

Universität Stuttgart

Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich

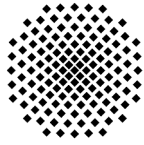
**Modellierung und Wirkungen
von Maßnahmen der
städtischen Verkehrsplanung**

Charlotte Ritz

ISSN 0932 - 402X
ISBN 978 - 3 - 9816754 - 7 - 4
D 93 (Dissertation der Universität Stuttgart)

Veröffentlichungen aus dem
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Heft 57 (Mai 2019)



Universität Stuttgart

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich

Modellierung und Wirkung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung

Charlotte Ritz

Veröffentlichungen aus dem
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Heft 57 (Mai 2019)

Herausgeber : Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Universität Stuttgart

Copyright : Das Copyright liegt beim Verfasser.

Eigenverlag und Vertrieb : Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Universität Stuttgart

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und
Verkehrsleittechnik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Hinweis / Note:

Diese Veröffentlichung ist auch als "Elektronische Dissertation" online unter <http://elib.uni-stuttgart.de> verfügbar und kann dort im PDF-Format heruntergeladen werden.

This paper is also published online as "Electronic Dissertation" at <http://elib.uni-stuttgart.de> and can be downloaded there as PDF file.

Modellierung und Wirkung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung

Von der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität
Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Charlotte Ritz

aus Heilbronn-Neckargartach

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Carsten Sommer

Tag der mündlichen Prüfung: 16.05.2019

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

Universität Stuttgart

2019

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen an der Universität Stuttgart.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Wegbegleiterinnen und Wegbegleitern bedanken, die mich unterstützt und maßgeblich zum Entstehen der Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich für die Möglichkeit diese Dissertation schreiben zu können sowie für die Unterstützung in Form von Ratschlägen und fachlichem Austausch.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing Carsten Sommer möchte ich für die Übernahme der Rolle des Mitberichters und die wertvollen Hinweise und Anregungen bedanken.

Ein weiteres Dankeschön geht an Manfred Wacker für Alles, das ich bei der Zusammenarbeit in Projekten und der Lehre gelernt habe. Bei meinen Kolleginnen und Kollegen möchte ich mich für die tolle Zusammenarbeit und die lustigen Stunden beim Skat, Laufevents und sonstigen Aktivitäten bedanken. Insbesondere möchte ich mich herzlich bei Juliane Pillat fürs Zuhören und die fachlichen Gespräche während der Erstellung meiner Dissertation bedanken.

Zuletzt möchte ich meiner Familie und meinen Freunden für die allzeit liebe Unterstützung Danke sagen.

Charlotte Ritz

Dieser Dissertation liegen Teile der im Auftrag des Verbands Region Stuttgart durchgeführten Untersuchung von organisatorischen, ordnungs- und preispolitischen Maßnahmen im Verkehrsbereich (OPO-Maßnahmen) zugrunde.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei der Autorin.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	11
Abbildungsverzeichnis	12
Kurzfassung	15
Abstract	18
1 Einleitung	21
1.1 Problemstellung	21
1.2 Ziele der Arbeit	22
1.3 Aufbau der Arbeit	23
2 Grundlagen und Stand der Technik	25
2.1 Städtische Verkehrsplanung	25
2.1.1 Aufgaben und Ziele	25
2.1.2 Konzepte und Maßnahmen	27
2.1.3 Klassifizierung von Maßnahmen	28
2.2 Verkehrsnachfragemodellierung	31
2.2.1 Verkehrsmodelle	31
2.2.2 Verkehrsnachfragemodelle	34
2.2.3 Modelle zur Ermittlung der Verkehrsauswirkungen	54
2.2.4 Stand der Technik von Verkehrsnachfragemodellen	57
2.2.5 Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen	61
2.2.6 Grenzen bei der Verkehrsnachfragemodellierung	63
2.3 Beispiele zur Maßnahmenmodellierung und Wirkungen städtischer Maßnahmen aus der Literatur	67
2.3.1 Maßnahmen der Siedlungsstruktur	67
2.3.2 Maßnahmen der Infrastruktur	68
2.3.3 Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel	69
2.3.4 Maßnahmen im Liniennetz und Fahrplanangebot	72

2.3.5	Maßnahmen der Ordnungspolitik	73
2.3.6	Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik	75
2.3.7	Maßnahmen der Fahrzeugtechnik	79
2.3.8	Maßnahmen der Verkehrstechnik	80
2.3.9	Maßnahmen der Informationsverbesserung	82
2.3.10	Maßnahmen der Bewusstseinsbildung	84
3	Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle	85
3.1	Einsatzbereiche für modellgestützte Kenngrößen	85
3.2	Anforderung an die Kenngrößen	87
3.2.1	Kenngrößen für die Nachfragemodellierung	88
3.2.2	Kenngrößen für die Planung	89
3.3	Allgemeine Anforderung an Verkehrsnachfragemodelle	91
3.3.1	Allgemeine modelltechnische Anforderungen	91
3.3.2	Allgemeine Anforderungen an die Modellstruktur	92
3.4	Maßnahmenspezifische Anforderungen an Verkehrsnachfragemodelle	93
3.4.1	Vorgehen maßnahmenspezifische Untersuchung	93
3.4.2	Maßnahmenkatalog Anforderungsuntersuchung	96
3.4.3	Maßnahmen der Siedlungsstruktur	98
3.4.4	Maßnahmen der Infrastruktur	100
3.4.5	Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel	108
3.4.6	Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot	118
3.4.7	Maßnahmen der Ordnungspolitik	126
3.4.8	Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik	136
3.4.9	Maßnahmen der Fahrzeugtechnik	152
3.4.10	Maßnahmen der Verkehrstechnik	157
3.4.11	Maßnahmen der Informationsverbesserung	163
3.4.12	Maßnahmen der Bewusstseinsbildung	167
4	Verkehrsnachfragemodell Region Stuttgart	169
4.1	Räumliche Abgrenzung und Datenmodelle	169
4.2	Verkehrsnachfragemodell	170
4.3	Modell zur Ermittlung der Verkehrsauswirkungen	176

4.4	Aussagegenauigkeit	177
4.5	Kenngößen des Mobilitätsverhaltens 2025	179
5	Maßnahmenuntersuchung am Beispiel der Region Stuttgart	183
5.1	Maßnahmenkatalog Modellierung	183
5.2	Allgemeine Hinweise zu den Umweltwirkungen	192
5.3	Ergebnisqualität der Wirkungsprognosen	192
5.4	Maßnahmen der Siedlungsstruktur	192
5.4.1	Siedlungsverdichtung (Umsiedelung) in der Region (SS_VD)	192
5.5	Maßnahmen der Infrastruktur	196
5.5.1	Streckenausbau von Teilabschnitten der Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_TBS)	196
5.5.2	Streckenausbau auf allen Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_ABS)	200
5.5.3	Streckenausbau im Radverkehrsnetz (IS_RAD)	205
5.5.4	Neubau von P+R-Anlagen in der Region (IS_PR)	210
5.6	Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot	215
5.6.1	Erhöhung der Servicefahrten der S-Bahn in der Region (LFA_15Min)	215
5.6.2	Erweiterung des Liniennetzes in der Region durch Expressbusse (LFA_+Linie)	220
5.7	Maßnahmen der Ordnungspolitik	225
5.7.1	Senkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen (OP_T40)	225
5.7.2	Durchfahrtsverbot in Stuttgart (OP_DV)	230
5.8	Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik	235
5.8.1	Parkraumbewirtschaftung in Stuttgart (PT_PB)	235
5.8.2	Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart (PT_GG_OZ)	241
5.8.3	Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart und Mittelzentren (PT_GG_MZ)	247
5.8.4	Netzgebühren für die Region Stuttgart (PT_NG)	251
5.8.5	Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 10 % in der Region (PT_FP_10)	258
5.8.6	Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 25 % in der Region (PT_FP_25)	262
5.8.7	Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 50 % in der Region (PT_FP_50)	266
5.8.8	Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 100 % in der Region (PT_FP_100)	270

5.8.9	Zusammenschluss von Tarifzonen des Tarifverbundes (PT_TZ)	276
6	Wirkungsvergleich der Maßnahmen	281
7	Fazit und Ausblick	293
	Literatur	299
	Glossar	313
	Abkürzungsverzeichnis	317

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beschreibung der vier möglichen Verkehrszustände (KELLER ET AL. (2010))	57
Tabelle 2:	Einschätzung zum Stand der Technik von makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen für den städtischen Personenverkehr (eigene Darstellung)	61
Tabelle 3:	Befolgungsraten bei NBA (FGSV (2007), Tabelle 6)	83
Tabelle 4:	Typische Kenngrößen für Nutzenfunktionen	88
Tabelle 5:	Typische Kenngrößen für die Qualitätssicherung (auf Basis von PESTEL ET AL. (2016) und FRIEDRICH (2011))	88
Tabelle 6:	Kenngrößen für die Planung	91
Tabelle 7:	Maßnahmenkatalog Anforderungsuntersuchung	97
Tabelle 8:	Beispiel zum möglichen Einfluss einer verlängerten Betriebsdauer auf Startwartezeit und Bedienungshäufigkeit	123
Tabelle 9:	Unterteilung der vier Verkehrszustände der HBEFA-Berechnungen	177
Tabelle 10:	Genauigkeitsbereich der Verkehrsstärken aus dem Stuttgart-Modell bei einem GEH = 10	178
Tabelle 11:	Maßnahmenkatalog Modellierungsuntersuchung	190
Tabelle 12:	Maßnahmenkatalog Modellierung	191
Tabelle 13:	Umweltwirkungen (SS_VD)	196
Tabelle 14:	Umweltwirkungen (IS_KFZ_TBS)	200
Tabelle 15:	Umweltwirkungen (IS_KFZ_ABS)	205
Tabelle 16:	Reduktion Umweltkenngößen Verkehrszustände	205
Tabelle 17:	Umweltwirkungen (IS_Rad)	209
Tabelle 18:	Umweltwirkungen (IS_PR)	214
Tabelle 19:	Umweltwirkungen (LFA_15Min)	220
Tabelle 20:	Umweltwirkungen (LFA_+Linie)	224
Tabelle 21:	Umweltwirkungen (OP_T40)	229
Tabelle 22:	Umweltwirkungen (OP_DV)	234
Tabelle 23:	Umweltwirkungen (PT_PB)	240
Tabelle 24:	Umweltwirkungen (PT_GG_OZ)	246
Tabelle 25:	Umweltwirkungen (PT_GG_MZ)	251
Tabelle 26:	Umweltwirkungen (PT_NG)	257
Tabelle 27:	Umweltwirkungen (PT_FP_10)	261
Tabelle 28:	Umweltwirkungen (PT_FP_25)	266
Tabelle 29:	Umweltwirkungen (PT_FP_50)	270
Tabelle 30:	Umweltwirkungen (PT_FP_100)	275
Tabelle 31:	Umweltwirkungen (PT_TZ)	279

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verkehrsmodell mit einem Verkehrsnachfragemodell als Wirkungsmodell Ortsveränderungen (FRIEDRICH (2016))	33
Abbildung 2:	Räumliche Abgrenzung eines Verkehrsmodells	34
Abbildung 3:	Struktur des HBEFA-Modells (eigene Darstellung)	56
Abbildung 4:	Qualitätssicherungsprozess bei der Erstellung eines Verkehrsnachfragemodells (PESTEL ET AL. (2016))	63
Abbildung 5:	Beispiel zum Einfluss auf die Kenngrößen der zeitlichen Verfügbarkeit bei einer fahrplanfeinen Umlegung	120
Abbildung 6:	Räumliche Abgrenzung des Verkehrsnachfragemodells	169
Abbildung 7:	Aufbau Verkehrsnachfragemodell Region Stuttgart	171
Abbildung 8:	Wege je Modus	180
Abbildung 9:	Personenkilometer je Modus	180
Abbildung 10:	Personen- / Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment	181
Abbildung 11:	Berücksichtigte Wege bei der Routenwahl	181
Abbildung 12:	Wege je Modus (SS_VD)	194
Abbildung 13:	Personenkilometer je Modus (SS_VD)	194
Abbildung 14:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (SS_VD)	195
Abbildung 15:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (SS_VD)	195
Abbildung 16:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (SS_VD)	195
Abbildung 17:	Wege je Modus (IS_KFZ_TBS)	198
Abbildung 18:	Personenkilometer je Modus (IS_KFZ_TBS)	198
Abbildung 19:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_KFZ_TBS)	199
Abbildung 20:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_KFZ_TBS)	199
Abbildung 21:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_KFZ_TBS)	199
Abbildung 22:	Wege je Modus (IS_KFZ_ABS)	202
Abbildung 23:	Personenkilometer je Modus (IS_KFZ_ABS)	202
Abbildung 24:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_KFZ_ABS)	203
Abbildung 25:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_KFZ_ABS)	203
Abbildung 26:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_KFZ_ABS)	204
Abbildung 27:	Wege je Modus (IS_Rad)	207
Abbildung 28:	Personenkilometer je Modus (IS_Rad)	207
Abbildung 29:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_Rad)	208
Abbildung 30:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_Rad)	208
Abbildung 31:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_Rad)	209
Abbildung 32:	Wege je Modus (IS_PR)	212
Abbildung 33:	Personenkilometer je Modus (IS_PR)	212
Abbildung 34:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_PR)	213
Abbildung 35:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_PR)	213
Abbildung 36:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_PR)	214
Abbildung 37:	Wege je Modus (LFA_15Min)	217
Abbildung 38:	Personenkilometer je Modus (LFA_15Min)	218
Abbildung 39:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegmnet (LFA_15Min)	219

Abbildung 40:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (LFA_15Min)	219
Abbildung 41:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (LFA_15Min)	219
Abbildung 42:	Wege je Modus (LFA_+Linie)	222
Abbildung 43:	Personenkilometer je Modus (LFA_+Linie)	222
Abbildung 44:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (LFA_+Linie)	223
Abbildung 45:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (LFA_+Linie)	224
Abbildung 46:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (LFA_+Linie)	224
Abbildung 47:	Wege je Modus (OP_T40)	227
Abbildung 48:	Personenkilometer je Modus (OP_T40)	227
Abbildung 49:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (OP_T40)	228
Abbildung 50:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (OP_T40)	228
Abbildung 51:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (OP_T40)	229
Abbildung 52:	Wege je Modus (OP_DV)	232
Abbildung 53:	Personenkilometer je Modus (OP_DV)	232
Abbildung 54:	Personen-/Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (OP_DV)	233
Abbildung 55:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (OP_DV)	233
Abbildung 56:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (OP_DV)	234
Abbildung 57:	Wege je Modus (PT_PB)	238
Abbildung 58:	Personenkilometer je Modus (PT_PB)	238
Abbildung 59:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_PB)	239
Abbildung 60:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse	240
Abbildung 61:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_PB)	240
Abbildung 62:	Wege je Modus (PT_GG_OZ)	244
Abbildung 63:	Personenkilometer je Modus (PT_GG_OZ)	244
Abbildung 64:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_GG_OZ)	245
Abbildung 65:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_GG_OZ)	245
Abbildung 66:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_GG_OZ)	246
Abbildung 67:	Wege je Modus (PT_GG_MZ)	248
Abbildung 68:	Personenkilometer je Modus (PT_GG_MZ)	249
Abbildung 69:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_GG_MZ)	250
Abbildung 70:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_GG_MZ)	250
Abbildung 71:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_GG_MZ)	250
Abbildung 72:	Wege je Modus (PT_NG)	255
Abbildung 73:	Personenkilometer je Modus (PT_NG)	255
Abbildung 74:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_NG)	256
Abbildung 75:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_NG)	256
Abbildung 76:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_NG)	257
Abbildung 77:	Wege je Modus (PT_FP_10)	259
Abbildung 78:	Personenkilometer je Modus (PT_FP_10)	260
Abbildung 79:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_10)	260
Abbildung 80:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_10)	261
Abbildung 81:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_10)	261
Abbildung 82:	Wege je Modus (PT_FP_25)	263

Abbildung 83:	Personenkilometer je Modus (PT_FP_25)	263
Abbildung 84:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_25)	264
Abbildung 85:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_25)	265
Abbildung 86:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_25)	265
Abbildung 87:	Wege je Modus (PT_FP_50)	267
Abbildung 88:	Personenkilometer je Modus (PT_FP_50)	268
Abbildung 89:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_50)	269
Abbildung 90:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_50)	269
Abbildung 91:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_50)	269
Abbildung 92:	Wege je Modus (PT_FP_100)	273
Abbildung 93:	Personenkilometer je Modus (PT_FP_100)	273
Abbildung 94:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_100)	274
Abbildung 95:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_100)	274
Abbildung 96:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_100)	275
Abbildung 97:	Wege je Modus (PT_TZ)	277
Abbildung 98:	Personenkilometer je Modi (PT_TZ)	277
Abbildung 99:	Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_TZ)	278
Abbildung 100:	Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_TZ)	278
Abbildung 101:	Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_TZ)	279
Abbildung 102:	Wirkungsvergleich – Absolute Änderung Anzahl Wege je Modus in der Region Stuttgart	285
Abbildung 103:	Wirkungsvergleich – Absolute Änderung durchschnittliche Reiseweite je Modus in der Region Stuttgart	286
Abbildung 104:	Wirkungsvergleich – Relative Änderung Umweltkenngößen in der Region Stuttgart	287

Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit der Modellierung und der Wirkung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung. Aufgabe der städtischen Verkehrsplanung ist die Sicherung einer angemessenen Angebotsqualität aller Verkehrsmittel, der Schutz der Umwelt und die Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität der Menschen. Hierfür bedient sich die moderne städtische Verkehrsplanung einer zielorientierten Planung.

Der Planungsprozess einer zielorientierten Verkehrsplanung umfasst die Phasen der Orientierung und Problemanalyse, der Maßnahmenuntersuchung, der Abwägung und Entscheidungsfindung sowie der Umsetzung und Wirkungskontrolle. Bei der Maßnahmenuntersuchung sind Wirkungsprognosen zu Maßnahmen von großer Bedeutung, da diese darüber Auskunft geben in welchem Umfang die Zielerreichung möglich ist. Ein Werkzeug zur Berechnung dieser Wirkungen sind Verkehrsnachfragemodelle. Ein Verkehrsnachfragemodell dient dazu, die Entscheidungsprozesse der Menschen nachzubilden, die in einer Ortsveränderung resultieren. Auf diese Weise können die Nachfragewirkungen von Maßnahmen prognostiziert werden.

Die städtische Verkehrsplanung kann zur Erreichung Ihrer gesetzten Ziele auf verschiedene Maßnahmen zurückgreifen. Typischerweise zählen hierzu Maßnahmen wie Parkraumbewirtschaftung, Straßennetzgestaltung, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Durchfahrtsverbote, Ausbau des Radverkehrsnetzes und des ÖV-Angebots. Aktuell gewinnen zudem Sharingangebote, wie z. B. Carsharing in verschiedenen Ausprägungsformen, an Bedeutung, und auch Entwicklungen, wie z. B. neue Antriebstechniken und autonomes Fahren, bieten Raum für Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung.

Einschlägige Literatur zum Thema beschäftigt sich vorwiegend mit der Modellierung und Untersuchung der Wirkungen einzelner Maßnahmen oder der Wirkungen einer Vielzahl von Maßnahmen, ohne jedoch im letzten Fall auf die Betrachtung der Modellierungsaspekte einzugehen. Ein zusammenfassender Überblick, der Aussagen sowohl hinsichtlich der Modellanforderungen, der Modellierbarkeit und der Wirkungen einer Vielzahl von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung trifft, fehlt jedoch.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es Anwendern, Planern, Verwaltungen und politischen Entscheidungsträgern aufzuzeigen, wie und in welchem Umfang Verkehrsnachfragemodelle den Planungsprozess der städtischen Verkehrsplanung unterstützen können und welche Maßnahmen hinsichtlich der Zielerreichung am wirkungsvollsten sind.

Hierzu bietet die Arbeit, unterstützt durch eine Klassifizierung von Maßnahmen, eine ganzheitliche Betrachtung des rechnergestützten Planungsprozesses. Dies schließt die Betrachtung der Modellanforderungen, der Modellierung, die Wirkungsbetrachtung und den Wirkungsvergleich typischer Maßnahmen ein.

Für ausgewählte Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung erfolgt eine Untersuchung der Wirkungszusammenhänge und Wirkungsvermutungen, aus welchen wiederum modelltechnische Anforderungen zur Abbildung der Wirkungen an das Nachfragemodell resultieren. Anhand dieser Anforderungen werden Aussagen darüber getroffen, in welchem Umfang die Wirkungen mit einem Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik der Software sowie dem Stand der Technik der Praxis modelliert werden können. Zudem werden Modellierungsvarianten einzelner Maßnahmen diskutiert.

Die Untersuchung der modelltechnischen Anforderungen an Verkehrsnachfrage-Modelle für die Modellierung städtischer Maßnahmen zeigen, dass nicht für alle Maßnahmen die Wirkungen mit dem Stand der Technik der Praxis oder auch dem Stand der Technik der Software berechnet werden können.

Es wird erarbeitet, dass für bestimmte Maßnahmen die Ursachen in der Modellstruktur begründet liegen. Dies kann beispielsweise bei fehlenden Teilmodellen, die bisher nicht in kommerziellen Softwareprodukten verfügbar sind und nur unter großem Zeitaufwand ergänzt werden können, der Fall sein. Für andere Maßnahmen hingegen bleibt festzuhalten, dass fehlende Kenntnisse über die Wirkungen der Maßnahmen, die wiederum zur Anpassung von Parametern notwendig sind, ausschlaggebend für eine mangelnde Modellierbarkeit sein können.

Anschließend werden mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart, das dem Stand der Technik entspricht, geeignete Maßnahmen und konkrete Maßnahmenfälle untersucht. Es werden Wirkungszusammenhänge und Wirkungsvermutungen aufgezeigt, Einschränkungen der Abbildung dargelegt, die Modellierung der Maßnahmenfälle beschrieben, die resultierenden Wirkungen dargestellt sowie Aussagen zur Ergebnisqualität getroffen.

Die für die betrachteten Maßnahmenfälle berechneten Wirkungen liegen in unterschiedlichen Größenordnungen. Die Untersuchung der Ergebnisqualität zeigt auf, dass für alle Maßnahmenfälle Wirkungen berechnet werden können. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass die Streckenbelastungen im MIV und ÖV bei Maßnahmenfällen mit schwachen Wirkungen im Bereich der Modellungenauigkeiten liegen können und daher in der Realität kaum messbar sind.

Im Anschluss erfolgt ein Wirkungsvergleich der modellierten Maßnahmenfälle. Die Ergebnisse zeigen, dass Maßnahmen eine Verlagerung vom Umweltverbund (Modi ÖV, Fuß, Rad) hin zum Modus Pkw bewirken, wenn diese die Attraktivität des Modus Pkw steigern. Wird die Attraktivität des Modus Pkw durch Restriktionen, wie z. B. eine City-Maut oder verringerte zulässige Höchstgeschwindigkeiten, gemindert, führt dies zu einer Verlagerung vom Pkw hin zum Umweltverbund. Es wird aufgezeigt, dass eine Steigerung der Attraktivität eines bestimmten Modus des Umweltverbundes auch eine Verlagerung aus den anderen Modi des Umweltverbundes hin zu diesem Modus bewirkt.

Danach werden hinsichtlich der Zielerreichung der Maßnahmen beispielhaft die Ziele „Verkehrsverlagerungen hin zum Fuß- und Radverkehr“, „Verkehrsverlagerungen hin zum ÖV“, „Reduktion des motorisierten Verkehrs“ und „Reduzierung der Umweltbelastungen“ betrachtet. Die Wirkungsberechnungen am Beispiel der Region Stuttgart zeigen, dass der Maßnahmenfall „Netzgebühren für die Region Stuttgart“ und der Maßnahmenfall „Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 100 % in der Region“ am effektivsten zur Zielerreichung sind. Aufgrund der vorliegenden Modellstruktur stellen die Wirkungen der Maßnahmenfälle auf den ÖV jedoch ein Potential dar, zu dessen Erreichung ggf. ein Ausbau der Kapazitäten notwendig ist.

Der Vergleich von Wirkungsergebnissen konkreter Maßnahmenfälle mit Maßnahmenfällen der Literatur verdeutlicht, dass Wirkungen von Maßnahmenfällen je nach Ausgangssituation und Ausgestaltung des Maßnahmenfalls nicht zwingend in derselben Größenordnung liegen müssen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die vorliegende Arbeit sich auf die Betrachtung der Wirkungen einzelner Maßnahmenfälle beschränkt. Aufgrund möglicher Wechselwirkungen von Maßnahmen untereinander ist es bedeutend, die Wirkungen von Maßnahmenbündeln als solche weiterführend zu untersuchen.

Abstract

This dissertation deals with the modeling and impacts of urban transport planning measures. The task of urban transport planning is to ensure an adequate supply quality of all modes of transport, to protect the environment and to maintain and improve people's quality of life. For this purpose, modern urban transport planning makes use of target-oriented planning.

The planning process of target-oriented transport planning includes the steps pre-orientation and problem analysis, investigation of measures, weighing of alternatives and decision-making as well as implementation and impact control. Impact predictions for measures are of great importance in the phase of investigation of measures, as these provide information on the extent to which the targets can be achieved. One tool to calculate these impacts are travel demand models. A travel demand model is used to replicate the decision-making processes of people leading to a change of location. In this way, impacts of measures on travel demand can be predicted.

Urban transport planning can use various measures to achieve its targets. Typically, this includes measures such as parking management, road network design, speed restrictions, through-traffic prohibitions, expansion of the cycling network and the public transport supply. Sharing offers such as carsharing in various shapes are also gaining in importance, and developments such as new propulsion technologies and autonomous driving are providing space for measures of urban transport planning.

Relevant literature on the topic deals primarily with the modeling and investigation of impacts of individual measures or impacts of a large number of measures, but without considering the modeling aspects in the latter case. However, an overview that makes statements regarding both model requirements, modelability, and the impacts of a variety of urban transport planning measures is missing.

The objective of this thesis is to show model-users, planners, administrations and political decision makers how and to what extent travel demand models can support the planning process of urban transport planning and which measures are most effective with regard to the achievement of targets.

For this purpose, this work, supported by a classification of measures, provides a comprehensive overview analysis of the computer-aided planning process. This includes the analysis of model requirements, the actual modeling, an impact analysis and an impact comparison of typical measures.

For selected measures of urban transport planning, interdependencies between measures and impacts and expected impacts are investigated. This investigation is used to derive requirements for a travel demand model. Based on these requirements, statements as to what extent the impacts can be modeled by using state-of-the-art

software and state-of-the-art modelling practice. In addition, modeling variants of particular measures are discussed.

The investigation of the model-technical requirements for travel demand models for the modeling of urban measures shows that the impacts cannot be calculated for each measure with the state-of-the-art in practice and with the state-of-the-art software.

It is shown that for some measures the causes can be found within the model structure. For example, this can be true due to a lack of submodels not yet available in commercial software products that can be supplemented only with great expenditure of time. For other measures, however, a lack of knowledge about the impacts of the measures themselves might be crucial for their lack of modelability. This for example proves true as soon as knowledge about the impacts of the measures is necessary to adjust parameters.

Subsequently, using the state-of-the-art travel demand model of the Stuttgart region, suitable measures are investigated. The impact relationships and impact presumptions are shown and limitations to the calculations are outlined, the way of modeling is described, the resulting impacts are presented and statements on the quality of results are made.

The impacts calculated for the considered measure cases show to be of different orders of magnitude. The examination of the quality of results shows that calculation of impacts is possible for all measure cases. However, for measures with low impacts the computed changes in link volumes can be small, so that they lie within the range of model inaccuracies. In reality, it will be difficult to measure these changes.

The examination is followed by an impact comparison of the modeled measure cases. The results show that measures that enhance the attractiveness of the car cause a shift from public transport, walking and cycling to the car. Reducing the attractiveness of the mode car by restrictions, e.g. a city toll or speed limits, leads to a shift from car to other modes.

Then measures are examined with support the objectives of "increasing the attractiveness of pedestrian and bicycle traffic", "increasing the attractiveness of public transport", "reducing car traffic" and "reducing environmental pollution". Using the example of the Stuttgart region, the impact calculations show that the measure case "road pricing in the region of Stuttgart" and the measure case "free public transport" are the most effective in achieving the targets. However, due to the present model structure, the impacts on public transport represent a potential that may require an expansion of capacity.

The comparison of impacts resulting from specific measure cases with impacts resulting from measure cases from the literature shows that, depending on the initial

situation and the actual implementation of the measure case, the impacts of measures do not necessarily have to be of the same order of magnitude.

Finally, it should be noted that the present work is limited to the investigation of impacts of single measures cases. Due to possible interactions between measures, it is important to further investigate the effects of bundles of measures.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Menschen verlassen Ihre Wohnung und sind mobil um Aktivitäten nachzugehen. Sie verlassen Ihre Wohnung z. B. um zu Arbeiten, um einzukaufen, zur Schule zu gehen oder um Freizeitaktivitäten nachzugehen. In der Bundesrepublik Deutschland entstehen so täglich im Personenverkehr im Mittel pro Tag 281 Mio. Wege und 3,2 Mrd. Personenkilometer (vgl. INFAS DLR (2010)). Von den Personenkilometern werden jeweils 3 % mit dem Rad sowie zu Fuß, 15 % im öffentlichen Verkehr (ÖV), 24 % als Pkw-Mitfahrer und der Hauptteil mit 55 % als Pkw-Selbstfahrer im motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegt.

Der Verkehr, und vor allem der hohe Anteil an motorisiertem Verkehr, verursacht Probleme für Menschen und Umwelt. Durch Verkehr entstehen u. a. Unfälle, Schadstoffemissionen, Lärmemissionen, Flächenverbrauch und Trennwirkung durch die benötigten Verkehrswege (vgl. FGSV (1996)).

Die Verkehrsplanung soll einerseits eine angemessene Angebotsqualität aller Verkehrsmittel für Personen und Güter sicherstellen, andererseits die Umwelt schützen und die Lebensqualität der Menschen erhalten und verbessern (vgl. FGSV (2018)). Die Aufgabe der modernen städtischen Verkehrsplanung ist der kompromissfähige Umgang mit diesen Zielkonflikten. Um diese Aufgabe zu erfüllen, erarbeiten Städte Zielkonzepte und entwickeln Maßnahmen, mit denen diese Ziele erreicht werden sollen. Um eine Aussage über eine Maßnahme hinsichtlich der potentiellen Zielerreichung treffen zu können, sind Wirkungsprognosen im Planungsprozess von großer Bedeutung.

Ein Werkzeug zur Berechnung von Wirkungsprognosen sind Verkehrsnachfragemodelle. Ein Verkehrsnachfragemodell dient dazu, alle Entscheidungsprozesse der Menschen nachzubilden, die zu einer Ortsveränderung führen. Auf diese Weise können Wirkungen, die durch das Beeinflussen des Entscheidungsprozesses entstehen, berechnet werden.

Verkehrsnachfragemodelle sind Abstraktionen der realen Welt. Der Abstraktionsgrad ist entscheidend dafür, ob ein Verkehrsnachfragemodell die Wirkungen von Maßnahmen ausreichend abbilden kann. Um die adäquate Abbildung von Maßnahmen und deren Wirkungen sicherzustellen, müssen mitunter maßnahmenspezifische Anforderungen an die Struktur des Verkehrsnachfragemodells berücksichtigt werden. Beispielsweise muss ein Modell, um die Wirkungen von Straßenbenutzungsgebühren abzubilden, ein Teilmodell zur Kostenermittlung beinhalten und in der Nutzenfunktion eine Preiskomponente berücksichtigen. Somit muss, bevor eine Maßnahme modelliert wird, geprüft werden, ob die bestehenden Anforderungen durch das Verkehrsnachfragemodell erfüllt werden. Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende

Arbeit mit der Modellierung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung und den daraus resultierenden Anforderungen an die Modellstruktur.

1.2 Ziele der Arbeit

In dieser Arbeit wird für typische Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung untersucht,

- welche Anforderungen die Modellstruktur eines Nachfragemodells erfüllen muss,
- ob ein Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik für die Modellierung geeignet ist und
- wie die Maßnahme modelliert werden kann.

Eignet sich ein Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik für die Abbildung, wird

- eine Wirkungsprognose berechnet,
- untersucht, welche Ergebnisqualität erwartet werden kann und
- bestimmt, in welcher Größenordnung die prognostizierten Wirkungen hinsichtlich der Zielerreichung liegen.

In der Verkehrsplanung werden Ziele, die mit einer Maßnahme oder Maßnahmenbündel erreicht werden sollen, festgelegt und die prognostizierten Wirkungen an den Zielen gemessen. Unter Zielerreichung wird in dieser Arbeit eine Wirkung in Richtung allgemein gehaltener konzeptioneller Zielvorstellungen verstanden. In dieser Arbeit wird beispielhaft die Zielerreichung für die konzeptionellen Zielvorstellungen

- Verkehrsverlagerungen hin zum Fuß- und Radverkehr,
- Verkehrsverlagerungen hin zum ÖV,
- Reduktion des motorisierten Verkehrs und
- Reduktion der Umweltbelastungen betrachtet.

Anhand der Ergebnisse kann Stadt- und Verkehrsplanern, Verwaltungen und politischen Entscheidungsträgern aufgezeigt werden, welche Wirkungen mit Maßnahmen erreicht werden können und in welchem Umfang Verkehrsnachfragemodelle den Planungsprozess unterstützen können. Die Arbeit betrachtet hierbei bewusst auch Maßnahmen, die ggf. nicht für die Modellierung mit Verkehrsnachfragemodellen geeignet sind oder auch Maßnahmen, die aufgrund der geringen Bedeutung zum heutigen Stand noch nicht modelliert werden. Aufgrund des geringen Anteils am Modal Split wird der deutsche Taxiverkehr in Verkehrsnachfragemodellen nicht abgebildet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich dies, anders als z. B. bei Maßnahmen im Bereich des Angebots geteilter Verkehrsmittel, zukünftig nicht ändert. Daher werden keine Maßnahmen für den Bereich Taxiverkehr betrachtet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit unterteilt sich in sieben Kapitel. Nach dem einführenden Kapitel 1 gibt Kapitel 2 einen Überblick über die Aufgaben und Ziele der städtischen Verkehrsplanung, aus denen sich die Notwendigkeit für Maßnahmen ableitet. Des Weiteren werden Maßnahmenkonzepte, die in der Verkehrsplanung von Bedeutung sind beschrieben und Klassifizierungen zur systematisierten Maßnahmenuntersuchung vorgestellt. Darüber hinaus beinhaltet das Kapitel Informationen zum Aufbau von Verkehrsmodellen, Verkehrsnachfragemodellen inkl. deren Modellstrukturen sowie zum Aufbau von Modellen zur Ermittlung der Verkehrsauswirkungen und eine Beschreibung des Stands der Technik von Verkehrsnachfragemodellen. Anschließend wird die Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen beschrieben und Grenzen derselben benannt. Abschließend werden Wirkungszusammenhänge und Beispiele zur Modellierung von typischen Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung vorgestellt.

Das Kapitel 3 stellt Anforderungen vor, die ein Verkehrsnachfragemodell erfüllen muss, um den Planungsprozess der Verkehrsplanung bestmöglich unterstützen zu können. Hierzu werden die Einsatzbereiche der Wirkungsprognosen im Rahmen des Planungsprozesses und die hierfür erforderlichen Kenngrößen beschrieben. Zum Vergleich werden Kenngrößen dargestellt, die ein Verkehrsnachfragemodell für die Nachfragemodellierung benötigt. Anschließend werden allgemeine Anforderungen beschrieben, die Verkehrsnachfragemodelle erfüllen müssen. Abschließend werden für typische Maßnahmen der Verkehrsplanung Anforderungen an die Modellstruktur, die Modellierbarkeit mit dem Stand der Technik sowie Modellierungsvarianten dargestellt.

Die Datengrundlage und den Aufbau des Verkehrsnachfragemodells der Region Stuttgart beschreibt das Kapitel 4.

In Kapitel 5 wird die Maßnahmenmodellierung mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart erläutert und es werden Wirkungsprognosen vorgestellt sowie eine Aussage zur Ergebnisqualität gemacht.

Das nachfolgende Kapitel 6 widmet sich dem Vergleich der Wirkungen der unterschiedlichen Maßnahmenfälle und stellt zusammenfassend dar, welche Maßnahmen am effizientesten hinsichtlich der Zielerreichung sind. Abschließend erfolgt ein Vergleich der Wirkungen mit Wirkungen konkreter Maßnahmenfälle aus der Literatur.

Die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit und aufgeworfene, weiterführende Forschungsfragen werden abschließend in Kapitel 7 beschrieben.

2 Grundlagen und Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und der Stand der Technik der städtischen Verkehrsplanung und der Verkehrsnachfragemodellierung vorgestellt.

Zunächst folgt eine Erläuterung der Aufgaben und Ziele der städtischen Verkehrsplanung, aus denen sich dann die Notwendigkeit für die Entwicklung und Umsetzung von Konzepten und Maßnahmen ergibt. Typische Konzepte und Maßnahmen werden beschrieben und Klassifizierungsmöglichkeiten für eine systematisierte Untersuchung von Maßnahmen entwickelt.

Zur Darstellung der Wirksamkeit von Maßnahmen hinsichtlich der Zielerreichung sind Wirkungsprognosen von Bedeutung. Ein Werkzeug zur Erstellung von Wirkungsprognosen sind Verkehrsnachfragemodelle. Der Aufbau von Verkehrsmodellen wird, einschließlich der elementaren Datenmodelle die als Input in die Verkehrsnachfragemodelle eingehen, erläutert. Es werden die typischerweise angewandte Entscheidungstheorie sowie Strukturen von Verkehrsnachfragemodellen beschrieben. Es folgt die Beschreibung eines Wirkungsmodells zur Berechnung der Umweltwirkungen, des Stands der Technik von Verkehrsnachfragemodellen und der Aussagegenauigkeit von Modellberechnungen.

Abschließend werden Beispiele zur Modellierung und zur Wirkung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung aus der Literatur betrachtet.

2.1 Städtische Verkehrsplanung

„Planung heißt, Maßnahmen zu entwickeln, die einen vorhandenen Zustand (Ist-Zustand), der mit Mängeln behaftet ist, in einen Zustand (verbesserter Zustand) überführen, der dem angestrebten Zustand (Soll-Zustand) möglichst nahe kommt“ (vgl. KIRCHHOFF (2002), S. 32).

2.1.1 Aufgaben und Ziele

Die Vorstellung der Verkehrsplanung, welcher Zustand als erstrebenswert gilt, ändert sich im Laufe der Zeit. Bis in die 1970er Jahre galt es beispielsweise als erstrebenswert, die Infrastruktur an die stetig wachsende Verkehrsnachfrage anzupassen. Zwar wurden für die Verkehrsplanung nicht direkt Ziele formuliert, jedoch lagen indirekt allgemein akzeptierte technische Ziele, wie die Sicherheit und Leichtigkeit des Kfz-Verkehrs, zu Grunde (vgl. KIRCHHOFF (2002)). Dieses Vorgehen der Verkehrsplanung wird auch als nachfrageorientierte Verkehrsplanung oder Anpassungsplanung bezeichnet.

Im Laufe der Zeit haben die sozialen und ökologischen Ziele stetig an Bedeutung gewonnen. Geprägt wurde diese Entwicklung durch die Energiekrise 1973 mit den autofreien Sonntagen zur Energieeinsparung und dem Waldsterben Anfang der 1980er-Jahre. Aus der nachfrageorientierten Verkehrsplanung entwickelte sich durch die Bedeutungszunahme der sozialen und ökologischen Ziele eine Vorgehensweise, die als zielorientierte Verkehrsplanung bezeichnet wird.

Zielorientierte Verkehrsplanung beeinflusst anhand geeigneter Maßnahmen den Verkehr hinsichtlich festgelegter Ziele. Diese Ziele sind im Einklang mit dem Leitbild „Verkehr soll die gesellschaftliche Teilnahme und Teilhabe jedes Menschen sowie den wirtschaftlichen Austausch ermöglichen. Verkehr darf dabei den dauerhaften Erhalt einer intakten Umwelt nicht gefährden.“ (FGSV (2018)) festzulegen. Zielkonflikte, die sich durch konkurrierende Ziele ergeben, sind durch geeignete Kompromisse zu lösen. Ein Beispiel für einen derartigen Zielkonflikt ist der Ressourcenverbrauch durch den Transport von Personen und Gütern, der dazu führen kann, dass Ziele des Umweltschutzes nicht erreicht werden.

Die Ziele und Ergebnisse der Maßnahmenuntersuchungen werden auf kommunaler Ebene in einem informellen Verkehrsentwicklungsplan (kurz VEP) dokumentiert. Den aktuellen methodischen Planungsprozess für eine integrierte zielorientierte Verkehrsplanung beschreiben die „Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse“ (FGSV (2018)) sowie die „Hinweise zur Verkehrsentwicklungsplanung“ (FGSV (2013a)).

Die Grundlage des Planungsprozesses der Verkehrsplanung bilden die Orientierung und Problemanalyse des aktuellen Verkehrsgeschehens. Die Orientierung umfasst die Einholung einer verbindlichen Legitimation durch zuständige politische Entscheidungsgremien. Hierdurch erhält der Planungsprozess eine verlässliche Basis. Hierauf aufbauend werden in der Phase der Problemanalyse der aktuelle Zustand analysiert und Ziele festgelegt, die sich in verbindliche Zielvorgaben sowie in konzeptionelle Zielvorstellungen unterteilen lassen. Aus gesetzlichen Regelungen, übergeordneten Planungen und aus auf politischer Ebene gefassten Beschlüssen können sich verbindliche Zielvorgaben ergeben, die für die jeweiligen Planungen zu übernehmen sind. Konzeptionelle Zielvorstellungen können aus Bestrebungen, Wünschen und Absichten abgeleitet werden. Diese Zielvorstellungen werden analysiert und durch Zielkriterien sachlich, räumlich und zeitlich beschrieben. Für die Zielkriterien wiederum sind Anspruchsniveaus festzulegen. Für quantifizierbare Zielkriterien können Zielwerte für die Kenngrößen definiert werden. Für schwer quantifizierbare Ziele, z. B. hohe Aufenthaltsqualität, können qualitative Beschreibungen vorgenommen werden. Der aktuelle Zustand wird anschließend anhand der Ziele bewertet. Hierdurch können eventuelle Mängel und Chancen identifiziert werden.

An die Phase der Problemanalyse schließt die Maßnahmenuntersuchung an. Hierbei werden Maßnahmen oder Maßnahmenbündel gebildet und hinsichtlich ihrer Wirkung untersucht sowie bewertet. Die „Hinweise zur Verkehrsentwicklungsplanung“ (FGSV

(2013a)) sehen den Einsatz eines Verkehrsnachfragemodells zur Erstellung der Wirkungsprognosen für Maßnahmen im Rahmen einer Verkehrsentwicklungsplanung, wenn diese als Grundlage für Fachpläne (z. B. Luftreinhaltepläne, Lärminderungspläne) dient, als unabdingbar an.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Wirkungsuntersuchungen werden die Maßnahmen in legitimierten politischen Gremien abgewogen und über eine mögliche Umsetzung entschieden. Hierbei kann ggf. auch entschieden werden, dass eine Modifikation vorzunehmen ist oder das Vorhaben aufgegeben wird. In der letzten Phase werden beschlossene Maßnahmen und Maßnahmenbündel schrittweise umgesetzt.

2.1.2 Konzepte und Maßnahmen

Zur Zeit der Anpassungsplanung dominierten Maßnahmen zum Ausbau der Infrastruktur die Verkehrsplanung. Mit Zunahme der Bedeutung sozialer und ökologischer Ziele sowie technischen Weiterentwicklungen erweiterte sich das Maßnahmenspektrum. Die Verkehrsplanung der letzten Jahrzehnte wurde geprägt durch Verkehrskonzepte, bei denen nachfolgende Aufgaben im Vordergrund standen (vgl. FRIEDRICH UND RITZ (2014)):

- Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur (z. B. Streckenneubau)
- Regelung zur Nutzung der Verkehrsinfrastruktur (z. B. Durchfahrtsverbote, Parkgebühren)
- Entwicklungen zur Steuerung des Verkehrs (z. B. Lichtsignalsteuerungen, Streckenbeeinflussungsanlagen)
- Gestaltung des Angebots des öffentlichen Verkehrs (z. B. Taktverbesserungen)

Diese Aufgaben werden durch die Kommunen wahrgenommen. Die Anforderungen an das Angebot des öffentlichen Verkehrs werden hierbei in Nahverkehrsplänen definiert. Die Verkehrsleistungen werden daraufhin ausgeschrieben und die ausgewählten Dienstleister mit der Erbringung beauftragt.

Zusätzlich zu den Verkehrsdienstleistungen im öffentlichen Verkehr spielen zunehmend private Verkehrsdienstleistungen eine Rolle, die mit Kommunen abgestimmt werden müssen. Hierzu gehören

- eigenwirtschaftliche Angebote (z. B. Carsharing, öffentliche Fahrradverleihsysteme),
- spezielle Mobilitätsdienstleistungen (z. B. Mitfahrzentralen) und
- spezielle Dienste für Beschäftigte (z. B. Firmentickets).

Die Siedlungsstruktur und das Verkehrsangebot beeinflussen die Erreichbarkeiten von Nutzungen und somit das Mobilitätsverhalten. Zusätzlich stellen die Entwicklungen der Automobilindustrie, wie die Elektromobilität und autonomes Fahren, neue Möglichkeiten und Herausforderungen für die Verkehrsplanung dar. In dieser Arbeit werden

aufgrund dieser Wechselwirkungen neben Maßnahmen, die sich aus den Aufgaben der Verkehrskonzepte und aus den Verkehrsdienstleistungen ergeben, ebenso Maßnahmen der Siedlungsstruktur und die Entwicklungen der Automobilindustrie untersucht. Auch die „Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse“ FGSV (2018) ordnen diese Maßnahmen unter den Handlungs- und Politikfeldern „Raumstruktur“ und „Technik“ als verkehrsrelevant und somit als mögliche Maßnahmen im Rahmen von Verkehrsplanungsprozessen ein.

2.1.3 Klassifizierung von Maßnahmen

Für eine systematische Untersuchung von Maßnahmen, wie sie in Kapitel 3 und Kapitel 5 erfolgt, ist eine Klassifizierung der Maßnahmen vorteilhaft. Um eine Menge von Maßnahmen zu ordnen, können Klassen anhand von Kriterien gebildet werden. Für die Klassifizierung von Maßnahmen der Verkehrsplanung gibt es keine allgemeingültigen Kriterien. In der Literatur existieren hierzu prinzipiell zwei Ansätze:

- Klassenbildung anhand der Variablen des Verkehrsangebots, der Siedlungsstruktur sowie der Parameter des Mobilitätsverhaltens, die durch die Maßnahme geändert werden (vgl. Klassifizierung von KÖHLER UND WERMUTH (2001)).

In der Verkehrsplanung stellen Variablen Größen dar, die sich über die Zeit ändern oder durch planerische Entscheidungen gesetzt werden (vgl. PESTEL ET AL. (2016)). Zu den Variablen des Verkehrsangebots zählen beispielsweise das Straßenverkehrsnetz, Fahrplanangebot sowie die Nutzungskosten. Zu den Variablen der Siedlungsstruktur hingegen beispielsweise die Anzahl und Verteilung der Aktivitätenorte. Die Parameter des Mobilitätsverhaltens beschreiben zum einen die Empfindlichkeit gegenüber Faktoren, die Einfluss auf das Mobilitätsverhalten nehmen, wie z. B. Reisekosten. Die Empfindlichkeit selbst wird durch Bewusstsein, Einstellung und soziodemografische Merkmale geprägt. Zum anderen beschreiben die Parameter den Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer, der ebenfalls das Mobilitätsverhalten beeinflusst.

- Klassenbildung anhand der Ziele und / oder Wirkungen, die mit der Maßnahme erreicht werden (vgl. Klassifizierung von KIPKE (1993)).

KÖHLER UND WERMUTH bilden Maßnahmenkategorien anhand von Variablen (z. B. bei Infrastrukturmaßnahmen) und Parametern des Mobilitätsverhaltens (z. B. bewusstseinsändernde Maßnahmen), deren Ausprägung sich durch eine Maßnahme ändert. Sie unterscheiden neun Kategorien bei ihrer Betrachtung, bei der sie Verkehrsuntersuchungen hinsichtlich der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen analysieren. Die neun Kategorien sind siedlungsstrukturell, infrastrukturell, ordnungspolitisch, kostenbeeinflussend, organisatorisch, betrieblich, verkehrstechnisch, fahrzeugtechnisch, informationsverbessernd und bewusstseinsändernd (vgl. KÖHLER UND WERMUTH (2001)).

KIPKE systematisiert Ziele und Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung mittels eines Ziel-Mittel-Systems, dem die einzelnen Maßnahmen zugeordnet werden. Bei diesem Ziel-Mittel-System wird jedes Ziel als ein Mittel zur Erreichung des übergeordneten Ziels aufgefasst (Beispiel: Reduzierung der Emissionen → Erhöhung des ÖV-Anteils → Verbesserung der ÖV-Angebotsqualität → Verdichtung des Taktes → 10 Minutentakt auf Buslinie X zwischen 06:00 und 20:00 Uhr). Das vorgestellte Ziel-Mittel-System leitet aus dem obersten Ziel, der Verbesserung der Lebensqualität, die Oberziele der Stadtentwicklung ab und ordnet diesen Zielen Maßnahmen zu (vgl. KIPKE (1993)).

Werden Klassen anhand von Variablen und Parametern gebildet, sind die Anforderungen an die Modellstruktur eines Verkehrsnachfragemodells, die Eignung zur Modellierung, das Vorgehen bei der Implementierung der Maßnahmen und die Wirkungsweise innerhalb einer Maßnahmenklasse ähnlich. Bei allen Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik werden beispielsweise Kostenkomponenten in den Nutzenfunktionen benötigt. Bei einer Klassenbildung auf Basis von Zielen und / oder Wirkungen können die Anforderungen an die Modellstruktur, die Eignung zur Modellierung und die Implementierung sehr unterschiedlich sein. Zur Steigerung des Radverkehrs eignen sich beispielsweise Ausbaumaßnahmen im Radverkehrsnetz und Gebietsgebühren für den Pkw-Verkehr. Die Modellierung einer Ausbaumaßnahme setzt ein gepflegtes Radverkehrsnetzes und die von Gebietsgebühren eine Kostenkomponente in den Nutzenfunktionen voraus. Für die nachfolgende Vorgehensweise ist daher eine Klassifizierung anhand von Variablen und Parametern eher geeignet. In Anlehnung an KÖHLER UND WERMUTH (2001) werden Maßnahmen in nachfolgende Klassen unterteilt:

- Maßnahmen der Siedlungsstruktur
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die die Anzahl an Einwohnern, Arbeitsplätzen, Schul- und Ausbildungsplätzen, Einkaufsmöglichkeiten und sonstige siedlungsstrukturelle Größen beeinflussen.
- Maßnahmen der Infrastruktur
Zu dieser Kategorie zählen alle Neu-, Aus- und Rückbaumaßnahmen der Verkehrsinfrastruktur im Straßenverkehrsnetz, Schienenverkehrsnetz, Radverkehrsnetz und Verknüpfungspunkten.
- Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die das Angebot im ÖV ändern (z. B. Taktverdichtung und neue ÖV-Linie).
- Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die Verkehrsteilnehmern einen Zugang zu Individualverkehrsmitteln, die nicht im Besitz der Verkehrsteilnehmer sind und auf Grundlage einer formalen Teilnahme- und Nutzungsvereinbarung gemeinsam oder nacheinander mit anderen Verkehrsteilnehmern vorübergehend genutzt werden (vgl. FGSV (2017)). Zu den Angeboten geteilter Verkehrsmitteln gehören z. B. Fahrradverleihsystemen, Carsharing, Ridesharing und Rideselling.

- Maßnahmen der Ordnungspolitik
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die dazu beitragen, den Verkehr sozial- und umweltverträglich abzuwickeln. Hierzu gehören Maßnahmen, die den Verkehr auf geeigneten Straßen bündeln und in bestimmten Bereichen verlangsamen oder verbieten (z. B. Durchfahrtsverbote, Geschwindigkeitsbegrenzungen).
- Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, mit denen die Kostenstruktur des Verkehrs beeinflusst wird (z. B. Straßenbenutzungsgebühren, Parkraumbewirtschaftung).
- Maßnahmen der Fahrzeugtechnik
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen im Bereich der Fahrzeugtechnologie (z. B. autonomes Fahren).
- Maßnahmen der Verkehrstechnik
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die den Ablauf des Verkehrsflusses verbessern und sicherer gestalten (z. B. ÖV-Priorisierungen an Lichtsignalanlagen).
- Maßnahmen der Informationsverbesserung
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die den Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer verbessern (z. B. Parkleitsysteme und Fahrgastinformationen).
- Maßnahmen der Bewusstseinsbildung
Zu dieser Kategorie zählen Maßnahmen, die das Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer, durch Änderung des Bewusstseins und der Einstellung, nachhaltig beeinflussen (z. B. Öffentlichkeitsarbeit, Werbung).

Einige Maßnahmen lassen sich mehreren Klassen zuordnen. Maßnahmen im Bereich des Linienangebots und des Schienennetzes können ebenfalls der Klasse der Maßnahmen der Infrastruktur zugeordnet werden. Maßnahmen im ÖV, welche die Bedienungshäufigkeit beeinflussen, können jedoch nicht dieser Klasse zugewiesen werden. In Verkehrsnachfragemodellen unterscheidet sich der ÖV vom Individualverkehr (IV) dadurch, dass die Fahrzeuge nach Fahrplan verkehren. Daher werden die Maßnahmen, welche das Angebot im ÖV verändern, für die Bearbeitung im Rahmen dieser Arbeit in einer separaten Maßnahmenklasse zusammengefasst.

Die Maßnahmenklassen Informationsverbesserung und Bewusstseinsänderung werden oft zusammengefasst. In dieser Arbeit werden diese, wie auch bei KÖHLER UND WERMUTH, getrennt voneinander behandelt. Die zur Verfügung stehende Information, wie auch beispielsweise die zur Verfügung stehende Infrastruktur oder die anfallenden Reisekosten, bilden die Randbedingungen, auf denen Entscheidungen getroffen werden. Das Bewusstsein entscheidet über die Bewertung der Randbedingungen. Um diesen Unterschied zu verdeutlichen, werden die beiden Maßnahmenklassen nicht zusammengefasst.

Die oben beschriebene Klassifizierung wird in den nachfolgenden Kapiteln verwendet.

2.2 Verkehrsnachfragemodellierung

Verkehrsnachfrage ist die Anzahl an realisierten Ortsveränderungen der Verkehrsteilnehmer (vgl. FGSV (2012a)). Ortsveränderungen entstehen, wenn Aktivitäten (z. B. Arbeiten), die zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse unternommen werden, an unterschiedlichen Orten stattfinden. Für die Nachbildung der Entscheidungen, die zu Ortsveränderungen in deren Ausprägungen führen, werden Verkehrsnachfragemodelle eingesetzt.

2.2.1 Verkehrsmodelle

Verkehrsnachfragemodelle sind eine Klasse von Verkehrsmodellen, die in der Verkehrsplanung eingesetzt werden. Je nach Art der Entscheidungen die in einem Verkehrsmodell abgebildet werden, unterscheidet man in (vgl. FRIEDRICH (2016)):

- **Flächennutzungsmodelle**
Diese Modelle bilden die Standortwahl von Aktivitätenorten und Wohnorten nach und berechnen deren Verteilung im Raum.
- **Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle**
Diese bilden die Fahrzeugbeschaffungswahl und Zeitkartenwahl ab. Als Ergebnis liefern die Modelle den Anteil an Personen, der über einen Pkw bzw. ÖV-Zeitkarte verfügt.
- **Verkehrsnachfragemodelle**
Verkehrsnachfragemodelle bilden die Aktivitätenwahl, Verkehrszielwahl, Moduswahl, Abfahrtszeitwahl sowie Routenwahl ab und berechnen die Anzahl an Ortsveränderungen der Verkehrsteilnehmer in entsprechender Segmentierung.
- **Verkehrsflussmodelle**
Es wird die Geschwindigkeitswahl, Fahrstreifenwahl und die Fahrzeugfolgeabstandwahl abgebildet. Durch die Abbildung dieser Entscheidungen können die Interaktionen der einzelnen Verkehrsteilnehmer untereinander nachempfunden werden.

Abbildung 1 zeigt den allgemeinen Aufbau eines Verkehrsmodells und die Einbindung eines Verkehrsnachfragemodells. Des Weiteren umfasst ein Verkehrsmodell weitere Teilmodelle, die je nach Eigenschaft als Datenmodelle, Bewertungsmodelle und Optimierungsmodelle bezeichnet werden können.

Ein Verkehrsnachfragemodell nutzt als Input folgende drei Datenmodelle:

- **Datenmodell Mobilitätsverhalten**
Dieses Modell umfasst alle Daten, die das Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer beschreiben. Dazu gehören beispielsweise Aktivitätenketten und Aktivitätenhäufigkeiten, gewählte Verkehrsmittel, Reiseweitenverteilungen und

Reisezeitenverteilungen. Die Daten werden mittels Haushaltsbefragungen und Erhebungen gewonnen.

- Datenmodell Verkehrsangebot (Netzmodell)
Dieses Modell beinhaltet alle Daten des Verkehrsangebots, d. h. Informationen zu den Verkehrssystemen, Knotenpunkten, Haltestellen, Strecken, ÖV-Linien, Fahrplänen, Kosten und sonstigen Netzobjekten, die das Angebot beschreiben. Diese Netzobjekte umfassen wiederum Attribute, die das Netzobjekt kennzeichnen. Das Netzobjekt Strecken beispielsweise umfasst die Attribute Länge, Geschwindigkeit und Kapazität.
- Datenmodell Siedlungsstruktur (Raummodell)
Dieses Modell enthält alle Daten mit Lage, Art und Häufigkeiten der räumlichen Nutzungen sowie der Bevölkerung im Modellraum. Zu den Daten zählen z. B. Einwohner, Arbeitsplätze und Einkaufsmöglichkeiten. Diese Daten werden auf Verkehrszellenebene oder adressgenau im Modell implementiert.

Die Datenmodelle liefern die Eingangsgrößen für das Verkehrsnachfragemodell. Das Verkehrsnachfragemodell enthält Methoden, um die Entscheidungsprozesse bei der Aktivitätenwahl, Verkehrszielwahl, Moduswahl, Abfahrtszeitwahl sowie Routenwahl abzubilden, siehe Abbildung 1. FRIEDRICH (2016) ordnet daher Verkehrsnachfragemodelle den Wirkungsmodellen zu, die nach BASTIAN ET AL. (2006) zur Modellklasse der Erklärungsmodelle gehören. Erklärungsmodelle „geben eine formale Darstellung eines Systems und seiner Komponenten sowie der kausalen, zeitlichen oder räumlichen Zusammenhänge“ (BASTIAN ET AL. (2006)).

Als Ergebnis liefert das Verkehrsnachfragemodell die Verkehrsnachfrage in Form von Nachfragematrizen, Routenbelastungen und Streckenbelastungen. Das Wirkungsmodell Verkehrsauswirkungen ermittelt aus der Verkehrsnachfrage die sekundären Wirkungen des Verkehrs, z. B. Schadstoffemissionen.

Die Ergebnisse der Wirkungsmodelle stellen Eingangsgrößen für Bewertungsmodelle dar, welche die Qualität des Verkehrsangebots oder die Verkehrsauswirkungen bewerten.

Mit Hilfe von Optimierungsmodellen können die Inputvariablen der Wirkungsmodelle, z. B. durch eine Anpassung der Verteilung der Siedlungsstrukturdaten, dahingehend angepasst werden, dass der angestrebte Zielzustand möglichst erreicht wird. Die Anpassung der Inputdaten der Wirkungsmodelle ist nur eine Möglichkeit, wie Optimierungsmodelle in einem Verkehrsmodell eingesetzt werden können.

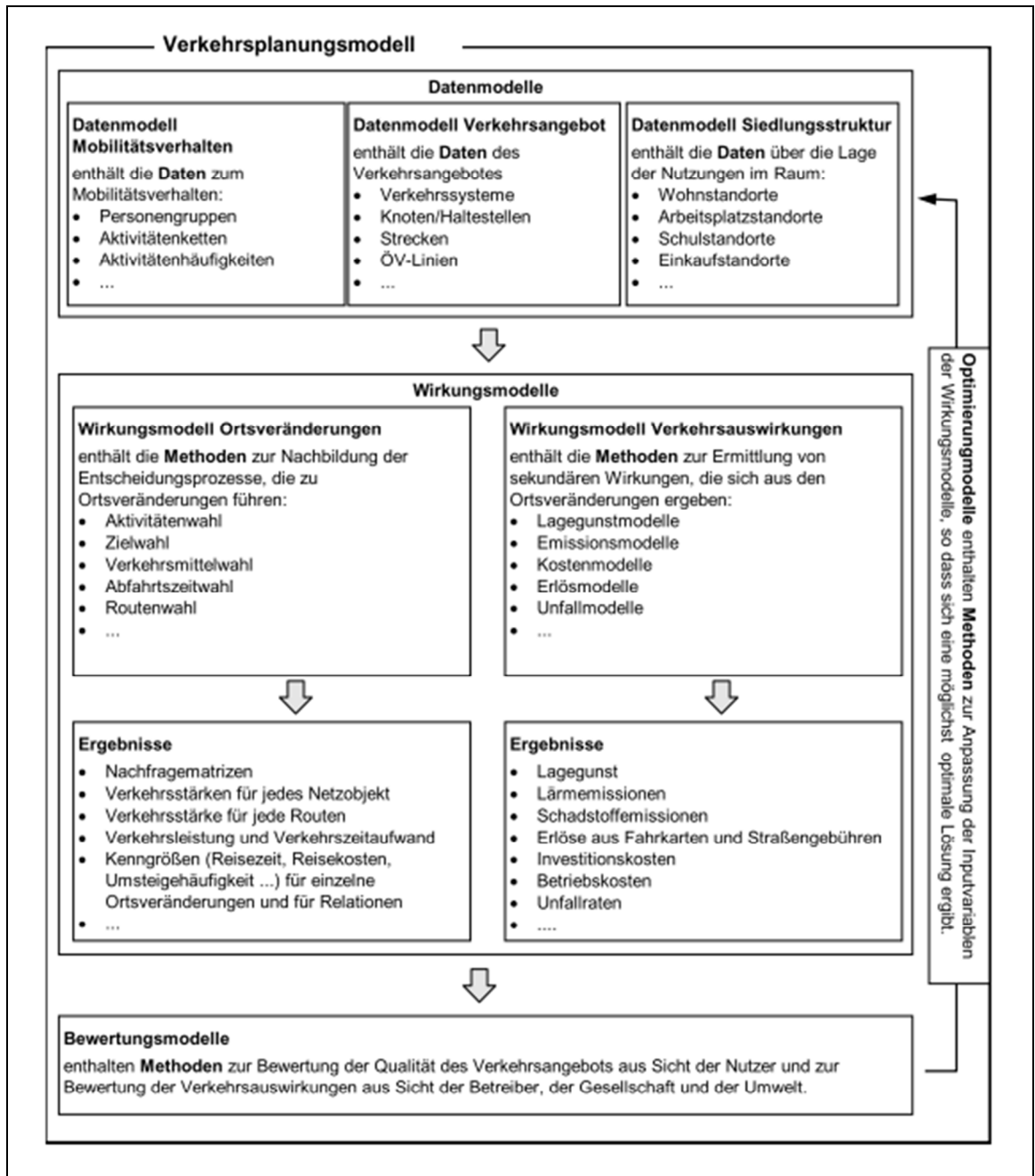


Abbildung 1: Verkehrsmodell mit einem Verkehrsnachfragemodell als Wirkungsmodell Ortsveränderungen (FRIEDRICH (2016))

Räumliche Abgrenzung eines Verkehrsmodells

Der Planungsraum eines Verkehrsmodells umfasst das Gebiet, in dem die planungsauslösenden Defizite liegen. Der Untersuchungsraum sollte aus verkehrlicher Sichtweise das Umland, mit welchem der Planungsraum in Wechselbeziehung steht, einschließen und somit einen größeren Bereich als der Planungsraum selbst beinhalten (vgl. WERMUTH (2005)). Das Gebiet, das zum Untersuchungsraum jedoch nicht zum Planungsraum gehört, wird als erweiterter Modellraum bezeichnet. Der Detaillierungsgrad der Datenmodelle kann für den Planungsraum und den erweiterten

Modellraum variieren. Zur Abbildung der Verkehrsbeziehungen zwischen Planungsraum und erweitertem Modellraum ist typischerweise das Hauptstraßennetz ausreichend.

Zu dem Gebiet außerhalb des Untersuchungsraums, dem Außenraum, bestehen keine relevanten verkehrlichen Wechselbeziehungen, die durch Maßnahmen im Planungsraum beeinflusst werden können. Sie werden im Verkehrsnachfragemodell nicht nachgebildet, sondern als externe Eingangsgrößen übernommen.

Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die unterschiedlichen Gebiete eines Verkehrsmodells.

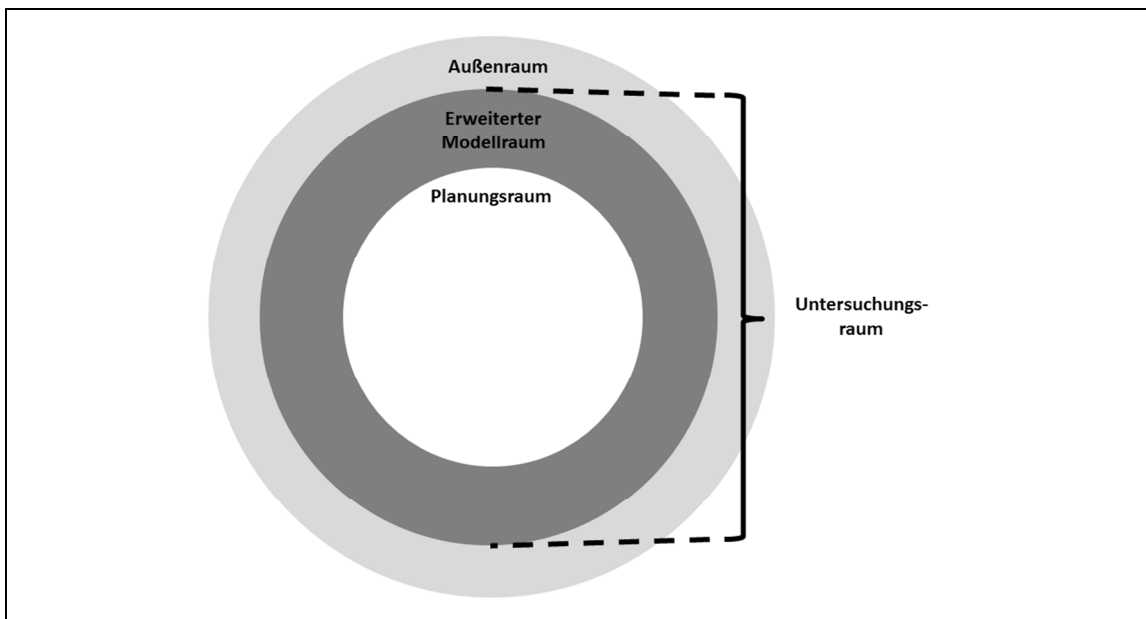


Abbildung 2: Räumliche Abgrenzung eines Verkehrsmodells

2.2.2 Verkehrsnachfragemodelle

2.2.2.1 Modellstrukturen

Der Abstraktionsgrad eines Verkehrsnachfragemodells lässt sich anhand verschiedener Kriterien beschreiben. Dies sind Kriterien bezüglich des Verkehrsangebots, des Mobilitätsverhaltens, der Strukturdaten und der Annahmen für die Entscheidungsmodelle. Bei der Modellbildung muss der Abstraktionsgrad und die Art der Berücksichtigung dieser Kriterien festgelegt werden. Die Modellstruktur ist entscheidend dafür, ob ein Verkehrsnachfragemodell Wirkungen von Maßnahmen ausreichend abbilden kann. Anforderungen an die Modellstruktur für ausgewählte Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung werden in Kapitel 3.3.2 analysiert. Nachfolgend werden für diese Arbeit wichtige Kriterien der Modellstruktur beschrieben.

Aggregationsgrad der Modellobjekte

- **Mikroskopisch**
Mikroskopische Modelle bilden die Objekte detailliert ohne Aggregation ab. Die Entscheidungen werden auf der Ebene einzelner Personen nachgebildet. Standorte im Modellraum sind adressgenau als einzelne Gebäude dargestellt und es werden einzelne Fahrzeuge mit ihren jeweiligen Eigenschaften berücksichtigt.
- **Makroskopisch**
Die Betrachtungsweise der Objekte ist aggregiert. Makroskopische Modelle bilden die Entscheidungen für Raumeinheiten, verhaltenshomogener Personengruppen und / oder Wegezwecke ab. Der Modellraum ist zu Verkehrszellen gruppiert und es werden Fahrzeugklassen, wie Pkw und Lkw, modelliert.

Segmentierung der Verkehrsnachfrage

- **Raumeinheit**
Die Nachfrage wird aus den Strukturdaten einer Raumeinheit (Verkehrszelle) ermittelt. Für alle Bewohner der Verkehrszelle wird bei der Modellierung der Entscheidungen ein mittleres Mobilitätsverhalten angenommen.
- **Wegezwecke oder verhaltenshomogene Personengruppen und Wegezwecke**
Personen werden anhand soziodemographischer Merkmale, wie z. B. Erwerbstätigkeit und Pkw-Verfügbarkeit, zu verhaltenshomogenen Gruppen zusammengefasst. Mögliche Personengruppen sind Erwerbstätige, Nichterwerbstätige, Rentner, Schüler / Auszubildende und Studenten. Wegezwecke determinieren ebenfalls die Ausprägungen der Ortsveränderungen (z. B. das Ziel sowie mittelbar die Wegelänge), und werden daher für die Segmentierung der Nachfrage verwendet. Mögliche Wegezwecke sind Arbeit, Bildung, Einkaufen und Freizeit. Durch die Segmentierung kann bei der Modellierung der Entscheidungen das ähnliche Verhalten einer Gruppe / Wegezwecks und das unterschiedliche Verhalten gegenüber anderen Gruppen / Wegezwecken berücksichtigt werden. Ist die Nachfrage nach Wegezwecken oder verhaltenshomogenen Gruppen und Wegezwecken segmentiert, spricht man von disaggregierten Verkehrsnachfragemodellen.
- **Einzelperson**
Es werden die Entscheidungen einzelner Personen durch eine statistische Simulation von Einzelereignissen modelliert.

Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit

Zur Verkehrsmittelverfügbarkeit zählen beispielsweise die Pkw-Verfügbarkeit und der ÖV-Zeitkartenbesitz. In Zeiten steigender Nutzerzahlen von Mobilitätsdienstleistungen gewinnen Mitgliedschaften bei Anbietern von Mobilitätsdienstleistungen im Rahmen der Verkehrsmittelverfügbarkeit an Bedeutung. Die Verkehrsmittelverfügbarkeit kann durch nachfolgend beschriebene Varianten berücksichtigt werden.

- Einzelperson im Haushaltskontext
Personen werden als Teil eines Haushaltes, in dem sie leben, modelliert und die entsprechende Verfügbarkeiten im Haushaltskontext berücksichtigt.
- Verhaltenshomogene Personengruppen
Um beispielsweise die Pkw-Verfügbarkeit durch verhaltenshomogene Personengruppen abzubilden, kann eine Personengruppe zusätzlich unterteilt werden. Durch die getrennten Personengruppen kann bei der Moduswahl der Einfluss der Verkehrsmittelverfügbarkeit durch unterschiedliche Parameter des Mobilitätsverhaltens berücksichtigt werden.
- Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren für Verkehrsmittelverfügbarkeit
Mit verkehrszellenspezifischen Wahrscheinlichkeitsfaktoren eines Verkehrsmittels für eine Relation fließt bei der Moduswahl die Verkehrsmittelverfügbarkeit in Abhängigkeit der Verfügbarkeit am Quell- bzw. Zielort ein (vgl. SCHNABEL UND LOHSE (1997)).

Abbildung der Aktivitätenkette

Die Modellierung der Aktivitätenabfolge kann durch nachfolgend beschriebene Modellvarianten erfolgen.

- Aktivitätenbasierte Einzelwegmodelle (trip-based-models)
Einzelwegmodelle betrachten einen Einzelweg, wobei der Kontext innerhalb einer Aktivitätenkette unberücksichtigt bleibt. Bei diesem Ansatz werden die Aktivitätenketten in Ortsveränderungen zwischen zwei Verkehrszellen gesplittet. Aktivitätenbasierte Einzelwegmodelle werden in makroskopischen Modellen verwendet.
- Aktivitätenkettenmodelle (tour-based-models)
Aktivitätenkettenmodelle betrachten komplette Aktivitätenketten. Eine Aktivitätenkette beginnt mit dem Verlassen der Wohnung und endet mit der Rückkehr in dieselbe. Die Aktivitätenketten und ihre Häufigkeiten werden aus Haushaltsbefragungen gewonnen. Dieser Ansatz kommt in makroskopischen und mikroskopischen Modellen zum Einsatz.
- Tagesplanbasierte Modelle (activity-based-models)
Diese Modelle betrachten ebenfalls Aktivitätenketten. Zusätzlich zu den Aktivitätenkettenmodellen berücksichtigen diese Modelle die Entscheidung, in welcher Reihenfolge und Dauer die Aktivitäten durchgeführt werden. Tagesplanbasierte Modelle sind mikroskopische Modelle.

Abbildung einer Zeitachse

- Statisch, ohne Zeitachse
Statische Modelle betrachten genau einen Zeitraum. Hierbei wird angenommen, dass die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsangebot über den gesamten Zeitraum

konstant sind. Statische Modelle berechnen einen im Mittel zu erwartenden Zustand, z. B. die mittlere Reisezeit / Tag.

- Pseudodynamisch, ohne Zeitachse
Bei pseudodynamischen Modellen werden Schwankungen von Verkehrsnachfrage und Angebot durch Unterteilung des Betrachtungszeitraums in Zeitintervallen vereinfacht abgebildet. Innerhalb einzelner Zeitintervalle sind die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsangebot konstant. Die Zeitintervallen müssen größer als die Dauer der Fahrten der umgelegten Nachfrage sein, so dass die Zielverkehrszelle innerhalb der Zeitintervallen erreicht wird (vgl. FRIEDRICH UND VORTISCH (2005)).
- Dynamisch, mit Zeitachse
Dynamische Modelle können zeitliche Schwankungen der Verkehrsnachfrage und des Verkehrsangebots innerhalb des Betrachtungszeitraums abbilden. Dynamische Modelle unterscheiden sich von pseudodynamischen Modellen z. B. dadurch, dass diese, aufgrund der Integration der Abfahrtszeitwahl in die Routenwahl, Abweichungen vom Wunschabfahrtszeitpunkt mit Widerstandzuschlägen belegen können, welche mit dem Routenwiderstand verrechnet werden. Des Weiteren können dynamische Modelle die Wirkung von Engpässen realistisch modellieren. Sie belasten die Strecken vor, auf und hinter einem Engpass nicht mit derselben Fahrzeuganzahl, sondern bilden ab, dass die Belastung vor einem Engpass höher und nach einem Engpass niedriger ist. Eine Beschreibung der Vor- und Nachteile dynamischer Modelle liefern FRIEDRICH UND VORTISCH (2005).

Abbildung der Entscheidungen (Modellstufen)

Ein Verkehrsnachfragemodell kann folgende Modellstufen enthalten, die bestimmte Entscheidungen nachbilden. Die einzelnen Modellstufen werden in Kapitel 2.2.2.3 ausführlich beschrieben.

- Verkehrserzeugung
Die Modellstufe bildet die Aktivitätenwahl nach und berechnet die Anzahl an Ortsveränderungen für den Modellierungszeitraum.

- **Verkehrszielwahl**
Die Zielwahl wird nachgebildet und die Quellen und Ziele der Ortsveränderungen berechnet. Bei der Verkehrszielwahl können harte, weiche, elastische und offene Randsummenbedingungen zum Einsatz kommen (vgl. Kapitel 2.2.2.3).
- **Moduswahl**
Die Wahl des Modus wird abgebildet, indem jeder Ortsveränderung mindestens ein Verkehrsmittel zugeordnet wird. Mehrere Verkehrsmittel werden hierbei ggf. zu einem Modus zusammengefasst, z. B. Tram, Bus und S-Bahn zum Modus ÖV. Moduswahlmodelle werden in monomodale und intermodale Modelle unterschieden. Monomodale Modelle ordnen einer Ortsveränderung Verkehrsmittel des identischen Modus zu. Intermodale Modelle können bei einer Ortsveränderung unterschiedliche Verkehrsmittel verschiedener Modi miteinander verknüpfen und so beispielsweise P+R abbilden.
- **Abfahrtszeitwahl**
Die Abfahrtszeitwahl bestimmt für jede Ortsveränderung eine Abfahrtszeit.
- **Routenwahl**
Bei der Routenwahl wird für jede Ortsveränderung eine Route gewählt.

Abbildung der Entscheidungsabfolge

- **Sequentielle Modellstruktur**
Bei einer sequentiellen Modellstruktur werden die einzelnen Entscheidungen nacheinander und in voneinander unabhängigen Modellstufen abgebildet. Beim sequentiellen Durchlauf der einzelnen Modellstufen wird vernachlässigt, dass Entscheidungen voneinander abhängig sein können.
- **Simultane Modellstruktur**
Um die mögliche Abhängigkeit einzelner Entscheidungen abbilden zu können, existieren unterschiedliche Ansätze Modellstufen simultan durchzuführen. Ein oft angewandter Ansatz ist die simultane Verkehrsziel- und Moduswahl, welche die Abhängigkeit der Zielwahl von der Angebotsqualität und der generellen Verfügbarkeit der Verkehrsmittel berücksichtigt.

Abbildung der Entscheidungsrückkopplung

Entscheidungen sind abhängig von Entscheidungskriterien, wie z. B. Reisezeit, Reiseweite und Kosten. Bei der Rückkopplung zwischen Verkehrszielwahl, Moduswahl, Abfahrtszeitwahl und Routenwahl wird berücksichtigt, dass die Reisezeit und andere Kenngrößen der Routenwahl die anderen Modellstufen beeinflussen. Hierbei werden die Modellstufen solange iterativ berechnet, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellt oder festgelegte Abbruchbedingungen erreicht sind. Ein Gleichgewichtszustand ist erreicht, wenn die Verkehrsnachfrage oder die Reisezeit des n-ten und des n-1-ten Iterationsschrittes ausreichend ähnlich sind.

Abbildung des Informationsgrads der Verkehrsteilnehmer

Der Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer kann in Verkehrsnachfragemodellen über die folgenden zwei Ansätze abgebildet werden:

- **Deterministischer Ansatz**
Bei deterministischen Ansätzen treffen Verkehrsteilnehmer Entscheidungen auf Basis vollständiger Kenntnis und innerhalb eines Nachfragesegementes werden identische Präferenzen unterstellt. Die Verkehrsteilnehmer wählen die Alternative mit dem höchsten objektiven Nutzen.
- **Stochastischer Ansatz**
Bei stochastischen Ansätzen treffen Verkehrsteilnehmer Entscheidungen auf Basis unvollständiger Information und individueller Präferenzen. Die Verkehrsteilnehmer wählen die Alternative mit dem höchsten subjektiven Nutzen.

Der Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer wird anhand von Entscheidungsmodellen (vgl. Kapitel 2.2.2.2 Entscheidungsmodelle) in den einzelnen Modellstufen abgebildet. In der Praxis wird nicht immer derselbe Ansatz für alle Modellstufen verwendet. Oft kommen bei der Routenwahl deterministische und bei der Verkehrsziel- und Moduswahl stochastische Ansätze zum Einsatz, vgl. Kapitel 2.2.4.

Abbildung der zeitlichen Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln

Die zeitliche Verfügbarkeit beschreibt die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln. Bei dynamischen Verkehrsnachfragemodellen kann die zeitliche Verfügbarkeit über die Anpassungszeit ausgedrückt werden. Die Anpassungszeit ist die Zeitdifferenz ΔT zwischen tatsächlicher Abfahrtszeit und Wunschabfahrtszeit. Alternativ kann die Bedienungshäufigkeit und die Umsteigewartezeit die zeitliche Verfügbarkeit, bezogen auf den Betrachtungszeitraum, beschreiben. Diese Alternative ist ebenfalls in statischen Verkehrsnachfragemodellen möglich.

Abbildung des Nutzens der Alternativen bei Entscheidungen

Die verwendeten Entscheidungsmodelle beschreiben die Entscheidung zwischen den konkurrierenden Alternativen auf der Basis der unterschiedlichen Merkmale, die durch den Nutzen einer Alternative ausgedrückt werden, vgl. Kapitel 2.2.2.2 diskrete Entscheidungsmodelle. Die Reisezeit, die ebenso unterschiedliche Geschwindigkeiten von Verkehrsmitteln wie auch Wegelängen berücksichtigt, ist die wichtigste Komponente der Nutzenfunktion. Gehen, Warten, Fahren und Umsteigen stellen einzelne Komponenten der Reisezeit dar. Da diese einzelnen Zeitkomponenten durch Verkehrsteilnehmer unterschiedlich bewertet werden, müssen diese im Verkehrsnachfragemodell ebenfalls unterschiedlich gewichtet werden und daher einzeln in die Nutzenfunktion eingehen (vgl. KÖHLER UND WERMUTH (2001)).

Abbildung von Quell- und Zielorten

- Addressgenau

Ortsveränderungen beginnen und enden adressgenau. In mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen werden Quell- und Zielorte adressgenau abgebildet.

- **Verkehrszellen**

Ortsveränderungen beginnen und enden in Verkehrszellen. Die Größe der Verkehrszellen ist von der Größe des Untersuchungsgebiets abhängig. Für städtische und regionale Modelle werden die Verkehrszellen typischerweise anhand von Teilgemeinden, Stadtbezirken, Stadtteilen, Baublöcken oder großen Verkehrserzeugern (z. B. Flughäfen) gebildet. In makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen werden Verkehrszellen für die Abbildung von Quell- und Zielorten verwendet.

Abbildung des Verkehrsnetzes

Für Modi, die bei der Routenwahl umgelegt werden, kann das Verkehrsnetz nach folgenden Varianten abgebildet werden:

- **Komplettes Straßen-, Rad-, Fußverkehrsnetz und alle ÖV-Linien**

Es werden alle Straßenkategorien (Autobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen, Kreisstraßen, örtliche Hauptstraßen und Erschließungsstraßen), das komplette Rad- und Fußgängerverkehrsnetz mit hierfür relevanten Forst- und Waldwegen inklusive mit Verkehrsknotenpunkten sowie alle Linien des ÖV im Fernverkehr, Regionalverkehr und städtische Linien abgebildet.

- **Ausgewähltes Straßen-, Rad-, Fußverkehrsnetz und ausgewählte ÖV-Linien**
Es werden nur ausgewählte Kategorien dargestellt.

Abbildung des Verkehrsmittelangebots

Das Verkehrsmittelangebot besteht aus den Verkehrsmitteln, die in einem Verkehrsnachfragemodell berücksichtigt werden. Verkehrsmittel unterscheiden sich durch die Organisationsform. Beim IV werden die Verkehrsmittel privat genutzt, beim ÖV sind sie öffentlich zugänglich und beim intermediären Verkehr werden private Fahrzeuge öffentlich zugänglich gemacht (z. B. Carsharing). Für verschiedene Anwendungen werden Verkehrsmittel zu Verkehrsmittelgruppen, den Modi, zusammengefasst (vgl. GERIKE (2015/16)). Der Modus ÖV umfasst beispielsweise alle Verkehrsmittel im öffentlichen Verkehr (Bus, Tram, U-Bahn, S-Bahn, Regio-Bahn, Fernbahn). Typischerweise werden für die Abbildung des Verkehrsmittelangebots bei der Moduswahl Modi gewählt und nicht Verkehrsmittel. Mögliche Modi für multimodale Modelle sind Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer, ÖV, P+R, Fuß und Rad. Sharingangebote, wie Fahrradverleihsysteme und Carsharing, können weitere Komponenten des Verkehrsmittelangebots sein und können als eigener Modus oder als öffentlich zugängliches Verkehrsmittel des Modus ÖV berücksichtigt werden.

Je nach Aufgabenstellung müssen besondere Eigenschaften des Verkehrsangebots als zusätzliche Teilmodelle in ein Verkehrsnachfragemodell integriert werden:

- **Modell zur Abbildung von Kosten**

Das Modell berechnet unter Berücksichtigung von gegebenen Tarif- und Gebührenstrukturen die Kosten, die bei einer Ortsveränderung anfallen.

- **Modell zur Abbildung von intermodalen Ortsveränderungen**
Bei intermodalen Ortsveränderungen werden mehrere Verkehrsmittel unterschiedlicher Modi für eine Ortsveränderung genutzt. Ein Modell zur Abbildung von intermodalen Ortsveränderungen berechnet aus einer Vielzahl an Möglichkeiten von Modi und Umstiegspunkten die sinnvollen Kombinationen.
- **Modell zur Abbildung von stationsbasierten Verleihsystemen**
Bei stationsbasierten Verleihsystemen können registrierte Nutzer Fahrzeuge gegen Gebühren an festen Stationen ausleihen und je nach Betreiberkonzept an derselben Station oder einer beliebigen festen Station abgeben. Ein Modell muss die Stationen und Kapazitäten abbilden können sowie mit einem Modell zur Abbildung von Kosten gekoppelt sein. Werden die Fahrzeuge der stationsbasierten Verleihsysteme für intermodale Ortsveränderungen genutzt, ist eine zusätzliche Kopplung mit einem Modell zur Abbildung von intermodalen Ortsveränderungen notwendig. Dies gilt, wenn die Verleihsysteme als Modus und nicht als Verkehrsmittel des ÖV in das im Verkehrsnachfragemodell eingebunden sind.
- **Modell zur Abbildung von free-floating Verleihsystemen**
Bei free-floating Verleihsystemen können registrierte Nutzer Fahrzeuge gegen Gebühren beliebig innerhalb des Geschäftsgebiets des Betreibers ausleihen und abgeben. Ein Modell muss das Geschäftsgebiet und die Orte der nicht ausgeliehenen Fahrzeuge abbilden können sowie mit einem Modell zur Abbildung von Kosten gekoppelt sein. Werden die Fahrzeuge der free-floating Verleihsysteme für intermodale Ortsveränderungen genutzt, ist eine zusätzliche Kopplung mit einem Modell zur Abbildung von intermodalen Ortsveränderungen notwendig. Dies gilt, wenn die Verleihsysteme als Modus und nicht als Verkehrsmittel des ÖV in das Verkehrsnachfragemodell eingebunden sind.
- **Modell zur Abbildung von Ridesharing**
Ridesharing unterscheidet sich vom klassischen Mitfahrer dadurch, dass Gebühren für das Mitfahren anfallen können und ggf. Mitfahrer intermodale Ortsveränderungen zum Erreichen des Treffpunktes durchführen. Ein Modell zur Abbildung von Ridesharing muss die Fahrtwünsche potentieller Mitfahrer mit den Mitfahrangeboten koppeln sowie mit einem Modell zur Abbildung von Kosten und intermodalen Ortsveränderungen verknüpft sein.
- **Modell zur Abbildung von free-floating Rideselling mit Pooling**
Unter Rideselling fallen Fahrzeugfahrten, die Personen kommerziell nach dem Fahrtwunsch der Fahrgäste befördern und die Fahrzeugfahrt nicht ohne Fahrgäste stattfinden würde. Rideselling mit Pooling (Nachfragebündelung) im free-floating Betrieb unterscheidet sich vom klassischen ÖV dadurch, dass die Fahrzeuge nicht nach einem festen Linienvorlauf oder Fahrplan und nicht unbedingt zwischen Haltestellen verkehren und somit einen Tür-zu-Tür-Service ermöglichen (vgl. MEHLERT UND SCHIEFELBUSCH (2017)). Ein Modell zur Abbildung von Rideselling muss bei

Fahrtwünschen ein Fahrzeug zum Abholpunkt senden, zeitlich und räumlich übereinstimmende Fahrtwünsche koppeln sowie mit einem Modell zur Abbildung von Kosten verknüpft sein.

Abbildung der auslastungsabhängigen Fahrzeit auf Strecken

Der Zusammenhang zwischen Auslastung von Strecken und Fahrzeit kann in Verkehrsnachfragemodellen über nachfolgende Varianten berücksichtigt werden. Die unten genannten Verkehrsflussmodelle kommen in Modellen, die eine Zeitachse berücksichtigen, zum Einsatz.

- CR-Funktion

In statischen Modellen ohne Zeitachse wird die Fahrzeit mittels einer Kapazitätsbeschränkungsfunktion bzw. Capacity-Restraint-Funktion (CR-Funktion) berechnet. Die Parameter der CR-Funktion geben an, wie stark die auslastungsbedingte Verlustzeit bei zunehmender Auslastung steigt. In vielen Modellen wird die BPR-Funktion aus dem Traffic Assignment Manual des Bureau of Public Roads der USA eingesetzt (vgl. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE (1964)).

$$t_{akt} = t_0 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{q}{q_{max}} \right)^\beta \right) \quad \text{Formel 1}$$

mit:

t_{akt}	Fahrzeit im belasteten Netzzustand
t_0	Fahrzeit im unbelasteten Netzzustand
q	Verkehrsbelastung [Pkw-Einheiten]
q_{max}	Kapazität [Pkw-Einheiten]
α, β	Parameter der BPR-Funktion

- Verkehrsflussmodell, makroskopisch

Makroskopische Verkehrsflussmodelle bilden den Widerstand einer ganzen Strecke als Funktion der Belastung und Streckenkapazität ab und betrachten Verkehrsströme anstelle einzelner Fahrzeuge. Der Verkehrsablauf wird anhand aggregierter Kenngrößen, wie beispielsweise der Durchschnittsgeschwindigkeit einer Strecke, beschrieben. Die mittlere Fahrzeit wird nach den Beziehungen des Fundamentaldiagrammes berechnet. (vgl. FGSV (2006a))

- Verkehrsflussmodell, mikroskopisch

Mikroskopische Verkehrsflussmodelle betrachten einzelne Fahrzeuge eines Verkehrsstromes und berücksichtigen individuelle Eigenschaften verschiedener Fahrzeuge sowie Fahrer als auch die Interaktion der Fahrzeuge untereinander. Die Bewegung und Interaktion der Fahrzeuge werden mit Verhaltensmodellen abgebildet. Hierzu gehört auch die Geschwindigkeitswahl der Fahrzeuge. (vgl. FGSV (2006a))

- Verkehrsflussmodell, mesoskopisch

Mesoskopische Verkehrsflussmodelle betrachten einzelne Fahrzeuge und deren Bewegung durch das Streckennetz, berücksichtigen aber nicht die Interaktion zwischen den einzelnen Fahrzeugen. (vgl. FGSV (2006a))

Abbildung der auslastungsabhängigen Fahrzeit an Knotenpunkten

Die Fahrzeit am Knotenpunkt setzt sich aus einer auslastungsunabhängigen Grundwartezeit und einem auslastungsabhängigen Zeitanteil zusammen. Diese Fahrzeit an Knotenpunkten kann über nachfolgende Varianten in einem Verkehrsnachfragemodell berücksichtigt werden:

- Konstante Zeitzuschläge

Bei dieser Variante wird ein konstanter Zeitzuschlag c zu t_0 addiert, um den auslastungsabhängigen Zeitanteil zu berücksichtigen.

$$t_{akt} = t_0 + c \quad \text{Formel 2}$$

mit:

t_{akt}	Fahrzeit im belasteten Netzzustand
t_0	Fahrzeit im unbelasteten Netzzustand
c	Konstanter Zeitzuschlag

- Auslastungsabhängige Zeitzuschläge

Der auslastungsabhängige Zeitanteil kann durch eine CR-Funktion berücksichtigt werden. Die auslastungsabhängigen Zeitzuschläge werden nach Variante 1 oder Variante 2 berechnet.

Variante 1:

$$t_{akt} = t_0 + f(\text{Auslastung}) \quad \text{Formel 3}$$

Variante 2:

$$t_{akt} = t_0 \cdot f(\text{Auslastung}) \quad \text{Formel 4}$$

mit:

t_{akt}	Fahrzeit im belasteten Netzzustand
t_0	Fahrzeit im unbelasteten Netzzustand
$f(\text{Auslastung})$	CR-Funktion Zeitzuschlag

- Auslastungsabhängige Zeitzuschläge nach dem HBS

Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) (siehe FGSV (2015a)) gibt Verfahren zur Berechnung von Kapazitäten und Wartezeiten an Knotenpunkten vor und berücksichtigt die Knotengeometrie und Knotensteuerungstypen. Die Berechnung der Fahrzeit an Knotenpunkten einer Lichtsignalanlage erfolgt beispielsweise nach dem HBS anhand der Formel 5:

$$t_{wj} = t_{w,Gj} + t_{w,Rj} \quad \text{Formel 5}$$

mit:

t_{wj}	mittlere Wartezeit der Fahrzeuge auf dem Fahrstreifen j
$t_{w,Gj}$	Grundwartezeit auf Grund des Wechsels zwischen Freigabezeit und Sperrzeit auf Fahrstreifen j
$t_{w,Rj}$	Wartezeit aufgrund des Rückstaus bei Freigabeende auf dem Fahrstreifen j

Abbildung zusätzlicher Wirkungsmodelle (Modellerweiterungen)

Zur Abbildung zusätzlicher Entscheidungen kann es notwendig sein, zusätzliche Wirkungsmodelle (vgl. Kapitel 2.2.1) zu berücksichtigen.

- **Flächennutzungsmodelle**
Diese Modelle bilden die Standortwahl von Aktivitätenorten und Wohnorten nach und berechnen deren Verteilung im Raum.
- **Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle**
Diese Modelle bilden die Fahrzeugbeschaffungswahl und Zeitkartenwahl ab. Für bestimmte Maßnahmen, wie z.B. Einführung von Umweltzonen, ist es zusätzlich noch von Bedeutung, die Fahrzeugart oder die Antriebsart bei der Fahrzeugbeschaffungswahl zu differenzieren. Zur Abbildung der Entscheidungen berücksichtigen diese Modelle entscheidungsrelevante Merkmale, wie z. B. der Besitz eines Führerscheins bei der Fahrzeugbeschaffungswahl. Durch Entwicklungen im Bereich geteilter Verkehrsmittel gewinnen in diesem Zusammenhang auch Mitgliedschaften bei z. B. Sharing-Anbietern an Bedeutung. Als Ergebnis liefern die Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle den Anteil an Personen, der über einen Pkw (ggf. differenziert nach Fahrzeugart oder Antriebsart) und / oder ÖV-Zeitkarte verfügt. Die berechneten Anteile finden über Einzelpersonen im Haushaltskontext, verhaltenshomogene Personengruppen oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren Berücksichtigung (vgl. Modellstrukturen - Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit). Die Berücksichtigung bildet die Verkehrsmittelverfügbarkeit bei der Moduswahl ab. Die Veröffentlichung von SOMMER UND KRICHEL (2012) zeigen, dass die Verkehrsmittelverfügbarkeit bei der Moduswahl eine entscheidende Rolle spielt.

Abbildung von Einspeisungspunkten

Die Quell- und Zielorte sind über Anbindungen mit dem Verkehrsangebot verbunden. In makroskopischen Modellen entsprechen die Anbindungen den Zu- und Abgangswegen zwischen den Verkehrszellenschwerpunkten und den Anbindungsknoten. Eine Verkehrszelle benötigt mindestens eine Quell- und eine Zielanbindung. An wie viele Knotenpunkte eine Verkehrszelle angebunden wird und welche Knotenpunkte angebunden sind, beeinflusst die Verteilung der Fahrten im Netz. Werden mehrere Anbindungen verwendet, kann durch Vorgabe von Nachfrageanteilen auf den einzelnen Anbindungen eine realitätsnahe Verteilung unterstützt werden.

2.2.2.2 Entscheidungsmodelle

Diskrete Entscheidungsmodelle

Für die Abbildung der Entscheidungen kommen in Verkehrsnachfragemodellen diskrete Entscheidungsmodelle zum Einsatz. Diskrete Entscheidungsmodelle beschreiben die Entscheidung zwischen den konkurrierenden Alternativen auf Basis unterschiedlicher Merkmale (vgl. SCHNABEL UND LOHSE (2011)). Die nachfolgenden Ausführungen basieren, falls nicht anders vermerkt, auf WERMUTH (1994).

In allgemeiner Form kann ein Entscheidungsmodell wie folgt dargestellt werden:

$$P_{j,g} = f(S_g, X_j) \quad \text{Formel 6}$$

mit:

$P_{j,g}$	Auswahlwahrscheinlichkeit für Alternative j durch Nachfragesegment g
f	Entscheidungsfunktion
S_g	Menge der Eigenschaften für das Nachfragesegment g
X_j	Menge von Merkmalen der Alternative j

Der Verhaltensansatz der diskreten Entscheidungsmodelle beruht darauf, dass jeder Verkehrsteilnehmer bewusst oder auch unbewusst jeder Alternative einen subjektiven Nutzen zuweist und die Alternative wählt, die den höchsten subjektiven Nutzen bietet. Der subjektive Gesamtnutzen einer Alternative j setzt sich aus einem deterministischen und stochastischen Nutzenanteil für alle Nachfragesegmente g zusammen. Der stochastische Nutzenanteil berücksichtigt dabei, dass nicht alle Verkehrsteilnehmer im gleichen Maße über die Alternativen informiert sind bzw. individuelle Präferenzen besitzen, die nicht Teil der Funktion des deterministischen Nutzens sind.

$$U_{j,g} = V_{j,g} + Z_{j,g} \quad \text{Formel 7}$$

mit:

$U_{j,g}$	Subjektiver Gesamtnutzen der Alternative j für das Nachfragesegment g
$V_{j,g}$	Deterministischer (objektiver) Nutzen der Alternative j für das Nachfragesegment g
$Z_{j,g}$	Stochastischer Nutzen der Alternative j für das Nachfragesegment g

Unterschiedliche Entscheidungsmodelle lassen sich aus der Formel des subjektiven Gesamtnutzens durch Variation der Wahrscheinlichkeitsverteilungen des stochastischen Nutzenanteils ableiten. Für die Annahme einer Gumbel-Verteilung leitet sich beispielsweise das multinominale Logit-Modell ab (vgl. SCHNABEL UND LOHSE (2011)).

Die Auswahlwahrscheinlichkeit für eine Alternative j mit dem multinominalen Logit-Modell wird wie folgt beschrieben:

$$P_{j,g} = \frac{e^{V_{j,g}}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{j,g}}} \quad \text{Formel 8}$$

mit:

$P_{j,g}$ Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative j durch Nachfragesegment g
 $V_{j,g}$ Deterministischer Nutzen der Alternative j für das Nachfragesegment g

Jedes auswahlwahrscheinlichkeitsbasierte Entscheidungsmodell lässt sich als universales Logit-Modell darstellen. Somit kann die Auswahlwahrscheinlichkeit $P_{j,g}$ wie folgt allgemein formuliert werden:

$$P_{j,g} = \frac{f_g(V_{j,g})}{\sum_{j=1}^J f_g(V_{j,g})} \quad \text{Formel 9}$$

mit:

$P_{j,g}$ Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative j durch Nachfragesegment g
 f_g Bewertungsfunktion für das Nachfragesegment g
 $V_{j,g}$ Deterministischer Nutzen der Alternative j für das Nachfragesegment g

Die Bewertung des deterministischen Nutzens durch den Verkehrsteilnehmer wird durch die Bewertungsfunktion f_g beschrieben. Beim dargestellten Logit-Modell ist die Bewertungsfunktion eine Exponentialfunktion der Form $f_g(V_{j,g}) = e^{\alpha_g \cdot V_{j,g}}$, wobei über den Sensitivitätsparameter (α -Parameter) die Einflussstärke des stochastischen Nutzens berücksichtigt wird. Entscheidungsmodelle mit Bewertungsfunktionen des Typs Logit, oder auch den an dieser Stelle nicht diskutierten Typen Kirchoff und EVA, kommen typischerweise in Verkehrsnachfragemodellen zum Einsatz. Eine Übersicht zu Entscheidungsmodellen bietet das Lehrbuch von SCHNABEL UND LOHSE (2011).

Nutzenfunktion

Der deterministische Nutzen kann im einfachsten Fall durch eine lineare Nutzenfunktion beschrieben werden. Die Nutzenfunktion beinhaltet entscheidungsrelevante Variablen, die sowohl eine negative als auch eine positive Nutzenbewertung aufweisen können. Aufgrund der Annahme, dass mit zunehmendem Aufwand der Nutzen einer Alternative sinkt, gehen Aufwände mit einer negativen Nutzenbewertung in die Nutzenfunktion ein. Typische entscheidungsrelevante Variablen stellen beispielsweise die Aufwandskomponenten Reisezeit, Reiseweite und Kosten dar, die mit einer negativen Nutzenbewertung in die Berechnung eingehen. Aufwände werden auch als Widerstände bezeichnet, weshalb für die Nutzenfunktion in der Literatur auch die Begriffe Widerstandsfunktion (vgl. WERMUTH (1994)) oder generalisierte Kosten (vgl. SCHNABEL UND LOHSE (2011)) verwendet werden.

$$V_{j,g} = \beta_{0,j,g} + \sum_n^N \beta_{n,j,g} \cdot x_{n,j} \quad \text{Formel 10}$$

mit:

$V_{j,g}$ Deterministischer (objektiver) Nutzen der Alternative j für das Nachfragesegment g

$\beta_{0,j,g}$	Konstante der Alternative j für das Nachfragesegments g
$\beta_{n,i,g}$	Gewichtungparameter (β -Parameter) der Variable n für das Nachfragesegment g
$x_{n,j}$	Wert der Variable n für Alternative j
N	Anzahl an Variablen ($n = 1 \dots N$)

2.2.2.3 Modellstufen

Die Nachbildung der Entscheidungen erfolgt in klassischen Verkehrsnachfragemodellen sequentiell in den vier Modellstufen Verkehrserzeugung, Verkehrszielwahl, Moduswahl und Routenwahl. Bei diesem Aufbau spricht man vom Vier-Stufen-Algorithmus (vgl. WERMUTH (1994)).

Weiter gefasste Verkehrsnachfragemodelle berücksichtigen zudem die Abfahrtszeitwahl oder auch eine Aktivitätenreihenfolgeplanung, wobei letztere nur von mikroskopischen tagesplanbasierten Verkehrsnachfragemodellen modelliert wird.

Diese hochkomplexen Modelle entstehen meist an Universitäten im Rahmen von Forschungsprojekten (vgl. BERGER ET AL. (2011)). „ALBATROSS“, eines der umfangreichsten tagesplanbasierten Modelle, modelliert beispielsweise ob, wann, wo, für wie lange, mit wem und mit welchen Verkehrsmitteln Aktivitäten durchgeführt werden (vgl. ARENTZE UND TIMMERMANS (2001)). Der zur Erstellung von Verkehrsnachfragemodellen benötigte Datenumfang steigt mit deren Komplexität. Aus diesem Grund wird für tagesplanbasierte Modelle im Vergleich zu anderen Modellansätzen generell ein grösserer Datenumfang benötigt. Diese Arbeit bezieht sich auf die Maßnahmenmodellierung mit makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen, weshalb der Aufbau dieser mikroskopischen Modelle nicht detaillierter betrachtet wird. Einen kompakten Überblick der tagesplanbasierten Modellansätze liefert BERGER ET AL. (2011). TIMMERMANS (2005) gibt einen tiefgehenden Einblick in Entwicklung und Anwendung von tagesplanbasierten Modellen.

