

**Universität Stuttgart**

**Institut für Straßen- und Verkehrswesen**

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

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

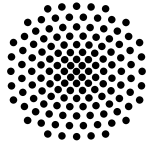
# **Standortanalysen mit Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen**

Stefanie Lenske

Veröffentlichungen aus dem  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Heft 62 (Mai 2022)





**Universität Stuttgart**

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

# **Standortanalysen mit Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen**

Stefanie Lenske

Veröffentlichungen aus dem  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Heft 62 (Mai 2022)

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.

# **Standortanalysen mit Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen**

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

Vorgelegt von

**Stefanie Lenske  
geb. Rönsch**

aus Görlitz

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop

Tag der mündlichen Prüfung: 23.05.2022

Institut für Straßen- und Verkehrswesen  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik  
Universität Stuttgart

2022



## Vorwort

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

Im Folgenden möchte ich die Gelegenheit nutzen und mich bei meinen Betreuern, Kollegen, Freunden und Familie zu bedanken.

Besonderen Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich. Er trug maßgeblich zum Gelingen der Arbeit bei, indem er mir die Möglichkeit gab, am Lehrstuhl als akademische Mitarbeiterin tätig zu sein. Neben der Schaffung der notwendigen Freiräume stand er mir jederzeit mit vielen wertvollen fachlichen Hinweisen und Ratschlägen zur Seite.

Bei Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop möchte ich mich für die Übernahme der Rolle als Mitberichters bedanken.

Ein herzlicher Dank gilt meinen Kollegen am Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik. Die Zusammenarbeit mit euch hat mir auf fachlicher und persönlicher Ebene viel Spaß gemacht. Diese Zeit werde ich immer in Erinnerung behalten. Speziell möchte ich mich bei Matthias Schmaus als meinen Zimmerkollegen bedanken. Und bei Alice Lorenz möchte ich mich bedanken, für all die Dinge, die scheinbar einfach funktionierten.

Abschließend möchte ich mich noch bei meinem Mann und meiner Familie bedanken. Ihre Geduld und Unterstützung ermöglichten erst die Bearbeitung dieser Arbeit. Vielen Dank.

Stefanie Lenske

Dieser Dissertation liegen Teile der im Auftrag des Verbands Region Stuttgart durchgeführten Forschungsarbeit im Projekt „Überprüfung und Weiterentwicklung des Instrumentariums zur Koordination von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung vor dem Hintergrund erforderlicher CO<sub>2</sub>-Reduktion und der demografischen Entwicklung für die Region Stuttgart“ und der im Auftrag des Ministeriums für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg durchgeführten Forschungsarbeit im Projekt „Erreichbarkeitssicherung im ländlichen Raum - Entwicklung und Erprobung eines Werkzeugs zur Bewertung der Wirkungen von Standortentwicklungen der sozialen Infrastruktur und Angebotsveränderungen des IV/ÖV“ zugrunde.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.

Alle für die vorliegende Dissertation relevanten Daten und Arbeitsschritte, die von Projektpartnern der oben genannten Projekte zur Verfügung gestellt bzw. durchgeführt wurden, sind explizit als solche gekennzeichnet.



---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>5</b>
2.1 Grundlagen	5
2.2 Standortplanung	5
2.2.1 Standortanalysen	5
2.2.2 Standorttheorien	9
2.2.3 Regionalplan	12
2.3 Verkehrsnachfragemodelle	12
2.3.1 Einordnung der Verkehrsmodelle	12
2.3.2 Bestandteile eines Verkehrsnachfragemodells	13
2.3.3 Aufbau von Verkehrsnachfragemodellen (Modellstufen)	18
2.3.4 Kalibrierung und Validierung der Modellparameter	23
2.4 Erreichbarkeitsmodelle	25
2.4.1 Einordnung der Begrifflichkeiten Erreichbarkeit und Lagegunst	25
2.4.2 Erreichbarkeitsmodelle	27
2.5 Flächennutzungs- und Verkehrsnachfragemodelle	29
2.6 Kenngrößen	35

2.6.1	Kenngrößen der Raumplanung	35
2.6.2	Kenngrößen der Verkehrsplanung	36
2.7	Zusammenfassung zum Stand der Technik	38
<b>3</b>	<b>Datengrundlage</b>	<b>39</b>
3.1	Modellgrundlagen	39
3.2	Räumliche Ausdehnung	39
3.3	Abbildung des Verkehrsangebots	40
3.4	Abbildung der Verkehrsnachfrage	41
3.5	Aufbau des Verkehrsnachfragemodells	44
3.6	Bewertung der Modellgüte	47
3.7	Räumliche Gliederung auf Grundlage des Regionalplans	49
<b>4</b>	<b>Standortanalysen mit Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen</b>	<b>51</b>
4.1	Grundlagen	51
4.2	Standortanalyse ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen	55
4.2.1	Betrachtungsgegenstand	55
4.2.2	Erreichbarkeitsberechnungen	55
4.2.3	Optimierungsverfahren	58
4.3	Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen	60
4.3.1	Betrachtungsgegenstand	60
4.3.2	Nachfrageberechnung	60
4.3.3	Ermittlung der verfügbaren Flächenreserven	65
4.3.4	Optimierungsverfahren der Einwohnerentwicklung und -verteilung	68
4.3.5	Optimierungsverfahren der Arbeitsplatzentwicklung und -verteilung	74
<b>5</b>	<b>Modellanwendung der Standortanalysen</b>	<b>79</b>
5.1	Standortanalyse ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen	79
5.1.1	Erreichbarkeitsberechnungen	79
5.1.2	Optimierungsverfahren	80

5.2	Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Wohnstandorte	84
5.2.1	Nachfrageberechnung	84
5.2.2	Ermittlung der verfügbaren Flächenreserven	95
5.2.3	Optimierungsverfahren der Einwohnerentwicklung und Einwohnerverteilung	96
5.2.4	Vergleich der Ergebnisse	103
5.3	Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Arbeitsstandorte	112
5.3.1	Nachfrageberechnung	112
5.3.2	Ermittlung der verfügbaren Flächenreserven	121
5.3.3	Optimierungsverfahren der Arbeitsplatzentwicklung und -verteilung	123
5.3.4	Vergleich der Ergebnisse	128
5.4	Verknüpfung der Modellanwendungen der Standortanalysen	132
5.5	Zusammenfassung der Modellanwendungen der Standortanalysen	139
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>143</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>XIX</b>
<b>8</b>	<b>Formelverzeichnis</b>	<b>XXV</b>
<b>9</b>	<b>Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XXIX</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>XXXIII</b>



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ablauf einer Standortanalyse nach OTTMANN & LIFKA (2010).	6
Tabelle 2:	Vorteile der Gewichtungsvarianten nach OTTMANN & LIFKA (2010).	7
Tabelle 3:	Methoden der Gewichtung nach OTTMANN & LIFKA (2010).	8
Tabelle 4:	Beispiele der Strukturmerkmale der Raumordnung (SCHNABEL & LOHSE, 2011, PP. 10–11).	15
Tabelle 5:	Unterteilung der Straßen in Straßenfunktionsklassen nach FRIEDRICH ET AL. (2020).	16
Tabelle 6:	Kategorisierung von Erreichbarkeitsindikatoren nach SCHWARZE (2005).	26
Tabelle 7:	Auszug zu Erreichbarkeitsmodellen nach SCHWARZE (2015).	27
Tabelle 8:	Erreichbarkeitsgruppen nach MARTENS & VAN GRIETHUYSEN (1999).	28
Tabelle 9:	Bewertungsmuster der ABC-Standortplanung nach SCHWARZE (2015).	28
Tabelle 10:	Ausgewählte Kenngrößen der Raumplanung differenziert nach Kategorien (BIRKMANN, 1999; BORCHARD, 2011).	35
Tabelle 11:	Ausgewählte Kenngrößen der Verkehrsplanung differenziert nach Kategorien (FRIEDRICH ET AL., 2020; SCHNABEL & LOHSE, 2011).	36
Tabelle 12:	Einteilung und Anzahl der Bevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen in den Jahren 2010 und 2025.	42
Tabelle 13:	Einteilung und Anzahl der Aktivitäten in Aktivitätengruppen in den Jahren 2010 und 2025.	43
Tabelle 14:	Klassifizierung der Auslastung der Verkehrswege im Pkw-Verkehr und der Fahrzeuge im ÖV.	62
Tabelle 15:	Zuordnung der Bewertungsfunktionen zu den Kenngrößen der verkehrlichen Eignung der Einwohner bzw. Arbeitsplätze.	64
Tabelle 16:	Gewichtung der bewerteten Kenngrößen für die Gesamtbewertung der Verkehrszellen pro Einwohner.	65
Tabelle 17:	Bruttowohndichte der Region Stuttgart (VERBAND REGION STUTTGART, 2009).	66
Tabelle 18:	Bruttowohndichte nach Baugebietstypen nach BauNVO (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006, P. 12).	66
Tabelle 19:	Bruttobeschäftigtendichte nach Baugebietstypen nach BauNVO (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006, P. 12).	67
Tabelle 20:	Szenarien der Einwohnerentwicklung.	69
Tabelle 21:	Übersicht der Grundszenarien im Szenario 3.	71
Tabelle 22:	Gewichtung der Wohnverteilung im Szenario 4.2.	73
Tabelle 23:	Szenarien der Arbeitsplatzverteilung.	75
Tabelle 24:	Bezeichnung der Optimierungsverfahren ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen.	80

Tabelle 25:	Gewichtung der bewerteten Kenngrößen für die Gesamtbewertung der Einwohner in der Region Stuttgart.	93
Tabelle 26:	Flächenreserven der Wohnbauflächen der Region Stuttgart nach dem System „Zentrale Orte“ (FRIEDRICH ET AL., 2017).	95
Tabelle 27:	Szenarien der Einwohnerentwicklung in der Region Stuttgart.	96
Tabelle 28:	Übersicht der Grundszenarien im Szenario W2 der Region Stuttgart.	100
Tabelle 29:	Mittlere tägliche Reiseweite je Einwohner über alle Modi und als Pkw-Fahrer in den Szenarien W0-2025, W0-S, W1 und W2.	108
Tabelle 30:	Mittlere tägliche Reiseweite je Einwohner über alle Modi und als Pkw-Fahrer in den Szenarien W0-2025, W0-S und W3.	111
Tabelle 31:	Gewichtungsfaktoren der bewerteten Kenngrößen für die Gesamtbewertung der Arbeitsplätze in der Region Stuttgart.	119
Tabelle 32:	Flächenreserven der Gewerbe- und Industrieflächen der Region Stuttgart nach dem System „Zentrale Orte“ (FRIEDRICH ET AL., 2017).	121
Tabelle 33:	Unter- und Obergrenzen an Arbeitsplätzen der verfügbaren Flächenreserven (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006).	122
Tabelle 34:	Szenarien der Arbeitsplatzverteilung in der Region Stuttgart.	124
Tabelle 35:	Mittlere tägliche Reiseweite je erwerbstätige Person über alle Modi und als Pkw-Fahrer in den Szenarien A0-2025, A0, A1, A2 und A3.	131
Tabelle 36:	Zusammenfassung der Szenarien der Einwohnerverteilung.	140
Tabelle 37:	Zusammenfassung der Szenarien und den daraus resultierenden verkehrlichen Wirkungen pro Arbeitsplatzänderung.	141

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gewichtungsmöglichkeiten nach OTTMANN & LIFKA (2010).	7
Abbildung 2:	Zentrales Ortesystem nach CHRISTALLER (1980) mit Reichweite (links) und Verkehrsachsen (rechts) (SCHNABEL & LOHSE, 2011, PP. 109–110).	10
Abbildung 3:	Verbindungsfunktionen und Ableitung der Straßenkategorien (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2009).	11
Abbildung 4:	Einteilung des Untersuchungsgebiets in Planungsraum und Umland sowie in Verkehrszellen nach SCHNABEL & LOHSE (1997).	13
Abbildung 5:	Rückkopplungskreislauf nach WEGENER & FUERST (1999).	30
Abbildung 6:	Flussdiagramm von SILO (MOECKEL, 2018).	32
Abbildung 7:	Überblick über URBANSIM (WADDELL, 1998).	33
Abbildung 8:	Modellaufbau von ROdEM (KRIEBERNEGG ET AL., 2011).	34
Abbildung 9:	Räumliche Abgrenzung des Verkehrsnachfragemodells.	40
Abbildung 10:	Vergleich der Anzahl der Einwohner je Personengruppe (SCHLAICH, 2011).	48
Abbildung 11:	Vergleich der Fahrweitenverteilung (SCHLAICH, 2011).	48
Abbildung 12:	Vergleich der Modell- und Erhebungswerte der Zählstellen in der Region Stuttgart (SCHLAICH, 2011).	49
Abbildung 13:	Übersicht der Entwicklungsachsen und Zentralen Orte in der Region Stuttgart (VERBAND REGION STUTTGART, 2009).	50
Abbildung 14:	Klassifizierung von Standortanalysen im Verkehrsbereich nach der Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen.	54
Abbildung 15:	Verlauf der Bewertungsfunktionen der Kenngrößen der Einwohner.	64
Abbildung 16:	Erreichbarkeitsänderungen zu <b>Fuß</b> zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.	81
Abbildung 17:	Erreichbarkeitsänderungen mit dem <b>ÖV</b> zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.	82
Abbildung 18:	Identifikation eines optimalen Standortes einer Grundschule in der Region Stuttgart.	83
Abbildung 19:	Identifikation eines Reduktionsstandortes einer Grundschule in der Region Stuttgart.	84
Abbildung 20:	Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Einwohners in der Region Stuttgart.	85
Abbildung 21:	Klassifizierung der Strecken des Pkw-Verkehrs auf Basis des Fahrzeitindex.	87
Abbildung 22:	Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Einwohners auf stark ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4) in der Region Stuttgart.	88
Abbildung 23:	Klassifizierung der Strecken des S-Bahnlagen anhand der Auslastung.	89

Abbildung 24:	ÖV-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Einwohners auf Strecken mit ausgelasteten Fahrzeugen (Auslastungsklasse 4).	90
Abbildung 25:	Bedienungshäufigkeit im Schienenverkehr (oben) und deren Bewertung (unten).	92
Abbildung 26:	Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen in der Region Stuttgart unter Einbezug der Wohnstandorte.	94
Abbildung 27:	Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen der Wohnflächenentwicklung der Region Stuttgart.	94
Abbildung 28:	Änderung der Einwohnerverteilung zwischen W0-2010 und W0-S.	98
Abbildung 29:	Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W1.	99
Abbildung 30:	Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W2.X1.	101
Abbildung 31:	Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W2.X2.	101
Abbildung 32:	Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W3.	103
Abbildung 33:	Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der Analyseszenarien W0-2010 und W0-2025.	104
Abbildung 34:	Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der Einwohner in der Region Stuttgart in den Szenarien W0-S, W1 und W2.	106
Abbildung 35:	Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der zusätzlichen 110.000 Einwohner in den Szenarien W0-S, W1 und W2.	107
Abbildung 36:	Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der gesamten Einwohner in der Region Stuttgart in den Szenarien W0-S und W3.	109
Abbildung 37:	Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der zusätzlichen Einwohner in den Szenarien W3 im Vergleich zum Szenario W0-S.	110
Abbildung 38:	Prozentuale Änderungen der Umweltbelastungen der gesamten Einwohner in der Region Stuttgart der Szenarien durch die zusätzlichen Einwohner bezogen auf W0-2025.	112
Abbildung 39:	Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes in der Region Stuttgart.	113
Abbildung 40:	Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes auf stark ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4) in der Region Stuttgart.	115
Abbildung 41:	ÖV-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes auf Strecken mit ausgelasteten Fahrzeugen (Auslastungsklasse 4).	117
Abbildung 42:	Bedienungshäufigkeit im Schienenverkehr (oben) und deren Bewertung (unten).	118



---

Abbildung 43:	Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen in der Region Stuttgart unter Einbezug der Arbeitsplatzverteilung.	120
Abbildung 44:	Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen der Arbeitsplatzentwicklung der Region Stuttgart.	120
Abbildung 45:	Arbeitsplatzdifferenz (2025 - 2010) in der Region Stuttgart des Verkehrsnachfragemodells des Verband Region Stuttgart.	122
Abbildung 46:	Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A0-2010 und A0.	125
Abbildung 47:	Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A1 und A0.	126
Abbildung 48:	Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A2 und A0.	127
Abbildung 49:	Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A3 und A0.	128
Abbildung 50:	Verkehrsleistung (Mio. PKm) der Erwerbstätigen in der Region Stuttgart in den Szenarien A0, A1, A2 und A3.	130
Abbildung 51:	Prozentuale Änderungen der Umweltbelastungen in der Region Stuttgart der Szenarien bezogen auf A0-2025.	132
Abbildung 52:	Einwohner- und Arbeitsplatzänderungen im Vergleich zum Bezugsszenario A0.	134
Abbildung 53:	Verkehrsleistung (Mio. PKm) der Szenarien A0, W2.31, A3 und „Kombination W2.31 & A3“.	135
Abbildung 54:	Vergleich der Identifikation eines zusätzlichen Standortes einer Einzelhandelseinrichtung in der Region Stuttgart der Szenarien A0 und „Kombination W2.31 & A3“.	136
Abbildung 55:	Vergleich der Identifikation eines Reduktionsstandortes einer Einzelhandelseinrichtung in der Region Stuttgart der Szenarien A0 und „Kombination W2.31 & A3“.	138
Abbildung 56:	Erreichbarkeitsänderungen mit dem <b>Rad</b> zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.	XXXIV
Abbildung 57:	Erreichbarkeitsänderungen mit dem <b>Pkw</b> zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.	XXXV
Abbildung 58:	Einwohnerdifferenz der Mittelbereich in den Szenarien W0-S und W1.	XXXVI
Abbildung 59:	Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W2.	XXXVII
Abbildung 60:	Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W3.	XXXVIII
Abbildung 61:	Verkehrsleistung (Mio. PKm) der Einwohner der Region Stuttgart in den Szenarien A0, A1, A2 und A3.	XXXIX



## Kurzfassung

Der stetige Wandel der Bevölkerung führt zu Änderungen von Infrastrukturen. Während die städtischen Regionen Bevölkerungszuwächse verzeichnen können, kämpfen ländliche Regionen mit Bevölkerungsrückgängen. Dies führt dazu, dass in den Städten die Kapazität der Verkehrsinfrastruktur vielerorts bereits erreicht bzw. überschritten ist. Die Folge ist die Reduktion der Aufenthaltsqualität, was zu Konflikten mit den Fußgängern und Radfahrern führt. Da der öffentliche Verkehr nur bedingt konkurrenzfähig ist, sind Infrastrukturen so zu schaffen, dass eine Zunahme des Verkehrsaufkommens so gering wie möglich gehalten werden kann. Gleichzeitig steigt der Bedarf an Wohn- und Arbeitsraum in diesen Regionen. Die Ausgangssituationen führen dazu, dass zukünftig der Zusammenhang zwischen der Verkehrsnetz- und Standortplanung (noch) stärker als in der Vergangenheit berücksichtigt werden muss.

In den vergangenen Jahren gab es eine Vielzahl von Forschungen zu integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen. Diese finden vorrangig außerhalb Deutschlands Anwendung und benötigen eine Reihe von Eingangsgrößen, wodurch deren Anwendung fachspezifisch wird. Eine der am häufigsten genutzten Kenngrößen in den Forschungen ist die Erreichbarkeit, die sowohl in der Standortplanung als auch in der Verkehrsplanung Anwendung findet. Derzeit existiert keine einheitliche Definition der Erreichbarkeit. In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Erreichbarkeit den mittleren Aufwand zum Erreichen eines Ortes gewichtet mit einer Strukturgröße für eine Aktivität abbildet. Neben der Erreichbarkeit werden aus verkehrlicher Sicht die Kenngrößen Fahrzeit, Kosten, Verkehrsleistung, Reiseweite und Bedienungshäufigkeit vermehrt herangezogen. Als raumplanerische Kenngrößen eignen sich neben der Erreichbarkeit die Flächennutzung und Siedlungsdichte. Aufgrund der Kapazitätsengpässe in den städtischen Verkehrsnetzen erscheint es sinnvoll, die Streckenauslastung in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

Ziel der Arbeit ist es, vorhandene Methoden der Standortanalysen und -planungen so zu erweitern, dass die verkehrlichen Wirkungen der Standorte besser berücksichtigt werden können. Die Standorte können neben Wohn- und Arbeitsplätzen auch Standorte der Daseinsvorsorge beinhalten. Die Standorte der Daseinsvorsorge sowie die Wohnstandorte und Arbeitsstandorte müssen jeweils einzeln betrachtet werden.

Für Standorte der Daseinsvorsorge ist es möglich, die verkehrlichen Wirkungen, ohne den Einbezug der verkehrlichen Nachfragewirkungen, in die Standortanalysen einzubeziehen. Die in der Arbeit entwickelte Methode wird als angebotsorientierte Standortanalyse bezeichnet. Ihr liegen Datenmodelle der Bevölkerung, der Standorte und des Verkehrsangebots zugrunde. Basierend auf den Datenmodellen erfolgt im Wirkungsmodell die Berechnung der Erreichbarkeit für eine Aktivität pro Person und Modus zum nächsten Standort. Dabei wird jeweils vom zeitkürzesten Weg ausgegangen. Des Weiteren können die Bedienungshäufigkeit, Umsteigehäufigkeit und der Erreichbarkeitsindex ermittelt werden. Die Kenngrößen sind der Ausgangspunkt der Szenarienbildung. In einzelnen

Szenarien wird ermittelt, wie sich die Reisezeit verändert, wenn ein Standort geschlossen bzw. eröffnet wird. Neue Standorte sind nach Möglichkeit so zu wählen, dass die Verkehrsteilnehmenden die Zeitaufwände zur Erreichung der Ziele reduzieren können. Bei einer Schließung eines Standortes ist aus Sicht der Erreichbarkeit der Standort zu wählen, der die geringsten Reisezeitzuwächse für die Verkehrsteilnehmenden mit sich bringt. Es ist ebenso möglich, neue Wohnstandorte zu identifizieren.

Hingegen fordern Standorte für Wohnen und Arbeiten den Einbezug der verkehrlichen Nachfragewirkungen. Die Standortanalysen sind demzufolge nachfrageorientiert. Grundlage der Analysen sind Datenmodelle der Bevölkerung, der Standorte, der Flächenverfügbarkeit sowie des Verkehrsangebots und des Mobilitätsverhaltens. Der Einbezug eines Verkehrsnachfragemodells ermöglicht im Wirkungsmodell der Ortsveränderungen die Berechnung der Aktivitätenwahl, die sich aus dem modellierten Mobilitätsverhalten ergibt. Die Nachfrage kann differenziert nach Wegezwecken erfolgen. Ebenso ist es möglich, die Verkehrsstärke im Netz je Modus und die Verkehrsleistung je Modus und Einwohner bzw. Arbeitsplatz zu ermitteln. Dadurch ist die Berechnung einer verkehrlichen Eignung je Verkehrszelle möglich. Die verkehrliche Eignung dient als objektive Bewertungsgröße, die in die darauffolgende Szenarienbildung eingeht. Dies ermöglicht den Vergleich der Wirkungen von heutigen und zukünftig geplanten Standorten auf die Verkehrsnachfrage. Standorte sind nach Möglichkeit so zu schaffen, dass die Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr reduziert bzw. konstant gehalten werden kann.

Die entwickelten Methoden werden am Beispiel der Region Stuttgart getestet. Um die Vergleichbarkeit der derzeitigen und geplanten Standorte und deren Wirkungen auf das Verkehrsgeschehen abbilden zu können, erfolgt die Nutzung des Verkehrsnachfragemodells für die Jahre 2010 und 2025. Die Berechnungen ergaben, dass die Verkehrsnachfrage durch die heutigen Wohn- und Arbeitsstandorte geprägt ist. Die erwarteten Änderungen der Bevölkerungsentwicklung bzw. Arbeitsplätze sind innerhalb der Region so gering, dass nur ein marginaler Einfluss auf die Verkehrsnachfrage nachweisbar ist. Die Betrachtungen der Verkehrsleistung je zusätzlichen Einwohner bzw. Arbeitsplatz zeigen, dass eine gezielte Standortplanung einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten ausübt. So kann die Verkehrsleistung der zusätzlichen Einwohner im Vergleich zu den derzeit in der Region wohnenden Einwohnern reduziert werden. Für die Arbeitsplätze werden ähnliche Ergebnisse berechnet. Es kann daher festgehalten werden, dass durch eine gezielte Standortplanung unter Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen bei neu hinzukommenden Einwohnern bzw. Arbeitsplätzen in der Region als auch bei Standortänderungen von Einwohnern bzw. Arbeitsplätzen die Verkehrsleistung beeinflusst werden kann. Neben den Wohn- und Arbeitsstandorten kann das Verkehrsverhalten auch durch die Wahl der Standorte der Daseinsvorsorge beeinflusst werden. So zeigt der Vergleich, dass eine geänderte Wohnortwahl auch einen Einfluss auf die Wahl der Standorte der Daseinsvorsorge hat. Demzufolge sollte die Siedlungsstruktur mit all ihren Facetten nie separat betrachtet werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch einen minimalen Mehraufwand die vorhandenen Methoden so erweitert werden können, dass das zukünftige Verkehrsverhalten in Hinblick auf umweltverträgliche und soziale Aspekte beeinflusst werden kann. Dies setzt zum einen den Kenntnisstand über das aktuelle Verkehrsgeschehen als auch die Integration der Standortanalysen und der Verkehrsmodelle voraus.



## Abstract

The constant changes in the demographic structure lead to changes in changes of the settlement structure it lead to changes in infrastructures. While urban regions are experiencing a demographic increase, rural regions are struggling with population decreases. As a result, the capacity of the transport infrastructure in cities is saturated or even exceeded. in many places. The result is a reduction in the quality of stay, which leads to conflicts with pedestrians and cyclists. Since public transport is only competitive to a limited extent, infrastructures must be created in such a way that an increase in traffic volume can be kept to a minimum. At the same time, the demand for home and working space in these regions is increasing. These circumstances make it necessary to be give greater consideration to the connection between transport networks and site planning.

In recent years, there has been a great deal of research on integrated land use and transport models. These are primarily used outside of Germany and require a number of input variables, making their application subject specific. One of the most frequently used parameters in research is accessibility, which is applied in site as well as in transport planning. Currently, there is no standard definition of accessibility. In this paper, accessibility is assumed to represent the average expense to reach a site weighted by a structural parameter for an activity. In addition to accessibility, the indicators travel time, costs, person distance travelled, journey distance and frequency of service are increasingly used from a traffic perspective. In addition to accessibility, land use and residential density are suitable spatial planning parameters. Due to the capacity bottlenecks in urban transport networks, it seems reasonable to include the link volume into the considerations.

The aim of the paper is to expand existing methods of analysis and planning of land use in such a way as to be able to give more consideration to the traffic impacts of sites. In addition to home and workplaces, the locations can also include sites of for services of general interest. Each of these types of sites require a specific consideration.

For sites of services of general interest, it is possible to include the traffic impacts in the site analyses without including the travel demand effects. The method developed in the paper is called supply-oriented site analysis. It is based on data models of the population, sites and the transport supply. Based on the data models, the impact model calculates the accessibility for an activity per person and mode to the next site. In each case, the time-shortest route is assumed. In addition, the frequency of service, the frequency of transfers and the accessibility index can be determined. The parameters are the starting point for creating scenarios. In individual scenarios, it is determined how the travel time changes when a site is closed or opened. If possible, new sites should be chosen in such a way that transport participants can reduce the time required to reach their destinations. When a site is closed, the site that results in the least travel time increase for transport participants should be selected from an accessibility perspective. It is equally possible to identify new home locations.

On the other hand, locations for home and working require the inclusion of travel demand effects. Consequently, the site analyses are demand oriented. The analyses are based on data models of the population, sites, land use availability, as well as the transport supply and travel behavior. The inclusion of a travel demand model enables the calculation of the activity choice resulting from the modeled travel behavior in the site change impact model. Demand can be differentiated by trip purpose. It is also possible to determine the traffic volume in the network per mode and the person distance travelled per mode and inhabitant or workplace. This makes it possible to calculate a traffic suitability for each traffic zone. The traffic suitability serves as an objective evaluation parameter that is used in the subsequent scenario generation. This makes it possible to compare the effects of current sites and future planned sites on travel demand. If possible, locations are to be created in such a way that the traffic volume in passenger cars can be reduced or kept constant.

The methods developed will be tested using of the Stuttgart region as an example. To be able to map the comparability of the current sites and planned sites and their effects on traffic, the travel demand model is used for the years 2010 and 2025. The calculations showed that the travel demand is influenced by current home and workplaces. The expected changes in population and businesses are so small within the region that only a marginal impact on travel demand is detectable. The consideration of the traffic performance per additional inhabitant or workplace shows that a targeted site planning has an influence on travel behavior. In this way, the transport performance of the additional residents can be reduced compared to the residents currently living in the region. Similar results are calculated for the workplaces. It can therefore be stated that traffic performance can be influenced by targeted site planning, considering the travel demand effects of newly added residents or workplaces in the region as well as changes in the site of residents or workplaces. In addition to residential and working sites, travel behavior can also be influenced by the choice of sites for services of general interest. Thus, the comparison shows that a change of the home places also has an influence on the choice of sites for services of general interest. As a result, the land use structure with all its facets should never be considered separately.

In summary, it can be stated that with a minimum of additional effort, existing methods can be extended in such a way that future travel behavior can be influenced with regard to environmentally compatible and social aspects. This requires on the one hand the knowledge of current traffic patterns and on the other hand the integration of land use and transport models.



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Ländliche Regionen und Städte unterliegen einem stetigen Wandel. Lebten 1950 noch rund zwei Drittel der Weltbevölkerung in ländlichen Regionen, wird weltweit der Anteil der städtischen Bevölkerung bis zum Jahr 2050 auf rund 60 % steigen (UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, 2014). In den hoch entwickelten Ländern, wie Deutschland, lag der Anteil der Stadtbevölkerung bereits 2014 über 70 %. Prognosen gehen für Deutschland im Jahr 2050 von einem Anteil von 83 % aus (UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, 2014). Daraus folgt, dass ein weiteres Bevölkerungswachstum in den Metropolregionen, Ober- und Mittelzentren zu erwarten ist. Gleichzeitig steigt der spezifische Bedarf an Wohnraum pro Person in Deutschland im Mittel seit 1991 um etwa 1 % pro Jahr von 36 qm auf derzeit 47 qm (INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT KÖLN MEDIEN GMBH, 2020). Das Einwohnerwachstum und der höhere spezifische Platzbedarf führen zu einer Nachfrage nach zusätzlichem Wohn- und Arbeitsraum. Da Wohnraum knapp und die Möglichkeit der Verdichtung begrenzt ist, sind zusätzliche Flächen für Wohnungen erforderlich (BBSR, 2018). Aufgrund der steigenden Einwohnerzahlen ergeben sich fortwährend neue Anforderungen an die Infrastruktureinrichtungen.

Die Umsetzung der planerischen Zielvorstellung einer „Stadt der kurzen Wege“ führt zwar dazu, dass Einwohner in Städten im Durchschnitt kürzere Wege zurücklegen als Einwohner in ländlichen Regionen, jedoch ist die Verlustzeit, die Zeit die Fahrzeuge auf ausgelasteten Straßen zusätzlich benötigen, höher ist, als im ländlichen Raum (FRIEDRICH ET AL., 2017; INSTITUT FÜR ANGEWANDTE SOZIALWISSENSCHAFT GMBH, 2011, PP. 8–9). Die Verlustzeiten bedeuten neben einer Erhöhung der Fahrzeiten auch einen Anstieg der Umweltbelastungen aus dem Verkehr, die sich durch Schadstoff- und Lärmemissionen bemerkbar machen. Ziel der Planungen sollte es dementsprechend sein, die negativen Wirkungen des Verkehrs zu reduzieren. Dies kann durch nachfrageorientierte Betrachtungen erfolgen, bei denen die heutige und die zukünftige Situation auf den Straßen untersucht wird und in Abhängigkeit der Zielsetzungen Flächen zur Weiterentwicklung der Lebensräume vorgeschlagen werden.

Die Bewohner ländlicher Regionen haben weniger das Problem der Verlustzeiten im Pkw-Verkehr und den damit verbundenen Umweltschadstoffen. Aufgrund geringerer Siedlungsdichten spielt in den Regionen die Zahl und die Verteilung von Standorten eine wichtige Rolle. Die Entfernungen zu Standorten der Daseinsvorsorge sind i.d.R. länger als in den Metropolregionen, gleichzeitig ist das Angebot des öffentlichen Verkehrs (ÖV) schlechter. In ländlichen Regionen steht deshalb das Ziel der Erreichbarkeitssicherung im Vordergrund (AHLMEYER & WITTOWSKY, 2018). Ein Baustein, der bei der Entscheidung für oder gegen einen Standort hilfreich sein kann, ist die angebotsorientierte Standortanalyse. Deren Ziel ist es, die Erreichbarkeiten zu überprüfen, um so eventuelle Mängel erkennen zu können.

Angebots- und nachfrageorientierte Standortanalysen erfordern den Einsatz von integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen (IFVM), bei denen Wechselwirkungen zwischen der Flächennutzung- und Verkehrsentwicklung in die Betrachtungen einbezogen werden. In den letzten Jahren gab es zahlreiche Forschungen zur Entwicklung von integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen. Diese Modelle kommen nach WEGENER (2009) in Ländern, wie Großbritannien, USA, Kanada oder Schweden zum Einsatz. In Deutschland werden IFVM bislang nur selten eingesetzt. Ursachen sieht WEGENER (2009) in der vergangenen Entwicklung der Planungskultur, die seit der Energiekrise in den 1970er Jahren keine Weiterentwicklung der integrierten Stadtentwicklungsmodelle zur Folge hat. SCHILLER (2007) stellt fest, dass heute existierende integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle zwar allgemeine Entwicklungstendenzen abbilden können, nicht aber lokale, für die Verkehrsplanung relevante Entwicklungen. Er bemängelt dabei unter anderem die unzulängliche Nachfragemodellierung der integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle. Für seine eigene Modellentwicklung leitet SCHILLER (2007) daraus ab, dass es derzeit zielführender ist, nicht die komplexen Entscheidungen der Raum- und Verkehrsplanung in einem Modell nachzubilden, sondern stattdessen ein Optimierungsverfahren zur Abschätzung einer verkehrsplanerisch optimalen Flächennutzung zu entwickeln.

Die bereits existierenden Zustände, wie beispielsweise die Streckenauslastung im Individualverkehr (IV) bzw. die Auslastungen der S-Bahnen, werden in IFVM selten berücksichtigt, sind jedoch ein zentraler Bestandteil der derzeitigen Problematik. Aufgrund der steigenden Zeitverluste im motorisierten Individualverkehr (MIV) und der Flächenverfügbarkeiten in den regionalplanerischen Zentren ist es sinnvoll, Standortanalysen unter Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen durchzuführen.

## 1.2 Zielsetzung

Ausgangspunkt der Arbeit ist die Beobachtung, dass die Verkehrsnetze in vielen Stadtregionen die Grenze der Leistungsfähigkeit erreicht oder bereits überschritten haben. Hohe Verkehrsstärken im IV reduzieren die Aufenthaltsqualität und führen zu Konflikten mit dem Fuß- und Radverkehr. Der ÖV bietet Alternativen vor allem bei Ortsveränderungen in die Innenstadt und entlang von Verkehrsachsen. Auf vielen Relationen ist er gegenüber dem Pkw jedoch nur bedingt konkurrenzfähig. Gleichzeitig steigt der Bedarf nach Wohnraum und neuen Flächen für Unternehmen. Einwohnerzuwächse und Standortänderungen von Unternehmen verändern die Nachfragestrukturen. Diese Ausgangssituation erfordert in der Zukunft eine Netz- und Standortplanung, die den Zusammenhang zwischen Raumstruktur und Verkehrsnachfrage (noch) stärker beachtet als in der Vergangenheit. Hier können Verkehrsmodelle helfen, die Wirkungen von Planungen zu beurteilen und in Verbindung mit Optimierungsverfahren Standorte identifizieren, die aus Sicht von Verkehr und Umwelt zu bevorzugen sind.

Ziel der Arbeit ist es, vorhandene Methoden der Standortanalyse und Standortplanung so zu erweitern, dass sie die verkehrlichen Wirkungen der Standorte besser berücksichtigen. Die Standorte können dabei neben Wohn- und Arbeitsflächen auch Standorte der Daseinsvorsorge umfassen.

Zur Zielerreichung der übergeordneten Fragestellung werden folgende Forschungsfragen formuliert:

- Welche Kenngrößen sind geeignet, um die verkehrliche Eignung bei einer integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsangebotsplanung zu berücksichtigen?
- Mit welcher Methode lassen sich geeignete Standorte identifizieren?
- Wo sollten neue Standorte unter Berücksichtigung der Erreichbarkeit bzw. der verkehrlichen Nachfragewirkungen angeordnet werden?
- Welche Wirkungen haben heutige und geplante Wohn- und Arbeitsstandorte auf die Verkehrsnachfrage?

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert. Dem einleitenden Kapitel 1 schließt sich das Kapitel 2 mit dem Stand der Technik an. Dieses beinhaltet einen Überblick über aktuelle Forschungen zu Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen. Des Weiteren umfasst das Kapitel grundlegende Beschreibungen und Definitionen genutzter Kenngrößen aus der Verkehrs- und Raumplanung.

Die Datengrundlage, die die Grundlage der in dieser Arbeit erfolgten Untersuchungen bildet, ist in Kapitel 3 beschrieben. Das Untersuchungsgebiet, der Aufbau und die Funktionsweise des Verkehrsnachfragemodells werden erläutert.

Kapitel 4 enthält die theoretischen Modellansätze zu den nachfrage- und angebotsorientierten Standortanalysen differenziert nach Wohnstandorten, Arbeitsstandorten und Standorten der Daseinsvorsorge. Für jeden Ansatz erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Berechnungen.

Die in Kapitel 4 beschriebenen Modellansätze werden in Kapitel 5 auf das in Kapitel 3 beschriebene Untersuchungsgebiet übertragen und die Auswirkungen auf die verkehrlichen Kenngrößen ausgewertet. Es werden Schlussfolgerungen für die Anwendung und Wirksamkeit gegeben.

In Kapitel 6 erfolgt eine Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit und es erfolgt ein Ausblick auf weitere Forschungsfragen, die sich daraus ergeben.



## 2 Stand der Technik

### 2.1 Grundlagen

Menschliche Tätigkeiten sind mit Anforderungen an den Lebensraum verbunden. Jede Gesellschaft ist bemüht, den vorhandenen Lebensraum bestmöglich zu nutzen und dadurch die vorherrschenden Lebensbedingungen zu optimieren. Zur Erreichung einer bestmöglichen Nutzung des Lebensraums ist es unumgänglich gesellschaftliche, wirtschaftliche, soziale und kulturelle Leitlinien zu schaffen und umzusetzen (RITTER, 2005, P. 894). Die Raumplanung beinhaltet die Ebenen der Bundesraumordnung, der Landesplanung inklusive der Regionalplanung und der kommunalen Raumplanung. Sie „ist die zusammenfassende, übergeordnete räumliche Gesamtplanung, die die verschiedensten fachlichen Belange an den Raum koordiniert sowie private und öffentliche Belange zum Ausgleich führt“ (DANIELZYK & MÜNTER, 2018, P. 1937). Die räumliche Gesamtplanung beinhaltet raumbedeutsame Fachplanungen, die zur Implementierung der Absicht, der Schaffung eines Gleichgewichts der unterschiedlichen Belange, notwendig sind. Die Verkehrsplanung der Länder, sowie der Bundesverkehrswegeplan sind im Bereich der raumbedeutsamen Fachplanungen von Belang. „Durch Trassen- und Standortentscheidungen sowie die Ausbaustandards werden Raumentwicklungen determiniert, die sich sinnvollerweise an den raumplanerischen Festsetzungen orientieren sollen, ...“ (BORCHARD, 2011, P. 578). Die Raumentwicklung wird in dem Zusammenhang, als die Beschreibung räumlicher Prozesse verstanden (KNIELING, 2018, P. 1874). Die in der Arbeit betrachteten räumlichen Prozesse erfordern die Kopplung von Standortentscheidungen mit der Verkehrsplanung. Unter Zuhilfenahme der Standorttheorie der zentralen Orte erfolgt die Verknüpfung der raumplanerischen Prozesse mit der Verkehrsplanung. Die Wahl geeigneter Wohn- und Arbeitsstandorte kann mit den Prozessen unterstützt werden. Ebenso können raumbezogene Fachplanungen auch bei Standortentscheidungen der Daseinsvorsorge unterstützen. Die Daseinsvorsorge „umfasst gemeinwohldienliche Leistungen im weiteren Sinn, die der Einzelne zu einer angemessenen Lebensführung benötigt und deren grundsätzlich marktförmige Darbietung daher regelmäßig staatlichem Einfluss unterliegt“ (MILSTEIN, 2018, P. 361).

### 2.2 Standortplanung

#### 2.2.1 Standortanalysen

Die Frage nach der Standortwahl existiert seit jeher in der Raumplanung. „Wurden zunächst Standortfragen der Landwirtschaft und des einzelnen industriellen Betriebes analysiert, so traten später Standortentscheidungen ganzer Industrien, aber auch von öffentlichen Einrichtungen, privaten Haushalten und von Städten hinzu“ (SCHÖLER, 2018). Die Standortplanung zieht die Standortanalyse als ein Instrumentarium der Standortwahl

heran (BIENERT, 1996). Dadurch wird es möglich, gezielt Handlungsempfehlungen zur Standortwahl zu geben.

In der Vergangenheit erfolgten viele Untersuchungen zum Thema Standortanalysen, die sich vermehrt auf einen Untersuchungsgegenstand, wie Büroimmobilien, beziehen (ERTLE, 2003; SCHADE & LIEDTKE, 1999; VOPPEL & ESSER, 1993). OTTMANN & LIFKA (2010) beschreiben das grundsätzliche Vorgehen von Standortanalysen. Mit ihrer Arbeit stellen sie universell einsetzbare Ansätze zur Reduktion von subjektiven Einflüssen vor. Nach OTTMANN & LIFKA (2010) ist ein systematisches Vorgehen in den Standortanalysen entscheidend für die Verbesserung der Entscheidungsqualität. Des Weiteren sollen klare Abläufe und Strukturen einheitliche Ergebnisse liefern. Der von OTTMANN & LIFKA (2010) beschriebene Ablauf soll einen Leitfaden bieten (vgl. Tabelle 1). Detaillierte Angaben zum Ablauf der Meilensteine, Arbeitsschritte und Ziele können OTTMANN & LIFKA (2010) entnommen werden.

<b>Meilenstein</b>	<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Ziel</b>
Bezugsrahmen klären	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungszweck definieren</li> <li>• Effektive &amp; effiziente Umsetzung sicherstellen</li> </ul>	Untersuchung in die richtigen Bahnen lenken
Ziele setzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziele finden</li> <li>• Ziele formulieren</li> <li>• Ziele hierarchisch ordnen</li> <li>• Mindestanforderungen festlegen</li> </ul>	Festlegen eines Zielsystems als Bewertungsgrundlage
Standortalternativen mehrstufig wählen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungsgebiet abgrenzen</li> <li>• Untersuchungstiefgang bestimmen</li> </ul>	Ermitteln aussichtsreicher Handlungsoptionen
Standorte bewerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standortfaktoren wählen</li> <li>• Standortfaktoren messen</li> <li>• Standortfaktoren gewichten</li> <li>• Standortfaktoren bewerten</li> <li>• Ergebnisse zusammenfassen</li> </ul>	Berechnen des Zielerreichungsgrades der Alternativen
Ergebnisse kontrollieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ergebnisstabilität prüfen</li> <li>• Standortentwicklung einschätzen</li> </ul>	Ableiten einer Handlungsempfehlung

Tabelle 1: Ablauf einer Standortanalyse nach OTTMANN & LIFKA (2010).

Der Meilenstein „Standorte bewerten“ wird für die nachfolgenden Betrachtungen als wichtigster Schritt in den Standortanalysen angesehen. Dabei spielen die Gewichtung und Bewertung der Standortfaktoren eine entscheidende Rolle. Diese sind nachfolgend kurz beschrieben.

Gewichtung

Nach BOTTOMLEY & DOYLE (2001) und SAATY & VARGAS (2012) gibt es zwei Vorgehensweisen, die die Grundlage einer Gewichtung bilden können (vgl. Abbildung 1).

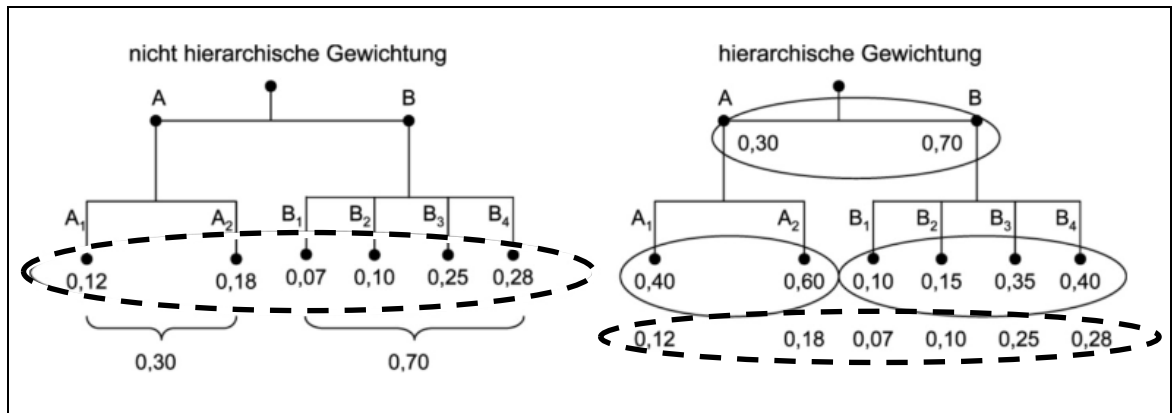


Abbildung 1: Gewichtungsmöglichkeiten nach OTTMANN & LIFKA (2010).

Bei der nicht hierarchischen Gewichtung erfolgt eine Gewichtung der untersten Hierarchieebene. In der oberen Hierarchieebene erfolgt keine Gewichtung. Die Normierung der absoluten Gewichte ermöglicht eine Normierung auf 1 (100 %). Die Gewichte werden in der Literatur als globale Gewichte bezeichnet, da diese die Gewichte repräsentieren, die die einzelnen Hierarchieelemente für die Zielerreichung beisteuern.

In der hierarchischen Gewichtung erfolgt auf jeder Hierarchieebene eine Normierung auf 1. Die Gewichte der untergeordneten Hierarchieebene ergeben pro übergeordnete Gruppe 1. Die daraus resultierenden Gewichte werden als lokale Gewichte bezeichnet. Das Beispiel in Abbildung 1 zeigt das Vorgehen der Gewichtung (schwarze Kreise). Eine Umrechnung der lokalen auf globale Gewichte ist möglich, indem die Gewichte auf das Gewicht der nächsthöheren Hierarchieebene normiert werden (gestrichelte Kreise). Die Vorteile jeder Gewichtungsmöglichkeit sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Nicht hierarchische Gewichtung	Hierarchische Gewichtung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausschließliche Bestimmung der Gewichte auf unterster Ebene</li> <li>• Zeitsparende Variante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleichzeitige Betrachtung von wenigen Elementen</li> <li>• Gewährleistung der Übersichtlichkeit bei einer Vielzahl von Kriterien</li> <li>• Leichtere Interpretation der Gewichte</li> <li>• Disaggregierte Ziele werden mit vielen untergeordneten Elementen eher übergewichtet &amp; aggregierte Ziele benachteiligt</li> </ul>

Tabelle 2: Vorteile der Gewichtungsvarianten nach OTTMANN & LIFKA (2010).

Die Gewichtung ist in beiden Varianten abhängig vom Anwender. Dementsprechend können die Ergebnisse bei der gleichen Nutzung einer Variante unterschiedliche Ergebnisse liefern. Dieser Effekt soll nach OTTMANN & LIFKA (2010) durch den Einsatz mehrerer Gewichtungsregeln reduziert werden. Tabelle 3 enthält Gewichtungsregeln, die für Standortanalysen in Frage kommen.

<p><b>Direkte Gewichte</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Möglichkeit der Gewichtung</li> <li>• Basis: absolut oder verhältnisbezogene Schätzungen</li> <li>• 4 Hauptansätze:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equal Weighting Vergabe gleicher Gewichte</li> <li>- Direct Rating Merkmalsrelevanz wird direkt eingeschätzt mit normierten Rangskalen</li> <li>- Point Allocation Punktvergabeprozedur unter Einhaltung einer Gesamtpunktzahl</li> <li>- Direct Ratio Gewichte ergeben sich aus paarweisem ermitteltem Verhältnis direkter absoluter Einstufungen (Verdeutlichung der Relevanz der Kriterien)</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Paarvergleiche</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paarweiser Vergleich der Elemente</li> <li>• Einschätzung, welches der beiden Elemente innerhalb eines Paares wichtiger ist</li> <li>• Ergebnisse werden aggregiert und normiert</li> </ul>
<p><b>Bandbreitenorientierte Gewichte</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewichte sind vom Ausprägungsintervall ihrer Messwerte abhängig</li> <li>• Angabe der relativen Bedeutung eines Elementes anhand der Veränderung des Zielerreichungsgrades (vom besten bis zum schlechtesten Ergebnis)</li> </ul>
<p><b>Rangfolgebasierte Gewichte</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendung, wenn keine empirischen Daten vorliegen bzw. die Anwendung der vorangegangenen Möglichkeiten unpraktikabel ist</li> <li>• Zuordnung von Gewichten (Ersatzgewichten) auf Grundlage eines vorgegebenen Rankings</li> </ul>

Tabelle 3: Methoden der Gewichtung nach OTTMANN & LIFKA (2010).

Bewertung

Eine Bewertung der Gewichtungsfaktoren ermöglicht den Vergleich von Alternativen. Dies erfolgt durch nicht-formalisierte, teil-formalisierte und formalisierte Bewertungsverfahren.

Nicht-formalisierte Bewertungsverfahren basieren auf umfassenden Beurteilungen von Einzelpersonen oder Personengruppen. Die teil-formalisierten und formalisierten Verfahren beruhen auf der Beurteilung mehrerer Kriterien. Formalisierte Bewertungsverfahren berechnen im Gegensatz zu teil-formalisierten Bewertungsverfahren eine Kennzahl, durch die Nutzung von Verrechnungsfunktionen und Gewichten (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2001).



## 2.2.2 Standorttheorien

Je nach Untersuchungsgegenstand ist es notwendig räumliche Strukturen von Regionen bzw. Städten in die Standortplanung aufzunehmen. Diese werden in der Literatur als Standorttheorien bzw. Standortstrukturtheorien bezeichnet. Nach FARHAUER & KRÖLL (2013) betrachten Standorttheorien aggregierte Entscheidungen von Wirtschafts-subjekten. Dazu zählt die Standorttheorie von CHRISTALLER (1980). Jedem Teilabschnitt einer Region wird in der Theorie eine Funktion zugeordnet und die Beziehung zwischen den Funktionen dargestellt. Dabei wird nicht ausschließlich eine Stadt, eher der Verbund von Städten betrachtet. Aufgrund der dezentralen Struktur innerhalb Deutschlands werden die Regionen anhand der Theorie der zentralen Orte eingeteilt (BMI, 2020). Um das System genau zu verstehen, folgt eine detaillierte Beschreibung dieses Ansatzes.

