1.149 VZ¹ unterteilt. Für Umland und Einflussraum war vorgesehen, die Verkehrszellen des in Überarbeitung befindlichen LVM-BY zu übernehmen.

Raum	Anzahl Verkehrszellen
Stadt München	1.149
Verdichtungsraum	279
Umland	209
Einflussraum	174
Kordon IV	200
Fernverkehr ÖV	13
Summe	2.024

Tabelle 3: Modellraum VNM-MUC: Verkehrszellen

Als VZ-Grundlage werden zunächst die 1.149 überarbeiteten Verkehrszellen der Stadt München sowie in Dachau die VZ aus VNM-MUC übernommen; für das übrige Umland die des LVM-BY.

Kreis	VNM-MUC	LVM-BY
Stadt München	1.149	(110)
Dachau	61	(38)
Ebersberg	(32)	68
Erding	(50)	48
Freising	(41)	60
Fürstenfeldbruck	(45)	84
Landkreis München	158	(160)
Starnberg	(34)	68
Bad Tölz/Wolfratshausen	(34)	42
Miesbach	(7)	32
Landsberg	(12)	55
Zwischensumme		1.825

Tabelle 4: Verkehrszellen Planungsraum VNM-MUC und LVM-BY²

¹ Übergabe VZ-Kulisse als ESRI-Shapefile

² Stand der bei Projektbeginn übergebenen Daten, bilden Grundlage für VZ-Erarbeitung

Der ursprünglich geplante Einflussraum umfasst darüber hinaus ca. 275 Gemeinden, mit bis zu ca. 300.000 Einwohnern (Augsburg) bzw. ca. 75.000 Einwohner (Landshut).

Kreis / Stadt	Anzahl VZ in LVM BY	Einwohner	Durchschnrtl. EW/VZ
Rosenheim	20	60.464	3.023
Garmisch-Partenkirchen	36	85.443	2.373
Mühldorf a. Inn	49	109.227	2.229
Neuburg-Schrobenhausen	37	92.700	2.505
Pfaffenhofen a. d. Ilm	45	119.987	2.666
Rosenheim	99	249.810	2.523
Weilheim-Schongau	68	130.387	1.917
Landshut	24	66.179	2.757
Kelheim	66	115.232	1.746
Landshut	58	150.316	2.592
Augsburg	59	276.542	4.687
Kaufbeuren	13	41.759	3.212
Aichach-Friedberg	58	128.435	2.214
Augsburg	113	240.911	2.132
Ostallgäu	70	134.771	1.925
	815	2.002.163	2.457

Tabelle 5: (Land-)Kreise im Einflussraum: Anzahl VZ, EW, mittlere Anzahl EW je VZ

In der aktualisierten Verkehrszellenkulisse war die Stadt München bereits mit 1.149 VZ abgebildet, die dann der beschriebenen Prüfung hinsichtlich Einwohner- und Arbeitsplatzstrukturdaten unterzogen wurden. In Abstimmung mit dem AG wurden dann 66 VZ mit über 3.500 Einwohnern bzw. 2.500 Arbeitsplätzen geteilt, im Ergebnis wird die LHM nun mit **1.216** VZ abgebildet.

Wie in 2.3 beschrieben, wurden die VZ im Landkreis Dachau unter Berücksichtigung der Strukturdaten sowie der Zellzuschnitte von VNM-MUC und LVM-BY neu zugeschnitten, resultierend in nun 62 Verkehrszellen. In den übrigen Landkreisen des Planungsraumes blieben die VZ des LVM-BY unverändert. Lediglich in Landsberg am Lech wurde eine VZ weiter unterteilt, um die Bedingung maximal ein Bahnhof des SPNV je VZ einzuhalten.

Im Einflussraum wurden ebenfalls wie in 2.3 beschrieben Verkehrszellen reduziert. Vom AG wurden die Landkreise

- Pfaffenhofen an der Ilm
- Augsburg
- Neuburg / Schrobenhausen
- Kehlheim
- Aichach-Friedberg
- Ostallgäu

für die Reduzierung ausgewählt. Darauf aufbauend, wurden die VZ des gesamten LK Augsburg sowie die des nördlichen Teils des LK Kehlheim (etwa nordwestlich von Saal an der Donau) aus dem Untersuchungsgebiet entfernt. Anschließend wurden einerseits Verkehrszellen einer Gemeinde (teilweise) zusammengefasst, welche im LVM-BY disaggregiert waren und andererseits Gemeinden zusammengefasst, welche relativ homogene Räume bilden, ähnlich von den Hauptverkehrswegen erreichbar sind und zusammen die Grenze von 5.000 Einwohnern nicht überschreiten.

Im Ergebnis wird der Einflussraum nun mit 578 VZ abgebildet.

Kreis		VZ ursprünglich	VZ nach Überarbeitung
München	Kreisfreie Stadt	1.149	1.216
Dachau	Landkreis	61	62
München	Landkreis	158	162
Bad Tölz-Wolfratshausen	Landkreis	42	43
Ebersberg	Landkreis	67	68
Erding	Landkreis	48	49
Freising	Landkreis	60	60
Fürstenfeldbruck	Landkreis	84	84
Landsberg am Lech	Landkreis	55	56
Miesbach	Landkreis	32	39
Starnberg	Landkreis	68	68
Rosenheim	Kreisfreie Stadt	20	20
Garmisch-Partenkirchen	Landkreis	36	41
Mühldorf a. Inn	Landkreis	49	50
Neuburg-Schrobenhausen	Landkreis	37	24
Pfaffenhofen a. d. Ilm	Landkreis	45	33
Rosenheim	Landkreis	99	101
Weilheim-Schongau	Landkreis	68	68

Kreis		VZ ursprünglich	VZ nach Überarbeitung
Landshut	Kreisfreie Stadt	24	24
Kelheim	Landkreis	66	12
Landshut	Landkreis	58	58
Augsburg	Kreisfreie Stadt	59	59
Kaufbeuren	Kreisfreie Stadt	13	13
Aichach-Friedberg	Landkreis	58	32
Augsburg	Landkreis	113	-
Ostallgäu	Landkreis	70	43
Summe		2.639	2.485

Tabelle 6: Gegenüberstellung Anzahl Verkehrszellen

Nach der Zusammenführung der Verkehrszellen aus VNM-MUC und LVM-BY wurden Schlüsselbrücken erstellt und dem AG zur Verfügung gestellt. Mit deren Hilfe ist eine Zuordnung, Aggregation bzw. Disaggregation der VZ und der daran geknüpften Datensätze möglich. Ausgangspunkt ist die Codierung nach den aktuellen Gemeindeschlüsselnummern der Gemeinde(-teile) bzw. von Bezirken und der bestehenden Zellnummerierung im VNM-MUC und im LVM-BY.

2.4.2 Nummerierung

Zur Gewährleistung einer einheitlichen Struktur und Hierarchie wurde ein Nummerierungskonzept erarbeitet, dem AG vorgestellt und implementiert. Ziel war, die administrativen Zuordnungen und Hierarchien zu reflektieren und darüber hinaus eine gute Handhabbarkeit der Verkehrszellen in der Softwareumgebung zu gewährleisten. Neben den alten VZ-Nummern und den Gemeindeschlüsselnummern (in welchen die Kreiskennziffern enthalten sind) bleiben die 25 Münchner Bezirke sowie bei (Dis-) Aggregation die Herkunft (originale VZ) in den neuen VZ-Nummern erkennbar.

Die derzeitigen Nummern der aktualisierten VZ-Kulisse für München sind maximal 6-stellig. Daher lässt sich das Nummerierungskonzept so anwenden, dass die aktuellen Nummern komplett in den neuen Nummern aufgehen und damit direkt referenzierbar sind. Die Nummern sind durchgehend 9-stellig und mit 1 beginnend. In Abhängigkeit der ursprünglichen Länge (5- / 6-stellig) findet sich die ursprüngliche Nummer aus dem VNM-MUC in den Stellen 2/3 bis 7. Die letzten beiden Stellen sind bei nicht gesplitteten VZ mit 00 belegt, ansonsten fortlaufend mit 01, 02 usf.

Die folgende Darstellung verdeutlicht die Nummerierung der Verkehrszellen in der Landeshauptstadt:

105432000 Au - Haidhausen

101132001 Altstadt - Lehel

111112002 Milbertshofen - Am Hart

Vorangestellte 1

Trennende Null (nur bei 5-stelligen Originalnummern)

Ursprüngliche VZ Nummer (5- bzw. 6-stellig)

Zweistellige Endung nicht gesplittete VZ

Fortlaufende zweistellige Endung gesplittete VZ

Abbildung 3: Nummersystem Landeshauptstadt München

Im Umland sind die VZ aus dem LVM-BY bereits 9-stellig, beginnen durchgehend mit 9 und enthalten die jeweilige Gemeindekennzahl gefolgt von fortlaufenden Endnummern. Wenn VZ innerhalb einer Gemeinde zusammengefasst wurden, wurden bei den VZ die letzten beiden Stellen mit 11, 22, 33, ... durchnummeriert. Wenn mehrere Gemeinden zusammenfasst wurden, wurde die Nummer der nach Einwohnern größten Gemeinde als neue VZ-Nummer verwendet. Die Zuordnung kann über die Schlüsselbrücken / Referenzlisten abgeleitet werden.

Im Folgenden wird die Nummerierung der VZ im Umland verdeutlicht:

VZ Nummer aus LVM BY unverändert

918511300 Aresing 918511300

LVM BY VZ innerhalb einer Gemeinde zusammengefasst

918612201 Geisenfeld_1 918612211

918612202 Geisenfeld_2 918612211

918612203 Geisenfeld_3 918612211

918612204 Geisenfeld_4 918612222

918612205 Geisenfeld_5 918612222

LVM BY VZ mehrerer Gemeinden zusammengefasst

977714400 Kraftisried 711 Einwohner 977717500

977717500 Unterthingau 2.750 Einwohner 977717500

Original VZ Nummer im LVM BY

Neue VZ Nummer

Gemeindekennzahl

Abbildung 4: Nummersystem Umland

2.4.3 Oberbezirke und Teilräume

Die 25 Stadtbezirke von München bzw. im Umland die Gemeinden werden den VZ als Oberbezirke zugeordnet. Darüber hinaus werden im Modell zur Berechnung und Auswertung von Kenngrößen mindestens die folgenden Teile kenntlich gemacht:

- ▶ Untersuchungsraum
- ▶ Planungsraum
- ▶ bisheriger MVV-Verbundraum
(= Gemeinden mit mindestens einer MVV-Haltestelle)
- ▶ bisheriger MVV-Verbundraum ohne Stadt München
- ▶ Tarifraum München
(ab 12/2019) M-Zone (= München und ausgewählte Verkehrszellen)
- ▶ Landkreise
- ▶ Gemeinden
- ▶ Stadtbezirke München
- ▶ Stadtbezirksviertel München
- ▶ Stadtbezirksteile München
- ▶ München Mittlerer Ring
- ▶ München Altstadtring

Das erfolgt dadurch, dass Bezirksattribute für Teile angelegt werden (Präfix „TR_“) und dann die Bezirke einen entsprechenden Eintrag in dem Attribut erhalten.

Die administrativen Einheiten, wie Bundesländer, Landkreise, Gemeinden, Stadtbezirke München, Stadtbezirksviertel München sind als Point-of-Interest-Elemente angelegt („Pol“) (siehe Pol-Kategorie ab Nr. 1.000). Die Pol-Elemente enthalten neben dem Namen auch das Polygon und andere Attribute.

Die Pol-Elemente für administrative Einheiten sind mit den jeweiligen Verkehrsbezirken verbunden, so dass eine Auswertung auf Basis der Bezirksattribute direkt möglich ist (in PTV VISUM: Pol-Element bearbeiten, Blatt Zuordnungen, Bezirke). Analog den anderen Netzelementen stehen damit auch für die Pol-Elemente die üblichen PTV VISUM-Funktionen für Grafik, Diagramme und Listen zur Verfügung. Die Pol-Elemente für administrative Einheiten bilden einen Baustein der ÖV-Auswertung für die ÖV-Netzkalibrierung.

Da sich die Teile überschneiden, können VZ jeweils zu mehreren Gebieten gehören. Zur Wahrung der Datenkonsistenz werden die jeweiligen Gebiete (soweit möglich) durch Polygonvereinigung über die relevanten Raumattribute direkt aus den VZ gebildet, so dass identische Außengrenzen entstehen.

Die Teile werden in PTV VISUM und auch in den entsprechenden Strukturdatentabellen als Bezirksattribute (BDA) hinterlegt. Darüber hinaus werden für alle Teile Polygone generiert und übergeben.

3 Angebotsmodelle

3.1 Straßenverkehr

3.1.1 Netzgraph

Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
Straßennetz bestehendes VNM-MUC	Grundlage für die Aktualisierung des Straßennetzmodells
LVM-BY	Wird für Netzergänzungen im erweiterten Untersuchungsraum verwendet.
Straßendatenbanken für das klassifizierte Straßennetz	Werden zur Prüfung der Netzgeometrie verwendet.
OSM-Daten	Werden ergänzend zur Prüfung der Netzgeometrie verwendet.
„Digitaler Zwilling“ der Landeshauptstadt München	Vektordaten zu Fahrbahnmarkierungen, linienhafte Topografie, Nutzung, Straßen (Knoten-Kanten-Modell), Tempo-30-Zonen, Verkehrsschilder; 3D-Kamerabefahrung Wird für den Abgleich des Netzgrafen verwendet.
LSA-Daten	Standorte und Lagepläne der LSA-Knoten koordinierte Strecken
Lkw-Restriktionen	Informationen zum Lkw-Durchfahrtsverbot
Informationen zum Parkraummanagement / zur Parkraumbewirtschaftung	Daten zu den Standorten der Parkscheinautomaten und zu den Tarifen wurden übergeben.
VVDM-Radnetz	Radnetz vom VVDM-Projekt zur Netzergänzung der Radstrecken

Tabelle 7: Datenquellen und -formate Straßenverkehr

Methodischer Aufbau und Umsetzung

Die Bearbeitung des Straßennetzes ist als mehrstufiger Prozess angelegt und lief in folgenden Bearbeitungsschritten ab:

1. Netzergänzungen und Netzvereinfachungen
2. Überprüfung / Überarbeitung der Strecken- und Knotentypisierung
3. Detail-Aspekte der Angebotsmodellierung

Netzergänzungen und Netzvereinfachungen

Für das Angebotsmodell wurde das vorhandene Straßennetzmodell als Grundlage übernommen. Es fanden eine Prüfung, Fortschreibung und punktuell eine Korrektur des bestehenden Straßennetzes statt. Zur Prüfung des Straßennetzes in München (z. B. Einbahnstraßen, Tempo-30-Zonen, etc.) wurden Informationen des „Digitalen Zwilling“ verwendet.

Im erweiterten Untersuchungsraum wurde das notwendige Straßennetz ergänzt. Dies geschah dort, wo es Netzlücken auf Grund der Erweiterung des Untersuchungsraums gab. Dafür wurden die Strecken des differenzierten Netzmodells des LVM-BY übernommen. Zudem fand für das klassifizierte Straßennetz ein Abgleich mit der Straßendatenbank statt. So wurde das Netz auf Vollständigkeit und Aktualität geprüft. Die Streckentypen des LVM-BY wurden dazu an die Streckentypen des VNM-MUC angepasst. Zusätzlich wurden Strecken ergänzt. So konnte zum einen jeder Bezirk entsprechend den realen Gegebenheiten an das Streckennetz angebunden werden. Zum anderen können Verkehre zwischen den Kordonbezirken entsprechende Routen auch außerhalb des Untersuchungsraumes nutzen. Aufgrund der vorhandenen Netzstruktur waren Netzergänzungen nur in den südlichen Bereichen des Modells erforderlich (vgl. Abb. 4).

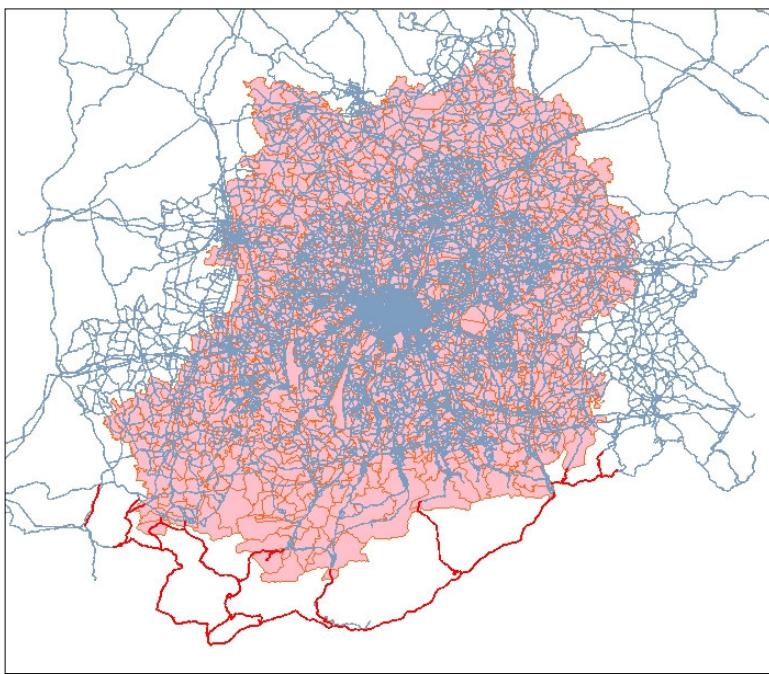


Abbildung 5: Netzergänzungen im Umland

Einen wesentlichen Punkt der Netzarbeiten stellten die Netzvereinfachungen dar. Sie verfolgte das Ziel, dass bestehende IV-Netzmodell im Bereich der Innenstadt von München durch eine vereinfachte Modellierung zu ersetzen³. Dies bedeutete, dass die Richtungsfahrbahnen von Straßen zusammengefasst und als eine Strecke/Kante mit Hin- und Rückrichtung dargestellt werden. Weiterhin wurden aufgelöste Knotenpunkte im Verkehrsnetz durch einen Modellknoten abgebildet. Rampenstrecken sollten nicht oder nur bei Hochleistungsstraßen modelliert werden.

³ Die Vereinfachung der Bundesautobahnen, Bundesstraßen, Strecken mit richtungsgesonderten Fahrbahnen sowie der aufgelösten Knotenpunkte im Umland sind nicht Gegenstand der Netzvereinfachung.

Die Netzvereinfachungen umfassten die folgenden Anpassungen:

- ▶ Getrennt modellierte Richtungsfahrbahnen von Straßen wurden zusammengefasst und als eine Strecke/Kante mit Hin- und Rückrichtung dargestellt.
- ▶ Vereinfachung plangleicher, innerstädtischer Knotenpunkte, so dass auf die Modellierung von Oberknoten verzichtet werden kann.

Die konkrete Bearbeitung der Netzvereinfachungen wurde in enger Abstimmung mit dem AG durchgeführt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei städtischen Straßen mit baulicher Trennung der Richtungsfahrbahnen oft keine eindeutige Festlegung möglich ist, ob die Fahrbahnen zusammengefasst werden können oder ob es zur Gewährleistung des Netzzusammenhangs oder der Wiedererkennbarkeit nicht sinnvoller ist, die bauliche Trennung zu modellieren. Gleiches gilt für größere städtische Plätze oder aufgelöste Knotenpunkte. Bei diesen kann eine Generalisierung dazu führen, dass die verkehrlichen Abläufe nicht mehr realitätsnah abgebildet werden können. So würden z. B. im Falle des Karlsplatzes durch die Generalisierung Knotenpunkte mit mehr als vier Armen entstehen. Zudem kann die Wiedererkennbarkeit reduziert werden. Weiterhin ist in Bezug auf die durchgeföhrten Netzvereinfachungen zu beachten, dass die Generalisierungen zwangsläufig Abweichungen in der Lagetreue von Strecken und Knotenpunkten bedingen.

Die Netzvereinfachung wurde in folgenden Bearbeitungsschritten durchgeführt:

1. Festlegung der Rahmenbedingungen für die Vereinfachung und Dokumentation der Festlegungen in Form eines Memos (siehe Anlage)
2. Auswahl der zu vereinfachenden Strecken und Knotenpunkte und Kennzeichnung der entsprechenden Netzobjekte in VISUM (z. B. über ein Benutzerattribut)
3. Durchführung der Netzvereinfachungen durch den AN in Abstimmung mit dem AG
4. Übergabe einer vereinfachten Netzversion an den AG zur Abstimmung und Überprüfung
5. Überprüfung der durchgeföhrten Netzvereinfachungen durch den AG
6. Abstimmung des erforderlichen Nachbearbeitungsumfangs; erforderliche Anpassungen wurden konkret besprochen
7. Einarbeitung der Anpassungen durch den AN

Zur Vereinfachung des Straßennetzes wurde ein Tool angewendet, das die teilautomatisierte Abstraktion von Knotenpunkten und richtungsgtrennten Straßen ermöglicht.

Eine detaillierte Beschreibung der durchgeföhrten Netzvereinfachungen ist in der Anlage des Berichtes enthalten.

3.1.2 Strecken- und Knotentypisierung

Verwendete Methoden

Die Strecken- und Knotentypisierung orientiert sich an der bestehenden Typisierung. Da es in PTV VISUM keine Begrenzung auf 100 Streckentypen mehr gibt, wurde die Nummerierung und Klassifizierung der Streckentypen neu definiert.

Die Streckenkapazitäten waren im übergebenen Modell als Tageskapazitäten modelliert. Es erfolgte eine Umstellung auf Stundenkapazitäten und eine entsprechende Anpassung der CR-Funktionen, die den Streckentypen zugeordnet sind. Für die Setzung der Stundenkapazitäten wurde ein Abgleich mit den Kapazitäten des LVM-BY durchgeführt. Eine Zuordnung der Streckentypen zwischen LVM-BY und VNM-MUC war in vielen Fällen möglich. Somit konnte der im VNM-MUC hinterlegte Wert für die Stundenkapazität für jeden Streckentyp mit den Stundenkapazitäten abgeglichen werden, die im LVM-BY für den vergleichbaren Streckentyp Anwendung finden.

Die Festlegung der Knotentypisierung orientiert sich an der Klassifizierung der Knoten, die der gewählten Methode zur Modellierung der Abbiegerwiderstände zu Grunde liegt.

Technische Implementierung

Die Streckentypen wurden nach Kategorie, Ortslage, Anzahl Fahrstreifen und Geschwindigkeit definiert. Folgende Nummernbereiche wurden für die jeweiligen Kategorien verwendet:

- ▶ Nummern 0 bis 10: gesperrte und fiktive Strecken sowie Fuß- und Radwege
- ▶ Nummern 100 bis 199: Autobahnen
- ▶ Nummern 200 bis 299: Bundesstraßen
- ▶ Nummern 300 bis 399: Staatsstraßen
- ▶ Nummern 400 bis 499: Kreisstraßen
- ▶ Nummern 500 bis 599: Gemeindestraßen
- ▶ Nummern 600 bis 699: Hauptstraßen (innerorts)
- ▶ Nummern 700 bis 799: Erschließungsstraßen
- ▶ Nummern 800 bis 899: Mittlerer Ring
- ▶ Nummern 900 bis 999: ÖV-Strecken

Für jede Kategorie gibt es einen Kali-Streckentyp. Dessen zweite und dritte Ziffer sind die 9 (Typen 199, 299 ... 799, 899). Diese Streckentypen wurden für die Kalibrierung eingeführt. Für die Strecken dieser Streckentypen können die Kapazität und die Geschwindigkeit frei gewählt werden. Sie müssen nicht den Kennwerten des Streckentyps übereinstimmen. Die Regel der strengen Attributierung gemäß des Streckentyps gilt für die Strecken dieser Typen nicht mehr. Somit können im Rahmen der Kalibrierung beliebige Kombinationen von Kapazität und Geschwindigkeit frei gewählt werden.

Es fand ein Abgleich statt zwischen dem Attribut „StundenKapazitaet“ im bestehenden VNM-MUC und den Werten für die Stundenkapazitäten, die im LVM-BY für vergleichbare Streckentypen verwendet werden. Dieser Abgleich diente auch der Passfähigkeit bei der Ergänzung des Straßennetzes im erweiterten Untersuchungsraum. Als Ergebnis des Abgleichs wurde für jeden Streckentyp eine neue IV-Kapazität als Stundenwert gesetzt.

Da die Verkehrsbezirke im Modell feiner aufgeteilt sind, gibt es allgemein mehr Verkehrsbelastung, insbesondere auf Hauptstraßen und Erschließungsstraßen. Daher wurden während der Kalibrierung des Straßenverkehrs die IV-Kapazität einiger Streckentypen mit einem Faktor zwischen 0,90 und 1,20 hochgerechnet. Dies geschah auf der Grundlage eines Vergleichs von Zählwerten mit der Tageskapazität.

Wie im LVM-BY werden die Standfahrstreifenfreigaben mit einem gesondertem Streckentyp im Modell hinterlegt. Die Information der Standfahrstreifenfreigaben für das Analysejahr, wie die Dauer der Freigabe und die Geschwindigkeit, sind nicht bekannt. Anhand der hohen Zähldaten auf den Strecken wurde der betreffende Streckentyp 141 „A 3+1FS 120“ mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h und einer Kapazität von 6.600 Fzg/Stunde geschätzt. Die Strecken mit Standfahrstreifenfreigabe sind in Abbildung 6 dargestellt.

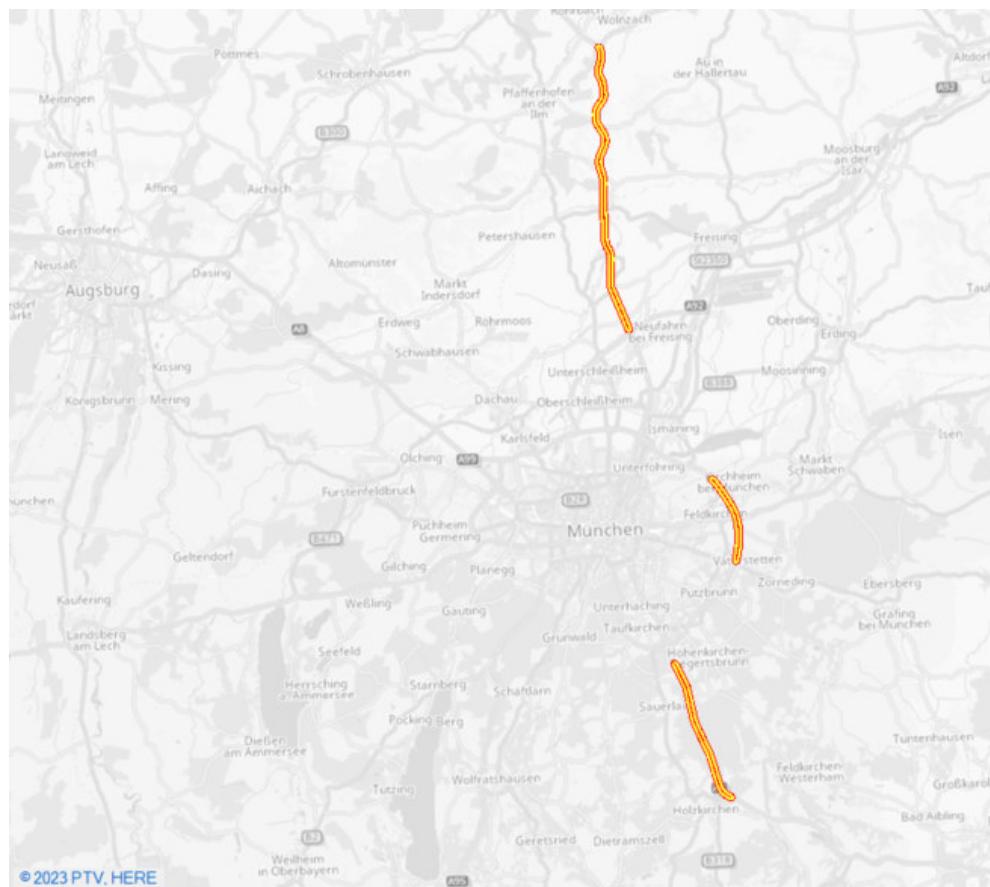


Abbildung 6: Strecken mit Standfahrstreifenfreigabe

Anhand der Zähldaten wurde es festgestellt, dass der Abschnitt Dachauer Straße - Frankfurter Ring - Föhringer Ring mehr Verkehr als normale Hauptstraßen aufnehmen. Das hat sich im Zuge der Kalibrierung gezeigt. Deshalb wurden diesen Strecken die folgenden Streckentypen zugeschrieben.

- ▶ Dachauerstr und Landshuter Allee: Bundesstraße- innerorts (B-io, Streckentypnummer 250-299)
- ▶ Moosacher Str und Frankfurt Ring: Hauptstraßen (HS, Streckentypnummer 600-699)
- ▶ Föhringer Ring: Schnellstr außerorts (S ao, Streckentypnummer 300-349)

In Abbildung 7 sind die Strecken mit gesonderten Streckentypen dargestellt.

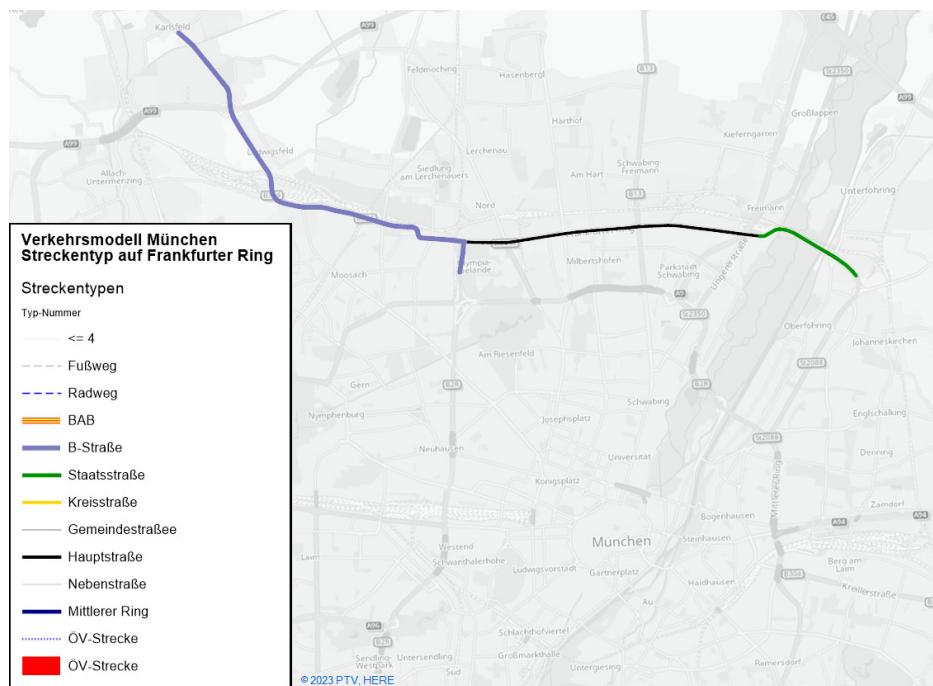


Abbildung 7: Abschnitt Dachauer Straße - Frankfurter Ring - Föhringer Ring mit gesonderten Streckentypen

Die folgende Tabelle zeigt die aktuelle Streckentypenliste mit den maßgebenden Attributen.

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
0	gesperrte Gegenrichtung	0	0
1	gesperrte Gegenrichtung - offen für Rad	100	15
2	Straße nicht befahrbar	0	0
3	Planungsstrecke	0	0
4	fiktive Strecke, Anbindung	35000	50
5	Fußgängerzone / reiner Fußweg	50	5
10	Radweg	100	15
100	A 4FS 140	7000	140
101	A 4FS 130	7000	130
102	A 4FS 120	7000	120
103	A 4FS 110	7000	110
104	A 4FS 100	7000	100
105	A 4FS 90	7000	90
106	A 4FS 80	7000	80
107	A 4FS 70	7000	70
108	A 4FS 60	6400	60
109	A 3FS 140	5940	140
110	A 3FS 130	5940	130
111	A 3FS 120	5940	120
112	A 3FS 110	5940	110
113	A 3FS 100	5940	100
114	A 3FS 90	5940	90
115	A 3FS 80	5940	80
116	A 3FS 70	5400	70
117	A 3FS 60	4800	60
118	A 3FS 50	4800	50
119	A 2FS 140	3960	140
120	A 2FS 130	3960	130
121	A 2FS 120	3960	120
122	A 2FS 110	3960	110
123	A 2FS 100	3960	100
124	A 2FS 90	3960	90
125	A 2FS 80	3960	80
126	A 2FS 70	3600	70
127	A 2FS 60	3200	60
128	A 2FS 50	3200	50
129	A 2FS 40	2800	40
130	A 2FS 30	2800	30
131	A 2FS 20	2800	20
132	A 1FS 120	1980	120
133	A 1FS 110	1980	110
134	A 1FS 100	1980	100

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
135	A 1FS 90	1980	90
136	A 1FS 80	1800	80
137	A 1FS 70	1800	70
138	A 1FS 60	1600	60
139	A 1FS 50	1600	50
140	A 1FS 40	1400	40
141	A 3+1FS 130	6510	130
199	A Kali	1800	50
200	B ao 3FS 120	4600	120
201	B ao 3FS 110	4600	110
202	B ao 3FS 100	4600	100
203	B ao 3FS 90	4600	90
204	B ao 3FS 80	4600	80
205	B ao 3FS 70	4600	70
206	B ao 3FS 60	4300	60
207	B ao 2FS 130	3100	130
208	B ao 2FS 120	3100	120
209	B ao 2FS 110	3100	110
210	B ao 2FS 100	3100	100
211	B ao 2FS 90	3100	90
212	B ao 2FS 80	3100	80
213	B ao 2FS 70	3100	70
214	B ao 2FS 60	2900	60
215	B ao 2FS 50	2900	50
216	B ao 2FS 40	2500	40
217	B ao 2FS 30	2500	30
218	B ao 1,5FS 100	2300	100
219	B ao 1,5FS 90	2300	90
220	B ao 1,5FS 80	2300	80
221	B ao 1,5FS 70	2300	70
222	B ao 1FS 120	1500	120
223	B ao 1FS 110	1500	110
224	B ao 1FS 100	1500	100
225	B ao 1FS 90	1500	90
226	B ao 1FS 80	1500	80
227	B ao 1FS 70	1500	70
228	B ao 1FS 60	1400	60
229	B ao 1FS 50	1400	50
230	B ao 1FS 40	1200	40
231	B ao 1FS 30	1200	30
232	B ao 1FS 20	1200	20
250	B io 4FS 80	5280	80
251	B io 4FS 70	5280	70
252	B io 4FS 60	5280	60

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
253	B io 4FS 50	5280	50
254	B io 4FS 45	5280	45
255	B io 4FS 40	3840	40
256	B io 4FS 35	3840	35
257	B io 4FS 30	3840	30
258	B io 3FS 80	3960	80
259	B io 3FS 70	3960	70
260	B io 3FS 60	3960	60
261	B io 3FS 50	3960	50
262	B io 3FS 45	3960	45
263	B io 3FS 40	3240	40
264	B io 3FS 35	3240	35
265	B io 3FS 30	3240	30
266	B io 2FS 80	2640	80
267	B io 2FS 70	2640	70
268	B io 2FS 60	2640	60
269	B io 2FS 50	2400	50
270	B io 2FS 45	2400	45
271	B io 2FS 40	1920	40
272	B io 2FS 35	1920	35
273	B io 2FS 30	1920	30
274	B io 1,5FS 60	1920	60
275	B io 1,5FS 50	1800	50
276	B io 1FS 80	1200	80
277	B io 1FS 70	1200	70
278	B io 1FS 60	1200	60
279	B io 1FS 50	1200	50
280	B io 1FS 45	1200	45
281	B io 1FS 40	960	40
282	B io 1FS 35	960	35
283	B io 1FS 30	960	30
299	B Kali	1600	50
300	S ao 3FS 70	4320	70
301	S ao 3FS 60	4320	60
302	S ao 2FS 130	3120	130
303	S ao 2FS 120	3120	120
304	S ao 2FS 110	3120	110
305	S ao 2FS 100	3120	100
306	S ao 2FS 90	3120	90
307	S ao 2FS 80	2880	80
308	S ao 2FS 70	2880	70
309	S ao 2FS 60	2880	60
310	S ao 2FS 50	2880	50
311	S ao 2FS 40	2400	40
312	S ao 1,5FS 100	2340	100

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
313	S ao 1,5FS 90	2340	90
314	S ao 1,5FS 80	2100	80
315	S ao 1,5FS 70	2100	70
316	S ao 1FS 100	1560	100
317	S ao 1FS 90	1560	90
318	S ao 1FS 80	1320	80
319	S ao 1FS 70	1320	70
320	S ao 1FS 60	1320	60
321	S ao 1FS 50	1320	50
322	S ao 1FS 40	1200	40
323	S ao 1FS 30	1200	30
324	S ao 1FS 20	1200	20
350	S io 4FS 60	4400	60
351	S io 4FS 50	4400	50
352	S io 4FS 45	3960	45
353	S io 4FS 40	3960	40
354	S io 4FS 35	3960	35
355	S io 4FS 30	3960	30
356	S io 3FS 60	3300	60
357	S io 3FS 50	3300	50
358	S io 3FS 45	2970	45
359	S io 3FS 40	2970	40
360	S io 3FS 35	2970	35
361	S io 3FS 30	2970	30
362	S io 2FS 60	2200	60
363	S io 2FS 50	2200	50
364	S io 2FS 45	2200	45
365	S io 2FS 40	1980	40
366	S io 2FS 35	1980	35
367	S io 2FS 30	1980	30
368	S io 1,5FS 60	1705	60
369	S io 1,5FS 50	1705	50
370	S io 1FS 60	1210	60
371	S io 1FS 50	1210	50
372	S io 1FS 45	990	45
373	S io 1FS 40	990	40
374	S io 1FS 35	990	35
375	S io 1FS 30	990	30
376	S io 1FS 25	990	25
377	S io 1FS 20	880	20
378	S io 1FS 15	880	15
379	S io 1FS 10	880	10
399	S Kali	1000	50
400	K ao 2FS 130	2200	130

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
401	K ao 2FS 120	2200	120
402	K ao 2FS 110	2200	110
403	K ao 2FS 100	2200	100
404	K ao 2FS 90	2200	90
405	K ao 2FS 80	2200	80
406	K ao 2FS 70	2200	70
407	K ao 2FS 60	2000	60
408	K ao 2FS 50	1800	50
409	K ao 1,5FS 100	1650	100
410	K ao 1,5FS 90	1650	90
411	K ao 1,5FS 80	1650	80
412	K ao 1,5FS 70	1650	70
413	K io 1,5FS 60	1500	60
414	K io 1,5FS 50	1350	50
415	K ao 1FS 100	1100	100
416	K ao 1FS 90	1100	90
417	K ao 1FS 80	1100	80
418	K ao 1FS 70	1100	70
419	K ao 1FS 60	1000	60
420	K ao 1FS 50	900	50
421	K ao 1FS 40	900	40
422	K ao 1FS 30	800	30
423	K ao 1FS 20	800	20
450	K io 4FS 60	3200	60
451	K io 4FS 50	3200	50
452	K io 4FS 45	3200	45
453	K io 4FS 40	2800	40
454	K io 4FS 35	2800	35
455	K io 4FS 30	2800	30
456	K io 3FS 60	2400	60
457	K io 3FS 50	2400	50
458	K io 3FS 45	2400	45
459	K io 3FS 40	2100	40
460	K io 3FS 35	2100	35
461	K io 3FS 30	2100	30
462	K io 2FS 60	1600	60
463	K io 2FS 50	1600	50
464	K io 2FS 45	1600	45
465	K io 2FS 40	1400	40
466	K io 2FS 35	1400	35
467	K io 2FS 30	1400	30
468	K io 1FS 60	800	60
469	K io 1FS 50	800	50
470	K io 1FS 45	800	45
471	K io 1FS 40	700	40

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
472	K io 1FS 35	700	35
473	K io 1FS 30	700	30
474	K io 1FS 25	700	25
475	K io 1FS 20	700	20
476	K io 1FS 15	700	15
477	K io 1FS 10	700	10
499	K Kali	800	50
500	G ao 3FS 80	1800	80
501	G ao 3FS 70	1800	70
502	G ao 2FS 120	1200	120
503	G ao 2FS 120	1200	120
504	G ao 2FS 110	1200	110
505	G ao 2FS 100	1200	100
506	G ao 2FS 90	1200	90
507	G ao 2FS 80	1200	80
508	G ao 2FS 70	1200	70
509	G ao 2FS 60	1200	60
510	G ao 2FS 50	1000	50
511	G ao 2FS 40	1000	40
512	G ao 1,5FS 100	900	100
513	G ao 1,5FS 90	900	90
514	G ao 1,5FS 80	900	80
515	G ao 1,5FS 70	900	70
516	G ao 1FS 100	600	100
517	G ao 1FS 90	600	90
518	G ao 1FS 80	600	80
519	G ao 1FS 70	600	70
520	G ao 1FS 60	600	60
521	G ao 1FS 50	500	50
522	G ao 1FS 40	500	40
523	G ao 1FS 30	500	30
524	G ao 1FS 20	400	20
550	G io 4FS 60	2000	60
551	G io 4FS 50	2000	50
552	G io 4FS 45	2000	45
553	G io 4FS 40	2000	40
554	G io 4FS 35	1600	35
555	G io 4FS 30	1600	30
556	G io 3FS 60	1500	60
557	G io 3FS 50	1500	50
558	G io 3FS 45	1500	45
559	G io 3FS 40	1500	40
560	G io 3FS 35	1200	35
561	G io 3FS 30	1200	30

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
562	G io 2FS 60	1000	60
563	G io 2FS 50	1000	50
564	G io 2FS 45	1000	45
565	G io 2FS 40	1000	40
566	G io 2FS 35	800	35
567	G io 2FS 30	800	30
568	G io 1,5FS 60	750	60
569	G io 1,5FS 50	750	50
570	G io 1FS 60	500	60
571	G io 1FS 50	500	50
572	G io 1FS 45	500	45
573	G io 1FS 40	500	40
574	G io 1FS 35	500	35
575	G io 1FS 30	500	30
576	G io 1FS 25	400	25
577	G io 1FS 20	400	20
578	G io 1FS 15	400	15
579	G io 1FS 10	400	10
599	G Kali	1200	50
600	HS 4FS 60	4800	60
601	HS 4FS 50	4800	50
602	HS 4FS 45	4800	45
603	HS 4FS 40	4800	40
604	HS 4FS 35	4800	35
605	HS 4FS 30	3840	30
606	HS 3FS 70	3600	70
607	HS 3FS 60	3600	60
608	HS 3FS 50	3600	50
609	HS 3FS 45	3600	45
610	HS 3FS 40	3600	40
611	HS 3FS 35	3600	35
612	HS 3FS 30	2880	30
613	HS 2FS 60	2400	60
614	HS 2FS 50	2400	50
615	HS 2FS 45	2400	45
616	HS 2FS 40	2400	40
617	HS 2FS 35	2400	35
618	HS 2FS 30	1920	30
619	HS 1FS 60	1200	60
620	HS 1FS 50	1200	50
621	HS 1FS 45	1200	45
622	HS 1FS 40	1200	40
623	HS 1FS 35	1200	35
624	HS 1FS 30	960	30
625	HS 1FS 25	960	25

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
626	HS 1FS 20	960	20
627	HS 1FS 15	960	15
628	HS 1FS 10	960	10
629	HS 1FS 50 SV 30	1000	50
699	HS Kali	1200	50
700	ES I 2FS 40	1500	40
701	ES I 2FS 35	1500	35
702	ES I 2FS 30	1500	30
703	ES I 1FS 50	800	50
704	ES I 1FS 45	800	45
705	ES I 1FS 40	800	40
706	ES I 1FS 35	800	35
707	ES I 1FS 30	800	30
708	ES I 1FS 25	600	25
709	ES I 1FS 20	600	20
750	ES II 1FS 50	600	50
751	ES II 1FS 45	600	45
752	ES II 1FS 40	600	40
753	ES II 1FS 35	600	35
754	ES II 1FS 30	600	30
755	ES II 1FS 25	500	25
756	ES II 1FS 20	500	20
757	ES II 1FS 15	300	15
758	ES II 1FS 10	300	10
799	ES Kali	500	50
800	MR 4FS 80	9000	80
801	MR 4FS 70	9000	70
802	MR 4FS 60	9000	60
803	MR 4FS 50	8000	50
804	MR 4FS 40	7200	40
805	MR 3FS 80	7000	80
806	MR 3FS 60 - planfrei	7000	70
807	MR 3FS 60	5400	60
808	MR 3FS 50	5400	50
809	MR 3FS 40	5400	40
810	MR 2FS 80	4700	80
811	MR 2FS 60 - planfrei	4700	70
812	MR 2FS 60	3510	60
813	MR 2FS 50	3510	50
814	MR 2FS 40	2400	40
815	MR 2FS 30	2400	30
816	MR 1FS 80	1800	80
817	MR 1FS 70	1800	70

Nr.	Name	Kapazität IV	v0 IV
818	MR 1FS 60	1620	60
819	MR 1FS 50	1620	50
820	MR 1FS 40	1200	40
821	MR 1FS 30	1200	30
899	MR Kali	1000	50
900	ÖV unklar	0	0
901	ÖV Eisenbahn Schnellfahrstrecke	0	0
902	ÖV Eisenbahn Hauptbahn	0	0
903	ÖV Eisenbahn Nebenbahn	0	0
904	ÖV Eisenbahn Güterstrecke	0	0
905	ÖV Eisenbahn sonstige Strecke	0	0
909	ÖV Eisenbahn Beta	0	0
910	ÖV Eisenbahn gemischt	0	0
911	ÖV S-Bahn-Strecke oberirdisch	0	0
912	ÖV S-Bahn-Strecke unterirdisch	0	0
921	ÖV U-Bahnstrecke oberirdisch	0	0
922	ÖV U-Bahnstrecke unterirdisch	0	0
926	ÖV U-Bahnstrecke Planung	0	0
931	ÖV Tramstrecke, eigener Gleiskörper	0	0
936	ÖV Tramstrecke Planung	0	0
941	ÖV Busstrecken, gesondert	0	0
981	ÖV betriebliche Strecke	0	0
991	ÖV-Fußstrecke	0	0

Tabelle 8: Definierte Streckentypen

Wegen der Umstellung der Streckenkapazitäten von Tages- auf Stundenkapazitäten wurden die c-Faktoren der CR-Funktionen angepasst. Bei der Setzung der Werte wurde sich an den c-Faktoren orientiert, die im LVM-BY verwendet werden. In Übereinstimmung mit dem LVM-BY fand eine Umstellung des Typs von BPR auf Lohse statt, da die Lohse-Funktion für den Überlastungszustand einen günstigeren Verlauf hat.

Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die verwendeten CR-Funktionen.

Nr.	Name	Typ	Parameter a	Parameter b	Parameter c
1	Autobahnen	LOHSE	0,9	6,0	14
2	B ao	LOHSE	1,2	3,8	12,5
3	B io	LOHSE	1,2	3,4	12,5
4	MR	LOHSE	0,9	4,0	12,5
5	S ao K ao	LOHSE	1,2	3,4	12
6	S io K io	LOHSE	1,0	3,4	12
7	G ao	LOHSE	1,2	3,0	11
8	G io HS	LOHSE	1,25	3,0	11
9	ES	LOHSE	1,3	3,0	10

Tabelle 9: Parameter der CR-Funktionen

Die Knotentypen wurden nach Regelungsart und Anzahl definiert. Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Knotentypen. Unabhängig vom Knotentyp werden über benutzerdefinierte Attribute weitere Merkmale attributiert (ÖV-Priorisierung, Grüne Welle). An dieser Stelle wird zudem auf das Memo zur Festlegung der Knotenwiderstände verwiesen (siehe Anlage).

Nr.	Regelungsart	Anzahl Arme
9	Zuschlagsfreier Knotenpunkt	beliebig
20	Fußgängerschutzanlage (zuschlagsfrei)	2
30	LSA	3
31	Verkehrszeichengeregelt	3
32	Kreisverkehr	3
34	Rechts vor Links	3
35	Verflechtung BAB usw.	3
36	Einbahnstraße abgehend	3
37	Rechts rein, rechts raus (an richtungsgesonderten Fahrbahnen)	3
40	LSA	4
41	Verkehrszeichengeregelt	4
42	Kreisverkehr	4
44	Rechts vor Links	4
45	Verflechtung BAB usw.	4
46	Einbahnstraße abgehend	4
50	LSA	5

Nr.	Regelungsart	Anzahl Arme
51	Verkehrszeichengeregelt	5
52	Kreisverkehr	5
54	Rechts vor Links	5
55	Verflechtung BAB usw.	5
60	LSA	6
61	Verkehrszeichengeregelt	6
62	Kreisverkehr	6
64	Rechts vor Links	6
77	Bahnübergang	2
90	ÖV-Knoten	beliebig
99	Kali-Typ	beliebig

Tabelle 10: Definierte Knotentypen

Die Knotentypen schließen das Nebennetz ein.

Detail-Aspekte der Angebotsmodellierung

Nach Abschluss der oben beschrieben allgemeinen Modellierungsarbeiten wurden die folgenden Detail-Aspekte der Angebotsmodellierung umgesetzt:

1. Lkw-Durchfahrtsverbot in München
2. Parkdruck (Parksuchzeit und Parkkosten) je Bezirk
3. Mautkosten

Lkw-Durchfahrtsverbot

Das Lkw-Durchfahrtsverbot ist in das Modell integriert. Es kann ein- und ausgeschaltet werden. Die betroffenen Strecken sind im Attribut „LKW-Durchfahrtsverbot_Streckensperrung_gesperrteStrecken“ mit dem Wert 1 gekennzeichnet. **Werden neue Strecken eingefügt, ist in diesem Attribut anzugeben, ob sie vom Lkw-Durchfahrtsverbot betroffen sind (1) oder nicht (0).** Soll das Durchfahrtsverbot aktiviert werden, ist die Kennzeichnung aus diesem Attribut in das Attribut „Lkw-Durchfahrtsverbot_Streckensperrung“ zu übertragen. Letzteres ist in die Streckenwiderstandsfunktion der betroffenen Verkehrssysteme integriert. Soll das Durchfahrtsverbot deaktiviert werden, ist das Attribut „Lkw-Durchfahrtsverbot_Streckensperrung“ zu initialisieren. Entsprechend der Setzung dieses Streckenattributes erhalten alle vom Lkw-Durchfahrtsverbots betroffenen Strecken bei der Berechnung der Routenwiderstände einen streckenspezifischen Zeitzuschlag. Da vom Lkw-Durchfahrtsverbot nur die Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t betroffen sind, wird dieser Zusatzwiderstand nur für die Verkehrssysteme Lkw zul. GG 3,5t bis < 7,5t und Lkw zul. GG >= 7,5 t angewandt.

Da das Durchfahrtsverbot nur für den Durchgangsverkehr und nicht für den Binnen-, Quell- und Zielverkehr gilt, wurden für die beiden genannten zwei Lkw-Verkehrssysteme zwei Nachfragersegmente „Binnen-, Quell- und Zielverkehr“ und „Durchgangsverkehr“ angelegt. Die Nachfragermatrizen der beiden Lkw-Verkehrssysteme werden entsprechend der Zuordnung der Relationen zu den vier Verkehrsarten auf die beiden Nachfragersegmente aufgeteilt. Darauf aufbauend erfolgt eine getrennte, aufeinanderfolgende Umlegung der beiden Nachfragersegmente. Zuerst werden mit aktivem Lkw-Durchfahrtsverbot die Durchgangsverkehrsmatrizen umgelegt, anschließend werden die zur Abbildung des Durchfahrtsverbots implementierten Zusatzwiderstände initialisiert und der Binnen-, Quell- und Zielverkehr umgelegt.

Widerstände des Parkens

In Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit kann ein Parkraummanagement bzw. eine Parkraumbewirtschaftung unterschiedlich modelliert werden. Generell können den Verkehrszellen über Vektoren zusätzliche Widerstände zugewiesen werden, welche durchschnittliche Parkkosten und Parksuchzeiten repräsentieren. Diese Methodik wurde im VNM-MUC umgesetzt. Sie ist in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Die Ermittlung der Parkkosten je Bezirk erfolgte aus den Daten zu Parkhäusern, Tiefgaragen und Parkscheinautomaten. Der Datensatz der Parkhäuser und Tiefgaragen wurde um mehrere, auf der Seite Parkopedia.de hinterlegte Parkplätze, Parkhäuser und Tiefgaragen ergänzt. Die Parkhäuser, Tiefgaragen und Parkscheinautomaten wurden im Modell verortet und den Bezirken, in denen sie sich befinden, zugeordnet. Aus ihren Daten wurde für jeden Bezirk ein mittlerer Kostensatz ermittelt. Bezirken, in denen keine Parkhäuser, Tiefgaragen oder Parkscheinautomaten liegen wurde ein Kostensatz von 0 € zugeschrieben. Das Vorgehen bei der Schätzung der Parkkosten ist im Memo „Memo_Parkkosten“ erklärt.

Die resultierenden Kosten sind im Attribut „Parkkosten 90_min“ hinterlegt und in der folgenden Abbildung dargestellt.

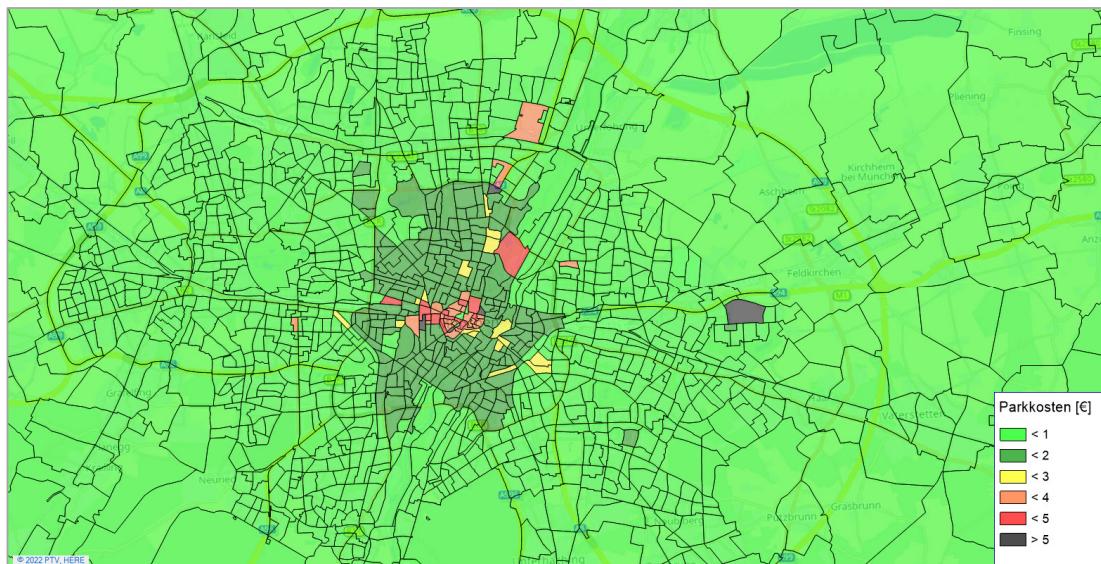


Abbildung 8: Parkkosten in München

Sollen die Parkkosten um einen pauschalen Betrag erhöht werden gibt es dazu mehrere Möglichkeiten. Einerseits kann in die Formel des genannten Attributs ein Summand mit der entsprechenden Erhöhung der Parkkosten integriert werden. Andererseits können die Eingangsattribute angepasst werden. Für die Parkscheinautomaten ist dies das Attribut „Parkkosten_Parkscheinautomaten“. Diese Parkkosten beziehen sich auf eine Parkdauer von 60 min. Daher sind dort zwei Drittel des gewünschten Betrags einzutragen. Für die Parkhäuser und Tiefgaragen sind die relevanten Attribute bei der Pol-Kategorie 24 zu finden. Sie tragen die Namen „Kosten_erste_Stunde“ und „Kosten_zweite_Stunde“. Die dort hinterlegten Parkkosten sind entsprechend. Des Weiteren kann das Attribut „Parkkosten 90_min“ zu einem Datenattribut umgewandelt werden. Dann können die gewünschten Anpassungen manuell durchgeführt werden.

Die Parksuchzeit der Bezirke wurde auf der Grundlage der Entfernung des Bezirks zum Stadtzentrum gesetzt. Bezirke innerhalb des Mittleren Rings und daran angrenzenden Bezirke erhielten eine Parksuchzeit von 8 min. Den angrenzenden Bezirken im weiteren Münchener Stadtgebiet wurde eine Parksuchzeit von 5 min zugeschrieben. Die Bezirke am Stadtrand erhielten eine Parksuchzeit von 3 min. Im Umland beträgt die Parksuchzeit 1 min. Im Rahmen der Kalibrierung erfolgte eine weitere Anpassung der Parksuchzeiten. Dabei erhielten ausgewählte Bezirke eine Parksuchzeit von 9 min. Die resultierenden Parksuchzeiten sind im Attribut „Parksuchzeit“ hinterlegt und in Abbildung 9 dargestellt.

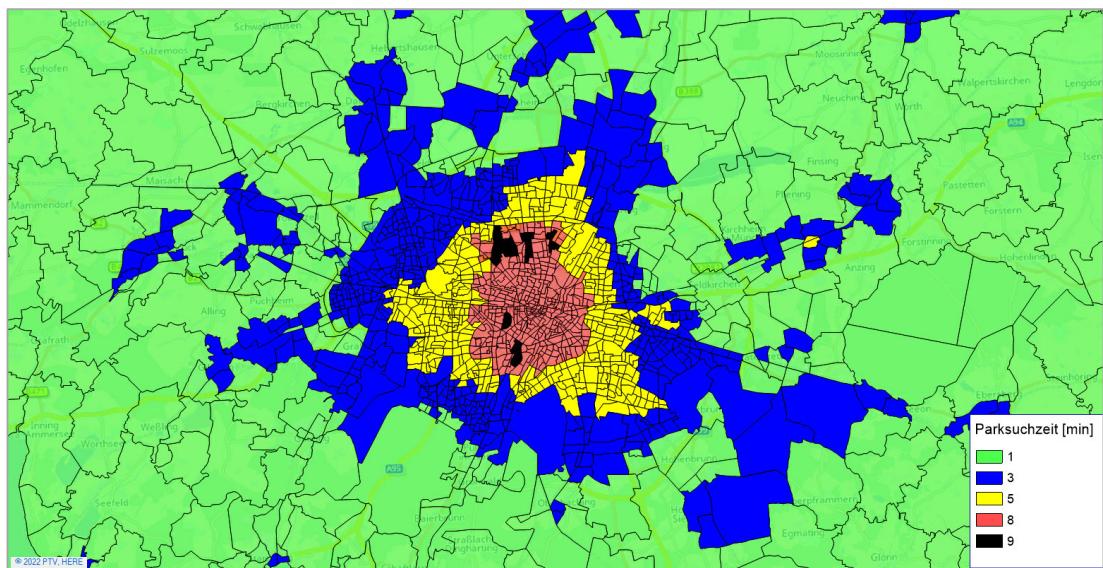


Abbildung 9: Parksuchzeiten in München

In dem Attribut „Parksuchzeit“ kann die Parksuchzeit beliebig angepasst werden.

Mautkosten

Auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen gilt eine Maut für Lkw über 7,5 t zulGG (im Modell ist dies das Verkehrssystem Lkw-g). Diese Maut wird bei der Modellierung der Routenwahl berücksichtigt. Dazu wurden auf der Grundlage des Mautatlas von Toll Collect⁴ alle mautpflichtigen Strecken im booleschen Attribut „Mautpflichtig_Lkw“ gekennzeichnet. Die betroffenen Strecken sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

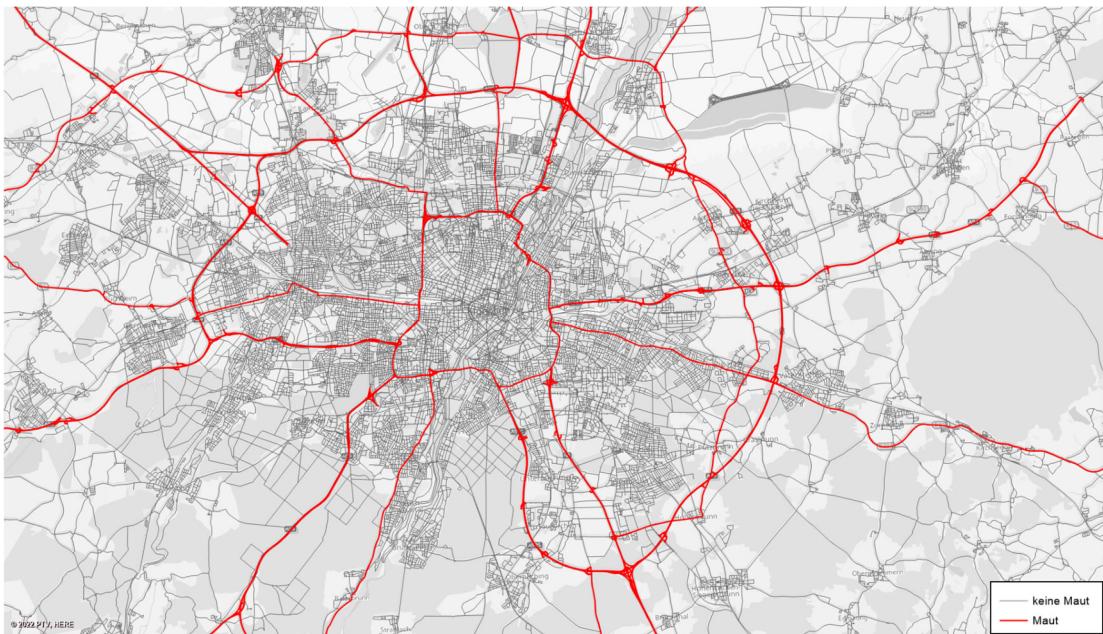


Abbildung 10: Mautpflichtige Strecken in München

⁴ https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/service/mautatlas.html

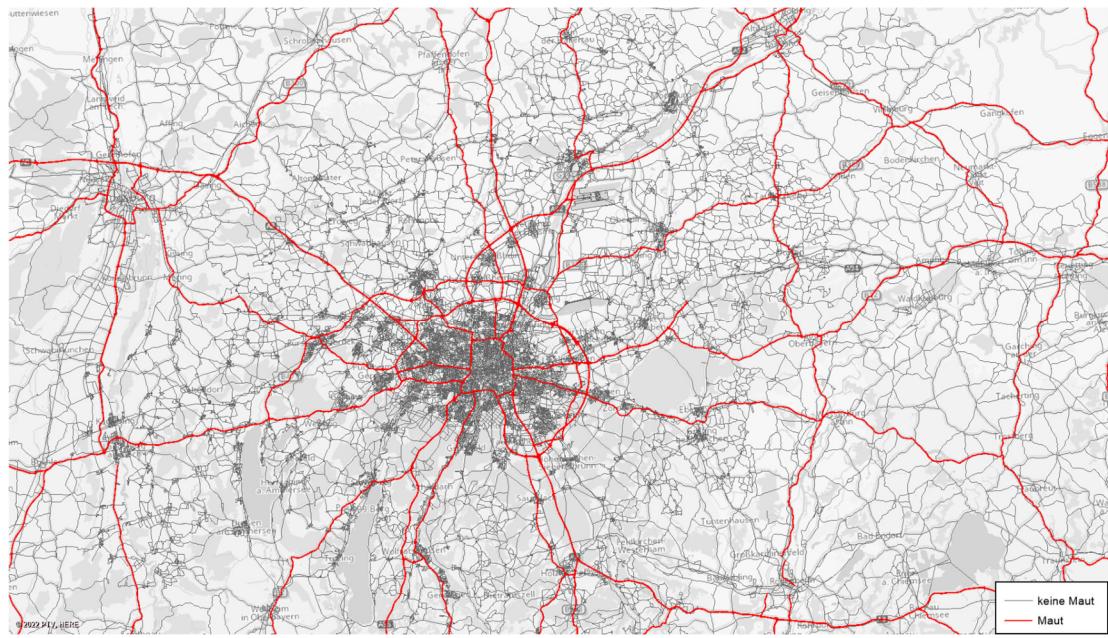


Abbildung 11: Mautpflichtige Strecken im Umland

Anschließend wurde in die Streckenwiderstandsfunktion der Lkw-g ein Term der Lkw-Maut integriert. Dieser Term bzw. die Gewichtung der Maut wurde aus dem LVM-BY übernommen.