Verkehrserzeugung

Erzeugungsmodelle berechnen die Anzahl an Ortsveränderungen pro Verkehrszelle für den Modellierungszeitraum. Pro Verkehrszelle werden die produzierten Ortsveränderungen (Quellverkehr) sowie die potentiell angezogenen Ortsveränderungen (Zielverkehr) ermittelt. Die Strukturgrößen und das Mobilitätsverhalten aus den Datenmodellen gehen als Eingangsdaten in die Berechnungen ein. Die Nachfrage kann nach Personengruppen und / oder Wegezwecken segmentiert werden (siehe Kapitel 2.2.2.1). Die Wegezwecke sind mit den Strukturgrößen gekoppelt, z. B. Wegezweck Arbeit mit den Arbeitsplätzen. Die Anzahl der Strukturgrößen und die jeweiligen spezifischen Mobilitätsraten (Erzeugungsrates und Anziehungsrates) ergeben die produzierten und potentiell angezogenen Ortsveränderungen. Mit Erzeugungsmodellen können einzelne Wege oder gesamte Wegeketten (Aktivitätenketten)

generiert werden, wobei das Vorgehen prinzipiell dasselbe ist. Ein Erzeugungsmodell kann allgemein nach Formel 11 formuliert werden (vgl. FRIEDRICH (2011)), wobei die Mobilitätsraten (Erzeugungsrate $\mu_{g,k}$ und Anziehungsrate $\eta_{g,k}$) statisch oder elastisch sein können. Elastische Mobilitätsraten berücksichtigen adäquat die Abhängigkeit von wohlfahrtbeschreibenden Einflussgrößen und der Lagegunst (vgl. FGSV (2005)).

$$P_{g,i} = \sum_{k=1}^K \mu_{g,k} \cdot Z_{i,k} \quad \text{und} \quad A_{g,i} = \sum_{k=1}^K \eta_{g,k} \cdot Z_{j,k} \quad \text{Formel 11}$$

mit:

$P_{g,i}$	Erzeugte Ortsveränderungen P vom Nachfragesegment g in der Verkehrszelle i
$A_{g,i}$	Angezogene Ortsveränderungen A vom Nachfragesegment g in der Verkehrszelle j
$Z_{i,k}$	k. Strukturgröße in der Verkehrszelle i
$\mu_{g,k}$	Erzeugungsrate in dem Nachfragesegment g für die k. Strukturgröße
$\eta_{g,k}$	Anziehungsrate in dem Nachfragesegment g für die k. Strukturgröße
J	Anzahl Verkehrszellen ($j = 1 \dots J$)

Verkehrszielwahl

Zielwahlmodelle berechnen aus den erzeugten und potentiell angezogenen Ortsveränderungen die Anzahl der Ortsveränderungen für alle Quelle-Ziel-Relationen. Bei dieser Berechnung werden den erzeugten Ortsveränderungen Ziele zugewiesen und dadurch mit den potentiell angezogenen Ortsveränderungen verbunden. Einfluss auf die Zielwahl hat, neben der Anzahl der erzeugten und potentiell angezogenen Ortsveränderungen, der Nutzen. Die Empfindlichkeit der Nachfragesegmente gegenüber dem Nutzen wird durch die Nutzenparameter definiert. Dadurch kann z. B. die unterschiedliche Bereitschaft der Nachfragesegmente weite Wege zurückzulegen in die Berechnung einfließen. Zielwahlmodelle können quellseitig, zielseitig oder auch beidseitig gekoppelt sein. Bei quellseitig gekoppelten Modellen wird die Bedingung eingehalten, dass jeder erzeugten Ortsveränderung eine Zielverkehrszelle zugeordnet wird. Bei zielseitig gekoppelten Modellen wird sichergestellt, dass jeder potentiell angezogenen Ortsveränderung eine Quellverkehrszelle zugeordnet wird. Diese Varianten werden als einseitig gekoppelte Modelle bezeichnet. Bei Einhaltung beider Bedingungen liegt ein beidseitig gekoppeltes Modell vor. Die Umsetzung der Bedingungen erfolgt mithilfe von Randsummenbedingungen.

Hierbei erfolgt eine Unterscheidung zwischen harten, weichen, elastischen und offenen Randsummenbedingungen. Die folgende Beschreibung derselben basiert auf SCHILLER (2004).

Harte Randsummenbedingungen werden bei nicht substituierbaren Pflichtaktivitäten (z. B. Schule, Arbeit) eingesetzt. Durch diese wird berücksichtigt, dass das aus der Verkehrserzeugung berechnete Verkehrsaufkommen auf Quell- und Zielseite als hart einzustufen ist und eingehalten werden muss. Bei harten Randsummenbedingungen

wird beispielsweise berücksichtigt, dass jeder Schüler einen Weg zur Schule unternimmt und jeder Schulplatz durch einen Weg zur Schule belegt werden muss.

Bei substituierbaren Aktivitäten ist neben den Potentials (Kapazitäten) der Strukturgrößen auch die Lagegunst von Bedeutung. Bei weichen Randsummenbedingungen werden bei der Verkehrserzeugung nur maximale Potentiale berechnet, die nicht genutzt werden müssen.

Elastische Randsummenbedingungen basieren auf den weichen Randsummenbedingungen. Sie berücksichtigen zusätzlich, dass der Widerstand (z. B. längere Wartezeiten, schlechte Parkplatzsituation) bei zunehmender Auslastung der Potentiale von Strukturgrößen zunimmt. Durch den steigenden Widerstand wird die Attraktivität / Anziehung des Potentials gemindert und führt bei ausreichendem Angebot dazu, dass kein Potential zu 100 % ausgeschöpft wird.

Offene Randsummenbedingungen berücksichtigen keine Kapazitätsgrenzen der Strukturgrößen. Das Potential drückt lediglich mithilfe der Lagegunst eine Attraktivität aus.

Quellseitig gekoppelte Verkehrszielwahlmodelle können als Entscheidungsmodelle wie folgt dargestellt werden (vgl. FRIEDRICH (2011)):

$$F_{g,i,j} = P_{g,i} \cdot \frac{A_{g,j} \cdot f_g(w_{i,j})}{\sum_j^J A_{g,j} \cdot f_g(w_{i,j})} \quad \text{Formel 12}$$

mit:

$F_{g,i,j}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegmentes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j
$P_{g,i}$	Erzeugte Ortsveränderungen P des Nachfragesegmentes g in der Verkehrszelle i
$A_{g,j}$	Angezogene Ortsveränderungen A des Nachfragesegmentes g in der Verkehrszelle j
$f_g()$	Bewertungsfunktion für das Nachfragesegment g
$w_{i,j}$	Widerstand zwischen Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j
J	Anzahl an Verkehrszellen (j = 1...J)

Moduswahl

Den berechneten Ortsveränderungen werden mit Wahlmodellen Verkehrsmittel oder Modi zugeordnet. Die meisten Verkehrsnachfragemodelle unterscheiden bei der Moduswahl Modi, wobei typische Modi Fuß, Rad, Pkw und ÖV sind. Teilweise enthalten Modelle auch P+R und separieren beim Modus Pkw in Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer. Bei der Moduswahl kann berücksichtigt werden, ob ein Modus austauschbar ist. Nicht austauschbar ist beispielsweise der Modus Pkw. Der Modus Pkw kann innerhalb einer Wegeketten nicht mit anderen Modi kombiniert werden, ist somit nicht austauschbar. Hierdurch wird abgebildet, dass in der Realität mit einem Pkw auch die Rückfahrt unternommen wird.

Die unterschiedlichen Nutzen der Modi werden durch den Widerstand im Entscheidungsmodell abgebildet. In die Nutzenfunktion gehen dabei üblicherweise Kenngrößen wie die Reisezeit, Kosten, Komfort und Parksuchzeit ein. Der Nutzen wird, wie bei der Verkehrszielwahl, durch die Nachfragesegmente unterschiedlich bewertet. Ein Moduswahlmodell kann durch nachfolgende Formel abgebildet werden (vgl. FRIEDRICH (2011)):

$$F_{g,i,j,m} = F_{g,i,j} \cdot \frac{f_g(w_{i,j,m})}{\sum_m^M f_g(w_{i,j,m})} \quad \text{Formel 13}$$

mit:

$F_{g,i,j,m}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m
$F_{g,i,j}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j
f_g	Bewertungsfunktion für das Nachfragesegments g
$w_{i,j,m}$	Widerstand zwischen Quellverkehrszelle i und Zielverkehrszelle j mit Modus m
M	Anzahl an unterschiedlichen Modi ($m = 1 \dots M$)

Abfahrtszeitwahl

Abfahrtszeitwahlmodelle berechnen für jede Ortsveränderung die Abfahrtszeit. Die Berechnung kann durch nutzenbasierte Entscheidungsmodelle oder anhand empirisch gewonnener statischer Tagesganglinien erfolgen. Üblicherweise kommt der Ansatz der statischen Ganglinien, welche sich auf die Abfahrtszeit oder die Ankunftszeit beziehen können, zum Einsatz. Für den Wegezweck Arbeit ist beispielsweise der pünktliche Arbeitsbeginn maßgebend, weshalb Ganglinien, die sich auf die Ankunftszeit beziehen, hier sinnvoller sind. Ein Abfahrtszeitwahlmodell kann wie nachfolgend beschrieben formuliert werden (vgl. PILLAT (2014)):

$$F_{g,i,j,m,h} = F_{g,i,j,m} \cdot t_g(h) \quad \text{mit } TG_{g,i,j,m} = \{t(1), t(2), \dots, t(T)\} \quad \text{Formel 14}$$

mit:

$F_{g,i,j,m,h}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m zum Zeitintervall h
$F_{g,i,j,m}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m
$TG_{g,i,j,m}$	Tagesganglinie des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m
$t_g(h)$	relativer Anteil des Verkehrsaufkommens im Zeitintervall h der Tagesganglinie des Nachfragesegementes g ($TG_{g,i,j,m}$)
T	Anzahl der Zeitintervalle der Tagesganglinien der Nachfragesegmente

Routenwahl

Anhand von Umlegungsverfahren werden die berechneten Ortsveränderungen, durch Wahl einer geeigneten Route oder Verbindung, den einzelnen Netzelementen zugewiesen. Von einer Verbindung wird gesprochen, wenn zusätzlich zur Route die Abfahrtszeit bekannt ist. Der Ablauf von Umlegungsverfahren lässt sich in die Teilschritte Routensuche, Routenwahl und Berechnung der belastungsabhängigen Fahrzeit, durch sogenannte CR-Funktionen oder Verkehrsflussmodelle, unterteilen. Bei statischen Umlegungsverfahren des MIV kommen CR-Funktionen zum Einsatz, die den Zusammenhang zwischen Auslastung und Fahrzeit der Netzelemente abbilden (vgl. Kapitel 2.2.2.1 - Abbildung der auslastungsabhängigen Fahrzeit auf Strecken, Seite 42).

Wird bei den Umlegungsverfahren keine Zeitachse berücksichtigt und ist die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsangebot über den Umlegungszeitraum konstant, spricht man von statischen Verfahren. Umlegungsverfahren, die eine Zeitachse berücksichtigen und die Abfahrtszeit der Ortsveränderungen modellieren, werden als dynamische Verfahren bezeichnet. Bei diesen dynamischen Verfahren ändern sich die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsangebot über den Umlegungszeitraum. Weicht hierbei die Wunschabfahrtszeit von der tatsächlichen Abfahrtszeit ab, werden Widerstandszuschläge berechnet. Die belastungsabhängigen Fahrzeiten werden mit Verkehrsflussmodellen berechnet. Einen Überblick über die methodischen Ansätze, typische Probleme sowie Vor- und Nachteile dynamischer Umlegungsverfahren für den MIV bietet FRIEDRICH UND VORTISCH (2005). Einen umfassenden Überblick zu den Umlegungsverfahren bietet CASCETTA (2009).

Umlegungsverfahren im IV können in die nachfolgend erläuterten zwei belastungsunabhängigen und drei belastungsabhängigen Verfahrensklassen unterteilt werden (vgl. CASCETTA (2009)). Für jede Verfahrensklasse gibt es eine oder mehrere Implementierungsansätze. Zur Verfahrensklasse deterministisches Nutzergleichgewicht gehört z. B. das Frank-Wolfe-Verfahren und die Gleichgewichtsumlegung LUCE. Die Umlegungsverfahren Sukzessivumlegung und das Lernverfahren nach Lohse können näherungsweise ebenfalls als Umlegungsverfahren dieser Verfahrensklasse interpretiert werden. Wird allerdings bei der Sukzessivumlegung die komplette Nachfrage in einem Schritt umgelegt, dann gehört das Umlegungsverfahren zur Verfahrensklasse der Bestwegumlegungen. Die angegebenen Abkürzungen der Verfahrensklassen basieren auf deren englischen Bezeichnungen.

- Bestwegumlegung (DUN)
Die Verkehrsteilnehmer wählen die objektiv widerstandskürzeste Route im unbelasteten Netz.
- Stochastische Umlegung (SUN)
Die Verkehrsteilnehmer wählen die subjektiv widerstandskürzeste Route im unbelasteten Netz.
- Deterministisches Nutzergleichgewicht (DUE)

Die Verkehrsteilnehmer verteilen sich derart auf den Routen einer Quelle-Ziel-Relation, dass die Widerstände aller benutzten Routen einer Relation gleich sind und die der nichtbenutzten höher (1. Wardrop Prinzip) (WARDROP (1952)). Jeder Verkehrsteilnehmer wählt also die für ihn selbst beste Route, da durch Wechseln der Route keine Verbesserung möglich ist.

- Stochastisches Nutzergleichgewicht (SUE)
Die Verkehrsteilnehmer verteilen sich auf die Routen einer Quelle-Ziel-Relation so, dass der subjektive Nutzen minimal ist.
- Systemoptimum (SO)
Die Verkehrsteilnehmer verteilen sich auf die Routen aller Quelle-Ziel-Relationen so, dass die Summe aller Widerstände über alle Quelle-Ziel-Relationen minimal ist. Kein Verkehrsteilnehmer kann in diesem Zustand einen Vorteil durch den Wechsel der Route erzielen, ohne mindestens einem anderen Verkehrsteilnehmer einen Nachteil zu verschaffen (2. Wardrop Prinzip).

Gleichgewichtsverfahren sind iterative Verfahren, die eine Zielfunktion optimieren und deren Berechnung bei größeren Modellen viel Zeit benötigen kann. In der praktischen Anwendung werden diese Verfahren anhand von Konvergenzkriterien vor Erreichen des perfekten Gleichgewichtszustands abgebrochen. Das in dieser Arbeit verwendete Verkehrsnachfragemodell (Beschreibung siehe Kapitel 4) verwendet beispielsweise den maximalen Gap als Abbruchkriterium für die deterministische Gleichgewichtsumlegung. Der Gap berechnet sich aus der mit der Belastung gewichteten Differenz zwischen dem Fahrzeugwiderstand des Netzes der aktuellen Iteration und dem hypothetischen Fahrzeugwiderstand. Hierbei ist der hypothetische Fahrzeugwiderstand ein errechneter minimaler Widerstandswert des nächsten Iterationsschrittes, für den hypothetisch angenommen wird, dass auf Basis der Widerstände des aktuellen Iterationsschrittes im nächsten Iterationsschritt alle Fahrzeuge den Bestweg wählen würden (vgl. PTV AG (2014)).

Der ÖV mit Fahrgästen und nach Fahrplan verkehrenden Fahrzeugen stellt an Umlegungsverfahren andere Voraussetzungen als der IV. Im ÖV unterscheidet man bei Umlegungsverfahren prinzipiell zwischen taktabhängigen und fahrplanfeinen Verfahren. Die Unterscheidung erfolgt nicht anhand von Aufteilungsregeln, mithilfe derer die Verkehrsteilnehmer auf die alternativen Routen / Verbindungen verteilt werden, sondern anhand des Detaillierungsgrads der Fahrplanabbildung.

- Taktabhängige Umlegung
Es liegt kein Fahrplan vor. Es sind nur Fahrzeugfolgezeiten für die Linien bekannt, weshalb mit diesem Verfahren auch keine Abfahrtszeiten berücksichtigt werden können. Die Umsteigewartezeiten werden durch mittlere Fahrzeugfolgezeiten berechnet. Weiterführende Literatur zu taktabhängigen Umlegungsverfahren bieten NÖKEL UND WEKECK (2007) sowie NÖKEL UND WEKECK (2009).

- Fahrplanfeine Umlegung

Berücksichtigt den Fahrplan und rechnet mit den tatsächlichen Umsteigewartezeiten. Es existieren sowohl fahrplanfeine Umlegungsverfahren, die vorhandene Kapazitäten der ÖV-Fahrzeuge berücksichtigen als auch Verfahren, welche diese Kapazitäten nicht berücksichtigen. Soweit die Kapazitäten der ÖV-Fahrzeuge berücksichtigt werden, wird der Fahrgastzuwachs hierdurch beschränkt. Das fahrplanfeine Umlegungsverfahren wird z. B. in der Veröffentlichung von FRIEDRICH ET AL. (2001) näher beschrieben. Auf die oben genannte Problematik der Kapazitätsbeschränkung geht PAPOLA ET AL. (2009) ein.

Typische in die Nutzenfunktion der Routenwahl eingehende Kenngrößen sind die Reisezeit, Länge, Kosten und, bei dynamischen Verfahren, die zeitliche Nutzbarkeit. Die Differenz zwischen der Wunschabfahrtszeit und der tatsächlichen Abfahrtszeit drückt die zeitliche Nutzbarkeit aus. Für den ÖV ist zudem die Umsteigehäufigkeit, Zu- und Abgangszeit sowie Umsteigewartezeit von Bedeutung. Die Umlegungsverfahren liefern als Ergebnis die Verkehrsbelastung je Netzelement, Fahrgäste je Linie und Kenngrößen, wie z. B. die Reisezeit im belasteten Netzzustand, Bedienungshäufigkeiten und Umsteigehäufigkeiten.

Eine stochastische Umlegung eines Routenwahlmodells für das Zeitintervall h kann durch nachfolgende Formel allgemein beschrieben werden:

$$F_{g,i,j,m,h,r} = F_{g,i,j,m,h} \cdot \frac{f_g(w_{i,j,m,h,r})}{\sum_{r=1}^R f_g(w_{i,j,m,h,r})} \quad \text{Formel 15}$$

mit:

$F_{g,i,j,m,h,r}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m zum Zeitintervall h auf Route r
$F_{g,i,j,m,h}$	Ortsveränderungen des Nachfragesegementes g von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m zum Zeitintervall h
f_g	Bewertungsfunktion für das Nachfragesegment g
$w_{i,j,m,h,r}$	Widerstand zwischen Quellverkehrszelle i und Zielverkehrszelle j mit Modus m zum Zeitintervall h auf Route r
R	Anzahl an Routen ($r = 1 \dots R$)

Das dargestellte Routenwahlverfahren ist der Kategorie Stochastische Umlegung (SUE) zuzuordnen. Die Formel 15 geht von einer konstanten Nachfrage zum Zeitintervall h aus und bezieht keine Iteration ein. Dynamische Umlegungsverfahren berücksichtigen für den Widerstand zusätzlich die zeitliche Nutzbarkeit (vgl. Formel 16).

$$w_{i,j,m,h,r} = \sum_{s=1}^S w_{i,j,m,h,s} + \epsilon \cdot |\Delta t| \quad \text{Formel 16}$$

mit:

$W_{i,j,m,h,r}$	Widerstand zwischen Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m zum Zeitintervall h auf Verbindung r
$W_{i,j,m,h,s}$	Zeitabhängiger Widerstand zwischen Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m im Zeitintervall h für Netzelement s
Δt	Differenz zwischen Wunschabfahrtszeit und tatsächlicher Abfahrtszeit
ε	Bewertung der Abfahrtszeit
S	Anzahl an Netzelementen ($s = 1 \dots S$)

Bei stochastischen Verfahren mit einem Entscheidungsmodell vom Typ Logit oder einem fahrplanfeinen Umlegungsverfahren sollte die Eigenständigkeit berücksichtigt werden. Die Eigenständigkeit beschreibt, wie sehr eine Route mit anderen Routen einer Quelle-Ziel-Beziehung überlappt. Mithilfe der Eigenständigkeit kann berücksichtigt werden, dass die gewählten Routen ausreichend unabhängig voneinander sind.

2.2.3 Modelle zur Ermittlung der Verkehrsauswirkungen

Mit Modellen zur Ermittlung der Verkehrsauswirkungen können die sekundären Wirkungen des Verkehrs abgebildet werden. Dies können z. B. Kostenmodelle, Erlösmodelle, Unfallmodelle oder auch Emissionsmodelle sein. Im Rahmen dieser Arbeit werden Schadstoffemissionen als Sekundärwirkungen betrachtet.

Unter Schadstoffemissionen wird das Ausstoßen von biosphärenbelastenden Stoffen in die Umwelt verstanden (vgl. SPEKTRUM (2000)). Zur Berechnung wird das Emissionsmodell „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (kurz HBEFA, KELLER ET AL. (2017)) herangezogen. Dieses Modell wird nachfolgend beschrieben.

HBEFA

HBEFA stellt in einer EDV-gestützten Datenbank Emissionsfaktoren pro Kilometer in Abhängigkeit der in Abbildung 3 dargestellten Inputparameter und Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung.

Fahrzeuge innerhalb einer Fahrzeugkategorie mit vergleichbaren Emissionsverhalten sind in HBEFA zu einer Fahrzeugschicht zusammengefasst. Diese Schichtung erfolgt anhand von Emissionsstufen, Antriebsart (Benzin, Diesel) und / oder der Gewichtsklasse bzw. Hubraumklasse (vgl. KELLER UND HAAN (2004)). Die einzelnen Anteile der Fahrzeugschichten bilden in ihrer Gesamtheit die Verkehrszusammensetzung. Die im Verkehr freigesetzten Emissionen einer Fahrzeugkategorie sind neben der Verkehrszusammensetzung und der Längsneigung auch von der Verkehrssituation abhängig. Die Verkehrssituation wird durch Gebietstyp, Straßentyp, Geschwindigkeitslimit und Verkehrszustand charakterisiert. Alternativ können vordefinierte

aggregierte Kombinationen der Verkehrssituation und Längsneigung gewählt werden. Die vier möglichen Verkehrszustände in HBEFA beschreibt die Tabelle 1.

Optional können neben den Emissionen im betriebswarmen Fahrzeugzustand auch Kaltstartzuschläge, Verdampfungszuschläge und Klimaanlageeinflüsse berücksichtigt werden. Zu den Verdampfungszuschlägen gehören Abstellemissionen (Verluste nach dem Abstellen aufgrund der Fahrzeugtemperatur), Tankatmung (Verluste aufgrund Umgebungstemperaturen) und Running losses (Verluste während der Fahrt).

Anhand der mit HBEFA ermittelten Emissionen pro gefahrenen Kilometer und den Verkehrsbelastungen aus dem Verkehrsnachfragemodell können die Emissionen eines Verkehrszustands berechnet werden. Die Gesamtemission des Streckennetzes für einen Schadstoff kann wie folgt berechnet werden:

$$E_S = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I e_{S,m,i(V,L,VZ,K,A,T,R,KA)} \times q_{i,m} \times L_{i,m} \quad \text{Formel 17}$$

mit:

E_S	Emission [g] von Schadstoff S
$e_{S,m,i(V,L,VZ,K,A,T,R,KA)}$	Emission [g / km] von Schadstoff S der Fahrzeugkategorie m für Strecke i in Abhängigkeit von Verkehrssituation, Längsneigung, Verkehrszusammensetzung, Kaltstartzuschlag, Abstellemission, Tankatmung, Running losses, Klimaanlage
M	Anzahl an Fahrzeugkategorien (m = 1...M)
I	Anzahl an Strecken (i = 1...I)
q	Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie m [Fz]
L	Streckenlänge der Strecke i [km]

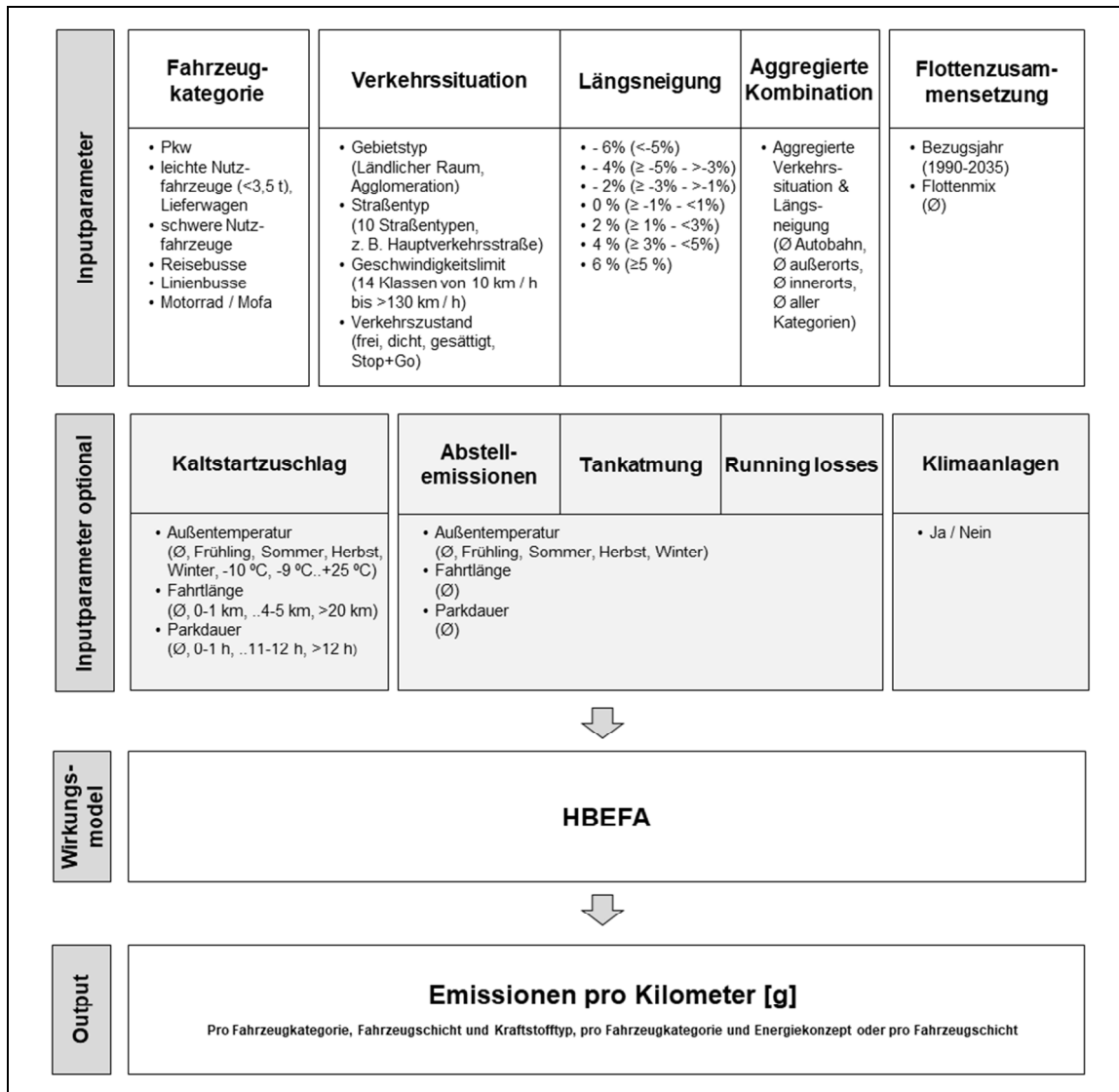


Abbildung 3: Struktur des HBEFA-Modells (eigene Darstellung)

Verkehrszustand (Level of Service)	Beschreibung
flüssig	<ul style="list-style-type: none"> • Frei und stetig fließender Verkehr • Konstante hohe Geschwindigkeiten, auf BAB → 90 km / h bis 130 km / h, auf Straßen mit Limit 50 km / h → 45 km / h bis 60 km / h • Entspricht nach dem Highway Capacity Manual (HCM) der Verkehrsqualität A-B (vgl. HCM (2000))
dicht	<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Verkehrsaufkommen und flüssiger Verkehrsfluss, • Konstante Geschwindigkeiten, auf BAB → 70 bis 90 km / h, auf Straßen mit Limit 50 km / h → 30 km / h bis 45 km / h • Entspricht nach dem HCM der Verkehrsqualität C-D
gesättigt	<ul style="list-style-type: none"> • Unstetiger Verkehrsfluss • Starke Geschwindigkeitsschwankungen, auf BAB → 30 bis 70 km / h, auf Straßen mit Limit 50 km / h → 15 km / h bis 30 km / h • Entspricht nach dem HCM der Verkehrsqualität E
Stop+Go	<ul style="list-style-type: none"> • Stop+Go Situationen, starke Stauerscheinungen bis Verkehrszusammenbruch • Niedrige Geschwindigkeiten, auf BAB → 5 km / h bis 30 km / h, auf Straßen mit Limit 50 km / h → 5 km / h bis 15 km / h

Tabelle 1: Beschreibung der vier möglichen Verkehrszustände (KELLER ET AL. (2010))

2.2.4 Stand der Technik von Verkehrsnachfragemodellen

Im Allgemeinen muss hinsichtlich des Stands der Technik von Verkehrsnachfragemodellen zwischen Stand der Technik in der Forschung und zwischen Stand der Technik in der Praxis unterschieden werden.

Zum Stand der Technik selbst gibt es unterschiedliche Ansichten. Es existiert die Ansicht, dass mikroskopische tagesplanbasierte Modellansätze den Stand der Technik in der Forschung darstellen und makroskopische aktivitätenkettenbasierte Verkehrsnachfragemodelle, die Vier-Stufen (Verkehrserzeugung, Verkehrszielwahl, Moduswahl und Routenwahl) abbilden, den Stand der Technik in der Praxis vertreten (vgl. BERGER ET AL. (2011)). Die Ansicht, dass tagesplanbasierte mikroskopische Modellansätze den Stand der Forschung repräsentieren, wird in dieser Arbeit nicht geteilt. Mikroskopische wie auch makroskopische Verkehrsnachfragemodelle stellen unterschiedliche Modellkategorien dar, die spezifische Vor- und Nachteile aufweisen und durch einen jeweiligen Stand der Technik definiert werden.

Tabelle 2 zeigt die auf Recherche basierende Einschätzung der Autorin zum Stand der Technik der makroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung des städtischen Personenverkehrs im deutschsprachigen Raum, wobei das Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart (vgl. Kapitel 4) als Referenz für den Stand der Technik in der Praxis herangezogen wird. Der Stand der Technik wird auf Basis wichtiger Kriterien der Modellstruktur beschrieben, vgl. Modellstrukturen Kapitel 2.2.2.1.

Die Tabelle unterscheidet die Kategorien „Forschung“, „Praxis“ und „Software“. In der Forschung werden Modelle weiterentwickelt und häufiger als in der Praxis werden individuelle und / oder zeitaufwändige Modellierungsansätze umgesetzt. Dazu kommen eigene Softwarelösungen zum Einsatz oder kommerzielle Softwarelösungen, die im Bedarfsfall durch zusätzliche Programmierung ergänzt werden. In der Tabelle werden in der Kategorie Software nur kommerziell verfügbare Softwareanwendungen zur Verkehrsnachfrageberechnung betrachtet.

Die Einschätzung zum Stand der Technik der jeweiligen Kategorie erfolgt anhand der nachfolgenden vier Angaben:

- „+“ = „Zukunft“
- „O“ = „Anerkannt“
- „-“ = „Nicht mehr anerkannt“
- „()“ = „Nicht relevant“

Die Angabe „Nicht relevant“ ist hierbei nur für die Kategorie Software von Bedeutung. In der Kategorie der Software ist beispielsweise als „Nicht relevant“ einzustufen, ob tatsächlich das komplette Straßennetz oder nur eine Auswahl abgebildet wird, da in beiden Fällen die Funktion Verkehrsnetze abzubilden gegeben ist.

Anhand der Einschätzung zum Stand der Technik der einzelnen Kategorien erfolgt in Kapitel 3.4 eine Einordnung der Abbildbarkeit der einzelnen Maßnahmen mit dem Stand der Technik von Verkehrsnachfragemodellen.

Legende: + : Zukunft K : Keine Modellierung, Entscheidung vorgegeben o : Anerkannt S : Stochastisch (unvollständige Information) - : Nicht mehr anerkannt D : Deterministisch (perfekte Information) () : Nicht relevant				
Abbildung der Modellstrukturen		Forschung	Praxis	Software
Segmentierung der Nachfrage	• Raumeinheit	-	-	-
	• Wegezwecke	-	o	o
	• Personengruppen und Wegezwecke	o	o	o
Verkehrsmittelverfügbarkeit	• Personengruppen	o	o	o
	• Verkehrszellensp. Wahrscheinlichkeitsfaktoren für Verkehrsmittelverfügbarkeit	o	o	o
Aktivitätenkette	• Aktivitätenbasierte Einzelwegmodelle	-	o	o
	• Aktivitätenkettenmodelle	o	o	o
Zeitachse	• Statisch (24 h)	-	o	o
	• Pseudodynamisch (Zeitscheibe 1 h, HVZ, NVZ)	o	o	o
	• Dynamisch	o	+	o
Entscheidungsstufen	• Verkehrserzeugung (statische Mobilitätsraten)	o	o	o
	• Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)	+	+	o
	• Verkehrszielwahl (weiche Randsummen)	-	o	o
	• Verkehrszielwahl (harte Randsummen)	o	o	o
	• Verkehrszielwahl (elastische Randsummen)	o	+	o/+
	• Moduswahl (monomodal)	o	o	o
	• Moduswahl (intermodal)	o/+	o/+	o/+
	• Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)	o	o/+	o
	• Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)	o/+	+	+
	• Routenwahl (MIV)	o	o	o
	• Routenwahl (ÖV, ohne Kapazitätsbeschränkung)	o	o	o
	• Routenwahl (ÖV, mit Kapazitätsbeschränkung)	o	+	o
	• Routenwahl (Fuß / Rad)	o	o/+	o
Entscheidungsabfolge	• Sequentiell	-	o	o
	• Simultan; Verkehrszielwahl und Moduswahl	o	o/+	o/+
	• Simultan; Moduswahl und Routenwahl	o	+	o/+
	• Simultan; Verkehrszielwahl, Moduswahl und Routenwahl	o	+	o/+
Informationsgrad bei den Entscheidungen	• Verkehrserzeugung	S	K	K
	• Verkehrszielwahl	S	S	S
	• Moduswahl	S	S	S
	• Abfahrtszeitwahl	S	K	K
	• Routenwahl	S/D	D	S/D
Variablen der Nutzenfunktion	• Reisezeit in einzelnen Zeitkomponenten	o	o	o
	• Kosten	o	o	o
	• Bedienungshäufigkeit und Umsteigewartezeit oder Anpassungszeit (zeitliche Verfügbarkeit ÖV)	o	o	o

Legende: + : Zukunft K : Keine Modellierung, Entscheidung vorgegeben o : Anerkannt S : Stochastisch (unvollständige Information) - : Nicht mehr anerkannt D : Deterministisch (perfekte Information) () : Nicht relevant				
Abbildung der Modellstrukturen		Forschung	Praxis	Software
Entscheidungsrückkopplung	<ul style="list-style-type: none"> • Zwischen Routenwahl und Verkehrszielwahl, Moduswahlwahl, Abfahrtszeitwahl 	o	o/+	o
Verkehrsnetz	<ul style="list-style-type: none"> • Komplettes Straßenverkehrsnetz des motorisierten Verkehrs 	o	o	()
	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgewähltes Straßenverkehrsnetz des motorisierten Verkehrs 	-	-/o	()
	<ul style="list-style-type: none"> • Alle ÖV-Linien 	o	o	()
	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgewählte ÖV-Linien 	-	-	()
	<ul style="list-style-type: none"> • Radverkehrsnetz (ohne Klassifizierung nach Führungsform) 	o	o/+	()
	<ul style="list-style-type: none"> • Radverkehrsnetz (mit Klassifizierung nach Führungsform) 	o	+	()
Verkehrsmittelangebot	<ul style="list-style-type: none"> • Fußgängerverkehrsnetz 	+	+	()
	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw 	o	o	o
	<ul style="list-style-type: none"> • ÖV 	o	o	o
	<ul style="list-style-type: none"> • Rad 	o	o	o
	<ul style="list-style-type: none"> • Fuß 	o	o	o
	<ul style="list-style-type: none"> • P+R 	o/+	o/+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • B+R 	o/+	+	o/+
Zusätzliche Teilmodelle	<ul style="list-style-type: none"> • Sharingangebote 	+	+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung von Kosten 	o	o/+	o
	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung von Parkraumangebot und Belegung 	o/+	+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung intermodaler Ortsveränderungen 	o	+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung stationsbasierter Verleihsysteme 	o/+	+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung free-floating Verleihsysteme 	o/+	+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung von Ridesharing 	o/+	+	+
Fahrzeitermittlung auf der Strecke	<ul style="list-style-type: none"> • Teilmodell zur Abbildung von free-floating Rideselling mit Pooling 	o/+	+	+
	<ul style="list-style-type: none"> • mit CR-Funktion 	o	o	o
	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsflussmodell; Makroskopisch 	+	+	o/+
	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsflussmodell; Mesoskopisch 	+	+	o/+
Fahrzeitermittlung am Knotenpunkt	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsflussmodell; Mikroskopisch 	+	+	+
	<ul style="list-style-type: none"> • Konstante Zeitzuschläge 	-	o	o
	<ul style="list-style-type: none"> • Auslastungsabh. Zeitzuschläge 	o	o/+	o
	<ul style="list-style-type: none"> • Auslastungsabh. Zeitzuschläge nach HBS 	o	+	o

Legende: + : Zukunft o : Anerkannt - : Nicht mehr anerkannt () : Nicht relevant		K: Keine Modellierung, Entscheidung vorgegeben S: Stochastisch (unvollständige Information) D: Deterministisch (perfekte Information)		
Abbildung der Modellstrukturen		Forschung	Praxis	Software
Fahrzeitermittlung (Rad)	• In Abhängigkeit der Streckenlänge und Längsneigung	o	o	o
	• In Abhängigkeit der Streckenlänge, Längsneigung und Führungsform	o/+	+	o
Modellerweiterungen	• Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell	+	+	+
	• Flächennutzungsmodell	o/+	+	+
Einspeisungspunkte	• eine Anbindung pro Zelle, dafür feinere Zelleneinteilung	o	+	o
	• mehrere Anbindungen ohne Vorgabe von Anteilen	o	o	o
	• mehrere Anbindungen mit Vorgabe von Anteilen	-	o	o/+

Tabelle 2: Einschätzung zum Stand der Technik von makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen für den städtischen Personenverkehr (eigene Darstellung)

2.2.5 Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen

Um sicherzustellen, dass Verkehrsnachfragemodelle valide Ergebnisse liefern, ist eine Qualitätssicherung bei der Modellerstellung notwendig. Die Qualitätssicherung sollte dabei in allen Stufen der Modellerstellung durchgeführt werden. Hierzu gehört die Qualitätssicherung

- der Modellspezifikation,
- der Eingangsdaten,
- sowie im Kalibrierungs- und Validierungsprozess.

In einer Modellspezifikation wird die Vorgehensweise der Modellerstellung beschrieben. Durch die Qualitätssicherung der Modellspezifikation wird geprüft, ob die geplante Modellstruktur geeignet ist, die beschriebenen Maßnahmen abzubilden und zugehörige Kenngrößen zu berechnen. Des Weiteren werden die Angaben zu den Datenquellen der Eingangsdaten und die beschriebene Vorgehensweise beim Kalibrierungs- und Validierungsprozess geprüft.

Zur Qualitätssicherung der Eingangsdaten sind die Daten aus Verkehrserhebungen (Befragungen und Zählungen), die Siedlungsstrukturdaten (Einwohnerdaten und Standortdaten zu Aktivitätenorten mit den zugehörigen Eigenschaften) und die Daten des Verkehrsangebots auf Sinnhaftigkeit und Korrektheit zu prüfen. Dazu gehört

beispielsweise die Überprüfung der Zufahrten an Knotenpunkten, des Verhältnisses von Arbeitsplätzen pro Einwohner und Erwerbstätigen oder die Anzahl an Wegen / Einwohner. Einen Überblick hierzu bieten PESTEL ET AL. (2016).

Zur Qualitätssicherung im Kalibrierungs- und Validierungsprozess werden bei der Validierung die Modellparameter, die Modellergebnisse und das Modellverhalten anhand von geeigneten Gütemaßen und Tests überprüft. Diese Überprüfung wird für die Modellparameter, die Modellergebnisse und das Modellverhalten nachfolgend beschrieben:

- Modellparameter beschreiben in der Nutzenfunktion den Einfluss der jeweiligen Kenngröße auf die Wahlentscheidung. Die Überprüfung der Modellparameter kann beispielsweise die Kontrolle der Vorzeichen und die qualitative Größenordnung beinhalten.
- Zur Überprüfung der Modellergebnisse werden berechnete Modellwerte erhobenen Werten gegenübergestellt und mittels Gütemaß evaluiert. Ein Gütemaß für die Überprüfung von Einzelwerten stellt beispielsweise der GEH-Wert dar (vgl. PESTEL ET AL. (2016), DEPARTMENT FOR TRANSPORT (2014)). Es werden die Ergebnisse aus allen Modellstufen überprüft. Typische Kenngrößen, die für die Überprüfung herangezogen werden, sind mittlere Wegezähl je Personengruppe, Reiseweiten- oder Reisezeitverteilung, Mittelwerte des Modal-Split, Reisezeiten für Quelle-Ziel-Relationen und Belastungen auf Streckenabschnitten. Die hierfür erhobenen Werte stammen aus Haushaltsbefragungen oder Zählungen.
- Zur Überprüfung des Modellverhaltens werden Sensitivitätstests und Realitätstests durchgeführt. Im Rahmen von Sensitivitätstests werden die Modellparameter verändert und damit der Einfluss der Modellparameter auf das Ergebnis überprüft. PESTEL ET AL. (2016) empfehlen hierbei im Besonderen eine Variation von empirisch nicht abgesicherten Parametern, der Konstanten der Nutzenfunktion und der Abbruchbedingungen bei einer Gleichgewichtsumlegung. Im Rahmen von Realitätstests werden die Modellvariablen des Verkehrsangebots oder der Strukturdaten verändert. Anschließend wird geprüft, ob die resultierenden Änderungen der Modellergebnisse in den erwarteten Größenordnungen liegen.

Liefern die Ergebnisse der Überprüfungen nicht die gewünschte Qualität, wird das Modell kalibriert. Zur Kalibrierung werden die Modellparameter derart angepasst, dass die berechneten Werte ausreichend genau den erhobenen Werten entsprechen. Ggf. werden anhand der Überprüfungsergebnisse der Tests auch die Eingangsdaten korrigiert oder die Modellspezifikation angepasst. Abschließend erfolgt eine finale Validierung bei der die Modellergebnisse mittels eines ungenutzten Datensatzes überprüft werden. Der Qualitätssicherungsprozess inkl. der Rückkopplungen nach PESTEL ET AL. ist in Abbildung 4 veranschaulicht.

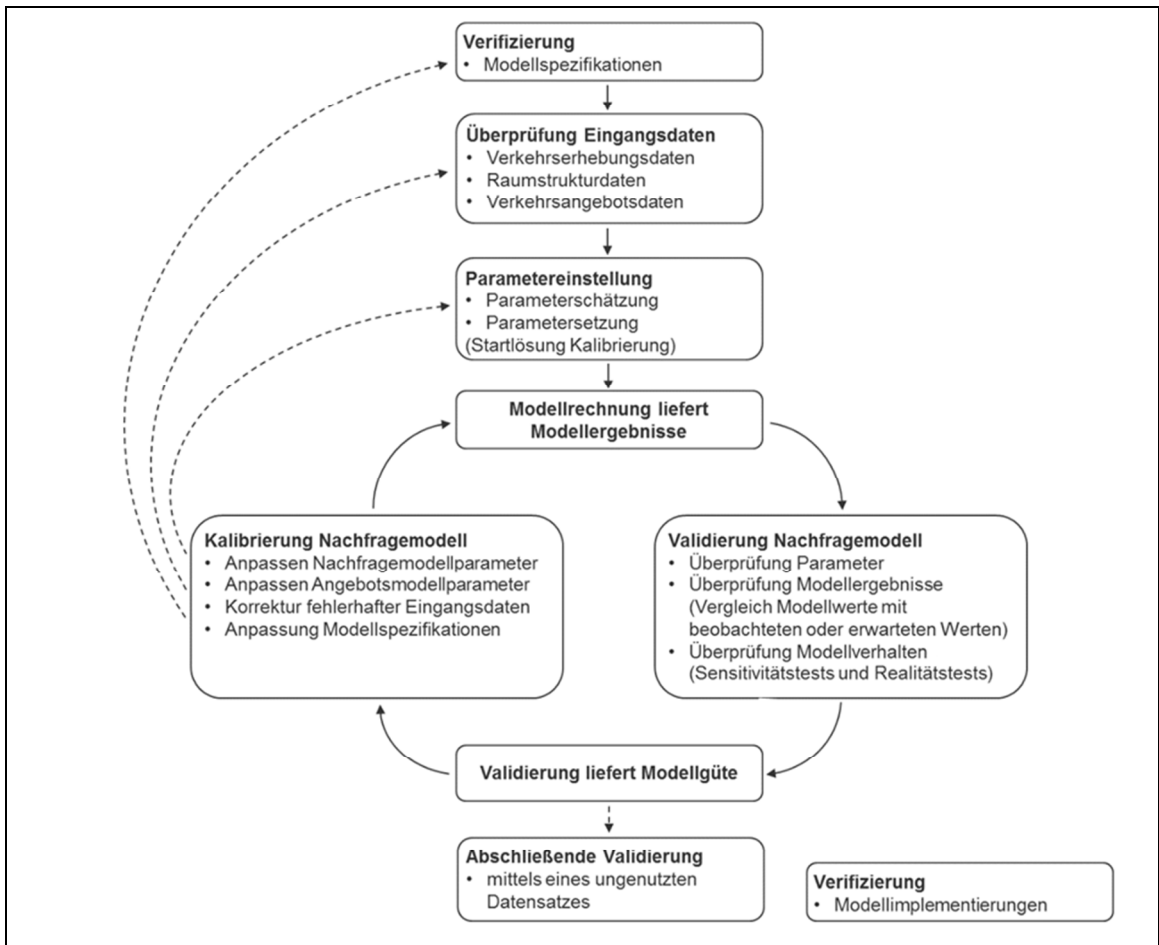


Abbildung 4: Qualitätssicherungsprozess bei der Erstellung eines Verkehrsnachfragemodells (PESTEL ET AL. (2016))

2.2.6 Grenzen bei der Verkehrsnachfragemodellierung

Unabhängig von der Modellqualität weisen alle Modelle, und somit auch Verkehrsnachfragemodelle, Grenzen bei der Abbildung der Realität auf. Nachfolgend werden Grenzen der makroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung beschrieben, die bei der Maßnahmenmodellierung und der Interpretation der Modellergebnisse beachtet werden müssen.

Aussagegenauigkeit

Ein Verkehrsnachfragemodell beinhaltet immer eine gewisse unvermeidbare Unsicherheit, da die Eingangsdaten (Mobilitätsverhaltensdaten, Raumstrukturdaten und Verkehrsangebotsdaten) und Modellabstraktionen ebenfalls Fehlerquellen beinhalten. Mögliche Fehlerquellen sind

- Messfehler bei Erhebungen (z. B. Erfassungsungenauigkeit von Zählgeräten),

- Abweichungen bei der Erhebung des Mobilitätsverhaltens (z. B. durch Zufallsfehler bei Erhebungen durch Befragung einer Stichprobe anstelle der gesamten Bevölkerung oder Falschangaben der Befragten),
- unbekannte Fehler oder Abweichungen in den Eingangsdaten (z. B. durch Zweitwohnsitze) und
- Fehler durch Modellabstraktionen (z. B. Verortung der Einwohner in Verkehrszellen anstelle genauer Wohnadressen).

Es kann festgehalten werden, dass die Aussagegenauigkeit mit zunehmender Aggregation steigt und eine abgesicherte Aussage nur auf einer aggregierten Ebene möglich ist (vgl. FRIEDRICH (2010)).

Modellanwender eines geprüften Modells, mit weitestgehend richtigen Eingangsdaten, können für Prognosen innerhalb des Einsatzbereiches mit einer Genauigkeit für die Prognosewerte der Verkehrsstärke entsprechend der maximal zulässigen Abweichungen zwischen Modell- und erhobenen Werte rechnen, die bei der Validierung der Einzelwerte verwendet wurden (PESTEL ET AL. (2016)). Bei Entscheidungen, die eine hohe Prognosesicherheit fordern, soll nach PESTEL ET AL. mit Sicherheitszuschlägen gearbeitet werden. SAMMER (2016) fordert für Wirkungsprognosen, die mit Modellen des Prognosefalls (Modell, das selbst eine Prognose ist) berechnet sind, generell nicht den statistischen Erwartungswert in Form einer Punktschätzung als Ergebnis herauszugeben, sondern Unsicherheiten durch Angabe der Streuungsbereiche offenzulegen. Hier schlägt SAMMER ein Konfidenzintervall vor, dass sich aus dem 1,96-fachen der Wurzel der mittleren Abweichungsquadrat berechnet. Dies führt in der Praxis zu großen Bandbreiten.

Abbildung von Mittelwerten

Makroskopische Verkehrsnachfragemodelle bilden generell Mittelwerte ab. Hierzu zählen beispielsweise

- mittlere Streckenkapazitäten und
- mittleres Mobilitätsverhalten je Wegezweck / Personengruppe.

In der Realität sind die Streckenkapazitäten und das Mobilitätsverhalten Schwankungen unterworfen. Die Schwankungen des Mobilitätsverhaltens können z. B. bei Straßenverkehrszählungen gemessen werden.

Unbekannte Wirkungszusammenhänge

In Verkehrsnachfragemodellen werden Wirkungszusammenhänge vorgegeben. Den Wirkungszusammenhang zwischen Auslastung und Fahrzeit bildet beispielsweise die CR-Funktion ab und die β -Parameter der Nutzenfunktion eines Entscheidungsmodells das Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer. Die Abbildung von Wirkungszusammenhängen setzt voraus, dass diese durch empirische Untersuchungen bekannt und belegt sind.

Wirkungsprognosen für Maßnahmen, deren Wirkungszusammenhänge unbekannt sind, können nur durch Schätzung der Zusammenhänge abgebildet werden. Hierzu zählen z. B.

- bewusstseinsbildende Maßnahmen und
- neue Angebote im Bereich geteilter Verkehrsmittel.

Abbildung von Neuverkehren

Die „Hinweise zum induzierten Verkehr“ (vgl. FGSV (2005)) unterscheiden bei den Wirkungen, die eine Maßnahme auf das Verkehrsgeschehen ausübt, zwischen primär induziertem Verkehr und sekundär induziertem Verkehr. Der primär induzierte Verkehr umfasst nach den Hinweisen den gesamten verlagerten und neu hinzukommenden Verkehr, der durch eine Maßnahme kurzfristig verursacht wird. Bewirkt eine Maßnahme langfristig raumstrukturelle Veränderungen, die auf das Verkehrsgeschehen zurückwirken, spricht man hingegen vom sekundär induzierten Verkehr.

Verkehrsnachfragemodelle berechnen kurzfristige Veränderungen, die sich nach einer Einführungsphase, in der sich die Verkehrsteilnehmer an die neuen Bedingungen gewöhnen, einstellen. Folgende durch eine Maßnahme verursachten Veränderungen werden in den Hinweisen unterschieden (vgl. FGSV (2005)):

- Intramodale Verlagerungen von Ortsveränderungen
Verlagerung auf andere Routen, wobei Modi und Quelle-Ziel-Relationen unverändert bleiben.
- Intermodale Verlagerungen von Ortsveränderungen
Verlagerung auf andere Modi und ggf. auf andere Routen, bei gleichbleibenden Quelle-Ziel-Relationen.
- Interlokale Verlagerungen von Ortsveränderungen
Änderung der Quelle-Ziel-Relationen und ggf. Nutzung eines anderen Modus.
- Neu entstehende oder wegfallende Ortsveränderungen
Zusätzlich durchgeführte Ortsveränderung oder nicht mehr durchgeführte Ortsveränderungen (positiver oder negativer Neuverkehr).

Für die Berechnung von Neuverkehren sind Verkehrserzeugungsmodelle notwendig, welche die Elastizität der Mobilitätsraten durch wohlfahrtsbeschreibende Einflussgrößen und Lagegunst adäquat abbilden können. Die Beurteilung über die Güte der Einbettung einer Verkehrszelle oder eines Gebiets aus Sicht des Verkehrsteilnehmers wird durch die Lagegunst ausgedrückt (vgl. SCHNABEL UND LOHSE (1997)). Laut der Veröffentlichung „Hinweise zum induzierten Verkehr“ sind Verkehrserzeugungsmodelle mit elastischen Mobilitätsraten grundsätzlich verfügbar und genügen den Anforderungen zur Abbildung des Wohlfahrtseinflusses, jedoch ist der Einfluss der Lagegunst auf den Neuverkehr wenig empirisch untersucht (vgl. FGSV (2005)). Aus diesem Grund kommen bei Verkehrserzeugungsmodellen in der Regel konstante Mobilitätsraten zum Einsatz.

Nach FGSV (2005) ist die Elastizität der Mobilitätsrate bei Pflichtaktivitäten im Allgemeinen gering, soweit es sich nicht um verkehrswirksamen Maßnahmen handelt, die direkt auf die Quantität und Qualität der Pflichtaktivitäten wirken. Bei anderen Aktivitäten können größere Elastizitäten auftreten, die jedoch durch elastische Budgetbegrenzungen von Reisezeit und Reisekosten beschränkt werden. Rückblickend betrachtet zeigte die Abnahme der Arbeitszeit und die Steigerung der Wohlfahrt in Verbindung mit der Zunahme des frei verfügbaren Einkommens, vor allem durch die Zunahme des Motorisierungsgrads, den größten Einfluss auf die Mobilitätsrate (vgl. FGSV (2005)).

Empirische Untersuchungen zur Wirkung der Western Extension Zone 2006 im Rahmen der Congestion Charge in London wie auch zur Wirkung des Nulltarifs und Ausbau des ÖV-Angebots in der Stadt Hasselt zeigen, dass Maßnahmen die Mobilitätsrate beeinflussen können. 30 % der in London befragten Bürger gaben an, auf Fahrten zu verzichten (negative Neuverkehre) (vgl. TRANSPORT FOR LONDON (2008)). Eine Untersuchung in Hasselt ergab, dass 33 % der gewonnenen Fahrgäste aus Neuverkehren resultieren (KALBOW (2001)).

Auswirkungen auf die Flächennutzung und auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit

Wenn eine Maßnahme raumstrukturelle, wirtschaftsstrukturelle und demografische Veränderungen verursacht, die wiederum auf das Verkehrsgeschehen einwirken, spricht man von langfristigen Wirkungen oder sekundär induziertem Verkehr (FGSV (2005)). Langfristige Wirkungen können mit Verkehrsnachfragemodellen nicht abgebildet werden. Zur Abbildung langfristiger Wirkungen ist eine Kopplung von Verkehrsnachfragemodellen mit Flächennutzungsmodellen notwendig. Diese sogenannten integrierten Entwicklungsmodelle sind komplex und schwierig zu handhaben. Weiterführende Literatur zu diesem Thema bieten WEBSTER UND DASGUPTA (1991); WEGENER UND SPIEKERMANN (1996).

Eine Maßnahme kann ebenfalls Veränderungen der Verkehrsmittelverfügbarkeit bewirken. Aktuelle empirische Untersuchungen zur Wirkung von Carsharing kommen beispielsweise zu der Schlußfolgerung, dass Carsharing dazu beiträgt, den Pkw-Bestand in Haushalten zu reduzieren (vgl. LOOSE (2016); SCHREIER ET AL. (2015)). Zur Abbildung dieser Wirkungen ist ein zusätzliches Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell notwendig. Hinweise darauf, inwieweit diese Veränderungen den kurz- oder langfristigen Wirkungen zuzuordnen sind, können der Literatur zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit nicht entnommen werden.

2.3 Beispiele zur Maßnahmenmodellierung und Wirkungen städtischer Maßnahmen aus der Literatur

In Kapitel 3 werden maßnahmenspezifische Anforderungen an die Modellstruktur untersucht und Modellierungsvarianten aufgezeigt. In Kapitel 5 werden Wirkungen mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart modelliert, für die anschließend in Kapitel 6 ein Wirkungsvergleich erfolgt. Die nachstehende Literaturanalyse dient dazu, für diese Maßnahmen Wirkungszusammenhänge, bisherige Modellierungsvarianten sowie deren Wirkungen aufzuzeigen.

Nicht für jede in dieser Arbeit betrachtete Maßnahme liegen Untersuchungen zu Wirkungszusammenhängen, Modellierungsvarianten und Wirkungen vor. Aus diesem Grund variiert der Umfang der folgenden Literaturanalyse der einzelnen Maßnahmen. Aufgezeigte Wirkungen können dabei aus Modellberechnungen stammen oder auch auf empirischen Untersuchungen in Form von Evaluationen der umgesetzten Maßnahmen basieren.

Die Literaturanalyse zu den Maßnahmen folgt der Struktur der Maßnahmenkategorien (vgl. Kapitel 2.3). Die Maßnahmen werden zunächst beschrieben und ggf. Wirkungszusammenhänge, Modellierungsvarianten und Wirkungen dargelegt.

2.3.1 Maßnahmen der Siedlungsstruktur

Erschließung von neuen oder Verdichtung von bestehenden Siedlungsgebieten

Diese Maßnahme umfasst die Erschließung von neuen sowie die Verdichtung bestehender Siedlungsgebiete. Verdichtung bedeutet in diesem Zusammenhang die Nutzung freistehender Flächen innerhalb bestehender Gebiete.

Maßnahmen der Siedlungsstruktur sind Standardanwendungsfälle für Verkehrsnachfragemodelle und werden üblicherweise im Rahmen von Regionalentwicklungsplänen untersucht. Empirische Untersuchungen in Form von Haushaltsbefragungen zeigen, dass das Mobilitätsverhalten neben der Einkommenssituation auch von den Siedlungstypen abhängig ist und Maßnahmen der Siedlungsstruktur eine Bedeutung für die Verkehrsplanung besitzen. Die Ergebnisse der Haushaltsbefragungen der Mobilität in Deutschland (vgl. INFAS DLR (2010)) zeigen beispielsweise, dass in Kernstädten die Einwohner weniger Kilometer pro Tag zurücklegen als in verdichteten und in ländlichen Kreisen. Die unterschiedlichen Angebotsqualitäten der Siedlungstypen spiegeln sich ebenfalls in der ÖPNV-Nutzung wieder. In ländlichen Kreisen fällt die ÖPNV-Nutzung geringer aus als in verdichteten Kreisen oder Kernstädten. Zur Schätzung des Verkehrsaufkommens neuer Gebiete oder Nutzungen können neben Haushaltsbefragungen die „Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von

Gebietstypen“ (FGSV (2006b)) herangezogen werden. Veröffentlichungen zu Modellierungsvarianten liegen nicht vor.

2.3.2 Maßnahmen der Infrastruktur

Strecken Neubau, -ausbau, -rückbau im Straßenverkehrsnetz

Die Maßnahme umfasst den Neu-, den Aus- und Rückbau eines Streckenzuges. Ein Streckenzug erstreckt sich über mindestens zwei Knotenpunkte. Unter Rückbau wird in dieser Arbeit eine Maßnahme verstanden, welche die Kapazität des betreffenden Streckenzuges reduziert. Unter Ausbau wird eine Maßnahme verstanden, die eine Kapazitätserhöhung mit sich bringt. Die Definitionen weichen von denen der Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (kurz RASt) (FGSV (2006c)) ab.

Strecken Neubau, -ausbau und -rückbau sind Standardanwendungen von Verkehrsnachfragemodellen. Diese Maßnahmen werden typischerweise auch im Rahmen von Verkehrsentwicklungsplänen untersucht. Für den Verkehrsentwicklungsplan Bremen 2025 (VEP BREMEN (2014)) wurden beispielsweise alleine 60 Aus- und Umbaumaßnahmen im Straßenverkehrsnetz für den Basisfall 2025 (0-Fall) betrachtet. Die Modellstruktur des verwendeten Verkehrsnachfragemodells und die Modellierungsvariante werden im VEP typischerweise nicht beschrieben (vgl. VEP BREMEN (2014); VEP FREIBURG (2008); VEP KARLSRUHE (2013)).

Neu-, Aus-, Rückbau von P+R-Anlagen

Die Maßnahme umfasst den Neu-, den Aus- und Rückbau von P+R-Anlagen. Eine P+R-Anlage ist ein Parkplatz, welcher in unmittelbarer Nähe eines Bahnhofs oder einer Haltestelle angelegt ist und zum Abstellen der Pkw von Fahrgästen öffentlicher Verkehrsmittel dient (FGSV (2012a)).

Eine Einsteigerbefragung an Schienenhaltestellen in der Region Stuttgart zeigt, dass P+R-Anlagen mit 87 % überwiegend von Berufs- und Ausbildungspendler genutzt werden (vgl. VRS (2016)). Das durch zusätzliches P+R-Angebot Neukunden im ÖV gewonnen werden können, verdeutlicht der Neubau einer P+R-Anlage in Fröttmaning bei München. Hier sind 26 % der P+R-Nutzer Neukunden des ÖV (vgl. CSALLNER ET AL. (1995)). Werden die P+R-Anlagen von Berufs- und Ausbildungspendlern genutzt ist davon auszugehen, dass hier Zeitkarten im ÖV gekauft werden.

Strecken Neubau, -ausbau, -rückbau des Radverkehrsnetzes

Diese Maßnahme umfasst den Neubau von Strecken zur Netzverknüpfung innerhalb des Radverkehrsnetzes (Schließung von Netzlücken) und den Ausbau und Rückbau derselben. Die Maßnahmen Aus- und Rückbau umfassen die Änderung der

Bemessung von Radverkehrsanlagen, des Belages der Deckschicht und der Radverkehrsführung.

Zu den Führungsformen zählen z. B. (vgl. FGSV (2010b))

- auf der Fahrbahn im Mischverkehr oder mit Schutzstreifen,
- auf Radfahrstreifen,
- auf fahrbahnbegleitenden Radwegen oder gemeinsamen Geh- und Radwegen sowie
- auf selbstständig geführten Radwegen oder gemeinsamen Geh- und Radwegen.

Die unterschiedlichen Führungsformen ermöglichen unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten. BAIER ET AL. (2013) leiten auf Basis von Literaturangaben und eigenen Annahmen für die einzelnen Führungsformen Fahrgeschwindigkeiten ab. Empirische Untersuchungen hierzu, durch welche die mittleren Fahrgeschwindigkeiten auf den unterschiedlichen Führungsformen ermittelt wurden, sind nicht bekannt.

BAIER ET AL. (2013) modellieren für die Fallbeispiele Gütersloh, Coburg, und Mönchengladbach Änderungen im Radverkehrsnetz. Die verkehrlichen Wirkungen der regelwerkskonformen Umgestaltungen der vorhandenen Radverkehrsanlagen und Ergänzungen im Radverkehrsnetz werden mit einem makroskopischen Verkehrsnachfragemodell quantifiziert. Hierzu werden die Fahrgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Führungsform und Längsneigung berechnet und im Netzmodell angepasst.

Ergebnisse der Wirkungsberechnung des wegebezogenen Modal-Split (Gesamtverkehr ohne Durchgangsverkehr) ergeben für die Fallbeispiele eine Reduzierung des MIV-Anteils zwischen 1 und 6 %-Punkten und eine Erhöhung des Rad-Anteils zwischen 2 und 9 %-Punkten. Die Änderung der Anteile des ÖPNV und Fuß sind jeweils geringer. Die Untersuchung zeigt, dass eine Reduzierung der MIV-Wege und Erhöhung der Rad-Wege in allen Fallbeispielen möglich ist, das Potential im Wesentlichen jedoch von der Ausgangssituation abhängt. Empirische Untersuchungen zu Wirkungen von Änderungen des Radverkehrsnetzes sind nicht bekannt.

2.3.3 Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel

Carsharing – stationsbasiert und free-floating

Es existieren zwei Ausprägungen des Carsharings. Zum einen das stationsbasierte Carsharing, welches Fahrzeuge an festen Stationen zum Mieten anbietet. Hierbei wird das Fahrzeug zur Miete vorab für eine bestimmte Zeit reserviert und an einer festen Station abgeholt. Üblicherweise müssen die Fahrzeuge auch an derselben festen Station zurückgegeben werden. Vereinzelt erlauben Anbieter auch die Rückgabe an einer beliebigen festen Station. Zum anderen existiert das free-floating Carsharing, bei welchem die Fahrzeuge innerhalb des definierten Geschäftsgebiets beliebig abgestellt

werden können. Eine Reservierung ist typischerweise nur für eine kurze Zeit möglich, wird bei Nichtantreten der Fahrt automatisch storniert und das Fahrzeug für potentielle andere Nutzer wieder freigegeben. Das Ausleihen der Fahrzeuge ist in beiden Fällen nur für angemeldete Nutzer möglich.

Die aktuellen empirischen Studien WiMobil (WIMOBIL (2016)), EVA-CS (SCHREIER ET AL. (2015)) und bcs (LOOSE (2016)) untersuchen die Wirkungszusammenhänge von Carsharing-Systemen anhand eines Vergleichs von Nutzern und Nicht-Nutzern. Einen Überblick zu Nutzern und Nutzungsverhalten bietet ebenfalls die Untersuchung von SOMMER ET AL. (2016a). Die Untersuchungen zeigen, dass die beiden Carsharing-Angebote gegenwärtig von einer bestimmten Bevölkerungsgruppe genutzt werden. Die Nutzer sind überwiegend männlich, hochgebildet, verfügen über ein hohes Einkommen und wohnen im Stadtgebiet. Der free-floating-Nutzer ist im Durchschnitt etwas jünger als der des stationsbasierten Systems. In den Haushalten der Carsharing-Nutzer sind seltener private Pkw vorhanden als im Durchschnitt dieser Personengruppe. Des Weiteren zeigen die empirischen Analysen, dass beide Systeme dazu beitragen den Pkw-Bestand in Haushalten zu reduzieren (LOOSE (2016); SCHREIER ET AL. (2015)). Die Abschaffung eines privaten Pkw wird wahrscheinlicher, wenn beide Systeme genutzt werden können (WIMOBIL (2016)). Carsharing ergänzt aus Sicht der Nutzer das Angebot und wird von der Mehrheit unregelmäßig, monatlich oder seltener genutzt. Bei den Fahrzwecken zeigt sich, dass stationsgebundene Systeme eher für unregelmäßige Rundfahrten (z. B. Wochenendfahrten, längere Dienstreisen oder zur Durchführung von Großeinkäufen) genutzt werden. Die free-floating-Systeme werden für regelmäßige und unregelmäßige Fahrten genutzt, wobei die Fahrten kürzer als bei stationsbasierten-Systemen und oft One-Way-Fahrten sind. Zudem zeigen Befragungen der Nutzer beider Systeme, dass nicht alle Fahrten mit alternativen Angeboten durchgeführt werden, wenn keine Carsharing-Fahrzeuge zur Verfügung stehen. Auf ein Teil der Fahrten verzichten die Nutzer komplett, wenn sie kein Carsharing-Fahrzeug nutzen können (vgl. WIMOBIL (2016)).

Die Nutzung des zusätzlichen Angebots kann viele Gründe haben. In den meisten Fällen ist Bequemlichkeit oder die Möglichkeit Zeit und Kosten zu sparen ausschlaggebend (WIMOBIL (2016)). Hinsichtlich des Mobilitätsverhaltens zeigt sich, dass sich die Nutzer multimodaler fortbewegen, im Vergleich zu Nicht-Nutzern mehr Wege durchführen und eine hohe ÖV-Affinität unter den Nutzern besteht.

Makroskopische Ansätze zur Modellierung von Carsharing werden momentan erforscht und Teilmodelle zur Abbildung der Sharingsysteme entwickelt. Mikroskopische Ansätze sind diesbezüglich bereits weiterentwickelt. Hierzu zählen die agentenbasierten Nachfragemodelle MATSIM und mobiTopp (vgl. CIARI ET AL. 2014), (vgl. HEILIG ET AL. 2017). In mobiTopp wird Carsharing beispielsweise durch zusätzliche Objekte (z. B. Lage der free-floating Pkw und der Carsharing-Stationen), einem Teilmodell „Carsharing-Kunden-Modell“ und durch eine Erweiterung der Moduswahl umgesetzt (HEILIG ET AL. (2017)).

Bei der Modellierung der Wirkungsberechnungen von Carsharingmaßnahmen liegt die derzeitige Herausforderung in der Datenverfügbarkeit zur Validierung und Kalibrierung der Verkehrsnachfragemodelle, da Daten zu Nutzern und Nutzungsverhalten schwer zugänglich sind. Dies trifft insbesondere auf Daten des schnell wachsenden Free-floating-Sektors zu, der erst seit 2007 auf dem deutschen Markt anzutreffen ist. Zudem ist der Anteil der Nutzer in der Bevölkerung und somit auch die Anzahl an Nutzern bei Haushaltsumfragen niedrig (HEILIG ET AL. (2017)).

Fahrradverleihsysteme – stationsbasiert

Öffentliche Fahrradverleihsysteme (kurz ÖFVS) sind öffentlich zugängliche Leihfahräder im Selbstbedienungsbetrieb. Beim stationsbasierten ÖFVS ist die Rückgabe typischerweise an einer beliebigen Station möglich (vgl. RABENSTEIN (2015)).

Empirische Untersuchungen zu Wirkungszusammenhängen zeigen, dass Fahrradverleihsysteme ebenfalls von einer bestimmten Nutzergruppe genutzt werden. Der typische ÖFVS-Nutzer ist männlich, zwischen 20 und 49 Jahre alt, studiert oder ist in Vollzeit erwerbstätig, weist eine hohe ÖV-Affinität auf und besitzt eine ÖV-Zeitkarte (vgl. RABENSTEIN (2015)). Das Mobilitätsverhalten von ÖFVS-Nutzern ist multimodal und intermodal und die ÖFVS-Nutzer legen mehr Wege und Kilometer zurück als der Durchschnitt der Bevölkerung. Nach Rabenstein werden durchschnittlich von 10 zurückgelegten ÖFVS-Wegen 3 bis 6 im Vor- und Nachlauf mit dem ÖV intermodal durchgeführt. Das ÖFVS ersetzt überwiegend ÖV- und Fußwege.

Veröffentlichungen zu Modellierungsvarianten von Fahrradverleihsystemen liegen noch nicht vor. Die Herausforderungen bei der Modellierung von Fahrradverleihsystemmaßnahmen für Wirkungsberechnungen sind prinzipiell dieselben wie bei Carsharing.

Ridesharing

Bei Ridesharing werden freie Plätze in privaten Pkw Dritten über öffentlich zugängliche Mitnahmesysteme zur Verfügung gestellt und über eine in der Regel internetbasierte Plattform angeboten (vgl. SOMMER ET AL. (2016b)). Private Fahrdienste (z. B. Uber), bei denen eine Fahrt nur stattfindet um Dritte zu transportieren, sind kein Ridesharing. Diese werden als Rideselling bezeichnet (vgl. MEHLERT UND SCHIEFELBUSCH (2017)).

Eine empirische Untersuchung, bei der Nutzer des internetbasierten Angebots „Mitfahrgelegenheiten.de“ befragt wurden, ergab, dass dieses von einer spezifischen Nutzergruppe genutzt wird. Der durchschnittliche Mitfahrende ist 25 Jahre alt (50 % Studierende) und der Fahrende ist 29,5 Jahre alt. Ein Anteil der Nutzer verzichtet aufgrund des Angebots auf die Anschaffung eines eigenen Pkw (vgl. STEGMÜLLER UND STRAUß (2006)). Untersuchungen zu privaten Vermittlungen liegen nicht vor.

Veröffentlichungen zu Modellierungsvarianten mit Verkehrsnachfragemodellen von Ridesharing sind nicht bekannt.

Die oben angeführte Befragung ermittelt als Wirkung hauptsächlich das Ersetzen von Fahrten, die sonst mit der Bahn (82 %) oder mit dem eigenen Pkw (7 %) durchgeführt würden. Ein weiterer nennenswerter Anteil der Befragten würde komplett auf die Fahrt verzichten (4 %), falls keine Mitfahrgelegenheit gefunden wird. Durch vermittelte Fahrten steigt der mittlere Besetzungsgrad beteiligter Pkw bei Mitfahrgelegenheit.de von durchschnittlich 2,26 auf 3,54 Personen / Pkw an. (STEGMÜLLER UND STRAUß (2006))

Rideselling mit Pooling – free-floating

Unter Rideselling fallen kommerzielle Fahrzeugfahrten, bei denen die Fahrt nicht ohne den Fahrtwunsch der Fahrgäste stattfinden würde. Rideselling mit Pooling (Nachfragebündelung) im free-floating Betrieb unterscheidet sich vom klassischen ÖV dadurch, dass die Fahrzeuge nicht nach einem festen Linienverlauf oder Fahrplan und nicht unbedingt zwischen Haltestellen verkehren und somit einen Tür-zu-Tür-Service ermöglichen. Zu diesem Angebot zählen z. B. der Anrufbus und die deutschen Start-Ups Clever Shuttle sowie Allygator Shuttle, die 2016 den Mobilitätsmarkt betreten haben (vgl. MEHLERT UND SCHIEFELBUSCH (2017)).

Für die Modellierung ist ein Teilmodell, welches die Fahrtwünsche mit den Fahrzeugen koordiniert, notwendig. Eine Möglichkeit der Umsetzung dieses Teilmodells zeigt das Projekt MEGAFON (Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs) auf (vgl. FRIEDRICH UND HARTL (2016)). Hierbei werden zuerst die Personenfahrten ermittelt und anschließend durch einen Bündelungsalgorithmus in Fahrzeugfahrten umgerechnet. Der Algorithmus bestimmt für jede Personenfahrt eine Route und vereinfacht die Streckenfolge der Route zu einer Folge von durchfahrenen Verkehrszellen. Hierbei ist für jede Personenfahrt eine Wunschabfahrtszeit bekannt. Die Wunschabfahrtszeit wird als Fahrtwunsch interpretiert, der in einem 15-Minutenzeitintervall zu bedienen ist. Gebündelt werden Fahrtwünsche zu Fahrzeugfahrten, wenn sie zeitlich zueinander passen und die Folge von Verkehrszellen komplett oder für eine Teilfolge übereinstimmt.

2.3.4 Maßnahmen im Liniennetz und Fahrplanangebot

Änderung der Anzahl an Servicefahrten, Änderung der Betriebsdauer und des Liniennetzes

Bei Änderung der Anzahl an Servicefahrten werden Servicefahrten für ausgewählte Linien und Tageszeiten innerhalb der Betriebsdauer im Fahrplanangebot erhöht oder reduziert. Wird die Betriebsdauer geändert wird das Zeitfenster, in dem Servicefahrten angeboten werden, vergrößert oder verkleinert. Bei Änderung des Liniennetzes werden Linien verlängert, gekürzt, eingeführt, gestrichen oder die Linienführung angepasst.

Als Beispiel für ein Maßnahmenbündel das eine Änderung der Anzahl an Servicefahrten und des Liniennetzes beinhaltet kann die Busnetzumstellung in Dresden 2010 genannt werden. Hier wurde durch Verkürzung und Verlängerung bestehender und Einführung neuer Buslinien das Busliniennetz umstrukturiert. Durch die Änderung erweitert sich das Streckennetz um 12 %. Ebenfalls wurden für einzelne Buslinien die Anzahl an Servicefahrten erhöht und für andere verringert. Ein Jahr nach Inbetriebnahme des neuen Busliniennetzes wurde eine Steigerung der Nachfrage um 3 % ermittelt.

Ein weiteres Beispiel zu dieser Maßnahmenklasse ist die Verlängerung der Stadtbahnstrecke Karlsruhe - Wörth nach Germersheim. Die Strecke wird im Halbstundentakt bedient und ermöglicht es Berufspendlern auf der Strecke zwischen Pfalz und Baden auf den ÖV umzusteigen. Bei Betriebsaufnahme wurden 4.200 Fahrgäste / Tag (Montag - Freitag) befördert und 3 Jahre später waren es 38 % mehr. (vgl. MAUERSBERG (2015))

Ein Beispiel aus dem Busverkehr ist die Schnellbuslinie Lüdinghausen - Münster mit einem Linienweg pro Richtung von 30 km. Diese Linie verkehrt zusammen mit fünf weiteren Schnellbuslinien zwischen Münster und dem Umland. 1990 startete die Schnellbuslinie mit Zwischenhalt in Senden und löste eine bestehende Linie durch einen neuen und schnelleren Linienweg über die Autobahn ab. Der Bedienungszeitraum ist zwischen 5:30 Uhr und 20:00 Uhr. Zwischen 1990 und 2006 wurde die Schnellbuslinie durch weitere Maßnahmen (Taktverdichtungen, größere Gelenkbusse und Einfuhr einer direkten Verbindung ohne Halt in Senden) optimiert. Nach diesen Maßnahmen wird während des gesamten Bedienungszeitraums durchgehend mindestens ein 30-Minuten-Takt angeboten. Hierbei wird morgens ein 20-Minuten-Takt, und ab dem Zwischenhalt Senden ein 10-Minuten-Takt, angeboten. Von 1991 sind die Fahrgäste / Werktag (Montag - Freitag) von 1.022 bis zum Jahr 2006 auf 2.903 angestiegen. (vgl. FGSV (2010a))

2.3.5 Maßnahmen der Ordnungspolitik

Änderung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit

Die Maßnahme umfasst die Änderung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit im Straßenverkehrsnetz.

Mit Hilfe von GPS-basierten Messungen und Verfolgungsfahrten erstellte empirische Untersuchungen zum Einfluss einer Reduzierung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit von 50 km / h auf 30 km / h ergeben, dass durch die Geschwindigkeitsreduzierung ein homogenerer Verkehrsfluss erreicht werden kann (vgl. HEINRICHS ET AL. (2015); RETZKO UND KORDA (1999)). Zu dieser Maßnahme liegen keine Veröffentlichungen zu Modellierungsvarianten vor.

Die bei einer Reduktion von 50 km / h auf 30 km / h gemessenen realen Zeitverluste (inkl. Halte und Stauungen) liegen tagsüber bei 2 sek / 100 m (vgl. HEINRICHS ET AL. (2015)). Bedingt durch den homogeneren Verkehrsfluss wird bei den Verfolgungsfahrten der Kraftstoffverbrauch reduziert (vgl. RETZKO UND KORDA (1999)).

Empirische Begleituntersuchungen zu Änderung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit von 50 km / h auf 30 km / h auf Hauptverkehrsstraßen stellen in Erfurt keine und in Berlin keine deutlichen Verlagerungseffekte ins Nebenstraßennetz fest (vgl. STADT ERFURT/VMZ (BEARB.) (2012); SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN/VMZ (BEARB.) (2007)). Da bisher wenige Begleituntersuchungen Verlagerungseffekte untersuchen empfehlen HEINRICHS ET AL. (2016) bei Reduzierungen der zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten an Hauptverkehrsstraßen eventuelle Verlagerungseffekte bei der Routenwahl im Vorfeld zu prüfen und ggf. begleitende Maßnahmen zur Verhinderung von unerwünschten Verlagerungseffekten durchzuführen. Ergebnisse aus empirischen Untersuchungen oder Modelluntersuchungen zu Wirkungen auf die Moduswahl liegen nicht vor.

Umweltzonen

Umweltzonen sind ausgewiesene Gebiete die nur Fahrzeuge befahren dürfen, die definierte Abgasstandards erfüllen. Fahrzeuge werden in Deutschland derzeit abhängig von den Abgasemissionen in vier Schadstoffgruppen eingeteilt und Plaketten entsprechend der Schadstoffgruppe vergeben. Die jeweilige Umweltzone dürfen nur Fahrzeuge befahren, die eine für die Umweltzone zugelassene Plakette besitzen.

Es wird vermutet, dass die Maßnahme die Erneuerungsdauer der Fahrzeugflotte verringert und in Folge dessen, durch modernere Fahrzeugtechnik, die Emissionen gemindert werden können. Ob die Einführung von Umweltzonen 2008 zu einer beschleunigten Erneuerung der Fahrzeugflotten in Städten führte, konnte durch Auswertung von Zulassungsdaten des Kraftfahrtbundesamtes aufgrund gleichlaufender allgemeiner Entwicklungen nicht nachgewiesen werden (vgl. DIEGMANN UND PFÄFFLIN (2015)).

Veröffentlichungen zu Modellierungsvarianten von Umweltzonen liegen nicht vor.

Die Ergebnisse der Untersuchung von BOLTZE ET AL. (2014) veranschaulichen, dass Umweltzonen einen Einfluss auf die Schadstoffkonzentrationen haben können. Die Analyse von Feinstaub- und Stickoxidkonzentrationen auf der Basis von Luftmessdaten für ganz Deutschland zeigen einen um durchschnittlich ca. $2 \mu\text{g} / \text{m}^3$ stärkeren Rückgang der Feinstaubkonzentration (PM_{10}) an Stationen in Umweltzonen verglichen mit Stationen außerhalb von Umweltzonen. Ebenfalls konnten leicht positive Effekte bei der Stickoxidkonzentration festgestellt werden. Die Ergebnisse von BOLTZE ET AL. decken sich mit anderen Studien, wie z. B. mit den Ergebnissen der Wirkungsuntersuchung zur Umweltzone in Berlin (vgl. RAUTERBERG-WULFF UND LUTZ (2011)).

2.3.6 Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik

Parkraumbewirtschaftung

Parkraumbewirtschaftung ist eine Maßnahme im öffentlichen Straßenraum zur Steuerung der Parkraumnachfrage von Anwohnern, ortsansässigen Geschäftsleuten, Besuchern, Beschäftigten und Dienstleistern (z. B. Handwerkern). Erheben von Parkgebühren, Beschränkung der zulässigen Parkdauer und Einschränkung der Benutzerberechtigung auf bestimmte Nachfragegruppen (z. B. Anwohnerparken) stehen als Instrumente für die Steuerung zur Verfügung. Die Instrumente können tageszeitlich und räumlich differenziert angewendet werden. In dieser Arbeit beinhaltet die Maßnahme Parkraumbewirtschaftung das Steuerinstrument Parkgebühren. Daher ist diese Maßnahme der Kategorie Preis- und Tarifpolitik zugeordnet.

BÖHNKE (2005) analysiert die Wirkungszusammenhänge von Parkraumbewirtschaftung anhand von Ergebnissen empirischer Untersuchungen u. a. von FEIER ET AL. (1999), HUBER-ERLER (1998) und LÖNHARD (2000). BÖHNKE kommt zum Ergebnis, dass die Verkehrszielwahl großräumig betrachtet nur gering beeinflusst wird, es vermehrt zu kleinräumigen Verlagerungen in die unmittelbare Umgebung kommt und Anwohner sowie Beschäftigte durch Parkraumbewirtschaftung, soweit diese vorhanden sind, auf private Stellplatzangebote zurückgreifen. Ebenso zeigt sich eine mögliche Beeinflussung der Moduswahl. Die Wirkung auf die Moduswahl hängt gleichzeitig aber auch vom privaten Stellplatzangebot und dem ÖPNV-Angebot ab. In der Stadt Tillburg (150.000 Einwohner) führte beispielsweise eine flächendeckende Parkraumbewirtschaftung mit Parkvorrechten für Anwohner und Geschäftsleute neun Monate nach Einführung zu einer Zunahme der ÖPNV-Nutzung bei den Beschäftigten um 17 % (vgl. APEL UND LEHMBROCK (1990)). Für Beschäftigte ist hierbei anzunehmen, dass eine Zeitkarte gekauft wird.

Nach BÖHNKE kann des Weiteren eine Erhöhung der Parkwechselforgänge durch Einführung von Höchstparkdauern und Parkgebühren erreicht werden. Die Wirkungen sind, bedingt durch die unterschiedlichen Aktivitätendauern, grundsätzlich vom Wegezweck und auch von einer ausreichenden Parküberwachung abhängig. Die Untersuchung in München von GRÖTSCH ET AL. (2004) widerlegt das Argument, Parkraumbewirtschaftung erhöhe die Parkwechselforgänge durch Verdrängung von Langzeitparkern sowie Dauerparkern bei gleichzeitiger Zunahme der Anzahl an Kurzzeitparkern. Es konnte eine Verdrängung von Langzeitparkern und Dauerparkern erreicht werden, die Anzahl an Kurzzeitparkern hat sich jedoch in der genannten Untersuchung, nach einem kurzen Einbruch in Folge der Einführung der Parkraumbewirtschaftung, wieder auf die Ausgangsmenge eingependelt.

BAIER ET AL. (2000) beschreiben eine statische und BÖHNKE eine pseudodynamischen Modellvariante zur makroskopischen Modellierung von Parkraumbewirtschaftung.

BÖHNKE bildet das Parkraumangebot über Parkknoten und Parkstrecken ab und berücksichtigt die tageszeitliche Dynamik des Parkraumangebots sowie die Parkdauer in Abhängigkeit des Wegezwecks anhand eines pseudodynamischen Ansatzes mit stundenfeinen Zeitintervallen. Über Parkknoten werden räumlich nah beeinanderliegende und homogene Parkraumangebote zusammengefasst. Die Homogenität desselben wird durch die Art des Parkraumangebots (z. B. Parkhaus oder öffentlicher Straßenraum) und des zugehörigen Bewirtschaftungskonzeptes bestimmt. Parkstrecken sind den Parkknoten zugeordnet und bilden den Zugangswiderstand als Streckenwiderstand ab. Der Zugangswiderstand berücksichtigt die Parkkapazität, Parkgebühren, Parkhöchstdauer und Parkberechtigungen in Abhängigkeit des Wegezwecks und der Zeitscheibe. Anbindungen verbinden die Verkehrszellen und die Parkknoten miteinander. Zur Abbildung kleinräumiger Verlagerungen (Parkverdrängungsverkehr) sind Verkehrszellen an mehrere Parkknoten und Parkknoten an mehrere Verkehrszellen angebunden. Bei der stundenfeinen Umlegung der Zeitintervalle wird die Belegung der Parkknoten berechnet und als Eingangsgröße bei der nächsten Zeitscheibe berücksichtigt. Da der Zugangswiderstand vom Wegezweck abhängig ist, erfolgt die Umlegung differenziert nach Wegezwecken. Durch eine Entscheidungsrückkopplung geht der Einfluss des Parkraumangebots über Kenngrößen in die Ziel- und Moduswahl ein.

BAIER ET AL. verwenden einen statischen Vier-Stufen-Algorithmus zur Modellierung der Auswirkungen von Parkraumbewirtschaftung. Die Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrserzeugung und Verkehrszielwahl wird durch Annahmen vorgegeben. Die Annahmen stützen sich auf empirische Untersuchungen, Längs- und Querschnittsanalysen sowie Literaturlauswertungen. Zur Umsetzung von Anwohnerparken und Parkzweckbeschränkungen werden Zu- und Abgangszeiten angepasst. Parkgebühren werden nicht explizit vorgegeben.

Auf Grundlage der Modellrechnungen, Analysen und Untersuchungen kommen BAIER ET AL. zur Feststellung, dass Parkraumbewirtschaftung einen geringen Einfluss auf das Moduswahlverhalten und das Kfz-Verkehrsaufkommen hat. In Innenstädten kann bezogen auf die täglichen Wege eine Reduktion des Kfz-Zielverkehrs um 5 % und des gesamtstädtische Kfz-Zielverkehrs um 1 % erzielt werden.

Straßenbenutzungsgebühren – Gebietsgebühren und Netzgebühren

Straßenbenutzungsgebühren in Form von Gebietsgebühren sowie Netzgebühren sind fahrtbezogene Straßenbenutzungsgebühren, die tageszeitabhängig und / oder abhängig vom Wochentag erhoben werden können. Durch eine Gebietsgebühr wird das Befahren von Strecken eines bestimmten Gebiets bepreist, durch eine Netzgebühr das Befahren eines Streckenabschnitts oder bestimmtes Streckentyps, z. B. Autobahnen. Werden bei Gebietsgebühren für jede Ein- und Ausfahrt Gebühren erhoben, spricht man von Cordon Pricing, bei Gebühren für eine zeitabhängige Fahrtberechtigung hingegen von Area Licensing. Bei Netzgebühren unterscheidet man zwischen offenen Systemen und geschlossenen Systemen. Bei offenen Systemen

werden Gebühren für Teilabschnitte erhoben, bei geschlossenen Systemen werden die Gebühren aus der Fahrtweite berechnet. Zum Erfassen der Gebühren können manuelle, automatische oder elektronische Systeme eingesetzt werden. Bei manuellen und automatischen Systemen müssen Fahrzeuge gestoppt werden, die Gebühr wird durch Personal oder einen Automaten abgerechnet. Bei elektronischen Systemen werden die Fahrzeuge automatisch erfasst und Gebühren beispielsweise über ein Kundenkonto abgerechnet. (vgl. FRIEDRICH (2016))

Einen Überblick über Ausgestaltung und verkehrliche Wirkungen bereits umgesetzter Gebietsgebühren bieten HAUTZINGER ET AL. (2011), Tabelle 1. Ein umgesetztes Beispiel für Area Licensing ist London, für Cordon Pricing Stockholm. Die Gebietsgebühr wurde in London 2003 eingeführt. Die gebührenpflichtige Londoner Innenstadt umfasst 22 km² (Stand 2006). Bei der ersten Einfahrt zwischen 07:00 und 18:00 Uhr wird eine Tagesgebühr (ca. 9 €) fällig. Das Mautgebiet kann nach Entrichten der Tagesgebühr beliebig oft verlassen und wieder befahren werden. Anwohner des Gebiets bekommen 90 % der Gebühr erlassen. Die Gebühr wird mittels eines elektronischen Systems erhoben. In London hat sich mit der Einführung der Gebietsgebühr die Verkehrssituation innerhalb des Gebiets verbessert. Die Fahrleistung aller Fahrzeuge ist um 14 % (2006 vs. 2002) zurückgegangen. Die Pkw- und Van-Fahrleistung wurde um 27 % reduziert. Die Fahrleistung von Fahrzeugen, die von der Maut befreit sind, hat zugenommen. Die Zeitverluste konnten innerhalb des Gebiets um 22 % (2006 vs. 2002) reduziert werden. Außerhalb des Gebiets haben sich die Fahrleistungen und Zeitverluste erhöht. (HAUTZINGER ET AL. (2011))

In Stockholm wurde die Gebietsgebühr 2006 eingeführt. Das gebührenpflichtige Innenstadtgebiet ist 35 km² groß. Eine Gebühr fällt bei jeder Passage des Gebiets (Einfahrt sowie Ausfahrt) zwischen 06:30 und 18:30 Uhr an. Die Höhe der Gebühr ist von der Tageszeit abhängig (höchste Gebühr beträgt ca. 2 €). Bei Erreichen eines maximalen Tagesbetrages (ca. 6 €) sind weitere Ein- und Ausfahrten unentgeltlich und die Gebühren werden mittels eines elektronischen Systems erhoben. Die Fahrleistung aller Fahrzeuge konnte innerhalb des Gebiets um ca. 16 % (2006 vs. 2005) gesenkt werden. Die Pkw-Fahrleistung konnte um ca. 17 % (2006 vs. 2005) reduziert werden. Die zeitlich gestaffelten Gebühren führen zusätzlich zu einer deutlichen Entlastung in den Spitzenstunden. (HAUTZINGER ET AL. (2011))

Als Beispiel für die Modellierung von Gebietsgebühren kann die makroskopische Modellierungsvariante von IMMISCH (2008) angeführt werden. IMMISCH untersucht die Wirkungen einer Gebiets- und Netzgebühr für die Stadt Dresden. Das verwendete Modell ist ein Tagesmodell, das aktivitätenbasierte Einzelwege simuliert und die Nachfrage in Wegezwecke segmentiert. Für den Personenverkehr wird der Vier-Stufen-Algorithmus angewandt, für den Wirtschaftsverkehr ausschließlich die Routenwahl. Straßenbenutzungsgebühren werden nur für Pkw erhoben. Das Mautgebiet umfasst die Stadtteile Neustadt, Pirnaische Vorstadt, Innere Altstadt, Wilsdruffer Vorstadt, Seevorstadt-West sowie Teile der Seevorstadt von Dresden. Die Gebühren

werden bei der Routenwahl über Streckenwiderstände abgebildet. Die Umrechnung der Gebühren im MIV in Zeitwerte erfolgt mit einem Value of Time (kurz VOT) von 6,40 €/h für den Wegezweck Arbeit und 4,50 €/h für andere Zwecke. IMMISCH berechnet folgende Szenarien:

- Szenario 1 (Gebietsgebühren)
Die Gebühr beträgt 1,70 €/Einfahrt. Die Modellrechnungen ergeben einen Rückgang der Fahrzeugkilometer innerhalb des Gebiets um 58 %.
- Szenario 2 (Netzgebühren)
Die Gebühr beträgt 2 €/km. Die Modellrechnungen ergeben einen Rückgang der Fahrzeugkilometer innerhalb des Gebiets um 90 %.
- Szenario 3 (Gebietsgebühren kombiniert mit Netzgebühren)
Die Gebühr beträgt 1 €/Einfahrt + 0,30 €/km. Die Modellrechnungen ergeben einen Rückgang der Fahrzeugkilometer innerhalb des Gebiets um 73 %.

In allen drei Szenarien geht die Anzahl an Einfahrten in das Mautgebiet stark zurück. Dieser Rückgang ist bedingt durch eine veränderte Verkehrszielwahl, eine veränderte Moduswahl und eine veränderte Routenwahl im Modell. Umfahrungen führen zu einer stärkeren Belastung des Straßenverkehrsnetzes rund um das Mautgebiet.

Änderung von ÖV-Fahrpreisen

Die Maßnahme umfasst die Verteuerung, Vergünstigung sowie das unentgeltliche Ticket, den sogenannten Nulltarif. Die unterschiedlichen Finanzierungsmöglichkeiten des Nulltarifs werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

In Städten, die den Nulltarif eingeführt haben, konnte durch die Maßnahme die Fahrgastzahlen des ÖV erhöht werden. Die nachfolgenden Fallbeispiele zeigen, dass die Zunahmen aus Neuverkehren und Verlagerungen vom nicht motorisierten und motorisierten Verkehr resultieren.

Veröffentlichungen, die Modellierungsvarianten zur Änderung von ÖV-Fahrpreisen beschreiben werden, liegen nicht vor. Ursächlich hierfür mag sein, dass bei Auftraggebern kein Interesse an Veröffentlichung der einnahmenseitigen Ergebnisse besteht. Nach SOMMER UND ROLLINGER (2016) werden zur Berechnung der Nachfrageänderung aufgrund von ÖV-Fahrpreisänderungen häufig vereinfachte Elastizitätsmodelle anstelle von Verkehrsnachfragemodellen eingesetzt. Diese Modelle sind für kurzfristige Prognosen und Prognosezeiträume, in denen keine wesentlichen strukturellen Änderungen auftreten, geeignet.

In der belgischen Stadt Hasselt (ca. 70.000 Einwohner) haben sich beispielsweise die Fahrgastzahlen zehn Jahre nach Einführung des Nulltarifs, Ausbau des ÖV und Einschränkungen im MIV (u. a. durch Einfahrverbote und Parkraumbewirtschaftung) von 360 Tsd. auf 4.600 Tsd. Fahrgäste / Jahr erhöht (GEHRKE UND GROß (2014)). Eine Untersuchung ca. 5 Monate nach Einführung des Nulltarifs und Ausbau des ÖV-

Angebots ergab, dass ca. 33 % der neuen Fahrgäste Neuverkehre aufgrund einer gesteigerten Mobilitätsrate sind. Die restlichen 66 % setzen sich aus Verlagerungen vom nicht motorisierten IV (Fuß und Rad) und MIV sowie aus bereits zuvor mit dem ÖV durchgeführten Wegen zusammen (KALBOW (2001)). Bei den Fahrgastzuwächsen über den Betrachtungszeitraum von zehn Jahren muss berücksichtigt werden, dass neben den verkehrlichen Maßnahmen auch Entwicklungen der Raum- und Siedlungsstruktur Einfluss auf die Fahrgastzahlen haben. Dies zeigt die Untersuchung der Auswirkungen günstiger Zeitkarten auf die Verkehrsnachfrage am Beispiel der Stadt Wien (vgl. SOMMER UND BIELAND (2018)). In Wien stieg die Fahrgastnachfrage im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr im Zeitraum von 2005 bis 2015 um über 25 %. In diesem Zeitraum wurde das ÖV-Angebot ausgebaut und die Preise der ÖV-Jahreskarte gesenkt, während die Preise für andere Fahrausweise gestiegen sind und gleichzeitig ein Parkraummanagement auf das gesamte Innenstadtgebiet ausgeweitet wurde. Neben den verkehrlichen Maßnahmen ist die Bevölkerung gewachsen, die Motorisierung gesunken, die Zahl an Übernachtungsgästen sowie die Kraftstoffpreise angestiegen. Nach der Untersuchung von SOMMER UND BIELAND entfällt allein auf Tourismuseffekte und Bevölkerungseffekte ein Anteil von 26 % des Fahrgastzuwachses im Zeitraum zwischen 2005 und 2011 sowie ein Anteil von 68 % im Zeitraum zwischen 2011 und 2015. Der restliche Zuwachs wird ohne weitere Differenzierung auf Effekte der verkehrlichen Maßnahmen und sonstige Effekte zurückgeführt. Hier wird nicht detaillierter differenziert.

Erweiterung des ÖV-Ticketangebots - Firmentickets

Firmentickets, auch als Job-Tickets bezeichnet, sind Tickets die Behörden oder Unternehmen bei Verkehrsunternehmen meist zu vergünstigten Konditionen erwerben und Ihren Mitarbeitern vergünstigt oder kostenlos überlassen. Ein Vorteil des Firmenticket ist es, dass Mitarbeiter es auch für private Fahrten nutzen können.

WALUGA (2016) analysiert die Wirkung unterschiedlicher Ticketangebote anhand empirischer Untersuchungen. Die Literaturanalyse von WALUGA zeigt auf, dass Zeittickets neue Fahrten generieren (positiver Neuverkehr) und zu Verlagerungen hin zum ÖV überwiegend zu Lasten des Pkw-Verkehrs führen.

Wie auch für Maßnahmen, bei denen ÖV-Fahrpreise geändert werden, liegen auch für Maßnahmen, bei denen das ÖV-Ticketangebot um Firmentickets erweitert wird, keine Veröffentlichungen vor, die Modellierungsvarianten beschreiben. Ebenfalls sind keine quantitativen Wirkungen von Firmentickets bekannt.

2.3.7 Maßnahmen der Fahrzeugtechnik

Zulassung von autonomen Fahrzeugen

Die BAST (GASSER ET AL. (2012)) unterscheidet beim Automatisierungsgrad von Fahrzeugen in assistiert, teilautomatisiert, hochautomatisiert und vollautomatisiert.

Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer beispielsweise durch einen Abstandsregeltempomat. Teilautomatisierte Fahrzeuge verfügen über automatische Funktionen, die der Fahrer ständig überwachen muss. Das System im hochautomatisierten Fahrzeug fährt für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen autonom und informiert den Fahrer, wenn ein Eingreifen nötig ist. Vollautomatisierte Fahrzeuge fahren völlig autonom, ohne dass der Mensch Fahraufgaben übernimmt. In dieser Arbeit entspricht ein autonomes Fahrzeug einem vollautomatisierten Fahrzeug.

Durch autonome Fahrzeuge sind im rein autonomen Verkehr signifikante Kapazitätssteigerungen der Verkehrsanlagen auf freier Strecke und an Knotenpunkten zu erwarten (vgl. FRIEDRICH (2015)). Dies begründet sich einerseits in der Möglichkeit Zeitlücken zwischen den autonomen Fahrzeugen, aufgrund der Antizipation der Aktionen des vorausfahrenden Fahrzeugs, reduzieren zu können. Andererseits können die Fahrzeuge im rein autonomen Verkehr höhere Geschwindigkeiten bei gleichbleibender Fahrzeugdichte erreichen. Dadurch kann im rein autonomen Verkehr nach Berechnungen von FRIEDRICH eine Kapazitätserhöhung im Stadtverkehr von etwa 40 % und auf Autobahnabschnitten von etwa 80 % erreicht werden. Allgemein bietet autonomes Fahren für Personengruppen, für die Selbstfahren nicht möglich oder attraktiv ist, neue Mobilitätsoptionen, wodurch Besitz- und Nutzungshemmnisse sinken können (CYGANSKI (2015)). Zusätzlich kann die Fahrzeit beispielsweise zum Entspannen oder Arbeiten genutzt werden, was sich auf die Bereitschaft zu längeren Reiseweiten auswirken könnte (TROMMER ET AL. (2016)). Autonome Fahrzeuge können sich auch auf das Angebot auswirken. Ein Use-Case ist das Vehicle-on-Demand, bei dem Nutzer Fahrzeuge nicht besitzen sondern diese bei Fahrtwunsch gerufen werden. Für den Use-Case Vehicle-on-Demand wird eine Reduzierung des Pkw-Besitzes prognostiziert (vgl. WACHENFELD ET AL. (2015)).

Für die Modellierung des Use-Case Vehicle-on-Demand ist ein Teilmodell, welches die Fahrtwünsche mit den Fahrzeugen koordiniert, notwendig. Eine Möglichkeit der Umsetzung dieses Teilmodells zeigt das Projekt MEGAFON (Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs) auf (vgl. FRIEDRICH UND HARTL (2016)), welches im Rahmen der Maßnahme free-floating Rideselling mit Pooling auf Seite 72 beschrieben wird.

2.3.8 Maßnahmen der Verkehrstechnik

Änderung von Lichtsignalsteuerungen

In städtischen Straßenverkehrsnetzen sind Knotenpunkte Engpassstellen. Die Lichtsignalsteuerungen beeinflussen dort maßgeblich den Verkehrsablauf und somit die Verkehrsqualität.

Verkehrstechnische Untersuchungen zur Optimierung von Lichtsignalsteuerungen werden in der Praxis typischerweise mit Verkehrsflussmodellen und nicht mit makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen durchgeführt. Der Entwurf von Lichtsignalprogrammen ist in den „Richtlinien für Lichtsignalanlagen“ (kurz RILSA) dokumentiert (FGSV (2015b)). Mit der modellierten Verlustzeit am Knotenpunkt kann die Qualität der Lichtsignalsteuerung mit Berechnungsverfahren aus dem HBS ermittelt werden. Grundsätzlich kann die Kapazität und Qualität für einzelne Knotenpunkte auch ausschließlich anhand des HBS, wenn die Knotenströme aus Erhebungen oder Modellen bekannt sind, berechnet werden. Der Vorteil von Modellen gegenüber der manuellen Berechnung ist, dass sie den Einfluss benachbarter Knotenpunkte berücksichtigen.

Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen

Mit Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) wird der Verkehr durch Wechselverkehrszeichen verkehrsabhängig auf einem Streckenabschnitt gesteuert (FGSV (2012a)). Die Verkehrsteilnehmer werden hierbei vor Geschwindigkeitseinbrüchen und kritischen Situationen gewarnt um einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu erzielen.

Im HBS (FGSV (2015a)) wird durch den Einsatz von SBA von einer Erhöhung der Kapazität der Strecken um 50 Kfz / h ausgegangen. MANGOLD ET AL. (1996) untersuchen die Funktionsweise und Zuverlässigkeit von SBA mit Umfelddatenerfassung. Die Untersuchung zeigt, dass die Akzeptanz mit niedrigeren Höchstgeschwindigkeiten und auf den einzelnen Fahrstreifen von rechts nach links abnimmt. Die Akzeptanz ist zudem abhängig von veranlassten Schaltungen. Der Befolgungsgrad von verkehrlich veranlassten Schaltungen ist, abgesehen von Tempo 60, höher als von durch Nebel veranlassten. Letzterer ist wiederum höher, als bei durch Regen oder Nässe veranlassten. Nach der Untersuchung kann die Akzeptanz überwiegend mit gut oder befriedigend bewertet werden und auch die Unfallentwicklung ist für alle SBA im direkten Vorher-Nachher-Vergleich allgemein positiv. Zudem kann festgehalten werden, dass die Wirksamkeit bei starkem Verkehr höher als bei geringem ist. (MANGOLD ET AL. (1996)).

Modellierungsvarianten zu Streckenbeeinflussungsanlagen liegen nicht vor.

Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen mit temporärer Seitenstreifenfreigabe

Mithilfe von Streckenbeeinflussungsanlagen wird in Spitzenverkehrszeiten mit Kapazitätsengpässen der Seitenstreifen für den Verkehr eines Streckenabschnitts freigegeben. Ein Seitenstreifen erfüllt aus Verkehrssicherheitsaspekten unverzichtbare Funktionen, wie beispielsweise zum Abstellen liegengeliebener Fahrzeuge oder als Zugang für Rettungsfahrzeuge. Daher kann diese Maßnahme nur eine Übergangslösung darstellen (vgl. LEMKE (2003)). In der Regel erfolgt die temporäre Freigabe des

Seitenstreifens außerorts, z. B. im Umkreis von Städten oder ggf. auch auf Stadtautobahnen. Die Maßnahme kann durch die räumliche Lage somit auch den Verkehr in Städten beeinflussen und wird daher in dieser Arbeit betrachtet.

Empirische Untersuchungen zeigen, dass durch die befristeten Kapazitätssteigerungen Staus und instabile Verkehrssituationen vermieden werden können (INGENIEURBÜRO VÖSSING (1999)). Wird der Seitenstreifen nur zu bestimmten Zeiten freigegeben, ist allerdings mit einer gewissen Nutzungshemmschwelle bei den Verkehrsteilnehmern zu rechnen (vgl. ARNOLD (2001)). Bei einem 3-streifigen Abschnitt inklusive dem freigegebenen Seitenstreifen berechnet ARNOLD basierend auf empirischen Messungen eine Kapazität von 95 % im Vergleich zu einem regulären 3-streifigen Abschnitt.

Modellierungsvarianten, bei denen die Wirkung mit einem makroskopischen Verkehrsnachfragemodell berechnet wird, liegen nicht vor.

2.3.9 Maßnahmen der Informationsverbesserung

Einsatz von Netzbeeinflussungsanlagen

Mit Netzbeeinflussungsanlagen (kurz NBA) wird die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer in Störungssituationen durch Wechselverkehrszeichen innerhalb einer Netzmasche beeinflusst. Die Wechselverkehrszeichen informieren die Verkehrsteilnehmer während der Störungssituation über eine alternative Route in der Netzmasche.

Empirische Untersuchungen zeigen, dass nicht alle Verkehrsteilnehmer der Routenempfehlung folgen (vgl. BALZ (1995); EVERTS UND ALBRECHT (1978); KAYSER, H.J., KRAUSE, S. (1986); KNOLL ET AL. (1972); SCHLAICH (2010)). Die „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ (FGSV (2007)) enthalten Befolgungsraten für NBA, die in Tabelle 3 dargestellt sind. Diese Werte basieren auf Erfahrungswerten und zeigen, dass die Befolgungsrate von der Netzmasche und dem Umwegfaktor abhängig ist.

Charakteristik des Netzes	Maschengröße	Umfangfaktor	Befolungsraten
kleine Masche, kurzer Umweg	< 50 km	< 1,5	30 – 40 %
große Masche, kurzer Umweg	> 50 km	< 1,5	20 – 30 %
kleine Masche, größerer Umweg	< 50 km	> 1,5	10 – 20 %
große Masche, größerer Umweg	> 50 km	> 1,5	0 – 10 %

Tabelle 3: Befolungsraten bei NBA (FGSV (2007), Tabelle 6)

Untersuchungen zu Wirkungen von NBA im Rahmen von Modellierungen mithilfe makroskopischer Verkehrsnachfragemodell liegen nicht vor.

NBA verbessern den Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer. Mit der Modellierung des Informationsgrads beschäftigt sich MANDIR (2012), 2012). MANDIR analysiert die Nutzung und Akzeptanz von Verkehrsinformation bei der Routenwahl auf Basis von GPS-Trajektorien. Die modelltechnische Umsetzung des Informationsgrads der Verkehrsteilnehmer erfolgt über den Sensitivitätsparameter (α -Parameter) in der Logit-Bewertungsfunktion. Für den Fall, dass alle Verkehrsteilnehmer perfekt über die aktuelle Verkehrssituation informiert sind, nutzt MANDIR ein deterministisches Umlegungsverfahren. Dies entspricht einem $\alpha = \infty$ in der Bewertungsfunktion. Der Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer zum Zeitpunkt der Erhebung der GPS-Trajektorien (informiert aber nicht perfekt informiert) wird mit einem $\alpha = 1$ abgebildet. Die β -Parameter der Nutzenfunktion sind auf Basis von $\alpha = 1$ validiert. Der uninformierte Status von Verkehrsteilnehmern wird mit einem $\alpha = 0,5$ modelliert. Dieser Wert basiert auf der Annahme, dass uninformierte Verkehrsteilnehmer dasselbe Routen-Choice-Set berücksichtigen wie die Probanden der Erhebung und wurde durch Vergleich von Umlegungsergebnissen mit unterschiedlichen α -Parametern ermittelt.

Einsatz von Mobilitäts-Apps

Eine Mobilitäts-App informiert Nutzer über alternative Reisemöglichkeiten, um vom Ausgangspunkt an den gewünschten Zielpunkt zu gelangen.

Gängige Mobilitäts-Apps verfügen über die Möglichkeit persönliche Präferenzen bei der Alternativensuche zu berücksichtigen. Somit können beispielsweise unerwünschte intermodale Reisemöglichkeiten vorab deaktiviert werden und der Nutzer entscheidet, inwieweit er über alternative Angebote informiert wird.

Mit der Nutzung von Mobilitäts-Apps in Deutschland beschäftigt sich das Projekt „Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe“ (vgl. HILGERT ET AL. (2017)). Mittels einer Online-Umfrage wurden mehr als 3.000 Smartphone-Nutzerinnen und Nutzer zu Ihrem Mobilitätsverhalten und Ihrer Mobilitäts-App-Nutzung befragt. Die Umfrage zeigt auf,

dass Nutzer von Mobilitäts-Apps vermehrt technikaffin und meist jünger sind. Aufgrund zunehmender Angebote verbreitet sich die Nutzung jedoch auch in weiteren Personengruppen. Des Weiteren wird deutlich, dass sich die Mobilität von Mobilitäts-App-Nutzern von der Mobilität von Nichtnutzern unterscheidet. Mobilitäts-App-Nutzer wählen häufiger Verkehrsmittel des ÖV, Sharing-Angebote, das Rad oder gehen zu Fuß. Modellierungsvarianten zu Mobilitäts-Apps liegen nicht vor.

2.3.10 Maßnahmen der Bewusstseinsbildung

Einsatz von Werbekampagnen

Betrachtet werden Kampagnen, die für eine nachhaltige Mobilität werben. Diese werben dafür, die Anzahl an Wegen zu reduzieren, möglichst kurze Wege zurückzulegen und Verkehrsmittel des Umweltverbundes zu wählen. Hierzu zählen Fuß, Rad und die Verkehrsmittel des ÖV.

Durch „individualisiertes Marketing“ werden beispielsweise direkte Kontakte genutzt, um potentielle Nutzerinnen und Nutzer umweltfreundlicher Verkehrsmittel zu erreichen. Bei den direkten Kontakten, die in einem stufenweisen Kommunikationsprozess stattfinden, werden die Zielpersonen motiviert über ihr Mobilitätsverhalten nachzudenken und dieses ggf. zu ändern. Typischerweise wird das Informationsdefizit über vorhandene Angebote individuell ausgeglichen sowie bereits regelmäßige Nutzer umweltfreundlicher Verkehrsmittel in ihrem Verhalten bestätigt und deren Bindung an diese Verkehrsmittel gestärkt. Durch individualisiertes Marketing konnte in Baden-Württemberg im Rahmen von 15 Projekten mit ca. 92.500 Zielpersonen der Anteil der ÖPNV-Fahrten um durchschnittlich 15 % gesteigert werden (vgl. BRÖG ET AL. (2003)). Diese Projekte zeigen, dass mit Kampagnen das Bewusstsein der Verkehrsteilnehmer erreicht und beeinflusst werden kann.

In der Untersuchung „Radpotentiale im Stadtverkehr“ (BAIER ET AL. (2013)) wird eine freiwillige Änderung des Bewusstseins modelliert. Umgesetzt ist die Maßnahme durch Vorgabe der Bewusstseinsänderung im Verkehrsnachfragemodell. Es wird angenommen, dass ein Teil der Bevölkerung den Pkw verkauft und sich danach wie Carsharing-Nutzer verhält. Dies ist im Modell durch eine Anpassung der Personengruppenzuordnung sowie durch Vorgabe des Mobilitätsverhaltens der Personengruppe ohne Pkw-Besitz bei der Moduswahl umgesetzt.

Die Modellrechnungen ergeben eine Reduktion des wegebezogene Modal-Split (Gesamtverkehr ohne Durchgangsverkehr) um 18 %-Punkte beim MIV und eine Zunahme um 22 %-Punkte beim Rad.

3 Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle

Die Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle ergeben sich aus den geplanten Einsatzbereichen. Verkehrsnachfragemodelle werden im Allgemeinen für die Untersuchung eines vorhandenen Zustands und von zu erwartenden Entwicklungen sowie potentieller und geplanter Maßnahmen eingesetzt. Mithilfe von Kenngrößen werden die Angebotsqualität von Zuständen und Wirkungen von Maßnahmen quantifiziert. Aus den Einsatzbereichen städtischer Verkehrsnachfragemodelle ergeben sich somit nachfolgende Anforderungen:

- Kenngrößen, die valide zu berechnen sind (siehe Tabelle 6)
- Maßnahmen, deren Wirkungen abzuschätzen sind
- Modellstruktur, mit der die Wirkungen der Maßnahmen abgebildet werden können

Hierfür werden in diesem Kapitel die Einsatzbereiche von modellgestützten Kenngrößen aufgezeigt und anschließend die Anforderungen an die Kenngrößen beschrieben. Abschließend werden allgemeine modelltechnische und allgemeine sowie spezifische Anforderungen an die Modellstruktur für die Abbildung der Wirkungen von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung dargestellt.

3.1 Einsatzbereiche für modellgestützte Kenngrößen

Die Einsatzbereiche der berechneten Kenngrößen innerhalb des Planungsprozesses, der in Kapitel 2.1.1 beschrieben wird, sind breit gefächert. Die Kenngrößen können sowohl in unterschiedlichen Planungsphasen zum Einsatz kommen als auch als Grundlage für andere Fachplanungen dienen. Die nachfolgende Aufzählung zeigt für den Planungsprozess der Verkehrsentwicklungsplanung typische Einsatzbereiche der mit Verkehrsnachfragemodellen berechneten Kenngrößen mit Verweis auf Regelwerke und Hinweise.

Planungsphase: Problemanalyse

- Bewertungen von Angebotsqualitäten
Anhand berechneter Kenngrößen kann die Angebotsqualität (in sechs Stufen, von sehr guter Qualität bis zu unzureichender Qualität) ermittelt und mit Qualitätsvorgaben verglichen werden. Hierdurch können Mängel des vorhandenen Zustands identifiziert werden. Als Grundlage für Einzelanlagen dient hierbei das HBS und für Verkehrsnetze die „Richtlinie für die integrierte Netzgestaltung“ (kurz RIN) (FGSV (2008b)).
- Problemanalyse auf Grundlage des Zielsystems
Auf Grundlage von Kenngrößen und eines festgelegten Zielsystems können Mängel identifiziert werden.

Planungsphase: Maßnahmenuntersuchung

- **Wirkungsberechnung von Maßnahmen und Maßnahmenbündel**
Auf Basis der Problemanalyse werden Maßnahmen und Maßnahmenbündel entwickelt die geeignet erscheinen, die Mängel zu beseitigen und die festgelegten Ziele zu erreichen. Die Wirkung der Maßnahmen und Maßnahmenbündel hinsichtlich der Zielerreichung wird mittels Kenngrößen gemessen und in dieser Phase auf der Grundlage fachlicher Kenntnisse, Erfahrungen und Überlegungen bewertet.
- **Verfahren zur Entscheidungsfindung**
Der Einsatz der Kenngrößen dient der Beurteilung, Abwägung und der Auswahl möglicher Maßnahmen oder Maßnahmenbündeln. Dazu werden Nutzen (positive und negative Wirkungen) sowie Kosten der Realisierung ermittelt. Für die Antragsstellung zur Gewährung von Finanzierungszuschüssen von Infrastrukturvorhaben haben sich in der Praxis die standardisierten Bewertungsverfahren „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (FGSV (1997)) und die „Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs“ (ITP (2016)) etabliert (vgl. FGSV (2010c)). Einen Überblick zu Verfahren der Entscheidungsfindung liefern die „Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung“ (FGSV (2010c)).

Planungsphase: Abwägung und Entscheidung

- **Rechtsverfahren**
Zu den Rechtsverfahren zählt die Planfeststellung. Eine Planfeststellung ist ein Genehmigungsverfahren, das durchzuführen ist, wenn es sich um raumbedeutsame Infrastrukturprojekte handelt. Das Planfeststellungsverfahren wird in §§ 72 bis 78 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) näher geregelt. Es werden alle Argumente für und gegen das Projekt zusammengetragen. Hierzu können Verfahren zur Entscheidungsfindung angewendet werden in denen Kenngrößen zur Beurteilung, Abwägung und Auswahl zum Einsatz kommen.

Planungsphase: Umsetzung und Wirkungskontrolle

Die Umsetzung beinhaltet neben der Umsetzung vor Ort auch die gesamte Entwurfsplanung baulicher Anlagen, von Betriebskonzepten, Organisationskonzepten, usw. In die Entwurfsplanung und die Konzepte fließen die berechneten Kenngrößen ein.

- **Entwurfsplanungen**
Als Grundlagen dienen die „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen“ (kurz RAA) (FGSV (2008a)), die „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ (kurz RAL) (FGSV (2013b)) und die „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (kurz RAS_t) (FGSV (2006c)).

Grundlage anderer Fachplanungen

- Nahverkehrsplanung
Von den Ländern benannte Behörden sind als Aufgabenträger für die Sicherstellung einer ausreichenden Bedienung der Bevölkerung mit Verkehrsleistungen im Öffentlichen Personennahverkehr zuständig. Der Nahverkehrsplan dient dazu, die Anforderungen an Umfang und Qualität des Angebots sowie dessen Umweltqualität und die Vorgaben für die verkehrsmittelübergreifende Integration der Verkehrsleistungen festzuhalten. (vgl. Personenförderungsgesetz des Bundes § 8)
- Lärminderungsplanungen
In der 34. BImSchV (Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes „Verordnung über die Lärmkartierung“) und §§ 47a bis 47f BImSchG (Umgebungslärmrichtlinie) werden Anforderungen an und Inhalte der Lärmkartierung und eines Lärmaktionsplanes geregelt. Lärmkarten müssen demnach für Hauptlärmquellen und Ballungsräume erstellt werden. Die Definitionen hierzu befinden sich in § 47b BImSchG. Verkehr stellt in diesem Zusammenhang eine wichtige Hauptlärmquelle dar. Die Berechnung der Kenngröße Lärmpegel von Straßen wird in der „Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen“ (kurz RLS-90) erläutert (FGSV (1990)).
- Luftreinhalteplanung
In der 39. BImSchV (Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes „Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen“) werden Immissionsgrenzwerte festgelegt, deren Einhaltung durch Schadstoffmessungen nachzuweisen ist. Werden Grenzwerte überschritten sind Luftreinhaltepläne aufzustellen, die durch geeignete Maßnahmen sicherstellen, dass die Grenzwerte eingehalten werden können. Kenngrößen können zum Nachweis dienen.

3.2 Anforderung an die Kenngrößen

Für den Modellaufbau und die Nachfragemodellierung inklusive des Qualitätssicherungsprozesses (vgl. Kapitel 2.2.5) sind teilweise andere Kenngrößen als für die Planung erforderlich.

Kenngrößen, die nicht unmittelbar für die Nachfragemodellierung benötigt werden, aber für weitere Einsatzbereiche notwendig sind, sollten bereits bei der Modellbildung eingefordert und im Qualitätssicherungsprozess berücksichtigt werden. Im Folgenden werden die Kenngrößen der Nachfragemodellierung dargelegt und im Anschluss die Kenngrößen der Planung mit Bezug auf die Einsatzbereiche aus Kapitel 3.1 beschrieben.

3.2.1 Kenngrößen für die Nachfragemodellierung

Kenngrößen für die Nachfragemodellierung umfassen Kenngrößen, die in die Nutzenfunktionen der Modellstufen eingehen sowie diejenigen Kenngrößen, mit denen die Plausibilisierung der Modellergebnisse im Qualitätssicherungsprozess erfolgt.

Beispielsweise gehen die einzelnen Komponenten der Reisezeit differenziert in die Nutzenfunktion ein. Durch eine unterschiedliche Gewichtung derselben kann berücksichtigt werden, dass die einzelnen Komponenten durch Verkehrsteilnehmer unterschiedlich bewertet werden. Tabelle 4 zeigt mögliche Komponenten von Nutzenfunktionen. Generell sollten diejenigen Komponenten in der Nutzenfunktion der jeweiligen Modellstufe berücksichtigt werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer haben.

Kenngröße MIV	Kenngröße ÖV	Kenngröße Rad	Kenngröße Fuß
• Zugangszeit	• Zugangszeit	• Zugangszeit	• Gehzeit
• Fahrzeit im belasteten Netz	• Startwartezeit	• Steigungsabhängige Fahrzeit	
• Parksuchzeit	• Fahrzeit, ggf. differenziert nach Verkehrsmittel	• Abgangszeit	
• Abgangszeit	• Umsteigegezeit		
• Fahrtkosten	• Umsteigewartezeit		
• Parkkosten	• Abgangszeit		
	• Fahrpreis		
	• Umsteigehäufigkeit		
	• Bedienungshäufigkeit		
	• Anpassungszeit		

Tabelle 4: Typische Kenngrößen für Nutzenfunktionen

Tabelle 5 führt Kenngrößen zur Überprüfung der Modellergebnisse auf. Zur Kontrolle der Modellergebnisse werden personenbezogene Daten aus Befragungen, Verkehrsstärken aus Zählstellen und Fahrzeiten zwischen zwei Punkten im Verkehrsnetz herangezogen.

Berechnete Kenngröße aus dem Modell	Kontrolldaten zum Abgleich
• Anzahl Wege	• Aggregation der Wegedaten von Einzelpersonen aus Befragungen
• Quell- und Zielverkehrsaufkommen	
• Modal-Split	
• Reiseweiten- oder Reisezeitenverteilung	
• Fahrzeit	• Gemessene Fahrzeiten zwischen zwei ausgewählten Punkten im Verkehrsnetz
• Verkehrsstärken	• Verkehrsstärken aus Zählstellen

Tabelle 5: Typische Kenngrößen für die Qualitätssicherung (auf Basis von PESTEL ET AL. (2016) und FRIEDRICH (2011))

3.2.2 Kenngrößen für die Planung

Wichtige Kenngrößen für die Planung ergeben sich aus den Einsatzbereichen. Für die in Kapitel 3.1 aufgeführten Einsatzbereiche sind nachfolgend dargestellte Kenngrößen von Bedeutung. Mit dem Verkehrsnachfragemodell können nicht immer die final benötigten Kenngrößen berechnet werden. Ist dies der Fall, wird in Spalte 2 der Tabelle 6 in Klammern die final benötigte Kenngröße des Einsatzbereiches angegeben.

Einsatzbereich	Kenngrößen aus Verkehrsnachfragemodellen (final zu berechnende Kenngröße für den Einsatzbereich)	Differenzierung
Bewertung der Angebotsqualitäten von Verkehrsnetzen nach RIN (Die RIN bietet für hier aufgeführten Kenngrößen Anhaltswerte für Qualitätsstufen)	<ul style="list-style-type: none"> Reisezeit 	<ul style="list-style-type: none"> Quelle-Ziel-Relation
	<ul style="list-style-type: none"> Luftlinienentfernung (Luftliniengeschwindigkeit) Reisezeit (Luftliniengeschwindigkeit) 	
	<ul style="list-style-type: none"> Reiseweite 	
	<ul style="list-style-type: none"> Umsteigehäufigkeit 	
	<ul style="list-style-type: none"> Luftlinienentfernung (Umfwegfaktor) Reiseweite (Umfwegfaktor) 	
Bewertung der Angebotsqualität von Einzelanlagen	Strecken von Hauptverkehrsstraßen: <ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke Spitzenstunde (Verkehrsdichte) 	<ul style="list-style-type: none"> Fz-Teilstrecke je Fahrtrichtung
	Plangleiche Knotenpunkte: <ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke Spitzenstunde (Wartezeit) 	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrstrombezogen pro Fz-Gruppe (Motorräder + Pkw+ Lieferwagen, Lkw + Busse, Lkw mit Anhänger + Sattelzüge)
Maßnahmenuntersuchung <ul style="list-style-type: none"> Wirkungsberechnung von Maßnahmen und Maßnahmenbündel (abhängig von den festgelegten Zielen, an dieser Stelle werden beispielhaft Kenngrößen aufgezeigt) <ul style="list-style-type: none"> Verfahren zur Entscheidungsfindung z. B. Empfehlung für Wirtschaftlichkeitsuntersuchung an Straßen 	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl Wege (Wegebezogener Modal-Split) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Modus Pro Stadtteil ...
	<ul style="list-style-type: none"> Personenkilometer (Fahrleistungsbezogener Modal-Split) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Modus Pro Stadtteil ..
	<ul style="list-style-type: none"> Fahrzeugkilometer 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Fz-Gruppe Pro Stadtteil
	<ul style="list-style-type: none"> Fahrzeit 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Fz-Gruppe (Pkw, Lkw, Lastzug, Bus)
	<ul style="list-style-type: none"> Fahrzeugkilometer (Betriebskosten) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Fz-Gruppe (Pkw, leichter Lkw, sonstiger Lkw, Lastzug, Bus)
	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke (Unfallkosten) 	<ul style="list-style-type: none"> Fz pro Straßentyp
	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke (Lärmbelastung) Lkw-Anteil, Lkw >2,8 t (Lärmbelastung) 	<ul style="list-style-type: none"> Querschnittsfein Tag Querschnittsfein Nacht

Einsatzbereich	Kenngrößen aus Verkehrsnachfragemodellen (final zu berechnende Kenngröße für den Einsatzbereich)	Differenzierung
z. B. Standardisierte Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke (Belastung durch Luftschadstoffe NO_x, NO₂, CO, HC, SO₂, PM und CO₂) 	<ul style="list-style-type: none"> Streckenfein pro Fz-Gruppe (Pkw, Lkw < 3,5 t, Lkw ≥ 3,5 t, Linienbusse, Reisebusse, Motorrad/Mofa)
	<ul style="list-style-type: none"> ÖV-Reisezeit (Reisezeitdifferenzen ÖPNV, Neuverkehr ÖPNV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation, pro Route/Verbindung
	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl ÖPNV-Personenfahrten pro Werktag (Reisezeitdifferenzen ÖPNV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation und differenziert nach Erwachsenen und Schülern
	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl verlagerten Personenfahrten vom MIV auf den ÖPNV zwischen 0-Fall und Maßnahmenfall pro Werktag (Reisezeitdifferenzen ÖPNV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation differenziert nach Erwachsenen und Schülern
	<ul style="list-style-type: none"> Beförderungszeiten ÖPNV (Neuverkehr ÖPNV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation, pro Route/Verbindung
	<ul style="list-style-type: none"> Umsteigehäufigkeit ÖPNV (Neuverkehr ÖPNV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation, pro Route/Verbindung
	<ul style="list-style-type: none"> Reisezeit MIV (Verkehrswiderstand MIV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation
	<ul style="list-style-type: none"> Fahrtweiten MIV (Verkehrswiderstand MIV) 	<ul style="list-style-type: none"> Pro Quelle-Ziel-Relation
	<ul style="list-style-type: none"> MIV-Verkehrsleistung in Personenkilometer pro Werktag (Pkw-Betriebskosten, CO₂-Emissionen und Schadstoffemissionskosten) 	<ul style="list-style-type: none"> Pkw
<ul style="list-style-type: none"> Entwurfsplanung 	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke 	<ul style="list-style-type: none"> Streckenfein
<ul style="list-style-type: none"> Nahverkehrsplanung (abhängig von den festgelegten Anforderungen, an dieser Stelle werden beispielhaft Kenngrößen aufgezeigt) 	<ul style="list-style-type: none"> Auslastung der Linien Umwegfaktor Umsteigewartezeit Umsteigehäufigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Haupt- und Nebenverkehrszeit
<ul style="list-style-type: none"> Lärminderungsplanung 	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke (Lärmbelastung) Lkw-Anteil, Lkw >2,8 t (Lärmbelastung) 	<ul style="list-style-type: none"> Querschnittsfein Tag (06:00-22:00 Uhr) Querschnittsfein Nacht (22:00-06:00)

Einsatzbereich	Kenngrößen aus Verkehrsnachfragemodellen (final zu berechnende Kenngröße für den Einsatzbereich)	Differenzierung
<ul style="list-style-type: none"> Luftreinhalteplanung 	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsstärke (Belastung durch Luftschadstoffe SO₂, NO_x, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, Pb, C₆H₆, CO) 	<ul style="list-style-type: none"> Streckenfein pro Fz-Gruppe (Pkw, Lkw < 3,5 t, Lkw ≥ 3,5 t, Linienbusse, Reisebusse, Motorrad/Mofa)

Tabelle 6: Kenngrößen für die Planung

3.3 Allgemeine Anforderung an Verkehrsnachfragemodelle

3.3.1 Allgemeine modelltechnische Anforderungen

Unabhängig vom Einsatzbereich müssen Verkehrsnachfragemodelle nachfolgende allgemeine modelltechnische Anforderungen erfüllen (vgl. FRIEDRICH (2016); KÖHLER UND WERMUTH (2001); LÖNHARD (2000); STEIERWALD UND KÜNNE (1994)):

- Logische Konsistenz**
 Ein Modell ist logisch konsistent, wenn es die Wirklichkeit quantitativ, von den Abläufen sowie Wirkungszusammenhängen realitätsnah abbildet und die Modellstruktur nicht zu inneren Widersprüchen führt. Von der logischen Konsistenz ist die Aussagegenauigkeit eines Nachfragemodells abhängig.
- Reproduzierbarkeit und Transparenz**
 Ein Modell ist reproduzierbar, wenn die Berechnungsalgorithmen Ergebnisse jederzeit reproduzieren können. Eine Transparenz ist gegeben, wenn die Ergebnisse sachlogisch nachvollziehbar sind.
- Operationalität**
 Ein Modell ist operabel, wenn die Komplexität überschaubar ist und die praktische Umsetzung und Anwendung mit vertretbarem Aufwand möglich ist.
- Maßnahmenempfindlichkeit**
 Ein Modell ist maßnahmenempfindlich, wenn die Wirkungen einer Maßnahme zuverlässig abgebildet werden.

Aus der Anforderung der Maßnahmenempfindlichkeit ergeben sich die Anforderungen an die Modellstruktur. In Kapitel 3.3.2 werden Anforderungen an die Modellstruktur beschrieben, die ein Verkehrsnachfragemodell für die Abbildung von Wirkungszusammenhängen erfüllen muss. Für die in Tabelle 7 dargestellten Maßnahmen werden nachfolgend in Kapitel 3.4 aus den jeweiligen Wirkungsvermutungen und -zusammenhängen die spezifischen Anforderungen an die Modellstruktur und Modellierung abgeleitet.

3.3.2 Allgemeine Anforderungen an die Modellstruktur

Die Anforderungen an die in Kapitel 2.2.2.1 beschriebenen Modellstrukturen sind nicht alle zwingend maßnahmenspezifisch ausgeprägt. Einige Modellstrukturen sind nicht explizit notwendig um die Wirkung einer speziellen Maßnahme abzubilden. Die Abbildung der Modellstrukturen beeinflusst jedoch, wie die Realität abgebildet wird und kann somit ebenfalls die Wirkungsberechnung beeinflussen. Nachfolgend werden Anforderungen an Modellstrukturen beschrieben, die unabhängig von der spezifischen Maßnahme Einfluss auf die Wirkungsberechnung haben.

Abbildung der belastungsabhängigen Fahrzeit an Knotenpunkten

Für eine realitätsnahe Abbildung der belastungsabhängigen Fahrzeit an Knotenpunkten müssen die Zeitzuschläge zumindest an Knotenpunkten für die Abbieger mit einer geeigneten CR-Funktion belastungsabhängig modelliert werden. Die Kapazität der Knotenpunkte ist in Abhängigkeit der Fahrstreifen zu berücksichtigen. Bei disaggregierten Netzmodellen können einzelne Fahrbeziehungen an Kreuzungen über mehrere Knotenpunkte geführt werden, z. B. im Kreuzungsbereich von zwei Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen. Mittels Oberknoten kann die Fahrzeit der Abbieger modelliert werden. Oberknoten decken den gesamten disaggregierten Kreuzungsbereich ab und beinhalten Oberabbieger. Jeder Oberabbieger repräsentiert hierbei eine Fahrbeziehung, die mit Zeitzuschlägen versorgt werden kann. Sofern auf Sonderlösungen mit Oberabbiegern verzichtet wird, werden entsprechend aggregierte Knotenpunkte benötigt. Dies erfordert ein entsprechendes Netzmodell.

Abbildung der Entscheidungsabfolge

In der Realität werden Entscheidungen nicht unabhängig voneinander getroffen. Die Abhängigkeit einzelner Entscheidungen untereinander kann mit einem simultanen Ansatz abgebildet werden. Ein oft angewandter Ansatz ist die simultane Verkehrsziel- und Moduswahl, welche die Abhängigkeit der Zielwahl von der Angebotsqualität und der generellen Verfügbarkeit der Verkehrsmittel berücksichtigt.

Abbildung der Entscheidungsrückkopplung

Bei der Rückkopplung zwischen Verkehrszielwahl, Moduswahl, Abfahrtszeitwahl und Routenwahl wird berücksichtigt, dass die Reisezeit und andere Kenngrößen der Routenwahl die anderen Modellstufen beeinflussen. Zur Abbildung dieser Abhängigkeit muss eine Rückkopplung in der Modellstruktur gegeben sein.

Abbildung von Einspeisungspunkten

An wie viele Knotenpunkte eine Verkehrszelle angebunden wird und welche Knotenpunkte angebunden werden beeinflusst die Verteilung der Fahrten im Netz. Wenn die Verkehrsnachfrage über mehrere Knotenpunkte eingespeist wird, kann eine

realitätsnahe Verteilung der Verkehrsstärken im Nahbereich der Verkehrszelle erreicht werden (vgl. GALSTER (2009)). Werden mehrere Anbindungen verwendet kann durch Vorgabe von Nachfrageanteilen auf den einzelnen Anbindungen eine realitätsnahe Verteilung unterstützt werden. Maßnahmen können die Verteilung der Fahrten im Netz beeinflussen. Bei festen Vorgaben von Nachfrageanteilen kann dieser Einfluss nicht mehr abgebildet werden. Bei einer feineren Verkehrszellenaufteilung stellt eine Anbindung pro Verkehrszelle eine Alternative zu mehreren Anbindungen mit festen Vorgaben von Nachfrageanteilen dar.

Abbildung von Randsummenbedingungen

Harte, weiche, elastische und offene Randsummenbedingungen unterstützen eine realitätsnahe Abbildung der Zielwahl für unterschiedliche Aktivitäten und Aktivitätenorte. So kann beispielsweise durch harte Randsummenbedingungen berücksichtigt werden, dass jeder Arbeitnehmer einen Weg zum Arbeitsort unternimmt und jeder Arbeitsplatz durch einen Weg zum Arbeitsort belegt wird.

3.4 Maßnahmenspezifische Anforderungen an Verkehrsnachfragemodelle

3.4.1 Vorgehen maßnahmenspezifische Untersuchung

In diesem Kapitel werden die in Tabelle 7 auf Seite 97 aufgeführten Maßnahmen auf ihre maßnahmenspezifischen Wirkungsvermutungen / -zusammenhänge, Anforderungen an die Modellstruktur, die Abbildbarkeit in Verkehrsnachfragemodellen und Modellierungsvarianten hin untersucht. Der Einfluss örtlicher Begebenheiten und die konkrete Umsetzung der Maßnahme im Maßnahmenfall findet bei dieser allgemeinen Untersuchung keine Beachtung. Die Maßnahmenuntersuchung liefert maximale Anforderungen an Verkehrsnachfragemodelle durch Unterstellung einer umfänglichen Umsetzung im Maßnahmenfall. Keine Berücksichtigung findet zudem die Darstellung der Bedeutung der Maßnahmenmodellierung in der Praxis. Der Fokus liegt in diesem Kapitel auf den Anforderungen an die Maßnahmenmodellierung. Die Untersuchung folgt dem nachfolgend beschriebenen Schema.

Beschreibung

Beschreibung der Maßnahme im Kontext der städtischen Verkehrsplanung und Modellierung.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Schematische Bearbeitung der Wirkungen einer Maßnahme auf die fünf Entscheidungsstufen. Die Kapazität, Zahl der Alternativen auf den unterschiedlichen Entscheidungsstufen, die Reisezeit und die Verkehrsmittelverfügbarkeit beeinflussen unter anderem das Entscheidungsverhalten und werden daher bei der schematischen

Bearbeitung ebenfalls betrachtet. So erhöht z. B. der Neubau einer Ortsumgehungsstraße die Kapazität im Straßenverkehrsnetz und die Zahl der Alternativen durch neue Routenmöglichkeiten. Die zusätzlichen Kapazitäten beeinflussen die Reisezeit und wirken somit auf die Entscheidungsstufen.

Abhängig von der Maßnahme können weitere Einflussgrößen von Bedeutung sein. Aus Übersichtsgründen erfolgt die Darstellung derselben nur dort, wo diese von Bedeutung sind. Die schematische Bearbeitung der Wirkungen stützt sich auf Wirkungserkenntnisse aus der Literaturanalyse (vgl. Kapitel 2.3) und eine qualitative Bewertung der Autorin. Bei den Wirkungen einer Maßnahme wird hierbei unterschieden in:

- Änderungen / Verlagerungen
- Änderungen / Verlagerungen möglich
- Änderungen / Verlagerungen unwahrscheinlich und
- keine Änderungen

Wirkungen auf die Flächennutzung, die dem sekundär induzierten Verkehr und somit den langfristigen Wirkungen zuzuordnen sind (vgl. Kapitel 2.2.6), werden an dieser Stelle nicht untersucht. In der Literatur finden sich keine Hinweise darauf, ob die Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit den kurzfristigen oder langfristigen Wirkungen zuzuordnen sind. In dieser Arbeit wird angenommen, dass sich die Verkehrsmittelverfügbarkeit, wie z. B. der Kauf einer ÖV-Zeitkarte bei Verbesserung des ÖV-Angebots, kurzfristig ändern kann.

Anforderungen an die Modellstruktur

Hier werden die Anforderungen an die Modellstruktur eines Verkehrsnachfragemodells aufgeführt, die erfüllt werden müssen um die Wirkungen der Maßnahmen abbilden zu können. Zu berücksichtigen sind hierbei mögliche Anmerkungen zu den einzelnen Komponenten in der letzten Zeile der Anforderungstabelle. Komponenten mit Anmerkungen werden in der Spalte Struktureigenschaft durch das Symbol * gekennzeichnet. Die Komponenten der Modellstruktur sind in Kapitel 2.2.2.1 beschrieben. Muss die Modellstruktur an die Anforderungen angepasst werden, kann eine erneute Validierung und Kalibrierung des Verkehrsnachfragemodells notwendig sein, siehe Qualitätssicherungsprozess Kapitel 2.2.5. Eine Validierung und Kalibrierung benötigt Zeit und zusätzliche Datensätze, die zur Verfügung stehen müssen. Dies gilt es bei der Zeitplanung zu berücksichtigen. Ebenso muss die teilweise eingeschränkte Verfügbarkeit erforderlicher Datensätze, wie beispielsweise Nutzerdaten von Carsharinganbietern, berücksichtigt werden (vgl. HEILIG ET AL. (2017)).

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

An dieser Stelle wird erläutert, welche Objekte und Eigenschaften im Verkehrsnachfragemodell für die Modellierung der Maßnahme angepasst werden müssen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

Es wird dargelegt, ob die Wirkungen einer Maßnahme mit einem makroskopischen Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik, wie er in Kapitel 2.2.4 vorgestellt wird, abbildbar sind. Die Bewertung der Abbildbarkeit wird auf den Stand der Technik in der Praxis und Stand der Technik der Software bezogen. Der Stand der Forschung ist hinsichtlich der Abbildbarkeit von Maßnahmen sehr variabel, da in der angewandten Forschung auch individuelle zeitaufwendige Lösungen erprobt werden, beispielsweise die Modellierungsvariante von BÖHNKE (2005) für Parkraumbewirtschaftung (vgl. Maßnahme: Einführung / Ausbau von Parkraumbewirtschaftung S. 136). Diese Variabilität kann in einer schematischen Untersuchung nicht berücksichtigt werden, weshalb in dieser Arbeit auf eine Bewertung der Abbildbarkeit mit einem Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Forschung verzichtet wird.

Bei der Einordnung der Abbildbarkeit werden folgende Klassen unterschieden:

- **Abbildbar**
Alle Wirkungszusammenhänge können mit den Modellstrukturen eines Verkehrsnachfragemodells nach dem Stand der Technik abgebildet werden.
- **Teilweise abbildbar**
Nicht alle Wirkungszusammenhänge können mit den Modellstrukturen eines Verkehrsnachfragemodells nach dem Stand der Technik abgebildet werden.
- **Nicht abbildbar**
Zur Abbildung der Wirkungszusammenhänge sind zusätzliche Datensätze (z. B. aus Befragungen), welche Wirkungszusammenhänge aufzeigen, notwendig oder es ist eine Erweiterung der Modellstruktur notwendig, die eine Validierung und Kalibrierung mithilfe zusätzlicher Datensätze erfordert (z. B. Ergänzung eines neuen Modus / neuer Modi).

Diskussion Modellierungsvarianten

Hier werden Modellierungsvarianten und mögliche Herausforderungen bei der Modellierung diskutiert. Die Diskussion umfasst ebenfalls die Beschreibung der Modellierung der Varianten. In die Diskussion fließen qualitative Bewertungen der Autorin, die Modellierungsvarianten aus Kapitel 5 sowie erprobte Modellierungsvarianten aus der Forschung ein. Die Anzahl an diskutierten Modellierungsvarianten variiert je nach Maßnahme. Ursächlich hierfür ist, dass einerseits die Anzahl an möglichen Modellierungsvarianten in Abhängigkeit der Maßnahme variiert und andererseits die Anzahl an erprobten Modellierungsvarianten aus der Forschung.

Unabhängig von der Maßnahme wird die Verkehrsmittelverfügbarkeit in einem Verkehrsnachfragemodell generell über Personengruppen (z. B. erwerbstätig mit Pkw oder erwerbstätig mit ÖV-Zeitkarte) oder über verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.2.2.1 Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit und Kapitel 2.2.2.1 Abbildung zusätzlicher Wirkungsmodelle (Modellerweiterungen)). Wird mit einem Verkehrsmittelverfügbar-

keitsmodell die Wirkung, die eine Maßnahme auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit hat, berechnet, kann diese durch Anpassung der Verteilung der Personen auf die Personengruppen oder der Wahrscheinlichkeitsfaktoren in den Verkehrszellen im Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden.

Anstelle die Wirkung auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit mit Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodellen zu modellieren, kann diese zur Vereinfachung abgeschätzt oder, bei Annahme eines nur geringen Einflusses, vernachlässigt werden. Dies ist bei allen Maßnahmen mit möglichen Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit zu berücksichtigen. Bei der maßnahmenspezifischen Untersuchung wird hierauf im Einzelnen nicht eingegangen.

3.4.2 Maßnahmenkatalog Anforderungsuntersuchung

In Tabelle 7 sind alle Maßnahmen je Maßnahmenkategorie aufgeführt deren Anforderungen, gemäß der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Vorgehensweise, nachfolgend untersucht werden. Die Auswahl umfasst Maßnahmen aus dem Aufgabenbereiche der Verkehrskonzepte, aus dem Angebot geteilter Verkehrsmittel, aus dem Bereich der Siedlungsstruktur sowie Entwicklungen der Automobilindustrie. Die Maßnahme ÖV-Infrastruktur der Maßnahmenkategorie „Maßnahmen der Infrastruktur“ wird hierbei nicht gesondert untersucht, da diese Maßnahme erst Auswirkungen auf die Nachfrage hat, wenn auch ein Angebot geschaffen wird. Diese Maßnahmen werden unter der Maßnahmenkategorie „Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot“ betrachtet.

Maßnahmenkategorie	Maßnahmen
Maßnahmen der Siedlungsstruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung von neuen / Verdichtung von bestehenden Siedlungsgebieten
Maßnahmen der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Streckenneubau, -ausbau und -rückbau im Straßenverkehrsnetz (Kfz-Verkehr) • Neubau, Ausbau und Rückbau von P+R-Anlagen • Streckenneubau, -ausbau und -rückbau im Radverkehrsnetz • Neubau, Ausbau, Rückbau von Radabstellanlagen
Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung / Ausbau von Carsharing – stationsbasiert • Einführung / Ausbau von Carsharing – free-floating • Einführung / Ausbau von öffentlichen Fahrradverleihsystemen – stationsbasiert • Förderung von Ridesharing • Einführung / Ausbau von Rideselling mit Pooling – free-floating
Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Anzahl an Servicefahrten • Änderung der Betriebsdauer • Änderung des Liniennetzes
Maßnahmen der Ordnungspolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit • Einführung / Ausbau von Fahrverboten • Einführung / Ausbau von Fahrverboten – Umweltzonen • Einführung / Ausbau von Fahrverboten – Durchfahrtsverbote
Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung / Ausbau von Parkraumbewirtschaftung • Einsatz von Straßenbenutzungsgebühren – Gebietsgebühren • Einsatz von Straßenbenutzungsgebühren – Netzgebühren • Änderung von ÖV-Fahrpreisen • Änderung des ÖV-Tarifsystems – Anpassung der Tarifzonen • Erweiterung des ÖV-Ticketangebots – Firmentickets
Maßnahmen der Fahrzeugtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Antriebstechnik – Elektroantrieb • Zulassung von autonomen Fahrzeugen
Maßnahmen der Verkehrstechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung von Lichtsignalsteuerungen • Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen • Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen mit temporären Seitenstreifenfreigaben
Maßnahmen der Informationsverbesserung	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Netzbeeinflussungsanlagen • Einsatz von Mobilitäts-Apps
Maßnahmen der Bewusstseinsbildung	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Werbekampagnen

Tabelle 7: Maßnahmenkatalog Anforderungsuntersuchung

3.4.3 Maßnahmen der Siedlungsstruktur

Maßnahme: Erschließung von neuen oder Verdichtung von bestehenden Siedlungsgebieten

Beschreibung

Diese Maßnahme umfasst die Erschließung von neuen Wohn-, Gewerbe- oder Mischgebieten sowie die Verdichtung derselben, bei der freistehende Flächen innerhalb bestehender Gebiete genutzt werden.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderungen
Zahl der Alternativen	Änderung aufgrund veränderter Strukturgrößen
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Zielwahl
	ÖV: Änderungen durch andere Zielwahl
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Änderungen aufgrund veränderter Strukturgrößen
Verkehrszielwahl	Änderungen durch neue Siedlungsgebiete
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderungen der Zielwahl und Beeinflussung der Reisezeiten möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich, aber lokal (Verkehrszelle) möglich aufgrund anderer Wegezwecke durch die Erschließung / Verdichtung
Routenwahl	Verlagerungen durch zusätzliche Ortsveränderungen oder andere Zielwahl möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Verkehrszelleneinteilung	Zusätzliche Verkehrszellen bereits im 0-Fall vorsehen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Abfahrtszeitwahl mit statischen Ganglinien zur Abbildung einer tageszeitabhängigen ÖV-Nachfrage (bei lokalen Verlagerungen auf Verkehrszellenebene oder bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung). Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Aktualisierung der Strukturdaten der Verkehrszellen (z. B. Einwohner, Arbeitsplätze).
- Verhältnis Arbeitsplätze / Einwohner und Pendlerströme prüfen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software und teilweise mit Stand der Praxis bei Kapazitätsengpässen im ÖV (fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung), typisches Vorgehen in der Verkehrsnachfragemodellierung.

Diskussion Modellierungsvarianten

Bei der Verdichtung von bestehenden Siedlungsgebieten werden die zusätzlichen Siedlungsstrukturdaten (Einwohner, Arbeitsplätze etc.) in der jeweiligen Verkehrszelle ergänzt.

Die Strukturdaten aus der Erschließung zusätzlicher Siedlungsgebiete können grundsätzlich auf dieselbe Weise im Verkehrsnachfragemodell ergänzt werden. Bei dieser Vorgehensweise kann es schwierig sein, die erzeugten Ortsveränderungen realistisch durch Anbindungen in das Verkehrsnetz einzuspeisen. Die Zugangszeit neu erschlossener Siedlungsgebiete entspricht üblicherweise nicht der mittleren Zugangszeit auf den Anbindungen des bereits existierenden Gebiets. Eine Anpassung der Zugangszeit würde sich jedoch auf die gesamte Nachfrageberechnung aller Ortsveränderungen der Verkehrszelle auswirken und ist zu vermeiden. Wird eine weitere Anbindung für das erschlossene Siedlungs- und Gewerbegebiet eingefügt, muss sichergestellt werden, dass die Verkehrsmenge der Anbindung realistisch für die Menge an hinzugefügten Strukturdaten ist. Kann keine realistische Aufteilung erreicht werden, kann durch Vorgabe von Nachfrageanteilen auf den einzelnen Anbindungen eine realitätsnahe Verteilung unterstützt werden.

Besonders bei großen neu zu erschließenden Siedlungsgebieten, die oftmals auch über separate Zufahrten an das übergeordnete Straßenverkehrsnetz und ÖV-Linien angeschlossen werden, ist eine Abbildung über eine neue Verkehrszelle empfehlenswert. Die Ortsveränderungen können bei dieser Variante mithilfe von Anbindungen einfacher in die separaten Zufahrtspunkte und ÖV-Linien eingespeist werden und eine Beeinflussung des existierenden Gebiets kann ausgeschlossen werden.

Bei dieser Maßnahme ist grundsätzlich das Verhältnis von Siedlungsstrukturdaten z. B. zwischen Einwohnern und Arbeitsplätzen zu prüfen, ggf. unter Berücksichtigung von Pendlerströmen. Bei einem Ungleichgewicht und einem Einsatz von harten Randsummenbedingungen, werden die fehlenden Siedlungsstrukturdaten auf alle Verkehrszellen hochgerechnet.

3.4.4 Maßnahmen der Infrastruktur

Maßnahme: Streckenneubau, -ausbau und -rückbau im Straßenverkehrsnetz (Kfz-Verkehr)

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst den Neu-, den Aus- und Rückbau eines Streckenzuges. Ein Streckenzug erstreckt sich über mindestens zwei Knotenpunkte. Unter Rückbau wird in dieser Arbeit eine Maßnahme verstanden, welche die Kapazität des betreffenden Streckenzuges reduziert. Unter Ausbau wird eine Maßnahme verstanden, die eine Kapazitätserhöhung mit sich bringt. Die Definitionen weichen von den Definitionen der RASSt (FGSV (2006c)) ab.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung im MIV
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Routen im MIV bei einem Streckenneubau oder einem kompletten Rückbau
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Kapazitätsänderungen
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeiten möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen durch neue Routenmöglichkeiten treten auf

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Verkehrsnetz	Straßenkategorie der Maßnahme
	Ausreichende Anzahl an Einspeisungspunkten
Entscheidungsstufen	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Bei einem Rückbau mit Verlagerungen hin zum ÖV stellt das Ergebnis bei Kapazitätsengpässen im ÖV bei einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Strecken mit allen relevanten Attributen (z. B. zugelassene Verkehrsmittel, Fahrzeit im unbelasteten (t_0) und belasteten Netz (t_{akt}), Steigung, Kapazität).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung), typisches Vorgehen in der Verkehrsnachfragemodellierung.

Diskussion Modellierungsvarianten

Bei der Modellierung eines Neubaus müssen die Strecken und ggf. Knotenpunkte des Streckenzuges im Netzmodell sowie die Eigenschaften der Netzobjekte über Attribute (z. B. t_0 , Anzahl an Fahrstreifen, zugelassene Verkehrssysteme und Kapazität) ergänzt werden. Zur Abbildung der auslastungsabhängigen Fahrzeit auf den Strecken ist eine geeignete CR-Funktion zu wählen. Hierfür empfiehlt sich ein Vergleich mit Streckenzügen, die dem Neubau ähnlich sind. Für die Abbildung der Fahrzeit von Abbiegern ist dieselbe Abbildungsvariante wie im übrigen Netzmodell zu wählen (vgl. Kapitel 2.2.2.1). Bei einem Ausbau oder Rückbau eines Streckenzuges muss für die zugehörigen Strecken eine Anpassung der Attribute erfolgen. Ob eine Anpassung der CR-Funktion notwendig ist, sollte durch einen Vergleich mit Streckenzügen, die dem angepassten ähnlich sind, geprüft werden.

Maßnahme: Neubau, Ausbau und Rückbau von P+R-Anlagen

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst den Neu-, den Aus- und Rückbau von P+R-Anlagen. Eine P+R-Anlage ist ein Parkplatz, welcher in unmittelbarer Nähe eines Bahnhofs oder einer Haltestelle angelegt ist und zum Abstellen der Pkw von Fahrgästen öffentlicher Verkehrsmittel dient (FGSV (2012a)).

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung bei den P+R-Anlagen
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Verknüpfungspunkte im P+R durch Neubau von Anlagen
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Moduswahl möglich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngröße Reisekosten	Es entstehen Kosten falls P+R gebührenpflichtig ist
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch neue Alternativen und Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch neue Alternativen und Beeinflussung der Reisezeiten sowie Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen durch Anfahren der P+R-Anlagen möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	P+R
Zusätzliche Teilmodelle	Modell zur Berechnung von intermodalen Ortsveränderungen
	Kostenmodell zur Berechnung der P+R-Gebühren*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl (intermodal)
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Bei einem Ausbau der P+R-Anlagen mit Verlagerungen hin zum ÖV stellt das Ergebnis bei Kapazitätsengpässen im ÖV bei einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig. Werden Gebühren für Abstellanlagen erhoben sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit, Pkw- und ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit bzw. verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).
- Abbildung der P+R-Anlagen mit allen relevanten Attributen (z. B. Kapazität, Gebühren).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung). Wird die Kapazität der P+R-Anlagen über einen Attraktivitätsfaktor modelliert ist für diesen eine Annahme zu treffen. Die Wirkung der P+R-Anlagengröße basiert in diesem Fall auf einer Annahme.

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Ein Teilmodell das P+R abbildet, berücksichtigt das IV- und ÖV-Angebot zwischen den Quell- / Zielverkehrszellen und den Verknüpfungspunkten (P+R-Anlagen) sowie die Kapazitäten der Verknüpfungspunkte.

Bei einem Neubau von P+R-Anlagen müssen diese als weitere Netzobjekte in das Modell eingefügt werden. Die Eigenschaften der P+R-Anlagen sind in den Attributen (z. B. Kapazität) bei einem Neubau, Rückbau und Ausbau entsprechend zu ergänzen. Werden für P+R-Anlagen Gebühren erhoben, sind ein Kostenmodell zur Berechnung der Gebühren und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, siehe Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Maßnahme: Streckenneubau, -ausbau und -rückbau im Radverkehrsnetz

Beschreibung

Diese Maßnahme umfasst den Neubau von Strecken zur Netzverknüpfung innerhalb des Radverkehrsnetzes (Schließung von Netzlücken) und den Ausbau und Rückbau derselben. Die Maßnahmen Aus- und Rückbau umfassen die Änderung der Bemessung von Radverkehrsanlagen, des Belages der Deckschicht und der Radverkehrsführung.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung im Radverkehr durch einen Neubau
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Routen im Radverkehr durch einen Neubau
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch andere Moduswahl möglich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
	Rad: Änderungen durch Anpassungen der Radverkehrsführung
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen (Rad) durch Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeiten treten auf
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen (Rad) durch neue Routenalternativen treten auf

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Verkehrsnetz	Klassifiziert nach Führungsformen (Rad)
Entscheidungsstufen	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Routenwahl (Rad)*
Fahrzeitermittlung (Rad)	In Abhängigkeit der Streckenlänge, Längsneigung und Führungsform
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Routenwahl (Rad) nur nötig wenn Streckenbelastung gewünscht ist

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Strecken mit allen wichtigen Attributen (z. B. Länge, t_0 , t_{akt} , Längsneigung, Führungsform).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis sind Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl (keine Berücksichtigung der Führungsform bei der Fahrzeitermittlung).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis sind Wirkungen auf die Routenwahl (fehlende Routenwahl Rad).

Diskussion Modellierungsvarianten

Bei der Modellierung eines Neubaus müssen die Strecken und ggf. Knotenpunkte des Streckenzuges im Netzmodell ergänzt werden. Die Eigenschaften der Netzobjekte sind über Attribute (z. B. Länge, t_0 , t_{akt} , Längsneigung, Führungsform) beim Neubau, Umbau und Ausbau entsprechend anzupassen. Im Radverkehr kann vereinfacht angenommen werden, dass die Fahrgeschwindigkeit nicht auslastungsabhängig ist und somit $t_0 = t_{akt}$ entspricht. Eine Modellierungsvariante zeigt BAIER ET AL. (2013) auf. Hier werden die Fahrgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Radverkehrsführung und der Längsneigung modelliert. Durch den verstärkten Bau von Radschnellverbindungen, die sich von den anderen Radverkehrsführungen durch die höheren möglichen Fahrgeschwindigkeiten unterscheiden, gewinnt die Modellierung nach BAIER ET AL. an Bedeutung, da hierdurch die Vorteile der Radschnellverbindungen gegenüber den anderen Radverkehrsführungen berücksichtigt werden können.

Maßnahme: Neubau, Ausbau und Rückbau von Radabstellanlagen

Beschreibung

Die Maßnahme beinhaltet alle Änderungen von Radabstellanlagen, auch an ÖV-Haltestellen, zur Verknüpfung von Rad und ÖV (B+R). Zu den Änderungen zählt der Neu-, Aus- und Rückbau. Einen Überblick über mögliche Ausführungsvarianten sowie qualitative und quantitative Anforderungen an Radabstellanlagen liefern die Hinweise zum Fahrradparken (FGSV (2012b)).

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderungen bei den Abstellmöglichkeiten des Radverkehrs
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Abstellmöglichkeiten (Rad)
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen unwahrscheinlich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
	Rad: ggf. schnelleres Abstellen möglich
Kenngröße Reisekosten	Es entstehen Kosten, falls Radabstellanlagen gebührenpflichtig sind
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Moduswahl	Verlagerungen durch neue alternative Radabstellanlagen an Haltestellen, welche intermodale Wege fördern, möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	B+R
Zusätzliche Teilmodelle	Modell zur Berechnung von intermodalen Ortsveränderungen
	Kostenmodell zur Berechnung von gebührenpflichtigen Radabstellanlagen*
Entscheidungsstufen	Verkehrszielwahl
	Moduswahl (intermodal)
	Routenwahl (Rad)*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*
Anmerkungen*	Routenwahl (Rad) nur nötig, wenn Streckenbelastung gewünscht ist. Werden Gebühren für Abstellanlagen erhoben sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Zu- und Abgangszeit im Radverkehr.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (Wirkungsweise kann nur durch Anpassung der Zu- und Abgangszeit modelliert werden. Hierfür sind zusätzliche Datensätzen aus

Untersuchungen zu den Wirkungen der Maßnahme auf die Zu- und Abgangszeiten notwendig. Alternativ kann die Anpassung durch Annahmen erfolgen).

Diskussion Modellierungsvarianten

Radabstellanlagen ermöglichen ein sicheres und komfortables Abstellen von Rädern, wobei die Sicherheit von der Ausführung der Radabstellanlagen abhängig ist. Fahrradboxen schützen beispielsweise besser vor Diebstahl als Fahrradbügel. Sind Radabstellanlagen vorhanden an denen das Rad abgeschlossen werden kann, müssen keine Geländer, Straßenlaternen oder sonstige Abstellmöglichkeiten gesucht werden. Radabstellanlagen machen das Radfahren durch sichere Abstellanlagen attraktiver und können dazu beitragen Zeit beim Abstellen einzusparen. Radabstellanlagen an ÖV-Stationen können Intermodalität in Form von B+R fördern.

Radabstellanlagen an Quell- und Zielverkehrszellen sind nicht explizit in Verkehrsnachfragemodellen abgebildet. Somit kann die Abbildung eines Neu-, Aus- oder Rückbaus von Radabstellanlagen nicht durch die Anpassung eines Netzobjektes im Modell erfolgen. Die Zu- und Abgangszeit auf den Anbindungen bilden im Verkehrsnachfragemodell den Zu- und Abgangsweg ab. Eine Möglichkeit stellt es dar, den Sicherheits-, Komfort-, und Zeitgewinn über eine Anpassung der Zu- und Abgangszeit auf den Anbindungen zu berücksichtigen. Ohne Kenntnisse über den Zeitgewinn und die Bewertung des Sicherheits- und Komfortgewinnes durch die Verkehrsteilnehmer können diese nur experimentell angepasst werden. Bei einer experimentellen Anpassung der Zu- und Abgangszeit basieren berechnete Wirkungen auf den getroffenen Annahmen.

Zur Abbildung der Intermodalität muss ein zusätzliches Teilmodell, das intermodale Wege inklusive Radabstellanlagen an ÖV-Stationen abbildet, im Verkehrsnachfragemodell integriert sein. Zur Modellierung von Neubau, Rückbau und Ausbau an ÖV-Stationen können die Radabstellanlagen und die Attribute entsprechend ergänzt bzw. angepasst werden (vgl. „Maßnahme: Neubau, Ausbau und Rückbau von P+R-Anlagen“ auf Seite 102).

Zur Modellierung von B+R sind empirische Untersuchungen zur Wirkungsweise und deren Wirkungen notwendig. Hierzu gehört z. B. auch die Untersuchung inwieweit Gebühren überwachter Abstellplätze, wie sie an ÖV-Stationen teilweise vorzufinden sind, das Verhalten beeinflussen. Ebenso müssen für die Modellierung von B+R müssen bei Befragungen die Verkehrsmittel nach Teilwegen erhoben werden und nicht ausschließlich das Hauptverkehrsmittel des Gesamtweges. Die nordrhein-westfälischen Kommunen haben hierfür einen Standard zur Modal-Split-Erhebung in NRW erarbeitet, der es ermöglicht die Radverkehrsförderung zu evaluieren. Hierzu gehört beispielsweise die Erhebung der genutzten Verkehrsmittel für Teilwege (vgl. MÜHLENBRUCH (2009)).

3.4.5 Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Carsharing - stationsbasiert

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Anbieten von stationsbasierten Carsharing-Angeboten. Die Carsharing-Fahrzeuge werden an festen Stationen (angemietete Parkplätze / Garagen) angeboten. Vor Fahrtantritt wird das gewünschte Fahrzeug für eine bestimmte Zeit reserviert. Am Ende des Ausleihzeitraums muss das Fahrzeug an derselben festen Station zurückgegeben werden. Vereinzelt erlauben Anbieter auch die Rückgabe an einer beliebigen festen Station.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Verkehrsmittelalternativen
Nutzungsverhalten	Nutzung durch spezifische Nutzergruppe für spezifische Wegezwecke, lange Ausleihdauer, geringe Nutzungshäufigkeit
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch Verlagerungen und Neuverkehre bei heutigem Nutzungsverhalten unwahrscheinlich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngröße Reisekosten	Bei Carsharingfahrten fallen Nutzungsgebühren an
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich (Carsharing-Verfügbarkeit für Carsharing-Kunden)
Verkehrserzeugung	Neuverkehre möglich
Verkehrszielwahl	Änderungen unwahrscheinlich
Moduswahl	Verlagerungen durch zusätzliches Angebot
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	Carsharing
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen und Wegezwecke (Abbildung Nutzergruppe)
Zusätzliche Teilmodelle	Modell zur Abbildung des stationsbasierten Systems (Stationen, Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen, Rückgabe nur an der Ausleihstation).
	Kostenmodell zur Berechnung der Nutzungsgebühren*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Routenwahl
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*
Anmerkungen*	Aufgrund der langen Ausleihdauer kann auf eine Zeitachse verzichtet werden. Zur Berechnung der Nutzungsgebühren sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Gebührenstruktur.
- Abbildung der Zugangsmöglichkeiten (z. B. Anbindungen der Stationen, Verknüpfung Haltestellen mit den Carsharing-Stationen an Haltestellen).
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit, Carsharing-Verfügbarkeit (Carsharing-Kunde)).
- Abbildung der Stationen mit allen relevanten Attributen (z. B. Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- (Bald) teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, bisher fehlende Teilmodelle für stationsbasierte Systeme sind bereits in der Entwicklungs- und Testphase oder auch in kommerzieller Software bereits verfügbar (siehe PTV AG (2018))).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Carsharing und Teilmodell stationsbasiertes System sowie Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Makroskopische Ansätze zur Modellierung von Carsharing werden momentan erforscht und Teilmodelle zur Abbildung der Sharingsysteme entwickelt und getestet. Es ist anzunehmen, dass separate Personengruppen zur Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit von Sharingsystemen die Ergebnisqualität der Verkehrsnachfragemodellierung positiv beeinflussen, da hierdurch die spezifische Nutzergruppe (der typische Sharing-Kunde) in die Berechnungen eingeht. Ob ebenfalls eine gute Ergebnisqualität erreicht werden kann, wenn Sharing-Kunden nicht als separate Personengruppe abgebildet werden, kann zum heutigen Forschungsstand nicht beantwortet werden. Hierzu sind Erfahrungen in der Abbildung von Sharing-Systemen notwendig, die erst gesammelt werden müssen.

Mikroskopische Ansätze sind weiterentwickelt und Erfahrungen in der Modellierung konnten bereits gesammelt werden. Hierzu zählen die agentenbasierten Nachfragemodelle MATSIM und mobiTopp (vgl. CIARI ET AL. (2014); HEILIG ET AL. (2017)). In mobiTopp wird Carsharing beispielsweise durch zusätzliche Objekte (z. B. Lage der free-floating Pkw und der Carsharing-Stationen), einem Teilmodell „Carsharing-Kunden-Modell“ und durch eine Erweiterung der Moduswahl umgesetzt.

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Carsharing – free-floating

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Anbieten von free-floating Carsharing-Angeboten. Bei free-floating Konzepten können Fahrzeuge innerhalb des Geschäftsgebiets auf öffentlichen Parkplätzen abgestellt werden. Die free-floating Fahrzeuge können flexibel gebucht und nur für eine kurze Zeitspanne reserviert werden. Die Fahrzeuge stehen an dem Ort, an dem sie vom letzten Kunden abgestellt wurden. Der aktuelle Standort von verfügbaren Fahrzeugen wird durch den Nutzer mit dem Smartphone geortet.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Verkehrsmittelalternativen
Nutzungsverhalten	Nutzung durch spezifische Nutzergruppe für spezifische Wegezwecke, kurze Ausleihdauer, geringe Nutzungshäufigkeit
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch Verlagerungen und Neuverkehre bei heutigem Nutzungsverhalten unwahrscheinlich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngröße Reisekosten	Bei Carsharingfahrten entstehen Nutzungsgebühren
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich (Carsharing-Verfügbarkeit für Carsharing-Kunden)
Verkehrserzeugung	Neuverkehre möglich
Verkehrszielwahl	Änderungen unwahrscheinlich
Moduswahl	Verlagerungen durch zusätzliches Angebot
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	Carsharing
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen und Wegezwecke (Abbildung Nutzergruppe)
Zusätzliche Teilmodelle	Modell zur Abbildung des Free-floating-Systems (Fahrzeugstandpunkte)
	Kostenmodell zur Berechnung der Nutzungsgebühren*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl (intermodal)
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinie)
	Routenwahl
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch (Abbildung Fahrzeugstandpunkte, Abbildung der Mietdauer und Fahrzeugverfügbarkeit über die Zeit)
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*
Anmerkungen*	Zur Berechnung der Nutzungsgebühren sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Kostenstruktur.
- Abbildung der Zugangsmöglichkeiten zum Fahrzeug (z. B. Freigabe von Strecken für Fuß).
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit, Carsharing-Verfügbarkeit (Carsharing-Kunde)).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- (Bald) teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, bisher fehlende Teilmodelle für Free-floating-Systeme sind bereits in der Entwicklungs- und Testphase oder auch in kommerzieller Software bereits verfügbar (siehe PTV AG (2018)).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Carsharing und Teilmodell Free-floating-System sowie Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Analog zur Maßnahme „Carsharing – stationsbasiert“.

Maßnahme: Einführung / Ausbau von öffentlichen Fahrradverleihsystemen – stationsbasiert

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Anbieten von stationsbasierten öffentlichen Fahrradverleihsystemen. Öffentliche Fahrradverleihsysteme (kurz ÖFVS) sind öffentlich zugängliche Leihfahräder im Selbstbedienungsbetrieb. Die Rückgabe beim stationsbasierten ÖFVS ist typischerweise an einer beliebigen Station möglich (vgl. RABENSTEIN (2015)). Eine Reservierung der Leihfahräder ist nicht möglich.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Verkehrsmittelalternativen
Nutzungsverhalten	Nutzung durch spezifische Nutzergruppe, großer Anteil intermodal mit ÖV, kurze Ausleihdauer
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch Verlagerungen bei heutigem Nutzungsverhalten unwahrscheinlich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngröße Reisekosten	Durch ÖFVS entstehen Nutzungsgebühren
Nutzergruppe	Spezifische Nutzergruppe
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich (ÖFVS-Verfügbarkeit für ÖFVS-Kunden)
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Änderungen unwahrscheinlich
Moduswahl	Verlagerungen durch zusätzliches Angebot
Abfahrtszeitwahl	Änderungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Änderungen unwahrscheinlich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	ÖFVS
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen und Wegezwecke (Abbildung Nutzergruppe)
Zusätzliche Teilmodelle	Modell zur Abbildung von intermodalen Wegen
	Modell zur Abbildung des stationsbasierten Systems (Stationen, Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen)
	Kostenmodell zur Berechnung der Nutzungsgebühren*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl*
	Moduswahl (intermodal)
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)
	Routenwahl
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch (Abbildung der Standpunkte der Räder über die Zeit und zur Abbildung der Anfangszeit von Ortsveränderungen)
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung und -zielwahl notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Zur Berechnung der Nutzungsgebühren sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Kostenstruktur.
- Abbildung der Zugangsmöglichkeiten (z. B. Anbindungen der Stationen, Verknüpfung Haltestellen mit den ÖFVS-Stationen an Haltestellen).
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit, ÖFVS-Verfügbarkeit (ÖFVS-Kunde)).
- Abbildung der Stationen mit allen wichtigen Attributen (z. B. Anzahl an verfügbaren Rädern).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- (Bald) teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, bisher fehlende Teilmodelle für stationsbasierte Systeme sind bereits in der Entwicklungs- und Testphase oder auch in kommerzieller Software bereits verfügbar (siehe PTV AG (2018))).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes ÖFVS und Teilmodell stationsbasiertes System sowie Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Analog zur Maßnahme „Carsharing – stationsbasiert“.

Maßnahme: Förderung von Ridesharing

Beschreibung

Bei Ridesharing werden freie Plätze in privaten Pkw Dritten über öffentlich zugängliche Mitnahmesysteme zur Verfügung gestellt und über eine in der Regel internetbasierte Plattform angeboten (vgl. SOMMER ET AL. (2016b)). Private Fahrdienste (z. B. Uber), bei denen eine Fahrt nur stattfindet um Dritte zu befördern, sind kein Ridesharing. Diese werden als Rideselling bezeichnet, siehe nachfolgende Maßnahme.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Verkehrsmittelalternativen
Nutzungsverhalten	Ridesharing wird für unterschiedliche Wegezwecke genutzt. Der Wegezweck ist abhängig von der Nutzergruppe
Kenngröße Reisezeit	MIV: Beeinflussung durch Verlagerungen bei der Moduswahl möglich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngröße Reisekosten	Für Ridesharing können Mitfahrgebühren anfallen
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre möglich (abhängig vom Wegezweck)
Verkehrszielwahl	Die Beeinflussung der Reisezeit wirkt auf die Erreichbarkeit und dadurch auf die Zielwahl
Moduswahl	Verlagerungen durch zusätzliches Angebot hin zu mehr Mitfahrern (höherer Besetzungsgrad)
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen durch Anpassung an Abfahrt des Fahrers möglich
Routenwahl	Verlagerungen möglich zur Aufnahme und Absetzung der Mitfahrenden

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	Ridesharing
Zusätzliche Teilmodelle	Teilmodell zur Abbildung von Ridesharing
	Modell zur Abbildung von intermodalen Wegen
	Kostenmodell zur Berechnung der Mitfahrgebühren*
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen und Wegezwecke (Abbildung Nutzergruppe)
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl (intermodal)
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*
Anmerkungen*	Ridesharing unterscheidet sich vom klassischen Pkw-Mitfahrer durch möglicherweise anfallende Gebühren und durch mögliche intermodale Wege der Mitfahrenden. Zur Berechnung der Mitfahrgebühren sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik. Abfahrtszeitwahl mit statischen Ganglinien notwendig zur Kopplung von angebotenen Fahrten mit Fahrten potentieller Mitfahrender.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Kostenstruktur.
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und Teilmodell zur Abbildung von Ridesharing).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Ridesharing und Teilmodell zur Abbildung von Ridesharing sowie Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Makroskopische Ansätze zur Modellierung von Ridesharing liegen nicht vor.

Um Kenntnisse über mögliche intermodale Wege bei Ridesharing zu gewinnen, müssten bei Befragungen Teilwege erhoben werden.

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Rideselling mit Pooling – free-floating

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Anbieten von free-floating Rideselling mit Pooling. Unter Rideselling fallen Fahrzeugfahrten, die Personen kommerziell nach dem Fahrtwunsch der Fahrgäste befördern und bei denen die Fahrzeugfahrt nicht ohne Fahrgäste stattfinden würde. Die Bündelung der Nachfrage von nicht zusammengehörigen Personen auf einer Fahrt wird als Pooling (Nachfragebündelung) bezeichnet (vgl. MEHLERT UND SCHIEFELBUSCH (2017)). Free-floating bedeutet hierbei, dass die Fahrzeuge nicht nach einem festen Linienvorlauf, Fahrplan und nicht unbedingt zwischen Haltestellen verkehren, wie z. B. bei klassischen Linienbussen, und somit ein Tür-zu-Tür-Service möglich ist.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Verkehrsmittelalternativen
Nutzungsverhalten	Informationen zu Nutzungsverhalten und Nutzern bisher noch nicht bekannt
Kenngröße Reisezeit	MIV: Beeinflussung durch andere Moduswahl
	ÖV: Änderungen durch andere Moduswahl möglich, wenn sich das Verhältnis von Fahrten in der Hauptverkehrszeit (kürzere Reisezeit durch höhere Taktung) und Nebenverkehrszeit ändert
Kenngröße Reisekosten	Für Rideselling fallen Nutzungsgebühren an
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich (basierend auf den Prognosen für autonomes Fahren)
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Die Beeinflussung der Reisezeit wirkt auf die Erreichbarkeit und dadurch auf die Zielwahl
Moduswahl	Verlagerungen durch zusätzliches Angebot
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen aufgrund des free-floating Betriebes möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Modi / Verkehrsmittel	Rideselling
Zusätzliche Teilmodelle	Teilmodell zur Abbildung von Rideselling mit Pooling – free-floating
	Kostenmodell zur Berechnung der Nutzungsgebühren*
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen und Wegezwecke (Abbildung möglicher Nutzergruppe)
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl*
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Nutzenfunktion	Kostenkomponente*
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung und –zielwahl notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Abfahrtszeitwahl mit statischen Ganglinien notwendig für das Teilmodell Rideselling zur Kopplung von zeitlich und räumlich übereinstimmenden Fahrtwünschen. Zur Berechnung der Nutzungsgebühren sind ein Kostenmodell und eine Kostenkomponente in der Nutzenfunktion notwendig, vgl. Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Abbildung der Kostenstruktur.
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit, ggf. Rideselling Verfügbarkeit wenn Nutzung nur durch angemeldete Kunden möglich ist).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Nicht abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Teilmodell für free-floating Rideselling mit Pooling und Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Rideselling und Teilmodell für free-floating Rideselling mit Pooling sowie Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Ein Teilmodell, welches zeitlich und räumlich übereinstimmende Fahrtwünsche koordiniert, ist in den verfügbaren kommerziellen Softwareprodukten noch nicht enthalten. Eine Möglichkeit, wie dieses Teilmodell umgesetzt werden kann, zeigt das Projekt MEGAFON (Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs) auf (vgl. FRIEDRICH UND HARTL (2016)). Hier werden zuerst die Personenfahrten ermittelt und anschließend mit einem Bündelungsalgorithmus in Fahrzeugfahrten umgerechnet. Der Algorithmus bestimmt für jede Personenfahrt eine Route und vereinfacht die Streckenfolge der Route zu einer Folge von durchfahrenen Verkehrszellen. Für jede Personenfahrt ist eine Wunschabfahrtszeit bekannt. Die Wunschabfahrtszeit wird als Fahrtwunsch interpretiert, der in einem 15-Minutenzeitintervall zu bedienen ist. Gebündelt werden Fahrtwünsche zu Fahrzeugfahrten, wenn diese zeitlich zueinander passen und wenn die Folge von Verkehrszellen komplett oder für eine Teilfolge übereinstimmt.

3.4.6 Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot

Maßnahme: Änderung der Anzahl an Servicefahrten

Beschreibung

Durch diese Maßnahme wird die Anzahl an Servicefahrten für ausgewählte Linien und Tageszeiten innerhalb der Betriebsdauer im Fahrplanangebot erhöht oder reduziert.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung im ÖV durch Beeinflussung der Anzahl an Servicefahrten (Kapazität hat im ÖV bei einer belastungsunabhängigen Routenwahl keinen Einfluss auf die Entscheidungsstufen)
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Routen- / Verbindungsmöglichkeiten im ÖV
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch andere Moduswahl
	ÖV: Änderung durch Beeinflussung der Start- und Umsteigewartezeit
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Zahl der Alternativen, Reisezeiten und Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Änderung der Wunschabfahrtszeit unwahrscheinlich (Angebot passt sich an Wunschabfahrtszeit an)
Routenwahl	Verlagerungen durch Änderung der Anzahl an Alternativen (beeinflusst die Umsteigewartezeit) möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl*
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Zeitliche Verfügbarkeit (ÖV: Bedienungshäufigkeit, Umsteigewartezeit oder Anpassungszeit)
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung und -zielwahl notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung des Fahrplanangebots.
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen). Der ÖV-Umlegungszeitraum entspricht nicht in allen Verkehrsnachfragemodellen der Betriebsdauer. Eine Abbildung der Wirkungen außerhalb des Umlegungszeitraums ist nicht möglich. Hierfür müsste der 0-Fall angepasst und neu validiert sowie kalibriert werden.

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Bei fahrplanfeinen Umlegungsvarianten werden Servicefahrten entsprechend ergänzt oder gelöscht. Wird ein taktfeines Umlegungsverfahren verwendet ist der Takt auf Grundlage des neuen Fahrplanangebots anzupassen.

Die Anzahl an Servicefahrten beeinflusst die zeitliche Verfügbarkeit des ÖV. Wird die Anzahl an Servicefahrten einer Linie geändert, wirkt sich dies auf die Kenngrößen der zeitlichen Verfügbarkeit aus. Die Kenngrößen der zeitlichen Verfügbarkeit sind die Umsteigewartezeit, Bedienungshäufigkeit, Startwartezeit und, bei fahrplanfeinen Umlegungsverfahren, die Anpassungszeit (vgl. Kapitel 2.2.2.1, Abbildung der zeitlichen Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln). Die Startwartezeit wird aus der Bedienungshäufigkeit berechnet und ist somit eine alternative Kenngröße zur Bedienungshäufigkeit.

Um die Wirkung der Maßnahme auf die Verkehrsziel- und Moduswahl berücksichtigen zu können, müssen die Kenngrößen der zeitlichen Verfügbarkeit Teil der Nutzenfunktion sein. Das nachfolgende Beispiel zeigt für die Kenngrößen Umsteigewartezeit und Bedienungshäufigkeit bei einer fahrplanfeinen Umlegung, dass die Änderung der Anzahl an Servicefahrten einer oder mehrerer Linien nicht zwingend beide Kenngrößen einer Quelle-Ziel-Relation beeinflusst.

Das in Abbildung 5 dargestellte Beispiel zeigt den Einfluss, den eine Änderung der Servicefahrten auf die Kenngrößen Umsteigewartezeit und Bedienungshäufigkeit hat. Das Beispiel betrachtet eine Quelle-Ziel-Relation. Die Linien 1, 2 und 3 verbinden die Quelle und das Ziel. Die Fahrzeit der Servicefahrten der Linien beträgt jeweils 10 min. Die Wunschabfahrtszeit der Nachfrage ist homogen auf vier Zeitabschnitte mit jeweils einer Stunde verteilt. Die Berechnung erfolgt für zwei Maßnahmen. Die Ergebnisse werden mit der Software PTV Visum berechnet.

Der Fahrplan für den 0-Fall und die zwei Maßnahmen sowie die Ergebnisse der Kenngrößenberechnungen sind in Abbildung 5 dargestellt. Durch Maßnahme 1 ändert sich die Bedienungshäufigkeit. Die Maßnahme 2 bewirkt eine Änderung der

Umsteigewartezeit. Die Ergebnisse zeigen somit, dass die zeitliche Verfügbarkeit nicht alleine über die Umsteigewartezeit oder die Bedienungshäufigkeit abgebildet werden kann, sondern hier eine Kombination aus beiden Kenngrößen nötig ist. Das Beispiel zeigt dies für eine fahrplanfeine Umlegung, selbes gilt aber auch für eine taktfeine Umlegung.

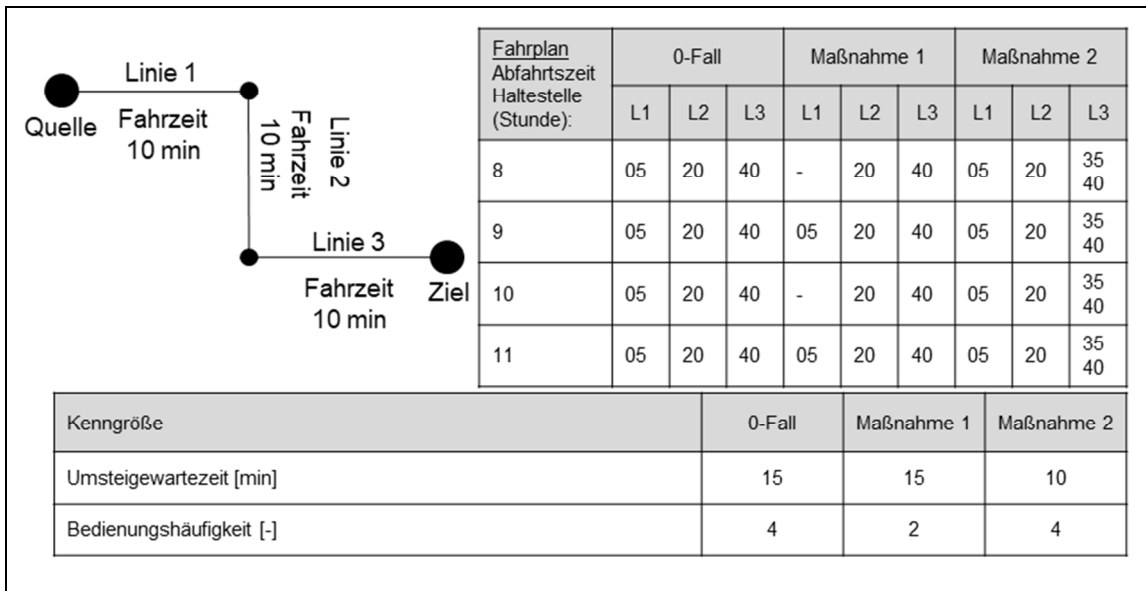


Abbildung 5: Beispiel zum Einfluss auf die Kenngrößen der zeitlichen Verfügbarkeit bei einer fahrplanfeinen Umlegung

Maßnahme: Änderung der Betriebsdauer

Beschreibung

Diese Maßnahme beinhaltet eine Verlängerung oder Verkürzung der morgendlichen und / oder abendlichen Betriebsdauer.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung im ÖV in den Zeiträumen der Betriebsdaueränderung (Kapazität hat im ÖV bei einer belastungsunabhängigen Routenwahl keinen Einfluss auf die Entscheidungsstufen)
Zahl der Alternativen	Änderung der Verkehrsmittelalternativen (Verfügbarkeit ÖV) in den betroffenen Zeiträumen
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Moduswahl
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Zahl der Alternativen, Reisezeiten und Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Änderungen der Wunschabfahrtszeit unwahrscheinlich (Angebot passt sich an Wunschabfahrtszeit an)
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl*
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Zeitliche Verfügbarkeit (ÖV: Bedienungshäufigkeit, Umsteigewartezeit oder Anpassungszeit)
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung und -zielwahl notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Betriebsdauer.
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen) / nicht abbildbar mit Stand der Praxis falls die zeitliche Verfügbarkeit über die Startwartezeit in der Nutzenfunktion berücksichtigt wird.

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Bei einer Änderung der Betriebsdauer muss eine entsprechende Anpassung der Servicefahrten erfolgen. Die Vorgehensweise hierzu ist in „Maßnahme: Änderung der Anzahl an Servicefahrten“ auf Seite 118 beschrieben. Ggf. muss ebenfalls der Umlegungszeitraum und der Nachlauf in den Einstellungen des Umlegungsverfahrens angepasst werden. Wird der abendliche Bedienungszeitraum im Modell durch den Umlegungszeitraum und den Nachlauf abgedeckt, kann die Wirkung einer Änderung der abendlichen Betriebsdauer nur durch Anpassung des Umlegungszeitraums unter Verwendung des Angebots, das bereits im 0-Fall im Nachlauf verwendet wird, modelliert werden. Ist dies nicht gewünscht, ist eine Anpassung des Umlegungszeitraums im 0-Fall und eine Kalibrierung und Validierung dessen erforderlich.

Des Weiteren ist für den Fall, dass die zeitliche Verfügbarkeit im ÖV über die Bedienungshäufigkeit abgebildet wird und die Bedienungshäufigkeit über die Startwartezeit berücksichtigt wird, zu beachten, dass eine reale Abbildung der Maßnahme ggf. nicht möglich ist. Nicht möglich ist dies, wenn in den morgendlichen und abendlichen Betriebsstunden das ÖV-Angebot reduziert ist. Dies ist jedoch typischerweise der Fall und führt zu einer Zunahme der mittleren Startwartezeit, die sich aus dem Umlegungszeitraum und der mittleren Bedienungshäufigkeit berechnet. Die Auswirkungen einer Verlängerung der Betriebsdauer mit reduziertem Angebot in den abendlichen Betriebsstunden, veranschaulicht das nachfolgende Beispiel in Tabelle 8. Im 0-Fall umfasst der Umlegungszeitraum 13 Stunden und es werden auf einer Relation von Quelle i nach Ziel j 52 Servicefahrten angeboten. Daraus ergibt sich eine mittlere Startwartezeit von 7,5 Minuten. Als Maßnahme wird der Umlegungszeitraum, aufgrund einer Verlängerung der Betriebsdauer um 2 Stunden, auf 15 Stunden erhöht und es werden zusätzlich 4 Servicefahrten angeboten. Als mittlere Startwartezeit ergeben sich 8 Minuten.

	0-Fall	Maßnahme
Umlegungszeitraum	06:00 – 19:00 Uhr (13 Stunden)	06:00 – 21:00 Uhr (15 Stunden)
Mittlere Bedienungshäufigkeit [-] (Zwischen Quelle i und Ziel j)	52	56
Mittlere Startwartezeit [min] (Zwischen Quelle i und Ziel j)	7,5	8

Tabelle 8: Beispiel zum möglichen Einfluss einer verlängerten Betriebsdauer auf Startwartezeit und Bedienungshäufigkeit

Eine Zunahme der mittleren Startwartezeit resultiert in einer Abnahme der Attraktivität des ÖV. Bei einer Verkürzung der Betriebsdauer führt dies wiederum zu einer Zunahme der Attraktivität des ÖV. Beides entspricht nicht den realen Wirkungszusammenhängen. Das Beispiel in Tabelle 8 zeigt die Kenngrößenwerte einer taktfeinen Umlegung. Bei fahrplanfeinen Umlegungsverfahren ist die Startwartezeit gewöhnlich keine verfügbare Standardkenngröße, kann aber benutzerdefiniert aus der Bedienungshäufigkeit berechnet werden. In diesem Fall wirkt eine Betriebsverlängerung auf die Startwartezeit wie im Beispiel in Tabelle 8.

Maßnahme: Änderung des Liniennetzes

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Verlängern, Kürzen, Einführen sowie Streichen von Linien.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung im ÖV auf den betroffenen Linienabschnitten (Kapazität hat im ÖV bei einer belastungsunabhängigen Routenwahl keinen Einfluss auf die Entscheidungsstufen)
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Routen im ÖV auf den betroffenen Linienabschnitten
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch andere Moduswahl
	ÖV: Änderung des Liniennetzes kann Fahrzeit, Bedienungshäufigkeit, Start- und Umsteigewartezeit beeinflussen
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Zahl der Alternativen, Reisezeiten sowie Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Änderungen der Wunschabfahrtszeit unwahrscheinlich (Angebot passt sich an Wunschabfahrtszeit an)
Routenwahl	Verlagerungen durch Änderungen der Alternativen möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl*
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Zeitliche Verfügbarkeit (ÖV: Bedienungshäufigkeit, Umsteigewartezeit oder Anpassungszeit)
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung und -zielwahl notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Linienverläufe.
- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Das Linienangebot muss entsprechend den Änderungen angepasst werden. Zum Linienangebot gehören die Linien selbst, die Linienrouten, Haltestellen, Haltestellenbereiche und Haltepunkte. Anschließend sind die Abfahrtszeiten der Servicefahrten des betroffenen Linienabschnitts zu prüfen und ggf. anzupassen.

3.4.7 Maßnahmen der Ordnungspolitik

Maßnahme: Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Beschreibung

Diese Maßnahme umfasst die Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Straßenverkehrsnetz für einzelne Straßenzüge oder Straßentypen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderungen im MIV möglich durch Einfluss auf Verkehrsfluss. Bisher nicht ausreichend erforscht
Zahl der Alternativen	Keine Änderungen
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderung durch Anpassung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit
	ÖV: Änderung durch Anpassung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Bus, Tram mit straßengebündigem Bahnkörper)
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeiten
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen möglich
Akzeptanz	Abhängig von Geschwindigkeitskontrollen

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Verkehrsnetz	Gut attributiertes Nebenstraßennetz
Entscheidungsstufen	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung des Streckenattributes t_0 .
- Anpassung der CR-Funktion oder des Streckenattributes Kapazität (möglicher Einfluss auf Kapazität und t_{akt} bisher nicht ausreichend erforscht).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung).

Diskussion Modellierungsvarianten

Die Maßnahme wird durch eine Anpassung des Streckenattributes t_0 in das Verkehrsnachfragemodell implementiert.

Mit Testfahrzeugen durchgeführte Messungen ergaben, dass die Reduktionen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h den Verkehrsfluss beeinflusst und tagsüber reale Zeitverluste (inkl. Halte und Stauungen) von 2 s / 100 m entstehen (vgl. Kapitel 2.3.5). Eine mögliche Erklärung für diese vergleichsweise geringen Zeitverluste (rechnerisch 4,8 Sekunden Zeitverlust / 100m bei Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h im unbelasteten Netz) ist der verstetigte Verkehrsfluss. Dadurch können stockende oder gestaute Verkehrsverhältnisse reduziert und infolgedessen die Zeitverluste verringert werden.

In Verkehrsnachfragemodellen werden die auslastungsabhängigen Fahrzeiten typischerweise über CR-Funktionen berechnet. Über die CR-Funktionen wird der Zustand des Verkehrsflusses vereinfacht abgebildet. Ein instabiler Verkehrsfluss ist beispielsweise durch stockende oder gestaute Verkehrsverhältnisse geprägt. Dies bildet die CR-Funktion durch eine zunehmende Fahrzeit bei zunehmender Auslastung ab.

Wird lediglich das Streckenattribut t_0 angepasst und bleiben hingegen die CR-Funktion sowie Kapazität unverändert, wird der Einfluss der Maßnahme auf den Verkehrsfluss nicht abgebildet. Als Folge können im Modell größere Zeitverluste entstehen als bei den Testfahrten gemessen wurden. Es ist anzunehmen, dass nachts, wenn weniger oder keine Stauungen auftreten, die realen Zeitverluste größer sind, und sich hierdurch die Effekte bei einem statischen Tagesmodell relativieren. Diese Thematik ist bisher nicht ausreichend erforscht.

Das Forschungsprogramm Stadtverkehr für 2017 / 2018 hat hierzu das Projekt „Nachweis der Auswirkungen von Tempo 30 auf den Verkehrsablauf auf Hauptverkehrsstraßen und auf die LSA-Steuerung“ (Projektnr.: 77.0509) aufgenommen (FOPS (2017/2018)).

Die Wirkung der Maßnahme ist abhängig von Geschwindigkeitskontrollen. Im Verkehrsnachfragemodell werden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten eingehalten. Die Wirkungsberechnungen basieren somit auf dem Fall, dass ausreichend Geschwindigkeitskontrollen durchgeführt werden.

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Fahrverboten

Beschreibung

Die Maßnahme Fahrverbote beinhaltet Fahrverbote zum Schutz der Gesundheit von Anwohnern, der Umwelt oder zur Energieeinsparung. Fahrverbote können hierbei beispielsweise für bestimmte Fahrzeugtypen, Antriebstechniken, Wochentage oder Tageszeiten erlassen werden. Fahrverbote können auch für einzelne Straßen und Straßenabschnitte erfolgen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Anzahl an alternativen Routen und Zielmöglichkeiten für betroffene Fahrzeuggruppen
Kenngroße Reisezeit	MIV: Änderung durch Fahrverbote und andere Ziel-, Modus- und Routenwahl
	ÖV: Änderungen durch neuen Linienverlauf möglich (falls ÖV ebenfalls vom Fahrverbot betroffen ist)
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	(Negative) Neuverkehre möglich (Abhängig von der Art des Fahrverbots)
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Fahrverbote für ausgewählte Gebiete und Beeinflussung der Reisezeit, die auf die Erreichbarkeit wirkt, möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeiten und Verkehrsmittelverfügbarkeit
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen bei tageszeitabhängigen Fahrverbote möglich
Routenwahl	Verlagerungen durch Fahrverbote für ausgewählte Gebiete
Akzeptanz	Abhängig von der Kontrollhäufigkeit

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren
Segmentierung der Nachfrage	Wegezwecke*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch*
Segmentierung der Nachfrage für die MIV-Routenwahl	In Abhängigkeit des Fahrverbots*
Nutzenfunktion	-

Anmerkungen*	Segmentierung der Nachfrage nach Wegezwecken (beeinflusst die Toleranz der Abfahrtszeitwahl), pseudodynamische / dynamische Zeitachse und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl nur bei tageszeitabhängigen Fahrverboten notwendig. Ggf. zusätzliche Segmentierung der Nachfrage, z. B. nach Fahrzeugtypen, Antriebstechniken, Schadstoffklassen. Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (mind. statische Ganglinien) bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.
--------------	--

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung des Netzmodells an das Fahrverbot (z. B. Änderung der zugelassenen Verkehrssysteme und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und Elastizität der Mobilitätsraten im Verkehrserzeugungsmodell sowie ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung).

Diskussion Modellierungsvarianten

Die Modellierungsvarianten bei konkreten Fahrverboten werden in den beiden nachfolgenden Maßnahmen beschrieben.

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Fahrverboten - Umweltzonen

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Einführen von Umweltzonen. Umweltzonen sind ausgewiesene Gebiete, die nur Fahrzeuge befahren dürfen, welche definierte Abgasstandards erfüllen. Fahrzeuge werden in Deutschland derzeit abhängig von den Abgasemissionen in vier Schadstoffgruppen eingeteilt und Plaketten entsprechend der Schadstoffgruppe vergeben. Die jeweilige Umweltzone dürfen nur Fahrzeuge befahren, die eine für die Umweltzone zugelassene Plakette besitzen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der Anzahl an alternativen Routen und Zielmöglichkeiten für betroffene Fahrzeuggruppen im MIV
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Ziel-, Modus und Routenwahl
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderung der Flottenzusammensetzung (Schadstoffgruppen)
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerung aufgrund Umweltzonen möglich
Moduswahl	Verlagerungen von Fahrten, für die kein Pkw mit zugelassener Plakette zur Verfügung steht, möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen durch Umfahren der Umweltzone möglich
Akzeptanz	Abhängig von der Kontrollhäufigkeit

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell*
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Routenwahl
Segmentierung der Nachfrage für die MIV-Routenwahl	Schadstoffgruppen
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	In diesem Fall müsste das Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell bei der Pkw-Verfügbarkeit zwischen den Schadstoffgruppen unterscheiden. Abbildung der Verkehrserzeugung bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Ein vereinfachter Ansatz ist die Wirkungen auf die Entscheidungsstufen zu vernachlässigen und die neue Pkw-Verfügbarkeit nach Schadstoffgruppen bei der Ermittlung der Umweltwirkungen zu hinterlegen.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Aufteilung der Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit in erlaubte und verbotene Schadstoffgruppen.

- Berechnung / Abwägung inwieweit eine Erneuerung der Fahrzeugflotte möglich ist.
- Anpassung von Attributen an das Fahrverbot (z. B. Änderung der zugelassenen Verkehrssysteme).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Die Umweltzone kann über Abbiegerwiderstände in der Nutzenfunktion der Routenwahl abgebildet werden. Jeder Abbieger in die Umweltzone mit einer für diese Zone verbotenen Schadstoffgruppe erhält einen hohen Zeitzuschlag. Für die verbotenen Schadstoffgruppen muss ein zusätzliches Verkehrssystem eingefügt werden. Für das zusätzliche Verkehrssystem muss in der Nutzenfunktion der Routenwahl der Zeitzuschlag bei den Abbiegern berücksichtigt werden. Für die Routenwahl müssen die Nachfragematrizen mit den Fahrzeugfahrten in erlaubte und verbotene Schadstoffgruppen segmentiert werden.

Eine Möglichkeit stellt es dar, Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit nach Schadstoffgruppen aufzuteilen. Ist die Verteilung der Fahrzeuge auf Schadstoffgruppen aus Kraftfahrzeugzulassungstellen bekannt, kann daraus die Aufteilung der Personengruppen berechnet werden. Ebenfalls möglich ist, dass Pkw-Besitzer ihren alten Pkw gegen einen neuen Pkw mit zulässiger Schadstoffgruppe austauschen. Zur Modellierung ist ein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, welches hinsichtlich der Pkw-Verfügbarkeit zwischen Schadstoffgruppen unterscheidet, notwendig. Ohne ein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell kann diese Entwicklung vereinfacht abgeschätzt werden. In diesem Fall wird die Wirkung durch die Schätzung vorgegeben und nicht modelliert.

Die Aufteilung der Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit nach Schadstoffgruppen kann im Verkehrsnachfragemodell durch Kopieren der Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit durchgeführt werden. Das Mobilitätsverhalten der Personengruppen der Schadstoffgruppen ist identisch und wird nicht angepasst. In den Nutzenfunktionen der Verkehrsziel- und Moduswahl muss lediglich die bisherige Fahrzeit durch die Fahrzeit des neuen Verkehrssystems (verbotene Schadstoffgruppen) ersetzt werden, um das Fahrverbot in den Umweltzonen abzubilden. Mit der Modellierung über Personengruppen können Wirkungen auf die Zielwahl und Moduswahl abgebildet werden ohne die Moduswahl um einen weiteren Modus zu ergänzen.

Eine Umsetzung der Maßnahme mit einem Modell, dass die Verkehrsmittelverfügbarkeit über verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren abbildet, ist auf der Ebene der Moduswahl nicht ohne zusätzlichen Modus „verbotene Schadstoffgruppe“

mit eigenem verkehrszellenspezifischen Wahrscheinlichkeitsfaktors möglich. Hierfür ist eine erneute Validierung und Kalibrierung der Moduswahlparameter notwendig.

Eine vereinfachte Vorgehensweise stellt es dar, die Nachfragematrizen vor der Routenwahl anteilig auf die Schadstoffgruppen aufzuteilen. Bei der Aufteilung ist zu beachten, dass, wenn Fahrten auf Relationen mit Quelle und / oder Ziel in der Umweltzone einer verbotenen Schadstoffgruppe zugewiesen werden, diese trotz Abbiegerzuschlag die Umweltzone befahren, um die Zielverkehrszelle zu erreichen. Wirkungen auf die Zielwahl werden bei dieser Variante vernachlässigt und die Wirkungen auf die Fahrzeugflotte durch die Aufteilung vorgegeben und nicht modelliert.

Unter der Annahme, dass alle Pkw-Besitzer ihren alten Pkw gegen einen neuen Pkw mit zulässiger Schadstoffgruppe austauschen, sind nur Wirkungen auf die Flottenzusammensetzung und somit auf die Umweltkenngößen zu erwarten. Zur Modellierung der neuen Flottenzusammensetzung ist ein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, welches hinsichtlich der Pkw-Verfügbarkeit zwischen Schadstoffgruppen unterscheidet, notwendig. Ohne ein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell kann diese Entwicklung vereinfacht abgeschätzt werden. Für diesen Fall müssen keine Entscheidungsstufen neu berechnet werden. Die neue Flottenzusammensetzung wird bei der Berechnung der Umweltwirkungen hinterlegt.

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Fahrverboten - Durchfahrtsverbote

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Anordnen eines Durchfahrtsverbotes. Durch Anordnung eines Durchfahrtsverbotes wird der Durchgangsverkehr bestimmter oder aller Fahrzeuggruppen für eine Durchfahrtsverbotszone (definiertes Gebiet oder Straße) ausgeschlossen. Quell-, Ziel- und Binnenverkehr ist gestattet.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Änderung der alternativen Routen für betroffene Fahrzeuggruppen im MIV
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Verlagerungen bei den Entscheidungsstufen
	ÖV: Änderungen durch neuen Linienvverlauf möglich (falls ÖV ebenfalls vom Durchfahrtsverbot betroffen ist)
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen aufgrund des Umwegfaktors
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen bei tageszeitabhängigen Durchfahrtsverboten möglich
Routenwahl	Verlagerungen durch Umfahrungen
Akzeptanz	Abhängig von der Kontrollhäufigkeit

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Segmentierung der Nachfrage	Wegezwecke*
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch*
Entscheidungsstufen	
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Segmentierung der Nachfrage für die MIV-Routenwahl	Segmentierung nach Fahrzeuggruppen falls nur einzelne Fahrzeuggruppen betroffen sind
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Segmentierung der Nachfrage nach Wegezwecken (beeinflusst die Toleranz der Abfahrtszeitwahl), pseudodynamische / dynamische Zeitachse und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl nur bei tageszeitabhängigen Durchfahrtsverboten notwendig. Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (mind. statische Ganglinien) bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung von Attributen an das Fahrverbot (z. B. Änderung der zugelassenen Verkehrssysteme auf Strecken oder Abbiegern).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software und teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung) sind tageszeitunabhängige Durchfahrtsverbote.
- Teilweise abbildbar mit Stand der Software sind tageszeitabhängige Durchfahrtsverbote (fehlende nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis sind tageszeitabhängige Durchfahrtsverbote (fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl und pseudodynamische / dynamische Zeitachse).

Diskussion Modellierungsvarianten

Das Durchfahrtsverbot kann bei der Routenwahl über Abbiegerwiderstände in der Nutzenfunktion abgebildet werden. Ein hoher Zeitzuschlag auf den Abbiegern in die Verbotszone bewirkt, dass der Durchgangsverkehr widerstandskürzere Routen außerhalb der Durchfahrtsverbotszone wählt. Der Zeitzuschlag sollte möglichst groß sein um, den Effekt zu erzielen und wird in der Nutzenfunktion der Routenwahl über ein benutzerdefiniertes Attribut berücksichtigt. Um den Zeitzuschlag lediglich auf den Abbiegern in die Durchfahrtsverbotszone zu berücksichtigen, muss das Attribut auf diesen Abbiegern eins und auf Abbiegern, die nicht in die Durchfahrtsverbotszone führen, null sein. Über die Kenngrößenmatrizen werden die Reisezeitänderungen aufgrund räumlicher Verlagerungen bei der Verkehrsziel- und Moduswahl berücksichtigt. Um das Wegewahlverhalten auf Basis des Durchfahrtsverbotes zu berücksichtigen, muss die Wegewahl der Kenngrößenberechnung der MIV-Matrizen über den Widerstand erfolgen. Die berechnete Fahrzeitmatrix selbst enthält den Zeitzuschlag des Durchfahrtsverbotes nicht. Die Fahrzeitmatrix wird über das Attribut t_{akt} der überfahrenen Netzobjekte berechnet. So bleibt die Durchfahrtsverbotszone bei der Zielwahl weiterhin als Ziel attraktiv. Die Routenwahl des Zielverkehrs der Durchfahrtsverbotszone wird vom Zeitzuschlag nicht beeinflusst, da alle Einfahrten einen Zeitzuschlag enthalten.