CHRISTALLER entwickelte 1933 in seiner Dissertation „Die zentralen Orte in Süddeutschland“ die Theorie der zentralen Orte vor dem Hintergrund, Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Größe, Anzahl und räumlichen Verteilung von Siedlungen abzuleiten (CHRISTALLER, 1980; RITTER, 2005). 1940 wurde die Theorie durch LÖSCH unter dem Vorsatz der Fokussierung auf ökologische Grundlagen weiterentwickelt. Damit strebt LÖSCH eine Betrachtung der Gesamtwirtschaft von Standorten und Marktgebieten an (RITTER, 2005). Die entwickelten Ansätze sind Standorttheorien des tertiären Sektors, welcher Unternehmen, die Dienstleistungen anbieten, enthält. Durch die Agglomeration der räumlichen Strukturen des tertiären Sektors entstehen nach TERFRÜCHTE & FLEX (2018) die zentralen Orte. Die Theorie der zentralen Orte basiert auf Abstraktionen, wie eine einheitliche Bevölkerungsdichte und gleiche Bedürfnisse der Einwohner. Die Aktivitäten der Anbieter und Nachfrager basieren auf dem vollständigen Informationsgehalt, wodurch eine Nutzenmaximierung für jedes Individuum möglich ist. Die Theorie geht davon aus, dass aufgrund zunehmender Kosten für den Transport die Nachfrage eines Gutes mit zunehmender Entfernung abnimmt. Daraus ergibt sich eine maximal zu erwartende Nachfrage, bei der der Radius vom Angebot ausgehend als äußere Reichweite bezeichnet wird. Unter den oben genannten Vorgaben erfolgt die weitere Ansiedlung von Anbietern. Die Größe der Radien definiert sich durch den erforderlichen Mindestumsatz des Angebots, der sogenannten inneren Reichweite (vgl. Abbildung 2 links). Aufgrund der Reichweiten entstehen ausgehend vom zentralen Ort Kreise, bei deren Kombination Versorgungslücken entstehen. Es ist folglich eine Überschneidung der äußeren Reichweite der einzelnen Angebote notwendig, woraus sich ein Hexagonalsystem entwickelt. Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutungen der Güter variiert die innere Reichweite, was dazu führt, dass unterschiedliche Netze mit variierender Maschengröße entstehen. Für die Anbieter unterschiedlicher Güter ist die Nutzung eines Standortes sinnvoll, denn dadurch kann der Agglomerationsvorteil genutzt werden. Dies führt zur Ableitung mehrere Modelle, die von CHRISTALLER (1980) nach ihrem Typ der Hierarchie der zentralen Orte und deren Bedeutung in „Versorgungs- und Marktprinzip“, „Verkehrsprinzip“ und „Absonderungs- oder Verwaltungsprinzip“ unterschieden werden.

Das Versorgungs- oder Marktprinzip ergibt sich aus den unterschiedlichen Reichweiten der Versorgung eines Raumes. Das daraus entstehende System der zentralen Orte kann grob in Unter-, Mittel- und Oberzentrum unterteilt werden, die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Unterzentrum Güter mit geringer Reichweite (Güter des täglichen Bedarfs)
- Mittelzentrum Güter mit geringer bzw. mittlerer Reichweite (Güter des täglichen und mittelfristigen Bedarfs)
- Oberzentrum Güter mit geringer, mittlerer und hoher Reichweite (Güter des täglichen, mittelfristigen und langfristigen Bedarfs)

Das Versorgungs- oder Marktprinzip sagt aus, dass die umliegenden sechs kleineren Zentren an den Ecken des Sechsecks sitzen. Es wird davon ausgegangen, dass ein Drittel des Bedarfs, Bedarf höherer Ordnung ist, woraus sich ein K-3-System ergibt. Somit ergibt sich die Versorgung der Orte ausgehend von einer möglichst kleinen Anzahl zentraler Orte.

Das Verkehrsprinzip beinhaltet die Verkehrswege, die die zentralen Orte verbinden, sowohl zwischen Orten gleicher als auch niedrigerer Zentralität. Je nach Zentralität nimmt die Bedeutung der Verkehrsachse zu bzw. ab. Beispielsweise besitzen Straßen zwischen Oberzentren aufgrund ihrer überörtlichen Versorgungsfunktion die größte Bedeutung (BORCHARD, 2011). Diese Verkehrsachsen haben den größten Straßenquerschnitt, welcher mit abnehmender Zentralität geringer wird (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2009). Es ergibt sich ein K-4-System, bei dem Orte niedrigerer Zentralität an den Seiten eines imaginären Sechsecks angesiedelt werden, woraus sich die Möglichkeit direkter Verbindungen zwischen Orten gleicher Zentralitäten ergibt (vgl. Abbildung 2 rechts). Für die Orte niedrigerer Zentralität wird angenommen, dass diese zur Hälfte an den Ort höherer Zentralität angebunden sind.

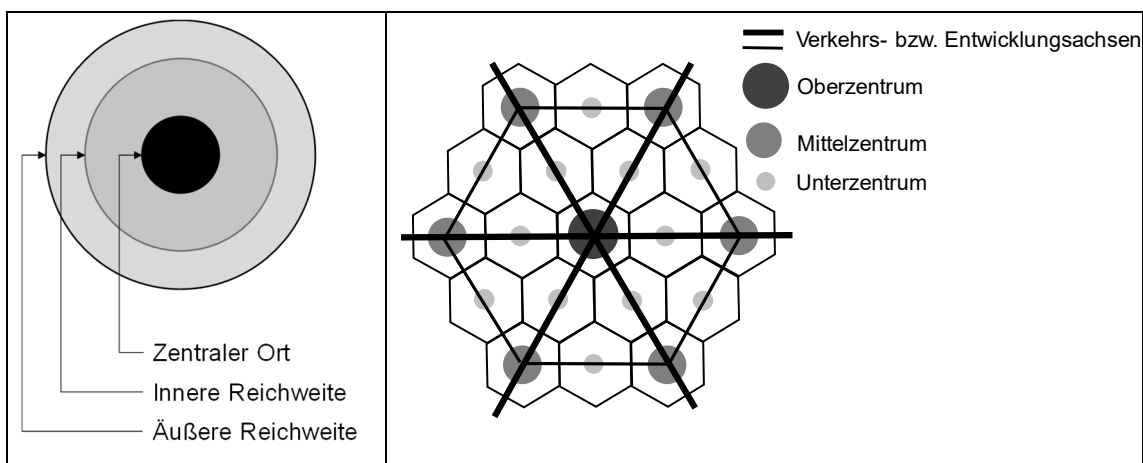


Abbildung 2: Zentrales Ortesystem nach CHRISTALLER (1980) mit Reichweite (links) und Verkehrsachsen (rechts) (SCHNABEL & LOHSE, 2011, PP. 109–110).

Der Ausbauzustand der Straßen des Verkehrsnetzes beruht auf den in dem System der zentralen Orte ermittelten Verbindungsfunktionen der Strecken. Abbildung 3 zeigt die Verknüpfung der Theorie der zentralen Orte mit der Kategorisierung der Straßen.

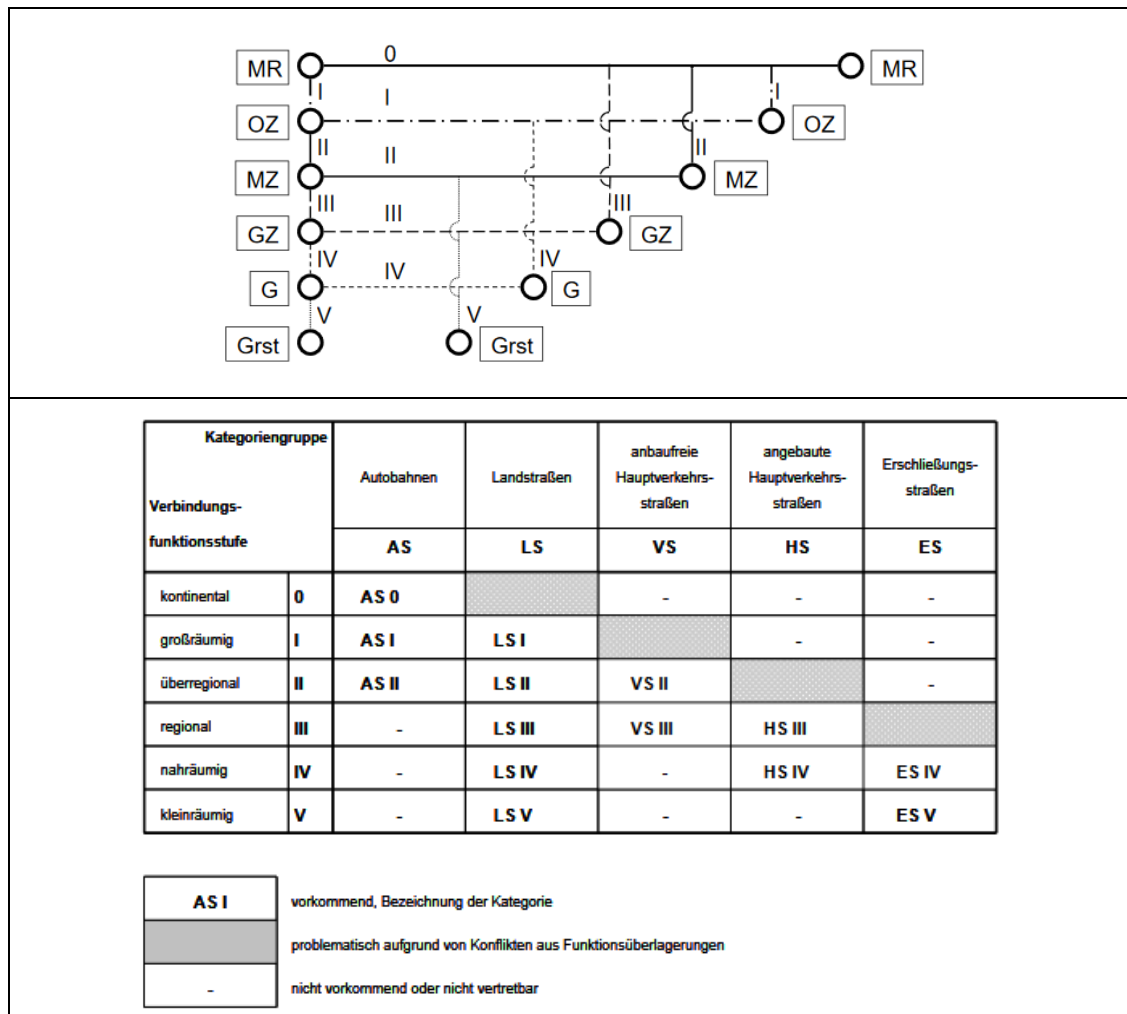


Abbildung 3: Verbindungsfunktionen und Ableitung der Straßenkategorien (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2009).

Das Verwaltungsprinzip definiert eindeutige Zuständigkeiten in den Verwaltungen. Orte niedriger Zentralität liegen vollständig in einem Sechseck, dessen Zentrum ein Ort höherer Zentralität bildet. Daraus ergibt sich ein K-7-System, da in jeder Ecke ein Ort niedriger Zentralität und der Ort höherer Zentralität in dem Sechseck angesiedelt sind.

### 2.2.3 Regionalplan

Der Regionalplan ist das zentrale Instrument zur Gestaltung und Koordinierung der Regionalplanung. Er beinhaltet die Lösungsvorschläge von Raumnutzungskonflikten, gibt in der Raumentwicklung regionale Ziele vor und verknüpft die kommunalen Entwicklungsvorstellungen (PRIEB, 2018). Eine Aufgabe des Regionalplans ist die Vorgabe eines Entwicklungskonzeptes, das das Zukunftsbild der Region darstellt. Neben der Abbildung der Wohnraumentwicklung, werden Gewerbe-, Industrie- und Dienstleistungsentwicklung berücksichtigt. Im Raumordnungsgesetz erfolgt die Vorgabe einer behutsamen Siedlungstätigkeit. Siedlungstätigkeiten sind auf vorhandene Siedlungsbereiche mit ausreichender Infrastruktur sowie die zentralen Orte auszurichten (PRIEB, 2018; § 2 Abs. 2 ROG). Daraus ergibt sich die Unterscheidung zwischen Gemeinden mit verstärkter Siedlungsentwicklung, den Siedlungsbereichen und Gemeinden deren Siedlungsentwicklung auf Eigenentwicklung beschränkt ist, den Bereichen mit Eigenentwicklung (DOMHARDT, 2018). In den Bereichen mit Eigenentwicklung, den kleineren Orten, wird angestrebt, dass die Gemeinden sich nur soweit entwickeln, „wie es für den örtlichen Bedarf erforderlich ist“ (DOMHARDT, 2018). In den Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland existiert kein einheitliches Vorgehen in der Unterscheidung der Bereiche und deren Umgang. In den Bundesländern Niedersachsen oder Mecklenburg-Vorpommern sind keine Angaben zum Umgang mit den Bereichen beschrieben. Hingegen gibt es in anderen Regionalplänen wie beispielsweise in Baden-Württemberg oder Sachsen Vorgaben in unterschiedlichsten Art und Umfang (DOMHARDT, 2018).

## 2.3 Verkehrsnachfragemodelle

### 2.3.1 Einordnung der Verkehrsmodelle

Verkehrsmodelle sind ein Bestandteil der Raumplanung und werden mit dem Ziel, das Verkehrsverhalten und die Reaktionen der Personen auf Maßnahmen abzubilden, erstellt. Aufgrund einer Vielzahl von Einflussfaktoren ist es möglich, die Entscheidungen mit Wahrscheinlichkeiten vorherzusagen, wofür sich mikroskopische Verkehrsmodelle eignen. Erfolgt eine Aggregation der Einwohner in Personengruppen handelt es sich um ein makroskopisches Verkehrsmodell (WERMUTH, 2005, PP. 244–245). In Abhängigkeit des nachzubildenden Entscheidungsprozesses wird das Verkehrsmodell in spezifische Modelle unterteilt (FRIEDRICH ET AL., 2020):

- Flächennutzungsmodelle  
Abbildung der Standortentscheidungen, sowie Prognose der Bevölkerungsverteilung und Aktivitätenorte,
- Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle  
Ermittlung des Anteils der Bevölkerung, dem ein Pkw bzw. eine ÖV-Zeitkarte zur Verfügung steht,

- Verkehrsnachfragemodelle  
Bestimmung der Anzahl der Ortsveränderungen, durch Nachbildung der Entscheidungsprozesse der Bevölkerung und
- Verkehrsflussmodelle  
Simulation der Interaktion zwischen Fahrzeugen und Fußgängern.

In der Arbeit wird ausschließlich mit einem Verkehrsnachfragemodell gearbeitet, dementsprechend wird auf eine Darstellung der weiteren Modelltypen verzichtet. In den nachfolgenden Kapiteln wird der generelle Modellaufbau eines Verkehrsnachfragemodells erläutert.

### 2.3.2 Bestandteile eines Verkehrsnachfragemodells

Die Abbildung des Verkehrsangebots in Verkehrsnachfragemodellen benötigt nach SCHNABEL & LOHSE (2011) drei grundlegende Bestandteile:

1. die Raum- und Siedlungsstruktur,
2. die Verkehrsnetzgestaltung und
3. die Verkehrsnachfragestruktur.

Nachfolgend werden die Bestandteile beschrieben. Zusätzlich erfolgt die Angabe der Integration der Objekte in das Verkehrsnachfragemodell.

#### Abbildung Raum- und Siedlungsstruktur

##### Einteilung des Untersuchungsgebiets

Für die Erstellung eines Verkehrsmodells ist es in einem ersten Schritt notwendig, das Untersuchungsgebiet abzugrenzen. Ein Untersuchungsgebiet lässt sich in Planungsraum und Umland unterteilen (vgl. Abbildung 4).

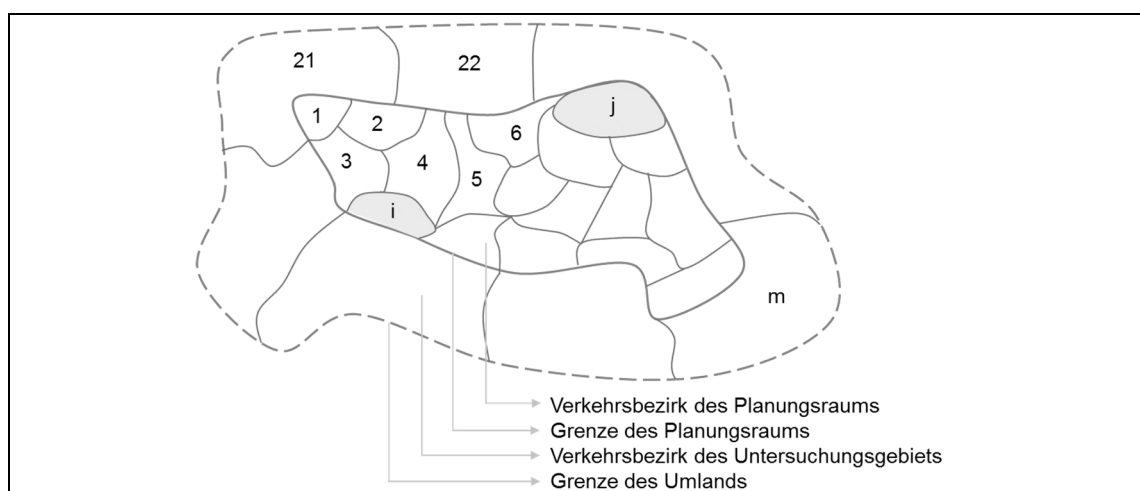


Abbildung 4: Einteilung des Untersuchungsgebiets in Planungsraum und Umland sowie in Verkehrszellen nach SCHNABEL & LOHSE (1997).

Die Ausdehnung des Planungsraumes wird durch den Gegenstand und die Aufgabe des Verkehrsmodells bestimmt. An den Planungsraum schließt sich das Umland an, dessen Ausdehnung von dem verkehrlichen Einzugsbereich abhängig ist. Je nach Planungsaufgabe kann es notwendig sein, angrenzend an das Umland das erweiterte Umland in die Planungen und Modellberechnungen einzubeziehen.

Die Verknüpfung der Verkehrszellen mit dem Verkehrsnetz erfolgt mit Hilfe von Anbindungen, welche den Zu- und Abgangswegen einer Verkehrszelle zu den angebundenen Knoten entsprechen (PTV AG, 2016). Die Modellierung der IV- und ÖV-Anbindungen erfordern nach GALSTER (2008) verschiedene Ansätze, denn diese werden an unterschiedlichen Netzobjekten im Verkehrsnachfragemodell angebunden. Die IV-Anbindungen erfolgen an Knotenpunkten im nachgeordneten Netz. Die Anbindungszeiten stellen die Fahrzeit im untergeordneten Netz dar und sind nach Quell- und Zielanbindungen zu differenzieren. Die Quellenanbindungszeit setzt sich aus der Zugangszeit, der Startwartezeit und der Fahrzeit im unbelasteten Netz zusammen. Wohingegen die Abgangszeit neben der Fahrzeit im unbelasteten Netz die Parkplatzsuchzeit und die Abgangszeit berücksichtigt. Die ÖV-Anbindungen erfolgen an Haltestellen und setzen sich aus der Zu- und Abgangszeit, der Startwartezeit und der Fahrzeit im untergeordneten Netz zusammen (GALSTER, 2008).

### Raum- und Siedlungsstruktur

Die Raumstrukturpotenziale und Flächennutzungen beschreiben die Raumstruktur eines Untersuchungsgebiets. Raumstrukturgrößen sind geologische, geografische, meteorologische und ökologische Informationen, die auf die bauliche Verkehrsnetzgestaltung einwirken und in Analyse- und Prognosemodellen weitestgehend unverändert bleiben. Einen direkten Einfluss auf den Verkehrszustand und die Anforderungen an das Verkehrsnetz üben variable Strukturgrößen, wie demografische und wirtschaftliche Informationen, aus (SCHNABEL & LOHSE, 2011). Die Zusammensetzung und Anzahl der Einwohner unterliegt beispielsweise in Prognosemodellen Veränderungen, die eine Fortschreibung der Strukturgrößen verlangen. Nach SCHNABEL & LOHSE (2011) sind mindestens die Anzahl der Einwohner und Arbeitsplätze sowie die Motorisierung als wichtigste Strukturgrößen heranzuziehen. Eine weitere Auswahl an Strukturgrößen ist in Tabelle 4 enthalten.

<b>Geografische Strukturgrößen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landschaftsform</li> <li>• Klima</li> <li>• Flächennutzung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bebaute Fläche (Wohn- und Gewerbegebiete)</li> <li>• Unbebaute Fläche (landwirtschaftlich und / oder forstwirtschaftlich genutzte Fläche, Brachland, Gewässer)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Strukturmerkmale des Wohngebiets</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl Wohnungen nach Wohnungstypen</li> <li>• Anzahl Einwohner (differenziert nach Altersstruktur, Bildungsstruktur, Einkommensstruktur, ...)</li> <li>• Anzahl Berufstätige (differenziert nach Berufsgruppen, Wirtschaftszweig)</li> </ul>
<b>Strukturmerkmale der Wirtschaft</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl Arbeitsplätze (differenziert nach Betrieben und Wirtschaftszweig)</li> <li>• Arbeitszeitregime</li> </ul>
<b>Strukturmerkmale gesellschaftlicher Einrichtungen, des Handels und der Dienstleistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsplätze in gesellschaftlichen Einrichtungen</li> <li>• Arbeitsplätze in Handels- und Dienstleistungen</li> <li>• Verkaufsfläche</li> </ul>

Tabelle 4: Beispiele der Strukturmerkmale der Raumordnung  
(SCHNABEL & LOHSE, 2011, PP. 10–11).

Neben Strukturmerkmalen der Raumordnung werden aus den Standorttheorien raumplanerische Merkmale in Verkehrsnachfragemodelle integriert. Dies erfolgt über Attribute in den Verkehrszellen. Als raumplanerische Attribute werden beispielsweise

- die Zentralität der Verkehrszellen oder
- die Zugehörigkeit der Verkehrszellen zu den Verkehrsachsen und
- die angestrebte Siedlungsentwicklung unter Berücksichtigung der regionalplanerischen Unterteilung in Siedlungsbereiche und Bereiche mit Eigenentwicklung berücksichtigt.

Die erforderlichen Daten können primären und sekundären Datenquellen entnommen werden. Primäre Datenquellen sind beispielsweise amtliche oder lokale Statistiken oder die Pendlerstatistik der Bundesagentur für Arbeit. Neben den primären Datenquellen, die direkt in die Modellerstellung einfließen, gibt es sekundäre Datenquellen, wie beispielsweise Schuldatenbanken oder Mikrozensus.

### **Abbildung Verkehrsangebot**

Das Verkehrsangebot beinhaltet die Beförderungsmöglichkeiten der Verkehrsteilnehmenden anhand von Routen oder Verbindungen. Im Verkehrsnachfragemodell wird die Menge an Beförderungsmöglichkeiten ermittelt. „Jede Beförderungsmöglichkeit wird durch Attribute (u.a. Modus, Reisezeit, Kosten, Umsteigehäufigkeit) beschrieben“ (FRIEDRICH ET AL., 2020). Die Abbildung des Verkehrsangebots erfolgt im sogenannten Netzmodell. Das Netzmodell setzt sich aus Knoten und Strecken zusammen, die die Kreuzungen und Straßen abbilden. Die Strecken sind anhand ihrer verkehrstechnischen

Eigenschaften zu typisieren. Konstante oder auslastungsabhängige Abbiegewiderstände stellen die Zeitaufwände an den Knoten dar. Neben dem Netzmodell ist die Integration von Verkehrsmitteln für die Abbildung des Verkehrsangebots notwendig.

### Verkehrsmittel und Verkehrsmodi

Die Menge der Beförderungsmöglichkeiten wird durch die abgebildeten Verkehrsmittel und Modi im Netzmodell bestimmt. Als Modi wird die Menge von Verkehrsmitteln definiert. Wird in der Umlegung eine Verkehrsstärke im Netz ermittelt, so sind die Modi im entsprechenden Verkehrswegenetz zu kodieren. Andernfalls reicht eine vereinfachte Ermittlung der Reisezeiten über Luftlinien- oder Straßennetzentfernungen. Die Modi können grundlegend in Pkw, ÖV, Rad und Fuß unterteilt werden. Es kann sinnvoll sein den Modus Pkw in Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer zu unterteilen und den Modus Lkw hinzuzufügen. Dies ermöglicht eine differenzierte Abbildung der Führerscheinverfügbarkeit und eine Berechnung des Wirtschaftsverkehrs (FRIEDRICH ET AL., 2020).

### Straßennetz

Die Funktion einer Straße ergibt sich aus dem Netzzusammenhang, der die Bedeutung einer Straße definiert. Die Straßen werden, wie in Tabelle 5 beschrieben, in Straßenfunktionsklassen (Functional Road Class, FRC) unterteilt. Die im Untersuchungsgebiet befindlichen Straßen sollten nach FRIEDRICH ET AL. (2020) immer mindestens eine Straßenfunktionsklasse mehr abbilden. Das Netzmodell sollte außerhalb des Untersuchungsgebietes die überregionalen Verkehrswege beinhalten, um Durchgangsverkehr abbilden zu können.

<b>Straßen-funktionsklasse (FRC)</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Verbindungsfunktionsstufe nach RIN</b> (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN, 2009)
0	Fernstraßen zur Verbindung von Metropolregionen	0 oder I
1	Fernstraßen zur Verbindung von Fernstraßen	I
2	Überregionalstraßen zur Verbindung von Mittelzentren	II
3	Regionale Straßen zur Verbindung von Unterezentren	III
4	Nahräumige Straßen zur Verbindung von Orten ohne Zentralität	IV
5	Innerörtliche Hauptsammelstraße	III oder IV
6	Innerörtliche Sammelstraße	IV
7	Innerörtliche Anliegerstraße	V
> 7	Forstwege, Radfahrstreifen, Fußwege	-

Tabelle 5: Unterteilung der Straßen in Straßenfunktionsklassen nach FRIEDRICH ET AL. (2020).



### ÖV-Angebot

Die Abbildung des ÖV-Angebots erfolgt durch Haltestellen und Linien. Die Linie setzt sich aus dem Linienweg, den Fahrzeiten zwischen den Haltestellen und dem Fahrtenangebot zusammen. Dazu ist die Auswahl eines repräsentativen Tages FRIEDRICH ET AL. (2020) notwendig.

### Nutzungsgebühren und Fahrtkosten

Sind monetäre Maßnahmen im Verkehrsnachfragemodell abzubilden, sind je Beförderungsmöglichkeit Preise zu ermitteln. Dazu sind Straßennutzungsgebühren, Parkgebühren, IV-Fahrtkosten und ÖV-Fahrpreise im Netzmodell zu integrieren (FRIEDRICH ET AL., 2020).

### Kenngößenmatrizen

Die Quantifizierung des Aufwandes der Ortsveränderungen zwischen Verkehrszellen erfolgt durch Kenngößenmatrizen. Zeit, Kosten und Umsteigehäufigkeiten sind typische Aufwände. Kenngößenmatrizen können dementsprechend die Qualität des Verkehrsangebots beschreiben (FRIEDRICH ET AL., 2020).

## **Abbildung Verkehrsnachfrage**

Menschen organisieren ihren Tag als Folge von Aktivitäten und Entscheidungen über Ort der Aktivität, Zeitpunkt und Dauer der Aktivität. Eine Folge von Aktivitäten wird Aktivitätenkette genannt. Der Übergang von einer Aktivität in eine andere Aktivität führt zu Ortsveränderungen. Die Zuordnung der Aktivitäten zu georeferenzierten Orten ermöglicht die Transformation in Wegekettens. Abhängig von Untersuchungsgegenstand können die Aktivitäten in folgenden Modellen abgebildet werden (FRIEDRICH ET AL., 2020):

- **Aktivitätenbasierte Einzelwegmodelle**  
Ortsveränderungen von Personen werden ohne Beachtung des Kontextes der Wegekettens betrachtet. Die Wegekettens werden in einzelne Wege aufgespalten, die jeweils einen Aktivitätenübergang beschreiben. Der Aktivitätenübergang kann einer Quelle-Ziel-Gruppe (QZG) zugeordnet werden. QZG verbinden Flächennutzungsmerkmale mit den Personen im Untersuchungsgebiet und deren Ortsveränderungen. Es entstehen disaggregierte und verhaltenshomogene Klassen, die eine Zuordnung der Raumstruktur bezüglich der Quellen und Ziele der Ortsveränderungen ermöglichen (SCHNABEL & LOHSE, 2011).
- **Aktivitätenkettenmodelle**  
Beachtung der gesamten Wege einer Person vom Verlassen des Heimatstandortes bis zur Rückkehr zu diesem Heimatstandort.
- **Tagesplanbasierte Modelle**  
Tagesplanbasierte Modelle sind Aktivitätenkettenmodelle, die zusätzlich die Dauer und Reihenfolge von Aktivitäten abbilden.

### 2.3.3 Aufbau von Verkehrsnachfragemodellen (Modellstufen)

Die Abbildung der Entscheidungen von Ortsveränderungen erfolgt innerhalb der Verkehrsnachfragemodelle meist in vier Modellstufen, weshalb ein derartiges Nachfragemodell als 4-Stufen-Algorithmus bezeichnet wird. Der 4-Stufen-Algorithmus umfasst die Schritte:

1. Verkehrserzeugung  
In den Verkehrserzeugungsmodellen wird die Aktivitätenwahl nachgebildet.
2. Verkehrsverteilung  
Die Modelle der Verkehrsverteilung bilden die Zielwahl ab.
3. Verkehrsaufteilung  
Verkehrsaufteilungsmodelle bilden die Moduswahl der Verkehrsteilnehmenden nach.
4. Verkehrsumlegung  
Umlegungsmodelle modellieren die Routenwahl der Verkehrsteilnehmenden.

Dabei kann die Bearbeitung der Stufen sequenziell oder simultan erfolgen, wobei die Verkehrserzeugung und die Verkehrsumlegung i.d.R. in einzelnen Modellstufen berechnet werden. Ein Beispiel der Berechnung einer simultanen Verkehrsaufteilung und -verteilung ist im nachfolgenden Kapitel 3.5 gegeben.

### Entscheidungsmodelle

Beabsichtigt durchgeführte Handlungen basieren auf Entscheidungsprozessen. Die Modellierung der Entscheidungsprozesse erfordert die Beschreibung von Alternativen und eine Entscheidungsregel. Für die Verkehrsteilnehmenden ist die Anzahl an Wahlentscheidungen bei einem Aktivitätenübergang endlich, d.h. diskret. Die Verkehrsteilnehmenden können genau eine Auswahl vornehmen. In der Verkehrsnachfragemodellierung wird i.d.R. die Maximierung des Nutzens als Entscheidungsregel herangezogen (FRIEDRICH ET AL., 2020).

Die Nutzenmaximierung fasst untereinander gewichtete Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Alternativen, die eine Nutzenfunktion zusammenfasst. Die Nutzenfunktion liefert anschließend den Nutzen, der als Maß der Attraktivität einer Alternative angesehen werden kann. Er bildet die Grundlage für die Entscheidungen der Verkehrsteilnehmenden. Es folgt die Auswahl der Alternative, für die der größte Nutzen berechnet wurde. Der Entscheidungsprozess setzt sich aus den Eigenschaften der Alternativen, den objektiven Einflussgrößen und den Gewichten, den subjektiven Einflussgrößen zusammen (FRIEDRICH ET AL., 2020).

Die Entscheidungsmodelle lassen sich in deterministische und stochastische Modelle unterteilen. Deterministische Entscheidungsmodelle basieren auf der Annahme, dass die Verkehrsteilnehmenden auf Basis vollständiger Informationen entscheiden und die gesamten entscheidungsrelevanten Einflussgrößen im Modell abgebildet werden. Für

deterministische Entscheidungsmodelle ergibt sich der Nutzen aus den objektiven Gewichten, was dazu führt, dass alle Verkehrsteilnehmenden einer Gruppe einer Alternative den gleichen Nutzen zuordnen. Bei stochastischen Entscheidungsmodellen wird angenommen, dass die Verkehrsteilnehmenden nicht über vollständige Informationen verfügen oder die Eigenschaften der Alternativen unterschiedlich beurteilen. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzenbewertung, wird der objektiv messbare um eine zufallsverteilte stochastische Komponente ergänzt. Daraus kann abhängig von der angenommenen Zufallsverteilung beispielsweise ein Logit-Modell (Gumbelverteilung) oder Probit-Modell (Normalverteilung) resultieren (FRIEDRICH ET AL., 2020).

## **Verkehrserzeugungsmodelle**

Verkehrserzeugungsmodelle ermitteln differenziert nach Verkehrszellen die Anzahl der durchgeführten Ortsveränderungen (Verkehrsaufkommen) innerhalb eines definierten Zeitraumes in einem Untersuchungsgebiet. Das Verkehrsaufkommen einer Verkehrszelle wird in Verkehrserzeugungsmodellen differenziert nach Wegezwecken aus Strukturgrößen der Verkehrszellen berechnet. Zu den Strukturgrößen zählen beispielsweise die Einwohner, Arbeitsplätze oder Einkaufsflächen. Neben der Segmentierung der Nachfrage erfolgt eine Unterscheidung nach produziertem Verkehr an der Quelle (Produktion) und angezogenem Verkehr am Ziel (Attraktion) einer Ortsveränderung (FRIEDRICH ET AL., 2020). Verkehrserzeugung findet statt, wenn die Personen in der Verkehrszelle diese aufgrund einer Aktivität in einer anderen Verkehrszelle verlassen. Zieht diese Zelle jedoch Verkehr an, dann fahren Personen in diese Zelle, um einer Aktivität nachzugehen. Die Verkehrserzeugung kann entweder auf der Ebene von Aktivitätenketten oder der Ebene von Einzelwegen (QZG) erfolgen.

Die Berechnung der Produktion und Attraktion erfolgt bei Einzelwegmodellen differenziert. Die Produktion wird für alle verhaltenshomogenen Gruppen und jeden Wegezweck je Verkehrszelle berechnet. Hingegen erfolgt die Berechnung der Attraktion auf Ebene der Quelle-Ziel-Gruppen (FRIEDRICH ET AL., 2020). Haushaltsbefragungen mit Wegetagebüchern können direkt für die Ermittlung der Mobilitätsraten der verhaltenshomogenen Gruppen und die Attraktionsraten genutzt werden. Mobilitätsraten geben das spezifische Verkehrsaufkommen einer Personengruppe je Nachfrageschicht an. In der Verkehrserzeugung lassen sich folgende drei Typen von QZG unterscheiden:

- Typ 1: Die Ortsveränderungen beginnen an einem „Heimatstandort“<sup>1</sup>.
- Typ 2: Die Ortsveränderungen enden an einem „Heimatstandort“.
- Typ 3: Die Ortsveränderungen beginnen und enden nicht am „Heimatstandort“.

Aktivitätenkettenmodelle erzeugen in der Wohnzelle keine einzelnen Wege, sondern Aktivitätenketten. Diese beschreiben eine Folge von Aktivitäten vom Verlassen der Wohnung bis zum Betreten der Wohnung. Aus Wegetagebüchern lassen sich Häufigkeiten

---

<sup>1</sup> Nach SCHNABEL & LOHSE (2011, P. 30) kann sowohl die eigene Wohnung als auch der Arbeitsplatz der Heimatstandort sein.

der Aktivitätenketten ableiten. Treten vereinzelt längere Aktivitätenketten auf, sind diese in kürzere, einfachere zu splitten (FRIEDRICH ET AL., 2020).

## Verkehrsverteilungsmodelle

In den Verkehrsverteilungsmodellen wird das Verkehrsaufkommen, aus den Quellverkehrszellen auf Zielverkehrszellen verteilt, wodurch Verkehrsströme zwischen den Verkehrszellen entstehen. Die Anzahl an Ortsveränderungen zwischen zwei Verkehrszellen, die in einer Nachfragegruppe entfallen, ist nach FRIEDRICH ET AL. (2020) abhängig von

- den Eigenschaften der Quell- und Zielverkehrszelle,
- den Wegezwecken,
- dem Aufwand und
- der Bewertung des Aufwandes.

Die Verteilung der Verkehrsnachfrage unterliegt nachfolgenden Bedingungen, die nach FRIEDRICH ET AL. (2020) und SCHILLER (2007) zwangsläufig eingehalten werden müssen:

- Die Aktivitätenorte können bei Pflichtaktivitäten ausschließlich von einer fest vorgeschriebenen Anzahl an Personen aufgesucht werden. Dies sind beispielsweise Arbeitsplätze oder Ausbildungsplätze, bei denen jeder Arbeitsplatz von einer Person besetzt wird. Die Bedingung wird als harte Randsummenbedingung bezeichnet. Neben der vorgeschriebenen Anzahl an Personen wird die Erreichbarkeit in der Zielwahl berücksichtigt. Die Zielwahlmodelle halten bei harten Randsummenbedingungen die ermittelten produzierten und angezogenen Wege genau ein.
- Aktivitäten außerhalb der Pflichtaktivitäten besitzen i.d.R. eine Unter- oder Obergrenze an Besuchern. Neben der Erreichbarkeit gibt es damit eine maximale Anzahl an Personen, die diesen Aktivitätenort aufsuchen. Die variable Anzahl an Personen wird als elastische Randsummenbedingung bezeichnet. Die Zielwahlmodelle berücksichtigen neben der Erreichbarkeit die Unter- und Obergrenzen und werden beispielsweise für die Berechnung der Anzahl an Besuchern von Freizeiteinrichtungen oder Krankenhäusern genutzt.
- Bei Aktivitäten und Aktivitätenorten ohne Unter- oder Obergrenze erfolgt in der Zielwahl die Nutzung der Erreichbarkeit. Aufgrund der fehlenden Begrenzungen an Personen wird in der Verkehrsplanung von offenen Randsummenbedingungen gesprochen. Dazu zählen beispielsweise Freizeitaktivitäten im Grünen.
- Neben den Pflichtaktivitäten, die an einem fest vorgeschriebenen Ort stattfinden, existieren Pflichtaktivitäten mit freier Ortswahl. Die Ortswahl wird in diesen Fällen von der Lage des Wohn- und Pflichtaktivitätenortes beeinflusst.

Ein iterativer Anpassungsprozess von Lösungsfaktoren ermittelt die Zahl der Ortsveränderungen. Eine weitere Möglichkeit ist die Berücksichtigung von Randsummenbedingungen durch eine Fixierung des Wahlmodells auf die Randsummen. Eine Fixierung kann ausschließlich einseitig erfolgen (SCHILLER, 2007; SCHNABEL & LOHSE, 2011).

## **Verkehrsaufteilungsmodelle**

Verkehrsaufteilungsmodelle verteilen die Verkehrsnachfrage einer Relation auf Modi. Nach SCHNABEL & LOHSE (2011) haben die Verkehrsteilnehmenden die Wahl zwischen den Modi Fuß, Rad, ÖV und Pkw, ggf. unterteilt in Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer. Die Wahl des Verkehrsmittels wird in Verkehrsnachfragemodellen unter Einbezug von Entscheidungsmodellen bestimmt. Diese Entscheidungsmodelle berechnen für jede Ortsveränderung im gewählten Modus einen Nutzen unter Berücksichtigung von Nutzenfunktionen. In die Nutzenfunktionen gehen beispielsweise die Reisezeiten ein. Weitere Nutzenkomponenten können der Komfort oder die Kosten sein (SCHNABEL & LOHSE, 2011, P. 335). Die Bewertung des Aufwandes hängt von der Personengruppe mit deren spezifischen sozio-demografischen Merkmalen und deren gewählten Aktivität ab. Eigenschaften der Verkehrsteilnehmenden sind:

- Lage des Wohnortes,
- Pkw-Verfügbarkeit, Führerscheinbesitz und Zeitkarten-Verfügbarkeit und
- Haushaltsstruktur.

Eigenschaften der Modi sind:

- Zeitaufwand,
- Kosten,
- Zeitliche Verfügbarkeit,
- Parkplatzverfügbarkeit,
- Komfort, Bequemlichkeit, Sicherheit,
- Regelmäßigkeit und Zuverlässigkeit des Verkehrsangebots.

Eigenschaften der Ortsveränderungen sind:

- Wegezweck und
- Zeitpunkt der Fahrt.

Verkehrsnachfragemodelle auf Basis von Aktivitätenketten berücksichtigen die Austauschbarkeit der Modi ÖV, Fuß und ggf. Pkw-Mitfahrer. Daraus ergibt sich, dass die Verkehrsteilnehmenden Verkehrsmittel, während einer Wegekette kombinieren kann. Hingegen sind die Verkehrsmittel Pkw-Selbstfahrer und Fahrrad i.d.R. nicht austauschbar, da sie als persönlicher Besitz gewertet werden. Dementsprechend werden die Verkehrsteilnehmenden ihr Verkehrsmittel innerhalb der Wegekette nicht wechseln.

## **Verkehrsumlegungsmodelle**

Die in der Nachfragematrix vorhandenen Verkehrsströme werden in der Verkehrsumlegung genutzt, um die Routenwahl abzubilden. Dazu werden Routen ermittelt und die Nachfrage den Routen zugeordnet. Aus der Nachfrage der Routen ergeben sich die Verkehrsstärken der Strecken im Verkehrsnetz. Die Wegewahl der Verkehrsteilnehmenden wird dementsprechend in dem Verkehrsnetzmodell nachgebildet (SCHNABEL & LOHSE, 1997, P. 268). Das Ergebnis sind Verkehrsstärken von Netzelementen sowie Verkehrs-

ströme und Kenngrößen einer Ortsveränderung (FRIEDRICH ET AL., 2020). Die Kenngrößen haben Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage, wodurch i.d.R. eine Rückkopplung notwendig wird. Zudem ist es möglich, mit ausgewählten Kenngrößen die Verkehrsanlagen- und Verkehrsnetzqualität zu beurteilen und zu vergleichen. Die Bewertung ermöglicht die Ermittlung von Planungsvarianten und trägt zur Entscheidungsfindung bei (SCHNABEL & LOHSE, 1997, P. 268). Die Modellierung basiert auf drei Teilaufgaben, der Routensuche, der Routenwahl und der Abbildung der Fortbewegung der Verkehrsteilnehmenden (FRIEDRICH ET AL., 2020). Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der Verkehrsumlegung im IV und ÖV ist es erforderlich, diese in unterschiedlichen Modellschritten zu berechnen.

### Individualverkehr

Die Routensuche im Individualverkehr kann mit Bestwegalgorithmen erfolgen, bei denen der widerstandskürzeste Weg zwischen einer Quelle und einem Ziel gesucht wird. Die Fahrzeiten, sowie Entfernungen oder auch Kosten können den Widerstand beeinflussen. Dynamische Modelle ermitteln zeitscheibenfein die widerstandskürzesten Wege, wodurch die Ergebnisse der Routensuche variieren können. Bestwegsuchverfahren berücksichtigen i.d.R. ein Suchkriterium, zum Beispiel die Reisezeit, damit zählen sie zu den monokriteriellen Verfahren. Falls zusätzliche Kriterien berücksichtigt werden sollen, ist es nötig die Kriterien mit einem Value of Time in einen Widerstandswert zusammenzuführen. Es können ebenso bikriterielle Verfahren eingeführt werden, bei denen zwei Variablen gleichermaßen berücksichtigt werden. In den Verfahren erfolgt eine Mehrwegsuche, die eine Menge von Routen liefert.

Im einfachsten Fall wird von den Verkehrsteilnehmenden erwartet, dass diese den kürzesten Weg wählen. Diese Modelle bilden die Realität sehr ungenau ab, was den Einsatz von belastungsabhängigen Routenwahlmodellen erfordert. Zur Berechnung werden Gleichgewichtsmodelle herangezogen, die die Wechselwirkungen zwischen Verkehrsnachfrage und Routenwahl abbilden. Gleichgewichtsmodelle orientieren sich an dem Wardropschen Prinzip, das besagt, dass ein deterministisches Nutzergleichgewicht dann gegeben ist, wenn die Verkehrsteilnehmenden sich auf den Routen so verteilen, dass kein Verkehrsteilnehmender durch die Nutzung einer anderen Route einen messbaren Vorteil (Reduktion der Fahrzeit) erlangt (WARDROP, 1952). Optimieren die Verkehrsteilnehmenden ihre subjektiv empfundene Fahrzeit, dann wird das berechnete Nutzergleichgewicht stochastisch (STEIERWALD ET AL., 2005).

Der Verkehrsfluss kann im IV mithilfe kapazitätsabhängiger Modelle, den makroskopischen oder mikroskopischen Flussmodellen, erfolgen. Die belastungsabhängige Fahrzeit ist eine maßgebende Einflussgröße auf den Widerstand einer Strecke. Die Capacity Restraint Funktion, CR-Funktion, bildet den Zusammenhang zwischen Fahrzeit und Auslastung ab. Die Fahrzeit steigt mit steigender Streckenauslastung, die sich aus dem Quotienten der Verkehrsstärke und der Kapazität ergibt (SCHNABEL & LOHSE, 2011).

### Öffentlicher Verkehr

Im Gegensatz zum IV wählt ein Fahrgast des öffentlichen Verkehrs eine Verbindung und eine Abfahrtszeit und keine Route. Grundsätzlich kann die Verbindungssuche taktabhängig oder fahrplanfein erfolgen. Die fahrplanfeinen Suchverfahren nutzen die tatsächlichen Umsteigewartezeiten während bei dem taktabhängigen Verfahren eine mittlere Wartezeit herangezogen wird.

Die Routenwahl im IV wird maßgeblich von der Zeit und den Kosten bestimmt. Diese Kriterien spielen ebenso in der Verbindungswahl im ÖV eine maßgebende Rolle. Zusätzlich sind für den Fahrgast noch die Umsteigehäufigkeit und die zeitliche Nutzbarkeit von Bedeutung. Die ermittelte Nachfrage wird mithilfe von Entscheidungsmodellen aufgeteilt. Die Modelle, wie Logit oder Kirchoff, werden als Random Utility Modelle bezeichnet, da der Nutzen aus einem deterministischen und einem stochastischen Anteil bestimmt wird (FRIEDRICH, 2018).

Der Verkehrsfluss im ÖV unterscheidet zwischen ÖV-Fahrzeug und ÖV-Fahrer. Die ÖV-Fahrzeuge fahren anhand des vorgegebenen Fahrplans und transportieren Fahrgäste, die an den Haltestellen auf ihren Anschluss warten. Aufgrund der Fahrpläne kommt es bei einer Modellierung zu keinem Stau, auch wenn aufgrund hoher Fahrgastzahlen die Fahrzeuge in Realität länger an den Haltestellen warten müssen (FRIEDRICH, 2018).

### **2.3.4 Kalibrierung und Validierung der Modellparameter**

Zur Kalibrierung und Validierung von Modellparametern können u.a. das Koinzidenz-Verhältnis und der GEH-Wert herangezogen werden. In der Arbeit werden diese Funktionen genutzt, um Varianten der Modellerstellung miteinander zu vergleichen.

#### Koinzidenz-Verhältnis

Das Koinzidenz-Verhältnis (engl. Coincidence Ratio, CR) ermöglicht Aussagen über den Grad der Überlagerung zweier Verteilungen (CAMBRIDGE SYSTEMATICS INC., 2010). Der Wert liegt immer zwischen 0 und 1, wobei 1 einen identischen Verlauf der Verteilungen bedeutet. Eine gute Übereinstimmung ist bei einem Wert größer 0,7 gegeben (CAMBRIDGE SYSTEMATICS INC., 2010). Als Verteilungen können modellierte und beobachtete Werte herangezogen werden. Ebenso ist ein Vergleich von modellierten Werten möglich.

$$CR = \frac{\sum_{n=1}^N \min(m_n, c_n)}{\sum_{n=1}^N \max(m_n, c_n)} \quad (01)$$

mit $CR$	Koinzidenz-Verhältnis
$c_n$	Anteil der modellierten Verteilung im Intervall $n$ / Anteil des Referenzszenarios im Intervall $n$
$m_n$	Anteil der beobachteten Verteilung im Intervall $n$ / Anteil des Vergleichsszenarios im Intervall $n$
$n$	Histogramm Intervall für Zeiten, Entfernungen, ...

### GEH-Wert

Der GEH-Wert hat seinen Namen von Geoffrey E. Havers und ermöglicht den Vergleich von Wertepaaren. In der Verkehrsanalyse wird er vielseitig eingesetzt. Ein Einsatzgebiet ist die Überprüfung von Verkehrsstärken auf ihre Ähnlichkeit (DEPARTMENT FOR TRANSPORT, 2014). Mit dem GEH-Wert können Fehler bei der Verwendung der absoluten oder relativen Differenzen vermieden werden, da beispielsweise ein Anstieg der Verkehrsstärke um 10 % bei 100 Fahrzeugen pro Stunde geringere Auswirkungen mit sich bringt, als ein Anstieg von 10 % bei einer Verkehrsstärke von 10.000 Fahrzeugen pro Stunde (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 2011).

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (m - c)^2}{m + c}} \quad (02)$$

mit $m$	Modellwert
$c$	Erhebungswert

Der GEH-Wert wird international zur Ermittlung des Gütemaßes von Einzelwerten empfohlen, kann allerdings auch über alle Werte gemittelt werden. Für Stundenumlegungen wird im DEPARTMENT FOR TRANSPORT (2014) ein GEH-Wert von < 5 für über 85 % der Zählstellen empfohlen. Bei Tagesmodellen wird angenommen, dass 10 % des Tagesverkehrs auf die Spitzenstunde entfällt. Daraus ergibt sich ein GEH-Wert < 15 für 85 % der Zählstellen (FRIEDRICH & RITZ, 2014).



## 2.4 Erreichbarkeitsmodelle

### 2.4.1 Einordnung der Begrifflichkeiten Erreichbarkeit und Lagegunst

„Wenn eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale eines Standortes die Vernetzung mit anderen Standorten ist, kann die Erreichbarkeit bzw. Lagegunst eines Standortes als ein „wertvolles Potential“ bezeichnet werden“ (SCHILLER, 2007). Dabei sind die Begriffe der Erreichbarkeit und Lagegunst genau zu definieren. In der Literatur existiert keine eindeutige Definition. So wird beispielsweise bei SCHWARZE (2015) die Erreichbarkeit als Lagegunst eines Standortes erklärt. Für eine eindeutige Zuordnung der Begrifflichkeiten werden im Folgenden die Begriffe Erreichbarkeit und Lagegunst definiert.

#### Lagegunst

Die Lagegunst eines Ortes ist der mittlere bewertete Aufwand zum Erreichen eines Ortes gewichtet mit einer Strukturgröße (z.B.: angezogener Verkehr) für eine Aktivität. Der mittlere bewertete Aufwand kann auch als Nutzen bezeichnet werden. Der mittlere bewertete Aufwand über mehrere Aktivitäten bildet den Lagegunstindex.

#### Erreichbarkeit

Die Erreichbarkeit eines Ortes wird als der mittlere Aufwand zum Erreichen eines Ortes gewichtet mit einer Strukturgröße (z.B.: angezogener Verkehr) für eine Aktivität (z.B.: Arbeit) definiert. Der Aufwand kann sowohl die Zeit als auch eine Kombination mehrerer Komponenten sein.