Ergebnisse

Als Ergebnis liegt ein Netzgraph für den Straßenverkehr vor, welcher:

- ▶ alle relevanten Strecken im Planungsraum und im Umland enthält,
- ▶ einer konsistenten Strecken- und Knotentypisierung folgt,
- ▶ durch die Netzvereinfachungen im Stadtgebiet Münchens eine verbesserte Handhabung aufweist und
- ▶ alle Detail-Aspekte (z. B. Lkw-Durchfahrtsverbot, Parkdruck) adäquat abbildet.

3.1.3 Anbindungen

Dieser Abschnitt beschreibt die IV-Anbindungen. Die ÖV-Anbindungen sind im Abschnitt 3.2.10 beschrieben.

Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
Zonierung und Anbindungen des bestehenden VNM-MUC	Orientierung für die Neuerstellung der Anbindungen und Anbindungsanteile
überarbeitete Zonierung	aktualisierte Zonierung im Rahmen dieses Projektes

Tabelle 11: Datenquellen und -formate IV-Anbindungen

Methodischer Aufbau und Umsetzung

Aus dem Angebotsmodell des alten Modells lag eine kalibrierte Anbindungsphilosophie vor. Diese wird in einem ersten Schritt in Hinblick auf ihre Sinnfälligkeit überprüft. In Abstimmung mit den Arbeiten an der Überarbeitung der Zonierung wird entschieden, ob mehrfach angebundene Zellen geteilt werden oder ob vorhandene Mehrfachanbindungen übernommen werden sollten. Gleichermaßen gilt für die im Netzmodell beinhalteten Anbindungsanteile. Auf Grund der vorliegenden neuen Zelleinteilung wird davon ausgegangen, dass die meisten Zellen neu anzubinden sind.

In einem zweiten Schritt werden alle Anbindungen noch einmal entsprechend der im Folgenden dargestellten Systematik geprüft und überarbeitet. Bezirke, die neu in das Modell integriert werden, werden ebenfalls nach dieser Philosophie angebunden. In Abhängigkeit von der Lage und Größe einer Zelle muss in Hinblick auf eine realitätsnahe Einspeisung der Verkehrsströme die Art ihrer Bebauung bzw. die Lage größerer Parkierungseinrichtungen betrachtet werden.

Hinsichtlich der Art der Bebauung werden die Bezirke in die folgenden Haupt-Typen unterschieden:

- ▶ Typ 1: Zelle vollständig bebaut
- ▶ Typ 2: Zelle teilweise bebaut mit einem Siedlungskern
- ▶ Typ 3: Zelle teilweise bebaut mit mehreren Siedlungskernen

Der Typ 1 wird insbesondere innerhalb des Stadtgebietes München anzutreffen sein. Da diese Zellen in der Regel sehr kompakt sind, kann hier mit einer Anbindung gearbeitet werden. Die Verortung der Anbindung sollte, soweit keine Angaben zu großräumigen Parkierungseinrichtungen vorhanden sind, in der Nähe des Schwerpunktes der Zelle erfolgen. Sollten Angaben zu Parkierungseinrichtungen vorliegen, wird der Anbindungspunkt an diesen verortet.

Für die Bezirke des Typs 1 wurden insgesamt fünf Sondertypen definiert. Diese sind ebenfalls vollständig bebaut, bedürfen aber aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften mehrere Anbindungen. Die Sondertypen sind die Folgenden:

- ▶ Typ 11: Besondere Form (U oder L)
- ▶ Typ 12: Strecken innerhalb des Bezirks sind nicht miteinander verbunden
- ▶ Typ 13: Uneinheitliche Nutzung (z. B. Wohngebiet im Osten und Einkaufszentrum im Westen)
- ▶ Typ 14: Hohe Zahl an Arbeitsplätzen und/oder Einwohnern sowie eine große Fläche
- ▶ Typ 15: Räumliche Teilung des Bezirks, z. B. durch eine Bahnstrecke oder eine Hauptverkehrsstraße

Die konkrete Lage der Anbindungspunkte im Straßennetz sowie die Generierung der Anbindung erfolgt in einem ersten Arbeitsschritt automatisch. In einem zweiten Arbeitsschritt werden die Anbindungen durch Prüfroutinen und Sichtkontrollen plausibilisiert und, falls erforderlich, korrigiert. An Knoten mit mehr als zwei Armen und an Hauptstraßen wird nicht angebunden.

Die Typen 2 und 3 sind im Wesentlichen im Umland vorhanden. Analog den Sondertypen 11-15 des Typs 1 wurden auch für den Typ 2 fünf Sondertypen 21-25 definiert, welche die gleichen Eigenschaften aufweisen und deshalb mehrerer Anbindungen bedürfen. Die (Mehrfach-)Anbindungen für diese Verkehrszeonen werden auf Basis der Siedlungsschwerpunkte automatisch erstellt. Die Anbindungsanteile werden anhand der Einwohnerzahlen und der Arbeitsplätze in den jeweiligen Siedlungsschwerpunkten berechnet. Hierbei ist es auch möglich, dass Straßen zur Anbindung von relevanten Gemeindeteilen fehlen und ergänzt werden müssen. Die Ergebnisse werden intensiv durch Prüfroutinen und Sichtkontrollen plausibilisiert. Die Anbindungsregeln werden ggf. angepasst. Für den Wirtschaftsverkehr können ggf. zusätzliche Anbindungen (z. B. an singuläre Verkehrserzeuger) notwendig sein. Entsprechend notwendige Justierungen bzw. Ergänzungen der Anbindungen für den Wirtschaftsverkehr werden durchgeführt. An Knoten mit mehr als zwei Armen und an Hauptstraßen wird analog des Bezirkstyps 1 ebenfalls nicht angebunden. Im Rahmen der IV-Umlegungskalibrierung kann nochmals eine Anpassung der Anbindungen erfolgen.

Für die Modellerstellung lagen Daten zu den Parkhäusern und Tiefgaragen in München vor. Diese wurden im Modell räumlich verortet. Für die Parkhäuser mit einer bezirksübergreifenden Wirkung wurden Anbindungen aus den benachbarten Bezirken an die entsprechenden Strecken eingefügt. Dies betrifft vor allem Bezirke in der Innenstadt.

Wie die Strecken und die Bezirke wurden auch die Anbindungen typisiert. Die entworfene Typisierung ist die folgende:

- ▶ Typ 1: IV-Anbindungen München
- ▶ Typ 2: IV-Anbindungen Umland
- ▶ Typ 3: IV-Anbindungen Parkhaus
- ▶ Typ 4: IV-Anbindungen Kordon
- ▶ Typ 5: ÖV-Anbindungen Kordon
- ▶ Typ 6: Gemischte Anbindungen München
- ▶ Typ 7: Gemischte Anbindungen Umland
- ▶ Typ 8: ÖV-Anbindungen München
- ▶ Typ 9: ÖV-Anbindungen Umland
- ▶ Typ 0: Rad-Anbindungen München/Umland

Als Anbindungslängen und -zeiten werden standardisierte Werte gesetzt (200 m und 2 min für alle Verkehrssysteme), die den Zugang zum Verkehrsmittel repräsentieren. Nur für die Anbindungen des Typs 3 wurden die Luftlinienlängen als Anbindelängen beibehalten und die Anbindezeiten als Gehzeit berechnet.

Auf Grund des dichten Verkehrsnetzes wird nicht davon ausgegangen, dass die Anbindungen zusätzlich zur Abbildung des Wegeanteils im untergeordneten Straßennetz verwendet werden müssen.

Nach Festlegung der Anbindungen wurden die dafür notwendigen Bezirkstypen in ein benutzerdefiniertes Attribut eingetragen. Der Bezirkstyp wird im Weiteren für die Festlegungen der Matrixganglinien des ÖV-verwendet.

Ergebnisse

Als Ergebnis liegt ein Anbindungskonzept für den Straßenverkehr vor, welches:

- ▶ je nach Typ und Lage für jede Zelle die angemessene Anzahl an Anbindungen enthält,
- ▶ einer konsistenten Attributierung (Länge, Anbindezeiten je Verkehrssystem) folgt,
- ▶ bei Mehrfachanbindungen die Anbindungsanteile gemäß der Siedlungsschwerpunkte verteilt.

3.1.4 Berechnung der Kenngrößenmatrizen

Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
Angebotsmodell des VNM-MUC	Die Grundlage der Berechnung der Kenngrößenmatrizen ist das Netz- und Angebotsmodell für den Straßenverkehr

Tabelle 12: Datenquellen für die Berechnung der Kenngrößenmatrizen

Methodischer Aufbau

Kenngrößenmatrizen (auch als Aufwandsmatrizen bezeichnet) bilden die Grundlage für die Berechnung der Verkehrs nachfrage. Sie werden mittels PTV VISUM-eigenen Verfahrensschritten im Block „Kenngrößen IV“ berechnet. Skripte kommen dabei nicht zum Einsatz. Für die Verkehrssysteme des Straßenverkehrs (Pkw, Lkw-k, Lkw-m und Lkw-g) werden Matrizen der folgenden Kenngrößen berechnet:

- ▶ Reisezeit bei freiem Verkehrsfluss t_0
- ▶ Reisezeit im belasteten Netz t_{Akt}
- ▶ Parksuchzeit (nur für Pkw)
- ▶ Zu-/Abgangszeit (nur für Pkw und Pkw-Mitfahrer)
- ▶ Reiseweite
- ▶ Kraftstoffkosten (nur für Pkw)
- ▶ Parkkosten (nur für Pkw)
- ▶ Widerstand

Nach der Berechnung werden die Kenngrößenmatrizen bearbeitet (z. B. Besetzung Hauptdiagonale, Symmetrisierung), bevor sie in die Berechnung der Verkehrs nachfrage eingebracht werden.

Umsetzung

Die Berechnung der Kenngrößenmatrizen für den Straßenverkehr ist für alle Verkehrssysteme in zwei Verfahrensschritte aufgeteilt. Im ersten Verfahrensschritt werden die Kenngrößen aus den Strecken, den Abbiegern und den Anbindungen berechnet. Dies geschieht für die Kenngrößen Reisezeit bei freiem Verkehrsfluss t_0 und Reiseweite. Im zweiten Verfahrensschritt werden die Kenngrößen nur aus den Strecken und den Abbiegern berechnet. Dies geschieht für die Reisezeit im belasteten Netz t_{Akt} und den Widerstand.

Nach der Berechnung werden die Kenngrößenmatrizen von t0, tAkt und der Reiseweite bearbeitet. Dabei werden die folgenden drei Bearbeitungen vorgenommen und es entstehen neue Matrizen:

- ▶ Symmetrisieren der Matrizen
- ▶ Besetzen der Hauptdiagonalen
- ▶ Addition von Anbindezeiten t0 (nur tAkt)

Beim Symmetrisieren wird für jede Relation der Mittelwert aus den Matrixwerten im oberen und unteren Dreieck berechnet; die beiden Ausgangswerte werden durch diesen Mittelwert ersetzt. Die Werte, die auf die Hauptdiagonale gesetzt werden, sind als Bezirksattribute hinterlegt und können dort verändert werden. Diese Attribute beginnen mit „KG_DIA_“

Zuletzt werden zu den Matrizen von tAkt, in deren Berechnung die Anbindungen nicht einbezogen wurden, Anbindezeiten (t0) des Von- und des Nach-Bezirks addiert. Diese Anbindezeiten werden in Bezirksattributen berechnet. Sie verstehen sich als gewichteter Mittelwert der Anbindezeiten t0-IVSys des jeweiligen Verkehrssystems der einzelnen IV-Anbindungen der Bezirke. Die Wichtung der Anbindezeiten der Anbindungen eines Bezirks erfolgt über die IV-Gewichte der Anbindungen. Die Berechnung dieser Anbindezeiten erfolgt differenziert nach dem Quell- und dem Zielverkehr eines Bezirks und nach den vier Verkehrssystemen. Die Berechnung erfolgt in drei Teilschritten. Zuerst werden die effektiven Gewichte der Anbindungen berechnet. Dafür wurden die Attribute Gewicht_IV_effektiv_Quelle und Gewicht_IV_effektiv_Ziel angelegt. Sie werden im Verfahrensablauf berechnet. Dabei wird das den Anbindungen zugeschriebene Gewicht durch die Summe der Gewichte aller IV-Anbindungen ihres Bezirks geteilt. Im zweiten Schritt der Berechnung wird für jede Anbindung ihr Gewicht (IV-Gewicht oder Anteil ihrer Belastung am Quell- bzw. Zielverkehr ihres Bezirks) mit ihrer Anbindezeit multipliziert. Im dritten Schritt werden die soeben berechneten Zeiten über alle Anbindungen eines Bezirkes aufsummiert. Sowohl die Anbindungs- als auch die Bezirksattribute beginnen mit dem Vorsatz „T0_“.

Die Berechnung der Matrix der Kraftstoffkosten erfolgt durch die Multiplikation der bearbeiteten Reiseweitenmatrix des Pkw mit einem Kostensatz. Der Kostensatz ist im Netzattribut „Kraftstoffkosten_PKW_Euro/km“ hinterlegt und beträgt 0,0875 €/km.

Die Werte in den Matrizen der Parkkosten und der Parksuchzeit entsprechen den jeweiligen Attributwerten des Nach-Bezirks.

Die Matrix der Zu- und Abgangszeit ergibt sich als die Summe der Zugangszeit des Von- und des Nachbezirks.

Ergebnisse

Als Ergebnis liegen für die vier Verkehrssysteme des Straßenverkehrs die folgenden Kenngrößenmatrizen vor:

Nummer	Code	Name	Erklärung
101	TT0	t0 P	Unbearbeitete Reisezeit t0 des Pkws
102	TTC	tAkt P	Unbearbeitete Reisezeit tAkt des Pkws
103	DIS	Fahrweite P	Unbearbeitete Reiseweite des Pkws
104	IMP	Widerstand P	Unbearbeiteter Widerstand des Pkws
111	t0 P	t0 P bearbeitet	bearbeitete Reisezeit t0 des Pkws
112	tAkt P	tAkt P bearbeitet	bearbeitete Reisezeit tAkt des Pkws
113	Fahrweite P	Fahrweite P bearbeitet	bearbeitete Reiseweite des Pkws
115	PKW_Kraftstoffkosten	PKW_Kraftstoffkosten	
122	PKW_Parkkosten	PKW_Parkkosten	
123	PKW_Parksuchzeit	PKW_Parksuchzeit	
131	TT0	t0 Lkw-k	Unbearbeitete Reisezeit t0 der kleinen Lkw
132	TTC	tAkt Lkw-k	Unbearbeitete Reisezeit tAkt der kleinen Lkw
133	DIS	Fahrweite Lkw-k	Unbearbeitete Reiseweite der kleinen Lkw
134	t0 Lkw-k	t0 Lkw-k bearbeitet	bearbeitete Reisezeit t0 der kleinen Lkw
135	tAkt Lkw-k	tAkt Lkw-k bearbeitet	bearbeitete Reisezeit tAkt der kleinen Lkw
136	Fahrweite Lkw-k	Fahrweite Lkw-k bearbeitet	bearbeitete Reiseweite der kleinen Lkw
137	IMP	Widerstand Lkw-k	Unbearbeiteter Widerstand der kleinen Lkw
141	TT0	t0 Lkw-m	Unbearbeitete Reisezeit t0 der mittleren Lkw
142	TTC	tAkt Lkw-m	Unbearbeitete Reisezeit tAkt der mittleren Lkw
143	DIS	Fahrweite Lkw-m	Unbearbeitete Reiseweite der mittleren Lkw
144	t0 Lkw-m	t0 Lkw-m bearbeitet	bearbeitete Reisezeit t0 der mittleren Lkw
145	tAkt Lkw-m	tAkt Lkw-m bearbeitet	bearbeitete Reisezeit tAkt der mittleren Lkw
146	Fahrweite Lkw-m	Fahrweite Lkw-m bearbeitet	bearbeitete Reiseweite der mittleren Lkw

147	IMP	Widerstand Lkw-m	Unbearbeiteter Widerstand der mittleren Lkw
151	TT0	t0 Lkw-g	Unbearbeitete Reisezeit t0 der großen Lkw
152	TTC	tAkt Lkw-g	Unbearbeitete Reisezeit tAkt der großen Lkw
153	DIS	Fahrweite Lkw-g	Unbearbeitete Reiseweite der großen Lkw
154	t0 Lkw-g	t0 Lkw-g bearbeitet	bearbeitete Reisezeit t0 der großen Lkw
155	tAkt Lkw-g	tAkt Lkw-g bearbeitet	bearbeitete Reisezeit tAkt der großen Lkw
156	Fahrweite Lkw-g	Fahrweite Lkw-g bearbeitet	bearbeitete Reiseweite der großen Lkw
157	IMP	Widerstand Lkw-g	Unbearbeiteter Widerstand der großen Lkw
210	PKWWiver_Kosten	PKWWiver_Kosten	Kosten des Pkw-Wirtschaftsverkehr
211	PKWWiVer_Pausenzeit	PKWWiVer_Pausenzeit	Pausenzeit des Pkw-Wirtschaftsverkehr

Tabelle 13: Kenngrößenmatrizen des Straßenverkehrs

3.1.5 Leistungsfähigkeitsuntersuchung Straße

Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
Knotentypisierung des Straßennetzes	Anhand des Knotentyps im aktualisierten Straßennetz werden differenzierte Knoten- und Abbiegerkapazitäten für die Berechnung der auslastungsabhängigen Zeitzuschläge zugewiesen

Tabelle 14: Datenquellen Leistungsfähigkeitsuntersuchung Straße

Methodischer Aufbau

Das Modell nutzte vor seiner Fortschreibung konstante Knotenwiderstände. Für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit im Straßenverkehr wurde das Modell wie folgt erweitert:

- ▶ Bereitstellung von Stundenkapazitäten
- ▶ Verwendung auslastungsabhängiger Knotenwiderstände

Die Umstellung auf Stundenkapazitäten ist bereits Gegenstand der Aktualisierung des Netzgrafen für den Straßenverkehr (siehe Kapitel 3.1.1).

In Hinblick auf die auslastungsabhängigen Knotenwiderstände bietet PTV VISUM für die Berechnung von tAkt pro Abbieger grundsätzlich die folgenden drei verschiedenen Modelle an, die unterschiedliche Kompromisse zwischen Dateneingabe- und Rechenaufwand einerseits und Genauigkeit und Realitätsnähe andererseits darstellen:

- ▶ Abbieger-CR-Funktion (Widerstand von Abbiegern aus Abbieger-CR-Funktion)
- ▶ Knoten-CR-Funktion (Widerstand von Abbiegern aus Knoten-CR-Funktion)
- ▶ Knotenwiderstandsberechnung ICA

Die Knotenwiderstandsberechnung nach ICA stellt für ein strategisches gesamtstädtisches Verkehrsmodell einschließlich Umland einen unverhältnismäßig hohen Modellierungsaufwand dar.

Die Verfahren „Abbieger-CR-Funktion“ und „Knoten-CR-Funktion“ unterscheiden sich im Wesentlichen darin, ob die Setzung der Kapazitäten nur auf Ebene der einzelnen Abbieger oder auch auf der Ebene des Gesamtknotens vorzunehmen ist. Beim Verfahren „Abbieger-CR-Funktion“ berechnet sich der gesamte Zeitzuschlag eines Abbiegers aus der Abbiegezeit im unbelasteten Netz und der Auslastung des Abbiegers unter Verwendung einer CR-Funktion. Beim Verfahren „Knoten-CR-Funktion“ wird zudem die Auslastung des gesamten Knotens unter Verwendung einer CR-Funktion berücksichtigt.

Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Methoden zur Kapazitätsbetrachtung (Kapazitätsbetrachtung auf Ebene des Gesamtknotens oder auf Ebene einzelner Abbieger) wird in der folgenden Abbildung gezeigt.

	Gesamtknotenkapazitäten	Abbiegerkapazitäten
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ erprobtes Verfahren ▪ vor allem an Vorfahrtsknoten ist die Gesamtkapazität entscheidender als die (theoretische) Abbiegerkapazität ▪ implizite Abbildung verkehrsstrom-abhängiger Grünzeitenverteilungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ unter Umständen exaktere Modellierung der abbiegerfeinen Kapazitäten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Berücksichtigung abbiegerfeiner Kapazitäten ▪ Gleichverteilung der auslastungsabhängigen Zeitzuschläge auf alle Abbieger 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pauschale Bestimmung von Abbiegerkapazitäten schwieriger und ungenauer als von Knotenkapazitäten ▪ flächendeckende Attributierung der Knoten mit detaillierten Informationen über Abbiegerstreifen notwendig
Empfehlung	✓	✗

Abbildung 12: Gegenüberstellung der Kapazitätsbetrachtung auf Ebene des Gesamtknotens oder auf Ebene einzelner Abbieger

Umsetzung

Im VNM-MUC wird ein vom Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart entwickeltes Verfahren angewandt. Es trägt den Titel „Modellierung von Abbiegerwiderständen des MIV in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen - Methodik für ausdehnungslos modellierte Knotenpunkte in PTV VISUM“⁵. In diesem Verfahren wird die Modellierung der Abbiegezeiten je nach der Steuerungsart des Über-Knotens unterschiedlich durchgeführt. Für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen wird das Verfahren „Abbieger-CR-Funktion“ und für Kreisverkehre sowie verkehrszeichengeregelte Knoten das Verfahren „Knoten-CR-Funktion“ angewandt. Knoten mit der Regelungsart „rechts vor links“ erhalten feste Abbiegezuschläge.

Die (auslastungsabhängigen) Zeitzuschläge für die Abbieger werden im Modell grundsätzlich wie folgt ermittelt:

- ▶ LSA-Knoten: $t_{Akt_{Abbieger}} = t_0_{Abbieger} + t_{Akt_{Abbieger}}$
- ▶ Kreisverkehre und verkehrszeichengeregelte Knoten: $t_{Akt_{Abbieger}} = t_0_{Abbieger} + t_{Akt_{Abbieger}} + t_{Akt_{Knoten}}$
- ▶ „rechts vor links“-Knoten: $t_{Akt_{Abbieger}} = t_0_{Abbieger}$

Die Berechnung der Abbiegezeit bei freiem Verkehrsfluss t_0 und der Kapazität der Knoten und der Abbieger erfolgt differenziert nach den vier Regelungsarten auf der Grundlage des HBS. Die Berechnung erfolgt im Verfahrensablauf im Block „Setzung der Knoten- und Abbiegerkapazitäten“.

Der auslastungsabhängige Zeitzuschlag (t_{Akt}) für den Knoten und für die Abbieger wird durch eine CR-Funktion bestimmt. Im VNM-MUC werden dazu fünf verschiedene benutzerdefinierte CR-Funktionen angewandt. Sie wurden von der Uni Stuttgart für das angewandte Verfahren entwickelt. Es ist von höchster Bedeutung, dass in den allgemeinen Verfahrenseinstellungen für Knoten und Abbieger die korrekten benutzerdefinierten CR-Funktionen eingestellt sind. Die korrekten CR-Funktionen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

⁵ Universität Stuttgart Institut für Straßen- und Verkehrswesen Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (2017): Modellierung von Abbiegerwiderständen des MIV in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen Methodik für ausdehnungslos modellierte Knotenpunkte in PTV Visum

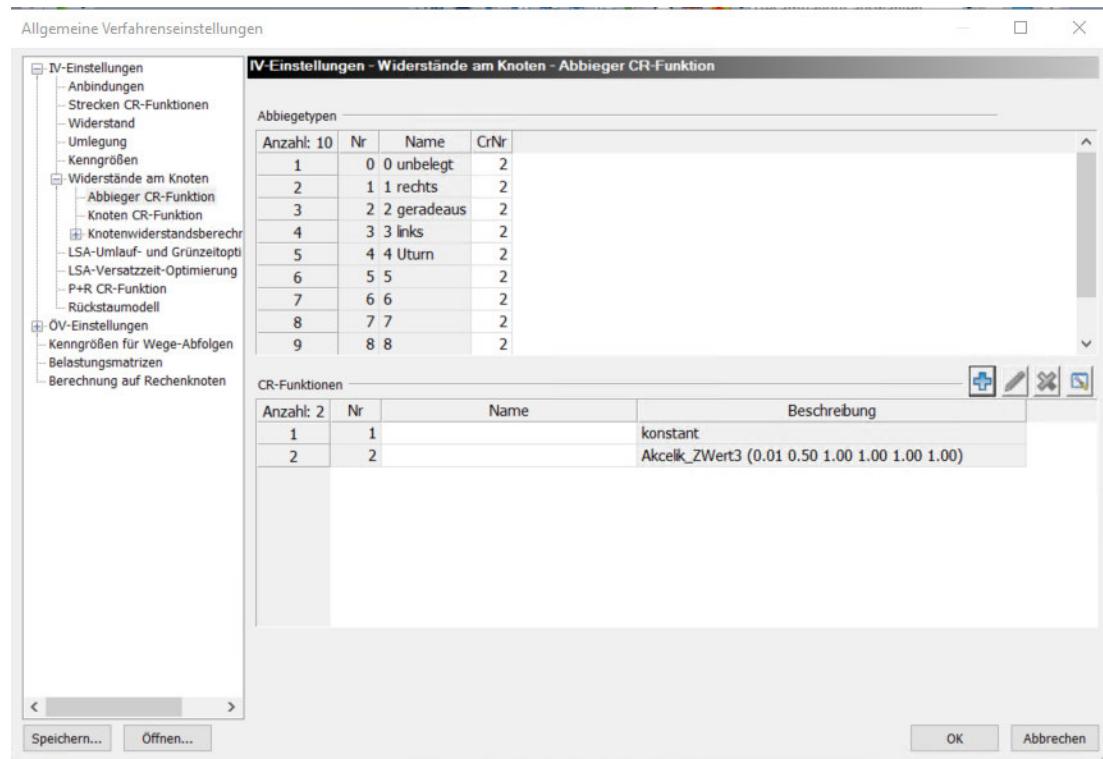


Abbildung 13: CR-Funktionen für Abbieger

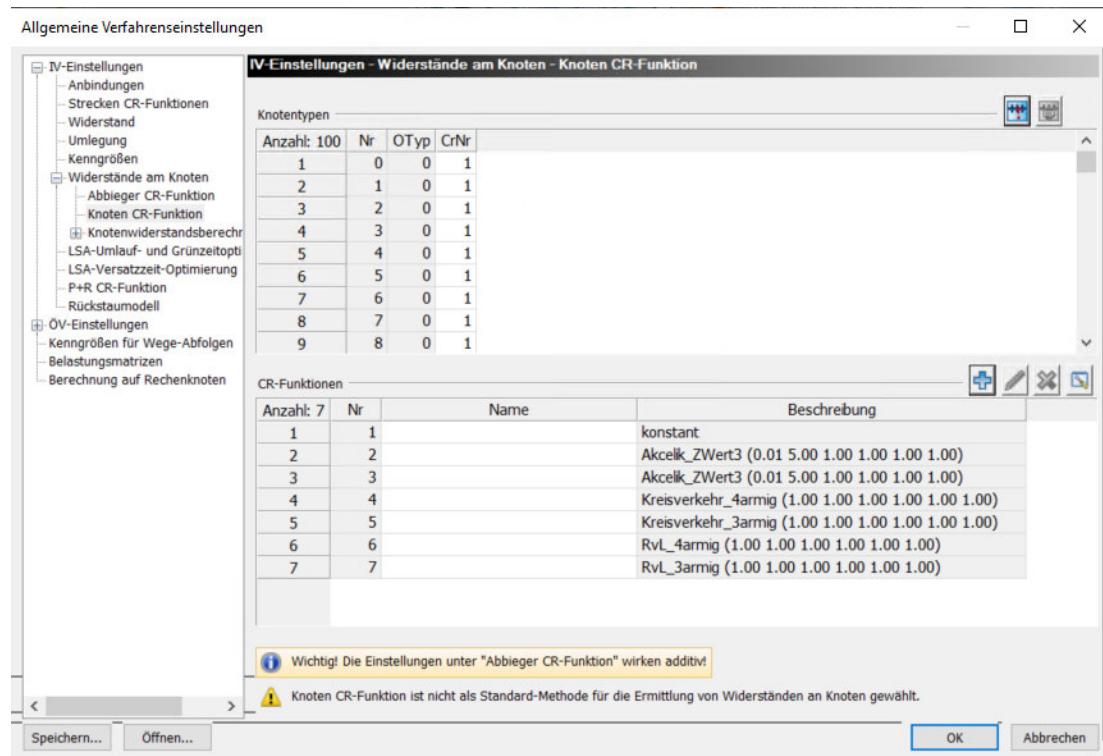


Abbildung 14: CR-Funktionen Knoten

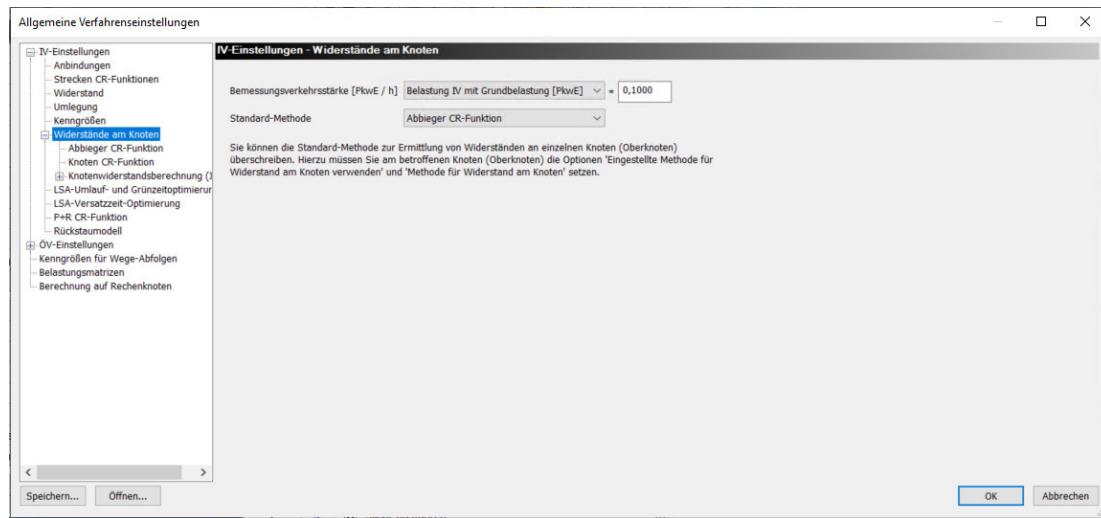


Abbildung 15: Umrechnung der Knoten- und Abbiegerwiderständen in Stundenwert

Das Fehlen der korrekten CR-Funktionen stellt eine Fehlerquelle dar. Daher wurde am Anfang des Verfahrensablaufs der Block „Initialisierung“ per Skript eingefügt. Falls die Akcelik_Zwert3 DLL auf dem Rechner und/oder im Modell nicht korrekt eingestellt ist, werden die weiteren Verfahrensschritte ausgeschaltet und eine Fehlermeldung ausgegeben.

Ausführliche Informationen zu dem angewandten Verfahren sind in dessen Dokumentation zu finden.

Das Verfahren der Universität Stuttgart wurde auf Wunsch der LH München um zwei Punkte erweitert:

- ▶ Erweiterung der Berechnung der Abbiegezeiten t_0 an LSA-Knotenpunkten um den Progressionsfaktor zur Abbildung der Wirkung grüner Wellen
- ▶ Integration eines die Knotenkapazität reduzierenden Faktors in die Berechnung der Knotenkapazitäten zur Abbildung der kapazitätsreduzierenden Wirkung der Priorisierung des ÖPNV

Die Umsetzung erfolgt über benutzerdefinierte Attribute unabhängig vom Knotentyp. Diese Erweiterungen und die Faktoren sind im Memo „Memo_Knotenwiderstände_Koordinierung_ÖV-Priorisierung“ ausführlich erklärt (siehe Anlage).

Die Berechnung der Knotenkapazität ist im Verfahrensablauf integriert (siehe Abbildung 16). Es kommen dabei nur Verfahrensschritte zum Einsatz. Auf die Verwendung von Filterdateien und Python-Skript-Dateien wurde verzichtet.

Gruppe << IV KENNGRÖSSEN>>	<< IV KENNGRÖSSEN>>
Gruppe Setzung der Knoten- und Abbiegerkapazitäten	89 - 101	Setzung der Knoten- und Abbiegerkapazitäten
Attribut ändern	... Abbieger - ABB_FA	Zuordnen von Abflusszeitanteilen für Abbieger, die keine manuelle Eingabe für den Abflusszeitanteil aufweisen
Attribut ändern	... Knoten - EingestellteMethodeWidAmKnoten	Aktivieren der Verwendung der am einzelnen Knoten eingestellten Methode zur Widerstandsberechnung
Attribut ändern	... Knoten - MethodeWidAmKnoten	Festlegen der Methode zur Berechnung der Knotenwiderstände in Abhängigkeit des Knotentyps (Abbieger)
Attribut ändern	... Strecken - TModelSpezial	Festlegen der Zufahrtsstrecken eines Knotens, deren Abbieger Zeitzuschläge aus der Knoten-CR-Funktion erhalten
Attribut ändern	... Abbieger - ABB_MFS	Benutzereingabe bereinigen: MFS = 0 für U-Turns setzen (LSA und VZ-KP)
Attribut ändern	... Abbieger - ABB_FsxMFS	Berechnen der theoretischen Fahrstreifenanzahl unter Beachtung der Mischfahrtstreifen (LSA und VZ-Knoten)
Attribut ändern	... Abbieger - ABB_fk	Berechnen des Progressionsfaktors der Grundstauwartezzeit für die Integration der Grünen Wellen in die Bemessungszeit
Attribut ändern	... Abbieger - KapIV	Berechnen der Kapazität eines Abbiegers (LSA und VZ-Knoten)
Attribut ändern	... Abbieger - t0IV	Berechnen des auslastungsunabhängigen Zeitzuschlags eines Abbiegers (LSA und VZ-Knoten)
Attribut ändern	... Abbieger - t0IV	Setzen Zeitzuschlags eines Abbiegers (Rechts-vor-Links Knoten)
Attribut ändern	... Knoten - KapIV	Zuordnen der Knotenkapazität nach Fahrstreifenanzahl der Hauptströme (VZ-Knoten)
Attribut ändern	... Knoten - ZWert3	Hinterlegen des Außendurchmessers eines Kreisverkehrs bzw. Knotenkapazität eines VZ-Knotens zur Nutzung im HBS-Berechnungsverfahren
Attribut ändern	... Abbieger - ZWert3	Hinterlegen eines dem HBS-Berechnungsverfahren entsprechenden Werts zur Nutzung in Abbieger-CR-Fi

Abbildung 16: Verfahrensablauf zur Berechnung der Knoten- und Abbiegerwiderstände

Die Grundlage der automatisierten Berechnung der Abbiegezeiten ist die Typisierung der Knoten. Das im VNM-MUC angewandte Typisierungsschema der Knoten ist in Tabelle 10 zusammengefasst.

Ergebnisse

Als Ergebnis der Modellerweiterung liegen folgende Outputs vor:

- ▶ Automatisierte netzweite Vergabe von Abbiege- und Knotenkapazitäten sowie Abbiegerzeiten je nach Knotentyp und -größe
- ▶ Verwendung auslastungsabhängiger Abbiege- und Knotenwiderstände

3.2 Öffentlicher Verkehr

Das Angebotsmodell bildet die räumliche und zeitliche Struktur des öffentlichen Verkehrs im Untersuchungsgebiet ab. Es besteht aus einer Menge von Netzobjekten, die alle relevanten Daten des Verkehrsnetzes, der Linien und Fahrpläne sowie der Verkehrszellen beinhalten. Für die Erstellung des VNM-MUC wird ein Angebotsmodell für den öffentlichen Verkehr neu aufgebaut. Die Analyse beschreibt das Jahr 2019. In den folgenden Abschnitten und Kapiteln werden die wichtigsten Elemente benannt und beschrieben, festgelegte Abstimmungen notiert und die vorgenommene Modellierungscharakteristik beschrieben.

3.2.1 Anforderungen

Kategorie	Anforderungen	Resultierende (Teil-)Spezifikation
Linien und Fahrplandaten inkl. Routing	Einarbeitung aller relevanten Fahrpläne im Untersuchungsgebiet für ÖV-Angebot der MVG, S-Bahn und Regionalzugverkehr im MVV sowie Regionalbusverkehr	Erfassung des Untersuchungsraums mit anschließender Analyse von benötigten Fahrplandaten. Prüfung der verfügbaren Fahrplandaten auf Fahrplanstand und räumlicher Ausprägung.
weitere ÖV-Angebot außerhalb des MVV	Einarbeitung nach Zuarbeit durch die AG	Zu berücksichtigende Spezifik der Angebote (z. B. in tariflicher Hinsicht) werden zur Verfügung gestellt.

Kategorie	Anforderungen	Resultierende (Teil-)Spezifikation
Haltestellen/ Haltestell lenbereiche/ Halte- punkte	Modellierung mastfeiner Haltepunkte für die MVG Einarbeitung aller Haltepunkte in den reduzierten Netzgraphen	korrekte Positionierung der Halte- punkte und Modellierung der Umstei- gezeiten
Anbindungen	Neuerstellung der Anbindungen der Verkehrszellen	Übernahme gegebener Anbindungen und Neuerstellung von Anbindungen für neue Verkehrszellen

Tabelle 15: Anforderungen an die Erstellung des ÖV-Angebots

3.2.2 Allgemeines zum Modellaufbau

Das Angebotsmodell des öffentlichen Verkehrs wird als integrierte Version in PTV VISUM gemeinsam mit den weiteren Verkehrsarten modelliert. Die Liniendaten werden auf den Straßen- netzgraphen modelliert. Im Angebotsmodell ist der öffentliche Verkehr mit den folgenden Elementen vollständig abgebildet:

- ▶ Strecken, auf denen die Linien geroutet sind
- ▶ Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte
- ▶ Linien, Linienrouten inkl. Fahrzeitprofile und Fahrpläne
- ▶ Tarifmodell
- ▶ Umsteigewege

Die Abbildung von P+R ist in Kapitel 6.4 beschrieben.

3.2.3 Input

Die Fahrplandaten werden vom AG übergeben oder aus bestehenden Modellen, insbesondere dem LVM-BY übernommen. Fahrplanstand ist das Jahr 2019. Folgende Quellen werden verwendet:

Datensatz	Beschreibung	Quelle
MVG	Fahrplandaten aller MVG-Angebote	Fahrplanschnittstelle der MVG
S-Bahn und Regionalzug- verkehr im MVV	Fahrplandaten aller Schienenverkehrsangebote (S-Bahn und Regionalzugverkehr) im MVV-Gebiet	MVV
Regionalbusverkehr im MVV	Fahrplandaten aller Regionalbuslinien im MVV- Gebiet	MVV

Datensatz	Beschreibung	Quelle
ÖV-Angebote außerhalb MVV	Fahrplandaten in den Landkreisen des Umlandes außerhalb des MVV-Gebietes	LVM-BY
ÖV-Fernverkehre	Fahrplandaten des Schienenpersonenfernverkehrs	DELF1 e. V.

Tabelle 16: Inputdaten zur Erstellung des ÖV-Angebotsmodells

3.2.4 Verkehrssysteme

In Anlehnung an das bestehende VNM-MUC werden folgende Verkehrssysteme verwendet:

Verkehrssystem	Abkürzung im Verkehrsmodell
Bus (MVG)	B
SPNV	SPNV
Schienenpersonenfernverkehr	SPFV
Metrobus	M
Nachtbuslinie	NB
Nachtramlinie	NT
Regionalbus ⁶	R
Regionalbus (weitere Linien/nicht MVV)	RW
S-Bahn	S
Schiff	SF
Tram	T
U-Bahn	U
Expressbus	X
AST ⁷	Z

Tabelle 17: ÖV-Verkehrssysteme

⁶ MVV-Linien

⁷ (flexible Bedienformen)

3.2.5 ÖV-Streckentypen

Im VNM-MUC werden Streckentypisierung im ÖV vorgenommen. Auf den Streckentypnummern 900 - 1000 werden folgende Typen definiert:

Nummer Streckentyp	Name
900	ÖV unklar
901	ÖV Eisenbahn Schnellfahrstrecke
902	ÖV Eisenbahn Hauptbahn
903	ÖV Eisenbahn Nebenbahn
904	ÖV Eisenbahn Güterstrecke
905	ÖV Eisenbahn sonstige Strecke
909	ÖV Eisenbahn Beta
910	ÖV Eisenbahn gemischt
911	ÖV S-Bahn-Strecke oberirdisch
912	ÖV S-Bahn-Strecke unterirdisch
921	ÖV U-Bahnstrecke oberirdisch
922	ÖV U-Bahnstrecke unterirdisch
926	ÖV U-Bahnstrecke Planung
931	ÖV Tramstrecke, eigener Gleiskörper
936	ÖV Tramstrecke Planung
941	ÖV Busstrecken, gesondert
981	ÖV betriebliche Strecke
991	ÖV-Fußstrecke

Tabelle 18: ÖV-Streckentypen

3.2.6 Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte

Eine Haltestelle umfasst drei Netzobjekte, die eine zusammengehörende Einheit bilden:

- ▶ Haltepunkt
- ▶ Haltestellenbereich
- ▶ Haltestelle

Die Linien des öffentlichen Verkehrs halten an Haltepunkten. Die Haltepunkte liegen auf Knoten und an Strecken.

Jeder Haltepunkt ist einem Haltestellenbereich zugeordnet. Ein Haltestellenbereich kann mehrere Haltepunkte umfassen. Ein Haltestellenbereich ist wiederum einer Haltestelle zugeordnet. Einer Haltestelle können mehrere Haltestellenbereiche zugeordnet sein.

Die Haltestelle als übergeordnetes Objekt fasst Haltestellenbereich(e) und Haltepunkt(e) zusammen. Sie ist keinem Knoten und keiner Strecke zugeordnet und hat, wie auch der Haltestellenbereich, nur einen indirekten Netzzusammenhang zu den ÖV-Linien. Über die Haltestelle werden Einstellungen vorgenommen, die das Umsteigen zwischen den Haltestellenbereichen dieser Haltestelle beschreiben.

Die Haltepunkte der MVG werden differenziert nach den Haltestellenmasten streckenbasiert modelliert. Damit wird der Fahrplanimport aus dem Fahrplansystem der MVG sichergestellt. Um auch ein Einlesen der Fahrplandaten im weiteren MVV sowie für den SPNV zu ermöglichen, findet ein Wechsel der Modellierungsphilosophie statt. Die haltemastfeine, streckenbasierte Modellierung wird in den weiteren Planungsraum fortgesetzt. Die dafür notwendigen Netzelemente aus Haltepunkten, Haltestellenbereichen und Haltestellen werden aus den Fahrplandaten übernommen. Außerhalb des Planungsgebietes werden die Inhalte des LVM-BY übernommen. Hier ist eine knotenbasierte Modellierung der Haltpunkte vorgesehen.

Abgewichen von der vollständigen Übernahme der Haltestellen wird im Kontext der Umsteigermodellierung. Hier werden geeignete und fußläufig erreichbare Haltestellenbereiche in eine ausgewählte Haltestelle aggregiert.

Alle Haltepunkte, Haltestellenbereiche und Haltestellen sind mit ihren Koordinaten im Angebotsmodell hinterlegt und in den Netzgraph integriert. Über das Routing der Linienwege werden die Entfernungen für die Wege zwischen den Halten der Fahrten richtig berechnet. Das gilt für alle Linien im Planungsraum. Die Linienrouten in den Landkreisen des Umlandes werden in Abhängigkeit des Vorhandenseins eines Netzgraphen auf den realen Streckenverlauf geroutet. Dies hat zur Folge, dass längenabhängige Berechnungen, wie z. B. der Personenkilometer, unter Umständen nicht die korrekten Kennzahlen wiedergeben. Erfahrungen zeigen, dass bei Busverkehren der Umwegfaktor etwa 1,15 beträgt. Hierzu wurden Auswertungen im Rahmen der Erstellung des Landesverkehrsmodells Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

Die Nummerierung der Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte wird neu organisiert, um klare Abgrenzungen zwischen den Modellbereichen zu schaffen. Dabei wird sich an den Nummernsystemen der Ursprungsdaten (siehe Kapitel 3.2.3) orientiert. Die Einteilung der Nummernbereiche der Netzelemente zu den Modellbereichen ist in Tabelle 19 dargestellt.

Modellbereich	Nummernbereich für Haltepunkte, -bereiche und -stellen	Berechnungsvorschrift für Rückführung zu Originalnummern
MVG	1.000.000.001 bis 1.099.999.999	x - 1.000.000.000
MVV	1.100.000.001 bis 1.199.999.999	x - 1.100.000.000
LVM-BY	1.200.000.001 bis 1.299.999.999	x - 1.200.000.000
SPV	1.300.000.001 bis 1.399.999.999	x - 1.300.000.000

Tabelle 19: Nummernbereiche für die verschiedenen Modellbereiche im ÖV

Bei Haltestellen, die keinem Modellbereich direkt zugeordnet werden können, wird vom Nummerierungskonzept abweichend die Ursprungsnummer verwendet.

Darüber hinaus können die Haltepunkte, -bereiche und -stellen über das bdA „DATENHER-KUNFT“ angesprochen werden. Neben den Nummernbereichen findet hier eine weitere Möglichkeit der Filterung nach den Modellbereichen statt.

Für die Berechnung des Fahrpreises war es notwendig, auf einigen Streckenästen Zusatzhaltestellen „Zählzonen“ einzufügen. Diese Haltestellen haben keine Anbindung und haben verkehrlich keine Funktion. Diese Zusatzhaltestellen lassen sich durch ihren Code „Zählzone“ identifizieren. Das Vorgehen zur Tarifmodellierung ist im Abschnitt 3.2.12 beschrieben.

Die benutzerdefinierten Attribute „Lage_in_Landkreis“ und „Lage_in_Stadtbezirk_München“ kennzeichnen die Lage im Raum.

Das Einlesen der Fahrplandaten erfolgt mit dem bdA „ORG_ORT_NR“. Die darin enthaltenen Nummern sind mit jenen identisch, welche auch in den Fahrplansystemen des MVV gepflegt werden.

3.2.7 Umsteigewege

Umsteigewege beschreiben den zeitlichen Aufwand, der für das Umsteigen (Wechsel der Linie während eines ÖV-Weges) notwendig ist.

Die Umsteigewege an allen Haltestellen werden mithilfe eines Berechnungsansatzes differenziert abgeschätzt. Anhand der Definition unterschiedlicher Falltypen soll aufgezeigt werden, an welchen sich ein standardisierter Ansatz orientieren soll und wie daraus eine Berechnungsvorschrift abgeleitet werden kann.

Anforderungen an die Haltestellenübergangsgehzeiten

Mit den Übergangsgehzeiten sind bestimmte Anforderungen verknüpft, die nachfolgend aufgelistet sind:

- ▶ der Umstieg stellt einen zeitlichen Aufwand dar
- ▶ der Umstieg stellt einen physischen Aufwand dar (Treppen, Rolltreppen, Laufwege usw.)
- ▶ physische Aufwände sollen als Zeitkosten abgebildet werden
- ▶ in PTV VISUM soll das Datenmodell aus Haltestelle, Haltestellenbereich und Haltepunkt genutzt werden
- ▶ die Übergangsgehzeit soll durch eine ortskundige Person mit Pflichtaktivität (z. B. Arbeiten) repräsentiert werden

Typen von Umsteigepunkten

Wesentlich für eine Abschätzung der Übergangsgehzeiten ist die Ermittlung bestimmter Haltestellenarten, aus denen dann ein Vorgehen über die Bestimmung einer standardisierten und differenzierten Berechnungsformel abgeleitet werden kann. Aus dem Modell können drei Grundtypen herausgearbeitet werden.

 Karlsplatz (Stachus)	Komplexe innerstädtische Haltestelle Haltestellenbereiche verschiedener Verkehrssysteme werden miteinander verknüpft. Zugangsbarrieren zu diesen sind Treppe, Rolltreppen, Aufzüge, signierte Fußgängerüberwege, Laufwege mit Umwegen
 Freising	Komplexe SPNV-Haltestelle bzw. ZOB-ähnliche Haltestelle Bushaltestellen mit mehreren Bussteigen, die räumlich nah beieinanderliegen. Die Umsteigewege sind umsteigefreundlich organisiert. Gegebenenfalls ergänzen SPNV-Haltestellenbereiche den Umsteigepunkt, dessen Zugang über Treppen, Rolltreppen und Aufzüge sichergestellt wird.
 Grucking	Einfache richtungsgtrennte Haltestelle Richtungsgtrennte Haltestellenbereiche liegen sich gegenüber oder zumindest nah beieinander. Zur Erreichung dieser werden Straßen auf direktem Weg gequert.

Tabelle 20: Grundtypen von Umsteigepunkten

Ermittlung der Übergangsgehzeiten

Grundlage für die Ermittlung der Umsteigegehzeiten sollen die Luftlinienentfernungen zwischen den Haltestellenbereichen s_L sein. Diese liegen mit der Verknüpfung der Haltestellenbereiche über Haltestellen in PTV VISUM vor. Darüber hinaus soll eine Gehgeschwindigkeit von

$$v_{Geh} = 4 \frac{km}{h} = 1,111 \frac{m}{s}$$

angenommen werden. Des Weiteren sollen die zu überwindenden Hindernisse wie Treppen und Straßenquerungen adäquat abgebildet werden. Um den verschiedenen Zugangshürden der Verkehrssysteme gerecht zu werden, soll nach ebenerdigen und nicht ebenerdigen Hindernissen unterschieden werden:

- ▶ nicht-ebenerdige Umsteigewege werden mit einem pauschalen Umwegefaktor von $f_{U,niveaufrei} = 1,3$ abgebildet. Hierfür werden alle Haltestellebereiche der U-Bahn und des SPNV prinzipiell nicht niveaufrei attributiert.
- ▶ ebenerdige Umsteigewege werden mit einem Umwegefaktor in Abhängigkeit der Luftlinienlänge $f_{U,niveaugleich}(s_L)$ abgebildet. Somit wird dargestellt, dass bei längeren Wegen auch mehr Hindernisse (z. B. Häuser) zu umgehen sind. Es wird folgende Abhängigkeit zu grunde gelegt:

$$f_{U,niveaugleich}(s_L) = 0,0029 * s_L + 1$$

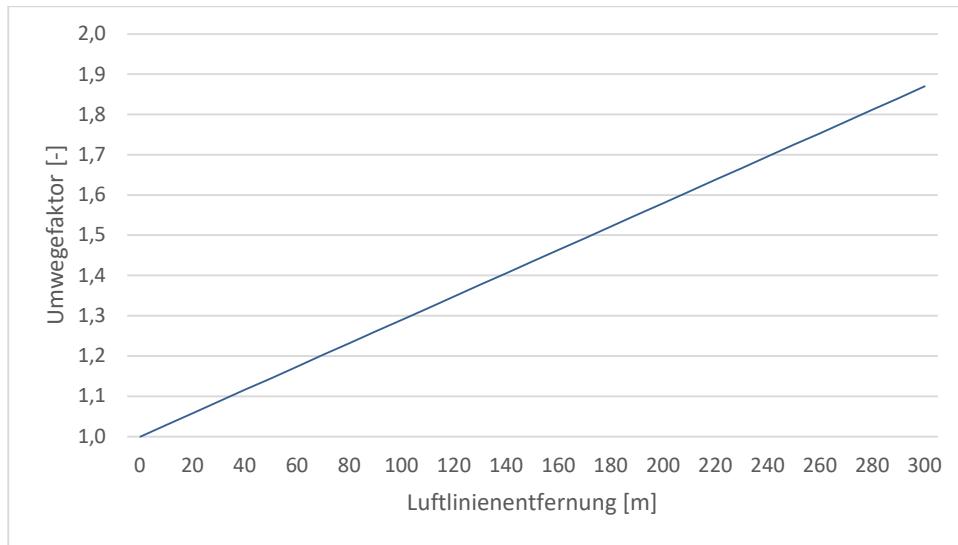


Abbildung 17: Ermittlung des Umwegefaktors f_U in Abhängigkeit der Luftlinienentfernung

Letztlich ermittelt sich die Übergangsgehzeit aus

$$t_{Geh} = \frac{s_L * f_U}{v_{Geh}}$$

Um Unschärpen auszugleichen, werden die Übergangsgehzeiten auf volle 30s gerundet. Weiter soll eine Mindestübergangsgehzeit von 30s festgelegt werden. Übergangsgehzeiten innerhalb

von Haltestellenbereichen werden auf 0 festgesetzt. Somit ergibt sich folgender Entscheidungsbaum:

Befinden wir uns innerhalb des Haltestellebereichs?	
Ja	Nein
Gibt es einen Niveauunterschied?	
Ja	Nein
$t_{Geh} = \frac{s_L * 1,3}{v_{Geh}}$	$t_{Geh} = \frac{s_L * (0,0029 * s_L + 1)}{v_{Geh}}$
Ist $t_{Geh} < 30s$?	
Ja	Nein
$t_{Geh} = 30s$	$t_{Geh} = t_{Geh}$

Abbildung 18: Entscheidungsbaum bei der Ermittlung der Umsteigegezeit

Bei der Kalibrierung des Verkehrsmodells kann von dem dargestellten Entscheidungsweg abgewichen werden.

3.2.8 Linien, Linienrouten, Fahrzeitprofile und Fahrpläne

Zum Linienmodell gehören die Netzobjekte Linie, Linienroute, Fahrzeitprofil, Fahrplanfahrten und Fahrplanfahrtabschnitte. Eine Linie besteht aus einer oder mehreren Linienvarianten (Linienrouten). Diese räumlichen Ausprägungen werden um den Aspekt der Zeit durch Fahrzeitprofile ergänzt. Fahrzeitprofile ordnen jedem Abschnitt bzw. Element einer Linienroute eine Fahrzeit vom Haltepunkt zum nächsten Haltepunkt sowie einer eventuellen Haltezeit zu.

Die Linienrouten und Fahrzeitprofile werden weitestgehend aggregiert. Die Bedingungen für das Aggregieren werden so gesetzt, dass die Eigenschaften der Fahrten erhalten bleiben. Damit werden Fahrzeiten zwischen Haltestellen, Wartezeiten an Haltestellen und die Ein- bzw. Aussteigezulässigkeiten nicht verändert.

Die Linien werden den Verkehrssystemen zugeordnet (siehe Kapitel 3.2.4). Weiteres Merkmal der Linien ist die Zuordnung der Betreiber. Diese Zuordnung wird aus den Quelldaten übernommen.

Stichtage der importierten Fahrpläne

Die durch die MVG zur Verfügung gestellt Fahrplandaten sind bereits für einen Stichtag aufbereitet. Die Fahrplandaten des MVV für den SPNV und den Regionalbusverkehr liegen als Fahrplanperiode vor. In Abstimmung mit dem AG fand hier die Wahl eines geeigneten Stichtages

statt, welcher dem Kriterium eines baustellenfreien, mittleren Werktages in der Schulzeit entspricht. Für die umliegenden Landkreise werden die Daten des LVM-BY verwendet. Fahrplandaten ist hier das Jahr 2019. Tabelle 21 zeigt eine Übersicht der gewählten Stichtage auf.

Fahrplandaten	Verkehrssystem	Stichtag
MVG	Bus und Tram	11.02.2019
	U-Bahn	10.12.2018
MVV	SPNV	10.12.2019
	Regionalbusverkehr	10.12.2019
LVM-BY	übrige	mittlerer Werktag in 2019
SPFV	SPFV	mittlerer Werktag in 2021

Tabelle 21: Stichtage der Fahrplandaten

Import der Fahrplandaten

Die zur Verfügung gestellten Fahrplandaten werden für einen durchschnittlichen Schulwerktag präpariert (zeitliches Schneiden) und, falls nötig, auf das Untersuchungsgebiet angepasst (räumliches Schneiden).

Importvorgang der MVG-Fahrplandaten

Das Angebot der MVG lag bereits als geroutetes und zeitlich geschnittenes Angebot vor. Da sich die Netzgraphen des MVG-Modells und dem aktuellen VNM-MUC nur geringfügig unterschieden, konnte unter Verwendung geeigneter Importparameter das ÖV-Angebot im VNM-MUC reproduziert werden.

Um den Importprozess zu vereinfachen, wurde das Angebotsmodell in weitere Teilnetze unterteilt. So wurden letztlich ein Bus-Tram-Netz und ein U-Bahn-Netz getrennt voneinander importiert.

Importvorgang der MVV-Fahrplandaten

Das Angebot des MVV liegt als ungeroutetes Netz vor. Für die Weiterverarbeitung werden alle Fahrten herangezogen, welche am Stichtag stattfinden. Dabei sind die Haltepunkte im Angebotsnetz mehrheitlich als Haltemasten und damit sehr detailliert abgebildet. Die Eigenschaft wird genutzt, um die Modellierungsphilosophien vom Einzugsbereich der MVG auf den übrigen Verbundbereich des MVV zu erweitern. So werden die Haltepunkte des MVV zukünftig streckenbasiert und richtungsgrenzenlos dargestellt.

Um diese Modellierung umzusetzen, wurden in einem ersten Schritt alle Haltepunkte des MVV auf einen möglichen, bereits vorhandenen Stellvertreter untersucht. Hierbei wurde zum einen auf eine ähnliche Lage geprüft, zum anderen wurden die bestehenden Haltepunktnummern auf das Enthalten der Haltepunkts-ID „ORG_ORT_NR“ geprüft. Allen übrigen Haltepunkten wurden im weiteren Verlauf eine Strecke sowie ein Von-Knoten zugeordnet. Insofern die Bedienung lediglich in eine Richtung erfolgt, sind die Haltepunkte gerichtet modelliert. Sollte der Haltepunkt aus zwei Richtungen bedient werden, findet eine nicht gerichtete Modellierung statt. Dies kann beispielsweise dann auftreten, wenn bereits im Angebotsnetz keine richtungsgetrennten Haltepunkte vorlagen.



Abbildung 19: Strecken- und knotenbasierte Haltepunkte im Datensatz des MVV

Nachdem alle Haltepunkte eingepflegt wurden, erfolgte der Import des Fahrplanangebotes. Über das Attribut „ORG_ORT_NR“ kann jedem Haltepunkt im Angebotsnetz ein eindeutiger Haltepunkt im Zielnetz zugeordnet werden, somit können auch die Linienroutenverläufe im VNM-MUC rekonstruiert werden.

Die Verläufe der Linienrouten wurden geprüft und bei Bedarf an die realen Verläufe angepasst.

Importvorgang der Fahrplandaten des LVM-BY

Die Fahrplandaten des LVM-BY werden in einem ersten Schritt räumlich geschnitten. Hierbei ist darauf zu achten, dass nur jene Linien importiert werden, die

- die Modellbereiche ohne ÖV-Angebot füllen und
- die sich im Verflechtungsbereich zwischen Umland und Planungsgebiet befinden.

Zeitlich sind die Fahrplandaten bereits geschnitten.

Für den Import werden die Haltepunkte, -bereiche und -stellen des LVM-BY in den Umlandbereichen übernommen. In den Bereichen des MVV sind die Haltepunkte bereits modelliert. Allerdings findet hier ein Wechsel der Modellierungsphilosophien statt, sodass hier ein schrittweiser Import stattgefunden hat.

Während im Umland eine 1:1-Zuordnung der Haltepunkte möglich ist, ist das Verhältnis der Haltepunktzuordnungen aufgrund der streckenbasierten Modellierung im MVV-Bereich 1:n.

Daher werden im ersten Schritt alle Linien in das VNM-MUC importiert, deren Haltepunkte 1:1 zuordenbar sind. Im zweiten Schritt werden die übrigen Linien nach Richtungen sortiert und getrennt importiert. Dadurch ist wieder eine 1:1-Zuordnung möglich. Am Ende des Importprozesses werden die Linien wieder nach ihren ursprünglichen Bezeichnungen aggregiert.

Eigenschaften der importierten Fahrpläne

Um den Import und das Zusammenführen der Fahrpläne in den Netzgraphen zu erleichtern, findet eine weitere Differenzierung der Importdatensätze statt. Um auf Vollständigkeit der importierten Daten zu prüfen, findet ein Vergleich der vorhandenen und in das VNM-MUC importierten Fahrplandaten sowie der Anzahl der bedienten Haltestellen statt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die Fahrzeiten der Fahrzeitprofile sich vor und nach dem Import unterscheiden.

Eine Ansprache der verschiedenen Linien und ihren untergeordneten Elementen ist über ein Präfix am Namen oder über das bdA „DATENHERKUNFT“ möglich.

Datensatz	Teildatensatz	Linien	Anzahl Fahrplanfahrten
MVG	komplett	113	17.877
MVV	StrPNV	273	13.707
LVM-BY	StrPNV	606	15.188
	S-Bahn	8	1.208
DELFI	SPNV	64	2.244
	SPFV	24	222
Summe		1.088	50.446

Tabelle 22: Mengeneigenschaften der importierten Fahrplandaten

Modellierung von Anrufsystemen

AST-Linien haben eine Menge vorgegebene Haltestellen, die nur nach Bedarf angefahren werden. Um die räumliche Erreichbarkeit abzubilden, wurden alle Haltestellen zur Linienroute hinzugefügt und alle Bezirke angebunden. Damit entstehen umwegige Linienrouten.

Bei einer realen Fahrt ist der Linienweg kürzer. Um die attraktive Fahrzeit in der Kenngrößenmatrix eines Nachfragemodells darzustellen, werden die Modell-Fahrzeiten zwischen den Halten so weit verkürzt, dass pro Relation die typische Fahrzeit einer Regionalbusverbindung entsteht.

Als Leitfaden gilt, dass von vier Halten nur ein Halt angefahren wird. Die mittlere Liniengeschwindigkeit im Modell wird durch Kürzen der Fahrzeiten zwischen Halten in den Wertebereich von 80 bis 120 km/h gehoben (Faktor 3 bis 4 der Geschwindigkeit).

3.2.9 Fahrzeuge und Kapazitäten

Kapazitätsabhängige Umlegungen sind für die Berechnung der Spitzentunde(n) relevant. Um kapazitätsabhängige Umlegungen zu rechnen, werden die Fahrplanfahrtabschnitte mit Fahrzeugen versehen. Dazu werden Fahrzeugeinheiten definiert, die zu Fahrzeugkombinationen zusammengeführt werden. Im Verkehrsmodell entsprechen sich Fahrzeugkombinationen -einheiten.

In Tabelle 23 sind die aktuellen Fahrzeugkombinationen sowie ihrer Kapazitäten dargestellt.

Nr.	Code	Name	Sitzplätze	Gesamtplätze
1	ICE	ICE	600	600
2	S-Zug	Standardzug	200	400
5	S-K	S-Bahn (kurz)	166	612
6	S-V	S-Bahn (voll)	332	1.224
7	S-I	S-Bahn (lang)	498	1.836
10	RTL	Trambahn	67	218
11	BN1	Normalbus	53	73
12	BG1	Gelenkbus	53	108
20	Taxi	Taxi	4	4
21	Kleinb	Kleinbus 8 Sitzplätze	8	8
22	Klb	Kleinbus 13 Sitzplätze	13	13
30	SF	Schiff	50	100
100	P4	Vollzug	196	580
101	P6	Langzug	294	870
102	C6	C-Ganzzug	252	912
110	R2	R2-Zug	58	157
111	R3	R3-Zug	67	218
112	T1	T-Zug	69	221
113	S	S-Zug	75	221
114	T2	T2-Zug	29	101
115	T4	TZ4	65	215
116	PP2	P-Zug	82	227
120	KK	Kleinbus	13	19
121	BN	Bus Normal	37	70
122	BG	Gelenkbus	51	106
123	BZ	Buszug	61	133

Tabelle 23: Kapazitäten der ÖV-Fahrzeuge (Herstellerangabe)

Die Fahrzeugdaten werden für alle Linien direkt für die Fahrplanfahrtabschnitte definiert. Die in der auslastungsabhängigen Umlegung benutzte Kapazität soll widerspiegeln, ab wann sich Fahrgäste unwohl fühlen, sodass sie eine andere Verbindung bevorzugen. Dazu werden die Kapazitäten der obigen Liste (Tabelle 23) mit folgenden Faktoren multipliziert und so die Kapazität reduziert:

- ▶ U-Bahn: 0,9
- ▶ Taxi, Schiff: 1,0
- ▶ Alle übrigen Fahrzeuge: 0,8

In die kapazitätsabhängige Umlegung sollen die reduzierten Kapazitäten eingehen. Für die Berechnung werden die Herstellerangaben (Tabelle 23) in benutzerdefinierte Attribute kopiert (GesamtPl_Hersteller, SitzPl_Hersteller). Das Standardattribut „Sitzplätze“ bzw „Gesamtplätze“ erhält die reduzierte Kapazität. Die Berechnung wird mit Hilfe von Verfahrensschritten ausgelöst (Verfahrensblock „belastungsabhängige ÖV-Umlegung“).

3.2.10 Anbindungen

Dieses Kapitel beschreibt die ÖV-Anbindungen. Die IV-Anbindungen sind im Abschnitt 3.1.3 beschrieben.