Betrifft das Durchfahrtsverbot einzelne Fahrzeuggruppen, muss für die betroffene Fahrzeuggruppe ein Verkehrssystem angelegt werden und die Nachfrage mit einer separaten Nachfragematrix und entsprechender Nutzenfunktion umgelegt werden. In der Betrachtung der „Maßnahme: Einführung / Ausbau von Fahrverboten - Umweltzone“ auf Seite 130 werden Varianten zur Trennung von Fahrzeuggruppen am Beispiel von Schadstoffgruppen beschrieben.

Alternativ zum Ansatz Durchfahrtsverbote über Abbiegerwiderstände zu modellieren, ist auch ein Ansatz über Streckensperrungen möglich. Wird die Maßnahme über Streckensperrungen modelliert, muss ein Verkehrssystem für den Durchgangsverkehr angelegt werden. Für dieses Verkehrssystem werden die Strecken gesperrt und der Durchgangsverkehr (Quell- und Zielverkehrszelle außerhalb des Gebietes mit Durchfahrtsverbot) oder ggf. der Durchgangsverkehr einer bestimmten Fahrzeuggruppe über eine separate Nachfragematrix, die dem Verkehrssystem zugeordnet ist,

umgelegt. Anders als beim Ansatz über Abbiegerwiderstände kann hier das Durchfahrtsverbot nicht streckenfein sondern nur aggregiert auf Ebene der Verkehrszellen umgesetzt werden. Für den Fall, dass bei einer Verkehrszelle ein Abschnitt der Hauptverkehrsstraße für den Durchgangsverkehr gesperrt wird, zählt die Nachfrage mit Ziel in dieser Verkehrszelle nicht als Durchgangsverkehr, obwohl auch diese Nachfrage Durchgangsverkehr sein kann.

Für tageszeitabhängige Durchfahrtsverbote sind Modelle mit pseudodynamischer oder dynamischer Zeitachse notwendig. Mithilfe der Zeitachse kann das Durchfahrtsverbot im jeweiligen Zeitintervall umgesetzt werden.

3.4.8 Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik

Maßnahme: Einführung / Ausbau von Parkraumbewirtschaftung

Beschreibung

Die Maßnahme Parkraumbewirtschaftung umfasst das Erheben von Parkgebühren, die Beschränkung der zulässigen Parkdauer und die Einschränkung der Benutzerberechtigung auf bestimmte Nachfragegruppen als Instrumente zur Steuerung der Parkraumnachfrage. Die Instrumente können tageszeitlich und räumlich differenziert sowie einzeln oder gebündelt eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden alle oben genannten Instrumente unter der Maßnahme Parkraumbewirtschaftung betrachtet.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Änderung der Tageskapazität im ruhenden Verkehr durch Beschränkung der Parkdauer
Zahl der Alternativen	Änderung im ruhenden Verkehr durch tageszeitliche Einschränkung der Benutzerberechtigung
Kenngroße Reisezeit	MIV: Änderung durch Verringerung der Parksuchzeit
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngroße Reisekosten	Änderungen im MIV. Parkgebühren sind in der Regel nach Parkdauer gestaffelt. Die Parkdauer wird durch den Wegezweck beeinflusst
Abrechnungssystem	Beeinflusst die Abgangszeit, keine Beeinflussung des fließenden Verkehrs
Zahlungsbereitschaft	Abhängig von Einkommen und Wegezweck
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen aufgrund neuer Kapazitäten und Parkchancen bei Kurzzeitparkern möglich. Langzeitparker können in benachbarte Gebiete verlagert werden
Moduswahl	Verlagerungen durch zusätzliche Reisekosten oder Änderung der Reisezeit sowie Verkehrsmittelverfügbarkeit
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen bei tageszeitlich gestaffelten Gebühren möglich
Routenwahl	Großräumige Verlagerungen unwahrscheinlich. Kleinräumige Verlagerungen am Zielort aufgrund von Parksuchverlagerungen möglich
Akzeptanz	Abhängig von der Kontrollhäufigkeit

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen und Wegezwecke
Zusätzliche Teilmodelle	Modell zur Berechnung der Parkgebühren
	Modell zur Abbildung des Parkraumangebots und der Belegung
Abbildung der Aktivitäten	Aktivitätenketten*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung*
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)*

Strukturklasse	Struktureigenschaft
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Abbildung von Aktivitätenketten, bei denen die Moduswahl auf Basis des ersten Teilweges erfolgt, falls Anwohner durch Anwohnerparken von der Parkgebühr befreit werden. Mithilfe einer pseudodynamischen / dynamischen Zeitachse kann die Stellplatzverfügbarkeit über den zeitlichen Verlauf abgebildet werden. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert) notwendig bei tageszeitlich gestaffelten Gebühren. Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (mind. statische Ganglinien) bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifischen Wahrscheinlichkeitsfaktoren).
- Abbildung des Parkraumangebots mit Parkkapazität, Parkgebühren, erlaubte Parkhöchst-dauer und Parkberechtigung.
- Abbildung der auslastungsabhängigen Parksuchzeiten.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Teilmodell zur Abbildung Parkraumangebot und Belegung, fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell sowie nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Teilmodell zur Abbildung Parkraumangebot und Belegung, fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung sowie nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl (zeitlich gestaffelte Gebühren)).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

In makroskopischen Modellierungsansätzen kann Parkraumbewirtschaftung unterschiedlich detailliert abgebildet werden. Das Parkraumangebot ist bei einer Parkraumbewirtschaftung tageszeitabhängig, z. B. kann Anwohnern abends mehr Parkraumangebot als mittags zugewiesen werden. Das dynamische Parkraumangebot kann über einen dynamischen oder pseudodynamischen Ansatz abgebildet werden.

BÖHNKE (2005) bildet das Parkraumangebot über Parkknoten und Parkstrecken ab und berücksichtigt die tageszeitliche Dynamik des Parkraumangebots sowie die Parkdauer in Abhängigkeit des Wegezwecks anhand eines pseudodynamischen

Ansatzes mit stundenfeinen Zeitsintervallen. Über Parkknoten werden räumlich nah beieinanderliegende und homogene Parkraumangebote zusammengefasst. Die Homogenität desselben wird durch die Art des Parkraumangebots (z. B. Parkhaus oder öffentlicher Straßenraum) und des zugehörigen Bewirtschaftungskonzeptes bestimmt. Parkstrecken sind den Parkknoten zugeordnet und bilden den Zugangswiderstand als Streckenwiderstand ab. Der Zugangswiderstand berücksichtigt die Parkkapazität, Parkgebühren, Parkhöchstdauer und Parkberechtigungen in Abhängigkeit des Wegezwecks und der Zeitscheibe. Anbindungen verbinden die Verkehrszellen und die Parkknoten miteinander. Zur Abbildung kleinräumiger Verlagerungen (Parkverdrängungsverkehr) sind Verkehrszellen an mehrere Parkknoten und Parkknoten an mehrere Verkehrszellen angebunden. Bei der stundenfeinen Umlegung der Zeitintervalle wird die Belegung der Parkknoten berechnet und als Eingangsgröße bei der nächsten Zeitscheibe berücksichtigt. Da der Zugangswiderstand vom Wegezweck abhängig ist, erfolgt die Umlegung differenziert nach Wegezwecken. Durch eine Entscheidungsrückkopplung geht der Einfluss des Parkraumangebots über Kenngrößen in die Ziel- und Moduswahl ein.

Für Verkehrsnachfragemodelle, die eine Vielzahl an Wegezwecke unterscheiden, steigen mit dieser Vorgehensweise die Ansprüche an Rechenleistung und Speicherbedarf stark an, weswegen dieser Ansatz wenig geeignet erscheint.

Vereinfacht kann Parkraumbewirtschaftung statisch ohne explizite Abbildung des Parkraumangebots modelliert werden. Neben den tageszeitlichen Schwankungen im Parkraumangebot und in der Parkraumnachfrage können bei einer statischen Betrachtung auch keine tageszeitlichen Schwankungen der Parksuchzeiten, Parkkapazitäten in Abhängigkeit von Parkberechtigungen sowie Parkkosten in Abhängigkeit der Parkdauer und des Bewirtschaftungskonzeptes abgebildet werden.

Der statische Ansatz von BAIER ET AL. (2000) bildet die Wirkungen auf Verkehrserzeugung und Verkehrszielwahl auf Basis planerischer Schätzungen durch Anpassung der Matrizen ab. Die Wirkungen auf die Modus- und Routenwahl werden durch Anpassung der Abgangszeit auf den Anbindungen abgebildet. Die Kosten werden nicht explizit berücksichtigt.

Im aktivitätenkettenbasierten Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart ist die Maßnahme Parkraumbewirtschaftung ebenfalls mithilfe eines statischen Ansatzes umgesetzt. Es wird angenommen, dass Anwohner durch die Maßnahme leichter einen Parkstand finden und dadurch tendenziell häufiger Ihren Pkw nutzen, Besucher hingegen durch zeitlich gestaffelte Gebühren, Kontrollen und Ausweisung von Kurzzeitparkständen auf alternative Modi umsteigen. Diese Wirkungsannahme ist durch Anpassung des Parkdruckes für den Quell- und Zielverkehr sowie die Anpassung der Parkkosten und des Bezahlparkeranteils berücksichtigt. Das Attribut Parkdruck kann als Wahrscheinlichkeit einen freien Stellplatz in der Verkehrszelle zu

finden interpretiert werden. Der Bezahlparkeranteil repräsentiert den Anteil des Besucherzielverkehrs, welcher die Parkgebühr bezahlt.

Anwohner starten ihren ersten Teilweg im bewirtschafteten Gebiet und Besucher außerhalb dieses Gebietes. Im Stuttgarter Verkehrsnachfragemodell findet die Moduswahl auf Basis des ersten Teilweges der Aktivitätenkette statt. Ein erhöhter Parkdruck beim Zielverkehr hat somit keinen Einfluss auf die Moduswahl der Anwohner, ein gesenkter Parkdruck beim Quellverkehr hingegen keinen Einfluss auf die Moduswahl der Besucher. Durch die Senkung des Parkdruckes für den Quellverkehr wird eine erhöhte Attraktivität des Modus Pkw für die Anwohner des bewirtschafteten Gebiets erreicht, durch die Erhöhung des Parkdruckes für den Zielverkehr eine Verlagerung hin zu alternativen Modi.

Bei diesem Modellierungsansatz werden durch die für den Parkdruck und Bezahlparkeranteil zu treffenden Annahmen bereits Wirkungszusammenhänge vorgegeben und nicht explizit modelliert. Dasselbe gilt für den Ansatz von BAIER ET AL. (2000). Vorteile dieser Varianten sind geringere benötigte Rechenleistungen und Speicherbedarfe als bei der Variante von BÖHNKE (2005).

Maßnahme: Einsatz von Straßennutzungsgebühren – Gebietsgebühren

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Einführen einer Gebietsgebühr. Durch eine Gebietsgebühr wird das Befahren eines bestimmten Gebiets bepreist. Gebietsgebühren können in Form von Cordon Pricing oder von Area Licensing erhoben werden. Bei Cordon Pricing wird das Einfahren und / oder Ausfahren und bei Area Licensing die zeitliche Fahrtberechtigung bepreist. Die Gebührenhöhe kann tageszeitlich variieren. Zur Erhebung von Gebühren können manuelle, automatische und elektronische Systeme eingesetzt werden. Elektronische Systeme haben den Vorteil, dass Fahrzeuge nicht angehalten werden müssen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Verlagerungen bei den Entscheidungsstufen möglich. Kürzere Fahrzeiten innerhalb des Gebiets und längere außerhalb (vgl. London, Stockholm)
	ÖV: Änderungen möglich, wenn bei manuellen und automatischen Abrechnungssystemen der ÖV von Rückstauungen betroffen ist
Kenngrößen Reisekosten	Änderung im MIV durch Gebietsgebühren
Abrechnungssystem	Bei manuellen und automatischen Gebührensystemen kann es durch das Anhalten von Fahrzeugen zu Rückstauungen kommen
Zahlungsbereitschaft	Abhängig von Einkommen und Wegezweck
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	(Negative) Neuverkehre möglich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeiten und Reisekosten möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeiten, Reisekosten und Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Zeitliche Verlagerung in Zeitabschnitte mit niedrigeren Gebühren möglich, falls zeitlich gestaffelte Gebietsgebühren
Routenwahl	Verlagerungen aufgrund Umfahrungen möglich
Akzeptanz	Abhängig von der Kontrollhäufigkeit

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Teilmodelle	Kostenmodell zur Ermittlung der Gebietsgebühren
Abbildung der Aktivitäten	Aktivitätenketten*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)*
	Routenwahl (ÖV: Kapazitätsbeschränkung)*
Zeitachse	Dynamisch*

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Auslastungsabhängige Fahrzeit auf der Strecke	Verkehrsflussmodell, mikroskopisch oder mesoskopisch*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente
Anmerkungen*	Nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl notwendig falls zeitlich gestaffelte Gebietsgebühren. Dynamische Zeitachse und Fahrzeitermittlung durch Verkehrsflussmodelle bei der Routenwahl zur Abbildung von Rückstauungen bei manuellen und automatischen Gebührensystemen notwendig. Abbildung von Aktivitätenketten, bei denen die Moduswahl auf Basis des ersten Teilweges erfolgt, falls Anwohner von den Gebühren befreit werden und nur Gebühren für die Einfahrt anfallen. Alternativ zur Abbildung über Aktivitätenkettenmodelle kann die Befreiung über eine Einwohner-Personengruppe stattfinden. Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (mind. statische Ganglinien) bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).
- Anpassung des Kostenmodells für die Ermittlung der Straßennutzungsgebühren.
- Ergänzung der Straßennutzungsgebühren in der Nutzenfunktion.
- Abbildung von Kontrollstationen bei manuellen und automatischen Gebührensystemen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen sowie Verkehrserzeugungsmodell mit elastischen Mobilitätsraten. Zur Abbildung von Rückstau bei manuellen und automatischen Abrechnungssystemen fehlt eine Routenwahl mit dynamischer Zeitachse und Fahrzeitermittlung durch ein Verkehrsflussmodell. Zur Abbildung von zeitlich gestaffelten Gebühren fehlt eine nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl. Abbildung einer Tages-, Wochen- oder Jahrespauschale ist generell nicht möglich).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Die Gebühren, welche zusätzlich durch Befahren des gebührenpflichtigen Gebiets entstehen, werden mit einem Kostenmodell, das die anfallenden Gebühren für die Quelle-Ziel-Relationen und Routen ermittelt und in den Nutzenfunktionen der Entscheidungsstufen berücksichtigt. Für die Nutzenfunktionen der Verkehrsziel- und Moduswahl ist die Berechnung einer Gebietsgebührenmatrix, die zur Kostenmatrix

aufsummiert wird, notwendig. Wird beispielsweise die Einfahrt bepreist, sind die Gebühren bei allen Quelle-Ziel-Relationen mit Ziel im kostenpflichtigen Gebiet zu berücksichtigen. Sind Anwohner des Gebiets von der Gebühr befreit, kann dies mit Aktivitätenketten abgebildet werden. Für den nicht austauschbaren Modus Pkw ist die Moduswahl des ersten Teilweges, die unabhängig von den restlichen Teilwegen stattfindet, entscheidend. Anwohner fahren beim ersten Teilweg aus dem Gebiet und somit hat die Gebietsgebühr keinen Einfluss. Werden aber für die Ausfahrt ebenfalls Gebühren erhoben, kann die Wirkung einer Anwohnerbefreiung nicht durch Aktivitätenketten abgebildet werden. Alternativ kann die Befreiung der Anwohner durch zusätzliche Einwohner-Personengruppen abgebildet werden.

Für die Routenwahl sind die Gebietsgebühren über ein Streckenattribut bzw. Abbiegerattribut zu berücksichtigen, wobei die Gebietsgebühren über einen VOT in Zeiteinheiten umzurechnen sind. Der Ansatz entspricht der Modellierungsvariante von IMMISCH (2008). Das von IMMISCH genutzte Modell ist ein Einzelwegmodell. Im umgesetzten Gebührenmodell sind die Anwohner nicht von der Gebühr befreit, weshalb keine zusätzlichen Personengruppen notwendig sind.

Werden manuelle oder automatische Gebührensysteme zur Erhebung der anfallenden Gebietsgebühren eingesetzt, können Rückstauungen auftreten. Durch den Einsatz einer Routenwahl mit dynamischer Zeitachse und Fahrzeitermittlung auf der Strecke durch ein Verkehrsflussmodell können Rückstauungen im zeitlichen Verlauf abgebildet werden. Der Zeitbedarf an den Mautstationen kann über Zeitzuschläge auf Abbiegern modelliert werden.

Zeittickets, mit denen das Netz für einen definierten Zeitraum ohne weitere Mehrkosten genutzt werden kann, können nicht abgebildet werden. Ursächlich hierfür ist, dass die in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen erzeugten Wege nicht wie in mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen einzelnen Personen zugeordnet sind, über die geprüft werden könnte, ob bereits ein Zeitticket gekauft wurde.

Einflüsse auf die Verkehrserzeugung können nur mit elastischen Mobilitätsraten modelliert werden, die zum bisherigen Zeitpunkt nicht zur Verfügung stehen (vgl. Kapitel 2.3.6). Die Abfahrtszeitwahl basiert in makroskopischen Modellen üblicherweise auf vorgegebenen Nachfrageganglinien, weshalb Verlagerungseffekte durch zeitlich gestaffelte Gebühren bei der Abfahrtszeitwahl ebenso wenig abgebildet werden können.

Maßnahme: Einsatz Straßennutzungsgebühren – Netzgebühren

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst das Einführen einer Netzgebühr. Durch eine Netzgebühr wird das Befahren eines bestimmten Streckenabschnitts oder Streckentyps bepreist. Man unterscheidet zwischen offenen und geschlossenen Systemen. Bei ersteren werden Gebühren für Teilabschnitte erhoben und bei letzteren werden die Gebühren aus der Fahrtweite berechnet. Zum Erfassen von Gebühren können manuelle, automatische und elektronische Systeme eingesetzt werden. Elektronische Systeme haben den Vorteil, dass Fahrzeuge nicht angehalten werden müssen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Verlagerungen bei den Entscheidungsstufen möglich. Kürzere Reisezeiten auf bepreisten Netzabschnitten und längere Reisezeiten auf nicht bepreisten alternativen Netzabschnitten
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngrößen Reisekosten	Änderung im MIV durch Netzgebühren
Zahlungsbereitschaft	Abhängig von Einkommen und Wegezweck
Abrechnungssystem	Bei manuellen und automatischen Gebührensystemen kann es durch das Anhalten von Fahrzeugen zu Rückstauungen kommen
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	(negative) Neuverkehre möglich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeiten und Reisekosten möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeiten, Reisekosten und Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Zeitliche Verlagerung in Zeitabschnitte mit niedrigeren Gebühren möglich, falls zeitlich gestaffelte Netzgebühren
Routenwahl	Verlagerungen auf kostenfreie Netzabschnitte möglich
Akzeptanz	Abhängig von Kontrollhäufigkeit

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Teilmodelle	Kostenmodell zur Ermittlung der Netzgebühren
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Zeitachse	Dynamisch*
Auslastungsabhängige Fahrzeit auf der Strecke	Verkehrsflussmodell, mikroskopisch oder mesoskopisch*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente
Anmerkungen*	Nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl notwendig falls zeitlich gestaffelte Netzgebühren. Dynamische Zeitachse und Fahrzeitermittlung auf der

Strukturklasse	Struktureigenschaft
	Strecke durch Verkehrsflussmodelle zur Abbildung von Rückstauungen bei manuellen und automatischen Gebührensystemen notwendig. Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (mind. statische Ganglinien) bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).
- Anpassung des Kostenmodells für die Ermittlung der Straßennutzungsgebühren.
- Ergänzung der Straßennutzungsgebühren in der Nutzenfunktion.
- Abbildung von Kontrollstationen bei manuellen und automatischen Gebührensystemen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen sowie Verkehrserzeugungsmodell mit elastischen Mobilitätsraten. Zur Abbildung von Rückstau bei manuellen und automatischen Abrechnungssystemen fehlt eine Routenwahl mit dynamischer Zeitachse und Fahrzeitermittlung durch ein Verkehrsflussmodell. Zur Abbildung von zeitlich gestaffelten Gebühren fehlt eine nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl. Abbildung einer Tages-, Wochen- oder Jahrespauschale ist generell nicht möglich).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Die Gebühren, welche durch das Befahren von kostenpflichtigen Strecken entstehen, sind mit einem Kostenmodell zu ermitteln und in den Nutzenfunktionen der Entscheidungsstufen zu berücksichtigen. Für die Nutzenfunktionen der Verkehrsziel- und Moduswahl ist die Berechnung einer Netzgebührenmatrix, die zur Kostenmatrix aufsummiert wird, notwendig. Eine Möglichkeit die Netzgebührenmatrix zu berechnen stellt die Verwendung einer benutzerdefinierten Kenngrößenmatrix dar. Benutzerdefinierte Kenngrößenmatrizen berechnen die Kenngrößen auf Basis eines Strecken-, Anbindungs- oder Abbiegerattributes. Die Netzgebührenmatrix für ein geschlossenes System (Gebühren fallen pro gefahrenen Kilometer an) kann mithilfe eines Streckenattributes, welches das Produkt aus Streckenlänge [km] und Netzgebühren [€/ km] enthält, berechnet werden. Für ein offenes System (Gebühren fallen für Teilabschnitte an) können Abbiegerattribute, welche die Netzgebühren [€] für den in Fahrtrichtung befindlichen Teilabschnitt abbilden, verwendet werden. Zur Berechnung

der Kostenmatrix auf Basis der aktuellen Routenwahl muss die Netzgebührenmatrix nach der Routenwahl vor einem Entscheidungsrücksprung neu berechnet werden. Bei der Routenwahl sind die Netzgebühren über ein Streckenattribut bzw. Abbiegerattribut zu berücksichtigen, wobei die Netzgebühren über einen VOT in Zeiteinheiten umzurechnen sind.

Werden manuelle oder automatische Gebührensysteme zur Erhebung der anfallenden Netzgebühren eingesetzt können Rückstauungen auftreten. Durch den Einsatz einer Routenwahl mit dynamischer Zeitachse und Fahrzeitermittlung auf der Strecke durch ein Verkehrsflussmodell können Rückstauungen im zeitlichen Verlauf abgebildet werden. Der Zeitbedarf an den Mautstationen kann über Zeitzuschläge auf Abbieger modelliert werden.

Zeittickets, mit denen das Netz für einen definierten Zeitraum ohne weitere Mehrkosten genutzt werden kann, können nicht abgebildet werden. Ursächlich hierfür ist, dass die in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen erzeugten Wege nicht wie in mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen einzelnen Personen zugeordnet sind, über die geprüft werden könnte, ob bereits ein Zeitticket gekauft wurde.

Einflüsse auf die Verkehrserzeugung können nur mit elastischen Mobilitätsraten modelliert werden, die zum bisherigen Zeitpunkt nicht zur Verfügung stehen (vgl. Kapitel 2.3.6). Die Abfahrtszeitwahl basiert in makroskopischen Modellen üblicherweise auf vorgegebenen Nachfrageganglinien, weshalb Verlagerungseffekte durch zeitlich gestaffelte Gebühren bei der Abfahrtszeitwahl nicht abgebildet werden können.

Maßnahme: Änderung von ÖV-Fahrpreisen

Beschreibung

Durch die Maßnahme werden die ÖV-Fahrpreise bei gleichbleibendem Tarifsysteem geändert. In den nachfolgenden Maßnahmen werden Änderungen des Tarifsystems und zusätzliche Ticketangebote betrachtet.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Moduswahl möglich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngrößen Reisekosten	Änderung im ÖV durch Anpassung der Fahrpreise
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre möglich (z. B. kostenloser ÖV)
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Änderungen der Reisekosten möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderungen der Reisekosten und Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Akzeptanz	Abhängig von Kontrollen (bei Fahrpreiserhöhungen)

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Teilmodelle	Kostenmodell zur Ermittlung der Fahrpreise
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente
Anmerkungen*	Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).
- Abbildung der neuen Fahrpreise.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und Verkehrserzeugung mit elastischen Mobilitätsraten sowie ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

In Verkehrsnachfragemodellen wird die Verkehrsmittelverfügbarkeit meistens in Form einer Pkw-Verfügbarkeit berücksichtigt und nicht detailliert in ÖV-Zeitkartenbesitz oder Pkw-Verfügbarkeit + ÖV-Zeitkartenbesitz unterschieden. Wenn nur die Pkw-Verfügbarkeit berücksichtigt wird, kann die Wirkung der Anschaffung einer zusätzlichen ÖV-Zeitkarte nicht abgebildet werden, wenn die Pkw-Verfügbarkeit erhalten bleibt.

Der Fahrpreis für eine ÖV-Verbindung berechnet sich anhand der Tarifstruktur, z. B. aus der Entfernung die zurückgelegt wird oder den durchfahrenen Tarifzonen, für die Preise im ÖV-Kostenmodell hinterlegt werden. Die Tarifstruktur wird im Verkehrsnachfragemodell mit integriertem ÖV-Kostenmodell modelliert indem z. B. Tarifpunkte gesetzt werden, oder indem Haltestellen den Tarifzonen zugewiesen werden. Mithilfe von Tarifpunkten kann die zurückgelegte Entfernung errechnet werden, mithilfe überfahrener Haltestellen kann hingegen die Anzahl an durchfahrenen Tarifzonen ermittelt werden. Aus der Tarifstruktur werden entsprechend die Fahrpreise für einzelne ÖV-Verbindungen berechnet und aus den ÖV-Fahrpreisen wird wiederum eine ÖV-Fahrpreismatrix ermittelt, die anschließend in die Nutzenfunktionen der Entscheidungsstufen eingeht.

Bei einer Änderung von ÖV-Fahrpreisen können entweder die ÖV-Fahrpreise, die zur Berechnung der ÖV-Fahrpreismatrix im ÖV-Kostenmodell hinterlegt sind, angepasst werden oder es kann eine Anpassung der ÖV-Fahrpreismatrix erfolgen.

Die Wirkung von Fahrpreisänderungen ist abhängig von Fahrscheinkontrollen. Im Verkehrsnachfragemodell ist Schwarzfahren nicht möglich. Die Wirkungsberechnungen basieren somit auf dem Fall, dass ausreichend Fahrscheinkontrollen durchgeführt werden.

Maßnahme: Änderung des ÖV-Tarifsystems – Anpassung der Tarifzonen

Beschreibung

Die Maßnahme umfasst die Anpassung der bestehenden Tarifzonen. Das Tarifsystem regelt die Berechnung des Fahrpreises. Bei Tarifzonenmodellen ergibt sich der Fahrpreis aus der Anzahl durchfahrener Tarifzonen. Werden Tarifzonen angepasst, können Tarifzonen vergrößert werden, was zu einer Verringerung der Anzahl an Tarifzonen führt, oder verkleinert werden, was zu einer Erhöhung der Anzahl an Tarifzonen führt.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Moduswahl möglich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngrößen Reisekosten	Die Größe der Tarifzonen hat bei gleichbleibenden Tarifen Einfluss auf den Fahrpreis
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen durch Anpassung der Tarifzonen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisekosten möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisekosten und Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Akzeptanz	Abhängig von Kontrollen (bei Fahrpreiserhöhungen)

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Zusätzliche Teilmodelle	Kostenmodell zur Ermittlung der Fahrpreise auf Basis von Tarifzonen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (statische Mobilitätsraten)*
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente
Anmerkungen*	Abbildung der Verkehrserzeugung notwendig bei Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit über Personengruppen (aufgrund der spezifischen Mobilitätsraten je Personengruppe). Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).

- Anpassung der Haltestellenzuordnung zu Tarifzonen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Teilweise abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

In Verkehrsnachfragemodellen wird mitunter die Verkehrsmittelverfügbarkeit in Form einer Pkw-Verfügbarkeit berücksichtigt und nicht detailliert in ÖV-Zeitkartenbesitz oder Pkw-Verfügbarkeit + ÖV-Zeitkartenbesitz unterschieden. Wenn nur die Pkw-Verfügbarkeit berücksichtigt wird, kann die Wirkung der Anschaffung einer zusätzlichen ÖV-Zeitkarte nicht abgebildet werden, wenn die Pkw-Verfügbarkeit erhalten bleibt.

Zur Modellierung der Tarifzonenänderung muss die Tarifstruktur im ÖV-Kostenmodell angepasst werden. Die betroffenen Haltestellen müssen entsprechend der Tarifzonenänderung den jeweiligen Tarifzonen neu zugeordnet werden.

Die Wirkung von Tarifzonenänderungen ist, wenn sich die Fahrpreise hierdurch erhöhen, abhängig von Fahrscheinkontrollen. Im Verkehrsnachfragemodell ist Schwarzfahren nicht möglich. Die Wirkungsberechnungen basieren somit auf dem Fall, dass ausreichend Fahrscheinkontrollen durchgeführt werden.

Maßnahme: Erweiterung des ÖV-Ticketangebots - Firmentickets

Beschreibung

Firmentickets, auch als Job-Tickets bezeichnet, sind Tickets die Behörden oder Unternehmen bei Verkehrsunternehmen meist zu vergünstigten Konditionen erwerben und Ihren Mitarbeitern vergünstigt oder kostenlos überlassen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Informationen zur Nutzung	Personen, welche die Möglichkeit haben ein Firmenticket zu erwerben
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch andere Moduswahl möglich
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Kenngröße Reisekosten	Änderung bei Erwerb eines Firmentickets
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen durch Firmentickets
Verkehrserzeugung	(Positive) Neuverkehre möglich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch vergünstigte ÖV-Firmentickets
Moduswahl	Verlagerungen durch vergünstigte ÖV-Firmentickets
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Akzeptanz	-

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen
Zusätzliche Teilmodelle	Kostenmodell zur Ermittlung der Fahrpreise
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	Kostenkomponente
Anmerkungen*	Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit).
- Anpassung der Fahrpreisberechnung für das Firmenticket.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell (mit dem ein Großteil der Wirkung abgebildet wird), Verkehrserzeugungsmodell mit elastischen Mobilitätsraten und ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen).

Diskussion Modellierungsvarianten

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit kann über Personengruppen (z. B. erwerbstätig mit Pkw oder erwerbstätig mit ÖV-Zeitkarte) oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren abgebildet werden. Wird die Wirkung eines vergünstigten Firmentickets auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit mit einem Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell berechnet, kann diese durch Anpassung der Verteilung der Personen auf die Personengruppen oder der Wahrscheinlichkeitsfaktoren in den Verkehrszellen im Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden. Bei einer Berücksichtigung der Verkehrsmittelverfügbarkeit über verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren ist ein zusätzlicher Modus notwendig, der die angepasste Kostenmatrix berücksichtigt. Dies erfordert eine Validierung und Kalibrierung der Moduswahl.

Um vergünstigte ÖV-Zeittickets zu berücksichtigen sind bei Verkehrsnachfragemodellen mit Personengruppen diejenigen Personengruppen mit ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit die einer Beschäftigung nachgehen zu duplizieren. Für die Duplikate wird bei der Moduswahl die ÖV-Fahrkostenmatrix um den Faktor reduziert, um den die Firmentickets den Mitarbeitern vergünstigt angeboten werden.

Firmentickets können nur durch Mitarbeiter erworben werden, deren Arbeitgeber besagte Firmentickets anbietet. Dies kann aufgrund der Verkehrszellenstruktur, bei der alle Arbeitsplätze innerhalb der Verkehrszelle zusammengefasst sind, im Verkehrsnachfragemodell nicht sicher abgebildet werden.

Eine Abbildung ohne zusätzliche Personengruppen ist nur über eine experimentelle Anpassung des Kostenparameters der Nutzenfunktion oder der Kostenmatrix möglich. Diese experimentelle Anpassung findet solange statt, bis ein Ergebnis berechnet wird, das als realistisch eingeschätzt wird. Hierbei wird die Wirkung nicht modelliert, sondern durch das experimentelle Anpassen vorgegeben.

3.4.9 Maßnahmen der Fahrzeugtechnik

Maßnahme: Änderung der Antriebstechnik - Elektroantrieb

Beschreibung

Durch Förderung der Elektromobilität (Ladeinfrastruktur, Kaufanreize) entscheiden sich Verkehrsteilnehmer beim Pkw-Kauf für Fahrzeuge mit Elektromotor. Nach einer Studie von Horváth & Partners lag die durchschnittliche Reichweite der 2017 verkauften Fahrzeuge mit Elektroantrieb bei 298 Kilometern (vgl. HORVÁTH & PARTNERS MANAGEMENT CONSULTANTS (2018)). Im Durchschnitt werden nach der 2017 durchgeführten Studie Mobilität in Deutschland pro Person und Tag 39 Km zurückgelegt (vgl. INFAS (2018)). Somit eignen sich die aktuellen Elektrofahrzeuge für tägliche Wege, die eine Person durchschnittlich unternimmt.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Keine Änderung
	ÖV: Keine Änderung
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderung hinsichtlich der Antriebstechnik
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Moduswahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Emissionen	Keine lokalen Abgasemissionen bei Elektroantrieb

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell*
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Personengruppen*
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung
	Verkehrszielwahl
	Verkehrsmoduswahl
	Routenwahl
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und Abbildung über Personengruppen sowie Entscheidungsstufen bei einem Anteil elektrischer Fahrzeuge > 0 % und < 100 % notwendig. In diesem Fall muss ein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell bei der Pkw-Verfügbarkeit zwischen Verbrennungsmotoren und Elektromotoren unterscheiden.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit durch Aufteilung in Verbrennungsmotor und Elektromotor.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software und Praxis (bei einem Anteil elektrobetriebener Fahrzeuge = 100 %).
- Nicht abbildbar mit Stand der Software und Praxis (bei einem Anteil elektrobetriebener Fahrzeuge $> 0\%$ und $< 100\%$ aufgrund fehlendem Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Es kann davon ausgegangen werden, dass elektrisch angetriebene Fahrzeuge systembedingt zügiger als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren beschleunigen können. Hierdurch ist in der Theorie ein zügigeres Anfahren an der LSA, die einen Kapazitätsengpass im Stadtverkehr darstellt, möglich. Inwieweit sich die Umstellung eines Teils oder der gesamten Fahrzeugflotte auf Elektroantrieb diesbezüglich auf den Verkehrsfluss auswirkt, ist bisher nicht ausreichend untersucht. In dieser Arbeit wird der mögliche Einfluss vernachlässigt und unterstellt, dass sich der Antrieb mit Elektromotoren allein auf die Abgasemissionen auswirkt.

Die Wahlentscheidung zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor, zur Berechnung des Anteils der elektrobetriebenen Fahrzeuge, kann nicht mit einem Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden. Zur Modellierung ist ein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, das die Pkw-Verfügbarkeit in Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Elektromotor unterscheidet, notwendig. Alternativ kann hierzu eine Annahme getroffen werden oder Maßnahmenfälle mit unterschiedlichen Aufteilungen der Antriebstechnologien berechnet und somit eine Wirkungsbandbreite aufgezeigt werden.

Bei einem Anteil elektrobetriebener Fahrzeuge $> 0\%$ und $< 100\%$ kann vereinfacht angenommen werden, dass der Anteil homogen auf allen Quelle-Ziel-Relationen im Modellraum verteilt ist. Wird eine inhomogene räumliche Verteilung im Modellraum angenommen / modelliert, können die Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit in Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Elektromotor segmentiert werden. Für die Personengruppen wird das Mobilitätsverhalten der bisherigen Personengruppen übernommen. Über die Personengruppen Pkw-(Elektromotor)-Verfügbarkeit kann der Anteil elektrobetriebener Fahrzeuge auf Verkehrszellenebene berücksichtigt werden und die Ergebnismatrizen der Moduswahl können für die Personengruppen mit Elektromotor in einer simultanen Routenwahl über ein eigenes Nachfragesegment umgelegt werden. Die Abgasemissionsberechnung für den Straßenverkehr erfolgt anschließend ausschliesslich für das Nachfragesegment des Verbrennungsmotors. Werden die Emissionen der Gewinnung des Energieträgers auch berücksichtigt, fallen hier die Emissionen für die Stromerzeugung, Fahrzeugherstellung und Fahrzeugverschrottung unter Berücksichtigung des Strommixes an.

Eine Umsetzung der Maßnahme mit einem Modell, das die Verkehrsmittelverfügbarkeit über verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren abbildet, ist

auf Ebene der Moduswahl nicht möglich. Zur Berücksichtigung eines verkehrszellen-spezifischen Wahrscheinlichkeitsfaktors für elektrobetriebene Fahrzeuge müsste ein zusätzlicher Modus eingeführt und eine Validierung und Kalibrierung der β -Parameter durchgeführt werden.

Ein vereinfachter Ansatz, der die Wirkungen bereits auf den Entscheidungsstufen berücksichtigt, ist die neue Flottenzusammensetzung nur bei den Berechnungen der Umweltwirkungen zu berücksichtigen. Die Ermittlung der neuen Flottenzusammensetzung kann, analog zu den obigen Beschreibungen, über Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle oder Annahmen mit Szenarien erfolgen.

Bei einem Anteil der elektrobetriebenen Fahrzeuge an der Fahrzeugflotte von 100 % entfällt die Abgasemissionsberechnung für den Straßenverkehr vollständig.

Maßnahme: Zulassung von autonomen Fahrzeugen

Beschreibung:

Die Maßnahme umfasst die Zulassung autonomer Fahrzeuge für den Straßenverkehr im Bereich MIV. Die BAST (GASSER ET AL. (2012)) unterscheidet beim Automatisierungsgrad von Fahrzeugen in assistiert, teilautomatisiert, hochautomatisiert und vollautomatisiert. Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer beispielsweise durch einen Abstandsregeltempomat. Teilautomatisierte Fahrzeuge verfügen über automatische Funktionen, die der Fahrer ständig überwachen muss. Das System im hochautomatisierten Fahrzeug fährt für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen autonom und informiert den Fahrer, wenn ein Eingreifen nötig ist. Vollautomatisierte Fahrzeuge fahren völlig autonom, ohne dass der Mensch Fahraufgaben übernimmt. In dieser Arbeit entspricht ein autonomes Fahrzeug einem vollautomatisierten Fahrzeug.

Autonome Fahrzeuge können auch für den Use-Case Vehicle-on-Demand, bei dem Nutzer Fahrtwünsche buchen, eingesetzt werden. Mögliche Geschäftsmodelle für Vehicle-on-Demand sind die Nutzung als Taxi oder die Nutzung als Kleinbus, bei dem das autonome Fahrzeug geteilt und die Fahrtwünsche der Nutzer gekoppelt werden. Diese Use-Cases sind nicht Bestandteil dieser Maßnahme. Der Einsatz als Kleinbus, bei dem Fahrtwünsche gekoppelt werden, betrachtet die Maßnahme free-floating Rideselling mit Pooling auf Seite 72.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung- / Zusammenhang
Kapazität	Änderung im MIV durch effizientere Nutzung der Verkehrsanlagen
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen möglich durch exakte Einhaltung der Geschwindigkeiten
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre möglich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen möglich, da Fahrzeit zum Arbeiten und Entspannen genutzt werden kann
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung der Reisezeit und der Verkehrsmittelverfügbarkeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen durch effizientere Nutzung der Kapazität möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Routenwahl

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	-

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).
- Anpassung der CR-Kurven und der Kapazitäten von Strecken und Knotenpunkten.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (Anpassung der CR-Kurven und Kapazität erfolgt experimentell durch Abschätzung oder ggf. mithilfe von Verkehrsflussmodellen, fehlende elastische Mobilitätsraten und Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell sowie bisher keine Erkenntnisse zur Auswirkung auf die Mobilitätsraten und des Nutzungsverhaltens).

Diskussion Modellierungsvarianten

Auf die generellen Varianten zur Abbildung der Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird in Kapitel 3.4.1 eingegangen.

Mit autonomen Fahrzeugen können Verkehrsanlagen effizienter genutzt und somit eine Kapazitätssteigerung erreicht werden. Knotenpunkte stellen in städtischen Straßenverkehrsnetzen üblicherweise die Kapazitätsengpassstellen dar. Durch autonome Fahrzeuge kann der Anfahrtszeitpunkt antizipiert werden. Als Folge reduziert sich die Reaktionszeit auf das Anfahren des vorderen Fahrzeuges und somit die Zeitbedarfswerte zwischen den Fahrzeugen an Knotenpunkten. FRIEDRICH (2015) berechnet mit makroskopischen Verkehrsflussmodellen auf Grundlage der verkürzten Zeitbedarfswerte eine Kapazitätssteigerung im Stadtverkehr von 40 % für rein autonomen Verkehr.

Durch autonome Fahrzeuge erwartete Kapazitätssteigerungen können durch eine Anpassung der Fahrzeitermittlung auf Knotenpunkten und Strecken modelliert werden. Für Knotenpunkte sind entweder die konstanten Zeitzuschläge, CR-Funktionen und Kapazitäten oder bei einer Fahrzeitermittlung nach HBS die Zeitbedarfswerte anzupassen. Auf Streckenebene sind die Kapazitäten und CR-Funktionen anzupassen.

Zur Modellierung müssen CR-Funktionen entwickelt werden, welche das autonome Fahren realitätsnah abbilden. MÜLLER (2012) entwickelte eine CR-Funktion für eine Vorstufe des rein autonomen Fahrens. Die genannte CR-Funktion bildet Cooperative Adaptive Cruise Control Systeme (CAAC) im Güterverkehr auf Autobahnen ab. CAAC ermöglicht die elektronische Kopplung von sieben Fahrzeugen. Dadurch können die sechs Fahrzeuge, die dem Führungssystem folgen, autonom fahren.

3.4.10 Maßnahmen der Verkehrstechnik

Maßnahme: Änderung von Lichtsignalsteuerungen (Festzeitsteuerung, zeitabhängige-, verkehrsabhängige Steuerung, Linien- und Netzsteuerungen, ÖV-Priorisierung)

Beschreibung

In städtischen Straßenverkehrsnetzen stellen Knotenpunkte üblicherweise Engpassstellen dar. Mithilfe von Lichtsignalsteuerungen wird der Verkehrsablauf an Knotenpunkten durch Lichtsignale beeinflusst. Es können Festzeitsteuerungen, zeitabhängige-, verkehrsabhängige Steuerungen, Linien- und Netzsteuerungen sowie ÖV-Priorisierung zum Einsatz kommen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung- / Zusammenhang
Kapazität	Änderung im MIV durch Minimierung / Erhöhung der Wartezeiten an Knotenpunkten und durch Harmonisierung des Verkehrsflusses
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Steuerung der Wartezeiten
	ÖV: Änderungen bei ÖV-Priorisierung
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeit möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeit möglich
Abfahrtszeitwahl	Änderung unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen durch Änderung der Reisezeit möglich (Fahrt durch die Innenstadt statt Umfahrung)

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Entscheidungsstufen	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Routenwahl
Zeitachse	Dynamisch*
Auslastungsabhängige Fahrzeit am Knotenpunkt	Auslastungsabhängige Zeitzuschläge mit Abbieger-CR-Funktion oder nach HBS
Auslastungsabhängige Fahrzeit auf der Strecke	Verkehrsflussmodell, mikroskopisch*
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Zur Abbildung von verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung ist eine Routenwahl mit dynamischer Zeitachse und einem mikroskopischen Verkehrsflussmodell notwendig

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Attribute der Knotenpunkte (z. B. Fahrstreifenaufteilung, Umlaufzeit, Fahrzeit- und Fahrplananpassungen bei ÖV-Priorisierung).

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar / nicht abbildbar mit Stand der Software (nicht abbildbar sind verkehrabhängige Lichtsignalsteuerungen aufgrund fehlender mikroskopischer Verkehrsflussmodelle).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende abbiegerfeine CR-Funktion / auslastungsabhängige Zeitzuschläge nach HBS und mikroskopisches Verkehrsflussmodell).

Diskussion Modellierungsvarianten

Wirkungen der Lichtsignalsteuerungen einzelner Knotenpunkte auf die Fahrzeiten können mit Abbieger-CR-Funktionen dargestellt werden. Eine Anpassung der Lichtsignalsteuerung beeinflusst die Kapazität des Abbiegers, die sich aus der Sättigungsverkehrsstärke und dem Abflusszeitanteil berechnet.

Für die Abbildung der Wirkungen auf die Fahrzeit geänderter Linien- und Netzsteuerungen (z. B. Grüne Welle) ist es notwendig, die genaue Signalsteuerung zu hinterlegen und somit die Fahrzeitenberechnung nach HBS durchzuführen. Zur Modellierung der Änderung der Lichtsignalsteuerung müssen die Eigenschaften (z. B. Fahrstreifenaufteilung, Phaseneinteilung, Umlaufzeit, Grünzeitaufteilung für Tageszeiten) am jeweiligen Knotenpunkt angepasst werden.

Zur Modellierung von verkehrabhängigen Lichtsignalsteuerungen, zu der auch die ÖV-Priorisierung gehört, sind mikroskopische Verkehrsflussmodelle notwendig. Anhand geeigneter Programmieroberflächen kann bei mikroskopischen Verkehrsflussmodellen die Logik der verkehrabhängigen Steuerung implementiert werden. Gängige Softwareprodukte bieten makroskopische oder mesoskopische, nicht aber mikroskopische Verkehrsflussmodelle als Teilmodell in Verkehrsnachfragemodellen an.

Bei ÖV-Priorisierungen sind ebenfalls Fahrzeit- und Fahrplananpassungen im ÖV notwendig. Ein vereinfachter Ansatz zur Abbildung der ÖV-Priorisierung ist, die Wirkungen auf den MIV zu vernachlässigen und nur die Wirkungen auf den ÖV durch Fahrzeit- und Fahrplananpassungen zu berücksichtigen.

Maßnahme: Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen

Beschreibung

Mit Streckenbeeinflussungsanlagen wird der Verkehr durch Wechselverkehrszeichen verkehrsabhängig auf einem Streckenabschnitt gesteuert (FGSV (2012a)), indem Verkehrsteilnehmer vor Geschwindigkeitseinbrüchen und kritischen Situationen gewarnt werden.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Temporäre Änderung der Leistungsfähigkeit im MIV durch Harmonisierung des Verkehrsablaufes
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Harmonisierung des Verkehrsflusses und Erhöhung der Leistungsfähigkeit auf dem betroffenen Streckenabschnitt
	ÖV: Keine Änderung zu erwarten
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich da Maßnahme nur temporär in der Störungssituation aktiv ist
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Verkehrszielwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Moduswahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (es erfolgt keine Routenempfehlung)
Akzeptanz	Abhängig von den veranlassten Schaltungen und mit niedrigeren Höchstgeschwindigkeiten abnehmend, generell jedoch gut

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Entscheidungsstufen	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)
	Routenwahl*
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Die Routenwahl, für die die Maßnahme implementiert wird, darf aufgrund der nur temporären Natur der Maßnahme nicht Teil der Entscheidungs-rückkopplung sein

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der CR-Funktion (Erhöhung der Leistungsfähigkeit) oder Anpassung der Kapazität.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.

Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende pseudodynamische / dynamische Zeitachse).

Diskussion Modellierungsvarianten

Eine Streckenbeeinflussungsanlage wird verkehrsabhängig vor dem Erreichen kritischer Situationen aktiv geschaltet, wodurch die Verkehrsteilnehmer gewarnt sowie ggf. die zulässigen Geschwindigkeiten angepasst werden. Mit einem Verkehrsnachfragemodell kann die Wirkung der Anpassung der zulässigen Geschwindigkeit, nicht jedoch die Wirkung der Warnung modelliert werden.

Um abzubilden, dass die Streckenbeeinflussungsanlage nicht durchgehend aktiv ist, sind pseudodynamische Modelle mit kleinen Zeitintervallen oder dynamische Modelle notwendig. In pseudodynamischen und dynamischen Modellen können Attributen für einzelne Zeitintervalle Eigenschaften vorgegeben werden. Das Modell muss für den vorliegenden Fall so aufgebaut sein, dass, sobald innerhalb von Zeitintervallen die Belastung nahezu die maximale Kapazität des Streckenabschnitts erreicht (kritische Situation), im nächsten Zeitintervall die Anlage aktiv gesetzt und das Geschwindigkeitsattribut t_0 angepasst wird. Bei Erreichen einer unkritischen Situation muss in dem darauf folgenden Zeitintervall die Streckenbeeinflussungsanlage deaktiviert und das Geschwindigkeitsattribut t_0 wieder auf den Ausgangszustand zurückgesetzt werden. Zur Überprüfung der verkehrlichen Situation auf dem bestimmten Streckenabschnitt und der verkehrsabhängigen Anpassung der Geschwindigkeit ist eine zusätzliche Logik im Umlegungsverfahren notwendig, die von Anwendern ergänzt werden muss.

Maßnahme: Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen mit temporären Seitenstreifenfreigaben

Beschreibung

Mithilfe von Streckenbeeinflussungsanlagen wird in Spitzenverkehrszeiten mit Kapazitätsengpässen der Seitenstreifen für den Verkehr abschnittsweise freigegeben. Ein Seitenstreifen bietet aus Sicht der Verkehrssicherheit unverzichtbare Funktionen, wie beispielsweise das Abstellen liegengebliebener Fahrzeuge oder als Zugang für Rettungsfahrzeuge. Daher kann die Maßnahme nur eine Übergangslösung darstellen (vgl. LEMKE (2003)).

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Temporäre Änderung im MIV durch Freigabe des Seitenstreifens
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch schnellere Bewältigung von Kapazitätsengpässen
	ÖV: Keine Änderung zu erwarten
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich da Maßnahme nur temporär in der Störungssituation aktiv ist
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Verkehrszielwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Moduswahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Routenwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (es erfolgt keine Routenempfehlung)
Akzeptanz	-

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Entscheidungsstufen	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)
	Routenwahl*
Zeitachse	Pseudodynamisch, dynamisch
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Die Routenwahl, für die die Maßnahme implementiert wird, darf aufgrund der nur temporären Natur der Maßnahme nicht Teil der Entscheidungsrückkopplung sein

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Kapazität für Zeitintervalle mit Seitenstreifenfreigabe.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende pseudodynamische / dynamische Zeitachse).

Diskussion Modellierungsvarianten

Die Modellierung der Maßnahme unterscheidet sich prinzipiell nicht von der Maßnahme Streckenbeeinflussungsanlage auf Seite 159. Bei der temporären Seitenstreifenfreigabe wird durch die Freigabe des Seitenstreifens während der kritischen Situation die Streckenkapazität erhöht, die entsprechend in der Zeitscheibe / im Zeitintervall anzupassen ist. Wird der Seitenstreifen nur zu bestimmten Zeiten freigegeben, ist jedoch mit einer gewissen Nutzungshemmschwelle bei den Verkehrsteilnehmern zu rechnen (vgl. ARNOLD (2001)). Bei einem 3-streifigen Abschnitt inklusive dem freigegebenen Seitenstreifen berechnet ARNOLD basierend auf empirischen Messungen eine Kapazität von 95 % im Vergleich zu einem regulären 3-streifigen Abschnitt. Die Auswirkung der Nutzungshemmschwelle auf die Kapazität ist bei der Anpassung der Streckenkapazität zu berücksichtigen.

3.4.11 Maßnahmen der Informationsverbesserung

Maßnahme: Einsatz von Netzbeeinflussungsanlagen

Beschreibung

Durch Netzbeeinflussungsanlagen wird die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer in Störungssituationen durch Wechselverkehrszeichen innerhalb einer Netzmasche beeinflusst. Die Wechselverkehrszeichen informieren die Verkehrsteilnehmer in der Störungssituation über eine alternative Route innerhalb der Netzmasche.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Informationsgrad	Verkehrsteilnehmer sind besser über Alternativen informiert
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch mögliche Reduzierung der Stauungen und Minimierung der Gesamtreisezeit im Verkehrsnetz
	ÖV: Keine Änderung zu erwarten
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich da Maßnahme nur temporär in der Störungssituation aktiv ist
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Verkehrszielwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Moduswahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich (temporäre Maßnahme)
Routenwahl	Verlagerungen treten auf (in Störungssituationen durch Empfehlungen)
Akzeptanz	Abhängig von der Netzmasche, dem Umweg und dem Anzeigetext

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Abbildung des Informationsgrads bei der Routenwahl	Stochastisch (Routenwahl)
Entscheidungsstufen	Abfahrtszeitwahl (statische Ganglinien)
	Routenwahl*
Zeitachse	Pseudodynamisch / dynamisch
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Die Routenwahl, für die die Maßnahme implementiert wird, darf aufgrund der nur temporären Natur der Maßnahme nicht Teil der Entscheidungs-rückkopplung sein

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung des Informationsniveaus für die Routenwahl.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlende pseudodynamische / dynamische Zeitachse und stochastische Routenwahl. Informationsgewinn kann nur experimentell modelliert werden).

Diskussion Modellierungsvarianten

Die Befolgungsrate der Routenempfehlung einer Netzbeeinflussungsanlage liegt je nach Netzmasche zwischen 0 % und 40 % (vgl. FGSV (2007)). Da nicht alle Verkehrsteilnehmer der Routenempfehlung folgen, ist sowohl für den 0-Fall wie auch für den Maßnahmenfall, ein stochastischer Ansatz für die Routenwahl notwendig. Durch die temporäre Routenempfehlung im Störfall steigt der Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer nur lokal an derjenigen Netzmasche, an der im Maßnahmenfall eine Verkehrsbeeinflussungsanlage installiert ist.

Die Modellierung der lokalen Beeinflussung des Informationsgrads ist nicht über eine Änderung des Sensitivitätsparameters (α -Parameters) in der Bewertungsfunktion möglich, da dieser eine globale Änderung des Informationsgrads bewirkt. Eine lokale Umsetzung kann durch eine Erhöhung des Abbiegerwiderstands auf die Hauptroute bei Abfahrt auf die Alternativroute erfolgen. Die Anpassung des Widerstands kann bei einem Befolgungsgrad $> 0 \%$ und $< 100 \%$ jedoch nur experimentell erfolgen. Durch eine experimentelle Anpassung wird die Wirkung der Maßnahme vorgegeben und nicht modelliert.

Für eine Aktivschaltung der Netzbeeinflussungsanlage einzig im Störfall ist eine Routenwahl mit dynamischer Zeitachse notwendig. Die Anpassung des Widerstands darf nur in den Zeitintervallen erfolgen, bei denen im vorhergehenden Zeitintervall kritische Streckenbelastungen auf der Hauptroute innerhalb der Netzmasche erreicht wurden.

Alternativ kann im Fall einer Routenwahl mit statischer Zeitachse vereinfacht ausschließlich die Hauptverkehrszeit betrachtet werden, für die angenommen werden kann, dass ein Störfall eintritt.

Da die Netzbeeinflussungsanlage nur im Störfall aktiv geschaltet wird, kann die Wirkung auf die Routenwahl begrenzt werden. Um eine Beeinflussung der anderen Entscheidungsstufen zu vermeiden, darf die Maßnahme nicht innerhalb einer Entscheidungsrückkopplung modelliert werden.

Maßnahme: Einsatz von Mobilitäts-Apps

Beschreibung

Eine Mobilitäts-App informiert Nutzer über alternative Reisemöglichkeiten mit unterschiedlichen Verkehrsangeboten, um vom Ausgangspunkt an den gewünschten Zielpunkt zu gelangen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Informationsgrad	App-Nutzer sind besser über Alternativen informiert
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen möglich durch andere Moduswahl
	ÖV: Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen unwahrscheinlich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre unwahrscheinlich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Moduswahl	Verlagerungen durch höheren Informationsgrad möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen unwahrscheinlich
Routenwahl	Verlagerungen durch höheren Informationsgrad möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Segmentierung der Nachfrage	Personengruppen (Abbildung Nutzergruppe)
Abbildung des Informationsgrads	Stochastisch
Entscheidungsstufen	Moduswahl
	Routenwahl
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	-

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung des Informationsniveaus der Personengruppen, die zu den Nutzern zählen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Abbildbar mit Stand der Software.
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (keine stochastische Routenwahl, Informationsgewinn kann nur experimentell modelliert werden).

Diskussion Modellierungsvarianten

Mobilitäts-Apps werden genutzt, um den Informationsgrad der Nutzer hinsichtlich des Angebots für ein bereits festgelegtes Ziel und festgelegte Abfahrts- oder Ankunftszeiten zu verbessern. Nutzer können die einschlägigen Apps meist individuell konfigurieren und so persönliche Präferenzen hinterlegen. Die Nutzer entscheiden beispielsweise darüber, über welche Verkehrsmittelangebote informiert werden soll. Dadurch muss nicht zwingend ein Zustand der perfekten Information erreicht werden. Der durch die Nutzung der App eintretende Informationsgewinn kann nur abgeschätzt und experimentell modelliert werden (vgl. „Maßnahme: Einsatz von Netzbeeinflussungsanlagen“ auf Seite 163). Durch eine experimentelle Anpassung des Informationsgewinnes wird die Wirkung vorgegeben und nicht modelliert.

3.4.12 Maßnahmen der Bewusstseinsbildung

Maßnahme: Einsatz von Werbekampagnen

Beschreibung

Unter der Maßnahme Werbekampagne wird im Rahmen dieser Arbeit eine Kampagne verstanden, die für eine nachhaltige Mobilität wirbt, d. h. dafür wirbt, die Anzahl an Wegen zu reduzieren, möglichst kurze Wege zurückzulegen und Verkehrsmittel des Umweltverbundes zu wählen.

Wirkungsvermutung / -zusammenhang

Bezugsgröße	Wirkungsvermutung / -zusammenhang
Kapazität	Keine Änderung
Zahl der Alternativen	Keine Änderung
Kenngröße Reisezeit	MIV: Änderungen durch Verlagerungen und Neuverkehre möglich
	ÖV: Änderungen durch andere Moduswahl möglich, wenn sich das Verhältnis von Fahrten in der Hauptverkehrszeit (kürzere Reisezeit durch höhere Taktung) und Nebenverkehrszeit ändert
Verkehrsbewusstsein	Beeinflussung durch Kampagnen
Verkehrsmittelverfügbarkeit	Änderungen durch Beeinflussung des Verkehrsbewusstseins möglich
Verkehrserzeugung	Neuverkehre durch Beeinflussung des Verkehrsbewusstseins möglich
Verkehrszielwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung des Verkehrsbewusstseins möglich
Moduswahl	Verlagerungen durch Beeinflussung des Verkehrsbewusstseins möglich
Abfahrtszeitwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung des Verkehrsbewusstseins möglich
Routenwahl	Verlagerungen durch Beeinflussung des Verkehrsbewusstseins möglich

Anforderungen an die Modellstruktur

Strukturklasse	Struktureigenschaft
Zusätzliche Wirkungsmodelle	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle
Abbildung der Verkehrsmittelverfügbarkeit	Verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren oder Personengruppen
Entscheidungsstufen	Verkehrserzeugung (elastische Mobilitätsraten)
	Verkehrszielwahl
	Moduswahl
	Abfahrtszeitwahl (nutzenbasiert)*
	Routenwahl (ÖV: mit Kapazitätsbeschränkung)*
Nutzenfunktion	-
Anmerkungen*	Alle Parameter im Modell, welche die Einstellung und das Verkehrsbewusstsein abbilden, müssen an die neue Situation angepasst werden. Bei Kapazitätsengpässen im ÖV stellt das Ergebnis einer ÖV-Routenwahl ohne Kapazitätsbeschränkung ein Potential dar, welches bei ausreichender Kapazität erreicht werden kann. Abbildung der Abfahrtszeitwahl (mind. statische Ganglinien) bei ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkung notwendig.

Anforderungen an die Abbildung der Maßnahme

- Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Anzahl Personen mit Zeitkartenverfügbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit oder verkehrszellenspezifische Wahrscheinlichkeitsfaktoren).

- Anpassung der Mobilitätsraten bei Verkehrserzeugung mit statischen Mobilitätsraten.
- Anpassung der Verhaltensparameter (β -Parameter) in den Nutzenfunktionen der Entscheidungsstufen.

Abbildbarkeit der Maßnahme

- Teilweise abbildbar mit Stand der Software (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl).
- Nicht abbildbar mit Stand der Praxis (fehlendes Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell und fehlende Verkehrserzeugung mit elastischen Mobilitätsraten sowie nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl. Änderung des Verkehrsbewusstseins kann nur experimentell modelliert werden).

Diskussion Modellierungsvarianten

Eine Kampagne, die für eine nachhaltige Mobilität wirbt, kann das Verkehrsbewusstsein beeinflussen und dazu führen, dass Verkehrsteilnehmer freiwillig und unter unveränderten Randbedingungen beschließen, ihre Mobilität nachhaltiger zu gestalten. Hierzu gehört beispielsweise einen vorhandenen Pkw abzuschaffen, weniger und / oder kürzere Wege sowie Wege mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes durchzuführen.

Eine Prognose der Wirkung einer Kampagne ist mit Verkehrsnachfragemodellen nicht möglich. Das Verkehrsbewusstsein wird anhand von Befragungen der Verkehrsteilnehmer für die Modellbildung erfasst. In Verkehrsnachfragemodellen ist das ermittelte Verkehrsbewusstsein über die β -Parameter in den Nutzenfunktionen, Mobilitätsraten und Verkehrsmittelverfügbarkeiten berücksichtigt. Eine Modellierung desselben kann nur über experimentelle Änderungen des Verkehrsbewusstseins, d. h. des β -Parameters, erfolgen. Durch eine experimentelle Änderung des Verkehrsbewusstseins wird die Wirkung der Maßnahme vorgegeben und nicht modelliert.

4 Verkehrsnachfragemodell Region Stuttgart

Für die Region Stuttgart wurde ein Verkehrsnachfragemodell für das Analysejahr 2010 auf der Basis einer Haushaltsbefragung, an der rund 13.700 Personen aus 5.600 Haushalten der Region teilnahmen, erstellt. Auf der Grundlage des Analysejahres 2010 (Analysefall) baut das Bezugsjahr 2025 (Bezugsfall) auf. Der Analysefall und der Bezugsfall sind mit der Verkehrsplanungssoftware VISUM der PTV AG erstellt und bilden einen durchschnittlichen Werktag zwischen Montag und Freitag ab. Das verwendete Softwarepaket enthält das Modul VISEM zur aktivitätenkettenbasierten Berechnung der Verkehrsnachfrage sowie das Modul zur Emissionsberechnung nach HBEFA 3.1. Für die Wirkungsberechnung der Maßnahmen wird in dieser Arbeit der Bezugsfall verwendet. Im Folgenden wird der Bezugsfall, der keine zusätzliche Maßnahme beinhaltet, als 0-Fall bezeichnet.

4.1 Räumliche Abgrenzung und Datenmodelle

Der Planungsraum des Verkehrsnachfragemodells umfasst die Stadt Stuttgart sowie die fünf Landkreise Ludwigsburg, Böblingen, Esslingen, Göppingen und Rems-Murr-Kreis. Der erweiterte Modellraum besteht aus 17 Stadt- und Landkreisen. Der Außenraum, der zur Abbildung des Fernverkehrs benötigt wird, ist durch Kordonverkehrszellen berücksichtigt. Die Abbildung 6 zeigt die räumliche Abgrenzung des Planungsraums und des erweiterten Modellraums.

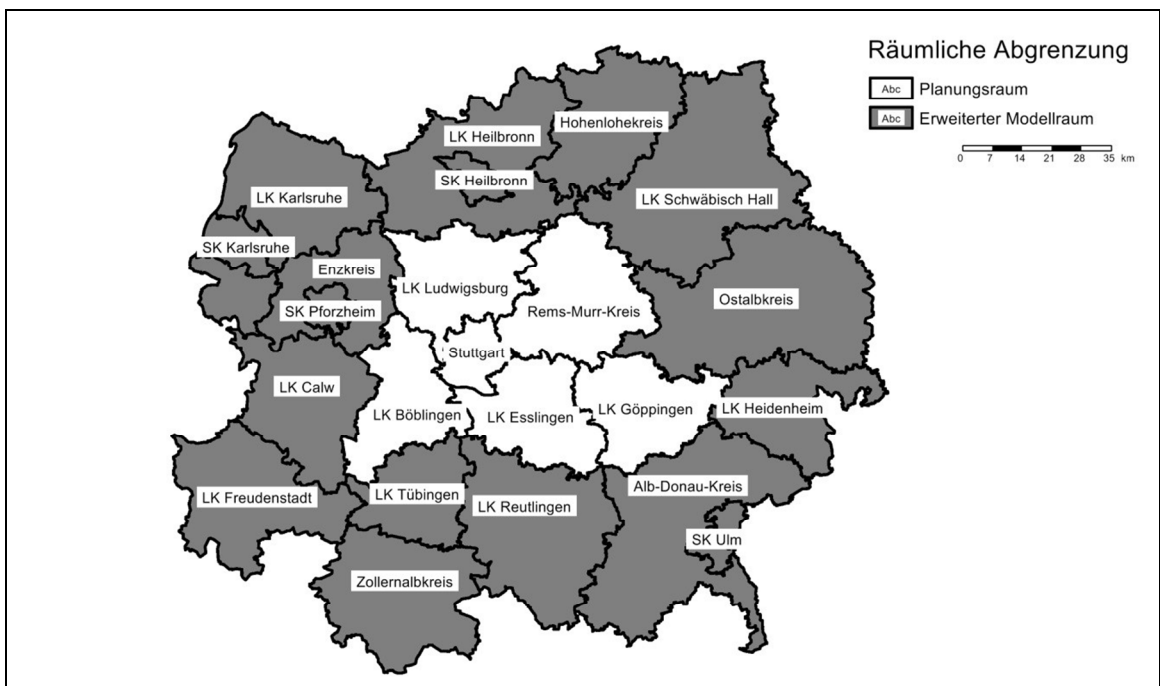


Abbildung 6: Räumliche Abgrenzung des Verkehrsnachfragemodells

Im Planungsraum bildet das Verkehrsnachfragemodell alle Straßenklassen des Haupt- und Nebenstraßennetzes ab. Das Straßennetz im erweiterten Modellraum besteht aus dem Hauptstraßennetz. Im ÖV umfasst der Planungsraum alle Buslinien, Stadtbahnlagen, S-Bahnlagen, Regionalbahnlagen und die, für die Region Stuttgart wichtigen, überregionalen Linien mit zugehörigem Fahrplan. Die überregionalen Linien des ÖV werden ebenfalls im erweiterten Modellraum abgebildet. Für die schienengebundenen Linien ist das entsprechende Schienennetz im Planungsraum und erweitertem Modellraum enthalten.

Das Modell ist in 1.175 Verkehrszellen unterteilt. Die Region umfasst 1.013 Verkehrszellen, davon entfallen 513 auf die Stadt Stuttgart. In Stuttgart sind die Verkehrszellen auf der Basis von Baublöcken erstellt und kleiner als in der Region. In der Region stellt eine Verkehrszelle überwiegend eine Gemeinde oder einen Teilort dar. Der erweiterte Modellraum besteht aus 136 Verkehrszellen, der Außenraum aus 26 Kordonverkehrszellen. Die Strukturgrößen sind auf Ebene der Verkehrszellen hinterlegt. Das Datenmodell berücksichtigt auf Verkehrszellenebene Einwohner je Personengruppen und 19 Strukturgrößen für die Aktivitätenorte.

Zur Modellierung der Verkehrsnachfrage werden 23 verhaltenshomogene Personengruppen und 19 Wegezwecke (Aktivitäten) unterschieden. Zum Zwecke der Gruppierung von Personen sind der Beruf, die Pkw-Verfügbarkeit und das Alter berücksichtigt. Für jede Personengruppe sind im Datenmodell Mobilitätsverhalten typische Aktivitätenketten mit spezifischen Mobilitätsraten hinterlegt. Die Mobilitätsrate ist von der Lage des Wohnstandorts (Startverkehrszelle der Aktivitätenkette) abhängig. Es werden die drei Wohnstandortgruppen Innenstadt Stuttgart, Stuttgart und restlicher Planungs- /Modellraum unterschieden.

4.2 Verkehrsnachfragemodell

Zur Berechnung der Nachfrage bildet das Modell die Modellstufen Verkehrserzeugung, Verkehrszielwahl, Moduswahl und Routenwahl ab. Die Verkehrszielwahl und Moduswahl werden simultan durchgeführt und es findet ein Rücksprung zwischen der Routenwahl und der simultanen Verkehrsziel- / Moduswahl statt. Nach Abbruch der Iterationsschleife springt das Modell zur finalen Routenwahl. Abbildung 7 veranschaulicht den Aufbau des Verkehrsnachfragemodells durch Darstellung der Modellstufen sowie der Ein- und Ausgangsgrößen. Nachfolgend werden die Modellstufen erläutert.

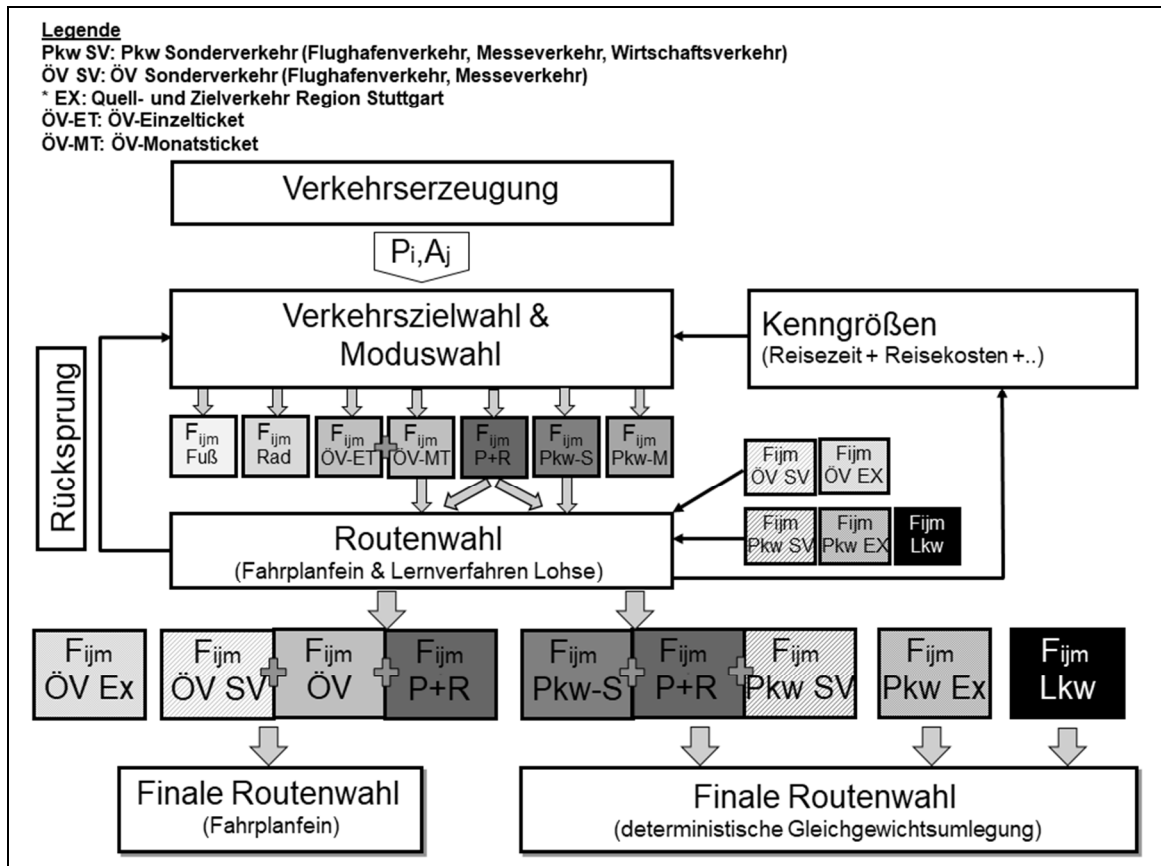


Abbildung 7: Aufbau Verkehrsnachfragemodell Region Stuttgart

Modellstufe: Verkehrserzeugung

Im Rahmen der Verkehrserzeugung wird berücksichtigt, dass die mittlere Anzahl an Wegen pro Tag und Person von der Lage des Wohnstandorts abhängig ist. Hierfür wird die Region Stuttgart in drei Zonen aufgeteilt. Eine Zone bildet die Innenstadt von Stuttgart mit den Bezirken Mitte, Süd, Ost und West. Das restliche Stadtgebiet von Stuttgart stellt eine weitere Zone dar. Die eingehend genannten Stuttgart umliegenden fünf Landkreise ergeben ebenfalls eine Zone. Jeder Personengruppe sind typische Aktivitätenketten zugeordnet. Die Mobilitätsrate für die Aktivitätenketten einer Personengruppe ist von der Lage des Wohnstandorts abhängig. Entsprechend der Mobilitätsrate werden die Aktivitätenketten erzeugt.

Modellstufe: Kombinierte Verkehrszielwahl und Moduswahl

Als Bewertungsfunktion wird in der kombinierten Modellstufe Verkehrsziel- und Moduswahl das in Kapitel 2.2.2.2 beschriebene Logit-Modell eingesetzt. Die Verknüpfung der beiden Modellstufen erfolgt durch die Berücksichtigung des modusspezifischen Nutzens über Logsummen in der Nutzenfunktion der Verkehrszielwahl. Hierbei wird der Nutzen der einzelnen Modi aufsummiert und logarithmiert. Die Bewertungsfunktion der Verkehrszielwahl lautet somit:

$$f_{g,z}(w_{i,j,m}) = e^{\alpha_{g,z} \cdot X + \beta_{g,z} \cdot \ln \sum_{m=1}^M e^{V_{i,j,m,g,z}}} \quad \text{Formel 18}$$

mit:

$f_{g,z}$	Bewertungsfunktion für die Personengruppe g und Wegezweck z
$\alpha_{g,z}, \beta_{g,z}$	Gewichtungsparameter für Personengruppe g und Wegezweck z
X	Korrekturmatrix
$V_{i,j,m,g,z}$	Nutzen von Quellverkehrszelle i zur Zielverkehrszelle j mit Modus m für die Personengruppe g und Wegezweck z
M	Anzahl an Modi ($m = 1 \dots M$)

Für eine bessere Anpassung der Verkehrszielwahl an Pendlerdaten der Bundesagentur für Arbeit und an die Ergebnisse der Haushaltsbefragung für alle Wegezwecke außer Arbeit werden zusätzliche Korrekturmatrixen eingesetzt (vgl. SCHLAICH (2011)).

Für die Wegezwecke Arbeiten, Grundschule, Schule und Universität wird eine zweiseitig gekoppelte Verkehrszielwahl durchgeführt. Hierdurch wird sichergestellt, dass beispielsweise jedem Arbeitsstandort genauso viele Arbeitswege zugeordnet werden wie Arbeitsplätze vorhanden sind. Für die Wegezwecke Einkaufen und Freizeit sind die Zielpotentiale nicht bindend.

Bei der Moduswahl wird zwischen den Modi Fuß, Rad, ÖV-Einzelticket, ÖV-Monatsticket, Park&Ride (P+R), Pkw-Mitfahrer und Pkw-Selbstfahrer unterschieden. Der modusspezifische Nutzen berücksichtigt neben der Reisezeit abhängig vom Modus weitere Einflussgrößen, wobei die Parameter personengruppenspezifisch sind. Die berücksichtigten Einflussgrößen je Nutzenfunktion sind nachfolgend dargestellt.

$$V_{i,j,F} = \beta_{0,F} - \beta_{1,F} \cdot t_{i,j,F} \quad \text{Formel 19}$$

$$V_{i,j,g,R} = -\beta_{0,g,R} - \beta_{1,R} \cdot t_{i,j,R} - \beta_{2,R} \cdot za_{i,j,R} \quad \text{Formel 20}$$

$$V_{i,j,g,z,OE} = -\beta_{0,g,OE} - \beta_{1,OE} \cdot t_{i,j,OE} - \beta_{2,OE} \cdot za_{i,j,OE} - \beta_{3,OE} \cdot w_{i,j,OE} - \beta_{4,OE} \cdot uh_{i,j,OE} + \beta_{5,OE} \cdot \ln(lw_{i,j,OE}) - \beta_{6,g,z,OE} \cdot fp_{i,j,OE} \quad \text{Formel 21}$$

$$V_{i,j,g,z,OM} = -\beta_{0,g,OM} - \beta_{1,OE} \cdot t_{i,j,OE} - \beta_{2,OE} \cdot za_{i,j,OE} - \beta_{3,OE} \cdot w_{i,j,OE} - \beta_{4,OE} \cdot uh_{i,j,OE} + \beta_{5,OE} \cdot \ln(lw_{i,j,OE}) - \beta_{6,g,z,OM} \cdot fp_{i,j,OE} \quad \text{Formel 22}$$

$$V_{i,j,g,PR} = \beta_0 + \beta_{1,g,PR} \cdot t_{i,j,PR} \quad \text{Formel 23}$$

$$V_{i,j,g,z,PS} = -\beta_{0,g,PS} - \beta_{1,PKW} \cdot t_{i,j,PKW} - \beta_{2,PKW} \cdot z a_{i,j,PKW} - \beta_{3,g,z,PKW} \cdot f k_{i,j,PKW} - \beta_{4,g,z,PKW} \cdot p k_{i,j,PKW} \quad \text{Formel 24}$$

$$V_{i,j,g,z,PM} = -\beta_{0,g,PM} - \beta_{1,PKW} \cdot t_{i,j,PKW} - \beta_{2,PKW} \cdot z a_{i,j,PKW} - \beta_{3,g,z,PKW} \cdot f k_{i,j,PKW} - \beta_{4,g,z,PKW} \cdot p k_{i,j,PKW} \quad \text{Formel 25}$$

mit:

i:	Quellverkehrszelle
j:	Zielverkehrszelle
g:	Personengruppe
z:	Wegezweck
F:	Modus Fuß
R:	Modus Rad
OE:	Modus ÖV-Einzelticket
OM:	Modus ÖV-Monatsticket
OEV:	Modus ÖV-Einzelticket sowie ÖV-Monatsticket
PR:	Modus P+R
PS:	Modus Pkw-Selbstfahrer
PM:	Modus Pkw-Mitfahrer
PKW:	Modus Pkw-Selbstfahrer sowie Pkw-Mitfahrer
$\beta_{0,g,z,m}$:	Konstante für Personengruppe g und Wegezweck z und Modus m
$\beta_{n,g,z,m}$:	Gewichtungparameter der Einflussgröße n ggf. in Abhängigkeit der Personengruppe g, des Wegezwecks z und des Modus m
$t_{i,j,m}$:	Einflussgröße Fahrzeit* von i nach j mit Modus m
$z a_{i,j,m}$:	Einflussgröße Zu- und Abgangszeit von i nach j mit Modus m
$w_{i,j,m}$:	Einflussgröße Wartezeit** von i nach j mit Modus m
$u h_{i,j,m}$:	Einflussgröße Umsteigehäufigkeit von i nach j mit Modus m
$l w_{i,j,m}$:	Einflussgröße Luftlinienweite von i nach j mit Modus m
$f p_{i,j,m}$:	Einflussgröße Fahrpreis von i nach j mit Modus m
$f k_{i,j,m}$:	Einflussgröße Fahrtkosten von i nach j mit Modus m
$p k_{i,j,m}$:	Einflussgröße Parkkosten von i nach j mit Modus m

* Die Fahrzeit für den Modus P+R wird aus der Fahrzeit ÖV, Umsteigewartezeit (Funktion der Umsteigehäufigkeit), Umsteigehäufigkeit, Gehzeit, Fahrpreis, Abgangszeit ÖV, Fahrzeit Pkw, Zu- und Abgangszeit Pkw, Attraktivitätsfaktor, Fahrtkosten und Parkkosten P+R berechnet.

** Summe aus Startwartezeit (Funktion der Bedienungshäufigkeit), Umsteigewartezeit (Funktion der Umsteigehäufigkeit) und Gehzeit.

Die Einflussgröße Fahrpreis im ÖV wird durch ein Tarifmodell mit Zonentarif berechnet. Der Fahrpreis ergibt sich aus den durchfahrenen Tarifzonen. Diese lassen sich anhand

der Haltestellen ermitteln, die einer Tarifzone zugeordnet sind. Die Fahrtkosten des Pkw werden mit einem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch und Treibstoffpreis berechnet. Parkkosten berechnen sich aus den in dem Gebiet der Zielverkehrszelle anfallenden mittleren Parkkosten pro Stunde.

Modellstufe: Routenwahl

Die vorherigen Modellstufen berechnen die Ortsveränderungen des Personenverkehrs innerhalb der Region Stuttgart. Die zusätzlichen Verkehre Flughafenverkehr, Messeverkehr, Wirtschaftsverkehr, Güterverkehr und Quell-, Ziel- sowie Durchgangsverkehr der Region Stuttgart werden nicht bei der Verkehrserzeugung berechnet, sondern mittels externer Matrizen zugespielt und somit nur bei der Routenwahl berücksichtigt. Verkehre, welche mittels externer Matrizen zugespielt werden, sind nur hinsichtlich der Routenwahl maßnahmensensitiv.

Bei der Berechnung der Routenwahl innerhalb des Rücksprunges kommt für den MIV das Umlegungsverfahren Lernverfahren nach Lohse (vgl. SCHNABEL UND LOHSE (2011)) zum Einsatz. Dieses Verfahren bildet den Lernprozess der Verkehrsteilnehmer ab, indem bei der erneuten Routensuche Informationen aus dem vorherigen Iterationsschritt verwendet werden. Bei der Routensuche wird in jedem Iterationsschritt die widerstandskürzeste Route gewählt. Über den Umlegungsparameter Delta kann hierbei die Lernfähigkeit der Verkehrsteilnehmer definiert werden. Im Stuttgart-Modell sind die Umlegungsparameter so eingestellt, dass die Verkehrsteilnehmer einen langsamen Lernprozess durchlaufen (Delta = 1). Das Umlegungsverfahren wird abgebrochen, wenn eine hinreichende Übereinstimmung des Widerstands und des geschätzten Widerstands aller Strecken oder eine maximale zu durchlaufende Anzahl an Iterationen erreicht wird. Der geschätzte Widerstand setzt sich hierbei aus dem Widerstand des aktuellen Iterationsschrittes und dem geschätzten Widerstand des letzten Iterationsschrittes zusammen. Für das Stuttgart-Modell sind die Einstellungen wie folgt:

$$Abs (R(n) - R'(n - 1)) < 2 \cdot R'(n - 1)^{(1/3)} \text{ oder } N = 50 \quad \text{Formel 26}$$

mit:

N	Anzahl an Iterationen ($n = 1 \dots N$)
R	Widerstand eines Netzobjektes
$R'(n)$	geschätzter Widerstand eines Netzobjektes

Das Lernverfahren nach Lohse kann mit dem verwendeten Routensuchverfahren, bei dem, wie bei deterministischen Umlegungsverfahren, die widerstandskürzeste Route gewählt wird und bei dem der Informationsgrad durch den Lernprozess wächst, der Kategorie deterministische Nutzergleichgewichtsumlegung (DUE) (vgl. 2.2.2.3, Absatz Routenwahl) zugeordnet werden.

Bei der finalen Umlegung wird eine DUE verwendet. Das Gleichgewichtsverfahren wird abgebrochen, wenn eine maximale Anzahl an zu durchlaufenden Iterationen erreicht

oder ein maximaler Gap (vgl. Routenwahl Kapitel 2.2.2.3) unterschritten wird. Der Gap berechnet sich aus der mit der Belastung gewichteten Differenz zwischen dem Fahrzeugwiderstand des Netzes der aktuellen Iteration und dem hypothetischen Fahrzeugwiderstands. Der hypothetische Fahrzeugwiderstand ist ein errechneter minimaler Widerstandswert für den nächsten Iterationsschritt, für den hypothetisch angenommen wird, dass auf Basis der Widerstände des aktuellen Iterationsschrittes im nächsten Iterationsschritt alle Fahrzeuge den Bestweg wählen würden (vgl. PTV AG (2014)). Im Stuttgart-Modell sind die Abbruchbedingungen für die finale Nutzergleichgewichtsumlegung wie folgt definiert:

$$N = 100 \text{ oder } G = 10^{-5} \qquad \text{Formel 27}$$

mit:

N	Anzahl an Iterationen ($n = 1 \dots N$)
G	Wert des maximalen Gap

Im ÖV wird die Nachfrage jeweils mit einem fahrplanfeinen Verfahren umgelegt. Dadurch wird im ÖV, anders als beim MIV, ein dynamisches Verfahren mit Berücksichtigung der Abfahrtszeit verwendet. Die MIV-Umlegung ist auslastungsabhängig durch die Verwendung der Kenngröße t_{akt} , die mit einer CR-Funktion berechnet wird. Bei der ÖV-Umlegung wird die Auslastung der Fahrzeuge nicht berücksichtigt. Dadurch wird eine Beschränkung des Fahrgastzuwachses aufgrund von Kapazitätsbeschränkungen nicht abgebildet. Mögliche Fahrzeitverzögerungen durch längere Haltezeiten für Ein- und Aussteigevorgänge, die entstehen können wenn die Fahrzeuge überlastet sind, werden im Verkehrsnachfragemodell ebenfalls nicht berücksichtigt.

Für eine differenzierte Betrachtung der Wirkung einer Maßnahme auf die Routenwahl wird in dieser Arbeit die Nachfrage in unterschiedliche Nachfragesegmente separiert. Der Binnenverkehr der Region Stuttgart wird getrennt vom Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr, welcher nicht auf der gesamten Route / Verbindung durch eine Maßnahme beeinflusst werden kann, betrachtet, da Maßnahmen ausschließlich im Planungsraum (Region Stuttgart) umgesetzt werden. Der Binnenverkehr besteht aus einer Nachfrage, die mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet wird und bei Verkehrsziel- und Moduswahl maßnahmensensitiv ist, sowie einer Nachfrage, die durch externe Matrizen zugespielt wird und daher nur bei der Routenwahl maßnahmensensitiv ist. Auf eine zusätzliche Differenzierung dieser Binnenverkehre in zwei Nachfragesegmente wird aufgrund höherer Rechenzeit verzichtet. Die nachfolgenden Nachfragesegmente werden unterschieden:

- Pkw-VRS
Das Nachfragesegment umfasst alle Ortsveränderungen des Pkw-Binnenverkehrs im Planungsraum Region Stuttgart. Hierzu gehören die Ortsveränderungen der

Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Anteil des Modus P+R und Sonderverkehren (Pkw-Flughafenverkehr, Pkw-Messeverkehr und Pkw-Wirtschaftsverkehr).

- Pkw-Ex
Das Nachfragesegment umfasst alle Ortsveränderungen des Quell-, Ziel- sowie Durchgangsverkehrs des Planungsraums Region Stuttgart.
- Lkw
Das Nachfragesegment umfasst den Güterverkehr.
- ÖV-VRS
Das Nachfragesegment umfasst alle Ortsveränderungen des ÖV-Binnenverkehrs im Planungsraum Region Stuttgart. Es umfasst Ortsveränderungen mit ÖV-Einzelticket, ÖV-Monatsticket, ÖV-Anteil des Modus P+R und der Sonderverkehre (ÖV-Flughafenverkehr und ÖV-Messeverkehr).
- ÖV-EX
Das Nachfragesegment umfasst alle Ortsveränderungen des Quell-, Ziel- sowie Durchgangsverkehrs des Planungsraums Region Stuttgart.

4.3 Modell zur Ermittlung der Verkehrsauswirkungen

HBEFA

HBEFA (vgl. Kapitel 2.2.3) ist in der Version 3.1 in der für diese Arbeit verwendeten Verkehrsplanungssoftware Visum implementiert. Nachfolgend werden die Einstellungen aufgeführt, die der Berechnung der Verkehrsauswirkungen des 0-Falls und der Maßnahmenfälle zugrundeliegen.

Fahrzeugkategorie

Für Pkw und Lkw (schwere Nutzfahrzeuge in HBEFA) werden Emissionen berechnet.

Flottenzusammensetzung

Flottenzusammensetzung von Deutschland für das Bezugsjahr 2025. Abhängig vom Straßentyp wird eine städtische, ländliche oder autobahntypische Flottenzusammensetzung unterschieden.

Längsneigung

Die Längsneigung wird auf Streckenebene berücksichtigt.

Verkehrssituation

- Gebietstyp
Auf Streckenebene ist die Eigenschaft „ländlicher Raum“ oder „Agglomeration“ hinterlegt.

- **Straßentyp**
Jeder Streckentyp ist einem geeigneten HBEFA-Straßentyp zugeordnet.
- **Geschwindigkeitslimit**
Verwendung der Fahrgeschwindigkeiten auf der Strecke im unbelasteten Netz (v_0).
- **Verkehrszustand**
Die vier möglichen Verkehrszustände, beschrieben in Kapitel 2.2.3, werden durch den Auslastungszustand der Strecken definiert. Für die Berechnungen werden die in Tabelle 9 aufgeführten Auslastungsbereiche verwendet.

Verkehrszustand (Level of Service)	Auslastung [%]
Flüssig	≤ 65
Dicht	> 65 und ≤ 85
Gesättigt	> 85 und ≤ 100
Stop+Go	> 100

Tabelle 9: Unterteilung der vier Verkehrszustände der HBEFA-Berechnungen

Sonstige optionale Inputparameter (Kaltstartzuschläge, Abstellemissionen, Tankatmung, Running loses und Klimaanlage) werden bei den Emissionsberechnungen nicht berücksichtigt.

4.4 Aussagegenauigkeit

Modellanwender eines geprüften Modells, mit weitestgehend richtigen Eingangsdaten, können für Prognosen innerhalb des Einsatzbereiches mit einer Genauigkeit für die Prognosewerte der Verkehrsstärken entsprechend der maximal zulässigen Abweichungen zwischen Modell- und erhobenen Werte rechnen, die bei der Validierung der Einzelwerte verwendet wurden (vgl. PESTEL ET AL. (2016)). Bei der Überprüfung von Einzelwerten wird ein einzelner Wert aus dem Modell mit einem Wert aus Erhebungsdaten verglichen. Ein Gütemaß zur Überprüfung von Einzelwerten ist der GEH-Wert (vgl. Formel 28)).

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (m - c)^2}{m + c}} \quad \text{Formel 28}$$

mit:

m : Verkehrsstärke aus dem Modell

c : Verkehrsstärke aus den Erhebungsdaten

Der GEH-Wert ist ein anerkanntes Gütemaß zur Überprüfung von Einzelwerten. Beispielsweise wird dieser ebenfalls im WebTag (DEPARTMENT FOR TRANSPORT (2014)) für die Validierung für Verkehrsstärken empfohlen. WebTag empfiehlt für eine Stundenumlegung:

- GEH < 5 für > 85 % der Zählstellen.

In der Verkehrsplanung wird mit einem Anteil der Spitzenstunde von 10 % am Tagesverkehrsaufkommen gerechnet. Überträgt man diesen Ansatz auf den GEH-Wert, erhält man folgende Anforderungen für eine Tagesumlegung (FRIEDRICH UND RITZ (2014)):

- GEH < 15 für 85 % der Zählstellen.

Zur Qualitätssicherung des Stuttgarter-Modells wurde ebenfalls der GEH-Wert herangezogen. Als Qualitätsanforderung an das MIV-Umlegungsergebnis wurde festgelegt, dass 80 % der Zählstellen einen GEH < 10 aufweisen müssen. Das Modell erfüllt diese Anforderung (vgl. SCHLAICH (2011)). Die Qualitätsanforderungen des Stuttgart-Modells sind somit bezüglich des GEH-Wert deutlich strenger als die WebTag-Anforderung. Im Gegenzug müssen weniger Zählstellen den vorgegebenen Wert erfüllen. Tabelle 10 zeigt den Genauigkeitsbereich, der mit dem Verkehrsnachfragemodell berechneten Verkehrsstärken inkl. der zugehörigen relativen Abweichung. Die Werte basieren auf einem GEH-Zielwert 10.

Verkehrsstärke im Modell	Untere Grenze Verkehrsstärke	Obere Grenze Verkehrsstärke	Relative Abweichung zur unteren Grenze	Relative Abweichung zur oberen Grenze
250	110	440	-54 %	74 %
500	300	750	-40 %	50 %
1.000	710	1.340	-29 %	34 %
2.000	1.580	2.470	-21 %	24 %
4.000	3.390	4.660	-15 %	16 %
8.000	7.130	8.920	-11 %	11 %
16.000	14.760	17.290	-8 %	8 %
32.000	30.240	33.810	-6 %	6 %

Tabelle 10: Genauigkeitsbereich der Verkehrsstärken aus dem Stuttgart-Modell bei einem GEH = 10

Die Nachfragematrix für die Umlegung wird mit VStromFuzzy (vgl. PTV AG (2014)), einem Matrixkorrekturverfahren, angepasst. Mit VStromFuzzy wird das Umlegungsergebnis bei der Erstellung des Analysefalls an Zählwerte angepasst. Aus der Differenz wird die Korrekturmatrix erstellt. Die Korrekturmatrix ist in den Verfahrensablauf eingebaut und wird mit der berechneten Nachfragematrix verrechnet. Mit dem Korrekturverfahren können verbesserte GEH-Werte erzielt werden. Matrixkorrekturverfahren sind in der Praxis gängig und anerkannt.

Wird eine Korrekturmatrix verwendet, ist sie fester Bestandteil des Verfahrensablaufs. Sie wird bei der Erstellung des Analysefalls berechnet und in den Bezugsfall übernommen. Bei der Modellierung ist zu beachten, dass negative Werte erzeugt werden können sobald Ortsveränderungen von der Nachfragematrix subtrahiert

werden. Eine Maßnahme, die einen großen Einfluss auf die Nachfrage bewirkt und diese deutlich reduziert, kann diesen Effekt verstärken. Es ist dabei zu beachten, dass negative Werte bei der Routenwahl nicht umgelegt werden. Eine Matrixkorrektur kann somit die Anzahl an messbaren Fahrzeugkilometern beeinflussen. Der Einfluss ist von der Wirkungsgröße der Maßnahme sowie der Größenordnung der Korrektur, der die Nachfragematrix unterliegt, abhängig.

4.5 Kenngrößen des Mobilitätsverhaltens 2025

Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Kenngrößen des Mobilitätsverhaltens für den 0-Fall. In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Ergebnisse der Verkehrsziel- und Moduswahl dargestellt. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet, weshalb die Summe der Anteile nicht zwingend 100 % ergibt. Die dargestellten Personenkilometer werden mit der Luftlinienweite und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Verwendung der Luftlinienweite als Reiseweite anstelle der Reiseweite aus der Routenwahl ermöglicht es, Zielwahleffekte ohne Routenwahleffekte abzubilden. Die Ergebnisse zeigen, dass in der Region die meisten Wege mit einem Anteil von 45 % als Pkw-Selbstfahrer zurückgelegt werden. Der zweithöchste Anteil entfällt auf Fußwege mit 24 %. Mit dem ÖV werden 14 %, als Pkw-Mitfahrer 10 %, mit dem Rad 7 % und mit P+R 1 % der Wege bewältigt. Von den Personenkilometern werden 60 % als Pkw-Selbstfahrer, 22 % im ÖV, 10 % als Pkw-Mitfahrer, jeweils 3 % zu Fuß und mit dem Rad sowie 2 % als P+R zurückgelegt. Aufgrund der kurzen Reiseweite entfallen, trotz des hohen Anteils an zurückgelegten Wegen, nur 3 % der Personenkilometer auf den Fußverkehr. Ein Vergleich mit dem bundesweiten Durchschnitt (vgl. Kapitel 1) zeigt, dass die Anteile der Personenkilometer des ÖV um 7 %-Punkte und der Pkw-Selbstfahrer um 5 %-Punkte höher liegen, wohingegen der Anteil an Personenkilometern der Pkw-Mitfahrer um 14 %-Punkte niedriger liegt. Aufgrund des höheren ÖV-Anteils kann abgeleitet werden, dass das ÖV-Angebot der Region Stuttgart, im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt, attraktiver ist.

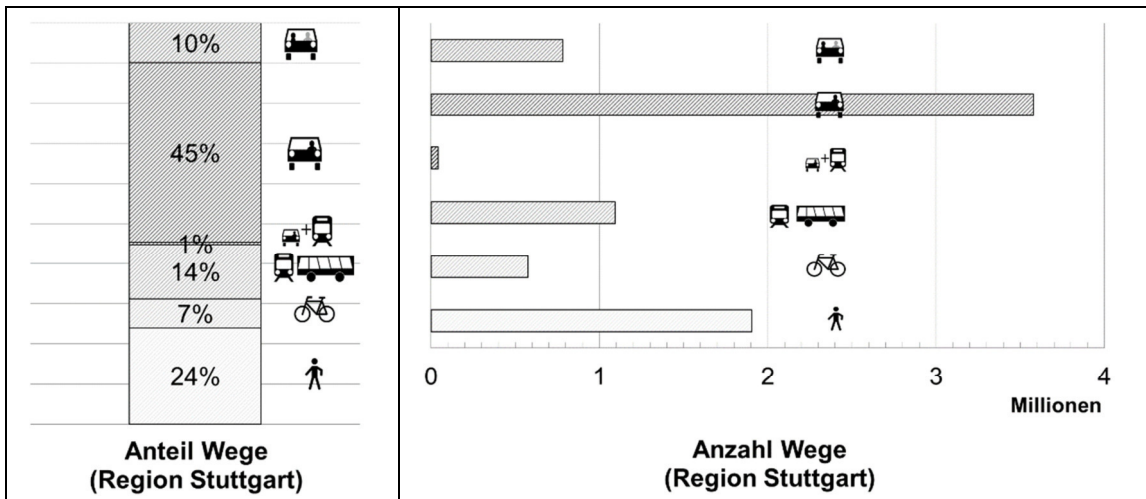


Abbildung 8: Wege je Modus

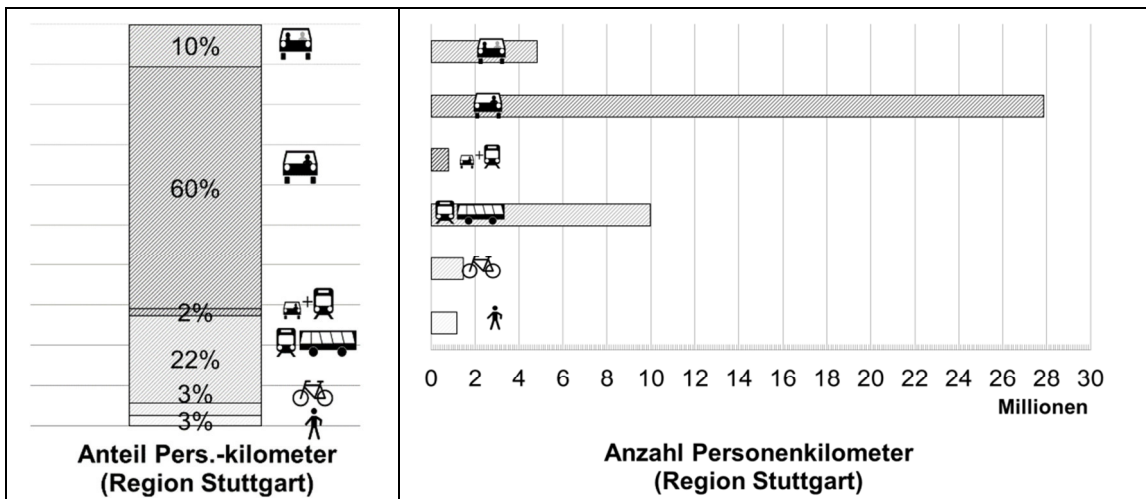


Abbildung 9: Personenkilometer je Modus

Die dargestellten Fahrzeugkilometer des Pkw-VRS in Abbildung 10 stellt die Nachfragesumme aus Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Anteil des Modus P+R und der Sonderverkehre (Pkw-Flughafenverkehr, Pkw-Messeverkehr und Pkw-Wirtschaftsverkehr) dar. Die Nachfragesumme des ÖV-VRS setzt sich aus ÖV-Einzelticket, ÖV-Monatsticket, ÖV-Anteil des Modus P+R sowie der Sonderverkehre (ÖV-Flughafen- und Messeverkehr) zusammen. Die Personen- / Fahrzeugkilometer des Pkw-Ex / ÖV-Ex sind der Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr der Region Stuttgart. Die meisten Fahrzeugkilometer in der Region Stuttgart werden mit dem Pkw (Pkw-VRS + Pkw-Ex) zurückgelegt, der Lkw-Anteil liegt bei 8 %. Auf ÖV-Ex und Pkw-Ex entfallen ungefähr die Hälfte der ÖV-Personen- / Pkw-Fahrzeugkilometer. Die Personen- / Fahrzeugkilometer der VRS-Nachfragesegmente sind auf der gesamten Route / Verbindung maßnahmensensitiv. Die Ex-Nachfragesegmente mit Quelle und / oder Ziel außerhalb der Region Stuttgart können durch eine Maßnahme nur auf dem Teilweg innerhalb der Region beeinflusst werden.

Abbildung 11 zeigt die Anzahl an Wegen, die bei der Routenwahl umgelegt werden. Hier ist der VRS-Verkehr getrennt nach Sonderverkehr (kurz SV), der nur bei der Routenwahl maßnahmensensitiv ist, und Nachfrage aus dem Verkehrsnachfragemodell, die bei der Verkehrsziel- und Moduswahl maßnahmensensitiv ist, dargestellt. 36 % der Pkw-Wege werden im 0-Fall mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet und sind bei der Verkehrsziel- und Moduswahl maßnahmensensitiv. Diese Pkw-Wege können mithilfe von Maßnahmen auf Ziele in der näheren Umgebung oder auf andere Modi verlagert werden. Die restlichen 64 % der Pkw-Wege können lediglich bei der Routenwahl verlagert werden. Im ÖV, der keinen Wirtschaftsverkehr enthält, sind die Anteile des ÖV-SV und des ÖV-Ex geringer. 89 % der ÖV-Wege werden im 0-Fall mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet und sind bei der Verkehrsziel- und Moduswahl maßnahmensensitiv. Nur 11 % der ÖV-Wege entfallen auf den ÖV-SV und ÖV-Ex.