Für Wohnstandorte bzw. Einwohner stellen sich im Hinblick auf die Erreichbarkeit folgende Fragen:

- Wie groß ist der mittlere Aufwand zum Erreichen eines Arbeitsplatzes im Untersuchungsgebiet?
- Wie viele Arbeitsplätze / Einkaufsorte / Schulen / etc. können von einem Ort mit einem Aufwand  $x$  erreicht werden?
- Wie weit ist der nächste Standort entfernt?

Für einen Arbeitsstandort (Arbeitgeber) bzw. Einkaufsort stellen sich im Hinblick auf die Erreichbarkeit folgende Fragen:

- Wie viele Erwerbstätige / Einwohner können von dem Ort mit einem Aufwand  $x$  erreicht werden?
- Wie groß ist der mittlere Aufwand zum Erreichen eines Erwerbstätigen?
- Wie viele Einwohner liegen im Einzugsbereich eines Standorts?

Der mittlere Aufwand über mehrere Aktivitäten ergibt den Erreichbarkeitsindex. Der Erreichbarkeitsindex wurde bei FRIEDRICH & SIEDENTOP (2016) herangezogen, um die Qualität der Modi und Verkehrsinfrastruktur, die Hauptverkehrsströme und Bevölkerungsprognosen zu berücksichtigen.

Mit Erreichbarkeitsindikatoren können Zustandsanalysen durchgeführt und Maßnahmen einer integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsplanung bewertet werden. Dabei kann eine Beurteilung nach dem Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ erfolgen. Die Anwendung von Erreichbarkeitsindikatoren ermöglicht einen umfassenden Einsatz in der integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklung. Nach SCHWARZE (2005) lassen sich die in Tabelle 6 Erreichbarkeitsindikatoren dargestellten unterscheiden.

Indikator	Bedeutung	Vorteile (+) / Nachteile (-)	Beispiele
Ausstattungsindikatoren	Die vorhandene Verkehrsinfrastruktur und das Verkehrsangebot eines Standortes beschreiben die Erreichbarkeit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfache Erreichbarkeit</li> <li>+ Einfache Nachvollziehbarkeit</li> <li>- Ermittlung der Erreichbarkeit auf Basis eines Verkehrssystems</li> <li>- Keine Vergleichbarkeit verschiedener Verkehrssysteme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haltestellenanzahl</li> <li>• Fahrplanfahrten je Tag und Richtung</li> </ul>
Graphentheoretische Indikatoren	Das Verkehrsnetz wird hinsichtlich seiner Topologie abstrahiert. Annahme: Ein Standort ist umso besser erreichbar, je komplexer das umliegende Verkehrsnetz ist.	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Vergleich von großmaßstäblichen Verkehrsnetzen</li> <li>- Keine Beachtung der Kapazitäten bzw. Raumüberwindungswiderstände</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstand zwischen Haltestellen</li> </ul>
Konnektivitätsindikatoren	Anzahl benutzbare Elemente von einer Quelle zu einem Ziel eines Straßennetzes bilden die Erreichbarkeit ab.	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Beachtung vonverkehrlichen Verflechtungen</li> <li>- Keine Beachtung der Raumüberwindungswiderstände</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl der überfahrbaren Haltestellen</li> <li>• Anzahl der notwendigen Umsteigevorgänge</li> </ul>
Reiseaufwandsindikatoren	Die Erreichbarkeitsbestimmung erfolgt über Raumüberwindungswiderstände.	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Vergleich von Bewertungen</li> <li>+ Einfache Analyse der Ergebnisse</li> <li>- Analyse stark von dem Aktivitätsziel abhängig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reisezeitverhältnis MIV und ÖV</li> </ul>
Reisebudgetindikatoren	Messung der Anzahl an Aktivitätsgelegenheiten, die innerhalb eines Reisebudgets liegen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Verständlichkeit</li> <li>+ Einfache Interpretation</li> <li>- Ergebnisse stark vom Reisebudget abhängig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl der erreichbaren Supermärkte innerhalb von 10 Minuten</li> </ul>
Potenzialindikatoren	Erreichbarkeit wird auf Grundlage einer entfernungsabhängigen Akzeptanzwahrscheinlichkeit ermittelt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Keine festgelegten Grenzen in der Aktivitäts- und Widerstandsfunktion</li> <li>- Parameter müssen kalibriert werden</li> <li>- Hohe Komplexität</li> </ul>	

Tabelle 6: Kategorisierung von Erreichbarkeitsindikatoren nach SCHWARZE (2005).

## 2.4.2 Erreichbarkeitsmodelle

Erreichbarkeitsmodelle kommen weltweit zum Einsatz. Deren Inhalt und Zweck ist sehr breit gefächert. So untersuchte SCHWARZE (2015) in seiner Dissertation diverse Erreichbarkeitsmodelle, mit dem Ziel, Modelle der Naherreichbarkeit abzugrenzen. Ein Auszug der vom ihm eruierten Erreichbarkeitsmodellen ist in Tabelle 7 abgebildet.

Modell-ansatz	Land*	Raum-bezugs-ebene	Indikatoren-typen** nach Ta-belle 6	Ziel-ar-ten	Modi	Sonstige Be-sonder-heiten
Accessibility Constraint Maps	AUS	Grund-stü-cke	AU; RA	2	Fuß, ÖPNV	Scoringmodell, Gesamtindex
ABC-Standort-pla-nung	NL	Standorte	AU	-	ÖPNV, MIV	Standort-profil-bildung ABC
Diverse Modelle Daseinsvorsorge	DE	Rasterzelle / Wohnfläche	RA	Variabel	Variabel	Anwendungs-leitfaden
<b>Abkürzungen</b>						
* AUS: Australien DE: Deutschland NL: Niederlande						
** AU: Ausstattungsindikatoren RA: Reiseaufwandsindikatoren						

Tabelle 7: Auszug zu Erreichbarkeitsmodellen nach SCHWARZE (2015).

### Accessibility Constraint Maps

Das Erreichbarkeitsmodell wurde von der Gemeindeverwaltung Sutherland Shire erstellt. Das Modell bestimmt unter Berücksichtigung der Erreichbarkeitsverhältnisse der Modi Fuß und ÖPNV einen Erreichbarkeitsindex. Dieser setzt sich nach KOERNICKE (2007) im Detail aus folgenden Faktoren zusammen:

- Distanzen zur Bushaltestelle und Bahnhof,
- Topografie / Steigung,
- Angebotsqualität des ÖPNV,
- Entfernung zu Orten größerer und niedrigerer Zentralität,
- Zentrenhierarchie und
- Existenz eines gepflasterten Bürgersteiges.

Die Werte der Faktoren werden über ein Punktesystem festgelegt. Für die Gewichtung der einzelnen Faktoren wurden Personenbefragungen durchgeführt. Die Ergebnisse des Erreichbarkeitsindex werden in „Accessibility Constraint Maps“ festgehalten (KOERNICKE, 2007).

### ABC-Standortplanung

In den Niederlanden wurde basierend auf der Vorgabe, den MIV-Anteil in den Innenstädten zu reduzieren, das Instrument der ABC-Standortplanung entwickelt. Innerhalb der kommunalen Bauleitplanung haben die Städte die Möglichkeit die Ansiedelung von Gewerbe- und Dienstleistungsunternehmen auf Basis der Erreichbarkeit zu steuern.

Das Kernelement der ABC-Standortplanung bildet die Zuordnung von Unternehmen zu geeigneten Standorten (MARTENS & VAN GRIETHUYSEN, 1999). Die Klassifizierung basiert auf der Zuordnung von Standorten in 4 Gruppen anhand deren Erreichbarkeit. Die Eigenschaften der Gruppen sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Erreichbarkeit mit dem ÖPNV	Erreichbarkeit mit dem MIV	
	schlecht	gut
schlecht	R-Standorte	C-Standorte
gut	A-Standorte	B-Standorte

Tabelle 8: Erreichbarkeitsgruppen nach MARTENS & VAN GRIETHUYSEN (1999).

Die Unternehmen werden zudem nach Mobilitätsprofilen klassifiziert. Die Kombination der Erreichbarkeitsprofile mit den Mobilitätsprofilen ergibt die in Tabelle 9 dargestellte Standortzuordnung.

Standort	Erreichbarkeit	Mobilität
A-Standort	<ul style="list-style-type: none"> <li>optimale ÖPNV-Anbindung</li> <li>restriktive Parkraumbewirtschaftung</li> <li>umweltverbundgeeignete Gestaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Beschäftigten- und Besucherintensität</li> <li>niedrige Bedeutung des Kfz-Geschäftsverkehrs</li> <li>niedrige Bedeutung des Straßengüterverkehrs</li> </ul>
B-Standort	<ul style="list-style-type: none"> <li>gute ÖPNV-Anbindung</li> <li>gute Straßenanbindung</li> <li>Parkraumbewirtschaftung</li> <li>umweltverbundgeeignete Gestaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mittlere Beschäftigten- und Besucherintensität</li> <li>mittlere Bedeutung des Kfz-Geschäftsverkehrs</li> <li>geringe bis mittlere Bedeutung des Straßengüterverkehrs</li> </ul>
C-Standort	<ul style="list-style-type: none"> <li>optimale Anbindung an das überörtliche Straßennetz</li> <li>ÖPNV-Anbindung ist nicht entscheidend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>niedrige Beschäftigten- und Besucherintensität</li> <li>hohe Bedeutung des Kfz-Geschäftsverkehrs</li> <li>hohe Bedeutung des Straßengüterverkehrs</li> </ul>

Tabelle 9: Bewertungsmuster der ABC-Standortplanung nach SCHWARZE (2015).

### Diverse Modelle Daseinsvorsorge

Die Gesetzgebung sieht in Deutschland vor, dass „die Erreichbarkeit von Einrichtungen und Angeboten der Grundversorgung für alle Bevölkerungsgruppen [...] zur Sicherung von Chancengerechtigkeit in den Teilräumen in angemessener Weise zu gewährleisten ist; dies gilt auch in dünn besiedelten Regionen“ (§2 Ansatz 2 Nr. 3 ROG). Ländliche Regionen, die eine Regionalstrategie zur Sicherung der Daseinsvorsorge erarbeiten, werden innerhalb des Modellvorhabens der Raumordnung (MORO) des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert.

Im „Aktionsprogramm regionale Daseinsvorsorge“ war das Ziel der Erreichbarkeitsanalysen, die Reisezeiten der Einwohner ausgehend von den Wohnstandorten zu den

Standorten der Daseinsvorsorge zu ermitteln. Dazu erfolgt die Unterteilung des Untersuchungsgebiets in Wohnbauflächen bzw. kleinräumige Rasterzellen (SCHWARZE, 2015). Die Modellansätze beziehen sich meist auf die Modi Fuß, Rad, ÖPNV und Pkw und nutzen für deren Berechnungen den Reiseaufwandsindikator. Das Programm wurde in folgende zwei Phasen unterteilt:

1. Analyse der vorhandenen Situation
2. Erstellung von Erreichbarkeitsszenarien

Die Szenarien basieren auf einer prognostizierten Bevölkerungs- sowie Standortentwicklung. Zur Darstellung der Gefährdung von Räumen wird vermehrt das Szenario „Wegfall des nächsten Standorts“ betrachtet (SCHWARZE, 2015). Die entwickelten Ansätze unterliegen einer fortwährenden Weiterentwicklung. Demzufolge ist dies auch ein Bestandteil des in der Arbeit entwickelten Ansatzes.

## **2.5 Flächennutzungs- und Verkehrsnachfragemodelle**

Die Standortplanung und Verkehrsplanung können nicht getrennt voneinander betrachtet werden, wie bereits im Kapitel 2.1 beschrieben. Diese Planungen stehen in Abhängigkeit zueinander, wodurch eine integrierte Betrachtung der Flächennutzung und Verkehrsnachfrage angestrebt werden sollte. Auf Basis der Abhängigkeiten gab es in den vergangenen Jahren viele Forschungen zu den Themen der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung. Die Verkehrsinfrastruktur und die Verteilung der Aktivitätenstandorte erfordert eine räumliche Interaktion, die in Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen modelliert wird.

Aus dem Wissen, dass die notwendigen Ortsveränderungen und die Ansiedlung der Aktivitätenstandorte einander beeinflussen und der daraus erforderlichen einheitlichen Betrachtung der Flächennutzung und des Verkehrs, entwickelten WEGENER & FUERST (1999) einen Kreislauf (vgl. Abbildung 5). Die Kernaussagen des Kreislaufes sind:

- Die Verteilung der Standorte wie Wohnen oder Gewerbe bestimmt die Standorte menschlicher Aktivität wie Wohnen, Arbeit oder Einkauf.
- Die Verteilung der Standorte erfordert die Überwindung von Distanzen, die mit Hilfe von Verkehrsmitteln zurückgelegt werden.
- Mittels der Verkehrsinfrastruktur können räumliche Veränderungen wahrgenommen werden.
- Die Erreichbarkeit der Standorte bestimmt Standortentscheidungen.

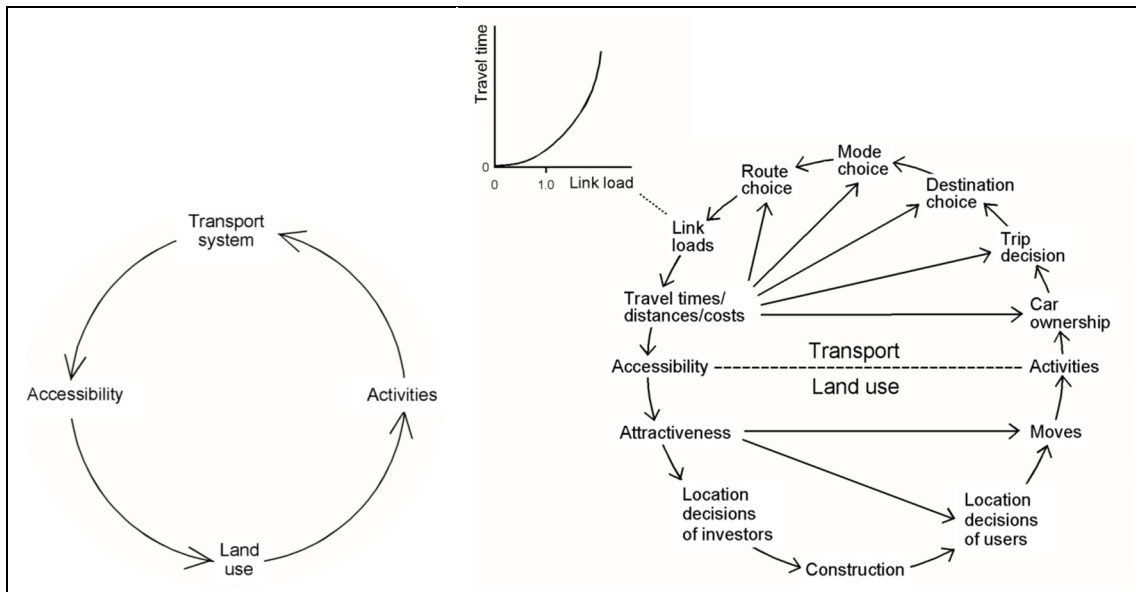


Abbildung 5: Rückkopplungskreislauf nach WEGENER & FUERST (1999).

Insgesamt identifizieren WEGENER & FUERST (1999) drei Arten von Prognosemodellen. Die erste Art beschäftigt sich mit der Befragung von Personen bezüglich ihrer Erwartungen und schätzt Reaktionen auf Veränderungen ab. Die zweite Art bezieht sich auf empirisch beobachtetes Verhalten und in der dritten Art werden mathematische Methoden zur Prognostizierung des Verhaltens herangezogen. Mittels mathematischer Modelle können Vorhersagen berechnet werden.

Die Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle beinhalten die wichtigsten Prozesse der Raumplanung unter Einbezug aller Arten der Raumnutzung. Der Verkehr kann innerhalb eines Flächennutzungsmodells oder als eigenständiges Modell modelliert werden. Forschungen zu IFVM existieren seit den 1960iger Jahren. MOECKEL ET AL. (2018) benannten das Modell von LOWRY aus dem Jahr 1964 als eines der ersten Modelle, die als Computerprogramm implementiert wurden. Am Beispiel der Metropole Pittsburgh in Pennsylvania wird ausgehend von der Haupterwerbstatigenanzahl die Verteilung der Erwerbstatigen, die nicht zu den Haupterwerbstatigen gehören, sowie die Anzahl der Einwohner ermittelt (LOWRY, 1964). Damit bildet es die Grundlage weiterer sowohl mikroskopischer als auch makroskopischer integrierter Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle. Beispiele für mikroskopische IFVM sind SILO von MOECKEL (2018) oder URBAN-SIM von WADDELL (1998). Zu makroskopischen Modellen zählen beispielsweise RODEM von SCHILLER (2007) oder ITLUP von PUTMAN (1976). Die vorgestellten Modelle sind ein kleiner Auszug aus einer Vielzahl von entwickelten Modellen. Eine detailliertere Aufzählung und Gegenüberstellung der einzelnen Modelle können beispielsweise WEGENER & FUERST (1999) und MOECKEL ET AL. (2018) entnommen werden.

Die wichtigsten Eigenschaften einer integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodellierung sind:

- „globale soziale und wirtschaftliche Entwicklung (inklusive Entwicklung der Flächennutzung und Flächennutzungsstruktur)
- Wirkungen unterschiedlicher siedlungsstruktureller Gebietstypen auf das Mobilitätsverhalten
- Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens durch siedlungsstrukturelle Maßnahmen im Sinne der Nachhaltigkeit
- Wirkungen unterschiedlicher Verkehrsangebote auf das Standortwahlverhalten von Haushalten und Unternehmen“ (SCHILLER, 2007)

Nach MOECKEL ET AL. (2018) haben sich seit der Entwicklung des Modells von LOWRY (1964) keine großen Änderungen ergeben. Standortdaten der Beschäftigten und Bevölkerungsdaten werden unter Einbezug des Flächennutzungsmodells berechnet, die anschließend bei der Verkehrserzeugung in den Verkehrsmodellen genutzt werden. Die in den Verkehrsmodellen ermittelten Fahrzeiten werden in einem weiteren Schritt innerhalb der Flächennutzungsmodelle zur Berechnung von Erreichbarkeiten genutzt, wodurch die Standortwahl der Bevölkerung und der Beschäftigten prognostizierbar wird. Nachfolgend werden die Unterschiede zwischen den makroskopischen und mikroskopischen Modellen am Beispiel oben angeführter Modelle dargestellt.

### SILO

Das Flächennutzungsmodell „Simple Integrated Land Use Orchestrator“ (SILO) ist ein einfaches Modell, das vollständig in ein Verkehrsnachfragemodell integriert ist. Das mikroskopische Modell kann sowohl in mikroskopische als auch makroskopische Verkehrsnachfragemodelle implementiert werden und steht als open-source den Nutzern zur Verfügung. SILO wurde für Minneapolis / St. Paul entwickelt und fand seine Anwendung im Staat Maryland. Derzeit wird es für die Metropolregion München von der Technischen Universität München weiterentwickelt (MOECKEL, 2018). Der Ablauf kann Abbildung 6 entnommen werden. Für die Metropolregion München erfolgt die Berechnung des mikroskopischen Verkehrsnachfragemodells in MATSim (MOECKEL, 2019). Innerhalb der Modellberechnungen erfolgt keine Integration von prognostizierten Veränderungen der Einwohnerdichten.

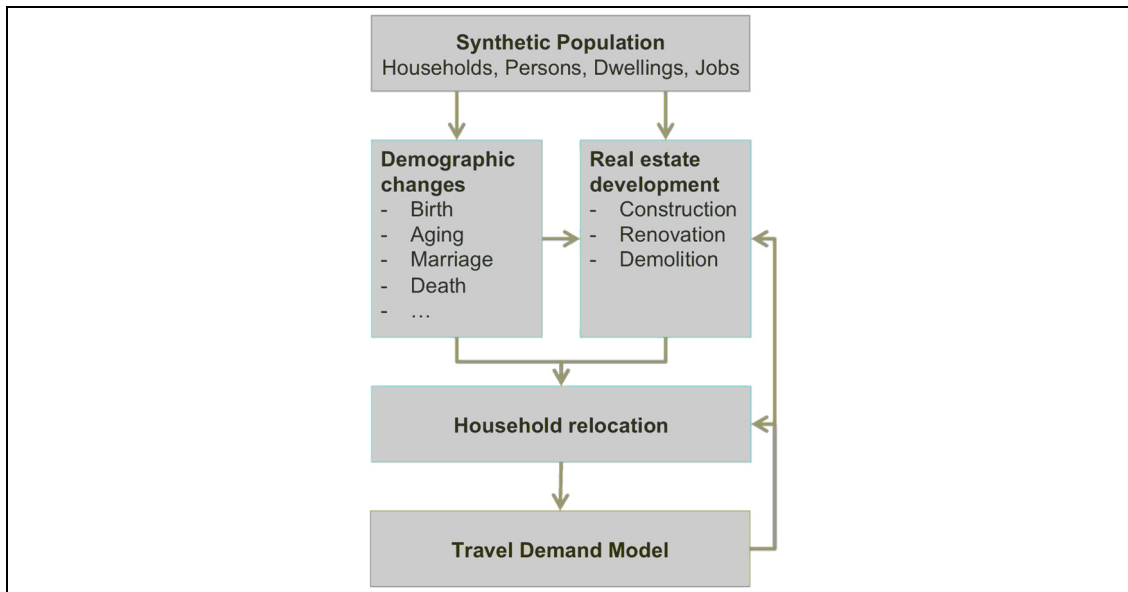


Abbildung 6: Flussdiagramm von SILO (MOECKEL, 2018).

### UrbanSim

1998 entwickelte WADDELL die Methodik zum Modell UrbanSim. Seitdem wurde es vor allem in den USA angewandt und weiterentwickelt. Es beinhaltet neben den Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Verkehr, auch die Wirtschaft und die Umwelt. Der Fokus liegt auf der rechnergestützten Darstellung der Immobilienmärkte, die für Städte, Gemeinden und Landkreise genutzt werden kann. Die Immobilienentwicklung wird mit der Darstellung der Standortentscheidungen einzelner Haushalte und Unternehmen beobachtet. Neben der Abbildung einzelner Haushalte ist die Aggregation in Gebäudetypen, Blöcken oder Verkehrszellen möglich. Veränderungen der Wirtschaft führen zu veränderten Standortentscheidungen. Durch den Wandel der vorhandenen Immobilien (z.B. der Preise oder Nutzung) ist es möglich, die Entwicklungen (z.B. des Preises) zu prognostizieren. Die Modelle können ebenso zur Bewertung von alternativen Flächennutzungs- und Verkehrsplänen herangezogen werden. Die in dem Modell entwickelten Verkehrspläne müssen nachfolgend in separaten Verkehrsmodellen modelliert werden. Abbildung 7 enthält eine Übersicht der Eingangs- und Ausgabegrößen sowie der notwendigen externen Modelle.



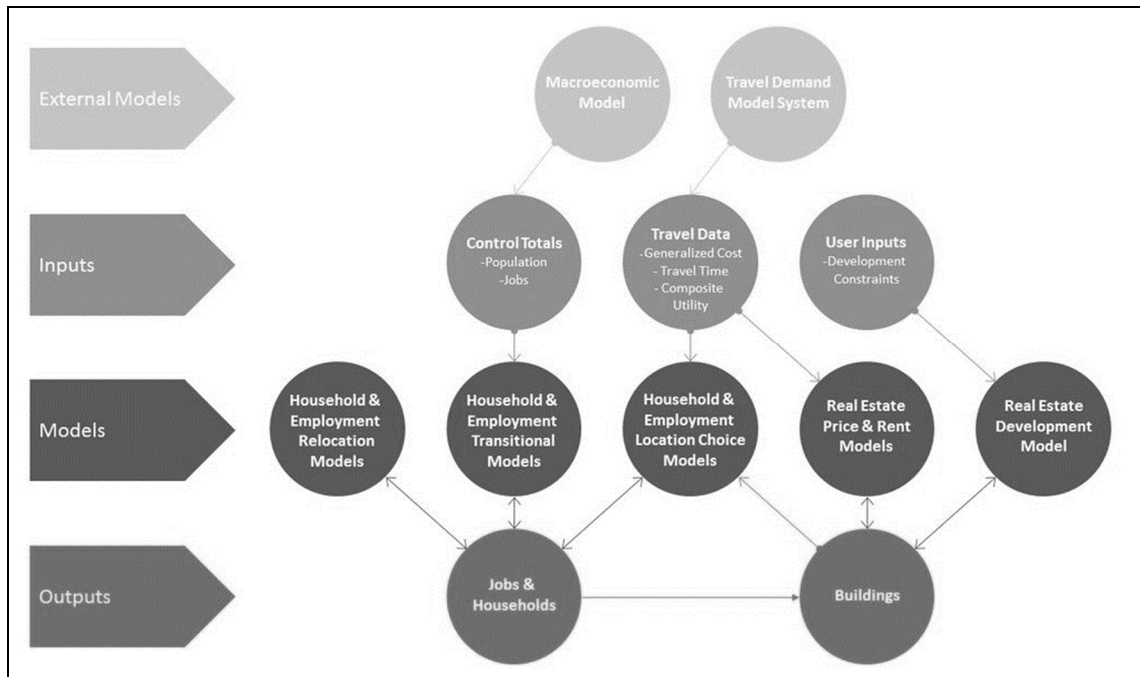


Abbildung 7: Überblick über URBANSIM (WADDELL, 1998).

### ROdEM

SCHILLER (2007) entwickelte einen Modellansatz, der das Problem der unzureichenden Darstellung der Wirkungszusammenhänge in der integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsplanung beheben soll. Dabei erfolgt die Optimierung der Flächennutzung im Zusammenhang mit der Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung unter Einbezug eines iterativen Prozesses, in dem eine vorgegebene Zielfunktion erreicht werden soll. Beispielsweise kann es das Ziel sein, die Personenkilometer in den Verkehrszellen zu minimieren. Die Strukturgrößen können während des Iterationsprozesses innerhalb vorgegebener Unter- und Obergrenzen schwanken, diese jedoch nicht über- bzw. unterschreiten. Die Ermittlung der Grenzwerte erfolgt auf der Grundlage von Richtlinien / Erfahrungswerten des zuständigen Verkehrsplaners oder mithilfe von Verkehrsnachfragemodellen. Die Qualität dieser Grenzwerte ist dementsprechend von den Vorgaben des Planers abhängig, wodurch die Ergebnisse variieren.

Neben der Reproduktionsfähigkeit ist es problematisch, ein geeignetes Verfahren zu ermitteln, mit dem sich der Optimierungsprozess berechnen lässt. Die geeigneten Verfahren benötigen für die Optimierung einen hohen Zeitaufwand, was die Anwendung des Tools wiederum unattraktiv erscheinen lässt. Das Projekt „RaumnutzungsOptimierung durch EmissionsMinimierung (ROdEM)“ entwickelte im Rahmen des Forschungsprogramms way2go der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG das Planungstool von SCHILLER (2007) weiter (KRIEBERNEGG ET AL., 2011). Neben der Optimierung der Strukturgrößen ist es Ziel des Projektes, die Kfz-Emissionen im Untersuchungsgebiet zu minimieren. Das Modellprinzip kann Abbildung 8 entnommen werden. Es ist zu erkennen, dass die Emissions- und Immissionsberechnungen nicht simultan im Verkehrsmodell, sondern durch Rückkopplungsprozesse berechnet werden.

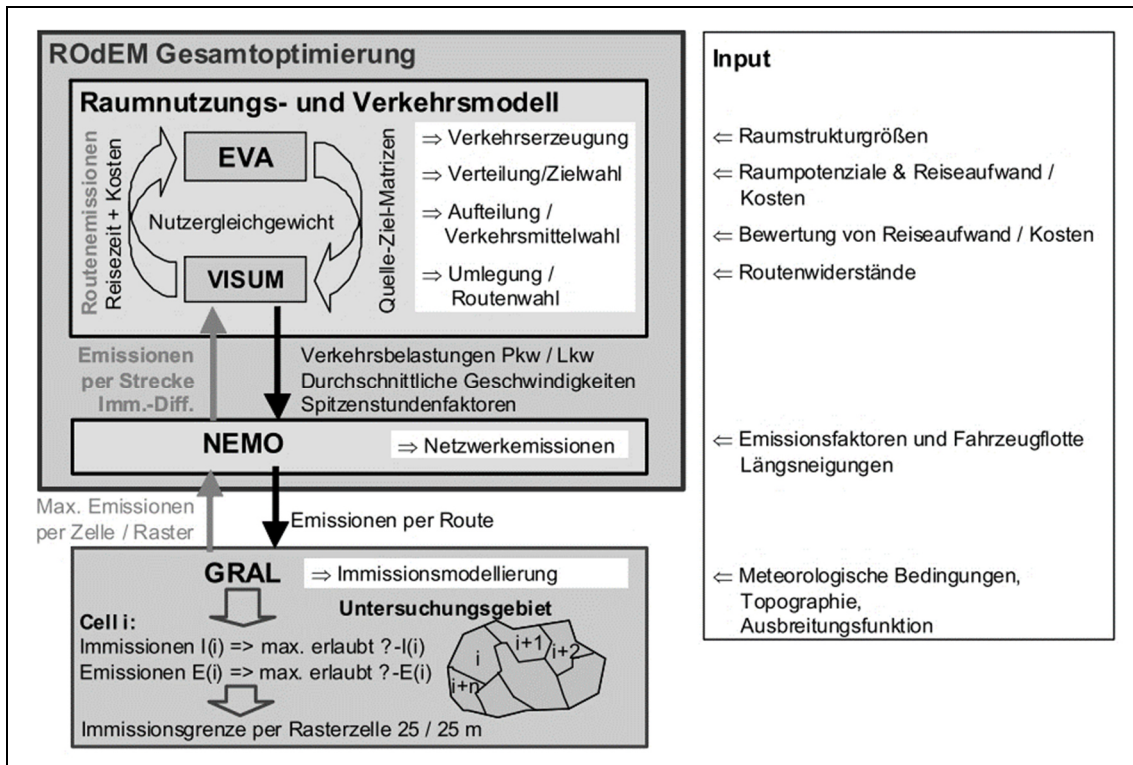


Abbildung 8: Modellaufbau von ROdEM (KRIEBERNEGG ET AL., 2011).

### ITLUP

Das Modell „Integrated Land Use Transportation Package“ (ITLUP) wurde von PUTMAN (1976) mit dem Ziel entwickelt, die Siedlungsstruktur in den Metropolregionen zu steuern und eine ausgewogene Flächennutzung zwischen Siedlung und Verkehr zu erreichen. Das allgemeine Vorgehen beschreibt PUTMAN (1976) wie folgt:

1. Die räumliche Verteilung wird zunächst für ein Basisjahr erhoben, mit der im unbelasteten Netz verkehrliche Kenngrößen, wie Fahrzeiten und Kosten, berechnet werden.
2. Die Kenngrößen werden in das Prognosenetz des Verkehrs geladen, wobei es in diesem Fall zu keinen Änderungen der Siedlungsstruktur kommt.
3. Die Berechnungen der verkehrlichen Kenngrößen sind im weiteren Vorgehen die Grundlage für die Ermittlung der prognostischen Verteilung der Siedlungsstruktur.

Das Modell besteht im Wesentlichen aus drei Untermodellen, dem disaggregierten Wohnstandortallokationsmodell DRAM, dem Arbeitsstandortallokationsmodell EMPAL und dem Schätzmodell CALIB, das zur Kalibrierung der Parameter der Modelle EMPAL und DRAM herangezogen wird. DRAM und EMPAL basieren auf dem Modell von LOWRY (1964). Die zeitscheibenfeine Prognostizierung der Wohnstandorte erwerbstätiger Einwohner mit DRAM erfolgt differenziert nach Haushaltsklassen und Arbeitsstandorten. Als Kenngrößen werden in DRAM die Fahrzeiten bzw. die Kosten herangezogen. EMPAL prognostiziert durch eine Differenzierung der Aufwände vom Prognosejahr im Vergleich

zum Bezugsjahr die Verteilung der Arbeitsstandorte. Es wird dabei nach der Unternehmensgröße (Fläche), der Anzahl der Angestellten und der Wertigkeit der Arbeit unterschieden.

## 2.6 Kenngrößen

### 2.6.1 Kenngrößen der Raumplanung

In der Raumplanung existiert eine Vielzahl an Kenngrößen. Tabelle 10 enthält auszugsweise Kenngrößen für die Kategorien der Bodenordnung, städtebaulichen Gestaltung und Verkehrsplanung.

Bodenordnung	Städtebauliche Gestaltung	Verkehrsplanung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• versiegelte Flächen</li> <li>• <b>Flächennutzung</b></li> <li>• Flächenverbrauch</li> <li>• Flächenreserven</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Siedlungsdichte</b></li> <li>• <b>Erreichbarkeit</b></li> <li>• Wohnfläche</li> </ul>	Indikatoren siehe Kapitel 2.6.2

Tabelle 10: Ausgewählte Kenngrößen der Raumplanung differenziert nach Kategorien (BIRKMANN, 1999; BORCHARD, 2011).

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die in der Tabelle 10 hervorgehobenen Kenngrößen für die Berechnungen und Auswertungen herangezogen. Aufgrund diverser Bedeutungen werden die Kenngrößen nachfolgend definiert.

#### Flächennutzung

Die Flächennutzung beschreibt die zweckgebundene Nutzung von Flächen und wird u.a. in Flächennutzungsplänen ausgewiesen.

#### Flächennutzungsplan (FNP)

Der Flächennutzungsplan beinhaltet die Darstellung der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung differenziert nach Art der Bodennutzung einer Gemeinde (SÖFKER, 2018).

#### Siedlungsdichte

Die Siedlungsdichte beschreibt die Anzahl der Einwohner pro Hektar (ha) Siedlungs- und Verkehrsfläche (BIRKMANN, 1999).

#### Erreichbarkeit

Erreichbarkeit ist nach Kapitel 2.4.1 der mittlere Aufwand zum Erreichen eines Ortes gewichtet mit einer Strukturgröße für eine Aktivität.

## 2.6.2 Kenngrößen der Verkehrsplanung

Die Erstellung der Verkehrsnachfragemodelle basiert auf Kenngrößen des Aufwandes, die das Verkehrsangebot quantifizieren und die in die Berechnungen der Ziel- und Verkehrsmittelwahl eingehen. Output der Berechnungen sind u.a. Zustandskenngrößen (z.B.: Verkehrsleistung), Kenngrößen der Betriebsleitung und Beförderungsleistung sowie Kenngrößen der Umweltfaktoren. Diese können neben den Angebotskenngrößen für die Validierung der Verkehrsnachfragemodelle herangezogen werden. Kenngrößen werden zudem für die Identifizierung von Mängeln und Entwicklung von Maßnahmen genutzt. Mit einer Bewertung der Kenngrößen wird eine Wirkungsanalyse der Maßnahmen, sowie ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Szenarien ermöglicht. Neben Kenngrößen, die in die Berechnungen eingehen bzw. Ergebnis der Berechnungen sind, existieren Kenngrößen, die für die Berechnung der Nutzenfunktion benötigt werden. Beispielsweise setzt sich die Nutzenfunktion des motorisierten Individualverkehrs aus den Kenngrößen Zu- und Abgangszeit, Fahrzeit, Parksuchzeit, Fahr- und Parkkosten zusammen. Hingegen besteht die Reisezeit des Fußgängerverkehrs aus den Kenngrößen Zu- und Abgangs- und Gehzeit. Tabelle 11 enthält eine Auswahl an Kenngrößen differenziert nach den zuvor beschriebenen Kategorien.

Aufwandskenngröße	Zustandskenngröße	Umweltkenngröße
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftlinienentfernung / -geschwindigkeit</li> <li>• <b>Reiseweite / -zeit</b></li> <li>• Reisezeitverhältnis</li> <li>• Umwegfaktor</li> <li>• <b>Umsteigehäufigkeit</b></li> <li>• <b>Bedienungshäufigkeit</b></li> <li>• Reisekosten</li> <li>• Sitzplatzverfügbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Verkehrsleistung</b></li> <li>• Verkehrszeitaufwand</li> <li>• Modal-Split</li> <li>• Verkehrsmittelwahl</li> <li>• Verlustzeit</li> <li>• Mittlere Wegelänge</li> <li>• Anzahl der Wege</li> <li>• Erreichbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Schadstoffemissionen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kohlenstoffoxide (CO),</li> <li>• Kohlenstoffdioxide (CO<sub>2</sub>),</li> <li>• Feinstaub,</li> <li>• Stickoxide,</li> <li>• Kohlenwasserstoffe,</li> <li>• Energieverbrauch, etc.</li> </ul> </li> <li>• <b>Lärmemissionen</b></li> </ul>

Tabelle 11: Ausgewählte Kenngrößen der Verkehrsplanung differenziert nach Kategorien (FRIEDRICH ET AL., 2020; SCHNABEL & LOHSE, 2011).

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die in der Tabelle 11 hervorgehobenen Kenngrößen für die Berechnungen herangezogen. Für ein einheitliches Verständnis der Kenngrößen werden diese nachfolgend definiert (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2012).

### Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistung ist das Produkt aus betrachteten Personen und zurückgelegtem Weg. Eine Art der Verkehrsleistung ist die Fahrleistung, die ohne Zu- und Abgangswerten das Produkt der Fahrzeuge und der zurückgelegten Fahrweiten darstellt.

Reiseweite

Die Reiseweite ist die Gesamtlänge der zurückgelegten Wege einer Person an einem Tag.

Reisezeit

Die Reisezeit ist der Zeitbedarf einer Person für das Durchführen eines Weges.

Für den öffentlichen Verkehr lässt sich im Allgemeinen die Reisezeit  $t_{\text{ÖV}}^{\text{RZ}}$  wie folgt berechnen:

$$t_{\text{ÖV}}^{\text{RZ}} = t_{\text{ÖV}}^{\text{ZZ}} + t_{\text{ÖV}}^{\text{AZ}} + t_{\text{ÖV}}^{\text{SZ}} + t_{\text{ÖV}}^{\text{FZ}} + t_{\text{ÖV}}^{\text{UZ}} + t_{\text{ÖV}}^{\text{GZ}} \quad (03)$$

mit	$t_{\text{ÖV}}^{\text{ZZ}}$	Zugangszeit zur Haltestelle des öffentlichen Verkehrs
	$t_{\text{ÖV}}^{\text{AZ}}$	Abgangszeit von Haltestelle des öffentlichen Verkehrs
	$t_{\text{ÖV}}^{\text{SZ}}$	Startwartezeit an der Starthaltestelle
	$t_{\text{ÖV}}^{\text{FZ}}$	Fahrzeit im Fahrzeug inkl. Haltestellenaufenthaltszeit
	$t_{\text{ÖV}}^{\text{UZ}}$	Umsteigewartezeit an einem Umsteigepunkt
	$t_{\text{ÖV}}^{\text{GZ}}$	Gehzeit

Die Reisezeit im ÖV geht davon aus, dass die Wege zu Fuß zurückgelegt werden. Ridesharing-Angebote oder Ähnliches wird in der Berechnung nicht betrachtet. Überschreitet die ÖV-Reisezeit die Fußgehzeit zwischen zwei Verkehrszellen, ist die Fußgehzeit heranzuziehen. In diesen Fällen wird angenommen, dass für diese Verbindungen der ÖV nicht genutzt wird.

Die Reisezeit im IV setzt sich wie folgt zusammen:

$$t_{\text{IV}}^{\text{RZ}} = t_{\text{IV}}^{\text{ZZ}} + t_{\text{IV}}^{\text{AZ}} + t_{\text{IV}}^{\text{FZ}} \quad (04)$$

mit	$t_{\text{IV}}^{\text{ZZ}}$	Zugangszeit zum Fahrzeug
	$t_{\text{IV}}^{\text{AZ}}$	Abgangszeit vom Fahrzeug
	$t_{\text{IV}}^{\text{FZ}}$	Fahrzeit im Fahrzeug inkl. Abbiegezeit an Knotenpunkten

Bedienungshäufigkeit

Die Anzahl der Abfahrten je Zeitintervall auf einer Relation im ÖV stellt die Bedienungshäufigkeit dar.

Umsteigehäufigkeit

Je Relation definiert die Umsteigehäufigkeit die Anzahl an Umsteigevorgängen zwischen einem Starthaltepunkt in der Verkehrszelle o und Zielhaltepunkt in Verkehrszelle d.

Schadstoffemissionen

Schadstoffemissionen sind die von Fahrzeugen ausgehenden Stoffe, die ab einer gewissen Konzentration den Personen und der Umwelt schaden.

### Lärmemissionen

Lärmemissionen sind von Fahrzeugen ausgehender schädigender oder störender Schall.

## **2.7 Zusammenfassung zum Stand der Technik**

Das übergeordnete Bestreben der Raumplanung ist die Ermittlung der bestmöglichen Nutzung des Lebensraumes. Die Bestimmung der Nutzung des Raumes erfordert neben separaten Betrachtungen der diversen Fachbereiche auch die Integration der Fachbereiche untereinander. Dazu zählen u.a. die Verkehrsplanung und die Standortplanung. In der Standortplanung erfolgt unter Einbezug der Standortanalysen und Standorttheorien eine Identifikation von Standorten. Die Verkehrsplanung basiert auf den Erkenntnissen der Standortplanung und der daraus resultierenden Flächennutzungen. Eine Form der Verzahnung ist die integrierte Berechnung von Flächennutzungs- und Verkehrsnachfragemodellen. Es existiert eine Vielzahl von Forschungen, deren Kern IFVM sind. Diese Modelle finden vorrangig im US-amerikanischen Raum ihre Anwendung und benötigen zur Berechnung eine Reihe von Inputgrößen. WEGENER & FÜRST (1999) entwickelten einen Rückkopplungskreislauf, der den Zusammenhang zwischen Flächennutzung und Verkehr darstellt. Dieser beinhaltet raumplanerische und verkehrliche Kenngrößen, wie die Erreichbarkeit oder Reisezeiten.

Die Analyse raumplanerischer Kenngrößen zeigt, dass vermehrt die Flächennutzung, Erreichbarkeiten und Siedlungsdichten für die Modellberechnungen herangezogen werden. Es gibt keine eindeutige Definition der Erreichbarkeit. Da diese oft im Zusammenhang mit der Lagegunst verwendet wird, sind die Begrifflichkeiten zu definieren. Die Erreichbarkeit eines Ortes wird als der mittlere Aufwand zum Erreichen eines Ortes gewichtet mit einer Strukturgröße für eine Aktivität definiert. Die Lagegunst eines Ortes ist hingegen der mittlere bewertete Aufwand zum Erreichen eines Ortes gewichtet mit einer Strukturgröße für eine Aktivität. Aus verkehrlicher Sicht kommen die Fahrzeiten und Kosten verstärkt zum Einsatz. Die Identifizierung geeigneter Kenngrößen zur Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung in Standortanalysen ist eine der übergeordneten Forschungsfragen dieser Arbeit.

Die Analyse weiterer Kenngrößen der Verkehrsplanung ergab, dass folgende Kenngrößen zur Berücksichtigung der verkehrlichen Situation geeignet sind Verkehrsleistung, Reiseweite und Bedienungshäufigkeit. Die Kenngrößen der Verkehrsleistung und Reiseweite lassen sich neben der Berechnung von verkehrlichen Eignungen auch für Wirkungsanalysen der entwickelten Methoden der Siedlungsflächenentwicklung heranziehen. Aufgrund der aktuellen Thematik des Klimawandels ist es sinnvoll Schadstoff- und Lärmemissionen des Pkw-Verkehrs auszuwerten.

## 3 Datengrundlage

### 3.1 Modellgrundlagen

Das Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart bildet die Grundlage dieser Arbeit. Das Modell wurde im Auftrag des Verbands Region Stuttgart, der Stadt Stuttgart und der Stuttgarter Straßenbahnen AG erstellt. Grundlage ist eine Haushaltsbefragung, an der im Jahr 2010 rund 5.600 Haushalte mit insgesamt 13.700 Personen teilnahmen. Für jede Person wurden die Wege einer Woche erfasst und geocodiert. Die befragten Personen legten im Befragungszeitraum rund 270.000 Wege zurück. Das Verkehrsnachfragemodell bildet das Verkehrsgeschehen eines durchschnittlichen Werktages ab und wird nachfolgend als Analysezustand bezeichnet (VERBAND REGION STUTT GART, 2011). Durch die Erstellung des Modells ist es möglich, Aussagen zu folgenden Fragestellungen zu machen (SCHLAICH, 2011):

1. Wie viele Wege legen die Personen im Untersuchungsgebiet an einem durchschnittlichen Werktag zurück?
2. Welche Ziele werden von den Personen ausgewählt?
3. Welche Modi werden zur Erreichung der Ziele genutzt?
4. Welche Routen werden zur Erreichung der Ziele gewählt?

Aufbauend auf dem Analysezustand erfolgte die Erstellung eines Prognosemodells für das Jahr 2025 (Bezugszustand), mit dem Ziel, einen Ausblick auf die verkehrliche Entwicklung in der Region zu geben.

Das Verkehrsnachfragemodell wurde mit der Software PTV VISUM der PTV Group erstellt. Nachfolgende Angaben basieren auf Informationen von SCHLAICH (2011).

### 3.2 Räumliche Ausdehnung

Das Untersuchungsgebiet setzt sich aus einem Planungsraum und dem Umland zusammen. Die Stadt Stuttgart sowie die Landkreise Ludwigsburg, Rems-Murr, Böblingen, Göppingen und Esslingen bilden den Planungsraum (vgl. Abbildung 9). Für die Abbildung der relevanten Verkehrsströme ist es notwendig, die benachbarten Mittelbereiche sowie umliegende Städte mit überregionaler Bedeutung, wie Metropolregionen, Ober- und Mittelzentren in das Modell einzubeziehen. Die benachbarten Mittelbereiche werden angrenzend als Verkehrszellen in das Modell integriert und bilden das Umland ab. Die Städte mit überregionaler Bedeutung, die einen wichtigen Einfluss auf die Region Stuttgart ausüben, werden als Kordonpunkte im Modell abgebildet. Die Siedlungs- und Raumstruktur der Region Stuttgart, der benachbarten Mittelbereiche sowie Kordonpunkte wird im Verkehrsmodell mit Hilfe von 1.175 Verkehrszellen dargestellt, von denen 513 Verkehrszellen die Stadt Stuttgart abbilden. Die Einteilung der Stadt Stuttgart in Ver-

kehrszellen wurde auf Basis von Baublockdaten vorgenommen, wodurch die Stadt Stuttgart sehr detailliert abgebildet wird. Eine Verkehrszelle in der Stadt Stuttgart umfasst circa vier bis sechs Baublöcke. Die Abbildung der Nachbarlandkreise der Stadt Stuttgart erfolgt mit 500 Verkehrszellen, die die Gemeinden bzw. Teilorte der Gemeinden darstellen. Die restlichen 162 Verkehrszellen bilden die benachbarten Mittelbereiche der Region Stuttgart und die Orte mit der zentralen Bedeutung ab. Diese enthalten keine Informationen über Strukturgrößen, wie beispielsweise Anzahl der Einwohner. Die Verkehrszellen dienen zur Abbildung des Verkehrs, der in der Region startet bzw. endet und einen Start- bzw. Endpunkt außerhalb des Planungsraumes hat. Das Verkehrsaufkommen wird durch externe Daten in das Modell implementiert.

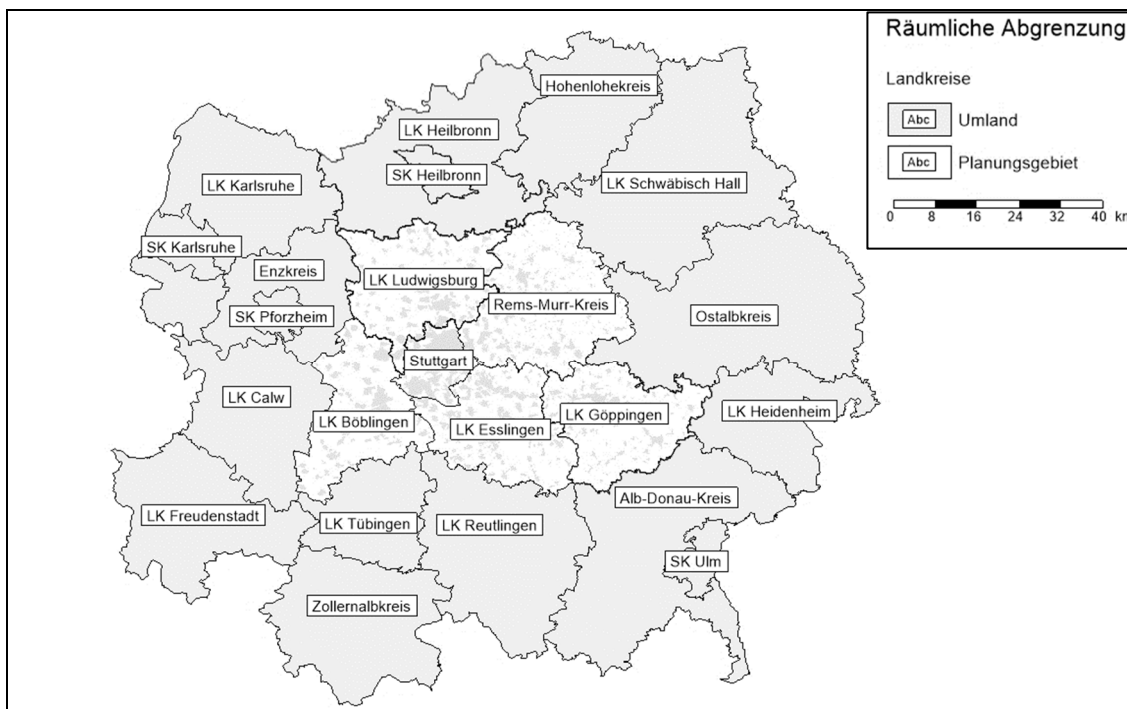


Abbildung 9: Räumliche Abgrenzung des Verkehrsnachfragemodells.

### 3.3 Abbildung des Verkehrsangebots

Zur Abbildung des Verkehrsangebots erfolgt zunächst die Abbildung der Verkehrsnachfrage in die Modi Fuß, Rad, Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer, Lkw, P+R, ÖV-Einzelticket und ÖV-Monatsticket.

Im Analysezustand werden alle Verkehrswege des Haupt- und Nebenstraßennetzes des motorisierten Individualverkehrs in der Region abgebildet. Außerhalb des Planungsraums erfolgt eine vereinfachte Darstellung des Straßennetzes. Es beinhaltet die Hauptverkehrswege, woraus sich ein Straßennetz mit rund 370.000 Strecken ergibt. Für den Fuß- und Radverkehr existiert im Modell kein eigenes Netzmodell. Die einzelnen Modi können die Verkehrswege des MIV nutzen. Ausgenommen sind Straßen, die für das



jeweilige Verkehrssystem nicht zulässig sind, beispielsweise sind Autobahnabschnitte für den Fuß- und Radverkehr gesperrt.