Allgemeines

Der öffentliche Verkehr wird im Angebotsmodell mit den Netzobjekten Haltestelle, Haltestellenbereich und Haltepunkt sowie Linie, Linienweg und Fahrplan vollständig abgebildet. Die Anbindungen stellen die Verbindungen der Fahrgastnachfrage der Verkehrszellen aus dem Nachfragermodell zum Netzmodell her.

Im Angebotsmodell liegen die Haltepunkte auf Knotenpunkten und Strecken. Jeder Haltepunkt ist einem Haltestellenbereich zugeordnet; jeder Haltestellenbereich gehört wiederum zu einer Haltestelle. Den Haltestellenbereichen ist ein Zugangsknoten zugewiesen.

Die Anbindung des öffentlichen Verkehrs erfolgt von den Verkehrszellen über die Haltestellenbereiche jeweils zum zugeordneten Zugangsknoten. Eine Anbindung hat zwei Richtungen:

- ▶ Quellanbindung von der Verkehrszelle zum Knoten
Sie stellt den Zugangsweg zum Netz dar.
- ▶ Zielanbindung vom Knoten zu der Verkehrszelle
Sie stellt den Abgangsweg vom Netz dar.

Beim öffentlichen Verkehr beginnt und endet ein Weg immer mit einem per ÖV-Fuß-Verkehrssystem zurückgelegten Weg auf der Anbindung. Innerhalb der Haltestelle verläuft der Weg weiter zum Starthaltepunkt der ÖV-Fahrt.

Prinzip der ÖV-Anbindung

Die Anbindung des öffentlichen Verkehrs wird entsprechend des folgenden Prinzips vorgenommen:

1. aus der Richtung der Verkehrszellen zum Angebotsmodell gilt
 - Jede Verkehrszelle wird im Wesentlichen an alle in Frage kommenden Linien angebunden, die diese Verkehrszelle berühren.
 - Wenn zwei Haltestellen einer Linie in der Verkehrszelle zur Verfügung stehen, dann werden in der Regel die repräsentativen Haltestellen ausgewählt. Die konkrete Auswahl orientiert sich an der Lage der Haltestellen (z. B. an Siedlungsschwerpunkte) und an der jeweiligen Bediensituation.
2. aus der Richtung des Angebotsmodells zu den Verkehrszellen gilt
 - Jede U- und Tram-Haltestelle wird an alle Verkehrszellen angebunden, die in den räumlichen Einzugsbereichen liegen bzw. diese berühren. Die Entferungen orientieren sich am Nahverkehrsplan.
 - Jede Haltestelle des SPNV wird an alle Verkehrszellen angebunden, die in einem Einzugsradius von 1.000 Metern liegen bzw. diesen Radius berühren.

Aus diesem Prinzip folgt, dass nicht alle Haltestellen angebunden werden. Eine Vielzahl an Haltestellen insbesondere des Regionalbusverkehrs werden keine Anbindung erhalten. Damit wird - modellhaft gesprochen - an diesen Haltestellen nicht ein- bzw. ausgestiegen. Ein Umsteigen zwischen den Linien ist möglich.

In der Stadt München sind die Verkehrszellen deutlich kleiner als im Umland. Hier wird deshalb eine vergleichsweise hohe Anbindungsichte modelliert, da auch über die Grenzen der Verkehrszellen Anbindungen erforderlich sein werden.

Für die ÖV-Anbindezeit wird die mittlere Zeit zwischen dem Haltestellenbereich und der bebauten Fläche angesetzt. Dabei gilt ein Minimalwert von zwei Minuten und ein Maximalwert von 25 Minuten. Es werden ganzzahlige Werte gesetzt. Die Anbindungsänge wird analog zum IV auf auf 200 m gesetzt.

Im Zuge der Kalibrierung kann von der voreingestellten Anbindezeit abgewichen werden, das Vorgehen ist in Absatz 10.1 beschrieben.

3.2.11 ÖV-Ganglinien

Um die unterschiedliche Stärke der Nachfrage im Verlauf des Tages adäquat nachzubilden, werden in PTV VISUM Nachfrageganglinien hinterlegt. Eine Ganglinie ist ein Datensatz aus 24 Einzelwerten (je Tagesstunde ein Wert). Ganglinien in PTV VISUM bilden den Verlauf entweder eines Aktivitätenpaars (z. B. Wohnung-Einkauf) oder eines Aggregates⁸ ab. Ganglinien sind in der ÖV-Umlegung wichtig, weil nur mit dieser tageszeitlich detaillierten Darstellung die Lastrichtungen der Nachfrage und Auslastungen der Fahrzeuge richtig dargestellt werden können.

⁸ Aggregat: Hier ist die Zusammenfassung von mehreren oder allen Aktivitätenpaaren gemeint.

Nach Abschluss dieses Arbeitsschrittes liegt die ÖV-Nachfrage in Form einer Ganglinie von Stundenmatrizen (kurz: Matrixganglinie⁹) vor. Jede einzelne Stundenmatrix enthält eine individuelle Mischung von Aktivitätenpaaren (Beispiel: In der Matrix für die Stunde 7:00 Uhr bis 8:00 Uhr ist der Anteil von Wegen von der Wohnung zur Schule und zur Arbeit besonders hoch und der Rückrichtung besonders niedrig).

Datenquelle

Die Ganglinien wurden aus MiD abgeleitet. Eine Ausnahme bildet das Tourismusmodell. Hier wurde die Ganglinie aus dem bestehenden Tourismusmodell übernommen. Die Ganglinien für die Kombination „Aktivitätenpaar x Raumtyp“ (=Set 1) oder „Alle Aktivitätenpaare x Raumtyp“ (=Set 2) sind in PTV VISUM importiert¹⁰.

Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung zur Berechnung der Matrixganglinie ist abhängig von der Art der Nachfrageberechnung für das betrachtete Nachfragesegment.

Von den insgesamt fünf umlegungsrelevanten Nachfragesegmenten werden zwei Nachfragesegmente (X_PV und X_Tou) mit einem VISEM-Modell berechnet. Hier müssen die Gangliniennummern (Set 1) den Aktivitätenpaaren und den Personengruppen zugeordnet werden. Dabei werden die Raumtypen (Raumtypen siehe 6.1.2) der Personengruppen berücksichtigt, wodurch raumtypabhängige Nachfrageverläufe entstehen. Im Verfahrensschritt VISEM kombinierte Verkehrsverteilung/Moduswahl ist eingestellt, dass ÖV-Stundenmatrizen ausgegeben werden.

Die übrigen drei ÖV-Nachfragesegmente (X_FH, X_Ext und PV_X_PR) beruhen auf Vier-Stufen-Modellen oder sind eine konstante Matrix. Hier werden aggregierte prozentuale Ganglinien benutzt (Set 2), die nach Raumtypen differenziert sind. Die Information über den Raumtyp liegt im Attribut „TR_Bezirkstyp_Ganglinie“ und wird mit einem Verfahrensschritt in das Standard-Bezirkssattribut „TypNr“ gesetzt. Am Ende des Verfahrens werden die drei Tagesmatrizen zu 3x24 Stundenmatrizen konvertiert.

Vor der finalen ÖV-Umlegung werden die Stundenmatrizen aller Nachfragesegmente addiert und die 24 Summen-Stundenmatrizen zu einer Matrixganglinie zusammengefügt. Diese „Alle-Segmente-Matrixganglinie“ wird umgelegt. Der Zeitbedarf der ÖV-Umlegung unterscheidet sich nur unwesentlich von einer Umlegung einer Tagesmatrix mit prozentualen Ganglinien.

Es gibt eine Besonderheit für das Verfahren ÖV-Kenngrößenschreiben. Hierfür wird initial die aggregierte prozentuale raumtypfeine Ganglinie (Nachfrageganglinie Nr. 3) für das Nachfragesegment „X“ gesetzt. Dieser Schritt initialisiert das Verfahren. Es wird sichergestellt, dass bei einem wiederholten Start der gleichen Version identische ÖV-Kenngrößenmatrizen errechnet werden. Die Nachfrageganglinie Nr. 3 gilt auch für die ÖV-Fahrpreismatrizen.

⁹ siehe auch Handbuch zu PTV VISUM

¹⁰ Menü Nachfrage>Nachfragedaten>Ganglinien

3.2.12 Tarifmodellierung

Mit einem vollständig vorliegenden ÖV-Angebotsmodell findet auch die Modellierung der ÖV-Kosten statt. Die Tarifberechnungen werden in einem separaten Modell durchgeführt. Hierbei erfolgt die Kostenmodellierung für vier Personengruppen:

- ▶ Erwachsene ohne Zeitkarte
- ▶ Erwachsene mit Zeitkarte
- ▶ Studenten
- ▶ Schüler

Die Kosten werden für das Jahr 2019 vor der Tarifreform modelliert. Die hierfür benötigte Verkaufsstatistik und Tarifzoneneinteilung wurden vom AG übergeben und ausgewertet bzw. in das Verkehrsmodell übertragen.

Für die zu modellierenden Fahrkartenarten werden die Ringstrukturen des MVV zugrunde gelegt. Somit können die mittleren Fahrpreise in Abhängigkeit der durchfahrenen Tarifringe ermittelt werden. Hierfür werden in einem ersten Schritt alle Haltestellen des MVV mit dem entsprechenden Tarifring versehen. Der MVV hat hierzu Daten zugeliefert.

Innerhalb des MVV berechnet sich der durchschnittliche Fahrpreis je Relation dann aus den nach der Nutzungshäufigkeit gewichteten Preisen der einzelnen Fahrkartenarten mit folgender Formel:

$$P_{ij} = \frac{g_1 \cdot P_{1,ij} + g_2 \cdot P_{2,ij} + \dots g_n \cdot P_{n,ij}}{\sum_n g_n}$$

Außerhalb des MVV wird ein entfernungsabhängiger Tarif umgesetzt. Dieser bildet dann indirekt die Eigenschaften eines Zonentarifs ab, indem mit zunehmender zurückgelegter Entfernung die Preise ansteigen. Hierfür wird ein Kilometerpreis nach den drei Personengruppen (Erwachsene, Studierende, Schüler) differenziert zugrunde gelegt.

Technische Umsetzung

In den nachfolgenden Abschnitten wird die Modellierung der einzelnen Ticketarten erläutert. Die Grundlage hierfür bildet die MVV-Jahresstatistik. Anhand dieser können die meistverwendeten Ticketarten eruiert werden. Diese werden dann im Modell nachgebildet. Dabei werden spezielle Fahrkarten und lokale Preisbesonderheiten nicht weiter betrachtet. Vielmehr soll ein mittlerer Fahrpreis für alle Relationen in Abhängigkeit der Tarifzonierung ermittelt werden.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten müssen mehrere Tarifzonen definiert werden. Zum einen werden 16 Tarifringe umgesetzt, zum anderen sind vier Tarifzonen definiert. Zwar setzen sich die Tarifzonen aus jeweils vier Tarifringen zusammen, allerdings beziehen sich diese auf unterschiedliche Fahrkartenarten. So existieren beide Tarifeinheiten parallel; sie werden jedoch verschiedenen Typen zugeordnet:

- ▶ Typ 0: Tarifringe (16 Stück, Nummer 1...16)
- ▶ Typ 1: Tarifzonen (4 Stück, Nummer 101...104)

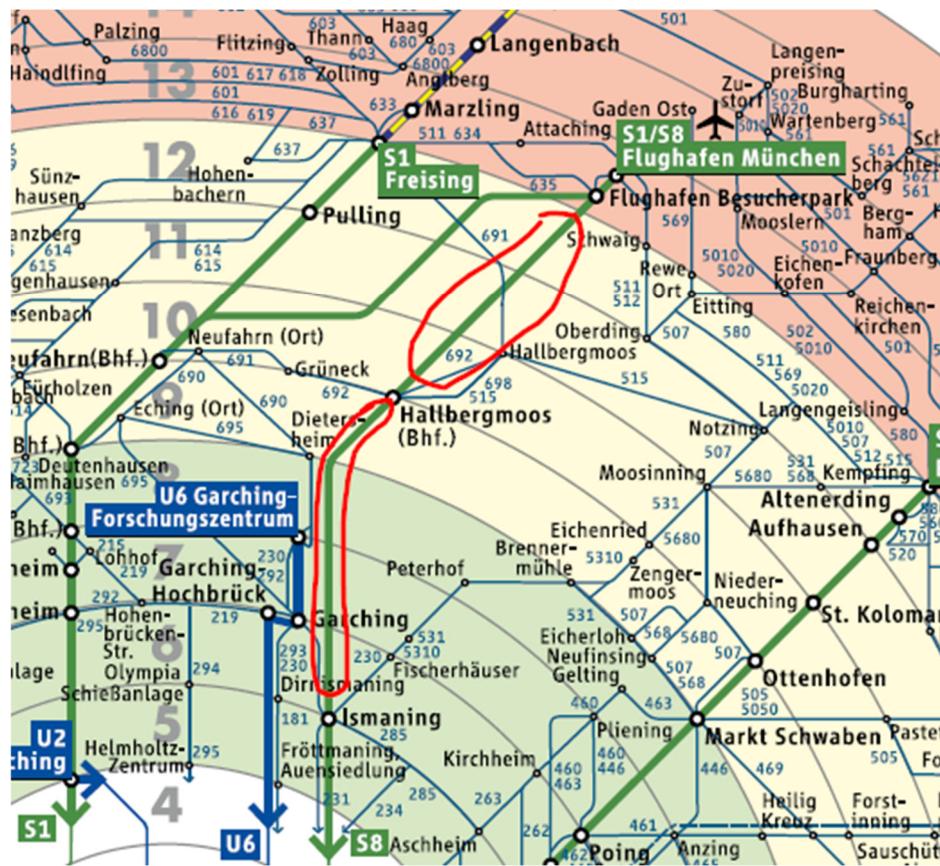
Technisch besitzt somit jede Haltestelle mindestens zwei Tarifzonenzuordnungen. Einige Haltestellen liegen an der Grenze von Tarifzonen und diesen sind dann damit mehr als zwei Tarifzonen zugeordnet.

Im MVV-Tarifmodell bis 2019 gilt die Regel, dass durchfahrene(!) Tarifzonen bezahlt werden müssen. PTV VISUM zählt hingegen Tarifzonen nur dann, wenn in der Tarifzone eine Haltestelle liegt. Falls zwei alternative Tarifzonen möglich sind (Beispiel Grenzhaltestelle), dann wird die günstigere Tarifzone gewählt.

Im VNM-MUC tritt insbesondere im S-Bahn-Netz die Besonderheit auf, dass Grenzhaltestellen im Abstand von zwei oder mehr Tarifringen positioniert sind. Bei langen ÖV-Wegen entstehen für die Fahrpreisberechnung eine Abfolge von Grenzhaltestellen. Durch die mehrfache Anwendung der „Minimiere-Fahrpreis-Regel“ werden Fahrpreise konstruiert, die systematisch zu wenig Tarifringe zählen. Folglich ist der Fahrpreis zu niedrig.

Um die PTV VISUM-eigene Zählung zu korrekten Ergebnissen im Sinne des MVV zu führen, wurden auf Streckenabschnitten in haltepunktfreien Tarifzonen oder -ringen zusätzliche Haltepunkte/Haltestellenbereiche/Haltestellen eingefügt. Der Name und Code ist „Zählzone“. Die Zählzonen-Haltepunkte wurden an Strecken gehängt. Damit verändern sie den Knoten-Kanten-Graph nicht. Die Haltepunkte sind Routenpunkte der Linienroute, aber keine Profilpunkte im Fahrzeitprofil. Sie haben keine Anbindung. Sie bewirkten eine richtige Zählung der Tarifzonen und sind dabei gleichzeitig für die Nachfrage unwirksam. Insgesamt wurden 97 Zählzonen-Haltestellen manuell eingefügt.

Die zusätzlichen Zählzonen wurden nur auf Abschnitten der S- und U-Bahn eingeführt. Auf Buslinien tritt der Fall selten auf, weil die Haltestellenabstände kurz sind. Der Effekt in Bezug auf die Nachfrage ist gering, da die Nachfrageströme deutlich schwächer sind als auf S-Bahn-Abschnitten.



Die Linie S1/S8 durchquert auf ihrer Fahrt vom Zentrum zum Flughafen mehrere Tarifringe ohne Halt (roter Bereich).

Abbildung 20: Ausschnitt Tarifplan München

In PTV VISUM werden hierfür die Funktionen des Tarifmodells verwendet. Neben der Zuordnung von Haltestellen zu Tarifzonen muss ein Tarifsystem angelegt werden. Ein Tarifsystem ist eine Menge von Linien, die eine gemeinsame Fahrpreislogik haben. Das ist z. B. in einem Verkehrsverbund der Fall. Das Tarifsystem kann über *Netz / ÖV-Fahrpreise* aufgerufen werden. In diesem Menü wird das Tarifsystem mit seinen Linien sowie den Fahrkartenarten und diversen anderen Einstellungen definiert.

Fernverkehrslinien (z. B. ICE) gehören nicht zum Tarifsystem des MVV. Mit einem Linienfilter, der vor der Berechnung der Fahrpreismatrizen eingeschaltet wird, werden diese Linien von der Fahrpreisbildung ausgeschlossen.

Darüber hinaus wird zu jeder Fahrkartenart ein eigenes Nachfragesegment angelegt, denn nur dann kann für die Fahrkartenart eine Kostenmatrix ausgegeben werden. Diese können dann weiterbearbeitet und in transparenter Weise im Verfahrensablauf zusammengeführt werden.

Wie bereits oben erwähnt, werden die zu modellierenden Fahrkartenarten mithilfe der MVV-Jahresstatistik herausgearbeitet. Sie ist eine Übersicht aller im Verbundgebiet verkauften bzw.

genutzten Fahrkarten. Die Auswertung der Statistik erfolgt nach den Kriterien der zu modellierenden Personengruppen Erwachsene, Studenten und Schüler. Aus diesem Grund wurden alle aufgeführten Fahrkarten der jeweiligen Personengruppe zugeordnet. Nicht eindeutig zuordnbare Fahrkarten wurden aus den Auswertungen herausgenommen. So werden beispielsweise Ticketarten wie „DB-Angebote im MVV“ oder „Tarifkooperationen“ aufgeführt. Diese stellen spezielle Angebote für Personengruppen und Aktivitäten dar, welche entweder im Modell nicht dargestellt oder deren Nutzenvorteile über andere Methodiken im Modell berücksichtigt werden.

Im folgenden Abschnitt werden die Auswertungen der Personengruppen vorgestellt und die zu modellierenden Fahrkarten aufgezeigt.

Erwachsene (mit und ohne Dauerkarte)

Für die Personengruppen der Erwachsenen existiert ein umfangreiches und räumlich differenziertes Fahrkartenangebot. Folgende Auswertung konnte aus der Jahresstatistik 2019 generiert werden.

Ticketart	Tarif	Stückzahlen	Fahrgäste	Anteil Stückzahlen	Anteil Fahrgäste	Nutzungs- häufigkeit
Einzelfahr-karte	Einzelfahrkarten	25.970.448	25.970.448	51,13%	5,5%	1,0
Streifen-karte	Streifenkarten (einschl. U21, Kinder, etc.)	8.182.748	40.690.900	16,11%	8,7%	5,0
Tageskarte	Single-Tageskarten EW IR	4.243.805	18.036.171	8,36%	3,8%	4,2
Wochen-karte	IsarCard Woche	2.404.629	31.260.177	4,73%	6,7%	13,0
Tageskarte	Single-Tageskarten EW München XXL	2.364.274	9.457.096	4,65%	2,0%	4,0
Tageskarte	Single-Tageskarten EW G	1.890.460	6.427.564	3,72%	1,4%	3,4
Monatskarte	IsarCard Monat	1.478.609	81.053.476	2,91%	17,3%	54,8
Jahreskarte	IsarCard-Abo mtl. Zah-lung	1.220.727	66.503.359	2,40%	14,2%	54,5
Jahreskarte	IsarCard Job mtl. Zah-lung	692.721	37.942.944	1,36%	8,1%	54,8
Tageskarte	Single-Tageskarten EW AR	600.515	2.462.111	1,18%	0,5%	4,1
Jahreskarte	IsarCard60 Abo mtl. Zahlung	314.448	17.807.721	0,62%	3,8%	56,6
Monatskarte	IsarCard9Uhr Monat	308.328	16.926.836	0,61%	3,6%	54,9
Monatskarte	IsarCard S mit Aus-gleich	275.695	15.687.082	0,54%	3,3%	56,9

Ticketart	Tarif	Stückzahlen	Fahrgäste	Anteil Stückzahlen	Anteil Fahrgäste	Nutzungs- häufigkeit
Tageskarte	Single-Tageskarten EW 3 Tage IR	267.502	3.410.651	0,53%	0,7%	12,8
Monatskarte	IsarCard60 Monat	225.534	12.568.930	0,44%	2,7%	55,7
Jahreskarte	IsarCard9Uhr Abo mtl. Zahlung	133.319	7.308.350	0,26%	1,6%	54,8
Jahreskarte	IsarCard-Abo jährliche Zahlung	60.601	36.276.900	0,12%	7,7%	598,6
Sonderkarte	IsarCard StarterCard *	59.545	109.333	0,12%	0,0%	1,8
Jahreskarte	IsarCard Job jährliche Zahlung	36.355	19.549.823	0,07%	4,2%	537,7
Jahreskarte	IsarCard60-Abo jährl. Zahlung	35.288	14.824.779	0,07%	3,2%	420,1
Jahreskarte	AboPlusCard	19.111	1.046.156	0,04%	0,2%	54,7
Jahreskarte	IsarCard9Uhr-Abo jährl. Zahlung	7.146	3.519.741	0,01%	0,8%	492,5
Summe		50.791.808	468.840.546	100%	100%	

Tabelle 24: Fahrausweisnutzung Erwachsene (mit / ohne Dauerkarte)

Die Tabelle zeigt das divers genutzte Fahrkartenangebot für die Personengruppe der Erwachsenen. Es wird ersichtlich, dass die Einzelfahrkarte einen wesentlichen Anteil der verkauften Fahrkarten ausmacht. Gefolgt von der Streifenkarte, der Tageskarte sowie verschiedenen speziellen Fahrkartenarten. Zur Abbildung eines mittleren Fahrpreises wird jedoch der Preis pro Fahrgäst herangezogen. Jetzt zeigt sich das Bild, das die Jahreskarten die am häufigsten verwendete Fahrkartenart ist. Maßgebend für die Gewichtung der Fahrkartenarten ist der Anteil der Fahrgäste.

Die Gesamtheit der Fahrkarten kann nur mit hohem Aufwand in PTV VISUM modelliert werden, daher werden die Fahrkarten nach ihrer Art zusammengefasst. Folgende Einteilung erweist sich als sinnvoll und gut umsetzbar:

Zusammengefasste Ticketart	Anteil Stückzahlen Erwachsene	Anteil Fahrgäste Erwachsene
Einzelfahrkarte	51,1%	5,5%
Tageskarte	18,4%	8,5%
Streifenkarte	16,1%	8,7%
Jahreskarte	5,0%	43,7%
Wochenkarte	4,7%	6,7%
Monatskarte	4,5%	26,9%

Tabelle 25: Fahrausweisnutzung Erwachsene (mit / ohne Dauerkarte) - Zusammenfassung

Erwachsene ohne DauerKarte

Mit einer Unterteilung in Erwachsene ohne DauerKarte ergeben sich folgende Anteile für die Mittelwertbildung

Zusammengefasste Ticketart Erwachsene OHNE DauerKarte	Anteil Fahrgäste Erwachsene
Einzelfahrkarte	24,4%
Tageskarte	37,4%
Streifenkarte	38,2%
Summe	100,0%

Tabelle 26: Fahrausweisnutzung Erwachsene (ohne DauerKarte)

Erwachsene mit DauerKarte

Für die Erwachsene mit DauerKarte ergeben sich folgende Anteile für die Mittelwertbildung:

Zusammengefasste Ticketart Erwachsenen MIT DauerKarte	Anteil Fahrgäste Erwachsene
Jahreskarte	56,5%
Wochenkarte	8,6%
Monatskarte	34,9%
Summe	100,0%

Tabelle 27: Fahrausweisnutzung Erwachsene (mit DauerKarte)

Kurzstrecke

Die **Kurzstrecke** ist eine Fahrkarte für kurze Distanzen. Sie ist für maximal vier Haltestellen (ohne Einstieghaltestelle) gültig, davon dürfen jedoch maximal zwei Haltestellen mit der S-, U-, Regionalbahn oder dem Expressbus durchgeführt werden. Darüber hinaus gilt die Kurzstrecke auch für Fahrten innerhalb von Gemeinden außerhalb von München, sofern dabei nur der Bus genutzt wird.

Die Fahrkarte wird in der Statistik nicht explizit aufgeführt, da sie der Einzelfahrt zugeordnet wird. Allerdings ist diese Ticketart besonders für kurze Relation und als innergemeindliche Fahrtmöglichkeit relevant.

Im Verkehrsmodell wird die Fahrkarte als Nummer 101 gelistet. Gültigkeit besitzt sie für fünf Haltestellen und es ist ein Fahrpreis von 1,50 EUR hinterlegt. Darüber hinaus werden über das bdA „TR_GEM_NR_TARIFBERECHNUNG“ innergemeindliche Fahrten ermittelt. Das geschieht im Verfahrensablauf.

Die Restriktion, dass die Kurzstrecke für maximal zwei Haltestellen mit S-, U-, Regionalbahn oder dem Expressbus gelten darf, wird in PTV VISUM über die aggregierten, prozentualen Fahrtweitenanteile am Gesamtweg der eben benannten Verkehrssysteme umgesetzt. Insofern also mehr als 50 Prozent des Weges mit diesen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden, kann kein Kurzstreckentarif genutzt werden. Zwar bildet diese Art der Modellierung nicht die realen Bedingungen der Kurzstreckeneigenschaften ab, allerdings ist eine Fahrpreismodellierung auf Ebene der Routenwahl nicht möglich.

Wenn eine innergemeindliche Fahrt außerhalb der Stadt München gefunden wird, wird zusätzlich geprüft, ob der prozentuale Fahrtweitenanteil mit S-, U-Bahn oder dem Expressbus am Gesamtweg den Wert 0 beträgt. Damit wird abgebildet, dass außerhalb von München nur Wege mit dem Bus als Kurzweg genutzt werden können.

Die dergestalt aufbereiteten Matrizen werden anschließend in der Matrix 720 zusammengeführt.

Einzelfahrt, Streifenkarte, Tageskarte

Die **Einzelfahrt** wird als einmalgültiges Relationsticket umgesetzt. Das bedeutet, dass anhand der durchfahrenen Zonen der Fahrpreis für jede Quell-Ziel-Relation ermittelt wird. Dabei wird nicht davon ausgegangen, dass das Ticket am Zielort für eine Weiterfahrt verwendet wird.

Da die Einzelfahrt für die Tarifzonen Gültigkeit besitzt, wird ein Zonentarif des Typs 1 umgesetzt. Der Fahrpreis wird somit anhand der durchfahrenen Zonen ermittelt. Der umgesetzte Preis der Ticketnummer 102 ist in der am Ende dieses Abschnittes aufgeführten Tabelle abgebildet.

Die von PTV VISUM berechneten Fahrpreise werden in der Matrix 731 abgelegt. Im Anschluss an die Berechnung wird diese Matrix mit der der präparierten Kurzstreckenmatrix (Matrix 720) zusammengeführt. Es wird der minimale Preis in die Matrix übernommen.

Die **Streifenkarte** ist ein Ticket für mehrere Fahrten. Für einen Preis von 14,00 EUR können zehn Streifen erworben werden. Ein Streifen entspricht in seiner Form einem einmalgültigen Relations-ticket. Da die Streifenkarte für die Tarifzonen Gültigkeit besitzt, wird ein Zonentarif des Typs 1 umgesetzt. Der Fahrpreis wird somit anhand der durchfahrenen Zonen ermittelt werden. Der umgesetzte Preis der Ticketnummer 103 ist in der am Ende dieses Abschnittes aufgeführten Tabelle abgebildet.

Die **Tageskarte** ist eine mehrfahrgültige Fahrkarte. Das heißt, sie kann über einen bestimmten Zeitraum beliebig oft genutzt werden. Dabei kann die Tageskarte für unterschiedliche Räume erworben werden, welche sich an den Zonen orientieren. Da die Tageskarte für die Tarifzonen Gültigkeit besitzt, sind die Zonen des Zonentyps 1 relevant. Der umgesetzte Preis der Ticketnummer 104 ist in der am Ende dieses Abschnittes aufgeführten Tabelle abgebildet.

Aus der Verkaufsstatistik konnte für die Tageskarte eine mittlere Nutzungshäufigkeit von vier Fahrten angenommen werden. Diese wird im Verkehrsmodell hinterlegt.

Tarifzone	Einzelfahrt [EUR]	Streifenkarte [EUR]	Tageskarte [EUR]
1	2,90	2,80	6,70
2	5,80	5,60	8,90
3	8,70	8,40	13,00
4	11,60	11,20	13,00

Tabelle 28: Fahrpreise Einzelfahrt, Streifenkarte und Tageskarte

Wochen-, Monats- und Jahreskarte (Erwachsene)

Die Zeitkarten Wochen-, Monats- und Jahreskarte sind mehrfahrgültige Fahrkarten. Das heißt, sie können über einen bestimmten Zeitraum beliebig oft genutzt werden. Basis für Berechnung der Zeitkarten sind die Tarifringe (Zonentyp 0). Hierfür kann in PTV VISUM die Tarifstruktur „Zonentarif“ genutzt werden. Der Fahrpreis wird somit anhand der durchfahrenen Zonen ermittelt werden. Folgende Preisstrukturen werden im Modell für die Wochenkarte (Nummer 105), die Monatskarte (Nummer 106) und die Jahreskarte (Nummer 107) hinterlegt:

Tarifring	Wochenkarte [EUR]	Monatskarte [EUR]	Jahreskarte [EUR]
1	15,40	55,20	552,00
2	15,40	55,20	552,00
3	18,60	66,60	666,00
4	22,10	79,10	791,00
5	25,30	90,40	904,00
6	29,00	103,70	1037,00
7	32,60	116,50	1165,00
8	35,70	127,80	1278,00
9	39,30	140,50	1405,00
10	42,70	152,50	1525,00
11	45,70	163,40	1634,00
12	49,00	175,10	1751,00
13	52,60	188,00	1880,00
14	56,30	201,30	2013,00
15	59,40	212,50	2125,00
16	63,10	225,60	2256,00

Tabelle 29: Fahrpreise Wochen-, Monats- und Jahreskarte für Erwachsene

Aus der Verkaufsstatistik konnten folgende mittlere Nutzungshäufigkeiten errechnet werden:

- ▶ Wochenkarte: 13
- ▶ Monatskarte: 55
- ▶ Jahreskarte: 696

Die Nutzungshäufigkeit wird im Verkehrsmodell hinterlegt. Der Preis pro Fahrt ergibt sich aus dem Fahrpreis der Fahrausweisart dividiert mit der Nutzungshäufigkeit.

Mittlerer Fahrpreis

Mit Hilfe der Nutzungshäufigkeiten wird der relationsbasierte Fahrpreis für einen Fahrausweis ermittelt. Der mittlere Fahrpreis pro Relation für Erwachsene mit und ohne Dauerkarten entsteht durch die Gewichtung der Fahrpreise der Fahrausweise. Die Gewichtung erfolgt nach dem Anteil der Fahrgäste. Dieser kann in Matrix 750 (ohne Dauerkarte) und 751 (Erwachsene mit Dauerkarte) gesichtet werden.

Studierende

Die Studierenden der im Planungsgebiet befindlichen Universitäten nutzen als Fahrkarte das Semesterticket. Sie sind verpflichtet einen „Solidarbeitrag“ zu leisten. Somit sind die Studierenden berechtigt, in bestimmten Zeiträumen die Angebote des MVV zu nutzen. Eine vollständige Fahrtberechtigung entsteht durch den Erwerb eines 24h-Tickets. Folgende Informationen konnten aus der Verkaufsstatistik generiert werden:

Ticketart	Tarif	Stückzahlen	Fahrgäste	Anteil Stückzahlen	Nutzungs- häufigkeit
Zeitkartentarif	Semesterticket Sockel	234.712	17.257.812	58,7%	73,5
Zeitkartentarif	Semesterticket Aufpreis mit Ausgleich	165.398	47.504.200	41,3%	287,2
Summe		400.110	64.762.012	100%	

Tabelle 30: Statistik Semesterticket

Da die Zahlung des Solidarbeitrags für die Studierenden obligatorisch ist, kann dieser als „Inklusivleistung“ zum Studium betrachtet werden. Diese „Sunk-Costs“ haben daher auf die Verkehrsentscheidungen keinen Einfluss und spielen in der monetären Aufwandsbetrachtung keine Rolle. Lediglich die Kosten des 24h-Tickets werden innerhalb der Tarifmatrix beachtet.

Der Preis für die IsarCardSemester lag 2019 bei 195,70 EUR pro Semester. Mit einer mittleren Nutzungshäufigkeit von 287 ergibt sich im ganzen MVV ein relationsbasierter Preis von 0,68 EUR. Dieser wird in der Matrix 752 hinterlegt.

Schüler

Grundlage für die Bildung eines mittleren Fahrpreises für Schüler sind die Informationen aus der Verkaufsstatistik. Allerdings weist diese lediglich die entsprechenden Angebote für Schüler aus. Ob und inwiefern Schüler auch andere Fahrkartenangebote wahrnehmen, kann aus der Statistik nicht herausgelesen werden.

Für Schüler existiert eine differenzierte Preisstruktur. Neben den Jahreskarten in Form der IsarCardSchule bzw. der IsarCardAusbildung werden auch Monats- und Wochenkarten angeboten. Deren preisliche Ausgestaltung orientiert sich am Alter der Schüler (Ausbildungstarif I bis 14 Jahre, ab 14 Jahre gilt der Ausbildungstarif II). Weiter können Schüler mit der „Grünen Jugendkarte“ ihre Zeitkarten um jeweils einen Kalendermonat erweitern.

Ticketart	Tarif	Stückzahlen	Fahrgäste	Anteil Stückzahl	Anteil Fahrgäste	Nutzungshäufigkeit
Monatskarte	Ausbildungstarif I Monat	567.878	30.336.704	33,6%	35,7%	53,4
Monatskarte	Ausbildungstarif II Monat	473.709	31.458.819	28,0%	37,0%	66,4
Wochenkarte	Ausbildungstarif II Woche	256.095	3.734.671	15,1%	4,4%	14,6
Jahreskarte	IsarCardSchule im Abo	110.117	6.851.811	6,5%	8,1%	62,2
Jahreskarte	IsarCardAusbildung im Abo	95.258	6.194.296	5,6%	7,3%	65,0
Wochenkarte	Ausbildungstarif I Woche	93.400	1.236.808	5,5%	1,5%	13,2
Monatskarte	Grüne Jugendkarte	94.008	5.219.550	5,6%	6,1%	55,5
Summe		1.690.465	85.032.659	100%	100%	

Tabelle 31: Statistik Schülertickets

Das differenzierte Angebot wird vereinfacht in PTV VISUM umgesetzt. Dabei werden die Wochen-, Monats- und Jahreskarten zusammengefasst. Die „Grüne Jugendkarte“ wird nicht umgesetzt. Damit ergeben sich folgende Ticketarten im Schülerverkehr:

Zusammengefasste Ticketart	Anteil Gesamtverkauf Schüler	Anteil Fahrgäste Schüler
Monatskarte	65,2%	77,4%
Wochenkarte	21,9%	6,2%
Jahreskarte	12,9%	16,3%
Summe	100,0 %	100,0%

Tabelle 32: Statistik Monats-, Wochen- und Jahreskarten für Schüler

Wochen-, Monats- und Jahreskarte (Schüler)

Die Zeitkarten Wochen-, Monats- und Jahreskarte sind mehrfahrgültige Fahrkarten. Das heißt, sie können über einen bestimmten Zeitraum beliebig oft genutzt werden. Basis für die Berechnung der Zeitkarten sind die Tarifringe. Hierfür kann in PTV VISUM die Tarifstruktur „Zonentarif“ genutzt werden. Der Fahrpreis wird somit anhand der durchfahrenen Zonen ermittelt. Folgende Preisstrukturen werden im Modell für die Wochenkarte (Nummer 121), die Monatskarte (Nummer 122) und die Jahreskarte (Nummer 123) hinterlegt:

Tarifring	Wochenkarte [EUR]	Monatskarte [EUR]	Jahreskarte [EUR]
1	10,80	38,60	407,60
2	10,80	38,60	407,60
3	12,90	46,30	488,80
4	15,50	55,40	585,00
5	17,90	63,70	672,80
6	20,30	72,60	766,60
7	22,80	81,50	860,60
8	25,00	89,50	945,00
9	26,50	94,60	999,00
10	26,50	94,60	999,00
11	26,50	94,60	999,00
12	26,50	94,60	999,00
13	26,50	94,60	999,00
14	26,50	94,60	999,00
15	26,50	94,60	999,00
16	26,50	94,60	999,00

Tabelle 33: Fahrpreise Wochen-, Monats- und Jahreskarte für Schüler

Aus der Verkaufsstatistik konnten folgende mittlere Nutzungshäufigkeiten errechnet werden:

- ▶ Wochenkarte: 14
- ▶ Monatskarte: 59
- ▶ Jahreskarte: 762

Die Nutzungshäufigkeit wird im Verkehrsmodell hinterlegt.

Mittlerer Fahrpreis

Durch die vorangegangenen Ausführungen kann ein mittlerer Fahrpreis für die Personengruppe der Schüler berechnet werden. Mithilfe der Nutzungshäufigkeiten kann zunächst der relationsbasierte Fahrpreis ermittelt werden. Dieser entspricht den Kosten für eine Fahrt einer Quelle-Ziel-Relation. Durch die oben genannte Formel und die Gewichte in Form der Nutzung der jeweiligen Fahrkarte wird der mittlere Fahrpreis berechnet. Dieser kann in Matrix 753 gesichtet werden.

Entfernungsbasierter Fahrpreis

Für alle Relationen, welche nicht mit dem MVV-Tarifsystem umgesetzt werden können, gilt ein entfernungsbasierter Fahrpreis. Die Entfernung bemisst sich dabei an der Luftlinienweite zwischen den Bezirken.

Die Fahrpreise pro Kilometer ergeben sich aus den Tarifberechnungen innerhalb des MVV. Mithilfe der bereits berechneten Fahrpreise und der Luftlinienentfernnungen kann ein mittlerer Fahrpreis für die einzelnen Personengruppen ermittelt werden. Durch diese Methode bemessen sich die umliegenden Bereiche außerhalb des MVV am lokalen Preisniveau. Für die Personengruppen der Studenten wird der km-Preis der Erwachsenen übernommen, da außerhalb des MVV das Semesterticket nicht gültig ist und sich der Fahrpreis dann an den Fahrpreisen der Personengruppe der Erwachsenen bemisst. Es ergeben sich folgende Mindest- und Kilometerpreise:

- ▶ Erwachsene: 0,21 EUR/km, mindestens 1,50 EUR
- ▶ Studierende: 0,21 EUR/km, mindestens 1,50 EUR
- ▶ Schüler: 0,05 EUR/km, mindestens 0,66 EUR

Der Mindestwert entspricht dem Kurzstreckentarif für Erwachsene. Die in Matrixnummer 722 (Erwachsene), 723 (Studierende) und 724 (Schüler) hinterlegten luftlinienbasierten Fahrpreise werden anschließend auf alle Relationen übertragen, für die kein MVV-Tarif ermittelt wird.

Besonderen Relationen

Nach der Berechnung der Fahrpreismatrizen entsprechend des Zonentarifmodells und des Entfernungstarifs wurden die Matrizen analysiert. Für einige wenige Relationen können keine Fahrpreise nach dem Zonentarif und/oder Entfernungsfaehrpreise ermittelt werden.

In PTV VISUM kommen bei der Ermittlung der Fahrpreismatrizen zwei verschiedene Algorithmen nacheinander zum Einsatz:

1. Routensuchalgorithmus für ÖV-Wege einschließlich ÖV-Luftlinie
2. Tarifmodell-Algorithmus zur Konstruktion eines gültigen Fahrpreises entsprechend der Fahrpreislogik für die vorhandenen Route

Für das Scheitern der Berechnung auf wenigen Relationen können verschiedene Ursachen ermittelt werden:

- ▶ Kordonbezirke: Es gibt reine IV-Kordonbezirke ohne ÖV-Anbindung. Hier werden keine ÖV-Luftlinie und kein Zonentarif-Fahrpreis gefunden.
- ▶ Wege zwischen Nachbarbezirken, die ausschließlich an eine gemeinsame Haltestelle angebunden sind. Da ein Fußweg über die Anbindung nicht erlaubt ist, wird kein ÖV-Weg gefunden.
- ▶ Es wird eine Linie benutzt, die nicht zum Tarifsystem gehört (z. B. Fernverkehrslinien). Um diesen Fall zu verhindern, werden diese Linien per Linienfilter bei der Routensuche ausgeschlossen.
- ▶ Einzelne Relationen innerhalb des MVV: Es gibt wenige Quelle-Ziel-Relationen innerhalb des MVV für die PTV VISUM zwar ein ÖV-Weg/ÖV-Luftlinie findet, aber keinen Zonentarif-Fahrpreis konstruiert. Das betrifft ausnahmslos Bezirke am Rand des MVV. Die Ursache kann nicht ermittelt werden. Die Zuordnung von Tarifzonen und Linien wurde mehrfach geprüft.
- ▶ Weiterhin wurden Relationen gefunden mit auffällig niedrigen Fahrpreisen gemäß Zonentarif. Als Ursache konnten Expressbusse identifiziert werden. PTV VISUM zählt die Tarifzonen nur, wenn in der Tarifzone auch gehalten wird.

Das Ziel ist, Fahrpreismatrizen mit Fahrpreiswerten zu füllen, die auf diesen besonderen Relationen erklärbare Werte haben.

Vorgehen für besondere Relationen

In PTV VISUM gibt es die Möglichkeit, Standartwerte für die ÖV-Kenngrößenmatrizen zu definieren für den Fall, dass für eine Relation kein ÖV-Weg gefunden wird oder für ignorierte Relationen (siehe Allgemeine Verfahrenseinstellungen > ÖV-Einstellungen > Kenngrößen). Der Standardwert für ignorierte Wege/Wege ohne Verbindung ist auf den Wert 1.000 für die ÖV-Luftliniendistanz und die Fahrpreismatrix eingestellt.

Speziell für die Fahrpreisrechnung besteht die Möglichkeit, einen Rückfallfahrpreis zu bilden für den Fall, dass mit der Fahrpreislogik kein Fahrpreis für einen ÖV-Weg ermittelt werden kann (siehe Rückfall-Fahrpreis unter Netz > Fahrpreise > Allgemeine Einstellungen).

Für die Entfernungspreisberechnung ist die ÖV-Luftlinie maßgebend. Für besondere Relationen ergibt sich ein entfernungsbasierter Fahrpreis als Produkt aus dem Kilometersatz (Siehe Abschnitt entfernungsbasierter Fahrpreise) von 210 EUR (1000 km *0,21 EUR) für Erwachsene und Studierende und 55 EUR für Schüler.

Der Rückfall-Fahrpreis ist auf 999999 EUR gesetzt.

Damit die besonderen Relationen in der Fahrpreismatrix richtig dargestellt werden, gilt folgender Algorithmus:

- ▶ Alle Relationen mit korrekten Fahrpreisen (korrekt = <1.000) erhalten den Fahrpreis gemäß Fahrpreismatrix.
- ▶ Alle Relationen ohne korrekten Fahrpreis erhalten den Entfernungsfahrpreis. Für besondere Relationen (Beispiel: Relation zwischen zwei IV-Kordonbezirken) ergibt sich der Preis deshalb aus dem maximalen Wert 210 EUR bzw. 50 EUR. Dieser hohe Preis auf der speziellen Relation ist irrelevant für das PV-Nachfragemodell.
- ▶ Relationen, für die ein Kurzstreckenfahrpreis ermittelt werden konnte und ÖV-Luftlinie, wird der Kurzstreckenpreis eingesetzt.

3.3 Radverkehr

Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
Netzgraph Straße	aktueller Netzgraph für den Straßenverkehr (Individualverkehr) aus den laufenden Projektarbeiten (AP 2 einschließlich Option 11)
OSM-Daten	Internetabfrage: http://download.geofabrik.de/europe/germany/bayern.html OSM-Daten liefern Netzelemente, die in VISUM eingelesen werden können. Sie beinhalten keine Attribute, die die Art der Radverkehrsanlage oder deren Beschaffenheit beschreiben.
Radwanderwege des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV)	Die Netzelemente können als Shapefiles in VISUM eingelesen werden. Sie beinhalten keine Attribute, die die Art der Radverkehrsanlage oder deren Beschaffenheit beschreiben.
Weitere Radnetzdaten	VVDM-Radnetz Radl-Stadtplan Radroutenplaner MVV (siehe: http://rad.mvv-muenchen.de/mvzbike/index)
Höhen-Koordinaten	Höhenkoordinaten der Knotenpunkte zur Ermittlung der Streckenlängsneigungen wurden aus dem digitalen Geländemodell der LHM und für das Umland aus frei zugänglichen Copernicus-Daten (Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union) bestimmt.

Tabelle 34: Datenquellen und -formate Radverkehr

Methodischer Aufbau und Umsetzung

Netzergänzungen

Der Radverkehr wird im VNM-MUC unter dem Verkehrssystem „Rad“ geführt.

Der Netzgraph für den Radverkehr wurde aufbauend auf dem Straßennetzgraph erstellt. Der Radverkehr und der Straßenverkehr teilen sich bestimmte Netzobjekte. Das sind insbesondere Strecken, Knoten und Anbindungen.

Der Ausgangspunkt war das Straßennetz des alten Modells. In geringem Umfang enthielt es bereits Radnetzelemente als eigenen Streckentyp (siehe Abbildung 21).

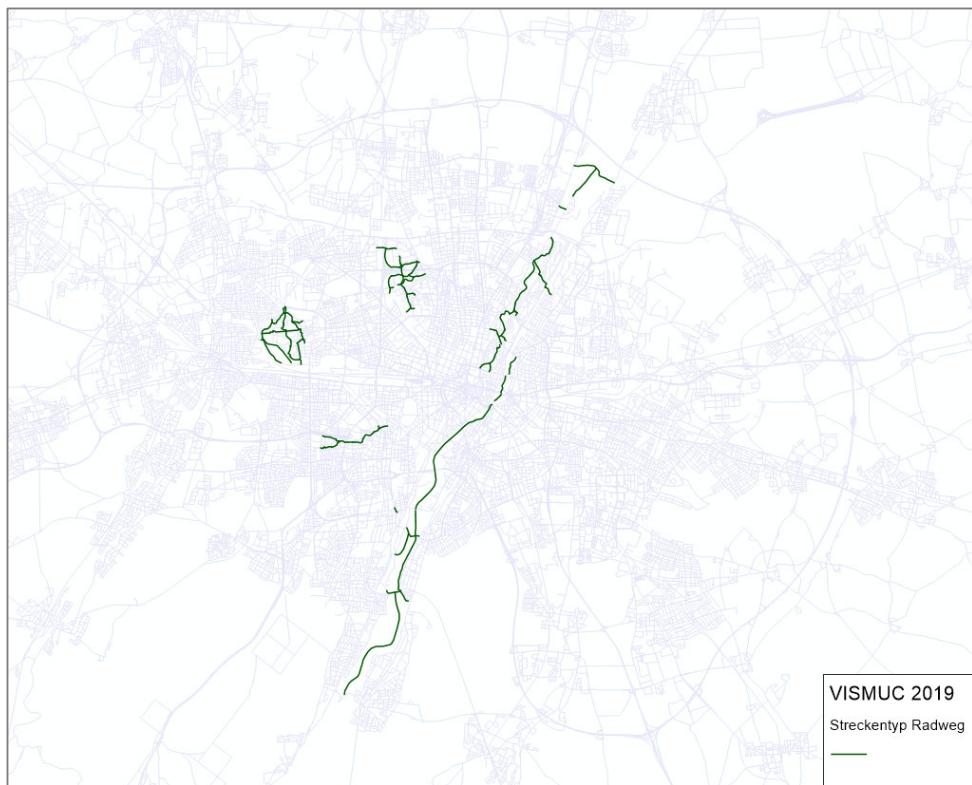


Abbildung 21: Strecken des Typs „Radweg“ im bestehenden Netzmodell

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, wurde das Straßennetz zunächst plausibilisiert und ergänzt. Zudem wurde ein vereinfachtes Netzmodell erzeugt. Es wurden im Stadtgebiet München richtungsgetrennte Strecken zusammenfasst und aufgelöste Knotenpunkte zu einem Knotenpunkt aggregiert.

Das vereinfachte Netzmodell bildete die Grundlage für die Netzergänzungen und für die Attributierung des Radverkehrs. Für den Radverkehr wurden alle Strecken freigeschaltet. Die einzigen Ausnahmen waren die Folgenden:

- ▶ Autobahnen
- ▶ mehrspurige Straßen außerorts
- ▶ einzelne Abschnitte des Mittleren Rings

Verkehr der Radverkehr auf der gleichen Straße (mit oder ohne Radverkehrsanlage) wie der Kfz-Verkehr wurden die IV-Strecken mit den entsprechenden Radattributen versehen. So kann der Einfluss der Kfz-Verkehrsstärke auf die Attraktivität der Strecke für den Radverkehr abgebildet werden. Darüber hinaus wirkt sich eine gemeinsame VISUM-Strecke für Kfz- und Radverkehr positiv vereinfachend auf die Pflege des Netzmodells und die Darstellung von Umlegungsergebnissen aus. Eigene Strecken für den Radverkehr wurden dort angelegt, wo es sich tatsächlich um reine Radstrecken handelt (z. B. Wege in Parks, Radwege mit sehr großem Abstand zur Straße). Grundlage für die Ergänzung fehlender Strecken waren OSM-Daten, die Radwanderwege des LDBV und weitere Datenquellen nach Abstimmung mit dem AG (VVDM-Radnetz, Radl-Stadtplan, Radroutenplaner MVV).

Attributierungen

Aus dem VVDM-Radnetz wurden die Rad-Attribute zur Gestaltung auf das Streckennetz übertragen. Zusätzlich wurde im Hinblick auf die Prognose die Ausgestaltung 10, Radschnellverbindung eingeführt. Tabelle 35 gibt einen Überblick über Art und Ausprägung der übernommenen Attribute:

Attribut	Ausprägung	Wert
Gestaltung	Sonstige / unbekannt	0
	Verkehrsberuhigter Bereich / Tempo-30-Zone	1
	Hauptstraßen	2
	Grün	3
	Landwirtschaftlich geprägt	4
	Straße >= 50 km/h ohne Radweg	5
	Fahrradstraße + Gegenrichtung einer Einbahnstraße erlaubt	6
	Schutzstreifen an Hauptstraße	7
	Gemeinsamer Rad- und Fußweg oR	8
	Rad(schnell)weg Zweirichtung	9
	Radschnellverbindung	10

Tabelle 35: Streckenattribute des Radverkehrs aus dem VVDM-Radnetz

Als weitere Einflussfaktoren auf die Routenwahlentscheidung sind die folgenden Streckenattribute im Modell enthalten:

- ▶ Länge und Fahrzeit
- ▶ Längsneigung [%]
- ▶ Kfz-Verkehrsmenge/Tag Straße
(aus der Stundenkapazität und dem c-Faktor der CR-Funktion)

Geschwindigkeit v0

Die Grundgeschwindigkeit des Radverkehrs v0 beträgt 12 km/h. Sie gilt netzweit und für alle Streckentypen. Die einzige Ausnahme sind Fußgängerzonen. In ihnen beträgt die Geschwindigkeit des Radverkehrs v0 5 km/h.

Abbiegezeiten

Der Radverkehr ist, da eigene Radverkehrsanlagen die Ausnahme bilden, auf den meisten Straßen und Wegen ein Teil des Kfz-Verkehrsstromes. Die Abbiegezeiten des Radverkehrs wurden daher aus denen des Kfz-Verkehrs abgeleitet. Für einige Knotentypen erfolgt die Setzung unabhängig von der Abbiegezeit des Kfz-Verkehrs. Die Abbiegezeiten werden im Verfahrensablauf berechnet und in das Abbiegerattribut „RAD_T0“ geschrieben. Im Rahmen der Kalibrierung wurde die dort hinterlegte Formel so angepasst, dass sich die besten Ergebnisse ergeben. Die Abbiegezeiten des Radverkehrs sind in Tabelle 36 dargelegt.

Knotentyp	Abbiegerichtung (Typ-Nummer)	Abbiegezeit
Lichtsignalanlage & verkehrszeichengeregelt	Rechts	3 s
	Geradeaus, U-Turn	$0,75 * t_{0IV}$
	Links	$1,25 * t_{0IV}$
Kreisverkehr & Rechts vor Links	Alle	3 s
Alle anderen Knotenpunkte	Rechts, Geradeaus, U-Turn	2 s
	Links	5 s

Tabelle 36: Abbiegezeiten des Radverkehrs

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Abbiegern individuelle Abbiegezeiten zuzuweisen. Diese sind in das Attribut „RAD_T0_KORREKTUR“ einzutragen.

Längsneigung

Für die Berechnung der Steigung wurden alle Knotenpunkte des Netzmodells mit Höhendaten versehen. Deren Quelle waren das digitale Geländemodell der Stadt München (für die Knoten im Stadtgebiet München) bzw. frei zugängliche Copernicus-Daten (für die Knoten im Umland).

Die Z-Koordinate ist im entsprechenden Attribut der Knotenpunkte hinterlegt. Wenn ein neuer Knoten eingefügt wird, beträgt der Standardwert für die z-Koordinate 0 m. Daher ist der Vorgang zur Bestimmung der Höhenkoordinate zu wiederholen. Daraus wird die Längsneigung [%] der Strecken berechnet. Dies erfolgt mit der dazu in Visum integrierten Funktion. Diese kann über einen Rechtsklick auf die Strecke ausgewählt werden und ist in Abbildung 22 dargestellt.

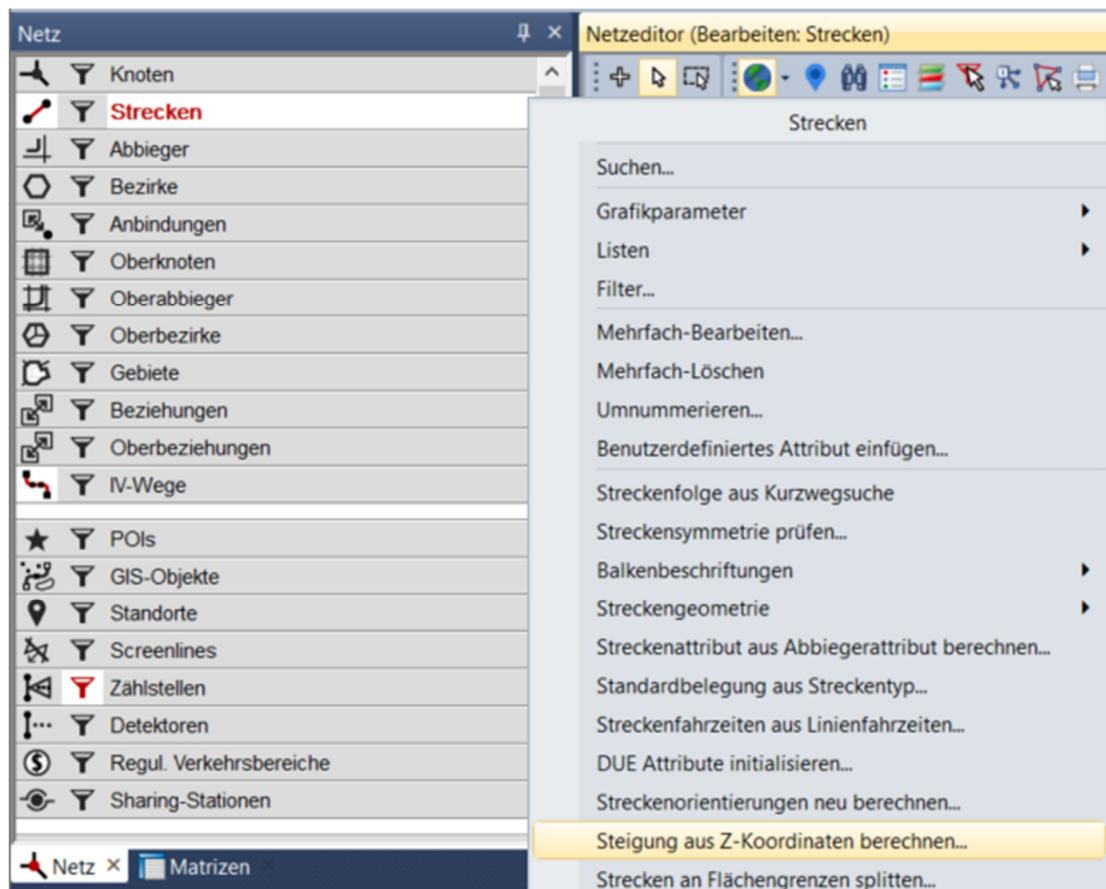


Abbildung 22: Berechnung der Streckensteigungen mit der in Visum integrierten Funktion

Sie ist im Visum-Attribut „Steigung“ hinterlegt.

Die Steigung wird in die Berechnung des Radwiderstandes integriert, indem aus dem Attribut der Fahrzeit bei freiem Verkehrsfluss des Rads t0-IVSys (Rad) eine steigungsabhängige Fahrzeit berechnet wird. Dies geschieht durch die Multiplikation der Fahrzeit t0-IVSys (Rad) mit einem Faktor der Längsneigung. Infolge der komplexen Interaktion des Radverkehrs mit den feinkalibrierten Modellkomponenten des ÖVs und des MIVs sind die feinkalibrierten Faktoren für die Berechnung der Widerstände für die Routenwahl und die Faktoren für die initiale Berechnung der Kenngrößenmatrizen nicht identisch. Dies betrifft sowohl die Längsneigung als auch die Kfz-Verkehrsstärke und die Gestaltung. Die Auswirkungen dieser Inkonsistenz auf die anderen Modi und Modellkomponenten sind vernachlässigbar. Die den Längsneigungsklassen zugewiesenen Faktoren sind in Tabelle 37 dargelegt:

Klasse	Untergrenze	Obergrenze	Faktor KGM	Faktor Routenwahl
Steil bergab	- ∞	- 5,0	0,8	0,7
Leicht bergab	- 5,0	- 2,5	0,8	0,9
Ebene	- 2,5	+ 2,5	1,0	0,9
Leicht bergauf	+ 2,5	+ 5,0	1,3	1,4
Steil bergauf	+ 5,0	+ 8,0	1,6	1,5
Sehr steil bergauf	+ 8,0	+ ∞	2,0	2,1

Tabelle 37: Faktoren der Längsneigung

Die resultierende Fahrzeit ist im Attribut „Rad_t0“ hinterlegt.

Zusätzliche Widerstandsfaktoren des Radverkehrs

Aus der resultierenden längsneigungsabhängigen Fahrzeit Rad_t0 wird die empfundene Fahrzeit bzw. der Radwiderstand berechnet. Dabei werden zwei Einflussfaktoren auf die Routenwahl des Radverkehrs berücksichtigt. Das sind die Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs und die Gestaltung des Verkehrsweges. Die Verkehrsstärke wird durch die Multiplikation der Stundenkapazität der Strecken mit dem c-Faktor ihrer CR-Funktion berechnet und ist im Attribut „RAD_KFZ-VERKEHR“ hinterlegt. Sie entspricht der Tageskapazität der Strecke. Das Ergebnis der Umlegung des Kfz-Verkehrs, wie es von PTV VISUM berechnet wurde, wird nicht verwendet und durch die Tageskapazität ersetzt. Dies wirkt sich positiv auf die Stabilität des Modells und das Konvergenzverhalten aus. Die Kfz-Belastung ist somit fixiert und ändert sich nicht mit jedem Modelllauf. Die Angaben zur Gestaltung der Strecke sind im Attribut „Rad_Gestaltung“ hinterlegt. Den Ausprägungen der beiden Einflussfaktoren wurden Faktoren mit einem Wertebereich von -0,4 (Reduzierung der Fahrzeit um 30 Prozent) bis +0,8 (Erhöhung der Fahrzeit um 80 Prozent) zugeordnet. Die den Ausprägungen zugeordneten Faktoren sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Gestaltung	Codierung	Faktor KGM	Faktor Routenwahl
Sonstige / unbekannt	0	+0,10	+0,00
Verkehrsberuhigter Bereich / Tempo-30-Zone	1	-0,20	-0,30
Hauptstraßen	2	+0,20	+0,10
Grün	3	-0,20	-0,10
Landwirtschaftlich geprägt	4	-0,20	-0,20
Straße >= 50 km/h ohne Radweg	5	+0,40	+0,30
Fahrradstraße + Gegenrichtung einer Einbahnstraße erlaubt	6	-0,10	-0,10
Schutzstreifen an Hauptstraße	7	+0,05	-0,15
Gemeinsamer Rad- und Fußweg oR	8	-0,20	-0,20
Rad(schnell)weg Zweirichtung	9	-0,20	-0,20
Radschnellverbindung	10	-0,40	-0,40

Tabelle 38: Widerstandsfaktoren des Attributs „Rad_Gestaltung“

Kfz-Verkehrsstärke	Faktor KGM	Faktor Routenwahl
< 5.000	-0,20	-0,10
< 10.000	+0,10	+0,20
< 15.000	+0,20	+0,30
< 20.000	+0,30	+0,20
< 24.000	+0,40	+0,50
< 40.000	+0,60	+0,50
≥ 40.000	+0,80	+0,80

Tabelle 39: Widerstandsfaktoren des Attributs „Rad_Kfz-Verkehr“

Anstatt den Standardwerten können für ausgewählte Strecken auch individuelle Widerstandsfaktoren vergeben werden. Diese sind dazu in die Attribute „Rad_Widerstandsfaktor_Gestaltung_Korrektur“ und „Rad_Widerstandsfaktor_Korrektur“ einzutragen. Bei der Berechnung des Streckenwiderstands werden sie von Visum erkannt und berücksichtigt. Von Seiten des Auftraggebers sollte diese Möglichkeit nicht eingesetzt werden. Stattdessen wurde eine systematische Verbesserung der Kalibrierung vorgenommen.

Aus den dargelegten Widerstandsfaktoren der Gestaltung und der Kfz-Verkehrsstärke sowie der steigungsabhängigen Fahrzeit Rad_t0 wird der Streckenwiderstand des Radverkehrs, welcher eine empfundene Fahrzeit darstellt, berechnet. Dazu werden die Faktoren der Gestaltung und der Kfz-Verkehrsstärke zu einem Faktor verrechnet. Dieser Faktor wird anschließend mit der steigungsabhängigen Fahrzeit Rad_t0 zum Widerstand des Radverkehrs multipliziert. Die Formel zur Verrechnung der Faktoren der Gestaltung und der Kfz-Verkehrsstärke zu einem Faktor lautet wie folgt.

$$\alpha * \text{Kfz} + \beta * \text{Gestaltung} + 1$$

Die Parameter α und β erlauben eine Gewichtung der Widerstandsfaktoren der Gestaltung und der Kfz-Verkehrsstärke. Im Rahmen der Kalibrierung wurden verschiedenen Setzungen dieser Faktoren getestet und im Hinblick auf die Ergebnisse der Umlegung des Radverkehrs bewertet. Die besten Ergebnisse ergaben sich mit $\alpha = 0,368979$ und $\beta = 0,478804$. Diese Gewichtung ist im Modell implementiert. Somit lautet die Formel zur Berechnung des Streckenwiderstand des Radverkehrs aus der steigungsabhängigen Fahrzeit Rad_t0 (vgl. Tabelle 37) sowie den Widerstandsfaktoren der Gestaltung (vgl. Tabelle 38) und der Kfz-Verkehrsstärke (vgl. Tabelle 39) wie folgt.

$$\text{Rad_t0} * (0,368979 * \text{Kfz} + 0,478804 * \text{Gestaltung} + 1)$$

Die in den allgemeinen Verfahrenseinstellungen in der Definition des Streckenwiderstand des Radverkehrs hinterlegte Formel ist in Abbildung 23 dargestellt:

Widerstand für Verkehrssystem Rad (Strecken)

Anzahl:	Koeffizient	Attribut	Op.	Koeffizient	Attribut
1	0.368979	Rad_Widerstands faktor_Kfz-Verkehr ...	*	1.000000	Rad_t0 ...
2	0.478804	Rad_Widerstands faktor_Gestaltung ...	*	1.000000	Rad_t0 ...
3	1.000000	Rad_t0

Abbildung 23: Streckenwiderstand des Radverkehrs

Der resultierende Radwiderstand stellt eine empfundene Fahrzeit dar. Diese basiert auf der t0-Zeit. Sie wurde angepasst, um die Wirkung der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Routenwahl in deren Modellierung zu integrieren.