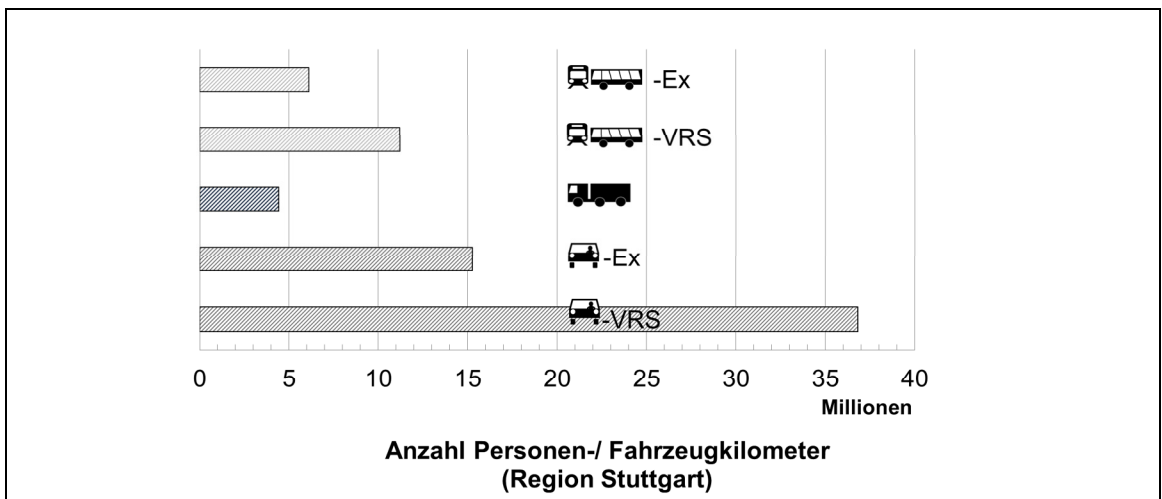


Abbildung 10: Personen- / Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment

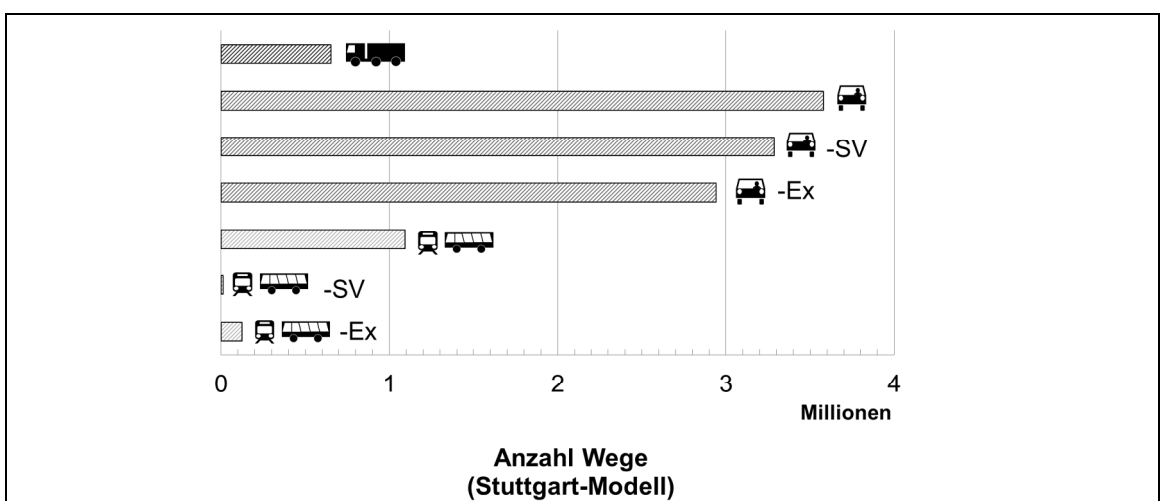


Abbildung 11: Berücksichtigte Wege bei der Routenwahl

5 Maßnahmenuntersuchung am Beispiel der Region Stuttgart

In diesem Kapitel wird durch Untersuchung der maßnahmenspezifischen Anforderungen aufgezeigt, ob sich das Stuttgart-Modell für Modellierung der in Kapitel 3.4 vorgestellten Maßnahmen eignet. Bei Eignung werden die konkrete Maßnahme sowie die Wirkungszusammenhänge / -vermutungen beschrieben, die Abbildbarkeit derselben untersucht, die Modellierung dargelegt, abschließend die Wirkungsergebnisse vorgestellt und erörtert, welche Ergebnisqualität erwartet werden kann.

5.1 Maßnahmenkatalog Modellierung

Das Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart erfüllt nicht die Anforderungen, die benötigt werden, um alle Wirkungszusammenhänge der in Kapitel 3.4 untersuchten städtischen Maßnahmen abbilden zu können. Teilweise müssen zur Abbildung der Wirkungszusammenhänge Annahmen getroffen werden oder es sind Modellerweiterungen notwendig. Die Eignung zur Abbildung der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen wird anhand der nachfolgend beschriebenen drei Kategorien untersucht.

Abbildbar [●]:

- Alle Wirkungszusammenhänge können mit den vorhandenen Modellstrukturen ohne Annahmen abgebildet werden.

Teilweise abbildbar [◐]:

- Ein Teil der Wirkungszusammenhänge kann mit den vorhandenen Modellstrukturen ohne Annahmen abgebildet werden und teilweise sind Annahmen notwendig.
- Ein Teil der Wirkungszusammenhänge kann mit den vorhandenen Modellstrukturen ohne Annahmen abgebildet werden, teilweise sind Annahmen notwendig und / oder es wird eine geringe Beeinflussung der Wirkungsergebnisse unterstellt und diese daher vernachlässigt.

Nicht abbildbar [○]:

- Alle Wirkungszusammenhänge können nur mithilfe zusätzlicher Datensätze (z. B. aus Befragungen), welche die Wirkungszusammenhänge aufzeigen, abgebildet werden. Die Abbildung der Wirkungszusammenhänge kann alternativ nur durch Annahmen erfolgen (z. B. bewusstseinsveränderte Maßnahmen).
- Alle Wirkungszusammenhänge können nur durch eine Modellerweiterung abgebildet werden, die eine Validierung und Kalibrierung mithilfe zusätzlicher Datensätze erfordert (z. B. Ergänzung eines neuen Modus / neuer Modi).

Tabelle 11 enthält die Untersuchungsergebnisse einzelner Maßnahmen. Zusätzlich werden die Einschränkungen dargestellt, die bei der Abbildung der Wirkungszusammenhänge vorliegen. Von den 31 beschriebenen Maßnahmen eignen sich für die folgende Modellierung 14 Maßnahmen, da deren Wirkungen mit dem Verkehrs-

nachfragemodell der Region Stuttgart als abbildbar oder teilweise abbildbar beurteilt wird. Die jeweiligen Wirkungen der 14 Maßnahmen werden anhand von 18 konkreten Maßnahmenfällen berechnet. Die konkreten Maßnahmenfälle werden in Tabelle 12 aufgelistet.

Die Abbildbarkeit von Wirkungen konkreter Maßnahmenfälle kann sich von der Abbildbarkeit der Maßnahmen selbst unterscheiden, da bei den Maßnahmen eine maximale Anforderung beschrieben ist. Bei konkreten Maßnahmenfällen ist neben den örtlichen Gegebenheiten, wie der Auslastung der ÖV-Fahrzeuge in der Ausgangssituation (0-Fall), auch die Umsetzung der Maßnahme bekannt. Mit diesen Kenntnissen können Aussagen darüber getroffen werden, ob z. B. mit Einschränkungen der Wirkungen aufgrund eines fehlenden Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodells oder aufgrund einer fehlenden ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen zu rechnen ist. Diesen Gegebenheiten werden in Kapitel 5.4 und Folgenden berücksichtigt.

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Eignung Wirkungs- abbildung Voll: ● Teilweise: ◐ Nicht: ○	Model- lierung Ja: <input checked="" type="checkbox"/> Nein: <input type="checkbox"/>	Bemerkung
Maßnahmen der Siedlungsstruktur	Erschließung von neuen / Verdichtung von bestehenden Siedlungsgebieten	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Kapazitätsbeschränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg können nicht abgebildet werden.
Maßnahmen der Infrastruktur	Strecken Neubau, -ausbau und -rückbau im Straßenverkehrsnetz (Kfz-Verkehr)	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Kapazitätsbeschränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg (bei einem Rückbau) können nicht abgebildet werden.
	Strecken Neubau, -ausbau und -rückbau im Radverkehrsnetz	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Das Radverkehrsnetz ist nicht gepflegt und es wird nicht zwischen unterschiedlichen Führungsformen differenziert. Abbildung des Einflusses der Maßnahme auf die Fahrgeschwindigkeit ist nur über eine Annahme einer mittleren Fahrgeschwindigkeitsänderung ohne Berücksichtigung der Radverkehrsführung möglich. Wirkungen auf die Routenwahl im Radverkehr können aufgrund fehlender Routenwahl (Rad) nicht abgebildet werden.
Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel	Neubau, Ausbau und Rückbau von Radabstellanlagen	○	<input type="checkbox"/>	Abbildung nur über Annahmen der Zu- und Abgangszeiten auf den Anbindungen möglich.
	Neubau, Ausbau und Rückbau von P+R-Anlagen	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Das P+R-Teilmodell berücksichtigt keine Kapazitäten. Die Attraktivität der P+R-Anlagen wird über einen Attraktivitätsfaktor abgebildet. Für diesen Attraktivitätsfaktor muss eine Annahme getroffen werden. Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit sowie Kapazitätsbeschränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg (bei einem Neubau oder Ausbau) können nicht abgebildet werden.
Maßnahmen im Angebot geteilter Verkehrsmittel	Einführung / Ausbau von Carsharing – stationsbasiert	○	<input type="checkbox"/>	Das Stuttgart-Modell enthält nicht die erforderlichen Teilmodelle zur Abbildung von Verleihsystemen und der Kopplung von Fahrtwünschen für Ridesharing und Rideselling mit Pooling im free-floating Betrieb. Eine Modellerweiterung erfordert eine Validierung
	Einführung / Ausbau von Carsharing – free-floating	○	<input type="checkbox"/>	

Maßnahmenuntersuchung am Beispiel der Region Stuttgart

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Eignung Wirkungsabbildung Voll: ● Teilweise: ◐ Nicht: ○	Modellierung Ja: <input checked="" type="checkbox"/> Nein: <input type="checkbox"/>	Bemerkung
	Einführung / Ausbau von öffentlichen Fahrradverleihsystemen – stationsbasiert	○	<input type="checkbox"/>	und Kalibrierung der Modellstufen. Hierzu sind zusätzliche Datensätze notwendig.
	Förderung von Ridesharing	○	<input type="checkbox"/>	
	Einführung / Ausbau von Rideselling mit Pooling – free-floating	○	<input type="checkbox"/>	
Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot	Änderung der Anzahl an Servicefahrten	◐ / ○	<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Abbildbar innerhalb des Umlegungszeitraums, der nicht der Betriebsdauer entspricht, außernehmene Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit sowie Kapazitätsbeschränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg. • Nicht abbildbar außerhalb des Umlegungszeitraums. Dies würde eine Anpassung des Umlegungszeitraums im 0-Fall erfordern, für die eine erneute Validierung und Kalibrierung der Modellstufen notwendig ist.
	Änderung der Betriebsdauer	○	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Verlängerung der Betriebsdauer kann nur durch Nutzung des ÖV-Angebots, das bereits im Nachlauf verwendet wird, erfolgen. Andernfalls müsste der 0-Fall angepasst und erneut validiert und kalibriert werden. <p>Im abendlichen ÖV-Angebot werden weniger Servicefahrten angeboten. Da die zeitliche Verfügbarkeit des ÖV über die Startwartezeit berücksichtigt wird, erhöht sich diese bei einer Verlängerung der Betriebsdauer und somit des Umlegungszeitraums wenn gleichzeitig die durchschnittliche Bedienungs Häufigkeit abnimmt. Dies bewirkt eine Attraktivitätsabnahme des ÖV. Bei einer Verkürzung der Betriebsdauer reduziert sich die durchschnittliche Startwartezeit. Dies bewirkt eine Attraktivitätszunahme. Beides entspricht nicht dem Wirkungszusammenhang der Maßnahme.</p>

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Eignung Wirkungs- abbildung Voll: ● Teilweise: ◐ Nicht: ○	Model- lierung Ja: <input checked="" type="checkbox"/> Nein: <input type="checkbox"/>	Bemerkung
	Änderung des Liniennetzes	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit sowie Kapazitätsbeschränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg können nicht abgebildet werden.
Maßnahmen der Ordnungspolitik	Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Kapazitätsbeschränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg können nicht abgebildet werden.
	Einführung / Ausbau von Fahrverboten - Umweltzonen	○	<input type="checkbox"/>	Keine Aufteilung in Schadstoffgruppen im Modell. Aufteilung könnte nur über Annahmen erfolgen, da keine Daten zu allen Fahrzeugen inklusive des externen Verkehrs vorliegen. Ebenso steht kein Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell, welches bei der Pkw-Verfügbarkeit zwischen Schadstoffgruppen unterscheidet und mit dem die Wirkungen der Maßnahme auf die Flottenzusammensetzung prognostiziert werden könnte, zur Verfügung. Zudem basiert das Mobilitätsverhalten auf einer Haushaltsbefragung aus dem Jahr 2009 / 2010. In Stuttgart wurde die Umweltzone 2008 eingeführt und 2010 verschärft. Wirkungen aus dem Jahr 2008 sind somit bereits im Modell berücksichtigt.
	Einführung / Ausbau von Fahrverboten - Durchfahrtsverbote	◐ / ○	<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Tageszeitunabhängige Durchfahrtsverbote können mit Ausnahme von Wirkungen auf die Kapazitätsbeschränkung bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg abgebildet werden. • Tageszeitabhängige Durchfahrtsverbote können aufgrund fehlender nutzenbasierter Abfahrtszeitwahl und pseudo-dynamischer / dynamischer Zeitachse nicht abgebildet werden.

Maßnahmenuntersuchung am Beispiel der Region Stuttgart

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Eignung Wirkungs- abbildung Voll: ● Teilweise: ◐ Nicht: ○	Model- lierung Ja: <input checked="" type="checkbox"/> Nein: <input type="checkbox"/>	Bemerkung
Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik	Einführung / Ausbau von Parkraumbewirtschaftung	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Der Einfluss auf die Parkplatzsituation und der Anteil an Verkehrs- teilnehmern, der nicht auf private Stellplatzangebote ausweichen kann, wird über die Attribute Parkdruck und Bezahlparkanteil ab- gebildet. Hierfür müssen Annahmen getroffen werden. Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit sowie Kapazitätsbeschränk- ungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbe- schränkungen hinweg können nicht abgebildet werden.
	Einsatz von Straßenbenutzungs- gebühren – Gebietsgebühren	◐ / ○	<input checked="" type="checkbox"/>	Teilweise abbildbar sind zeitlich konstante Gebühren mit Einzeltickets über elektronische Bezahlsysteme. Hier können mögliche Neuverkehre (Verkehrserzeugung ohne elastische Mobilitätsraten), Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit und Kapazitätsbeschränkungen im ÖV nicht abgebildet werden.
	Einsatz von Straßenbenutzungs- gebühren – Netzgebühren	◐ / ○	<input checked="" type="checkbox"/>	Nicht abbildbar sind zeitlich gestaffelte Gebühren und manuelle und automatische Bezahlsysteme mit Rückstauwirkungen (keine nutzenbasierte Abfahrtszeitwahl und dynamische Zeitachse mit auslastungsabhängiger Fahrzeitermittlung auf der Strecke mit mesoskopischen oder mikroskopischen Verkehrsflussmodellen). Ebenfalls sind Wirkungen von Tagestickets / Monatstickets / Jahrestickets nicht abbildbar.
	Änderung von ÖV-Fahrpreisen	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit und Kapazitätsbe- schränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg sowie Neuverkehre (Verkehrs- erzeugung ohne elastische Erzeugungsraten) können nicht abgebildet werden.
	Änderung des ÖV-Tarifsystems – Anpassung der Tarifzonen	◐	<input checked="" type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit und Kapazitätsbe- schränkungen bei einem Fahrgastzuwachs im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinweg sowie Neuverkehre (Verkehrs- erzeugung ohne elastische Erzeugungsraten) können nicht abgebildet werden.

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Eignung Wirkungs- abbildung Voll: ● Teilweise: ◐ Nicht: ○	Model- lierung Ja: <input checked="" type="checkbox"/> Nein: <input type="checkbox"/>	Bemerkung
	Erweiterung des ÖV-Ticketangebots – Firmentickets	○	<input type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Zeitkartenverfügbarkeit durch zusätzliche Firmentickets könnten nur durch experimentelle Änderung des Parameters der Kostenkomponente in der Nutzenfunktion des Modus ÖV-Monatsticket ermittelt werden.
Maßnahmen der Fahrzeugtechnik	Änderung der Antriebstechnik – Elektroantrieb	● / ○	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Änderung von Verbrennungsmotor auf 100 % elektrisch betriebene Fahrzeugflotte ist abbildbar. Eine Umstellung auf eine 100 % elektrisch betriebene Fahrzeugflotte bewirkt eine 100 %-ige Reduktion der Abgasemissionen. Auf diese Berechnung wird verzichtet. • Ein Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge <100 % ist nur über Annahmen der Verteilungen auf die Einwohner der Verkehrszellen möglich.
	Zulassung von autonomen Fahrzeugen	○	<input type="checkbox"/>	Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit können nicht abgebildet werden. Einfluss auf Verkehrsfluss und Kapazität kann bisher generell nur abgeschätzt werden. Des Weiteren werden statische und keine elastischen Mobilitätsraten bei der Verkehrserzeugung verwendet. Somit können mögliche Neuverkehre nicht abgebildet werden. Allgemein sind bisher keine Kenntnisse zur Auswirkung auf die Mobilitätsraten und des Nutzungsverhaltens bekannt. Diese können deshalb nur abgeschätzt werden.
Maßnahmen der Verkehrstechnik	Änderung von Lichtsignalsteuerungen	○	<input type="checkbox"/>	Nicht abbildbar aufgrund konstanter Zeitzuschläge bei der Fahrzeitermittlung am Knotenpunkt und keine abbiegerfeine CR-Funktion oder auslastungsabhängige Zeitzuschläge nach HBS. Zur Abbildung von verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerungen fehlt eine dynamische Zeitachse mit mikroskopischen Verkehrsflussmodellen
	Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen	○	<input type="checkbox"/>	Das Modell enthält ein Routenwahlmodell mit statischer Zeitachse und keine zur Modellierung notwendige dynamische oder pseudo-dynamische Zeitachse.

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Eignung Wirkungs- abbildung Voll: ● Teilweise: ◐ Nicht: ○	Model- lierung Ja: <input checked="" type="checkbox"/> Nein: <input type="checkbox"/>	Bemerkung
	Einsatz von Streckenbeeinflussungsanlagen mit temporären Seitenstreifenfreigaben	○	<input type="checkbox"/>	Das Modell enthält ein Routenwahlmodell mit statischer Zeitachse und keine zur Modellierung notwendige dynamische oder pseudo-dynamische Zeitachse.
Maßnahmen der Informationsverbesserung	Einsatz von Netzbeeinflussungsanlagen	○	<input type="checkbox"/>	Das Modell enthält ein Routenwahlmodell mit statischer Zeitachse und keine zur Modellierung notwendige dynamische oder pseudodynamische Zeitachse sowie kein stochastisches Routenwahlmodell. Zudem ist die Abbildung des Informationsgewinnes generell nur über Annahmen möglich.
	Einsatz von Mobilitäts-Apps	○	<input type="checkbox"/>	Keine stochastisches Routenwahlmodell und Abbildung des Informationsgewinnes ist generell nur über Annahmen möglich.
Maßnahmen der Bewusstseinsbildung	Einsatz von Werbekampagnen	○	<input type="checkbox"/>	Abbildung der Bewusstseinsänderung ist generell nur über Annahmen möglich.

Tabelle 11: Maßnahmenkatalog Modellierungsuntersuchung

Maßnahmenklasse	Maßnahmen	Modellierung des konkreten Maßnahmenfalls
Maßnahmen der Siedlungsstruktur	<ul style="list-style-type: none"> Erschließung von neuen / Verdichtung von bestehenden Siedlungsgebieten 	<ul style="list-style-type: none"> Siedlungsverdichtung in der Region (SS_VD)
Maßnahmen der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> Strecken Neubau, -ausbau und -rückbau im Straßenverkehrsnetz (Kfz-Verkehr) Strecken Neubau, -ausbau und -rückbau im Radverkehrsnetz 	<ul style="list-style-type: none"> Strecken ausbau von Teilschnitten der Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_TBS) Strecken ausbau auf allen Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_ABS) Strecken ausbau im Radverkehrsnetz (IS_RAD)
Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot	<ul style="list-style-type: none"> Neubau, Ausbau und Rückbau von P+R-Anlagen Änderung der Anzahl an Servicefahrten Änderung des Liniennetzes 	<ul style="list-style-type: none"> Ausbau von P+R-Anlagen in der Region (IS_PR) Erhöhung der Servicefahrten der S-Bahn in der Region (LFA_15Min) Erweiterung des Liniennetzes in der Region durch Expressbusse (LFA_+Linie)
Maßnahmen der Ordnungspolitik	<ul style="list-style-type: none"> Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit Durchfahrtsverbote 	<ul style="list-style-type: none"> Senkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen (OP_T40) Durchfahrtsverbot in Stuttgart (OP_DV)
Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik	<ul style="list-style-type: none"> Parkraumbewirtschaftung Straßenbenutzungsgebühren – Gebietsgebühren Straßenbenutzungsgebühren – Netzgebühren Änderung von ÖV-Fahrpreisen 	<ul style="list-style-type: none"> Parkraumbewirtschaftung in Stuttgart (PT_PB) Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart (PT_GG_OZ) Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart und Mittelzentren (PT_GG_MZ) Netzgebühren für die Region Stuttgart (PT_NG) Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 10 % in der Region (PT_FP_10) Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 25 % in der Region (PT_FP_25) Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 50 % in der Region (PT_FP_50) Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 100 % in der Region (PT_FP_100)
	<ul style="list-style-type: none"> Änderung des ÖV-Tarifsystems – Anpassung der Tarifzonen 	<ul style="list-style-type: none"> Zusammenschluss von Tarifzonen des Tarifverbundes (PT_TZ)

Tabelle 12: Maßnahmenkatalog Modellierung

5.2 Allgemeine Hinweise zu den Umweltwirkungen

Für alle modellierten Maßnahmenfälle werden neben den verkehrlichen Wirkungen ebenfalls Umweltwirkungen mit HBEFA 3.1 berechnet. Die Datengrundlagen hierzu werden in Kapitel 4.3 erläutert. Wie aus der Vielzahl der beschriebenen Inputparameter (vgl. ebenfalls Abbildung 3) ersichtlich wird, sind die Menge an berechneten Emissionen und Energieverbräuche pro Kilometer ebenso von einer Vielzahl an Faktoren abhängig. Faktoren sind u. a. der Streckentyp, der Gebietstyp, das Geschwindigkeitslimit, dem über den Auslastungsgrad definierten Verkehrszustand und der Längsneigung. Bei der Analyse der berechneten Umweltwirkungen der nachfolgenden Maßnahmenfälle sind die komplexen Wirkungszusammenhänge zu berücksichtigen.

5.3 Ergebnisqualität der Wirkungsprognosen

Die Ergebnisqualität der Wirkungsprognosen ist von der Differenz der Streckenbelastungen (0-Fall zum Maßnahmenfall) abhängig. Liegen die berechneten Wirkungen im Bereich der Modellungenauigkeiten, können zufällige Änderungen, die durch dieselben auftreten, stärker als die berechneten Wirkungen selbst sein. Dies schränkt die Ergebnisqualität ein. Mit dem Verkehrsnachfragemodell werden in diesem Fall Wirkungen berechnet, die in der Realität jedoch kaum messbar sind. In den folgenden Maßnahmenuntersuchungen wird für jede Wirkungsprognose angegeben, ob die Wirkungsergebnisse im Bereich der Modellungenauigkeiten liegen. Der Bereich der Modellungenauigkeiten des Verkehrsnachfragemodells ist in Kapitel 4.4 auf Seite 177 beschrieben.

5.4 Maßnahmen der Siedlungsstruktur

5.4.1 Siedlungsverdichtung (Umsiedelung) in der Region (SS_VD)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

In den fünf Landkreisen der Region um Stuttgart werden Verkehrszellen mit einem ÖV-Modal-Split-Anteil (Wege) von > 10 % verdichtet. Die Einwohneranzahl wird um 5 % je Personengruppe erhöht. Insgesamt erhöht sich die Einwohneranzahl hierdurch um 15.000 Personen. Im Gegenzug werden Verkehrszellen mit einem ÖV-Modal-Split-Anteil von ≤ 5 % um dieselbe Anzahl an Einwohnern je Personengruppe reduziert.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Anzahl an Einwohnern mit Zugang zu einem attraktiveren ÖV-Angebot erhöht sich und gleichzeitig sinkt die Einwohnerzahl in Teilen in der Region, in denen das ÖV-

Angebot weniger attraktiv ist. Dies führt zu Verlagerungen von allen anderen Modi hin zum ÖV. Die Fahrgastzuwächse im ÖV werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Die durch diese Maßnahme erwarteten Zuwächse liegen jedoch unterhalb der vorhandenen Kapazitätsbeschränkung. Die Verlagerung der Einwohner führt ebenfalls zu Verlagerungen bei der Verkehrsziel- und Routenwahl. Die Gesamtzahl an Einwohnern, und somit auch die Anzahl an erzeugten Wegen, bleiben erhalten.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Alle Wirkungszusammenhänge / -vermutungen können abgebildet werden.

Modellierung

Da die Einwohnerzahl in der Region unverändert bleibt, bleibt ebenfalls das Verhältnis Einwohner zu Arbeitsplätzen durch den Maßnahmenfall unverändert und muss nicht kontrolliert oder angepasst werden. Die Einwohnerzahl je Personengruppe wird nach obiger Beschreibung des Maßnahmenfalls angepasst.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 12 und Abbildung 13 veranschaulichen die Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienentfernung und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer. Der Maßnahmenfall führt zu einer Verlagerung von allen anderen Modi hin zum Modus ÖV. Die Anzahl der ÖV-Wege nimmt um 2 % zu. Die Zunahme resultiert aus einer Abnahme der Anzahl an Wegen der Modi Pkw-Mitfahrer (-1 %), P+R (-1 %), Rad (-1 %). Die Änderungen der Modi Pkw-Selbstfahrer und Fuß sind marginal.

Auf die durchschnittliche Reiseweite wirkt dieser Maßnahmenfall nur begrenzt. Einzig im ÖV steigt diese um 0,1 km. Die Änderung der Anzahl an Wegen und der Anstieg der durchschnittlichen Reiseweite bewirkt für den Modus ÖV eine Änderung der Personenkilometer um 3 %. Ansonsten verhalten sich die Änderungen der Personenkilometer je Modus proportional zu den Wegen. Die Modal-Split-Anteile der Modi auf Basis von Wegen wie auch Personenkilometern bleiben durch den Maßnahmenfall unverändert.

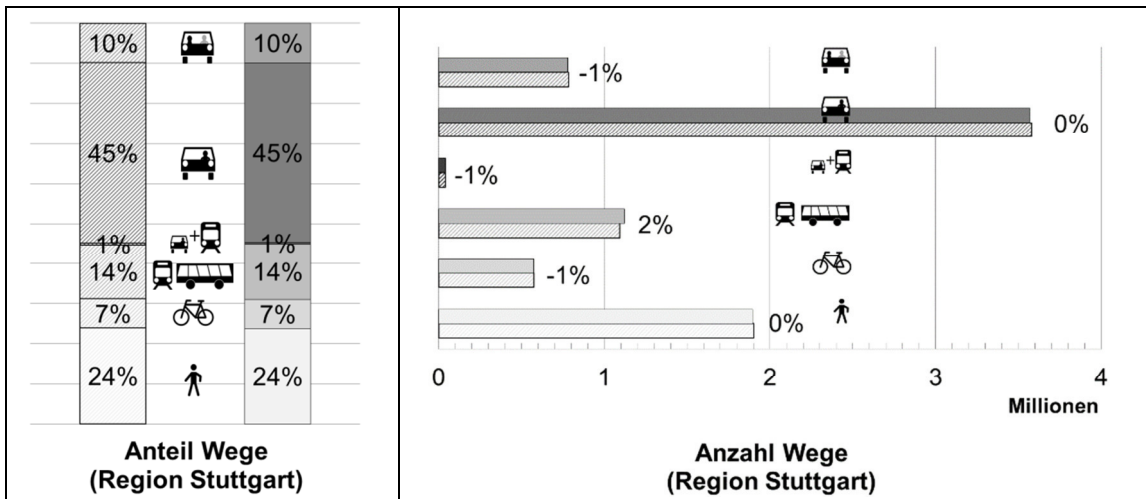


Abbildung 12: Wege je Modus (SS_VD)

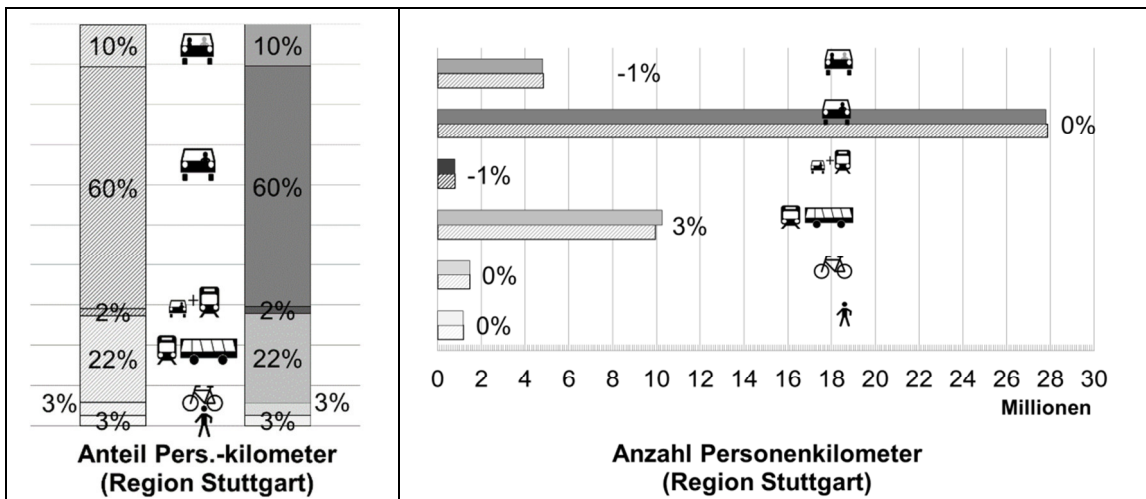


Abbildung 13: Personenkilometer je Modus (SS_VD)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16 veranschaulichen die Wirkungen der Maßnahme auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Routenwahl. Die Verlagerung der Einwohner führt zu einer räumlichen Verlagerung der Ortsveränderungen, nicht aber zu einer Änderung der zurückgelegten Fahrzeugkilometer im Straßenverkehrsnetz (vgl. Abbildung 14). Auch die zurückgelegten Fahrzeugkilometer je Straßenklasse bleiben unverändert (vgl. Abbildung 15). Die Verlagerungen der Einwohner zu Verkehrszellen mit einem attraktiveren ÖV-Angebot führt zu einer Zunahme der ÖV-VRS-Personenkilometer um 3 % in der Region und um 2 % in Stuttgart. Abbildung 16 zeigt die Zunahme der ÖV-VRS-Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel. In Klammern ist die Verteilung der Zunahme von 3 % in der Region und 2 % in Stuttgart auf die ÖV-Verkehrsmittel dargestellt. Der größte Zuwachs an ÖV-VRS Personenkilometern entfällt auf Schienenverkehrsmittel.

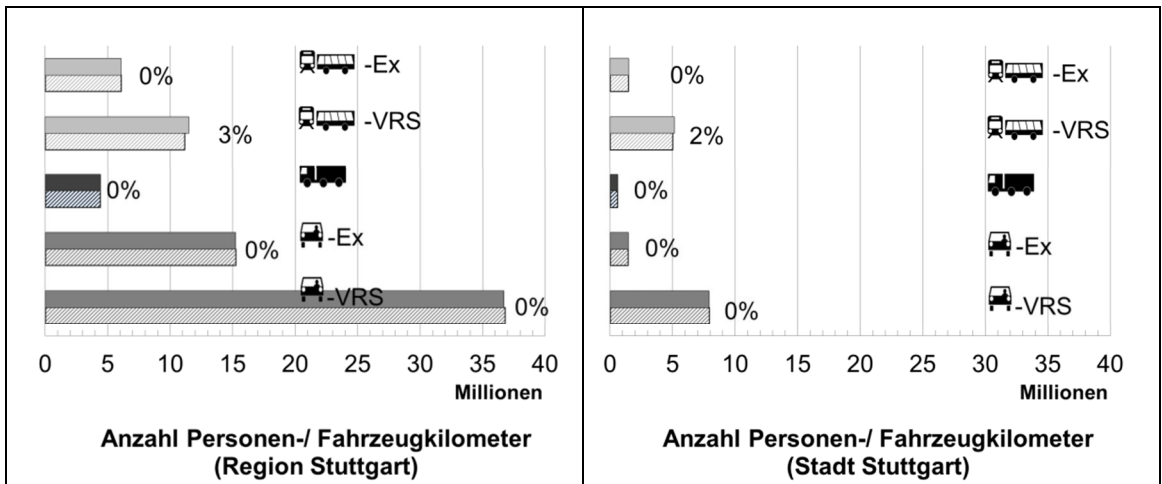


Abbildung 14: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (SS_VD)

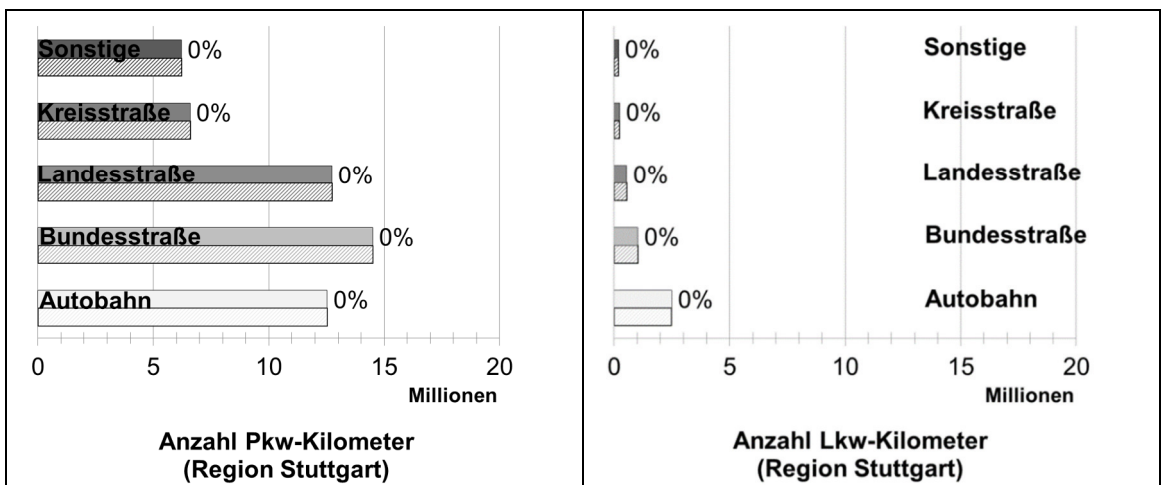
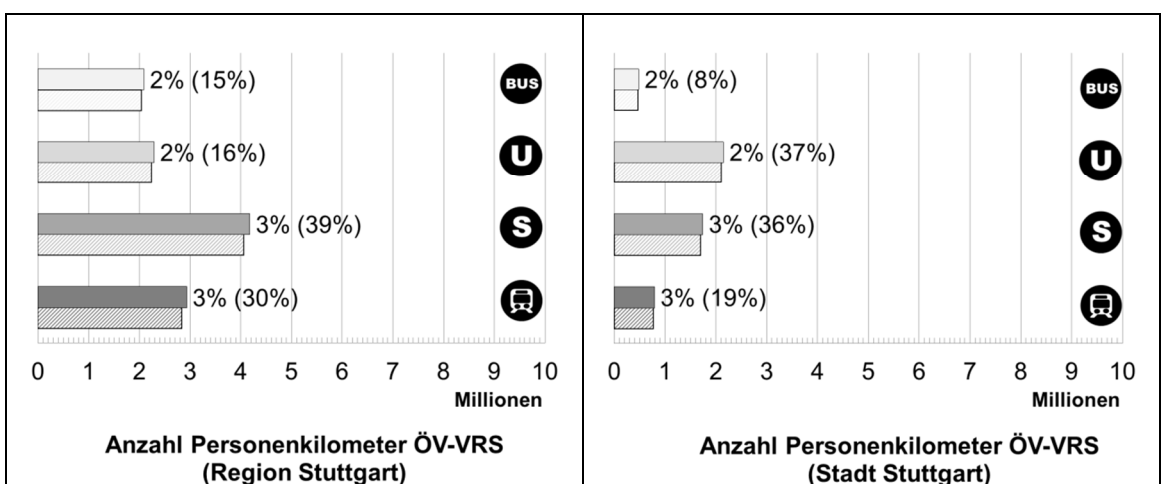


Abbildung 15: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (SS_VD)



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Zuwächse im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 16: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (SS_VD)

Umweltwirkungen

Tabelle 13 zeigt die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen auf. Die Maßnahme hat keinen Einfluss auf die zurückgelegten Fahrzeugkilometer und auch keinen Einfluss auf Abgasemissionen und Energieverbrauch.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 13: Umweltwirkungen (SS_VD)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, liegen aber auf Streckenebene für MIV und ÖV im Bereich der Modellungenauigkeiten und sind in der Realität kaum messbar.

5.5 Maßnahmen der Infrastruktur

5.5.1 Streckenausbau von Teilabschnitten der Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_TBS)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Innerhalb der Region Stuttgart werden alle Bundesstraßen mit einem Richtungsfahrstreifen ausgebaut, so dass alle Bundesstraßen mindestens einen Ausbauzustand von zwei Richtungsfahrbahnen aufweisen.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Durch den Ausbau von Streckenabschnitten erhöhen sich die Kapazitäten im Straßenverkehrsnetz der Region. Die neuen Kapazitäten haben Einfluss auf die Reisezeit und können zu Verlagerungen von anderen Modi hin zu den Modi führen, die durch die Reisezeitverkürzungen an Attraktivität gewinnen. Hierzu zählen die Modi Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R. Ebenso können diese zusätzlichen Kapazitäten durch schnellere Erreichbarkeit die Attraktivität von vormals schlechter erreichbaren Zielen steigern sowie die Routenwahl beeinflussen.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Wirkungen des Streckenausbaus auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese

Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Auf den betreffenden Streckenabschnitten werden die zusätzlichen Fahrstreifen ergänzt und die Kapazität entsprechend angepasst. Die CR-Funktionen werden nicht verändert. Die CR-Funktionen bilden in Abhängigkeit der Kapazität und der maximal zulässigen Geschwindigkeit den Verkehrsfluss ab. Streckentypen mit identischem Ausbauzustand und zulässiger Geschwindigkeit sind im Verkehrsnachfragemodell nicht verfügbar, daher werden die CR-Funktionen nicht angepasst.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 17 und Abbildung 18 veranschaulichen die Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienentfernung und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Der Ausbau einzelner Teilabschnitte bewirkt eine Verlagerung von Wegen hin zum Modus P+R (+1 %). Die Verlagerungswirkung hin zu den Modi Pkw-Mitfahrer und Pkw-Selbstfahrer sind marginal. Die Zunahmen resultieren aus einer Abnahme der Anzahl an Wegen des Modus Rad (-1 %). Die Verlagerungswirkungen von den Modi ÖV und Fuß sind marginal. Auf den Modal-Split auf Basis von Wegen haben diese Änderungen keinen Einfluss.

Die durchschnittliche Reiseweite der Modi Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R nimmt um 0,1 km zu. Aus den Änderungen der Anzahl an Wegen und der durchschnittlichen Reiseweiten ergibt sich eine Zunahme der Personenkilometer von Pkw-Mitfahrer (+1 %), Pkw-Selbstfahrer (+1 %), P+R (+1 %) und eine Abnahme der Personenkilometer des ÖV (-1 %). Diese Änderungen haben Einfluss auf die Modal-Split-Anteile auf Basis der Personenkilometer. Der Anteil Pkw-Mitfahrer sowie Pkw-Selbstfahrer erhöht sich jeweils um 1 %-Punkt, der ÖV-Anteil reduziert sich hingegen um 1 %-Punkt.

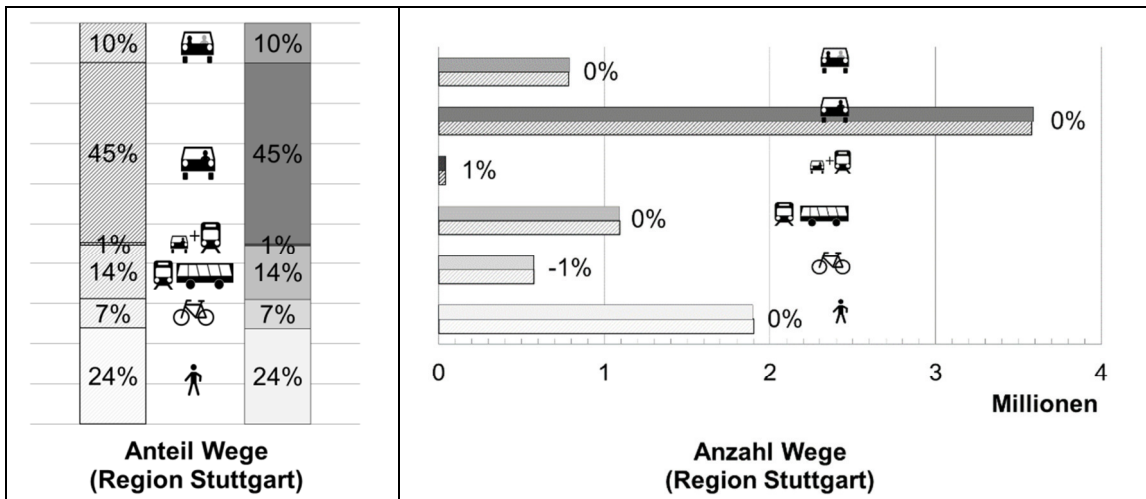


Abbildung 17: Wege je Modus (IS_KFZ_TBS)

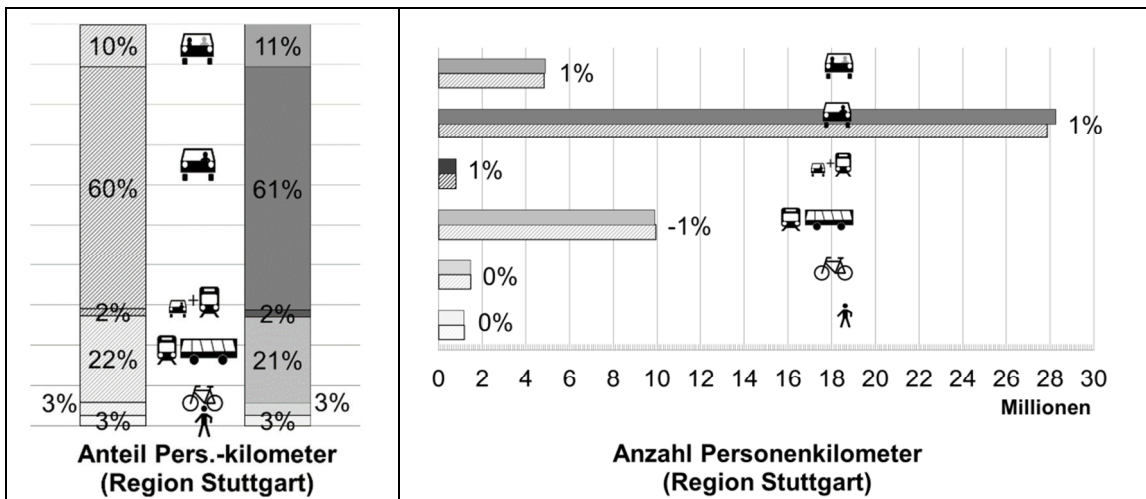


Abbildung 18: Personenkilometer je Modus (IS_KFZ_TBS)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 19, Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl. Der Ausbau der Teilstrecken beeinflusst die Routenwahl. Durch den Ausbau von Teilstrecken der Bundesstraßen verlagern sich Lkw- und Pkw-Kilometer aus dem untergeordneten Straßenverkehrsnetz und von Autobahnen auf die Bundesstraßen (vgl. Abbildung 20).

Die Fahrzeugkilometer für Pkw-Ex sowie Pkw-VRS nehmen in der Region und für Pkw-VRS in Stuttgart um 1 % zu. Die Lkw-Fahrzeugkilometer nehmen durch die veränderte Routenwahl nicht zu. Die Routen sind länger, jedoch aufgrund zusätzlicher Streckenkapazitäten zeitlich kürzer. Die Abnahme der ÖV-VRS-Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel beträgt max. 1 % (vgl. Abbildung 21). Die Abnahme der Personenkilometer des ÖV-VRS um 1 % in der Region und kleiner 1 % in Stuttgart verteilt sich auf alle ÖV-Verkehrsmittel (vgl. Abbildung 21, Angaben in Klammern).

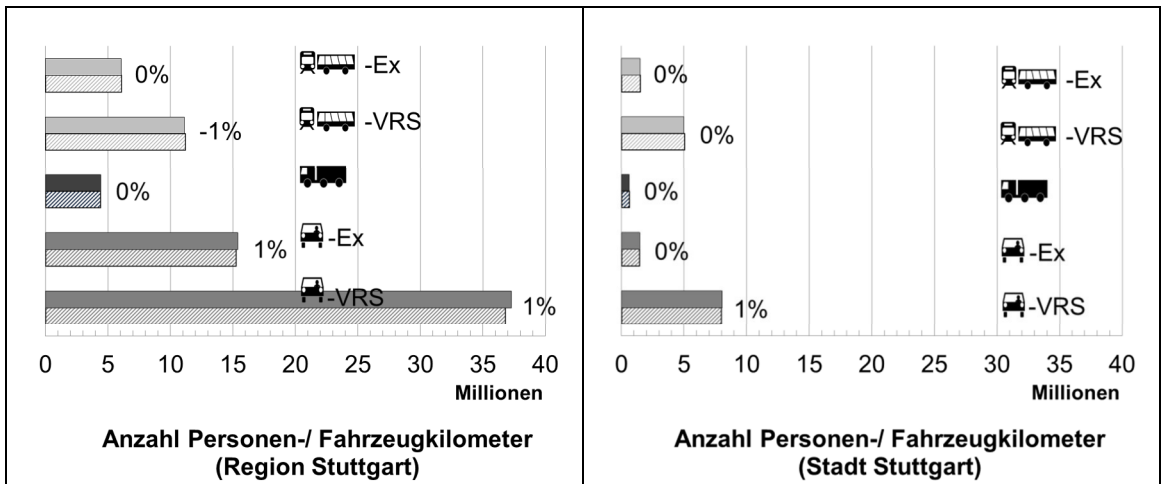


Abbildung 19: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_KFZ_TBS)

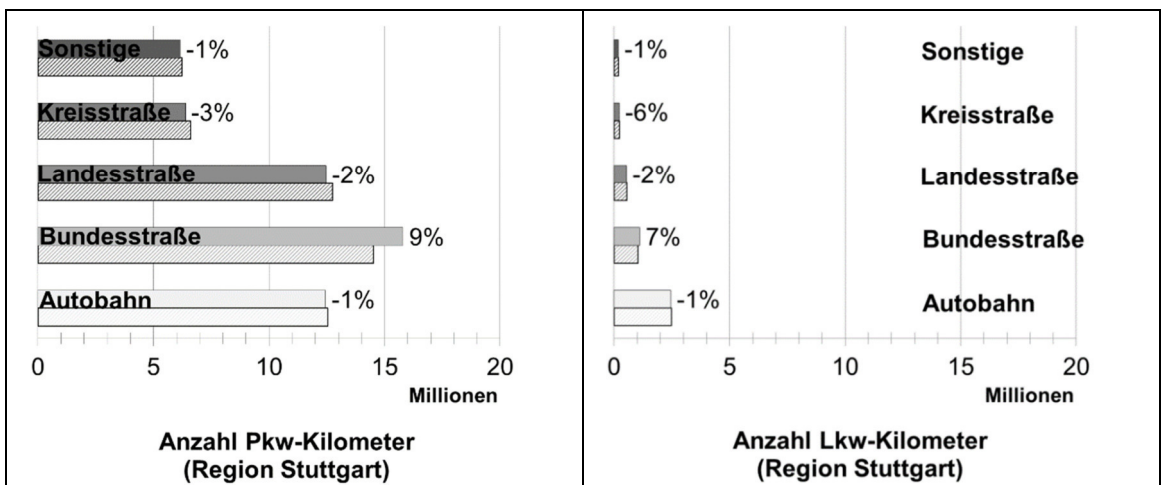
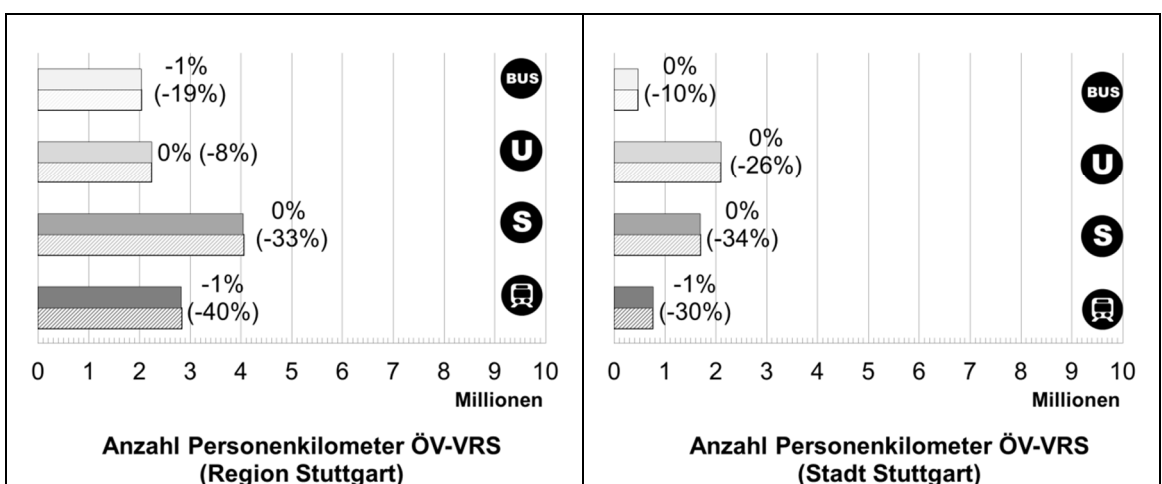


Abbildung 20: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_KFZ_TBS)



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Rückgänge im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 21: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_KFZ_TBS)

Umweltwirkungen

Tabelle 14 zeigt die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen auf. Die Zunahme der Fahrzeugkilometer in Stuttgart und der gesamten Region bewirkt lediglich eine Zunahme der Emissionen in Stuttgart um 1 %.

Die Teilabschnitte, der in diesem Maßnahmenfall ausgebauten Bundesstraßen, befinden sich außerhalb von Stuttgart. Der Ausbau der Bundesstraßen erhöht die Kapazitäten im Straßenverkehrsnetz und führt zu einer Abnahme der Streckenabschnitte mit Verkehrszustand Stop+Go. Die Emissionen / der Energieverbrauch pro gefahrenem Kilometer sind im Verkehrszustand Stop+Go deutlich höher als in den Verkehrszuständen gesättigt, dicht und flüssig (vgl. Umweltwirkungen des nachfolgenden Maßnahmenfalls in Kapitel 5.5.2). Die Reduktion der Streckenabschnitte mit Verkehrszustand Stop+Go führt zu geringeren Emissionen und einem geringerem Energieverbrauch pro gefahrenem Kilometer. Dies erklärt, dass diese trotz Zunahme der Fahrzeugkilometer in der Region nicht ansteigen.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 14: Umweltwirkungen (IS_KFZ_TBS)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, sind aber auf Streckenebene für den ÖV im Bereich der Modellungenauigkeiten und in der Realität kaum messbar. Im MIV sind die Ergebnisse im Umfeld der ausgebauten Bundesstraßen außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.5.2 Streckenausbau auf allen Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_ABS)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Innerhalb der Region Stuttgart werden alle Bundesstraßen um einen zusätzlichen Richtungsfahstreifen erweitert.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Durch den Ausbau der Bundesstraßen erhöhen sich die Kapazitäten im Straßenverkehrsnetz der Region. Die neuen Kapazitäten haben Einfluss auf die Reisezeit und können zu Verlagerungen von anderen Modi hin zu den Modi führen, die durch die Reisezeitverkürzungen an Attraktivität gewinnen. Hierzu zählen die Modi

Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R mit Pkw-Teilweg. Ebenso können die zusätzlichen Kapazitäten die Attraktivität von vormals schlechter erreichbaren Zielen durch bessere Erreichbarkeit steigern sowie die Routenwahl beeinflussen.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Wirkungszusammenhänge / -vermutungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden.

Wirkungen des Streckenausbaus auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Auf den betreffenden Streckenabschnitten werden die zusätzlichen Fahrstreifen ergänzt und die Kapazität entsprechend angepasst. Die CR-Funktionen werden nicht verändert. Die CR-Funktionen bilden in Abhängigkeit der Kapazität und der maximal zulässigen Geschwindigkeit den Verkehrsfluss ab. Streckentypen mit identischem Ausbauzustand und Geschwindigkeiten sind im Verkehrsnachfragemodell nicht verfügbar, daher werden die CR-Funktionen nicht angepasst.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 22 und Abbildung 23 veranschaulichen die Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienentfernung und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Der Ausbau der Bundesstraßen in der gesamten Region um einen Richtungsfahrstreifen bewirkt eine Verlagerung der Wege von den Modi ÖV (-1 %), Rad (-1 %) und Fuß (-1 %) hin zu den Modi Pkw-Mitfahrer (+1 %), Pkw-Selbstfahrer (+1 %) und P+R (+4 %). Auf den Modal-Split auf Basis von Wegen haben diese Änderungen keinen Einfluss.

Der Maßnahmenfall bewirkt zudem eine Erhöhung der durchschnittlichen Reiseweite der Modi Pkw-Mitfahrer um 0,2 km und Pkw-Selbstfahrer um 0,3 km, d. h. diese Modi gewinnen für weiter entfernte Ziele durch den Straßennetzausbau an Attraktivität. Aus diesem Grund nehmen die Personenkilometer dieser zwei Modi überproportional im Vergleich zu den Wegen zu. Die Personenkilometer der Modi Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R nehmen um jeweils 4 % zu. Hingegen nehmen die Personenkilometer der Modi ÖV (-2 %), Rad (-1 %) und Fuß (-1 %) ab. Diese Änderungen wirken sich auf den Modal-Split auf Basis der Personenkilometer aus. Der Anteil von Fuß und

ÖV sinkt jeweils um 1 %-Punkt, der Pkw-Selbstfahrer steigt um 2 %-Punkte und der Pkw-Mitfahrer 1 %-Punkt.

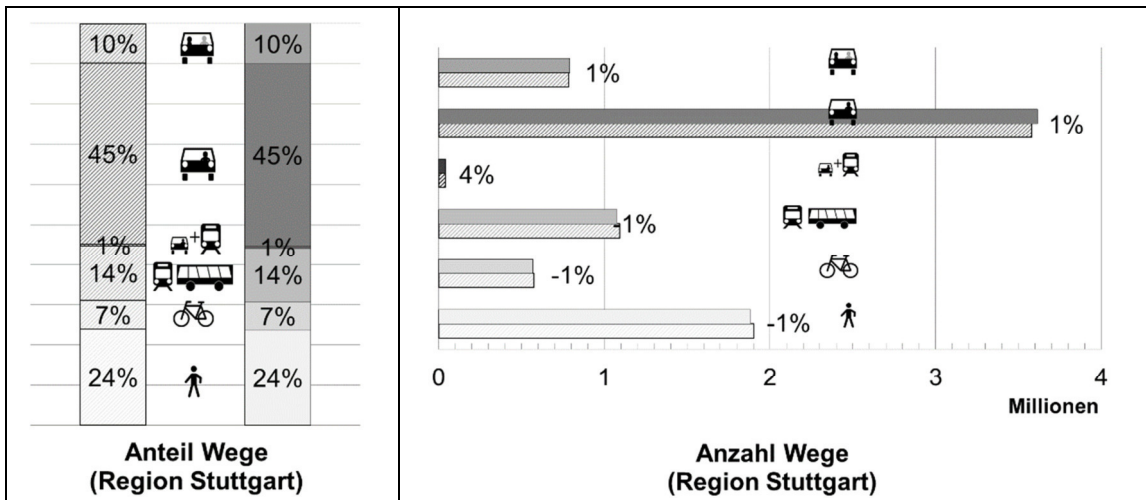


Abbildung 22: Wege je Modus (IS_KFZ_ABS)

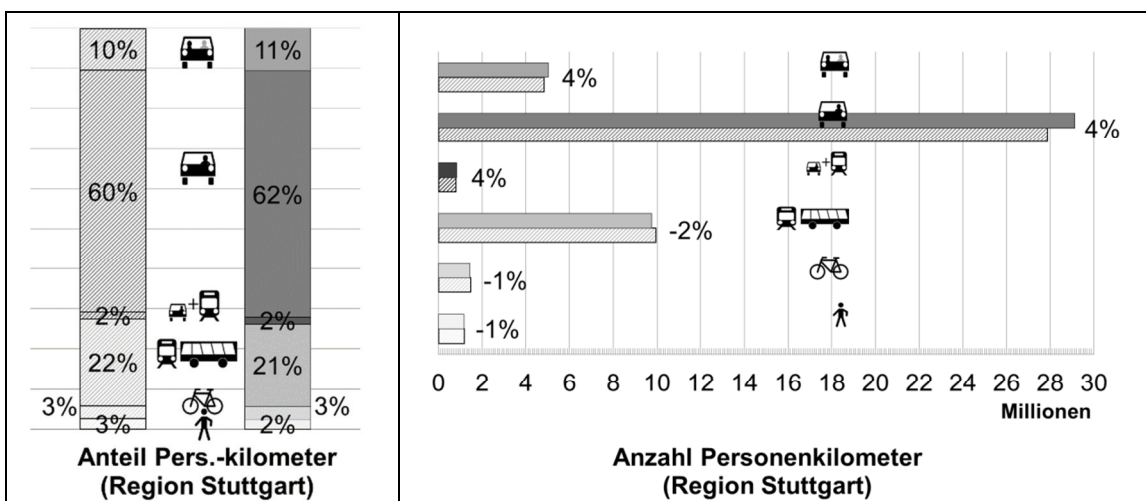


Abbildung 23: Personenkilometer je Modus (IS_KFZ_ABS)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl. Der Ausbau aller Bundesstraßen beeinflusst die Routenwahl. Durch den Ausbau von Teilstrecken der Bundesstraßen verlagern sich Lkw- und Pkw-Kilometer aus dem untergeordneten Straßenverkehrsnetz und von Autobahnen auf die Bundesstraßen (vgl. Abbildung 25). Die Zunahme der Pkw-Wege, längere Reiseweiten der Pkw-Selbstfahrer und Änderungen bei der Routenwahl resultieren in einer Zunahme der Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer um 4 % in der Region und 7 % in Stuttgart. Die Fahrzeugkilometer des Pkw-Ex nehmen um 2 % in der Region und um 4 % in Stuttgart zu. Die Fahrzeugkilometer des Lkw nehmen durch die veränderte Routenwahl um 1 % in der

Region und 3 % in Stuttgart zu. Die Routen über die Bundesstraßen sind länger, jedoch aufgrund zusätzlicher Kapazitäten zeitlich kürzer. Die Abnahme der Personenkilometer des ÖV-VRS um 2 % in der Region und Stuttgart verteilt sich auf alle ÖV-Verkehrsmittel. Auf die Schienenverkehrsmittel, mit denen längere Distanzen zurückgelegt werden, entfällt ein größerer Anteil (vgl. Abbildung 26, Angaben in Klammern).

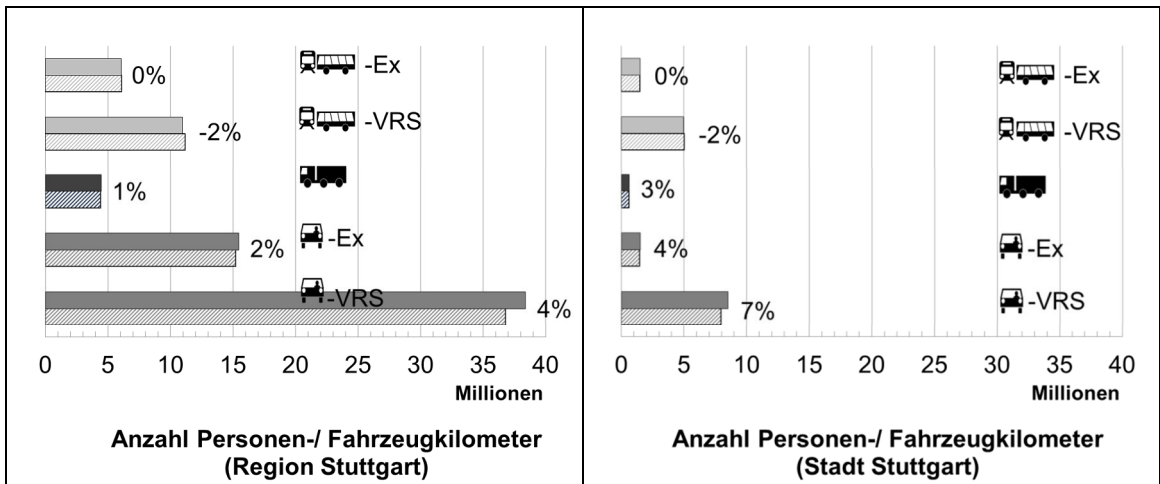


Abbildung 24: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_KFZ_ABS)

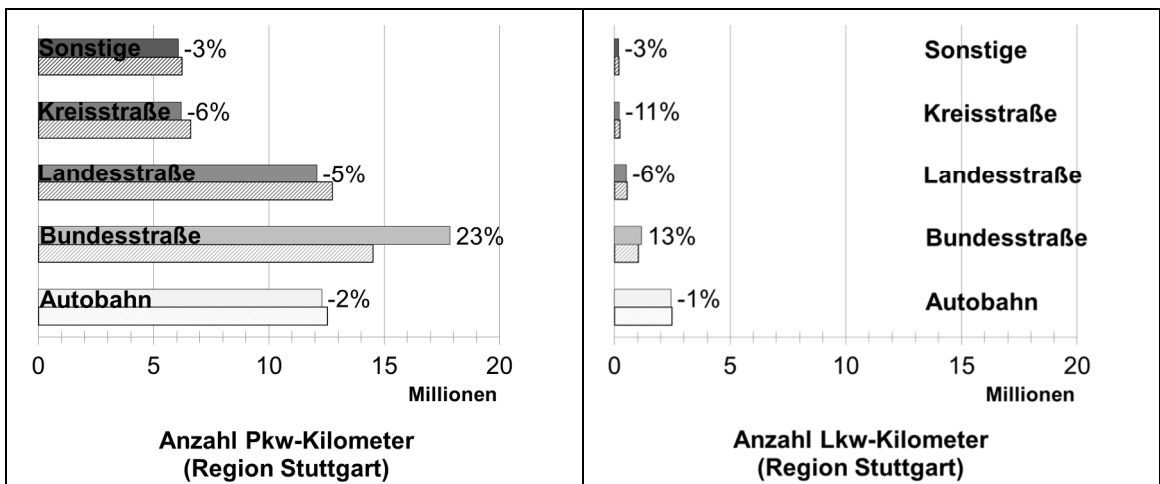


Abbildung 25: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_KFZ_ABS)

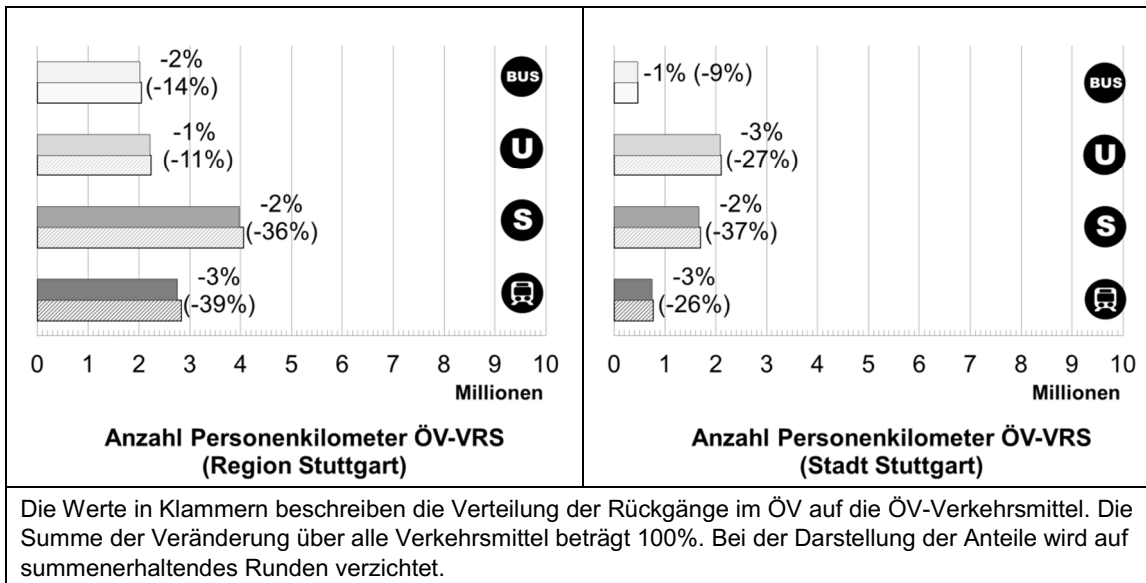


Abbildung 26: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_KFZ_ABS)

Umweltwirkungen

Tabelle 15 enthält die Umweltwirkungen des Maßnahmenfalls. Trotz der Zunahme der Kfz-Fahrzeugkilometer in der Region und Stuttgart können durch diesen Maßnahmenfall Reduktionen der Abgasemissionen und des Energieverbrauchs in beiden Gebieten erreicht werden. Durch die Verlagerung auf die Bundesstraßen entstehen demnach Kombinationen mit geringeren Emissionen / geringeren Energieverbräuchen pro Kilometer, so dass diese, trotz Zunahme der Kfz-Fahrzeugkilometer, reduziert werden können.

Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes zeigt Tabelle 16 beispielhaft die Reduktionen der Emissionen bei einer Änderung des Verkehrszustands für eine durchschnittliche Pkw-Fahrzeugflotte mit Bezugsjahr 2025 und einer Hauptverkehrsstraße mit Geschwindigkeitslimit 50 km / h sowie Längsneigung von 0 % im Agglomerationsbereich (städtisch). Bei einem Wechsel des Verkehrszustands von Stop+Go zu gesättigt reduzieren sich in diesem Fall die Umweltkenngößen um 28 % - 56 %. Die Werte sind der HBEFA-Datenbank Version 3.1 entnommen (vgl. Kapitel 2.2.3, Seite 54).

Durch den netzweiten Ausbau im Rahmen dieses Maßnahmenfalls steigen die Kapazitäten des Straßenverkehrsnetzes. Trotz der Verlagerungen des Verkehrs auf die Bundesstraßen verringern sich auf diesen, bedingt durch die höheren Streckenkapazitäten, die Streckenkilometer mit Verkehrszustand Stop+Go von 32 km auf 5 km. Wie Tabelle 16 verdeutlicht, kann sich auf diesen Streckenkilometern, durch eine Änderung des Verkehrszustands von Stop+Go zu gesättigt, die Pkw-Belastung bei gleichbleibenden Emissionen / Energieverbrauch rechnerisch nahezu verdoppeln. Ist die Zunahme der Pkw-Belastungen hingegen geringer, können folglich trotz höherer

Kfz-Fahrzeugkilometer rechnerisch Reduktionen der Umweltkenngößen erreicht werden.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-2 %	-3 %	-1 %	-3 %	-2 %	-1 %
Region Stuttgart	-1 %	-2 %	-1 %	-2 %	-2 %	-1 %

Tabelle 15: Umweltwirkungen (IS_KFZ_ABS)

Pkw, Flotte Deutschland, Bezugsjahr 2025							
Verkehrssituation		Umweltkenngößen					
Gebietstyp: Agglomeration Straßentyp: Hauptverkehrsstr. (Trunk road) Geschwindigkeitslimit: 50 km/h Längsneigung: 0 %	Verkehrszustand	Energieverbr.	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
	-Stop+Go	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	-Gesättigt	-43 %	-51 %	-56 %	-49 %	-52 %	-28 %
	-Dicht	-50 %	-52 %	-54 %	-53 %	-48 %	-40 %
	-Flüssig	-53 %	-60 %	-64 %	-59 %	-60 %	-51 %

Tabelle 16: Beispielhafte Reduktion von Umweltkenngößen bei einer Veränderung der Verkehrszustände von einem Referenzzustand Stop+Go

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, sind aber auf Streckenebene für den ÖV im Bereich der Modellungenauigkeiten und in der Realität kaum messbar. Im MIV sind die Ergebnisse im Umfeld der ausgebauten Bundesstraßen außerhalb der Modellungenauigkeiten und sind in der Realität messbar.

5.5.3 Streckenausbau im Radverkehrsnetz (IS_RAD)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Das Radverkehrsnetz wird um fehlende Strecken des Hauptradroutennetzes in Stuttgart ergänzt und Strecken des Hauptradroutennetzes werden ausgebaut. Zusätzlich wird das Radverkehrsnetz in der Region verstärkt von Pedelecs genutzt.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Ein Streckenausbau und eine verstärkte Nutzung von Pedelecs ermöglichen höhere Geschwindigkeiten und somit kürzere Reisezeiten im Radverkehr, was die Attraktivität

des Modus Rad steigert und zu modalen Verlagerungen von allen anderen Modi hin zum Modus Rad führt. Die Attraktivität des Modus Rad ist abhängig von Wetter und Aussentemperaturen. Neuverkehre und Änderungen bei der Verkehrsmittelverfügbarkeit werden als unwahrscheinlich eingeschätzt.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Im Verkehrsnachfragemodell ist das Radverkehrsnetz nicht vollständig enthalten und vereinfacht abgebildet, d. h. Führungsformen werden nicht unterschieden. In Abhängigkeit der Führungsform können unterschiedliche mittlere Radverkehrsgeschwindigkeiten erreicht werden (vgl. BAIER ET AL. (2013)). Daher sind Bau- und Ausbaumaßnahmen nur mit Einschränkungen abbildbar. Die Wirkungen von Maßnahmen im Radverkehr sind abhängig von Wetter und Aussentemperatur. Dieser Einfluss, der zu Schwankungen in der Nachfrage führt, wird im Verkehrsnachfragemodell als Mittelwert abgebildet. Im Stuttgart-Modell wird die Verkehrsnachfrage des Modus Rad nicht auf das Radverkehrsnetz umgelegt, daher können die Wirkungen auf die Routenwahl nicht abgebildet werden.

Modellierung

Die fehlenden Strecken der Hauptradrouten werden ergänzt. Die Geschwindigkeiten im Radverkehr werden pauschal um 3 km/h und entlang von gut ausgebauten Hauptradrouten um 5 km/h erhöht. Die Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit berücksichtigt eine verstärkte Nutzung von Pedelecs. Die pauschalen Erhöhungen um 3 km/h und 5 km/h basieren auf Annahmen.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Der Maßnahmenfall bewirkt eine Verlagerung von allen anderen Modi (-1 % bis -2 %) hin zum Modus Rad (+18 %). Der Radanteil beim Modal-Split (Wege) erhöht sich dadurch um 2 %-Punkte. Die Anteile des ÖV und Pkw-Selbstfahrer nehmen jeweils um 1 %-Punkt ab.

Der Ausbau des Radverkehrsnetzes und die höheren Geschwindigkeiten bewirken eine Zunahme der durchschnittlichen Reiseweite des Modus Rad um 0,5 km, d. h. weiter entfernte Ziele gewinnen an Attraktivität. Daher nehmen die Personenkilometer des Modus Rad (+39 %) überproportional im Vergleich zu den Wegen zu. Bei allen anderen Modi nehmen die Personenkilometer im Verhältnis zu den Wegen um -1 % bis -2 % ab. Diese Änderungen wirken sich auf den Modal-Split (Personenkilometer) aus. Der Anteil des Modus Rad steigt um 1 %-Punkt und der des ÖV sinkt um 1 %-Punkt.

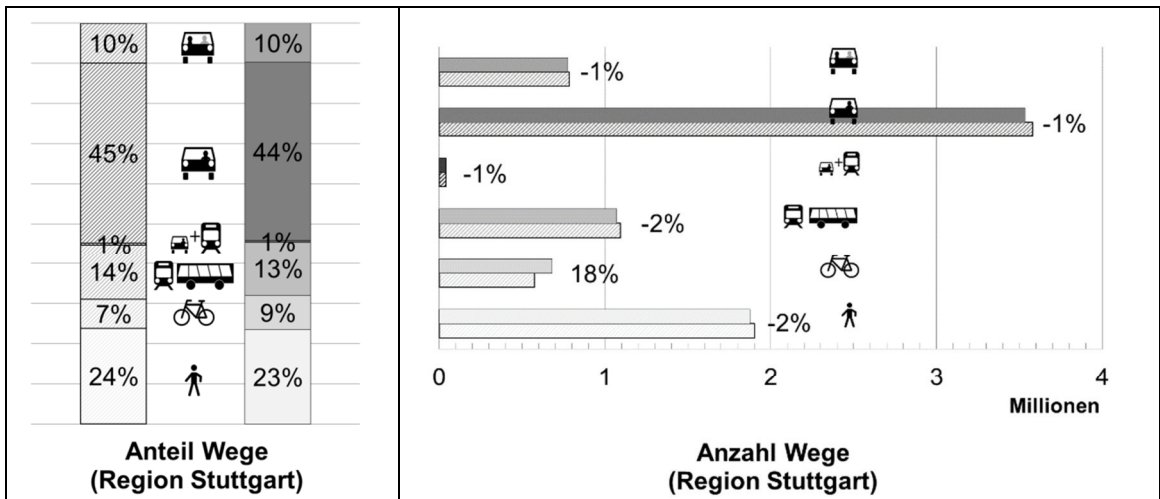


Abbildung 27: Wege je Modus (IS_Rad)

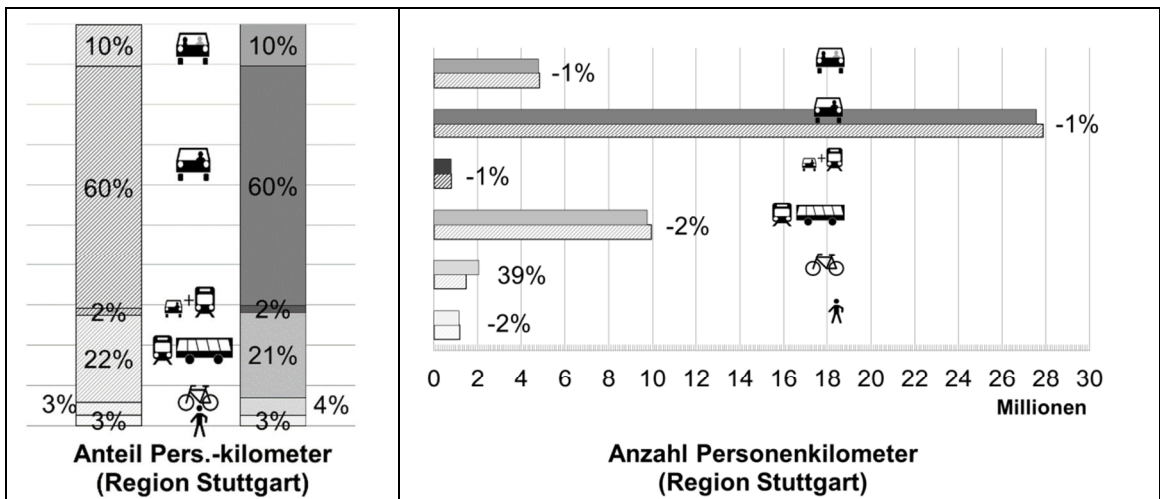


Abbildung 28: Personenkilometer je Modus (IS_Rad)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf den ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Routenwahl.

Der Maßnahmenfall hat keinen Einfluss auf die Pkw-Ex- und Lkw-Fahrzeugkilometer. Die Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer nehmen in der Region und Stuttgart um jeweils 1 % ab. Die Verlagerung hin zum Modus Rad bewirkt eine Entlastung des Nebenstraßennetzes. Hier nehmen die Fahrzeugkilometer der Straßenklassen Landesstraße, Kreisstraße und Sonstige um jeweils 1 % ab (vgl. Abbildung 30).

Der Maßnahmenfall bewirkt ebenfalls eine Reduktion der ÖV-VRS-Personenkilometer in der Region um 2 % und in Stuttgart um 3 %. Die Abnahme der Personenkilometer verteilt sich auf alle ÖV-Verkehrsmittel. In der Region sind die größten Abnahmen bei

der S-Bahn und in Stuttgart bei der U-Bahn vorzufinden (vgl. Abbildung 31, Angaben in Klammern).

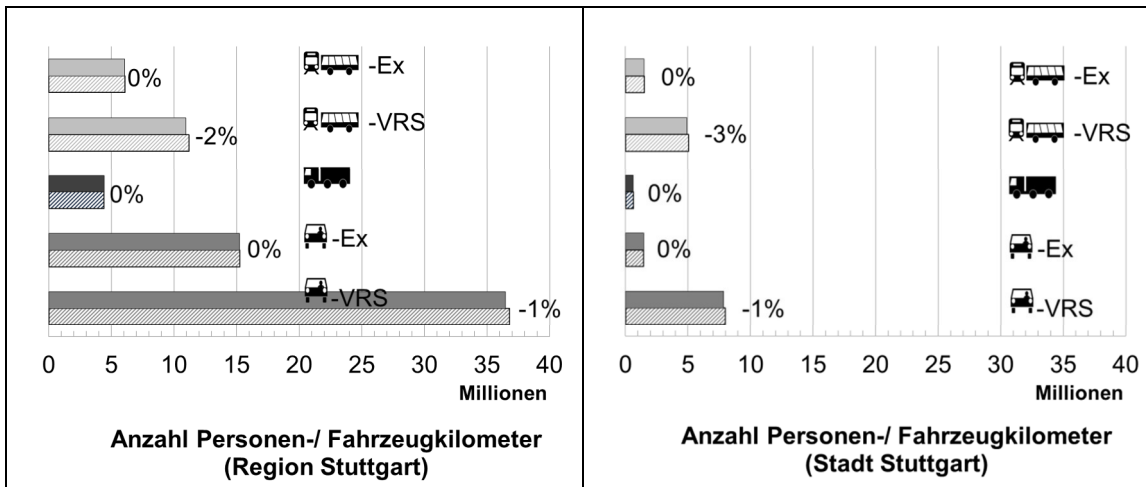


Abbildung 29: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_Rad)

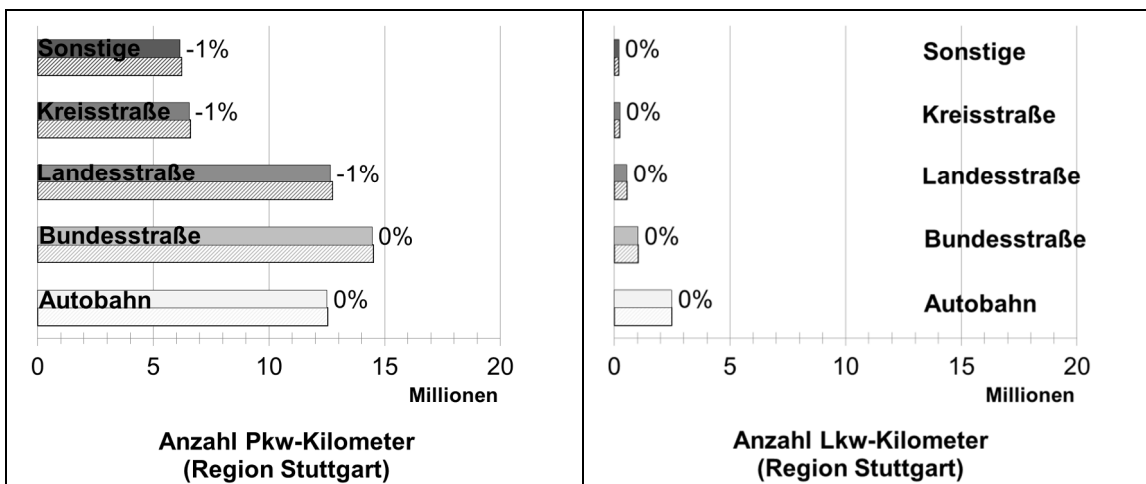


Abbildung 30: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_Rad)

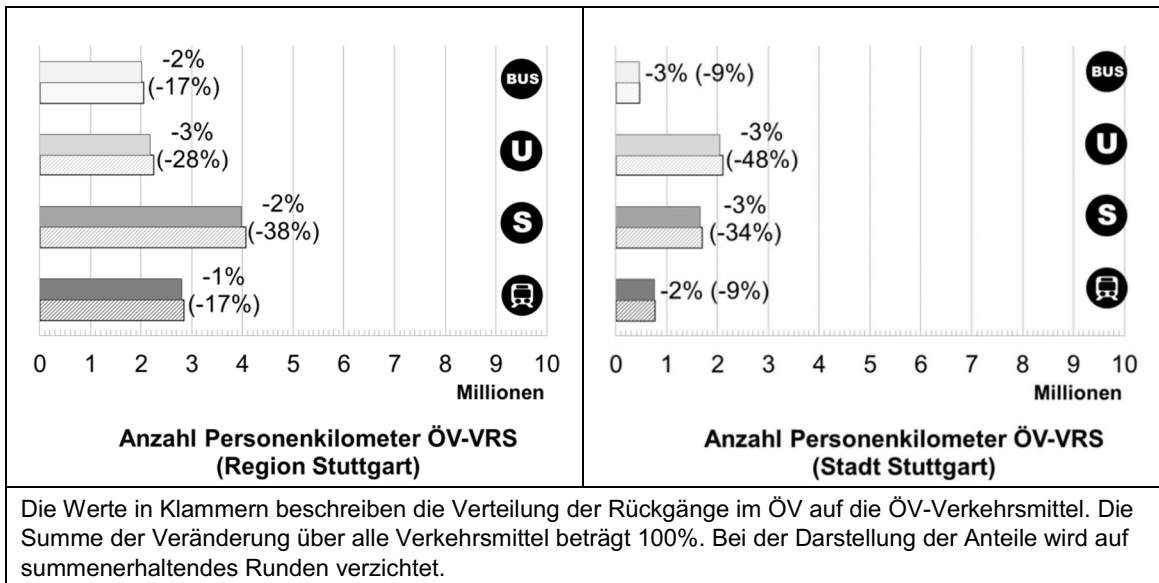


Abbildung 31: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_Rad)

Umweltwirkungen

Die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf den Energieverbrauch, Kohlenwasserstoffe (HC), Feinstaub (PM), Stickoxide (NO_x), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) sind in Tabelle 17 dargestellt. Die Wirkungen in der Stadt Stuttgart sind etwas höher als in der Region, obwohl die Fahrzeugkilometer in der Region wie auch in Stuttgart um 1 % reduziert werden.

Die Fahrzeugkilometer gehen bei dieser Maßnahme in Stuttgart auf Strecken zurück, deren Kombination aus den einschlägigen Faktoren höhere Emissionen pro gefahrenem Kilometer erzeugen als durchschnittlich pro gefahrenem Kilometer im 0-Fall erzeugt werden. Daher ist die Reduktion der Emissionen in Stuttgart prozentual höher als die Abnahme der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-1 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %
Region Stuttgart	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %

Tabelle 17: Umweltwirkungen (IS_Rad)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, sind aber auf Streckenebene für MIV und ÖV im Bereich der Modellungenauigkeiten und in der Realität kaum messbar.

5.5.4 Neubau von P+R-Anlagen in der Region (IS_PR)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Es werden zusätzliche P+R-Anlagen in der Region Stuttgart gebaut und die Nutzung wird gebührenfrei angeboten.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Attraktivität des P+R steigt, was zu Verlagerungen von anderen Modi hin zu P+R führt. Der Zuwachs an P+R-Ortsveränderungen wird durch die Kapazitäten der P+R-Anlagen und der ÖV-Verkehrsmittel begrenzt. Es wird angenommen, dass regelmäßige P+R-Nutzer eine ÖV-Zeitkarte kaufen. Dadurch werden möglicherweise auch andere Ortsveränderungen mit dem ÖV durchgeführt.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Kapazitätsbeschränkungen der P+R-Anlagen und des Fahrgastzuwachses im ÖV können mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart nicht abgebildet werden. Ursächlich hierfür ist, dass das P+R-Teilmodell keine Kapazitäten berücksichtigt und für die Routenwahl eine fahrplanfeine Umlegung ohne Kapazitätsbeschränkungen verwendet wird. Die Maßnahme kann somit zu Überlastungen der P+R-Anlagen und der ÖV-Verkehrsmittel führen. Die Wirkungsberechnungen stellen daher ein Potential dar, für dessen Erreichung ggf. die P+R-Anlagen und / oder das ÖV-Angebot erhöht werden muss. Die Kapazität der P+R-Anlagen wird über einen Attraktivitätsfaktor modelliert. Dieser Faktor muss mithilfe von Annahmen definiert werden. Die Wirkungen der Maßnahme basieren somit teilweise auf Annahmen.

Im Stuttgart-Modell erfolgt eine Unterscheidung in Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Personengruppen, die sowohl eine Pkw-Verfügbarkeit als auch ÖV-Zeitkartenbesitz aufweisen, existieren im Stuttgart-Modell nicht. Die Annahme, dass P+R-Nutzer häufig eine ÖV-Zeitkarte besitzen, wird über den β -Parameter, mit dem der ÖV-Fahrpreis in die Nutzenfunktion eingeht, berücksichtigt. Eine Anpassung der Verkehrsmittelverfügbarkeit ist somit nicht notwendig. Ob diese Modellumsetzung in gleicher Weise den Einfluss auf das Mobilitätsverhalten abbildet wie eine Personengruppe, die eine Pkw-Verfügbarkeit und ÖV-Zeitkartenbesitz berücksichtigt, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Auf eine Anpassung der Pkw-Verfügbarkeit wird verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur vorliegen.

Die Wirkungen eines Neubaus von P+R-Anlagen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Das Teilmodell zur Berechnung der intermodalen P+R-Ortsveränderungen ist mit den Software-AddIns Matrix Convolution und Split P+R Matrices umgesetzt. Die P+R-Anlagen werden auf Verkehrszellenebene über Attribute abgebildet. Mithilfe des AddIn Matrix Convolution wird über die Pkw-P+R-Reisezeitmatrix, ÖV-P+R-Reisezeitmatrix und der Verkehrszellen mit P+R-Anlagen die optimale Zwischenverkehrszelle, die P+R-Anlage, gewählt. In der Pkw-P+R-Reisezeitmatrix werden die P+R-Kosten und die Kapazität über einen Attraktivitätsfaktor berücksichtigt. Über die optimale P+R-Anlage wird die Gesamtreisezeit für Quelle-Ziel-Relationen berechnet, die bei der Verkehrsziel- und Moduswahl in die Nutzenfunktion eingeht. Anschließend wird die berechnete Nachfragematrix mit dem AddIn Split P+R Matrices über die bereits festgelegten optimalen P+R-Anlagen in den Pkw-Anteil und den ÖV-Anteil gesplittet und anschließend mit den jeweiligen Routenwahlverfahren umgelegt. Die durch die Maßnahme hinzukommenden P+R-Anlagen werden im Modell ergänzt und der Attraktivitätsfaktor wird auf den neutralen Wert null gesetzt.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Durch den Maßnahmenfall verdreifacht sich die Menge an Wegen, die mit dem Modus P+R durchgeführt werden. Die Zunahme resultiert aus einer Abnahme der Anzahl an Wegen aller anderen Modi um 1 % mit Ausnahme des Modus Fuß. Aufgrund der generell niedrigen Anzahl an P+R-Wegen hat die Zunahme der P+R-Wege keinen Einfluss auf den P+R-Anteil am Modal-Split (Wege). Der Anteil des Modus Pkw-Selbstfahrer reduziert sich um 1 %-Punkt.

Die mittlere Reiseweite der Modi ÖV und Pkw-Mitfahrer reduziert sich um 0,1 km. Ortsveränderungen über längere Distanzen werden auf den Modus P+R verlagert. Aus den Änderungen der Anzahl an Wegen und der mittleren Reiseweiten ergibt sich eine Zunahme der Personenkilometer des P+R (+144 %) und eine Abnahme des Pkw-Mitfahrer (-1 %), Pkw-Selbstfahrer (-2 %), ÖV (-2 %), Rad (-1 %). Beim Modal-Split (Personenkilometer) reduzieren sich dadurch die Anteile von Pkw-Selbstfahrer sowie ÖV um 1 %-Punkt, der P+R-Anteil erhöht sich um 2 %-Punkte.

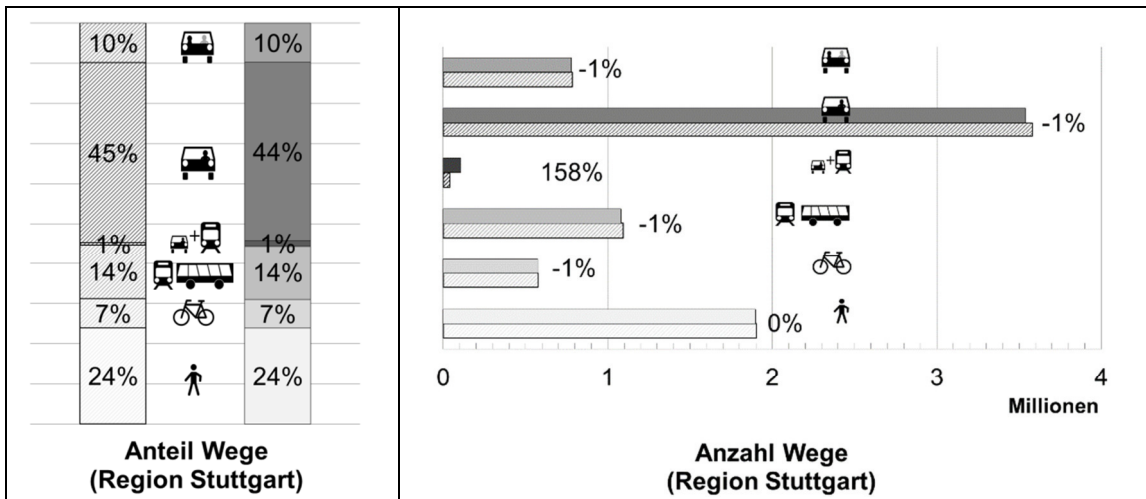


Abbildung 32: Wege je Modus (IS_PR)

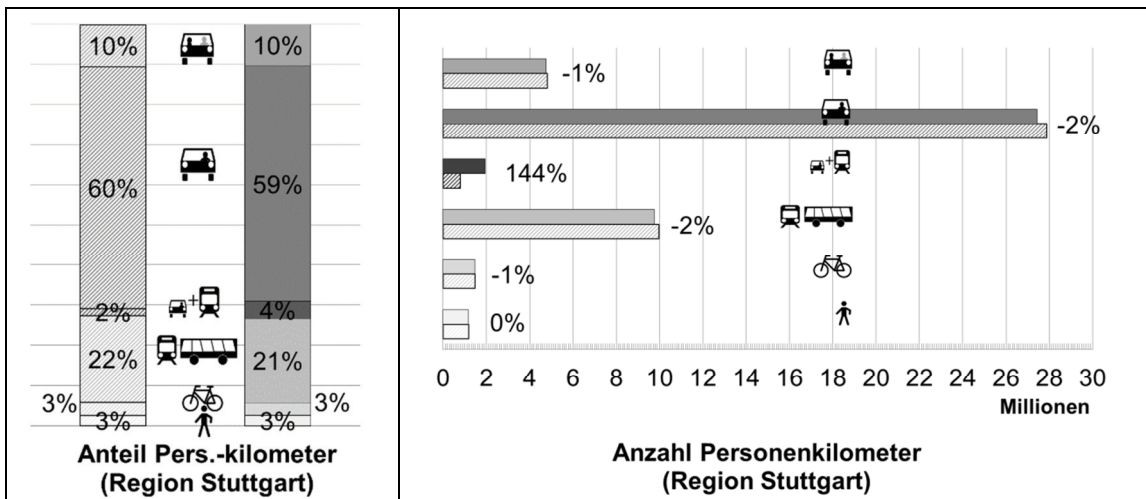


Abbildung 33: Personenkilometer je Modus (IS_PR)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 34, Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Der Maßnahmenfall hat keinen erheblichen Einfluss auf die zurückgelegten Fahrzeugkilometer des Lkw, Pkw-Ex und Pkw-VRS sowie auf die Personenkilometer des ÖV-Ex in der Region und in Stuttgart. Die Zunahme der P+R-Wege bewirkt aufgrund des Pkw-Teilweges eine Zunahme der Fahrzeugkilometer auf der Straßenklasse Sonstige um 1 % (vgl. Abbildung 35).

Die Zunahme der ÖV-VRS-Personenkilometer um 4 % in der Region und um 3 % in Stuttgart verteilt sich auf alle ÖV-Verkehrsmittel. Auf die S-Bahn entfällt mit 82 % in der Region und 80 % in Stuttgart jeweils der größte Anteil der Zunahme an

Personenkilometern (vgl. Abbildung 36, Angaben in Klammern). Dies lässt sich durch die Lage der P+R-Anlagen an S-Bahn-Stationen erklären.

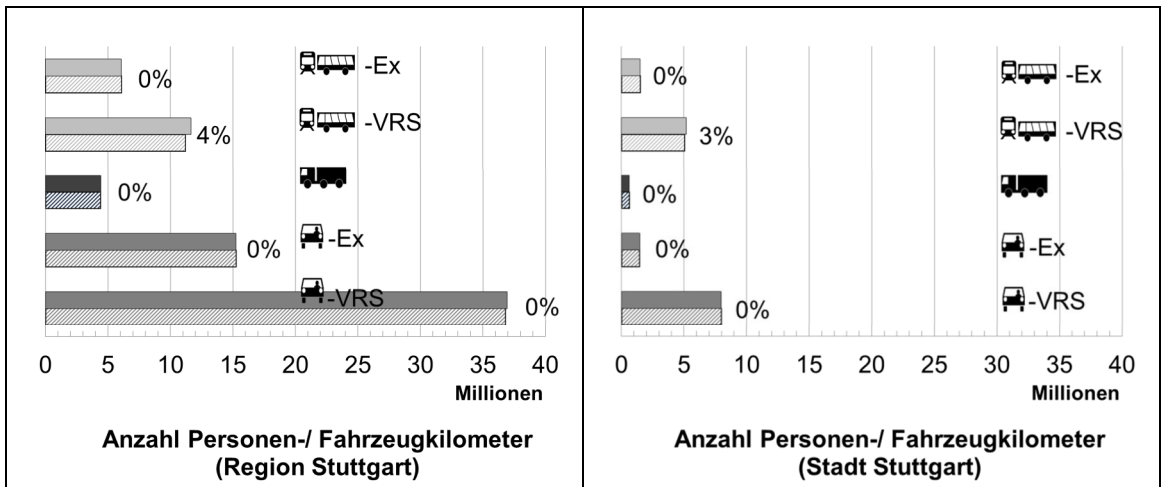


Abbildung 34: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (IS_PR)

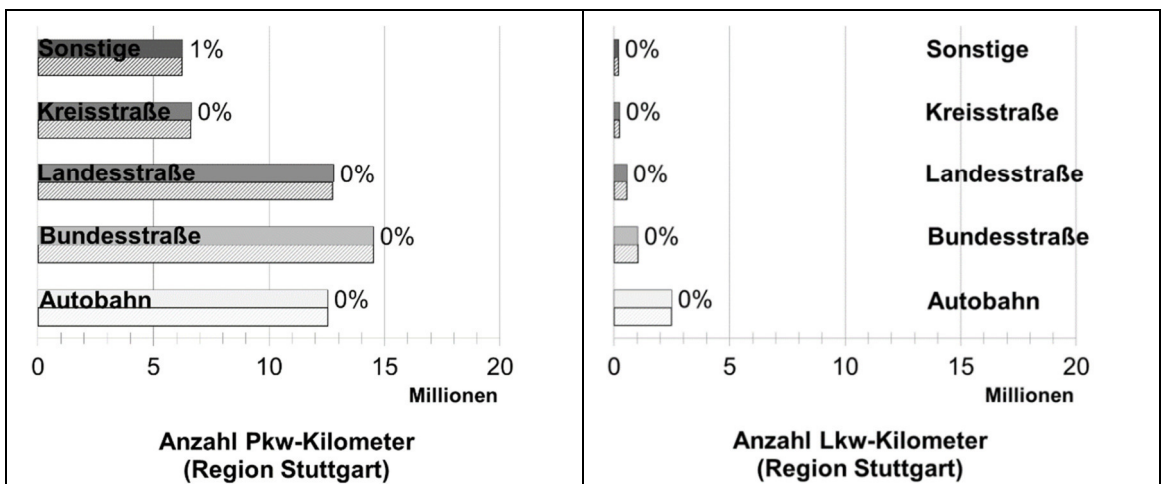


Abbildung 35: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (IS_PR)

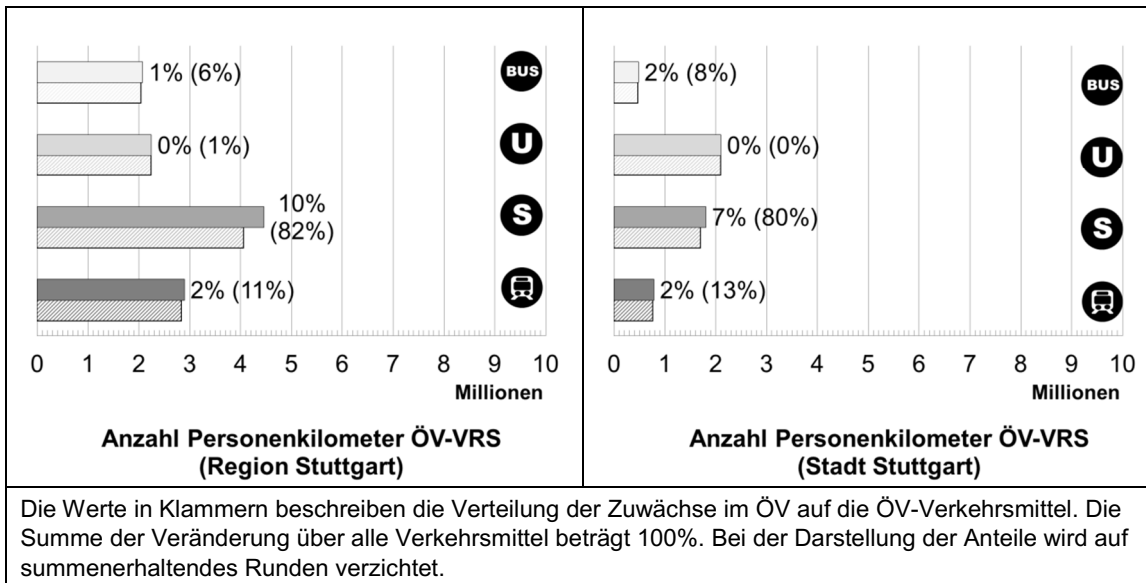


Abbildung 36: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (IS_PR)

Umweltwirkungen

Obwohl die zurückgelegten Fahrzeugkilometer des Lkw, Pkw-Ex und Pkw-VRS nicht deutlich abnehmen (vgl. Abbildung 34), liegen die Änderungen der Umweltkenngößen zum 0-Fall im Bereich zwischen 0 % - 1 %.

Die Verlagerung von Pkw-Selbstfahrer-Wegen auf P+R-Wege hat keinen signifikanten Einfluss auf die zurückgelegten Fahrzeugkilometer in Stuttgart und der gesamten Region. Die Verlagerungen führen dennoch zu Änderungen der Streckenbelastungen. Der Maßnahmenfall führt zu einer Verlagerung der Fahrzeugkilometer auf Strecken, auf denen die Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer höher sind als auf den Strecken, auf denen die Fahrzeugkilometer abnehmen. Daher ist trotz unveränderter Kfz-Fahrzeugkilometer eine Zunahme der Emissionen und des Energieverbrauchs zu beobachten.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %
Region Stuttgart	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %

Tabelle 18: Umweltwirkungen (IS_PR)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden und sind auf Streckenebene beim MIV nur auf Strecken im unmittelbaren Umfeld der P+R-Anlagen ausserhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar. Im ÖV sind die Wirkungen auf den Schienenstrecken zwischen Umland und Stuttgart ausserhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.6 Maßnahmen im Liniennetz- und Fahrplanangebot

5.6.1 Erhöhung der Servicefahrten der S-Bahn in der Region (LFA_15Min)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Anzahl der Servicefahrten wird auf allen S-Bahnlinien erhöht, indem der Takt von 20-Minuten in Hauptverkehrszeiten und 30-Minuten in Nebenverkehrszeiten auf 15-Minuten umgestellt wird.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Taktänderung der Servicefahrten der S-Bahn beeinflusst die zeitliche Verfügbarkeit. Die Bedienungshäufigkeit der S-Bahn erhöht sich, wodurch sich in Summe die Startwartezeit und Umsteigewartezeit und somit die Reisezeit verringert. Durch die Taktänderung können andererseits jedoch bestehende Taktabstimmungen zwischen Linien verloren gehen, wenn diese nicht an den neuen Takt angepasst werden. Gehen bestehende Taktabstimmungen verloren, erhöht sich die Umsteigewartezeit auf einzelnen Quelle-Ziel-Relationen. In Summe steigt jedoch die Attraktivität des ÖV und führt zu Verlagerungen von allen anderen Modi zum Modus ÖV und / oder zum Modus P+R mit einem Teilweg ÖV. Ebenso können durch geringere Reisezeiten, Ziele (Aktivitätenorte) an Attraktivität gewinnen und zu Verlagerungen von anderen ÖV-Verkehrsmitteln hin zur S-Bahn führen. Der Zuwachs im ÖV und P+R wird durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Aufgrund der Kapazitätserweiterung im ÖV durch zusätzliche Servicefahrten werden keine Kapazitätsengpässe erwartet. Eine Änderung der Verkehrsmittelverfügbarkeit, und zwar die Zunahme von Personen mit einer ÖV-Zeitkarte, ist bei dieser Angebotsverbesserung wahrscheinlich.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird im Stuttgart-Modell mithilfe von Personengruppen abgebildet. Im Modell existieren Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Die ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit hingegen wird nicht abgebildet. Bei der Moduswahl wird zwischen ÖV-Monatsticket und ÖV-Einzelticket unterschieden. Ob diese Modellierungsvariante vergleichbare Wirkungsergebnisse erzielt wie eine zusätzliche Segmentierung der Personengruppen nach ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Mögliche Wirkungen auf die Pkw-Verfügbarkeit könnten durch Annahmen abgeschätzt und durch eine Anpassung der Einwohnerzuordnung zu den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit im Verkehrsnachfragemodell hinterlegt werden. Hierauf wird jedoch verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur vorliegen und eine Wirkung aufgrund der Maßnahme als marginal eingeschätzt wird.

Die Erhöhung der Anzahl an Servicefahrten der S-Bahn ändert die zeitliche Verfügbarkeit des ÖV. Die zeitliche Verfügbarkeit des ÖV wird für den Modus ÖV durch die Wartezeit in der Nutzenfunktion, berechnet aus der Startwartezeit (Funktion der Bedienungshäufigkeit), Umsteigewartezeit (Funktion der Umsteigehäufigkeit) und der Gehzeit, berücksichtigt. Die zeitliche Verfügbarkeit des ÖV wird für den intermodalen Modus P+R mit ÖV-Teilweg durch die Umsteigewartezeit (Funktion der Umsteigehäufigkeit) in der Nutzenfunktion berücksichtigt.