Der öffentliche Verkehr wird vollständig im Planungsraum abgebildet und lässt sich in die Verkehrsmittel Bus, Stadtbahn, S-Bahn, Regional- und Fernverkehrsbahnen unterteilen. Für jedes Verkehrsmittel sind die Linienverläufe, Fahrzeitprofile und Fahrpläne im Modell hinterlegt, woraus sich für den Analysezustand rund 1.200 Linien mit circa 50.000 Fahrplanfahrten ergeben. Die Fahrplanfahrten beinhalten im Fahrzeitenprofil die Aufenthaltszeit an Haltestellen. Die Haltestellen sind im Modell differenziert nach Richtung und geografischer Lage als Haltepunkte abgebildet, die zusammen eine Haltestelle ergeben. Dies ermöglicht die Berechnung der Übergangszeit zwischen zwei Verkehrsmitteln. Des Weiteren kann durch die Abbildung von Haltestellen eine Kostenberechnung erfolgen, für die zusätzliche Informationen über das Tarifsystem im Modell hinterlegt sind.

Das Netzmodell des Bezugszustandes beinhaltet das Streckennetz des Individualverkehrs und öffentlichen Verkehrs des Analysezustandes. Bekannte Maßnahmen im Straßen- und Schienennetz wurden in das Modell integriert. So sind beispielsweise Stuttgart 21 oder die S-Bahnverlängerung Filderstadt – Neuhausen Bestandteil des Netzmodells 2025. Es erfolgte zudem eine Anpassung der Fahrpläne für den Bezugszustand, die wiederum ÖV-Maßnahmen berücksichtigen.

### **3.4 Abbildung der Verkehrsnachfrage**

Auf Grundlage der gegebenen Strukturdaten je Verkehrszelle, wie Einwohner- und Flächennutzungsdaten, wird im Verkehrsnachfragemodell der Verkehr erzeugt. Die Anzahl der Einwohner (EW) je Verkehrszelle wurde nach Merkmalen, wie der Pkw-Verfügbarkeit, dem Berufsstatus und dem Alter der Personen in 23 verhaltenshomogenen Gruppen zusammengefasst. Tabelle 12 enthält die Einteilung der Personen je Personengruppe, sowie die Anzahl der Personen je Personengruppe differenziert nach Analyse- und Bezugszustand. Insgesamt kommt es zu einem Einwohnerwachstum von rund 110.000 Einwohnern bis zum Jahr 2025, wobei davon ausgegangen wird, dass die Anzahl der Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit abnimmt und es zu einer Verlagerung auf die Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit kommt. Für den Analysezustand wurden Einwohnerdaten aus dem Jahr 2009 vom Zweckverband Kommunale Datenverarbeitung Region Stuttgart herangezogen. Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg gab im Jahr 2012 eine regionale Bevölkerungsvorausrechnung für das Prognosejahr heraus, die die Grundlage des Prognosezustandes bildet. Aus Tabelle 12 wird ersichtlich, dass Pendlerströme, die in die Region hinein- und herausfahren, berücksichtigt werden. Die Anzahl der Ein- und Auspendler basiert auf Angaben der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten aus dem Jahr 2009 der Bundesagentur für Arbeit. Für den Bezugszustand

erfolgt eine Korrektur der Daten unter Berücksichtigung der prognostizierten Einwohner- und Arbeitsplatzentwicklungen.

Personengruppe	Anzahl Personen		
	2010	2025	2025 - 2010
Erwerbstätige qualifiziert mit Pkw (QmP)	644.500	684.500	40.000
Erwerbstätige qualifiziert ohne Pkw (QoP)	51.500	42.700	- 8.800
Erwerbstätige einfach mit Pkw (EmP)	51.600	60.700	9.100
Erwerbstätige einfach ohne Pkw (EoP)	17.000	12.400	- 4.600
Selbständige (Sel)	76.400	76.000	- 400
Erwerbstätige Teilzeit mit Pkw (TmP)	269.900	280.600	10.700
Erwerbstätige Teilzeit ohne Pkw (ToP)	27.500	22.200	- 5.300
Arbeitsloser mit Pkw (AmP)	57.600	48.200	- 9.400
Arbeitsloser ohne Pkw (AoP)	18.300	18.300	0
Hausfrau/-mann mit Pkw (HmP)	139.500	143.700	4.200
Hausfrau/-mann ohne Pkw (HoP)	16.600	26.000	9.400
Grundschüler (GSch)	106.200	112.100	5.900
Schüler weiterführende Schule (Sch)	248.000	218.500	- 29.500
Auszubildender (Azubi)	61.500	61.100	- 400
Student mit Pkw (StmP)	52.800	57.500	4.700
Student ohne Pkw (StoP)	14.600	15.000	400
Rentner mit Pkw (RmP)	315.400	354.000	38.600
Rentner ohne Pkw (RoP)	56.600	40.800	- 15.800
Rentner +75 mit Pkw (R+mP)	131.000	182.300	51.300
Rentner +75 ohne Pkw (R+oP)	88.300	93.600	5.300
Kinder (Kind)	150.300	156.600	6.300
Erwerbstätige einpendeln in VRS (Einp)	153.900	152.600	- 1.300
Erwerbstätige auspendelnd aus VRS (Ausp)	63.400	62.800	- 600
<b>Summe</b>	<b>2.812.400</b>	<b>2.922.200</b>	<b>109.800</b>

Tabelle 12: Einteilung und Anzahl der Bevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen in den Jahren 2010 und 2025.

Auf Grundlage der Einwohnerzahlen können heimatbezogene Verkehre ermittelt werden. Für die Berechnung der nicht heimatbezogenen Wege ist es notwendig, weitere Wegezwecke (Aktivitäten), wie beispielsweise die Anzahl Arbeits- oder Grundschulplätze, in das Modell zu integrieren (vgl. Tabelle 13). Der Vergleich des Analyse- und Bezugszustandes zeigt, dass es insgesamt zu einer Reduktion der Aktivitätenmöglichkeiten im Jahr 2025 kommt. Die Abnahme erfolgt aufgrund der verminderten Anzahl an Rundwegen und Schulplätzen in der Region. Die Reduktion der Schulstandorte kann

durch den verringerten Anteil an Schülern an weiterführenden Schulen begründet werden.

Aktivitätengruppe	Anzahl Aktivitäten		
	2010	2025	2025 - 2010
Arbeitsplätze - Auspendler in erw. Modellraum	63.400	60.800	- 2.600
Arbeit einfach	140.800	144.100	3.300
Arbeitsplätze - Einpendler aus erw. Modellraum	153.900	152.600	- 1.300
Arbeit qualifiziert	826.000	832.200	6.200
Arbeit Selbstständige	74.400	74.900	500
Arbeit Teilzeit	249.500	251.400	1.900
Bringen / Holen	393.000	407.400	14.400
Besuche, Krankenhaus, Fortbildung	356.500	370.700	14.200
Berufsschule	58.500	61.000	2.500
Einkauf sonstiger Bedarf	715.200	859.300	144.100
Einkauf täglicher Bedarf	1.403.100	1.511.800	108.700
Persönliche Erledigungen (Arzt, Bank, Post)	919.200	958.300	39.100
Grundschule	104.000	111.900	7.900
Restaurant, Kultur	227.600	237.600	10.000
Rundwege	2.673.300	1.782.600	- 890.700
Schule	246.600	218.500	- 28.100
Sport, Erholung	327.200	340.000	12.800
Studieren	60.200	59.000	- 1.200
Wohnen	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>8.992.400</b>	<b>8.434.100</b>	<b>- 558.300</b>

Tabelle 13: Einteilung und Anzahl der Aktivitäten in Aktivitätengruppen in den Jahren 2010 und 2025.

### **3.5 Aufbau des Verkehrsnachfragemodells**

Das Verkehrsnachfragemodell basiert auf einem iterativen 4-Stufen-Algorithmus, mit den Modellstufen Verkehrserzeugung, -verteilung, -aufteilung und Routenwahl. Es erfolgt eine simultane Berechnung der Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung.

#### **Verkehrserzeugung**

Aus der Haushaltsbefragung können für jede der 23 ermittelten verhaltenshomogenen Personengruppen spezifische Aktivitätenketten erzeugt werden. Diese bilden mit den dazugehörigen Mobilitätsraten die Basis zur Ermittlung der Anzahl der Wege pro Tag in der Region Stuttgart. Unter dem Aspekt, dass innerhalb der Region Stuttgart die Einwohner unterschiedliche Verhaltensmuster aufweisen, erfolgt die Ermittlung der Aktivitätenketten und Mobilitätsraten für die Bereiche Innenstadt Stuttgart, Stadt Stuttgart (ohne Innenstadt) und Region Stuttgart (ohne Stadt Stuttgart und Innenstadt Stuttgart). Damit wird sichergestellt, dass das Verkehrsverhalten realitätsnah im Modell abgebildet wird.

Die Ergebnisse aus der Haushaltsbefragung zeigen, dass das Verkehrsverhalten zwischen den Personengruppen stark variiert. Dementsprechend legt beispielsweise die Personengruppe der Teilzeitbeschäftigten mehr Wege am Tag zurück als die Personengruppe der Rentner. Der Aspekt wird in den Mobilitätsraten berücksichtigt. Generell kann abgeleitet werden, dass die Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit eine größere Anzahl an Wegen pro Tag zurücklegen als die Personengruppen ohne Pkw-Verfügbarkeit.

#### **Simultane Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung**

Die Verkehrsverteilung basiert auf der Annahme, dass die Aktivitäten an den Heimatstandorten, d.h. an den Wohnungen, beginnen. Durch die Abbildung der Aktivitäten wird sichergestellt, dass die Ziele innerhalb der gesamten Region liegen und beispielsweise nicht alle Erwerbstätigen zum nächstgelegenen Arbeitsplatz fahren. Die Bewertung erfolgt mittels des in Kapitel 2.3.3 beschriebenen Logit-Modells. Die Modellstufen werden simultan berechnet. Dafür erfolgt die Ermittlung des modellspezifischen Nutzens über Logsummen in der Nutzenfunktion. Der Nutzen der einzelnen Modi wird dafür aufsummiert und logarithmiert. Der Berechnung liegen folgende Funktionen (05) bis (08) zu Grunde.

$$\text{Verkehrsverteilung} \quad d_{god} = d_{go}^p \cdot \frac{d_{gd}^a \cdot f(x_{god})}{\sum_{d \in Z} d_{gd}^a \cdot f(x_{god})} \quad (05)$$

$$\text{Verkehrsaufteilung} \quad d_{godm} = d_{god} \cdot p_{godm} \quad (06)$$

$$\text{Bewertungsfunktion} \quad f(x_{god}) = e^{\beta_g \cdot (-\ln(\sum_{m \in M} e^{v_{godm}}))} \quad (07)$$

$$\text{Wahrscheinlichkeitsfunktion} \quad p_{godm} = \frac{e^{v_{godm}}}{\sum_{m \in M} e^{v_{godm}}} \quad (08)$$

mit	$d_{god}$	Ortsveränderungen in einer Nachfragegruppe g von einer Quellzelle o in eine Zielzelle d
	$d_{go}^p$	produzierte Ortsveränderungen d einer Nachfragegruppe g in einer Verkehrszelle o
	$d_{gd}^a$	angezogene Ortsveränderungen d einer Nachfragegruppe g in einer Verkehrszelle d
	$f(x_{god})$	Widerstandsfunktion je Nachfragegruppe g einer Quelle-Ziel-Beziehung o-d
	$d_{godm}$	Wege von einer Quelle o zu einem Ziel d mit einem Modus m
	$p_{godm}$	Wahrscheinlichkeit der Wahl des Verkehrsmittels m einer Nachfragegruppe g für eine Quelle-Ziel-Beziehung o-d
	$\beta_g$	Parameter der Verkehrsverteilungsfunktion je Nachfragegruppe g
	$v_{godm}$	Nutzen eines Modus m je Nachfragegruppe g einer Quelle-Ziel-Beziehung o-d
	M	Anzahl an Modi im Verkehrsnachfragemodell ( $m = 1, \dots, M$ )
	Z	Anzahl der Verkehrszellen ( $d = 1, \dots, Z$ )

Durch die in den Formeln (05) bis (08) dargestellten logarithmierten Nutzensummen (LogSums) ist es möglich, die Modellstufen der Verkehrsverteilung und -aufteilung miteinander zu verknüpfen.

Die Aktivitätengruppen Arbeit, Grundschule, Schule und Studierende sind in die Verkehrsverteilung als zweiseitig gekoppelte Ziele integriert, wodurch sichergestellt wird, dass beispielsweise jedem Schulplatz ein Schulweg zugeordnet wird. Die im Modell hinterlegten Nutzenfunktion jeder Nutzergruppe variiert nach dem gewählten Verkehrsmittel.

Die Nutzenfunktionen der Modi sind nachfolgend aufgeführt. Die Verkehrsmittel ÖV-Einzelticket und ÖV-Monatsticket werden dabei als ÖV und Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer als Pkw zusammengefasst.

$$\text{Fu\ss} \quad v_{god \text{ Fu\ss}} = \beta_{0,g \text{ Fu\ss}} - \beta_{1,g \text{ Fu\ss}} \cdot t_{god \text{ Fu\ss}} \quad (09)$$

$$\text{Rad} \quad v_{god \text{ Rad}} = \beta_{0,g \text{ Rad}} - \beta_{1,g \text{ Rad}} \cdot t_{god \text{ Rad}} - \beta_{2,g \text{ Rad}} \cdot t_{god \text{ Rad}}^{ZZ,AZ} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{ÖV} \quad v_{god \text{ ÖV}} &= \beta_{0,g \text{ ÖV}} - \beta_{1,g \text{ ÖV}} \cdot t_{god \text{ ÖV}} - \beta_{2,g \text{ ÖV}} \cdot t_{god \text{ ÖV}}^{ZZ,AZ} \\ &\quad - \beta_{3,g \text{ ÖV}} \cdot t_{god \text{ ÖV}}^{WZ} - \beta_{4,g \text{ ÖV}} \cdot n_{od \text{ ÖV}}^{UH} \\ &\quad + \beta_{5,g \text{ ÖV}} \cdot \ln(l_{od \text{ ÖV}}) - \beta_{6,g \text{ ÖV}} \cdot c_{od \text{ ÖV}}^{FP} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{Park\&Ride} \quad v_{god \text{ P+R}} = \beta_{0,g \text{ P+R}} - \beta_{1,g \text{ P+R}} \cdot t_{god \text{ P+R}} * \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{Pkw} \quad v_{god \text{ Pkw}} &= \beta_{0,g \text{ Pkw}} - \beta_{1,g \text{ Pkw}} \cdot t_{god \text{ Pkw}} - \beta_{2,g \text{ Pkw}} \cdot t_{god \text{ Pkw}}^{ZZ,AZ} \\ &\quad - \beta_{3,g \text{ Pkw}} \cdot c_{od \text{ Pkw}}^{FK} - \beta_{4,g \text{ Pkw}} \cdot c_{od \text{ Pkw}}^{PK} \end{aligned} \quad (13)$$

mit  $m$  In der allgemeinen Formelbezeichnung wird Modus  $m$  verwendet, wobei  $m$  je nach Nutzenfunktion den Modi Fuß, Rad, ÖV, P+R oder Pkw darstellt

$v_{godm}$  Nutzen eines Modus  $m$  je Nachfragegruppe  $g$  einer Quelle-Ziel-Beziehung  $o-d$

$\beta_{0,gm}$  Konstanter Nutzen einer Nutzergruppe  $g$  mit einem Modus  $m$

$\beta_{n,gm}$  Nutzenparameter einer Einflussgröße  $n$  für eine Nutzergruppe  $g$  mit einem Modus  $m$

$t_{godm}$  Fahrzeit einer Quelleverkehrszelle  $o$  in eine Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$t_{godm}^{ZZ,AZ}$  Zu- und Abgangszeit einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$t_{godm}^{WZ}$  Umsteigewartezeit einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$n_{odm}^{UH}$  Umsteigehäufigkeit einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$l_{odm}$  Luftlinienentfernung einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$c_{odm}^{FP}$  Fahrpreis einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$c_{odm}^{FK}$  Fahrkosten einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

$c_{odm}^{PK}$  Parkkosten einer Quelleverkehrszelle  $o$  und Zielverkehrszelle  $d$  mit dem Modus  $m$

\* Die Fahrzeit wird aus der Fahrzeit ÖV, Umsteigewartezeit, Umsteigehäufigkeit, Gehzeit, Fahrpreis, Abgangszeit ÖV, Fahrzeit Pkw, Zu- und Abgangszeit Pkw, Fahrkosten und Parkkosten P+R berechnet.

Die berechneten Ortsveränderungen der Region Stuttgart werden durch externe Matrizen ergänzt, bei denen es sich um Nachfragematrizen des Flug- und Messeverkehrs, des Wirtschaftsverkehrs, Güterverkehrs und Fernverkehrs handelt. Die externen Matrizen werden in der Verkehrsumlegung benötigt.

## Verkehrsumlegung

Für die Verkehrsmittel Fuß und Rad erfolgt keine Umlegung im Verkehrsnachfragemodell. Der MIV wird mit dem von LOHSE entwickelten Lernverfahren innerhalb eines iterativen Prozesses umgelegt, womit der „Lernprozess“ der Verkehrsteilnehmenden abgebildet werden soll (SCHNABEL & LOHSE, 2011). Der Lernprozess basiert auf der Annahme, dass die Verkehrsteilnehmenden in jedem Iterationsschritt die widerstandskürzeste Route unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem vorangegangenen Iterationsschritt bevorzugen und ggf. ihre Routenwahl in dem derzeitigen Iterationsschritt anpassen. Der iterative Prozess endet, wenn der ermittelte Widerstand hinreichend genau mit dem geschätzten Widerstand übereinstimmt bzw. die Anzahl der vorgegebenen maximalen Iterationsschritte erreicht wurde. Die dazugehörige Rücksprungbedingung lautet:

$$\begin{aligned} \text{Abs}(R(n) - R'(n - 1)) < 2 \cdot R'(n - 1)^{\frac{1}{3}} \\ \text{oder } N = 50 \end{aligned} \quad (14)$$

mit	$N$	Anzahl Iterationsschritte ( $n = 1, \dots, N$ )
	$R$	Widerstand eines Netzelementes
	$R(n)$	Geschätzter Widerstand eines Netzelementes mit $R'(n - 1) + \Delta(n) \cdot (R(n) - R'(n - 1))$
	$\Delta(n)$	Faktor zur Dämpfung der Schwingung

Anschließend folgt für den MIV eine finale Umlegung, bei der eine deterministische Nutzergleichgewichtsumlegung verwendet wird.

Im Gegensatz zum MIV wird bei der ÖV-Umlegung die Nachfrage unter Berücksichtigung der Abfahrtszeiten mit einem fahrplanfeinen Verfahren auf das Netz umgelegt. In der fahrplanfeinen Umlegung erfolgt keine Berücksichtigung der Fahrzeugauslastung und der Verzögerungen durch längere Haltezeiten aufgrund längerer Ein- und Ausstiegsvorgänge.

### 3.6 Bewertung der Modellgüte

Die Ermittlung der Modellgüte basiert auf der Überprüfung von Einzelwerten, einer Menge von Einzelwerten oder Verteilungen von Werten.

Eine Menge von Einzelwerten, wie beispielsweise die Anzahl der Einwohner im Planungsraum, zeigt das, in der Stadt Stuttgart im Jahr 2011 rund 2,8 % mehr Einwohner lebten, als im Modell implementiert wurden. Für die Region Stuttgart ergibt sich eine Einwohnerdifferenz von - 3,8 %. Begründet werden können die Abweichungen aus dem Zensus des Jahres 2011. Die Einwohnerdaten wurden nach der Modellerstellung vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg korrigiert. Ein Vergleich der Einwohnerverteilung zeigt, dass in der Summe die Einwohner pro Personengruppe im Modell nahezu den Angaben aus der Haushaltsbefragung und den Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg entsprechen (vgl. Abbildung 10).

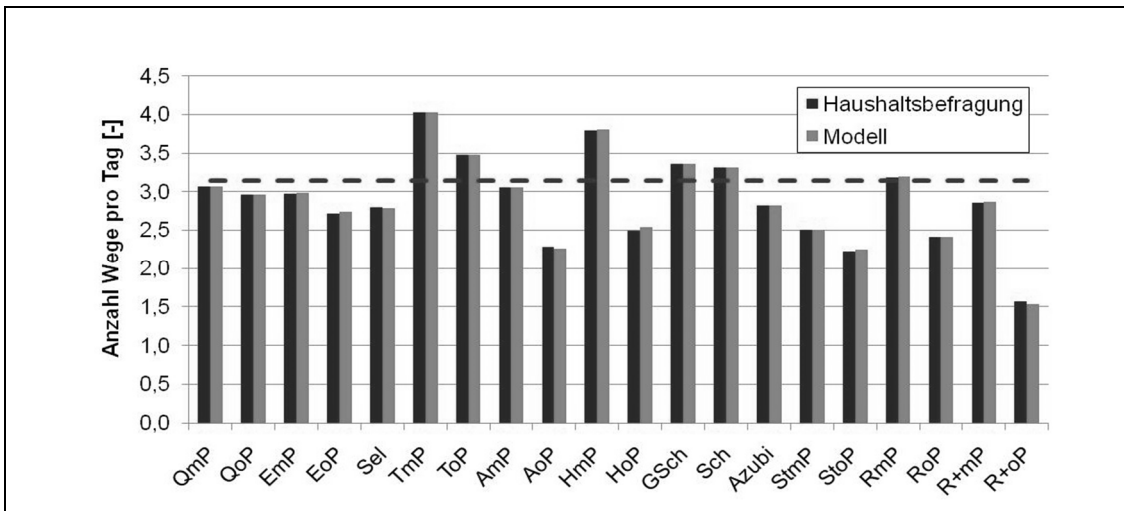


Abbildung 10: Vergleich der Anzahl der Einwohner je Personengruppe (SCHLAICH, 2011).

Die Ermittlung der fahrzweckspezifischen Fahrweiten erfolgt auf Grundlage der Haushaltsbefragung. Für den Fahrtzweck „Arbeit“ ergibt sich beispielsweise eine mittlere Fahrweite von 10,98 km. Hingegen legen die Personen aus der Haushaltsbefragung für den Fahrtzweck „Einkaufen für den täglichen Bedarf“ einen durchschnittlichen Weg von 2,81 km zurück. Der Vergleich der Modellwerte mit der Haushaltsbefragung in Abbildung 11 ergibt, dass die angestrebten Fahrweiten mit Ausnahme der Aktivitäten „Universität“ und „Berufsschule“ erreicht werden. Die Fahrweiten der Wegezwecke „Universität“ und „Berufsschule“ liegen deutlich unter den ermittelten Werten der Haushaltsbefragung. Aufgrund der realitätsnahen Verteilung der Universitäts- und Berufsschulwege im Raum, wurde nach SCHLAICH (2011) auf eine weiterführende Kalibrierung verzichtet.

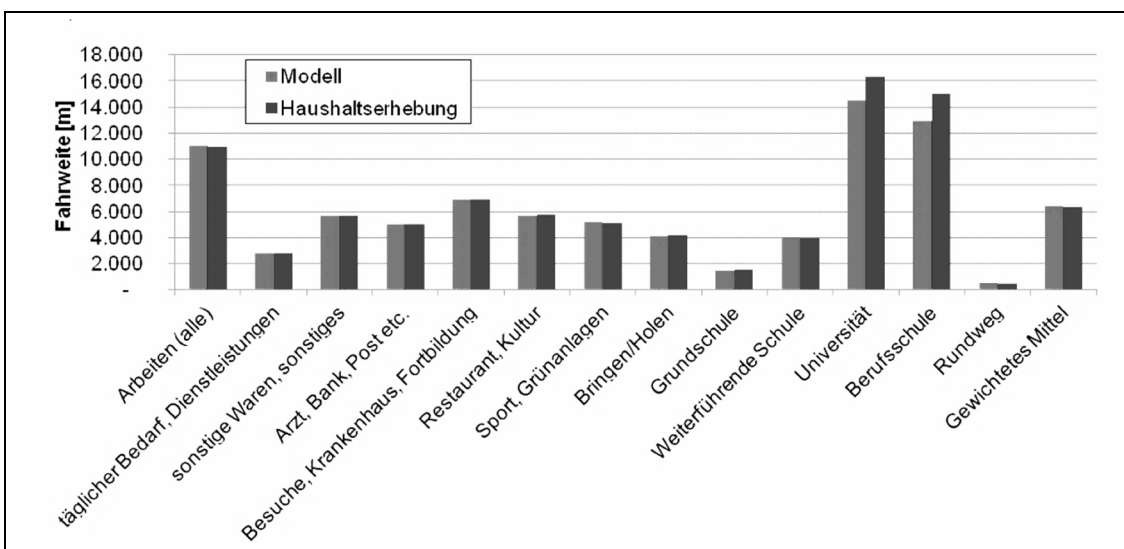


Abbildung 11: Vergleich der Fahrweitenverteilung (SCHLAICH, 2011).

Für die Validierung liegen Daten von IV-Zählstellen vor, die je nach Datenqualität, -quelle und Relevanz in der Validierung Berücksichtigung finden. Nach SCHLAICH (2011) lautet



die Anforderung an das MIV-Umlegungsergebniss, dass 80 % der Zählstellen einen GEH < 10 aufweisen sollen. Wie in Abbildung 12 ersichtlich, werden diese Anforderungen im Modell erfüllt.

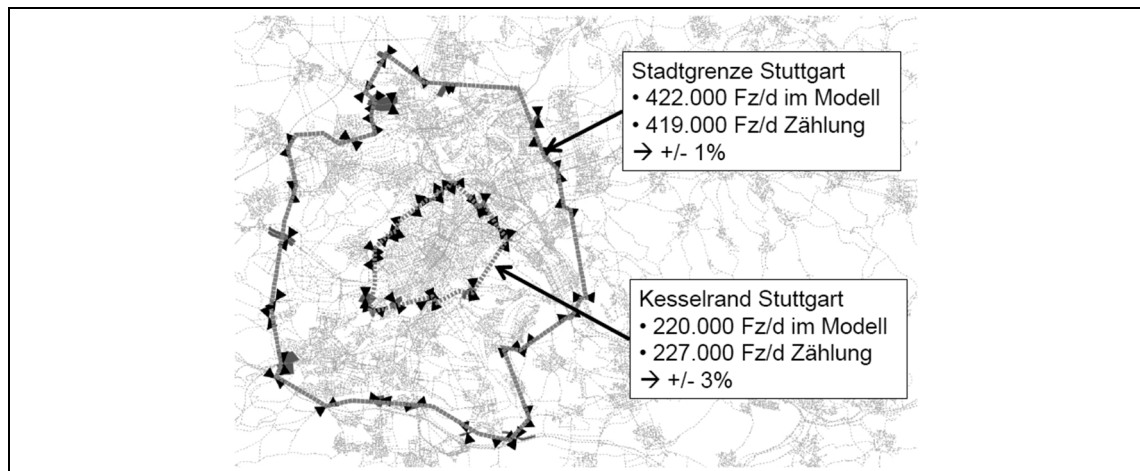


Abbildung 12: Vergleich der Modell- und Erhebungswerte der Zählstellen in der Region Stuttgart (SCHLAICH, 2011).

### 3.7 Räumliche Gliederung auf Grundlage des Regionalplans

Ein Grundsatz der Regionalplanung ist die Weiterentwicklung der polyzentralen Siedlungsstruktur, sowie der vielfältigen Wirtschaftsstruktur, die die Grundlage ausgewogener wirtschaftlicher, sozialer und kultureller Verhältnisse bildet und gute Voraussetzungen zur Sicherung gesunder Lebens- und Umweltbedingungen schafft. Zur Erfüllung der sich ändernden Bedürfnisse der Bevölkerung sind dezentrale Versorgungseinrichtungen und soziale Infrastrukturen an öffentlichen Verkehrsmitteln aufrechtzuerhalten und weiterzuentwickeln. Das beinhaltet auch die Stärkung der Funktionen der zentralen Orte. Die Region ist nach dem Zentrale-Orte-System unterteilt, wodurch eine Abstimmung der Entwicklung des Oberzentrums Stuttgart und der weiteren zentralen Orte notwendig ist. Die zentralen Orte der Region sind in Abbildung 13 dargestellt, welche ebenfalls die Entwicklungsachsen der Region enthält. Die Entwicklungsachsen sind die Bereiche, auf die sich die Siedlungsentwicklung, neben den zentralen Orten und Schwerpunkten der Entwicklung, konzentrieren soll. Die Bereiche zwischen den Entwicklungsachsen sind im Bereich der Erholung und des Tourismus zu entwickeln. Die Siedlungsentwicklung soll sich in diesen Bereichen ausschließlich auf die Eigenentwicklung konzentrieren (VERBAND REGION STUTT GART, 2009).

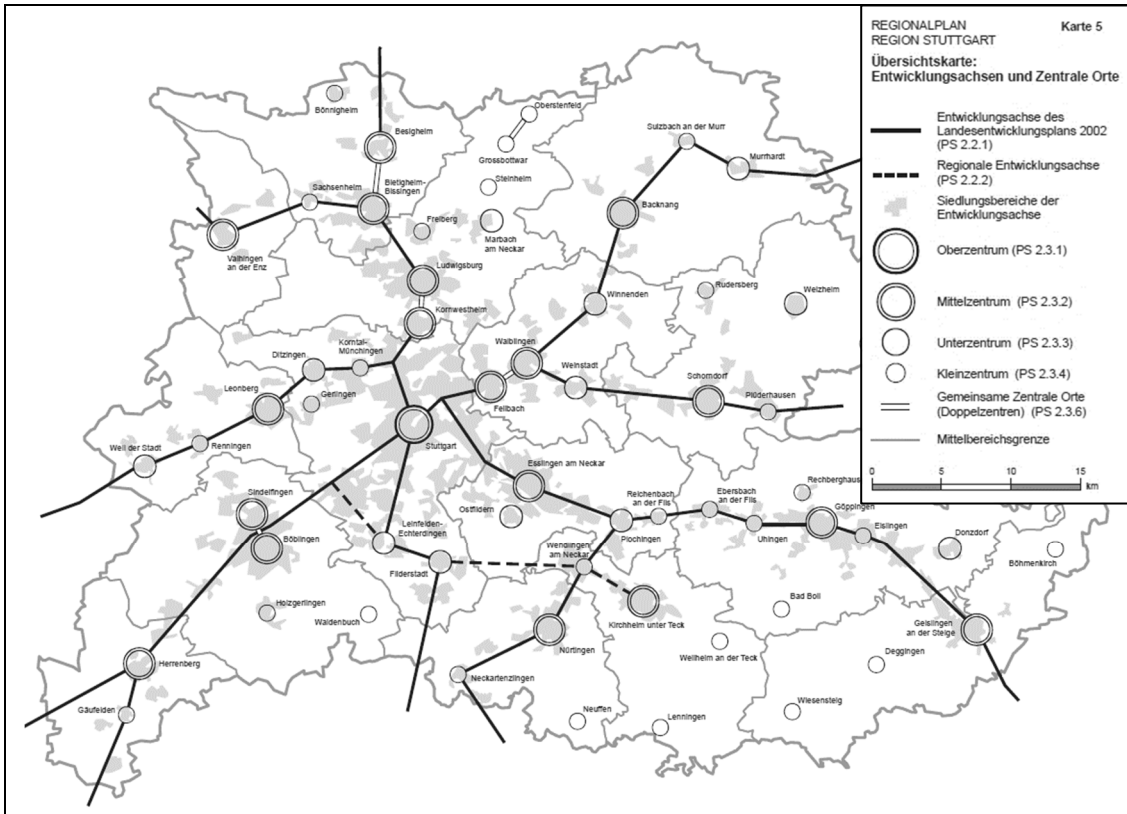


Abbildung 13: Übersicht der Entwicklungsachsen und Zentralen Orte in der Region Stuttgart (VERBAND REGION STUTTGART, 2009).

## 4 Standortanalysen mit Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen

### 4.1 Grundlagen

Um die im Kapitel 1.2 genannten Ziele umzusetzen, werden die Standortanalysen in angebots- und nachfrageorientierte Standortanalysen differenziert (siehe Abbildung 14):

- Angebotsorientierte Standortanalysen sind ohne Berücksichtigung der Nachfragewirkungen des Verkehrs durchführbar. Diese können zur Analyse von Standorten der Daseinsvorsorge mit dem Ziel der Minimierung von Zeitaufwänden herangezogen werden. Erreichbarkeits- bzw. Lagegunstanalysen unterstützen bei der Standortbeurteilung Abwägungsprozesse zwischen der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung im Hinblick auf minimale Standortaufwände. Mit den angebotsorientierten Standortanalysen können folgende Ziele erreicht werden:
  - Wie ist die Erreichbarkeit von Standorten der Daseinsvorsorge?
  - Wo sollten neue Standorte der Daseinsvorsorge angeordnet werden, wenn die Erreichbarkeit optimiert werden soll?

Die angebotsorientierte Standortanalyse kann auch für die Planung von Wohnorten und Arbeitsorten genutzt werden.

- Nachfrageorientierte Standortanalysen beziehen Nachfragewirkungen der neuen Standorte mit ein. Das ist bei der Planung von Wohn- und Arbeitsstandorten sinnvoll. Wohnstandorte sind Ausgangspunkte für alle Aktivitätenketten von Personen. Die Lage der Arbeitsstandorte bestimmt die Reiseweite für die Pflichtaktivität Arbeit und die Nutzbarkeit bestimmter Verkehrsmittel. Die Integration der Verkehrsnachfrage ermöglicht Aussagen zur Verkehrsleistung, die aufgrund der Umweltwirkungen minimiert oder mit umweltfreundlichen Verkehrsmitteln bewältigt werden soll. Mit den nachfrageorientierten Standortanalysen können folgende Fragen geklärt werden:
  - Welche verkehrlichen Wirkungen verursacht ein Standort?
  - Wo sollten neue Wohn- und Arbeitsstandorte angeordnet werden, wenn die verkehrlichen Wirkungen optimiert werden sollen?

Standortanalysen erfordern den Einsatz von Daten, die in geeigneten Datenmodellen verwaltet werden und die Grundlage für die Berechnung der Wirkungen von Standorten bilden (siehe Abbildung 14):

- Angebotsorientierte Standortanalysen benötigen für die Wirkungsanalysen je ein Datenmodell der Bevölkerung, der Standorte und des Verkehrsangebots. Die Analysen nutzen ein Erreichbarkeitswirkungsmodell, das eine vorgegebene Aktivitätenhäufigkeit pro Einwohner zu den n-nächsten Standorten der Daseinsvorsorge annimmt. Dabei wird die Moduswahl nur als vorgegebene Eingangsgröße oder gar nicht abgebildet. In diesen Modellen wird davon ausgegangen, dass der kürzeste Weg genutzt wird.

- Nachfrageorientierte Standortanalysen erfordern zusätzlich noch Datenmodelle des Mobilitätsverhaltens und der Flächenverfügbarkeit. Sie nutzen ein Wirkungsmodell der Ortsveränderung, bei dem die Aktivitätenwahl basierend auf dem Mobilitätsverhalten abgebildet wird. Die Zielwahl berücksichtigt nicht nur den nächsten Ort, sondern wird mit einem Verteilungsmodell hinterlegt. Die Abbildung der Zielwahl, der Einsatz von Aufteilungsmodellen für die Moduswahl und die Nutzung einer Umlegung ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung der Verkehre im Untersuchungsgebiet. Dabei kann die Verkehrsnachfrage differenziert nach Wegezwecken ausgerechnet werden. Zudem lassen sich Verkehrsstärken im Netz und die Verkehrsleistung je Modus und Einwohner bzw. Arbeitsplatz und in der Folge die verkehrliche Eignung je Verkehrszelle bestimmen. Die verkehrliche Eignung wird dann im weiteren Verlauf bei der Erstellung von Szenarien für die Verteilung von Wohnstandorten genutzt. Ebenso können Reisezeiten je Modus berechnet werden. Die Berechnung von Reisezeiten erfolgt ebenso in angebotsorientierten Standortanalysen. Zudem können Bedienungshäufigkeiten und Umsteigehäufigkeiten im öffentlichen Personenverkehr ermittelt werden. Diese bilden eine Grundlage für die Berechnung des Erreichbarkeitsindex, der in der Erreichbarkeitsberechnung entsteht.

Aus den Berechnungen lassen sich Szenarien ableiten, deren Ziel es ist, die Bevölkerungs- bzw. Arbeitsplatzverteilung und Standorte der Daseinsvorsorge in Abhängigkeit von den Gewichtungsfaktoren zu optimieren. Diese sind die Grundlage der Standortbildung. Nachfolgend werden beispielhaft Ansätze dargestellt (siehe Abbildung 14):

- Bei angebotsorientierten Standortanalysen erfolgt die Optimierung nach der Erreichbarkeit. Es sind folgende drei Szenarien vorstellbar:
  - Ein Szenario bildet die Schließung des nächsten Standortes ab. Die zusätzliche Reisezeit, die benötigt wird, um den übernächsten Standort anzufahren, ist das zentrale Element in diesem Szenario (Szenario 1).
  - Des Weiteren ist es vorstellbar zusätzliche Standorte für Daseinsvorsorgeeinrichtung auf Grundlage der Erreichbarkeitsberechnungen zu identifizieren (Szenario 2) oder auf Basis der Erreichbarkeiten Standorte zu ermitteln, deren Reduktion für die relevanten Bevölkerungsgruppen möglichst geringe Änderungen der Erreichbarkeit mit sich bringen (Szenario 3).
- Nachfrageorientierte Optimierungsverfahren beziehen sich auf die verkehrliche Eignung. Die Szenarien werden mit den Verkehrsnachfragemodellen, die die Lagegunst berücksichtigen, berechnet. Diese lassen sich zunächst in zwei Teile untergliedern, den Szenarien mit Zuwächsen und den Szenarien mit Standortänderungen.
  - In beiden Szenariengruppen lässt sich zunächst der Analysezustand in einem Szenario darstellen (Szenario 1).
  - Ist ein Planzustand zu ermitteln, so kann ebenso in beiden Gruppen der Planzustand mit und ohne verkehrliche Eignung modelliert werden (Szenarien 3 & 4 bzw. 2 & 3). Der Planzustand wird in diesem Zusammenhang als Bezugszustand verstanden, der in einem ersten Schritt zu erstellen ist. Dabei können verkehrs-

und raumplanerische Zielzustände berücksichtigt werden, müssen es jedoch nicht.

- In der Szenariengruppe mit Zuwächsen ist es noch vorstellbar, ein Szenario zu berechnen, das den Planzustand ohne den Einsatz von Planinstrumenten darstellt (Szenario 2). Das bedeutet, dass beispielsweise die Einwohnerverteilung in diesem Szenario die zusätzlichen Einwohner proportional zu der vorhandenen Bevölkerung auf die Verkehrszellen verteilt.

Alle Szenarien liefern unterschiedliche Ergebnisse. Es ist dem Anwender selbst überlassen, dass für ihn passende Szenario und damit einen Vorschlag der Optimierung der Standorte auszuwählen und die Ergebnisse heranzuziehen.

Aufgrund der oben beschriebenen Berechnungsabläufe ist es möglich, die Varianten in einem Durchlauf zu berechnen. Dies führt zu kurzen Rechenzeiten und einer einfachen Handhabung.

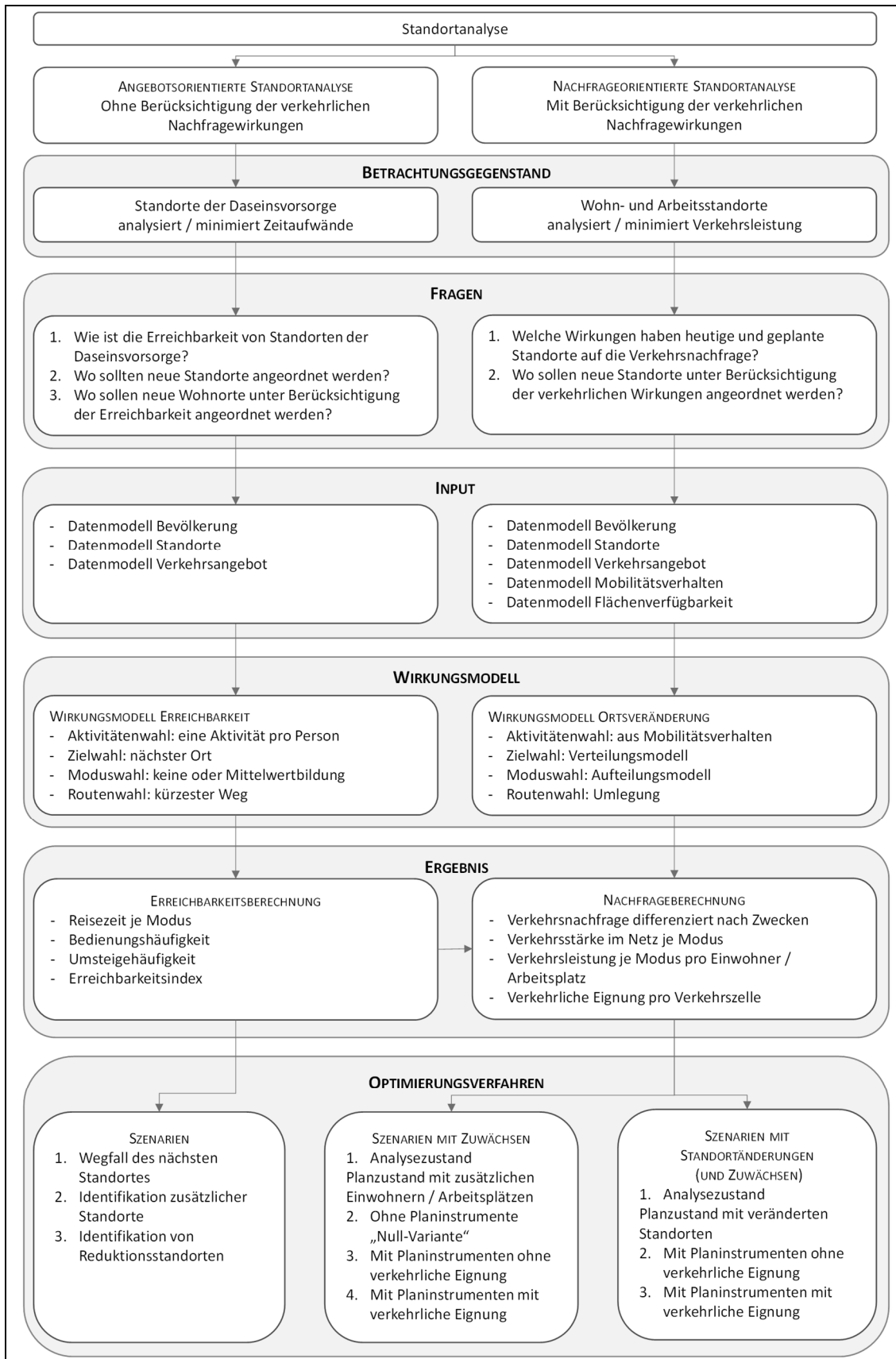


Abbildung 14: Klassifizierung von Standortanalysen im Verkehrsbereich nach der Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen.

## **4.2 Standortanalyse ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragerwirkungen**

### **4.2.1 Betrachtungsgegenstand**

Standortanalysen ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragerwirkungen analysieren Wege in den Verkehrsnetzen ohne Verkehrsbelastung. Die Länge der Wege, mit den zugehörigen Reisezeiten, haben einen Einfluss auf die Erreichbarkeit von Standorten. Standorte besitzen ein Anziehungspotenzial, welches u.a. von der Erreichbarkeit abhängig ist. Für eine gute Erreichbarkeit sind die Aufwände für die Wege vom Heimatstandort zum Zielstandort möglichst gering zu halten. Nicht ausschließlich die Entfernung hat einen Einfluss auf die Erreichbarkeit der Standorte, es spielen ebenso die Anbindung an den ÖV und dessen Taktung eine Rolle. Diese Aspekte sind für Standorte der Daseinsvorsorge entscheidend.

In einem ersten Schritt ist zu analysieren, wie die Erreichbarkeit der Standorte der Daseinsvorsorge im Untersuchungsgebiet ist. Daraus lassen sich Orte ableiten, an denen es sinnvoll sein kann, einen Standort neu zu eröffnen, um aus Sicht der Erreichbarkeit die Zeitaufwände für eine möglichst große Anzahl an Personen zu minimieren. Es können aber auch Wohnorte ermittelt werden, die eine Minimierung der Zeitaufwände zu den Standorten der Daseinsvorsorge mit sich bringen.

### **4.2.2 Erreichbarkeitsberechnungen**

Das in der Erreichbarkeitsberechnung herangezogene Wirkungsmodell der Erreichbarkeit basiert auf folgenden Untermodellen:

- Datenmodell der Bevölkerung,
- Datenmodell der Standorte und
- Datenmodell des Verkehrsangebots.

Das Wirkungsmodell beinhaltet in der Aktivitätenwahl eine Aktivität pro Person, die den nächsten Standort der Daseinsvorsorge auf dem kürzesten Weg anfährt. Dabei erfolgt eine Mittelwertbildung der Reisezeiten über den betrachteten Modus. Die Erreichbarkeitsberechnung beinhaltet eine Untersuchung der raumplanerischen und verkehrlichen Kenngrößen auf ausgewählten Quelle-Ziel-Relationen. Dies ermöglicht die Darstellung von Erreichbarkeitsänderungen, die sich aus Angebotsänderungen der Güter, Änderungen des Verkehrs- und Infrastrukturangebots, ergeben. Nachfolgend werden zunächst die Kenngrößen der Angebotsqualität beschrieben, woraus im nächsten Schritt die Kenngrößen der Erreichbarkeit ableitbar sind.

## Kenngrößen der Angebotsqualität

Kenngrößen der Angebotsqualität sind u.a.

- die Reisezeit,
- die Bedienungshäufigkeit und
- die Umsteigehäufigkeit.

Die Kenngrößen sind Ergebnisse der Modellberechnungen und können in Form von Matrizen vorliegen. Die Definitionen der Kenngrößen können Kapitel 2.6.2 entnommen werden. Für den ÖV ist eine Implementierung des Fahrplans in das Modell unerlässlich, um Bedienungshäufigkeiten und Umsteigehäufigkeiten realitätsnah abbilden zu können. Bei Prognosemodellen ist nach Möglichkeit ein prognostizierter Fahrplan im Modell zu hinterlegen.

## Kenngrößen der Erreichbarkeit

Aus einer Überlagerung der Kenngrößen der Angebotsqualität und der Standorte der Daseinsvorsorge können Kenngrößen der Erreichbarkeit abgeleitet werden. Die Kenngrößen können sowohl pro Standortkategorie und Verkehrsmittel als auch in Zusammenfassung einzelner Kategorien oder Verkehrsmittel betrachtet werden. Als Kenngrößen der Erreichbarkeit können

- die Reisezeit zum nächsten Standort,
- die Reisezeit zum übernächsten Standort,
- die mittlere Reisezeit oder
- der Erreichbarkeitsindex herangezogen werden.

Die Reisewiderstände und der Erreichbarkeitsindex basieren auf den Reisezeiten. Dementsprechend wird im Nachfolgenden ausschließlich auf die Ermittlung der Reisezeiten eingegangen.

### Reisezeit zum nächsten Standort

Die Reisezeit zum nächsten Standort der Daseinsvorsorge ist die einfachste zu berechnende Kenngröße, die verkehrssystemfein berechnet und ausgegeben werden kann. Die Reisezeit zum nächsten Standort lässt sich wie folgt beschreiben:

$$t_{gom}^{nS} = \min_{d \in Z} t_{godm}, \quad o = 1, \dots, Z \quad (15)$$

mit $t_{gom}^{nS}$	Reisezeit einer Personengruppe $g$ ausgehend von einer Startverkehrszelle $o$ zum nächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel $m$
$t_{godm}$	Reisezeit einer Personengruppe $g$ zwischen einer Startverkehrszelle $o$ und einer Zielverkehrszelle $d$ mit dem Verkehrsmittel $m$
$Z$	Menge aller Verkehrszellen ( $o = 1, \dots, Z$ ; $d = 1, \dots, Z$ )



### Reisezeit zum übernächsten Standort

Bei einer Schließung des nächsten Standortes der Daseinsvorsorge sollte die Erreichbarkeit der Standorte des dann nächsten Standortes gesichert sein. Um dies zu gewährleisten, erfolgt die Untersuchung der Reisezeiten zum übernächsten Standort der Daseinsvorsorge.

$$t_{gom}^{ünS} = \begin{cases} \min_{d \in Z} t_{godm}, & t_{godm} = 9.999 \\ t_{godm}, & t_{godm} = t_{godm} \end{cases} \quad (16)$$

$$t_{gom}^{ünS} = \min_{d \in Z} t_{godm}, \quad o = 1, \dots, Z$$

mit $t_{gom}^{ünS}$	Reisezeit einer Personengruppe g ausgehend von einer Startverkehrszelle o zum übernächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel m
$t_{godm}$	Reisezeit einer Personengruppe g zwischen einer Startverkehrszelle o und einer Zielverkehrszelle d mit dem Verkehrsmittel m
Z	Menge aller Verkehrszellen (o = 1, ..., Z; d = 1, ..., Z)

In einem ersten Schritt wird die minimale Reisezeit mit einer fiktiven hohen Reisezeit von 9.999 Minuten überschrieben und anschließend, wie bei der Ermittlung der Reisezeit zum nächsten Standort, die minimale Reisezeit ermittelt. Daraus ergibt sich die Reisezeit zum übernächsten Standort.

### Mittlere Reisezeit

Die mittlere Reisezeit stellt eine Aggregation der Reisezeiten der Verkehrszellen einer Gemeinde zu einem gewichteten Mittelwert für alle Wohnstandorte innerhalb der Gemeinde dar. Die Gewichtung erfolgt dabei über die Anzahl der Einwohner. Die Kenngröße lässt sich für die Reisezeiten zum nächsten Standort der Daseinsvorsorge bzw. die Reisezeiten zum übernächsten Standort der Daseinsvorsorge ermitteln (vgl. Formel (17)).

$$t_{gom}^{Gem} = \frac{\sum_{o \in Gem} t_{gom} \cdot EW_{go}}{EW_{go}} \quad (17)$$

mit $t_{gom}^{Gem}$	Personenstunden der Personengruppe g ausgehend von einer Gemeinde Gem zum nächsten bzw. übernächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel m
$t_{gom}$	Reisezeit einer Personengruppe g ausgehend von einer Startverkehrszelle o zum nächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel m
$EW_{go}$	Anzahl Personen einer Personengruppe g in einer Verkehrszelle o
Gem	Menge aller Verkehrszellen innerhalb einer Gemeinde (o = 1, ..., Gem)

### 4.2.3 Optimierungsverfahren

#### Szenario 1 - Wegfall des nächsten Standortes

In dem Szenario 1 wird versucht, auf folgende Fragen Antworten zu geben:

- Was passiert, wenn der nächste Standort einer Standortkategorie schließt?
- Welche Effekte auf die Erreichbarkeit hätte das damit verbundene Ausweichen auf den übernächsten Standort?

Die Ermittlung der Erreichbarkeit erfolgt unter der Annahme, dass die Bevölkerung immer den nächsten geeigneten Standort der Standortkategorie ihrer Aktivität nutzt. Die Reisezeitverlängerungen, die sich aus der Schließung des nächsten Standortes ergeben, können für jeden Wohnstandort differenziert nach den vorhandenen Modi im Verkehrsnachfragemodell ermittelt und dargestellt werden. Herangezogen werden die Kenngrößen der Erreichbarkeit zum übernächsten Standort je Verkehrsmittel (vgl. Kapitel 4.2.2).