Ergebnisse

Als Ergebnis liegt ein Netzgraph vor, welcher aufbauend auf dem aktualisierten Netzgraphen für den Straßenverkehr:

- ▶ alle relevanten Strecken für den Radverkehr im Planungsraum und im Umland enthält
- ▶ eine konsistente netzweite Streckenattributierung für den Radverkehr enthält, einschließlich der verfügbaren und relevanten Streckenmerkmale für den Radverkehr
- ▶ mit einem Radwiderstand attribuiert ist, in dessen Berechnung die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Routenwahl von Radfahrern einfließen und so in die Modellierung der Routenwahl einbezogen werden können

3.4 Fußgängerverkehr

Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
Netzgraph Straße/Rad	aktueller Netzgraph für den Straßen- und Radverkehr

Tabelle 40: Datenquellen und -formate Fußverkehr

Methodischer Aufbau und Umsetzung

Der Fußverkehr wird in PTV VISUM unter dem Verkehrssystem „Fuß“ geführt.

Der Netzgraph für den Straßen- und den Radverkehr ist gleichzeitig die Netzgrundlage für den Fußgängerverkehr. Für den Fußgängerverkehr werden alle Strecken freigeschaltet mit folgenden Ausnahmen:

- ▶ Autobahnen, Bundesstraßen
- ▶ mehrspurige Straßen außerorts

Fehlende Fußwegverbindungen mit relevanter Netzverbindungsfunction können punktuell als eigener Streckentyp ergänzt werden.

Es wird eine Geschwindigkeit v_0 von 4 km/h festgelegt. Die Festlegung gilt netzweit und für alle Streckentypen. Für die Berechnung der Aufwandsmatrizen für den Fußgängerverkehr sind die folgenden Kenngrößen von Bedeutung:

- ▶ Reiseweite
- ▶ Reisezeit

Die Kenngrößen für den Fußverkehr wurden wie folgt ermittelt:

- ▶ Berechnung Kenngrößen Reiseweite und Reisezeit aus den Streckenattributen Entfernung und t_0 Fuß
- ▶ ggf. Bearbeitung der Kenngrößen Reiseweite und Reisezeit mit „Abkürzungsfaktor Fuß“ im Rahmen der Kalibrierung. Dieser Abkürzungsfaktor bildet pauschal Abkürzungen und Verbindungen für den Fußgängerverkehr ab, die nicht im Modell abgebildet sind.

Ergebnisse

Als Ergebnis liegt ein Verfahren vor, welches geeignete Kenngrößenmatrizen für den Fußgängerverkehr liefert, die in die Nachfrageberechnung eingehen.

3.5 Aufbereitung von Zähldaten

Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Dauerzählstellen MIV	als benutzerdefiniertes Attribut Strecken vorliegend	AG/SPA München 2015-2019
SVZ-MIV	als benutzerdefiniertes Attribut Strecken vorliegend	AG/SPA München 2019
Eintageszählungen MIV	als Streckenattribut für das VNM-MUC vorliegend	Manuelle Erhebungsdaten LHM
Zählstellen LVM-BY	Daten der BASt und SVZ als Zählstellen vorliegend	LVM-BY 2015
ADZS MIV	Stundenwerte der ADZS im Umland zur Ableitung des DTV _{Di-Do}	Landesbaudirektion Bayern 2019
VVDM-Radnetz	Radnetz des VVDM-Projektes mit hochgerechneten Zählwerten	VVDM-Radnetz
MVV-Landkreishefte (Basisdaten Mobilität) als pdf-Dokument,	Strecken und Haltestellenbelastungen als Tageswerte für S-Bahn	MVV Erhebung 2016, Veröffentlichung 2021
	Einstiger in Regionalbuslinien, Tageswerte pro Landkreis	MVV Erhebung 2019, Veröffentlichung 2021
Linienbeförderungsfälle	Benutzerdefiniertes Attribut an ausgewählte MVG-Linien, Tages- und Stundenwerte	MVG Datenstand 2018/2019
Querschnittsbelastungen U-Bahn, Tram und Bus	Benutzerdefiniertes Attribut an Strecken; Tages- und Stundenwerte	MVG Datenstand 2018/2019
Ein-/Aussteigerzahlen für U-Bahn, Tram und Bus	Benutzerdefiniertes Attribut für Haltepunkte und Haltestellen (U-Bahn), Tages- und Stundenwerte	MVG Datenstand 2018/2019 U-Bahn 2016/2017

Tabelle 41: Eingangsdaten für die Aufbereitung der Zähldaten

Methodischer Aufbau und Umsetzung

Pkw- und Lkw-Zähldaten

Die MIV-Zähldaten des Stadtplanungsamts München waren im Vorgängermodell des VNM-MUC als benutzerdefinierte Attribute hinterlegt. Sie stammen aus Erhebungen der Jahre 2015 bis 2019.

Die Werte wurden in den vereinfachten Netzgraphen übernommen. Die Zähldaten werden als VISUM-Netzobjekte „Zählstelle“ verwaltet. Dadurch entsteht eine höhere Flexibilität bei der grafischen Darstellung und eine punktgenaue Zuordnung. Im Falle eines Streckensplits ist somit eindeutig, zu welcher Strecke die Zählstelle gehört. Das Netzobjekt Zählstelle ist verbunden mit

dem Netzobjekt Strecke. Querauswertungen sind möglich. Die Zählstellen der BASt und der SVZ wurden aus dem LVM-BY übertragen und im Netz verortet.

Zudem wurden von der Landesbaudirektion Bayern für die ADZS der Staats- und Kreisstraßen Stundenwerte bereitgestellt, aus denen die Werte für den DTV_{Di-Do} abgeleitet werden konnten.

TypNr	Beschreibung	Anzahl
0	Keine Daten für Pkw und Lkw	5.161
1	MUC	4.566
2	SVZ19	585
3	ADZ19	175
4	SVZ15	3.472
5	DAVe	589
9	ÖV	186
	Summe	14.734

Tabelle 42: Datenquelle

Die Plausibilität der Zähldaten für Pkw und Lkw wurde im Rahmen der Validierung überprüft. Für die weitere Verwendung im VNM-MUC wurden benutzerdefinierte Attribute an den Zählstellen hinterlegt, welche die Bedeutung der jeweiligen Zählstelle für das Modell sowie die Qualität der Daten kategorisieren und für das Modell handhabbar machen. In den folgenden zwei Tabellen werden die Attribute dargestellt:

Code	Beschreibung	Anzahl
1	Auswahl MOR, mit Werten	301
2	Zählstelle BAB, B ao/io und Mittlerer Ring	1.157
3	Zählstellen auf S, K, G, sowie HS	6.257
4	Zählstellen auf Erschließungsstraßen	1.676
9	ÖV-Zählstellen	5.343
	Summe	14.734

Tabelle 43: Kategorie der Zählstellen (BDA „VAL_KAT“)

Code	Beschreibung	Anzahl
-1	Keine Werte	5.348
1	Auswahl MOR	298
2	Sichtkontrolle innerhalb MUC auf Plausibilität, Zähldaten aus den Jahren 2019 bis 2020	2.117
3	weitestgehend Sichtkontrolle innerhalb MUC, Zähldaten aus 2016/2017	1.211

Code	Beschreibung	Anzahl
4	Zählstellen, die älter sind als 2016	4.495
5	Aussortierte, doppelte Zählstelle	42
9	Nicht für Auswertung verwendet, mit Kommentar in BDA „Anmerkung_PTV“	1.223
	Summe	14.734

Tabelle 44: Qualität der Zählstellen (BDA „VAL_QUALI“)

Für die Kalibrierung verwendet wurden grundsätzlich alle Zählstellen, die den folgenden Kriterien entsprechen:

- ▶ TypNr in (1, 2, 3, 5) und
- ▶ VAL_KAT in (1, 2, 3, 4) und
- ▶ VAL_QUALI in (1, 2, 3).

Zählstellen, die nach Qualitätsprüfung und anschließender Rücksprache mit dem AG für die Kalibrierung verworfen wurden, wurden mit VAL_QUALI = 9 kodiert und diese im Kommentarfeld kurz erläutert. Gründe für die Aussortierung waren u.a.

- ▶ Unerklärliche Sprünge bei benachbarten Zählstellen
- ▶ Zählstellen in der Nähe von Anbindungen
- ▶ Zählstellen auf gesperrten Strecken
- ▶ Zählstellen mit Sondereffekten, z.B. vorübergehende Vollsperrungen.

Darüber hinaus wurden von der Stadt München einige Zählstellen der VAL_QUALI-Kategorie 4 aus den Jahren 2014 und 2015 selektiert, für die aufgrund wichtiger Planungsprojekte eine gute Modellqualität wünschenswert ist. Diese wurde nach Abstimmung aber nicht für die Berechnung des SQV verwendet.

Insgesamt wurden für die Berechnung der Kalibrierungskenngrößen im Dashboard 3.625 Zählstellen verwendet (siehe auch Abschnitt 11.2).

Zähldaten sind, wie alle empirischen Werte, mit Unsicherheiten behaftet. Bei einem Vergleich zwischen Modellwerten und Zählwerten muss der Aspekt der Erfassungsgenauigkeit der unterschiedlichen Erhebungsmethoden in Betracht gezogen werden. Zudem zeigen sich bei Auswertungen von Verkehrsstärken oft Schwankungen bzgl. der erfassten Tage. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Verteilung der Verkehrsstärken für alle Werkstage (Mo-Fr) des Jahres 2014 außerhalb der Ferienzeit an der Dauerzählstelle der B2 bei Weißenburg in Bayern (Zst. 9271) - also Tage, die sich theoretisch gleich darstellen sollten.

Gut zu erkennen ist, dass es keinen „typischen“ Werktag gibt, sondern die Volatilität selbst innerhalb der Gruppe der Werkstage außerhalb der Ferienzeit unsystematisch groß ist. Die Gründe hierfür liegen in externen globalen Einflüssen (z. B. Wetter), externen lokalen Einflüssen (Störungen und Baustellen auf der Strecke oder im benachbarten Netz), aber auch in der Summe zahlreicher individueller Einzelentscheidungen, die zu keinem konstanten Verhalten der Gesamtbe-

völkerung führen. Die Aufgabe des Verkehrsmodells ist es, aus dieser Bandbreite an Verhaltensmustern einen „typischen“ oder „mittleren“ Tag zu identifizieren, obwohl es diesen in der Realität nicht gibt.

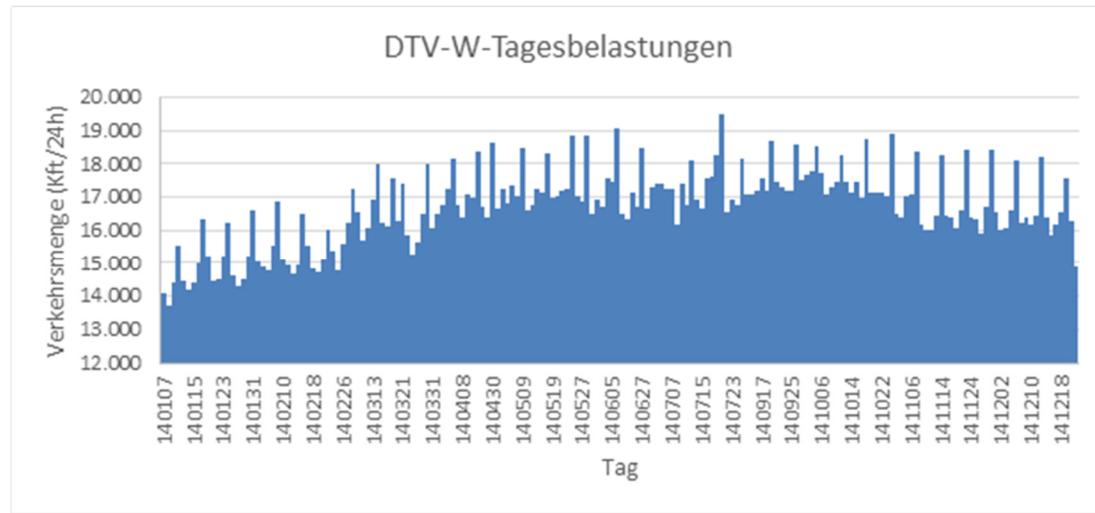


Abbildung 24: Jahresganglinie der Tagesverkehrsaufkommen für Werkstage (Beispiel)

Weiterhin gibt es, wie erwähnt, ein Zählstellen-BDA „Anmerkung_PTV“ mit Hinweisen zur Nutzung bzw. Nichtnutzung der Zählstellen.

Verkehrszählungen der Stadt München (DAVe)

Die relevanten Zähldaten aus den Jahren 2014 bis 2019 wurden über eine Schnittstelle aus dem DAVe-System ins Netzmodell übertragen.¹¹ Dabei wurden die folgenden Kategorien berücksichtigt:

Code	Beschreibung
N	Normalzählung
H	Hauptverkehrsrichtung/Oberfläche
Q	Querschnitt
QB	Bahnschnitt (Querschnitt)
QH	Querschnitt/Hauptverkehrsrichtung/Oberfläche
QI	Isarschnitt (Querschnitt)
QR	Querschnitt Radverkehr
QS	Stadtgrenzenzählung (Querschnitt)
QT	Querschnitt Tunnel/Unterführung

¹¹ Daten aus DAVe waren erst gegen Ende der Kalibrierungsarbeiten verfügbar. Deshalb wurden die MUC-Daten statt der DAVe-Daten für die Feinkalibrierung verwendet.

R	Radverkehrszählung
T	Tunnel/Unterführung/Tief
TK	Teilknoten

Tabelle 45: DAVe-Kategorien

Für jede Kategorie wurde ein spezieller BDA-Satz angelegt. Das war erforderlich, da eine Zählstelle mehrere Kategorien enthalten kann und somit eine klare Zuordnung der Werte gegeben ist. In der folgenden Übersicht wird als Beispiel der BDA-Satz für die Kategorie „Normalzählung (N)“ abgebildet und erläutert:

BDA	Beschreibung
M010-N_Jahr	Zähldatum
M011-N_Info	Zeitraum der Zählung Spitzenstunde (z.B. 2x4h 7.00 - 8.00)
M012-N_Kfz	Tageswert Kfz (hochgerechnet bzw. gezählt)
M013-N_SV	Tageswert SV (hochgerechnet bzw. gezählt)
M014-N_SVAnteil	Tageswert SV-Anteil (hochgerechnet bzw. gezählt)
M015-N_GV	Tageswert GV (hochgerechnet bzw. gezählt)
M016-N_Kfzh	Zählwert Kfz/h
M017-N_SVh	Zählwert SV/h
M018-N_Bem	Bemerkungen, falls vorhanden
M019-N_Rad	Zählwert Rad

Tabelle 46: BDA für DAVe-Kategorie N

Bei der Interpretation der Zählwerte ist zu beachten, dass bei 24-Stunden-Zählungen die Zählwerte dargestellt sind, bei allen anderen Zählungen Hochrechnungswerte.

Bei Zählungen, an denen zusätzlich Radverkehre erfasst wurden, ist jeweils das Attribut „M019“ mit den konkreten Zählwerten belegt.

Außer bei den Kategorien, welche Radverkehrszählungen zum Inhalt haben, ist die Struktur der BDA allen Kategorien identisch.

Um eine strukturierte Auflistung der BDA zu ermöglichen, wurden laufende Nummern verwendet, die entsprechend den Inhalten wie folgt klassifiziert sind:

Bereich	Datenkategorie
M000 - M009	allg. Angaben zur Zählstelle
M010 - M019	Normalzählung (N)
M020 - M029	Hauptverkehrsrichtung / Oberfläche (H)
M030 - M039	Querschnitt (Q)
M040 - M049	Bahnschnitt (Querschnitt) (QB)

M050 - M059	Querschnitt / Hauptverkehrsrichtung / Oberfläche (QH)
M060 - M069	Isarschnitt (Querschnitt) (QI)
M070 - M079	Querschnitt Radverkehr (QR)
M080 - M089	Stadtgrenzenzählung (Querschnitt) (QS)
M090 - M099	Querschnitt Tunnel / Unterführung (QT)
M100 - M109	Radverkehrszählung (R)
M110 - M119	Tunnel/ Unterführung / Tief (T)
M120 - M129	Teilknoten (TK)

Tabelle 47: BDA der DAVe-Zählstellen

Der Bereich M000 bis M009 ist für allgemeine Angaben zur jeweiligen Zählstelle vorgesehen. Es werden sechs Bereiche entsprechend der folgenden Auflistung verwendet:

M000-ZS_DAVE-ID	DAVe-Nummer [125745]
M001-ZS_ARM	Lage des Knotenarmes [02]
M002-ZS_ART	Kategorien [N R]
M003-ZS_INFO	
M004-ZS_KALI	Information für eine Verwendung zur Kalibrierung
M005-ZS_JAHR_AKT	Jahr/Monat der aktuellen Zähldaten [z.B. 19/07]

Die DAVe-IDs entsprechen exakt der Nummerierung aus dem DAVe-System. In Verbindung mit dem BDA „M001-ZS_Arm“ und „M002-ZS_Art“ wird eine eindeutige Zuordnung der jeweiligen Zählstelle gewährleistet. Da eine Zählstelle mehrere Kategorien enthalten kann, können im BDA „M002-ZS_Art“ mehrere Kategorien aufgeführt sein.

Die BDA „M003-ZS_Info und „M004-ZS_Kali“ sind für Einträge der Bearbeiter gedacht. So können im letzteren BDA verschiedene Informationen zur Verwendung der jeweiligen Zählstelle zur Modellkalibrierung abgelegt werden.

Im BDA „M005-ZS_JAHR_AKT“ ist der Zeitbezug der Zähldaten vermerkt. Werden aktuellere Zähldaten aufbereitet, werden die entsprechenden BDA mit diesen Werten überschrieben und das erwähnte BDA aktualisiert. Das erfolgt nur bei Zähldaten des MIV (Kfz bzw. Kfz/h).

Bei künftig erforderlichen Ergänzungen von Zählstellen ist zu beachten, dass beim BDA „M001-ZS_Arm“ stets die Knotenarme nach dem folgenden Grundschema zu benennen sind.

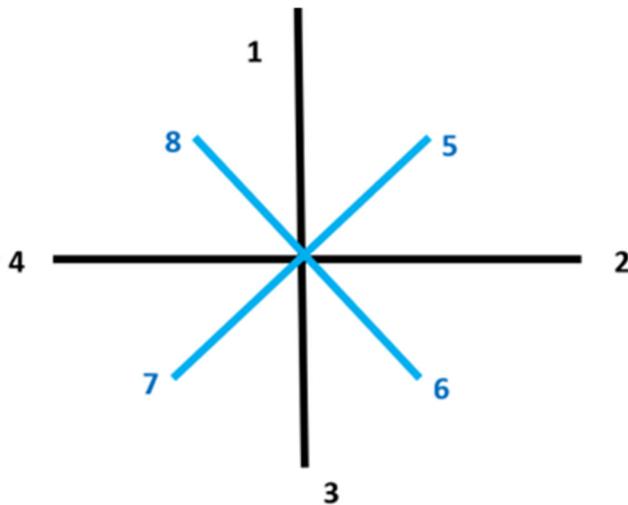


Abbildung 25: Armbezeichnungen an Knoten (DAVe-Systematik)

Die Knotenarme sind entsprechend der Verkehrsrichtung zu attribuieren, das heißt vom Knoten abfließende Richtungen sind mit „0x“ zu belegen, die Gegenrichtung mit „x0“.

Aufgrund der Netzstrukturen können nicht alle Zählstellen aus dem DAVEe-System übertragen werden. Gründe dafür sind z. B. nicht modellierte Strecken (Zufahrten in Tiefgaragen, auf Parkplätze o. Ä.) und Netzvereinfachungen (Zusammenfassung von Fahrbahnen).

Die folgende Übersicht enthält die nicht berücksichtigen Zählstellen:

DAVe-ID	Arm	Bemerkung
53206	20	Zufahrt Parkplatz
53206	02	
222501	01	Ast nicht vorhanden
222501	10	
14104	02	Zufahrt Tiefgarage
231501	50	
231501	05	Ast nicht vorhanden
223103	20	Zufahrt Werstoffhof
223103	02	
193101	10	nicht darstellbar
73402	03	nicht darstellbar
123602	40	
123602	70	nicht darstellbar
123601	alle	identisch mit 123602
34209	01	
34209	04	nicht darstellbar
11304	alle	Zählwerte unplausibel
171302	alle	Zählwerte unplausibel
14107	04	
14107	40	nicht darstellbar
31201	04	
31201	30	nicht darstellbar
31201	01	
223402	alle	nicht darstellbar (QS)
73205	30	identisch mit 01
127009	40	
127009	02	nicht darstellbar
127010	20	
127010	04	nicht darstellbar
72101	10	
72101	03	nicht darstellbar (QT)
127008	20	
127008	04	nicht darstellbar

Tabelle 48: Nicht berücksichtigte DAVe-Zählstellen

Radverkehr

Für den Radverkehr liegen im VVDM-Radnetz Radzähldaten mit hochgerechneten Werten für den Normalwerktag vor. Diese Zähldaten wurden in das Modell übernommen.

ÖV-Zähldaten

Die Aufbereitung der Erhebungsdaten ÖV erfolgte im Rahmen der Netzerstellung. Die Tabelle 41 zeigt die Datenquellen für die ÖV-Zählwerte. Die MVG-Zähldaten wurden unmittelbar als benutzerdefinierte Attribute der Netzelemente (Strecken, Linien, Haltestellen, Details siehe nachfolgenden Abschnitt) hinterlegt. Die Daten aus den Landkreisheften wurden digitalisiert und ebenfalls in PTV VISUM als benutzerdefiniertes Attribut übernommen.

Aufgrund der Vertraulichkeit einiger Daten wurden spezielle Datensätze nicht in das Modell übernommen. Diese Daten finden sich dann direkt in den unternehmensspezifischen Dashboards von MVV und MVG.

Zusätzlich zu den übernommen Zähldaten wird das Verkehrsmodell so erweitert, dass Modellwert und Zählpunkt direkt in PTV VISUM-Listen verglichen werden können und dort die Kalibrierungsqualität sichtbar ist. Dafür wurden für die verschiedenen Kalibrierungszielgrößen (Streckenquerschnitt, Linieneinstieger, Haltestellenbelastung usw.) jeweils ein Set an benutzerdefinierte Attribute ergänzt, die dem folgenden Namensschema entsprechen:

- ▶ Modellwert und Zählpunkt („...Modell...“, „...Zaehl ...“)
- ▶ Differenz Modellwert - Zählpunkt („...Diff_M-Z...“)
- ▶ relative Abweichung Modellwert und Zählpunkt in Prozent („...relAbw...“)
- ▶ das Gütekriterium SQV-Wert („...SQV...“)
- ▶ Symmetriewert¹² für Streckenquerschnitte („...Symme...“)

Der SQV-Wert der Kalibrierungszielgrößen wird wie folgt berechnet:

$$g_{sqv} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{(m - c)^2}{f \cdot c}}}$$

mit

g_{sqv} Gütemaß SQV

m Wert des Modells

c Wert der Erhebung

f Skalierungsfaktor

Abbildung 26: Formel zur Berechnung des SQV-Wertes

Die zur Kalibrierung herangezogen ÖV-Daten haben eine erhebliche Spannweite von mehrere Zehnerpotenzen, sie reicht von der Größenordnung 10^6 (Beispiel: Linienbeförderungsfälle eines Unternehmens) über die Größenordnung 10^5 (Screenlinies, Haltestellen- oder Linieneinstieger im Hauptliniennetz) bis 10^4 („kleine“ Querschnitte und Linien). Der Skalierungsfaktor f des SQV-

¹² Ein Symmetriewert wird gebildet, wenn die originalen Daten als Richtungswerte vorliegen. Dargestellt wird der Anteil des kleineren Richtungswertes am Querschnittswert. Der Sinn ist, dass extreme Richtungsüberhänge erkannt und – falls hier ein Fehler vorliegt – behoben werden.

Wertes ist dafür vorgesehen, das Gütemaß SQV an die Größenordnung der zu beurteilenden Werte anzupassen. Für den ÖV im VNM-MUC wird folgende Festlegung getroffen.

- ▶ Werte bis 5.000: Skalierungsfaktor 1.000
- ▶ Werte bis 50.000: Skalierungsfaktor 10.000
- ▶ Wert 50.000 bis 100.000: Skalierungsfaktor 50.000
- ▶ Wert 100.000 bis 200.000: Skalierungsfaktor 100.000
- ▶ Wert 200.000 bis 1.000.000: Skalierungsfaktor 200.000
- ▶ Wert über 1.000.000: Skalierungsfaktor 1.000.000

ÖV-Streckenquerschnitte: Die Zählwerte wurden vom AG als richtungsbezogene Streckenwerte (MVG, Bus, Tram, U-Bahn) und oder als Querschnittswerte (S-Bahn und SPNV) übergeben.

Die originalen Daten der MVG liegen als benutzerdefinierte Streckenattribute (Name beginnt mit „ZAEHL_STRECKENBELASTUNG_MVG“) vor. Aufgrund der Vertraulichkeit der Daten wurden keine Daten für die S-Bahn und die weiteren SPNV-Linien in das Modell übernommen.

Für kalibrierungsrelevante Querschnitte wurden Zählstellen angelegt und nach Abstimmungen 186 Querschnitte ausgewählt. Richtungswerte wurden zu einem Querschnittswert zusammengefasst.

Die oben beschriebenen benutzerdefinierten Standardattribute sind an den VISUM-Zählstellen verfügbar. Die ÖV-Zählstellen haben unter dem Standardattribut „Code“ den Eintrag „OEV“. Dazu gibt es das Zählstellenattribut „Name“ mit den Einträgen „MVG“, „S..“ und „U“. Beide Attribute werden für Filtereinstellungen benutzt. Es gibt folgende Darstellungsmöglichkeiten der Kalibrierungszielgröße ÖV-Streckenbelastung in PTV VISUM:

- ▶ Zählstellenliste: „Kali ÖV Zählstellen.lla“, zusammen mit „Kali ÖV Zählstellen.fil“
- ▶ Karte und Liste: Gesamtlayout-Dateien „Kali ÖV7 MVG-Zählstellen_Zaehlbelastung.lay“ oder „Kali ÖV7 MVG-Zählstellen_OEV-Umlegung.lay“

ÖV-Haltestellenbelastung: Die von der MVG übergebenen originalen Zählwerte liegen als benutzerdefiniertes Haltepunktsattribut (Attributname beginnt mit „Zaehl...“) für die Einsteiger und Aussteiger als Tages- und als Stundenwerte vor.

Die Ein- und Aussteiger pro Haltestelle sind keine Kalibrierungszielgröße. Sie sind aber ein wichtiges Diagnosewerkzeug für die ÖV-Feinkalibrierung und werden deswegen trotzdem in vergleichbarer Form zu den anderen Kalibrierungszielgrößen aufbereitet.

Die Ein- und Aussteigerwerte werden gemittelt (Kennzeichnung in PTV VISUM: „...EAMittel...“), das erleichtert den Niveauvergleich mit anderen Zielgrößen wie Linieneinsteiger. Die Werte der Haltestellenbelastung enthalten auch die Umsteiger.

Für die Kalibrierung ist ein Vergleich der Ein- und Aussteiger *pro Haltepunkt* nicht sachgerecht. Im Modell wird, um den Zugang zum ÖV abzubilden, eine Anbindung von einem Bezirksschwerpunkt (als Stellvertreter der Hauseingänge) zu einem Stellvertreter-Haltestellenbereich geführt. Dieses Arbeitsprinzip ist eine gute und effiziente Näherungslösung, jedoch ergibt sich

zwangsläufig im Modell eine leicht andere Verteilung der Einsteiger auf die vorhandenen Haltestellen als in der Realität. Ein Vergleich auf Ebene *einzelner* Haltestellen kann zu falschen Schlüssen führen.

Für *größere Mengen* von Haltepunkten wird ein Vergleich jedoch aussagekräftig und nützlich. In der Stadt München liegt die administrative Gliederung in 25 Stadtbezirke vor und die Haltestelleninformation werden für diese 25 Stadtbezirke zusammengefasst. Die räumliche Zusammenfassung bietet die Möglichkeit systematische Verschiebungen zu erkennen, z. B. die Balance zwischen der Innenstadt und zentrumsfernen Stadtteilen.

Für den Vergleich auf Stadtbezirksebene wird eine Pol-Kategorie Nr. 2003 ("Kali ÖV3 MVG HP-EA Stadtbezirke") eingeführt und mit den Haltepunkten verbunden. Damit können die Modell- und Zählwerte aggregiert für Stadtbezirke in der Liste für Pol 2003 angezeigt und zusätzlich in Karten dargestellt werden. Insgesamt gibt es folgende Darstellungen der Haltestellenbelastung in PTV VISUM:

- ▶ Liste und Karte für MVG-Haltepunkte mit Modell- und Zählwerten:
„Kali ÖV4 MVG HP-EA Stadtbezirke.lay“
- ▶ Liste und Karte für S-Bahn und SPNV-Linien im MVV-Gebiet, Auswahl gemäß Landkreisheften: „Kali ÖV1 S-Bahn HP-EA Landkreise.lay“.

Diese Auswertungen nach *Ein-/Aussteiger an Haltestellen nach Stadtbezirken* ist sachgerecht, sie ist die Grundlage der Kalibrierung und wird deshalb im Dashboard erster Stelle dargestellt.

ÖV-Linenbeförderungsfälle der MVG: Für ausgewählte MVG-Linien (Straßenbahn, Bus) wurden Daten zu Linieneinsteiger übergeben. Die benutzerdefinierten Attribute der Zähldaten (Original der MVG) beginnen mit dem Präfix „ZAEHL_“. Maßgebende Linien (Anzahl = 78) wurden mit einem benutzerdefinierten Attribut „Zaehl_LBF_kalirelevant“ gekennzeichnet. Die Abgrenzung, welche Linien maßgebend sind, erfolgte anhand der Kriterien „Zählwert vorhanden und öffentlich“ und Anzahl Linienbeförderungsfälle >2.000 Fahrgäste pro Tag. Das Attribut dient als Filterkriterium. Im Dashboard dargestellt werden diese maßgebenden Linien.

Der Verwendung der Linieninformation als Kalibrierungszielgröße erfordert eine weiche Handlung. Im Modell kann nicht präzise gesteuert werden, dass an einer bestimmten Haltestelle in eine konkrete Linie ein-, aus- oder umgestiegen wird. Hier entsteht im Modell eine Abweichungen a) durch die Anbindephilosophie (siehe obiger Abschnitt „Haltestellenbelastung“) und b) durch den Algorithmus zur Wahl der Umstiegshaltestelle. Abweichungen zwischen Modell und Zählwert *auf der Ebene einzelner Linien* sind modelltechnisch bedingt können nicht immer aufgelöst werden.

Eine zielführende Auswertung auch im Sinne eines Diagnosewerkzeuges ist jedoch gegeben, wenn Linien zu größeren Gruppen zusammengefasst werden. Hier bietet sich an, die Linien nach den Betriebszweigen Bus, Tram und U-Bahn zusammenzufassen. Dadurch können systematische Verschiebungen (Stichwort Schienenbonus) erkannt und behandelt werden.

Die Auswertungen der *Linieneinsteiger gruppiert nach Betriebszweigen* ist die Grundlage der Kalibrierung und wird deshalb im Dashboard an erster Stelle dargestellt.

- ▶ Liste: Kali_LBF_MVG-Linien.lla mit Kali_LBF_MVG-Linien.fil

ÖV-Screenlines der MVG: In der Stadt München wurden zwei ÖV-Screenlines eingearbeitet. Screenlines sind PTV VISUM-Objekte, die die Streckenbelastungen aller Strecken summieren, die von den digitalisierten Polylinien geschnitten werden. In die Auswertung gehen nur Streckenbelastungen der MVG-Linien ein, die ÖV-Screenlines tragen den Code „ÖV“.

- ▶ Karte und Liste: „Kali ÖV3 Screenlines MVG.lay“.

4 Merkmale der Raumstruktur

4.1 Anforderungen

Kategorie	Anforderungen	Resultierende (Teil-)Spezifikation
Raumstrukturdaten	Relevante geografische und sozio-ökonomische Daten sind anforderungsgemäß einzuholen, aufzubereiten und entsprechend zu implementieren.	(Ergänzende) Sammlung der Daten vom AG, aus öffentlich zugänglichen Quellen sowie durch Abfrage bei relevanten Stakeholdern Gemäß vorgesehener VZ-Struktur sind die Daten zu (dis-)aggregieren Die Daten sind fortzuschreiben (Analyse und Prognose) und im Erweiterungsbereich entsprechend zu ergänzen
Datenaufbereitung	Dokumentation eines reproduzierbaren Datenaufbereitungsprozesses.	Transparente Herstellung der Strukturdatenbasis und Nachvollziehbarkeit der Inhalte Plausibilisierung der Datenbasis Kontinuierliche Aktualisierung und Abgleich zu weiteren Datenquellen Möglichkeit der Auswertung und Vergleich der Datenbasis in Bezug auf verschiedene Räume und Zeithorizonte (Bottom-Up und Bottom-Down) Bereitstellung von kompatiblen Importdaten für VNM-MUC Möglichkeit der Nutzung auch für andere Zwecke außerhalb der eigentlichen Nachfrageberechnung (z. B. Visualisierung)

Tabelle 49: Erstellung der Raumstrukturdaten

4.2 Input

Datensatz	Beschreibung	Quelle
Raumstrukturdaten VNM-MUC 2018 und 2035	Einwohner, Erwerbstätige, SV-Beschäftigte, Verkaufsraumflächen, Bildungseinrichtungen und Plätze darin, Freizeitpotenziale, Pendlerdaten, soziale Einrichtungen und Plätze darin für die VZ	MOR, MVV GmbH, MVG und Recherche PTV
Raumstrukturdaten LVM-BY 2015 und 2035/2037	Einwohner, Erwerbstätige, SV-Beschäftigte, Verkaufsraumflächen, Bildungseinrichtungen und Plätze darin, Freizeitpotenziale, Pendlerdaten, soziale Einrichtungen und Plätze darin für die VZ	MOR, MVV GmbH, MVG / PTV
Einwohnerdaten 2019	Bevölkerung nach Altersklassen auf Ebene der Baublöcke	Statistisches Amt München
Pol Daten vom MVV	Standorte des Einzelhandels, Freizeit, Dienstleistung, Verwaltung, teilw. mit Flächenangaben (Stand 2008 / Ergänzung durch Daten aus OSM)	MVV GmbH

Datensatz	Beschreibung	Quelle
Pol Daten aus OSM	Standorte des Einzelhandels, Freizeit, Dienstleistung, Verwaltung, kategorisiert	OSM / PTV
Zentrenkonzept	Standorte mit Verkaufsraumflächen in München (Stand 2012)	MOR
Regionales Einzelhandelskonzept	Verkaufsraumflächen für Gemeinden im Umland (Stand 2006)	Regionaler Planungsverband München
Einwohner 2019	Einwohner nach Altersklassen für Gemeinden	Genesis Bayern ¹³
Erwerbstätige 2019	Erwerbstätige (SV-Beschäftigte am Wohnort) für Gemeinden	Genesis Bayern
Arbeitsplätze 2019?	Arbeitsplätze (SV-Beschäftigte am Arbeitsort) für Gemeinden	Genesis Bayern
Erwerbstätige 2019	Alle Erwerbstätigen (Wohnort) und Arbeitnehmer (Arbeitsort) für Kreise	Genesis Bayern (Erwerbstätigenerrechnung des Bundes)
Bildungseinrichtungen 2019	Kita- und Schulplätze nach Schultypen für Gemeinden	Genesis Bayern
Siedlungsflächen	Vektordaten, Beschreibung der topographischen Objekte (Siedlungsflächen) der Landschaft	Digitales Basis-Landschaftsmodell (DLM 250)

Tabelle 50: Quellen der Raumstrukturdaten

4.3 Raumstrukturdaten

Für die Berechnung der Verkehrs nachfrage - Berechnungsschritt der Verkehrserzeugung - werden sämtliche Raumstrukturdaten für Planungsraum und Umland auf Ebene der Verkehrszellen aufbereitet. Dazu werden die Daten gesichtet, hinsichtlich Vollständigkeit und Konsistenz geprüft und ggf. plausibilisiert. Anschließend erfolgt (nötigenfalls) die Verteilung übergeordneter Daten auf die Verkehrszellen durch Zuordnung, Aggregation, Disaggregation und/oder mit Verschneidung:

- ▶ Zuordnung: Punktuelle Datensätze (entweder direkt über Koordinaten georeferenziert oder unter Zuhilfenahme von Adressdatenbanken aus postalischen Adressen generiert) werden den Verkehrszellen direkt zugeordnet. Quantitative Merkmale können dann auf Ebene der Verkehrszellen zusammengefasst werden.
- ▶ Aggregation: Datensätze, welche im Vergleich mit den Verkehrszellen in höherer Auflösung und ohne Überschneidung der Grenzen vorliegen (z. B. Einwohnerdaten auf Wohnblockebene) werden den Verkehrszellen ebenfalls zugeordnet und auf Ebene der Verkehrszellen zusammengefasst.
- ▶ Disaggregation: Datensätze, welche im Vergleich mit den Verkehrszellen in geringerer Auflösung vorliegen, werden durch Referenzlisten und unter Berücksichtigung von Faktoren / Anteile auf Ebene der Verkehrszellen runtergebrochen.

¹³ Bayrisches Landesamt für Statistik

- ▶ **Verschneidung**: Datensätze für Raumeinheiten, welche sich mit den Grenzen der Verkehrszellen überschneiden, werden mit diesen verschnitten und die Strukturmerkmale über geeignete Verteilungen (z. B. über vorliegende Rasterdaten oder Flächenanteile) auf die Verkehrszellen aufgeteilt.

Eine Kombination der hier beschriebenen Verfahren stellt die Verteilung übergeordneter Daten über Zwischenschritte dar, z. B. die Aufteilung von Kreisdaten zunächst auf Gemeindeebene und anschließend über Siedlungsflächen (oder, wenn nicht verfügbar, über Zensusdaten) auf Verkehrszellen.

Einwohner (wohnberechtigte Bevölkerung)

- ▶ Einwohnerdaten nach Altersklassen liegen für die Analyse für die Landeshauptstadt München auf Ebene von Baublöcken vor. Diese werden den Verkehrszellen durch Überlagerung (Verschneidung) direkt zugeordnet. Für die Prognose liegen Einwohnerdaten auf Ebene der Stadtviertel vor. Vom AG werden Baurauten übergeben, die dann vom AN auf die VZ angewendet werden.
- ▶ Für das Umland liegen die Einwohnerdaten zunächst für die VZ des LVM-BY vor, diese werden auf den aktuellen Stand fortgeschrieben und im Fall von Disaggregation über Siedlungsflächen oder Zensusdaten verteilt.

Erwerbstätige am Wohnort

- ▶ Erwerbstätige am Wohnort liegen für das gesamte Untersuchungsgebiet aus Genesis Bayern auf Gemeindeeben vor, Quellen für detailliertere Daten sind derzeit nicht bekannt. Daher ist vorgesehen, die Verteilung über die relevanten Altersklassen der Einwohnerdaten der VZ vorzunehmen.

Studenten am Wohnort

- ▶ Die Studenten am Wohnort wurden über die relevanten Altersklassen der Einwohnerdaten der VZ abgeschätzt.

Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen

- ▶ Beschäftigte (Arbeitsplätze) liegen in der Landeshauptstadt für Verkehrszellen mit Stand 2019 und im Umland für die VZ des LVM-BY mit Stand 2018 vor. Für SV-Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen liegen die Daten für 2019 auf Gemeindeebene vor; für alle Beschäftigten für 2019 auf Kreisebene. Über die Gemeinde- bzw. Kreisrandsummen werden die Beschäftigtendaten der VZ auf den aktuellen Stand hochgerechnet.

Bildung

- ▶ Kindergarten- und Schulplätze liegen für die Landeshauptstadt München und das Umland als Adressdatenbank bzw. bereits georeferenziert vor und können den VZ (im Fall der Adressdaten nach Georeferenzierung) direkt zugeordnet werden. Hochschulplätze liegen zunächst nur als Eckwerte je Hochschule vor. Diese werden nach Recherche der einzelnen Standorte dann auf die VZ verteilt.

Verkaufsraumflächen

- ▶ Für die Landeshauptstadt München liegen die Verkaufsraumflächen als Adressen und georeferenziert mit Stand 2012 vor und können den VZ direkt zugeordnet werden. Für das Umland liegen die Verkaufsraumflächen mit Stand 2006 für Gemeinden vor. Hier erfolgt die Verteilung über geeignete Indikatoren (z. B. Pol aus OSM). Durch Recherchen wurden die Daten für die wichtigsten Entwicklungen auf den aktuellen Stand fortgeschrieben.

Dienstleistungs- und Freizeitpotenziale

- ▶ Aus dem VNM-MUC liegen Pol für Dienstleistungs- und Freizeitpotenziale mit Stand 2018 vor. Diese werden ergänzt um die Pol, welche in OSM zur Verfügung stehen. Die Standorte werden zunächst kategorisiert (z. B. nach Sport/Freizeit, Verwaltung, Soziales und Kultur) und dann den VZ zugeordnet.

4.4 Datenaufbereitung

Aus dem VNM-MUC sowie dem LVM-BY liegen die Strukturdaten in VISUM-Datenbanken (VZ-Attribute) vor. Darüber hinaus sind Daten in MS-Office-Formaten sowie ESRI-Shapefiles verfügbar. Für die Datenaufbereitung für das neue VNM-MUC soll das bewährte System aus VISUM / MS-Excel verwendet werden.

Zwischen PTV VISUM und den MS-Office-Produkten / QGIS stehen komfortable und teilweise automatisierbare Datenschnittstellen zur Verfügung. Damit besteht die Möglichkeit, aus allen Produkten auf die jeweils leistungsfähigsten Funktionalitäten zurückzugreifen, um Synergien zu nutzen und dabei die erforderliche Konsistenz der Daten zu erzielen.

Zur technischen Implementierung und permanenten Aktualisierung der Zuordnung von Datenmerkmalen zu Verkehrszellen aber auch zur Gewährleistung der Konsistenz und Aktualität der Datensätze untereinander werden innerhalb der oben beschriebenen Systeme, sowie zwischen diesen, geeignete Formeln und Bezüge entwickelt und angewendet. Dabei wird ein bewährtes Konzept einer ausgeglichenen Kombination aus Top-Down-Ansatz und Bottom-Up-Ansatz angewendet:

- ▶ Beim Top-Down-Ansatz liegt der Fokus auf realistischen Verhältnissen zwischen direkt abhängigen Strukturgrößen und deren Eckwerten (z. B. Erwerbstätige am Wohnort und Beschäftigte am Arbeitsplatz) auf einem aggregierten Niveau (z. B. Landeshauptstadt München oder Umland).
- ▶ Demgegenüber umfasst der Bottom-Up-Ansatz die oben beschriebenen Verfahren der Zuordnung und Aggregation. Hier gilt es, die hochauflösend vorliegenden Datensätze zu prüfen, nötigenfalls zu ergänzen und zusammenzuführen.

Durch eine ausgeglichene Kombination der beiden Ansätze wird gewährleistet, dass sich sowohl die Verteilung der Strukturdatenmerkmale im Raum als auch die dazugehörigen Eckwerte (bezogen auf realistische Detailierungsebenen) im Einklang befinden. Insbesondere im Kontext

der Ermittlung der Prognosestrukturdaten werden Verfahren entwickelt und angewendet, welche gewährleisten, dass auch die Ecksummen unterschiedlicher hierarchischer Ebenen zueinander passen.

In einer MS Excel Arbeitsmappe „Strukturdatentabelle“ werden alle Daten zusammengefasst und durch interne Bezüge so verknüpft, dass jederzeit die Möglichkeit der Aktualisierung oder individuellen Anpassung besteht. Das Konzept und die technische Umsetzung sind in einem Memo für zukünftige Nutzer dokumentiert.

5 Verkehrsverhaltensdaten MiD

5.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
MiD 2017 und MiD-MUC 2017	Haushaltsbefragung Mobilität in Deutschland 2017, inklusive Aufstockung für die MVV-Landkreise sowie für die LH München. Datensatzpakete B1, B2, B3	AG
Angebotsmodelle	Netze zum Bestimmen der Kenngrößen für alle Modi	Netzmodelle

Tabelle 51: Eingangsdaten für die Auswertung der Verhaltensdaten

5.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Verwendete Software

Der Datensatz Mobilität in Deutschland (MiD) 2017 wurde vom AG zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um die Datensatzpakete B2 und B3 (Regional- und Lokaldatensatz). Der Standard-Datensatz B1 lag dem AN bereits vor. Unter Verwendung der Programmiersprache Python wurden Routinen zur Datenaufbereitung erstellt. Der Datenaufbereitungsprozess ist dadurch reproduzierbar und mit geringem Aufwand anpassbar.

Verwendung der Datensätze MiD und MiD-MUC

Grundlage für die statistischen Auswertungen sind die Ergebnisse der beiden Erhebungen MiD-MUC 2017 (B3) und MiD 2017 (B1). Der Datensatz der MiD-MUC liefert eine höhere räumliche Auflösung als der Datensatz der MiD, jedoch lassen sich aus dessen sozio-ökonomischer Detailtiefe keine konkreten Zuordnungen zu den Personengruppen vornehmen. Sozioökonomische Analysen, wie z. B. die Anteile der Personengruppen an den Altersklassen, die jeweiligen Mobilitätsraten und die zeitliche Verteilung der Mobilität, wurden deshalb auf der Datenbasis der MiD durchgeführt. Auswertungen, die wesentlich durch die örtlichen Bedingungen (Verkehrsangebot, Topografie) beeinflusst werden, wie z. B. der Modal Split und die durchschnittlichen Reiseweiten, wurden auf Basis des Regionaldatensatzes der MiD ausgewertet. Hierdurch konnten etwaige Kenngrößen auf Kreisebene ermittelt werden.

Filtern und Plausibilisieren der Daten

Die Befragungsdaten der MiD 2017 werden zunächst nach den folgenden Kriterien gefiltert:

- Grundsätzlich werden nur die Datensätze des Bundeslandes Bayern verwendet.
- Es werden nur Fahrten von Mo-Fr außerhalb der Schulferien betrachtet. Bei Studierenden und Rentnern wird der Filter über die Schulferien nicht angewendet, da sonst die verfügbare Stichprobe zu gering wird.
- Wege mit Zweck dienstlich/geschäftlich werden nicht berücksichtigt. Dienstliche bzw. geschäftliche Wege sind im Wirtschaftsverkehrsmodell enthalten.
- In der MiD sind die Daten der Vertiefungsstichprobe München zwar enthalten, es lässt sich aber keine räumliche Zuordnung der Haushalte/Personen/Wege (außer auf Landesebene) vornehmen. Im Modell werden allerdings die Personengruppen nach einer räumlichen Differenzierung (Raumtypen) unterschieden, weshalb für die Analysen entsprechend vergleichbare Datensätze ausgewählt werden müssen. Als Filter für die Auswahl der Datensätze wird die regionalstatistische Raumtypologie des BMVI RegioStaR7 herangezogen (Abbildung 27).

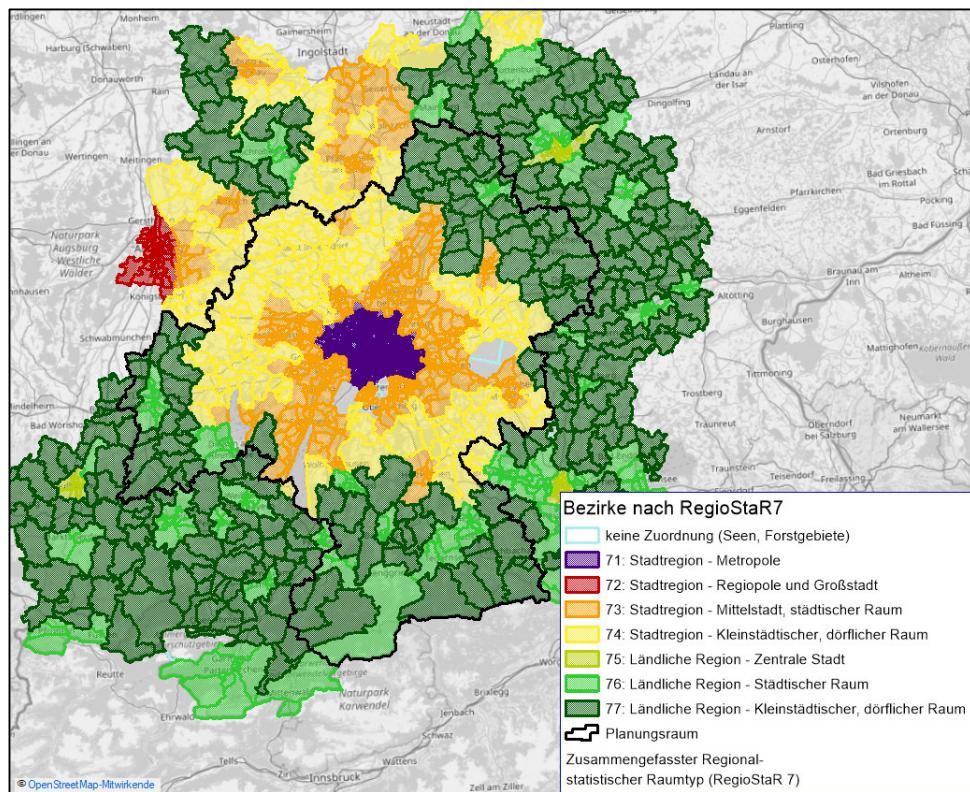


Abbildung 27: Zuordnung Bezirke zu RegioStaR7

- ▶ Für die Auswertung nach den Raumtypen 1 bis 3 (vgl. Kapitel 6.1.2) werden folgende Datensätze zugrunde gelegt:
- ▶ Raumtyp 1: Datensätze mit RegioStaR7 = 71
- ▶ Raumtyp 2: Datensätze mit RegioStaR7 = 73, 74
- ▶ Raumtyp 3: Datensätze mit RegioStaR7 = 76, 77

Die Datensätze werden schließlich noch einer Kontrolle unterzogen mit dem Ziel, die Daten so zu bereinigen, dass jeder Datensatz für die betrachteten Merkmale eine plausible Ausprägung aufweist. Unvollständige Datensätze werden über logische Zusammenhänge ergänzt oder, falls das nicht möglich ist, eliminiert. In den Datensätzen existieren Wegeketten, die nicht geschlossen sind. Im Nachfragemodul VISEM ist ausschließlich die Abbildung geschlossener Wegeketten möglich, weshalb offene Wegeketten entsprechend ergänzt werden.

Das Filtern von Wegen mit unplausiblen Attributen darf die Anzahl der zurückgelegten Wege nicht beeinflussen. Für die Berechnung von Wegehäufigkeiten wird darauf geachtet, dass diese dann trotzdem mitbetrachtet werden.

Auf Basis des gefilterten und plausibilisierten Datensatzes werden verschiedene Ausprägungen der Merkmale Tätigkeit, Pkw-Verfügbarkeit und Dauerkartenbesitz für die weitere Auswertung zusammengefasst und dem Datensatz als neue Variablen hinzugefügt. Diese werden für die weiteren Betrachtungen zur Segmentierung des Modells und zur Ableitung der Kennwerte für den Modellaufbau und die Modellkalibrierung zugrundegelegt.

Bestimmung der Kennwerte für die Erzeugung

Für die Verkehrserzeugung werden folgende Kennwerte extrahiert:

- ▶ Faktoren für die Zuordnung der Einwohner nach Altersgruppen zu den verhaltenshomogenen Personengruppen
- ▶ Anteile der in der MiD differenziert erfassten Zielaktivitäten zu den im Modell definierten Zielaktivitäten zur korrekt gewichteten Bestimmung der Attraktionspotenziale
- ▶ Aktivitätenketten und ihre Häufigkeiten je Personengruppe
- ▶ zeitliche Aufkommensverteilungen der Aktivitätenübergänge für die Bestimmung von stundenfeinen Nachfragematrizen.

Bestimmen der Kennwerte für die Kalibrierung

- ▶ Die Kalibrierung der Zielwahl geschieht anhand der mittleren Reiseweite und der Reiseweitenverteilung je Zielaktivität. Aufgrund der vorgenommenen Verortung der Wege kann dies anhand der Luftliniendistanz erfolgen.
- ▶ Für die Kalibrierung der Moduswahl wird der Modal Split je Personengruppe ausgewertet.

5.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Bereinigter MiD-Datensatz mit plausiblen Datensätzen und vollständigen Ausprägungen relevanter Attribute	Segmentierung nach Personengruppen, Aktivitäten, Raumtypen und Modi
Parameter für die Verkehrserzeugung	Verkehrserzeugung
Modal Split je Personengruppe und mittlere Reiseweite je Zielaktivität	Kalibrierung der Verkehrsmittelkonstanten und der Konstanten für die Luftlinienweite
Reiseweiten- und Reisezeitenverteilung je Personengruppe, Modus, Zielaktivität und Raumtyp	Validierung

Tabelle 52: Ergebnisse der Auswertung der Verhaltensdaten

6 Verkehrsnachfragemodell - (privater) Personenverkehr

6.1 Segmentierung der Nachfrage

6.1.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Verhaltensdaten MiD	siehe Kapitel 5	Ergebnisse der Aufbereitung MiD
Basisstrukturdaten	siehe Kapitel 4	Ergebnisse der Aufbereitung der Raumstrukturdaten

Tabelle 53: Eingangsdaten für Segmentierung der Nachfrage

6.1.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Segmentierung der Nachfrage nach Raumtypen

Die räumliche Differenzierung des Wohnorts im Münchener Raum spielt eine wesentliche Rolle. Untersuchungen zeigen, dass bei der Auswahl von Modi und Zielen eine unterschiedliche Akzeptanz je nach Wohnort (Raumtyp, Stadtgebiet, Umland) vorliegt. Neben raumstrukturellen Gründen, die durch das Modell erklärt werden, können dafür aber auch nicht oder nur schlecht messbare Gründe ausschlaggebend sein. Hier ist beispielsweise die höhere Bereitschaft bei Bewohnern des Umlands, lange Wege zu akzeptieren oder die häufigere Nutzung des Pkw etwa wegen Unkenntnis des ÖV-Angebots, zu nennen. Die Differenzierung des Planungsraumes in Raumtypen wurde untersucht. Dazu wurden zunächst auf der Basis der regionalstatistischen Einteilung RegioStaR7 die MiD-Daten hinsichtlich der Mobilitätskenngroßen untersucht. Es wurden mehrere Vorschläge für die Einteilung nach Raumtypen unterbreitet, diskutiert und abgewogen. Final wurde folgende Einteilung abgestimmt:

- ▶ Raumtyp 1: Verkehrsbezirke LHM
- ▶ Raumtyp 2: Verkehrsbezirke mit Bahnhalt sowie folgende wichtige Städte und Orte ohne SPNV-Haltepunkt, die aufgrund ihrer Größe bzw. Busanbindung ebenfalls als Raumtyp 2 kategorisiert werden (Geretsried, Landsberg am Lech, Dießen, Mainburg, Rottenburg a. d. Laaber, Taufkirchen (Vils), Haag)
- ▶ Raumtyp 3: Verkehrsbezirke ohne Bahnhalt

In Abbildung 28 ist auf Gemeindeebene die Differenzierung des Modellraumes nach Raumtypen dargestellt.

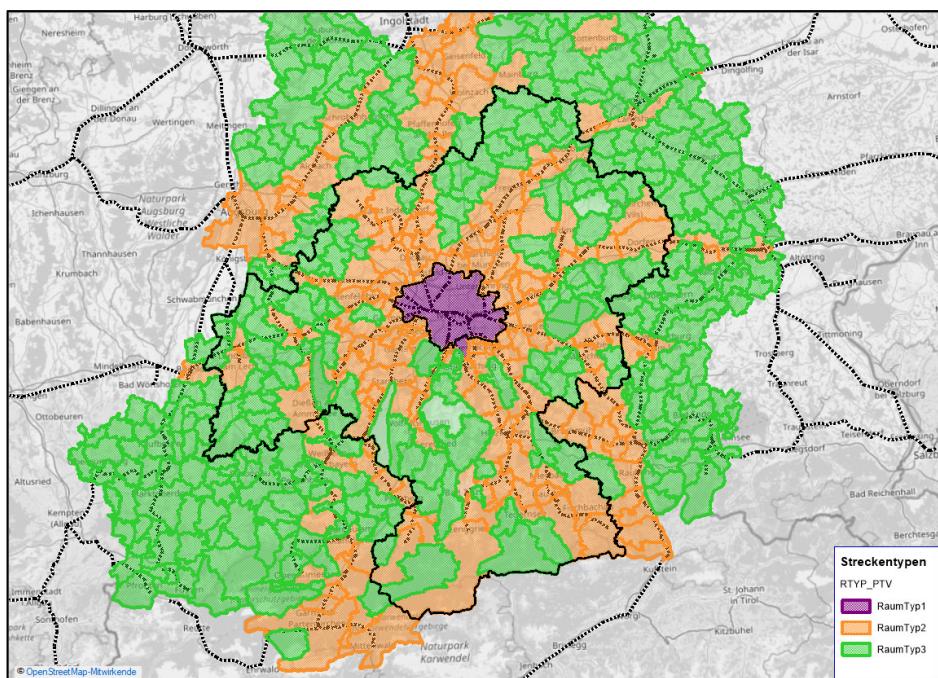


Abbildung 28: Raumtypisierung Modellraum

Segmentierung der Nachfrage nach Personengruppen

Für die Fortschreibung des VNM-MUC wurden die Personengruppen hinsichtlich verschiedener Merkmale untersucht. Angelehnt an die Segmentierung aus dem LVM-BY wurden als mögliche Attribute das Alter, die Haupttätigkeit der Person an einem Werktag, der Dauerkartenbesitz und die Pkw-Verfügbarkeit einbezogen. So können unterschiedliche verkehrliche Präferenzen (z. B. in Hinblick auf den Wegezweck und die Wegehäufigkeit) in Abhängigkeit der Lebenssituation der Person berücksichtigt werden. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zu Haushaltstyp und Haushaltsgröße durchgeführt sowie weitere Betrachtungen angestellt, die im Folgenden beschrieben werden:

- Personengruppen nach Tätigkeit

Entgegen dem früheren Vorgehen wird im neuen VNM-MUC auf eine Differenzierung der Erwerbstätigen nach qualifizierter, einfacher und selbständiger Tätigkeit verzichtet. Es liegen weder auf der Strukturdatenseite noch in den MiD-Daten belastbare Informationen vor, die eine Trennung ermöglichen.

In der Gruppe der Nichterwerbstätigen werden Arbeitslose und Hausfrauen/-männer zusammengefasst, da der Anteil der Arbeitslosen mit weniger als zwei Prozent an den erfassten Personen vernachlässigbar gering ist.

Die Gruppe der Teilerwerbstätigen bleibt erhalten, da sich hier insbesondere über die Raumtypen hinweg anteilmäßige Unterschiede zeigen und die Voll-Erwerbstätigen tendenziell längere Wege haben, wohingegen die Wegehäufigkeit der Teil-Erwerbstätigen höher ist. Aufgrund der ausreichend großen Stichprobe bietet es sich daher an, die Unterteilung der Erwerbstätigen in Voll- und Teilzeiterwerbstätige zu belassen.

► Pkw- und Dauerkarten-Verfügbarkeit

Es wurde untersucht, welches Merkmal mehr Information über das Mobilitätsverhalten liefert, der PKW- oder der Dauerkarten-Besitz. In allen Raumtypen zeigt sich, dass die Verfügbarkeit einer Dauerkarte automatisch die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs erhöht. Die Nicht-Verfügbarkeit einer Dauerkarte führt hingegen zu einer erhöhten Nutzung des Individualverkehrs. Im Gegensatz dazu kann allerdings nicht gezeigt werden, dass die Nicht-Verfügbarkeit eines PKWs automatisch die Nutzung des öffentlichen Verkehrs erhöht.

Die Trennschärfe der Dauerkarten-Verfügbarkeit ist deutlicher. Während die Erwerbstätigen mit bzw. ohne PKW-Verfügbarkeit eine ähnliche Struktur des Modal Splits aufweisen, unterscheidet sich die Verkehrsmittelwahl der Erwerbstätigen mit bzw. ohne Dauerkarte erkennbar. Insbesondere verhalten sich Erwerbstätige mit Dauerkarte affiner gegenüber dem öffentlichen Nahverkehr, wohingegen sich Erwerbstätige ohne Dauerkarte häufiger für den PKW entscheiden.

Die Unterschiede im Modal Split sind nicht nur für Erwerbstätige sichtbar, sondern können ebenfalls für alle anderen Tätigkeitsgruppen nachgewiesen werden. Daher empfiehlt es sich, die Dauerkarten-Verfügbarkeit als klassifizierendes Merkmal in die Personengruppen mit einzubeziehen.

► Differenzierung Rentner

Eine weitere Differenzierung der Rentner ergibt Sinn, da sich insbesondere die Wegehäufigkeit mit zunehmendem Alter ändert. Es wurde untersucht, ab welchem Alter Rentner weniger aktiv sind und welche Altersgruppen den Rentnern zugeordnet werden können.

Hierzu wird die Gruppe der Rentner in zwei Altersgruppen unterteilt. Anschließend werden einige Alterskombinationen analysiert und die Wegeanzahl sowie die durchschnittliche Reiseweite je Personengruppe verglichen. Insbesondere die Gruppe der älteren Rentner (R+) wird hierfür analysiert. Bei der Zuordnung der R+-Rentner zu Personen ab 75 Jahren kann eine deutliche Abnahme der allgemeinen Mobilität festgestellt werden. Erwartungsgemäß sinkt die Mobilität ab diesem Alter stetig, allerdings nimmt ab diesem Alter auch die Größe der Stichprobe stark ab, weshalb die Aussage etwas an Validität verliert.

Die untenstehende Abbildung zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen Reiseweite der R+-Rentner beispielhaft in Abhängigkeit der Dauerkarten-Verfügbarkeit. Während R+-Rentner ohne Dauerkarte durchschnittlich genauso weite Wege zurücklegen, sinkt die Reiseweite der R+-Rentner mit Dauerkarte mit zunehmendem Alter sehr stark.

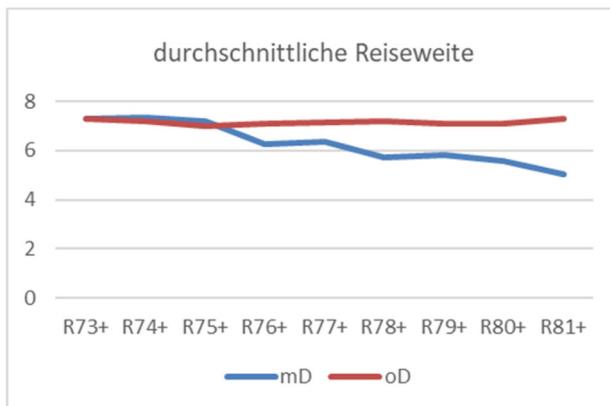


Abbildung 29: Mittlere Reiseweite der Rentner (R+) mit (mD) bzw. ohne (oD) Dauerkarten-Verfügbarkeit

Die Aufspaltung der Rentner in zwei Altersgruppen ist auch deshalb sinnvoll, da der Modal Split Unterschiede aufweist. Die Rentner der Gruppe R+ gehen häufiger zu Fuß und nutzen den PKW seltener als Selbstfahrer.

► Weitere Betrachtungen

Es wurde weiterhin untersucht, bei welchen Personengruppen es einer Unterscheidung der Verfügbarkeit eines Verkehrsmittels bedarf. Genügt es beispielsweise, nur Auszubildende anstelle von Auszubildenden mit und ohne Dauerkarten-Verfügbarkeit zu betrachten?

Aufgrund der kleinen Stichprobe und der teilweise generell fehlenden Aussagen zur Verkehrsmittelverfügbarkeit werden Kinder, Grundschüler, Schüler und Auszubildende nicht weiter diesbezüglich unterschieden. Insbesondere für Kinder unter 14 Jahren kann keine Klassifizierung vorgenommen werden, da der MiD-Datensatz keine Informationen für Kinder unter 14 Jahren und deren Dauerkarten-Verfügbarkeit liefert.

Neben der bestehenden Einteilung nach Dauerkarten-Verfügbarkeit werden für diese Betrachtung die Personengruppen der Voll-, Teil- und Nicht-Erwerbstätigen zusätzlich nach Haushaltstyp und Haushaltsgröße genauer unterteilt. Es kann zwar eine leichte Korrelation zwischen dem Pkw-Besitz und dem Haushaltstyp, insbesondere bei Familienhaushalten, festgestellt werden; dennoch ist diese nicht aussagekräftig, zumal die Stichprobengröße stark abnimmt.