Die zeitliche Verfügbarkeit kann über die Bedienungshäufigkeit gemeinsam mit der Umsteigewartezeit abgebildet werden (vgl. S. 39, Abbildung der zeitlichen Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln). Wird allerdings die Umsteigewartezeit aus der Umsteigehäufigkeit berechnet, können Änderungen der zeitlichen Verfügbarkeit gemeinsam mit der Bedienungshäufigkeit nicht vollständig abgebildet werden. Zudem wird für den Modus P+R die Bedienungshäufigkeit nicht in der Nutzenfunktion berücksichtigt. Somit geht für den Modus P+R weder die Bedienungshäufigkeit noch die Umsteigewartezeit in die Berechnungen ein und die zeitliche Verfügbarkeit wird dadurch nicht abgebildet.

Im Rahmen des Projektes Stuttgart 21 erfolgen Änderungen im ÖV-Angebot, wie z. B. zusätzliche Haltestellen. Zur Zeit der Modellerstellung lag kein Fahrplan für diesen geplanten Zustand vor. Die geplanten Änderungen beeinflussen jedoch die Taktabstimmung des Fahrplanes aus dem Jahr 2010. Daher wird anstelle der tatsächlichen Umsteigewartezeit eine Funktion aus der Umsteigehäufigkeit in der Nutzenfunktion des ÖV und P+R verwendet. Dies unterstellt, dass Linien aufeinander abgestimmt sind und führt dazu, dass die Wirkungen von Maßnahmen auf die Umsteigewartezeit nicht abgebildet werden können.

Die Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Der Takt aller S-Bahnlinien der Region Stuttgart wird entsprechend der Beschreibung im Fahrplan angepasst.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die Anzahl an Wegen des ÖV nimmt um 5 % zu, bei allen anderen Modi, mit Ausnahme des P+R, um 1 % ab. Für P+R ergeben sich keine signifikanten Verlagerungen obwohl P+R durch den ÖV-Teilweg an Attraktivität gewinnt. Die zeitliche Verfügbarkeit wird für den Modus P+R in der Nutzenfunktion nicht ausreichend abgebildet. Die Umsteigewartezeit wird über eine Funktion der Umsteigehäufigkeit berücksichtigt, in welche die Bedienungshäufigkeit keinen Eingang findet. Durch die unzureichende Abbildung der zeitlichen Verfügbarkeit kann die Attraktivitätssteigerung für den Modus P+R im Verkehrsnachfragemodell nicht abgebildet werden. Auf den Modal-Split (Wege) haben die beschriebenen Wirkungen keinen Einfluss.

Die Personenkilometer des ÖV nehmen durch den Maßnahmenfall um 8 % zu. Bei allen anderen Modi ist die Abnahme proportional zur Abnahme der Anzahl der Wege. Die überproportionale Zunahme im ÖV resultiert aus Verlagerungen der Zielwahl. Die durchschnittliche Reiseweite des Modus ÖV nimmt um 0,3 km zu. Für den Modal-Split (Personenkilometer) ergibt sich hieraus eine Zunahme beim Modus ÖV um 1 %-Punkt und beim Modus Pkw-Selbstfahrer eine Abnahme um 1 %-Punkt. Die Anteile der anderen Modi bleiben unverändert.

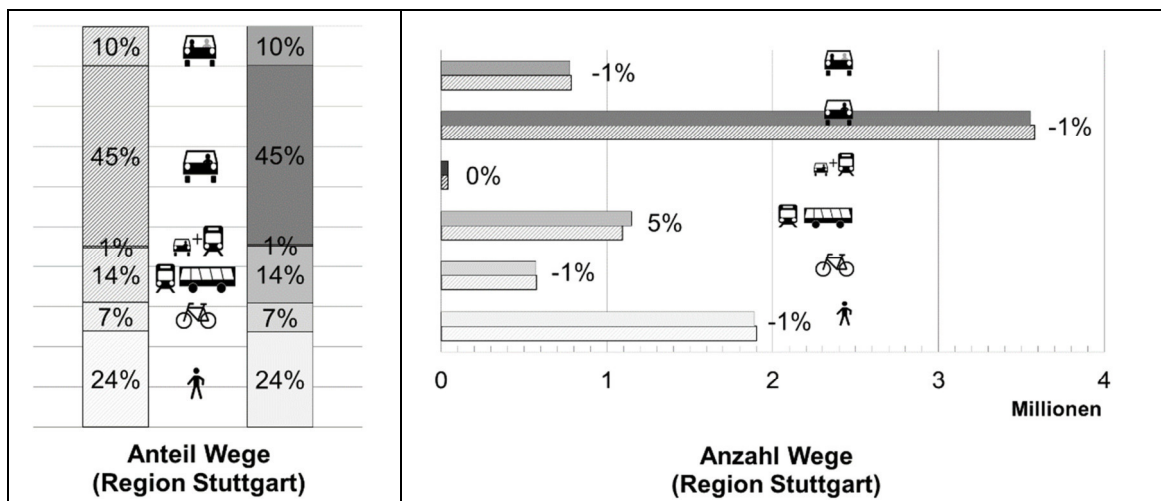


Abbildung 37: Wege je Modus (LFA_15Min)

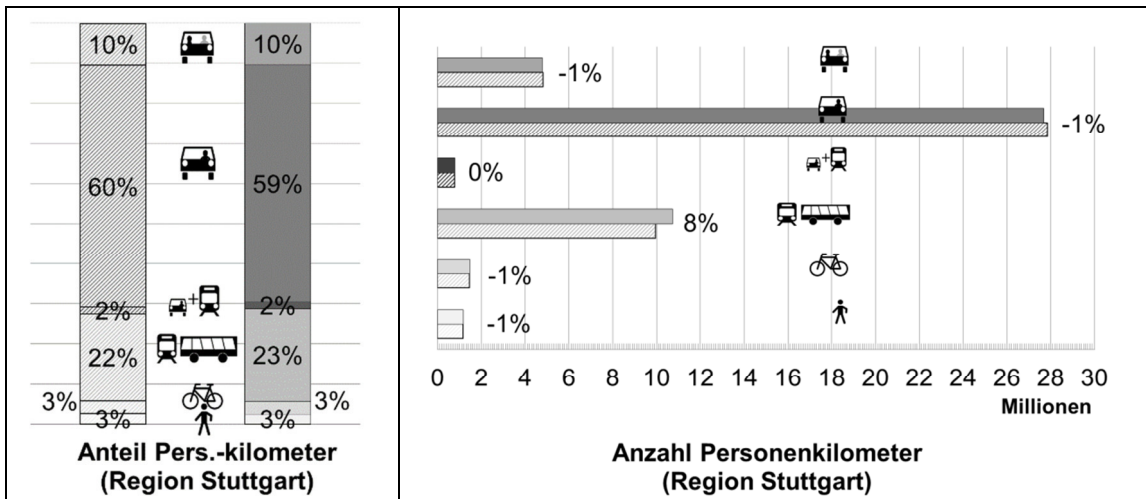


Abbildung 38: Personenkilometer je Modus (LFA_15Min)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus und Routenwahl

Abbildung 39, Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die Personenkilometer des ÖV-VRS nehmen um 7 % in der Region und um 4 % in Stuttgart zu. Die Fahrzeugkilometer Pkw-VRS nehmen in der Region um 1 % ab. Für die restlichen Nachfragesegmente ergeben sich durch den Maßnahmenfall keine Änderungen (vgl. Abbildung 39). Die Abnahme der Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer resultieren in einer Abnahme der Pkw-Fahrzeugkilometer der Straßenklasse Sonstige und Kreisstraße um jeweils 1 % (vgl. Abbildung 40).

Abbildung 41 zeigt die Verteilung der ÖV-VRS-Personenkilometer auf die ÖV-Verkehrsmittel. In der Region (+25 %) wie auch in Stuttgart (+18 %) nehmen die Personenkilometer der S-Bahn zu, während sie bei anderen ÖV-Verkehrsmitteln abnehmen. Die Zunahmen der Personenkilometer der S-Bahn resultieren somit nicht nur aus der Zunahme der ÖV-Wege, sondern auch aus Verlagerungen von anderen ÖV-Verkehrsmitteln auf die S-Bahn.

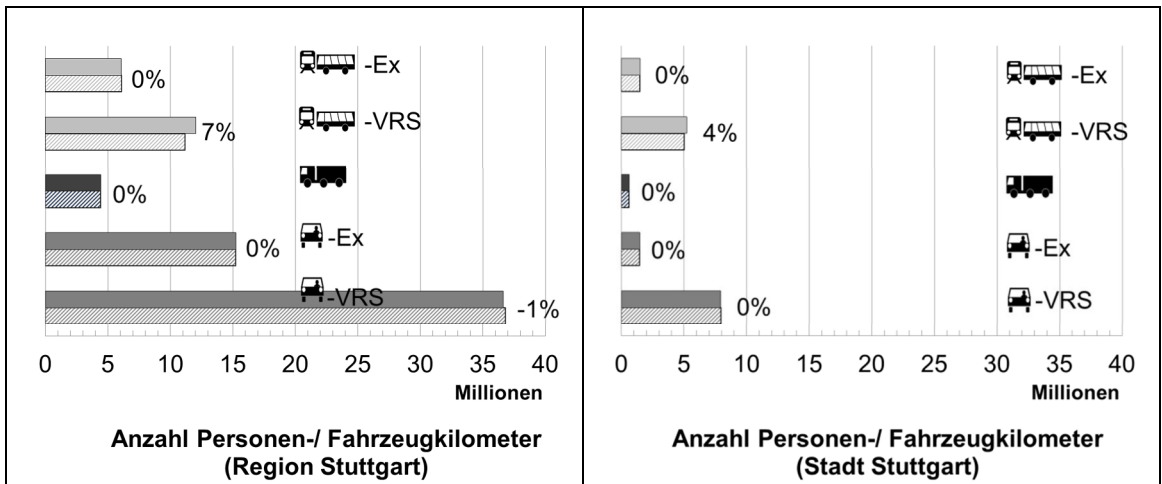


Abbildung 39: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (LFA_15Min)

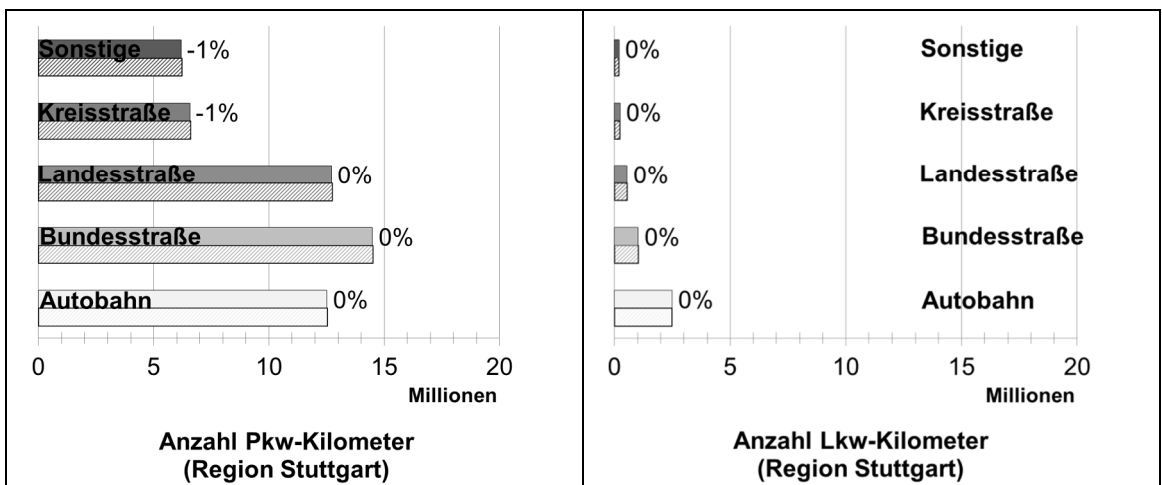
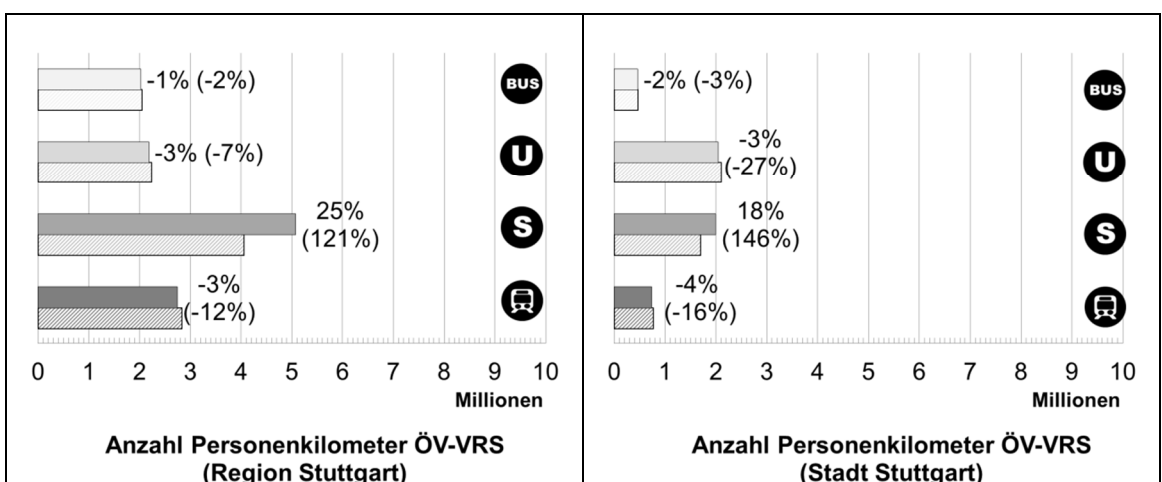


Abbildung 40: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (LFA_15Min)



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Zuwächse und Rückgänge im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 41: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (LFA_15Min)

Umweltwirkungen

Die Änderungen der Umweltkenngößen sind in Tabelle 19 dargestellt. In Stuttgart zeigt die Maßnahme keinen signifikanten Einfluss auf die zurückgelegten Fahrzeugkilometer. Dennoch nehmen die Emissionen und der Energieverbrauch um 1 % ab.

Auch wenn die zurückgelegten Fahrzeugkilometer in Stuttgart nicht signifikant zurückgehen, findet eine Abnahme statt. Die Fahrzeugkilometer gehen bei diesem Maßnahmenfall in Stuttgart auf Strecken zurück, deren Kombination aus Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer erzeugen als durchschnittlich pro gefahrenem Kilometer im 0-Fall erzeugt werden. Daher ist die Reduktion der Emissionen und des Energieverbrauchs in Stuttgart prozentual höher als die Abnahme der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 19: Umweltwirkungen (LFA_15Min)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, sind jedoch auf Streckenebene für den MIV innerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität kaum messbar. Im ÖV sind die Wirkungen auf den Schienenstrecken zwischen Umland und Stuttgart ausserhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.6.2 Erweiterung des Liniennetzes in der Region durch Expressbusse (LFA_+Linie)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

In der Region Stuttgart werden elf Expressbuslinien eingeführt. Diese Busse verbinden auf direktem Wege wichtige Quelle-Ziel-Relationen, die bisher nur über Umwege mit dem ÖV erreicht werden können. Die Busse verkehren zwischen 5:00 Uhr und 22:00 Uhr im 60-Minutentakt. In den Hauptverkehrszeiten zwischen 06:00 und 09:00 Uhr sowie zwischen 15:00 und 19:00 Uhr wird ein 30-Minutentakt angeboten.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Auf den Quelle-Ziel-Relationen, die durch Expressbuslinien verbunden werden, sinkt die Reisezeit im ÖV durch die neuen und schnellen Routenmöglichkeiten. Durch die direkte Verbindung steigt die Attraktivität der mit den neuen Buslinien verbundenen

Ziele. Der Attraktivitätsgewinn des ÖV führt zu Verlagerungen anderer Modi hin zu den Modi, die durch die Reisezeitverkürzungen an Attraktivität gewinnen. Hierzu zählen die Modi ÖV und P+R mit ÖV-Teilweg. Ebenso sind Verlagerungen von anderen ÖV-Verkehrsmitteln hin zu den neuen Buslinien wahrscheinlich. Der Zuwachs im ÖV und P+R wird durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Bei der vorliegenden Maßnahme werden jedoch keine über die Kapazitätsbeschränkungen hinausgehenden Zuwächse erwartet. Eine Änderung der Verkehrsmittelverfügbarkeit ist möglich.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Im Verkehrsnachfragemodell können alle Wirkungszusammenhänge / -vermutungen, mit Ausnahme der möglichen Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit, abgebildet werden.

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird im Stuttgart-Modell mithilfe von Personengruppen abgebildet. Im Modell existieren Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Die ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit hingegen wird nicht abgebildet. Bei der Moduswahl wird zwischen ÖV-Monatsticket und ÖV-Einzelticket unterschieden. Ob diese Modellierungsvariante vergleichbare Wirkungsergebnisse erzielt wie eine zusätzliche Segmentierung der Personengruppen nach ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Mögliche Wirkungen auf die Pkw-Verfügbarkeit könnten durch Annahmen abgeschätzt und durch eine Anpassung der Einwohnerzuordnung zu den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit im Verkehrsnachfragemodell hinterlegt werden. Hierauf wird jedoch verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur vorliegen und eine Wirkung aufgrund der Maßnahme als marginal eingeschätzt wird.

Die Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Zusätzliche Linien, Haltestellen, Linienrouten und Servicefahrten werden im Verkehrsnachfragemodell ergänzt.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Der Maßnahmenfall führt zu einer Verlagerung hin zum Modus ÖV. Die Anzahl der Wege nimmt um 1 % zu. Die Zunahme resultiert aus einer Abnahme aller anderen Modi. Signifikante Abnahmen ergeben sich für den Modus P+R (-1 %). Die Anzahl an Wegen anderer Modi erfahren durch den Maßnahmenfall keine signifikanten Änderungen.

Analog zu den Wegen ändern sich die Personenkilometer. Der Maßnahmenfall führt somit nicht zu einer deutlichen Änderung der Zielwahl und der durchschnittlichen Reiseweite. Der Modal-Split auf Basis der Wege und Personenkilometer bleibt in beiden Fällen unverändert.

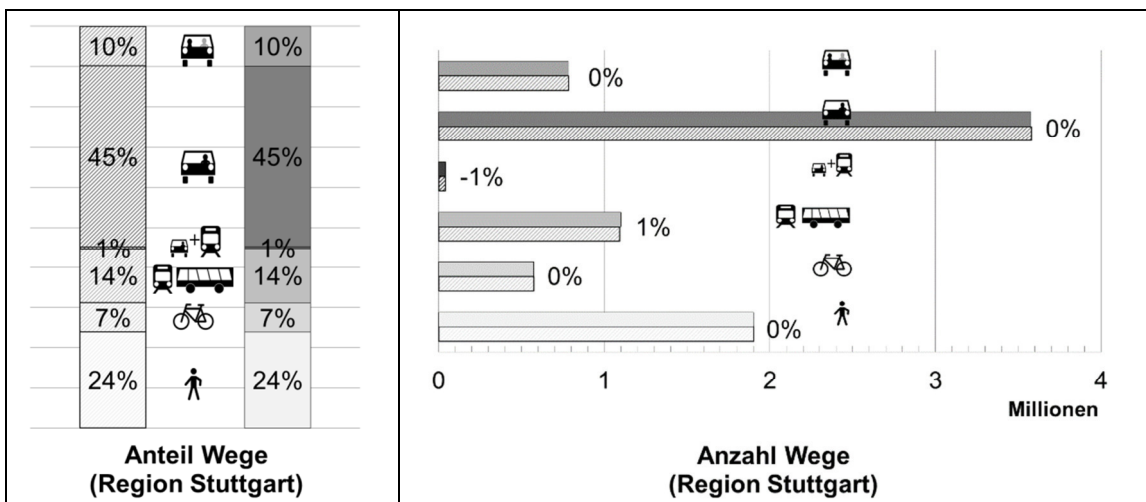


Abbildung 42: Wege je Modus (LFA_+Linie)

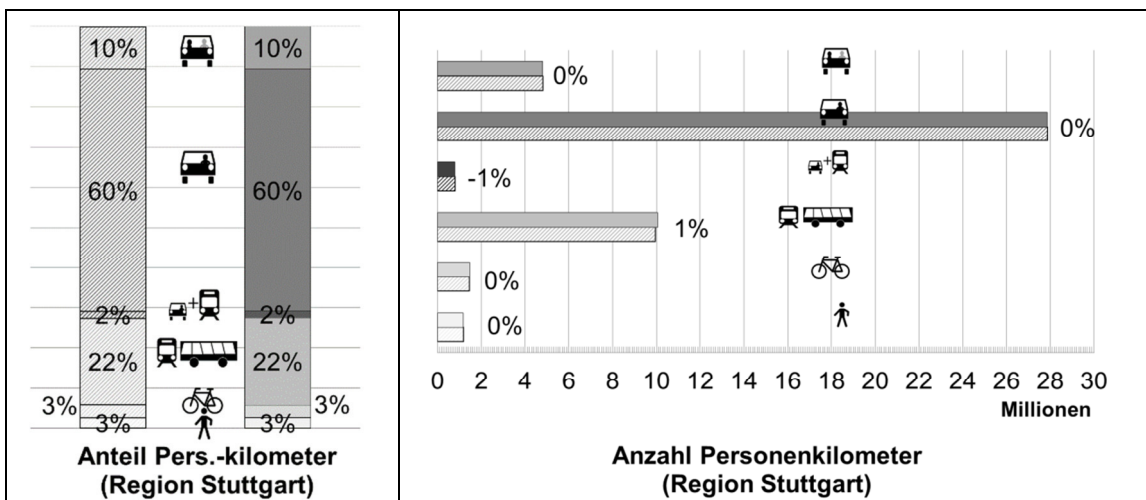


Abbildung 43: Personenkilometer je Modus (LFA_+Linie)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus und Routenwahl

Abbildung 44, Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Auf die zurückgelegten Fahrzeugkilometer in der Region und Stuttgart sowie der einzelnen Straßenklassen hat die Maßnahme keinen signifikanten Einfluss (vgl. Abbildung 44 und Abbildung 45).

Die Anzahl an zurückgelegten Personenkilometern ändert sich lediglich für ÖV-VRS in der Region. Hier nehmen die Personenkilometer um 1 % zu. Dies lässt sich durch die räumliche Lage der eingeführten Buslinien erklären, die sich grösstenteils in der Region, jedoch ausserhalb des Stadtgebiets von Stuttgart, befinden.

Abbildung 46 zeigt, neben der Zu- und Abnahme der Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel, die Verteilung der Änderung an ÖV-VRS-Personenkilometern auf einzelne ÖV-Verkehrsmittel im Vergleich zum 0-Fall. Die Personenkilometer des ÖV-Verkehrsmittels Bus nehmen um 6 % in der Region und um 5 % in Stuttgart zu. Die Zunahme der Personenkilometer des ÖV-Verkehrsmittels Bus bezogen auf die Gesamtzunahme der Personenkilometer des ÖV-VRS beträgt 135 % bzw. 260 %. Dies erklärt sich durch den Umstand, dass nicht nur ein Anstieg an Personenkilometern stattfindet, sondern ebenfalls eine Verlagerung von anderen ÖV-Verkehrsmitteln hin zum ÖV-Verkehrsmittel Bus.

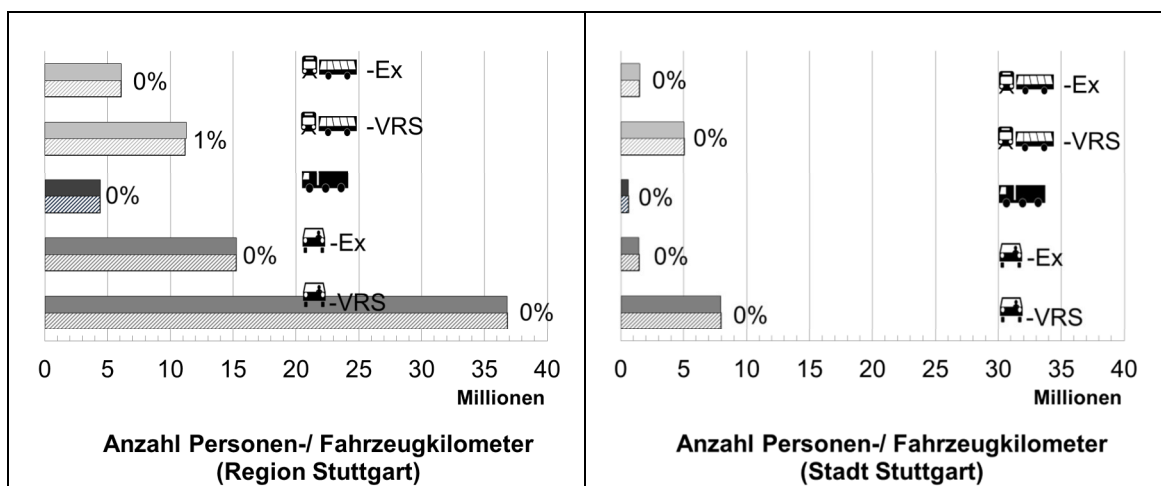


Abbildung 44: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (LFA_+Linie)

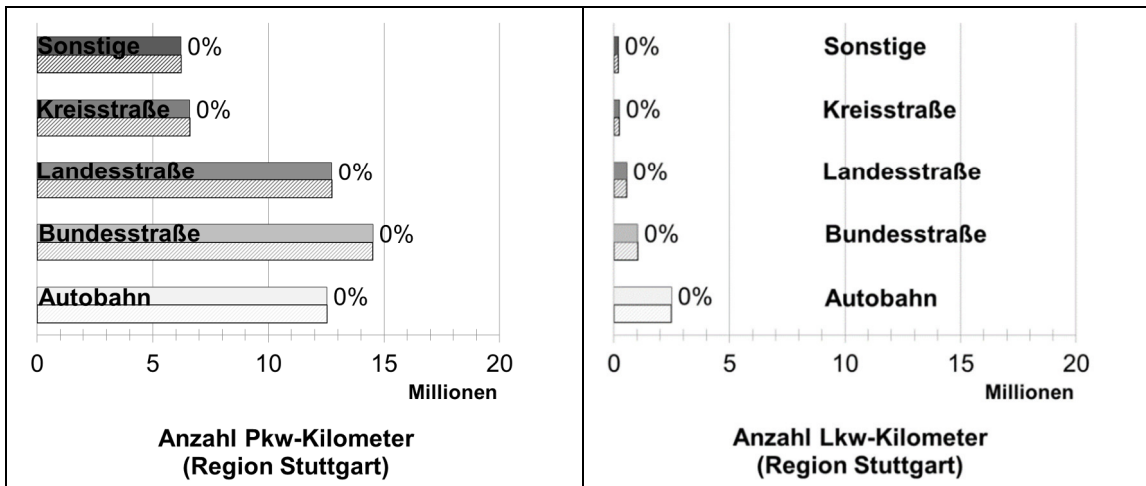
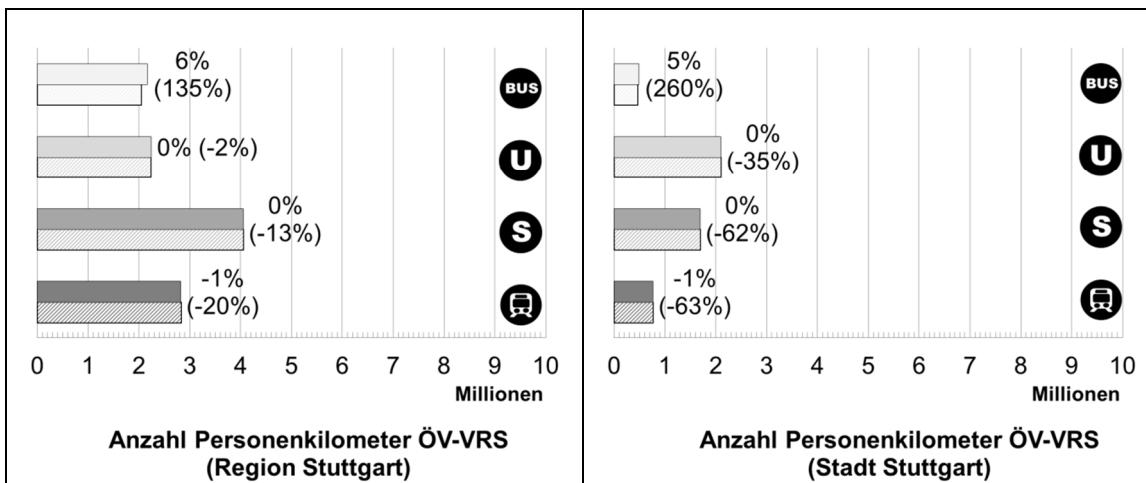


Abbildung 45: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (LFA_+Linie)



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Zuwächse und Rückgänge im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 46: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (LFA_+Linie)

Umweltwirkungen

Die Umweltkenngößen ändern sich durch den Maßnahmenfall nicht (vgl. Tabelle 20). Dies lässt sich durch den nicht signifikanten Einfluss der Maßnahme auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl im MIV erklären.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 20: Umweltwirkungen (LFA_+Linie)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, sind aber auf Streckenebene für den MIV innerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität kaum messbar. Für den ÖV sind sie auf den eingeführten Expressbuslinien außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.7 Maßnahmen der Ordnungspolitik

5.7.1 Senkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen (OP_T40)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

In der Region Stuttgart wird für alle innerörtlichen Straßen der Straßenklasse Bundes-, Landes- und Kreisstraße die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 40 km / h gesenkt. Auf allen anderen innerörtlichen Straßen wird eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km / h angeordnet.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Verlagerungen auf andere Routen (Reduzierung der Nutzung von innerörtlichen Straßen) sind wahrscheinlich. Aufgrund der längeren Reisezeit verlieren weiter entfernte Ziele an Attraktivität. Die geringeren zulässigen Höchstgeschwindigkeiten können zu einer Harmonisierung des Verkehrsflusses beitragen. Höhere Reisezeiten aufgrund geringerer zulässigen Höchstgeschwindigkeit beeinflussen die Moduswahl und führen zu Verlagerungen von den Modi, die von der Geschwindigkeitsreduktion betroffen sind (Pkw-Mitfahrer, Pkw-Selbstfahrer und P+R mit Pkw-Teilweg) hin, zu allen anderen Modi. Verlagerungen hin zum Modus ÖV werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Bei dem vorliegenden Maßnahmenfall werden jedoch keine über die Kapazitätsbeschränkungen hinausgehenden Zuwächse erwartet, da die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nur innerorts und nicht großräumig herabgesetzt werden. Die Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeiten ist abhängig von der Kontrollhäufigkeit.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Inwieweit durch eine mögliche Harmonisierung des Verkehrsflusses die Kapazität und / oder die CR-Funktionen angepasst werden müssen ist bisher nicht ausreichend erforscht, weshalb diese mögliche Wirkung nicht abgebildet werden kann. Wirkungen auf die Verkehrszielwahl, Moduswahl und Routenwahl können mit dem Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden. Das Modell bildet einen Zustand ab, in dem die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten eingehalten werden. Hierfür sind in der Praxis Kontrollen notwendig.

Die Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Anhand der Siedlungsfläche wird festgelegt, welche Strecken innerorts und welche außerorts liegen. Die Geschwindigkeiten werden anschließend entsprechend der Beschreibung in Abhängigkeit der Straßenklasse angepasst.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 47 und Abbildung 48 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Durch die innerörtliche Geschwindigkeitsreduktion nimmt die Anzahl an Wegen des Pkw-Mitfahrer und Pkw-Selbstfahrer um jeweils 2 % und die des P+R um 7 % ab. Die Anzahl an Wegen der anderen Modi nimmt um jeweils 2 % zu. Diese Änderungen wirken sich auf den Modal-Split auf Basis der Wege aus. Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil und P+R-Anteil reduziert sich um jeweils 1 %-Punkt.

Die Änderung der Personenkilometer ist im ÖV, Fuß und Rad proportional zur Änderung der Anzahl an Wegen. Für diese Modi hat die Maßnahme keinen Einfluss auf die Zielwahl und die durchschnittliche Reiseweite. Für die Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer verlieren weiter entfernte Ziele, aufgrund der geringeren zulässigen Geschwindigkeiten und damit einhergehenden steigenden Reisezeiten, an Attraktivität. Durch den Maßnahmenfall verringert sich für beide Modi die durchschnittliche Reiseweite um 0,2 km. Für P+R ist die Reduktion der Personenkilometer mit 6 % geringer als die Reduktion der Anzahl an Wegen, welche 7 % beträgt. Die durchschnittliche Reiseweite des Modus P+R nimmt um 0,3 km zu. Kürzere P+R-Wege, bei denen die Geschwindigkeitsreduktion durch einen größeren Anteil des mit dem Pkw zurückgelegten Teilweges stärker gewichtet wird, verlagern sich auf andere Modi. Die beschriebenen Änderungen wirken sich auf den Modal-Split auf Basis der Personenkilometer aus. Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 1 %-Punkt und der ÖV-Anteil erhöht sich um 1 %-Punkt.

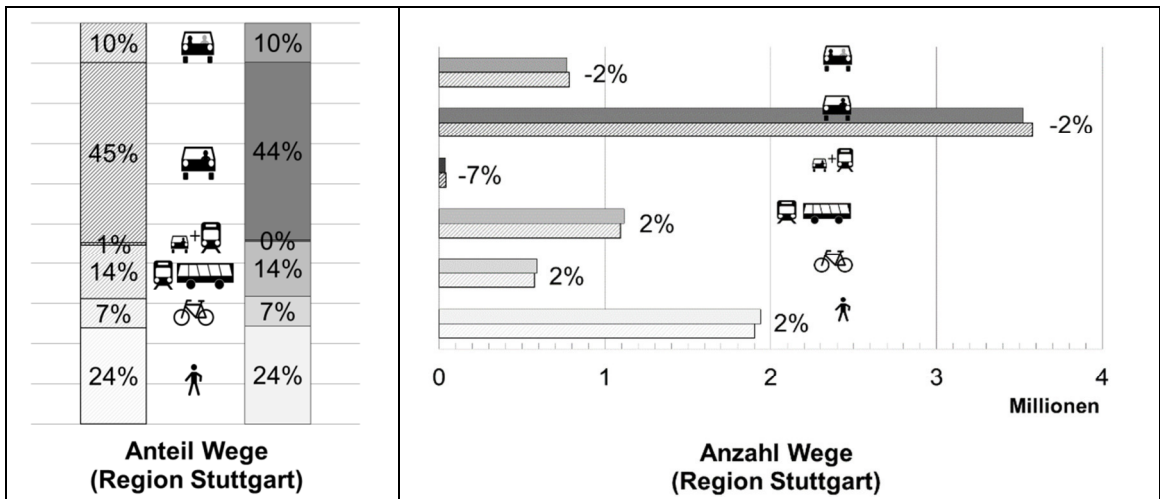


Abbildung 47: Wege je Modus (OP_T40)

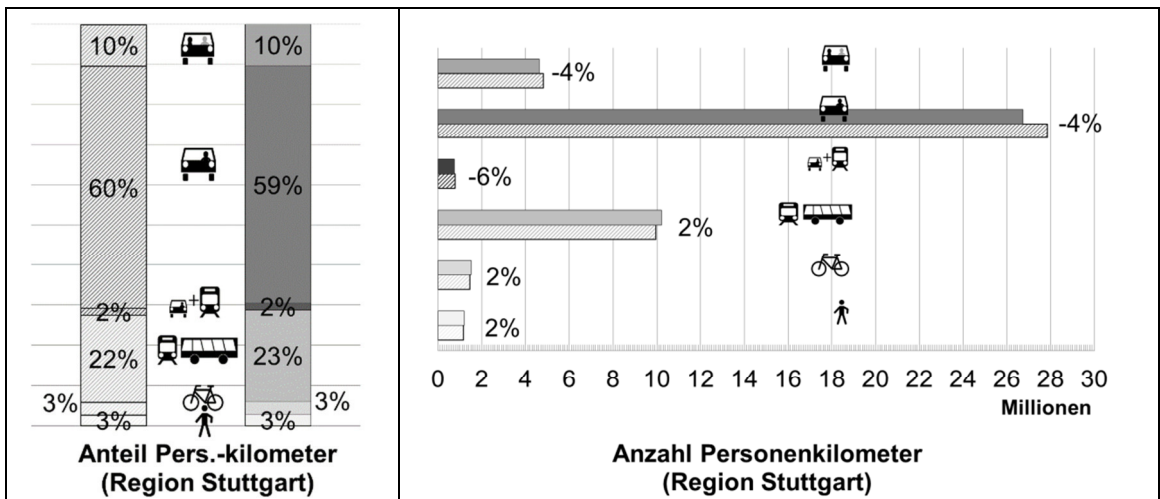


Abbildung 48: Personenkilometer je Modus (OP_T40)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus und Routenwahl

Abbildung 49, Abbildung 50 und Abbildung 51 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Für Pkw-VRS ergibt sich eine Abnahme der Fahrzeugkilometer in der Region um 3 % und in Stuttgart um 4 %. Ebenfalls nehmen die Fahrzeugkilometer des Pkw-Ex um 1 % ab. Die Änderungen der Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer resultieren allein aus der Routenwahl. Gleichzeitig verlagern sich Pkw- und Lkw-Fahrzeugkilometer von den untergeordneten Straßenklassen auf Autobahnen (vgl. Abbildung 50). Aufgrund der Geschwindigkeitsreduktion innerorts werden innerorts möglichst kurze Zufahrtswege bevorzugt. Für Straßen, die nicht als Routenalternativen zur Verfügung stehen sollen, müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden.

Durch den Maßnahmenfall nehmen die ÖV-VRS-Personenkilometer um 2 % in der Region und in Stuttgart zu. Diese verteilen sich auf alle ÖV-Verkehrsmittel. Die Anteile an der Gesamtzunahme veranschaulichen, dass in Stuttgart der grösste Anteil auf die U-Bahn und S-Bahn entfällt, in der Region auf die S-Bahn und den Zug (vgl. Abbildung 51, Angaben in Klammern).

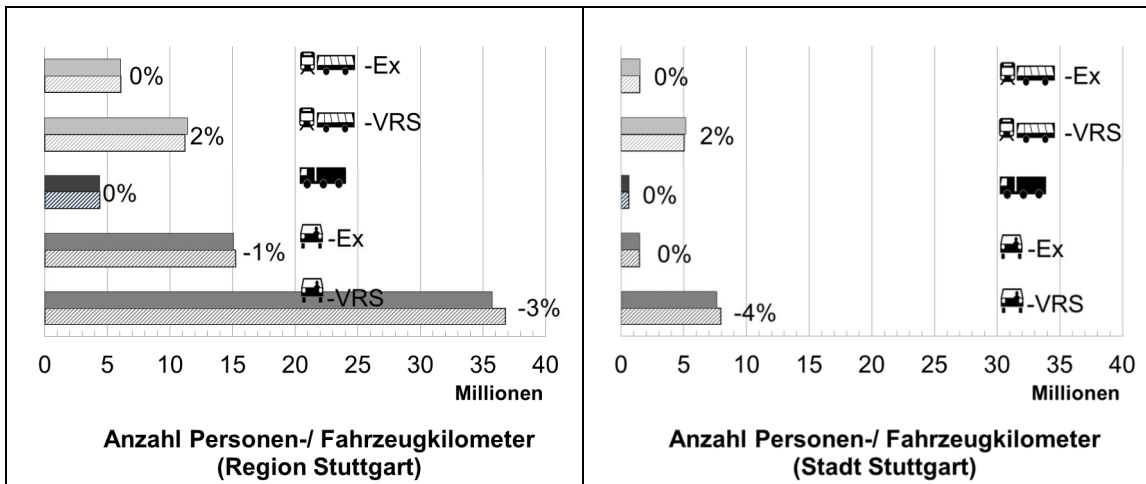


Abbildung 49: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (OP_T40)

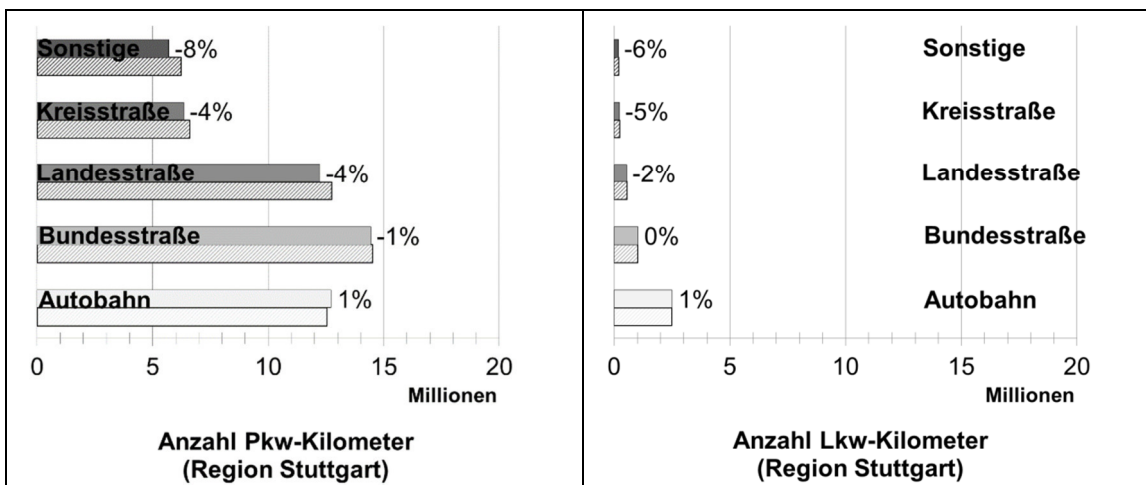


Abbildung 50: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (OP_T40)

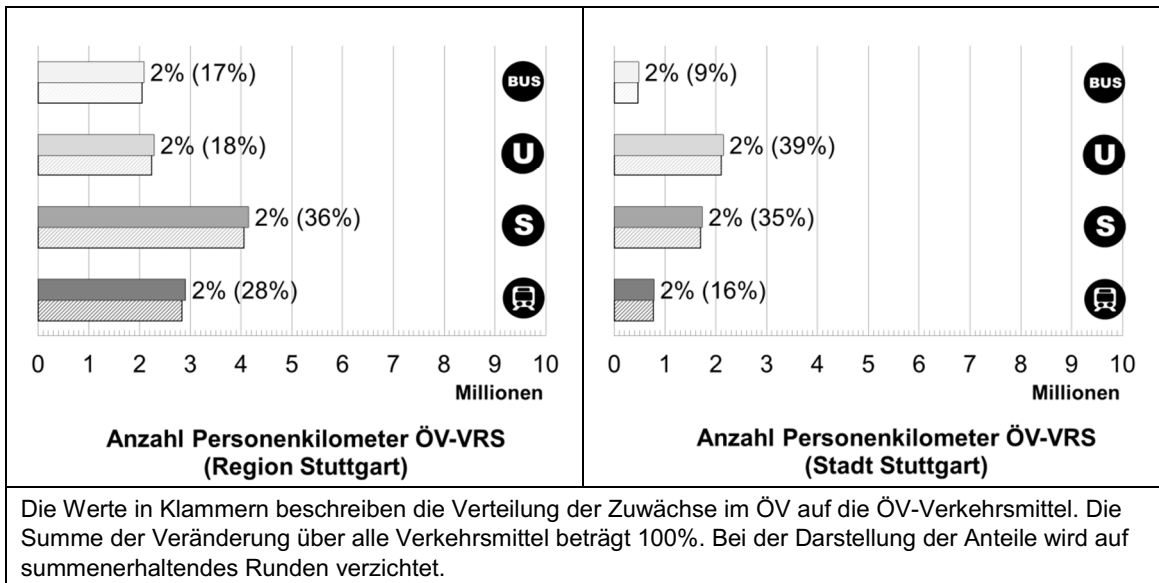


Abbildung 51: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (OP_T40)

Umweltwirkungen

Die Änderungen der Umweltkenngößen zum 0-Fall sind in Tabelle 21 dargestellt. In Stuttgart und der gesamten Region ist die Abnahme der Fahrzeugkilometer höher als die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs.

Durch die Geschwindigkeitsreduktion innerorts werden Städte und Gemeinden von betroffenen Verkehrsteilnehmern möglichst umfahren. Durch die Verlagerungen steigen die Fahrzeugkilometer auf Strecken mit Verkehrszustand Stop+Go. Dies führt zu einem Anstieg der durchschnittlichen Emissionen und Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer. Aus diesem Grund ist die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs geringer als die Abnahme der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-1 %	-2 %	-2 %	-1 %	-1 %	-2 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	-1 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 21: Umweltwirkungen (OP_T40)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, sind aber auf Streckenebene für den ÖV innerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität kaum messbar. Für den MIV liegen die Ergebnisse außerhalb der Modellungenauigkeiten und sind in der Realität messbar.

5.7.2 Durchfahrtsverbot in Stuttgart (OP_DV)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

In der Innenstadt von Stuttgart (Talkessel) wird ein Durchfahrtsverbot ohne zeitliche Einschränkung für Pkw und Lkw umgesetzt. Für die gesamte Stadt Stuttgart existiert im 0-Fall bereits ein Lkw-Durchfahrtsverbot. Ausgenommen vom Lkw-Durchfahrtsverbot sind die Bundesstraßen B10 und die B27 durch Zuffenhausen und Feuerbach sowie die Bundesstraßen B14 und B29 durch Bad-Cannstatt.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Aufgrund des Durchfahrtsverbotes muss der Durchgangsverkehr die Innenstadt umfahren, wodurch die Verkehrsbelastung in der Innenstadt zurückgeht und außerhalb zunimmt. Die Reisezeiten auf den Umfahungsstrecken steigen durch die höhere Verkehrsbelastung. Durch den verlagerten Durchgangsverkehr sinken die Fahrzeiten in der Innenstadt. Dies kann auf Quelle-Ziel-Beziehungen innerhalb der Innenstadt zu einer Verlagerung von allen anderen Modi hin zu Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer führen. Für Relationen, für die sich die Reisezeit aufgrund der belasteten Umfahungsstrecken erhöht, verliert der MIV an Attraktivität. Dies kann zu Verlagerungen von den Modi Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R mit Pkw-Teilweg hin zu allen anderen Modi führen. Die Verlagerungen hin zum ÖV werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Durch den vorliegenden Maßnahmenfall werden jedoch keine über die Kapazitätsbeschränkungen hinausgehenden Zuwächse aufgrund des kleinräumigen Durchfahrtsverbotes erwartet.

Aufgrund der bereits im 0-Fall vorhandenen großflächigeren Lkw-Durchfahrtsverbotszone ist nur dessen Binnenverkehr von der zusätzlichen Durchfahrtsverbotszone in der Innenstadt betroffen. Die Wirkungen auf den Lkw-Verkehr werden daher geringer sein als die Wirkungen auf den Pkw-Verkehr.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Das Modell bildet einen Zustand ab, bei dem das Durchfahrtsverbot eingehalten wird. Hierfür sind in der Praxis Kontrollen notwendig.

Die Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Der Maßnahmenfall wird durch Modifikation der Abbiegerwiderstände modelliert. Alle Abbieger in die Durchfahrtsverbotszone werden mithilfe eines benutzerdefinierten Attributs markiert (Wert = 1; übriger Wert = 0). Mit dem benutzerdefinierten Attribut

kann ein zusätzlicher Widerstand für alle Abbieger in die Durchfahrtsverbotszone in der Nutzenfunktion der Routenwahl berücksichtigt werden. Über den Widerstand wird ein Zeitzuschlag von 360.000 sek (≈ 100 h) mithilfe des benutzerdefinierten Attributs bei der Einfahrt in die Durchfahrtsverbotszone beaufschlagt. Die Durchfahrtsverbotszone verläuft in diesem Maßnahmenfall entlang von Verkehrszellengrenzen und es existieren keine Anbindungen zwischen den Verkehrszellen in der Durchfahrtsverbotszone und Knoten außerhalb der Durchfahrtsverbotszone. Soweit diese Anbindungen jedoch existieren, muss auf diesen ebenfalls ein Zeitzuschlag berücksichtigt werden, da ansonsten der Maßnahme über die Anbindungen ausgewichen werden könnte.

Bei der Routenwahl wird die Nachfrage der Relationen umgelegt. Die Quell- und Zielverkehrszelle ist hierbei fest vorgegeben. Die Durchfahrtsverbotszone ist ein geschlossener Kordon und auf allen Routen zur Verkehrszelle wird ein Zeitzuschlag berücksichtigt. Somit hat der Zeitzuschlag auf den Abbiegern keinen Einfluss auf die Routenwahl des Zielverkehrs. Für den Durchgangsverkehr gleicht der hohe Zeitzuschlag des 24 h-Modells in seiner Wirkung einem Verbot. Über die Rückkopplung und erneute Berechnung der Pkw-Kenngrößenmatrizen werden die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl bei der Reisezeitmatrix berücksichtigt. Die Berechnung der Reisezeitmatrix erfolgt auf der Basis des Widerstands, wobei nur die aktuelle Fahrzeit und nicht die zusätzlichen Abbiegerwiderstände der Durchfahrtsverbotszone berücksichtigt werden. Hierdurch bleibt die Innenstadt bei der Verkehrsziel- und Moduswahl für den Pkw weiterhin als Ziel attraktiv.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 52 und Abbildung 53 veranschaulichen die Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienentfernung und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Das lokale, für die Innenstadt von Stuttgart, angeordnete Durchfahrtsverbot bewirkt regional betrachtet nur signifikante Verlagerungen der Moduswahl für P+R (-1 % der Anzahl an Wegen).

Der Maßnahmenfall bewirkt jedoch Verlagerungen der Zielwahl. Die durchschnittliche Reiseweite der Pkw-Mitfahrer und Pkw-Selbstfahrer reduziert sich um 0,1 km und die Anzahl an Personenkilometern nimmt dadurch jeweils um 1 % ab. Auf den Modal-Split (Wege und Personenkilometer) wirken sich diese Änderungen nur im Nachkommastellenbereich aus.

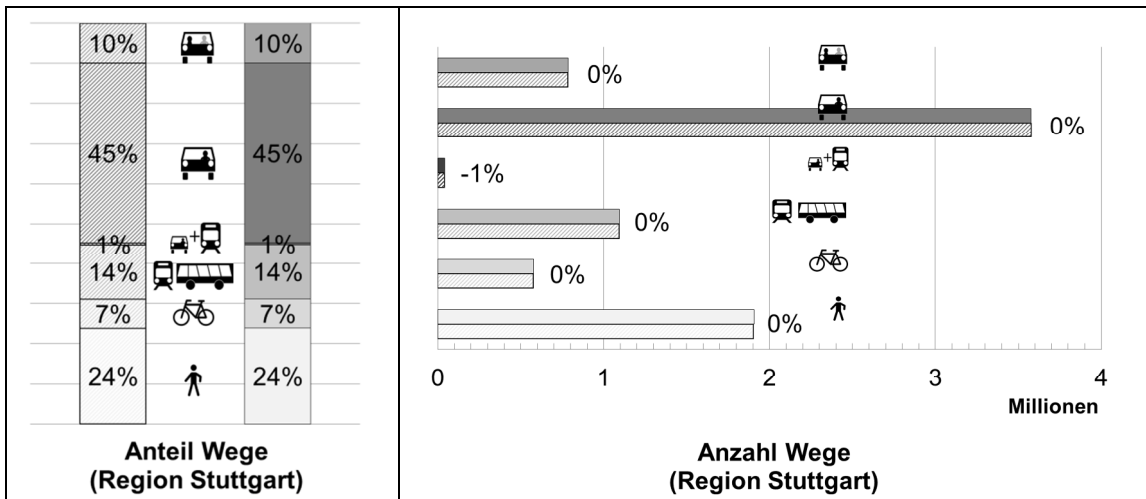


Abbildung 52: Wege je Modus (OP_DV)

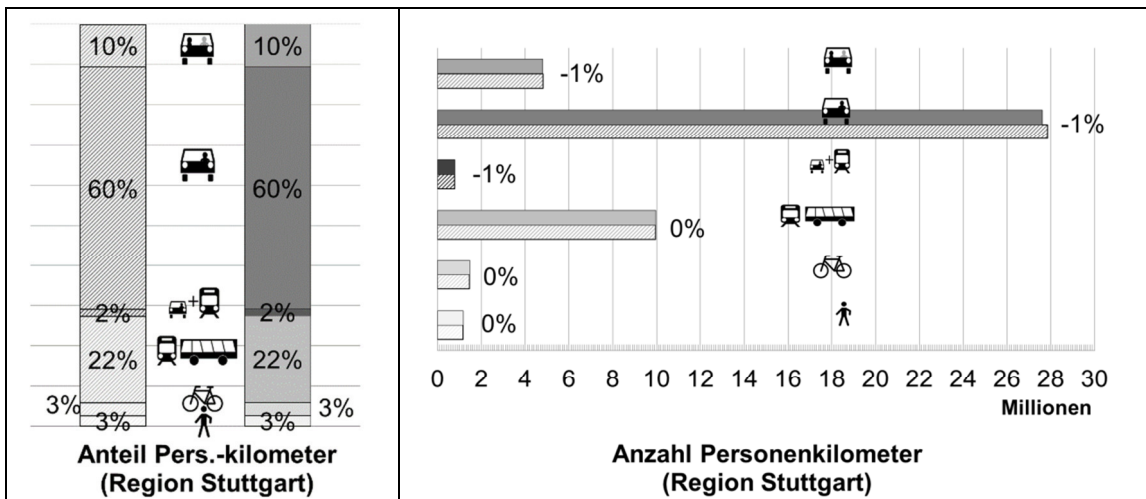


Abbildung 53: Personenkilometer je Modus (OP_DV)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus und Routenwahl

Die Abbildung 54, Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Das lokale, für die Innenstadt von Stuttgart, angeordnete Durchfahrtsverbot bewirkt eine Reduzierung der Lkw- / Pkw-Ex- und Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer in Stuttgart. Auf alternativen Routen außerhalb von Stuttgart nehmen die Belastungen zu. In der gesamten Region, welche Stuttgart einschliesst, führen die Umfahrungen nicht zu einer Zu- oder Abnahme der Kfz-Fahrzeugkilometer. Die Verteilungen der Pkw- und Lkw-Fahrzeugkilometer auf die einzelnen Straßenklassen ist in Abbildung 55 dargestellt. Die Umfahrungsrouten der Pkw führen über die Autobahn, was in einer Zunahme der Pkw-Fahrzeugkilometer auf Autobahnen und einer Abnahme der Pkw-Fahrzeugkilometer auf Bundesstraßen, welche in Stuttgart durch die Durchfahrtsverbotszone führen, resultiert.

Auf die Personenkilometer des ÖV hat die Maßnahme keinen Einfluss. Auch zwischen unterschiedlichen ÖV-Verkehrsmitteln kommt es zu keinen Verlagerungen (vgl. Abbildung 56).

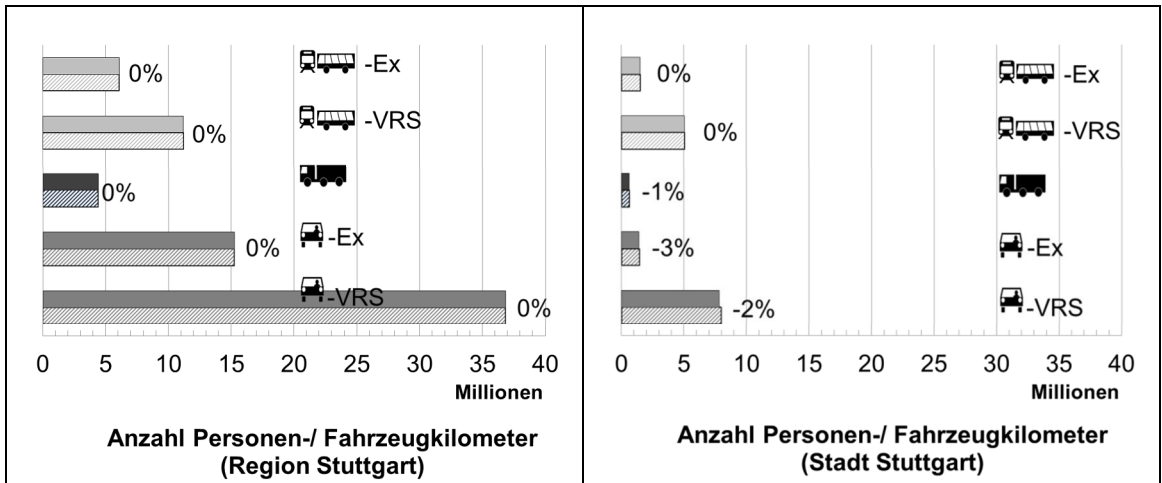


Abbildung 54: Personen-/Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (OP_DV)

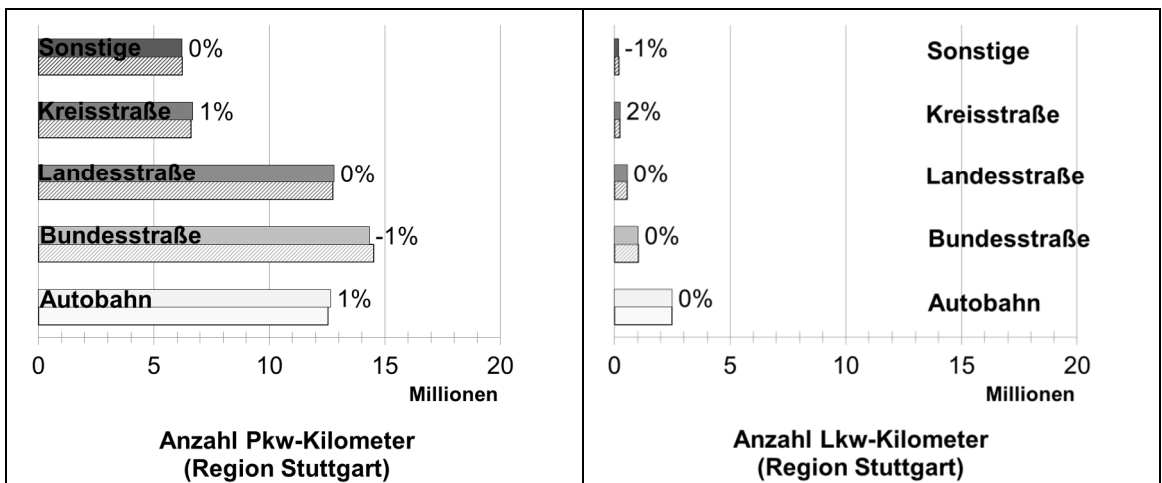


Abbildung 55: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (OP_DV)

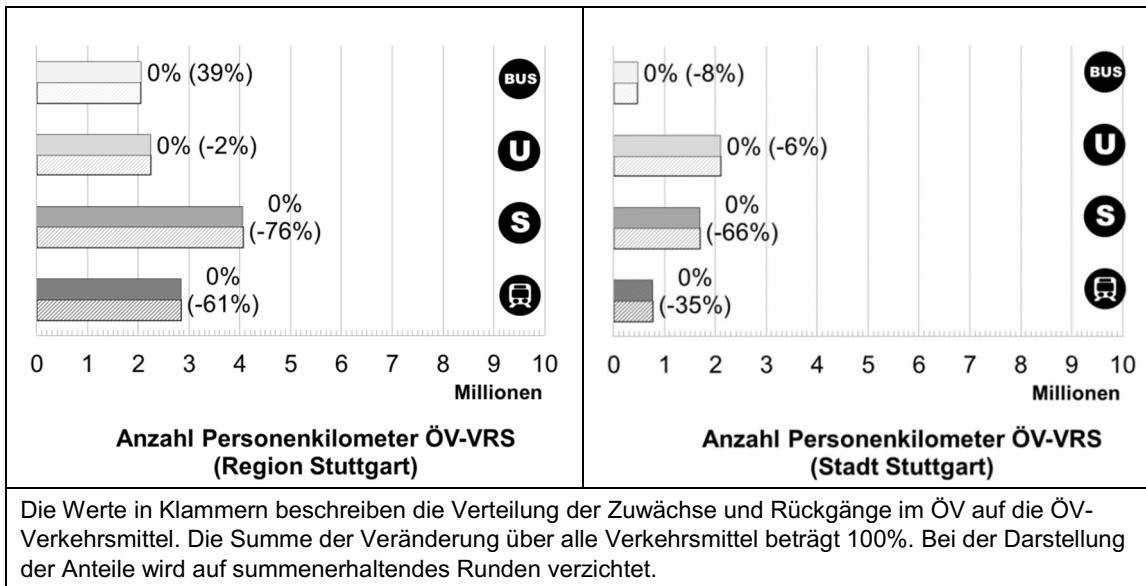


Abbildung 56: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (OP_DV)

Umweltwirkungen

Tabelle 22 zeigt die Wirkungen des Durchfahrtsverbotes auf die Umweltkenngößen. Die Umfahrungen bewirken eine Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs in Stuttgart. Die Reduktionswirkungen liegen zwischen 1 % bis 2 %. In der Region ändern sich die zurückgelegten Kfz-Fahrzeugkilometer nicht, dennoch steigen die Emissionen und der Energieverbrauch um 1 % bis 2 % an.

Durch die Verlagerungen entstehen demnach Kombinationen mit höheren Emissionen und Energieverbräuchen pro gefahrenem Kilometer, z. B. steigen die Fahrzeugkilometer auf Autobahnabschnitten im Umfeld der Stadt Stuttgart mit Verkehrszustand Stop+Go an. So können sich trotz unveränderten Kfz-Fahrzeugkilometern die Emissionen und der Energieverbrauch erhöhen.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-1 %	-2 %	-2 %	-2 %	-1 %	-2 %
Region Stuttgart	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	1 %

Tabelle 22: Umweltwirkungen (OP_DV)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden, liegen aber auf Streckenebene für den ÖV innerhalb der Modellungenauigkeiten und sind in der Realität kaum messbar. Für den MIV sind die Wirkungen in Stuttgart und Umfeld außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8 Maßnahmen der Preis- und Tarifpolitik

5.8.1 Parkraumbewirtschaftung in Stuttgart (PT_PB)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

In der Stadt Stuttgart wird die in Stuttgart-West und Mitte bestehende Parkraumbewirtschaftung ausgeweitet, so dass flächendeckend in Stuttgart Parkraumbewirtschaftung betrieben wird. Ausgenommen sind die äußeren Stadtbezirke Mühlhausen, Untertürkheim, Obertürkheim, Wangen, Hedelfingen, Sillenbuch, Birkach und Plieningen. In den hinzukommenden Gebieten wird ein Teil der Stellplätze für Kurzzeitparken ausgewiesen. Für Gebiete, in denen im Modell bereits im 0-Fall Parkraumbewirtschaftung umgesetzt ist, werden die Gebühren verdoppelt. Für alle neu hinzukommenden Gebiete werden die verdoppelten Gebühren des Gebiets Stuttgart-West übernommen. Die Gebühren sind nur von der Parkdauer und nicht von der Tageszeit abhängig. Anwohner sind durch Anwohnerparkberechtigungen von den Gebühren befreit.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Der öffentliche Parkraum wird für Besucher gebührenpflichtig. Parken für Anwohner ist gebührenfrei. Dadurch steigt der Widerstand auf Relationen mit Ziel im bewirtschafteten Gebiet, was zu einer Verlagerung vom Modi Pkw hin zu allen anderen Modi führt. Die Verlagerungen sind von der Zahlungsbereitschaft, der Parkdauer (abhängig vom Wegezweck), sowie vom privaten Stellplatzangebot, auf das ausgewichen werden kann, abhängig. Aufgrund der Ausweisung von Kurzzeitstellplätzen verringert sich das Stellplatzangebot. Die Verlagerungen hin zum ÖV und P+R werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Eine Änderung der Verkehrsmittelverfügbarkeit ist möglich.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird im Stuttgart-Modell mithilfe von Personengruppen abgebildet. Im Modell existieren Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Die ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit hingegen wird nicht abgebildet. Bei der Moduswahl wird zwischen ÖV-Monatsticket und ÖV-Einzelticket unterschieden. Ob diese Modellierungsvariante vergleichbare Wirkungsergebnisse erzielt wie eine zusätzliche Segmentierung der Personengruppen nach ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Mögliche Wirkungen auf die Pkw-Verfügbarkeit könnten durch Annahmen abgeschätzt und durch eine Anpassung der Einwohnerzuordnung zu den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit im Verkehrsnachfragemodell hinterlegt werden. Hierauf wird jedoch verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur zum Einfluss von Parkraummanagement auf die Pkw-Verfügbarkeit vorliegen.

Kapazitätsbeschränkungen im ÖV werden im Verkehrsnachfragemodell nicht abgebildet, da die implementierte fahrplanfeine Umlegung diese nicht berücksichtigt. Die Wirkungsberechnungen für den ÖV stellen daher ein Potential dar, für dessen Erreichen ggf. das ÖV-Angebot erhöht werden muss. Bei der Nachfrageberechnung des P+R werden Kapazitätsbeschränkungen der P+R-Anlagen ebenfalls nicht berücksichtigt und die Wirkungsberechnung stellt ebenfalls ein Potential dar.

Die Zahlungsbereitschaft ist im Verkehrsnachfragemodell durch die Personengruppen abgebildet. Die parkdauerabhängigen Gebühren werden über die Wegezwecke mit mittleren Aktivitätendauern abgebildet. Die Einflüsse privater Stellplatzangebote und Kontrollen finden über die Attribute „Parkdruck“ und „Bezahlparkeranteil“ Berücksichtigung. Beim Bezahlparkeranteil wird zusätzlich zwischen den Wegezwecken Arbeiten und anderen Wegezwecken (Einkaufen täglicher Bedarf, Einkaufen sonstiger Bedarf, persönliche Erledigungen, Besuch, Kultur und Sport) unterschieden. Die anderen Wegezwecke werden nachfolgend bei der Beschreibung der Modellierung als Wegezweck Sonstige bezeichnet. Das Attribut Parkdruck kann als Wahrscheinlichkeit einen freien Stellplatz in der Verkehrszelle zu finden interpretiert werden. Der Bezahlparkeranteil repräsentiert den Anteil des Besucherzielverkehrs, welcher die Parkgebühr bezahlt. Den Einfluss der Maßnahme auf diese Attribute kann nur über Annahmen abgeschätzt werden.

Kleinräumige Verlagerungen ins nahe Umfeld des bewirtschafteten Gebiets werden im Verkehrsnachfragemodell über Verlagerungen der Zielwahl abgebildet. Diese Verlagerungen implizieren einen Wechsel des Zielorts der Aktivität. Bei kleinräumigen Verlagerungen werden die Aktivitätenorte jedoch nicht gewechselt, sondern nur der Abstellort des Pkw, was zu längeren Zu- und Abgangszeiten führt. Dieses Verhalten kann mit dem Verkehrsnachfragemodell nicht abgebildet werden.

Die Befreiung der Anwohner von Gebühren wird über die Eigenschaften des Aktivitätenkettenmodells abgebildet. Das verwendete Teilmodell VISEM, das Aktivitätenketten erzeugt, berücksichtigt kein Rubberbanding, weshalb die Moduswahl auf Basis des ersten Teilweges der Aktivitätenkette stattfindet. Beim ersten Teilweg verlassen Anwohner das Gebiet und Gebühren fallen nur beim Abstellen des Fahrzeuges in dem Gebiet an (Zielverkehr). Die für den Zielverkehr anfallenden Gebühren haben dadurch keinen Einfluss auf die Moduswahl der Anwohner.

Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Im 0-Fall wird für die bewirtschafteten Verkehrszellen des Gebiets Stuttgart-West angenommen, dass Anwohner leichter einen Parkstand finden und dadurch tendenziell

häufiger Ihren Pkw nutzen und Besucher durch zeitlich gestaffelte Gebühren, Kontrollen und Ausweisung von Kurzzeitparkständen auf alternative Modi umsteigen. Diese Wirkungsannahme ist durch Anpassung des Parkdruckes für den Quell- und Zielverkehr, Anpassung der Parkgebühren und des Bezahlparkeranteiles berücksichtigt. Aufgrund der Unterscheidung des Parkdruckes für Quell- und Zielverkehr, wird durch eine Senkung des Parkdruckes für den Quellverkehr eine erhöhte Moduswahl der Pkw-Selbstfahrer unter den Anwohnern im bewirtschafteten Gebiet erreicht. Durch einen erhöhten Parkdruck für den Zielverkehr, angepasste Gebühren und Bezahlparkeranteile, wird für den Besucherverkehr eine Verlagerungen hin zu alternativen Modi oder alternativen Ziele erreicht. Anwohner starten ihren ersten Teilweg im bewirtschafteten Gebiet und Besucher außerhalb dieses Gebiets. Da die Moduswahl auf Basis des ersten Teilweges der Aktivitätenkette stattfindet, ist die Abbildung über den Parkdruck differenziert nach Quell- und Zielverkehr möglich. Der erhöhte Parkdruck beim Zielverkehr hat somit keinen Einfluss auf die Moduswahl der Anwohner, der gesenkte Parkdruck beim Quellverkehr keinen Einfluss auf die Moduswahl der Besucher.

Es wird pauschal angenommen, dass Parkraumbewirtschaftung in den neu hinzukommenden Gebieten nicht aufgrund des gesenkten Parkdruckes zu einer häufigeren Nutzung des Pkw durch Anwohner führt. Gestützt wird diese Annahme dadurch, dass in diesen Gebieten die Einwohnerdichte geringer und die Ausgangssituation nicht mit der des Gebiets Stuttgart-West identisch ist. Der Parkdruck für die Anwohner wird daher nicht reduziert.

Für den Zielverkehr wird, um den durch Reduktion des Stellplatzangebots für Langzeitparker entstehenden erhöhten Parkdruck abzudecken, der Parkdruck in den neu hinzukommenden Gebieten um 10 % erhöht. Die Bezahlparkeranteile werden, falls sie in Summe (Wegezweck Arbeit + Wegezweck Sonstige) niedriger sind als 80 %, auf 80 % angehoben. Dieser Wert ist geringer als im Gebiet Stuttgart-West, wo er bei 100 % (25 % beim Wegezweck Arbeit und 75 % beim Wegezweck Sonstige) liegt. In den neu hinzukommenden Gebieten wird die Ausweichmöglichkeit auf private Stellplatzangebote größer als im Gebiet Stuttgart-West eingeschätzt, weshalb die Bezahlparkeranteile niedriger angesetzt werden.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 57 und Abbildung 58 veranschaulichen die Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienentfernung und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung und die Gebührenerhöhung in allen Parkraumbewirtschaftungsgebieten in Stuttgart bewirken eine Verlagerung der von den

Gebühren betroffenen Pkw-Wege (Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer) hin zu allen anderen Modi. Die Anzahl an zurückgelegten Wegen reduziert sich beim Pkw-Selbstfahrer durch die Verlagerung um 5 % und beim Pkw-Mitfahrer um 2 %. Die Anzahl der P+R-Wege nimmt um 23 %, die der ÖV-Wege um 7 %, der Rad-Wege um 4 % und die der Fuß-Wege um 3 % zu. Diese Änderungen beeinflussen den Modal-Split auf Basis der Wege. Der Anteil Pkw-Selbstfahrer reduziert sich um 2 %-Punkte und die Anteile der Modi Fuß, Rad sowie ÖV erhöhen sich jeweils um 1 %-Punkt.

Die überproportionalen Zu- und Abnahmen der Personenkilometer im Vergleich zu den Wegen resultieren aus Änderungen der durchschnittlichen Reiseweite. Diese erhöht sich für Pkw-Mitfahrer-Wege um 0,1 km, für ÖV-Wege um 0,2 km und für P+R-Wege um 0,3 km. Die Änderungen der Anzahl an Wegen je Modi und die der durchschnittlichen Reiseweite beeinflussen den Modal-Split auf Basis der Personenkilometer. Der Anteil des Modus Pkw-Selbstfahrer reduziert sich um 2 %-Punkte und der Anteil des Modus ÖV erhöht sich um 2 %-Punkte.

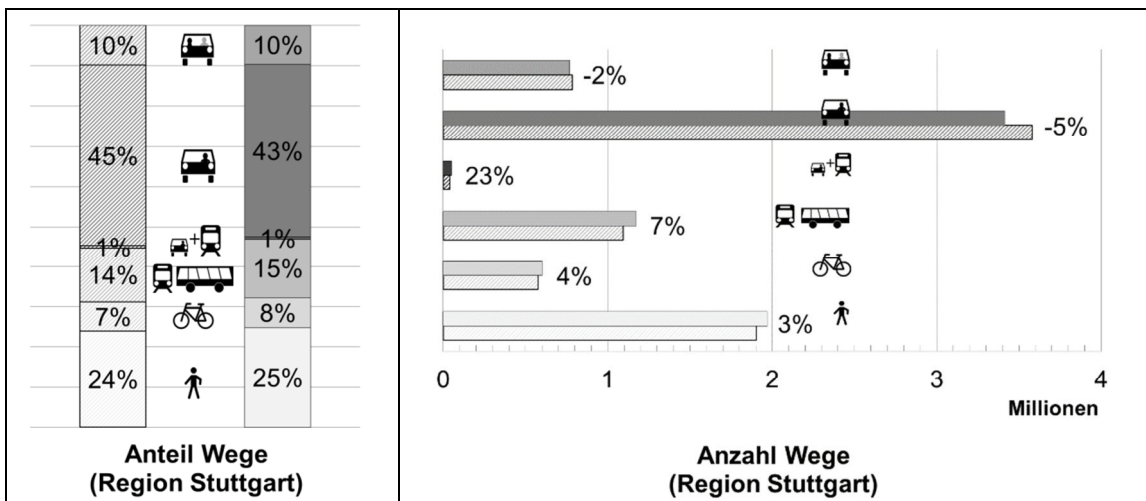


Abbildung 57: Wege je Modus (PT_PB)

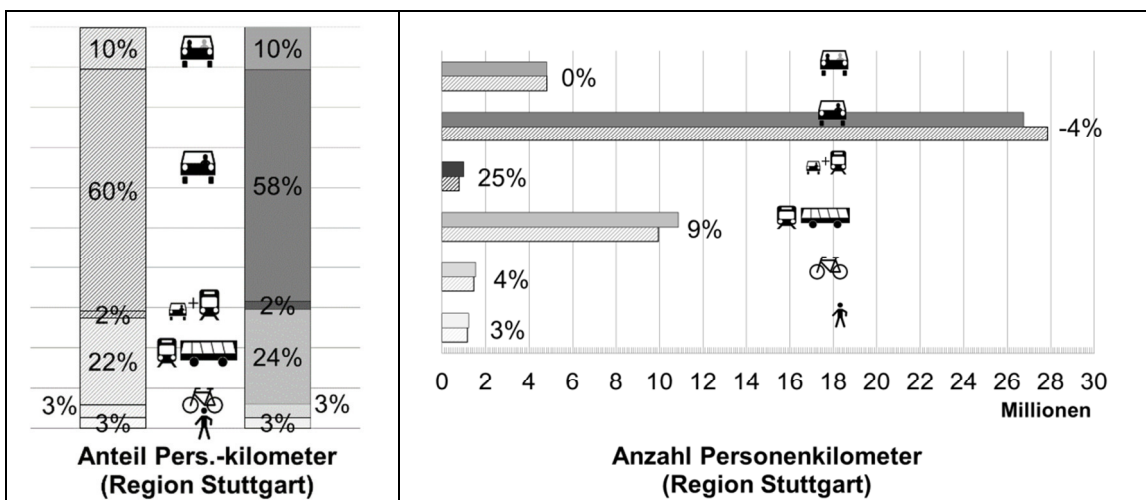


Abbildung 58: Personenkilometer je Modus (PT_PB)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 59, Abbildung 60 und Abbildung 61 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Der lokal angeordnete Maßnahmenfall bewirkt eine Abnahme der Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer in Stuttgart (-11 %) und der Region (-3 %) und eine Abnahme der Lkw- und Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer in Stuttgart. Durch die weniger belasteten Straßen in Stuttgart kommt es bei Pkw-Ex und Lkw zu Verlagerungen. Anstelle Stuttgart auf den angrenzenden Autobahnen zu umfahren, wird eine Route auf den Bundesstraßen durch Stuttgart gewählt (vgl. Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse in Abbildung 59). Aus diesem Grund nehmen die Fahrzeugkilometer des Pkw-Ex und Lkw in Stuttgart zu. Auf die Lkw- und Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer der Region Stuttgart (einschließlich Stuttgart) haben diese Verlagerungen keinen Einfluss.

Die ÖV-VRS-Personenkilometer nehmen durch den Maßnahmenfall in der Region um 9 % und in Stuttgart um 12 % zu. Diese verteilen sich in Stuttgart und der Region überwiegend auf die U-Bahn und S-Bahn (vgl. Abbildung 61).

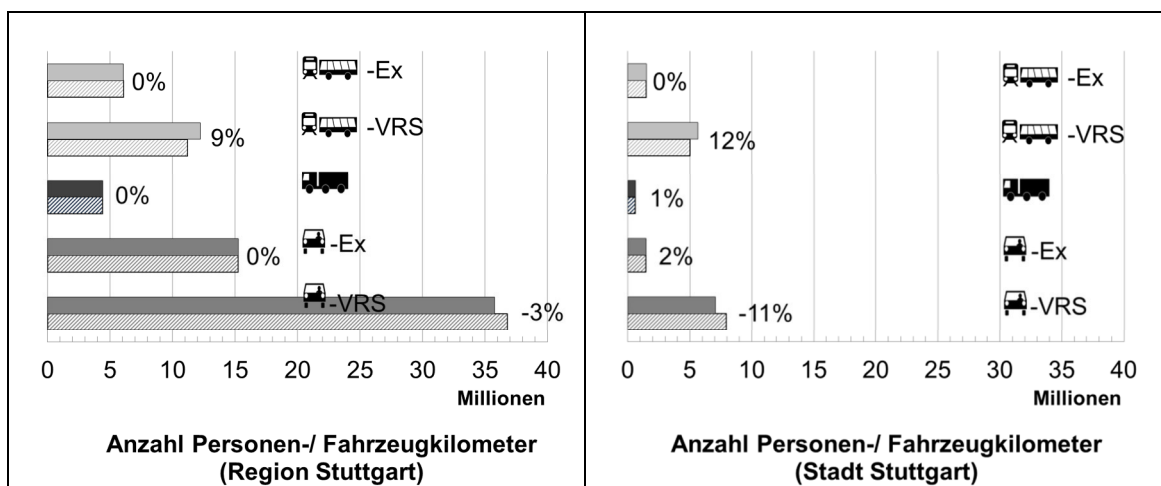


Abbildung 59: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_PB)

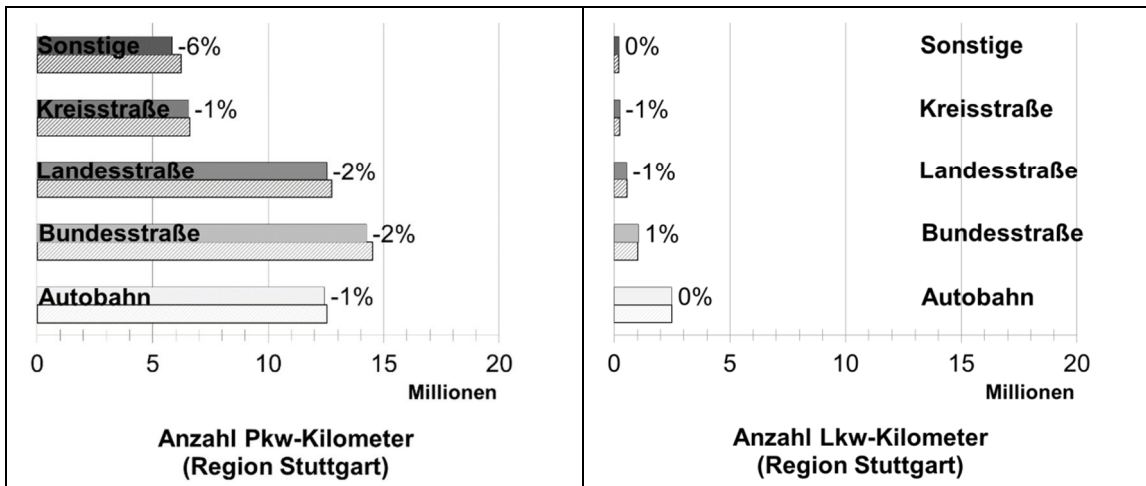
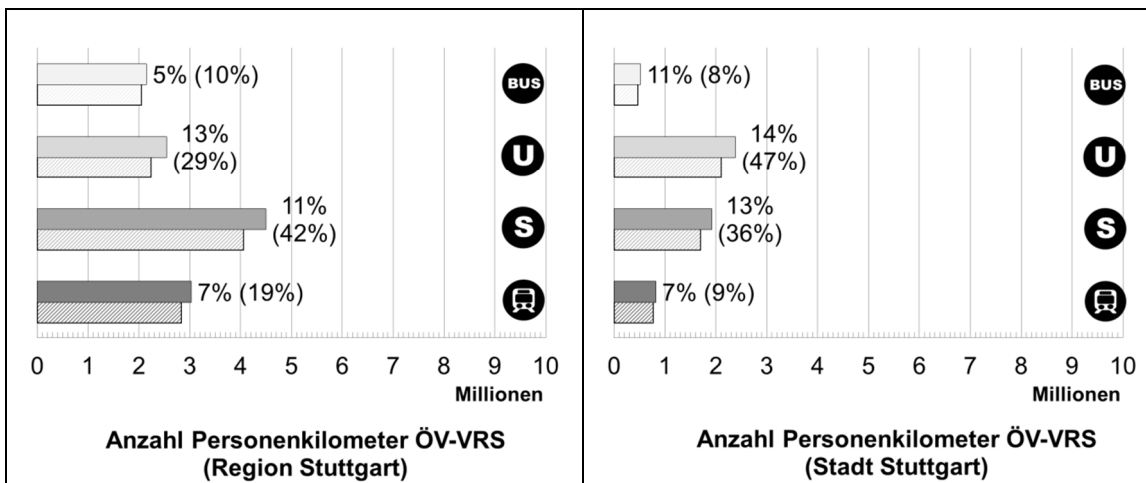


Abbildung 60: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Zuwächse im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 61: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_PB)

Umweltwirkungen

Tabelle 23 zeigt die Wirkungen der Parkraumbewirtschaftung auf die Umweltkenngrößen. Die Abnahmen der Umweltkenngrößen liegen in der Größenordnung der Abnahmen der Kfz-Fahrzeugkilometer in der Region und Stuttgart.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-7 %	-11 %	-10 %	-10 %	-9 %	-9 %
Region Stuttgart	-2 %	-3 %	-2 %	-3 %	-2 %	-2 %

Tabelle 23: Umweltwirkungen (PT_PB)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für den MIV in Stuttgart außerhalb der Modellungenauigkeiten und Wirkungen sind in der Realität in Stuttgart messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken in Stuttgart und dem nahen Umfeld außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.2 Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart (PT_GG_OZ)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Gebietsgebühr wird in Form einer City-Maut für die Innenstadt Stuttgart (Talkessel) umgesetzt. Jede Einfahrt mit dem Pkw wird tageszeitunabhängig mit einer Mautgebühr von 5 € bepreist. Es werden keine Tagestickets angeboten und die Anwohner des bemauteuten Gebiets sind von der Mautgebühr befreit. Die Mauterfassung erfolgt ohne Mautstationen mittels eines elektronischen Systems.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Durch die Gebietsgebühren erhöhen sich die Reisekosten für alle Ortsveränderungen mit Ziel im bemauteuten Gebiet. Dies führt zu Verlagerungen von den Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer hin zu allen anderen Modi inklusive dem Modi P+R. Der Modi P+R mit dem Pkw-Teilweg kann die Gebietsgebühr umgehen, da keine P+R-Anlage innerhalb des bemauteuten Gebiets liegt. Die Zuwächse des ÖV und P+R werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Ebenso führt die Gebietsgebühr zu Verlagerungen bei der Zielwahl und kann sich auch auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit auswirken, indem Pkw abgeschafft und / oder ÖV-Zeitkarten gekauft werden. Auch negative Neuverkehre werden als wahrscheinlich eingeschätzt. Mit Verlagerungen der Routenwahl durch Umfahrungen des bemauteuten Gebiets ist zu rechnen. Durch die elektronische Erhebung der Mautgebühren entstehen keine Rückstauungen. Durch eine tageszeitunabhängige Mautgebühr können zeitliche Verlagerungen ausgeschlossen werden.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Mit Ausnahme möglicher Änderungen der Verkehrsmittelverfügbarkeit, negativen Neuverkehren und den Kapazitätsbeschränkungen des ÖV und P+R können die Wirkungszusammenhänge / -vermutungen mit dem Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden.

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird im Stuttgart-Modell mithilfe von Personengruppen abgebildet. Im Modell existieren Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Die ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit hingegen wird nicht abgebildet. Bei der Moduswahl wird zwischen ÖV-Monatsticket und ÖV-Einzelticket unterschieden. Ob diese

Modellierungsvariante vergleichbare Wirkungsergebnisse erzielt wie eine zusätzliche Segmentierung der Personengruppen nach ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Mögliche Wirkungen auf die Pkw-Verfügbarkeit könnten durch Annahmen abgeschätzt und durch eine Anpassung der Einwohnerzuordnung zu den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit im Verkehrsnachfragemodell hinterlegt werden. Hierauf wird jedoch verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur vorliegen.

Zur Abbildung der negativen Neuverkehre ist es möglich, die statischen Mobilitätsraten im Modell anzupassen. Hierauf wird aufgrund fehlender vergleichbarer empirischer Werte aus der Literatur ebenfalls verzichtet.

Kapazitätsbeschränkungen im ÖV werden im Verkehrsnachfragemodell nicht abgebildet, da die implementierte fahrplanfeine Umlegung diese nicht berücksichtigt. Die Wirkungsberechnungen für den ÖV stellen daher ein Potential dar, für dessen Erreichen ggf. das ÖV-Angebot erhöht werden muss. Bei der Nachfrageberechnung des P+R werden Kapazitätsbeschränkungen der P+R-Anlagen ebenfalls nicht berücksichtigt.

Die Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Die Gebietsgebühren werden über eine Matrix in der Nutzenfunktion der Verkehrsziel- und Moduswahl berücksichtigt. Für alle Relationen mit Zielverkehrszelle innerhalb des bemauteuten Gebiets wird die Gebietsgebühr von 5 € hinterlegt. Die Mautgebührenmatrix wird zur Fahrtkostenmatrix addiert und auf diese Weise in der Nutzenfunktion berücksichtigt.

Der Einfluss auf die Routenwahl wird durch Abbiegerwiderstände, die in die Nutzenfunktion einfließen, realisiert. Die Mautgebühren von 5 € werden mit einem VOT von in Zeiteinheiten umgerechnet. IMMISCH (2008) verwendet auf Grundlage einer Literaturlauswertung einen VOT von 6,40 € für Pendler und 4,50 € für sonstige Wegezwecke für die City-Maut-Berechnungen in Dresden. VRTIC ET AL. (2007) ermitteln einen VOT von ca. 8 € / Stunde für Mautgebühren anhand von Bürgerbefragungen in der Schweiz. Auf dieser Grundlage wird für die Berechnungen in Stuttgart ein VOT von 7 € / Stunde angesetzt.

Der in die Nutzenfunktion für den Pkw eingehende Abbiegerwiderstand berechnet sich wie folgt:

$$w_{ijmr} = 100.000 (t_{akt} + VOT \cdot Maut) \quad \text{Formel 29}$$

mit:

W_{ijmr} : Abbiegerwiderstand zwischen der Quellzelle i und Zielzelle j für den Pkw auf der Route r [s]

t_{akt} : Fahrzeit im belasteten Netz [s]

VOT : Value of Time [s/€]

$Maut$: Mautbetrag [€]

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die Anzahl an Wegen nimmt durch den Maßnahmenfall für Pkw-Selbstfahrer um 2 % ab, hingegen für P+R um 7 %, für ÖV um 3 %, und für Fuß sowie Rad um jeweils 1 % zu. Auf die Anzahl an Wegen der Pkw-Mitfahrer hat die Gebietsgebühr in der Innenstadt von Stuttgart keine signifikanten Wirkungen. Dies liegt nicht daran, dass das Verkehrsnachfragemodell die Wirkungen nicht abbilden kann, was durch die Betrachtung der nachfolgenden Maßnahme verdeutlicht wird. Der Maßnahmenfall, durch den die Gebietsgebühren auf die Mittelzentren der Region ausgeweitet werden, zeigt signifikante Wirkungen auf Pkw-Mitfahrer. Durch die beschriebenen Änderungen der Anzahl an Wegen reduziert sich der Anteil des Pkw-Selbstfahrers beim Modal-Split (Wege) um 1 % -Punkt.

Eine überproportionale Änderung der Personenkilometer im Vergleich zur Änderung der Anzahl an Wegen resultiert aus einer Änderung der durchschnittlichen Reiseweite. Diese nimmt für Pkw-Selbstfahrer um 0,2 km und für Pkw-Mitfahrer um 0,1 km ab, hingegen für P+R um 0,3 km sowie für ÖV um 0,1 km zu. Die Änderungen der durchschnittlichen Reiseweite und der Anzahl an Wegen je Modi wirken auf den Modal-Split auf Basis der Personenkilometer. Der Anteil des Pkw-Mitfahrers und ÖV erhöht sich um 1 % -Punkt, hingegen nimmt der Anteil des Pkw-Selbstfahrers um 1 % -Punkt ab. Die Abnahme der Personenkilometer des Pkw-Selbstfahrers bei gleichzeitiger Zunahme des Anteils am Modal-Split im Maßnahmenfall ist möglich, da im Maßnahmenfall auch in der Summe aller Modi weniger Personenkilometer zurückgelegt werden.

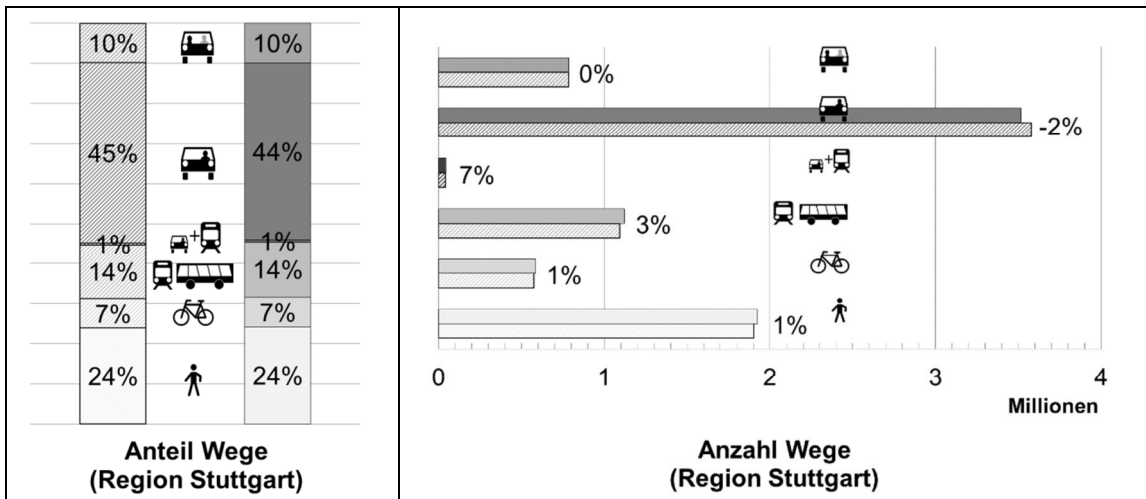


Abbildung 62: Wege je Modus (PT_GG_OZ)

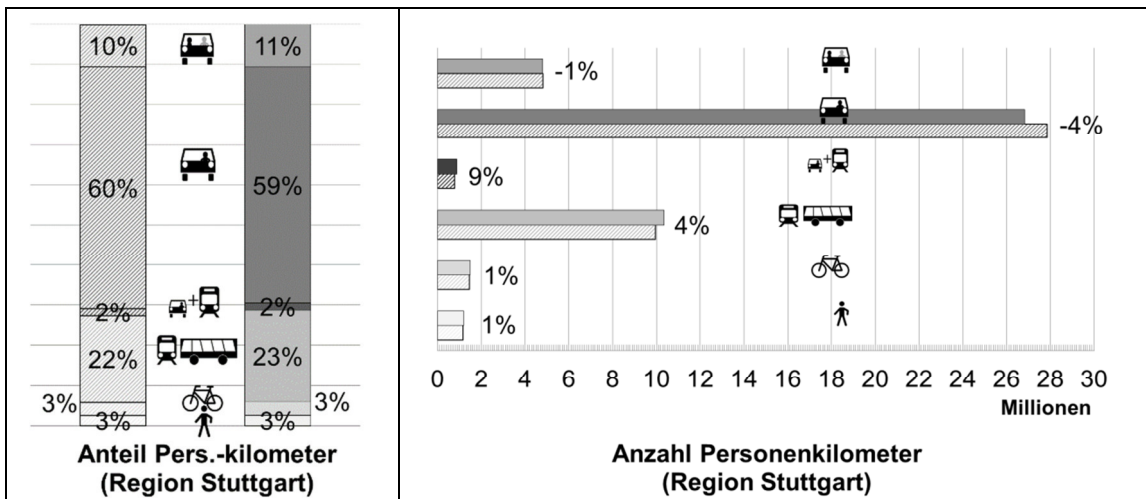


Abbildung 63: Personenkilometer je Modus (PT_GG_OZ)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 64, Abbildung 65 und Abbildung 66 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer nehmen in der Region um 2 % und in Stuttgart um 10 % ab. Die Fahrzeugkilometer gehen aufgrund der Gebietsgebühr in der Innenstadt von Stuttgart stärker als in der Region zurück. In Stuttgart bewirkt die Gebietsgebühr auch Änderungen der Fahrzeugkilometer des Pkw-Ex und Lkw. Die Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer gehen um 2 % zurück während die Lkw-Fahrzeugkilometer um 1 % zunehmen. Durch die geringere Pkw-Belastung in der Innenstadt wählen Lkw häufiger eine Route auf den Bundesstraßen durch die Innenstadt, anstelle auf den Autobahnen Stuttgart zu umfahren (vgl. Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse in Abbildung 65). Die von der Maut betroffenen Pkw (Pkw-VRS und Pkw-Ex) tendieren im Gegenzug dazu, Stuttgart auf den Autobahnen zu umfahren (vgl. Pkw-Fahrzeugkilometer je

Straßenklasse in Abbildung 65). Bezogen auf die Region hat die Änderung der Routenwahl keinen Einfluss auf die Lkw- und Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer.

In Stuttgart und der Region nehmen die Personenkilometer des ÖV-VRS um jeweils 4 % zu. Die zusätzlichen ÖV-VRS Personenkilometer werden überwiegend mit den Schienenverkehrsmitteln (U-Bahn, S-Bahn, Zug) zurückgelegt (vgl. Abbildung 66).

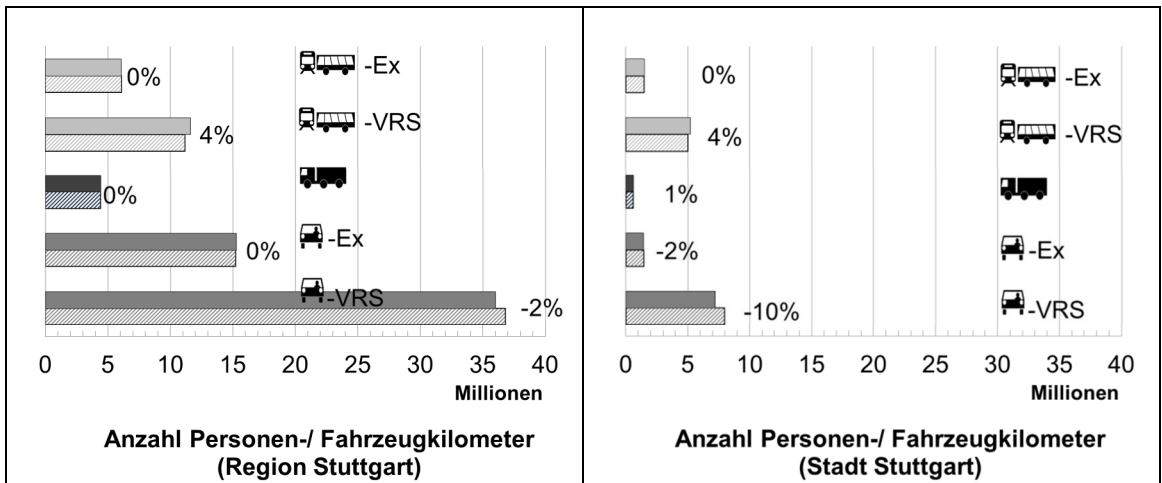


Abbildung 64: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_GG_OZ)

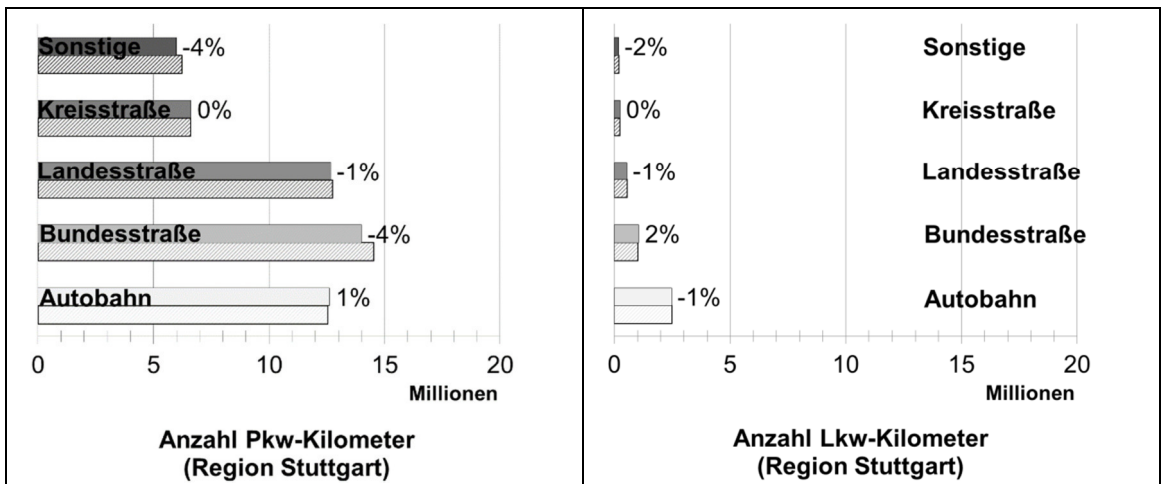


Abbildung 65: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_GG_OZ)

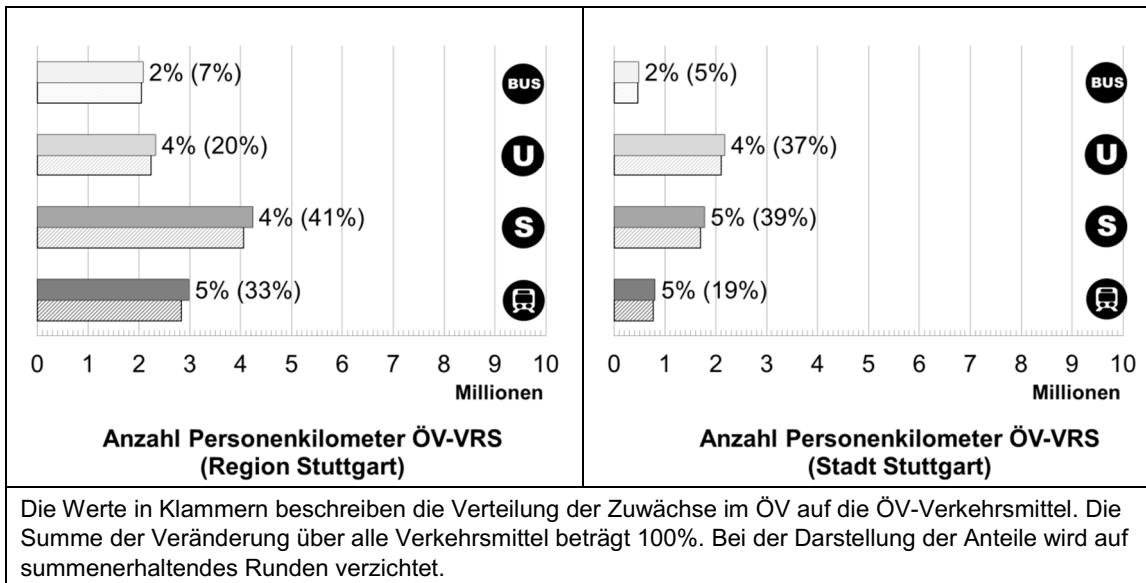


Abbildung 66: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_GG_OZ)

Umweltwirkungen

Die Änderung der Umweltkenngößen ist in Tabelle 24 dargestellt. Durch die geringere Abnahme der Fahrzeugkilometer in der Region ist die Reduktion der Emissionen und des Energieverbrauchs geringer als in der Stadt Stuttgart. In Stuttgart selbst ist die Abnahme der Fahrzeugkilometer höher als die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs.

Die Gebietsgebühr führt zur Abnahme und Verlagerungen der Fahrzeugkilometer. Diese werden auf Strecken verlagert, auf denen durch die Kombination der Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuchen pro gefahrenem Kilometer produziert werden als dies durchschnittlich der Fall ist. Hierzu zählen z. B. Streckenabschnitte der Bundesstraßen mit Verkehrszustand Stop+Go. Gleichzeitig können durch die Verlagerungen Kombinationen mit höheren Emissionen / Energieverbräuchen pro gefahrenem Kilometer entstehen, indem sich der Verkehrszustand aufgrund steigender Auslastung erhöht. Außerhalb des Mautgebiets erhöhen sich z. B. die Streckenabschnitte mit Verkehrszustand Stop+Go. Aus diesem Grund sind die Reduktionen der Umweltkenngößen in Stuttgart geringer als die Reduktion der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-4 %	-7 %	-7 %	-7 %	-6 %	-6 %
Region Stuttgart	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %

Tabelle 24: Umweltwirkungen (PT_GG_OZ)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für MIV in Stuttgart und Umgebung außerhalb der Modellungenauigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken zwischen Stuttgart und Ludwigsburg sowie Fellbach außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.3 Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart und Mittelzentren (PT_GG_MZ)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Gebietsgebühr wird in Form einer City-Maut für die Innenstadt Stuttgart (Talkessel) sowie für die Innenstädte der Mittelzentren innerhalb der Region Stuttgart umgesetzt. Jede Einfahrt mit dem Pkw wird tageszeitunabhängig mit einer Mautgebühr von 5 € bepreist. Es werden keine Tagestickets angeboten und die Anwohner des bemauteuten Gebiets sind von der Mautgebühr befreit. Die Mauterfassung erfolgt ohne Mautstationen mittels eines elektronischen Systems.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Analog zu Maßnahme 5.8.2.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Analog zu Maßnahme 5.8.2.