Dies ermöglicht die Identifizierung vulnerabler Räume, für die die Schließung des nächsten Standortes relevante Folgen auf die Erreichbarkeit hätte. Die Räume sind u.U. von der Versorgung durch diesen oder wenigen anderen Standorten abhängig. In Räumen mit einer redundanten Angebotsstruktur, ergeben sich bei Standortschließungen i.d.R. keine negativen Auswirkungen auf die Erreichbarkeit der Daseinsvorsorgeeinrichtung. Räume mit redundanten Angebotsstrukturen<sup>2</sup> sind beispielsweise Orte mit einer Zentralität, wie Mittel- oder Unterzentren.

#### Szenario 2 - Identifikation zusätzlicher Standorte

Das Szenario 2 identifiziert auf Grundlage der Erreichbarkeit Standorte, an denen es sinnvoll wäre, einen zusätzlichen Standort zu errichte, unter der Annahme, dass ein zusätzlicher Standort so angeordnet wird, dass der Reisezeitaufwand der betroffenen Bevölkerungsgruppe mit dem entsprechenden Verkehrsmittel minimiert werden kann. Die Betrachtung erfolgt differenziert nach Standortkategorien sowie der betroffenen Bevölkerungsgruppe und verfolgt das Ziel, bestehende Erreichbarkeitsdefizite zu reduzieren.

---

<sup>2</sup> Als redundante Angebotsstruktur wird in diesem Zusammenhang die Existenz mehrerer Standorte gleicher Standortkategorie in räumliche Nähe zueinander verstanden.

Die Ermittlung der Erreichbarkeitsdefizite wird durch folgenden Berechnungsablauf optimiert:

1. Für jede Verkehrszelle ist die maximale Reduktion der Reisezeit bei der Eröffnung eines neuen Standortes zu berechnen.
2. Die maximale Reisezeitersparnis ist mit der Anzahl der Einwohner in der betrachteten Bevölkerungsgruppe in der Verkehrszelle zu gewichten. Woraus sich pro Verkehrszelle ein Potenzial für die Reduktion der Reisezeit ergibt.
3. Die Verkehrszelle mit dem größten Potenzial sollte nach Zielen des Szenarios 2 für die Ansiedelung eines neuen Standortes herangezogen werden.

### **Szenario 3 - Identifikation von Reduktionsstandorten**

Im Gegensatz zu Szenario 2 ist im Szenario 3 ein existierender Standort einer Standortkategorie zu identifizieren, bei dem eine Schließung des Standortes einen minimalen Reisezeitmehraufwand der relevanten Bevölkerungsgruppe mit sich bringt. Das Szenario spiegelt die Situation wider, dass aus Kosten- und Effizienzgründen die Anzahl an Standorten im Untersuchungsgebiet reduziert werden muss.

Die Ermittlung der Reduktionsstandorte erfolgt durch folgenden Berechnungsablauf:

1. Für jede Verkehrszelle ist die Fahrzeitdifferenz zwischen dem nächsten und übernächsten Standort zu berechnen.
2. Die Fahrzeitdifferenz ist mit der Anzahl der Einwohner in der betrachteten Bevölkerungsgruppe in der Verkehrszelle zu gewichten, woraus sich pro Verkehrszelle ein Potenzial für die Reduktion eines Standortes ergibt.
3. Die Verkehrszelle mit der kleinsten Differenz an zusätzlicher Fahrzeit sollte nach Zielen des Szenarios 3 für die Reduktion eines Standortes herangezogen werden.

## **4.3 Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen**

### **4.3.1 Betrachtungsgegenstand**

Eine Integration von Standortanalysen in Verkehrsnachfragemodellen ermöglicht die Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen. Die Verkehrsleistung kann ausgehend von Wohn- bzw. Arbeitsstandorten unter Einbezug der verkehrlichen Situation im Untersuchungsgebiet in die Standortanalyse integriert werden. Dadurch wird es möglich, im weiteren Verlauf die Verkehrsleistung in Hinblick auf die gewünschte Zielsetzung in den Modellrechnungen zu verändern. Durch den Einbezug der verkehrlichen Nachfragewirkungen können Fragen bezüglich der Auswirkungen auf die Standortwahl und die Identifikation geeigneter Standorte beantwortet werden (vgl. Abbildung 14).

### **4.3.2 Nachfrageberechnung**

Das in der Nachfrageberechnung herangezogene Wirkungsmodell der Ortsveränderung basiert auf folgenden Untermodellen:

- Datenmodell der Bevölkerung,
- Datenmodell der Standorte,
- Datenmodell des Verkehrsangebots,
- Datenmodell des Mobilitätsverhaltens und
- Datenmodell der Flächenverfügbarkeit.

Mit der Kombination der Datenmodelle ist es möglich, die Verkehrsnachfrage differenziert nach Zwecken zu berechnen. Des Weiteren kann die Verkehrsstärke im Verkehrsnetz je Modus, die Verkehrsleistung je Modus pro Einwohner bzw. Arbeitsplatz und die verkehrliche Eignung je Verkehrszelle ermittelt werden. Nachfolgend wird die Berechnung der herangezogenen Kenngrößen vorgestellt, die in einem weiteren Schritt zu bewerten sind und in eine verkehrliche Eignung pro Verkehrszelle zusammengefasst werden. Dies ermöglicht den Vergleich der Verkehrszellen untereinander.

### **Ermittlung der Kenngrößen**

#### Verkehrsleistung

Basierend auf den Ergebnissen der Verkehrsnachfrageberechnungen können die Ortsveränderungen mit einem Heimat- bzw. Arbeitsplatzbezug identifiziert werden. Ortsveränderungen ohne Heimatbezug, wie beispielsweise von der Sportstätte zur Einkaufseinrichtung, sind keiner Verkehrszelle zuordenbar und gehen dementsprechend nicht in die Ermittlung der verkehrlichen Eignung ein. Im Allgemeinen kann für die Modi Fuß, Rad,

Pkw und öffentlicher Verkehr die Verkehrsleistung ermittelt werden<sup>3</sup>. Die tägliche mittlere Verkehrsleistung pro Modus ergibt sich wie folgt:

$$v_{gom}^{EW} = \frac{\sum_{d \in Z} d_{godm}^W \cdot l_{godm}}{EW_{go}} \quad (18)$$

$$\text{mit } d_{godm}^W = d_{gom}^{p=W} + d_{gdm}^{a=W^T}$$

$$v_{gom}^{AP} = \frac{\sum_{d \in Z} d_{godm}^{AP} \cdot l_{godm}}{AP_{go}} \quad (19)$$

$$\text{mit } d_{godm}^{AP} = d_{gom}^{p=AP^T} + d_{gdm}^{a=AP}$$

mit $v_{gom}^{EW}$	Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m
$v_{gom}^{AP}$	Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g (Arbeit) der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m
$d_{godm}^W / d_{godm}^{AP}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g zwischen den Verkehrszellen o und d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen oder enden am Wohnort W / Arbeitsplatz AP)
$d_{gom}^{p=W} / d_{gom}^{p=AP^T}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g ausgehend von der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen am Wohnort W / Arbeitsplatz AP)
$d_{gdm}^{a=W^T} / d_{gdm}^{a=AP}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g ausgehend von der Verkehrszelle d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen enden am Wohnort W / Arbeitsplatz AP)
$l_{godm}$	Länge einer Ortsveränderung der Nutzergruppe g zwischen den Verkehrszelle o und d mit dem Verkehrsmittel m
$EW_{go} / AP_{go}$	Anzahl Einwohner / Arbeitsplätze einer Nutzergruppe g in der Verkehrszelle o
Z	Menge aller Verkehrszellen (d = 1, ..., Z)

### Verkehrsleistung auf ausgelasteten Verkehrswegen

Eine räumliche Differenzierung der Auswirkungen der Verkehrsleistung einer Verkehrszelle auf die Auslastungen im Verkehrsnetz ist mit den Formeln (18) und (19) nicht möglich. Dementsprechend ist es notwendig, die Reiseweite zwischen zwei Verkehrszellen in einzelne Auslastungsklassen zu unterteilen, woraus sich die Formeln (20) und (21) ergeben.

<sup>3</sup> Eine weitere Unterteilung der Modi kann je nach Untersuchungsgegenstand und -gebiet sinnvoll sein.

$$v_{gomk}^{EW} = \frac{\sum_{d \in Z} d_{godm}^W \cdot l_{godmk}}{EW_{go}} \quad (20)$$

$$v_{gomk}^{AP} = \frac{\sum_{d \in Z} d_{godm}^{AP} \cdot l_{godmk}}{AP_{go}} \quad (21)$$

- mit  $v_{gomk}^{EW} / v_{gomk}^{AP}$  Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g (Einwohner / Arbeit) der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m in der Auslastungsklasse k
- $d_{godm}^W / d_{godm}^{AP}$  Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g zwischen den Verkehrszellen o und d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen oder enden am Wohnort W / Arbeitsplatz AP)
- $l_{godmk}$  Länge einer Ortsveränderung der Nutzergruppe g zwischen den Verkehrszelle o und d mit dem Verkehrsmittel m in der Auslastungsklasse k
- $EW_{go} / AP_{go}$  Anzahl Einwohner / Arbeitsplätze einer Nutzergruppe g in der Verkehrszelle o
- Z Menge aller Verkehrszellen ( $d = 1, \dots, Z$ )

Je nach Modus erfolgt eine differenzierte Unterscheidung nach den Auslastungsklassen. Eine Einteilung in vier Auslastungsklassen, siehe Tabelle 14, erscheint für die Berechnungen sinnvoll.

Auslastungsklasse	Beschreibung
1	Verkehrswege bzw. Fahrzeuge mit geringer Auslastung
2	Verkehrswege bzw. Fahrzeuge mit mittlerer Auslastung
3	Verkehrswege bzw. Fahrzeuge mit hoher Auslastung
4	Verkehrswege bzw. Fahrzeuge mit sehr hoher Auslastung (überlastete Verkehrswege bzw. Fahrzeuge)

Tabelle 14: Klassifizierung der Auslastung der Verkehrswege im Pkw-Verkehr und der Fahrzeuge im ÖV.

Die Ermittlung der Auslastung pro Verkehrsweg kann auf Grundlage der Ergebnisse der Verkehrsumlegung des Verkehrsnachfragemodells erfolgen. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von externen Daten, wie beispielsweise Geschwindigkeitsdaten von TomTom, INRIX oder externen Fahrzeugauslastungsdaten. Die externen Daten sind für weiteren Berechnungen in das Verkehrsnachfragemodell zu integrieren. Nach Datenverfügbarkeit sind neben dem Pkw und ÖV weitere Verkehrsmittel, wie Fuß und Rad, in die Betrachtung einzubeziehen.

#### Weitere Kenngrößen zur Berechnung der verkehrlichen Eignung

Neben der Verkehrsleistung können beispielsweise die Bedienungshäufigkeit und die Nähe der Verkehrszelle zur nächsten Haltestelle des Schienenverkehrs in der verkehrlichen Bewertung Berücksichtigung finden. Den Verkehrszellen, die außerhalb des Einzugsbereichs von Schienenhaltepunkten liegen, wird in diesen Fällen der Wert 0 zugewiesen. Liegen die Verkehrszellen in einem Einzugsbereich, dann sind die Bedienungshäufigkeiten als Werte heranzuziehen. In Orten mit höherer Zentralität kann es vorkom-

men, dass Verkehrszellen sich außerhalb des Einzugsbereiches von Schienenhaltstellen befinden. Liegen diese in einem Einzugsbereich, beispielsweise maximal 3,5 km, kann die Bedienungshäufigkeit der Zubringerfahrten herangezogen werden. Generell sollte die Bedienungshäufigkeit ausschließlich in eine Fahrtrichtung ausgewertet werden, beispielsweise zum Zentrum des nächsten Oberzentrums.

### Bewertung der Kenngrößen

Zur Verknüpfung der einzelnen Kenngrößen ist es erforderlich, eine einheitliche Bewertungsgröße zu generieren. Dafür wird jede Kenngröße separat mit einer Bewertungsfunktion bewertet und die Bewertungen anschließend miteinander verknüpft. Als Bewertungsfunktion kann eine lineare Funktion, die im Wertebereich zwischen 0 und 1 definiert ist, herangezogen werden. Es werden ausschließlich Werte zwischen dem 15 % und 85 % Perzentil in die lineare Funktion übertragen. Die Werte unterhalb des 15 % Perzentils bzw. oberhalb des 85 % Perzentils werden auf 0 bzw. 1 gesetzt. Jeder Wert zwischen dem 15 % und 85 % Perzentil einer Kenngröße wird in das Bewertungsschema zwischen 0 und 1 transformiert, wobei 0 die schlechteste und 1 die beste Bewertung darstellt. Die oben genannten Kenngrößen erfordern die Definition von zwei linearen Bewertungsfunktionen, einer fallenden und einer steigenden Funktion (vgl. Formel (22)).

$$\begin{aligned}
 B1(x) &= \frac{x - x_{p15}}{x_{p85} - x_{p15}} \\
 B2(x) &= \frac{x - x_{p85}}{x_{p15} - x_{p85}}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

mit	$B1(x) / B2(x)$	Bewertung eines Wertes $x$
	$x_{p15}$	15 % Perzentil der Wertemenge
	$x_{p85}$	85 % Perzentil der Wertemenge

Der Verlauf der Funktionen ist in Abbildung 15 dargestellt.

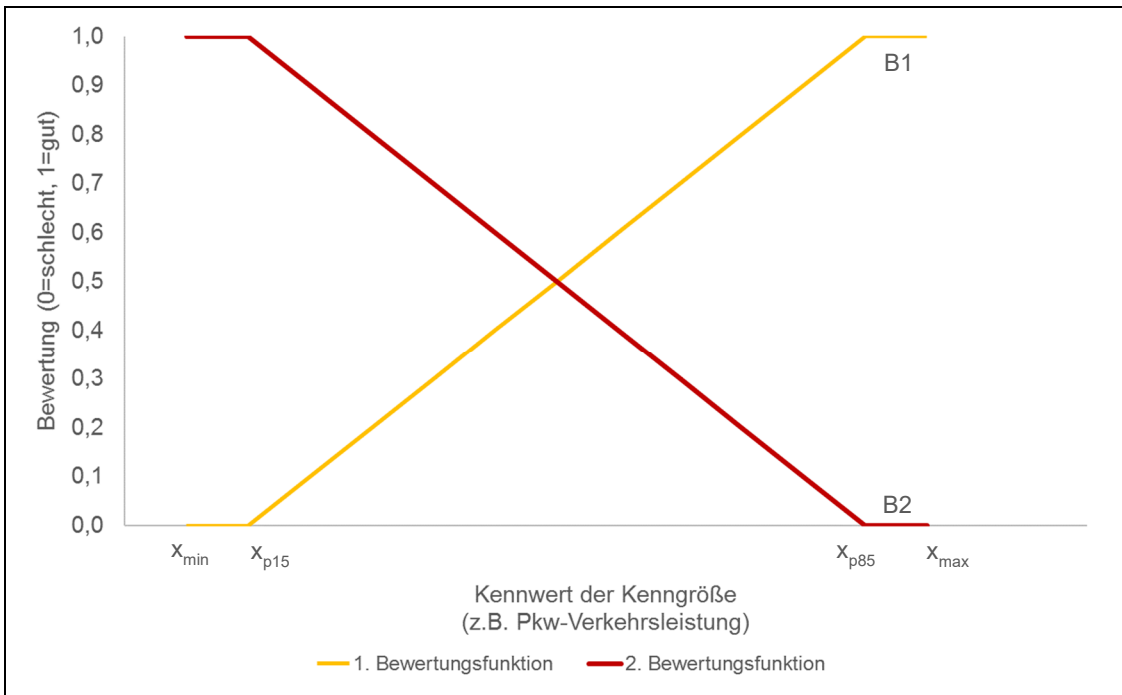


Abbildung 15: Verlauf der Bewertungsfunktionen der Kenngrößen der Einwohner.

Die Zuordnung der Bewertungsfunktionen zu den Kenngrößen erfolgt in Tabelle 15.

Kenngröße	Zielrichtung	Bewertungsfunktion
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes	Verkehrsleistung soll klein sein	Funktion B2
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes auf gering und mittel ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 1 und 2)	Verkehrsleistung soll hoch sein	Funktion B1
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes auf hoch und sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 3 und 4)	Verkehrsleistung soll klein sein	Funktion B2
ÖV-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes auf gering und mittel ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 1 und 2)	Verkehrsleistung soll hoch sein	Funktion B1
ÖV-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes auf hoch und sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 3 und 4)	Verkehrsleistung soll klein sein	Funktion B2
Bedienungshäufigkeit im ÖV	Bedienungshäufigkeit soll hoch sein	Funktion B1

Tabelle 15: Zuordnung der Bewertungsfunktionen zu den Kenngrößen der verkehrlichen Eignung der Einwohner bzw. Arbeitsplätze.



Auf Grundlage der bewerteten Kenngrößen ist es in einem weiteren Schritt möglich, eine Gesamtbewertung<sup>4</sup> pro Verkehrszelle zu ermitteln. Aufbauend auf Sensitivitätstests und mit dem Ziel die Pkw-Verkehrsleistung zu minimieren, können folgende Gewichtungsfaktoren zugrunde gelegt werden.

Bewertungsgröße	Anteil an Gesamtbewertung
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes	0,5
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes auf sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4)	0,1
ÖV-Verkehrsleistung eines Einwohners / Arbeitsplatzes auf sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4)	0,2
Bedienungshäufigkeit im ÖV	0,2

Tabelle 16: Gewichtung der bewerteten Kenngrößen für die Gesamtbewertung der Verkehrszellen pro Einwohner.

### 4.3.3 Ermittlung der verfügbaren Flächenreserven

Die amtlichen Flächenstatistiken bilden die Siedlungsflächenentwicklung auf Gemeindeebene ab. Je nach Verkehrszellengröße des Verkehrsnachfragemodells kann ggf. die Einteilung nicht ausreichen. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS<sup>5</sup>). Diese liegen flächendeckend vor und ermöglichen eine Zuordnung der Flächen zu den Verkehrszellen. Aus den Datenquellen können zudem vorangegangene Entwicklungen abgeleitet werden. Um Aufsiedelungsraten berechnen zu können, ist es notwendig, die verfügbaren aktuell gültigen Flächennutzungspläne der Gemeinden zu untersuchen und auszuwerten. Aufgrund der Aktualität der FNP kann es sinnvoll sein, diese mit verfügbaren Luftbildaufnahmen zu vergleichen oder diese von den Gemeinden überprüfen zu lassen. Mittels der Luftbildaufnahmen wird zwischen unbebauten und bebauten Flächenreserven unterschieden, wobei der Begriff bebaute Flächenreserven Flächen definiert, die in den aktuellen FNP unbebaut sind, auf denen jedoch in den letzten Jahren eine Bebauung stattfand. Aus den ermittelten Flächen können mittels der nachfolgend ermittelten Dichten Potenziale berechnet werden. Die Potenziale beinhalten die mögliche Anzahl an Einwohnern bzw. Arbeitsplätzen. Nachfolgend ist differenziert für Wohnbau und Industrie- und Gewerbeflächen dargestellt, wie die Potenziale ermittelt werden können.

<sup>4</sup> Eine Variation der Bewertungsgrößen, sowie der Gewichtungsfaktoren ist grundsätzlich denkbar und möglich.

<sup>5</sup> Nähere Informationen über die ATKIS-Daten erhalten Sie zum Beispiel unter: <http://www.adv-online.de/Adv-Produkte/Geotopographie/ATKIS/> (abgerufen am: 31.03.2021)

Wohnbauflächen

Auf Grundlage der verfügbaren Flächen und der zuvor ermittelten Siedlungsflächenentwicklung können je Verkehrszelle Kapazitäten für die Bereitstellung von Wohnraum für zusätzliche Einwohner berechnet werden. Liegt bereits ein Modell für den Prognosezeitraum vor, so können Unter- oder Überversorgungen von Wohnbauflächen identifiziert werden, die durch eine Umverteilung gelöst werden können. Liegt kein Prognosemodell vor bzw. soll dieses überarbeitet werden, dann sind für die verfügbaren Flächen die Orientierungswerte der Regionalpläne heranzuziehen. In den Regionalplänen wird nach Zentralität und Funktionalität unterschieden und die Bruttowohndichten entsprechend angepasst. Tabelle 17 zeigt beispielsweise die Einteilung des Gebiets nach der Zentralität mit der dazugehörigen Bruttowohndichte der Region Stuttgart.

Einteilung der Gebiete	Bruttowohndichte (EW / ha)
Oberzentrum	90
Schwerpunkte des Wohnungsbaus	90
Mittelzentren	80
Unterkentren	70
Sonstige Gemeinden mit verstärkter Siedlungstätigkeit	60
Gemeinden beschränkt auf Eigenentwicklung im Verdichtungsraum und der Randzone um den Verdichtungsraum	55
übrige Gemeinden beschränkt auf Eigenentwicklung	50

Tabelle 17: Bruttowohndichte der Region Stuttgart (VERBAND REGION STUTTGART, 2009).

Werden im Regionalplan keine Angaben zu Bruttowohndichten gegeben, dann können allgemeine Bruttowohndichten für Gebietstypen der FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2006) herangezogen werden. Die „Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen“ geben für Baugebiete nach der Baunutzungsverordnung (BauNVO) grobe Schätzwerte für typische Einwohnerdichten (vgl. Tabelle 18).

Gebietstyp	Bruttowohndichte (EW / ha)
Kleinsiedlungsgebiet	10 – 50
Reines Wohngebiet	10 – 150
Allgemeines Wohngebiet	50 – 150
Besonderes Wohngebiet	100 – 200
Dorfgebiet	50 – 100
Mischgebiet	50 – 150
Kerngebiet	10 – 20
Gewerbegebiet	0 – 10
Industriegebiet	0 – 5

Tabelle 18: Bruttowohndichte nach Baugebietstypen nach BauNVO (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006, P. 12).

Die Bruttowohndichten bilden die Grundlage für die Einwohnerverteilung und werden im nächsten Schritt, der Bildung von Szenarien, herangezogen.

### Industrie- und Gewerbeflächen

Die Industrie- und Gewerbeflächen werden wie die Wohnbauflächen in der Siedlungsflächenentwicklung der amtlichen Flächenstatistik auf Gemeindeebene abgebildet. Der Einbezug der FNP der Gemeinden ermöglicht eine Berechnung der Aufsiedlungsrate. Aufgrund der Aktualität der FNP kann es sinnvoll sein, diese mit verfügbaren Luftbilddaufnahmen zu vergleichen oder diese von den Gemeinden überprüfen zu lassen. Auf Grundlage der verfügbaren Flächen und der zuvor ermittelten Siedlungsflächenentwicklung können je Verkehrszelle Kapazitäten für die Bereitstellung von Industrie- und Gewerbeflächen für zusätzliche Arbeitsplätze berechnet werden. Liegt bereits ein Modell für den Prognosezeitraum vor, so können Unter- oder Überversorgungen von Industrie- und Gewerbeflächen identifiziert werden, die durch eine Umverteilung gelöst werden können. Existiert kein Prognosemodell bzw. ist dieses zu überarbeiten, dann können für die Industrie- und Gewerbeflächen Orientierungswerte herangezogen werden. Die „Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen“ der FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2006) liefern Schätzwerte der typischen Beschäftigtendichte für Baugebiete nach Baunutzungsordnung. Aus Tabelle 19 wird ersichtlich, dass für die Zuordnung der Bruttobeschäftigtendichte die Kenntnis über die Gebietstypen im Untersuchungsgebiet essenziell ist. Liegt keine Kenntnis darüber vor, dann sind gröbere Schätzverfahren anzuwenden.

Gebietstyp	Bruttobeschäftigtendichte (AP / ha)
Kleinsiedlungsgebiet	0 – 5
Reines Wohngebiet	0 – 5
Allgemeines Wohngebiet	5 – 20
Besonderes Wohngebiet	10 – 20
Dorfgebiet	10 – 30
Mischgebiet	50 – 100
Kerngebiet	150 – 500
Gewerbegebiet	50 – 150
Industriegebiet	10 – 100

Tabelle 19: Bruttobeschäftigtendichte nach Baugebietstypen nach BauNVO (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006, P. 12).

Die Bruttobeschäftigtendichten bilden die Grundlage für die Ermittlung der Arbeitsplatzverteilung und werden im nächsten Schritt, der Bildung von Szenarien, herangezogen. Es wird angenommen, dass die Anzahl der Beschäftigten die Anzahl der Arbeitsplätze darstellt.

#### **4.3.4 Optimierungsverfahren der Einwohnerentwicklung und -verteilung**

Für eine Reduktion der Verkehrsleistung können in den Optimierungsverfahren ausschließlich die Einwohnerzahlen herangezogen werden, die sich in dem Untersuchungsgebiet zusätzlich ansiedeln. Gibt es weitere Aussagen zu Bevölkerungsbewegungen, sind diese ebenso zu berücksichtigen. Die Grundlage für zusätzliche Einwohner im Untersuchungsgebiet bilden Bevölkerungsprognosen der statistischen Ämter, wie Landesämter.

Aufgrund von Änderungen der Altersstruktur und der daraus resultierenden Änderungen der Reiseweiten kann nicht angenommen werden, dass sich die Verkehrsleistung proportional zum Einwohnerwachstum entwickelt. Um eine Vergleichbarkeit der Szenarien im Prognosezeitraum mit dem Ist-Zustand herstellen zu können, ist es nötig, die Bevölkerungsstruktur des Analysezustands an die prognostizierte Altersstruktur anzupassen.

Neben der Einwohnerentwicklung ist es möglich, die zusätzlichen Einwohner, die bis zum Prognosejahr in den Planungsraum kommen, in verschiedenen Szenarien auf die Verkehrszellen zu verteilen. Aus den Szenarien kann ebenso die Wirkung unterschiedlicher Instrumente der Siedlungsentwicklung und die dadurch entstehenden zusätzlichen Verkehrs- und Umweltbelastungen untersucht werden. Tabelle 20 enthält Szenarien, die die verkehrlichen Bewertungen und die Instrumente der Siedlungsentwicklung beinhalten. Diese Szenarien werden im Folgenden erläutert.

Szenario	Beschreibung	Verkehrsangebot / Einwohnerzahlen	Einwohnerzusammensetzung	Vorrangige Nutzung der Flächenreserven	Berücksichtigung der verkehrlichen Eig-nung
0-Ana	Analysezustand mit Bevölkerungszusammensetzung des Analysejahres	Pro / Ana	Ana	-	-
0-Pro	Analysezustand mit Bevölkerungszusammensetzung des Prognosejahres	Pro / Ana	Pro	-	-
1	Szenario ohne Planinstrumente mit einer proportionalen Einwohnerverteilung - „Null-Variante“	Pro / Pro	Pro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Szenario mit einer Einwohnerverteilung basierend auf Prognosen des statistischen Amtes - „Ist-Zustand“	Pro / Pro	Pro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Szenario mit einer optimierten Verteilung der zusätzlichen Einwohner - „Soll-Zustand“	Pro / Pro	Pro	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4*	Szenario mit einer optimierten Verteilung der zusätzlichen Einwohner - „Soll-Zustand“ + zusätzliche Einwohner	Pro / Pro+	Pro	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Abkürzungen / Anmerkungen</b>					
Ana	Analysezustand / Analysejahr				
Pro	Prognosezustand / Prognosejahr				
Pro+	Prognosezustand / Prognosejahr, mit einem weiteren Zeithorizont als bei Pro				
*	Szenario 4 kann in folgende 2 Unterszenarien unterteilt werden: 4.1 geht von einer Nutzung aller verfügbaren Flächen aus und ermittelt die maximal mögliche Anzahl an zusätzlichen Einwohnern 4.2 basiert auf 4.1 und verteilt zusätzliche Einwohner				

Tabelle 20: Szenarien der Einwohnerentwicklung.

### Szenario 0-Ana

Das Szenario setzt sich aus den Einwohnern und deren Zusammensetzung des Analysejahres sowie dem Verkehrsangebot des Prognosejahres zusammen. Ziel ist es, eine Vergleichbarkeit zu den nachfolgend entwickelten Szenarien herstellen zu können.

### Szenario 0-Pro

Das Szenario dient dazu, die Einflüsse der veränderten Bevölkerungszusammensetzung des Analyse- und Prognosejahres auf die Verkehrsleistung auszuschließen. Die Einwohner in dem Szenario setzen sich aus den Einwohnern des Analysejahres und der Einwohnerzusammensetzung des Prognosejahres zusammen. Das Verkehrsangebot basiert auf dem Prognosejahr. 0-Pro wird als Referenzszenario herangezogen, wodurch

Auswirkungen der zusätzlichen Einwohner in den darauffolgenden Szenarien untersucht werden können.

### **Szenario 1 - „Null-Variante“ ohne Planinstrumente**

In der „Null-Variante“ wird davon ausgegangen, dass die regionalplanerischen Steuerungsinstrumente nicht zur Anwendung kommen. Die erwarteten zusätzlichen Einwohner und die daraus resultierende veränderte Verkehrsnachfrage werden unabhängig von den regionalplanerischen Zielen und Instrumenten, wie z.B. das Zentrale-Orte-Prinzip, proportional zu den Einwohnern des Analysejahres, auf die Verkehrszellen verteilt. Die proportionale Entwicklung der Einwohner beinhaltet jedoch die regionalplanerischen Steuerungswirkungen aus den vorangegangenen Jahren. Daher ist zu erwarten, dass sich die verkehrlichen Wirkungen im Vergleich zum Szenario 2 nicht drastisch verschlechtern werden.

### **Szenario 2 - Ist-Zustand**

Das Szenario stellt das Bezugsszenario dar. Die Einwohnerverteilung und -zusammensetzung basieren auf den Prognosen der statistischen Ämter. Die Angaben können an die Vorgaben des Regionalplans bzw. den Orientierungswerten aus der Literatur angepasst werden und die Anzahl der Einwohner entsprechend verteilt werden. Eine Betrachtung der verfügbaren Flächen aus den FNP erfolgt nicht.

### **Szenario 3 - Soll-Zustand**

Die zusätzlichen Einwohner werden in dem Szenario unter Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung so verteilt, dass die verkehrlichen Ziele erreicht werden können. Verkehrliche Ziele sind die Reduktion der zusätzlichen Verkehrsleistung und die Minimierung zusätzlicher Umweltbelastungen. Zur Zielerreichung werden verschiedene Unterszenarien definiert, die sich in folgenden Ausprägungen unterscheiden:

- Nutzung und Umgang der verfügbaren Flächenreserven
  - Die Szenarien 3.X1 basieren nicht auf der Restriktion, dass die zusätzlichen Einwohner auf die verfügbaren Flächenreserven aufgeteilt werden müssen. Die Einwohneränderungen je Verkehrszelle, d.h. Zuwächse und Rückgänge, sind im Umfang der im Szenario 2 ermittelten Einwohneränderungen möglich. Des Weiteren können zusätzlich Einwohner in Verkehrszellen mit Flächenreserven simuliert werden.
  - Im Gegensatz zu den Szenarien 3.X1 gilt in den Szenarien 3.X2 die Restriktion, dass die Einwohnerzuwächse je Verkehrszelle die maximal zulässigen zusätzlichen Einwohnerkapazitäten aus den verfügbaren Flächenreserven der FNP nicht überschreiten dürfen.
- Der Umgang mit den Einwohnerdichtevorgaben zum Beispiel aus dem Regionalplan. Aufgrund der verfügbaren Flächenreserven und den erwarteten Einwohnerzuwächsen kann es sinnvoll sein, die regionalplanerische Mindestdichten um das 1,5-fache bzw. 2,0-fache zu erhöhen.

- Einbezug der verkehrlichen Bewertung in die Verteilung der zusätzlichen Einwohner. In den Szenarien 3.3X wird die Bewertung der verkehrlichen Eignung variiert. Unter der Annahme, dass Fahrzeugauslastungen im ÖV keinen limitierenden Faktor darstellen, wird die verkehrliche Eignung auf Grundlage der Kenngrößen
  - Personenkilometer im Pkw-Verkehr,
  - Personenkilometer im Pkw-Verkehr in der Auslastungsklasse 4 und
  - ÖV Bedienungshäufigkeit berechnet.

Eine Zusammenfassung der Unterszenarien enthält Tabelle 21. Diese zeigt für jedes Unterszenario die genutzten Kenngrößen der verkehrlichen Eignung, sowie die vorrangige Nutzung der Flächenreserven und Mindestdichten.

Szenario	Personenkilometer (PKm) im Pkw-Verkehr	ÖV Bedienungshäufigkeit	PKm im Pkw-Verkehr in der Auslastungsklasse 4	PKm im ÖV in der Auslastungsklasse 4	Faktor Mindestdichte <sup>6</sup>	Vorrangige Nutzung von Flächenreserven
3.11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,0 - 1,5	<input type="checkbox"/>
3.12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,0 - 1,5	<input checked="" type="checkbox"/>
3.21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2,0	<input type="checkbox"/>
3.22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2,0	<input checked="" type="checkbox"/>
3.31	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,0	<input type="checkbox"/>
3.32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,0	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabelle 21: Übersicht der Grundszenarien im Szenario 3.

Die Verteilung der zusätzlichen Einwohner wird mit folgendem Berechnungsablauf optimiert:

1. Berechnen die statistischen Ämter zukünftig einen Einwohnerrückgang in den Verkehrszellen, so ist dieser zu beachten und einzuhalten.
2. Die Verkehrszelle mit der momentan besten verkehrlichen Eignung ist so zu verändern, dass
  - für diese Verkehrszelle auf Basis der verfügbaren Flächenreserven und der Einwohnerdichten die maximale Anzahl an zusätzlichen Einwohnern ermittelt wird,
  - das Szenario 3.X1, ohne vorrangige Nutzung der Flächenreserven, ein maximales Einwohnerwachstum aufweist, das sich aus dem Maximum des Zuwachses in Szenario 2 und des Zuwachses aus der Nutzung der verfügbaren Flächenreserven und Einwohnerdichten ergibt,

<sup>6</sup> Der Faktor der Mindestdichte kann abhängig vom Untersuchungsgebiet variieren und sollte den Gegebenheiten angepasst werden.

- die Addition der zusätzlichen Einwohner der Verkehrszelle zu den vorhandenen Einwohnern der Verkehrszelle im Analysejahr erfolgt und
  - der Berechnungsschritt 2 so oft durchgeführt wird, bis alle Einwohner verteilt sind. Dabei wird nach jedem Durchlauf des Berechnungsschritts 2 die Verkehrszelle mit der nächsten schlechteren Bewertung für die darauffolgende Berechnung des Berechnungsschritts 2 herangezogen.
3. Die Einwohner je Verkehrszelle sind auf die verkehrszellenspezifischen Anteile der Personengruppen aus dem Szenario 2 aufzuteilen.

Zur Zielerreichung ist für jedes Szenario eine spezifische Mindestbewertung der verkehrlichen Eignung festzulegen. Die Ansiedlung zusätzlicher Einwohner sollte nach Möglichkeit so erfolgen, dass die spezifische Mindestbewertung nicht unterschritten wird. Demzufolge sind die Einwohner auf Verkehrszellen, deren verkehrliche Bewertung über der spezifischen Mindestbewertung liegt, zu verteilen.

### **Szenario 4 - Soll-Zustand + zusätzliche Einwohner**

Unter der Annahme, dass die Verteilung der Einwohner auf der verkehrlichen Eignung basiert und alle Flächenreserven vollständig in Anspruch genommen werden, erfolgt die Erstellung des Szenarios 4. Dies unterteilt sich in die Unterszenarien 4.1 und 4.2. Im Szenario 4.1 wird, unter Berücksichtigung der Flächeninanspruchnahme der Flächenreserven, die Anzahl an Einwohnern ermittelt, die in den Verkehrszellen angesiedelt werden können. Aus den folgenden verkehrszellenspezifischen Werten setzt sich die Anzahl der Einwohner zusammen:

- Bei Verkehrszellen mit einer guten verkehrlichen Eignung wird eine Mindestdichte angenommen, die sich aus der Mindestdichte des Regionalplans und der Hälfte der Mindestdichte des Regionalplans zusammensetzt (Erhöhung der regionalplanerischen Mindestdichte um 50 %).
- Für Verkehrszellen mit einer schlechten verkehrlichen Eignung wird die Anzahl der zusätzlichen Einwohner auf Basis der regionalplanerischen Mindestdichten ermittelt<sup>7</sup>.

Die Anzahl an Einwohnern berechnet sich aus der Anzahl der Einwohner im Analysejahr und den zusätzlichen Einwohnern in den Verkehrszellen, unter Berücksichtigung der verkehrszellenspezifischen Dichten.

---

<sup>7</sup> Sind die vorgegebenen Mindestdichten zwangsläufig einzuhalten, dann können zwei weitere Vorgehensweisen identifiziert werden. Die erste Variante ist die Nutzung der Mindestdichten für alle Verkehrszellen, unabhängig von deren verkehrlichen Bewertung. Die zweite Variante ist die Nutzung der Mindestdichten für die Verkehrszellen mit guter verkehrlicher Eignung und eine Reduktion der Mindestdichten, bspw. um 50 %, für die Verkehrszellen mit einer schlechten verkehrlichen Bewertung.



Das Szenario 4.2 enthält die Einwohnerverteilung, die sich aus der Differenz der angenommenen Einwohnerentwicklung und der im Szenario 4.1 ermittelten Anzahl an Einwohnern ergibt. Wenn beispielsweise über das Prognosejahr hinaus ein Einwohnerwachstum von 100.000 Personen angenommen wird und die Berechnungen im Szenario 4.1 ergeben, dass in den FNP Flächenreserven für 80.000 Einwohner zur Verfügung stehen, sind im Szenario 4.2 noch 20.000 Einwohner auf die Verkehrszellen zu verteilen. Die Verteilung der zusätzlichen Einwohner kann unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung der Einwohner im Analysejahr mit Beachtung der Siedlungskategorie und verkehrlichen Eignung erfolgen (siehe Tabelle 22).

<b>Siedlungskategorie</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>
Eigenentwicklung	1,0
Siedlungsbereich	1,5
Siedlungsbereich mit guter verkehrlicher Eignung	2,0

Tabelle 22: Gewichtung der Einwohnerverteilung im Szenario 4.2.

Für das Szenario 4.2 ergibt sich nachfolgender Berechnungsablauf:

1. Die Einwohnerzahlen sind mit den Gewichtungsfaktoren aus Tabelle 22 zu multiplizieren.
2. Die prozentuale Aufteilung der gesamten Einwohner des Analysejahres auf alle Verkehrszellen ist zu ermitteln.
3. Die berechneten Anteile sind mit den übrig gebliebenen Einwohnern zu multiplizieren und diese Einwohner auf die Verkehrszellen zu verteilen.

Die Differenzierung in Siedlungsbereich mit und ohne verkehrlich guter Eignung sollte mindestens auf einer Mindestbewertung von 0,5 basieren. Für Verkehrszellen mit einer Bewertung größer 0,5 sind die Einwohner des Analysejahres mit einem Faktor von 2,0 zu multiplizieren. Liegt die Bewertung unter 0,5 sind aufgrund der raumplanerischen Unterteilung der Verkehrszellen in Siedlungsbereich und Eigenentwicklung die Verkehrszellen mit 1,5 bzw. 1,0 zu multiplizieren.

Für die Einwohnerprognosen sind die Anzahl der Arbeitsplätze im Verkehrsnachfragemodell konstant zu halten. Das Verkehrsnachfragemodell skaliert die Arbeitsplätze im Modell immer so, dass alle Arbeitnehmer ihren Weg zum Arbeitsplatz zurücklegen können. Auswirkungen der Arbeitsplätze im Verkehrsnachfragemodell treten ausschließlich dann auf, wenn sich die räumliche Verteilung und damit die Reiseweite zur Arbeit ändert.

#### 4.3.5 Optimierungsverfahren der Arbeitsplatzentwicklung und -verteilung

Für die Arbeitsplatzentwicklung gibt es nur wenige Prognosen. Aktuelle Trends und wahrscheinliche Entwicklungen der Änderung von Industrie- und Gewerbeflächen sind deshalb in den Arbeitsplatzentwicklungen zu berücksichtigen. Insgesamt sollten die Arbeitsplatzzahlen im Rahmen der Prognosen des Bevölkerungswachstums liegen. Ausgenommen sind Arbeitsplätze, die in Analysemodellen nicht durch Erwerbstätige besetzt werden. In diesem Fall kann die Entwicklung der Arbeitsplätze von der Bevölkerungsprognose abweichen. Zudem ist zu beachten, dass es je nach Art der Verkehrserzeugung, -verteilung und -aufteilung zu einer Skalierung der Arbeitsplatzzahlen durch das Verfahren kommen kann. Liegt beispielsweise eine zweiseitig gekoppelte Zielwahl der Arbeitsplätze vor, wird die Anzahl der Arbeitsplätze so skaliert, dass jeder Arbeitnehmer ein Arbeitsweg pro Tag zurücklegt. Tabelle 23 enthält mögliche Szenarien, die die verkehrlichen Bewertungen und die Instrumente der Siedlungsentwicklung beinhalten. In den Szenarien wird vorausgesetzt, dass innerhalb des Untersuchungsgebietes freie Arbeitsplätze zur Verfügung stehen und es deshalb zu einem sehr geringen Wachstum kommt. Daher gehen die Szenarien von der These der Umverteilung von Arbeitsplätzen aus. Die Szenarien basieren auf einer Umlagerung von 10 %<sup>8</sup> der Arbeitsplätze. Diese werden nach in Tabelle 23 dargestellten Szenarien im Untersuchungsgebiet neu verteilt.

---

<sup>8</sup> Der prozentuale Anteil der umzuverteilenden Arbeitsplätze kann abhängig vom Untersuchungsgebiet und -gegenstand variieren.

Szenario	Beschreibung	Verkehrsangebot / Arbeitsplatzzahlen	Arbeitsplatz-vertei- lung	Vorrangige Nutzung der Flächenreserven	Berücksichtigung der verkehrlichen Eig- nung
0-Ana	Analysezustand mit Arbeitsplatzzusammensetzung des Analysejahres	Pro / Ana	Ana	-	-
0-Pro	Analysezustand mit Arbeitsplatzzusammensetzung des Prognosejahres	Pro / Ana	Pro	-	-
1	Bezugsszenario - „Ist-Zustand“ Grundlage: Trends und wahrscheinliche Entwicklungen	Pro / Pro	Pro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Szenario mit Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung	Pro / Pro	Pro	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Szenario mit Berücksichtigung der Flächenreserven	Pro / Pro	Pro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Szenario – „Soll-Zustand“ mit Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung und der Flächenreserven	Pro / Pro	Pro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Abkürzungen</b>					
Ana     Analysezustand / Analysejahr					
Pro     Prognosezustand / Prognosejahr					

Tabelle 23: Szenarien der Arbeitsplatzverteilung.

### Szenario 0-Ana

Das Szenario setzt sich aus den Arbeitsplätzen und der Arbeitsplatzzusammensetzung des Analysejahres sowie dem Verkehrsangebot des Prognosejahres zusammen. Die Vergleichbarkeit des Szenarios 1 und den nachfolgenden Szenarien soll durch das Szenario 0-Ana hergestellt werden.

### Szenario 0-Pro

Die Einflüsse der veränderten Arbeitsplatzzusammensetzung des Analyse- und Prognosejahres auf die Verkehrsleistung wird durch dieses Szenario ausgeschlossen. Die Arbeitsplätze setzen sich aus den Arbeitsplätzen des Analysejahres und der Arbeitsplatzzusammensetzung des Prognosejahres zusammen. Das Verkehrsangebot basiert auf dem Prognosejahr. 0-Pro wird als Referenzszenario herangezogen, wodurch Auswirkungen der veränderten Arbeitsplatzverteilung in den darauffolgenden Szenarien untersucht werden können.

### Szenario 1

Im Szenario 1 basieren die Arbeitsplatzzahlen und deren Verteilung auf den Strukturgrößen auf den Trends und wahrscheinlichen Entwicklungen bzw. vorhandenen Prognosen.

Das Szenario stellt das Bezugsszenario dar, mit dem die nachfolgenden Szenarien verglichen werden. Es bildet die Basis der Verteilung von 10 % der Arbeitsplätze in den Szenarien 2 bis 4.

## **Szenario 2**

Unter der These, dass 10 % der Arbeitsplätze des Szenarios 1 neu im Untersuchungsgebiet verteilt werden, erfolgt in dem Szenario eine Reduktion der Arbeitsplätze in den Verkehrszellen mit unterdurchschnittlicher verkehrlicher Eignung. Die Anzahl an Arbeitsplätzen kann pro Verkehrszelle maximal um 25 % reduziert werden, womit verhindert wird, dass Standorte mit einem hohen Anteil an Arbeitsplätzen, wie beispielsweise Verkehrszellen, die den Flughafen abbilden, geschlossen werden. Die zu verteilenden Arbeitsplätze sind gleichmäßig den restlichen Verkehrszellen zuzuordnen. Die Zuordnung basiert auf der zuvor ermittelten Gewichtung der vorhandenen Arbeitsplätze in den Verkehrszellen ohne Reduktion der Arbeitsplätze. Mit der Gewichtung wird verhindert, dass die Arbeitsplatzzahlen innerhalb einer Verkehrszelle überproportional zunehmen.

## **Szenario 3**

Die 10 % der zu verteilenden Arbeitsplätze des Szenarios 1 sind im Szenario 3 zunächst über alle Verkehrszellen zu ermitteln. Diese sind auf Basis der zuvor berechneten Arbeitsplatzkapazitäten aus den Flächennutzungsplänen auf die Verkehrszellen zu verteilen. Zur Vermeidung einer überproportionalen Zunahme der Arbeitsplätze innerhalb einer Verkehrszelle darf keine Verkehrszelle Zuwächse von mehr als 50 %<sup>9</sup> aufweisen. Folgender Berechnungsablauf wird für die Ermittlung der Arbeitsplatzzahlen pro Verkehrszelle herangezogen:

1. Ermittlung der prozentualen Anteile der Arbeitsplätze pro Verkehrszelle.
2. Reduktion der Arbeitsplätze auf Basis der prozentualen Anteile in allen Verkehrszellen.
3. Ermittlung der maximal zulässigen Anzahl an zusätzlichen Arbeitsplätzen pro Verkehrszelle:
  - Ist die Anzahl an Arbeitsplätzen aus den Flächennutzungsplänen größer als 50 % der Arbeitsplätze aus dem Bezugsszenario, dann setzt sich die maximal zulässige Anzahl an Arbeitsplätzen aus 50 % der Arbeitsplätze des Bezugsszenarios zusammen.
  - Ist die Anzahl an Arbeitsplätzen aus den Flächennutzungsplänen kleiner gleich 50 % der Arbeitsplätze aus dem Bezugsszenario, dann setzt sich die maximal zulässige Anzahl an Arbeitsplätzen aus der Obergrenze der zusätzlichen Arbeitsplätze der Flächennutzungspläne zusammen.

---

<sup>9</sup> Der Grenzwert ist abhängig vom Untersuchungsgebiet und -gegenstand und sollte an die gegebenen Randbedingungen angepasst werden.

4. Verteilung der zusätzlichen Arbeitsplätze auf Grundlage der Obergrenze auf alle Verkehrszellen.

#### **Szenario 4**

Neben den betrachteten Flächenreserven ist im Szenario 4 die verkehrliche Eignung bei der Verteilung der Arbeitsplätze zu berücksichtigen. Dafür erfolgt in einem ersten Schritt die Ermittlung der 10 % zu verteilenden Arbeitsplätzen aus Szenario 1 anhand der Reduktion der Arbeitsplätze innerhalb der Verkehrszellen mit unterdurchschnittlicher verkehrlicher Eignung. Die ermittelten Arbeitsplätze sind im darauffolgenden Schritt auf die Verkehrszellen mit überdurchschnittlicher verkehrlicher Eignung und verfügbaren Flächenreserven zu verteilen. Dieser Ablauf kann zu überproportionalem Wachstum der Arbeitsplätze innerhalb einer Verkehrszelle führen, wodurch eine Regulierung der Zunahme notwendig wird. Eine Regulierung der Arbeitsplatzzunahmen pro Verkehrszelle kann beispielsweise auf 50 %<sup>10</sup> Zunahme beschränkt werden. Folgender Berechnungsablauf wird für die Verteilung der Arbeitsplatzzahlen pro Verkehrszelle herangezogen:

1. Festlegung der Grenzwerte der verkehrlichen Eignung für die Ab- und Zunahme von Arbeitsplätzen.
2. Reduktion der Arbeitsplätze auf Basis der verkehrlichen Eignung. Für Verkehrszellen mit einer unterdurchschnittlichen Bewertung ist die Anzahl der Arbeitsplätze um 50 % zu reduzieren.
3. Ermittlung der maximal zulässigen Anzahl an zusätzlichen Arbeitsplätzen pro Verkehrszelle:
  - Wenn keine Arbeitsplatzreduktion in der Verkehrszelle im ersten Schritt erfolgte, dann wird für die Verkehrszellen die maximal zulässige Anzahl an zusätzlichen Arbeitsplätzen ermittelt. Die Berechnung ist analog des Berechnungsschrittes 3 im Szenario 3.
4. Verteilung der zusätzlichen Arbeitsplätze auf Grundlage der ermittelten Obergrenze und der verkehrlichen Eignung auf alle Verkehrszellen.

---

<sup>10</sup> Die Wahl des Anteils der zu reduzierenden Arbeitsplätze ist jedem Nutzer selbst überlassen. Aufgrund der Berechnung innerhalb der Szenarien kann es zu differenzierten Anteilen in den einzelnen Szenarien kommen. Beispielsweise kann es im Szenario 4 notwendig sein, die Arbeitsplatzanzahl um 50 % zu reduzieren, da eine Reduktion um 25 % keine Übereinstimmungen der Grenzwerte der Zu- und Abnahme der Arbeitsplätze in den Verkehrszellen ermöglichen würde. Durch den Grenzwert wird verhindert, dass ein sehr hoher Anteil an Arbeitsplätzen pro Verkehrszelle umverteilt wird.



## **5 Modellanwendung der Standortanalysen**

Die im Kapitel 4 beschriebenen Ansätze der Standortanalysen werden nachfolgend auf die Region Stuttgart angewandt. Dafür wird das in Kapitel 3.1 beschriebene Verkehrsnachfragemodell herangezogen. Grundlage für die Auswertungen ist das Verkehrsangebot sowie die Einteilung der Verkehrszellen für den Bezugszustand im Jahr 2025. Die folgenden Auswertungen werden ausschließlich für die Verkehrszellen im Gebiet der Region Stuttgart vorgenommen. Verkehrszellen außerhalb der Region fließen zwar in die Berechnungen ein, haben aber keinen direkten Einfluss auf die ausgewiesenen Ergebnisse.