In Bezug auf die Haushaltsgröße kann einzig bei den Voll-Erwerbstätigen ein leichter Anstieg der durchschnittlichen Reiseweite bei größer werdenden Haushalten vermerkt werden. Für die Teil- und Nicht-Erwerbstätigen werden diesbezüglich keine deutlichen Änderungen ermittelt.

Als weiteres klassifizierendes Merkmal wird der Bildungsstand der Voll- und Teil-Erwerbstätigen in die Analysen einbezogen, wobei beide Personengruppen als Erwerbstätige zusammengefasst werden. Der Annahme folgend, dass der Bildungsstand auch den wirtschaftlichen Status einer Person definiert, und höher Gebildete ein höheres Einkommen aufweisen und daher mehr finanzielle Mittel für ihre Mobilität zur Verfügung haben, wird überprüft, inwiefern das Mobilitätsverhalten vom Bildungsstand abhängt. Diesbezüglich kann allerdings kein Muster erkannt werden, weshalb diese Annahme verworfen wird. Das heißt beispielsweise, dass das Mobilitätsverhalten von Erwerbstätigen mit Hochschulabschluss sich nicht deutlich von dem der Erwerbstätigen, die einen mittleren Bildungsabschluss haben, unterscheidet.

Auf Basis der Auswertungen und Abstimmungen mit dem AG wurde festgelegt, dass die Personengruppen wie folgt definiert werden:

- Kinder, Schüler und Auszubildende werden nach Raumtyp betrachtet. Es findet keine weitere Segmentierung nach Pkw-/Dauerkarten-Verfügbarkeit statt.
- Studierende werden nach Raumtyp und Dauerkarten-Verfügbarkeit unterschieden.
- Voll- und Teilzeiterwerbstätige werden in allen Raumtypen nach Pkw- und Dauerkarten-Verfügbarkeit betrachtet.
- Nichterwerbstätige und beide Rentnergruppen werden in Raumtyp 1 und 2 ebenfalls nach Pkw- und Dauerkarten-Verfügbarkeit betrachtet. In Raumtyp 3 allerdings nur nach Pkw-Verfügbarkeit unterschieden, da die Dauerkarten-Verfügbarkeit in diesen Gruppen gering ist.

In der folgenden Tabelle ist die Segmentierung nochmals tabellarisch dargestellt:

Lebenssituation	RT 1-3	RT 1		RT 2		RT 3	
		Pkw-V	DK-V	Pkw-V	DK-V	Pkw-V	DK-V
Kinder	x						
Grundschüler	x						
Schüler	x						
Auszubildende	x						
Hochschüler			x		x		x
Vollerwerbstätige		x	x	x	x	x	x
Teilzeiterwerbstätige		x	x	x	x	x	x
Nichterwerbstätige		x	x	x	x	x	
Rentner bis 74 Jahre		x	x	x	x	x	
Rentner ab 75 Jahren		x	x	x	x	x	

Tabelle 54: Segmentierung Personengruppen nach Raumtypen, Lebenssituation, Pkw- und Dauerkarten-Verfügbarkeit

Segmentierung nach Verkehrsmodus

Die Segmentierung der Wege erfolgt in die sechs Verkehrsmodi Fuß, Rad, ÖV, P+R, Pkw und Pkw-Mitfahrer.

Die Zuordnung der Wege zum Modus erfolgt über das in MiD 2017 angegebene Hauptverkehrsmittel bzw. die Angabe, ob es ein P+R-Weg war.

Segmentierung der Nachfrage nach Aktivitäten

Bei der Aktivitätendifferenzierung für die Personen mit Wohnort im Untersuchungsraum ist zu beachten, dass sich die Zwecke „Arbeiten Vollzeit“ und „Arbeiten Teilzeit“ ausschließlich auf den eigenen Arbeitsplatz beziehen. Wege im Zusammenhang mit dienstlichen Erledigungen oder Dienstreisen werden explizit im Personenwirtschaftsverkehrsmodell abgebildet. Die festgelegten Zwecke orientieren sich an den folgenden Aspekten:

- ▶ Personengruppen: Die jeweiligen Personengruppen suchen spezifische Aktivitätenorte auf. Grundschüler gehen z. B. zur Grundschule, Azubis zur Berufsschule usw.
- ▶ Zu erwartende Aufenthaltsdauer: Vor allem bei den Freizeitaktivitäten unterscheidet sich die Dauer erheblich. Im Zusammenhang mit der Betrachtung von Kosten und somit auch Parkkosten kann eine Differenzierung sinnvoll sein.
- ▶ zu erwartende Abfahrtszeit der Aktivitätenübergänge
- ▶ zu erwartende mittlere Wegelänge

Code	Wegezweck (Modell)	Code	Wegezweck (Modell)
W	Wohnung	P	Hochschule
A	Arbeit Vollzeit	E	Einkaufen (täglich) nah
D	Arbeit Teilzeit	F	Einkaufen (nicht täglich) Sonstige Waren, Baumärkte
X	Holen und Bringen	G	Einkaufen (nicht täglich) Shopping/Einkaufszentren
M	Kindereinrichtung	I	Freizeit: Besuch, Krankenhaus
N	Grundschule	H	Freizeit: Erledigung, Arzt, Post, Bank
O	Weiterführende Schule	J	Freizeit: Kultur, Restaurant
Q	Berufsschule	K	Freizeit: Sportanlagen, Grünanlagen

Tabelle 55: Aktivitäten der Personengruppen mit Wohnort im Untersuchungsraum

Für die Bildungs- und Arbeitsaktivitäten gilt anzumerken, dass die Definition der Aktivität von der Person abhängt, da in der MiD keine eindeutige Differenzierung, z. B. zwischen Grund- und Hochschule, stattfindet.

Bilden von Aktivitätenketten

Aus der MiD 2017 werden die Aktivitätenketten gebildet. Die Kombination aus Aktivitätenketten und Personengruppen ergibt die jeweiligen Nachfragesegmente. Durch die vorhandene Datenstruktur der MiD sind bei der Aktivitätenkettenbildung folgende Datenaufbereitungsschritte nötig:

- ▶ Ketten mit vielen Zwischenaktivitäten und sehr geringer Häufigkeit werden mit Ketten, die ähnliche Aktivitätenmuster haben, zusammengefasst.
- ▶ Lange Aktivitätenketten werden gekürzt. Es wird eine maximale Aktivitätenkette von fünf Aktivitäten (drei Zwischenaktivitäten) zuzulassen.

- ▶ Aktivitätenpaare, die sowohl an Quelle und Ziel einen dienstlichen Zweck aufweisen, werden nicht betrachtet, da diese im Personenwirtschaftsverkehrsmodell abgebildet werden.
- ▶ Damit durch Kürzung der Ketten nicht zu viele Wege zum Wohnort entstehen, werden die Ketten nochmals hochgerechnet, damit die Häufigkeit der Aktivitätenübergänge je Personengruppe im Modell mit der MiD 2017 übereinstimmt.

Umgang mit dienstlichen Wegen

Das Personenwirtschaftsverkehrsmodell enthält ausschließlich Wege von Dienststelle zu Dienststelle bzw. Kunden im Falle von Dienstleistern, wie z. B. Handwerker. Für die Aktivitätenkettenbildung im privaten Personenverkehr werden daher ausschließlich Wege gelöscht, die keine Aktivität des privaten Personenverkehrs am Beginn oder Ende des Weges haben. Die Zuordnung der Aktivitätenübergänge zu den Nachfragermodulen ist in Tabelle 56 dargestellt.

Die Tabelle verdeutlicht, dass durch diesen Ansatz alle Aktivitätenübergänge erhalten werden.

Quellaktivität	Zielaktivität	Zugeordnetes Nachfragermodul Personenverkehr
Privat	Privat	Privater Personenverkehr
Privat	Dienstlich	Privater Personenverkehr
Dienstlich	Privat	Privater Personenverkehr
Dienstlich	Dienstlich	Personenwirtschaftsverkehr

Tabelle 56: Zuordnung der in MiD erfassten Aktivitätenübergänge zu Modulen des Personenverkehrs

Beibehalten der Segmentierung in den Stufen Erzeugung, Ziel- und Moduswahl

Die dargestellte Segmentierung wird über den gesamten Prozess der Verkehrserzeugung, Ziel- und Moduswahl aufrechterhalten. Eine Aggregierung der Segmente findet erst vor der Umleitung statt.

Festlegung der Differenzierung nach Tätigkeit/Alter	Pkw-Besitz	ÖV-Dauerkartenbesitz	räumliche Differenzierung	Haushaltstyp
Kinder			X	
Grundschüler		X	X	
Schüler		X	X	
Auszubildende	X	X	X	
Hochschüler	X	X	X	
Vollerwerbstätige	X	X	X	X

Festlegung der Differenzierung nach Tätigkeit/Alter	Pkw-Besitz	ÖV-Dauerkartenbesitz	räumliche Differenzierung	Haushaltstyp
Teilzeiterwerbstätige ¹⁴	X	X	X	X
Nichterwerbstätige	X	X	X	X
Rentner bis 74 Jahre	X	X	X	
Rentner ab 75 Jahre	X	X	X	

Tabelle 57: Einteilung der Personengruppen mit Wohnort im Untersuchungsraum und Besucherverkehr

Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Segmentierung Personengruppen	Verhaltensdatenberechnung, Verkehrserzeugung
Segmentierung Raumtypen	Verhaltensdatenberechnung, Verkehrserzeugung
Segmentierung Modi	Verhaltensdatenberechnung, Verkehrserzeugung
Segmentierung Aktivitäten	Verhaltensdatenberechnung, Verkehrserzeugung
Segmentierung Wegeketten	Verhaltensdatenberechnung, Verkehrserzeugung

Tabelle 58: Ergebnisse der Segmentierung der Nachfrage

6.2 Verkehrserzeugung

6.2.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Basisstrukturdaten	Einwohner in Altersklassen je Verkehrszelle	Raumstrukturdaten
Daten zum Pkw-Besitz	Stadtbezirksebene München, Gemeindeebene Umland	AG, MiD, KBA
Daten zum Zeitkartenbesitz	Auswertungen von Sekundärdaten	AG, MiD
Segmentierung Personengruppen	Differenzierung der Personengruppen nach Raumtyp, Erwerbstätigkeit, PKW- und/oder Dauerkartenbesitz	Segmentierung der Nachfrage
Segmentierung Raumtypen	Differenzierung nach städtischem (RT1) und ländlichem (RT2 und RT3) Raum	Segmentierung der Nachfrage
Segmentierung Aktivitätenketten	Aktivitätsketten mit maximal 3 Zwischenaktivitäten und einer minimalen Mobilitätsrate/Erzeugungsrate von 0.001	Segmentierung der Nachfrage

¹⁴ Die Definition von Teilzeiterwerbstätigen ergibt sich aus der Definition aus der MiD: 18 bis unter 35 Stunden pro Woche

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Segmentierung Wegeketten	Basis aus MiD-Daten	Segmentierung der Nachfrage
Singuläre Verkehrserzeuger	werden nicht verwendet	
Erzeugungsraten	Basis aus MiD-Daten	Verhaltensdaten

Tabelle 59: Eingangsdaten der Verkehrserzeugung

6.2.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Ermittlung der Zielpotenziale

Die Basisraumstrukturdaten werden in für einen durchschnittlichen Werktag (Montag bis Donnerstag in der Schulzeit) wirksame Zielpotenziale umgerechnet. Dazu werden die ermittelten Strukturdaten S_n mit Gewichtungsfaktoren a_n verknüpft, um die Zielpotenziale zu ermitteln:

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

Insbesondere die Abschätzung der Zielpotenziale für die Freizeitwege wird durch mehrere Strukturdaten bestimmt, wie z. B. Einwohner, Naherholung, Freizeiteinrichtungen. Die Faktoren werden zunächst auf Basis des LVM-BY und somit auf Grundlage von existierenden Quellen zur Abschätzung des Verkehrsaufkommens (insbesondere Bosserhof, Programm Ver_bau¹⁵), Auswertungen von MiD und eigenen Erfahrungswerten (auch aus anderen Modellen) gesetzt und während der Kalibrierung angepasst.

Die Berechnung der Attraktionspotenziale der Bezirke bezieht sich auf die Definition der in Abschnitt 6.1 differenzierten Zielaktivitäten. Insbesondere enthält der MiD-Datensatz eine Mischung aus PAPI- (klassischer schriftlicher Papier-Fragebogen) und CATI-/CAWI- (computergestützte Erhebungsmethoden) Daten. Während im PAPI-Verfahren die Wegezwecke in 17 Kategorien unterteilt sind, sind die Wegezwecke im CATI-/CAWI-Verfahren detaillierter differenziert. Hier werden die 17 Kategorien in insgesamt 35 Unterkategorien unterschieden. Aus diesem Grund enthalten einige grundlegende Aktivitäten, wie z. B. „private Erledigung“, welches dem Wegezweck „Arzt, Bank, Post etc.“ im Modell entspricht, auch andere Kategorien an Aktivitäten. Zum Beispiel ist die mit dem PAPI-Verfahren nicht erhobene Unterkategorie „allgemeiner Einkaufsbummel“ im Wegezweck „private Erledigung“ enthalten, obwohl diese eher der im Modell enthaltenen Aktivität „Einkaufsbummel“ entspricht. Um diese Tatsache auch im Modell widerzuspiegeln, bedarf es komplexer Definitionen für die Berechnung der Bezirksattraktionspotenziale.

¹⁵ www.dietmar-bosserhoff.de/index.html.

Umrechnen der Basisstrukturdaten in Personengruppen

Die Basisstrukturdaten enthalten auf Verkehrszellenebene die Einwohnerzahlen differenziert nach Altersklassen und zusätzliche Informationen zu Pkw-Fähigkeit und ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit sowie Erwerbstätigkeit, differenziert nach Voll- und Teilzeit und Informationen zum Raumbereich. Mittels der Information der raumtypenfeinen Häufigkeit der Personengruppe je Altersklasse aus der MiD und den oben genannten Merkmalen der Basisstrukturdaten wird die Anzahl der Person je Personengruppe und Verkehrszelle berechnet.

Untersuchungsraumanteile

Das Verkehrsverteilungsmodell bildet ausschließlich die Binnenwege des Untersuchungsraumes ab. Beispielsweise am Rand des Untersuchungsraumes häufen sich Wege von Personen mit Wohnort im Untersuchungsraum, die allerdings nicht im Untersuchungsraum enden oder beginnen, z. B. von Auspendlern. Auf der anderen Seite werden Aktivitätenorte innerhalb des Untersuchungsraums ebenfalls von Personen aufgesucht, deren Wohnort nicht im Untersuchungsraum ist, z. B. Einpendler.

Vor diesem Hintergrund werden auf Seite der Produktion Untersuchungsraumanteile definiert. Diese liegen zwischen 0 und 1 und beschreiben den Anteil der Wege der jeweiligen Nachfrageschicht, der tatsächlich Binnenverkehr bezogen auf den Untersuchungsraum ist. Wichtig ist, dass die Untersuchungsraumanteile differenziert nach Verkehrszellen und Nachfrageschicht (Kombination aus Personengruppe und Aktivitätenkette) angegeben werden können. Somit bleibt die Mobilitätsrate innerhalb einer Schicht konstant und der Untersuchungsraumanteil wird separat verwaltet. Dies erhöht die Transparenz und Möglichkeit zur Fortschreibung der Verkehrserzeugung.

Auf der Attraktionsseite hält VISUM kein Standardattribut vor, das die Attraktionspotenziale auf den Anteil des Binnenverkehrs reduziert. Allerdings lässt sich dafür ein benutzerdefiniertes Attribut anlegen, das ebenfalls einen Faktor zwischen 0 und 1 enthält und das differenziert nach Zielaktivitäten den Anteil derjenigen Wege beschreibt, die in der jeweiligen Zelle enden und innerhalb des Untersuchungsraums auch begonnen haben.

Die attraktions- und produktionsseitigen Untersuchungsraumanteile werden anhand des LVM-BY mittels folgender Arbeitsschritte bestimmt:

- ▶ Berechnen der Nachfragematrizen, differenziert nach Aktivitäten am Ziel
- ▶ Anlegen einer Filtermatrix innerhalb des LVM-BY, die für Relationen innerhalb des Untersuchungsraumes eine 1 enthält und sonst eine 0
- ▶ Bestimmen der Zeilensumme mit und ohne Filtermatrix für die aktivitätspezifischen Matrizen für jede Verkehrszelle. Der Quotient ergibt den Untersuchungsraumanteil auf der Produktionsseite.
- ▶ Bestimmen der Spaltensumme mit und ohne Filtermatrix für die aktivitätspezifischen Matrizen für jede Verkehrszelle. Der Quotient ergibt den Untersuchungsraumanteil auf der Attraktionsseite.

- Die auf dem Zellsystem des LVM-BY ermittelten Untersuchungsraumanteile werden auf das Zellsystem des VNM-MUC übertragen.
- Die aktivitätspezifischen Untersuchungsraumanteile können auf Attraktionsseite direkt verwendet werden, indem die hinterlegten Strukturgrößen mit dem Untersuchungsrauman teil multipliziert werden.
- Für die Produktionsseite müssen die aktivitätspezifischen Untersuchungsraumanteile den jeweiligen Nachfrageschichten zugeordnet werden. Diese beziehen sich wiederum auf Aktivitätenketten, die mitunter mehrere Aktivitäten beinhalten. Die Aktivitäten werden daher hierarchisch betrachtet (Vgl. Abbildung 30). Hierbei wird derart vorgegangen, dass z. B. die Aktivitätenketten Wohnen-Arbeiten-Freizeit-Wohnen den quellseitigen Untersuchungsrauman teil der Aktivität Arbeiten zugewiesen wird.

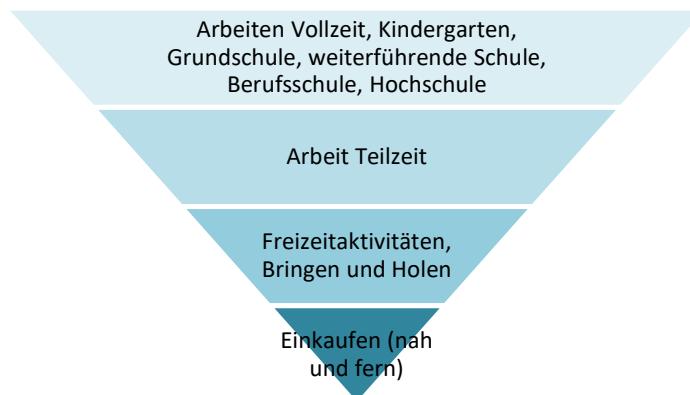


Abbildung 30: Hierarchie der Aktivitäten für die Bestimmung der Untersuchungsraumanteile je Nachfragesegment

Sowohl die quell- als auch die zielseitigen Untersuchungsraumanteile werden als benutzerdefiniertes Bezirksattribut im Verkehrsmodell hinterlegt.

Singuläre Verkehrserzeuger

Singuläre Verkehrserzeuger sind dann notwendig, wenn die erzeugte Verkehrsmenge einer Verkehrs zelle nicht angemessen durch Raumstrukturdaten repräsentiert wird. Bekannte Beispiele sind Bahnhöfe oder zum Teil auch große Gewerbestandorte, Einkaufszentren bzw. Freizeitanlagen.

Die Modellierung des VNM-MUC hat ergeben, dass alle Potenziale über die Raumstrukturgrößen adäquat abgebildet werden können. Eine separate Modellierung von singulären Verkehrs erzeugern ist nicht erforderlich.

Berechnung der Verkehrserzeugung

Die Verkehrserzeugungsrechnung wird im Verfahren VISEM auf der Basis von Nachfrageschichten, die sich aus der Kombination von Personengruppen mit Aktivitätenketten ergeben, durchgeführt. Dazu werden für jede Personengruppe aus der Haushaltsbefragung die berichteten Aktivitätenketten und deren Häufigkeiten ausgewertet. Eine Aktivitätenkette beschreibt die Reihenfolge von verschiedenen Aktivitäten, die eine Person während des Tages durchführt, z. B. Wohnung-Arbeit-Einkaufen-Wohnung (Kürzel: WAEW). Aus dieser Reihenfolge ergeben sich Wege von einem Ort zu einem anderen. Die Erzeugung bestimmt nun für jede Nachfrageschicht das Heimatverkehrsaufkommen je Verkehrszelle sowie für jede Aktivität ein Zielpotenzial. Dies geschieht unter Beachtung des Untersuchungsraumanteils.

Randsummenbedingungen

Die Restriktionen des Raumes werden durch Festlegung von aktivitätenfeinen und zellfeinen Randsummenbedingungen berücksichtigt (Zielkopplung). Die Durchführung der Zielkopplung kann in PTV VISUM (Methode VISEM) für jede Aktivität ausgewählt werden, im Modell wird nur für die Pflichtaktivitäten mit Arbeits- und Ausbildungszwecken die Zielkopplung gewählt.

Bei der nach Raumtypen sowie Pkw- und ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit differenzierten Personengruppeneinteilung wird die Zielkopplung über verschiedene Nachfrageschichten hinweg gemeinsam durchgeführt. Das bedeutet, dass die Strukturgröße eingehalten wird, es aber nicht darauf ankommt, welcher Nachfrageschicht die Personen angehören. Damit wird die Aufteilung auf die Nachfrageschichten ein Ergebnis des Nachfragemodells. Es findet keine proportionale Aufteilung statt, sondern die Personen der verschiedenen Nachfrageschichten konkurrieren um das jeweilige Zielpotenzial.

Teilraumausgleich und Randsummenausgleich für Personengruppen Grund- und weiterführende Schüler

Teilräume für Schüler der Grundschulen und weiterführenden Schulen wurden in Pol 3001 „Grundschulsprengel“ sowie 3002 „WeiterfuehrendeSchulsprengel“ als Polygone definiert. Weiterführende Schulsprengel haben größere Polygone, weil die Schulen größere Einzugsgebiete haben.

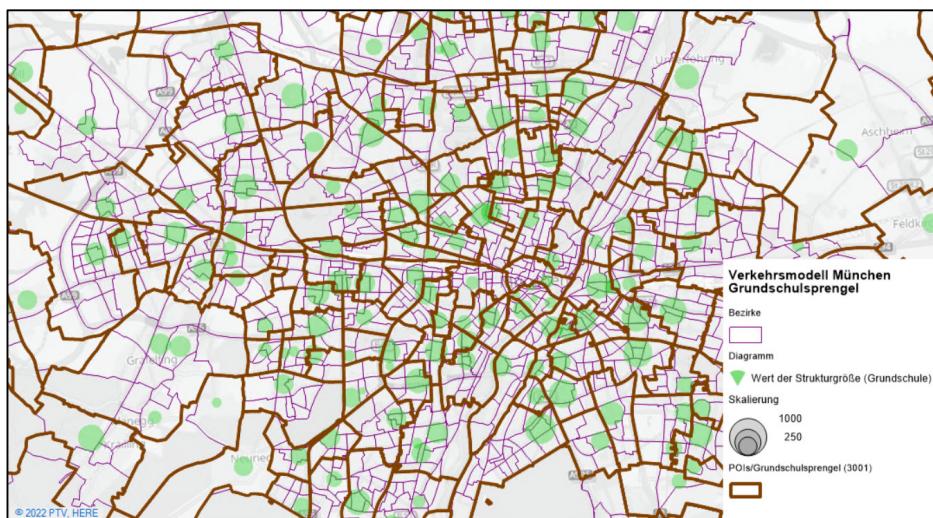


Abbildung 31: Grundschulsprengel in München

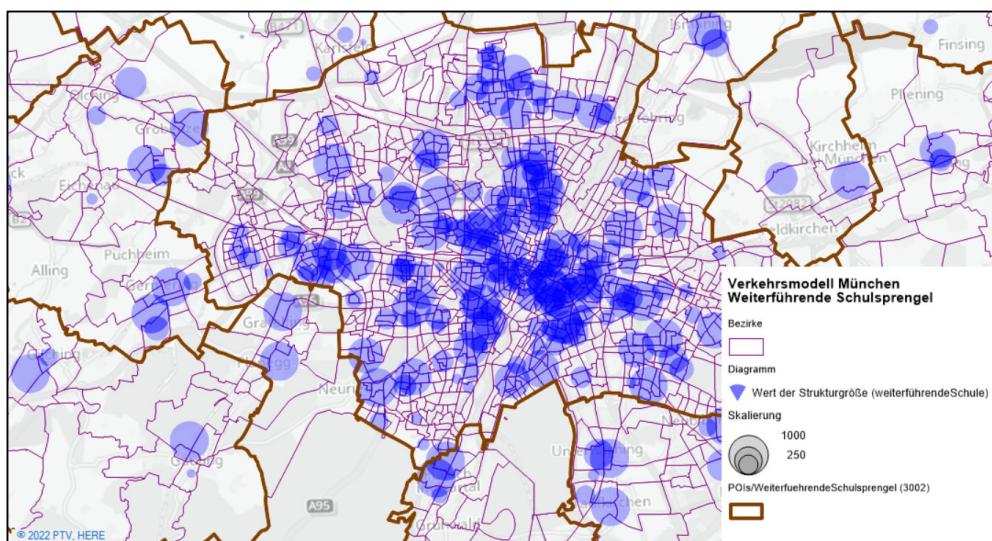


Abbildung 32: Weiterführende Schulsprengel im Modell

Im Verkehrsmodell werden die Teilräume je Schulart mit den Verkehrsbezirken verschneitten, um die Summe der Anzahl Schulplätze und Anzahl Schüler je Teilraum zu berechnen. Die Anzahl der Schulplätze wird anhand der Anzahl Schüler angepasst.

Zusätzlich werden die Teilräume auch auf bei der Zielwahl berücksichtigt. Je Schulart wird eine Kenngrößenmatrix für die Zielwahl erzeugt, in der die Bezirksbeziehungen nach außerhalb des Teilraums einen Zusatzwiderstand bekommen. Für Grundschüler ist der Zusatzwiderstand für außerhalb des Teilraums -10, damit es keine Wege außerhalb der jeweiligen Teilräume gibt. Für weiterführende Schüler ist dieser Widerstand nur -5. Damit werden die Schulwege von Schülern weiterführender Schulen außerhalb der Teilräume verringert, aber nicht komplett ausgeschlossen. Damit ist es z. B. für Schüler aus der Stadt München möglich, im Umland zur Schule zu gehen und umgekehrt.

6.3 Ziel- und Moduswahl

6.3.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Verkehrserzeugung	je Nachfrageschicht	Nachfrageberechnung, Verkehrserzeugung
Pendlerdaten 2019	auf Gemeindeebene	AG
Teilraumausgleich	für Grund- und weiterführende Schüler	Verkehrserzeugung

Tabelle 60: Eingangsdaten der Ziel- und Moduswahl

6.3.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Die Ziel- und Moduswahl wird als integriertes Nested-Logit-Modell realisiert. Der Widerstand einer Relation für die Zielwahl ergibt sich dabei als Logarithmus der Summe des exponentiellen Nutzens (ModeLogSum) der Modi für diese Relation.

Einsatz von Rubberbanding

Die Nachfragemodellierung mit VISEM basiert auf Aktivitätenketten. Man unterscheidet zwischen einfachen Ketten mit einer aushäusigen Aktivität (z. B. W - A - W)¹⁶ und komplexen Ketten mit zwei oder mehreren aushäusigen Aktivitäten (z. B. W - A - E - W). Für den jeweils ersten Weg W - A hängt die Attraktivität des Ziels von der Zahl der Arbeitsplätze und der Entfernung zwischen Wohnort und Arbeitsplatz ab. Für den Weg A - E gilt das gleiche bzgl. der Einkaufsmöglichkeiten. Ein normales Zielwahlmodell antizipiert nicht den darauffolgenden Nachhauseweg (E - W). In Wirklichkeit wird der Einkaufstandort aber mit recht hoher Wahrscheinlichkeit in einer Ellipse zwischen Arbeitsort und Wohnort liegen.

Das Modul Rubberbanding berücksichtigt diesen Sachverhalt. Für jede Aktivitätenkette kann im Zielwahlmodell entschieden werden, ob Rubberbanding angewendet werden soll. Dazu ist eine Hierarchisierung der Wegezwecke erforderlich. So hat der Wegezweck Arbeit eine höhere Hierarchie als der Wegezweck Einkauf. Wird dies so spezifiziert, sind alle unmittelbar vor oder nach der Arbeit stattfindenden Einkaufsaktivitäten dem Arbeitsort untergeordnet.

Der Vorteil der Anwendung von Rubberbanding liegt in der besseren Modellierung der Nachhausewege. Ohne Rubberbanding sind diese in einen Nachfragemodell häufig viel zu lang. Mit Rubberbanding ist es möglich, die Länge der Nachhausewege besser zu kalibrieren.

Gemeinsam mit dem AG wurde beschlossen, das Rubberbanding für Pflichtaktivitäten zu verwenden. Als Pflichtaktivitäten sind die Bildungs- und Arbeitsaktivitäten zu verstehen.

Während der Kalibrierung wurde festgestellt, dass Wegeketten mit doppelten Pflichtaktivitäten (z. B. WAEAW) für die Personengruppen Hochschüler und Berufsschüler und auch für einige Nachfrageschichten in Raumtyp 3 Konvergenzprobleme und Instabilitäten in der Nachfragebe-

¹⁶ A steht für Arbeit, E für Einkaufen, W für Wohnen

rechnung verursacht haben. Aus diesem Grund wurde das Rubberbanding für solche Fälle entweder mit einem Gewicht von 0,5 reduziert oder für Nachfrageschichten mit geringem Heimat-aufkommen ausgeschaltet.

Pendlerkorrektur

Die offizielle Pendlerstatistik der Bundesagentur für Arbeit (BfA) enthält für jeden sozialversicherungspflichtig beschäftigten Arbeitnehmer den Wohn- und Arbeitsort. Diese Daten werden für das Nachfragemodell verwendet, um die Verkehrsverteilung für die Aktivitätenketten mit Teilaktivität Arbeit zu korrigieren. Die originalen Pendlerdaten sind auf Gemeindeebene differenziert. Im Modell ist die Pendlermatrix als Oberbezirksmatrix implementiert. Einige Verflechtungen im Umland sind aggregiert, weil der Oberbezirk mehrere Gemeinden beinhaltet. Für München existieren die Oberbezirke als Stadtteile, deshalb wurden die Fahrten anhand der Anzahl Arbeitsplätze und Einwohner je Stadtteil aufgeteilt.

Die resultierende Matrix beschreibt das logarithmische Verhältnis der empirischen erhobenen Wege zu der im Modell berechneten Anzahl an Wegen auf Oberbezirksebene. Bei diesem Vorgehen entsteht eine Korrekturmatrixt mit Faktoren, die bei den erwerbstätigen Personengruppen in der Zielwahl bei den Aktivitäten Arbeit Vollzeit und Arbeit Teilzeit berücksichtigt wird (siehe Abbildung 33). Relationen mit zu hohen Korrekturfaktoren wurden bei der Kalibrierung analysiert. Die Pendlerkorrektur wurde kalibriert und wird im Verfahrensablauf nicht mehr neu berechnet, sondern geht als feste Korrekturmatrixt ein. Für die Prognose muss die in der Analyse berechnete Korrekturmatrixt weiterverwendet werden.

Parameter kombinierte VISEM-Verkehrsverteilung/Moduswahl					
Nutzen Verteilung Nutzen Moduswahl Rubberbanding Ausgabe Nachfragematrizen Ausgabe Wege-Abfolgen					
Optionen für beidseitige Kopplung					
Maximale Anzahl Iterationen: 800					
Anzahl:	Schlüssel	Personengruppe	Aktivität	Nutzendefinition	
49	106StoD/X	106StoD 106_Sto_RT1	X Bringen/Holen	0,700000*ModelLogSum + 0,1816*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
50	107VEmPmD/A	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	A Arbeit Vollzeit	0,850000*ModelLogSum + matrix([CODE] = "Korr_Wd") + 0,239*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
51	107VEmPmD/E	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	E täglicher Bedarf, Dienstleistungen	0,700000*ModelLogSum + 0,0651*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
52	107VEmPmD/F	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	F sonstige Waren, sonstiges	0,600000*ModelLogSum + 0,0689*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
53	107VEmPmD/G	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	G Einkaufsbummel	0,500000*ModelLogSum + -0,0072*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
54	107VEmPmD/H	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	H Arzt, Bank, Post etc.	0,400000*ModelLogSum + -0,0188*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
55	107VEmPmD/I	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	I Besuche, Krankenhaus, Fortbildung	0,350000*ModelLogSum + 0,0139*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
56	107VEmPmD/J	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	J Restaurant, Kultur	0,950000*ModelLogSum + -0,0486*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
57	107VEmPmD/K	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	K Sport, Grünanlagen	0,900000*ModelLogSum + 0,0022*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
58	107VEmPmD/L	107VEmPmD 107_VEmPmD_RT1	X Bringen/Holen	0,700000*ModelLogSum + 0,1816*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
59	108VEmPoD/A	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	A Arbeit Vollzeit	0,850000*ModelLogSum + matrix([CODE] = "Korr_Wd") + 0,239*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
60	108VEmPoD/E	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	E täglicher Bedarf, Dienstleistungen	0,700000*ModelLogSum + 0,0651*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
61	108VEmPoD/F	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	F sonstige Waren, sonstiges	0,600000*ModelLogSum + 0,0689*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
62	108VEmPoD/G	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	G Einkaufsbummel	0,500000*ModelLogSum + -0,0072*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
63	108VEmPoD/H	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	H Arzt, Bank, Post etc.	0,400000*ModelLogSum + -0,0188*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
64	108VEmPoD/I	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	I Besuche, Krankenhaus, Fortbildung	0,350000*ModelLogSum + 0,0139*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
65	108VEmPoD/J	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	J Restaurant, Kultur	0,950000*ModelLogSum + -0,0486*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
66	108VEmPoD/K	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	K Sport, Grünanlagen	0,900000*ModelLogSum + 0,0022*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
67	108VEmPoD/X	108VEmPoD 108_VEmPoD_RT1	X Bringen/Holen	0,700000*ModelLogSum + 0,1816*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	
68	109VEoPmD/A	109VEoPmD 109_VEoPmD_RT1	A Arbeit Vollzeit	0,850000*ModelLogSum + matrix([CODE] = "Korr_Wd") + 0,239*MATRIX([CODE] = "DC_korr")	

Abbildung 33: Korrekturmatrixt Pendler

Moduswahl

Innerhalb der Moduswahl erfolgt die Aufteilung des Verkehrs auf die zur Verfügung stehenden Modi. Das Moduswahlmodell hat die folgende mathematische Formulierung (Logit), die aus den Attributen der Modi und den Bewertungsparametern besteht.

$$f_g(m, i, j) = \frac{e^{U_g(m, i, j)}}{\sum_k e^{U_g(k, i, j)}}$$

mit

$$\begin{aligned} U_g(m, i, j) = & -\beta_{1_{gm}} * Fahrzeit_{mij} - \beta_{2_{gm}} * Zu/Abgangszeit_{mij} + \\ & -\beta_{5_{gm}} * Wartezeit_{mij} - \beta_{6_{gm}} * Umsteigehäufigkeit_{mij} + \\ & -\beta_7 * Kosten_{mij} + C_m \end{aligned}$$

und

m : Modus

i, j : Verkehrszellen

g : Gruppe x Aktivität

β : (Gruppen x Aktivität-) und modusspezifische Parameter

Die Funktion f_g berechnet die Wahrscheinlichkeit für die Wahl des Modus m für eine Fahrt von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j . U (Utility) ist der Nutzen für die Benutzung des Modus m von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j . Die Nutzenfunktion fasst die verschiedenen Nutzenkomponenten durch Bewertung mit Parametern zusammen. Die Spezifizierung der Nutzenfunktion wird differenziert nach Personengruppen und Aktivitäten vorgenommen, es wird jedoch geprüft, wo diese Differenzierung notwendig ist. Um eine zu hohe Komplexität zu vermeiden, werden möglichst für mehrere Segmente gemeinsame Parameter verwendet.

Kenngrößen der Ziel- und Moduswahl

Die Bewertung der Verkehrsrelationen ist ein Zwischenschritt auf dem Weg zur integrierten Verkehrsverteilung und -aufteilung. Eingangsgrößen in diesem Arbeitsschritt sind die verschiedenen Kenngrößenmatrizen der Verkehrsmodi und die Bewertungsfunktionen. Die Kenngrößenmatrizen sind ein Ergebnis der Angebotsmodellierung und Umlegungsrechnung in PTV VISUM. Sie werden im Verfahrensablauf berechnet und aufbereitet.

Die folgenden Kenngrößen werden berücksichtigt:

Fußverkehr:

- ▶ Reisezeit
- ▶ Entfernungsmatrix zur Kalibrierung der Wegelänge Fuß

Radverkehr:

- ▶ Widerstand

- ▶ Entfernungsmatrix zur Kalibrierung der Wegelänge Rad

Öffentlicher Verkehr:

- ▶ Empfundene Reisezeit, die aus einer Linearkombination von Zu- und Abgangszeit, Fahrtzeit im Fahrzeug (mit Berücksichtigung des VSysBonus), Gehzeit, Startwartezeit, Umsteigewartezeit und Umsteigehäufigkeit besteht.
- ▶ Fahrzeugfolgezeit
- ▶ Fahrpreis je Personengruppe
- ▶ ÖV-Korrekturfaktor

Pkw-Verkehr und PKW-Mitfahrer:

- ▶ Reisezeit mit Zu- und Abgangszeit sowie Fahrtzeit
- ▶ Parksuchzeit
- ▶ Parkkosten
- ▶ Kraftstoffkosten
- ▶ Entfernungsmatrix zur Kalibrierung der Wegelänge Pkw-Mitfahrer

Park+Ride:

- ▶ PKW: Fahrzeit und nur Zugangszeit
- ▶ PKW: Kraftstoffkosten, berechnet aus der Entfernungsmatrix und dem im Modell hinterlegten Kraftstoffkostensatz (-> Netzeinstellungen -> benutzerdefinierte Attribute)
- ▶ Gehzeit und Wartezeit an Park+Ride-Anlage
- ▶ Parkkosten der Park+Ride-Anlage
- ▶ ÖV: Empfundene Reisezeit, nur Abgangszeit
- ▶ ÖV-Fahrpreis

Verkehrssystemspezifischer Bonus

Generell kann den schienengebundenen Verkehrsmitteln ein höherer Komfort und stärkere Wahrnehmung zugeschrieben werden als einem Busverkehrsmittel. Dies wird als VSysBonus bezeichnet. Die Umsetzung in PTV VISUM erfolgt mit Hilfe eines Verkehrssystemattributes.

Unabhängig davon, ob ein verkehrssystemspezifischer Bonus bei der ÖV-Routensuche/ Routenwahl verwendet wird, ist ein solches Attribut als benutzerdefiniertes Verkehrssystemattribut vorbereitet (siehe Liste Attribute „VSysBonus“). Der Wert geht in den Widerstand für die Routensuche und Routenwahl ein direkt ein.

Die Kalibrierung wird mit der „neutralen“ Einstellung des Modells begonnen. Das heißt, es wird zunächst geprüft, ob mit Weglassen des verkehrssystemspezifischen Bonus gute Ergebnisse erzielt werden. Der Wert des benutzerdefinierten Attributes ist dann 1.

Mit Fortschreiten der Kalibrierung ist sichtbar geworden, dass das Modell die Nachfrage für S-Bahn, U-Bahn und Straßenbahn unterschätzt und die Nachfrage nach Routen mit dem Regionalbus und dem MVG-Stadtbus überschätzt. Deswegen wird der VSysBonus eingeführt und so kalibriert, dass sich die Summe der Einsteiger in die verschiedenen ÖV-Verkehrssystem den Zählwerten annähert. Tabelle 61 zeigt die kalibrierten Werte.

VSys Code	VSys Name	VSysBonus
S	S-Bahn	0,920
U	U-Bahn	0,985
T	Tram	0,982
X	Expressbus	0,990
NB	Nachtbuslinie	1,000
NT	Nachttramlinie	1,000
RW	Regionalbus (weitere Linien/nicht MVV)	1,000
SF	Schiff	1,000
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr	1,000
SPNV	SPNV	1,000
Z	AST	1,000
M	Metrobus	1,065
R	Regionalbus	1,100
B	Bus (MVG)	1,175

Tabelle 61: Verkehrssystembonus

Es werden die Kenngrößenmatrizen der Fahrzeit im Fahrzeug berechnet und mit obenstehenden Faktoren multipliziert. Die erzeugten Matrizen werden dann sowohl in der Ziel- und Moduswahl als auch in der finalen Umlegung verwendet.

Zusätzliche Matrizen für Zielwahl und Moduswahl

Für die Berechnung der Zielwahl wird als Widerstand der Logarithmus aus der Summe der exponentiellen Modusnutzen verwendet (LogSum). Um die Reiseweite der einzelnen Zielwahlaktivitäten in Abhängigkeit der Raumtypen besser kalibrieren zu können, wird der Nutzenfunktion eine Matrix mit der Luftlinienweite hinzugefügt, die mit einem Parameter multipliziert wird. Dieser Parameter wird im Rahmen der Zielwahlkalibrierung ermittelt und kann ein positives oder negatives Vorzeichen haben. Die Luftlinienmatrix wurde im Rahmen der Kenngrößenberechnung ermittelt, kopiert und im Modell fixiert als „DC_korr“ (abgeleitet aus Destination Choice) abgelegt, d.h. sie ändert sich nicht mehr und ist damit eine entfernungsabhängige Konstante.

Für die Moduswahl wird zur Kalibrierung eine Konstante verwendet, die in der Nutzenfunktion als ein Faktor implementiert ist, der mit einer mit 1 besetzten Matrix (MC_Korr, Mode Choice)

multipliziert wird. VISUM betrachtet in der Moduswahl alle Bezirke und die Matrix MC_Korr eliminiert die Kordonbezirke, damit die Moduswahl im VISEM-Modul nur für die Verkehrszellen des Modellumgriffes berechnet wird.

Umsetzung der ÖV-Korrekturfaktoren im Modell

Im VNM-MUC gibt es für jede Kombination aus Personengruppe und Aktivität und je Modus jeweils eine Nutzenfunktion. Diese Modellstruktur wird auf alle Einwohner des Modellraums München angewendet. Im Modell wird damit die Moduswahl berechnet und der Anteil des ÖV.

Um die Einsteiger/Aussteiger besser zu steuern, wurde eine Affinität für den ÖV festgelegt, mit der die räumlichen Unterschiede in der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel ausgedrückt werden, die nicht über die Kenngrößen der Modellrechnung abgebildet werden. Die ÖV-Affinität ist eine verkehrszellenbezogene Nutzenkomponente. Sie kann entweder die besondere ÖV-Nutzungsbereitschaft der Verkehrsteilnehmenden beschreiben oder eine besonders gute ÖV-Angebotsqualität in der Zelle (z. B. viele Haltestellen unterschiedlicher Linien) oder eine schlechte Pkw-Qualität. Es ist in Nutzenfunktionen üblich, dass es verkehrszellenbezogene Nutzenkomponenten gibt. Das Konzept ist deshalb grundsätzlich für die Moduswahl geeignet.

Die Affinität wurde im Modell wie folgt implementiert:

- ▶ Für die Verkehrszellen wird das BDA „OeV_Korrekturfaktor“ eingeführt. Die Einheit ist Minuten. Der Effekt ist so zu verstehen, dass ein Wert von „1“ für das BDA für diese Verkehrszelle einen positiven Effekt auf die Moduswahl zugunsten des ÖV hat, indem sich die „empfundene Reisezeit“ um eine Minute reduziert.
- ▶ Der Parameter ist ein Absolutwert des Reisezeit-Parameters. Der Parameter ist je Aktivität für alle Personengruppen gleich, bis auf bestimmte Personengruppen, in denen nach Dauerkarte und PKW-Verfügbarkeit differenziert werden kann.
- ▶ Anhand des BDA wird die entsprechende Matrix „OeV_Korrekturfaktor“ als Mittelwert der Quell- und Zielbezirke ermittelt.

Auf Wunsch des Kunden wurde die ÖV-Affinität als Korrekturfaktor bezeichnet.

Iterationen und Abbruchbedingungen

Die iterativen Ausgleichsrechnungen für die Randsummenbedingungen (Zielkopplung) werden von PTV VISUM automatisch durchgeführt. Die Genauigkeiten werden eingestellt und gegenüber dem AG nachgewiesen.

Fixe Zielwahl für Pflichtaktivitäten

In einem simultanen Ziel- und Moduswahlmodell wird eine Änderung des Verkehrsangebots immer eine Wirkung auf die Ziel- und Moduswahl haben. Bei kleinen Änderungen im Verkehrsangebot können sich ggfs. für manche Wegezwecke Änderungen in der Zielwahl ergeben. Es ist

allerdings unrealistisch, dass sich Personen deshalb einen anderen Arbeitsplatz oder eine andere Schule suchen. Deshalb besteht der Wunsch, für Pflichtaktivitäten die Zielwahl fixieren zu können.

Dies wird realisiert, indem in die Nutzenfunktion der Zielwahl statt dem Logsum die resultierenden Nutzenmatrizen aus dem Modelfall ohne Maßnahme eingehen (siehe gelbe Markierung Abbildung 34). Die Nutzenmatrizen lassen sich für den Modelfall ohne Maßnahme durch Aktivierung einer Option herausschreiben. Für die Nicht-Pflichtaktivitäten können die Logsums basierend auf den veränderten Kenngrößenmatrizen genutzt werden. Auf diese Art wird die Zielwahl für die Hauptaktivitäten fixiert und bleibt für Nicht-Pflichtaktivitäten flexibel. Die Moduswahl bleibt für alle Aktivitäten flexibel.

Parameter kombinierte VISEM-Verkehrsverteilung/Moduswahl					
<input checked="" type="checkbox"/> Nutzen bei Moduswahl je Zielaktivität definieren		Entscheidungsbaum...			
<input type="checkbox"/> Moduswahl mit Nested Logit-Modell berechnen		Optionen für beidseitige Kopplung			
Maximale Anzahl Iterationen		500		Genauigkeitsfaktor	
Nutzen Verteilung Nutzen Moduswahl Rubberbanding Ausgabe Nachfragermatrizen Ausgabe Winge-Abszissen					
Anzahl: 110	Schlüssel	Personengruppe	Aktivität	Nutzendefinition	
1	P03Azubi/F	P03Azubi Auszubildender mit Pkw_Fr	F Freizeit Wohnen, Krankenhaus	0.600000*ModelLogSum + 0*Matrx(550) + 0*1.2345 + -0.2349*M ...	
2	P03Azubi/S	P03Azubi Auszubildender mit Pkw_Fr	S Freizeit Sport-, Gruenanlagen	0.600000*ModelLogSum + 1.0*Matrx(550) + 0*1.2345 + -0.2944*M ...	
3	P03Azubi/T	P03Azubi Auszubildender mit Pkw_Fr	T Arbeit Teilzeit	Nutzenmatrix_ohne_Maßnahme*1.0*Matrx(513) + 0*1.2345 + -0.30 ...	
4	P04StmP/F	P04StmP Student mit Pkw_Fr	F Freizeit Wohnen, Krankenhaus	0.600000*ModelLogSum + 1.0*Matrx(550) + 0*1.2345 + -0.2349*M ...	
5	P04StmP/R	P04StmP Student mit Pkw_Fr	R Freizeit Kultureinrichtungen, Restaurants	0.800000*ModelLogSum + 1.0*Matrx(550) + 0*1.2345 + -0.2649*M ...	
6	P04StmP/T	P04StmP Student mit Pkw_Fr	T Arbeit Teilzeit	0.500000*ModelLogSum + 1.0*Matrx(513) + 0*1.2345 + -0.3003*M ...	

Abbildung 34: Umsetzung der fixen Zielwahl für Pflichtaktivitäten

Die notwenigen Einstellungen wurden im Aufbau des Modells berücksichtigt und werden mit einer separaten Verfahrensparameterdatei ausgeliefert. Vom Anwender sind hier keine Anpassungen notwendig.

6.3.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Matrizen je Verkehrssystem (Pkw, ÖV, Rad, Fuß, Mitfahrer, P+R)	Auswertungen
Matrizen ÖV	Umlegung ÖV
Matrizen Pkw	Umlegung MIV
Matrizen Rad	Umlegung Rad

Tabelle 62: Ergebnisse der Ziel- und Moduswahl

6.4 Implementierung P+R

6.4.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Liste P+R-Plätze	Daten für zu berücksichtigende P+R-Plätze mit Kapazitätsangaben, Angaben zur Nachfrage inkl. der Nutzungsquoten	MVV, Internet
Angebotsmodelle Straße und ÖV		

Tabelle 63: Eingangsdaten für die Implementierung von P+R

6.4.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Überblick

PTV VISUM bietet die Möglichkeit, intermodale Wege bei der Umlegung und der Kenngrößenberechnung zu berücksichtigen. Entsprechend können die P+R-Wege als eigenständiger Modus abgebildet werden.

Für die Abbildung von P+R müssen im Verkehrsmodell

- ▶ die P+R-Parkplätze ergänzt,
- ▶ die P+R-Parkplätze mit Kapazitäten versehen,
- ▶ die auslastungsabhängige Widerstandsfunktion für die P+R-Parkplätze definiert,
- ▶ der Modus P+R in das Nachfragemodell integriert und
- ▶ die Verfahrensschritte P+R-Platzwahl und P+R-Teilwegzerlegung im Verfahrensablauf hinzugefügt und parametrisiert werden.

Die Wege mit P+R werden als ungeteilte Wege in einer P+R-Matrix für die Berechnung der Verkehrsaufkommen und des Modal Splits abgelegt. Für die Berechnung der Umlegung erfolgt eine Spaltung der P+R-Wege in den ÖV-Teil und den Pkw-Teil. Diese Teilwege werden in separaten Matrizen abgelegt.

Für die Modellierung von P+R sind wegen der Verschiedenartigkeit der Anlagen deren Größe und deren Funktion zu beachten. Größe und Funktion werden über die Kapazität und Kalibrierung der Nutzungshäufigkeit abgebildet. Die Auslastung wird über eine Widerstandsfunktion geregelt. Bei einer Kapazitätsüberschreitung wird der Widerstand für den Parkplatz erhöht. In der nächsten Iteration resultiert das in entsprechend weniger Belastung.

Zudem sind für die P+R-Plätze Kosten hinterlegt, wenn der P+R-Platz kostenpflichtig ist. Dafür wurden Kosten zwischen 1-7 Euro festgelegt (Benutzerdefiniertes Bezirk-Attribut „P+R Parkgebühren“).

Implementierung

Die Information der Standorte und Kapazität der für P+R geeigneten Parkplätze ist in der Pol-Kategorie 29 Park&Ride und zugehörigen benutzerdefinierten Attributen gespeichert.

- ▶ PUNDR_PUNDR: Definiert die Kapazität der P+R-Parkplätze
- ▶ PUNDR SONST_P: Definiert die Kapazität anderer Parkplätze, die für P+R-Wege geeignet sind
- ▶ PUNDR_KOSTEN: Parkkosten pro Tag in Euro
- ▶ PUNDR_REDUIERT: Effektive Kapazität für die Modellberechnung mit der Annahme, dass für große P+R-Anlagen (ab 300 Stellplätzen), die P+R-Nutzer zu 70 Prozent aus dem MVV-Raum kommen (überwiegend Arbeitspendler) und zu 30 Prozent aus externem Verkehr bestehen. Außerhalb des MVV-Raums wird die Kapazität pauschal um 10 Prozent reduziert.
- ▶ IN_MVV: P+R-Anlagen, die im MVV-Verbundgebiet liegen

Diese Implementierung vereinfacht das Hinzufügen neuer P+R-Parkplätze oder die Änderung bereits bestehender P+R-Parkplatz-Kapazitäten.

Für das Nachfragermodell wird die P+R-Nachfrage nur für bestimmte Personengruppen erzeugt:

- ▶ 204Azubi 204_Azubi_RT2
- ▶ 205StmD 205_StmD_RT2
- ▶ 207VEmPmD 207_VEmPmD_RT2
- ▶ 209VEoPmD 209_VEoPmD_RT2
- ▶ 304Azubi 304_Azubi_RT3
- ▶ 305StmD 305_StmD_RT3
- ▶ 307VEmPmD 307_VEmPmD_RT3
- ▶ 309VEoPmD 309_VEoPmD_RT3

Die Auswahl der Personengruppen basiert auf MiD-Daten, wobei der Modal Split-Anteil des P+R erfahrungsgemäß reduziert wird, damit es dem Nutzer im Modell angenähert wird und entspricht. In den MiD-Daten sind die Anteile für P+R und Kiss&Ride (Mitfahrenden, die an Haltestellen gebracht werden) zusammengefasst, im Modell werden nur Wege mit Pkw als zubringendem Verkehrsmittel betrachtet.

Die Nutzerkosten, die in der multimodalen Umlegung eingestellt sind, sind wie folgend definiert:

- ▶ PR_TTC_P: PKW-Reisezeit als Nutzenkosten wie im Personenverkehrsmodell, inklusiv der Zugangszeit
- ▶ PR_JRT ÖV: ÖV-Nutzerkosten wie im Personenverkehrsmodell ohne Zugangszeit
- ▶ PR_WT: Wartezeit an P+R-Anlagen durch die Verfügbarkeit der Parkplätze und Gehzeit in P+R

- ▶ PR_KOSTEN: Parkkosten, ÖV-Fahrpreis (mittlerer Fahrpreis Erwachsene mit Dauerkarte) und Kraftstoffkosten. Diese monetären Kostenkomponenten werden mittels eines Value of Time je nach Aktivitäten und Personengruppe (wie im Personenverkehrsmodell) in Zeiteinheiten umgerechnet.
- ▶ PR_WegeFilter: P+R-Wege sind zwischen 5 und 40 km begrenzt, damit VISEM nicht zu kurze oder zu lange Wege erzeugt.

Innerhalb des Verfahrensablaufs (Gruppe „Park & Ride initiale Kenngrößen Berechnung“) wird die Information der P+R-Kapazität (Anzahl der Parkplätze) von Pol auf Bezirksebene aggregiert und im benutzerdefinierten (Bezirks-)Attribut „PUNDR_KAP“ hinterlegt. Dieses Attribut wird anschließend zur Filterung der Bezirke mit und ohne P+R-Verfügbarkeit verwendet.

Die P+R-Berechnung besteht aus zwei Abschnitten im Verfahrensablauf:

- ▶ „PARK& RIDE initiale Kenngrößenberechnung“
- ▶ „PARK & RIDE Aktualisierung der Kenngrößen während der Nachfrageberechnung“

Die zwei Abschnitte sind von der Struktur und den Einstellungen der Parameter identisch aufgebaut. Sie unterscheiden sich aber im Aufbau der Nachfrage. Im ersten Block wird eine Dummy-Nachfrage verwendet, die sicherstellt, dass in jedem Bezirk mit einer P+R-Kapazität ungleich Null, auch Nachfrage erzeugt wird. Der zweite Block greift schließlich auf die im Personennachfragemodell berechnete Nachfrage zu.

Die P+R-Verfahrensschritte bestehen aus einer Konvergenzschleife mit den Berechnungen:

- ▶ Berechnung der durchschnittlichen P+R-Belegung anhand der *Method of Successive Averages (MSA)*. Die Gewichte werden hierfür mittels des Iterationszählers ermittelt.
- ▶ Aktualisierung der P+R-Wartezeit als eine Funktion bestehend aus der P+R-Kapazität und der P+R-Belegung. Hierfür wird eine generalisierte logistische Funktion verwendet, um das Verhältnis zwischen der freien Parkkapazität und der Reisezeit in Minuten zu ermitteln.
- ▶ Anwendung einer multimodalen Umlegung, die eine Kurzwegsuche zwischen allen Bezirken mit einer Nachfrage ungleich Null durchführt. Die Wegesuche ist derart aufgebaut, dass jeder Weg den öffentlichen Verkehr als Hauptverkehrsmittel und den Pkw als zubringendes Verkehrsmittel nutzt. Die generalisierten Reisekosten, die für die Wegesuche verwendet werden, beziehen sich auf die genannten Nutzerkosten für P+R.
- ▶ Überprüfung der Konvergenz der P+R-Wartezeit und Abbruch der Schleife, wenn für alle P+R-Bezirke die maximale Änderung der Wartezeit zwischen der aktuellen und der vorherigen Iteration 10 Minuten nicht übersteigt.

6.4.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
um P+R-Anlagen erweitertes Angebotsmodell	Parameterschätzung für Moduswahl und Umlegung
um Modus P+R erweitertes Nachfragemodell	Nachfragekalibrierung (Ziel- und Moduswahl)
ÖV-Matrizen für die ÖV-Teilwege	ÖV-Umlegung
Pkw-Matrizen für die Pkw-Teilwege	MIV-Umlegung

Tabelle 64: Ergebnisse der Implementierung von P+R

6.5 Gäste- und Tourismusmodell

6.5.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Erzeugungsmodell Tourismus und Geschäftsreisen	erstellt im Rahmen der Fortschreibung des multimodalen Gesamtverkehrsmodells der Landeshauptstadt München und ihres Umlands	gevas humberg & partner und SSPConsult 2017

Tabelle 65: Eingangsdaten für das Gäste- und Tourismusmodell

6.5.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Das Nachfragemodell für den Gäste- und Tourismusverkehr (TG-Modell) wird als Teilmodell in das VNM-MUC übernommen. Dazu wird das Nachfragemodell mit den Personengruppen und Aktivitäten übernommen und die entsprechenden Schritte im Verfahrensablauf integriert.

Mit dem TG-Modell werden Wege von Personen modelliert, die nicht im Untersuchungsraum ansässig sind. Es sind somit Wege, die durch die Modelle des privaten Personenverkehrs und des Personenwirtschaftsverkehrs im VNM-MUC nicht abgebildet werden.

Die Überschneidung der Einzelmodelle wurde gelöst, indem die Anzahl an berechneten Wegen am Flughafen begrenzt wurde. In dem Sinn werden Wege der Bewohner des Untersuchungsraumes sowie Wege, welche durch nichtansässige (Besucher) entstehen, unterschieden. Die letztgenannten Wege werden mit dem TG-Modell abgebildet.

Das originale TG-Modell basiert auf dem Jahr 2015. Deshalb wurden folgende Anpassungen im Teilmodell vorgenommen, damit das Modell zeitlich zum Analysejahr des VNM-MUC passt:

- ▶ Anzahl Betten: Umland mit Faktor 1,1 und München 1,4 hochgerechnet
- ▶ Anzahl Ankünfte: Es gab einen Zuwachs von 20 Prozent bei der Zahl der Ankünfte und 23 Prozent bei der Zahl an Übernachtungen in München sowie elf Prozent bei den Ankünften und 15 Prozent bei den Übernachtungen im Umland. Da das Modell die Ankünfte für München und Umland gemeinsam betrachtet, wurden die Ankünfte um 16 Prozent anhand der Anzahl Touristen von München und Umland hochgerechnet.
- ▶ Die Einspeisung der Ankünfte-Abfahrten und Tag-Fahrten für den Straßenverkehr erfolgt über die IV-Kordonbezirke. Damit wird der Verkehr direkt über die Autobahnen ins Modell geleitet. Für den ÖV sind die betreffenden Fahrten an die Bezirke mit Haltestellen Pasing Bf, München Hbf, und Ostbahnhof geknüpft.

6.5.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Matrizen Tourismus- und Geschäftsreisen, getrennt nach Verkehrsmitteln	Umlegung MIV und ÖV

Tabelle 66: Ergebnisse des Gäste- und Tourismusmodells

6.6 Flughafen München

6.6.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Jährlicher Verkehrsbericht (Annual Traffic Report)	Grundlegende Informationen über Verhaltensdaten über den Zugang zum Flughafen (Modal Split), Anzahl der Passagiere und grundlegende Nachfragesegmentierung	Flughafen München: Statistischer Jahresbericht 2019.pdf
Regionaler Nahverkehrsplan		RNP_final_November_2018.pdf

Tabelle 67: Eingangsdaten für das Flughafenverkehrsmodell

6.6.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Die Gestaltung des Flughafenverkehrsmodells spiegelt die Qualität, Struktur und den Genauigkeitsgrad der zur Verfügung stehenden Daten wider. Zu beachten ist weiterhin, dass das TG-Modell die Fluggäste, die nicht im Modellraum wohnhaft sind, bereits abbildet.

Das Flughafennachfragemodell ist als 4-Stufen-Modell implementiert und verfügt über folgende Eigenschaften:

- ▶ zwei Zugangsmodi (Pkw und ÖV)
- ▶ eine Personengruppe
- ▶ zwei Aktivitäten (Geschäftsreise und private Reise)
- ▶ zwei Nachfrageschichten

Die Verkehrs nachfrage des Flughafens wurde aus den Fluggastzahlen des Jahresverkehrsberichts 2019 abgeleitet. Transit-Fluggäste wurden nicht berücksichtigt. Entsprechend des Jahresberichts haben 51 Prozent der Fluggäste ihren Wohnsitz in Deutschland. Außerdem wird durch die Abgrenzung des Untersuchungsraums des Modells das Fluggastaufkommen auf 90 bzw. 85 Prozent für privaten Reisen und Geschäftsreisen weiter reduziert.

Das Verhältnis zwischen privaten Reisen und Geschäftsreisen wird dagegen direkt aus dem Jahresbericht entnommen. Das Jahresaufkommen der Bewohner ist im Nachfragermodell gespeichert.

Die Attraktivität von Nicht-Flughafen-Zellen für Wege von und zum Flughafen wird für die verschiedenen Nachfrageschichten in Abhängigkeit der Anzahl der Einwohner und Arbeitsplätze der Verkehrszellen berechnet. Im Zielwahlmodell wird angenommen, dass die Attraktivität der Zellen die einzige Einflussgröße bei der Zielwahlauswahl ist. Die Berechnung enthält Reisezeitkomponenten für ÖV- und Pkw-Fahrten sowie spezifische alternative Konstanten.

Es wird angenommen, dass die Anzahl der Fluggäste, die von einem anderen Flughafen an- und abreisen, gering ist.

Zudem wird eine Umrechnung der Pkw-Reisenden auf die Fahrzeuge wie folgt umgesetzt:

- ▶ Besetzungsgrad von 2,1 (Privat, MiD-Tabellenband Tabelle B R7 – Anzahl Begleiter aus dem Haushalt) und 1,0 (Geschäft)
- ▶ Umrechnungsfaktor von 1,3 für die Fluggäste (Privat und Geschäft), die ein Taxi oder anderen Privatfahrdienst nutzen.

Um die Jahreswerte auf ein Werktagaufkommen zu beziehen, wurden zwei Faktoren berücksichtigt: Anzahl Abflugtage sowie die Wahrscheinlichkeit, dass die Fluggäste an einem modellspezifischen Werktag (DiDo) ankommen.

6.6.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Matrizen Fluggäste, getrennt nach Verkehrsmitteln Pkw und ÖV	Umlegung MIV und ÖV

Tabelle 68: Ergebnis des Flughafenmodells

7 Verkehrsnachfragemodell - Wirtschaftsverkehr

7.1 Eingangsdaten

Es werden folgende Datengrundlagen verwendet:

Grundlage	Datenbeschreibung
LVM-BY	Im LVM-BY ist ein Nachfragemodell für den Pkw-Wirtschaftsverkehr enthalten, welches methodisch in das aktualisierte VNM-MUC übernommen wird.
VENUS-Modell zur Berechnung der Güterverkehrsmatrizen des bisherigen VNM-MUC	Das bisherige Modell für die Berechnung des kleinräumigen Straßengüterverkehrs dient als Vorlage für die Implementierung des Güterverkehrsmodells im aktualisierten VNM-MUC. Vorhandene Modelldaten und Dokumentationen werden gesichtet und für den Aufbau des Güterverkehrsmodells herangezogen.
Flächennutzungsplan	Anhand des Flächennutzungsplans der LH München werden die Bezirke einer Nutzung zugeordnet. Die Nutzung der Bezirke ist für die Kalibrierung des Wirtschaftsverkehrsmodells relevant.
Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ 2010	Deutschlandweite Erhebung aus dem Jahr 2010 zum Straßengüterverkehr in Deutschland mit Aufstockung für den Raum München.

Tabelle 69: Eingangsdaten Wirtschaftsverkehr

7.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Im bisherigen VNM-MUC gibt es Nachfragematrizen für den Wirtschaftsverkehr; ein integriertes Nachfragemodell ist bisher nicht vorhanden. Es wird nun ein integriertes Nachfragemodell für den Wirtschaftsverkehr aufgebaut, jeweils mit differenzierten Ansätzen für den Personenwirtschaftsverkehr und für den Güterverkehr.