Modellierung

Analog zu Maßnahme 5.8.2 mit Ausnahme der Berechnung der Mautmatrix. Die Stadt Stuttgart ist in 512 Verkehrszellen aufgeteilt. Die Verkehrszellen haben hier die Größe von Baublöcken. Bei der Berechnung der Mautmatrix werden alle Relationen mit Zielverkehrszelle in dem bemauteuten Gebiet bepreist. In Stuttgart entspricht, durch die kleinen Verkehrszellen auf Baublockebene, die räumliche Begrenzung der Verkehrszellen der des Mautgebiets. In der Region bestehen Städte und Gemeinde aber aus wenigen Verkehrszellen. Hier ist die Innenstadt in den meisten Fällen Teil einer großen Verkehrszelle und nicht alle Ortsveränderungen mit Ziel in dieser Verkehrszelle fahren in die Innenstadt ein. Um dies zu berücksichtigen wird für alle Quelle-Ziel-Relationen mit Ziel in der betroffenen Verkehrszelle die Mautgebühr von 5 € mit dem Flächenanteil der bemauteuten Innenstadt an der Siedlungsfläche gewichtet. Durch diese Vorgehensweise wird bei der Zielwahl die Maßnahme nicht überbewertet.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 67 und Abbildung 68 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Durch den Maßnahmenfall reduziert sich die Anzahl der Wege des Pkw-Selbstfahrer um 6 % und des Pkw-Mitfahrer um 3 %. Die Wege werden auf die Modi P+R (+109 %), ÖV (+6 %), Rad (+6 %) und Fuß (+5 %) verlagert. P+R-Anlagen, welche in bemauteeten Verkehrszellen der Mittelzentren liegen, werden weniger oder teilweise nicht mehr genutzt und stattdessen umliegende angefahren. Die Zunahme von 109 % führt somit zu Überlastungen einiger P+R-Anlagen und stellt daher ein Potential dar, für dessen Erreichung das P+R-Angebot ausgebaut werden muss. Durch die beschriebenen Zu- und Abnahmen nimmt beim Modal-Split (Wege) der Anteil Pkw-Selbstfahrer um 3 %-Punkte ab, der Anteil Fuß und Rad hingegen jeweils um 1 %-Punkt zu.

Eine zur Änderung der Wege überproportionale Änderung der Personenkilometer resultiert aus einer Änderung der durchschnittlichen Reiseweite. Diese reduziert sich für die Modi Pkw-Mitfahrer, Pkw-Selbstfahrer und P+R um 0,2 km, 0,4 km respektive 3,3 km. Die Verlagerung von Wegen mit Quelle im Umland der Mittelzentren und Ziel in bemauteeten Verkehrszellen der Mittelzentren hin zum Modus P+R führt dazu, dass auch kürzere Wege mit dem Modus P+R durchgeführt werden und die mittlere Reiseweite sinkt. Die durchschnittliche Reiseweite des ÖV erhöht sich um 0,2 km. Die Änderung der Anzahl an Wegen je Modi und der durchschnittlichen Reiseweite wirken sich auf den Modal-Split (Personenkilometer) aus. Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 4 %-Punkte und der ÖV-Anteil erhöht sich um 2 %-Punkte, P+R sowie Rad nehmen jeweils 1 %-Punkt zu.

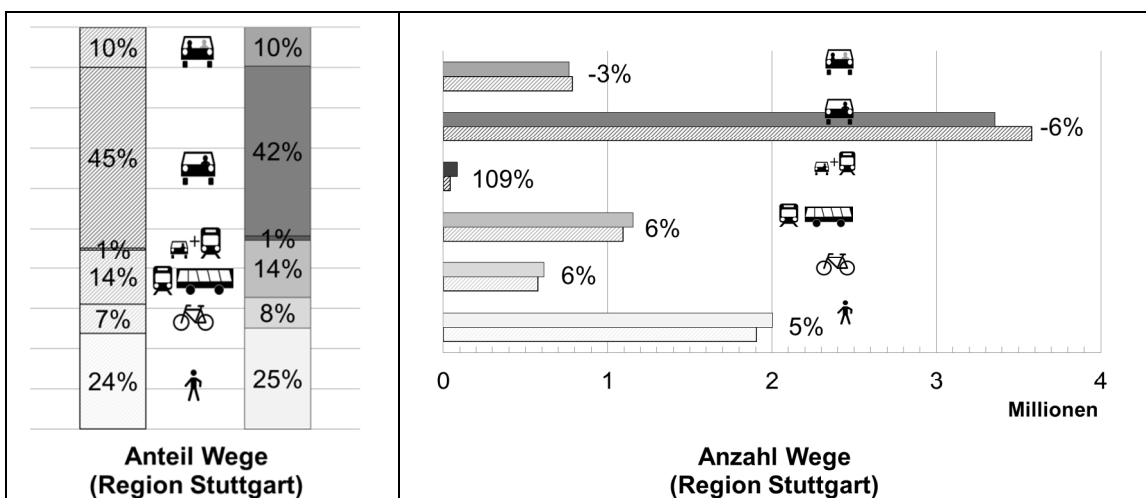


Abbildung 67: Wege je Modus (PT_GG_MZ)

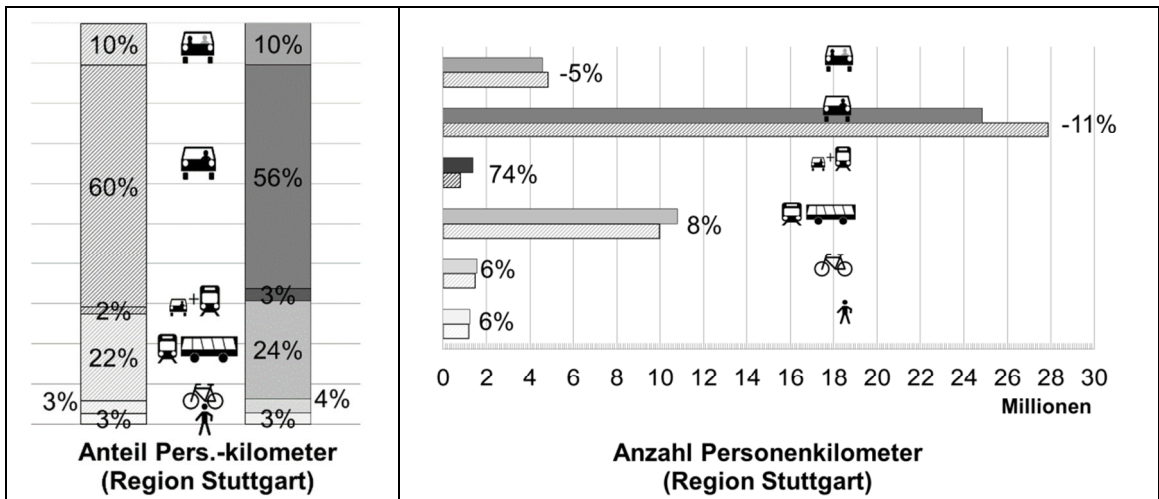


Abbildung 68: Personenkilometer je Modus (PT_GG_MZ)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 69, Abbildung 70 und Abbildung 71 veranschaulichen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer nehmen in der Region um 4 % und in Stuttgart um 11 % ab. Die beauftragten Innenstädte werden umfahren. Die Innenstadt von Stuttgart wird auf den außerhalb von Stuttgart liegenden Autobahnen umfahren, weshalb die Wirkungen in Stuttgart höher als in der Region sind. Ebenfalls reduzieren sich die Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer in Stuttgart um 1 %, erhöhen sich hingegen in der Region um 1 %. Ursächlich hierfür ist ebenfalls die Umfahrung der Innenstädte aufgrund der Maut. Hierdurch nehmen die Pkw-Fahrzeugkilometer auf den Autobahnen und Kreisstraßen zu und auf den Straßenklassen Sonstige, Landesstraßen und Bundesstraßen ab (vgl. Abbildung 70).

Die Lkw-Fahrzeugkilometer ändern sich in Stuttgart und der Region nicht. Jedoch ändern sich die Routen im Lkw-Verkehr. Die der Maut nicht unterliegenden Lkw bevorzugen Routen durch die für Pkw beauftragten Innenstädte. Dadurch reduzieren sich gleichzeitig die Lkw-Fahrzeugkilometer auf den Autobahnen (vgl. Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse in Abbildung 70).

Die ÖV-VRS Personenkilometer erhöhen sich durch Verlagerungen hin zum Modus ÖV um 8 % in Stuttgart und 9 % in der Region. Die Erhöhungen entfallen zum größten Teil auf die schnelleren Schienenverkehrsmittel (vgl. Abbildung 71).

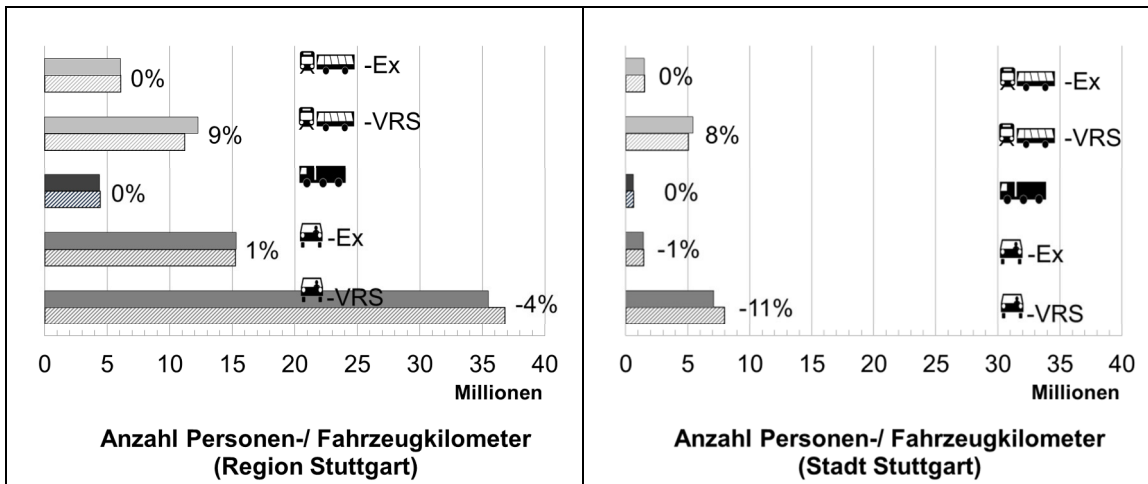


Abbildung 69: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_GG_MZ)

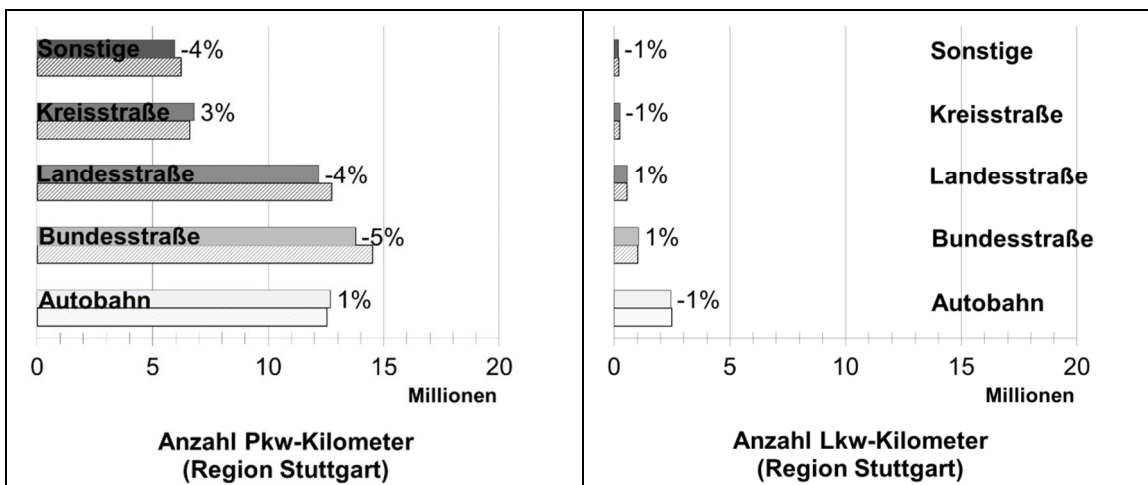
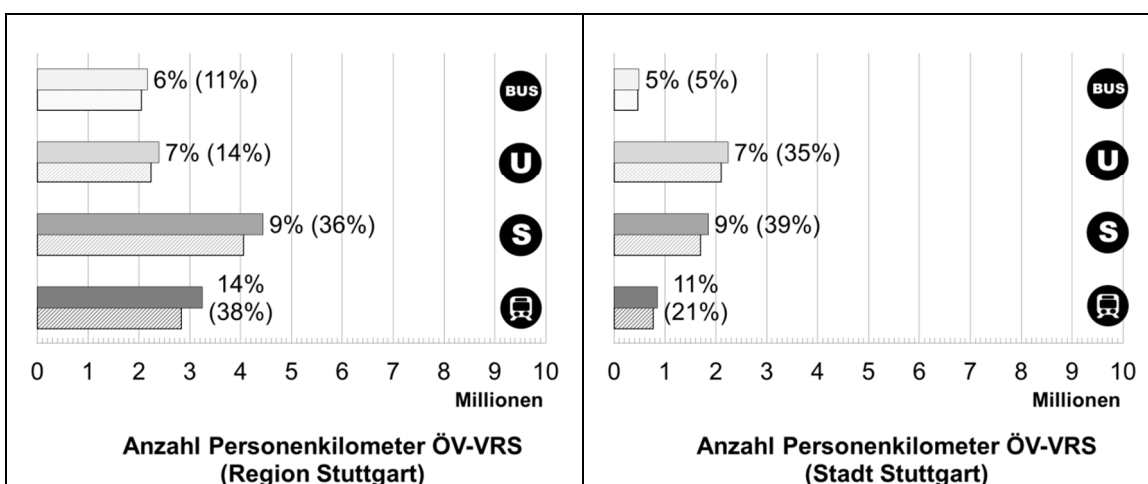


Abbildung 70: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_GG_MZ)



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Zuwächse im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 71: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_GG_MZ)

Umweltwirkungen

Die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen werden in Tabelle 25 aufgezeigt. Die im Vergleich zur Region stärkere Reduktion der Fahrzeugkilometer in Stuttgart resultiert in einer stärkeren Reduktion der Abgasemissionen und des Energieverbrauchs in Stuttgart als in der Region. In Stuttgart und in der gesamten Region ist die Abnahme der Fahrzeugkilometer größer als die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs.

Die Gebietsgebühr führt zu einer Abnahme und Verlagerung der Fahrzeugkilometer. Diese werden auf Strecken verlagert, auf denen durch die Kombination der Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer produziert werden als dies durchschnittlich der Fall ist. Hierzu zählen z. B. Streckenabschnitte der Bundesstraßen und Autobahnen mit Verkehrszustand Stop+Go. Gleichzeitig können durch die Verlagerungen Kombinationen mit höheren Emissionen / Energieverbräuchen pro gefahrenem Kilometer entstehen, indem sich der Verkehrszustand aufgrund steigender Auslastung erhöht. Außerhalb der Mautgebiete erhöhen sich z. B. die Streckenabschnitte mit Verkehrszustand Stop+Go. Aus diesem Grund sind die Reduktionen der Umweltkenngößen in Stuttgart und der gesamten Region geringer als die Reduktion der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-5 %	-8 %	-7 %	-7 %	-6 %	-6 %
Region Stuttgart	-1 %	-1 %	-1 %	-2 %	0 %	-1 %

Tabelle 25: Umweltwirkungen (PT_GG_MZ)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für MIV in der Region außerhalb der Modellungenaugigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität dort messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken zwischen Stuttgart und den Mittelzentren außerhalb der Modellungenaugigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.4 Netzgebühren für die Region Stuttgart (PT_NG)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Netzgebühren werden in Form einer Regio-Maut für den Pkw eingeführt. Für alle Straßen innerhalb der Region Stuttgart werden tageszeitunabhängige, streckentypabhängige Gebühren für die Nutzung erhoben. Die Nutzung der Bundesautobahn ist

gebührenfrei, innerorts wird eine Gebühr von 15 Ct / km und außerorts 5 Ct / km erhoben. Die Gebühren der Regio-Maut werden mit elektronischen Systemen erfasst.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Durch die Netzgebühren erhöhen sich die Reisekosten für alle mit dem Pkw durchgeführten Ortsveränderungen und führen zu Verlagerungen von den Modi Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R mit Pkw-Teilweg hin zu allen anderen Modi. Verlagerungen hin zum ÖV werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Räumlich nahe Ziele gewinnen an Attraktivität und bei der Routenwahl steigt die Attraktivität der gebührenfreien Bundesautobahn, wohingegen die Attraktivität der gebührenpflichtigen Straßenklassen sinkt. Außerörtliche Straßen werden aufgrund der niedrigeren Gebühren den innerörtlichen Straßen vorgezogen. Die zusätzlichen Gebühren für die Nutzung des Straßenverkehrsnetzes können Änderungen der Verkehrsmittelverfügbarkeit, wie z. B. Abschaffung von Pkw oder Kauf von ÖV-Zeitkarten, bewirken. Auch negative Neuverkehre werden als wahrscheinlich eingeschätzt. Durch die elektronische Erhebung der Mautgebühren werden keine Rückstauungen entstehen. Durch eine tageszeitunabhängige Mautgebühr können zeitliche Verlagerungen ausgeschlossen werden.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Mit Ausnahme möglicher Änderungen der Verkehrsmittelverfügbarkeit, negativen Neuverkehren und Kapazitätsbeschränkungen im ÖV können die Wirkungszusammenhänge / -vermutungen mit dem Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden.

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit wird im Stuttgart-Modell mithilfe von Personengruppen abgebildet. Im Modell existieren Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Die ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit hingegen wird nicht abgebildet. Bei der Moduswahl wird zwischen ÖV-Monatsticket und ÖV-Einzelticket unterschieden. Ob diese Modellierungsvariante vergleichbare Wirkungsergebnisse erzielt wie eine zusätzliche Segmentierung der Personengruppen nach ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Mögliche Wirkungen auf die Pkw-Verfügbarkeit könnten durch Annahmen abgeschätzt und durch eine Anpassung der Einwohnerzuordnung zu den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit im Verkehrsnachfragemodell hinterlegt werden. Hierauf wird jedoch verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur vorliegen.

Zur Abbildung der negativen Neuverkehre ist es möglich, die statischen Mobilitätsraten im Modell anzupassen. Hierauf wird aufgrund fehlender vergleichbarer empirischer Werte aus der Literatur ebenfalls verzichtet.

Kapazitätsbeschränkungen im ÖV werden nicht abgebildet, da die implementierte fahrplanfeine Umlegung diese nicht berücksichtigt. Die Wirkungsberechnungen für den ÖV stellen daher ein Potential dar, für dessen Erreichen ggf. das ÖV-Angebot erhöht werden muss.

Die Wirkungen auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Mithilfe von Siedlungsflächen wird durch eine Verschneidung festgelegt, welche Strecken innerorts, d. h. innerhalb von Siedlungsflächen liegen. Für jede Strecke ist im Verkehrsnachfragemodell bereits die Straßenklasse hinterlegt. Anhand dieser Informationen erfolgt die Streckenklassifizierung innerorts / außerorts / Bundesstraßen für die Gebührenerhebung.

Der Einfluss auf die Verkehrsziel- und Moduswahl wird durch Hinzufügen der Mautgebühren zu den Fahrtkosten realisiert. Die Mautmatrix wird in drei Schritten berechnet. Für jede Quelle-Ziel-Relation wird im ersten Schritt berechnet, wie viele Kilometer auf den Straßenklassen innerorts zurückgelegt werden. Im zweiten Schritt erfolgt die Berechnung der außerorts zurückgelegten Kilometer. Im dritten Schritt werden hierauf basierend die anfallenden Gebühren berechnet.

Der Einfluss auf die Routenwahl wird durch Streckenwiderstände, die in die Nutzenfunktion einfließen, realisiert. Die Mautgebühren werden mit einem VOT von 7 €/Stunde in Zeiteinheiten umgerechnet (vgl. Kapitel 5.8.2, Maßnahme Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart (PT_GG_OZ)).

Der in die Nutzenfunktion eingehende Streckenwiderstand für den Pkw berechnet sich wie folgt:

$$w_{ijmr} = 100.000 (t_{akt} + VOT \cdot Maut \cdot L_i + VOT \cdot Maut \cdot L_a) \quad \text{Formel 30}$$

mit:

w_{ijmr} :	Streckenwiderstand zwischen der Quellzelle i und Zielzelle j für den Pkw auf der Route r [s]
t_{akt} :	Fahrzeit im belasteten Netz [s]
VOT :	Value of Time [s/€]
$Maut$:	Mautbetrag [€/km]
L_i :	Streckenlänge innerorts [m]
L_a :	Streckenlänge außerorts [m]

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 72 und Abbildung 73 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die Anzahl an Wegen nimmt für von der Maut betroffenen Modi ab. Gleichzeitig finden Verlagerungen von diesen Modi zu nicht von der Maut betroffenen Modi statt. Die Anzahl an Wegen des Pkw-Selbstfahrer reduzieren sich um 7 %, die des Pkw-Mitfahrer um 4 % und die des P+R um 30 %. Die Zunahme der Wege der Modi ÖV, Rad und Fuß betragen 6 %, 10 % und 9 %. Auf den Modus Fuß entfällt die größte Anzahl an Wegen, wobei überwiegend die Fußwege in den 5 Landkreisen zunehmen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass der Modus Fuß dort aufgrund des weniger attraktiven ÖV-Angebots insgesamt attraktiver ist als in Stuttgart. Die Verlagerungen haben Einfluss auf den Modal-Split (Wege). Der Pkw-Mitfahrer-Anteil sowie P+R-Anteil nimmt jeweils um 1 % -Punkt ab und der Pkw-Selbstfahrer-Anteil um 3 % -Punkte. Der Fuß-Anteil erhöht sich um 2 % -Punkte und der Rad-Anteil um 1 % -Punkt.

Die Abnahme der Personenkilometer von Pkw-Selbstfahrer (-18 %) und Pkw-Mitfahrer (-13 %) ist deutlich höher als die Abnahme der Anzahl an Wegen (-7 % / -4 %). Grund hierfür ist die Abnahme der durchschnittlichen Reiseweite. Für Pkw-Selbstfahrer nimmt diese um 1,0 km, für Pkw-Mitfahrer um 0,7 km und für P+R um 0,1 km ab. Im ÖV steigt die durchschnittliche Reiseweite um 0,2 km. Es werden somit aufgrund des Maßnahmenfalls kürzere Wege mit dem Pkw zurückgelegt und für längere Wege der ÖV bevorzugt. Kurze Wege werden verstärkt mit dem Rad oder Fuß durchgeführt. Die durchschnittliche Reiseweite für Rad und Fuß verändert sich durch den Maßnahmenfall nicht. Die Änderungen der Anzahl an Wegen je Modi und der durchschnittlichen Reiseweite haben Einfluss auf den Modal-Split (Personenkilometer). Es reduzieren sich die Anteile des Pkw-Selbstfahrer (-5 % -Punkte) und P+R (-1 % -Punkt). Die Anteile des ÖV (+4 % -Punkte) und Rad (+1 % -Punkt) nehmen zu.

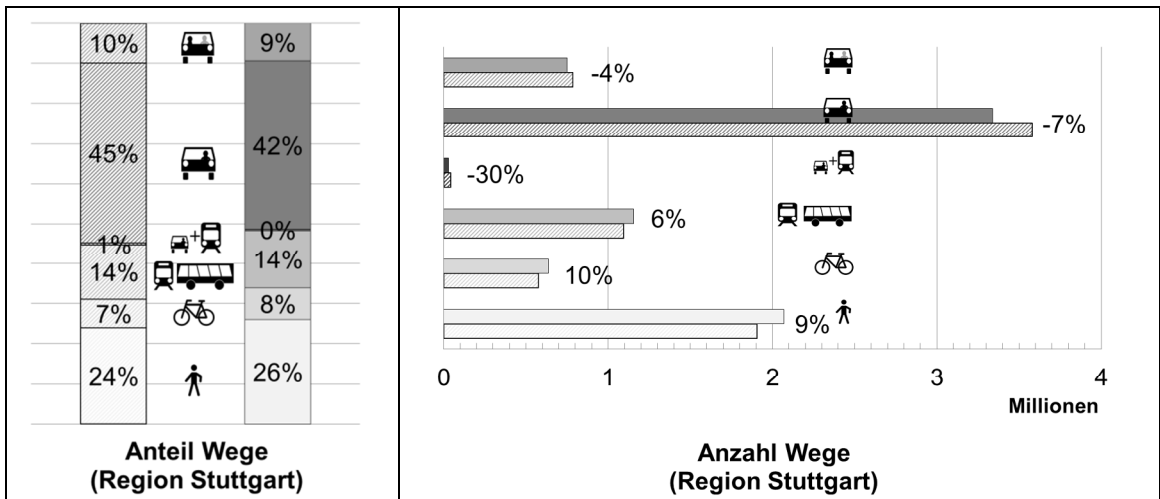


Abbildung 72: Wege je Modus (PT_NG)

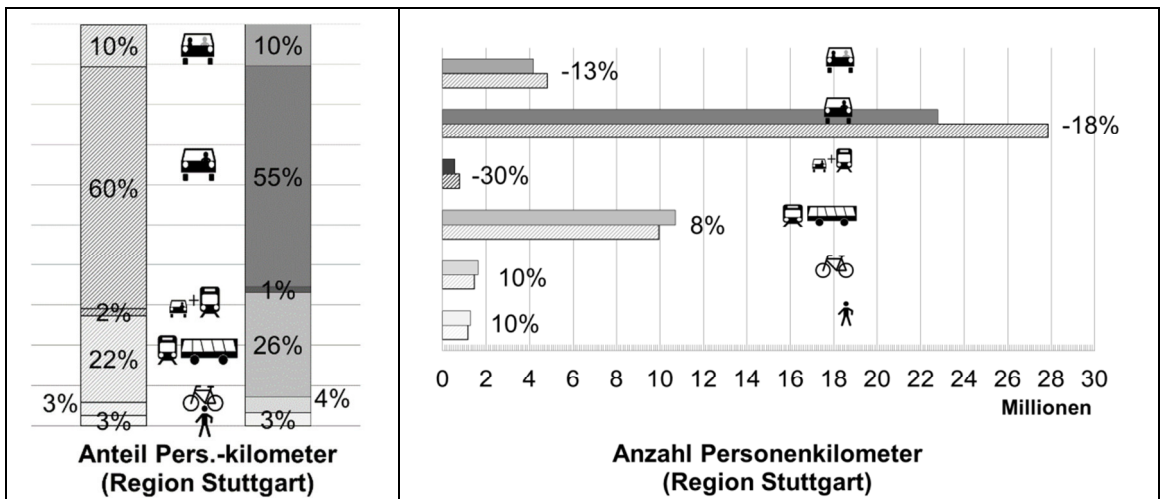


Abbildung 73: Personenkilometer je Modus (PT_NG)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 74, Abbildung 75 und Abbildung 76 veranschaulichen die Wirkung auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer nehmen in der Region um 14 % und in Stuttgart um 12 % ab. Ebenfalls reduzieren sich die Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer in der Region um 1 %, erhöhen sich hingegen jedoch in Stuttgart um 2 %. Die Lkw-Fahrzeugkilometer erhöhen sich in Stuttgart um 2 %. Generell nehmen Pkw-VRS-Wege durch die regionale Pkw-Maut ab und es findet eine Verlagerung auf die gebührenfreien Autobahnen statt. Dies führt dazu, dass Lkw von der Autobahn auf alle anderen Straßenklassen ausweichen und Wege durch die Innenstädte, wie z. B. durch Stuttgart (vgl. Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse in Abbildung 75), für diese an Attraktivität gewinnen.

Die ÖV-VRS Personenkilometer erhöhen sich durch Verlagerungen hin zum ÖV um 5 % in Stuttgart und 6 % in der Region. Die Zunahme entfällt zum größten Teil auf die schnelleren Schienenverkehrsmittel (vgl. Abbildung 76).

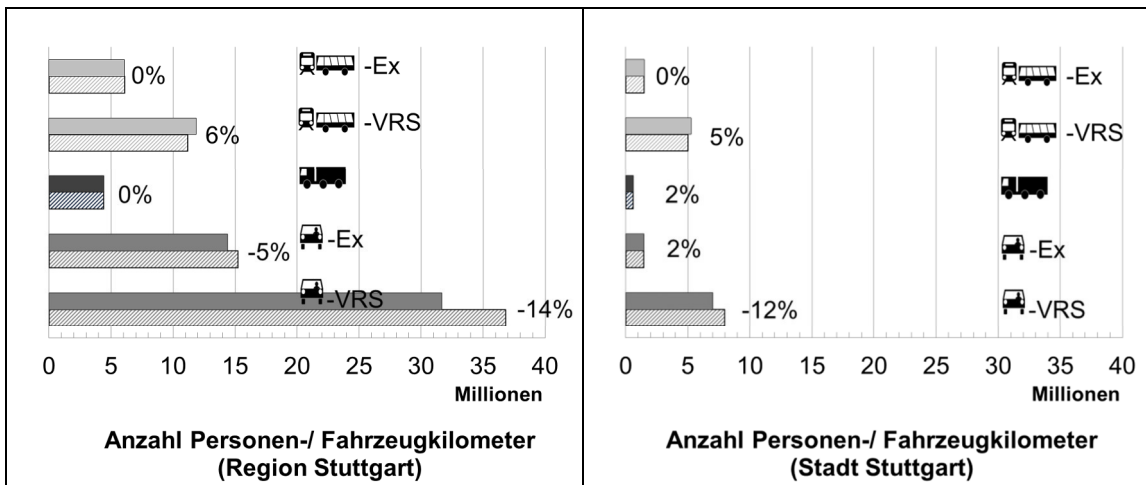


Abbildung 74: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_NG)

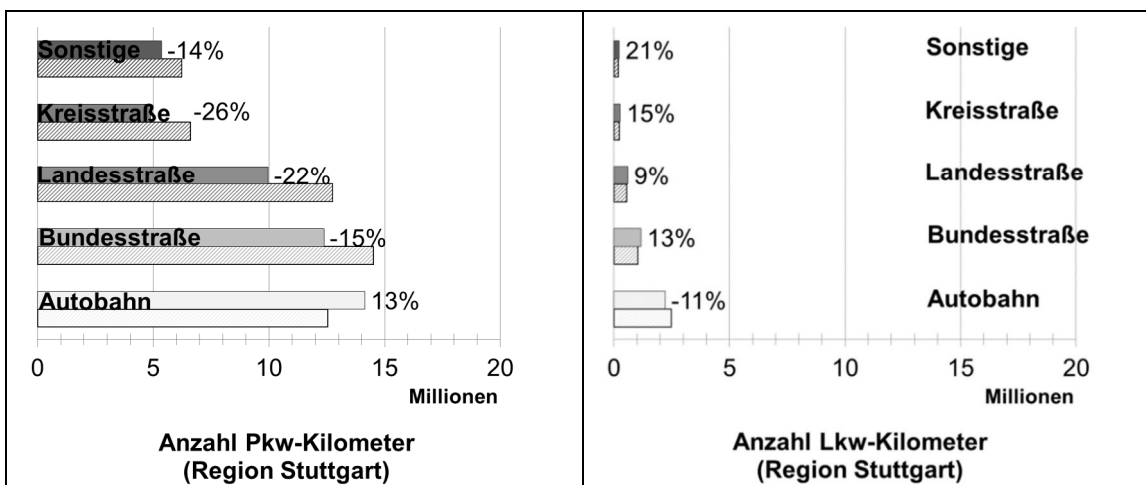


Abbildung 75: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_NG)

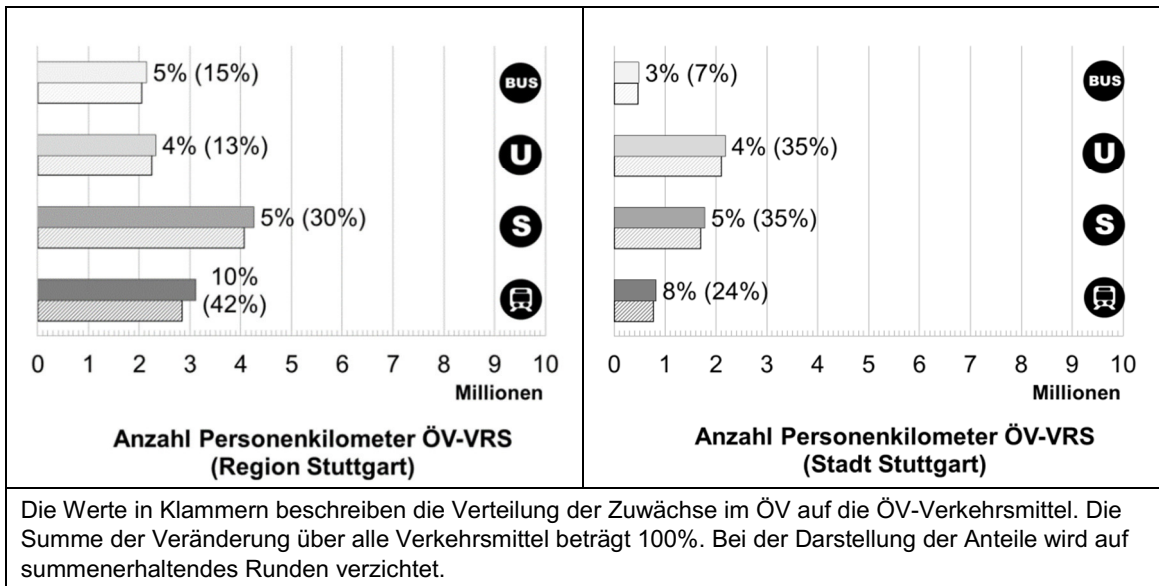


Abbildung 76: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_NG)

Umweltwirkungen

Die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen sind in Tabelle 26 dargestellt. Die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs ist in der Region deutlich geringer als die der Fahrzeugkilometer.

Die Netzgebühr führt zur Abnahme und zu Verlagerungen der Fahrzeugkilometer. Diese werden auf Strecken verlagert, auf denen durch die Kombination der Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer produziert werden, als dies durchschnittlich der Fall ist. Hierzu zählen z. B. Streckenabschnitte der Autobahnen mit Verkehrszustand Stop+Go. Gleichzeitig können durch die Verlagerungen Kombinationen mit höheren Emissionen / Energieverbräuchen pro gefahrenem Kilometer entstehen, indem sich der Verkehrszustand aufgrund steigender Auslastung erhöht. Beispielsweise nehmen die Streckenabschnitte der Autobahnen mit Verkehrszustand Stop+Go zu. Die Autobahnen liegen außerhalb von Stuttgart. Aus diesem Grund sind die Reduktionen der Umweltkenngößen in der Region geringer als die Reduktion der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-6 %	-9 %	-8 %	-9 %	-8 %	-7 %
Region Stuttgart	-3 %	-4 %	-5 %	-3 %	-4 %	-4 %

Tabelle 26: Umweltwirkungen (PT_NG)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für MIV in der Region außerhalb der Modellungenauigkeiten und

die Wirkungen sind in der Realität messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken zwischen Stuttgart und Göppingen und auf vereinzelt Abschnitten außerhalb der Modellgenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.5 Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 10 % in der Region (PT_FP_10)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Fahrpreise des ÖV in der Region Stuttgart werden tageszeitunabhängig um 10 % vergünstigt angeboten.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Attraktivität des ÖV für Ortsveränderungen steigt und führt zu Verlagerungen von allen anderen Modi hin zu den Modi ÖV und P+R mit ÖV-Teilweg. Verlagerungen hin zu diesen Modi werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Die Fahrpreisreduzierung führt zusätzlich zu Attraktivitätssteigerung von weiter entfernten Zielen, die durch die Maßnahme mit dem ÖV kostengünstiger erreicht werden können. Durch die Verlagerungen vom Modus Pkw-Selbstfahrer hin zu den Modi ÖV und P+R sind Reisezeitgewinne im MIV möglich. Neuverkehre und Änderungen bei der Verkehrsmittelverfügbarkeit werden bei einer Reduzierung der Fahrpreise um 10 % als unwahrscheinlich eingeschätzt.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Beschränkung des Fahrgastzuwachses im ÖV aufgrund von Kapazitätsbeschränkungen kann mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart nicht abgebildet werden. Für die Routenwahl wird eine fahrplanfeine Umlegung ohne Kapazitätsbeschränkungen verwendet. Ebenfalls werden die Kapazitätsbeschränkungen der P+R-Anlagen nicht abgebildet. Die Maßnahme kann somit zu Überlastungen führen. Die Wirkungsberechnungen stellen daher ein Potential dar, für dessen Erreichen ggf. das ÖV-Angebot erhöht und die P+R-Anlagen ausgebaut werden werden müssen.

Die Wirkungen einer ÖV-Fahrpreisreduzierung auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Die Modellierung erfolgt durch Reduzierung der Fahrpreismatrix, die in der Nutzenfunktion der kombinierten Verkehrsziel- und Moduswahl für den ÖV-Modus (ÖV-Monatsticket und ÖV-Einzelticket) berücksichtigt wird, um 10 %.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 77 und Abbildung 78 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Während die Anzahl an Wegen durch die Maßnahme beim ÖV um 4 % und bei P+R um 7 % zunimmt, reduziert sich die Anzahl derselben bei den Modi Pkw-Selbstfahrer, Rad und Fuß um jeweils 1 %. Auf den Modal-Split (Wege) zeigt der Maßnahmenfall keine Auswirkungen.

Überproportionale Zu- und Abnahmen der Personenkilometer im Vergleich zu den Wegen resultieren aus einer Änderung der durchschnittlichen Reiseweite. Diese nimmt aufgrund der Reduzierung der Fahrpreise im ÖV um 0,2 km und im P+R um 0,5 km zu. Aufgrund der Änderungen der Anzahl an Wegen je Modi und der durchschnittlichen Reiseweite nimmt der Pkw-Selbstfahrer-Anteil des Modal-Split (Personenkilometer) um 1 % -Punkt ab, der des ÖV hingegen um 1 % -Punkt zu.

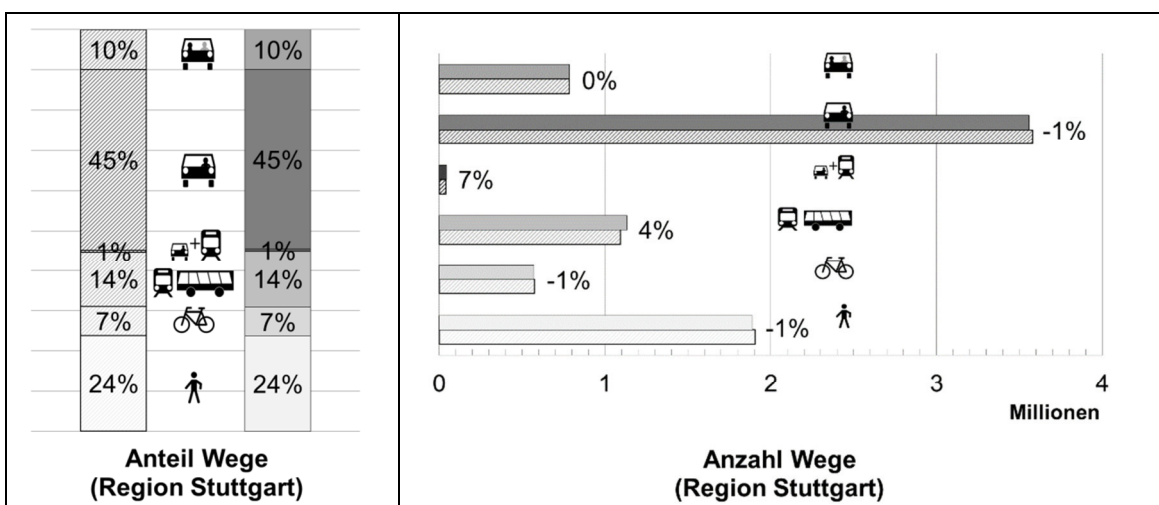


Abbildung 77: Wege je Modus (PT_FP_10)

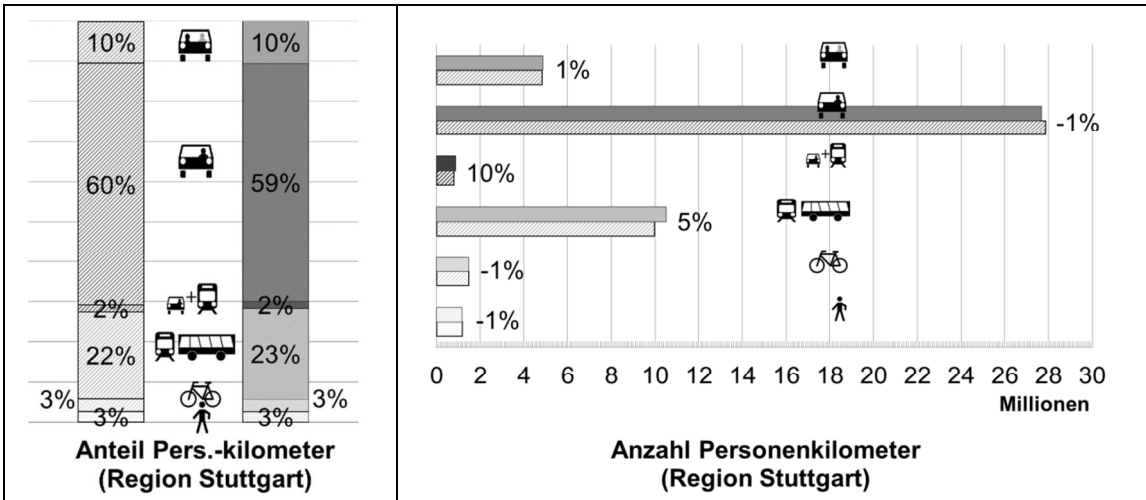


Abbildung 78: Personenkilometer je Modus (PT_FP_10)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 79, Abbildung 80 und Abbildung 81 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die Personenkilometer des ÖV-VRS erhöhen sich in Stuttgart um 5 % und in der Region um 6 %. Die Reduktion der ÖV-Fahrpreise in der gesamten Region wirken sich somit in ähnlicher Größenordnung sowohl in Stuttgart als auch der Region aus. Die zusätzlichen Personenkilometer des ÖV-VRS verteilen sich auf alle ÖV-Verkehrsmittel, wobei auf die Schienenverkehrsmittel, mit denen im Allgemeinen in kürzerer Zeit längere Strecken zurückgelegt werden können, der größte Anteil entfällt (vgl. Abbildung 81).

Die Wirkung auf den Modus Pkw ist gering. Es wird hierzu angenommen, dass die Abnahme von 0 % -1 % der Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer in Stuttgart und der Region aus der Abnahme der Anzahl an Wegen resultiert.

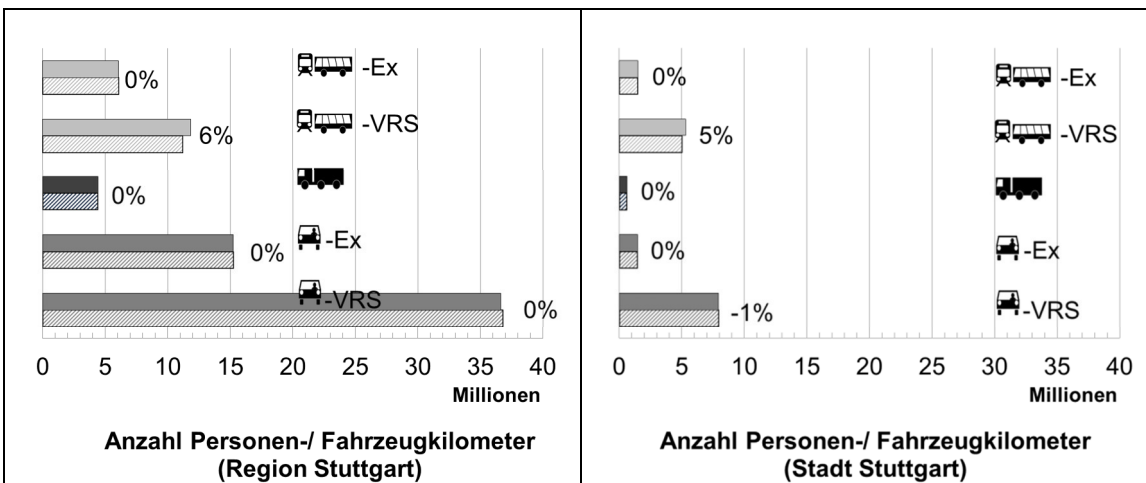


Abbildung 79: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_10)

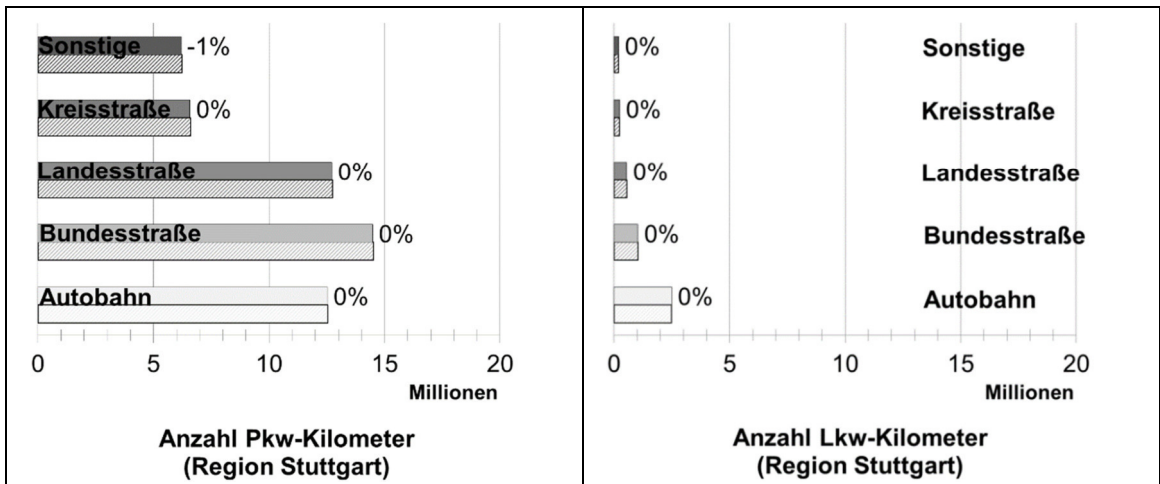


Abbildung 80: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_10)

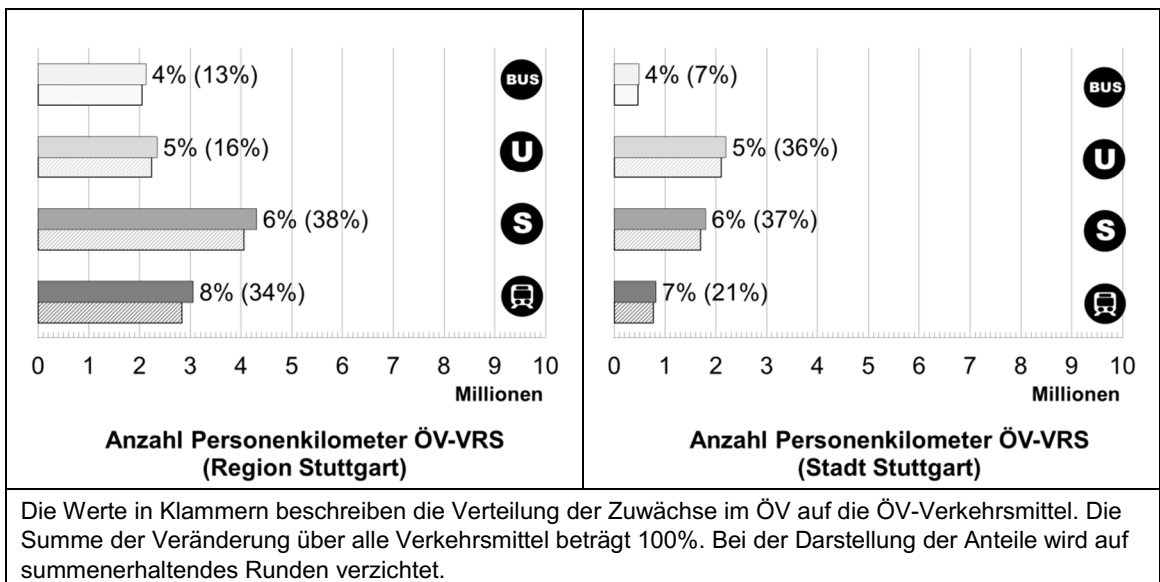


Abbildung 81: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_10)

Umweltwirkungen

Tabelle 27 enthält die aufgrund des Maßnahmenfalls eintretenden Änderungen der Umweltkenngößen. Die nur geringen Auswirkungen des Maßnahmenfalls auf die Fahrzeugkilometer resultieren in niedrigen Reduktionspotentialen der Emissionen und des Energieverbrauchs von 0 % bis 1 %.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	0 %	-1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 27: Umweltwirkungen (PT_FP_10)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie liegen auf Streckenebene für den MIV innerhalb der Modellungenauigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität kaum messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken zwischen Stuttgart-Vaihingen und Fellbach außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.6 Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 25 % in der Region (PT_FP_25)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Fahrpreise des ÖV in der Region Stuttgart werden tageszeitunabhängig um 25 % vergünstigt angeboten.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Analog zu 5.8.5.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Analog zu 5.8.5.

Modellierung

Analog zu 5.8.5.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 82 und Abbildung 83 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die ÖV-Fahrpreisreduktion bewirkt eine Zunahme der ÖV-Wege um 10 % sowie der P+R-Wege um 23 %. Des Weiteren bewirkt der Maßnahmenfall eine Abnahme der Wege bei den Modi, welche nicht von der ÖV-Fahrpreisreduktion profitieren. Pkw-Selbstfahrer-Wege, Rad-Wege und Fuß-Wege erfahren eine Abnahme von 2 %, 3 % und 2 %. Auf die Anzahl an Wegen von Pkw-Mitfahrer hat der Maßnahmenfall keinen signifikanten Einfluss. Die nachfolgenden Maßnahmenfälle, durch die der ÖV-Fahrpreis um 50 % und 100 % reduziert wird, zeigen, dass bei einer ÖV-Fahrpreisreduktion eine Verlagerung von Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit hin zum Modus Pkw-Mitfahrer stattfindet. Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit wechseln somit nicht nur auf die Modi ÖV oder P+R, sondern auch zum Modus Pkw-Mitfahrer. Bei

Personengruppen ohne Pkw-Verfügbarkeit findet eine Verlagerung vom Modus Pkw-Mitfahrer hin zu anderen Modi statt. In Summe bleibt die Anzahl an Wegen der Pkw-Mitfahrer durch die Verlagerungen unverändert, wodurch der Pkw-Besetzungsgrad steigt. Hierbei handelt es um eine Modellunzulänglichkeit.

Die Zu- und Abnahmen wirken sich auf den Modal-Split (Wege) aus. Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil und der Fuß-Anteil reduzieren sich jeweils um 1 %-Punkt und der ÖV-Anteil erhöht sich um 1 %-Punkt.

Überproportionale Zu- und Abnahmen der Personenkilometer im Vergleich zur Anzahl der Wege resultieren aus der Änderung der durchschnittlichen Reisedistanz. Die durchschnittliche Reisedistanz des ÖV nimmt um 0,4 km, des P+R um 1,3 km und des Pkw-Mitfahrer um 0,1 km zu. Die beschriebenen Änderungen haben einen Einfluss auf den Modal-Split (Personenkilometer). Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 2 %-Punkte, der Fuß-Anteil um 1 %-Punkt. Hingegen erhöht sich der ÖV-Anteil um 2 %-Punkte.

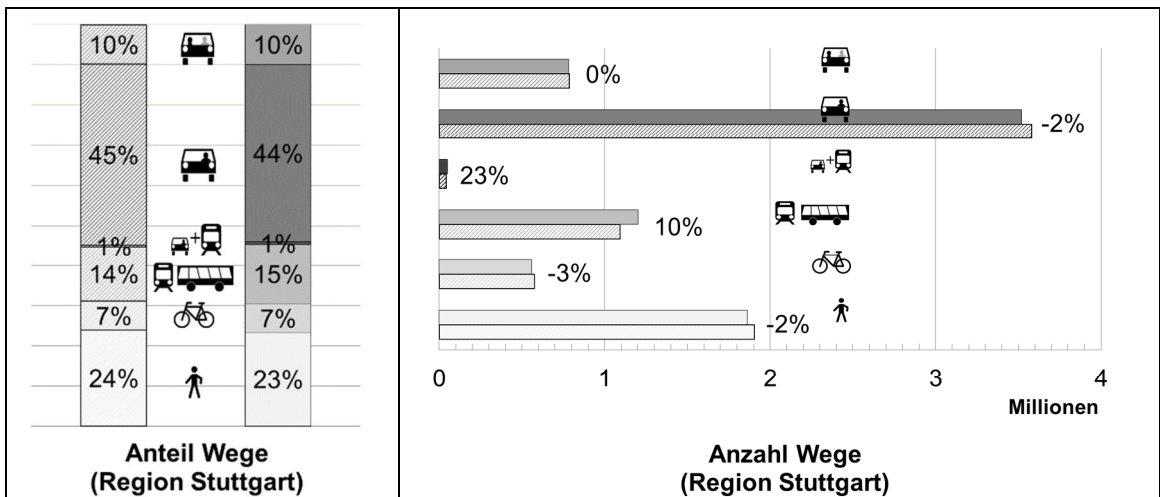


Abbildung 82: Wege je Modus (PT_FP_25)

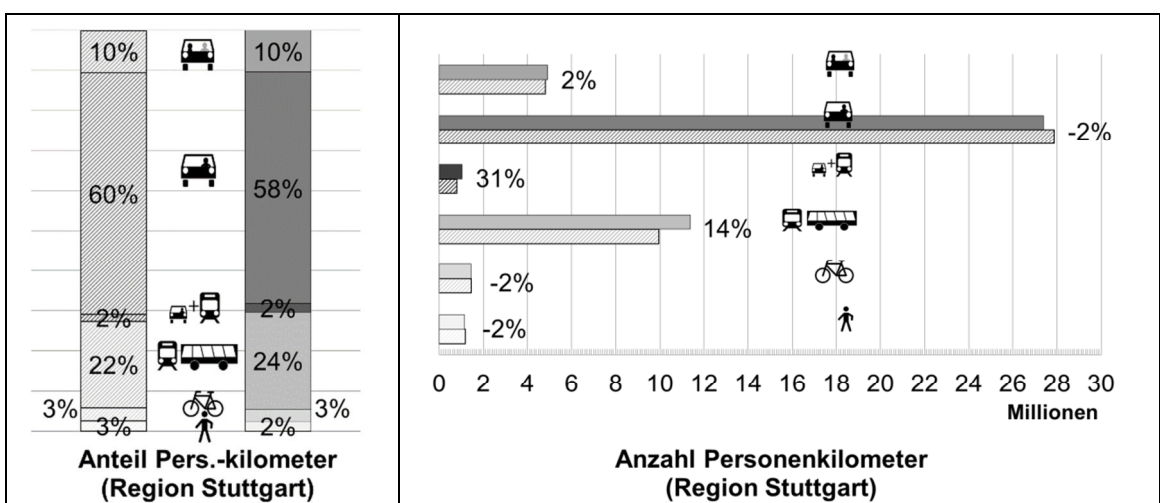


Abbildung 83: Personenkilometer je Modus (PT_FP_25)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus und Routenwahl

Abbildung 84, Abbildung 85 und Abbildung 86 zeigen die Wirkungen, die aus Änderungen der Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl resultieren, auf. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Aufgrund des Zuwachses der Anzahl an ÖV-Wegen sowie der Zunahme der durchschnittlichen Reiseweite im ÖV, nehmen die ÖV-VRS-Personenkilometer um 16 % in der Region und um 14 % in Stuttgart zu. Der Umstand, dass in Stuttgart die Zunahme geringer als in der Region ausfällt, erklärt sich dadurch, dass bei langen Reiseweiten im ÖV im Allgemeinen ein grösserer Anteil des Reiseweges außerhalb von Stuttgart zurückgelegt wird. Die zusätzlichen Personenkilometer des ÖV-VRS verteilen sich auf alle einschlägigen Modi, wobei auf die Schienenverkehrsmittel, mit denen im Allgemeinen in kürzerer Zeit längere Strecken zurückgelegt werden können, der größte Anteil entfällt.

Neben dem Einfluss auf die Personenkilometer des ÖV-VRS hat der Maßnahmenfall ebenfalls Einfluss auf die Fahrzeugkilometer des Pkw-VRS. Diese reduzieren sich um 1 % in der Region und in Stuttgart. Die Reduktion verteilt sich nahezu gleichermaßen auf allen Straßenklassen in der Region (vgl. Abbildung 85).

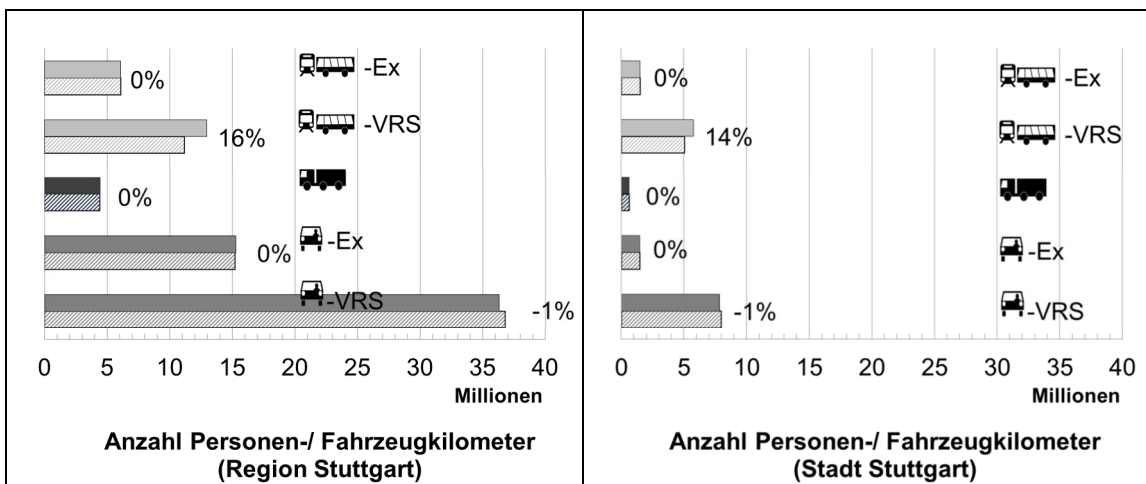


Abbildung 84: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_25)

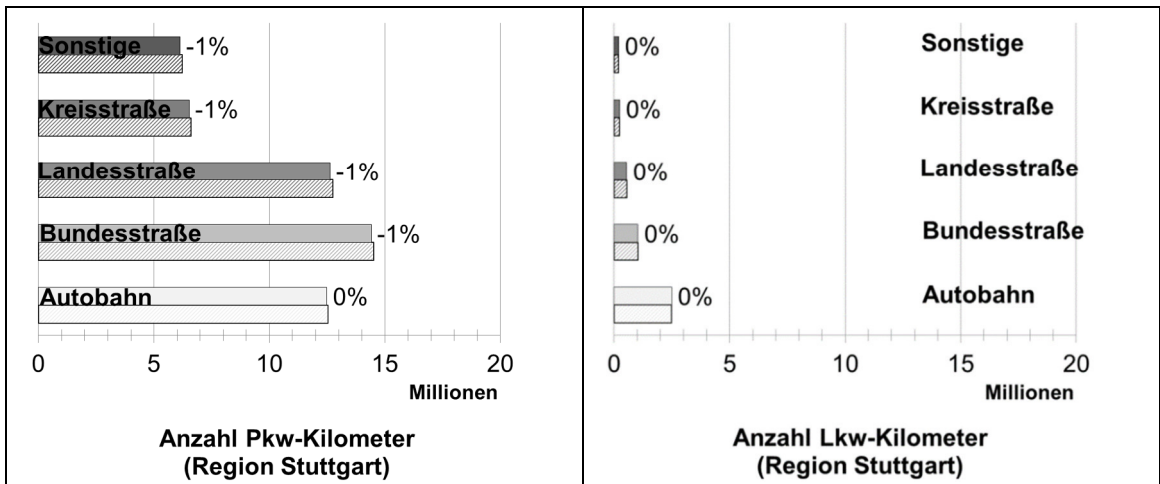


Abbildung 85: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_25)

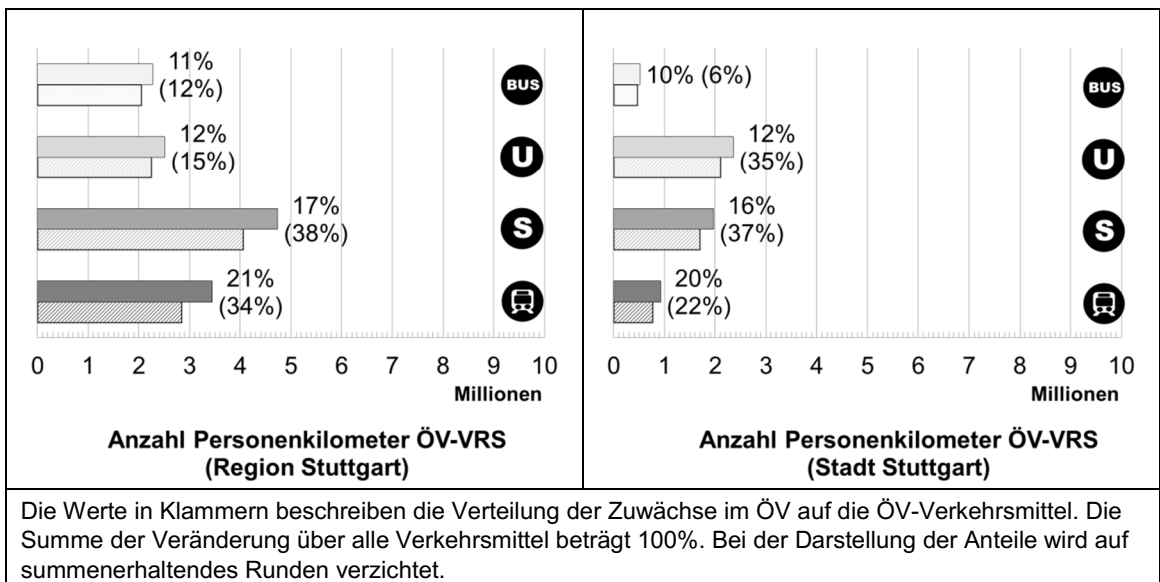


Abbildung 86: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_25)

Umweltwirkungen

Tabelle 28 zeigt die Wirkungen der Maßnahme auf die Umweltkenngößen. Obwohl durch den Maßnahmenfall die Fahrzeugkilometer sowohl in der Region als auch in Stuttgart im gleichen Verhältnis reduziert werden, sind die berechneten Wirkungen in Stuttgart größer als in der Region. Hier ist die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs höher als die Abnahme der Fahrzeugkilometer.

Der Maßnahmenfall führt zur Abnahme der Fahrzeugkilometer in Stuttgart und der gesamten Region. Diese nehmen in Stuttgart auf Strecken ab, auf denen durch die Kombination der Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer produziert werden als dies durchschnittlich der Fall ist. Aus diesem Grund sind die Reduktionen der Umweltkenngößen in Stuttgart höher als die Reduktion der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energie- verbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %
Region Stuttgart	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %

Tabelle 28: Umweltwirkungen (PT_FP_25)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für MIV innerhalb der Modellungenauigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität kaum messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.7 Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 50 % in der Region (PT_FP_50)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Fahrpreise des ÖV in der Region Stuttgart werden tageszeitunabhängig um 50 % vergünstigt angeboten.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Analog zu 5.8.5.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Analog zu 5.8.5.

Modellierung

Analog zu 5.8.5.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 87 und Abbildung 88 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die Reduktion der ÖV-Fahrpreise um 50 % bewirkt eine Zunahme der Wege der Modi, welche von der ÖV-Fahrpreisreduktion profitieren. Die Anzahl an ÖV-Wegen erhöht sich um 21 %, die der P+R-Wege um 67 %. Bei den Modi Pkw-Selbstfahrer, Rad und Fuß nimmt die Anzahl an Wegen um 4 %, 6 % und 5 % ab. Die Anzahl der Pkw-

Mitfahrer-Wege hingegen bleibt unverändert. Alle vier Maßnahmenfälle, durch die ÖV-Fahrpreis reduziert wird, zeigen, dass bei einer ÖV-Fahrpreisreduktion eine Verlagerung von Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit hin zum Modus Pkw-Mitfahrer stattfindet. Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit wechseln somit nicht nur auf die Modi ÖV oder P+R, sondern auch zum Modus Pkw-Mitfahrer. Bei Personengruppen ohne Pkw-Verfügbarkeit findet eine Verlagerung vom Modus Pkw-Mitfahrer hin zu anderen Modi statt. In Summe bleibt die Anzahl an Wegen der Pkw-Mitfahrer durch die Verlagerungen unverändert, wodurch der Pkw-Besetzungsgrad steigt. Hierbei handelt es um eine Modellunzulänglichkeit.

Die Zu- und Abnahmen wirken sich auf den Modal-Split (Wege) aus. Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 2 %-Punkte und der Fuß-Anteil reduziert sich um 1 %-Punkt. Der ÖV-Anteil erhöht sich um 3 %-Punkte.

Eine im Vergleich zur Anzahl der Wege überproportionale Zu- und Abnahme der Personenkilometer resultiert aus einer Änderung der durchschnittlichen Reiseweite. Die durchschnittliche Reiseweite des Pkw-Mitfahrer erhöht sich um 0,3 km, die des ÖV um 0,8 km und die des P+R um 2,7 km. Durch die ÖV-Fahrpreisreduktion gewinnen weiter entfernte Ziele, die dadurch kostengünstiger erreicht werden können, an Attraktivität. Die durchschnittliche Reiseweite der Pkw-Mitfahrer erhöht sich durch die Zunahme der Wege der Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit. Die durchschnittliche Reiseweite der Personengruppen ohne Pkw ist geringer als die der Personengruppe mit Pkw. Die Änderung der Anzahl an Wegen und der durchschnittlichen Reiseweite haben Einfluss auf den Modal-Split (Personenkilometer). Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 5 %-Punkte und der Fuß-Anteil reduziert sich um 1 %-Punkt. Der ÖV-Anteil erhöht sich um 5 %-Punkte und der P+R-Anteil um 1 %-Punkt.

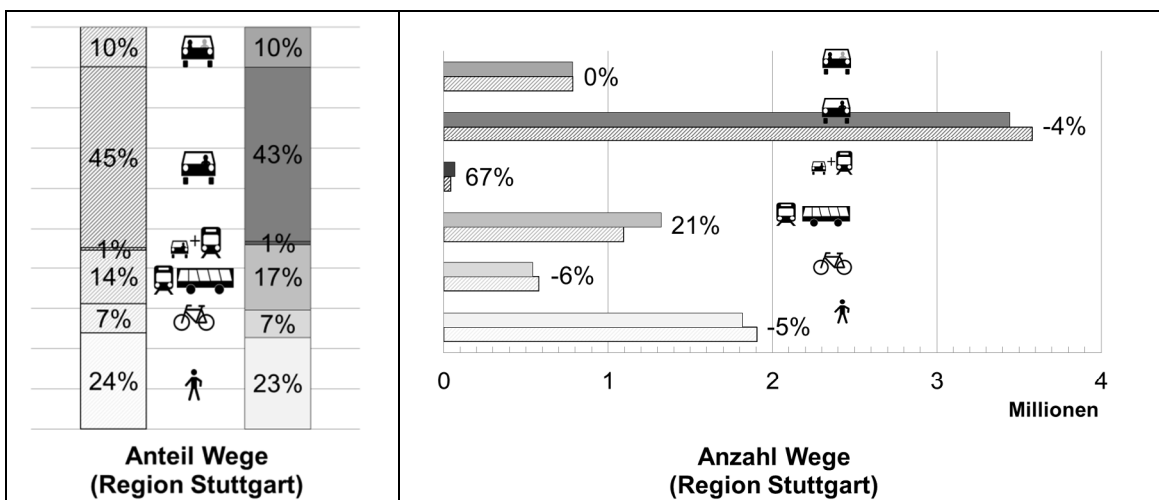


Abbildung 87: Wege je Modus (PT_FP_50)

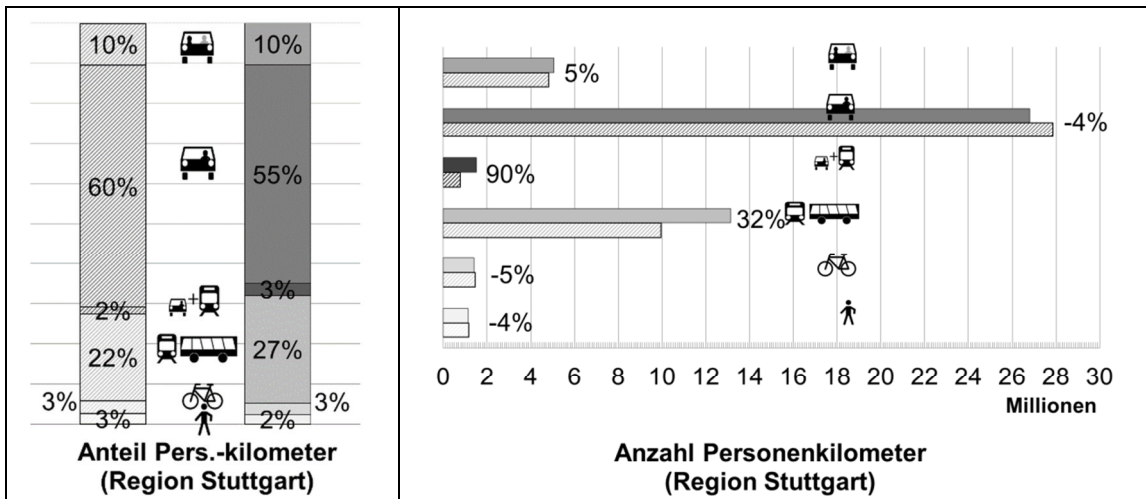


Abbildung 88: Personenkilometer je Modus (PT_FP_50)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 89, Abbildung 90 und Abbildung 91 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren aus der Routenwahl und ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die Personenkilometer des ÖV-VRS nehmen in der Region um 37 % und in Stuttgart um 33 % zu. Abbildung 91 veranschaulicht die Zunahme der Personenkilometer des ÖV-VRS je ÖV-Verkehrsmittel. Auf die Schienenverkehrsmittel, mit denen im Allgemeinen in kürzerer Zeit längere Strecken zurückgelegt werden können, entfällt der Grossteil der hinzukommenden Personenkilometer.

Die Fahrzeugkilometer des Pkw-VRS nehmen in der Region und Stuttgart um jeweils 3 % ab. Die Belastungsabnahme verteilt sich nahezu homogen im Straßenverkehrsnetz (vgl. Abbildung 90). Die Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer nehmen um 1 % zu. Diese Änderung resultiert alleine aus der Routenwahl, da der externe Verkehr nicht durch das Verkehrsnachfragemodell berechnet wird. Durch die Abnahme der Pkw-VRS-Belastung im Straßenverkehrsnetz ergeben sich neue Routenalternativen für Pkw-Ex und Lkw. Der Pkw-Ex-Verkehr wählt häufiger Routen durch Stuttgart und der Lkw-Verkehr verlagert sich von Landstraßen auf Bundesstraßen. Dies hat jedoch keine Auswirkungen auf die Summe der Lkw-Fahrzeugkilometer.

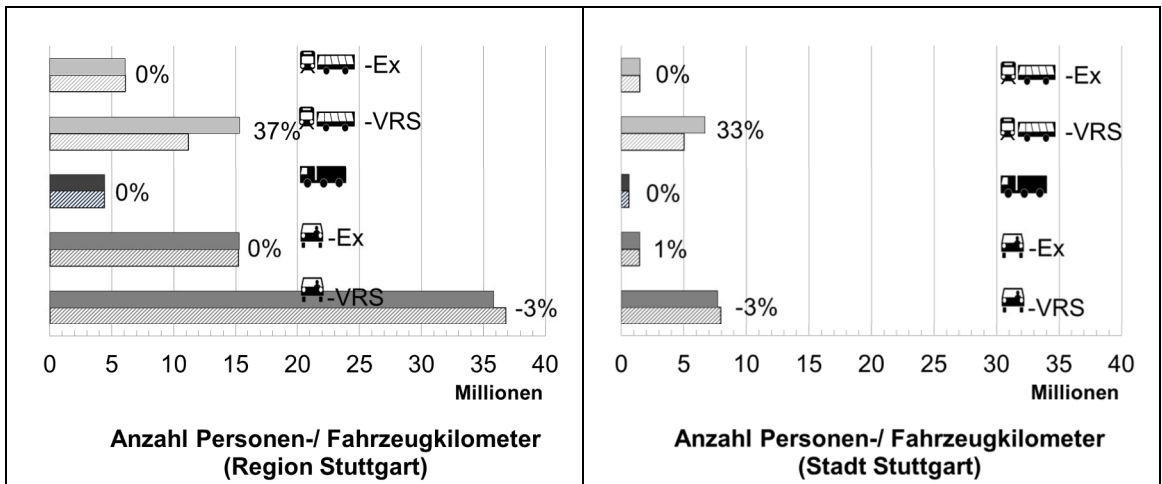


Abbildung 89: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_50)

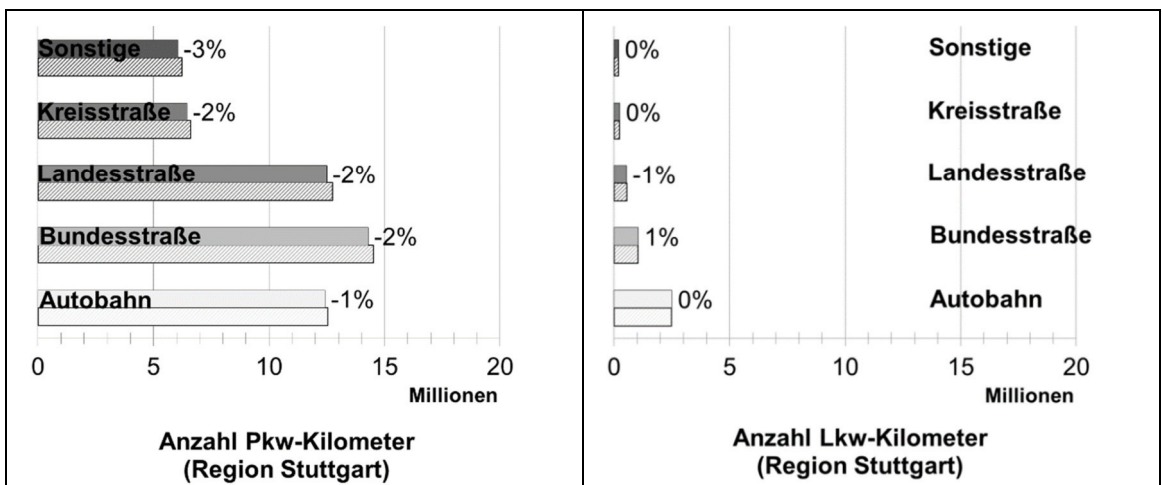
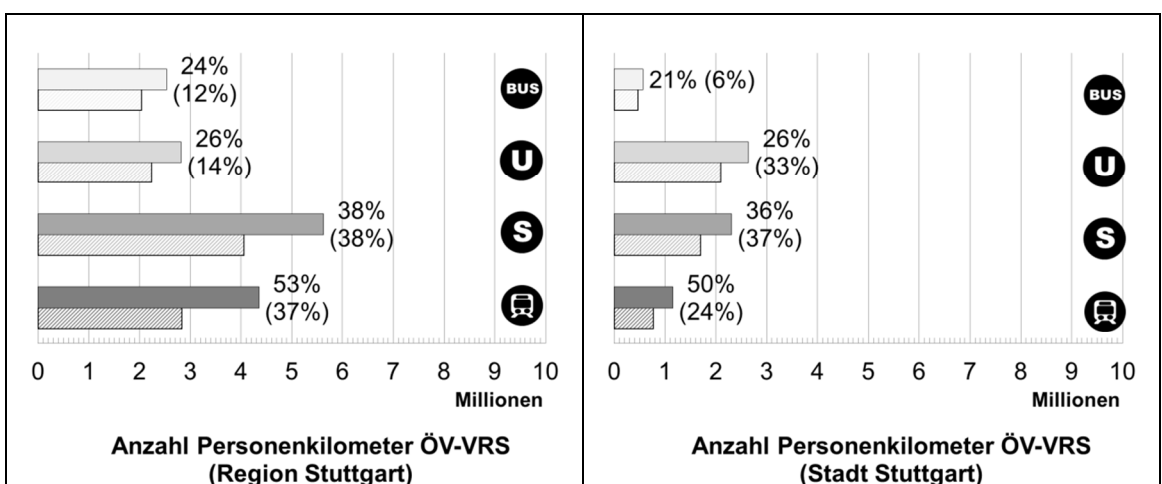


Abbildung 90: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_50)



Die Werte in Klammern beschreiben die Verteilung der Zuwächse im ÖV auf die ÖV-Verkehrsmittel. Die Summe der Veränderung über alle Verkehrsmittel beträgt 100%. Bei der Darstellung der Anteile wird auf summenerhaltendes Runden verzichtet.

Abbildung 91: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_50)

Umweltwirkungen

In Tabelle 29 sind die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen dargestellt. Obwohl durch die Maßnahme die Fahrzeugkilometer sowohl in der Region als auch der Stuttgart im gleichen Verhältnis reduziert werden, sind die berechneten Wirkungen in Stuttgart größer als in der Region. Hier ist die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs höher als die Abnahme der Fahrzeugkilometer.

Der Maßnahmenfall führt zur Abnahme der Fahrzeugkilometer in Stuttgart und der gesamten Region. Diese nehmen in Stuttgart auf Strecken ab, auf denen durch die Kombination der Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer produziert werden, als dies durchschnittlich der Fall ist. Aus diesem Grund sind die Reduktionen der Umweltkenngößen in Stuttgart höher als die Reduktion der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-3 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
Region Stuttgart	-1 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %

Tabelle 29: Umweltwirkungen (PT_FP_50)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für MIV innerhalb der Modellungenauigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität kaum messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken und einzelnen Busstrecken in Stuttgart außerhalb der Modellungenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.8 Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 100 % in der Region (PT_FP_100)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Die Fahrpreise des ÖV in der Region Stuttgart werden tageszeitunabhängig um 100 % vergünstigt und somit kostenlos angeboten.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Attraktivität des ÖV steigt für Ortsveränderungen und führt zu Verlagerungen von allen anderen Modi zu den Modi ÖV und P+R mit Teilweg ÖV. Die Fahrgastzuwächse des ÖV und P+R werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Durch die Verlagerungen vom Modi Pkw-Selbstfahrer hin zu den Modi ÖV und P+R sind Reisezeitgewinne im MIV möglich. Neuverkehre und Änderungen bei der

Verkehrsmittelverfügbarkeit sind bei einer Reduzierung der Fahrpreise um 100 % wahrscheinlich.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Beschränkung des Fahrgastzuwachses im ÖV aufgrund von Kapazitätsbeschränkungen, kann mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart nicht abgebildet werden. Für die Routenwahl wird eine fahrplanfeine Umlegung ohne Kapazitätsbeschränkungen verwendet. Ebenfalls werden die Kapazitätsbeschränkungen der P+R-Anlagen nicht abgebildet. Es ist anzunehmen, dass der Maßnahmenfall zu Überlastungen führt. Die Wirkungsberechnungen stellen daher ein Potential dar, für dessen Erreichen das ÖV-Angebot erhöht und die P+R-Anlagen ausgebaut werden müssen.

Anzunehmende Neuverkehre können mit dem Verkehrsnachfragemodell aufgrund der statischen Mobilitätsraten nicht abgebildet werden. Zur Abbildung der negativen Neuverkehre ist es möglich, die statischen Mobilitätsraten im Modell anzupassen. Hierauf wird aufgrund fehlender vergleichbarer empirischer Werte aus der Literatur verzichtet.

Mögliche Wirkungen auf die Pkw-Verfügbarkeit könnten durch Annahmen abgeschätzt und durch eine Anpassung der Einwohnerzuordnung zu den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit im Verkehrsnachfragemodell hinterlegt werden. Hierauf wird jedoch verzichtet, da keine vergleichbaren empirischen Werte aus der Literatur vorliegen und eine Änderung.

Die Wirkungen einer ÖV-Fahrpreisreduzierung auf den externen / Messe- / Flughafen- und Wirtschaftsverkehr können nur auf Ebene der Routenwahl abgebildet werden. Diese Verkehre werden nicht bei der Verkehrserzeugung, Verkehrsziel- und Moduswahl berechnet, sondern bei der Routenwahl durch externe Matrizen berücksichtigt.

Modellierung

Analog zu 5.8.5.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 92 und Abbildung 93 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegfaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Die Anzahl der Wege nimmt bei den Modi, die von der Fahrpreisreduktion profitieren zu. Die Zunahme beträgt im ÖV 50 % und P+R 269 %. Die Abnahme beträgt für Pkw-

Selbstfahrer 10 %, Rad 14 % und Fuß 11 %. Alle anderen Modi, mit Ausnahme des Modus Pkw-Mitfahrer, zeigen somit eine Abnahme der Anzahl der Wege. Alle vier Maßnahmenfälle, durch die der ÖV-Fahrpreis reduziert wird, zeigen, dass bei einer ÖV-Fahrpreisreduktion eine Verlagerung von Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit hin zum Modus Pkw-Mitfahrer stattfindet. Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit wechseln somit nicht nur auf die Modi ÖV oder P+R, sondern auch zum Modus Pkw-Mitfahrer. Bei Personengruppen ohne Pkw-Verfügbarkeit findet eine Verlagerung vom Modus Pkw-Mitfahrer hin zu anderen Modi statt. In Summe bleibt die Anzahl an Wegen der Pkw-Mitfahrer durch die Verlagerungen unverändert, wodurch der Pkw-Besetzungsgrad steigt. Hierbei handelt es um eine Modellunzulänglichkeit.

Die Zu- und Abnahmen wirken sich auf den Modal-Split (Wege) aus. Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 5 %-Punkte, der Fuß-Anteil reduziert sich um 3 %-Punkte und der Rad-Anteil um 1 %-Punkt. Der ÖV-Anteil erhöht sich um 7 %-Punkte und der P+R-Anteil um 1 %-Punkt.

Für den Modus Pkw-Mitfahrer steigt die durchschnittliche Reiseweite um 0,9 km, wobei die des Pkw-Selbstfahrer hingegen unverändert bleibt. Neben den Pkw-Mitfahrer-Wege erhöht sich die durchschnittliche Reiseweite des ÖV um 2,2 km sowie die des P+R um 5,5 km. Durch die Zunahme der durchschnittlichen Reiseweite werden mehr Personenkilometer / Wege zurückgelegt und die Personenkilometer der Modi nehmen im Vergleich zur Anzahl der Wege überproportional zu. Durch die ÖV-Fahrpreisreduktion gewinnen weiter entfernte Ziele, die dadurch kostengünstiger erreicht werden können, an Attraktivität. Die durchschnittliche Reiseweite des Pkw-Mitfahrer erhöht sich durch die Zunahme der Wege der Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit. Die durchschnittliche Reiseweite der Personengruppen ohne Pkw ist geringer als die der Personengruppe mit Pkw. Die Änderung der Anzahl an Wegen und der durchschnittlichen Reiseweite hat Einfluss auf den Modal-Split (Personenkilometer). Der Pkw-Selbstfahrer-Anteil reduziert sich um 14 %-Punkte und der Fuß- sowie Rad-Anteil reduziert sich jeweils um 1 %-Punkt. Der ÖV-Anteil erhöht sich um 11 %-Punkte und der P+R-Anteil um 5 %-Punkte.

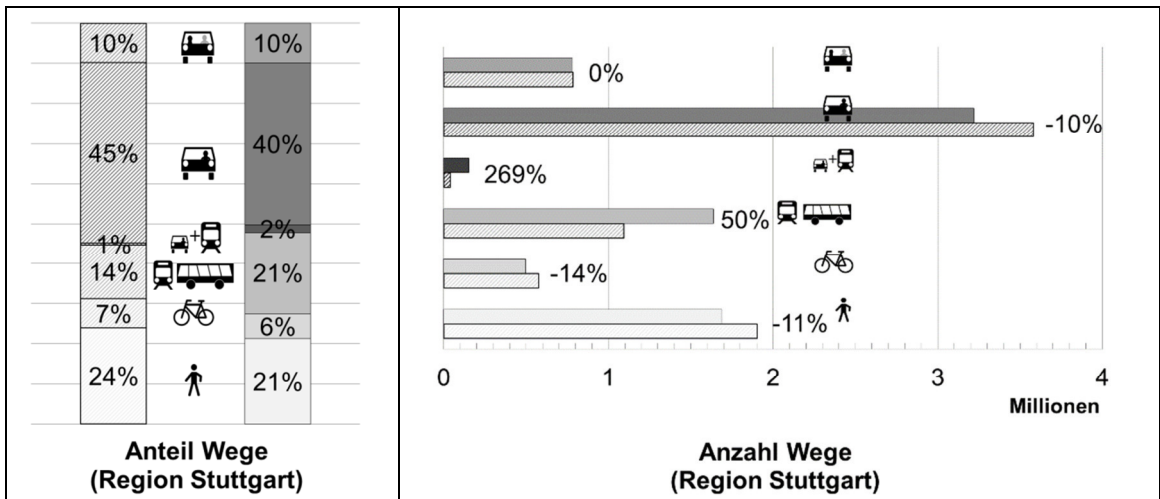


Abbildung 92: Wege je Modus (PT_FP_100)

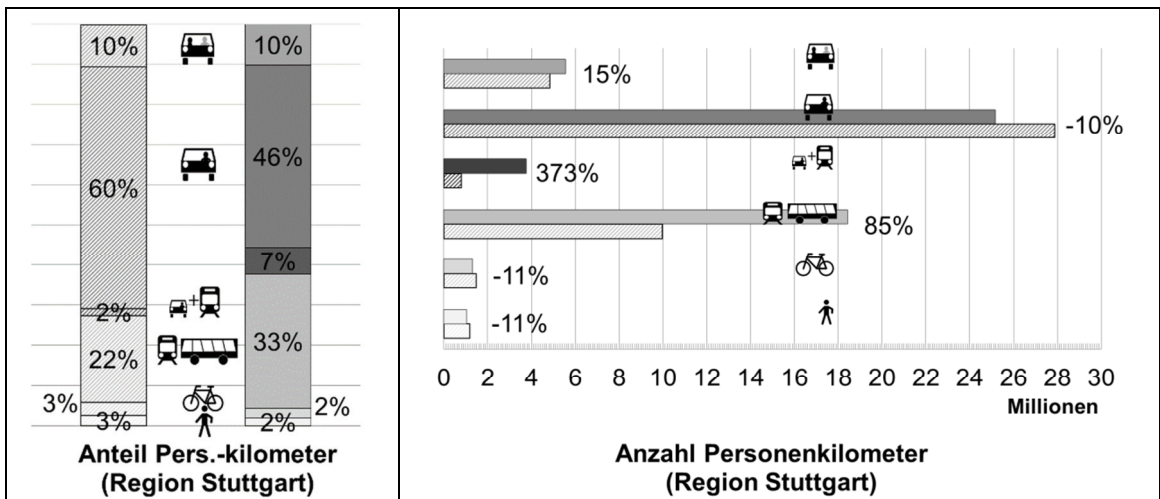


Abbildung 93: Personenkilometer je Modus (PT_FP_100)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus- und Routenwahl

Abbildung 94, Abbildung 95 und Abbildung 96 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Die ÖV-VRS-Personenkilometer nehmen in der Region um 109 % und in Stuttgart um 91 % zu. Die aus der Routenwahl resultierende Zunahme der ÖV-VRS-Personenkilometer ist um 21 % höher als die Personenkilometer der Verkehrsziel- und Moduswahl auf Basis der Lufolinienentfernung mit dem Umwegefaktor von 1,2. Durch den kostenlosen ÖV steigt somit der ÖV-Anteil auch auf Quelle-Ziel-Relationen, die mit dem ÖV nur über einen hohen Umwegefaktor zu erreichen sind. Die Zunahme der Personenkilometer verteilt sich grösstenteils auf Schienenverkehrsmittel (vgl. Abbildung 96). Es ist naheliegend, dass eine Zunahme in dieser Größenordnung zu Überlastungen im ÖV führen wird und daher, um diese Wirkungen erzielen zu können, Ausbaumaßnahmen des ÖV-Angebots notwendig sind.

Die Abnahme der Fahrzeugkilometer des Pkw-VRS, im Einzelnen 6 % in der Region und 7 % in Stuttgart, bewirken eine Zunahme der Lkw-Fahrzeugkilometer sowie Pkw-Ex-Fahrzeugkilometer. Die Abnahme der Pkw-VRS-Belastung auf den Autobahnen und Bundesstraßen bewirkt eine Verlagerung von Lkw auf diese Straßenklassen. Die Routen über Autobahnen sind länger und erklären die Zunahme der Lkw-Fahrzeugkilometer (vgl. Abbildung 95 Anzahl Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse). Diese Routenwahleffekte treten ebenfalls für den Pkw-Ex-Verkehr auf, weshalb die Abnahme der Pkw-Fahrzeugkilometer auf den Autobahnen und Bundesstraßen geringer als auf anderen Straßenklassen ausfällt (vgl. Abbildung 96).

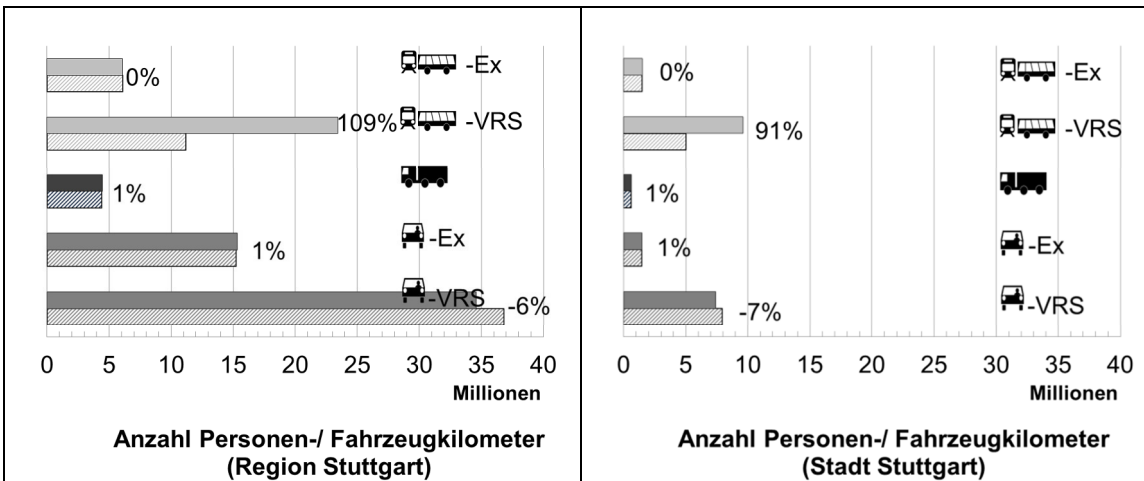


Abbildung 94: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_FP_100)

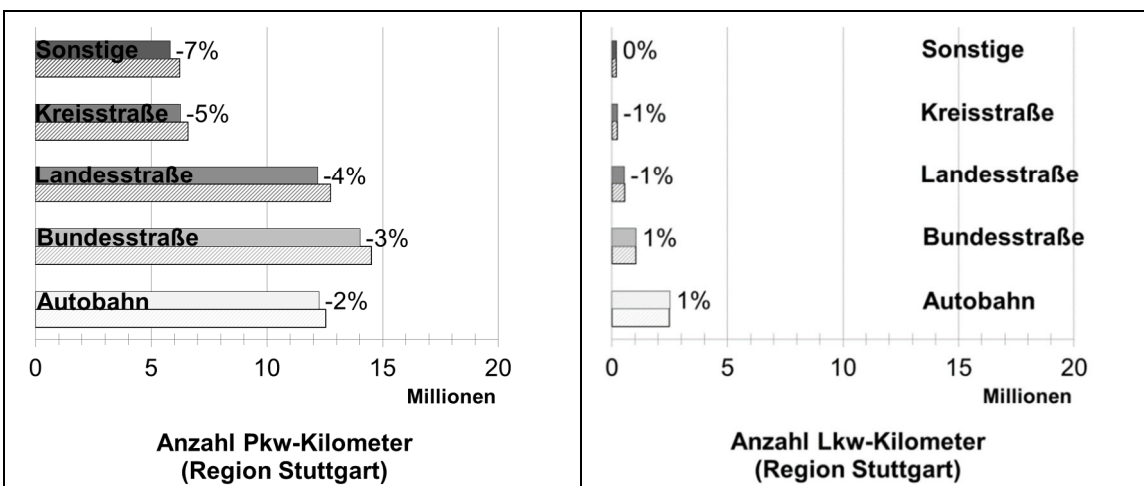


Abbildung 95: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_FP_100)

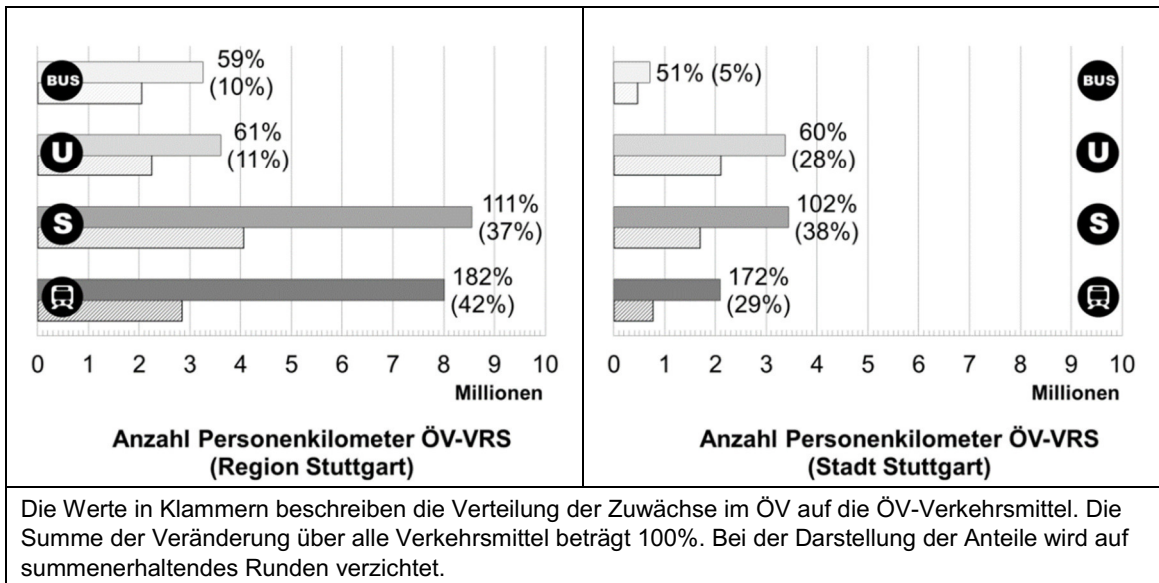


Abbildung 96: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_FP_100)

Umweltwirkungen

Tabelle 30 stellt die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen dar. Die Reduktionswirkung in Stuttgart fällt größer als in der Region aus. Dies erklärt sich durch die, im Vergleich zur Region, ebenfalls höhere Reduktion der Fahrzeugkilometer. In der Region und in Stuttgart ist die Abnahme der Emissionen und des Energieverbrauchs größer als die Abnahme der Fahrzeugkilometer.

Der Maßnahmenfall führt zur Abnahme der Fahrzeugkilometer in Stuttgart und der gesamten Region. Diese nehmen auf Strecken ab, auf denen durch die Kombination der Faktoren höhere Emissionen / Energieverbräuche pro gefahrenem Kilometer produziert werden, als dies durchschnittlich der Fall ist. Aus diesem Grund sind die Reduktionen der Umweltkenngößen höher als die Reduktion der Fahrzeugkilometer.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	-5 %	-7 %	-6 %	-7 %	-5 %	-6 %
Region Stuttgart	-4 %	-5 %	-5 %	-6 %	-4 %	-4 %

Tabelle 30: Umweltwirkungen (PT_FP_100)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind auf Streckenebene für MIV auf Streckenabschnitten in der Region ausserhalb der Modellgenauigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität messbar. Für den ÖV sind die Wirkungen auf Schienenstrecken und Busstrecken in der Region außerhalb der Modellgenauigkeiten und in der Realität messbar.

5.8.9 Zusammenschluss von Tarifzonen des Tarifverbundes (PT_TZ)

Beschreibung des Maßnahmenfalls

Der Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS) ist aus Tarifzonenringen aufgebaut. Außerhalb von Stuttgart ist jeder Ring in einzelne Tarifzonen aufgeteilt. Durch die Maßnahme wird die Tarifstruktur vereinfacht, so dass die einzelnen Tarifzonen eines Tarifzonenringes zu einer einzigen Tarifzone zusammengefasst werden. Hierdurch verringert sich die Anzahl an Tarifzonen von 49 auf 9. Der Fahrpreis für eine durchfahrene Tarifzone bleibt dabei unverändert.

Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Die Vereinfachung der Tarifzonenstruktur führt zur Vergünstigung von ÖV-Fahrten innerhalb eines Tarifzonenringes. Die Attraktivität des Modus ÖV steigt für vergünstigte Ortsveränderungen innerhalb von Tarifzonenringen und führt zu Verlagerungen von allen anderen Modi zum ÖV. Verlagerungen hin zum Modus P+R mit ÖV-Teilweg werden, aufgrund der Lage der P+R-Anlagen an Schienenstrecken, als unwahrscheinlich eingeschätzt, da die Schienenstrecken größtenteils nicht innerhalb eines Tarifzonenringes verlaufen. Die Fahrgastzuwächse des ÖV werden durch Kapazitätsbeschränkungen begrenzt. Durch die Verlagerungen zum ÖV sind Reisezeitgewinne im MIV möglich. Nur wenige Linien des ÖV-Angebots verlaufen innerhalb eines Tarifzonenringes, weshalb die effektive Fahrpreisreduktion gering ausfällt. Änderungen der Verkehrsmittelverfügbarkeit und Zuwächse im ÖV über die Kapazitätsbeschränkungen hinaus werden daher als unwahrscheinlich eingeschätzt.

Abbildbarkeit der Wirkungszusammenhänge / -vermutungen

Alle Wirkungszusammenhänge / -vermutungen können abgebildet werden.

Modellierung

Die Tarifzonen sind im Verkehrsnachfragemodell abgebildet. Diese werden entsprechend des Maßnahmenfalls neu zusammengefasst. Dies erfolgt durch eine neue Zuordnung der Haltestellen zu den Tarifzonen.

Wirkungsbetrachtung

Wirkungen auf die Verkehrsziel- und Moduswahl

Abbildung 97 und Abbildung 98 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Verkehrsziel- und Moduswahl. Die Personenkilometer werden anhand der Luftlinienweite und einem Umwegefaktor von 1,2 berechnet. Die Routenwahl beeinflusst somit nicht die Ergebnisse der dargestellten Personenkilometer.

Der Maßnahmenfall bewirkt eine Verlagerung von P+R-Wegen hin zum ÖV. Die Anzahl an Wegen anderer Modi verändert sich durch die Maßnahme nicht signifikant.

Anstelle den Pkw-Teilweg zur P+R-Anlage mit dem Pkw zurückzulegen, steigt, durch den Zusammenschluß von Tarifzonen, die Attraktivität den Weg komplett mit dem ÖV zurückzulegen. Dadurch sinkt der Anteil des P+R beim Modal-Split (Wege) um 1 %- Punkt.

Die durchschnittliche Reiseweite im ÖV und P+R steigt durch die Maßnahme um 0,1 km an. Die Änderung der Anzahl an Wegen und der durchschnittlichen Reiseweite wirken sich auf die Personenkilometer aus. Diese erhöhen sich für Pkw-Mitfahrer um 1 % sowie für ÖV um 2 % und reduzieren sich für P+R um 3 %. Auf den Modal-Split auf Basis der Personenkilometer haben diese Änderungen keinen Einfluss.

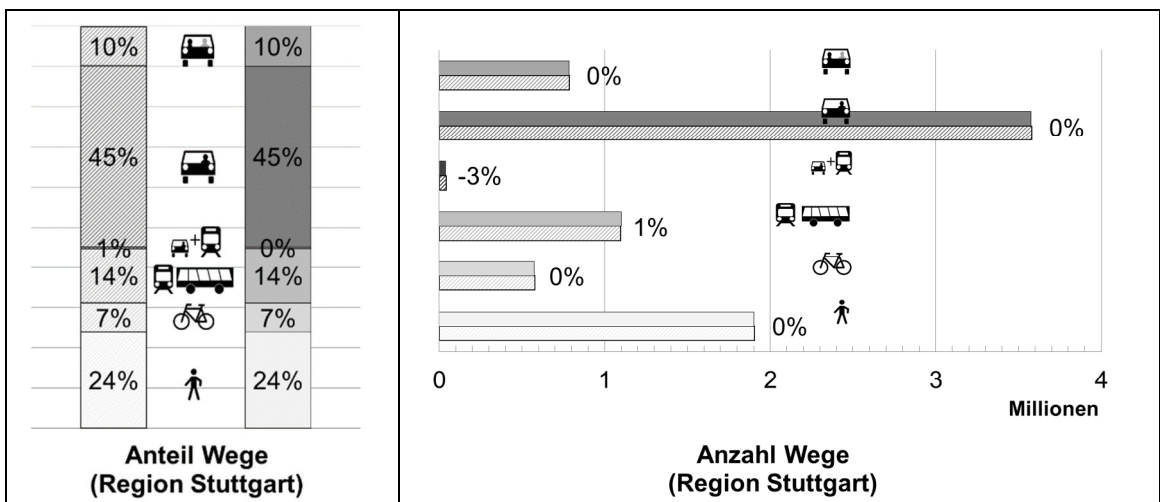


Abbildung 97: Wege je Modus (PT_TZ)

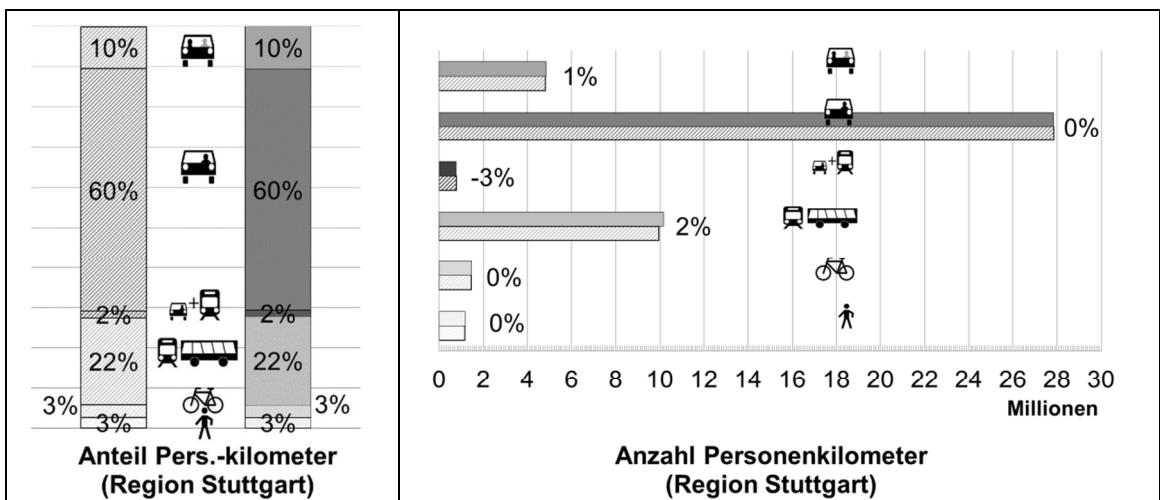


Abbildung 98: Personenkilometer je Modi (PT_TZ)

Wirkungen auf die Verkehrsziel-, Modus und Routenwahl

Abbildung 99, Abbildung 100 und Abbildung 101 zeigen die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Routenwahl. Die Wirkungen auf ÖV-VRS und Pkw-VRS resultieren ebenfalls aus der Verkehrsziel- und Moduswahl.