### **5.1 Standortanalyse ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragerwirkungen**

#### **5.1.1 Erreichbarkeitsberechnungen**

Die Kenngrößen der Angebotsqualität (Reisezeit, Bedienungshäufigkeit und Umsteigehäufigkeit) sind ein Output des Standardverfahrensablaufs des Verkehrsnachfragemodells der Region Stuttgart. Aufgrund der fehlenden Implementierung der Fuß- und Radverkehrsumlegung in das Verkehrsnachfragemodell gehen nachfolgende Auswertungen für den Fuß- und Radverkehr auf die Ergebnisse der Kenngrößen-ermittlung auf Basis des unbelasteten Netzes ein. Für den Pkw-Verkehr erfolgt die Integration der Verkehrsumlegung in den Verfahrensablauf. Daraus ergeben sich Reisezeiten und Geschwindigkeiten im unbelasteten und belasteten Netz. Für realitätsnahe Auswertungen erfolgt im Gegensatz zur Modellbeschreibung die Betrachtung der Reisezeit für den Pkw-Verkehr auf Grundlage der Ergebnisse aus der Verkehrsumlegung. Die Berechnung der Kenngrößen des öffentlichen Verkehrs erfolgt auf Grundlage der gegebenen Fahrpläne, die für das Jahr 2025 erstellt wurden. Die Fahrplanfahrten bilden die Grundlage für die Berechnung der Reisezeiten, Umsteigehäufigkeiten und Bedienungshäufigkeiten. Die Fahrten im Modell berücksichtigen keine betriebsbedingten Verspätungen bzw. Auslastungen der Fahrzeuge.

### 5.1.2 Optimierungsverfahren

Aufgrund der Vielzahl an Szenarien erfolgt am Beispiel der Region Stuttgart eine Umbenennung der Szenarien. Nachfolgende Tabelle 24 enthält die Szenarienbezeichnung aus der Modellerstellung und die im weiteren Verlauf der Beispielrechnung umbenannten Szenarien.

Szenarienbezeichnung aus der Modellerstellung	Szenarienbezeichnung in der Region Stuttgart	Inhalt der Szenarien
1	D1	Wegfall des nächsten Standortes
2	D2	Identifikation zusätzlicher Standorte
3	D3	Identifikation von Reduktionsstandorten

Tabelle 24: Bezeichnung der Optimierungsverfahren ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen.

Die Erstellung der nachfolgenden Szenarien bezieht sich auf die berechneten Reisezeiten der Modi Fuß, Rad, Pkw und ÖV. Die Szenarien können für beliebige Standortkategorien berechnet werden. Nachfolgende Auswertungen erfolgen beispielhaft für die Grundschulstandorte in der Region Stuttgart. Als relevante Bevölkerungsgruppe werden ausschließlich Grundschüler in die Berechnungen einbezogen. Die Erreichbarkeitsrechnungen erfolgen ausschließlich unter der Betrachtung des Verkehrsangebots. Die Reisezeit mit dem ÖV wird auf der Grundlage des allen Einwohner zur Verfügung stehenden ÖV-Angebots berechnet. Sonderfahrten für den Schulverkehr wurden nicht berücksichtigt. In den vorgestellten Szenarien der Grundschulstandorte erfolgte keine Differenzierung der Schulen bezüglich ihrer Trägerschaft und Funktion. Dementsprechend gehen u.a. öffentliche, private Grundschulen und Förderschulen gleichwertig in die Berechnungen ein. Aufgrund der Funktion, Trägerschaft und der ausschließlichen Betrachtung des Verkehrsangebots können Planungen neuer (Grundschul-) Standorte bzw. Schließungen von (Grundschul-) Standorte nicht ausschließlich auf den Erreichbarkeitsrechnungen basieren. Standortplanungen werden primär durch den regionalen Bedarf bestimmt, bei dem die Erreichbarkeiten einen Teil ausmachen können.

#### Szenario D1 - Wegfall des nächsten Standortes

Im Szenario D1 erfolgt die Untersuchung der Erreichbarkeitsänderung unter der Annahme, dass die nächstgelegene Grundschule wegfällt. Ausgangspunkt der Berechnung ist die Annahme, dass alle Grundschüler die Schule mit der geringsten Entfernung aufsuchen. Herangezogen werden die Kenngrößen der Erreichbarkeit zum übernächsten Standort je Verkehrsmittel (vgl. Kapitel 4.2.2). Abbildung 16 und Abbildung 17 enthalten die Reisezeit zur nächsten bzw. übernächsten Grundschule der Modi Fuß und ÖV. Die Reisezeiten der Modi Rad und Pkw können Anhang A entnommen werden.



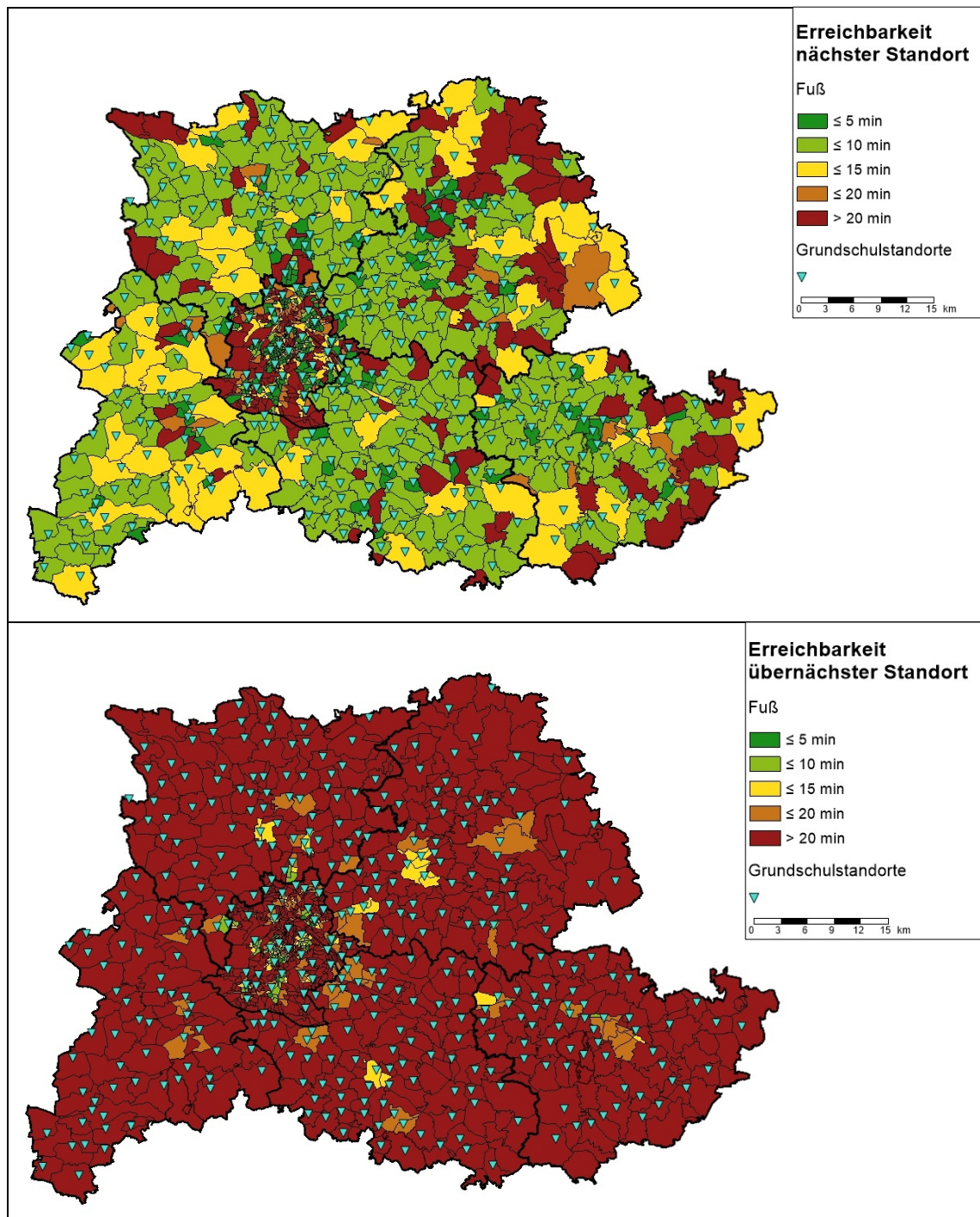


Abbildung 16: Erreichbarkeitsänderungen zu **Fuß** zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.

Das Szenario zeigt die Vulnerabilität der Räume, die von einem Standort oder wenigen Standorten abhängig sind. So wird aus Abbildung 16 ersichtlich, dass Fußwege länger als 20 Minuten in Gemeinden rund um das Stadtgebiet Stuttgart vorkommen. Aber auch im Stadtgebiet selbst werden stellenweise Fußwege über 20 Minuten zur nächstgelegenen Grundschule berechnet. Der Wegfall des nächsten Standortes beinhaltet für den Fußverkehr eine Verschlechterung der Erreichbarkeit in den ländlichen Regionen des Verbandes. Ebenso steigt die Reisezeit innerhalb des Stadtgebiets Stuttgart in vielen

Bereichen deutlich. Eine ähnliche Veränderung lässt sich auch bei der Nutzung des ÖV beobachten. In vielen Bereichen der Region beträgt die Reisezeit über 20 Minuten. Insgesamt kann der Großteil der Grundschüler die übernächste Grundschule innerhalb von 20 Minuten erreichen. Dieses Ergebnis deutet auf eine gute Qualität des ÖV in weiten Teilen der Region Stuttgart. Die Reisezeitänderungen des Rad- und Pkw-Verkehrs weisen ähnliche Erreichbarkeitsänderungen auf (vgl. Anhang A).

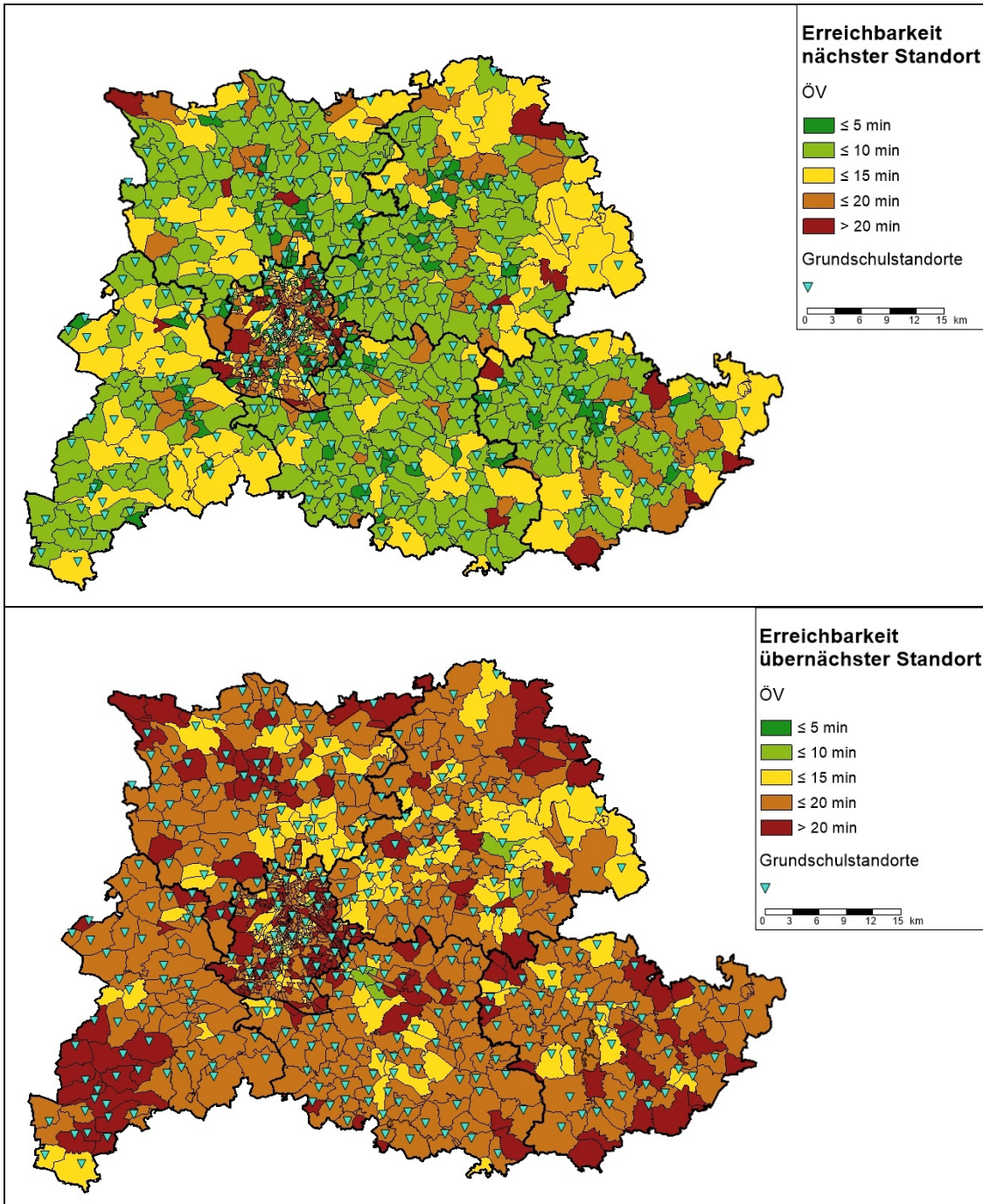


Abbildung 17: Erreichbarkeitsänderungen mit dem ÖV zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.

## Szenario D2 - Identifikation zusätzlicher Standorte

Neben dem Wegfall des nächsten Standortes erfolgt im Szenario D2 die Identifikation eines zusätzlichen Standortes. Es wird die Verkehrszelle ermittelt, für die die größten Reisezeiteinsparungen im ÖV bei einer Eröffnung einer zusätzlichen Grundschule zu erwarten sind. Die Berechnung geht, wie das Szenario D1, davon aus, dass die Grundschüler die nächstgelegene Grundschule aufsuchen. Abbildung 18 verdeutlicht die möglichen Reisezeiteinsparungen pro Verkehrszelle. In Böblingen könnten durch eine zusätzliche Grundschule über 20 Personenstunden (PStd) in der Personengruppe der Grundschüler eingespart werden. Rechnerisch ist dies der höchste Wert im Untersuchungsgebiet. Aus Abbildung 18 wird ersichtlich, dass es eine Reihe weiterer Verkehrszellen gibt, die eine ähnlich hohe Reisezeiteinsparung bei der Eröffnung einer zusätzlichen Grundschule zur Folge hätten (rote und orangene Verkehrszellen). Die Berechnungen setzen ein konstantes ÖV-Angebot voraus. Bei Änderungen des Angebots ergeben sich unmittelbare Änderungen auf die Rechenergebnisse.

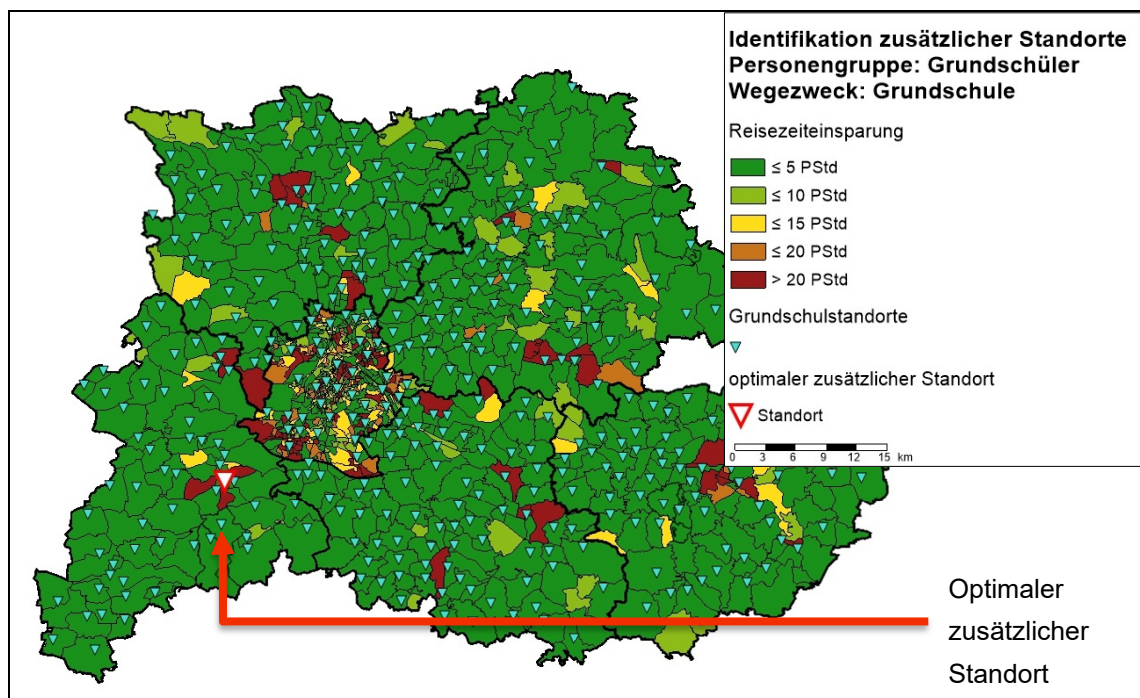


Abbildung 18: Identifikation eines optimalen Standortes einer Grundschule in der Region Stuttgart.

## Szenario D3 - Identifikation von Reduktionsstandorten

Unter der Annahme, dass bei einer erforderlichen Standortschließung der Grundschulstandort mit dem geringsten Reisezeitmehraufwand geschlossen wird, erfolgt die Erstellung des Szenarios D3. Die Berechnung des Reisezeitmehraufwandes bezieht sich ausschließlich auf den öffentlichen Verkehr. Abbildung 19 enthält die berechneten Reisezeitmehraufwände pro Grundschule, die sich aus der Schließung einzelner Grundschulstandorte ergeben. In Altdorf, ein Grundzentrum im Rems-Murr-Kreis, können bei der

Schließung einer Grundschule die geringsten Reisezeitmehraufwände berechnet werden. In der Verkehrszelle bzw. den Nachbarverkehrszellen existieren weitere Grundschulen, auf die bei einer Schließung der Grundschule ausgewichen werden kann.

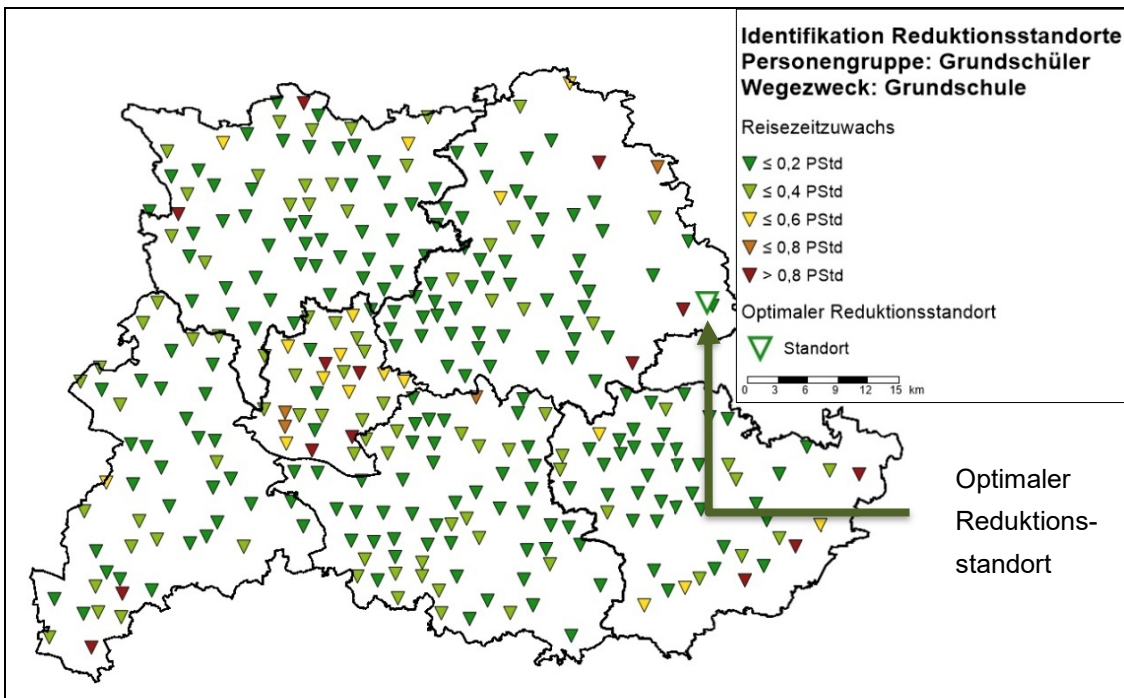


Abbildung 19: Identifikation eines Reduktionsstandortes einer Grundschule in der Region Stuttgart.

## 5.2 Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Wohnstandorte

### 5.2.1 Nachfrageberechnung

#### Ermittlung der Kenngrößen

##### Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners

Die Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners wird anhand der Formel (18) berechnet. Mit der Formel werden ca. 70 % der Verkehrsleistung in der Region Stuttgart berechnet. Die Verkehrsleistung, die in der Formel (18) keine Berücksichtigung findet, besitzt keinen Heimatbezug. Abbildung 20 enthält die berechnete Pkw-Verkehrsleistung pro Einwohner einer Verkehrszelle in der Region Stuttgart. Im Oberzentrum Stuttgart und in den Mittelzentren Esslingen, Göppingen, Ludwigsburg, Böblingen und Backnang ist die verkehrszellenspezifische Pkw-Verkehrsleistung mit weniger als 10 km am niedrigsten. Entlang der Bahnachsen sind ebenso geringe Pkw-Verkehrsleistungen zu beobachten. In den Randbereichen der Region und in den Achsenzwischenräumen steigt die Pkw-Verkehrsleistung deutlich an. Das Ergebnis resultiert aus den größeren Entfernungen, die ein

Einwohner in den Bereichen pro Tag zurücklegt. Die berechnete Pkw-Verkehrsleistung pro Verkehrszelle wird durch die Funktion B2 bewertet (vgl. Formel (22)).

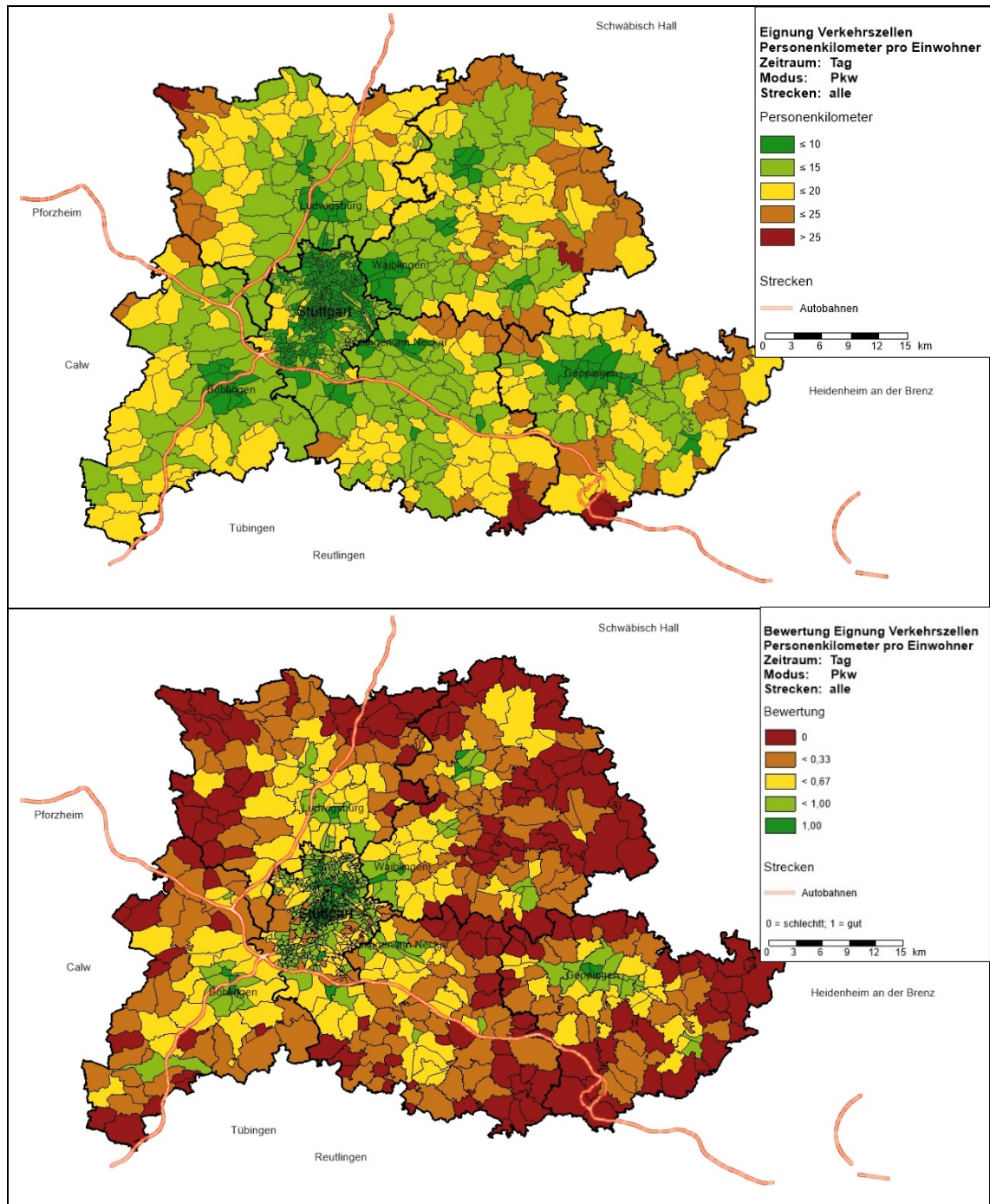


Abbildung 20: Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Einwohners in der Region Stuttgart.

In den Randbereichen der Region werden den Verkehrszellen aufgrund des 15 %- bzw. 85 %-Perzentil Bewertungen zwischen 0 und 0,33 zugewiesen. In der Stadt Stuttgart, sowie in den Mittelbereichen weisen die Verkehrszellen eine Bewertung zwischen 0,67

und 1 auf. Bei der Bewertung ist 0 der schlechteste Wert und 1 der beste Wert. Damit spiegelt die Bewertung die berechnete Verkehrsleistung wider.

### Verkehrsleistung eines Einwohners auf ausgelasteten Straßen im Pkw-Verkehr

Für die Berechnung der Pkw-Verkehrsleistung differenziert nach der Auslastung der Strecken werden vier Auslastungsklassen definiert (vgl. Abbildung 21). Die Auslastungsklasse eines Streckenelementes ergibt sich aus dem Fahrzeitindex ( $FZI_{Pkw}$ ) dieses Elements. Der Fahrzeitindex wurde für jedes Netzelement im Rahmen einer „Engpassanalyse für die Region Stuttgart“ aus Geschwindigkeitsdaten des Unternehmens TomTom ermittelt (vgl. FRIEDRICH (2016)). Der Fahrzeitindex entspricht dem Quotienten der Fahrzeit innerhalb eines Zeitintervalls, die ein Fahrer im belasteten Netz benötigt, und der Fahrzeit, die ein Fahrer auf diesem Netzelement im unbelasteten Verkehrsnetz benötigt (vgl. Formel (23)).

$$FZI_{Pkw} = \frac{t_{Pkw}}{t_0 Pkw} \quad (23)$$

mit $FZI_{Pkw}$	Fahrzeitindex auf einem Netzelement mit dem Verkehrsmittel Pkw
$t_{Pkw}$	Fahrzeit im belasteten Netz mit dem Verkehrsmittel Pkw
$t_0 Pkw$	Fahrzeit im unbelasteten Netz mit dem Verkehrsmittel Pkw

Als Fahrzeit im unbelasteten Netz werden die TomTom-Daten herangezogen, die von 50 % der Fahrzeuge in der Zeit vor 6 Uhr oder nach 19 Uhr (Schwachverkehrszeit) gefahren werden. Die Fahrzeit, die von 50 % der Fahrzeuge während der Hauptverkehrszeit erreicht wird, wird als Fahrzeit im belasteten Netz herangezogen, wobei das Maximum der morgendlichen und abendlichen Hauptverkehrszeit (HVZ) genutzt wird. Der Fahrzeitindex, sowie die Klasseneinteilung können Abbildung 21 entnommen werden.

Die Verkehrsleistung pro Einwohner auf ausgelasteten Strecken des Pkw-Verkehrs wird auf Basis der in Abbildung 21 ermittelten Auslastungsklassen ermittelt. Für weitere Betrachtungen wird ausschließlich die Auslastungsklasse 4 herangezogen und die Pkw-Verkehrsleistung mittels Formel (20) berechnet. Abbildung 22 zeigt die berechnete und klassifizierte Pkw-Verkehrsleistung der Auslastungsklasse 4 pro Verkehrszelle. Die berechnete Pkw-Verkehrsleistung pro Verkehrszelle wird anhand der Funktion B2 bewertet (vgl. Formel (22)).

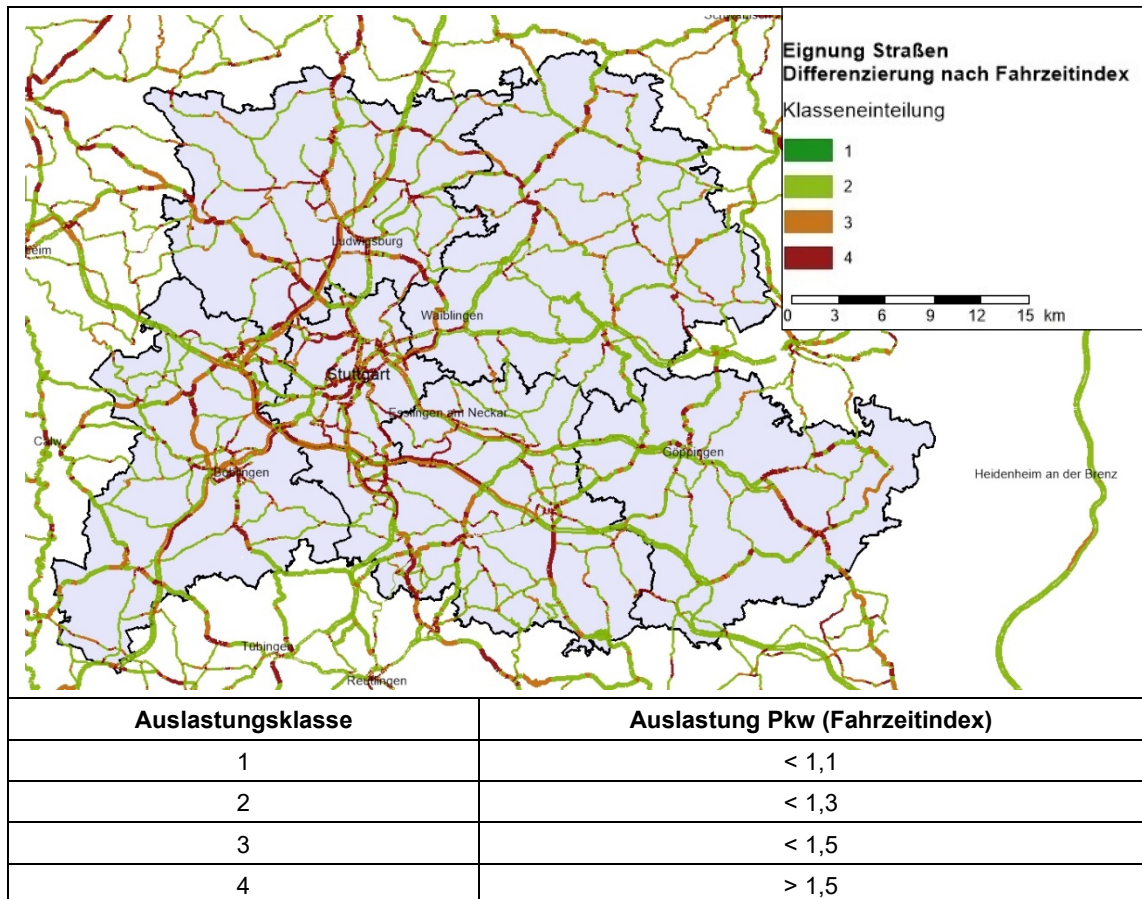


Abbildung 21: Klassifizierung der Strecken des Pkw-Verkehrs auf Basis des Fahrzeitindex.

Aus Abbildung 22 wird ersichtlich, dass die Einwohner im nördlichen Landkreis Ludwigsburg im Einzugsgebiet der A 81 im Durchschnitt höhere Pkw-Personenkilometer auf stark ausgelasteten Straßen zurücklegen. Ebenso legen Einwohner folgender Gebiete hohe Pkw-Personenkilometer auf stark ausgelasteten Strecken zurück:

- zwischen Reutlingen und Filderstadt im Einzugsgebiet der B 27,
- zwischen Kirchheim unter Teck und Filderstadt im Einzugsgebiet der A 8 und
- die Gemeinden Bondorf, Gäufelden, Altdorf und Weil im Schönbuch im Einzugsgebiet der A 81 Süd.

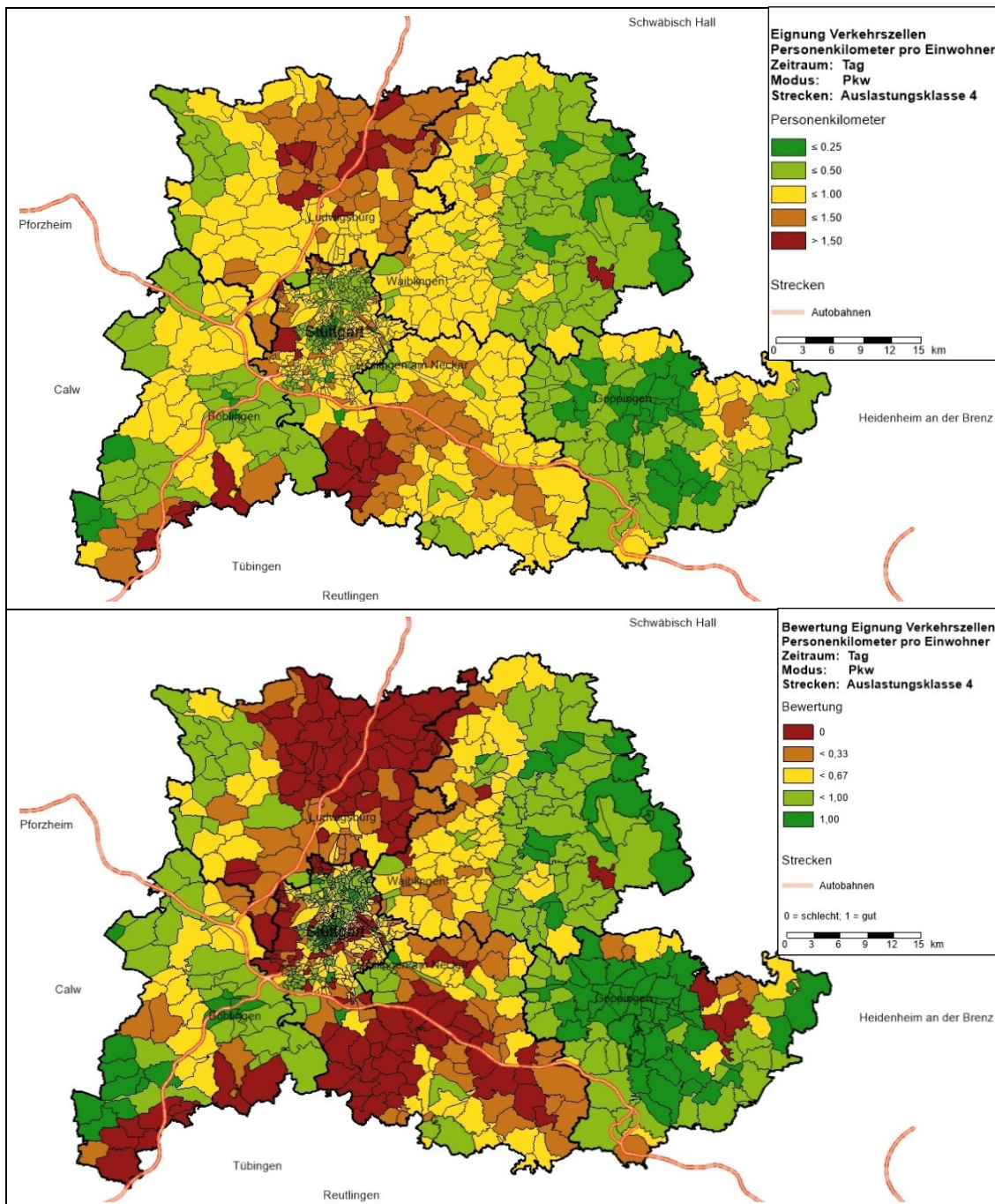


Abbildung 22: Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Einwohners auf stark ausgelasteten Verkehrswegen<sup>11</sup> (Auslastungsklasse 4) in der Region Stuttgart.

<sup>11</sup> In Abbildung 22 wird eine Verkehrszelle im Osten der Region im Vergleich zu den Nachbarzellen deutlich schlechter bewertet. Die Bewertung resultiert aus der Anbindung der Verkehrszelle an eine Kreisstraße mit einem FZI > 1,5. Die Einwohner müssen die Kreisstraße nutzen und legen dementsprechend längere Entfernungen auf sehr hoch ausgelasteten Strecken zurück, wodurch sich eine schlechte Bewertung der Verkehrszelle ergibt.



Verkehrsleistung eines Einwohners in ausgelasteten Fahrzeugen des S-Bahnverkehrs

Für die Einteilung der Fahrzeugauslastung pro Streckenabschnitt des S-Bahnverkehrs erfolgte die Implementierung von externen Daten der Kapazitätsauslastung. Im Zuge des Projektes „Überprüfung und Weiterentwicklung des Instrumentariums zur Koordination von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung vor dem Hintergrund erforderlicher CO<sub>2</sub>-Reduktion und der demografischen Entwicklung für die Region Stuttgart“ wurden die Daten vom Verband Region Stuttgart dem Lehrstuhl zur Verfügung gestellt (FRIEDRICH ET AL., 2017). In den Daten der Fahrzeugauslastungen wird nach Sitzplatz- und Stehplatzauslastung differenziert. Insgesamt können die Sitz- und Stehplätze der Fahrzeuge bis zu 100 % ausgelastet sein. Sind alle Sitzplätze belegt und kein Fahrgast muss stehen, wird von einer 100 % Sitzplatz und 0 % Stehplatzauslastung ausgegangen. Sind die Sitz- und die Stehplätze zu je 100 % belegt, dann herrscht in den Fahrzeugen insgesamt eine Auslastung von 200 %, da die Steh- und Sitzplatzkapazitäten für die Klassifizierung addiert werden. Aufgrund der Berechnung und Weiterverarbeitung wird die Fahrzeugauslastung auf jeden Streckenabschnitt übertragen, sodass sich Streckenauslastungen ergeben (Abbildung 23). Aufgrund der Datenverfügbarkeit konnten ausschließlich die Auslastungen der S-Bahnen berücksichtigt werden. Der Stadtbahn, den städtischen und regionalen Bussen, sowie den Zügen des Fern- und Regionalverkehrs wird die Auslastungsklasse 1 zugeordnet. Die Klassenzuordnung erfolgt je Fahrtrichtung, mittels der maximalen Auslastung der morgendlichen bzw. abendlichen Hauptverkehrszeit. Die in Abbildung 24 dargestellten ÖV-Personenkilometer werden mit der Formel (20) berechnet. Die anschließende Bewertung erfolgt mit der Funktion B2 (vgl. Formel (22)).

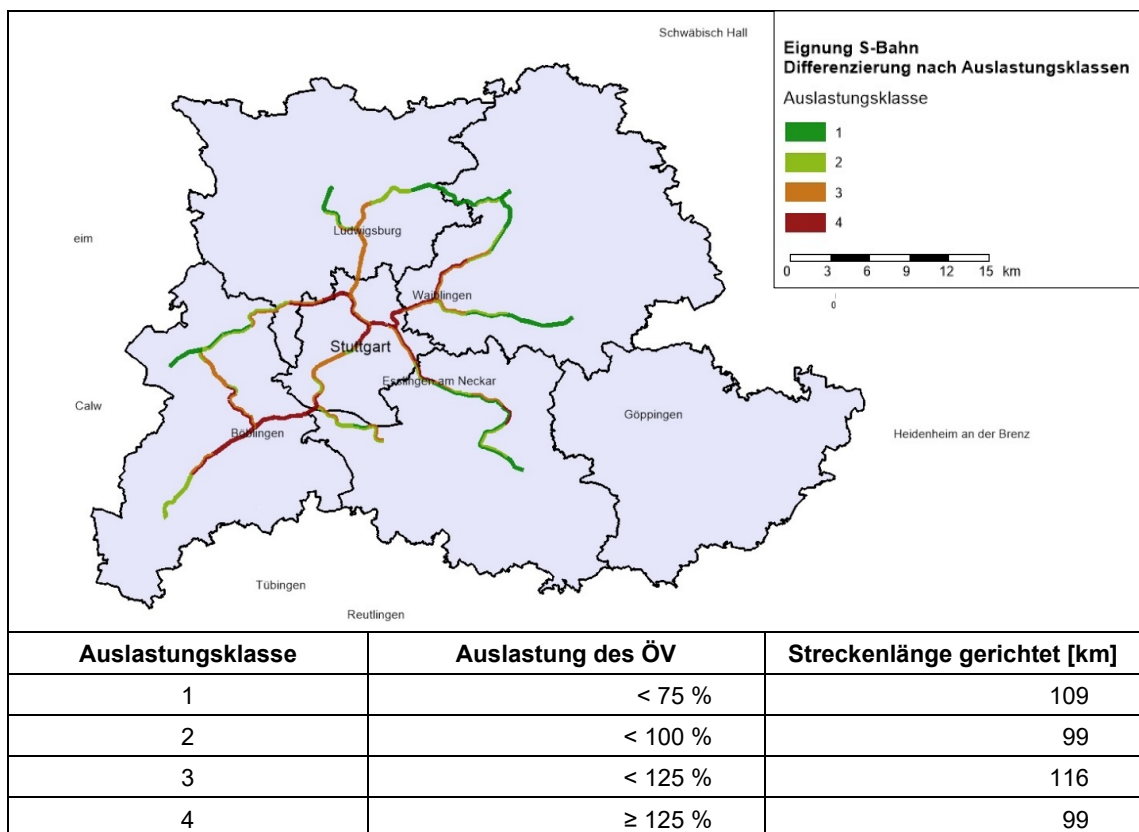


Abbildung 23: Klassifizierung der Strecken des S-Bahnlinsien anhand der Auslastung.

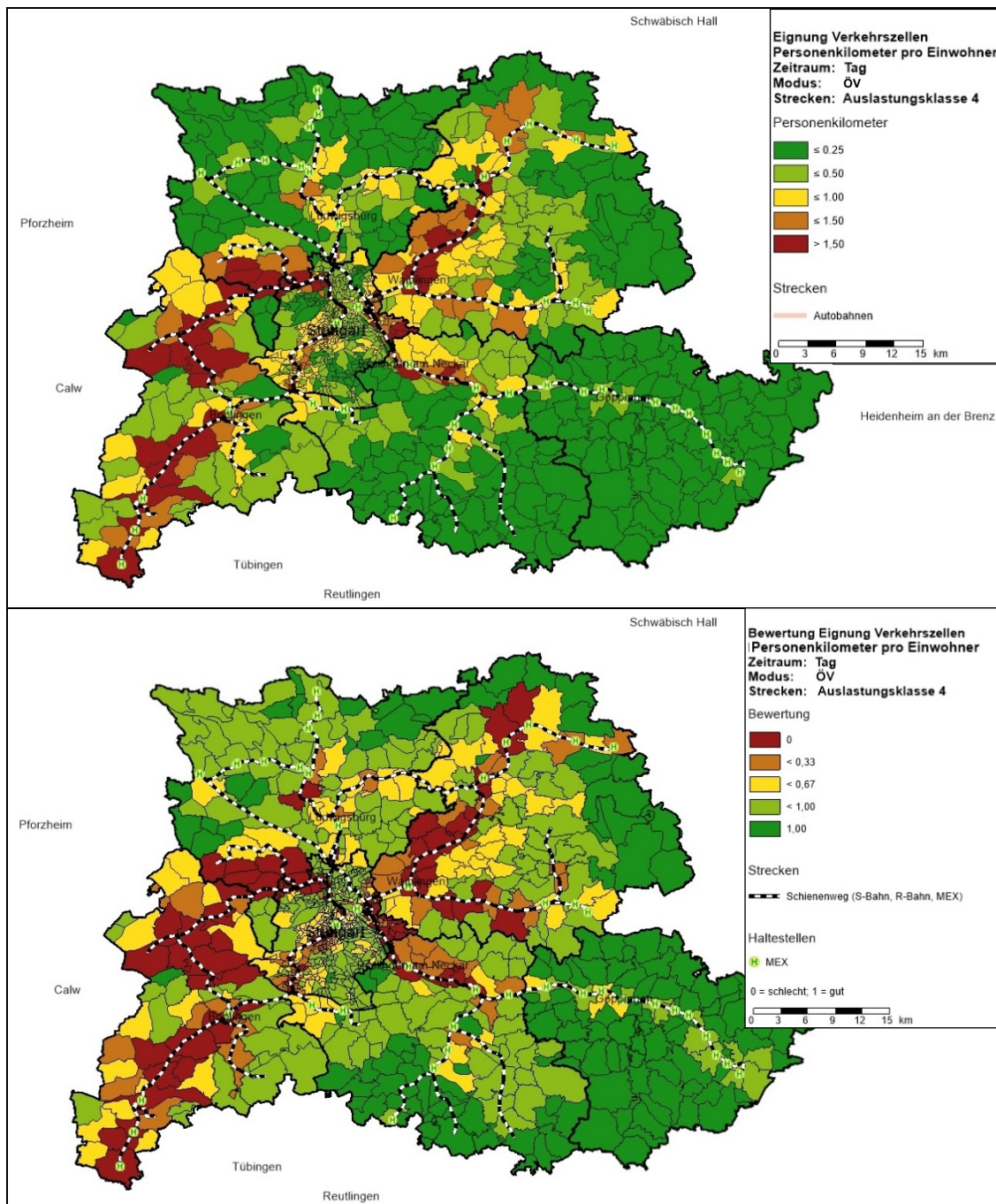


Abbildung 24: ÖV-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Einwohners auf Strecken mit ausgelasteten Fahrzeugen (Auslastungsklasse 4).

### Bedienungshäufigkeit im Schienenverkehr

Als weitere Kenngröße wird die Nähe der Verkehrszelle zu S-Bahnhaltepunkten und die Bedienungshäufigkeit dieses Haltepunkts im Schienenverkehr herangezogen. Liegen Verkehrszellen nicht im Einzugsgebiet des S-Bahnverkehrs wird die Bedienungshäufigkeit für die Verkehrszellen auf den Wert 0 gesetzt. Insbesondere in den Mittelzentren gibt es Verkehrszellen, die nicht direkt an einem Haltepunkt der S-Bahn angeschlossen sind. Die Erreichbarkeit der Verkehrszellen würde nach oben beschriebem Verfahren

auf 0 gesetzt werden. Da dieses Verfahren die Erreichbarkeit der Verkehrszellen nicht gut widerspiegelt, wird die Bedienungshäufigkeit der Zubringerfahrten genutzt. Für Verkehrszellen, die mittels „kurzen“ Zubringer-Busfahrten (max. 3,50 km) an einen Haltepunkt der S-Bahn angeschlossen sind, wird die Bedienungshäufigkeit des Zubringers als Bedienungshäufigkeit gesetzt. Für die Bewertung wird die tägliche Bedienungshäufigkeit in Fahrtrichtung Stuttgart ausgewertet. Die Bewertung erfolgt mit der Funktion B1 der Formel (22). Die Verkehrszellen mit einem direkten Anschluss an einen S-Bahnhaltepunkt werden sehr gut bewertet. Ebenso werden Verkehrszellen mit „kurzen“ Zubringerfahrten gut bis sehr gut bewertet (vgl. Abbildung 25).

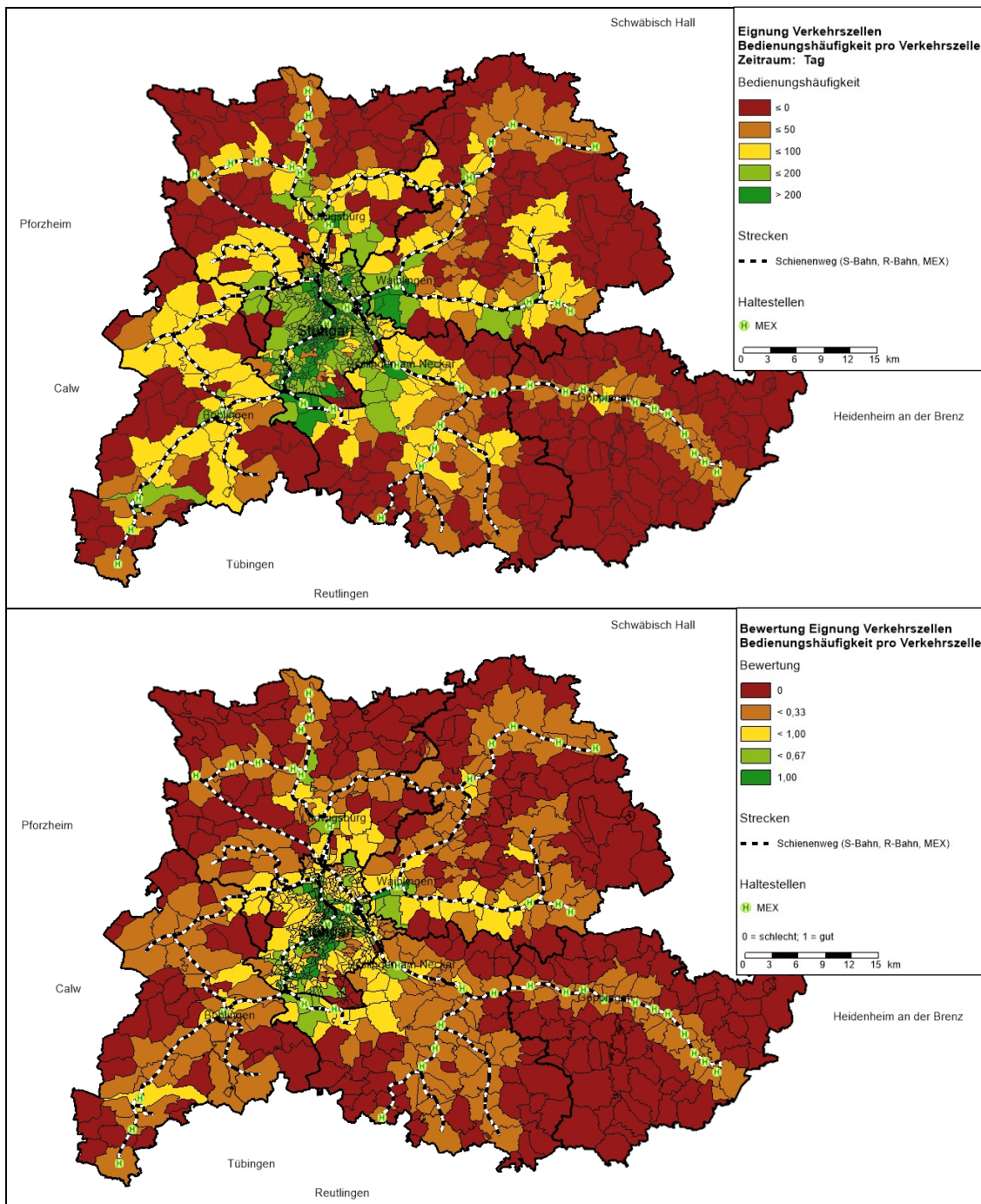


Abbildung 25: Bedienungshäufigkeit im Schienenverkehr (oben) und deren Bewertung (unten).