Personenwirtschaftsverkehr

Für den Personenwirtschaftsverkehr wird die im LVM-BY verwendete Methode genutzt. Das im Landesverkehrsmodell verwendete Verfahren für die Nachfrageberechnung des Pkw-Wirtschaftsverkehrs ist vollständig in PTV VISUM integriert und verfolgt einen relativ stark differenzierten Aktivitätenkettenansatz.

In dem Berechnungsansatz sind die Fahrten des Personenwirtschaftsverkehrs nicht enthalten, die nicht mit dem Kfz durchgeführt werden. Diese Fahrten sind grundsätzlich auch nicht Bestandteil des privaten Personenverkehrsmodells oder des Besucherverkehrs. In MiD und SrV sind die Dienstwege nur sehr unvollständig enthalten. Aus diesem Grund werden sie nicht als Teil des Personenverkehrsmodells modelliert, sondern im Wirtschaftsverkehrsmodell.

An dieser Stelle gibt es somit eine Lücke in der Gesamtnachfrage. Besonders im Innenstadtbereich ist davon auszugehen, dass es einen entsprechenden Anteil an Wegen gibt, der im Modell fehlt und der sich in erster Linie auf die ÖV-Belastungen im Modell auswirken dürfte.

Auf Grund fehlender Eingangsdaten zur Behebung der Datenlücke wurde mit dem AG vereinbart, in Anlehnung an das LVM-BY weiterhin nur den Pkw-Wirtschaftsverkehr im Berechnungsansatz für den Personenwirtschaftsverkehr zu berücksichtigen.

Analog zur Umsetzung im LVM-BY wurde das Nachfragemodell für den Pkw-Wirtschaftsverkehr aufgebaut. Die Modellstruktur aus dem LVM-BY wurde mit einigen Anpassungen im VNM-MUC implementiert. Der stark differenzierte Aktivitätenkettenansatz unterscheidet die folgenden Aktivitäten:

Aktivitäten des Personenwirtschaftsverkehrs

Start/Ziel

Besuch Landwirtschaft

Besuch Versorger

Besuch Handwerk

Besuch Industrie

Besuch Einwohner

Besuch Baufirma

Besuch Baustelle

Besuch Kfz-Handel

Besuch Großhandel

Besuch Einzelhandel

Besuch Gast

Besuch Logistik

Besuch Gastgewerbe

Besuch Kommunikation

Besuch Bank

Besuch Unternehmens-Dienstleistung

Vertreter

Besuch Verwaltung

Besuch Bildung

Besuch Gesundheit

Besuch Privater Dienstleister

Besuch Urlauber

Tabelle 70: LVM-BY Personen-WV-Modell – Aktivitäten

Die Modellstruktur des LVM-BY wurde in das VNM-MUC übertragen (Code „WVP“, Name „LVMBY - Beschäftigtenverkehr“). Die Aktivitäten „Besuch Gast“ und „Besuch Urlauber“ sind nicht relevant, da diese Verkehre Bestandteil des TG-Modells sind. Das Nachfragermodell für den Personenwirtschaftsverkehr umfasst die folgenden Personengruppen und Strukturgrößen.

Personengruppen	Strukturgrößen
Beschäftigte Landwirtschaft	Beschäftigte Landwirtschaft
Beschäftigte Versorger	Beschäftigte Versorger
Beschäftigte Handwerk	Beschäftigte Handwerk
Beschäftigte Industrie	Beschäftigte Industrie
Beschäftigte Bau	Einwohner
Ambulante soziale Dienste	Beschäftigte Bau
Stationäre soziale Dienste	Baustelle
Behinderteneinrichtungen	Beschäftigte Kfz-Handel
Krankenhäuser	Beschäftigte Großhandel
Beschäftigte Kfz-Handel	Beschäftigte Einzelhandel
Beschäftigte Großhandel	Gäste
Beschäftigte Einzelhandel	Beschäftigte Logistik
Beschäftigte Logistik	Beschäftigte Gastgewerbe
Beschäftigte Gastgewerbe	Beschäftigte Branche Kommunikation
Beschäftigte Kommunikation	Beschäftigte Banken
Beschäftigte Banken	Beschäftigte U-Dienstleister
Beschäftigte U-Dienstleister	Beschäftigte Verwaltung
Beschäftigte Verwaltung	Beschäftigte Bildung
Beschäftigte Bildung	Beschäftigte Gesundheit
Beschäftigte Gesundheit	Beschäftigte P-Dienstleister
Beschäftigte P-Dienstleister	Urlauber

Tabelle 71: LVM-BY Personen-WV-Modell – Personengruppen und Strukturgrößen

Im Rahmen der Strukturdatenaufbereitung (siehe Kapitel 4) wurden die bezirksfeinen Strukturdaten generiert. Dabei wurde auf die Strukturdaten des LVM-BY zurückgegriffen. Die Strukturgröße „Baustelle“ ist die Summe aus Einwohnern und Beschäftigten. Die Strukturgrößen „Gäste“ und „Urlauber“ werden nicht verwendet, da die damit verbundenen Verkehren Bestandteil des TG-Modells sind.

Bei der Berechnung des Personenwirtschaftsverkehrs werden quell- und zielseitige Untersuchungsraumanteile berücksichtigt. Diese wurden aus dem LVM-BY abgeleitet. Die quellseitigen Untersuchungsraumanteile sind zur Veranschaulichung in der folgenden Abbildung dargestellt.

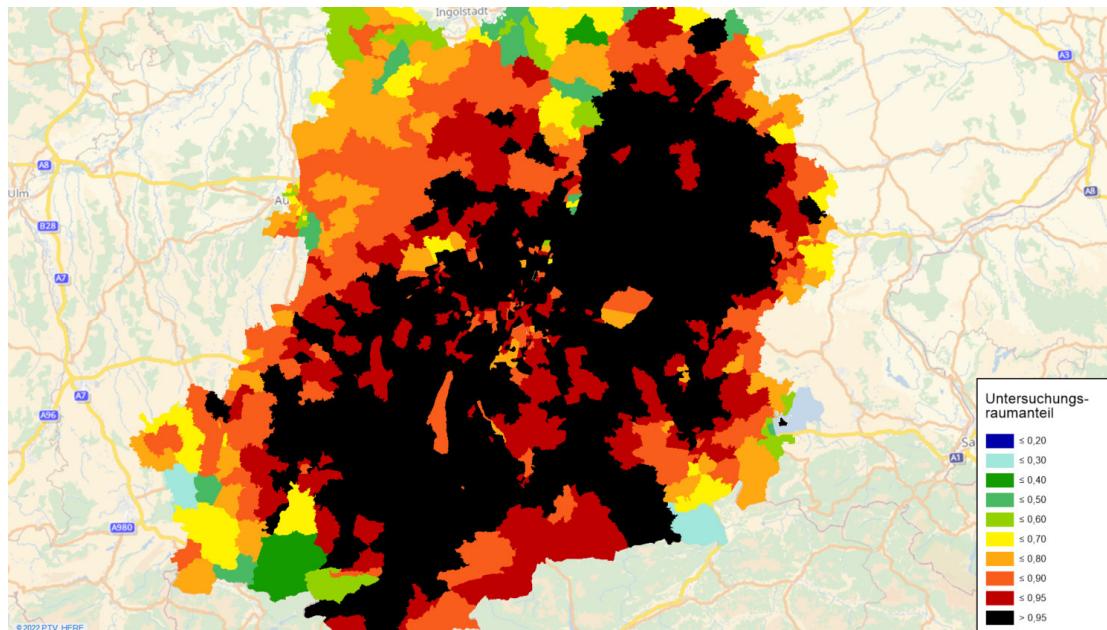


Abbildung 35: Quellseitige Untersuchungsraumanteile des Pkw-Wirtschaftsverkehrs

Die quellseitigen Untersuchungsraumanteile sind in den entsprechenden Attributen des Modells hinterlegt. Von dort aus werden sie in die Berechnung der Verkehrserzeugung einbezogen. Die zielseitigen Untersuchungsraumanteile sind im benutzerdefinierten Attribut „Untersuchungsraumanteil_Pkw-W_Ziel“ hinterlegt. Das Attribut ist in die Berechnung der Zielpotenziale des Personenwirtschaftsverkehrs integriert.

Vor der Berechnung der Verkehrserzeugung und der Verteilung werden die quellseitigen Mobilitätsraten und die zielseitigen Strukturgrößen angepasst. Die Mobilitätsraten sind in der Pol-Kategorie 43 hinterlegt. Von dort aus werden sie im Verfahrensablauf in die entsprechenden Attribute multipliziert. Bei dieser Multiplikation werden sie mit dem Faktor der Flächennutzung des Bezirks und einem Kalibrierungsfaktor verrechnet. Die Strukturgrößen auf der Zielseite sind die Beschäftigten. Sie sind in den benutzerdefinierten Attributen mit dem Präfix „Personenwirtschaftsverkehr_Beschäftigte_“ hinterlegt. Von dort aus werden sie in die entsprechenden Attribute multipliziert. Bei dieser Multiplikation werden sie mit dem zielseitigen Untersuchungsraumanteil, dem Faktor der Flächennutzung des Bezirks und einem allgemeinen Faktor zur Kalibrierung verrechnet.

Bei der Modellierung der Zielwahl werden weder die Reisezeit noch die Reiseweite direkt berücksichtigt. Die Kosten des Pkw-Wirtschaftsverkehrs sind seine einzige Kenngröße. Diese Kosten werden gemäß der Formel aus dem LVM-BY berechnet. In ihre Berechnung fließen die Reiseweite, die Fahrzeit und die Pausenzeit ein.

Güterverkehr

Die Methodik zur Berechnung des Güterverkehrs orientiert sich an dem Verfahren, mit welchem im alten Modell die Güterverkehrsmatrizen in einem externen VENUS-Modell berechnet wurden. Das Prinzip der fahrtenbezogenen Berechnung des für die kommunale Betrachtungsebene relevanten kleinräumigen Straßengüterverkehrs wurde somit beibehalten. Inhaltlich wurden punktuelle Anpassungen vorgenommen, um die Überführung nach PTV VISUM zu ermöglichen. Dieser Modellierungsansatz hat sich in ähnlicher Art in anderen städtischen Modellen bewährt und wird im Folgenden näher beschrieben.

In Anlehnung an den bisherigen Modellansatz (VENUS-Modell für VNM-MUC) wird bei der Nachfragemodellierung des (lokalen) Güterverkehrs der Rundfahrtencharakter des Güterwirtschaftsverkehrs nachgebildet. Dafür wird das Nachfragemodul VISEM verwendet, um den Rundfahrtenansatz nach Wiver nachzubilden.

Die Verkehrserzeugung wird nach dem Kennwertmodell des Wirtschaftsverkehrs berechnet. Dafür ist die Bildung homogener Schichten des Wirtschaftsverkehrsgeschehens notwendig. Sie werden als Wirtschaftsverkehrsklassen (WVK) bezeichnet. Für die WVK sind maßgebende Strukturgrößen und spezifische Kennwerte für die Verkehrserzeugung zu verwenden. Die Kennwerte werden aus der Güterverkehrserhebung KiD 2010 abgeleitet.

Die Berechnung der Verkehrserzeugung und -verteilung wird für jede WVK gesondert durchgeführt. Dabei werden die bezirksfeinen Strukturgrößen (Bevölkerung, Beschäftigte gesamt und Beschäftigte nach Branchen) sowie die jeweiligen Erzeugungs- und Attraktionsraten berücksichtigt.

Im Güterverkehrsmodell werden die WVK als homogene Gruppen durch die Kombination der Kriterien Fahrzeugart und Branche gebildet. Es werden die folgenden drei Fahrzeugarten unterschieden:

- ▶ Lkw-k: Lkw kleiner 3,5t zulässiges Gesamtgewicht
- ▶ Lkw-m: Lkw ab 3,5t bis kleiner 7,5t zulässiges Gesamtgewicht
- ▶ Lkw-g: Lkw ab 7,5t zulässiges Gesamtgewicht

sowie die drei Wirtschaftsbranchen

- ▶ Produzierendes Gewerbe
- ▶ Handel, Gastgewerbe und Verkehr sowie
- ▶ Sonstige Dienstleistungen

Daraus ergeben sich neun Wirtschaftsverkehrsklassen:

WVK	Fahrzeugart	Quellbranche
1	Lkw-k	Produzierendes Gewerbe
2	Lkw-k	Handel, Gastgewerbe und Verkehr
3	Lkw-k	Sonstige Dienstleistungen
4	Lkw-m	Produzierendes Gewerbe
5	Lkw-m	Handel, Gastgewerbe und Verkehr
6	Lkw-m	Sonstige Dienstleistungen
7	Lkw-g	Produzierendes Gewerbe
8	Lkw-g	Handel, Gastgewerbe und Verkehr
9	Lkw-g	Sonstige Dienstleistungen

Tabelle 72: Wirtschaftsverkehrsklassen des Güterverkehrsmodells

Diese neun Klassen sind im Nachfragemodell des Güterwirtschaftsverkehrs (Code „WVG“, Name „Rundfahrten_GWV“) enthalten. Die verkehrserzeugende Personengruppe jeder Klasse sind die Beschäftigten ihrer Branche. Zudem verfügt jede Klasse über ein attraktionsseitiges Zielpotenzial welches u. a. aus den Einwohnern, den Beschäftigten der drei Branchen, den gesamten Beschäftigten sowie ihren Attraktionsraten berechnet wird.

Bei der Berechnung des Güterwirtschaftsverkehrs werden quell- und zielseitige Untersuchungsraumanteile berücksichtigt. Diese wurden aus dem LVM-BY abgeleitet. Die dabei angewandte Methodik stimmt mit der beim Personenwirtschaftsverkehr überein. Die quellseitigen Untersuchungsraumanteile sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

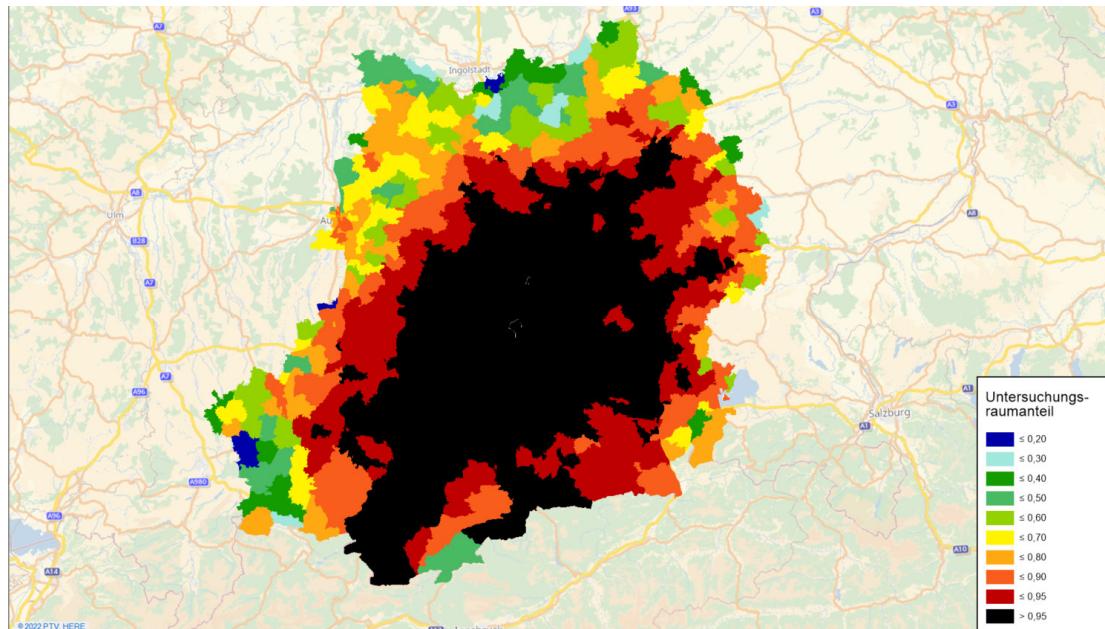


Abbildung 36: Quellseitige Untersuchungsraumanteile der Lkw-k

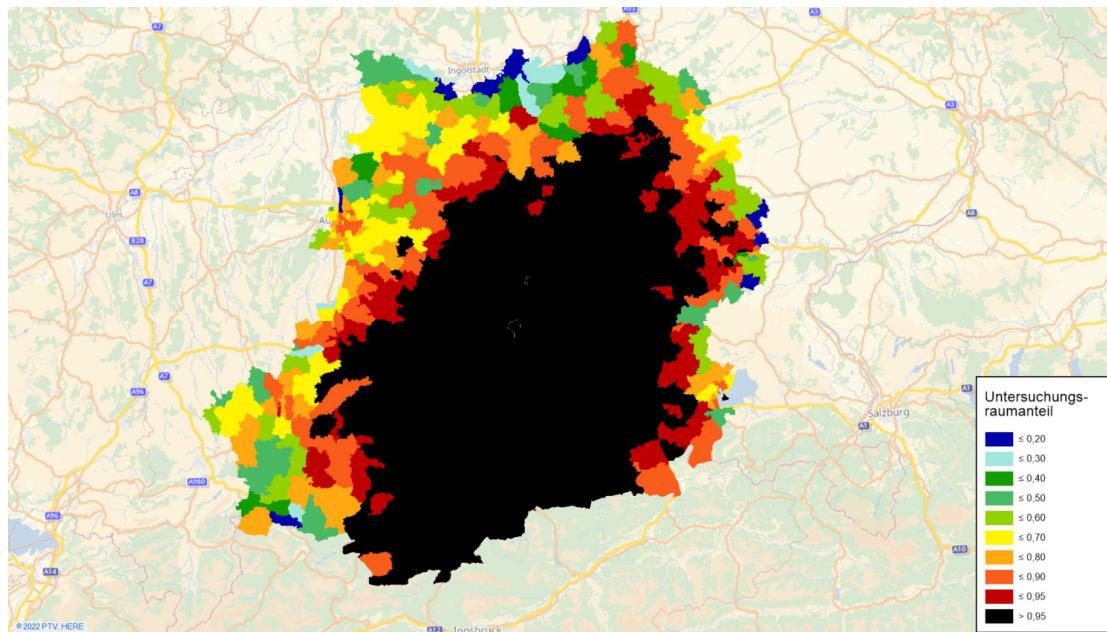


Abbildung 37: Quellseitige Untersuchungsraumanteile der Lkw-m

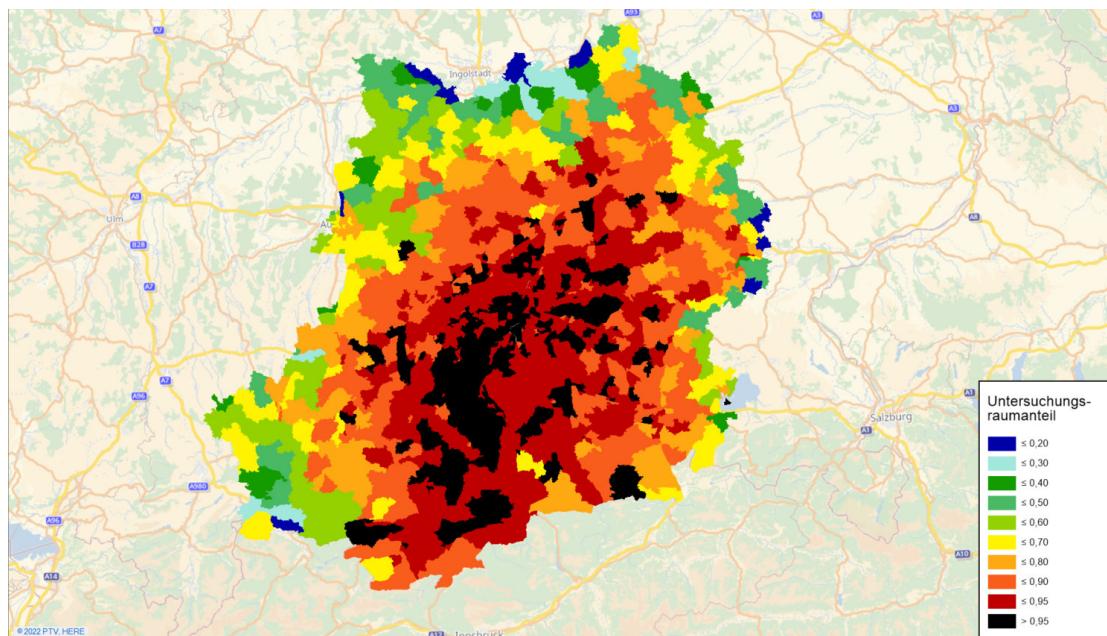


Abbildung 38: Quellseitige Untersuchungsraumanteile der Lkw-g

Die quellseitigen Untersuchungsraumanteile sind in den entsprechenden Attributen hinterlegt. Von dort aus werden sie in die Berechnung der Verkehrserzeugung einbezogen. Die zielseitigen Untersuchungsraumanteile sind in benutzerdefinierten Attributen mit dem Präfix „Untersuchungsraumanteil_“ hinterlegt. Die Attribute sind in die Berechnung der Zielpotenziale der verschiedenen Güterwirtschaftsverkehrsklassen integriert.

Vor der Berechnung der Verkehrserzeugung und -verteilung werden die quellseitigen Mobilitätsraten und die zielseitigen Strukturgrößen angepasst. Die unbearbeiteten Mobilitätsraten sind in der Pol-Kategorie 43 hinterlegt. Von dort aus werden sie im Verfahrensablauf in die entsprechenden Attribute multipliziert. Bei dieser Multiplikation werden sie mit dem Faktor der Flächennutzung des Bezirks, dem Faktor des Gleisanschlusses und einem allgemeinen Faktor zur Kalibrierung verrechnet. Die Strukturgrößen auf der Zielseite sind die Einwohner, die Beschäftigten der drei Branchen und die Beschäftigten insgesamt. Aus ihnen sowie ihren Attraktionsraten wird für jede Wirtschaftsverkehrsklasse ein Zielpotenzial berechnet. Die Attraktionsraten sind in der Pol-Kategorie 44 hinterlegt. Bei der Berechnung der Zielpotenziale werden der zielseitige Untersuchungsraumanteil, der Faktor der Flächennutzung des Bezirks und der allgemeine Faktor zur Kalibrierung berücksichtigt.

Die Erzeugungsrechnung der Quellaufkommen wird separat für die einzelnen WVK durchgeführt. Dafür werden die folgenden Rundfahrtenparameter verwendet:

- ▶ mittlere Anzahl der Rundfahrten pro Beschäftigten
- ▶ mittlere Anzahl der Ziele je Rundfahrt

In die Modellierung der Verkehrsverteilung des Güterwirtschaftsverkehrs fließt als einzige Kenngröße die Reisezeit im unbelasteten Netz t0 ein.

Kalibrierung

Um gebiets- bzw. nutzungsspezifische Besonderheiten im Modell zu berücksichtigen, werden Gebietsfaktoren verwendet, die für verschiedene Gebietstypen Justierungen an den Kennwerten ermöglichen. Damit wird erreicht, dass beispielsweise in Wohngebieten keine Gütertransporte beginnen oder eine Zone mit einem Industriegebiet mehr Gütertransporte generiert als eine Zone im Innenstadtgebiet. Die Gebietsfaktoren sind eine Stellschraube für die Kalibrierung. Für die Zuordnung der Gebietsfaktoren wurde den Bezirken ein Gebietstyp/eine Nutzung zugeordnet. Die Zuordnung basiert auf dem Flächennutzungsplan der LH München. Die Bezirke wurden den folgenden 14 Nutzungsarten zugeordnet.

- ▶ Gesundheit
- ▶ Gewerbegebiete
- ▶ Grünfläche
- ▶ Hochschule
- ▶ Industriegebiete
- ▶ Kerngebiete
- ▶ Kordonbezirk
- ▶ Landesverteidigung
- ▶ Messe
- ▶ Mischgebiet

- ▶ SV-Verbot
- ▶ Umland
- ▶ Verkehrsfläche
- ▶ Wohngebiete

Die Zuordnung der Bezirke zu den Nutzungen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

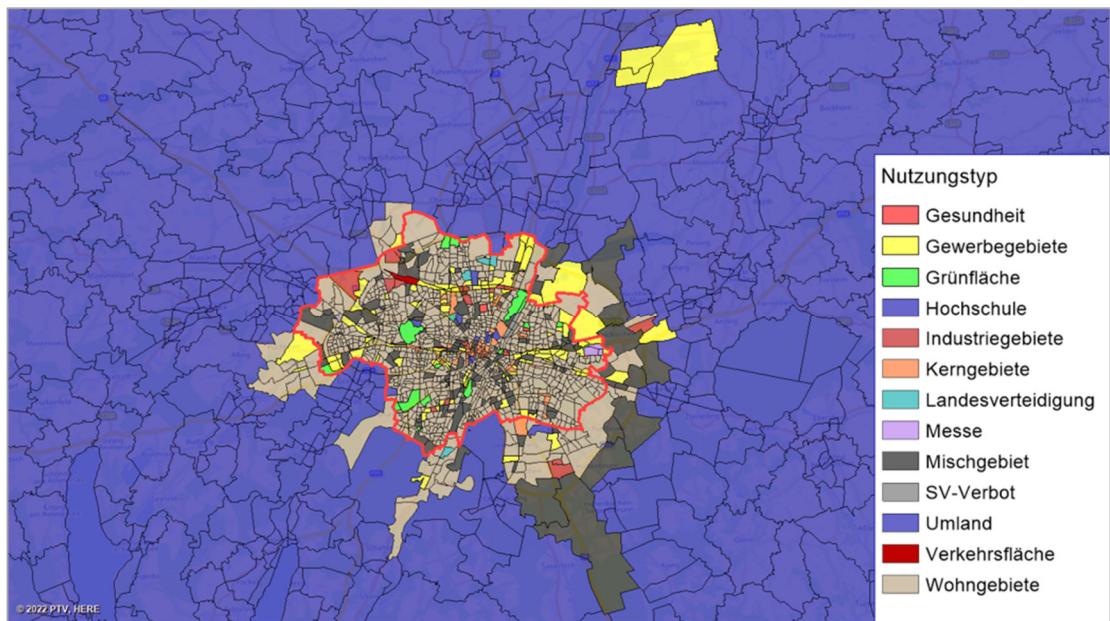


Abbildung 39: Zuordnung der Bezirke zu den Gebietstypen

Im Rahmen der Kalibrierung werden den 14 Nutzungen Gebietsfaktoren im Wertebereich um 1,0 zugeordnet. Die Gebietsfaktoren fließen in die Berechnung des Heimatverkehrsaufkommens und des Zielpotenzials des Wirtschaftsverkehrs ein. Sie werden deswegen nach der Produktions- und der Attraktionsseite sowie den verschiedenen Wirtschaftsverkehrsklassen differenziert. Bei neun Wirtschaftsverkehrsklassen und zwei Seiten (Quelle und Ziel) ergeben sich für den Güterwirtschaftsverkehr 18 Faktoren je Gebietstyp. Für den Personenwirtschaftsverkehr werden die Faktoren nach der Wirtschaftsbranche differenziert. Somit existieren für ihn sechs Faktoren (drei Branchen mal zwei Seiten). Die Faktoren sind in der Pol-Kategorie 42 („Anpassungsfaktoren“) hinterlegt.

Die Integration der Gebietsfaktoren in die Berechnung des Heimatverkehrsaufkommens geschieht durch die Anpassung der Erzeugungsraten. Die angepassten Erzeugungsraten des Wirtschaftsverkehrs werden im Verfahrensablauf berechnet.

Die Gebietsfaktoren wurden in die Berechnung der Zielverkehrspotenziale der WVK integriert. Die Zielpotenziale des Wirtschaftsverkehrs werden im Verfahrensablauf berechnet. Die originalen Attraktionsraten aus KiD wurden dazu in der Pol-Kategorie 44 („Attraktionsraten _WVK“) hinterlegt. Die Strukturgrößen (Einwohner, Beschäftigte gesamt und nach Branchen) und die resultierenden Zielpotenziale sind in Attributen hinterlegt. Die Zielverkehrspotenziale des Personen-

wirtschaftsverkehr werden ebenfalls im Verfahrensablauf berechnet. Dazu wurden die Beschäftigten je Wirtschaftszweig in benutzerdefinierten Attributen hinterlegt. Durch die Multiplikation mit den Faktoren ergeben sich die angepassten Zielpotenziale, welche in Attributen („Wert der Strukturgröße …“) gespeichert werden. Die Gebietsfaktoren sind Stellschrauben der Kalibrierung und wurden angepasst, um ein möglichst hohes Maß an Übereinstimmung zwischen Modell- und Zählwerten zu erreichen. In der folgenden Tabelle sind die resultierenden Faktoren dargestellt.

Anpassungsfaktoren (42)														
Anzahl:	Nr.	Name	Faktor_MR_WVK24	Faktor_MR_WVK25	Faktor_MR_WVK26	Faktor_MR_WVK27	Faktor_MR_WVK28	Faktor_MR_WVK29	Faktor_AR_WVK24	Faktor_AR_WVK25	Faktor_AR_WVK26	Faktor_AR_WVK27	Faktor_AR_WVK28	Faktor_AR_WVK29
1	1	Gesundheit	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
2	2	Gewerbegebiete	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500
3	3	Grünfläche	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4	4	Hochschule	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
5	5	Industriegebiete	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000
6	6	Kerngebiete	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000
7	7	Kordonbezirk	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
8	8	Kreisverteilung	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	9	Messe	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
10	10	Mischgebiet	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000
11	11	Umland	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
12	12	Verkehrsfläche	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
13	13	Wohngebiete	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
14	14	SV-Verbot	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

Abbildung 40: Anpassungsfaktoren der Flächennutzung

Einige Unternehmen verfügen zum Transport von Gütern über Gleisanschlüsse. Die Gleisanschlüsse sind in die Berechnung des Wirtschaftsverkehrs zu integrieren. Dazu wurden die Gleisanschlüsse den Bezirken, in denen sie liegen, zugeordnet. In der folgenden Abbildung sind alle Bezirke, denen ein Gleisanschluss zugeordnet ist, blau eingefärbt.

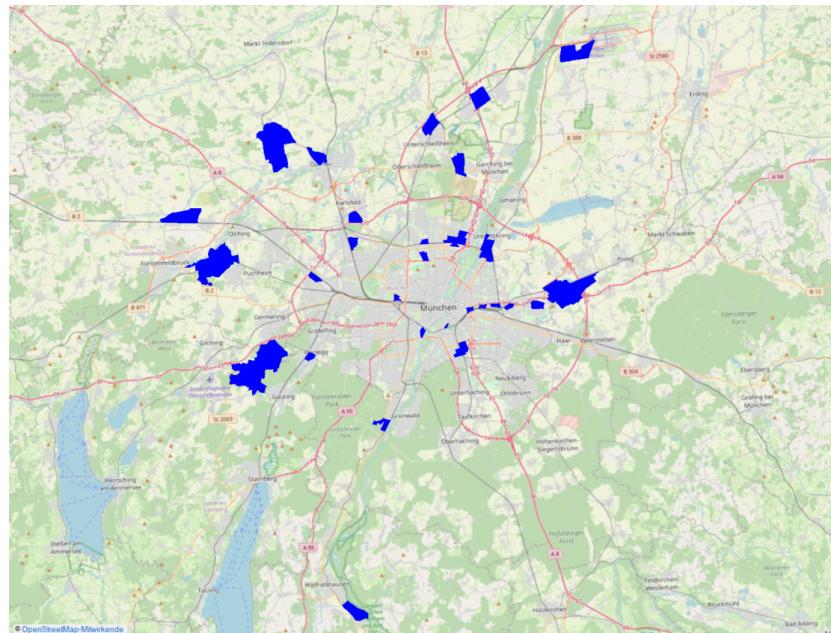


Abbildung 41: Bezirke mit einem Gleisanschluss

Die Berechnung der Erzeugungsraten und der Zielpotenziale des Güterwirtschaftsverkehrs wurde um Faktoren für die Gleisanschlüsse erweitert. Die Faktoren sind in benutzerdefinierten Bezirksattributen hinterlegt („Wirtschaftsverkehr_Faktor_Gleisanschluss_Lkw-“). Sie werden im

Verfahrensablauf mit den Erzeugungsraten und den Zielpotenzialen multipliziert. Da aktiv genutzte Gleisanschlüsse die Ausnahme bilden, verfügen die Faktoren über einen Standardwert von 1,0. Es verfügen nur 12 Bezirke über einen Gleisanschlussfaktor kleiner 1,0. Die Faktoren der Gleisanschlüsse wirken nur für die Lkw-m und die Lkw-g. In der folgenden Abbildung sind die Faktoren der betroffenen Bezirke dargestellt.

Anzahl: 14	Nr.	Name	Wirtschaftsverkehr_Faktor_Gleisanschluss_Lkw_g_Atraktion	Wirtschaftsverkehr_Faktor_Gleisanschluss_Lkw_g_Produktion	Wirtschaftsverkehr_Faktor_Gleisanschluss_Lkw_m_Atraktion	Wirtschaftsverkehr_Faktor_Gleisanschluss_Lkw_m_Produktion
1	109151000	M. Neuhausen - Nymphenburg, Neuhausen, 9	0,90	0,90	0,90	0,90
2	111213000	M. Milbertshofen - Am Hart, Am Riesenfeld, 6	1,00	0,05	1,00	0,05
3	112163000	M. Schwabing - Freimann, Freimann, 12	0,90	0,90	0,90	0,90
4	113484000	M. Bogenhausen, Englischalking, 22	0,90	0,90	0,90	0,90
5	115131000	M. Trudering - Riem, Trudering-Riem, 8	0,80	0,80	0,80	0,80
6	117212000	M. Oberföhring - Fasangarten, Südföhring, 2	0,81	0,81	0,81	0,81
7	122132100	M. Aubing - Lochhausen - Langwied, Altabing, 13	0,90	0,90	0,90	0,90
8	123120300	M. Albach - Untermenzing, Industriebezirk, 5	0,90	0,90	0,90	0,90
9	124223100	M. Feldmoching - Hasenbergl, Hasenbergl-Lerchenau Ost, 7	0,90	0,90	0,90	0,90
10	917812004	FS. Eching, 4	0,95	0,95	0,95	0,95
11	917813004	FS. Hallbergmoos, 4	0,70	1,00	0,70	1,00
12	918411800	ML. Feldkirchen, 1, Feldkirchen(b M) Bhf	0,90	0,90	0,90	0,90
13	918411907	ML. Garching Hochbrück Rodelhügel	1,00	0,90	1,00	0,90
14	918414703	ML. Unterföhring Süd/Heizkraftwerk, Unterföhring O Bhf	0,80	1,00	0,80	1,00

Abbildung 42: Gleisanschlussfaktoren der betroffenen Bezirke

Für die Kalibrierung wurden die Verfahrensschritte zur Berechnung der Zielpotenziale und zur Anpassung der Erzeugungsraten um einen allgemeinen Faktor erweitert. Dies betrifft sowohl den Personen- als auch den Güterwirtschaftsverkehr. Die Faktoren sind in benutzerdefinierten Attributen („Wirtschaftsverkehr_Faktor_Kalibrierung_...“) hinterlegt. Im Rahmen der Kalibrierung wurden sie so belegt, dass ein möglichst hohes Maß an Übereinstimmung zwischen Modell- und Zählwerten erreicht wird. Zur Veranschaulichung sind in der folgenden Abbildung die quellseitigen Faktoren des Lkw-g dargestellt.

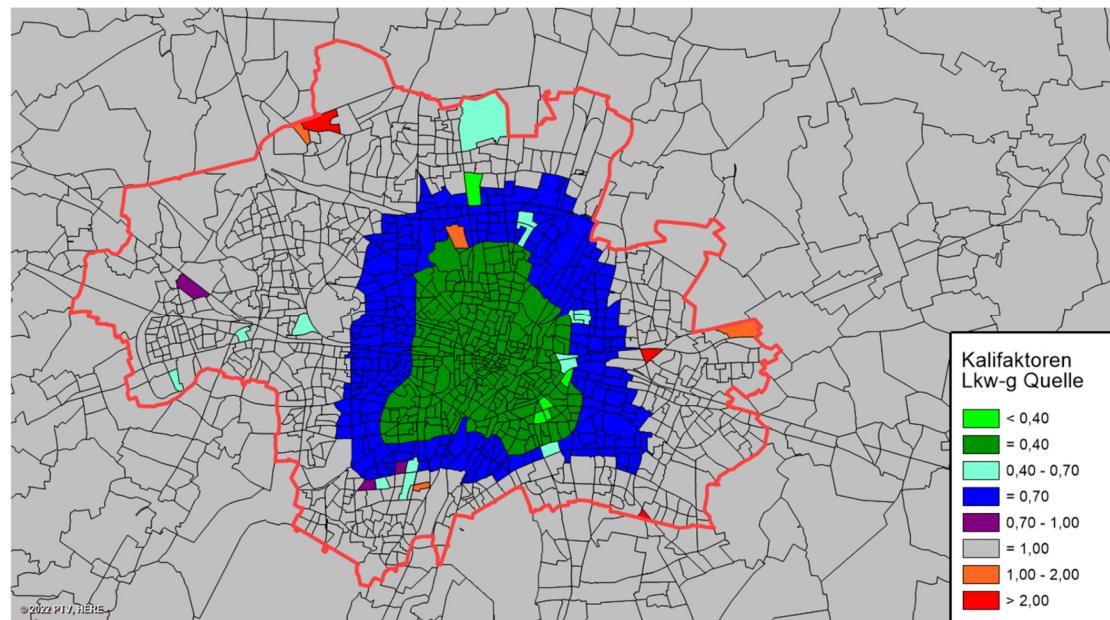


Abbildung 43: Quellseitige Kalibrierungsfaktoren des Lkw-g

Im Rahmen der Kalibrierung wurde zudem ein Widerstandsfaktor auf Ebene der Streckentypen eingeführt. Dieser ist im Attribut „Lkw_Widerstandsfaktor“ der Streckentypen hinterlegt und in die Widerstandsfunktion der Lkw-m und der Lkw-g integriert. Mit diesem Faktor können die Präferenzen der Lkw-Fahrer für bestimmte Streckentypen im Modell abgebildet werden. Im Rahmen der Kalibrierung wurden ein Faktor von 0,9 für Bundesautobahnen und Bundesstraßen (Streckentypen 100 bis 299) gesetzt.

7.3 Ergebnisse

Als Ergebnis liegt ein integriertes Nachfragemodell für den Wirtschaftsverkehr vor, welches sowohl für den Personenwirtschaftsverkehr als auch für den Güterwirtschaftsverkehr nach einem disaggregierten Fahrtenkettenansatz Nachfragematrizen berechnet.

8 Externe Verkehre

8.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Matrizen aus dem LVM-BY	Differenzierung nach Modus- und Zielaktivität	AG
Zählwerte IV		Arbeitspaket Zählwerte
Zählwerte ÖV		Arbeitspaket Zählwerte
Attraktionspotenziale		Arbeitspaket Erzeugung
Angebotsmodell		Arbeitspaket Angebotsmodell

Tabelle 73: Eingangsdaten für die Berechnung der externen Verkehre

8.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Bei den externen Verkehren handelt es sich um Wege, die außerhalb des Untersuchungsraumes beginnen und/oder enden. Flughafen bzw. etwaige andere Besucherverkehre werden in den jeweiligen Teilmodellen ermittelt. Als Grundlage für die Erzeugung des externen Verkehrs für das VNM-MUC dient das LVM-BY auf Basis des Analysejahres 2015.

8.2.1 Erzeugung eines Teilnetzes in PTV VISUM

Der externe Verkehr wird sowohl für den privaten Individual- und öffentlichen Verkehr als auch für den wirtschaftlichen Pkw- und Lieferverkehr ermittelt. Hierfür wird auf Basis des LVM-BY ein Teilnetz der Größe des Untersuchungsraums des VNM-MUC mittels des in PTV VISUM eingebauten Teilnetzgenerators erstellt. Aufgrund dessen, dass im LVM-BY der Straßenverkehr und der öffentliche Verkehr in zwei getrennten Versionen abgebildet ist, werden folgende Arbeitsschritte parallel durchgeführt.

1. Implementierung des Untersuchungsgebiets des VNM-MUC in die Modellversion des LVM-BY
2. Berechnung des Teilnetzes mithilfe des Teilnetzgenerators in PTV VISUM.
3. Das entstandene Teilnetz wird bereinigt. Hierfür werden Kordonbezirke, die nur eine sehr geringe Nachfrage aufweisen mit nahegelegenen Kordonbezirken zusammengefasst. Des Weiteren wird darauf geachtet, dass keine Kordonbezirke innerhalb des Untersuchungsraums verteilt sind. Es wird verglichen, wo der Ursprung des Kordonbezirks im LVM-BY liegt.
4. Die bereinigten Kordonbezirke werden in das VNM-MUC importiert.

5. Die Kordonbezirke müssen an das Netz des VNM-MUC angebunden werden. Jeder Kordonbezirk erhält eine Anbindung, die sich am äußeren Rand des Untersuchungsgebiets befindet. ÖV-Kordonbezirke können nur an Knoten angebunden werden, die ein Teil einer Haltestelle sind. Die Position der Anbindung richtet sich nach dem im Teilnetz angebundenen Knoten.

8.2.2 Berechnung der Nachfragematrizen

Die Nachfragematrizen des LVM-BY müssen auf die Bezirksdimension des VNM-MUC gebracht werden. Dazu werden die Bezirke der IV- bzw. ÖV-Teilnetze des LVM-BY zu Oberbezirken umgewandelt. Die Bezirke des VNM-MUC können dann in diese temporäre Datei eingelesen werden. Mittels Verschneide-Operationen kann eine Beziehung zwischen den Bezirken des LVM-BY und denen des VNM-MUC aufgebaut werden.

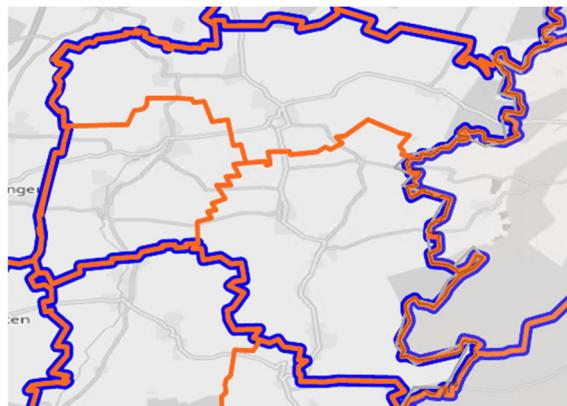


Abbildung 44: Ein Bezirk (blau) umfasst mehrere Oberbezirke (orange)



Abbildung 45: Ein Oberbezirk (orange) umfasst mehrere Bezirke (blau)

Es können demnach drei verschiedene Zuweisungstypen entstehen:

1. Die Bezirke des VNM-MUC liegen scharf auf den Bezirken des LVM-BY.
2. Ein Bezirk des LVM-BY umfasst mehrere Bezirke des VNM-MUC.
3. Ein Bezirk des VNM-MUC umfasst mehrere Bezirke des LVM-BY.

Für den ersten Fall genügt eine 1-zu-1-Zuweisung der Bezirke. Für den dritten Fall müssen mehrere Bezirke des LVM-BY zu einem aggregiert werden; die Nachfrage muss ebenfalls aggregiert werden. Für den zweiten Fall müssen Split-Faktoren ermittelt werden, die festlegen, welcher Anteil der Nachfrage der Verkehrszelle des LVM-BY auf die einzelnen Zellen des VNM-MUC verteilt werden muss. Um derartige Split-Faktoren zu bestimmen, werden die Daten der Einwohner und Arbeitsplätze eines Bezirks mit einer 1:1-Gewichtung zu einem Faktor verrechnet, wobei sicher gestellt wird, dass die Summe der Split-Faktoren auf Oberbezirksebene gleich 1 ist. So wird sichergestellt, dass nur so viel Nachfrage verteilt wird, wie vorher existiert hat.

Da die Matrizen nur den externen Verkehr abbilden sollen, werden die Binnenwege, das heißt von VNM-MUC-Zelle nach VNM-MUC-Zelle, aus den berechneten Matrizen entfernt. Die Ergebnismatrizen können schließlich aus der temporären Teilnetz-Datei in das Modell des VNM-MUC importiert werden.

Die resultierenden externen Matrizen haben die Nummern 20 bis 26. Im Rahmen der Kalibrierung wurden sie anhand von Zählstellenbelastung am Modellrand angepasst.

Für die Prognose wurden aus dem Analyse- und dem Prognose-Modell des LVM-BY Hochrechnungsfaktoren ermittelt und auf die angepassten externen Matrizen angewandt. Für die Matrizen des ÖVs und des Pkws erfolgte zur Abbildung der Wirkung von Home-Office eine Multiplikation mit dem Faktor 0,98.

8.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
externer Verkehr Pkw Personenverkehr	Umlegung MIV
externer Verkehr Pkw Wirtschaftsverkehr	Umlegung MIV
externer Verkehr Lkw	Umlegung MIV
Externer Verkehr ÖV	Umlegung ÖV

Tabelle 74: Ergebnisse der Bestimmung der externen Verkehre

9 Berechnung der Routenwahl (Umlegung)

9.1 Umlegung: Straßenverkehr

9.1.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Angebotsdaten	Attribuiertes Netzmodell	Angebotsmodell
Matrizen Pkw-Verkehr	Matrizen der Nachfrageberechnung: ▪ Personenverkehr ▪ Wirtschaftsverkehr ▪ P+R-Teilwege Pkw ▪ Sonderverkehre	Ergebnis der Nachfrageberechnung
Matrizen Lkw-Verkehr		
Externe Matrizen Pkw und Lkw		Ergebnis aus Kapitel 8

Tabelle 75: Eingangsdaten für die Umlegung

9.1.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Segmentierung

Für die Umlegung des Straßenverkehrs erfolgt die Segmentierung des Leichtverkehrs < 3,5t in die drei Segmente Pkw, Pkw-Extern und Lkw<3,5t. Der Schwerverkehr wird entsprechend der Segmentierung des Wirtschaftsverkehrsmodells und des LVM-BY in die Segmente 3,5t bis >7,5t und >=7,5t differenziert. Die Berechnung der Routenwahl des Lkw-Verkehrs erfolgt in einer vorgeschalteten stochastischen Umlegung.

PTV VISUM bietet neben der stochastischen Umlegung verschiedene Verfahren zur Berechnung eines deterministischen Nutzergleichgewichts. Da das deterministische Nutzergleichgewicht bei den Streckenbelastungen eine mathematisch eindeutige Lösung liefert, ermitteln alle Verfahren im Gleichgewichtszustand die gleichen Streckenbelastungen. Aufgrund der auf Streckenebene eindeutigen Lösung kommt für den Pkw-Verkehr ein deterministisches Gleichgewichtsverfahren zum Einsatz.

Die Verfahren sind:

- ▶ Standard-Gleichgewichtsverfahren
- ▶ Lernverfahren
- ▶ LUCE-Verfahren
- ▶ Bi-conjugate Frank-Wolfe (BFW).

PTV hat verschiedene Tests zur Bewertung dieser Verfahren durchgeführt. Kriterien waren die Geschwindigkeit des Verfahrens, bis eine ausreichende Konvergenz erreicht wurde, und das Finden einer realistischen Wegemenge. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Verfahren LUCE und insbesondere BFW aufgrund der gefundenen Wegeanzahl, dem Umgang mit simultan umgelegten Nachfragesegmenten und der entstehenden Rechenzeiten die überlegenen Verfahren sind. Für die Umlegungen des Leichtverkehrs wurde deshalb das BFW-Verfahren verwendet. Das Verfahren ist parallelisiert und skaliert mit der Anzahl der verwendeten Rechenkerne, sodass Laufzeiten durch bessere Hardware erheblich reduziert werden können.

Konvergenz der IV-Umlegung

Der Grad der Konvergenz der IV-Umlegung wird in PTV VISUM mit dem sogenannten Gap über alle Strecken bestimmt. Der Gap für eine Strecke errechnet sich wie folgt:

Gap = (Fahrzeugwiderstand - hypothetischer Fahrzeugwiderstand) / hypothetischer Fahrzeugwiderstand

Der hypothetische Widerstand ist der minimale Widerstandswert, der für den nächsten Iterationsschritt unter der Annahme, dass alle Fahrzeuge - basierend auf den aktuellen Widerständen im Netz - den Bestweg verwenden würden, hypothetisch errechnet wird.

Der Gap über alle Strecken einer Umlegung im Gleichgewicht liegt im Allgemeinen bei 10^{-4} oder 10^{-5} . Je kleiner das vorgegebene Gap ist, desto geringer ist die Konvergenzgeschwindigkeit und desto höher ist der Speicherverbrauch. Allerdings wird dann auch ein höheres Konvergenzniveau (Rechengenauigkeit) und eine höhere Stabilität des Modells erreicht. Nach entsprechenden Tests wurde deshalb für das Modell ein Kompromiss mit einem Gap von $5 \cdot 10^{-5}$ gewählt und im Verfahrensablauf eingestellt.

Rückkopplung

Neben der Konvergenz auf Ebene der Ziel- und Moduswahl im Zusammenhang mit den Randsummenbedingungen und der Konvergenz der Umlegung des Straßenverkehrs muss zur Beschreibung des Gleichgewichtsmaßes zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage eine dritte Konvergenzebene im Nachfragermodell eingehalten werden.

In der Realität stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Verkehrsnachfrage und -angebot ein. Das Gleichgewicht beschreibt einen Zustand, in dem sich Wirkung und Gegenwirkung aufheben. Im Fachgebiet der strategischen Verkehrsnachfragermodelle wird die Wirkung des Verkehrsange-

botes auf die Verkehrswahlentscheidung und in der Gegenrichtung die Wirkung der Wahlentscheidung auf das Angebot untersucht. Das Verkehrs nachfragemodell muss dieses Gleichgewicht adäquat nachbilden.

Die Teilmodelle Ziel- und Moduswahl auf der einen Seite und Verkehrsumlegung auf der anderen Seite sind modelltechnisch so verknüpft, dass sich Kenngrößen (Angebot) und Nachfrage beeinflussen. In PTV VISUM wird dieser Berechnung im Verfahrensablauf umgesetzt. Der Verfahrensschritt „Bedingter Rücksprung“ wird verwendet, um diese Abhängigkeit zu implementieren. Die gesamte Berechnung bis hin zum Gleichgewichtszustand läuft somit innerhalb von PTV VISUM automatisch ab.

Um schneller zum gewünschten Gleichgewichtszustand zu kommen, können die berechneten belastungsabhängigen Reisezeiten im Straßenverkehr nach jeder Iteration geglättet werden. Die Ersparnisse bei diesem Glättungsvorgang sind allerdings nicht zwingend vorhanden. Deshalb wurde auf eine Glättung verzichtet.

Für die Konvergenzprüfung bzw. die Vorgabe des Abbruchkriteriums bei Erreichung des Gleichgewichts stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die entweder matrixbezogen oder attributbezogen sind. Für das VNM-MUC wurde dafür ein benutzerdefiniertes Netzattribut „r_GleichgewichtsmarkerNetz“ angelegt, das Differenzen bei den Streckenfahrzeiten berücksichtigt. Ein Rücksprung findet statt, solange das Maximum der Werte der Einzelstrecken größer null ist.

Die Anzahl der Rücksprünge wurde im Verfahrensschritt eingeschränkt, so dass mindestens 5 und höchstens 20 Iterationen durchgeführt werden.

9.1.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Belastungswerte der umgelegten Nachfragesegmente	weitere Auswertungen

Tabelle 76: Ergebnisse der Umlegung

9.2 Umlegung: Öffentlicher Verkehr

9.2.1 Eingangsdaten

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Angebotsmodell	Netzmodell ÖV	Ergebnis aus AP 2.1
Matrizen ÖV	Matrizen aus Nachfrageberechnung, ggf. differenziert in Nachfragesegmente	Ergebnis aus AP 4
Externer Verkehr ÖV		Ergebnis aus AP 8

Tabelle 77: Eingangsdaten für die ÖV-Umlegung

9.2.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Die Vorgehensweise bei der fahrplanfeinen Umlegung ist wie folgt:

- ▶ Die Routensuche erfolgt für einen Umlegungszeitraum. Der Algorithmus betrachtet jede Abfahrtsminute innerhalb des Umlegungszeitraumes. Dadurch werden für jede Quelle-Ziel-Relation mehrere Verbindungen gefunden. Die Selektion in „vernünftige“ und „unvernünftige“ Verbindungen erfolgt innerhalb von PTV VISUM auf der Basis von Kriterien.
- ▶ Für die Verbindungswahl („Welche Verbindung wird gewählt? / Welche Routen nutze ich?“) werden entscheidungsrelevanten Kenngrößen zu einem Widerstandswert zusammengefasst. Entscheidungsrelevante Kenngrößen einer Verbindung sind z. B. die Reisezeit, die Zu- und Abgangszeit, die Umsteigehäufigkeit, die Umsteigewartezeit, die Startwartezeit, der Fahrpreis, die Zeitdifferenz zwischen der angebotenen und nutzerseitig erwünschten Abfahrtszeit. Die Zusammenfassung der Kenngrößen zu einem Widerstandswert erfolgt nach einer festen (Summen-)Formel mit Koeffizienten zur Gewichtung der einzelnen Größen. Das Ziel ist, einen Widerstandswert zu ermitteln, der einer menschlichen Wahrnehmung möglichst nahekommt.
- ▶ Die Aufteilung der Nachfrage auf Verbindungen einer Relation erfolgt mit einem diskreten Wahlmodell (Logit-Modell).
- ▶ Für die Nachfrageberechnung muss eine Kenngrößenmatrix bereitgestellt werden, z. B. die Reisezeitmatrix, die Zu- und Abgangszeit, die Umsteigehäufigkeit, die Kosten je Relation. Hierfür werden die Kenngrößen einer jeden Verbindung zu einem Wert für die Relation nachfragegewichtet gemittelt.

- ▶ Für die Aufteilung auf die Verbindungen und damit letztendlich auf Servicefahrten haben die Einstellungen zu der zeitlichen Verteilung (Ganglinie) der Nachfrage eine erhebliche Wirkung. Hierfür gibt es neben der reinen Nachfrageganglinie mehrere zusätzliche Parameter. Die Wirkung der Parameter ist weitgefasst und reicht von einer Gleichverteilung bis hin zu einer strengen Zuteilung auf ein Zeitintervall.
- ▶ Das Intervall für die zeitabhängige Widerstandsberechnung wird feiner aufgerastert.

Bei der Übernahme des Verkehrsmodells wurden die vorliegenden Einstellungen der Umlegungsparameter geprüft und angepasst. Die vorhandenen angebotsseitigen Korrekturfaktoren wurden initialisiert. Die Parameter für die Routensuche und Routenwahl wurden angepasst.

9.2.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Belastungswerte der umgelegten Nachfragesegmente	weitere Auswertungen

Tabelle 78: Ergebnisse der ÖV-Umlegung

10 Kalibrierung und Validierung

10.1 Kalibrierung

10.1.1 Eingangsdaten für Kalibrierungsprozess

Eingangsdatensatz	Beschreibung	Quelle
Reisezeitenmittelwerte	unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität und Modus	Ergebnis Kap. 5
Reiseweitenmittelwerte	unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität und Modus	Ergebnis Kap. 5
Verteilung von Reisezeit und -weite	unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität und Modus	Ergebnis Kap. 5
Modal Split	gesamt und unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität	Ergebnis Kap. 5
Entfernungsklassenabhängiger Modal Split	gesamt und unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität	Ergebnis Kap. 5
Quell- und Zielverkehrsaufkommen	zweck- und modusfein	Ergebnis Kap. 5

Tabelle 79: Übersicht Eingangsdaten für die Kalibrierung/Validierung

10.1.2 Methodischer Aufbau und Umsetzung

Das Verkehrsmodell wird auf allen Modellstufen anhand vorhandener Vergleichsdaten kalibriert und validiert. Dabei besteht die Kalibrierung aus der Anpassung von Eingabedaten und Parametern, um die Genauigkeit des Modells zu verbessern. Bei der Validierung des Modells werden die Modellergebnisse Vergleichswerten gegenübergestellt und die technische Leistungsfähigkeit (Sensitivität, Elastizität, Stabilität, Anwendbarkeit und Prognosefähigkeit) nachgewiesen. Für den Nachweis der Leistungsfähigkeit des Modells wird ein im Rahmen der Qualitätssicherung spezifiziertes Validierungskonzept angewendet.

Die Modellkalibrierung wird gemäß den aufeinanderfolgenden Modellstufen durchgeführt, da beispielsweise die Ziel- und Moduswahl nur korrekt kalibriert werden können, wenn die Verkehrserzeugungsrechnung plausible und abgeglichene Ergebnisse liefert.

Kalibrierung der Ziel- und Moduswahl

Die Parameter der Ziel- und Moduswahl sowie der Modal Split-Berechnung werden, wie oben beschrieben, initial durch Übertrag aus anderen Modellvorhaben gesetzt. Die Parameter werden während der Kalibrierung durch den Vergleich mit empirischen Werten aus der MiD 2017 angepasst. Dies wird automatisiert durch PTV-interne Werkzeuge vorgenommen. Dabei werden

sowohl Elastizitäten der Parameter als auch die Quotienten von Parametern (z. B. Value of Time) im Bereich wissenschaftlich anerkannter Größenordnungen gehalten.

Maßgeblich für die Kalibrierung und Validierung der Zielwahl und Moduswahl sind die folgenden Kennwerte:

- ▶ Reisezeitenmittelwerte unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität und Modus
- ▶ Reiseweitenmittelwerte unterteilt nach Raumtypen und Zielaktivität und Modus
- ▶ Verteilung von Reisezeit und -weite unterteilt nach Modus
- ▶ Modal Split gesamt und unterteilt nach Raumtypen, Zielaktivität

Die Ergebnisse dieser Kenngrößen werden automatisiert in übersichtlichen Tabellen und Diagrammen mit MS Excel erzeugt und dem AG als Validierungs-Dashboard zur Verfügung gestellt.

Die in der Ausschreibung genannten Zielwerte werden unter Berücksichtigung der statistischen Sicherheit der empirischen Vergleichswerte und soweit dies durch die Verkehrsnachfragermodellierung möglich ist, eingehalten.

Durchführung der Kalibrierung der Ziel- und Moduswahl

Für die Kalibrierung der Ziel- und Moduswahl werden sowohl interne als auch in PTV VISUM enthaltene Add-Ins verwendet.

- ▶ Die Zielwahl wird mittels eines PTV-internen Kalibrierungstools kalibriert. Hierfür wird der Gewichtungsfaktor vor der ModeLogSum iterativ angepasst, so dass für jede Raumtyp-Aktivität-Kombination der Zielwert erreicht wird.
- ▶ Die Moduswahl wird mittels des Kalibrierungs-Add-Ins kalibriert. In diesem Prozess wird in jede Nutzenfunktion eine modusspezifische Konstante eingefügt, die die einzelnen Modi je Nachfrageschicht mehr oder weniger attraktiv macht.

Die Ziel- und Moduswahl wird in mehreren ineinander verschachtelten Schleifen kalibriert, wobei im Vorfeld bereits die Zielwahl in einen angemessenen Rahmen kalibriert wird.

Kalibrierung Wirtschaftsverkehr

Die Grundlage der Kalibrierung des Lkw-Verkehrs sind die Zähldaten des Schwerverkehrs (Lkw > 3,5 t und Busse). Sie wurden aus den verschiedenen Datenquellen (Zählungen des MOR, SVZ und Dauerzählstellen) zusammengetragen und sind im Attribut „Wirtschaftsverkehr_Zählwert_SV“ hinterlegt. Diesem Attribut wurde der entsprechende Modellwert gegenübergestellt. Die Streckenbelastung der Busse wurde aus dem ÖV-Angebot bzw. den betrieblichen Kennzahlen berechnet und ist im Attribut „Belastung_Liniibusse“ hinterlegt. Der Modellwert des Schwerverkehrs ergibt sich als die Summe der Streckenbelastungen der Lkw_m, der Lkw_g und der Busse und ist im Attribut „Wirtschaftsverkehr_Belastung_SV“ hinterlegt. Die Abweichung zwischen Modell und Zählwert wurde mit dem SQV quantifiziert und kann anhand der Zählstellenattribute „Wirtschaftsverkehr_SQV_SV“ und „Wirtschaftsverkehr_SQV_SV_Vorzeichen“ nachvollzogen werden.

Im Rahmen der Kalibrierung des Schwerverkehrs wurden mehrere Modellparameter angepasst. Diese umfassen die Bewertungsfunktionen der Verkehrsverteilung zur Steuerung der Reiseweite, die Faktoren der Nutzungstypen der Bezirke (hinterlegt in der Pol-Kategorie), dem allgemeinen Faktor zur Kalibrierung (ein Bezirksattribut) und dem Widerstandsfaktor der Streckentypen.

Eine Trennung von privaten Pkw-Verkehren und Fahrten des Personenwirtschaftsverkehrs ist in den Zähldaten nicht möglich, da diese in der Regel differenziert nach Fahrzeugarten, aber nicht nach Wegezwecken vorliegen. Da die Belastungszählungen nur für die Gesamt-Pkw (Summe aus privaten Verkehren und Fahrten des Personenwirtschaftsverkehrs) vorliegen, wird folgendes Vorgehen für die Kalibrierung des Personenwirtschaftsverkehrs umgesetzt: Bei der Pkw-Umlegung werden der private Pkw-Verkehr und der Personenwirtschaftsverkehr als getrennte Nachfragesegmente berücksichtigt. Für die Pkw-Belastungen der Strecken lässt sich jeweils das Verhältnis zwischen privatem und wirtschaftlichem Pkw-Verkehr bestimmen. In einem ersten Schritt wird auf ein plausibles Verhältnis zwischen diesen beiden Pkw-Arten kalibriert. Wird an den jeweiligen Zählstellen das Verhältnis als plausibel eingeschätzt, so lässt sich die Pkw-Belastungszählung gemäß diesem Verhältnis in Zähldaten für den privaten und den wirtschaftlichen Pkw-Verkehr aufteilen und jeweils als Zielgröße für die Modellkalibrierung verwenden. Die Kalibrierung erfolgt wie oben beschrieben.

Kalibrierung IV-Umlegung

An Werktagen nutzen Pkw und Lkw gemeinsam das Straßennetz. Daher benötigt jedes kapazitätsabhängige Umlegungsmodell für eine Berechnung der Verkehrsstärken die Verkehrsnachfrage beider Verkehrsarten. Pkw-Zählwerte enthalten sowohl private Pkw-Fahrten als auch Fahrten, die in Ausübung des Berufs durchgeführt werden (Pkw-Wirtschaftsverkehr).

Die Kalibrierung der Verkehrsumlegung für den MIV wird im ersten Schritt mit Hilfe von Screenlines (Achsschnitten) durchgeführt. Die Screenlines werden vorzugsweise entlang von Flüssen oder Bahnlinien definiert. Allerdings sollten dann für alle Strecken, die eine Screenline schneiden, Zählwerte vorliegen. Auf Basis dieser Bedingungen wurden geeignete Screenlines definiert. Wenn die Ergebnisse auf dieser Ebene zufriedenstellend sind, werden die einzelnen Zählquerschnitte überprüft.

Die vorgegebenen SQV-Werte definieren die Zielwerte der Kalibrierung der Umlegung. Diese Zielwerte können im Allgemeinen nur durch eine systematische Anpassung des Modells erreicht werden. Dies ist auch beim VNM-MUC der Fall. „Stellschrauben“ für die Kalibrierung der IV-Umlegung waren:

- ▶ Anbindungen: Veränderung der Anbindungszeiten und/oder -gewichte
- ▶ Strecken: Veränderung der Kapazität oder Geschwindigkeit (v_0) von Strecken auf Basis von Streckentypen. Das heißt, dass Änderungen nicht durch individuelle Neusetzungen auf Ebene der Einzelstrecken, sondern durch Zuweisung eines anderen Streckentyps vorgenommen wurden

- ▶ Capacity-Restraint-Funktionen: CR-Funktionen beschreiben den formalen Zusammenhang zwischen Auslastung der Strecke und der realisierbaren Reisezeit tAkt. Für Strecken wurden 9 CR-Funktionen vom Typ LOHSE verwendet und im Zuge der Kalibrierung parametrisiert.

Solange diese Anpassung in einem sachlogischen Bereich stattfinden, ist diese Vorgehensweise vertretbar und deshalb in Modellierungsvorhaben etabliert. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass Abweichungen manchmal nicht zu erklären sind bzw. die Gründe nur vermutet werden können. Es ist dann zu entscheiden, ob man diese Abweichungen akzeptiert oder durch eine Änderung in den Eingabedaten eine Verbesserung erzielbar ist.