Durch den Maßnahmenfall erhöhen sich die ÖV-VRS-Personenkilometer in Stuttgart und in der Region um 2 %. Die Zunahme an Personenkilometer entfällt mit > 50 % größtenteils auf das ÖV-Verkehrsmittel Zug (vgl. Abbildung 101, Angaben in Klammern) obwohl diese Linien nicht innerhalb der Tarifzonenringe verkehren. Ursächlich hierfür sind vielmehr Fahrpreiseinsparungen die aufgrund des Linienverlaufes der Zubringerbusse entstehen können. Durch die Tarifzonenänderung können somit nicht nur Quelle-Ziel-Relationen, die innerhalb der Tarifzonenringe verkehren, auf den Modus ÖV verlagert werden.

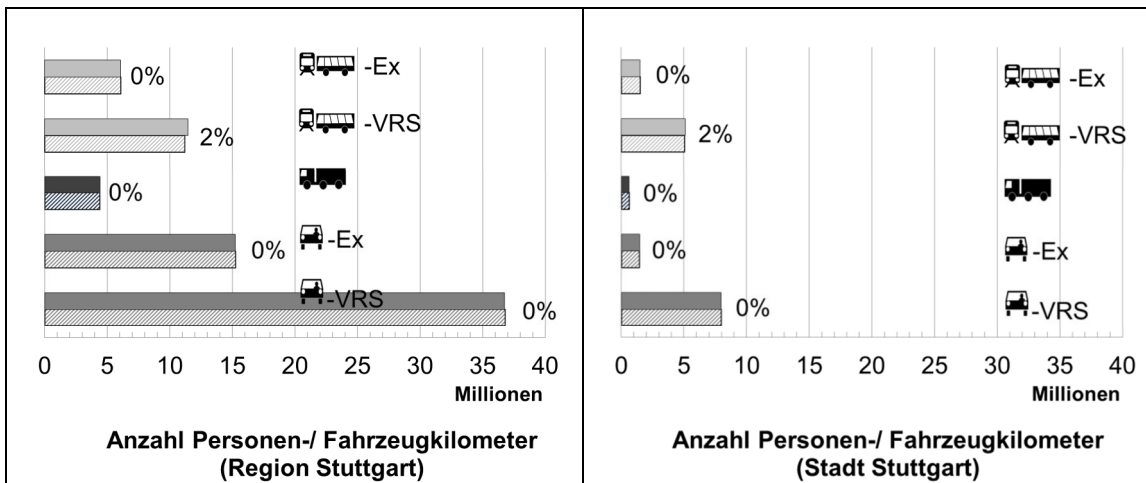


Abbildung 99: Personen-/ Fahrzeugkilometer je Nachfragesegment (PT_TZ)

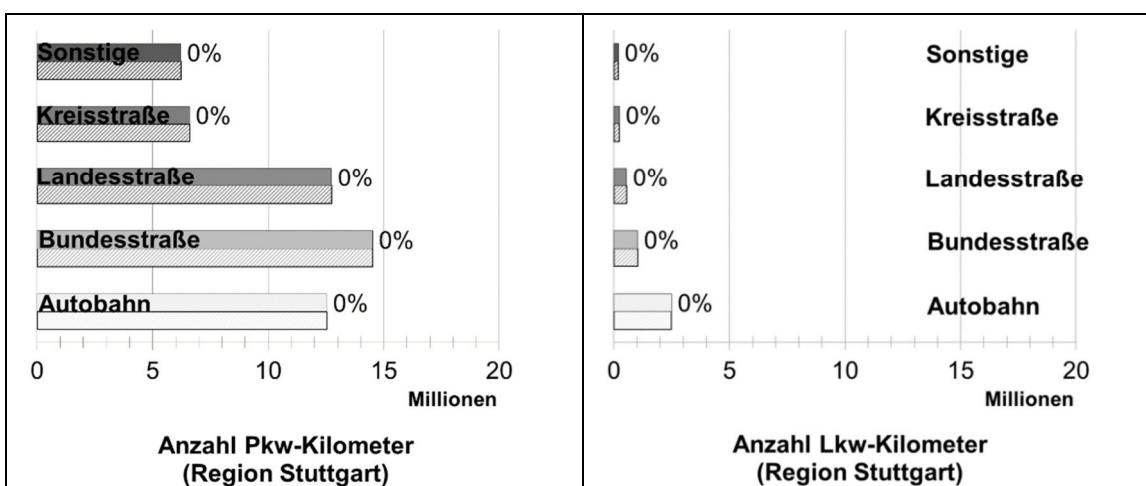


Abbildung 100: Pkw-/ Lkw-Fahrzeugkilometer je Straßenklasse (PT_TZ)

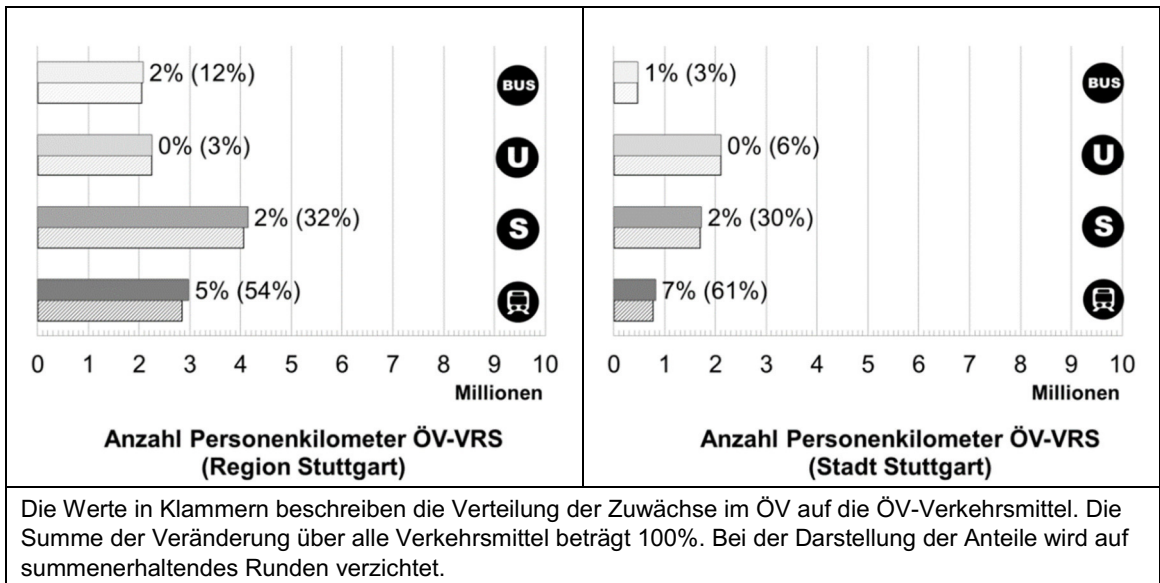


Abbildung 101: Personenkilometer je ÖV-Verkehrsmittel (PT_TZ)

Umweltwirkungen

Tabelle 31 stellt die Wirkungen des Maßnahmenfalls auf die Umweltkenngößen dar. Aus dem Maßnahmenfall ergeben sich keine Änderungen zum 0-Fall.

Gebiet	Änderung zum 0-Fall					
	Energieverbrauch	HC	PM	NO _x	CO	CO ₂
Stadt Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Region Stuttgart	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 31: Umweltwirkungen (PT_TZ)

Ergebnisqualität

Die Wirkungen können mit dem Verkehrsnachfragemodell berechnet werden. Sie sind aber auf Streckenebene für MIV und ÖV innerhalb der Modellgenauigkeiten und die Wirkungen sind in der Realität kaum messbar.

6 Wirkungsvergleich der Maßnahmen

In diesem Kapitel werden die Wirkungsergebnisse der berechneten konkreten Maßnahmenfälle miteinander verglichen und Wirkungsmechanismen dargestellt sowie abschließend aufgezeigt, welche Maßnahmenfälle hinsichtlich unterschiedlicher Zielerreichungen am effektivsten sind. Anschließend erfolgt ein Vergleich der berechneten Wirkungen der konkreten Maßnahmenfälle mit Wirkungen von Maßnahmenfällen aus der Literatur.

Wirkungsvergleich der Maßnahmenfälle

Durch den Vergleich der Wirkungsergebnisse der berechneten konkreten Maßnahmenfälle lassen sich nachfolgende Wirkungsmechanismen bei der Moduswahl erkennen (vgl. Abbildung 102):

- Wird die Attraktivität des MIV mit einer Maßnahme unmittelbar gesteigert, gewinnen alle MIV-Modi (Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und P+R) an Attraktivität. Dies führt zu einer Verlagerung von allen anderen Modi hin zu den MIV-Modi (vgl. Maßnahmenfälle IS_KFZ_*).
- Wird die Attraktivität des MIV mit einer Maßnahme unmittelbar gemindert, verlieren die MIV-Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer an Attraktivität. Dies führt zu einer Verlagerung von diesen MIV-Modi hin zu anderen Modi (vgl. Maßnahmenfälle OP_*, PT_PB, PT_GG_*, PT_NG). Ist bei dem intermodalen Modus P+R der Pkw-Teilweg unmittelbar von der Maßnahme betroffen, nimmt die Attraktivität des P+R, wie bei den anderen MIV-Modi, ab (vgl. Maßnahmenfälle OP_40, PT_NG). Ist der Pkw-Teilweg mittelbar von einer Belastungszunahme durch räumliche Verlagerungen betroffen, nimmt die Attraktivität ebenfalls ab (vgl. Maßnahmenfälle OP_DV). Ist der Pkw-Teilweg mittelbar von einer netzweiten Belastungsabnahme betroffen, nimmt die Attraktivität zu (vgl. Maßnahmenfälle PT_PB, PT_GG*).
- Wird die Attraktivität des ÖV mit einer Maßnahme unmittelbar gesteigert, verlieren die Modi Fuß, Rad und Pkw-Selbstfahrer an Attraktivität. Dies führt zu einer Verlagerung von diesen Modi hin zum ÖV (vgl. Maßnahmenfälle LFA_*, PT_FP_*, PT_TZ). Bei einer Maßnahme, die das ÖV-Angebot verbessert, verliert der Modus Pkw-Mitfahrer ebenfalls an Attraktivität (vgl. Maßnahmenfälle LFA_*). Beim Modus P+R ist die Attraktivität davon abhängig, inwieweit der ÖV-Teilweg von der ÖV-Angebotsverbesserung betroffen ist. Bei Maßnahmenfällen, die den Fahrpreis reduzieren, steigt die Attraktivität des P+R durch niedrigere Fahrpreise auf dem ÖV-Teilweg. Der Modus Pkw-Mitfahrer verliert, im Vergleich zur Angebotsverbesserung, aufgrund einer Modellunzulänglichkeit kaum an Attraktivität (vgl. Maßnahmenfälle PT_FP_*).

Durch den Vergleich der Wirkungsergebnisse der berechneten Maßnahmenfälle lassen sich anhand der durchschnittlichen Reiseweitenverteilung nachfolgende Wirkungsmechanismen auf die Zielwahl erkennen (vgl. Abbildung 103). Einerseits können

durchschnittliche Reiseweitenänderungen eines Modus aus einer Änderung der in die Nutzenfunktion der Zielwahl einfließenden Komponenten resultieren. Andererseits können durchschnittliche Reiseweitenänderungen eines Modus aus Verlagerungen von Wegen aus anderen Modi resultieren.

Folgende Wirkungsmechanismen aus der Änderung der Komponenten, die in die Zielwahl einfließen, sind zu erkennen:

- Kürzere Reisezeiten durch Ausbau von Streckenkapazitäten, verstärkte Nutzung von Pedelecs oder zusätzliche Servicefahrten führen zu einer Zunahme der durchschnittlichen Reiseweite der Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer bzw. Rad oder ÖV (vgl. Maßnahmenfälle IS_KFZ_*, IS_Rad, LFA_S_15Min).
- Kürzere Reisezeiten durch Neubau von PR-Anlagen führen zu einer Abnahme der durchschnittlichen Reiseweite des Modus PR (vgl. Maßnahmenfall IS_PR).
- Längere Reisezeiten durch Geschwindigkeitsreduktion und Umfahrungen aufgrund eines Durchfahrtsverbotes führen zu einer Abnahme der durchschnittlichen Reiseweite der Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer (vgl. Maßnahmenfälle OP_V40, OP_DV).
- Höhere Fahrtkosten durch Gebiets- oder Netzgebühren führen zu einer Abnahme der durchschnittlichen Reiseweite der Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer und des intermodalen Modus PR, für den Fall, dass der Pkw-Teilweg von den höheren Fahrtkosten betroffen ist (vgl. Maßnahmenfälle PT_GG*, PT_NG).
- Niedrigere Fahrtkosten durch Reduktion von ÖV-Fahrpreisen oder Zusammenschluss von Tarifzonen führen zu einer Zunahme der durchschnittlichen Reiseweite der Modi ÖV und PR mit ÖV-Teilweg (vgl. Maßnahmenfälle PT_FP_*, PT_TZ).

Folgende Wirkungsmechanismen können für den Fall von Verlagerungen von Wegen aus anderen Modi festgehalten werden:

- Höhere Fahrtkosten durch Gebiets- oder Netzgebühren führen zu einer Zunahme der durchschnittlichen Reiseweite des Modus ÖV (vgl. Maßnahmenfälle PT_GG*, PT_NG). Durch die höheren Fahrtkosten für Pkw-Selbstfahrer sowie Pkw-Mitfahrer werden längere Wege tendenziell mit dem Modus ÖV durchgeführt, kürzere hingegen tendenziell mit dem Modus Rad oder Fuß.

Abbildung 104 stellt die Wirkungen auf die Umweltkenngößen in Bezug auf die Gesamtfahrzeugkilometer dar. Auffallend sind die Maßnahmenfälle IS_KFZ_ABS (Zunahme der Fahrzeugkilometer bei Abnahme der Umweltbelastungen), OP_V40 und PT_NG (deutlich geringere Abnahme der Umweltbelastungen als Fahrzeugkilometer), sowie OP_DV (Zunahme der Umweltbelastungen bei unveränderten Fahrzeugkilometern). Die durchschnittlichen Emissionen pro gefahrenem Kilometer sind im 0-Fall als auch den genannten Maßnahmenfällen auf der Autobahn höher als auf den anderen Straßenklassen. Durch den netzweiten Ausbau der Bundesstraßen (IS_KFZ_ABS) werden Fahrzeugkilometer von der Autobahn auf die Bundesstraßen

verlagert, zusätzlich erreichen Bundesstraßen durch den Ausbau einen Verkehrszustand mit geringeren Emissionen. Dies ermöglicht eine Abnahme der Umweltbelastungen bei Zunahme der Fahrzeugkilometer. Durch die anderen drei Maßnahmen (OP_V40, PT_NG, OP_DV) findet eine Routenverlagerung hin zur Autobahn statt. Da hier die Emissionen pro gefahrenem Kilometer im Durchschnitt höher sind als auf den anderen Straßenklassen, fallen die Änderungen der Emissionen nicht proportional zu den Fahrzeugkilometern aus.

Abschließend wird mithilfe des Vergleichs der Wirkungsergebnisse aufgezeigt, welche Maßnahmen hinsichtlich unterschiedlicher Ziele für eine Zielerreichung am effektivsten sind. Die Ziele werden aus den übergeordneten Zielen, wie sie im Ziel-Mittel-System von Kipke (vgl. KIPKE (1993)) formuliert werden, abgeleitet. Die nachfolgend betrachteten Ziele sind:

- Verkehrsverlagerungen hin zum Fuß- und Radverkehr
- Verkehrsverlagerungen hin zum ÖV
- Reduktion des motorisierten Verkehrs.
- Reduktion der Umweltbelastungen

Für die genannten Ziele werden geeignete Zielkriterien abgeleitet. Die Maßnahmen werden anhand ihrer Wirkung auf die Zielkriterien miteinander verglichen, ohne konkrete Zielwerte für die Zielkriterien zu definieren. Für die Ziele werden die Zielkriterien Wege je Modus, Energieverbrauch und Abgasemissionen herangezogen.

Zur Erreichung von Verkehrsverlagerungen hin zum Fuß- und Radverkehr eignen sich einerseits die modellierten Maßnahmen, die mittelbar die Attraktivität des Radverkehrs steigern, oder die Maßnahmen, welche die Attraktivität des MIV senken. Zur Zielerreichung am effektivsten ist die Netzgebühr in Form einer kilometerabhängigen regionalen Maut.

Zur Erreichung von Verkehrsverlagerungen hin zum ÖV eignen sich die modellierten Maßnahmen, welche die Attraktivität desselben unmittelbar durch Angebotsverbesserungen und Fahrpreisreduktionen steigern, oder die Maßnahmen, welche die Attraktivität des MIV senken. Zur Zielerreichung am effektivsten ist die ÖV-Fahrpreisreduktion um 100 %. Das Modell berücksichtigt keine Kapazitätsbeschränkungen im ÖV. Um die Wirkungen dieser Maßnahme zu erreichen sind Kapazitätserhöhungen im ÖV nötig.

Zur Reduktion des motorisierten Verkehrs eignen sich die modellierten Maßnahmen, welche unmittelbar die Attraktivität des MIV mindern oder die Maßnahmen, welche die Attraktivität der Modi Fuß, Rad, ÖV oder P+R steigern. Zur Zielerreichung am effektivsten ist, neben der ÖV-Fahrpreisreduktion um 100 %, eine Netzgebühr in Form einer kilometerabhängigen regionalen Maut.

Zur Reduktion der Umweltbelastungen eignen sich die folgenden modellierten Maßnahmen: Maßnahmen, welche netzweit die Kapazitäten des motorisierten Verkehrs steigern, die Siedlungsdichte in Wohngebieten mit attraktivem ÖV-Angebot erhöhen, das ÖV-Angebot verbessern, die Fahrtkosten sowie Parkkosten für den Modus MIV erhöhen oder die ÖV-Fahrpreise reduzieren. Wobei die berechneten Maßnahmenfälle, welche die Siedlungsdichte in Wohngebieten mit attraktivem ÖV-Angebot erhöhen sowie Maßnahmen, die das ÖV-Angebot verbessern, sehr geringe Reduktionswirkungen erzielten.

Zudem ist bei einer netzweiten Kapazitätserhöhung des motorisierten Verkehrs mit einer Zunahme des Lkw-Verkehrs, des Wirtschaftsverkehrs sowie Flughafen- und Messeverkehrs zu rechnen. Dieser Umstand wird durch das Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart nicht berücksichtigt. Bei dieser Maßnahme nehmen die Fahrzeugkilometer zu, die Reduktion der Umweltbelastungen resultiert hierbei aus einer Abnahme von Auslastungszuständen, die mit hohen Abgasemissionen pro Fahrzeugkilometer einhergehen. Bei einer Zunahme des Lkw-Verkehrs, Wirtschaftsverkehrs sowie Flughafen- und Messeverkehrs ist jedoch anzunehmen, dass erneut Auslastungszustände mit hohen Abgasemissionen pro Fahrzeugkilometer erreicht werden. In diesem Fall ist mit einer Zunahme der Umweltbelastungen anstelle einer Abnahme zu rechnen.

Am effektivsten hinsichtlich der Reduktion der Umweltbelastungen sind die Maßnahme Netzgebühr in Form einer kilometerabhängigen regionalen Maut sowie die Maßnahme ÖV-Fahrpreisreduktion um 100 %.

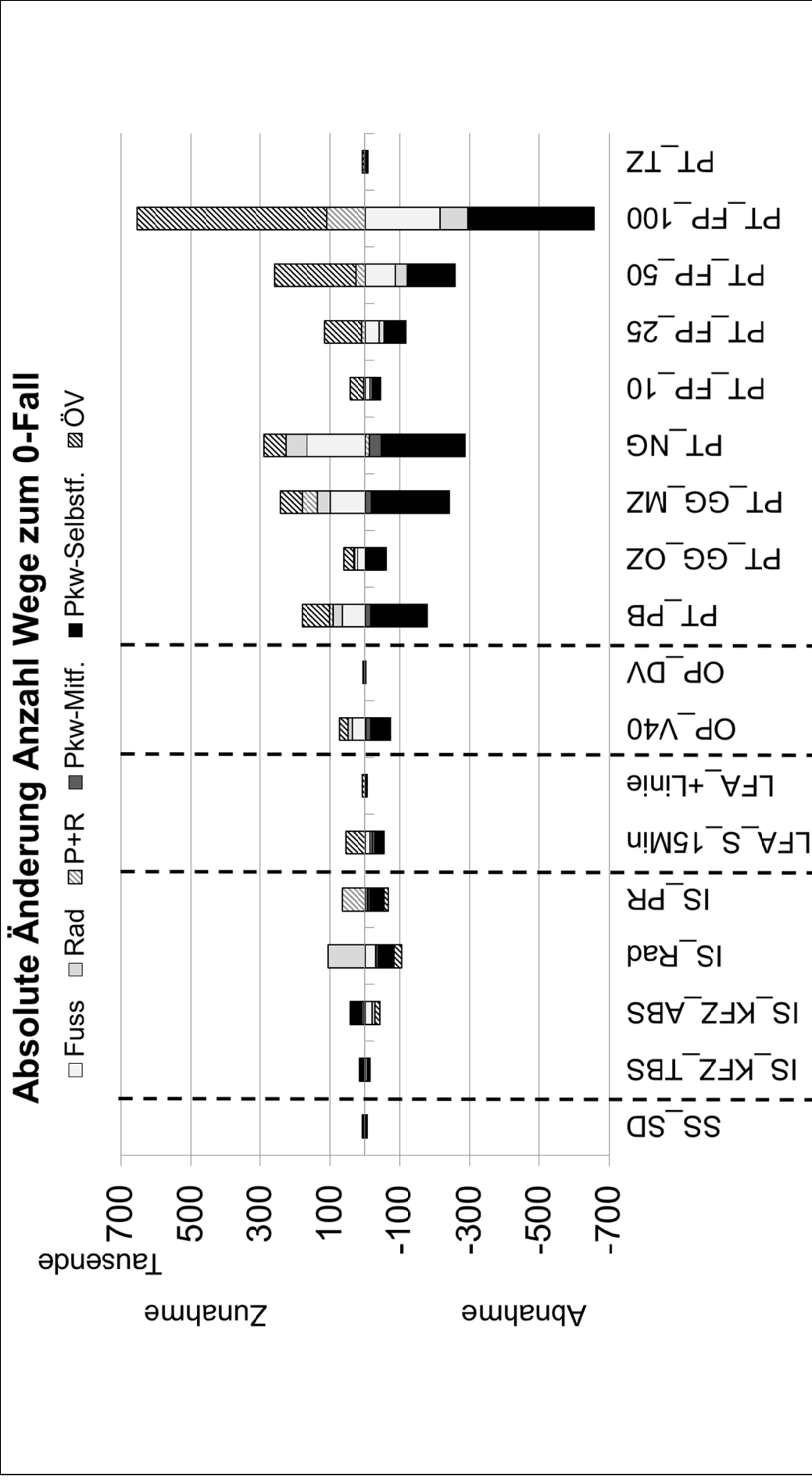


Abbildung 102: Wirkungsvergleich – Absolute Änderung Anzahl Wege je Modus in der Region Stuttgart

Absolute Änderung Ø-Reiseweite [km] zum 0-Fall

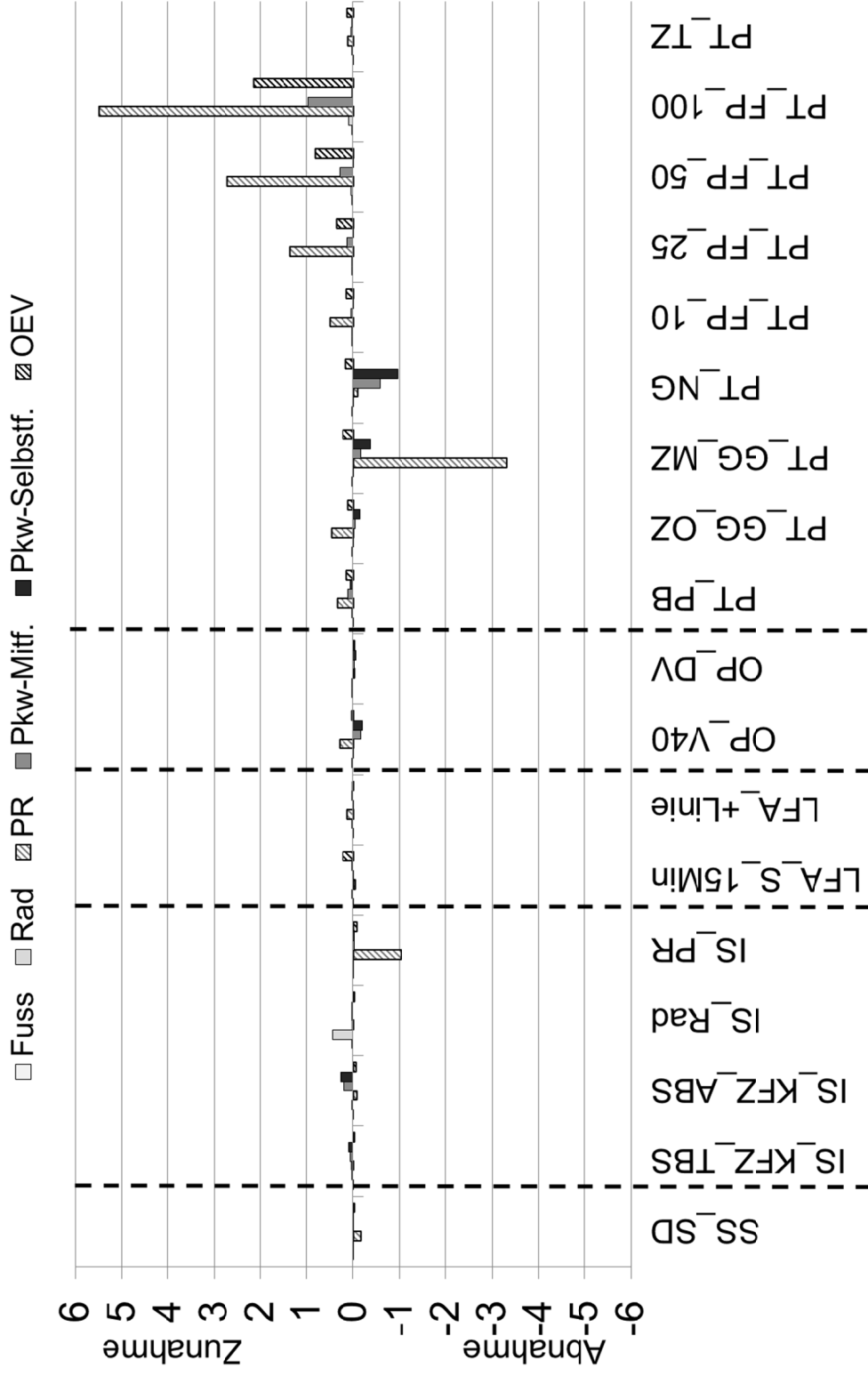


Abbildung 103: Wirkungsvergleich – Absolute Änderung durchschnittliche Reiseweite je Modus in der Region Stuttgart

Relative Änderung Energie & Emissionen zum 0-Fall

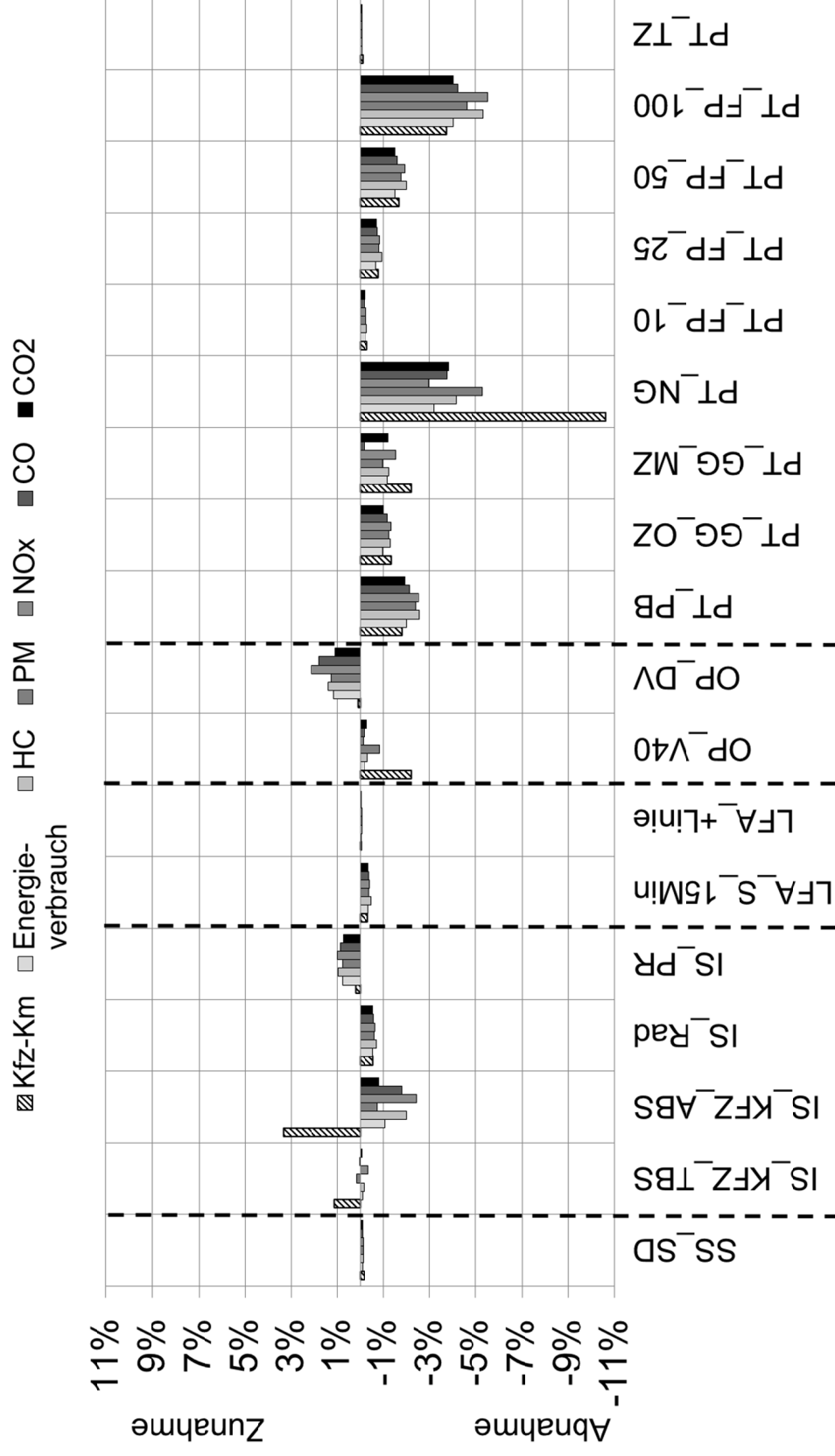


Abbildung 104: Wirkungsvergleich – Relative Änderung Umweltkenngößen in der Region Stuttgart

Wirkungsvergleich der Maßnahmenfälle mit Maßnahmenfälle aus der Literatur

Für nachfolgende konkrete Maßnahmenfälle sind Wirkungsvergleiche mit Maßnahmenfällen aus der Literatur möglich (vgl. Kapitel 2.3). Liegen keine vergleichbaren Maßnahmenfälle aus der Literatur vor, wird der konkrete Maßnahmenfall nicht aufgeführt.

- **Streckenausbau im Radverkehrsnetz (IS_Rad)**

Das Radverkehrsnetz wird um fehlende Strecken des Hauptradroutennetzes in Stuttgart ergänzt und Strecken des Hauptradroutennetzes werden ausgebaut. Zusätzlich wird das Radverkehrsnetz in der Region verstärkt von Pedelecs genutzt. Nach den Berechnungen für die Region Stuttgart reduzieren sich die Modal-Split-Anteile für Pkw, Fuß und ÖV um 1 %-Punkt und erhöht sich für das Rad um 2 %-Punkte.

Die Veröffentlichung Radpotentiale für den Stadtverkehr (vgl. BAIER ET AL. (2013)) untersucht ebenfalls Wirkungen von Infrastrukturmaßnahmen und eine Pedelectrisierung des Radverkehrs für drei Beispielstädte. Die Wirkungsberechnungen der Beispielstädte zeigen bereits, dass die Wirkungen der Maßnahmen im Wesentlichen von der Ausgangssituation abhängig sind und dadurch die Wirkungen in unterschiedlichen Größenordnungen liegen. Durch den regelwerkskonformen Umbau von Radverkehrsanlagen, Ergänzungen im Radverkehrsnetz und einer Pedelectrisierung des Binnenverkehrs erhöht sich der Radanteil um 7 - 12 %-Punkte und der Anteil des MIV reduziert sich um 4 - 9 %-Punkte, des ÖV um 1 %-Punkt und Fuß um 2 %-Punkte.

Die von BAIER ET AL. berechneten Wirkungen für die Beispielstädte sind höher. Gründe für die höheren Wirkungsergebnisse sind, neben der unterschiedlichen Ausgangssituation die Modellierung selbst. BAIER ET AL. unterscheiden bei der Geschwindigkeitsermittlung neben der Steigung zusätzlich die Führungsform und bei der Pedelectrisierung werden die Geschwindigkeiten z. B. an Steigungsstrecken (ILängsneigungl > 6 %) um 7 - 16 km / h erhöht. Bei der Modellierung des Maßnahmenfalls IS_Rad wird die Geschwindigkeit pauschal um 3 km / h und auf Hauptradrouten um 5 km / h erhöht.

- **Erweiterung des Liniennetzes in der Region durch Expressbusse (LFA_+Linie)**

In der Region Stuttgart werden elf Expressbuslinien eingeführt. Diese Busse verbinden auf direktem Wege wichtige Quelle-Ziel-Relationen, die bisher nur über Umwege mit dem ÖV erreicht werden können. Die Busse verkehren zwischen 5:00 Uhr und 22:00 Uhr im 60-Minutentakt. In den Hauptverkehrszeiten zwischen 06:00 und 09:00 Uhr sowie zwischen 15:00 und 19:00 Uhr wird ein 30-Minutentakt angeboten. Die Anzahl an Wegen, die mit dem ÖV zurückgelegt werden, erhöhen sich durch den Maßnahmenfall um 1 %. Die Fahrgäste / Werktag (Montag – Freitag)

liegen je Expressbuslinie im Durchschnitt bei 1.500 Fahrgästen. Zwischen Münster und Lüdinhausen startete 1990 eine Schnellbuslinie mit einem Bedienungszeitraum von 5:30 Uhr bis 20:00 Uhr. Zwischen 1990 und 2006 wurde die Schnellbuslinie durch weitere Maßnahmen (Taktverdichtungen, größere Gelenkbusse und Einfuhr einer direkten Verbindung ohne Halt in Senden). Nach diesen Maßnahmen wird während des gesamten durchgehend mindestens ein 30-Minuten-Takt angeboten. Hierbei wird morgens ein 20-Minuten-Takt, und ab dem Zwischenhalt Senden ein 10-Minuten-Takt, angeboten. Von 1991 sind die Fahrgäste / Werktag (Montag - Freitag) von 1.022 bis zum Jahr 2006 auf 2.903 angestiegen.

Die Wirkungen beider Maßnahmenfälle können nicht direkt miteinander verglichen werden, da die Wirkungen auch von der Angebotsqualität der gesamten Region abhängig sind. Es zeigt sich aber, dass die Anzahl an Fahrgästen / Linie direkt nach Einführung mit ca. 1.500 und 1.022 Fahrgästen in derselben Größenordnung liegen.

- Parkraumbewirtschaftung in Stuttgart (PT_PB)

Parkraumbewirtschaftung wird ausgeweitet und flächendeckend, mit Ausnahme der äußeren Stadtbezirke, betrieben. Die Gebühren werden im Vergleich zu den Gebühren, die vor der Maßnahme in Stuttgart-West erhoben wurden, verdoppelt. Anwohner sind durch Anwohnerparkberechtigungen von den Gebühren befreit. Die Maßnahme bewirkt eine Abnahme des Kfz-Zielverkehrs nach Stuttgart um 5 %. Nach BAIER ET AL. (2000) kann mit Parkraumbewirtschaftung eine Abnahme des gesamtstädtischen Kfz-Zielverkehrs um 1 % und des innerstädtischen Kfz-Zielverkehrs um 5 % erzielt werden.

Vergleicht man die gesamtstädtischen Reduktionen des Kfz-Zielverkehrs, liegen die prognostizierten Wirkungen von BAIER ET AL. mit 1 % unter den berechneten Wirkungen des Maßnahmenfalls PT_PB mit 5 %. Die Werte von BAIER ET AL. basieren auf der Umsetzung von Parkraumbewirtschaftung in der Innenstadt. Im konkreten Maßnahmenfall PT_PB wird Parkraumbewirtschaftung, zusätzlich zu der bereits im 0-Fall vorhandenen Parkraumbewirtschaftung in der Innenstadt, flächendeckend auf nahezu das gesamte Stadtgebiet ausgeweitet und die Gebühren verdoppelt. Aufgrund der konkreten Umsetzung der Parkraumbewirtschaftung im Maßnahmenfall PT_PB macht es Sinn die Wirkung von BAIER ET AL. der Innenstadt als Vergleich für die Wirkungen des gesamtstädtischen Zielverkehrs des Maßnahmenfallses PT_PB heranzuziehen. Hier liegen die Wirkungen mit jeweils 5 % Reduktion des Zielverkehrs in derselben Größenordnung.

- Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart (PT_GG_OZ)

Jede Einfahrt in die Innenstadt Stuttgart (Talkessel) wird tageszeitunabhängig mit einer Mautgebühr von 5 € bepreist. Es werden keine Tagestickets angeboten, Bewohner sind von der Mautgebühr befreit und die Mauterfassung erfolgt mittels eines elektronischen Systems. Durch den Maßnahmenfall reduzieren sich in

Stuttgart die Pkw-VRS-Fahrzeugkilometer um 10 % und die Pkw-EX-Fahrzeugkilometer um 2 %. Die Lkw-Fahrzeugkilometer erhöhen sich um 1 % in Stuttgart. Bezogen auf das Mautgebiet nehmen die Kfz-Fahrzeugkilometer um 28 % und die Pkw-Fahrzeugkilometer um 30 % ab. IMMISCH (2008) erzielt mit einer Gebietsgebühr von 1,70 pro Einfahrt für die Innenstadt von Dresden eine Reduzierung der Pkw-Fahrzeugkilometer um 58 %. Die Pkw-Fahrzeugkilometer enthalten bei IMMISCH nicht den Wirtschaftsverkehr.

Der berechnete Wert von IMMISCH liegt über dem des Maßnahmenfalls PT_GG_OZ, obwohl die Gebühren pro Einfahrt weniger als die Hälfte betragen. Allerdings werden bei IMMISCH die Bewohner des Gebiets nicht von der Mautgebühr befreit und die Reduktionswirkung bezieht sich ausschließlich auf den Personenverkehr. Der Personenverkehr wird beim Maßnahmenfall PT_GG_OZ nicht einzeln als Nachfragesegment umgelegt und kann aus diesem Grund nicht ausgewiesen werden. Aufgrund der beschriebenen Unterschiede können die berechneten Wirkungen nicht direkt miteinander verglichen werden.

In London konnten durch Area Licensing, durch das für einen Tag (07:00-18:00) ca. 9 € zu entrichten sind, die Kfz-Fahrzeugkilometer um 14 % und die Pkw- und Van-Fahrzeugkilometer um 27 % im Mautgebiet reduziert werden. Durch das in Stockholm umgesetzte Cordon Pricing, durch das tageszeitabhängige Gebühren pro Einfahrt sowie Ausfahrt zwischen 06:30 und 18:30 Uhr zu entrichten sind (max. Gebühr pro Einfahrt ca. 2 € und pro Tag ca. 6 €), konnten im Mautgebiet die Kfz-Fahrzeugkilometer um 16 % und die Pkw-Fahrzeugkilometer um 17 % gesenkt werden. Wie schon zuvor können die Wirkungen aus London und Stockholm nicht direkt mit den Wirkungsergebnissen verglichen werden, da in beiden Städten Tagestickets angeboten werden, die Mautgebühr nicht für den gesamten Tag erhoben werden und in Stockholm die Mautgebühr von der Tageszeit abhängig ist. Allgemein zeigen die Wirkungen aus London mit der Reduktion der Pkw- und Van-Fahrzeugkilometer von 27 %, dass die berechneten Wirkungen für den Maßnahmenfall PT_GG_OZ mit einer Reduktion der Pkw-Fahrzeugkilometer um 30 % in einer ähnlichen Größenordnung liegen.

- Netzgebühren für die Region Stuttgart (PT_NG)

Durch den Maßnahmenfall wird innerhalb der Region Stuttgart für die Nutzung von außerörtlichen Straßen eine Gebühr von 5 Ct / km und für innerörtliche Straßen von 15 Ct / km erhoben. Die Nutzung der Bundesautobahnen ist gebührenfrei. Durch den Maßnahmenfall reduzieren sich die Pkw-Fahrzeugkilometer in der Region (Mautgebiet) um 12 %. IMMISCH (2008) berechnet für Dresden eine Netzgebühr, bei der für alle Straßen in der Innenstadt 2 € / km erhoben werden und erzielt eine Reduktion der Pkw-Fahrzeugkilometer um 90 % im Mautgebiet. Die Pkw-Fahrzeugkilometer enthalten bei IMMISCH nicht den Wirtschaftsverkehr.

Die Wirkungen von IMMISCH liegen deutlich über den Wirkungen des Maßnahmenfalls PT_NG. Grund hierfür ist, dass sich die Wirkungen von IMMISCH nur auf den Personenverkehr beziehen. Die Wirkungen des Maßnahmenfalls PT_NG schließen ebenfalls den Wirtschaftsverkehr und Sonderverkehre (Flughafen- und Messeverkehr) mit ein, die durch externe Matrizen bei der Routenwahl berücksichtigt werden und gemeinsam mit dem Personenverkehr umgelegt werden. Weitere Gründe sind deutlich höhere Gebühren, die Bepreisung sämtlicher Straßen und das im Vergleich deutlich kleinere Mautgebiet bei IMMISCH. Anders als regionale Mautgebiete können kleinere Mautgebiete, wie eine Innenstadt, umfahren werden.

- Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 100 % (PT_FP_100)

Durch den Maßnahmenfall werden die Fahrpreise des ÖV in der Region Stuttgart tageszeitunabhängig um 100 % vergünstigt und somit kostenlos angeboten. Durch den Maßnahmenfall erhöht sich die Anzahl an Wegen die mit dem ÖV zurückgelegt werden um 50 %. In der belgischen Stadt Hasselt haben sich zehn Jahre nach Einführung des Nulltarifes, Ausbau des ÖV und Einschränkungen im MIV (u. a. durch Einfahrverbote und Parkraumbewirtschaftung) die Fahrgastzahlen von 360 Tsd. auf 4.600 Tsd. Fahrgäste / Jahr erhöht. Dies entspricht einer prozentualen Zunahme von 1.178 %.

Die Wirkungen in Hasselt liegen weit über den Wirkungen des Maßnahmenfalls PT_FP_100. Aufgrund der zusätzlichen Maßnahmen, die in Hasselt während des zehnjährigen Betrachtungszeitraumes eingeführt wurden, und möglichen Änderungen der Rahmenbedingungen aufgrund des langen Betrachtungszeitraumes, können die Wirkungen nicht alleine auf den Nulltarif zurückgeführt werden. Somit können die Wirkungen nicht direkt miteinander verglichen werden.

Der Vergleich der Wirkungsergebnisse zeigt, dass die Wirkungen von der Ausgangssituation (0-Fall) und der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmenfälle abhängig sind. Daraus folgt, dass Wirkungen von Maßnahmenfällen gleicher Maßnahmen je nach Ausgangssituation und Ausgestaltung des Maßnahmenfalls nicht zwingend in derselben Größenordnung liegen müssen.

7 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit bietet Anwendern, Planern, Verwaltungen und politischen Entscheidungsträgern einen umfassenden Überblick, wie und in welchem Umfang Verkehrsnachfragemodelle den Planungsprozess der städtischen Verkehrsplanung unterstützen können und welche Maßnahmen hinsichtlich festgelegter übergeordneter Ziele am wirkungsvollsten sind. Hierzu werden einleitend die Grundlagen der städtischen Verkehrsplanung und Verkehrsnachfragemodellierung vorgestellt sowie ein Überblick über den Stand der Technik von Verkehrsnachfragemodellen bezogen auf Forschung, Software und Praxis erarbeitet. Hierauf aufbauend wird mithilfe typischer Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung aufgezeigt, welche maßnahmen-spezifischen Anforderungen ein Verkehrsnachfragemodell zur Modellierung von Maßnahmen erfüllen muss, ob ein Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik für die Modellierung einer Maßnahme geeignet ist und es werden Modellierungsvarianten vorgestellt. Für geeignete Maßnahmen werden anhand von konkreten Maßnahmenfällen Wirkungsprognosen am Beispiel der Region Stuttgart berechnet und die Ergebnisse dargestellt, deren Ergebnisqualität untersucht und die Wirkungen miteinander sowie mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen.

Die Anforderungsuntersuchung macht deutlich, welche Kenngrößen ein Verkehrsnachfragemodell für unterschiedliche Einsatzbereiche berechnen können muss und dass sich neben allgemeinen Anforderungen maßnahmen-spezifische Anforderungen ergeben können. Die Darstellung der maßnahmen-spezifischen Anforderungen erfolgt auf Grundlage einer Untersuchung von 31 Maßnahmen aus zehn definierten Maßnahmenklassen. Die Untersuchung zeigt auf, dass die zur Abbildung notwendige Modellstruktur in Abhängigkeit der zu modellierenden Maßnahmen variiert. Bezogen auf ein Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik reicht die Eignung zur Modellierung der untersuchten Maßnahmen von nicht abbildbar über teilweise abbildbar zu abbildbar.

Eine fehlende Abbildbarkeit ist gegeben, wenn eine Anpassung von Parametern des Mobilitätsverhaltens für die Abbildung der Wirkungszusammenhänge notwendig ist, da dies wiederum Kenntnisse über die Wirkung der Maßnahme voraussetzt. Ohne die Kenntnis über die Wirkung können die Parameter nur abgeschätzt werden. Dies ist generell bei Maßnahmen der Informationsverbesserung und Bewusstseinsänderung der Fall. Eine fehlende Abbildbarkeit von Wirkungszusammenhängen kann jedoch auch durch die Modellstruktur selbst gegeben sein. Eine Erweiterung der Modellstruktur ist beispielsweise für Maßnahmen der Maßnahmenklasse Angebote geteilter Verkehrsmittel notwendig, da hier Teilmodelle für Sharing und Rideselling mit Pooling benötigt werden. Eine teilweise Abbildbarkeit liegt hingegen vor, wenn ein Teil der Wirkungszusammenhänge ohne Erweiterungen der Modellstruktur und ohne Anpassung von Parametern möglich ist. Die Ergebnisse zeigen, dass für eine teilweise Abbildbarkeit oftmals ein fehlendes Wirkungsmodell, welches Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit abbildet, oder ein fehlendes Erzeugungsmodell mit

elastischen Mobilitätsraten, mit welchem Neuverkehre berechnet werden können, oder auch eine fehlende ÖV-Routenwahl mit Kapazitätsbeschränkungen, mit welcher Fahrgastzuwächse über Kapazitätsgrenzen hinaus verhindert werden, ursächlich ist.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden 14 der zuvor betrachteten Maßnahmen als abbildbar oder teilweise abbildbar mit einem Verkehrsnachfragemodell nach dem Stand der Technik am Beispiel der Region Stuttgart beurteilt. Die weitergehende Untersuchung derselben erfolgt durch Modellierung von 18 konkreten Maßnahmenfällen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die berechneten Wirkungen der Maßnahmenfälle in unterschiedlichen Größenordnungen liegen und hierfür nicht nur die Maßnahme selbst, sondern ebenfalls die konkrete Umsetzung im Maßnahmenfall ursächlich ist. Wird z. B. der ÖV-Fahrpreis um 10 % reduziert, sind die berechneten Wirkungen geringer als bei einer Reduzierung um 25 %, 50 % oder 100 %.

Die Untersuchung der Ergebnisqualität auf Ebene der Streckenbelastungen erfolgt mithilfe der maximal zulässigen Abweichungen zwischen Modell- und erhobenen Werten, die bei der Validierung der Einzelwerte des Verkehrsnachfragemodells verwendet wurden. Die Untersuchung verdeutlicht, dass es Maßnahmenfälle gibt, bei denen die Änderungen der Streckenbelastungen deutlich kleiner sind als Änderungen, die sich aufgrund der Modellungenauigkeit ergeben können. In diesen Fällen werden mit dem Verkehrsnachfragemodell möglicherweise Wirkungen berechnet, die in der Realität kaum messbar sind. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass dies bei konkreten Maßnahmenfällen mit schwächeren Wirkungen, beispielsweise „Streckenausbau im Radverkehrsnetz (IS_RAD)“, der Fall ist. Die großräumig schwächeren Wirkungen des genannten Maßnahmenfalls weisen aggregierte Wirkungen auf, die in vergleichbarer Größenordnung wie der Maßnahmenfall „Streckenausbau von Teilabschnitten der Bundesstraßen in der Region (IS_KFZ_TBS)“ liegen. Die zurückgelegten Fahrzeugkilometer des Nachfragesegments Pkw-VRS ändern sich in beiden Maßnahmenfällen um jeweils 1 %. Allerdings treten im Maßnahmenfall IS_KFZ_TBS kleinräumig stärkere Wirkungen auf, die im Umfeld der ausgebauten Bundesstraßen in der Realität messbar sein werden. Dieser Vergleich verdeutlicht, dass auf Ebene aggregierter Kenngrößen keine pauschale Aussage darüber getroffen werden kann, ob die berechneten Wirkungen eines Maßnahmenfalls in der Realität messbar sind oder nicht.

Durch Gegenüberstellung der Wirkungsergebnisse der berechneten konkreten Maßnahmenfälle lassen sich die folgenden Wirkungsmechanismen auf Ebene der Moduswahl und Zielwahl erkennen. Die Moduswahl der berechneten Maßnahmenfälle zeigt, dass Maßnahmen, welche eine Steigerung der Attraktivität des MIV bedeuten eine Verlagerung vom Umweltverbund (Modi ÖV, Fuß und Rad) hin zu den Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer bewirken. Wird hingegen die Attraktivität des MIV durch Restriktionen, wie z. B. eine City-Maut oder geringere zulässige Höchstgeschwindig-

keiten, gemindert, führt dies zu einer Verlagerung von den Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer hin zu den Modi des Umweltverbundes. Die Ergebnisse zeigen ebenfalls, dass eine Steigerung der Attraktivität eines bestimmten Modus des Umweltverbundes jedoch auch immer eine Verlagerung von anderen Modi des Umweltverbundes hin zu diesem bestimmten Modus bewirkt. Um festzustellen inwieweit die jeweiligen Teilwege des intermodalen Modus P+R, der aus einem Pkw-Teilweg und einem ÖV-Teilweg besteht, von einer Attraktivitätsänderung durch die Maßnahme betroffen sind, sind Einzelfallbetrachtungen notwendig. Aus dem Resultat der Zielwahl der berechneten Maßnahmenfälle folgt, dass höhere Fahrtkosten oder längere Reisezeiten die durchschnittliche Reiseweite reduzieren sowie niedrige Fahrtkosten oder kürzere Reisezeiten die durchschnittliche Reiseweite der jeweiligen Modi erhöht. Für den intermodalen Modus P+R, der aus einem Pkw-Teilweg und einem ÖV-Teilweg besteht, sind wie schon zuvor Einzelfallbetrachtungen notwendig, um festzustellen, inwieweit die jeweiligen Teilwege von einer Änderung der Fahrtkosten oder Reisezeiten durch die Maßnahme betroffen sind. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass durch Maßnahmen bedingte Verlagerungen von Wegen aus anderen Modi ebenfalls auf die Zielwahl und somit auf die durchschnittliche Reiseweite einwirken können. Während höhere Pkw-Fahrtkosten oder eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten die durchschnittliche Reiseweite der Modi Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer verkürzen, erhöht sich die des Modus ÖV durch Verlagerungen von Wegen hin zu diesem. Eine Reduzierung der ÖV-Fahrtkosten oder Erhöhung der Servicefahrten erhöht die durchschnittliche Reiseweite des Modus ÖV, wobei sich die durchschnittliche Reiseweite der anderen Modi nicht reduziert.

Um festzustellen, ob sich potentielle Maßnahmen zur Zielerreichung eignen, werden die berechneten Wirkungen der konkreten Maßnahmenfälle den Zielen gegenübergestellt. Dies erfolgt beispielhaft für die konzeptionellen Zielvorstellungen „Verkehrsverlagerungen hin zum Fuß- und Radverkehr“, „Verkehrsverlagerungen hin zum ÖV“, „Reduktion des motorisierten Verkehrs“ und „Reduzierung der Umweltbelastungen“. Die Ergebnisse zeigen, dass zur gleichzeitigen Erreichung aller vier Zielvorstellungen der Maßnahmenfall Netzgebühr in Form einer kilometerabhängigen regionalen Maut und der Maßnahmenfall ÖV-Fahrpreisreduktion um 100 % am wirkungsvollsten sind. Für beide Maßnahmenfälle muss jedoch beachtet werden, dass im Verkehrsnachfragemodell für die Region Stuttgart für den Modus ÖV keine Kapazitäten berücksichtigt werden, weshalb die Wirkungen ein Potential darstellen, zu dessen Erreichung das ÖV-Angebot ausgebaut werden muss.

Der Vergleich der Wirkungsergebnisse der konkreten Maßnahmenfälle mit Maßnahmenfällen aus der Literatur verdeutlicht, dass Wirkungen von Maßnahmenfällen gleicher Maßnahmen je nach Ausgangssituation und Ausgestaltung des Maßnahmenfalls nicht zwingend in derselben Größenordnung liegen müssen.

Ausblick

Sowohl die einleitenden Bemerkungen zum vollzogenen Wandel von einer Anpassungsplanung hin zu einer zielorientierten Planung als auch die aufgezeigten Entwicklungen im Bereich des Angebots geteilter Verkehrsmittel sowie der Fahrzeugtechnik belegen die ständig fortschreitende Entwicklung dieses Fachbereiches der Verkehrsplanung.

Für Maßnahmen, die bisher nicht oder teilweise mit Verkehrsnachfragemodellen modelliert werden können und deren Modellierung durch Änderungen der Modellstruktur möglich wäre, stellt sich die Frage, ob es zweckmäßig und notwendig ist die Wirkungen der Maßnahmen zukünftig abbilden zu können.

Die Frage der Zweckmäßigkeit stellt sich z. B. bei Maßnahmen der Verkehrstechnik. In der Praxis werden die Wirkungen von Maßnahmen wie ÖV-Priorisierung, zeitabhängige, verkehrabhängige Steuerungen, Linien- und Netzsteuerungen bisher mit Verkehrsflussmodellen für einzelne Streckenzüge oder Netzausschnitte berechnet. Ein Verkehrsnachfragemodell müsste im Falle einer Modellierung die Lichtsignalprogramme aller lichtsignalgesteuerten Knotenpunkte im Planungsraum enthalten. Dies erfordert zusätzliche Daten wie auch Zeit für die Modellerstellung und erhöht die Rechenzeit. Die Frage der Zweckmäßigkeit entscheidet sich daher im Sinne einer fallbezogenen Kosten-Nutzen-Abwägung und bietet Raum für dahingehende Untersuchungen.

Die Frage der Notwendigkeit hingegen stellt sich z. B. bei Angeboten geteilter Verkehrsmitteln. Eine Notwendigkeit ergibt sich, sobald sich Angebote in einem ausreichend großen Umfang etablieren und sie hierdurch eine nicht zu vernachlässigende Rolle hinsichtlich der Moduswahl einnehmen. Das stationsbasierte Carsharing beispielsweise existiert in Deutschland bereits seit ca. 20 Jahren. Jedoch gewann Carsharing erst mit Einführung des free-floating Carsharing, das derzeit ein starkes Nutzerwachstum verzeichnet, an Bedeutung und erste Teilmodelle zur Abbildung befinden sich momentan in der Entwicklungs- und Testphase. Dennoch gestaltet es sich bisher schwierig, die für die Modellierung notwendigen Daten zu Nutzern und Nutzungsverhalten zu erhalten. Gründe hierfür sind eine fehlende freie Zugänglichkeit der Nutzerdaten von Carsharinganbietern und der Umstand, dass aufgrund des noch vergleichsweise geringen Anteils der Nutzer an der Bevölkerung, keine validen Informationsgewinne durch Haushaltsbefragungen möglich sind. Dies verdeutlicht, dass neben der Weiterentwicklung der Modellstrukturen auch der Erhebung der einschlägigen Datengrundlagen eine Bedeutung zukommt, da nur anhand des Informationsgewinnes die Wirkungsweise in Verkehrsnachfragemodellen hinterlegt und eine Validierung und Kalibrierung derselben durchgeführt werden kann.

Ebenso stellt sich die Frage der Notwendigkeit für den Fall, dass Maßnahmen Teilwirkungen aufweisen, die mit den vorhandenen Modellstrukturen bisher nicht

abgebildet werden können, wie dies beispielsweise bei Wirkungen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit und auf die Anzahl der durchgeführten Wege der Fall ist.

Informationsgewinne, inwieweit Maßnahmen auf die Verkehrsmittelverfügbarkeit oder die Anzahl an zurückgelegten Wegen wirken, können z. B. aus Wirkungsevaluationen in Form von Befragungen nach Einführung der Maßnahmen (siehe hierzu Hasselt nach Einführung des ÖV-Nulltarifs) gewonnen werden. Anhand des Informationsgewinnes sind Aussagen zur Notwendigkeit, Verkehrsnachfragemodelle diesbezüglich zu erweitern, möglich. Analog zur Frage der Zweckmäßigkeit ergibt sich die Notwendigkeit hierfür durch eine fallbezogenen Kosten-Nutzen-Abwägung und bietet Raum für dahingehende Untersuchungen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die vorliegende Arbeit sich auf die Betrachtung der Wirkungen einzelner Maßnahmenfälle beschränkt. Aufgrund möglicher Wechselwirkungen von Maßnahmen untereinander ist es bedeutend, die Wirkungen von Maßnahmenbündeln als solche weiterführend zu untersuchen.

Die aufgeführten Punkte verdeutlichen die Bedeutung der Forschung und Weiterentwicklung der Verkehrsnachfragemodellierung, um aktuellen und zukünftigen Entwicklungen der Realität im Bereich der Mobilität Rechnung zu tragen und damit allen am Planungsprozess Beteiligten ein Werkzeug zur Berechnung von Wirkungsprognosen bereitzustellen.

Literatur

- APEL, D., LEHMBROCK, M. (1990): *Stadtverträgliche Verkehrsplanung Chancen zur Steuerung des Autoverkehrs durch Parkraumkonzepte und -bewirtschaftung*, Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin.
- ARENTZE, T.A., TIMMERMANS, H.J.P. (2001): *Albatross - A Learning-Based Transportation Oriented Simulation System*, Eindhoven University of Technology, <http://www.nctcog.org/trans/modeling/nextgeneration/Albatross.pdf>, Accessed 18.03.2017.
- ARNOLD, M. (2001): *Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs*, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 820, Bundesdruckerei. Bonn.
- BAIER, R., HEBEL, C., PETER, C., SCHÄFER, K.-H. (2000): *Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung*, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 77406/1996, Bundesanstalt für Straßenwesen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 75, Wirtschaftsverlag NW. Bergisch Gladbach.
- BAIER, R., SCHUCKLIEß, W., JACHTMANN, Y. (2013): *Radpotentiale im Stadtverkehr*, Forschungsprojekt FE 70.0819/2008, Bundesanstalt für Straßenwesen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 227, Wirtschaftsverlag NW. Bergisch Gladbach.
- BALZ, W. (1995): *Wirkungen kollektiver Verkehrsbeeinflussungssysteme*. Straßenverkehrstechnik, Heft 7, S. 301–307, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- BASTIAN, M., BOBINGER, R., BOESEFELDT, J., BOLTZE, M., ET AL. (2006): *OptiV - Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr*, www.optiv.de, Accessed 01.11.2018.
- BERGER, M., BERGMANN, U., FALLAST, K., FELLENDORF, M., ET AL. (2011): *Maßnahmen und Schritte für den Einsatz innovativer Planungswerkzeuge in der Raum- und Verkehrsplanung*, Wissenschaftlicher Endbericht Forschungsprojekte HOLODECK und TechnoVeP, Österreichisches Institut für Raumplanung | AIT – Austrian Institute of Technologie | CEIT Alanova Verkehrsplus – Planung, Prognose und Strategieberatung | TU Graz – Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hg.), <https://www2.ffg.at/verkehr/file.php?id=349>, Accessed 04.11.2015.
- BÖHNKE, B. (2005): *Modellierung von Parkraumnachfrage und Parkraummanagement-Maßnahmen in einem makroskopischen Verkehrsmodell*,

Dissertation, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik. Stuttgart.

BOLTZE, M., JIANG, W., GROER, S., SCHEUVENS, D. (2014): *Analyse der Wirksamkeit von Umweltzonen hinsichtlich Feinstaub- und Stickstoffoxidkonzentration*. Straßenverkehrstechnik, Heft 4, S. 219–228, Kirschbaum Verlag, Bonn.

BRÖG, W., ERL, E., MENSE, N. (2003): *Individualisiertes Marketing 1. ÖPNV-Innovationskongress des Landes Baden-Württemberg, in Zusammenarbeit mit der DVWG*.

CASCETTA, E. (2009): *Transportation Systems Analysis - Models and Applications*, (2nd ed.), Springer optimization and its applications, Volume 29, Springer Verlag, New York, N.Y., USA.

CIARI, F., BOCK, B., Balmer Michael (2014): *Modeling Station-Based and Free-Floating Carsharing Demand - Test Case Study for Berlin*. Transportation Research Record - Journal of the Transportation Research Board, Volume 2416, S. 37-47, The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

CSALLNER, A., HARDT, D., SCHLICHTER, H. (1995): *Park-and-Ride in München - Ein Untersuchungsschwerpunkt im Rahmen von Munich COMFORT*. Internationales Verkehrswesen, 9, S. 548 ff.

CYGANSKI, R. (2015): *Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren aus Sicht der Nachfragemodellierung* in M. Maurer, et al. *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Department for Transport (2014): *TAG Unit M3.1: Highway Assignment Modelling*, Department for Transport, <https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-webtag>, Accessed 19.08.2015.

DIEGMANN, V., PFÄFFLIN, F. (2015): *Sachverständigengutachten: Auswertung der Wirkung von Umweltzonen auf die Erneuerung der Fahrzeugflotten in deutschen Städten*, Endbericht Projektnummer 27520, IVU Umwelt GmbH, Umweltbundesamt (Hg.), <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswertung-der-wirkung-von-umweltzonen-auf-die>, Accessed 15.04.2018.

EVERTS, K., ALBRECHT, H. (1978): *Einsatz eines Steuerungsmodells zur Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern*, Bundesministerium für Verkehr, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 251, Bundesdruckerei. Bonn.

- FEIER, H., ECK, S., WUTTKE, K. (1999): *Folgenabschätzung restriktiver Maßnahmen zur Reduktion des motorisierten Individualverkehrs in Städten*, Forschungsprojekt FE 70503/96, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1990): *Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen - RLS-90*, (Ausgabe 1990, berichtiger Nachdruck 1992), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 334, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1996): *Hinweise zu einer stadtverträglichen Verkehrsplanung*, (Ausgabe 1996), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 130, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1997): *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen - EWS*, (Ausgabe 1997), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 132, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2005): *Hinweise zum induzierten Verkehr*, (Ausgabe 2005), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 141, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006a): *Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation - Grundlagen und Anwendungen*, (Ausgabe 2006), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 388, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006b): *Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 147, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006c): *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen - RASt*, (Ausgabe 2006), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 200, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007): *Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen*, (Ausgabe 2007), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 311, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008a): *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen - RAA*, (Ausgabe 2008), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 202, FGSV Verlag. Köln.

- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008b): *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung - RIN*, (Ausgabe 2008), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 121, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (2010a): *Arbeitspapier Nachfragewirkungen von Qualitätsverbesserungen im öffentlichen Verkehr*, (Ausgabe 2010), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 155, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2010b): *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen - ERA*, (Ausgabe 2010), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 284, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2010c): *Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung*, (Ausgabe 2010), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 153, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012a): *Begriffsbestimmungen - Teil: Verkehrsplanung, Strassenentwurf und Strassenbetrieb*, (Ausgabe 2012), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 220, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012b): *Hinweise zum Fahrradparken*, (Ausgabe 2012), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 239, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2013a): *Hinweise zur Verkehrsentwicklungsplanung*, (Ausgabe 2013), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 162, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2013b): *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen - RAL*, (Ausgabe 2012), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 201, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015a): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen - HBS*, Teil S Stadtstraßen, (Ausgabe 2015), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 299, FGSV Verlag. Köln.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015b): *Richtlinien für Lichtsignalanlagen - RiLSA*, Lichtzeichenanlagen für den Strassenverkehr, (Ausgabe 2015), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 321, FGSV Verlag. Köln.

- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2017): *Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 1: Definitionen*,
https://www.fgsv.de/fileadmin/gremien/ak_128/Teilpapier_2_Erheben__Beschreiben_und_Erklaeren.pdf, Accessed 30.11.2018.
- FGSV- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2018): *Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse - EVP*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 116, FGSV Verlag, Köln.
- FOPS (2017/2018): *Forschungsprogramm Stadtverkehr - Mobilität21*,
<http://mobilitaet21.de/forschungsprogramm-stadtverkehr/>, Accessed 24.08.2017.
- FRIEDRICH, B. (2015): *Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge* in M. Maurer, et al. *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- FRIEDRICH, M. (2010): *Qualitätsmanagement für Verkehrsnachfragemodelle* in DVWG *Qualitätsanforderungen an Verkehrsnachfragemodelle - DVWG Symposium, 25./26. März 2010, Berlin*, Berlin.
- FRIEDRICH, M. (2011): *Wie viele? Wohin? Womit? Was können uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen?* in FGVS *Tagungsbericht zur HEUREKA '11*, FGSV Verlag, Köln.
- FRIEDRICH, M. (2016): *Verkehrsplanung und Verkehrsmodelle*, Skript zur Vorlesung WS 2016/2017, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik. Universität Stuttgart.
- FRIEDRICH, M., HARTL, M. (2016): *MEGAFON - Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs*, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. Stuttgarter Straßenbahnen AG, Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart GmbH (Hg.),
<https://www.vdv.de/megafon-abschlussbericht-20161212.pdf?forced=true>, Accessed 15.04.2018.
- FRIEDRICH, M., RITZ, C. (2014): *Was bringt wie viel? Alte und neue Verkehrs- und Mobilitätskonzepte für Städte* in FGVS *Tagungsbericht zur HEUREKA '14*, FGSV Verlag, Köln.
- FRIEDRICH, M., VORTISCH, P. (2005): *Verfahren zur dynamischen Verkehrsumlegung - Ein methodischer Überblick*. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 3, S. 128–144, Kirschbaum Verlag, Bonn.

- GALSTER, M. (2009): *Modellierung von Anbindungen in Verkehrsplanungsmodellen*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 40. Stuttgart.
- GASSER, T.M., ARZT, C., AYOUBI, M., BARTELS, A., ET AL. (2012): *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung*, Forschungsprojekt F 1100.5409013.01, Bundesanstalt für Straßenwesen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugsicherheit Heft F 83, Wirtschaftsverlag NW. Bergisch Gladbach.
- GEHRKE, M., GROß, S. (2014): *Fahrscheinfrei im ÖPNV*, IVP-Discussion Paper, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung (Hg.), http://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/Discussion_Paper/DP9_Fahrscheinfrei_im_%C3%96PNV.pdf, Accessed 15.04.2018.
- GERIKE, R. (2015/16): *Verkehrsplanung - Folien zur Vorlesung*, https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/ressourcen/dateien/vip/lehre/ws/Verkehrspl_ws1516/B IW2_07_Grundlagen.pdf?lang=en, Accessed 06.08.2017.
- GRÖTSCH, M., HÖHNBERG, G., KIRCHHOFF, P. (2004): *Parkraumbewirtschaftung in innenstadtnahen Mischgebieten*. Internationales Verkehrswesen, Jahrgang 56, Heft 3, S. 86–91, Trialong Publishers Verlagsgesellschaft, Baiersbronn.
- HAUTZINGER, H., FICHERT, F., FUCHS, M., STOCK, W. (2011): *Eignung einer City-Maut als Instrument der Verkehrs- und Umweltpolitik in der Freien und Hansestadt Hamburg*, Schlussbericht zur Grundsatzstudie, Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. (IVT), Freie Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (Hg.), <http://www.hamburg.de/bwvi/information-city-maut/>, Accessed 27.05.2017.
- HCM (2000): *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Transportation Research Board. Washington D.C., USA.
- HEILIG, M., MALLIG, N., SCHRÖDER, O., KAGERBAUER, M., VORTISCH, P. (2017): *Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model*, Travel Behaviour and Society (Hg.), <http://dx.doi.org/10.1016/j.tbs.2017.02.002>, Accessed 15.04.2018.
- HEINRICHS, E., HORN, B., KREY, J. (2015): *Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen - Neue Erkenntnisse aus Forschung und Praxis*. Straßenverkehrstechnik, Heft 2, S. 91–101, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- HEINRICHS, E., SCHERBARTH, F., SOMMER, K. (2016): *Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen*, Umweltbundesamt (Hg.).
- HILGERT, T., WESTERMANN, K., KAGERBAUER, M., VORTISCH, P. (2017): *Nutzung von Mobilitäts-Apps in Deutschland*. Internationales Verkehrswesen,

Jahrgang 69, Heft 1, S. 38-41, Trialog Publishers Verlagsgesellschaft,
Baiersbronn.

Horváth & Partners Management Consultants (2018): *Fakten-Check Mobilität 3.0*,
<https://www.horvath-partners.com/de/media-center/studien/detail/fakten-check-mobilitaet-30-3/>, Accessed 28.10.2018.

HUBER-ERLER, R. (1998): *Wirkungsweise flächendeckender Parkraumbewirtschaftung und ihre Wirksamkeit zur Reduzierung des Individualverkehrs*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Mobilität & Verkehr der Technischen Universität Kaiserslautern, Band 44. Kaiserslautern.

IMMISCH, K. (2008): *Auswirkungen verschiedener Tarifmodelle einer City-Maut auf den Pkw-Verkehr - - Eine zweite Modellrechnung -*, Diplomarbeit, Betreute Abschlussarbeiten des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden, Nr. 8. Dresden.

infas- infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (2018): *Mobilität in Deutschland Kurzreport - Verkehrsaufkommen - Struktur - Trends*, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.), https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/mid-2017-kurzreport.pdf?__blob=publicationFile.

INFAS DLR (2010): *Mobilität in Deutschland 2008*, Forschungsprojekt FE 70.801/2006, beauftragt vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Bonn und Berlin.

Ingenieurbüro Vössing (1999): *Sicherheitsbelange bei der Umnutzung von BAB-Standstreifen zu einem weiteren Fahrstreifen*, Entwurf des Schlußberichts zum Forschungsprojekt FE 82.107/1997, Bundesanstalt für Straßenwesen, Wirtschaftsverlag NW. Bergisch Gladbach.

ITP- Intraplan Consult GmbH (2016): *Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs und Folgekostenrechnung*, Forschungsprojekts FE 70.893/2014, (Stand 2017), Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. München.

KALBOW, M. (2001): *Wirkungsanalyse des Nulltarif im ÖPNV am Beispiel der Stadt Darmstadt*, Diplomarbeit, Abschlussarbeit der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln. Köln.

Kayser, H.J., Krause, S. (1986): *Verkehrslenkungssystem Dernbacher Dreieck und Autobahnkreuz Koblenz - Überprüfung und Bewertung*, Bundesministerium für Verkehr, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 491, Bundesdruckerei. Bonn.

KELLER, M., HAAN, P. de (2004): *Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 2.1 - Dokumentation*, www.hbefa.net, Accessed 27.10.2016.

KELLER, M., HAUSBERGER, S., MATZER, C., WÜTHRICH, P., NOTTER, B. (2017): *HBEFA Version 3.3 - Background documentation*, MKC Consulting GmbH, IVT Institute for internal combustion engines and thermodynamics der TU Graz, INFRAS, https://www.hbefa.net/e/documents/HBEFA33_Documentation_20170425.pdf, Accessed 23.05.2019.

KELLER, M., WUETHRICH, P., ICKERT, L., NAJAR, C., STUTZER, B. (2010): *Software HBEFA Version 3.1*, INFRAS AG.

KIPKE, H. (1993): *Systematisierung von Zielen und Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung*, Dissertation, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung der Technischen Universität München, Heft 3. München.

KIRCHHOFF, P. (2002): *Städtische Verkehrsplanung - Konzepte, Verfahren, Massnahmen*, (1. Aufl.), Teubner. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden.

KNOLL, E., ULLRICH, S., AUST, K.-D. (1972): *Erfahrungen mit dem Betrieb der Wechselwegweiseranlagen an den Autobahndreiecken Rüsselsheim und Mönchhof*. Straßenverkehrstechnik, Heft 4, S. 115–119, Kirschbaum Verlag, Bonn.

KÖHLER, U., WERMUTH, M. (2001): *Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen*, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 804, Bundesdruckerei. Bonn.

LEMKE, K. (2003): *Temporäre Seitenstreifenfreigabe an Autobahnen*. Straßenverkehrstechnik, Heft 8, S. 409–413, Kirschbaum Verlag.

LÖNHARD, K. (2000): *Wirkungsanalyse von Veränderungen im Parkraumangebot*, Dissertation, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung der Technischen Universität München, Heft 9. München.

LOOSE, W. (2016): *Mehr Platz zum Leben - wie CarSharing Städte entlastet - Ergebnisse des bcs-Projektes "CarSharing im innerstädtischen Raum - Eine Wirkungsanalyse"*, Endbericht, http://carsharing.de/sites/default/files/uploads/alles_ueber_carsharing/pdf/endbericht_bcs-eigenprojekt_final.pdf, Accessed 15.04.2018.

MANDIR, E. (2012): *Potential of traffic information to optimize route and departure time choice*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 44. Stuttgart.

- MANGOLD, M., TRÄGER, K., LINDENBACH, A. (1996): *Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Umfelddatenerfassung*, Bundesminister für Verkehr, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 729, Bundesdruckerei, Bonn.
- MAUERSBERG, B. (2015): *Stadt, Land, Schiene - 15 Beispiele erfolgreicher Bahnen im Nahverkehr*, Allianz pro Schiene e.V (Hg.), Accessed 25.10.2018.
- MEHLERT, C., SCHIEFELBUSCH, M. (2017): *Mobility on-demand: Disruption oder Hype?* Der Nahverkehr, Heft 7+8, S. 6–12, DVV Media Group/Alba Fachmedien ÖPNV, Hamburg.
- MÜHLENBRUCH, I. (2009): *Evaluation der Radverkehrsförderung in NRW - Eine Vorstudie zur Erhebung des Modal-Splits in nordrhein-westfälischen Kommunen*, P3 Agentur für Kommunikation und Mobilität, Arbeitsgemeinschaft fußgänger- und fahrradfreundlicher Städte, Gemeinden und Kreise in NRW (Hg.), http://agfs-nrw.de/fileadmin/agfs/Fachthemen/Modal_split-Erhebungen_in_NRW/Bericht_Modal_Split_Stand240409.pdf, Accessed 09.09.2017.
- MÜLLER, S. (2012): *Makroskopische Verkehrsmodellierung mit der Einflussgröße Telematik - Eine Methodenarbeit und Beispielumsetzung mit Cooperative Adaptive Cruise Control Systemen im Güterverkehr*, Dissertation, Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin, D 83, Berlin.
- NÖKEL, K., WEKECK, S. (2007): *Choice models in frequency-based transit assignment*. Proceedings of European Transport Conference (ETC).
- NÖKEL, K., WEKECK, S. (2009): *Boarding and Alighting in Frequency-Based Transit Assignment*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2111, 1, 60–67.
- PESTEL, E., FRIEDRICH, M., HEIDL, U., PILLAT, J., ET AL. (2016): *Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen*. Straßenverkehrstechnik, Heft 10, S. 658–670, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- PILLAT, J. (2014): *Methoden zur Analyse und Prognose des Verkehrsaufkommens unter Berücksichtigung des Wetters auf Autobahnen*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 49, Stuttgart.
- PTV AG (2014): *PTV Visum 14 - Handbuch*. Karlsruhe.
- PTV AG (2018): *PTV Visum 17 - Handbuch*. Karlsruhe.

- RABENSTEIN, B. (2015): *Öffentliche Fahrradverleihsysteme - Wirkungen und Potentiale*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 54. Stuttgart.
- RAUTERBERG-WULFF, A.,LUTZ, M. (2011): *Ein Jahr Umweltzone Stufe 2 in Berlin - Untersuchungen zur Wirkung auf den Schadstoffausstoß des Straßenverkehrs und die Luftqualität in Berlin*, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (Hg.),
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/umweltzone/download/umweltzone_1jahr_stufe2_bericht.pdf, Accessed 15.04.2018.
- RETZKO, H.-G.,KORDA, C. (1999): *Auswirkungen unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten auf städtischen Verkehrsstraßen*, Forschungsprojekt 03.276/1993/FGB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 65, Wirtschaftsverlag NW. Bergisch Gladbach.
- SAMMER, G. (2016): *Qualitätsprüfung von Verkehrsnachfragemodellen - Die Kluft zwischen Theorie und Praxis*. Straßenverkehrstechnik, Heft 10, S. 671–677, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- SCHILLER, C. (2004): *Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden, Heft 8. Dresden.
- SCHLAICH, J. (2010): *Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl*, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 42. Stuttgart.
- SCHLAICH, J. (2011): *Verkehrsmodellierung für die Region Stuttgart*, Schlussbericht. Karlsruhe.
- SCHNABEL, W.,LOHSE, D. (1997): *Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, (2. Aufl.), Band 2, Verlag für Bauwesen. Berlin.
- SCHNABEL, W.,LOHSE, D. (2011): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, (3. Aufl.), Band 2, Beuth Verlag; Kirschbaum Verlag. Berlin, Bonn.
- SCHREIER, H., BECKER, U.,HELLER, J. (2015): *Evaluation CarSharing (EVA-CS) - Landeshauptstadt München*, Endbericht,
http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx_slubopus4frontend%5bid%5d=urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-216755, Accessed 15.04.2018.

- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin/VMZ (Bearb.) (2007): *Analyse der Wirkungen von Tempo 30 im Hauptverkehrsstraßennetz der Stadt Berlin - Zusammenfassung der Ergebnisse zu AP 100 und AP 200.*
- SOMMER, C., BIELAND, D. (2018): *Das "Wiener Modell" - ein Modell für deutsche Städte? - Auswirkungen günstiger Zeitkarten auf die Verkehrsnachfrage am Beispiel der Stadt Wien.* Der Nahverkehr, Heft 9, S.53-61, DVV Media Group/Alba Fachmedien ÖPNV, Hamburg.
- SOMMER, C., KRICHEL, P. (2012): *Wer nutzt welche Verkehrsmittel? - Verkehrsmittelwahl unterschiedlicher Potentialgruppen - Gewinnung von Zeitkartenkunden ist Schlüssel zum Erfolg.* Der Nahverkehr, Heft 3, S.15–21, DVV Media Group/Alba Fachmedien ÖPNV.
- SOMMER, C., MUCHA, E., ROßNAGEL, A., ANSCHÜTZ, M., ET AL. (2016a): *Umwelt- und Kostenvorteile ausgewählter innovativer Mobilitäts- und Verkehrskonzepte im städtischen Personenverkehr,* Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrssysteme, Umweltbundesamt (Hg.), www.umweltbundesamt.de/publikationen, Accessed 25.10.2018.
- SOMMER, C., ROLLINGER, W. (2016): *Mobilitätsverhalten* in N. Ostermann and W. Rollinger *Handbuch ÖPNV - Schwerpunkt Österreich*, S.17–36, DVV Media Group GmbH, Hamburg.
- SOMMER, C., SCHÄFER, F., LÖCKER, G., HATTOPI, T., SAIGHANI, A. (2016b): *Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen - Planungsleitfaden für Handlungsmöglichkeiten von ÖPNV-Aufgabenträgern und Verkehrsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte flexibler Bedienungsformen,* Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.), <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/mobilitaets-und-angebotsstrategien-in-laendlichen-raeumen-neu.html>, Accessed 25.10.2018.
- Spektrum (2000), Akademischer Verlag,
<https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/>, Accessed 15.04.2018.
- Stadt Erfurt/VMZ (Bearb.) (2012): *Analyse Tempo 30 in einem Straßenabschnitt der Stadt Erfurt - Kurzbericht.*
- STEGMÜLLER, S., STRAUß, C. (2006): *Internetbasierte Mitfahrzentralen.* Internationales Verkehrswesen, Jahrgang 58, Heft 9, S. 410–412, Dialog Publishers Verlagsgesellschaft, Baiersbronn.
- STEIERWALD, G., KÜNNE, H.-D. (HG.) (1994): *Stadtverkehrsplanung - Grundlagen, Methoden, Ziele,* Springer Verlag. Berlin Heidelberg.

- TIMMERMANS, H. (2005): *Progress in Activity-Based Analysis*, Elsevier Ltd. Oxford, UK.
- Transport for London (2008): *Central London Congestion Charging - Sixth Annual report*, Transport for London (Hg.), <http://content.tfl.gov.uk/central-london-congestion-charging-impacts-monitoring-sixth-annual-report.pdf>, Accessed 15.04.2018.
- TROMMER, S., KOLAROVA, V., FRAEDRICH, E., KRÖGER, L., ET AL. (2016): *Autonomous Driving - The impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*, Institute for Mobility Research (ifmo) (Hg.), <https://www.ifmo.de/publications.html?t=45>, Accessed 15.04.2018.
- U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads (1964): *Traffic Assignment Manual*. Washington, D.C., USA.
- VEP Bremen (2014): *Verkehrsentwicklungsplan Bremen 2025*, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Freie Hansestadt Bremen (Hg.), <http://bau.bremen.de/vep>, Accessed 19.10.2016.
- VEP Freiburg (2008): *Verkehrsentwicklungsplan VEP 2020 - Stadt Freiburg im Breisgau*, Endbericht Mai 2008, Stadt Freiburg im Breisgau (Hg.), <https://www.freiburg.de/pb/Lde/231656.html>, Accessed 15.04.2018.
- VEP Karlsruhe (2013): *Verkehrsentwicklungsplan Karlsruhe - Szenarien und integriertes Handlungskonzept*, Stadt Karlsruhe Stadtplanungsamt (Hg.), https://www.karlsruhe.de/b3/verkehr/verkehrsentwicklung/vep_plaene, Accessed 19.10.2016.
- VRS- Verband Region Stuttgart (2016): *Sitzungsvorlage Nr. 145/2016 - Verkehrsausschuss am 06.07.2016*, <https://gecms.region-stuttgart.org/gdmo/Download.aspx?id=62400>, Accessed 25.10.2018.
- VRTIC, M., SCHÜSSLER, N., ERATH, A., BÜRGLE, M., ET AL. (2007): *Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens*, Forschungspaket Mobility Pricing: Projekt B1, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) ETH Zürich, TRANSP-OR EPF Lausanne, IRE USI Lugano, Forschungsauftrag Nr. 2005/004 auf Antrag der Vereinigung.
- WACHENFELD, W., WINNER, H., GERDES, C., LENZ, B., ET AL. (2015): *Use-Cases des autonomen Fahrens* in M. Maurer, et al. *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- WALUGA, G. (2016): *Das Bürgerticket für den öffentlichen Personennahverkehr - Nutzen - Kosten - Klimaschutz*, Dissertation, Bergische Universität Wuppertal;

Gesellschaft für Ökologische Kommunikation mbH, Wuppertaler Schriften zur Forschung für eine nachhaltige Entwicklung, Band 9.

WARDROP, J.G. (1952): *Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research*, Proceedings of the Institute of Civil Engineering, Road Paper No. 36. London, UK.

WEBSTER, F.V. ,DASGUPTA, M. (1991): *Land Use and Transport Interactions*, Report of ISGLUTI Study. Transport and Road Research Laboratory, No. 295, Workingham, UK.

WEGENER, M. ,SPIEKERMANN, K. (1996): *The potential of microsimulation for urban models* inG.P. Clark *Microsimulation for Urban and Regional Policy Analysis*, S. 149–163, London, UK.

WERMUTH, M. (1994): *Modellvorstellungen zur Prognose* inG. Steierwald and H.-D. Künne *Stadtverkehrsplanung - Grundlagen, Methoden, Ziele*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

WERMUTH, M. (2005): *Modellvorstellungen zur Prognose* inG. Steierwald, H.-D. Künne and W. Vogt *Stadtverkehrsplanung - Grundlagen, Methoden, Ziele*, pp. 243–295, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

WiMobil (2016): *Wirkung von E-Car Sharing Systemen auf Mobilität und Umwelt in urbanen Räumen (WiMobil)*, BMW AG (Hg.), <http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/wimobil>, Accessed 18.05.2017.

Glossar

A

- Analysefall: Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart des Analysejahres 2010.

B

- Benutzerdefiniertes Attribut: Ein durch den Benutzer angelegtes Attribut in einem Verkehrsnachfragemodell.
- Beta-Parameter (β -Parameter): Gewichtungsparemeter einer Variablen der Nutzenfunktion.
- Bezugsfall: Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart des Bezugsjahres 2025.

F

- Free-floating Verleihsystem: Bei free-floating Verleihsystemen können registrierte Nutzer Fahrzeuge gegen Gebühren beliebig innerhalb des Geschäftsgebiets des Betreibers ausleihen und abgeben.
- Free-floating Rideselling mit Pooling: Unter Rideselling fallen kommerzielle Fahrzeugfahrten, bei denen die Fahrt nicht ohne den Fahrtwunsch der Fahrgäste stattfinden würde. Rideselling mit Pooling (Nachfragebündelung) im free-floating Betrieb unterscheidet sich vom klassischen ÖV dadurch, dass die Fahrzeuge nicht nach einem festen Linienverlauf oder Fahrplan und nicht unbedingt zwischen Haltestellen verkehren und somit einen Tür-zu-Tür-Service ermöglichen.

K

- Kalibrierung: Liefern die Ergebnisse der Überprüfungen nicht die gewünschte Qualität, wird das Verkehrsnachfragemodell kalibriert. Zur Kalibrierung werden die Modellparameter derart angepasst, dass die berechneten Werte ausreichend genau den erhobenen Werten entsprechen. Ggf. werden anhand der Überprüfungsergebnisse der Tests auch die Eingangsdaten korrigiert oder die Modellspezifikation angepasst.

M

- Maßnahmenbündel: Zusammenschluss von mindestens zwei Einzelmaßnahmen.
- Maßnahmenfall: Der Maßnahmenfall basiert auf dem 0-Fall und unterscheidet sich von diesem durch eine zusätzlich konkret umgesetzte Maßnahme.
- Modus: Zusammenfassung von Verkehrsmitteln. Tram, Bus und S-Bahn können beispielsweise zum Modus ÖV zusammengefasst werden.

N

- Neuverkehr: Zusätzlich durchgeführte Ortsveränderung oder nicht mehr durchgeführte Ortsveränderungen (positiver oder negativer Neuverkehr).
- Null-Fall (0-Fall): Der 0-Fall stellt die Bezugsbasis für die Bewertung der Wirkungen von Maßnahmen dar. Die Differenz der Kenngrößen zwischen dem 0-Fall und Maßnahmenfall entspricht der Maßnahmenwirkung.

O

- Ortsveränderung: Bewegung, die entsteht, wenn Aktivitäten an unterschiedlichen Orten stattfinden.
- ÖV-Ex: Ein Nachfragesegment, das alle Ortsveränderungen des ÖV-Quell-, Ziel- sowie Durchgangsverkehrs des Planungsraums Region Stuttgart umfasst.
- ÖV-VRS: Ein Nachfragesegment, das alle Ortsveränderungen des ÖV-Binnenverkehrs im Planungsraum Region Stuttgart umfasst. Es umfasst Ortsveränderungen mit ÖV-Einzelticket, ÖV-Monatsticket, ÖV-Anteil des Modus P+R und aus den Sonderverkehren (ÖV-Flughafenverkehr und ÖV-Messeverkehr).

P

- Parameter des Mobilitätsverhaltens: Beschreiben zum einen die Empfindlichkeit gegenüber Faktoren, die Einfluss auf das Mobilitätsverhalten nehmen, wie z. B. Reisekosten. Die Empfindlichkeit selbst wird durch Bewusstsein, Einstellungen und soziodemografischen Merkmalen geprägt. Zum anderen beschreiben die Parameter den Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer, der ebenfalls das Mobilitätsverhalten beeinflusst (vgl. Sensitivitätsparameter).
- Pkw-Ex: Ein Nachfragesegment, das alle Ortsveränderungen des Pkw-Quell-, Ziel- sowie Durchgangsverkehrs des Planungsraums Region Stuttgart umfasst.
- Pkw-VRS: Ein Nachfragesegment, das alle Ortsveränderungen des Pkw-Binnenverkehrs im Planungsraum Region Stuttgart umfasst. Es umfasst Ortsveränderungen mit Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Anteil des Modus P+R und aus den Sonderverkehren (Pkw-Flughafenverkehr, Pkw-Messeverkehr und Pkw-Wirtschaftsverkehr).
- Primär induzierter Verkehr: Umfasst den gesamten verlagerten und neu hinzukommenden Verkehr, der durch eine Maßnahme kurzfristig, d. h. ohne Betrachtung der auf das Verkehrsgeschehen zurückwirkenden langfristigen raumstrukturellen Veränderungen, verursacht wird.
- Prognosefall: Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart des Prognosejahres 2025.

R

- Rideselling: Kommerzielle Fahrzeugfahrten, bei denen die Fahrt nicht ohne den Fahrtwunsch der Fahrgäste stattfinden würde.
- Ridesharing: Bei Ridesharing wird eine Fahrt geteilt, indem Autofahrer andere Reisende mitnehmen.

S

- Sekundär induzierter Verkehr: Bewirkt eine Maßnahme langfristig raumstrukturelle Veränderungen die auf das Verkehrsgeschehen zurückwirken, spricht man von sekundär induziertem Verkehr.
- Sensitivitätsparameter (α -Parameter): Parameter in der Logit-Bewertungsfunktion der den Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer abbildet.

- Stationsbasiertes Verleihsystem: Sharing-Fahrzeuge werden an festen Stationen ausgeliehen und abgegeben. Abhängig vom Anbieter müssen die Sharing-Fahrzeuge an derselben Station, an der die Ausleihe stattfindet, oder einer beliebigen festen Station zurückgegeben werden.

V

- Validierung: Durch die Validierung werden die Modellparameter, die Modellergebnisse und das Modellverhalten anhand von geeigneten Gütemaßen und Tests überprüft.
- Variablen des Verkehrsangebots: Variablen stellen in der Verkehrsplanung Größen dar, die sich über die Zeit ändern oder durch planerische Entscheidungen gesetzt werden. Zu den Variablen des Verkehrsangebots zählen beispielsweise das Straßenverkehrsnetz, das Fahrplanangebot sowie die Nutzungskosten. Zu den Variablen der Siedlungsstruktur beispielsweise die Anzahl und Verteilung der Aktivitätenorte.
- Verbindung: Von einer Verbindung wird gesprochen, wenn zusätzlich zur Route die Abfahrtszeit bekannt ist.
- Verkehr: Ortsveränderung von Personen, Gütern, Nachrichten oder Energie.
- Verkehrsmittel: Notwendige Fahrzeuge und Betriebsanlagen für die Ortsveränderung von Personen und Gütern.

Abkürzungsverzeichnis

B

- BImSchV: Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes

C

- CAAC: Adaptive Cruise Control Systeme
- CO: Kohlenstoffmonoxid
- CO₂: Kohlenstoffdioxid
- CR-Funktion: Capacity-Restraint-Funktion

D

- DUE: Deterministisches Nutzergleichgewicht
- DUN: Bestwegumlegung

E

- Ex: externer Verkehr

F

- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- Fz: Fahrzeug

H

- HBEFA: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
- HBS: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
- HC: Kohlenwasserstoffe
- HCM: Highway Capacity Manual

I

- IS_KFZ_ABS: Modellierte Maßnahme Streckenausbau auf allen Bundesstraßen in der Region
- IS_KFZ_TBS: Modellierte Maßnahme Streckenausbau von Teilabschnitten der Bundesstraßen in der Region
- IS_PR: Modellierte Maßnahme Ausbau von P+R-Anlagen in der Region
- IS_RAD: Modellierte Maßnahme Streckenausbau im Radverkehrsnetz
- IV: Individualverkehr

K

- Kfz: Kraftfahrzeug

L

- LFA_+Linie: Modellierter Maßnahme Erweiterung des Liniennetzes in der Region durch Expressbusse
- LFA_15Min: Modellierter Maßnahme Erhöhung der Servicefahrten der S-Bahn in der Region

M

- MEGAFON: Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des Öffentlichen Nahverkehrs
- MIV: Motorisierter Individualverkehr

N

- NBA: Netzbeeinflussungsanlagen
- NO_x: Stickoxide

O

- ÖFVS: Öffentliche Fahrradverleihsysteme
- OP_DV: Modellierter Maßnahme Durchfahrtsverbot in Stuttgart
- OP_T40: Modellierter Maßnahme Senkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen
- ÖV: Öffentlicher Verkehr

P

- PM: Particulate Matter (Feinstaub)
- P+R: Park&Ride
- PT_FP_10: Modellierter Maßnahme Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 10 % in der Region
- PT_FP_25: Modellierter Maßnahme Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 25 % in der Region
- PT_FP_50: Modellierter Maßnahme Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 50 % in der Region
- PT_FP_100: Modellierter Maßnahme Reduzierung der ÖV-Fahrpreise um 100 % in der Region
- PT_GG_MZ: Modellierter Maßnahme Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart und Mittelzentren
- PT_NG: Modellierter Maßnahme Netzgebühren für die Region Stuttgart
- PT_GG_OZ: Modellierter Maßnahme Gebietsgebühr (5 €) für die Innenstadt Stuttgart
- PT_PB: Modellierter Maßnahme Parkraumbewirtschaftung in Stuttgart

- PT_TZ: Modellierte Maßnahme Zusammenschluss von Tarifzonen des Tarifverbundes

R

- RAA: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen
- RAL: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
- RASt: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen
- RIN: Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung
- RILSA: Richtlinien für Lichtsignalanlagen
- RLS-90: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen

S

- SBA: Streckenbeeinflussungsanlage
- SO: Systemoptimum
- SS_VD: Modellierte Maßnahme Siedlungsverdichtung in der Region
- SUE: Stochastisches Nutzergleichgewicht
- SUN: Stochastische Umlegung
- SV: Sonderverkehr

T

- T_{akt} : Fahrzeit im belasteten Straßenverkehrsnetz
- T_0 : Fahrzeit im unbelasteten Straßenverkehrsnetz

V

- VEP: Verkehrsentwicklungsplan
- V_0 : Fahrgeschwindigkeit im unbelasteten Straßenverkehrsnetz
- VOT: Value of Time
- VVS: Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart
- VwVfG: Verwaltungsverfahrensgesetz

Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen

Heft 1	1. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 1986	9/1987
Heft 2	2. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 1988	4/1989
Heft 3	Arbeiten aus dem Institut für Straßen-und Verkehrswesen	7/1989
Heft 4	Beiträge zum Ruhenden Verkehr	8/1989
Heft 5	Festkolloquium anlässlich der Vollendung des 60.Lebensjahres von Prof. Dr.-Ing. Gerd Steierwald	5/1990
Heft 6	3. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 1990	4/1991
Heft 7	Wolfgang Hertkorn Veränderungen des Kraftstoffverbrauchs und der Abgasbelastungen durch Geschwindigkeitsreduktion in untergeordneten städtischen Straßennetzen	2/1992
Heft 8	City Stuttgart - attraktive Innenstadt im Zentrum einer Agglomeration (Autofreie Innenstadt = Attraktive City?)	3/1992
Heft 9	Arbeiten aus dem Institut für Straßen-und Verkehrswesen	4/1992
Heft 10	Reinhard Unkhoff Der Einfluß des Schwerverkehrs auf Geschwindigkeitsverhalten und Pulkbildung auf Autobahnen	6/1992
Heft 11	Stefanos Bazis Interaktiver Straßenentwurf mit Hilfe der EDV	7/1992
Heft 12	Jiann-Sheng Wu Stochastische Simulation des Überholverhaltens auf zweistreifigen Landstraßen	7/1992

Heft 13	4. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 1992	5/1993
Heft 14	Stephan Herkt Abstimmung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und knotenpunktfreien Strecken an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen	4/1994
Heft 15	Von den Anfängen bis zur Gegenwart -Straßen- und Verkehrswesen an der Universität Stuttgart	9/1994
Heft 16	Ashraf Hamed Abwicklung des Lieferverkehrs innerörtlichen Hauptstraßen	10/1994
Heft 17	5. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 1994	3/1995
Heft 18	Chronik und Retrospektive - Gerd Steierwald und das Institut für Straßen- und Verkehrswesen	10/1995
Heft 19	Heiko Tempel Zusammenhänge zwischen Verkehrsablauf, Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen im städtischen Busverkehr	11/1995
Heft 20	Volker Mörgenthaler Strategien zur Verminderung der Emissionen von Ozonvorläufersubstanzen des Nutzfahrzeugverkehrs in Ballungsgebieten	2/1996
Heft 21	Martin Schmid Auswirkungen der Kraftstoffbesteuerung auf die Pkw-Fahrleistungen im Freizeitverkehr	11/1996
Heft 22	Burkhard Flasche Fahrraubewirtschaftung mit Sonderfahrstreifen für ausgewählte Stadtverkehre	2/1998
Heft 23	Szabolcs Törgyeges Ableitung spezifischer Abgas-Emissionsfaktoren für Krafffahrzeugkollektive anhand von Konzentrationsmessungen in einem städtischen Straßentunnel	3/1998

Heft 24	Konrad von Kirchbach Zur Entwicklung der Straßen in Württemberg zwischen 1700 bis 1918	3/2000
Heft 25	6. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 1999	3/2009
Heft 26	Symposium Stadt und Verkehr – Mobile Konferenz	11/1999
Heft 27	„Institut 21“ Aufbruch in Forschung und Lehre (nicht erschienen)	
Heft 28	Arbeiten aus dem Institut für Straßen-und Verkehrswesen	7/2001
Heft 29	Stefan Denzinger Auswirkungen alternierender Telearbeit auf das Verkehrsverhalten	4/2001
Heft 30	7. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 2001	3/2009
Heft 31	Prof. Elisabeth Deakin Changing Importance of Central Cities	8/2002
Heft 32	Walter Vogt, Matthias Lenz, Henrik Schwarz, Wilhelm Glaser, Margrit Glaser, Thomas Kuder Verkehrliche Auswirkungen von Teleshopping und Telecommerce auf die Mobilität privater Haushalte	6/2002
Heft 33	Christoph Hecht Modellierung des Zeitwahlverhaltens im Personenverkehr	2/2005
Heft 34	Henrik Schwarz Vergleich von Schallimmissionsmessungen bei Straßenverkehrslärm mit Standardisierten und Binauralen Geräten	11/2002
Heft 35	Peter Schick Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses	6/2003

Heft 36	Volker Schmid Reaktivierte Nebenbahnen und alternative Buskonzepte Vergleich von ökologischen Wirkungen	7/2003
Heft 37	8. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 2003	3/2009
Heft 38	Matthias Lenz Auswirkungen des Ausbaus der verkehrlichen Infrastruktur auf das regionale Fernpendleraufkommen	2/2005
Heft 39	Steffen R. Herrmann Simulationsmodell zum Wasserabfluss- und Aquaplaningverhalten auf Fahrbahnoberflächen	2/2008
Heft 40	Manuel Galster Modellierung von Anbindungen in Verkehrsplanungsmodellen	8/2009
Heft 41	10. Fachkolloquium Straße und Verkehr - Stuttgart 2008	8/2009
Heft 42	Johannes Schlaich Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl	6/2010
Heft 43	Florian Bitzer Mikroskopische Modellierung und Simulation des Fußgängerverkehrs	9/2010
Heft 44	Eileen Mandir Potential of Traffic Information to optimize Route and Departure Time Choice	7/2012
Heft 45	Anne Wolff Simulation of Pavement Surface Runoff using the Depth-Averaged Shallow Water Equations	3/2013
Heft 46	Stefan Alber Veränderung des Schallabsorptionsverhaltens von offenporigen Asphalten durch Verschmutzung	3/2013

Heft 47	Thomas Otterstätter Methoden zur Erfassung von Verkehrsströmen und Fahrzeiten mit stationären fahrzeugwiedererkennenden Detektoren	8/2013
Heft 48	Bruno Arbter Numerische Bestimmung der akustischen Eigenschaften offenporiger Fahrbahnbeläge auf Basis ihrer rekonstruierten Geometrie	5/2014
Heft 49	Juliane Pillat Methoden zur Analyse und Prognose des Verkehrsaufkommens unter Berücksichtigung des Wetters auf Autobahnen	7/2014
Heft 50	Jochen Lohmiller Qualität des Verkehrsablaufs auf Netzabschnitten von Autobahnen - Bewertung unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit und Analyse von Einflussfaktoren	7/2014
Heft 51	Katrin Keller Modellierung und Optimierung des Verkehrsablaufs in Evakuierungssituationen	9/2014
Heft 52	Yaohua Xiong A Framework for Traffic Assignment with Explicit Route Generation	9/2014
Heft 53	Markus Weise Einflüsse der mikroskaligen Oberflächen- geometrie von Asphaltdeckschichten auf das Tribosystem Reifen-Fahrbahn	11/2015
Heft 54	Benjamin Rabenstein Öffentliche Fahrradverleihsysteme - Wirkungen und Potenziale	12/2015
Heft 55	Lu Liu Development of a Virtual City Model for Urban Land Use and Transport Planning	8/2016

Heft 56	Marcos Manuel Sánchez Von Straßenlängsprofilen zum Reifen- Fahrbahn-Geräusch: Ein Modell zur Analyse des Textureinflusses	7/2019
Heft 57	Charlotte Ritz Modellierung und Wirkung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung	5/2019