## Gesamtbewertung der Verkehrszellen

Die Berechnung einer einheitlichen Bewertungsgröße pro Verkehrszelle ist notwendig, um die zusätzlichen Einwohner neu in der Region Stuttgart zu verteilen. Die Bewertungsgröße setzt sich aus den zuvor beschriebenen Kenngrößen zusammen, denen in der Tabelle 25 dargestellten Gewichtungsfaktoren zugrunde gelegt wurden.

Bewertungsgröße	Anteil an Gesamtbewertung
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners	0,5
Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners auf sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4)	0,1
ÖV-Verkehrsleistung eines Einwohners auf sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4)	0,2
Bedienungshäufigkeit im ÖV	0,2

Tabelle 25: Gewichtung der bewerteten Kenngrößen für die Gesamtbewertung der Einwohner in der Region Stuttgart.

Auf der Grundlage der in Tabelle 25 dargestellten Kenngrößen und Gewichtungsfaktoren ergibt sich die Gesamtbewertung der Region Stuttgart (vgl. Abbildung 26). In der Stadt Stuttgart und den Mittelzentren ist eine sehr gute verkehrliche Bewertung zu erkennen. Die Bewertung nimmt in den Bereichen mit einem schlechteren ÖV-Angebot und einer größeren Entfernung zum Oberzentrum und zu den Mittelzentren ab. Abbildung 27 zeigt die Anteile der verkehrlichen Bewertung differenziert nach Siedlungsbereich und Eigenentwicklung. Alle Verkehrszellen mit einer guten und sehr guten verkehrlichen Bewertung liegen in den Siedlungsbereichen. Allerdings gibt es auch im Siedlungsbereich Verkehrszellen, die eine unterdurchschnittliche Bewertung aufweisen. Dieser Effekt kann durch die Zuordnung der Verkehrszellen zu den Siedlungsbereichen erklärt werden. In der Region Stuttgart sind 80 % der Verkehrszellen den Siedlungsbereichen zugeordnet, wodurch aufgrund der Bewertungsfunktion Verkehrszellen mit einer unterdurchschnittlichen Bewertung in den Siedlungsbereich fallen. Die Verkehrszellen im Siedlungsbereich mit einer schlechten verkehrlichen Eignung sind zum einen Verkehrszellen in Gewerbegebieten oder Naherholungsgebieten, die eine schlechtere Anbindung an den ÖV haben. Zum anderen weisen Verkehrszellen, deren Einwohner bereits ausgelastete Straßen und Züge vermehrt nutzen und bei denen Verkehrsleistung pro Einwohner hoch ist, eine schlechte verkehrliche Eignung auf.

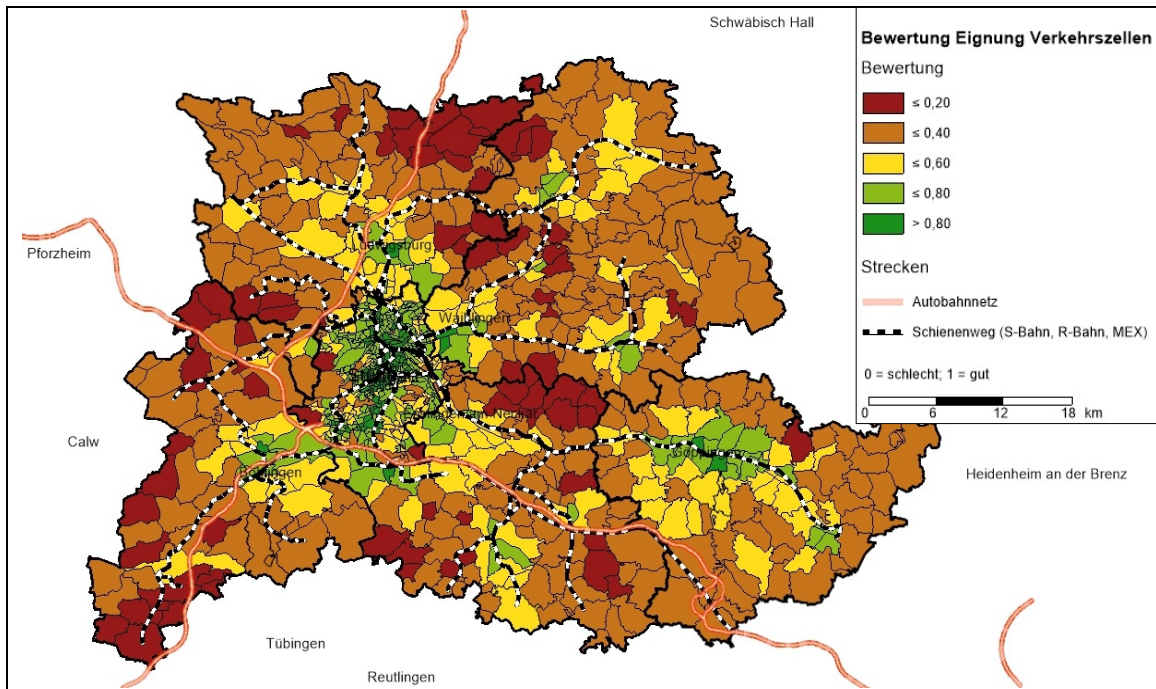


Abbildung 26: Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen in der Region Stuttgart unter Einbezug der Wohnstandorte.

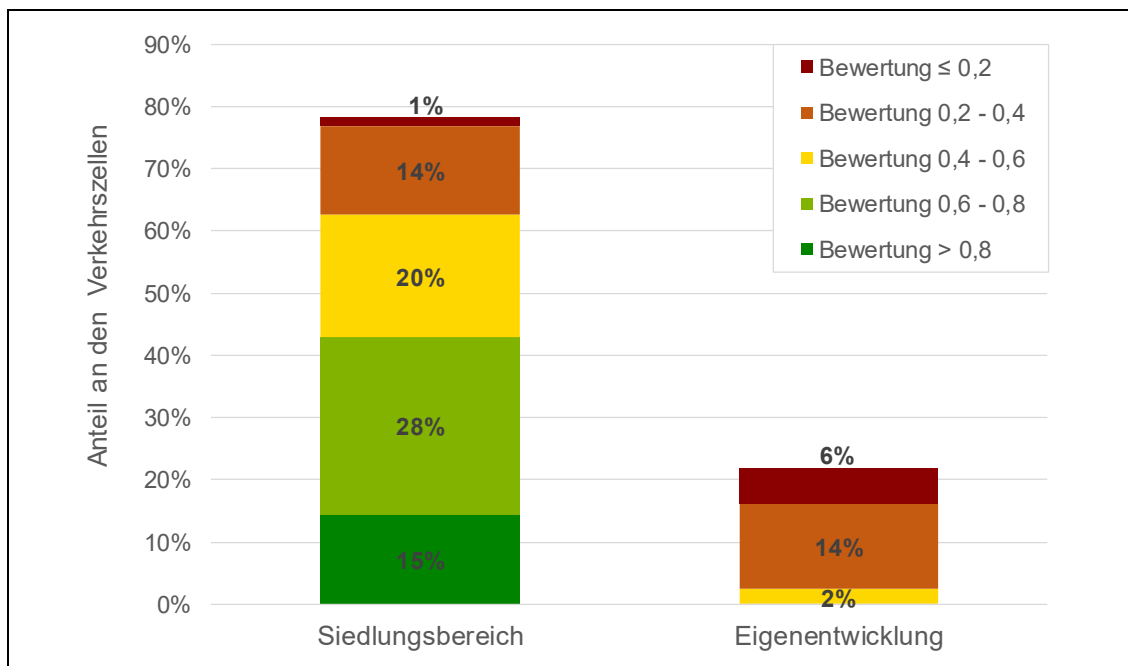


Abbildung 27: Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen der Wohnflächenentwicklung der Region Stuttgart.

### 5.2.2 Ermittlung der verfügbaren Flächenreserven

Die Analyse der Flächenreserven erfolgt für die Siedlungsentwicklung anhand von Flächennutzungsplänen und Luftbildaufnahmen. Die Auswertung der bebauten und unbebauten Siedlungsflächenreserven ergibt, dass in den Mittelzentren, Unterzentren, Kleinzentren und den Gemeinden mit keiner zentralen Bedeutung über 50 % der Flächenreserven unbebaut sind. In dem Oberzentrum sind hingegen über 70 % der Flächen bereits bebaut (vgl. Tabelle 26). Die Differenzierung bezüglich der Wohnbauflächen liefert für die prozentualen Anteile der bebauten und unbebauten Flächen die gleichen Ergebnisse.

Einteilung in Anlehnung an das System „Zentrale Orte“	Flächenreserven [ha]	Anteil bebauter Flächenreserven [%]	Anteil unbebauter Flächenreserven [%]	Wohnbauflächenreserven [ha]	Anteil bebauter Wohnbauflächenreserven [%]	Anteil unbebauter Wohnbauflächenreserven [%]
Oberzentrum	583	77	23	145	54	46
Mittelzentrum	2.145	44	56	1.060	39	61
Grundzentrum	1.432	35	65	744	37	63
Gemeinden ohne zentrale Funktion	952	11	88	1.215	41	59

Tabelle 26: Flächenreserven der Wohnbauflächen der Region Stuttgart nach dem System „Zentrale Orte“ (FRIEDRICH ET AL., 2017).

Die Berechnung der Kapazität für prognostizierte Einwohner wird in zwei Teilschritten durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgt die Übertragung der aktuellen Wohnbaudichten auf die Flächenpotenziale der Wohnbauflächen, woraus sich ein Potenzial für zusätzliche Einwohner ergibt. Der Vergleich der potenziellen zusätzlichen Einwohner mit den prognostizierten Einwohnerzahlen ergibt eine Unter- bzw. Überversorgung mit Wohnbauflächen. Der zweite Teilschritt setzt die Annahmen der Orientierungswerte für Wohnbaudichten aus dem Regionalplan 2009 um (vgl. Tabelle 17). Der Vergleich der realisierten Dichtewerte mit den Orientierungswerten zeigt, dass diese teilweise stark voneinander abweichen. Diese Diskrepanz ergibt sich aus der historischen Siedlungsentwicklung (FRIEDRICH ET AL., 2017). Für folgende Analysen werden die Orientierungswerte des Regionalplans 2009 für die Berechnung der potenziellen zusätzlichen Einwohner genutzt. Als potenzielle Flächen werden für die Berechnung Wohnbauflächen und Flächen gemischter Nutzung betrachtet. Wobei die Flächen mit gemischter Nutzung zu 50 % in die Berechnungen eingehen. Insgesamt ergibt sich für die Region Stuttgart eine zusätzliche Kapazität von rund 1.900 ha. Woraus sich unter Betrachtung der Orientierungswerte des Regionalplans ein maximal zulässiges Einwohnerwachstum von 128.600 Einwohnern ergibt.

### 5.2.3 Optimierungsverfahren der Einwohnerentwicklung und Einwohnerverteilung

Die Bildung der Szenarien erfolgt analog der in Kapitel 4.3.4 dargestellten Szenarien. Aufgrund der Vielzahl an Szenarien erfolgt am Beispiel der Region Stuttgart eine Umbenennung der Szenarien. Nachfolgende Tabelle 27 enthält die Szenarien-bezeichnung aus der Modellerstellung und die im weiteren Verlauf der Beispielrechnung umbenannten Szenarien.

Szenarienbezeichnung der Modellerstellung	Szenarienbezeichnung der Region Stuttgart	Beschreibung	Verkehrsangebot / Einwohnerzahlen	Einwohnerzusammensetzung	Vorrangige Nutzung der Flächenreserven	Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung
0-Ana	W0-2010	Analysezustand mit Bevölkerungszusammensetzung des Analysejahres	2025 / 2010	2010	-	-
0-Pro	W0-2025	Analysezustand mit Bevölkerungszusammensetzung des Prognosejahres	2025 / 2010	2025	-	-
2	W0-S	Szenario - „Ist-Zustand“ Grundlage: Einwohnerprognose des statistischen Amtes	2025 / 2025	2025	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	W1	Szenario ohne Planinstrumente „Null-Variante“	2025 / 2025	2025	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	W2 Mitte	Testszenario: alle Einwohner werden in der Mitte des Planungsraums angesiedelt	2025 / 2025	2025	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	W2	Szenario mit einer optimierten Verteilung der zusätzlichen Einwohner - „Soll-Zustand“	2025 / 2025	2025	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	W3*	S2 „Soll-Zustand“ + zusätzliche Einwohner	2025 / 2025+	2025	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Abkürzungen / Anmerkungen</b>						
* für Szenario W3 werden 2 Unterszenarien untersucht. <ul style="list-style-type: none"> <li>• W3.1 geht von einer Nutzung aller verfügbaren Flächen aus und ermittelt die maximal mögliche Anzahl an zusätzlichen Einwohnern</li> <li>• W3.2 basiert auf W3.1 und verteilt zusätzliche Einwohner</li> </ul>						

Tabelle 27: Szenarien der Einwohnerentwicklung in der Region Stuttgart.

In der Region Stuttgart werden ausgehend vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2025 110.000 zusätzliche Einwohner erwartet (vgl. Tabelle 12). Um Auswirkungen eines erhöhten Einwohnerwachstums abschätzen zu können, wird in einer zweiten Stufe 2025+ ein Einwohnerzuwachs von insgesamt 220.000 Einwohnern untersucht. Ausgehend vom Analysejahr 2010 mit insgesamt 2.658.000 Einwohnern ergeben sich für das Prognose-



jahr 2025 2.769.000 Einwohner und für den Prognosehorizont 2025+ 2.880.000 Einwohner. Neben dem Einwohnerwachstum von 4,2 % bis zum Jahr 2025, kommt es zu einer Änderung der Anteile der Personengruppen, die aufgrund des spezifischen Mobilitätsverhaltens zu Verkehrsleistungsänderungen führen kann. Um diesem Effekt zu entgegen, werden nachfolgend alle Szenarien (ausgenommen Szenario W0-Ana) auf Basis der prognostizierten Personengruppen im Jahr 2025 berechnet. In den Szenarien der Einwohnerverteilung wird die Anzahl der Arbeitsplätze nicht verändert. Anhand der vorgegebenen Anzahl an Arbeitnehmern und der damit verbundenen Wege werden die Arbeitsplätze im Verkehrsnachfragemodell so skaliert, dass alle Arbeitswege durchgeführt werden können.

### **Szenario W0-2010**

Das Szenario W0-2010 setzt sich aus den Einwohnern und der Bevölkerungszusammensetzung des Analysejahres 2010 sowie dem Verkehrsangebot des Prognosejahres 2025 zusammen.

### **Szenario W0-2025**

Szenario W0-2025 wird dazu genutzt, um die Einflüsse der veränderten Bevölkerungszusammensetzung des Analyse- und Prognosejahres auf die Verkehrsleistung zu analysieren und in den weiteren Betrachtungen auszuschließen. Die Bevölkerung des Szenarios setzt sich aus den Einwohnern des Analysejahres 2010 und der Einwohnerzusammensetzung des Prognosejahres 2025 zusammen. Das Verkehrsangebot basiert auf dem Prognosejahr. Das Szenario W0-2025 wird als Referenz-szenario herangezogen, wodurch Auswirkungen der zusätzlichen Einwohner in den darauffolgenden Szenarien untersucht werden können.

### **Szenario W0-S - Ist-Zustand**

Das Szenario stellt das Bezugsszenario dar. Die Einwohnerverteilung und -zusammensetzung basieren auf den Prognosen des Statistischen Landesamtes. Die Angaben werden an die Vorgaben des Regionalplans angepasst und die Einwohner entsprechend verteilt. Die Einwohnerzuwächse in den Gemeinden der Kategorie „Eigenentwicklung“ werden auf 1,0 % je 5 Jahre beschränkt (VERBAND REGION STUTTGART, 2009, P. 74). Eine Betrachtung der verfügbaren Flächen aus den FNP erfolgt nicht. Abbildung 28 zeigt die Änderungen der Einwohnerverteilung auf Ebene der Mittelbereiche zweiter Ordnung im Vergleich zum Analysejahr 2010.

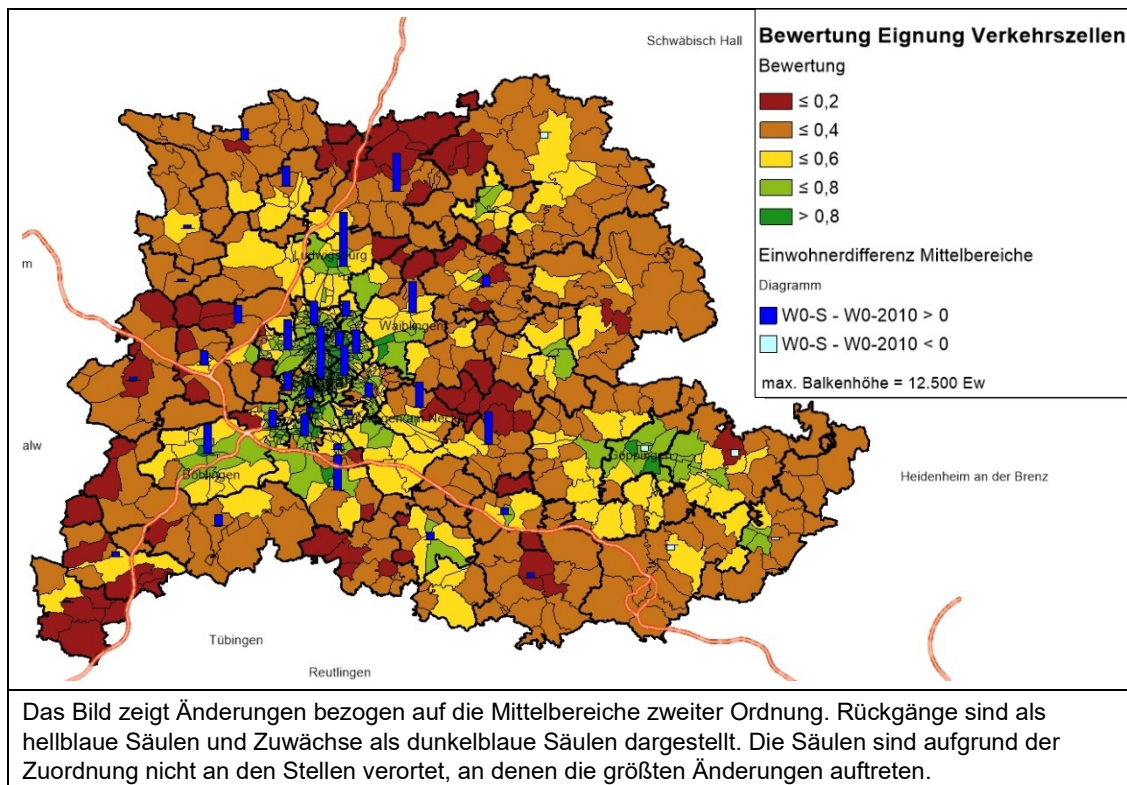


Abbildung 28: Änderung der Einwohnerverteilung zwischen W0-2010 und W0-S.

### Szenario W1 - „Null-Variante“ ohne Planinstrumente

In der „Null-Variante“ wird davon ausgegangen, dass die regionalplanerischen Steuerungsinstrumente nicht zur Anwendung kommen. Die erwarteten zusätzlichen Einwohner und die daraus resultierende veränderte Verkehrsnachfrage werden unabhängig von den regionalplanerischen Zielen und Instrumenten proportional zu den Einwohnern des Analysejahres 2010 verteilt. Die proportionale Entwicklung der Bevölkerung beinhaltet jedoch die regionalplanerischen Steuerungswirkungen aus den vorangegangenen Jahren. Es wird erwartet, dass die verkehrlichen Wirkungen sich im Vergleich zum Szenario W0-S nicht drastisch verschlechtern werden.

Abbildung 29 zeigt die Einwohnerveränderungen bezogen auf das Szenario W0-S. Es ist zu erkennen, dass es in den verkehrlich gut bewerteten Verkehrszellen der Stadt Stuttgart und Ludwigsburg zu einer Reduktion der Einwohner in diesem Szenario kommt. In den Randregionen würde es tendenziell zu einem Einwohnerwachstum kommen. Die veränderte Einwohnerverteilung ist als Diagramm im Anhang B - 1 zu finden.

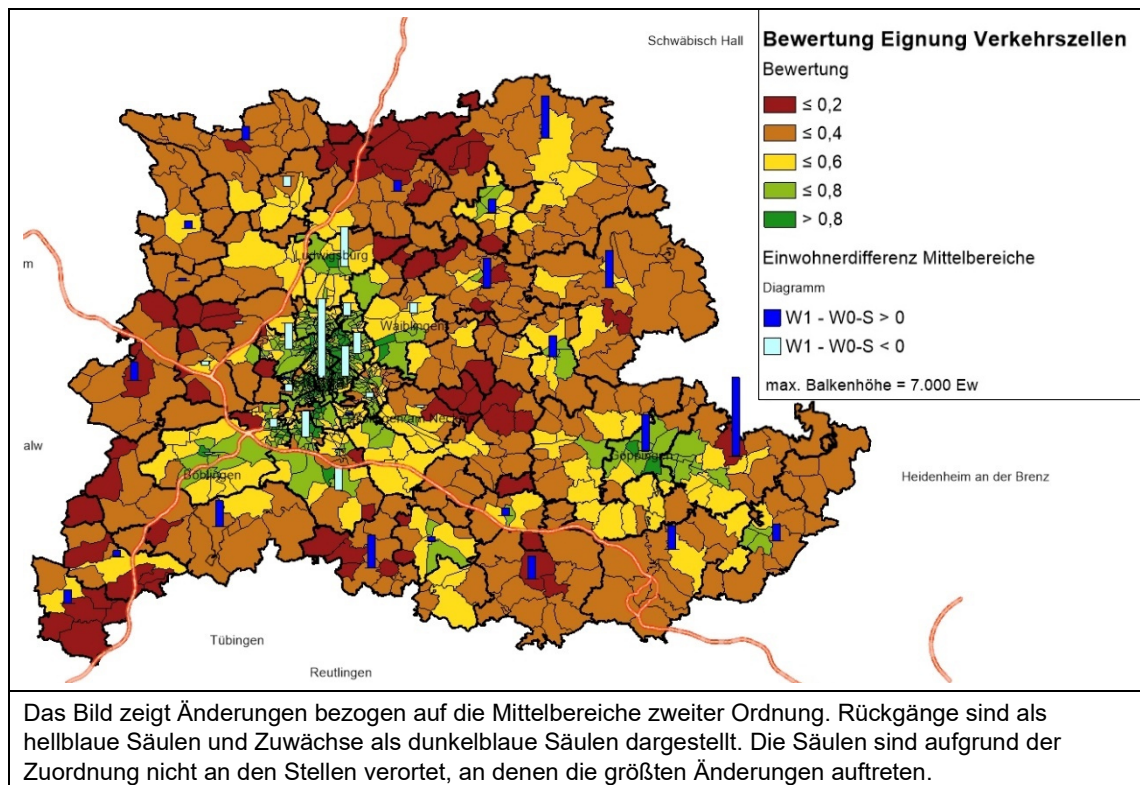


Abbildung 29: Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W1.

### Szenario W2 Mitte

Zur Überprüfung der Modellwirkungen wird das Testszenario W2 Mitte erstellt. In dem Szenario wird angenommen, dass die zusätzlichen Einwohner in der Nähe des Stuttgarter Hauptbahnhofs angesiedelt werden. Der Vergleich der Reiseweite und der Verkehrsmittelwahl mit den anderen Szenarien soll zeigen, dass die Reiseweite sinkt und es zu Verlagerungen vom Pkw-Verkehr auf den Fußverkehr und den ÖV kommt.

### Szenario W2 - Soll-Zustand

Die Szenarien W2 verteilen die zusätzlichen Einwohner anhand der verkehrlichen Eignung, den verfügbaren Flächenreserven und der vorgegebenen Minstdichten in der Region. Das Szenario wird in sechs Unterszenarien aufgeteilt. Aus Tabelle 28 können die Eigenschaften der Szenarien und der Einbezug der jeweiligen betrachteten Kenngröße entnommen werden. Beispielsweise wird der Faktor der Minstdichte ab dem Szenario W2.21 auf 2,0 erhöht.

Szenario	Personen-kilometer (PKm) im Pkw-Verkehr	ÖV Bedienungshäufigkeit	PKm im Pkw-Verkehr in der Auslastungs-klasse 4	PKm im ÖV in der Auslastungs-klasse 4	Faktor Mindestdichte	Vorrang Nutzung von Flächenreserven
W2.11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5	<input type="checkbox"/>
W2.12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5	<input checked="" type="checkbox"/>
W2.21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2,0	<input type="checkbox"/>
W2.22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2,0	<input checked="" type="checkbox"/>
W2.31	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,0	<input type="checkbox"/>
W2.32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,0	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabelle 28: Übersicht der Grundszenarien im Szenario W2 der Region Stuttgart.

Die Ausprägungen, sowie der Berechnungsablauf der Szenarien sind in Kapitel 4.3.4 detailliert erläutert. Die Umverteilung der Einwohner der Unterszenarien verglichen mit dem Bezugsszenario W0-S sind in Abbildung 30 und Abbildung 31 dargestellt. Aus den Abbildungen ist zu entnehmen, dass ein Großteil der Einwohner in den Randbereichen der Mittelzentren angesiedelt wird. Aufgrund der derzeitigen Flächennutzungen und vorhandenen Flächenreserven kommt es in den Städten nicht zu einer Ansiedlung der zusätzlichen Bevölkerung. Dies begründet sich in der guten Anbindung an den ÖV, wodurch die Randbereiche der Städte mit guter verkehrlicher Eignung und die Verkehrszellen der Ober- und Mittelzentren ein Einwohnerwachstum aufweisen. Die veränderte Einwohnerverteilung ist als Diagramm im Anhang B - 2 zu finden.

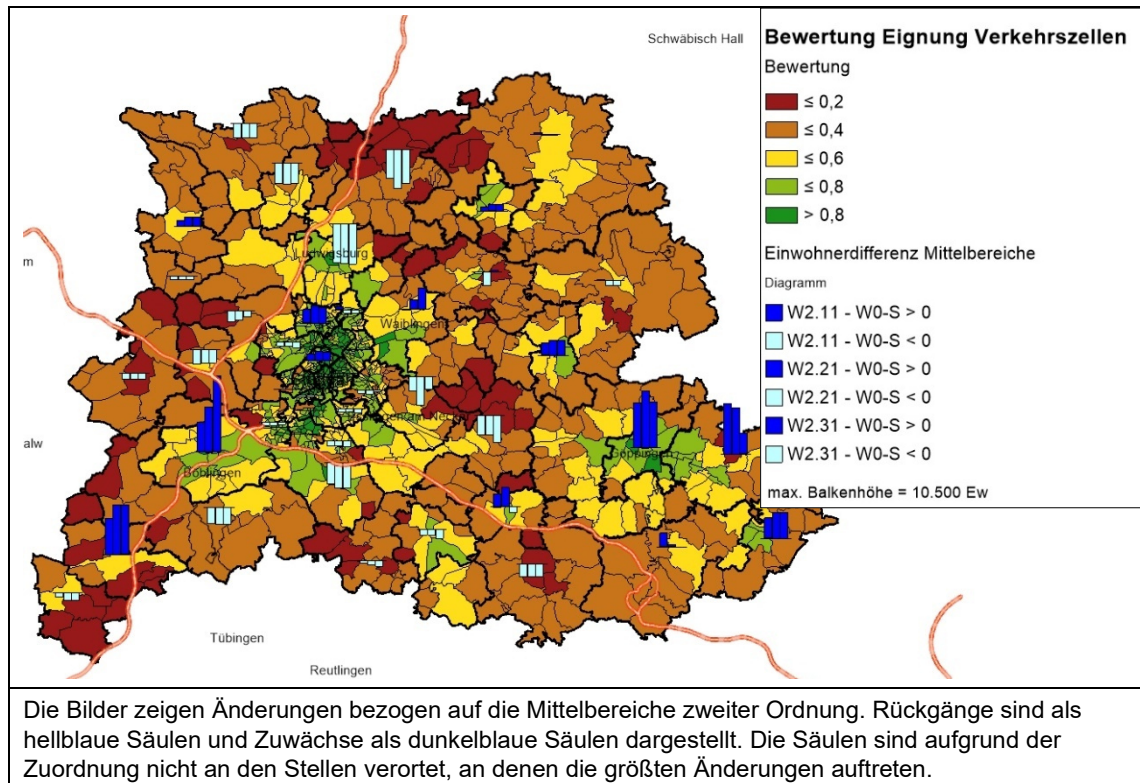


Abbildung 30: Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W2.X1.

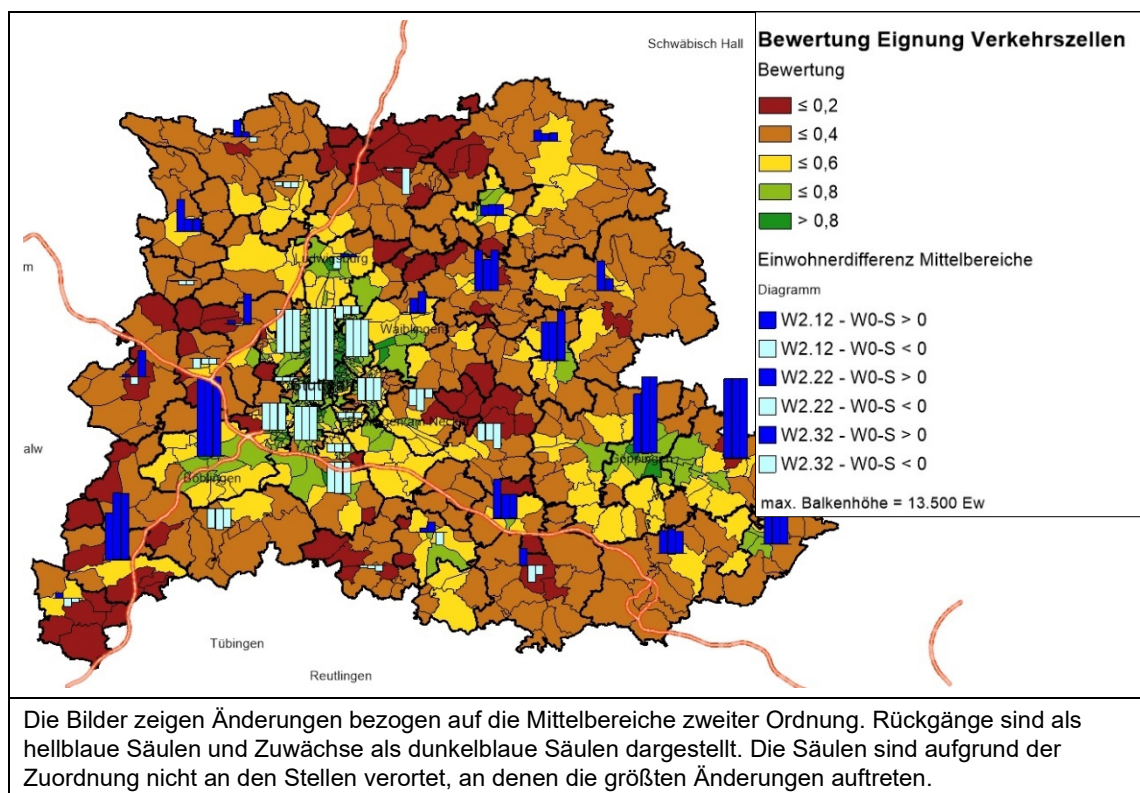


Abbildung 31: Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W2.X2.

### **Szenario W3 - Soll-Zustand + zusätzliche Einwohner**

Das Szenario W3 wird unter den Annahmen erstellt, dass die Einwohner auf Basis der verkehrlichen Eignung verteilt werden und dass in der Vergangenheit alle verfügbaren Flächenreserven besiedelt wurden. Insgesamt sollen ausgehend vom Analysejahr 2010 in dem Szenario 220.000 zusätzliche Einwohner in der Region angesiedelt werden. Das entspricht einem Einwohnerwachstum um rund 8,4 %. Das Szenario unterteilt sich in die Unterszenarien W3.1 und W3.2. Im Szenario W3.1 wird unter Berücksichtigung der Flächeninanspruchnahme der Flächenreserven die Anzahl an Einwohnern ermittelt, die in den Verkehrszellen angesiedelt werden können. Für die Region Stuttgart ergibt sich bei vollständiger Inanspruchnahme der Flächenreserven ein zusätzliches Einwohnerwachstum von 149.000 Einwohnern. Dementsprechend müssen im Szenario W3.2 73.000 weitere zusätzliche Einwohner auf die Region verteilt werden. Die Kapazitäten der vorhandenen Flächenreserven weichen von den zuvor ermittelten Kapazitäten ab, was sich mit der Überschreitung der Mindestdichten erklären lässt. Ausgehend von den ermittelten Siedlungsdichten im Bestand erfolgt die Überschreitung der Mindestdichte des Regionalplans um 50 %. Dies hat exemplarische Bedeutung und kann jederzeit an die vorgegebenen Siedlungsdichten angepasst werden. Die Berechnungsabläufe können Kapitel 4.3.4 entnommen werden.

Abbildung 32 beinhaltet die veränderte Einwohnerverteilung der Szenarien W3 im Vergleich zum Szenario W0-S. Aufgrund der fehlenden Flächenreserven werden in der Stadt Stuttgart weniger Einwohner angesiedelt als im Szenario W0-S. Außerhalb der Stadt Stuttgart kommt es zu einem Einwohnerwachstum in jedem Mittelbereich zweiter Ordnung. Die veränderte Einwohnerverteilung ist als Diagramm im Anhang B - 3 zu finden.

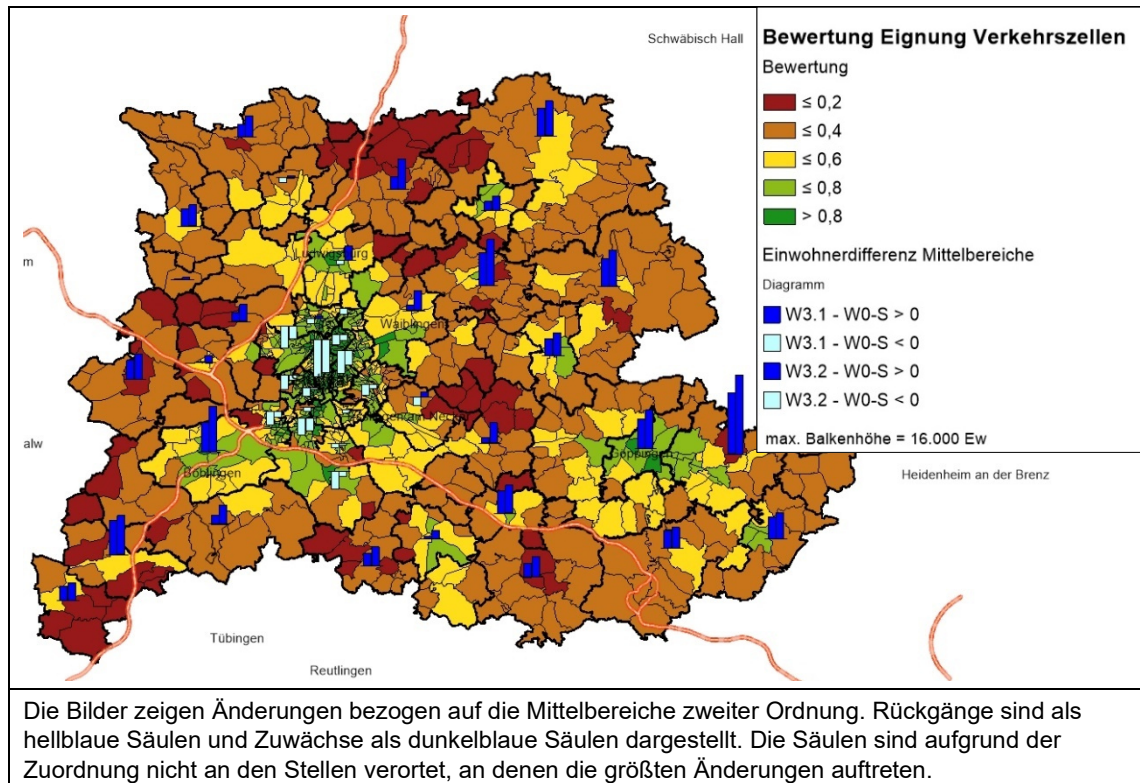


Abbildung 32: Änderung der Einwohnerverteilung in den Mittelbereichen zwischen W0-S und W3.

## 5.2.4 Vergleich der Ergebnisse

Die Szenarien werden hinsichtlich der Verkehrsleistung (Personenkilometer), der Reiseweite und den aus der Verkehrsleistung resultierenden Umweltwirkungen miteinander verglichen. Das Einwohnerwachstums um 4,2 % im Prognosejahr 2025 bzw. 8,4 % für den Prognosehorizont 2025+ hat Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsstärken im Verkehrsnetz. Aufgrund des Einwohnerwachstums und der daraus resultierenden steigenden Verkehrsleistung werden die Änderungen für die gesamte Region Stuttgart und die spezifische Verkehrsleistung eines zusätzlichen Einwohners nachfolgend dargestellt.

### Vergleich der Analyseszenarien W0-2010 und W0-2025

Die Verkehrsleistung differenziert nach Modi für die Analyseszenarien W0-2010 und W0-2025 ist in Abbildung 33 dargestellt.

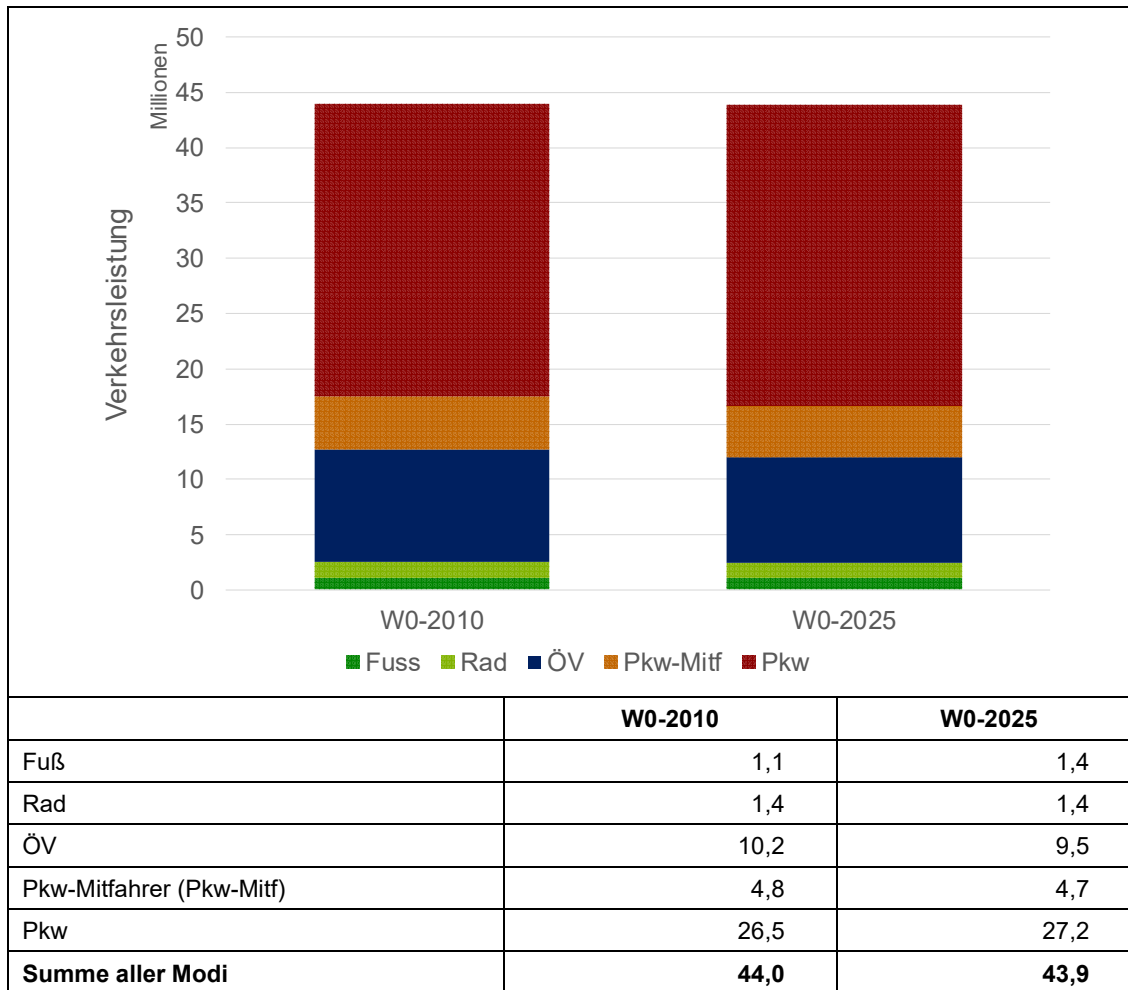


Abbildung 33: Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der Analyseszenarien W0-2010 und W0-2025.

Die veränderte Bevölkerungszusammensetzung (siehe Tabelle 27) führt bei gleichen Einwohnerzahlen zu einer Verlagerung vom ÖV auf den Pkw. Die Verkehrsleistung der Fußgänger und Fahrradfahrer bleibt hingegen nahezu konstant. Ursache für die Verlagerungseffekte ist die Zunahme des Motorisierungsgrades. Der Anteil der Bevölkerung mit einer Pkw-Verfügbarkeit steigt um 2,6 %. Eine weitere Ursache ist der sinkende Anteil der Schüler, die den ÖV nutzen. Der Anteil der ÖV-affinen Schüler sinkt von 9,3 % auf 7,9 %.

### Ergebnisse der Verkehrsleistung und mittleren Reiseweite der Szenarien des Prognosejahres 2025

#### Auswertung der Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistung des Szenarios W0-S, ohne Planinstrumente, und der Szenarien mit einer verbesserten Verteilung der zusätzlichen Einwohner ist in Abbildung 34 abgebildet. Dargestellt ist die Verkehrsleistung des Binnenverkehrs innerhalb der Region Stuttgart. Aufgrund des geringen Einwohnerwachstums (+ 4,2 %) lassen sich keine ein-



deutigen Schlussfolgerungen ziehen. Ein erster Vergleich der Wertetabelle lässt erkennen, dass die Verkehrsleistung über alle Modi im Bezug zu dem Analyseszenario W0-2025 einen Zuwachs der Verkehrsleistung zwischen + 2,3 % und + 4,0 % hervorruft. Der Vergleich des prozentualen Anstiegs der Verkehrsleistung im Szenario W1 mit dem Analysezustand W0-2025 zeigt, dass die Zunahme der Verkehrsleistung unterhalb des Einwohnerwachstums liegt. Bei einem unveränderten Verkehrsangebot führt eine höhere Einwohnerzahl zu zusätzlichem Verkehr und damit zu einem Anstieg der Verlustzeiten im MIV, wodurch die Modus- und Zielwahl beeinflusst wird. Aufgrund der höheren Verlustzeiten versuchen die Einwohner durch eine veränderte Wahl der Aktivitätenorte die Verlustzeit so gering wie möglich zu halten. Die unterschiedlichen Berechnungsvorgänge verursachen in den Szenarien des „Soll-Zustands“ unterschiedliche Ergebnisse in der Verkehrsleistung. Die Szenarien, die vorrangig die verfügbaren Flächenreserven nutzen (W2.X2), verursachen durchschnittlich 500.000 Personenkilometer mehr, als die Szenarien, bei denen die Flächenreserven überschritten werden können (W2.X1).

Eine Betrachtung der Verkehrsleistung nach den einzelnen Modi verdeutlicht, dass die absoluten Änderungen der Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr am höchsten sind, was aus dem Anteil des Pkw-Verkehrs am Gesamtverkehr resultiert. In den Szenarien, bei denen die Flächenreserven nicht vorrangig genutzt werden, sind die relativen Änderungen der Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr am geringsten, mit + 1,8 % bis + 3,6 %. Das Szenario W2.31 erreicht als einziges Szenario einen Rückgang der Pkw-Verkehrsleistung im Vergleich zum Bezugsszenario W0-S. Im Vergleich zum Pkw-Verkehr weist der ÖV in allen Szenarien eine höhere relative Änderung auf. Die höchsten Zuwächse sind in den Szenarien, bei denen die Flächenreserven vorrangig genutzt werden, zu verzeichnen. Dieser Effekt resultiert u.a. aus den höheren Reiseweiten, die die Verkehrsteilnehmenden im ÖV zurücklegen.

Das Szenario W2 Mitte verursacht im Vergleich zu allen Szenarien, einschließlich dem Bezugsszenario, die wenigsten Personenkilometer. Aus der Abbildung 34 lässt sich erkennen, dass mit einer gezielten Steuerung der Einwohnerverteilung die Pkw-Verkehrsleistung reduziert werden kann.

Aufgrund des Einwohnerwachstums von 4,2 % und der daraus resultierenden Steigerung der Gesamtverkehrsleistung ist es sinnvoll, die Verkehrsleistung der zusätzlichen Bevölkerung zu betrachten. Es werden in allen Szenarien ausschließlich die 110.000 zusätzlichen Einwohner in die nachfolgenden Überlegungen einbezogen.

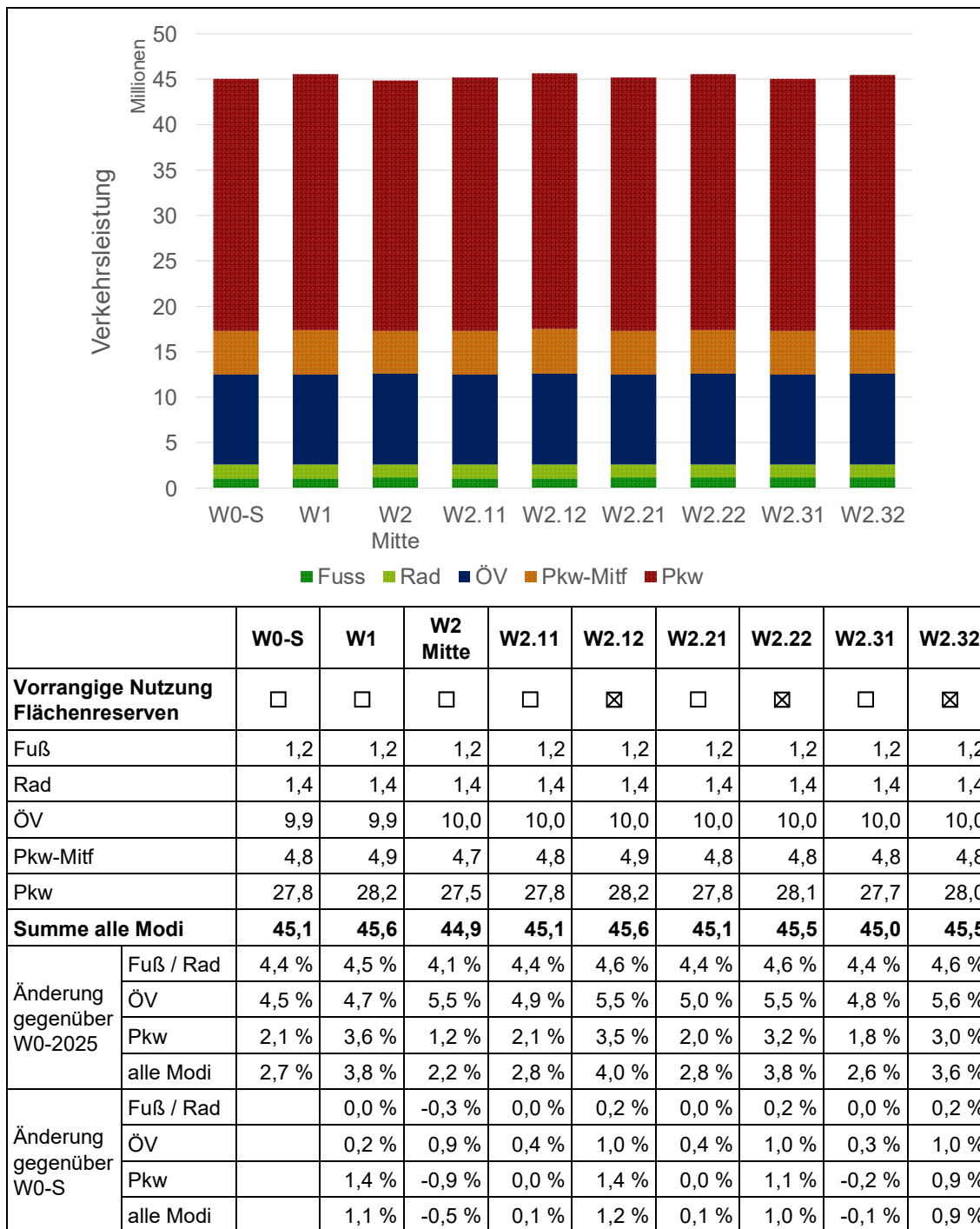


Abbildung 34: Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der Einwohner in der Region Stuttgart in den Szenarien W0-S, W1 und W2.

Aus Abbildung 35 wird ersichtlich, dass die Verkehrsleistung der Szenarien W2.X2 höher ist als die Verkehrsleistung des Bezugsszenarios W0-S und W2.X1. Die Veränderung der verkehrlichen Bewertung je Verkehrszelle hat eine Reduktion der Verkehrsleistung zur Folge (vgl. Szenario W2.21 / W2.22 und W2.31 / W2.32). In allen Szenarien liegt die Verkehrsleistung über der Verkehrsleistung des Bezugsszenarios W0-S, mit Ausnahme des Szenarios W2 Mitte und W2.31. Dies begründet sich in der verkehrlichen Bewertung, da diese neben der Reiseweite auch die Auslastung der Strecken berücksichtigt.