Kalibrierung ÖV-Umlegung

Die Umlegung im ÖV wird als ein fahrplanfeines Verfahren umgesetzt. Durch mehrere Testumlegungen und die Analyse der Netzbelastrungen und der Nachfrageverteilung auf die Routen werden die entsprechenden Parameter bestimmt. Ziel ist es, für die unterschiedliche Nachfragestreuung im städtischen Verkehr, im Schienenverkehr und beim Regionalverkehr einen passenden Verteilungsansatz zu finden. Neben der unterschiedlichen Wahrnehmung der Widerstands-differenzen zwischen kürzeren und längeren Fahrten kommen hier auch unterschiedliche Bewertungen der absoluten Angebotsdifferenzen, wie z. B. Reisezeit oder Umsteigehäufigkeiten, Fahrzeiten, Auslastungen etc. bei kürzeren (regelmäßigen / häufigeren) und längeren (nicht regelmäßigen) Wegen als weitere Faktoren dazu. Solche Verhaltensunterschiede sind bei der Wahl des Verteilungsansatzes sowie der Festlegung der Streuung zu berücksichtigen.

Die Kalibrierung der Verkehrsumlegung für den ÖV wird in einem ersten Schritt mit Hilfe von Verkehrsmengen, Modal Split-Auswertungen für Teilräume und Reiseweiten durchgeführt (z. B. die Auswertung von Wegen pro Einwohner und Modal Split pro Stadtteil oder pro Landkreis). Diese Werte werden schon in der Matrixkalibrierung ermittelt. Die Übereinstimmung dieser Kriterien mit den Erhebungswerten ist der wichtige (Basis-)Arbeitsstand und das initiale Signal für den Beginn der Feinkalibrierung. Wenn die genannten Werte gut übereinstimmen, dann werden in einem zweiten Schritt die Linienbeförderungsfälle (LBF) der Verkehrssysteme, die Streckenquerschnitte (Zählstellen) und die Summe der Einsteiger nach Stadtteilen als Kalibrierungsgrößen genutzt. Der Direktfahreranteil ist ein weiteres Kriterium für die Qualität der Kalibrierung. Hier wird durch die Gewichtung der Umsteigevorgänge der Direktfahreranteil beeinflusst.

Zwei ÖV-Screenlines¹⁷ sind ebenfalls Bestandteil der Auswertung. Screenlines sind jedoch stark aggregierte Werte und geben deshalb vergleichsweise wenig Aufschluss darüber, worauf die Abweichungen zwischen Modellwert und Zählerwert beruhen. Screenlines haben deswegen eine untergeordnete Bedeutung bei der Kalibrierung.

Zur Feinkalibrierung der ÖV-Umlegung stehen die folgenden Parameter zur Verfügung:

- ▶ Anbindezeiten zwischen dem Schwerpunkt der Verkehrszellen und dem Zugangsknoten der Haltestellen(-bereiche)

¹⁷ In PTV VISUM sind Screenlines gedachte Trennlinien (Polygonzüge) auf der Ebene des Netzmodells. Screenlines dienen der Ermittlung von Belastungen, die gedachte Trennlinien im Netz überqueren. Beispiel: Eine Screenline könnte dem Verlauf eines Flusses folgen. Die Screenline-Belastung entspricht dann der Summe der Belastungen der Flussbrücken.

- ▶ Übergangsgehzeiten zwischen den Haltestellenbereichen
- ▶ OEV-Korrekturfaktor der Verkehrszellen (Affinität)
- ▶ Bonus der Verkehrssysteme

Anbindezeiten

Nachdem der Schwerpunkt der Verkehrszellen kontrolliert und nötigenfalls angepasst wurde, kann die Anbindezeit ($T0_TSYS(F_OEV)$) individuell angepasst werden. Im Rahmen der ÖV-Fein-Kalibrierung wurden Anpassungen von +/- 1 bis 2 Minuten von dem im BDA 'T0-ÖV_BERECH-NUNG' berechneten Wert (Luftlinie x Geschwindigkeit 3,6km/h) vorgenommen. Bei sehr großen Flächenverkehrsbezirken wurden teilweise größere Abweichungen zugelassen.

Übergangsgehzeiten

In Ausnahmefällen wurde die berechnete und voreingestellte Übergangsgehzeit (BDA 'GEH_BER' vgl. Absatz 3.2.7) angepasst. Dies wurde z. B. beim Hauptbahnhof München notwendig, da sonst Verbindungen auf den MVG-Linien schneller gewesen wären als Fußwege zwischen den Haltestellenbereichen des Bahnhofs. Als Indikatoren für abweichende Gehzeiten wurden Angaben der Online-Verbindungsauskünfte (z. B. DB, MVG) herangezogen.

OEV- Korrekturfaktor (ÖV-Affinität)

Das Verkehrszellen-BDA 'OEV_Korrekturfaktor' ist standardmäßig mit 0 vorbelegt, wurde aber mit Werten zwischen -3 und 3 belegt, um im Rahmen der Kalibrierung nicht bekannte oder modellierbare Präferenzen und Rahmenbedingungen der ÖV-Nutzung zu reflektieren und auszugleichen.

10.1.3 Ergebnisse

Datensatz	Eingangsgröße für
Auswertungen und Abbildungen der Kalibrierung	Dashboard, Kapitel 11
Nachweis der Einhaltung der Gütemaße	Dashboard, Kapitel 11

Tabelle 80: Ergebnisse der Kalibrierung

10.2 Qualitätssicherung während der Modellerstellung

Die Modellergebnisse des VNM-MUC sind Grundlage für vielfältige verkehrspolitische Entscheidungen. Deshalb ist eine angemessene Qualität der Ergebnisse von Bedeutung. Ein Verkehrsmodell wird als „gut“ bezeichnet, wenn für den heutigen Zustand beobachtete und berechnete Werte möglichst gut übereinstimmen und wenn es Wirkungszusammenhänge zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsfrage realitätsnah abbilden kann. Um eine angemessene Güte eines Verkehrsmodells zu gewährleisten, ist eine möglichst standardisierte Qualitätssicherung erforderlich. Die Qualitätssicherung bei der Nachfragemodellierung ist kein einmaliger Verfahrensschritt, sondern ein Prozess, der in alle Stufen der Modellerstellung eingebunden werden sollte. Abbildung 46 gibt einen Überblick über den Qualitätssicherungsprozess¹⁸ während des Modellaufbaus.

Der Qualitätssicherungsprozess umfasst die folgenden Elemente:

Überprüfung der Eingangsdaten

Die Qualität eines Verkehrsfragemodells wird maßgeblich von der Qualität der Eingangsdaten bestimmt. Wesentliche Eingangsdaten sind Raumstrukturdaten, Verkehrsangebotsdaten, Verkehrsverhaltensdaten und Zähldaten der Verkehrsstärke. Aus diesen Daten werden das Verkehrsangebotsmodell und das Verkehrsfragemodell erstellt. Im Rahmen der Qualitätskontrolle werden insbesondere relationsbezogene Kenngrößen (Luftliniengeschwindigkeiten, Umwegfaktoren, Reisezeitverhältnisse) kontrolliert. Die Strukturdaten und die daraus abgeleiteten Zielpotentiale werden im Verlauf der Bearbeitung durch Sichtkontrolle des zweckspezifischen Verkehrsaufkommens analysiert und nachjustiert.

Parametereinstellung

Alle Parameter im Modell werden hinsichtlich des Betrags und des Vorzeichens auf Plausibilität geprüft. Das betrifft ebenfalls alle verwendeten Korrekturmatrizen und während der Kalibrierung entstandene Korrekturfaktoren in den Nutzenfunktionen.

Kalibrierung und Validierung

Bei der Kalibrierung und Validierung werden in mehreren Durchläufen iterativ die Modellparameter angepasst und ihre Wirkungen auf die Modellergebnisse geprüft. Grundlage für die Validierung sind verschiedene Kenngrößen (Verkehrsstärken, Reisezeiten, Reiseweiten, Modal Split) und Gütemaße (SQV, Koinzidenz-Verhältnis).

¹⁸ Der Qualitätssicherungsprozess und die Abbildung 16 orientieren sich an Pestel, E.; Friedrich, M.; Heidl, U.; Pillat, J.; Schiller, C.; Schimpf, M. (2016): Qualitätssicherung von Verkehrsfragemodellen. Straßenverkehrstechnik 60 Nr. 10, S. 658-670.

Modellergebnisse

In der Kontrolle werden Konsistenzanforderungen, die sich aus der Logik von Ortsveränderungen (Bilanzierung der Ortsveränderungen, Bilanzierung der Nachfrage mit den Strukturdaten) ergeben, in der VISUM-Implementierung geprüft. Außerdem erfolgt eine Auswertung wesentlicher Kenngrößen der Nachfrage (Reiseweiten- und Reisezeitverteilungen, Modal Split, Mobilitätskenngrößen auf Ebene der Einwohner).

Modellimplementierung

In der Kontrolle wird die Umsetzung der Modellspezifikation auf Korrektheit und auf Verständlichkeit (z. B. Bezeichnung der Matrizen und Attribute) geprüft. Grundlage hierfür sind die VISUM-Versionsdateien.

Modelldokumentation

Die Modelldokumentation in einem Modellhandbuch (Spezifikation) wird von der Qualitätskontrolle auf Vollständigkeit und Verständlichkeit geprüft.

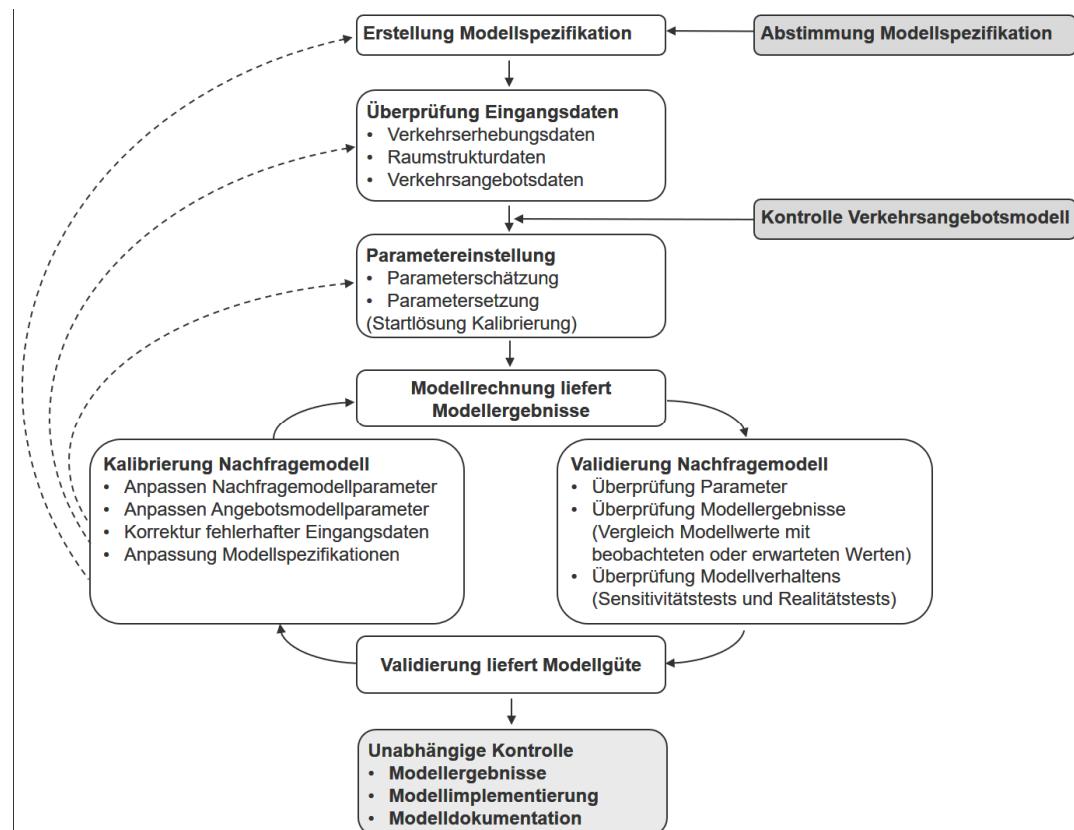


Abbildung 46: Qualitätssicherungsprozess beim Aufbau des VNM-MUC

10.3 Validierung der Modellgenauigkeit - angewandte Gütemaße

Für die Validierung werden Gütemaße herangezogen:

Einzelwerte Gütemaß SQV

$$g_{SQV} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{(m-c)^2}{f^*c}}}$$

Verteilungen Gütemaß Coincidence Ratio $g_{SQV} = \frac{\sum_{k \in K} \min\{p_k^m, p_k^c\}}{\sum_{k \in K} \max\{p_k^m, p_k^c\}}$

(mit m Modellwert, c Erhebungswert, f Skalierungsfaktor, K Zahl der Klassen in der Häufigkeitsverteilung, p_k^m Anteil Nachfrage aus Modell in der k. Klasse, p_k^c Anteil Nachfrage aus der Erhebung in der k. Klasse)

Die Validierung der Reiseweitenverteilungen soll auf der Luftlinienweite basieren. Es wird empfohlen die Luftlinie aus der MiD aus der Zuordnung zu einer Verkehrszelle abzuleiten. Die äquidistante Klassenbildung erfolgt anhand der MiD-Daten. An dieser Stelle möchten wir darauf hinweisen, dass der lokale Datensatz der MiD-MUC 2017 keine dem VNM-MUC entsprechende DetAILierung der Wegezwecke und Personengruppen enthält. Bezuglich der Aktivitäten ist z. B. lediglich die Differenzierung in Arbeit, dienstlich, Ausbildung, Einkauf, Erledigung, Freizeit und Begleitung möglich. Die Auswertung der Reiseweitenverteilung auf Basis der Luftlinienweite ist somit nur auf dem in der MiD 2017 enthaltenen Aggregationsniveau möglich.

Fahrtzeiten bzw. Routen im ÖV

Für den ÖV-Routenvergleich wurden Routen im Entfernungsbereich zwischen 5 und 100 Kilometern ausgewertet. Als Vergleichsportal wird das Fahrplanauskunftsysteem der Deutschen Bahn AG (www.bahn.de) herangezogen. Dazu wurden aus dem VNM-MUC zufällige Verbindungen zwischen zwei Haltestellen ausgewählt und eine Kurzwegsuche durchgeführt. Parallel werden die Verbindung im Vergleichsportal nachgebildet.

Fahrtzeiten Pkw

Im Rahmen der Modellvalidierung wurden die Reisezeiten des Pkws aus dem Modell mit denen aus Google Maps verglichen. Der Vergleich wurde für 30 ausgewählte Relationen durchgeführt. Es wurde Hin- und Rückrichtung betrachtet, so dass insgesamt 60 Wertepaare vorliegen. Bei der Auswahl der Relationen wurde auf ihre gleichmäßige Verteilung auf die drei Kategorien München - München (z. B. Planegg - Milbertshofen-Am Hart, Obersendling - Trudering-Riem), München - nahes Umland (z. B. München - Dachau, München - Garching) und München - fernes Umland (z. B. München - Augsburg, München - Ingolstadt) geachtet. Die Reisezeiten in PTV VISUM wurden für das Verkehrssystem Pkw und zwischen zwei Knoten ermittelt. Sie setzten sich somit aus den Fahrzeiten der Strecken und den Abbiezeiten an den Knoten zusammen. Für die Validierung des DTV-W-Modells wurden Reisezeitvergleiche für das unbelastete Netz durchgeführt. Die Reisezeitvergleiche für das belastete Netz sind Bestandteil der Spitzenstundenmodellierung.

Bei den Reisezeitvergleichen für das unbelastete Netz wurden aus PTV VISUM die Fahrzeiten im unbelasteten Netz t0 herausgeschrieben. Aus Google Maps wurden die Fahrzeiten ohne Verkehr ermittelt. Das Regressionsdiagramm der Fahrzeiten ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

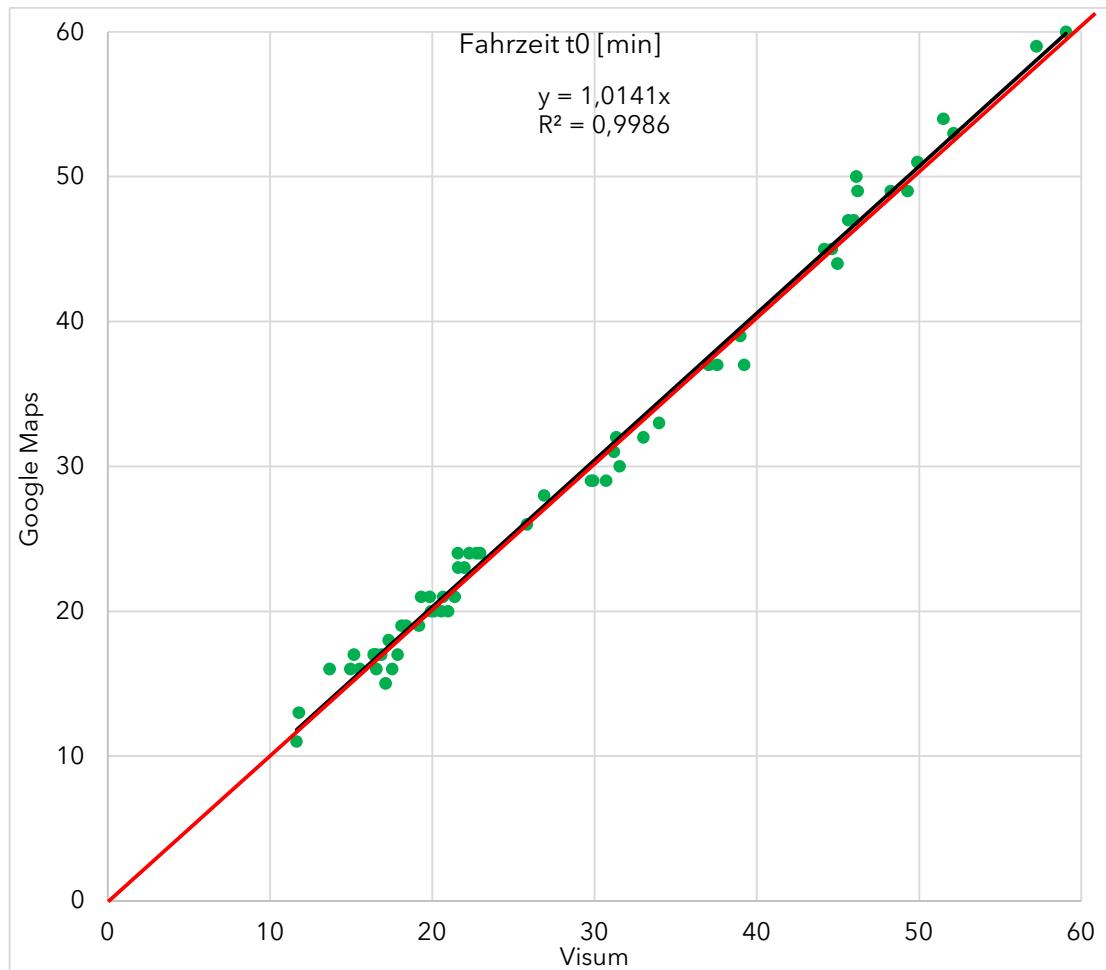


Abbildung 47: Vergleich der Reisezeiten Pkw-Verkehr

Die Summe der Reisezeiten aus Google ist ein Prozent höher als die Summe der Reisezeiten aus PTV VISUM. Werden die einzelnen Relationen betrachtet reicht die Spannweite von -12 Prozent bis +17 Prozent. Die absoluten Abweichungen der Reisezeiten [min] reichen von -2,22 bis +3,87. Mit diesem Ergebnis ist ein gutes Maß an Übereinstimmung erreicht.

Ergebnisse Nachfrage

Das Nachfragemodell wird auf den einzelnen Stufen Erzeugung, Zielwahl, Moduswahl und Routenwahl anhand der in der Tabelle 81 aufgelisteten Zielwerte validiert. Die mittleren Reiseweiten pro Weg, die Reiseweitenverteilung und die mittlere Reisezeit pro Weg werden nicht nur für den

Untersuchungsraum betrachtet, sondern teilweise auch nach Raumtypen differenziert. So kann ausgeschlossen werden, dass eventuell auftretende Abweichungen im Planungsraum von den Ergebnissen im Untersuchungsraum überlagert oder gar ausgeglichen werden und bei einer aggregierten Betrachtung erkennbar wären.

		Kenngroß	Differenzierung		Kontrolldaten	Statistisches Gütemaß		
			inhaltlich					
			räumlich					
Verkehrsaufkommen		mittlere Anzahl Wege pro Person	<ul style="list-style-type: none"> alle Einwohner pro Modus pro Wegezweck pro PersGrupp 	<ul style="list-style-type: none"> UR PR LWJM PR-LHM 	MiD 2017	<ul style="list-style-type: none"> Gütemaß SQV>0.9 für f = 1 		
		mittlere Reise-weiten [km] pro Weg	<ul style="list-style-type: none"> alle Einwohner pro Modus pro Wegezweck 	<ul style="list-style-type: none"> UR PR 	MiD 2017	<ul style="list-style-type: none"> Mittelwert pro Weg: Gütemaß SQV>0.9 für f = 10 		
Verkehrsleistung		Reiseweitenver-teilung [km] pro Weg	<ul style="list-style-type: none"> pro Modus 	<ul style="list-style-type: none"> UR PR 	MiD 2017	<ul style="list-style-type: none"> Reiseweitenverteilung: Coincidence Ratio > 0.7 		
		mittlere Ver-kehrsleistung [km] pro Person	<ul style="list-style-type: none"> alle Einwohner pro Modus pro Wegezweck pro PersGrupp 	<ul style="list-style-type: none"> UR PR LWJM PR-LHM 	MiD 2017	<ul style="list-style-type: none"> Mittelwert pro Person: Gütemaß SQV>0.9 für f = 30 		
Verkehrszeitaufwand		mittlere Reise-zeit [min] pro Weg	<ul style="list-style-type: none"> alle Einwohner pro Modus pro Wegezweck 	<ul style="list-style-type: none"> UR PR 	MiD 2017	<ul style="list-style-type: none"> Mittelwert pro Weg: Gütemaß SQV>0.9 für f = 30 		
		mittlerer Ver-kehrszeitauf-wand [min] pro Person	<ul style="list-style-type: none"> alle Einwohner pro Modus pro Wegezweck pro PersGrupp 	<ul style="list-style-type: none"> UR PR LWJM PR-LHM 	MiD 2017	<ul style="list-style-type: none"> Mittelwert pro Person: Gütemaß SQV>0.9 für f = 30 		
Verkehrsstärke		tägliche und stündliche Ver-kehrsstärke (ohne Mat-rixkorrektur)	<ul style="list-style-type: none"> Pkw Lkw Bus/Tram Bahn 	<ul style="list-style-type: none"> Strecke Screenline Einsteiger Linien 	Zählung	<ul style="list-style-type: none"> Gütemaß SQV>0.80 Tageswerte für f = 10,000 Stundenwerte für f = 1,000 		
		Fahrzeiten zwischen zwei Punkten im Netz	<ul style="list-style-type: none"> unbelastetes Netz belastetes Netz für relevante Ta-geszeit 	<ul style="list-style-type: none"> Streckenzug 	Google			

Tabelle 81: Zielwerte für die Validierung

10.4 Validierung des Modellverhaltens

Das aktualisierte VNM-MUC bildet die Modell-Grundlage für Verkehrsuntersuchungen und für die Berechnung und Bewertung prognostischer Maßnahmen und Szenarien. Vor diesem Hintergrund ist es von großer Wichtigkeit, dass das erstellte Analyse-Modell ein robustes und zuverlässiges Werkzeug darstellt, welches plausibel und realitätsnah prognostische Änderungen und Maßnahmen abbilden und berechnen kann. Im Rahmen der Modellprüfung wird deshalb das Modellverhalten in Form von Realitätstests analysiert. Diese wurden nach Abschluss der Grobkalibrierung und somit zu Beginn der Feinkalibrierung durchgeführt. Das ermöglichte ein gezieltes Eingreifen in den finalen Kalibrierungsprozess.

Für die Realitätstests war es wichtig, Modellanpassungen zu definieren, die eine eindeutige Zuordnung der ermittelten Effekte zu den eingestellten Anpassungen zulassen. Das Ziel war eine klare und eindeutige Zuordnung der Ursache-Wirkungs-Beziehung.

Es wurden elf Realitätstests durchgeführt. Sie wurden als getrennte Planfälle im Verkehrsmodell implementiert und berechnet. Die Modellergebnisse wurden sowohl nachfrageseitig (Ermittlung der relevanten Kennwerte, wie Modal Split, mittlere Reiseweite etc.) als auch netzseitig (Verkehrsmengen, Belastungsdifferenzen etc.) in Karten und Tabellen ausgewertet, dokumentiert und mit dem AG diskutiert.

Die elf Realitätstests sind in der folgenden Tabelle aufgeführt

Nummer	Inhalt
1	Pauschale Erhöhung der Einwohnerzahl in der LHM um 10%.
2	Pauschale Halbierung der Bedienungshäufigkeit auf allen Linien (MVG und S-Bahn).
3	Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h auf allen Straßen innerhalb des Mittleren Rings.
4	Die heute vorhandene Express-Buslinie X30 wird entfernt.
5	Taktverdichtung auf der Metrobuslinie 53 von 10-Minutentakt auf 5-Minutentakt.
6	Die im Analysefall bereits eingeführte Parkraumbewirtschaftung durch Parkscheinautomaten wird ausgeschaltet.
7	Vertauschen der Anteile der verhaltenshomogenen Gruppen voll-Erwerbstätig-mit-Pkw-Besitz-ohne-Dauerkarte und voll-Erwerbstätig-ohne-Pkw-Besitz-mit-Dauerkarte im Stadtbezirk 12.
8	Einführung einer tangentialen Expressbuslinie im Umland zwischen Grafing und Petershausen.
9	Einführung des neuen S-Bahnhof Weichselbaum mit P+R Anlage im Umland.
10	Erhöhung Kraftstoffkosten um 20 Prozent
11	Erhöhung ÖV-Kosten um 20 Prozent

Tabelle 82: Im Rahmen der Modellvalidierung durchgeführte Realitätstests

Die Ergebnisse der Realitätstests sind in der Anlage 3 dokumentiert.

11 Ergebnisse der Modellberechnungen - Analyse 2019

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Berechnungen des Verkehrsmodells für die Analyse 2019 vorgestellt. Zusätzlich zu den Ergebnissen, die in der Version in PTV VISUM gespeichert sind, ist das Dashboard zur Auswertung der Berechnungen vorhanden. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse an dieser Stelle in zusammenfassender Form dargestellt.

11.1 Allgemeine Kennwerte des Untersuchungsgebietes

Die folgenden Abbildungen dokumentieren die Modellqualität in Bezug auf die Nachfrageberechnung Personenverkehr. Es werden exemplarisch Ergebnisse dargestellt, weitere Auswertungen befinden sich im Dashboard.

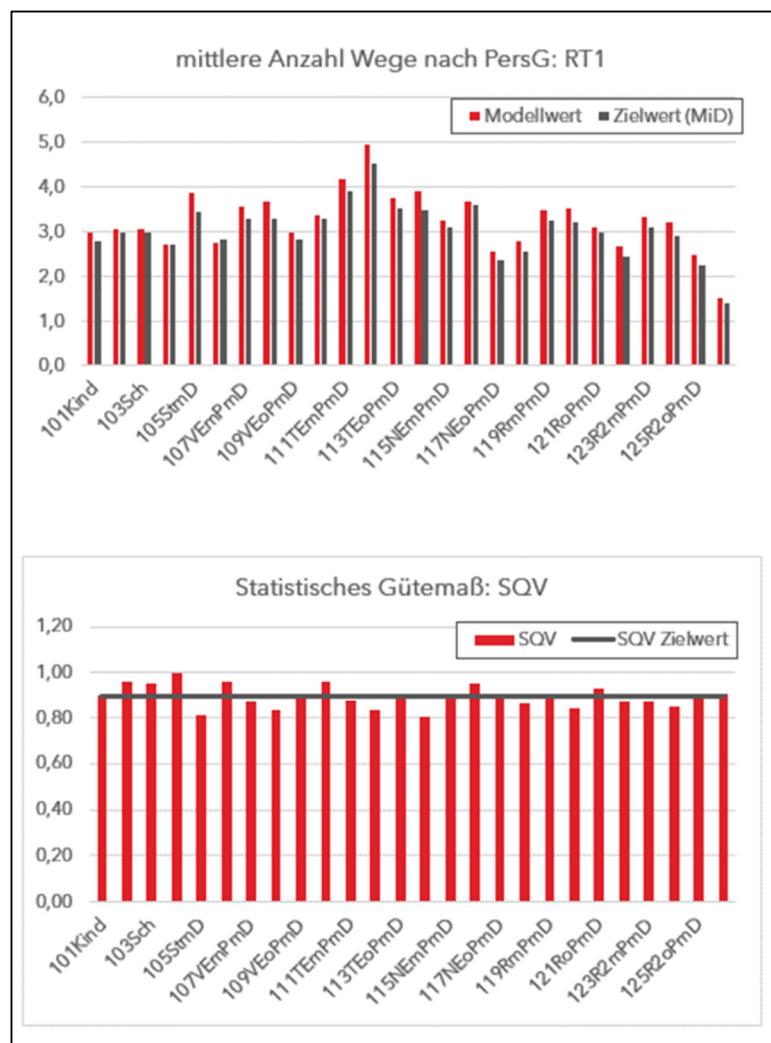


Abbildung 48: Vergleich Anzahl Wege Raumtyp 1 (LHM)

Die Abbildung 48 zeigt die Anzahl der Wege je Tag, differenziert nach den Personengruppen. Dabei wird die Anzahl der erzeugten Wege aus dem Modell (rote Balken) mit der Anzahl der erfassten Wege aus der Haushaltsbefragung (MiD, graue Balken) verglichen. Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung.

A. Gesamtmodell		RAUMTYP	MODE	ACTUAL	TARGET	SQV
Raumtyp	Modus			Modellwert	Zielwert (MiD)	
Ges	Fuss			20%	19%	98%
	PKW			39%	37%	97%
	Pkw-Mitfahrer			11%	13%	95%
	Park und Ride			0%	1%	92%
	Rad			14%	16%	97%
	OeV			17%	15%	96%

B. Auswertung nach Raumtypen		RAUMTYP	MODE	ACTUAL	TARGET	SQV
Raumtyp	Modus			Modellwert	Zielwert (MiD)	
1	Fuss			22,8%	23,1%	99%
	PKW			23,9%	21,8%	96%
	Pkw-Mitfahrer			5,7%	7,2%	95%
	Park und Ride			0,0%	0,6%	93%
	Rad			16,6%	19,2%	95%
	OeV			30,9%	28,1%	95%

Abbildung 49: Vergleich Modal Split Modell-/Zielwert Gesamtmodell und Raumtyp 1

In der Abbildung 49 sind die Modal Split-Werte für das Gesamtmodell sowie für die LHM (Raumtyp 1) im Vergleich zu den MiD-Daten ausgewiesen. Der SQV liegt bei allen Verkehrsmitteln in beiden Vergleichen über 95 Prozent.

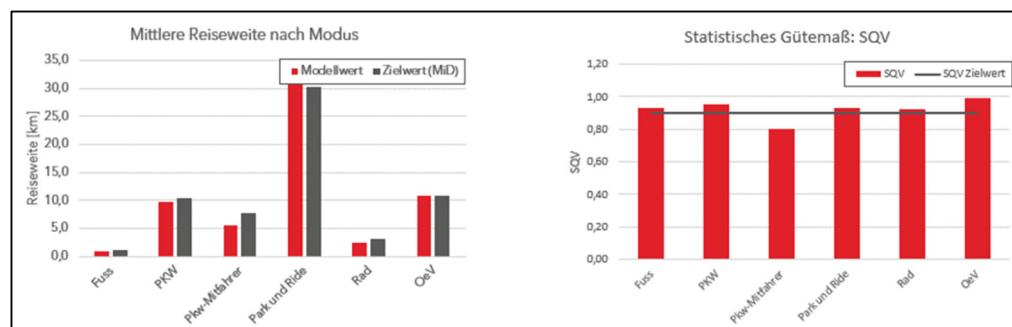


Abbildung 50: Vergleich mittlere Reiseweite Modellwert/Zielwert nach Modus

Die Auswertung der mittleren Reiseweiten in Abbildung 50 und Abbildung 51 beziehen sich auf den Modus bzw. auf die Zielaktivitäten. Beide zeigen im Wesentlichen eine gute Übereinstimmung mit den Werten aus der MiD. Bei Zielaktivitäten Ausbildung gibt es Abweichungen von den Zielwerten, die durch die Zielkopplung im Zusammenspiel mit den Strukturdaten bedingt sein können.

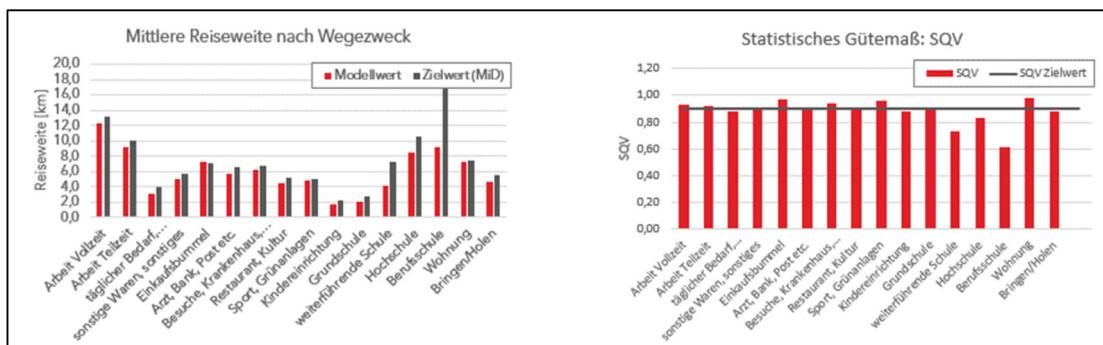


Abbildung 51: Vergleich mittlere Reiseweite Modellwert/Zielwert nach Zielaktivität

Die Reiseweitenverteilungen entsprechen hinsichtlich des statistischen Gütemaß den Anforderungen. In Abbildung 52 ist exemplarisch die Reiseweitenverteilung für den Pkw-Verkehr dargestellt. Abbildung 53 zeigt den CR-Wert für alle Modi.

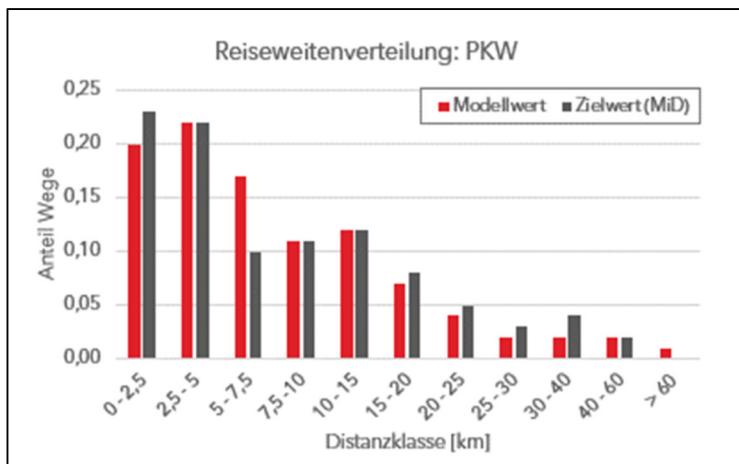


Abbildung 52: Vergleich Reiseweitenverteilung Pkw Modellwert/Zielwert

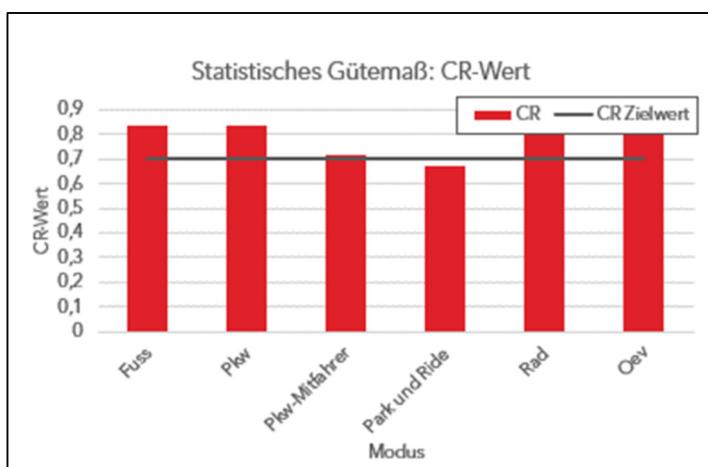


Abbildung 53: Statistisches Gütemaß Reiseweitenverteilung nach Modus

11.2 Ergebnisse Straßenverkehr

Im Modellraum werden täglich ca. 9,3 Millionen Wege mit dem Pkw und 0,4 Millionen Wege mit dem Lkw >3,5 t zurückgelegt. In der nachfolgenden Abbildung ist dargestellt, wie sich diese Wege auf das Straßennetz verteilen.

Die Summe der Belastungen der für die Kalibrierung berücksichtigten 3.625 Pkw-Zählwerte liegt bei 33,7 Millionen Fahrzeugen. Die Belastungssumme der Modellberechnung ist mit 34,1 Millionen etwa 3 Prozent höher.

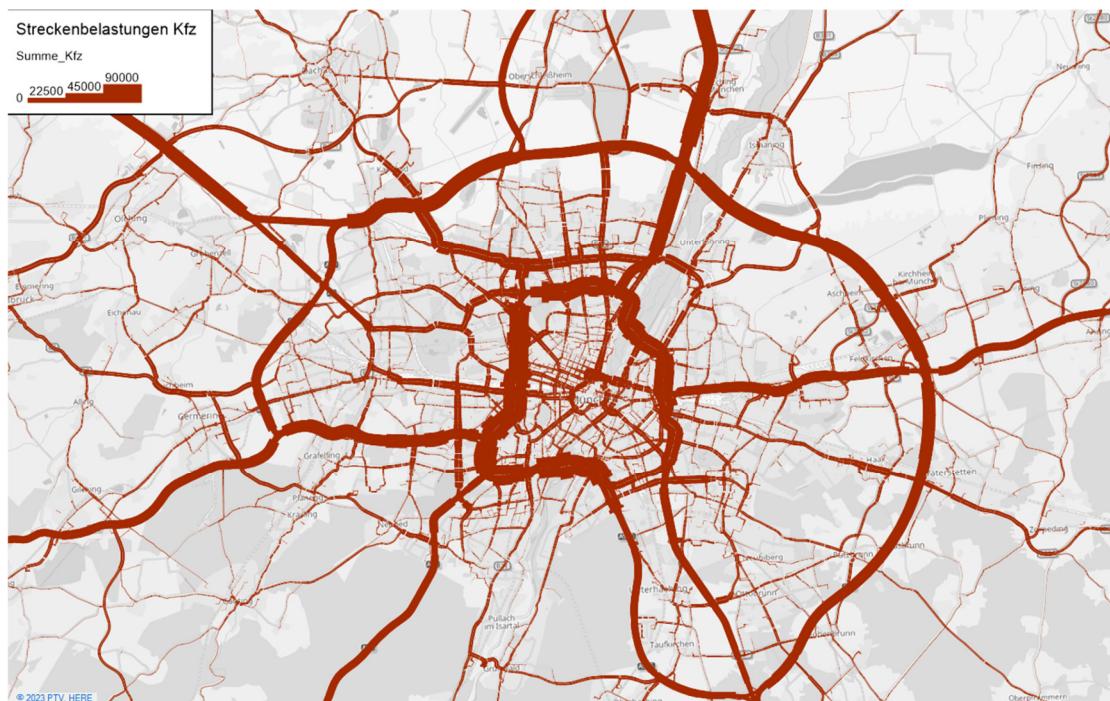


Abbildung 54: Streckenbelegungen Kfz: Fahrzeuge/24h

Die Leistungsbeschreibung sieht eine Zielerreichung von 85 Prozent der Zählstellen mit SQV größer 0,8 vor. Insgesamt konnte durch die systematische Anpassung im Zuge der Kalibrierung der Anteil an Zählstellen mit SQV größer 0,8 von 69 Prozent auf 80 Prozent erhöht werden.

Für den Pkw-Verkehr (Leichtverkehr) verdeutlicht das folgende Diagramm die Korrelation zwischen Modell- und Zählpunkt.

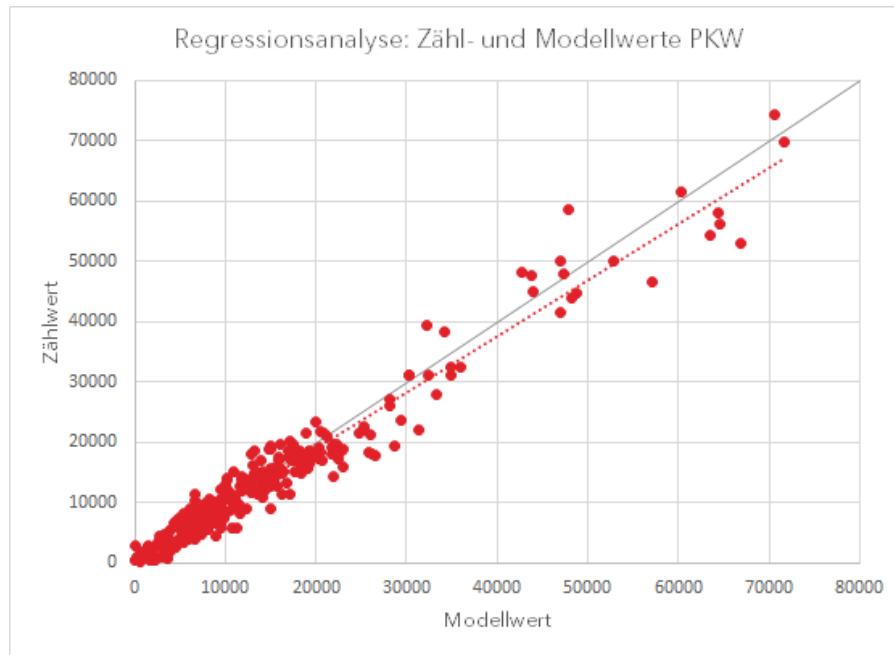


Abbildung 55: Regressionsplot Modellwert und Zählpunkt Pkw

11.3 Ergebnisse öffentlicher Verkehr

Im Modellraum werden täglich ca. 3,2 Millionen Wege mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Die folgende Darstellung gibt einen Überblick, auf welche Strecken und Relationen sich diese Wege verteilen.

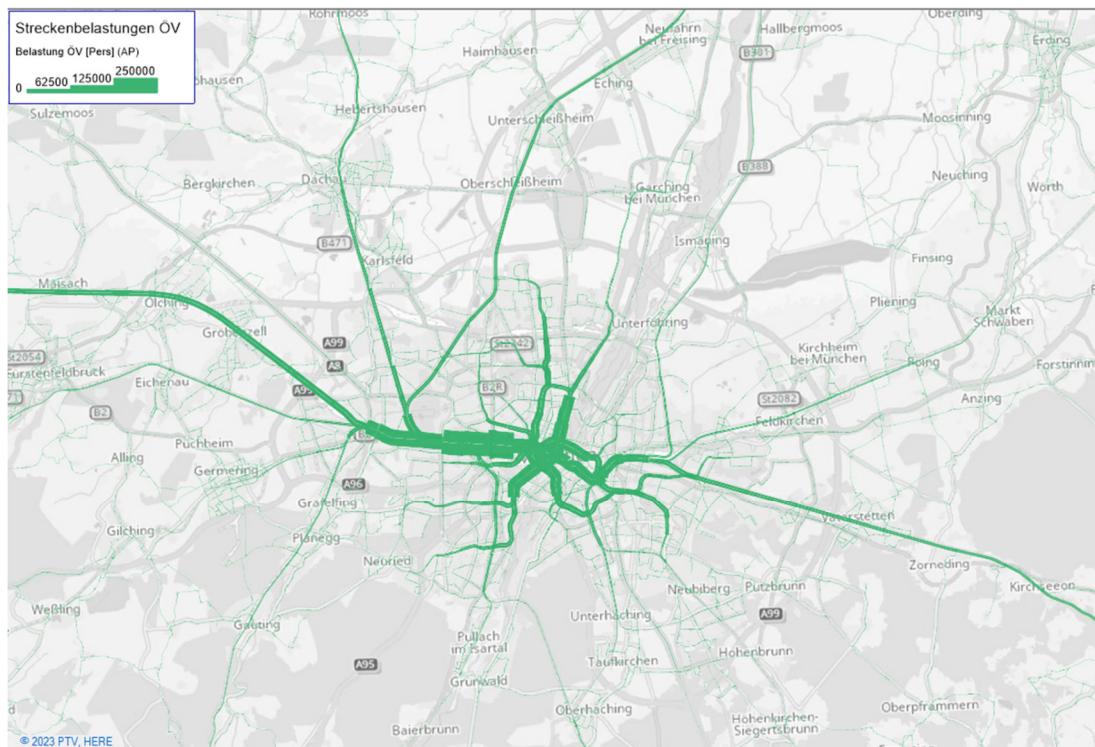


Abbildung 56: Streckenbelegungen öffentlicher Verkehr

An den wichtigsten 28 S-Bahn Halten im Untersuchungsgebiet wurden ca. 126.500 Ein-/Aussteiger pro Tag gezählt. Mit den Modellberechnungen werden an diesen Halten etwa 121.000 Ein- und Aussteiger ermittelt. Das entspricht einer relativen Abweichung von 4 Prozent.

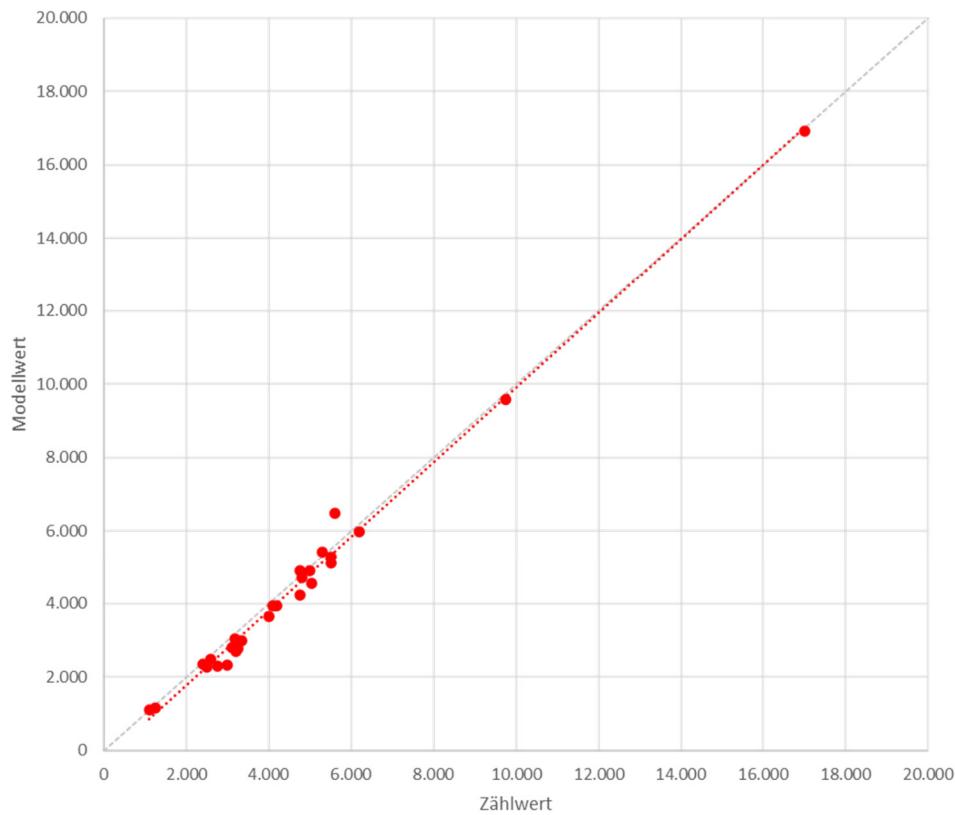


Abbildung 57: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) an 28 S-Bahn Halten
(Zählwert aus MVV-Landkreisheften)

Die Landkreishefte weisen für die Busse des MVV insgesamt annähernd 300.000 Ein-/Aussteiger pro Tag auf. Die folgende Tabelle stellt die Modellergebnisse den Erhebungswerten auf Ebene der Landkreise (ohne LH München) gegenüber.

Kreis	Modellwert	Zählwert
Bad Tölz-Wolfratshausen	11.700	9.700
Dachau	30.100	30.000
Ebersberg	12.200	11.600
Erding	15.300	16.200
Freising	28.600	29.000
Fürstenfeldbruck	41.100	41.600
München, Landkreis	111.700	142.800
Starnberg	20.400	18.700
Summe	271.100	299.400

Tabelle 83: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) MVV-Busse

Für die Linien der MVG wurden die Ein- und Aussteiger bezogen auf die 25 Stadtbezirke ausgewertet, das folgende Diagramm verdeutlicht die Korrelation zwischen Modell- und Zählwert.

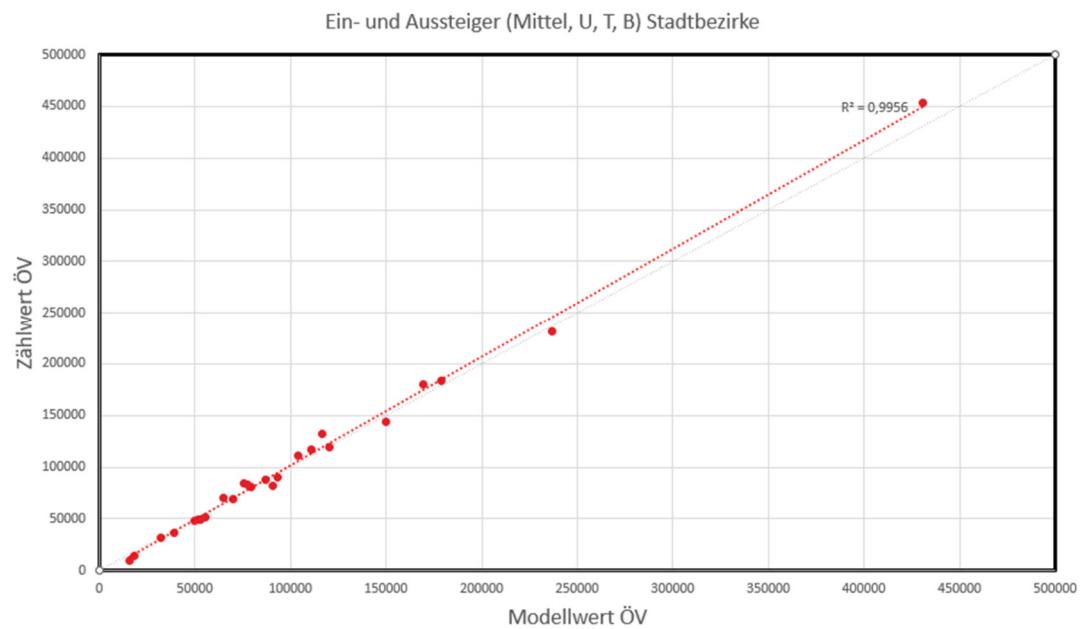


Abbildung 58: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) MVG für 25 Stadtbezirke, U-Bahn, Tram, Busse

Zur Differenzierung der Ergebnisse nach den MVG-Verkehrssystemen stellt die folgende Tabelle die Modellergebnisse den Erhebungsdaten für die Linienbeförderungsfälle gegenüber.

Verkehrssystem	Modellwert	Zählwert	Relative Abweichung	SQV
MVG-Bus	745.900	717.800	4%	0,93
MVG-Straßenbahn	348.800	355.300	-2%	0,98
U-Bahn	1.537.200	1.588.900	-3%	0,96
Summe	2.631.900	2.662.000	-1%	0,98

Tabelle 84: Linienbeförderungsfälle MVG-Verkehrssysteme

11.4 Ergebnisse Radverkehr

Die Widerstandsfaktoren wurden anhand der gemessenen Werte an 765 Zählstellen kalibriert. Als Kalibrierungszielgröße für diese Anpassungen wurde der Anteil an Zählstellen mit SQV größer 0,8 herangezogen. Durch Veränderung der Widerstandsfaktoren in den Attributen „Rad_t0“, „Rad_Gestaltung“ und „Rad_Kfz-Verkehr“ wurde erreicht, dass 74 Prozent der Zählstellen einen SQV größer 0,8 aufweisen.

Beispielsweise reduzieren sich im Attribut „Rad_t0“ die Widerstände für steil bergauf verlaufende Strecken um 0,1, wohingegen sich die Widerstände für leicht bergauf verlaufende Strecken um 0,1 erhöhen. Im Attribut „Gestaltung“ reduzieren sich die Widerstände beispielsweise für verkehrsberuhigte Bereiche um 0,1 und erhöhen sich um 0,1 für Grünflächen. Die Widerstandsfaktoren im Attribut „Rad_Kfz-Verkehr“ erhöhen sich bereits für kleinere Kfz-Verkehrsstärken.

Die Leistungsbeschreibung sieht eine Zielerreichung von 80 Prozent der Zählstellen mit SQV größer 0,8 vor. Dieser Wert konnte ohne individuelle Anpassungen einzelner Strecken nicht erreicht werden. Besonders im Bereich der Universität konnten die Messwerte an einigen Zählstellen nicht vollständig durch das Modell beschrieben werden. Dies ist auf das spezifische Verhalten von Studierenden zurückzuführen, deren Bewegungsmuster individuell und somit schwer systematisch abbildbar sind. Hinzu kommt, dass der Radverkehr insgesamt in seinen Zählwerten mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten belegt ist. Für den Radverkehr haben äußere Einflüsse, z. B. Wetter insbesondere im Jahresverlauf, eine hohe Bedeutung. Das erschwert eine Modellkalibrierung für einen mittleren Werktag.

Insgesamt konnte durch die systematische Anpassung der Anteil an Zählstellen mit SQV größer 0,8 von 69 Prozent auf 74 Prozent erhöht werden. Die Modellwerte liegen an 51 Prozent der Zählstellen unter den gemessenen Zählwerten und an 49 Prozent der Zählstellen liegen sie darüber. Eine detaillierte Auswertung der Zähl- und Modellwerte mittels Regressionsanalyse wird im Dashboard aufgezeigt.

12 Prognose 2035 – Nullfall

12.1 Rahmenbedingungen, Annahmen und Maßnahmen

Der Prognose-Nullfall stellt den ersten Schritt bei der Prognose des Verkehrs für das Jahr 2035 dar. In dem Berechnungsfall sind grundlegende Veränderungen, wie die Entwicklung der Strukturdaten und die fest disponierten Infrastrukturmaßnahmen, umgesetzt. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die im Prognose-Nullfall enthaltenen Veränderungen gegenüber der Analyse.

Kategorie	Prognose-Nullfall – Anpassungen gegenüber Analyse
Strukturdaten	Strukturdatenprognose 2035 der Stadt München; für das Umland Strukturdatenprognose aus dem LVM-BY
Infrastrukturmaßnahmen	
IV	Maßnahmen im Stadtgebiet nach Vorgaben durch das MOR, im Umland Übernahme der Maßnahmen aus dem LVM-BY
ÖV	Maßnahmen nach Vorgabe MVG, MVV
Rad	Maßnahmen nach Vorgaben durch das MOR
Anbindungen	Anpassungen im Umfeld von Wohnbauprojekten bzw. ÖV-Angebotsveränderungen
Weitere Rahmenbedingungen	
Berücksichtigung Pedelec-Anteil	Erhöhung der Strecken-Grundgeschwindigkeit für das Rad von 12 km/h auf 13 km/h
Veränderung Parkkosten	Erhöhung Parkkosten auf 2€/h in allen Parklizenzzonen (außer Altstadt und Hbf.)
ÖPNV-Tarife	keine Änderung gegenüber Analyse
Kfz-Kosten (Kraftstoff, Strom)	keine Änderung gegenüber Analyse
Home-Office-Anteil	Home-Office-Anteil von 20%
Externe Verkehre	Ermittlung externer Matrizen aus LVM-BY 2035

Tabelle 85: Überblick der Anpassungen im Prognose-Nullfall

Die Veränderungen werden im Folgenden näher beschrieben.

Strukturdaten

Für München wurden die Prognose-Strukturdaten 2035 von der Landeshauptstadt (MOR) zur Verfügung gestellt. Für die Einwohnerentwicklung standen Bauraten je Stadtviertel zur Verfügung. Diese wurden über die Altersklassenverteilung und die bisherige Verteilung der Einwohner innerhalb der Stadtviertel auf die Verkehrsbezirke angewendet. Die Gesamtarbeitsplatzent-

wicklung wurde ebenfalls vom MOR für alle Verkehrsbezirke zur Verfügung gestellt. Diese wurden unter Beibehaltung der derzeitigen Verteilung auf die jeweiligen Sektoren angewendet. Ebenso wurden Kita- und Schulplätze (unterteilt nach Schulform) zur Verfügung gestellt.

Die Entwicklung der jeweiligen Einwohner-, Beschäftigten und Bildungsdaten bis zum Prognosejahr 2035 für das Umland wurde aus dem LVM-BY abgeleitet. Die folgende Tabelle stellt die Entwicklungen der Strukturdaten dar:

		Landeshauptstadt München			Umland		
		Analyse	Prognose	Delta	Analyse	Prognose	Delta
Einwohner nach Alters klassen	0 - 2	48.492	53.287	1,099	102.236	100.994	0,988
	3 - 5	43.802	48.168	1,100	102.435	100.994	0,986
	6 - 9	51.773	59.247	1,144	129.253	146.546	1,134
	10 - 15	72.088	83.742	1,162	195.271	221.082	1,132
	16 - 18	35.430	43.252	1,221	102.634	113.930	1,110
	19 - 20	31.411	37.550	1,195	75.502	76.263	1,010
	21 - 24	86.452	97.032	1,122	159.332	152.526	0,957
	25 - 29	145.787	159.856	1,097	210.031	195.715	0,932
	30 - 44	399.507	439.403	1,100	660.314	659.648	0,999
	45 - 59	327.889	345.142	1,053	796.130	715.782	0,899
Studenten Beschäf- tigte AO Bildung	60 - 64	78.807	91.971	1,167	215.339	238.594	1,108
	65 - 74	126.712	168.048	1,326	326.128	472.666	1,449
	75 u. Älter	146.156	151.789	1,039	369.364	468.550	1,269
	Total	1.594.306	1.778.487	1,116	3.443.969	3.663.291	1,064
	Studenten	112.547	121.251	1,077	67.534	67.534	1,000
	BES_B-F	142.937	159.859	1,118	476.700	476.700	1,000
	BES_G-I	251.128	284.446	1,133	535.088	535.088	1,000
	BES_J-T	729.910	803.602	1,101	851.594	852.536	1,001
	Kitaplätze	69.568	95.830	1,378	154.274	190.790	1,237
	Grundschulplätze	44.932	55.705	1,240	123.653	140.398	1,135
Weiterführende Schule	Weiterführende Schule	91.221	112.561	1,234	239.849	217.822	0,908
	Hochschule	92.749	92.749	1,000	85.396	89.278	1,045
	Berufsschulplätze	22.588	22.781	1,009	77.873	88.112	1,131

Tabelle 86: Eckwerte Strukturdaten Analyse und Prognose 2035

Die folgenden Darstellungen verdeutlichen in grafischer Form die Entwicklung der Einwohner und der Beschäftigten in München und im Umland.

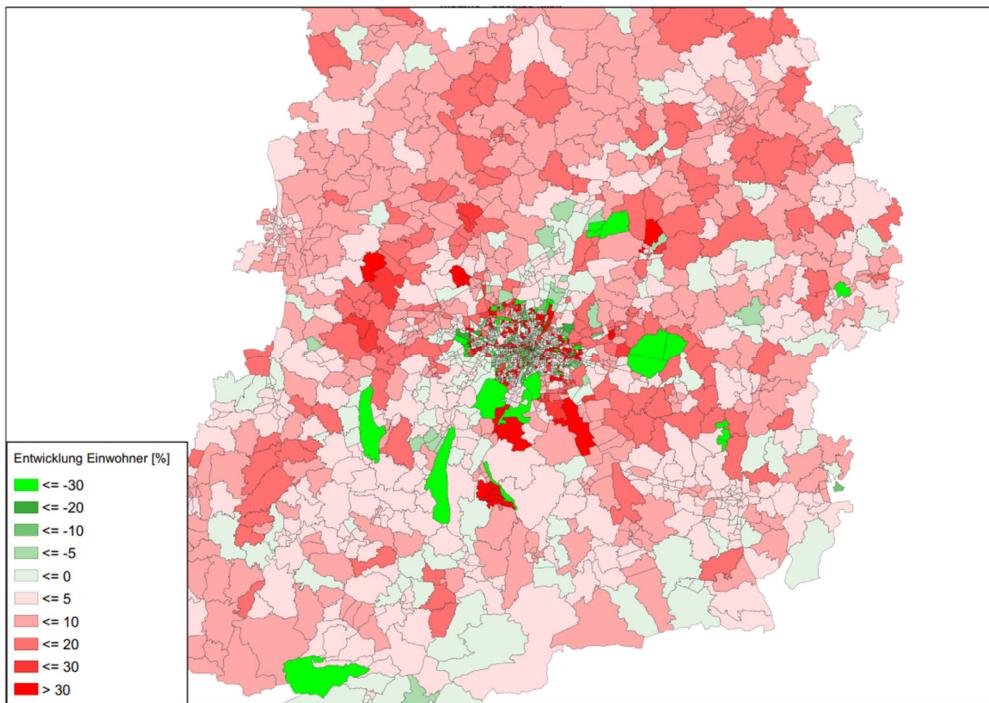


Abbildung 59: Entwicklung der Einwohner von Analyse zu Prognose 2035

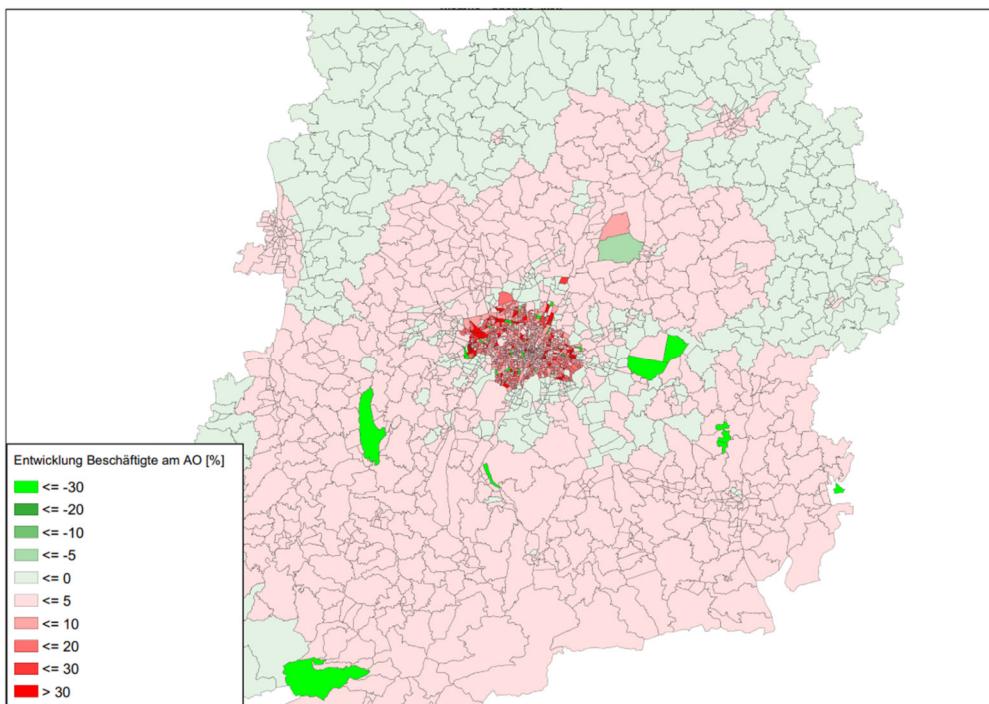


Abbildung 60: Entwicklung der Beschäftigten von Analyse zu Prognose 2035

Erstellung des Angebotsmodells für die Prognose

Bis zum Prognosehorizont 2035 wird sich das Verkehrsangebot verändern. Dies geschieht durch die Umsetzung von Infrastrukturmaßnahmen für den Straßenverkehr, den öffentlichen Verkehr und den Radverkehr. Zur Identifikation und Unterscheidung dieser Maßnahmen wurde das Attribut „Projektnummer“ angelegt. Dort ist die modellinterne Projektnummer eingetragen. Über diese können aus den Maßnahmenlisten (vgl. Anhang) weitere Informationen zur Maßnahme entnommen werden.

Im VNM-MUC ist ein Maximalnetzgraf umgesetzt. In diesem sind alle Netzelemente enthalten, die für die Analyse, für den Prognose-Nullfall oder für den Prognose-Maximalfall relevant sind. Die Eigenschaften der Netzelemente in den verschiedenen Szenarien sind in Szenarien-Attributen (Präfix „S_“) hinterlegt. Von dort aus können sie für die Berechnung des gewünschten Szenarios in das entsprechende Visum-Attribut übertragen werden. Die Szenarien-Attribute existieren für die Analyse, den Prognose-Nullfall und den Prognose-Maximalfall. Für weitere Szenarien können weitere Szenarien-Attribute angelegt werden. Es gibt 159 Szenarien-Attribute für 53 Attribute, welche in die Verfahren des Modells integriert sind. Diese verteilen sich auf die Netzelemente Strecken, Streckentypen, Knoten, Abbieger, Anbindungen und Bezirke.

Prognose Netzmodell Straßenverkehr

Die Maßnahmen können in zwei Kategorien unterschieden werden. Eine Kategorie umfasst Maßnahmen in München und in den angrenzenden Gemeinden mit den Projektnummern „MIV_0001_2203“ bis „MIV_0129_2306“. Die Maßnahmen stammen vom MOR. Die andere Kategorie umfasst Maßnahmen im Umland, die aus dem LVM-BY übernommen wurden. Diese weisen die Projektnummern „BY 001“ bis „BY 065“ auf.

In den folgenden Abbildungen ist zur Veranschaulichung der Maßnahmen die Veränderung der Kapazität des Straßenverkehrs dargestellt.

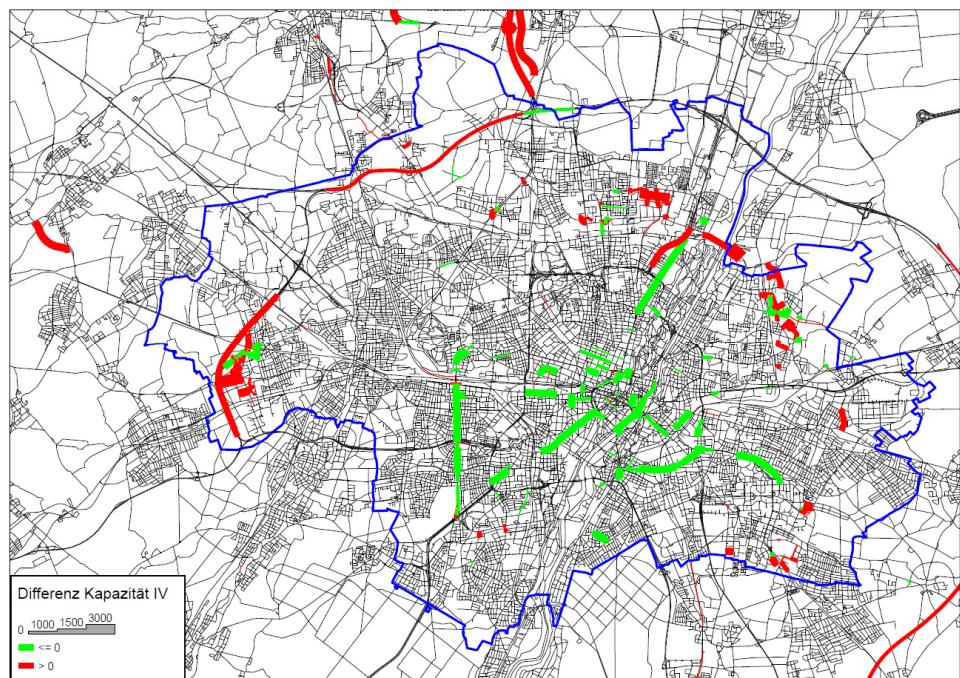


Abbildung 61: Veränderung der Streckenkapazitäten in München

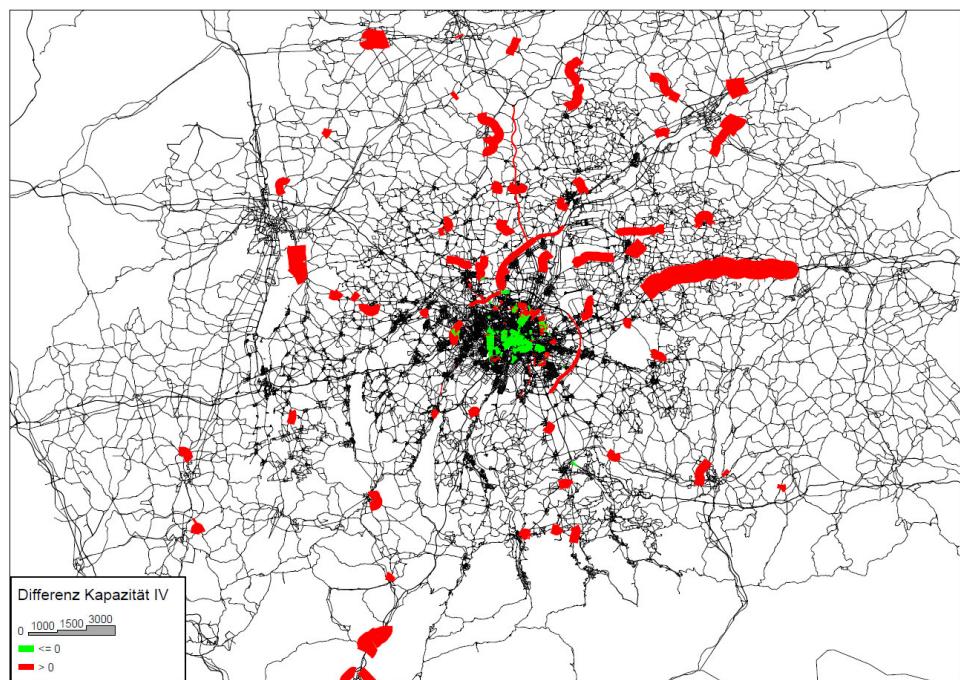


Abbildung 62: Veränderung der Streckenkapazitäten im Umland

Im Umland findet ausschließlich eine Erweiterung der Kapazitäten des Straßenverkehrs statt. In München überwiegen die kapazitätsreduzierenden Maßnahmen.

Prognose Netzmodell Radverkehr

Für den Radverkehr wurden verschiedene Infrastrukturmaßnahmen berücksichtigt. Diese können in zwei Kategorien eingeteilt werden. Zum einen umfassen sie die Radschellverbindungen ins Umland (Präfix der Projektnummer = "Radschnell"). Diese sind in Abbildung 63 dargestellt.

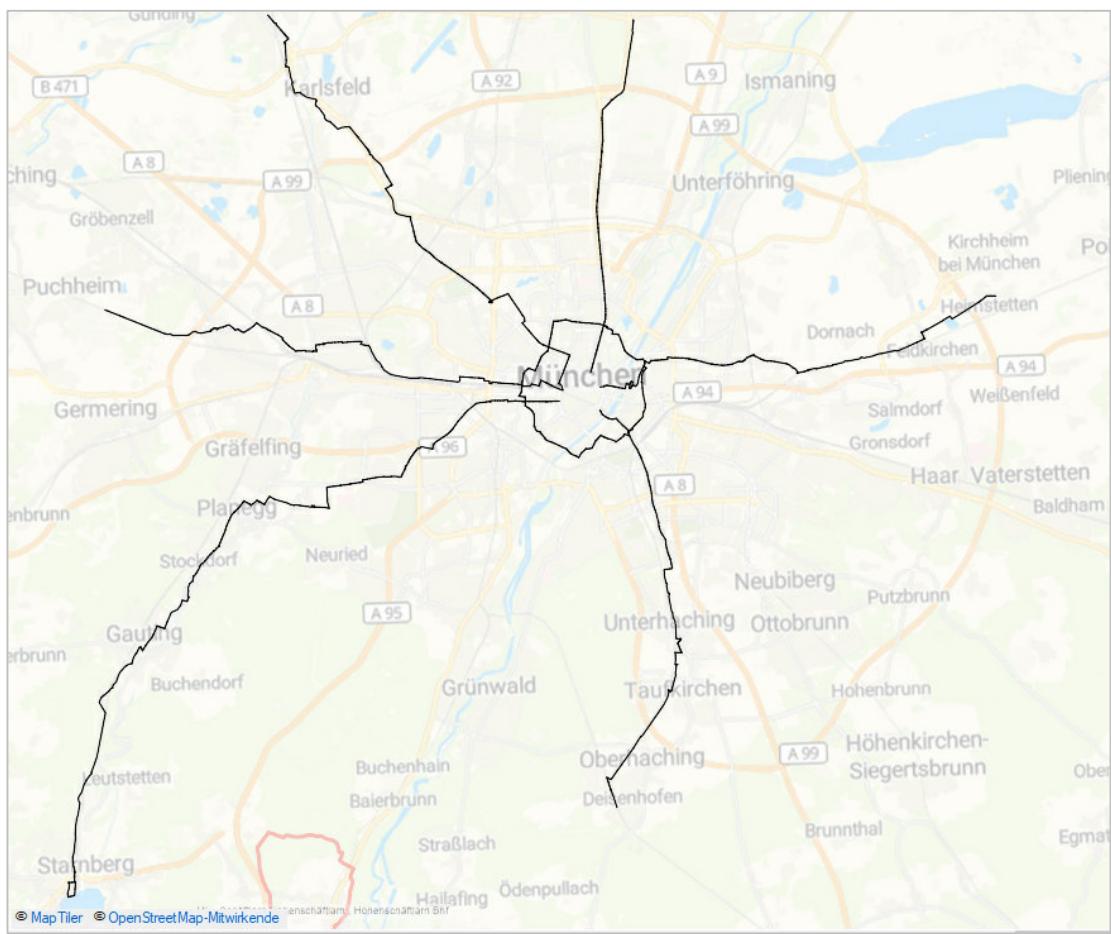


Abbildung 63: Radschnellverbindungen im Prognose-Nullfall

Für diese Strecken wurde das Attribut „Rad_Gestaltung“ auf den Wert 10 Radschnellverbindung gesetzt. Der Radschnellverbindungsring ist in der Projektnummer hinterlegt, im Gegensatz zu den anderen Radschnellverbindungen aber nicht aktiv geschaltet (das Attribut „Rad_Gestaltung“ wurde nicht verändert).

Über die Radschnellverbindungen hinaus wurden kleinere Maßnahmen in den Prognose-Nullfall integriert. Deren Projektnummern beginnen mit dem Präfix „RAD_“ und reichen von „RAD_0001_2203“ bis „RAD_0034_2305“. Der Altstadtradlring weist die eigene Projektnummer

„Altstadt Radlring“ auf. Diese weiteren Maßnahmen wurden ins Modell integriert, indem das Attribut „Rad_Gestaltung“ entsprechend der Veränderungen an der Infrastruktur angepasst wurde.

Zur Abbildung der steigenden Verbreitung und Nutzung von Pedelecs wurde die Grundgeschwindigkeit des Radverkehrs von 12 km/h auf 13 km/h angehoben. Dies ist über die Streckentypen in den maximalen Geschwindigkeiten des Verkehrssystems umgesetzt.

Prognose Netzmodell öffentlicher Verkehr

Das Prognose-Angebot der MVG-Linien wurde von der MVG implementiert. Neben neuen Straßenbahnenlinien, welche partiell Buslinien ersetzen, wurden Fahrpläne angepasst.

Für das Umland wurden die Verkehre im SPNV und SPFV aus dem LVM-BY abgeleitet und mit aktuellen Vorgaben fortgeschrieben. Dabei wurden neue Linien implementiert, welche partiell bestehende Linien ersetzen, und Fahrpläne angepasst. Für das S-Bahn-Angebot wurden Vorgaben des MVV umgesetzt. Dabei handelt es sich neben neuen und ergänzenden Linien vor allem um die Implementierung der 2. Stammstrecke mit dadurch möglichen Taktverdichtungen. Ebenfalls nach Vorgaben des MVV wurden neue Regionalbuslinien implementiert sowie zahlreiche Taktverdichtungen vorgenommen.

Die Veränderung der Anzahl der Servicefahrten ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.

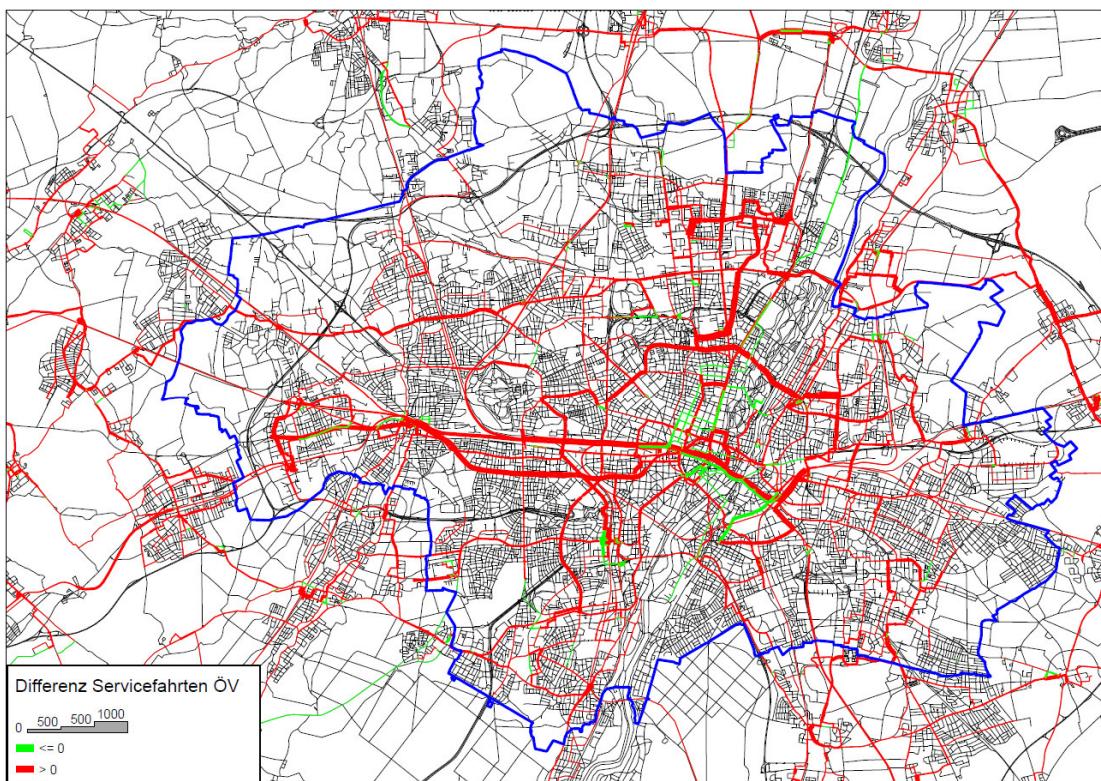


Abbildung 64: Veränderung der Servicefahrten in München

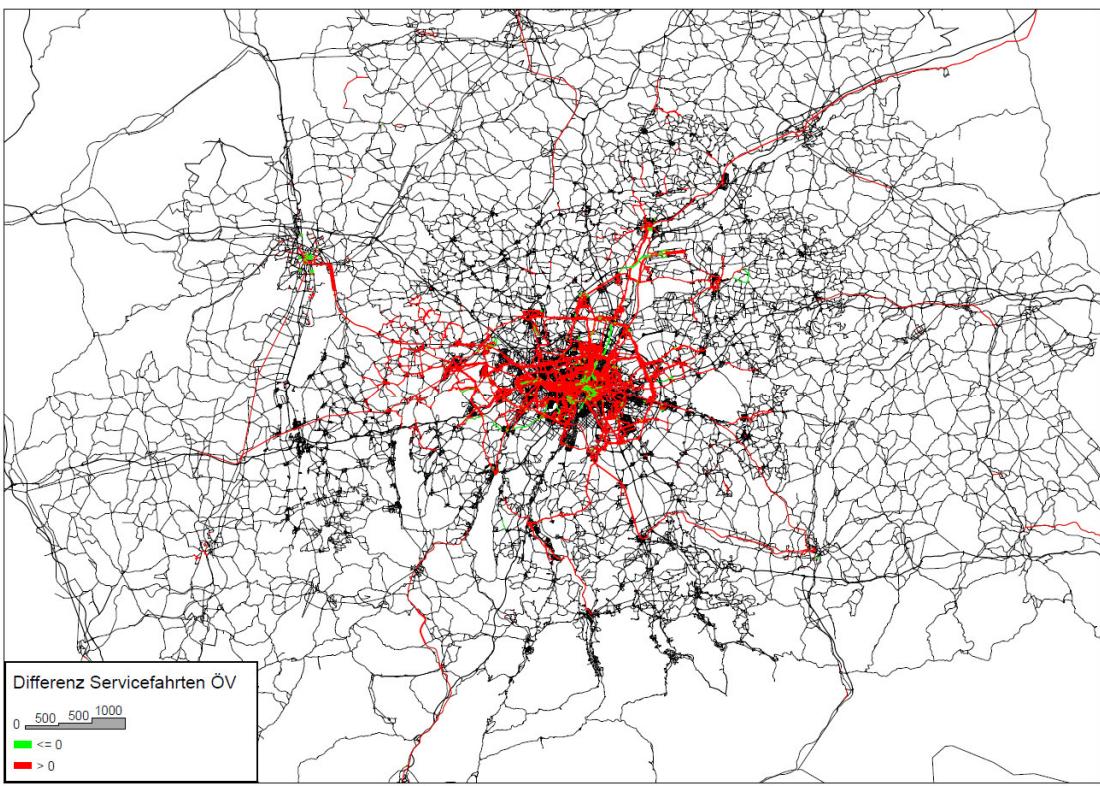


Abbildung 65: Veränderung der Servicefahrten im Umland

Die Abbildungen zeigen, dass die Maßnahmen für den ÖV mit wenigen Ausnahmen einen Ausbau des ÖV-Angebots umfassen.

Home-Office

Es kann angenommen werden, dass in Zukunft das Arbeiten aus dem Home-Office in seiner Nutzung und Verbreitung zunimmt. Dies wird in der Prognose berücksichtigt. Dafür wurde ein Verfahren implementiert, über welches eine Anpassung der Wegeketten und Mobilitätsraten in Abhängigkeit vom Home-Office-Anteil möglich ist. Dazu ist das Netzzattribut „HomeOffice_Anteil“ mit dem Anteil der Arbeitswege zu besetzen, die aufgrund von Home-Office entfallen. Besteht der Faktor 1,0 finden keine Arbeitswege statt. Besteht der Faktor 0,0 werden die Mobilitätsraten gegenüber der Analyse nicht verändert. Der Faktor ist im Prognose-Nullfall auf 0,2 gesetzt; was einem Home-Office-Anteil von 20 Prozent entspricht.

Externe Verkehre

Die externen Verkehre im Jahr 2035 wurden aus dem Prognose-Modell des LVM-BY abgeleitet. Anschließend wurden sie zur Berücksichtigung der zunehmenden Wirkung von Home-Office mit einem Faktor von 0,98 multipliziert.

Kosten des Straßenverkehrs

Die Kraftstoff- und die Mautkosten werden gegenüber der Analyse nicht verändert. Die Kosten für eine Stunde Parken an Parkscheinautomaten wurden auf 2 € erhöht.

12.2 Ergebnisse

Modal Split

Die Veränderung des Modal Splits ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Raumtyp	Modus	Analyse [%]	Prognose-Nullfall [%]	Δ abs. [%-Punkte]
1	Fuss	22,8	22,1	-0,7
	Pkw	23,9	21,3	-2,6
	Pkw-Mitfahrer	5,7	5,3	-0,4
	Rad	16,6	17,8	+1,2
	OeV	30,9	33,5	+2,6
2	Fuss	18,7	18,7	+0,0
	Pkw	43,1	41,7	-1,4
	Pkw-Mitfahrer	11,9	12,2	+0,3
	Rad	14,4	15,4	+1,0
	OeV	11,7	12,0	+0,3
3	Fuss	17,7	18,7	+1,0
	Pkw	51,2	48,0	-3,2
	Pkw-Mitfahrer	15,7	16,7	+1,0
	Rad	9,8	10,8	+1,0
	OeV	5,6	5,8	+0,2
gesamt	Fuss	19,8	19,9	+0,1
	Pkw	38,6	36,2	-2,4
	Pkw-Mitfahrer	10,7	10,8	+0,1
	Rad	14,2	15,2	+1,0
	OeV	16,6	17,9	+1,3

Tabelle 87: Veränderung des Modal Splits von der Analyse zum Prognose-Nullfall

Der Anteil des Radverkehrs und des ÖPNV steigt in allen Modellräumen. Der absolute Anstieg ist dabei umso höher, je höher der Ausgangswert war. Der Anstieg des öffentlichen Verkehrs kann auf den Ausbau der Verkehrsangebote zurückgeführt werden. Das gleiche gilt für den Radverkehr. Bei diesem stellt die Erhöhung der Grundgeschwindigkeit aufgrund der steigenden Verbreitung und Nutzung von Pedelecs einen weiteren Grund dar. Für den Pkw ist in allen

Raumtypen ein Rückgang zu verzeichnen. Dieser ist in der Stadt München am stärksten. Da in München das Verkehrsangebot für den Straßenverkehr tendenziell reduziert wird, während der Radverkehr und der ÖPNV attraktiver werden, ist dieses Ergebnis erwartungskonform. Zudem hat das bestehende Straßennetz nur wenige Kapazitätsreserven, um die zusätzlichen Wege, die aus dem Einwohnerzuwachs resultieren, aufzunehmen. Und schließlich trägt die Erhöhung der Parkkosten zu einer sinkenden Attraktivität des Straßenverkehrs bei. In München sinkt der Anteil des Fußverkehrs. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Fußverkehr keinen Ausbau seines Verkehrsangebots und keine Erhöhung seiner Attraktivität erfährt, während dies beim öffentlichen Verkehr und beim Radverkehr geschieht.

Straßenverkehr

In den folgenden Abbildungen ist die Belastungsdifferenz des Pkws in München und im Umland dargestellt.

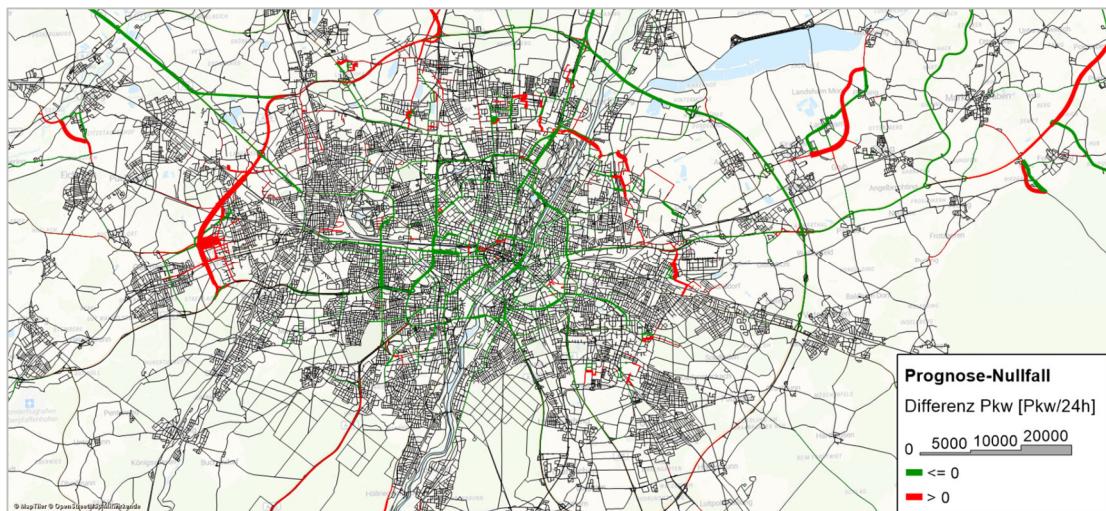


Abbildung 66: Belastungsdifferenz des Pkw in München

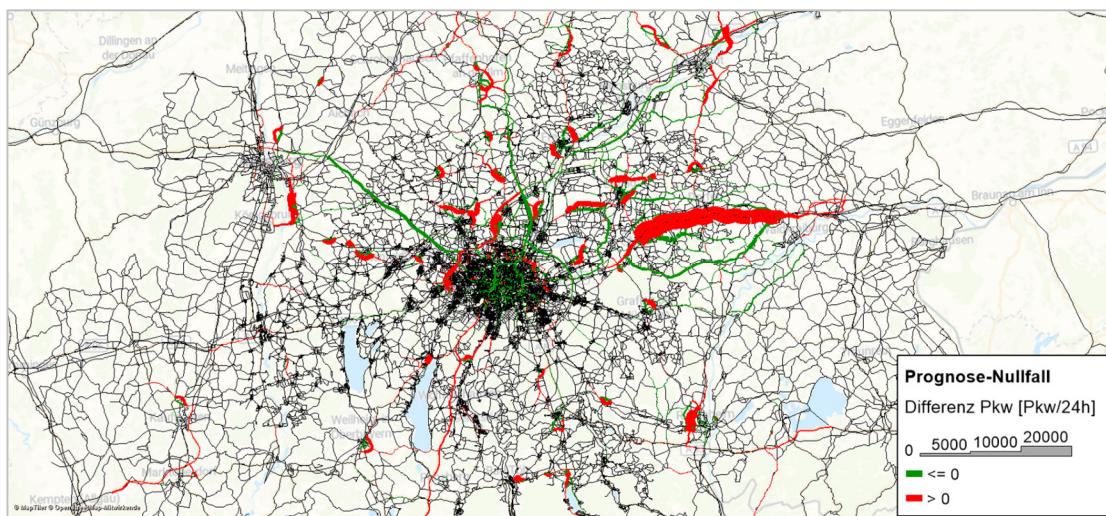


Abbildung 67: Belastungsdifferenz des Pkw im Umland

In München ist überwiegend eine Abnahme der Verkehrsbelastung zu verzeichnen. Dies kann durch den Rückgang des Anteils des Pkws am Modal Split erklärt werden. Dabei fallen Maßnahmen, an denen die Kapazität der Strecken reduziert wurde, besonders auf. In den äußeren Bereichen Münchens sind Belastungszuwächse zu verzeichnen. Diese sind vor allem auf Wohnbauprojekte (z. B. Freiham, Münchner Nordosten) zurückzuführen. Im Umland halten sich rote und grüne Balken ungefähr die Waage. Diese sind auf Infrastrukturmaßnahmen und die durch sie bewirkten Verlagerungswirkungen zurückzuführen.

In den folgenden Abbildungen ist die Belastungsdifferenz der gesamten Lkw-Verkehrs in München und im Umland dargestellt.

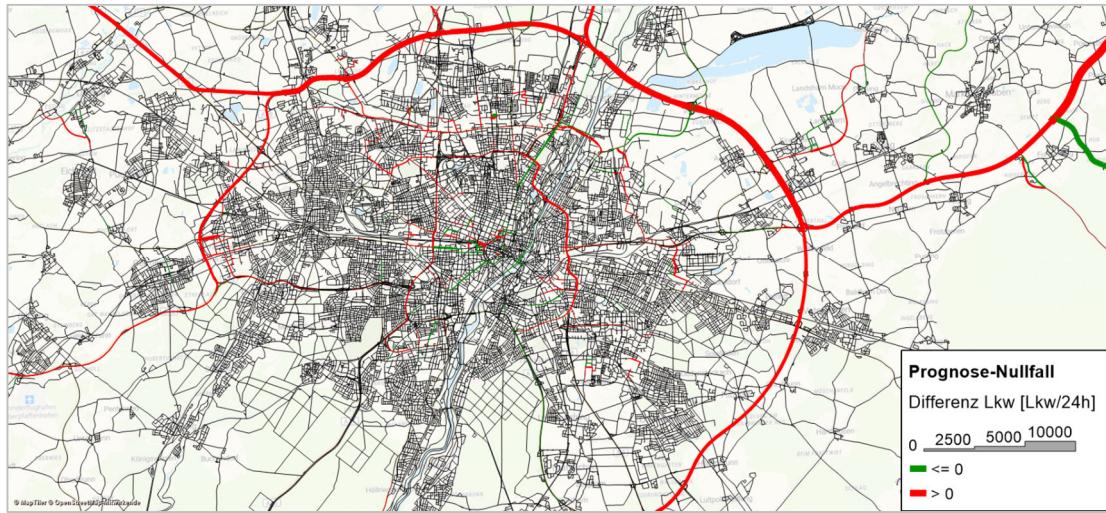


Abbildung 68: Belastungsdifferenz des Lkw-Verkehrs in München

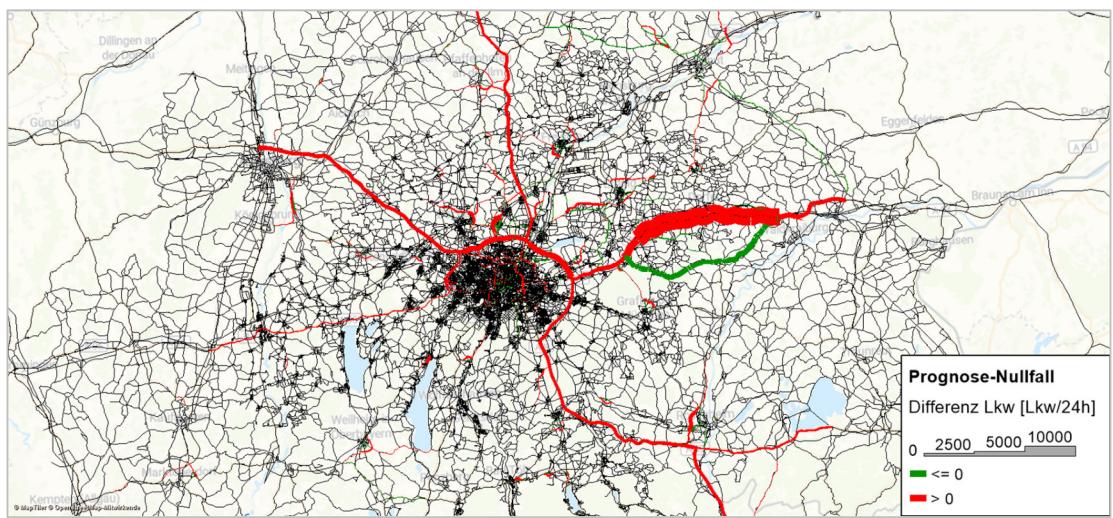


Abbildung 69: Belastungsdifferenz des Lkw-Verkehrs im Umland

Für den Lkw überwiegen die Belastzungszunahmen gegenüber der Analyse. Dies kann dadurch erklärt werden, dass für den Lkw eine Anpassung der Erzeugungsraten gegenüber der Analyse nicht durchgeführt wurde. Da die Zahl der Beschäftigten als die verkehrserzeugenden Personen steigen, steigt die Verkehrsbelastung des Lkw. Die Belastungsdifferenzen im Umland können durch Maßnahmen (z. B. A94) und durch die Zunahme des externen Lkw-Verkehrs, die sich aus dem LVM-BY ergibt, erklärt werden.

Öffentlicher Verkehr

Im Modellraum werden in der Prognose 2035 im Nullfall täglich annähernd 3,6 Millionen Wege mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Die folgende Darstellung gibt einen Überblick, auf welche Strecken und Relationen sich diese Wege verteilen.

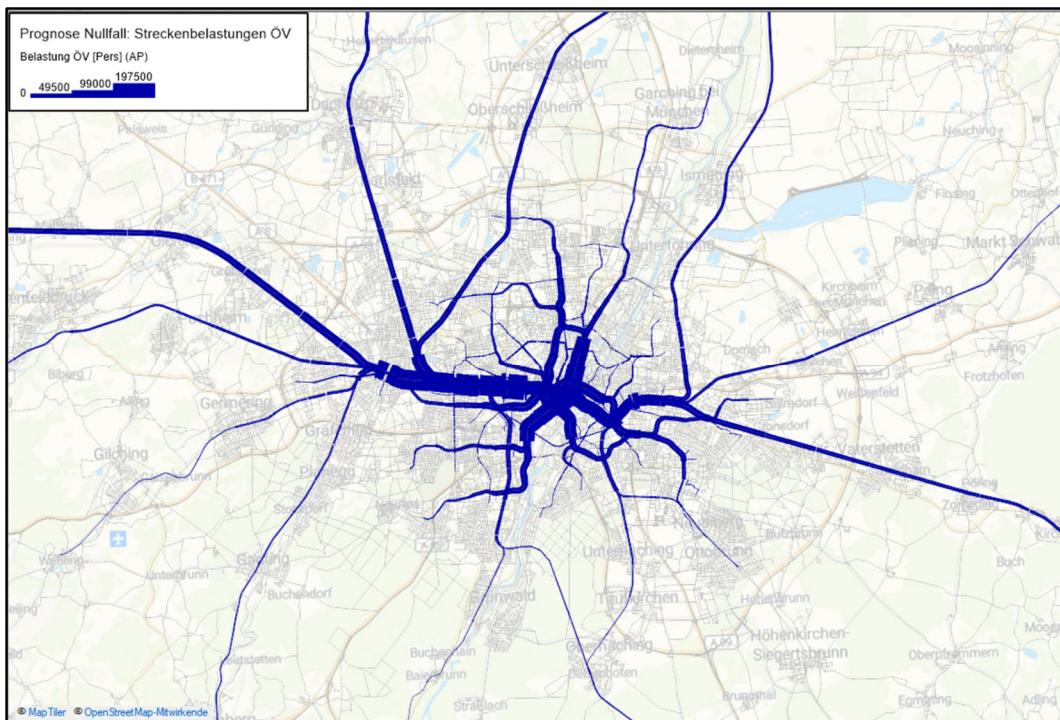


Abbildung 70: Prognose-Nullfall, Streckenbelegungen öffentlicher Verkehr

Die Verkehrsmittel der MVG weisen im Prognose-Nullfall über 2,93 Millionen Linienbeförderungsfälle auf (gegenüber ca. 2,63 Millionen in der Analyse). Zur Differenzierung der Ergebnisse nach den MVG-Verkehrssystemen stellt die folgende Tabelle die Modellergebnisse für die Linienbeförderungsfälle gegenüber.

Verkehrssystem	Analyse	Prognose Nullfall
MVG-Bus	745.900	782.900
MVG-Straßenbahn	348.800	506.700
U-Bahn	1.537.200	1.641.200
Summe	2.631.900	2.930.800

Tabelle 88: Analyse / Prognose Linienbeförderungsfälle MVG-Verkehrssysteme

Die Busse des MVV weisen im Prognose-Nullfall insgesamt annähernd 330.000 Ein-/Aussteiger pro Tag auf. Die folgende Tabelle stellt die Analyse- und Prognoseergebnisse auf Ebene der Landkreise (ohne LH München) gegenüber.

Kreis	Analyse	Prognose Nullfall
Bad Tölz-Wolfratshausen	11.680	11.400
Dachau	30.140	32.390
Ebersberg	12.230	15.940
Erding	15.260	18.160
Freising	28.600	36.900
Fürstenfeldbruck	41.120	52.420
München, Landkreis	111.680	139.950
Starnberg	20.380	19.800
Summe	271.090	326.960

Tabelle 89: Analyse / Prognose: Ein-/Aussteiger (jeweils Mittelwert) MVV-Busse

Im Prognose-Nullfall nutzen im MVV-Gebiet ca. 1,16 Millionen Fahrgäste den SPNV. Die folgende Tabelle verdeutlicht die Aufteilung auf die S-Bahn und den übrigen SPNV für Analyse und Prognose.

Verkehrssystem	Analyse	Prognose Nullfall
S-Bahn	808.700	1.002.600
Übriger SPNV	163.500	155.800
Summe	972.200	1.158.400

Tabelle 90: Analyse / Prognose: Einsteiger SPNV im MVV-Gebiet

Radverkehr

Die Belastungsdifferenzen des Radverkehrs in München und den angrenzenden Gemeinden sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

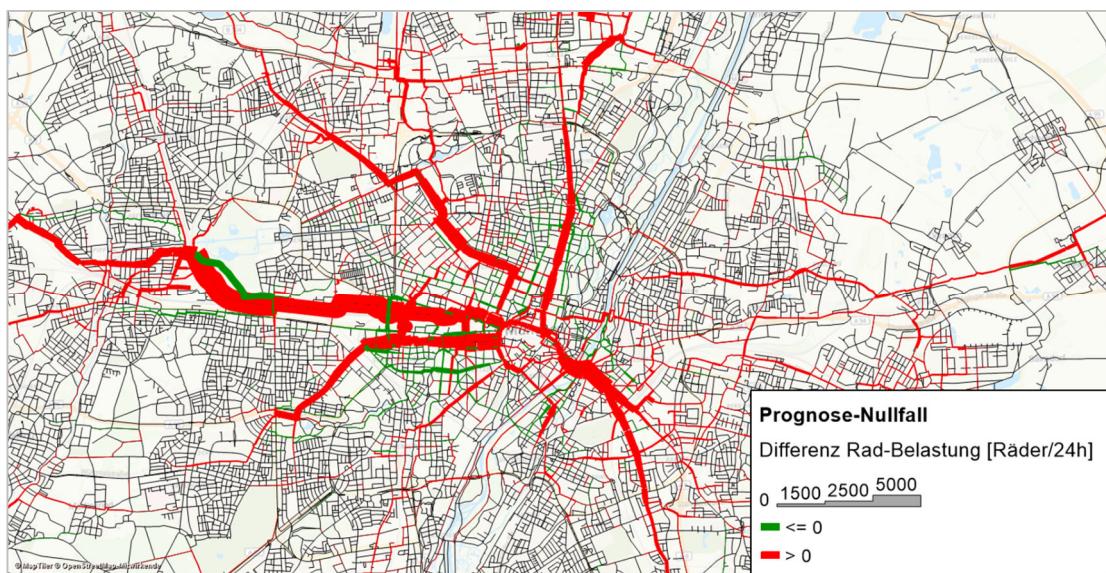


Abbildung 71: Belastungsdifferenz des Radverkehrs im Stadtgebiet Münchens

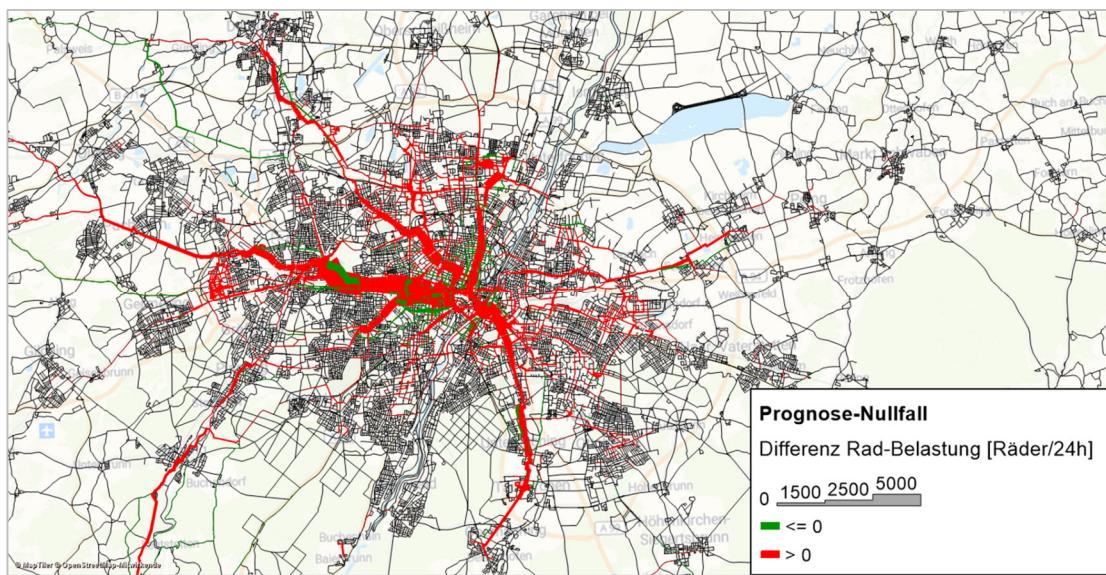


Abbildung 72: Belastungsdifferenz des Radverkehrs in München und den angrenzenden Gemeinden

In München und in den angrenzenden Gemeinden ist auf fast allen Strecken eine Zunahme der Belastung des Radverkehrs zu erkennen. Dies kann durch den steigenden Anteil des Radverkehrs am Modal Split sowie die Zunahme der mittleren Reiseweite des Radverkehrs von 2,5 auf 2,6 km erklärt werden. Besonders stechen die tangentialen Radschnellverbindungen ins Umland

hervor. Da diese die höchste Attraktivität und den niedrigsten Widerstand aufweisen ist ihre auffällige Belastung erwartungskonform. Die Strecken, auf denen die Belastung des Radverkehrs sinkt, liegen im Umfeld von Radschnellverbindungen. Ihr Belastungsrückgang kann durch eine Verlagerung auf die attraktiveren Radschnellverbindungen erklärt werden.

13 Prognose 2035 - Maximal

wird ergänzt

14 Berechnungen Spitzenstunde

wird ergänzt

15 Berechnungsumfeld

15.1 Dateien und Ablageordner

Für eine Berechnung mit dem VNM-MUC werden bestimmte Dateien benötigt, die mit dem Verkehrsmodell ausgeliefert werden. Die Dateien gliedern sich nach den folgenden Funktionen:

- ▶ Visum-Version des VNM-MUC
- ▶ Filter-Dateien
 - Kali ÖV Zählstellen.fil
 - Kali_Hst_E_U.fil
 - Vali_Zaehlstellen_Rad.fil
 - Vali_Zaehdaten_PKW.fil
 - Vali_Screenline_PKW.fil
 - Kali_SBahn_EA_Hst.fil
- ▶ Listenlayouts
 - Kali_ÖV4 VSys LBF der MVG.lls
 - Kali_ÖV_Betreiber.lls
 - Kali_LBF_MVG-Linien.lls
 - Kali ÖV Zählstellen.lls
 - Kali_ÖV0 Landkreis Mobilität.lls
 - Kali_ÖV0 Stadtbezirke Muc Mobilität.lls
 - Kali_ÖV1 S-Bahn HP-EA Landkreise.lls
 - Kali_ÖV2 RBus HP-EA Landkreise.lls
 - Kali_ÖV3 MVG HP-EA Stadtbezirke.lls
 - Kali_ÖV_Screenlines.lls
 - Kali_ÖV_UmlegStat.lls
 - Kali_Hst_E_U.lls
 - Kali_Hst_E.lls
 - Vali_mittlere_Reiseweite.lls
 - Vali_mittlere_Reisezeiten.lls
 - Vali_Verteilung_Reiseweite.lls
 - Vali_mittlere_Anzahl_Wege.lls
 - Vali_Modal_Split.lls

- Vali Verkehrsleistung.llax
 - Vali Verkehrszeitaufwand.llax
 - Vali Zaehlstellen Rad.llax
 - Vali Konvergenz.llax
 - Vali Zaehlstellen Rad Punkte.llax
 - Kali_VSysUmsteiger.lla
 - RuntimeAnalysisByProcedure.llax
 - RuntimeAnalysisByProcedureType.llax
 - RuntimeAnalysisByGroup.llax
 - Vali_Zaeahldaten_PKW.llax
 - Vali_Screenline_PKW.llax
 - Kali_OEV_VSys.lla
 - Kali_SBahn_EA_Hst.llax
 - Kali_Hst_E_VSys_MVV.llax
- Skripte
- RuntimeAnalyser.py
 - UserDefinedTableCreator.py
 - VisumValiTool_V25.py
 - VMMUC_AuswGes_Main.py
 - VMMUC_AuswGes_ModulExcel.py
 - VMMUC_AuswGes_ModulListen.py
 - VMMUC_MVG_Main.py
 - VMMUC_MVG_ModulListen.py
 - VMMUC_MVV_Main.py
 - VMMUC_MVV_ModulListen.py
- UserVDF-DLLs
- Je nach Rechner sind 32-bit- oder 64-bit-DLL-Dateien in den UserVDF-DLLs-Ordner zu speichern.
- VisumVDF_RvL_4armigx64.dll
 - VisumVDF_RvL_3armigx64.dll
 - VisumVDF_Kreisverkehr_4armigx64.dll
 - VisumVDF_Kreisverkehr_3armigx64.dll

- VisumVDF_Akcelik_ZWert3_UserVDFx64.dll
- VisumVDF_RvL_4armig.dll
- VisumVDF_RvL_3armig.dll
- VisumVDF_Kreisverkehr_3armig.dll
- VisumVDF_Kreisverkehr_4armig.dll
- VisumVDF_Akcelik_ZWert3_UserVDF.dll

Mit den dll-Dateien werden die benutzerdefinierten CR-Funktionen für Strecken und Knoten vorgegebenen. Diese Dateien müssen vor dem Start des Verfahrensablaufes in das Verzeichnis kopiert werden, in das Start-Verzeichnis von Visum kopiert werden.

- ▶ sonstige Eingabedaten als „xls_Master“ (Dashboard-Vorlage)
 - ▶ sonstige Ausgabedaten als „xls_Auswertung“ (Ergebnis der Auswertung)
- Zusätzlich zum allgemeinen Dashboard werden für MVG und MVV spezifische Tabellen ausgeliefert, die vertrauliche Daten enthalten.

15.2 Verfahrensablauf in Analysemodell

Der Verfahrensablauf besteht aus den folgenden Hauptgruppen (im Verfahrensablauf beginnend mit „<“):

- ▶ Initialisierung
- ▶ ÖV Kenngrößen
- ▶ IV Kenngrößen
- ▶ Wirtschaftsverkehr
- ▶ MUC: Flughafen + Tourismus
- ▶ Personenverkehr
- ▶ Finale Umlegungen

In jedem Verfahrensschritt wird die Funktion/Zweck des Verfahrens in einem entsprechenden Kommentar beschrieben.

SchrittNr	Gruppe	Beschreibung	Ausgabe
1 - 2	Gruppe: Sicherheitsspeichern	Zwischenspeichern	Kopie der Version mit gleichem Namen
3 - 14	Gruppe: << Initialisierung >>	Neben der Modellinitialisierung sind belastungsabhängige ÖV-Umlegung und ÖV-Fahrpreisberechnung in dieser Gruppe eingestellt. Benutzerdefinierter DLL-Datei im Ordner und in der Verfahrenseinstellung wird auch kontrolliert	Modell initialisiert
15	Gruppe: << ÖV KENNGRÖSSEN >>		ÖV-KGM
16 - 41	Gruppe: Kenngrößen ÖV allgemein	Berechnung ÖV-KGM (Matrizen 601-699)	
42 - 43	Gruppe: Schalttest für Kenngrößen ÖV Fahrpreis	Durch die Einstellung in Gruppe << Initialisierung >> wird die nächste Gruppe ggf. ein- oder ausgeschalten.	
44 - 84	Gruppe: Kenngrößen ÖV Fahrpreis	Berechnung ÖV-Fahrpreis-KGM (Matrizen 700-799)	
85 - 86	Gruppe ** Sicherheitsspeichern **	Zwischenspeichern nach ÖV-KGM und Fahrpreisberechnung	Kopie der Visum-Version mit gleichem Namen
87	Gruppe: << IV KENN-GRÖSSEN >>		IV-KGM unbelastetes Netz für Berechnung von Wi-Ver, Flughafen- und Tourismusmodell
88 - 101	Gruppe: Setzung der Knoten- und Abbiegerkapazitäten	Berechnung Knoten- und Abbiegerkapazität je nach Knoten-TYP_AUSLASTUNG und Abbiegertyp Berechnung Abbieger-T0 der LSA- und VZ-Knoten Berechnung Abbieger-T0 der rechts-vor-links Knoten	
102 - 106	Gruppe: Berechnung Radwiderstand	Erweiterung der originalen Rad-T0 der Abbieger und Strecken mit steigungsabhängiger Streckenfahrzeit und Kfz-Belastung	
107 - 117	Gruppe: Kenngrößen IV	Berechnung initiale KGM	

118 - 129	Gruppe: Kenngrößen IV: Berechnung gewichtete Anbindezeit Quell-/Ziel-verkehr	Berechnung Anbindezeit je nach IV- Gewicht (Gewichtangabe je Vsys kann unterschiedlich sein.)	
130 - 139	Gruppe: Kenngrößen IV: Summierung Anbindezeiten Quell-/Zielverkehr	Berechnung Anbindezeit je Quell- und Zielbezirk	
140 - 164	Gruppe: Kenngrößen IV: Symmetrisierung der Matrix und Besetzung (Haupt-)diagonale	Anpassung der IV-KGM für Nachfragemodell	
165 - 166	Gruppe: Berechnen PKW-Kraftstoffkostenmatrix	Multiplizieren der PKW-Fahrweitematrix mit Kraftstoffkosten	
167	Gruppe: << WIRTSCHAFTS-VERKEHR >>		Nachfragematrizen des Wirtschaftsverkehrs
168 - 220	Gruppe: Personenwirtschaftsverkehr - Berechnung Mobilitätsraten und Zielpotenzial	Berechnung Mobilitätsrate des PKW-WiVer aus FNP, Branche und Kalibrierungsfaktoren Berechnung Strukturgröße des PKW-WiVer aus Anzahl Beschäftigte je Branche, Untersuchungsraumanteil und Kalibrierungsfaktoren	
221 - 224	Gruppe: Berechnen der Nachfrage des Personenwirtschaftsverkehrs	Erzeugung PKW-Wiver (Matrix-Nr 40) mit VISEM	
225 - 294	Gruppe: Güterwirtschaftsverkehr - Berechnung Mobilitätsraten und Zielpotential	Berechnung Mobilitätsrate je LKW-Nseg aus FNP, Branche und Kalibrierungsfaktoren Berechnung Strukturgröße von je LKW-Nseg aus Anzahl Beschäftigte je Branche, Untersuchungsraumanteil und Kalibrierungsfaktoren	

295 - 306	Gruppe: Berechnen der Nachfrage des Güterwirtschaftsverkehrs	Erzeugung LKW-Matrizen (Matrix-Nr 41-49) mit VISEM	
307	Gruppe: << MUC FLUGHAFEN + TOURISMUS >>		Nachfragematrizen des Flughafen- und Tourismusmodells
308 - 315	Gruppe: MUC Flughafen	Erzeugung Flughafennachfrage für die Bewohner des Modellraums mit 4-Stufenmodell	
316 - 339	Gruppe: Tourismus	Übernahme der Strukturgrößen des originalen Tourismus- und Besuchermodells	
340 - 348	Gruppe: ANAB: Erzeugung	Berechnung der Potenziale von Ankunft und Abreise (ANAB)	
349 - 350	Gruppe: ANAB: Verteilung und Moduswahl	Erzeugung der ANAB-Matrizen (Nr 1111-1113)	
351 - 360	Gruppe: AUF: Erzeugung	Berechnung der Potenziale für Aufenthalt (AUF) Ermittlung der Anzahl Personen aus ANAB-Ergebnissen	
361 - 362	Gruppe: AUF: Verteilung und Moduswahl	Erzeugung der AUF-Matrizen (Nr 1211-1213)	
363 - 372	Gruppe: TAG: Erzeugung	Berechnung der Potenziale für Tagesreisende (TAG)	
373 - 374	Gruppe: TAG: Verteilung und Moduswahl	Erzeugung der TAG-Matrizen (Nr 1311-1313)	
375	Gruppe: << PERSONEN-VERKEHR >>		Nachfragematrizen des Personenverkehrsmodells
376 - 381	Gruppe: Umlegung MIV mit LKW-Durchfahrtsverbot	Umlegung der MIV-Matrizen, um ein belastetes Netz zu erzeugen	
382 - 387	Gruppe: Initialisiere Variablen für Gleichgewichtsmessung und Rückprung	löschen alter Rückkopplungsstatistik	

388 - 406	Gruppe: Setzen der Strukturgrößen	Belegung der Strukturgrößen aus benutzerdefinierten Attributen PV_SD* und Untersuchungsraumanteil URA_Z_*	
407 - 408	Gruppe: Unter- suchungs- raumanteil	Belegung Bezirk-Untersuchungs- raumanteilHeimat mit entspre- chendem BDA URA_Quell_*	
409 - 411	Gruppe: Initiale PV-Berechnung	Berechnung des Heimataufkom- mens mit Mobilitätsrate aus MiD	
412 - 436	Gruppe: Teil- raumausgleich - Schüler	Korrektur der Strukturgröße Grundschule und weiterführende Schule durch die Anzahl Grund- schüler und weiterführende Schüler Belegung der Matrizen Grund- schulsprengel_korr und weiter- führendeSchulsprengel_korr mit zusätzlichem Widerstand anhand der Teirläume	
437 - 455	Gruppe: PARK & RIDE(Pol) ini- tiale Kenngrö- ßen Berech- nung	Übertrag der PR-Attribute von Pol (29) in Bezirke Erzeugung initiale KGM für Mo- odus PR Initiale Wartezeit ist fixiert auf eine Belegung von 80% der Park- kapazität.	
484 - 485	Gruppe: Sicher- heitsspeichern	Zwischenspeichern vor Haupt- Loop	
458 - 461	Gruppe: < START LOOP >	Initialisierung Rückkopplungssta- tistik	
462 - 463	Gruppe: PV Verteilung und Moduswahl	Erzeugung der Nachfragematri- zen des Personenverkehrsmo- dells anhand der Nutzenkosten- funktionen und KGM	
464 - 483	Gruppe: PARK & RIDE Update der Kenngrößen während der Nachfragebe- rechnung	multimodale Umlegung der PR- Matrix Erzeugung der neuen KGM aus multimodaler Umlegung Erstellung der PKW-Teilwege und ÖV-Teilwege als separate Matrizen	
484 - 490	Gruppe: Matri- zen aufaddieren	Summieren der Nachfragematri- zen für nächste Umlegung	

491 - 495	Gruppe: IV-Umlegung	Umlegung der neuen PKW-Nachfragematrix mit weiteren IV-Matrizen Erzeugung neuer Netzbelastungen und Reisezeiten	
496 - 508	Gruppe: Kenngrößen PKW	Berechnung neue PKW-KGM	
509 - 510	Gruppe: Berechnen PKW-Kraftstoff- kostenmatrix	Berechnung neuer Kraftstoffkos- tenmatrix anhand neuer Fahrwei- tenmatrix.	
511 - 512	Gruppe: Rück- kopplungssta- tistik	Ermittlung der Stabilität der Stre- ckenbelastung ($r_{\text{Gleichge-}}^{}$ wichtsmarkerNetz) je Loop Protokollieren der Rückkopp- lungsstatistik MatrixEcksummenLog.csv wird erzeugt/ergänzt (Kontrolle Zwi- schenergebnisse)	
513 - 514	Gruppe: Sicher- heitsspeichern	Zwischenspeichern innerhalb Haupt-Loop	
515 - 516	Gruppe: Rück- sprung	Rückkopplung bis IV-Streckenbe- lastung stabil ist	
517 - 518	Gruppe: < ENDE LOOP >	Protokollieren der Rückkopp- lungsstatistik	
519 - 520	Gruppe: Sicher- heitsspeichern	Zwischenspeichern nach Haupt- Loop	
521	Gruppe << FI- NALE UMLE- GUNGEN >>		Umlegungen aller Fahrtenmatrizen
522 - 528	Gruppe: Umle- gung MIV mit LKW-Durch- fahrtsverbot	Umlegung Nseg P, P_zusatz, LKW-g, LKW-m, LKW-k und WV_P	
529 - 534	Gruppe: Be- rechnung Rad- widerstand und Umlegung Rad- verkehr	Umlegung Rad	
535 - 561	Gruppe ÖV- Stundenmatri- zen erzeugen / Matrixganglinie	Erzeugung der ÖV-Matrixgangli- nien für finale ÖV-Umlegung	
562 - 563	Gruppe: Schalt- test ÖV-Umle- gung	Kontrolle, ob belastungsabhän- gige ÖV-Umlegung verwendet soll.	

564 - 581	Gruppe: ÖV-Umlegung	Umlegung ÖV	
582 - 583	Gruppe: Schalttest ÖV-Umlegung	Kontrolle, ob belastungsabhängige ÖV-Umlegung verwendet soll.	
584 - 594	Gruppe: belastungsabhängige ÖV-Umlegung (alternativ)	belastungsabhängige ÖV-Umlegung	
595 - 596	Gruppe: Sicherheitsspeichern	Zwischenspeichern nach Umlegung(en)	
597 - 616	Gruppe Auswertung	Aktualisierung benutzerdefinierter Tabellen (außer Rückkoppelungsprotokoll und Einstellungen ValiTool) Vorbereitung und Schreiben Dashboards (gesamt, MVV und MVG)	Dashboards
617 - 619	Gruppe: Ende und Speichern	Finales Speichern	Kopie der Visum-Version mit gleichem Namen
620 - 621	Gruppe: Schalttest für Block Initialisierte Versionsdatei	Schalter für automatische Initialisierung	kompakte initialisierte Version mit nur finalen Matrizen und ohne Umlegung
622 - 631	Gruppe: Initialisierte Versionsdatei herstellen	Erstellung einer kompakten initialisierten Version mit nur finalen Matrizen ohne Zwischenergebnisse	

Tabelle 91: Verfahrensschritte des VNM-MUC

Initialisierung

In dieser Gruppe werden die Attribute für die Protokollierung und Rückkoppelung zurückgesetzt. Zusätzlich werden auch die Fahrtenmatrizen aus alten Berechnungen initialisiert.

ÖV-Kenngrößen

Die ÖV-Kenngrößen werden in dieser Gruppe berechnet. In der ersten Untergruppe werden die allgemeinen ÖV-Kenngrößenmatrizen ermittelt. Die Berechnung der Fahrpreismatrizen ist in der zweiten Untergruppe enthalten.

IV-Kenngrößen

Pkw-, Rad- und Fuß-Kenngrößen werden in dieser Gruppe erzeugt. Für Pkw werden zunächst die Reisezeiten auf einem unbelasteten Netzzustand berechnet.

Wirtschaftsverkehr

Es erfolgt hier die Berechnung der Nachfragematrizen für Lkw-g, Lkw-m, Lkw-k und WV Pkw.

MUC: Flughafen + Tourismus

Es erfolgt hier die Berechnung der Nachfragematrizen des Flughafen- und Tourismusmodells.

Personenverkehr

Für das PV-Nachfragemodell werden die Fahrtenmatrizen umgelegt, um die Reisezeit des Pkw-Verkehrs in einem belasteten Netz zu berechnen.

Die Strukturgrößen werden aus den benutzerdefinierten Attributen geholt und mit den Untersuchungsanteilen verrechnet. Für Grundschüler und Schüler der weiterführenden Schulen werden die Teilraumausgleiche durchgeführt. Das Nachfragemodul VISEM-Erzeugung wird erst nach den Anpassungen gestartet.

Eine Berechnung der Gruppe Pendlerkorrektur ist normalerweise nicht erforderlich. Das wird nur nötig, wenn die Arbeitsplätze oder Einwohnerzahl vom ursprünglichen Zustand stark abweicht, z. B. 10 Prozent mehr Arbeitsplätze in der Stadt München.

Park+Ride wird initialisiert, damit die erste Kenngrößenmatrix für Park+Ride erzeugt werden kann. Erst danach kann die VISEM-Verteilung und -Moduswahl gestartet werden.

Die von VISEM erzeugte Park+Ride-Matrix wird durch multimodale Umlegung geroutet. Dadurch werden die Pkw- und ÖV-Park+Ride-Matrizen erzeugt.

Mit den berechneten Nachfragenmatrizen werden Umlegungen durchgeführt und die neuen Pkw-Kenngrößenmatrizen erzeugt. Diese werden rückgekoppelt, bis ein Gleichgewicht (Konvergenz) entsteht.

Finale Umlegungen

In dieser Gruppe werden die finalen Umlegungen der Verkehrsarten und die Auswertungen berechnet.

15.3 Nummerierungskonzept der Matrizen

Das Modell hat eine Nummerierungskonzept für Matrizen, damit die Matrizen je nach Prozesse hintereinander aufgelistet sind.

Matrix-NR	Beschreibung
1 - 9	Nachfragematrizen des Modells, Tagesmatrizen
20 - 29	Externe Verkehr, Inputmatrizen
40 - 49	Zwischenergebnisse von Wirtschaftsverkehr (Pkw, Lkw-k/m/g)
50	PKW Wirtschaftsverkehr Konstante
98 - 100	Zusätzliche Matrizen für Personenverkehr-Nachfrage
101 - 119	Kenngrößenmatrizen Pkw
130 - 149	Kenngrößenmatrizen Lkw-k
140 - 149	Kenngrößenmatrizen Lkw-m
150 - 159	Kenngrößenmatrizen Lkw-g
200 - 209	Input- und Ergebnismatrizen für Durchgangsverkehr und Binnen-Quell/Zielverkehr in Wirtschaftsverkehr
300 - 399	Kenngrößenmatrizen F
400 - 499	Kenngrößenmatrizen Rad
500 - 599	Kenngrößenmatrizen ÖV, originale Matrizen direkt aus VISUM
600 - 699	Kenngrößenmatrizen ÖV, bearbeitet
700 - 799	Zusätzliche Kenngrößenmatrizen ÖV für Fahrpreis
800-899	Matrizen für die Rückkopplung der PV-Modell
901 - 999	Kenngrößenmatrizen für VisumValiTool
1000 - 1009	Ergebnisse aus Flughafenmodell
1100 - 1199	Ergebnisse aus Gäste- und Tourismusmodell, Teilmodell ANAB
1200 - 1219	Ergebnisse aus Gäste- und Tourismusmodell, Teilmodell AUF
1300 - 1319	Ergebnisse aus Gäste- und Tourismusmodell, Teilmodell TAG
1400 - 1401	Nachfragematrizen von ÖV-Flughafenmodell und Tourismusmodell
1500 - 1599	Matrizen für Grundschulsprengel
1600 - 1699	Matrizen für weiterführende Schulsprengel
2100 - 2109	Filtermatrizen für ÖV-Dashboard
100040 - 100049	Zwischenergebnisse für Park+Ride
120000 - 121999	Nachfragematrizen aus Personenverkehr-Nachfragemodell
300000 - 300999	ÖV-Ganglinienmatrizen

Tabelle 92: Nummerierungskonzept der Matrizen

Der Verweis auf Matrizen in den Verfahrensschritten ist nicht direkt über die jeweilige Nummer erfolgt. Der Verweis auf Matrizen wird über den Code oder Namen hergestellt.

15.4 Nummerierungskonzept der Pol

In Tabelle 93 ist die Struktur der Pol-Kategorien im Modell dargestellt. Einige Pol werden in der Berechnung verwendet – als Inputdateien oder Layer für aggregierte Daten.

Kategorie Nr	Ober-kategorie Nr	Kurzbeschrei-bung	Kategorie Name	in Berechnung oder Auswertung verwendet
2	1	Standard OSM-Pol	Bebauung	
3			Wald	
4			Wasser	
5			Eisenbahn	
6			öffentliche Fläche	
7			Flughafen	
8			Industrie	
9			Naturpark	
10			diverse Flächen	
11			Parkplatzflächen	
13			Insel	
14			Grünfläche	
23	22	Parkdaten	Parkraummanagementgebiete	
24			Parkhäuser_Tiefgaragen	
25			Untersuchungsbereiche_Parkraumerhe-bungen	
26			Erhebung private Parkplatznutzung	
27			PRM_untersucht_keine_Umsetzung	
28			Parkscheinautomaten	
29			Park&Ride-Parkplätze	X
30		aufgelöste Knoten in München	Aufgelöste_Knoten	
31		Bezirksattri-bute aus ori-ginalen Gäste- und	Tourismus_point_zones	X
32			Tourismus_area_zones	X

Kategorie Nr	Ober-kategorie Nr	Kurzbeschrei-bung	Kategorie Name	in Berechnung oder Auswertung verwendet
		Tourismus-modell.		
41	40	Pol für Wirtschaftsverkehr	Flächennutzungsplan	
42			Anpassungsfaktoren	X
43			Mobilitätsraten_WVK	X
44			Attraktionsraten_WVK	X
45			Gleisanschlüsse	
1001	1000	Pol für ÖV-Tarifmodell	TR Bundesland	X
1002			TR Landkreise	X
1003			TR Gemeinden	X
1005			TR_Stadtbezirke	X
1006			TR_Stadtbezirksteile	X
1007			TR_Stadtbezirksviertel	X
1008			TR_MVV_Bezirke	X
2001	2000	Pol für ÖV-Dashboards	Kali ÖV1 S-Bahn HP-EA Landkreise	X
2002			Kali ÖV2 R-Bus HP-EA Landkreise	X
2003			Kali ÖV3 MVG HP-EA Stadtbezirke	X
3001		Pol für Schul-sprengel	Grundschulsprengel	X
3002			WeiterfuehrendeSchulsprengel	X

Tabelle 93: Pol-Kategorien

16 Anlagen

Anlage 1 Memos zur Modellierung

Anlage 2 Realitätstests

Anlage 3 Maßnahmenliste Prognose-Nullfall (Straßenverkehr)