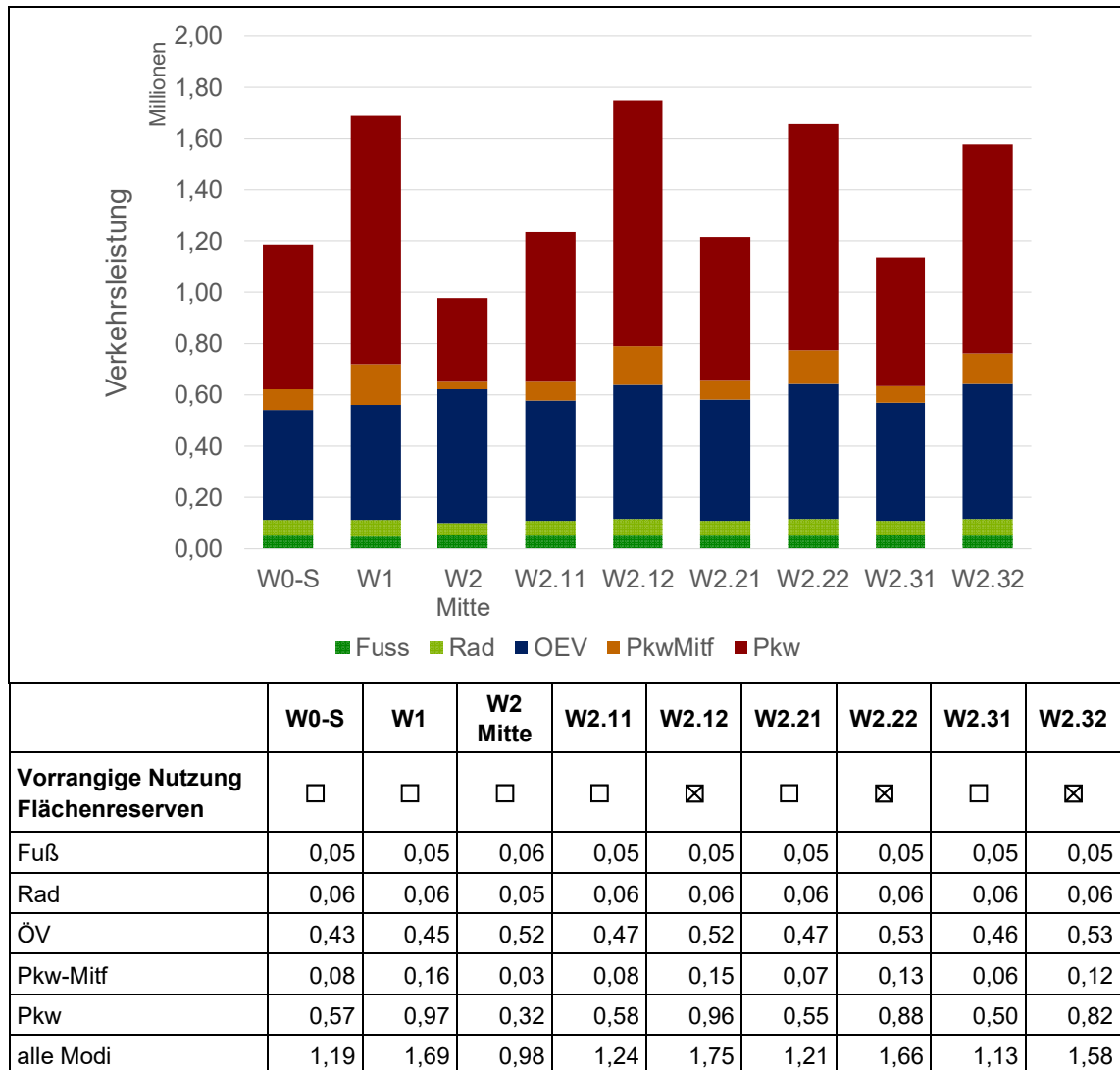


Abbildung 35: Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der zusätzlichen 110.000 Einwohner in den Szenarien W0-S, W1 und W2.

Auswertung der mittleren Reiseweite

Neben der Verkehrsleistung erfolgt die Auswertung der mittleren Reiseweite über alle Modi, die ein zusätzlicher Einwohner an einem Werktag in der Region zurücklegt. Im Vergleich zu der durchschnittlichen Reiseweite eines Einwohners in der Region Stuttgart, führt ein zusätzlicher Einwohner im Durchschnitt kürzere Wege durch (vgl. Tabelle 29).

Szenario	Vorrangige Nutzung Flächenreserven	Einwohner	Mittlere tägliche Reiseweite eines Einwohners über alle Modi [km]	Mittlere tägliche Reiseweite eines Einwohners als Fahrer eines Pkw [km]
W0-2025	-	alle Einwohner	16,5	10,2
W0-S	<input type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	10,7	5,1
W1	<input type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	15,2	8,7
W2 Mitte	<input type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	8,8	2,9
W2.11	<input type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	11,1	5,2
W2.12	<input checked="" type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	15,7	8,6
W2.21	<input type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	10,9	5,0
W2.22	<input checked="" type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	14,9	7,9
W2.31	<input type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	10,2	4,5
W2.32	<input checked="" type="checkbox"/>	nur Δ Einwohner	14,2	7,3

Tabelle 29: Mittlere tägliche Reiseweite je Einwohner über alle Modi und als Pkw-Fahrer in den Szenarien W0-2025, W0-S, W1 und W2.

Die Szenarien W2.X2 weisen im Durchschnitt deutlich höhere mittlere Reiseweiten auf, als die Szenarien, die die Flächenreserven nicht berücksichtigen. Das Szenario W2 Mitte liefert nicht nur die geringste Verkehrsleistung, auch die mittlere Reiseweite ist über alle Modi am geringsten.

### Ergebnisse der Verkehrsleistung und mittleren Reiseweite der Szenarien des Prognosehorizonts 2025+

#### Auswertung der Verkehrsleistung

Die Auswertung der Verkehrsleistung erfolgt analog den Szenarien W1 und W2. Abbildung 36 enthält die Verkehrsleistung der gesamten Einwohner der Region Stuttgart. Durch eine Zunahme der Bevölkerung sowie der Einhaltung der Flächenreserven kommt es in beiden Szenarien zu einer Zunahme der Verkehrsleistung. Um die Unterschiede zwischen den Szenarien zu verdeutlichen, wird die Verkehrsleistung der zusätzlichen Einwohner ausgewertet (vgl. Abbildung 37). Aufgrund der zusätzlichen Bevölkerung kommt es in den Szenarien W3 zu einem Anstieg der Verkehrsleistung.

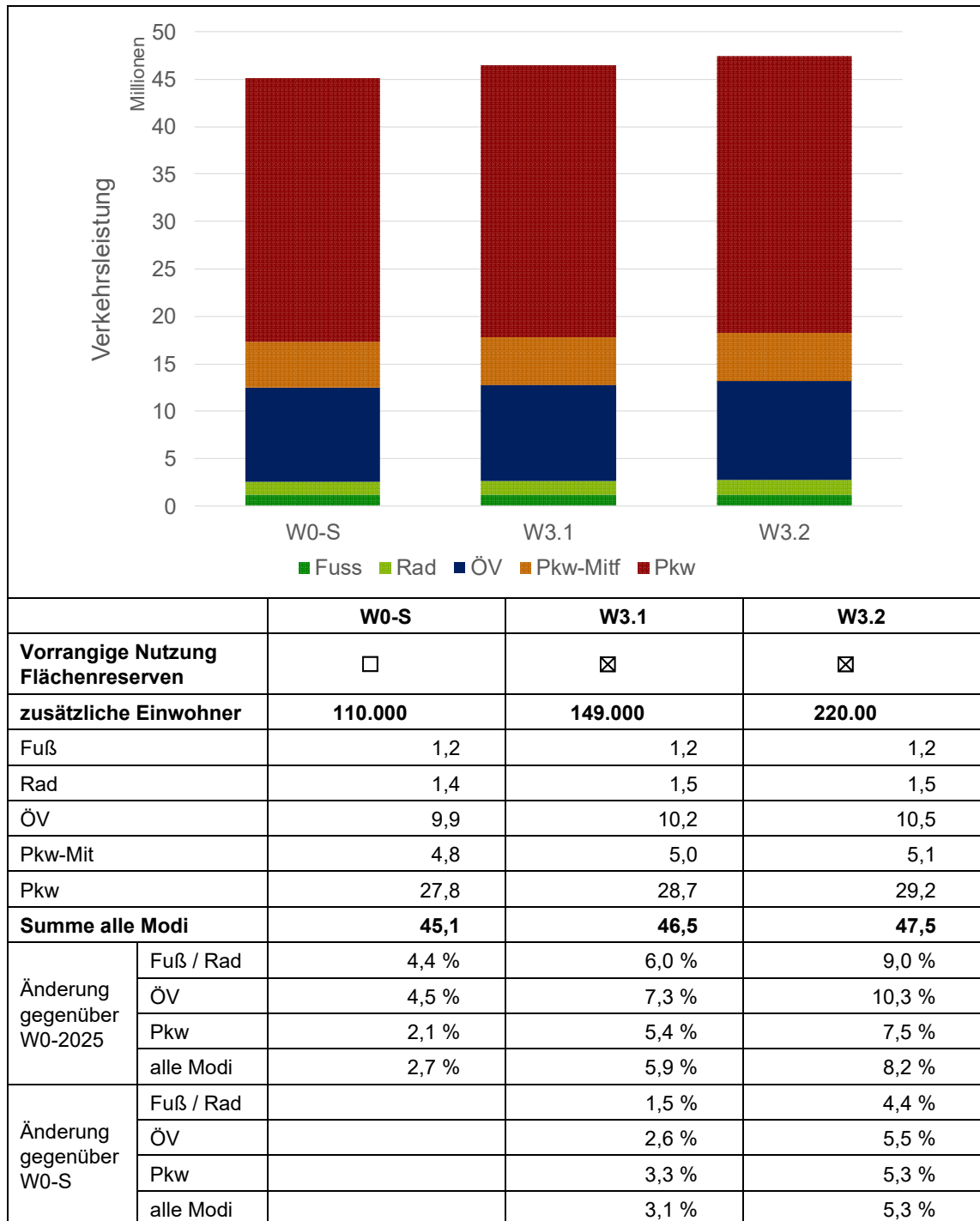


Abbildung 36: Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der gesamten Einwohner in der Region Stuttgart in den Szenarien W0-S und W3.

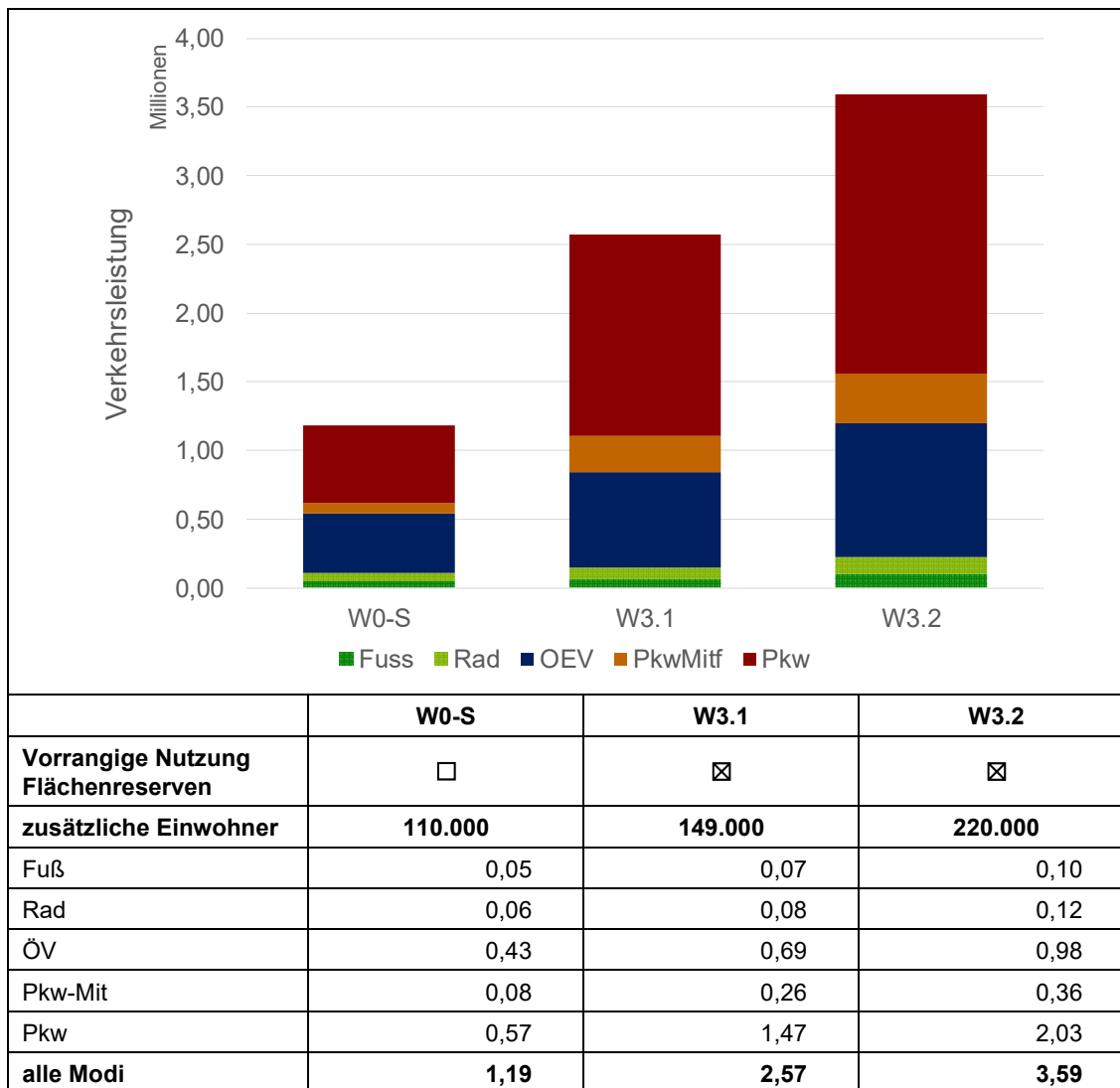


Abbildung 37: Verkehrsleistung (Mio. Personenkilometer) der zusätzlichen Einwohner in den Szenarien W3 im Vergleich zum Szenario W0-S.

Auswertung der mittleren Reiseweite

In den Szenarien W3 steigt die mittlere tägliche Reiseweite eines zusätzlichen Einwohners, betrachtet über alle Modi (Tabelle 30). Aufgrund der in den Flächennutzungsplänen vorgegebenen Flächen für Einwohnerzuwächse steigen die mittleren täglichen Reiseweiten in den Szenarien an. Dieser Umstand kann durch die fehlende Differenzierung der Flächen nach ihrer verkehrlichen Eignung in den Flächennutzungsplänen begründet werden. Die mittlere Reiseweite über alle Modi steigt im Szenario W3.1 um 6,5 km und im Szenario W3.2 um 5,4 km pro Einwohner an, was eine Verschlechterung gegenüber dem Bezugsszenario darstellt. Der Vergleich mit dem Analysefall zeigt hingegen eine geringfügige Verbesserung in Szenario W3.2. Die Reduktion der mittleren Reiseweite eines Einwohners resultiert im Vergleich zu Szenario W3.1 im Szenario W3.2 aus der Berücksichtigung der Siedlungskategorie und der verkehrlichen Eignung.

Szenario	Vorrangige Nutzung Flächenreserven	Einwohner	Mittlere tägliche Reiseweite eines Einwohners über alle Modi [km]	Mittlere tägliche Reiseweite eines Einwohners als Fahrer eines Pkw [km]
W0-2025	-	alle Einwohner	16,5	10,2
W0-S	<input type="checkbox"/>	nur $\Delta$ Einwohner	10,7	5,1
W3.1	<input checked="" type="checkbox"/>	nur $\Delta$ Einwohner	17,2	9,8
W3.2	<input checked="" type="checkbox"/>	nur $\Delta$ Einwohner	16,1	9,1

Tabelle 30: Mittlere tägliche Reiseweite je Einwohner über alle Modi und als Pkw-Fahrer in den Szenarien W0-2025, W0-S und W3.

### Ergebnisse der Umweltbelastungen der Szenarien für des Prognosejahres 2025 und des Prognosehorizonts 2025+

Die Umweltbelastungen sind nach den Lärmbelastungen, dem Energieverbrauch und den Schadstoffemissionen zu differenzieren. Die Grundlage für die Lärmberechnungen bilden die „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ (RLS-90) des Bundesministeriums für Verkehr (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 1992). Für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen wird das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.3 (HBEFA) herangezogen (INFRAS, 2017). Folgende Kenngrößen werden ausgewertet:

- Kraftstoffverbrauch von Benzin- und Dieselfahrzeugen,
- HC (Kohlenwasserstoffe),
- PM (Feinstaub),
- NO<sub>x</sub>,
- CO und
- CO<sub>2</sub>.

Basis für die Berechnung des Energieverbrauchs bildet der Kraftstoffverbrauch von Benzin- und Dieselfahrzeugen. Als Heizwerte werden für Benzinfahrzeuge 42,67 MJ/kg und für Dieselfahrzeuge 43,86 MJ/kg angenommen. In die Auswertung gehen ausschließlich Strecken der Region Stuttgart ein.

Die in Abbildung 38 dargestellten prozentualen Veränderungen der Szenarien bezogen auf den Analysezustand verdeutlichen eine geringere Zunahme der Belastungen im Vergleich zum Einwohnerwachstum und der Pkw-Verkehrsleistung. Durch den Einbezug der Pkw- und Lkw-Emissionen kommt es zu einem geringeren Anstieg der Umweltbelastungen. Des Weiteren ändern sich die Lärmemissionen nicht proportional zu den Änderungen der Verkehrsstärke.

Die Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung bei der Verteilung der zusätzlichen Einwohner hat nur geringfügige Auswirkungen auf die Umweltbelastungen. Der Einwohnerzuwachs von 4,2 % führt unter Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung zu einer maximalen Reduktion der Umweltbelastungen von 1,0 %. Ein Einwohneranstieg um 8,2 % in Szenario W3.2 führt zu einem Anstieg der Umweltbelastungen um bis zu 5,3 %. Eine

Ursache für den nicht proportionalen Anstieg ist die günstigere Verteilung der Einwohner unter Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung im Vergleich zum Analysezustand. Des Weiteren enthalten die Verkehrsstärken im Verkehrsnetz Grundbelastungen des Lkw-Verkehrs und Wege, die nicht von Einwohnern der Region durchgeführt werden.

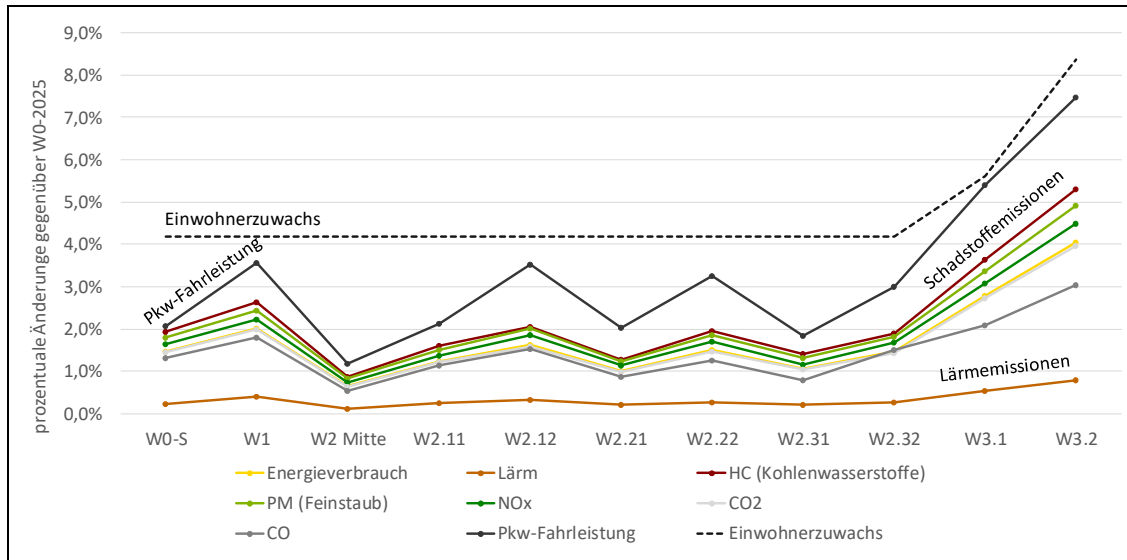


Abbildung 38: Prozentuale Änderungen der Umweltbelastungen der gesamten Einwohner in der Region Stuttgart der Szenarien durch die zusätzlichen Einwohner bezogen auf W0-2025.

### 5.3 Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Arbeitsstandorte

#### 5.3.1 Nachfrageberechnung

##### Ermittlung der Kenngrößen

##### Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes

Die Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes wird mittels der Formel (19) berechnet. Die berechnete Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes in der Region Stuttgart ist in Abbildung 39 (oben) dargestellt. Im Gegensatz zur Pkw-Verkehrsleistung eines Einwohners ist die verkehrszellenspezifische Verkehrsleistung nicht nur ausschließlich auf das Oberzentrum Stuttgart und die Mittelzentren Esslingen, Göppingen, Ludwigsburg, Böblingen und Backnang beschränkt. Gerade in den ländlichen Gebieten der Region sind niedrige Verkehrsleistungen zu beobachten, die aufgrund der Arbeitsplatzzahlen und der Bevölkerungszusammensetzung zustande kommen. Die Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes wird mit der Funktion B2 bewertet (vgl. Formel (16)). Die Bewertung in Abbildung 39 (unten) spiegelt die berechnete Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes wider. Den Verkehrszellen mit der höchsten Pkw-Verkehrsleistung wird die schlechteste



Bewertung (zwischen 0 und 0,33) zugewiesen. Verkehrszellen mit einer sehr geringen Pkw-Verkehrsleistung ( $\leq 5$  Personenkilometer) werden am besten bewertet.

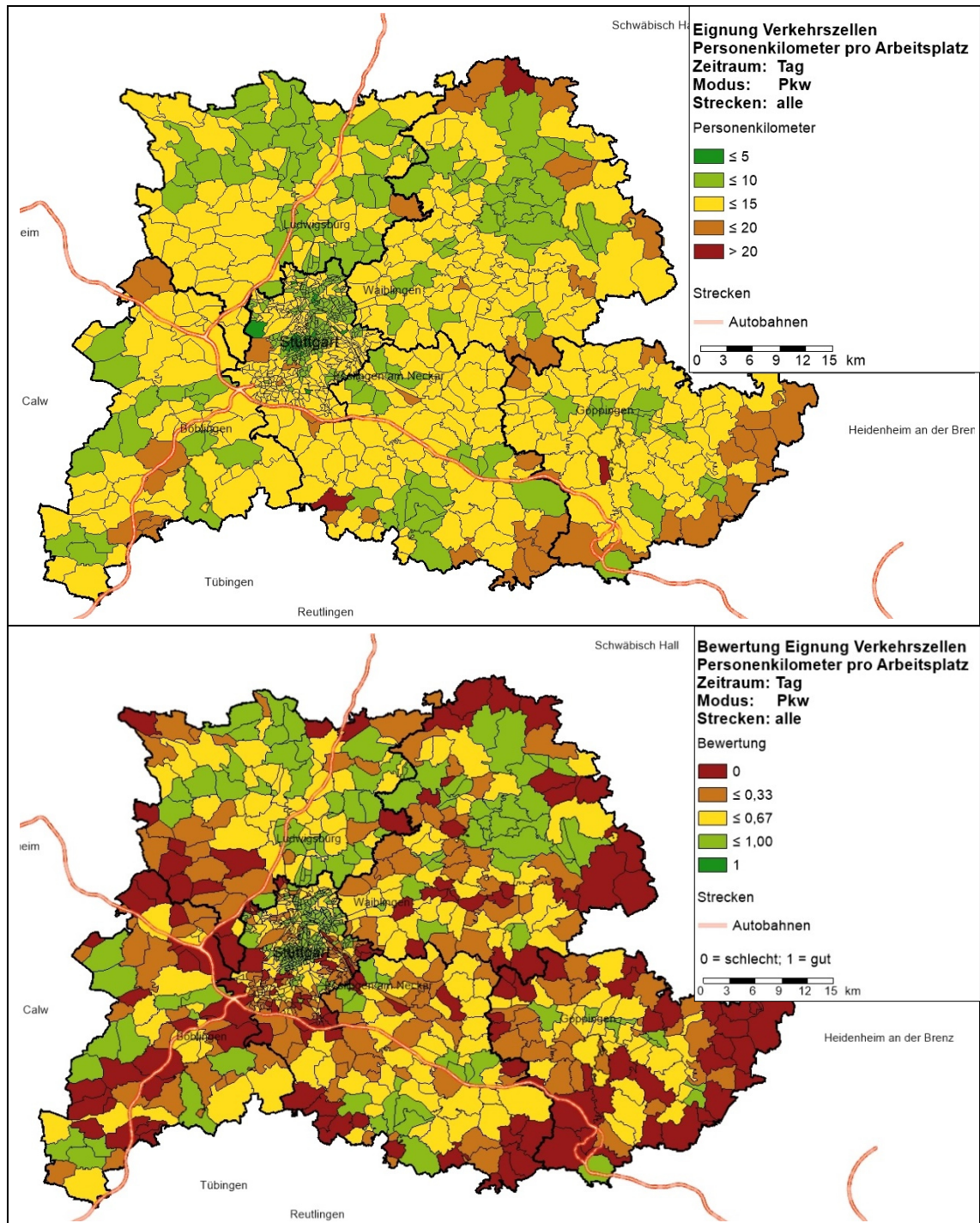


Abbildung 39: Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes in der Region Stuttgart.

### Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes auf ausgelasteten Straßen im Pkw-Verkehr

Die Streckenauslastungen des Pkw-Verkehrs unterscheiden sich für die Arbeitsplätze nicht von denen der Wohnstandorte. Die nachfolgenden Betrachtungen gehen von dem berechneten Fahrzeitindex je Streckenabschnitt in Abbildung 21 aus (FRIEDRICH, 2016). Der Berechnungsablauf des Fahrzeitindex kann Kapitel 5.2.1 entnommen werden. Auf Grundlage des berechneten  $FZI_{Pkw}$  erfolgt im nächsten Schritt die Berechnung der Pkw-Verkehrsleistung auf ausgelasteten Strecken (Auslastungsklasse 4) des Pkw-Verkehrs mittels der Formel (21). Abbildung 40 zeigt die berechnete und klassifizierte Pkw-Verkehrsleistung der Auslastungsklasse 4 pro Verkehrszelle und Arbeitsplatz. Die anschließende Bewertung der berechneten Pkw-Verkehrsleistung pro Verkehrszelle erfolgt mittels der Funktion B2 (vgl. Formel (22)).

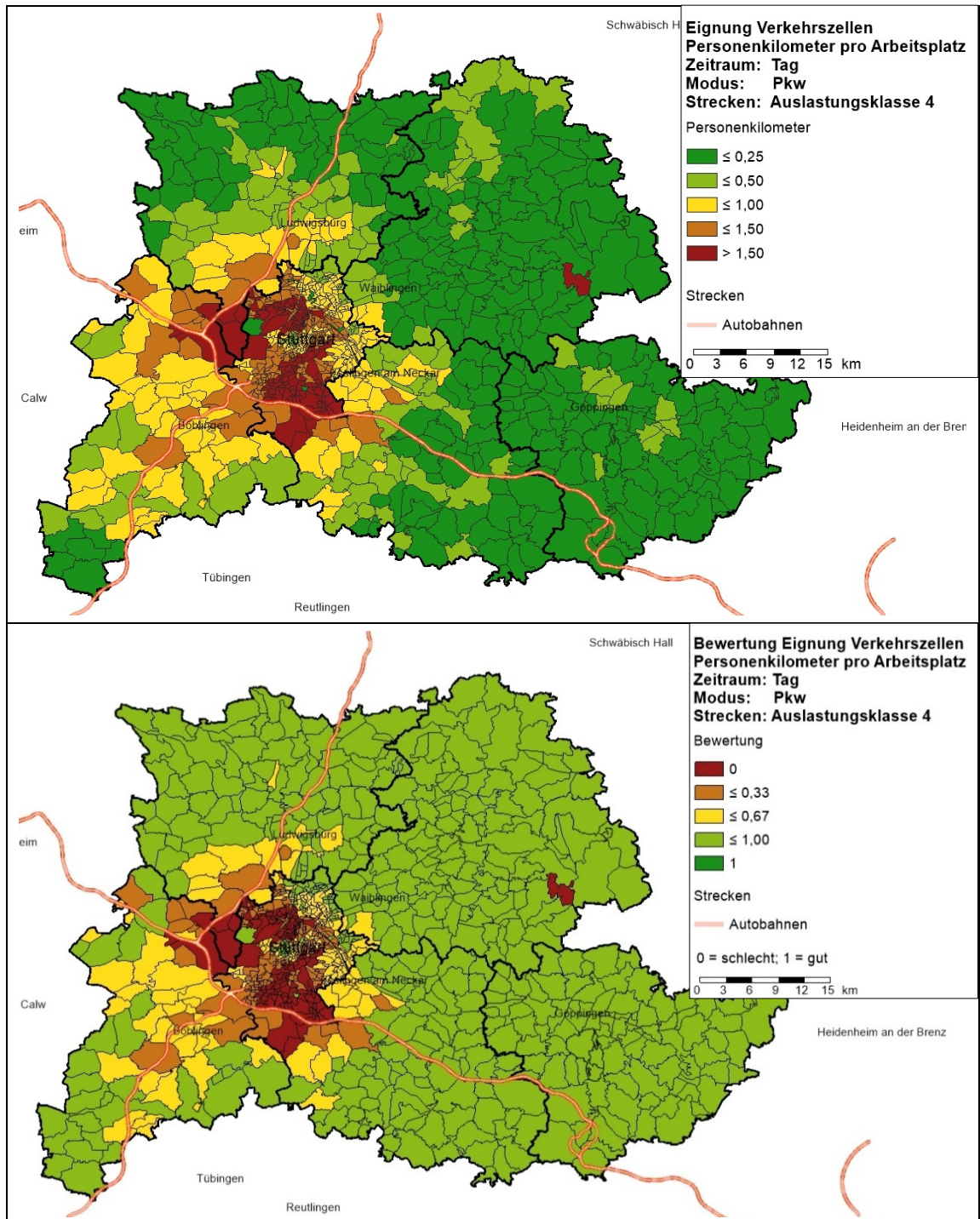


Abbildung 40: Pkw-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes auf stark ausgelasteten Verkehrswegen<sup>12</sup> (Auslastungsklasse 4) in der Region Stuttgart.

<sup>12</sup> In Abbildung 22 wird eine Verkehrszelle im Osten der Region im Vergleich zu den Nachbarzellen deutlich schlechter bewertet. Die Bewertung resultiert aus der Anbindung der Verkehrszelle an eine Kreisstraße mit einem FZI > 1,5. Die EW müssen die Kreisstraße nutzen und legen dementsprechend längere Entfernungen auf sehr hoch ausgelasteten Strecken zurück, wodurch sich eine schlechte Bewertung der Verkehrszelle ergibt.

Die Arbeitsplätze in der Stadt Stuttgart, sowie entlang der Autobahnabschnitte A 81 und A 8 in der Nähe der Stadt Stuttgart führen im Durchschnitt zu höheren Pkw-Personenkilometern auf stark ausgelasteten Straßen. Die Arbeitsplätze in den Gebieten um Ludwigsburg und Böblingen verursachen des Weiteren relativ hohe Pkw-Personenkilometer.

### Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes in ausgelasteten Fahrzeugen des S-Bahnverkehrs

Die Fahrzeugauslastungen pro Streckenabschnitt variieren zwischen den Standortanalysen der Wohnstandorte und Arbeitsstandorte nicht. Die Berechnung und Zusammensetzung der Daten können Kapitel 5.2.1 entnommen werden. Abbildung 41 enthält die ÖV-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes auf Strecken mit ausgelasteten Fahrzeugen (Auslastungsklasse 4). ÖV-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes auf Strecken mit ausgelasteten Fahrzeugen (Auslastungsklasse 4).

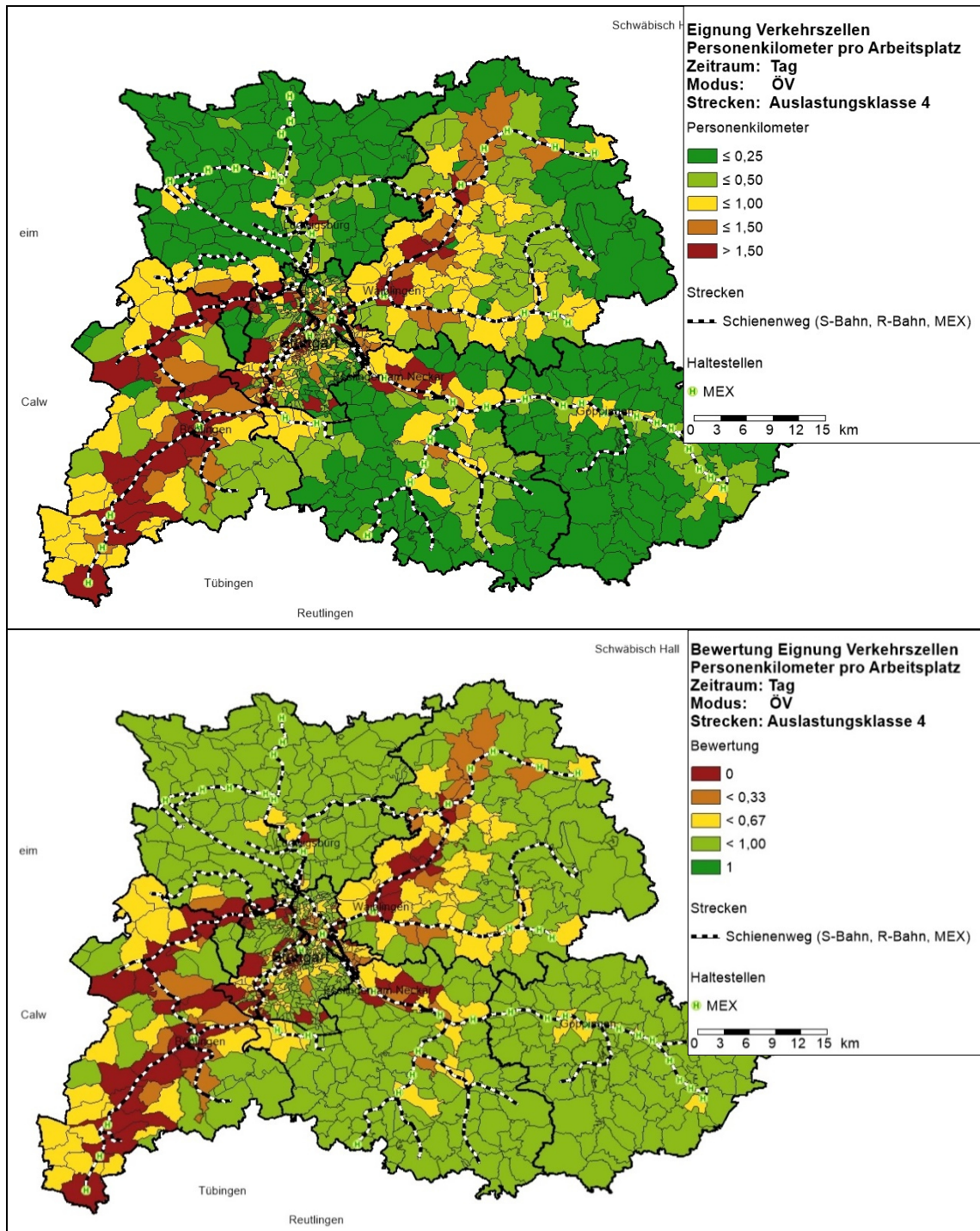


Abbildung 41: ÖV-Verkehrsleistung (oben) und deren Bewertung (unten) eines Arbeitsplatzes auf Strecken mit ausgelasteten Fahrzeugen (Auslastungsklasse 4).

Bedienungshäufigkeit im Schienenverkehr

Als weitere Kenngröße wird analog den Standortanalysen der Wohnstandorte die Nähe der Verkehrszelle zu S-Bahnhaltepunkten und die Bedienungshäufigkeit dieses Haltepunkts im Schienenverkehr herangezogen. Für die Bewertung wird die tägliche Bedienungshäufigkeit in Fahrtrichtung Stuttgart ausgewertet. Die Bewertung erfolgt mit der

Funktion B1 der Formel (22). Abbildung 42 (unten) zeigt eine sehr gute Bewertung für Verkehrszellen mit einem direkten Anschluss an die S-Bahnhaltepunkte. Die Verkehrszellen, die durch die Zubringerfahrten bedient werden, werden ebenso gut bis sehr gut bewertet.

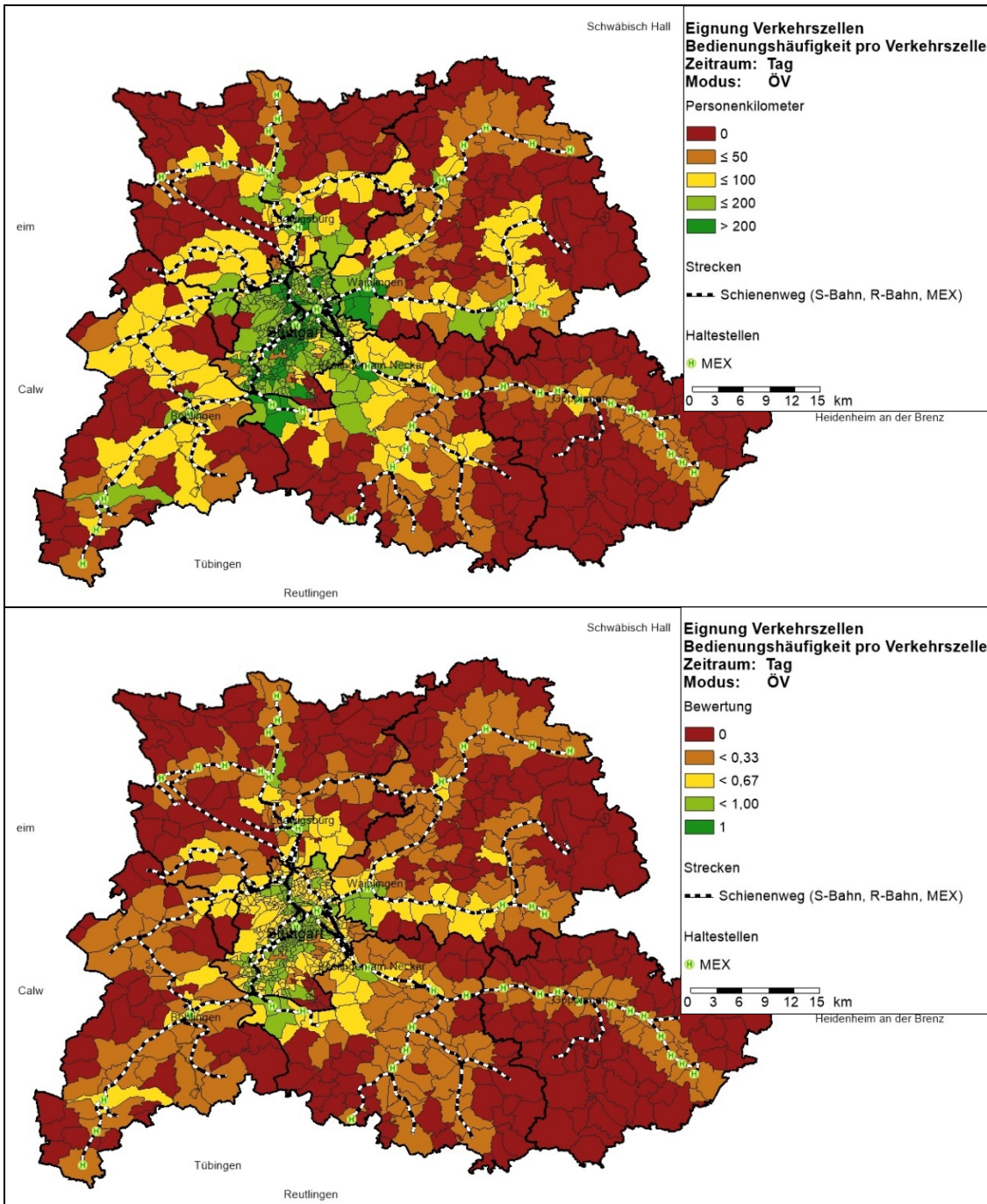


Abbildung 42: Bedienungshäufigkeit im Schienenverkehr (oben) und deren Bewertung (unten).

## Gesamtbewertung der Verkehrszellen

Die bewerteten Kenngrößen werden anschließend zu einer Gesamtbewertung der Verkehrszellen zusammengefasst. Ziel ist die Schaffung einer Kenngröße, die es ermöglicht, die Verkehrszellen untereinander zu vergleichen und aus verkehrlicher Sicht Bereiche zu identifizieren, die für zusätzliche Arbeitsplätze geeignet sind. Die Gesamtbewertung der Verkehrszellen setzt sich aus denen die in der Tabelle 31 dargestellten Kenngrößen und Gewichtungsfaktoren zusammen.

Bewertungsgröße	Anteil an Gesamtbewertung
Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes	0,5
Pkw-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes auf sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4)	0,1
ÖV-Verkehrsleistung eines Arbeitsplatzes auf sehr hoch ausgelasteten Verkehrswegen (Auslastungsklasse 4)	0,2
Bedienungshäufigkeit im ÖV	0,2

Tabelle 31: Gewichtungsfaktoren der bewerteten Kenngrößen für die Gesamtbewertung der Arbeitsplätze in der Region Stuttgart.

Abbildung 43 zeigt die aus Tabelle 31 resultierende Gesamtbewertung der Region Stuttgart für die Arbeitsplatzentwicklung. In Stuttgart und in den Mittelzentren, mit Ausnahme des Mittelzentrums Böblingen, ist eine gute bis sehr gute verkehrliche Eignung zu erkennen. In den Landkreisen Ludwigsburg, Esslingen, Göppingen und dem Rems-Murr-Kreis weisen die Verkehrszellen mit einer ÖV-Anbindung eine gute bis sehr gute verkehrliche Eignung auf. Die Bewertung nimmt in den Bereichen mit einem schlechteren ÖV-Angebot ab. Eine Ausnahme stellt der Landkreis Böblingen dar, bei dem die Verkehrszellen entlang der Bahnstrecken aufgrund der hohen Fahrzeugauslastungen des S-Bahnverkehrs und der hohen Streckenauslastung des Pkw-Verkehrs schlechtere verkehrliche Eignungen aufweisen. Abbildung 44 zeigt die Anteile der verkehrlichen Eignung differenziert nach Siedlungsbereich und Eigenentwicklung. Alle Verkehrszellen mit einer sehr guten verkehrlichen Eignung und der Großteil der Verkehrszellen mit einer guten verkehrlichen Eignung liegen in den Siedlungsbereichen. Allerdings liegen in den Siedlungsbereichen auch Verkehrszellen mit einer schlechteren verkehrlichen Bewertung. Dieser Effekt ist aufgrund der Zuordnung der Verkehrszellen zu den Siedlungsbereichen erklärbar. Verkehrszellen, deren Erwerbstätige bereits ausgelastete Straßen und Züge vermehrt nutzen und deren Verkehrsleistung pro Arbeitsplatz hoch ist, weisen eine schlechte verkehrliche Eignung auf.

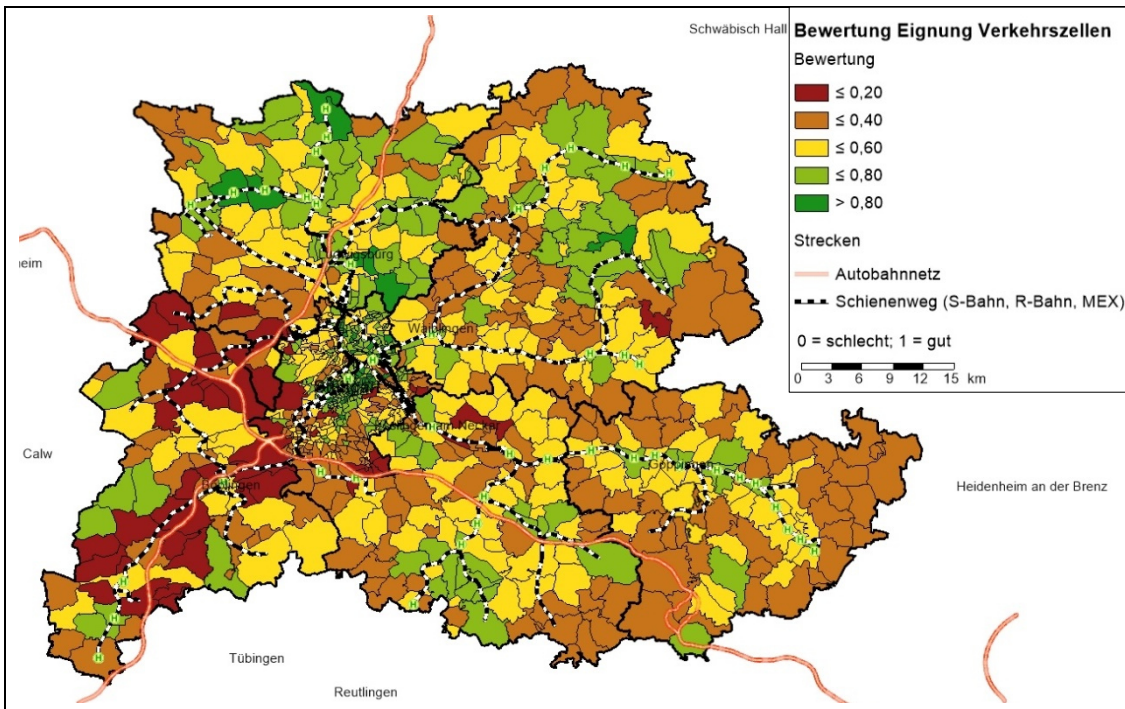


Abbildung 43: Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen in der Region Stuttgart unter Einbezug der Arbeitsplatzverteilung.

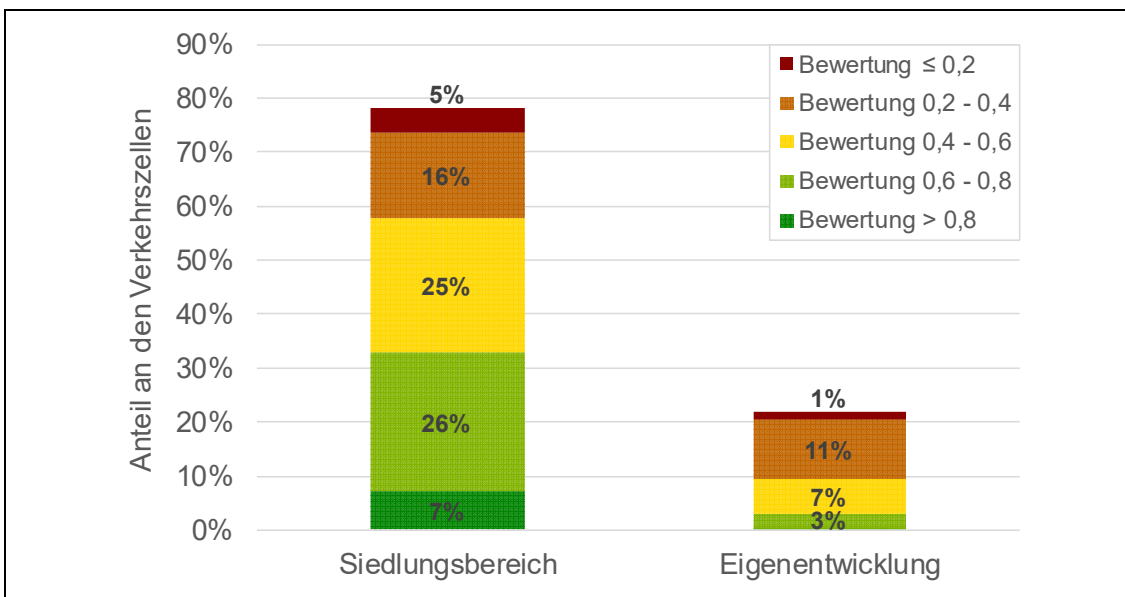


Abbildung 44: Gesamtbewertung der verkehrlichen Eignung der Verkehrszellen der Arbeitsplatzentwicklung der Region Stuttgart.



### 5.3.2 Ermittlung der verfügbaren Flächenreserven

Die Ermittlung der Flächenreserven erfolgt anhand der Flächennutzungspläne. Die Auswertung der bebauten und unbebauten Siedlungsflächenreserven ergibt, dass in den Mittelzentren, Grundzentren und den Gemeinden mit keiner zentralen Bedeutung über 55 % der Flächenreserven unbebaut sind. In dem Oberzentrum sind hingegen über 70 % der Flächen bereits bebaut (vgl. Tabelle 32). Die Auswertung der Flächenreserven der Gewerbe- und Industrieflächen liefert ein ähnliches Bild. Über 50 % der Flächen in den Mittel- und Grundzentren, sowie den Gemeinden ohne zentrale Funktion sind unbebaut. Für die Oberzentren sind rund 52 % der Flächenreserven bereits bebaut.

Einteilung in Anlehnung an das System „Zentrale Orte“	Flächenreserven [ha]	Anteil bebauter Flächenreserven [%]	Anteil unbebauter Flächenreserven [%]	Gewerbe- und Industrieflächenreserven [ha]	Anteil bebauter Gewerbe- und Industrieflächenreserven [%]	Anteil unbebauter Gewerbe- und Industrieflächenreserven [%]
Oberzentrum	583	77	23	102	52	48
Mittelzentrum	2.145	44	56	664	45	55
Grundzentrum	1.432	35	65	441	29	71
Gemeinden ohne zentrale Funktion	952	11	88	741	34	65

Tabelle 32: Flächenreserven der Gewerbe- und Industrieflächen der Region Stuttgart nach dem System „Zentrale Orte“ (FRIEDRICH ET AL., 2017).

Die Berechnung der möglichen Anzahl der Arbeitsplätze kann nicht wie bei den Wohnbauflächen pauschal erfolgen. Die Flächen sind zunächst nach Gebietstypen zu unterteilen (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006). In einem zweiten Schritt können anhand der gegebenen Richtwerte der FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2006) Unter- und Obergrenzen der Beschäftigendichte errechnet werden. Als potenzielle Flächen werden für die Berechnung Gewerbe- und Industrieflächen und Flächen gemischter Nutzung betrachtet. Wobei die Flächen mit gemischter Nutzung zu 50 % in die Berechnungen eingehen. Insgesamt ergibt sich für die Region Stuttgart eine zusätzliche Kapazität von rund 1.210 ha. Woraus sich ein maximal zulässiges Beschäftigtenwachstum von 298.400 Arbeitsplätzen ergibt. Aufgrund des fehlenden Detaillierungsgrades erfolgt eine Vereinfachung der gegebenen Richtwerte aus den „Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen“ (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006). Daraus ergibt sich nachfolgende Tabelle 33, die für weitere Berechnungen herangezogen wird.

Gebietstyp	Grenzwerte in Beschäftigte pro Hektar
Wohngebiet	5 – 16
Mischgebiet	50 – 100
Gewerbe- und Industriegebiet	30 – 125
Flächen bes. funktionaler Prägung	100 - 300

Tabelle 33: Unter- und Obergrenzen an Arbeitsplätzen der verfügbaren Flächenreserven (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 2006).

Der Großteil der Industrie- und Gewerbeflächenreserven befindet sich in Gemeinden mit niedrigerer zentraler Funktion (Grundzentren und Gemeinden ohne zentrale Funktion), die vermehrt eine schlechtere Anbindung an den öffentlichen Verkehr aufweisen. Die Änderungen der Arbeitsplatzzahlen ausgehend vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2025 des bestehenden Verkehrsnachfragemodells weisen auf eine ähnliche Tendenz hin (vgl. Abbildung 45). Neben zusätzlichen Arbeitsplätzen, die neu in der Region geschaffen werden, kommt es zu Verlagerungen in die ländlichen Regionen. Aufgrund des schlechteren ÖV-Angebotes werden diesen Verkehrszellen schlechtere verkehrliche Eignungen zugewiesen, als den Verkehrszellen innerhalb der zentralen Orte.

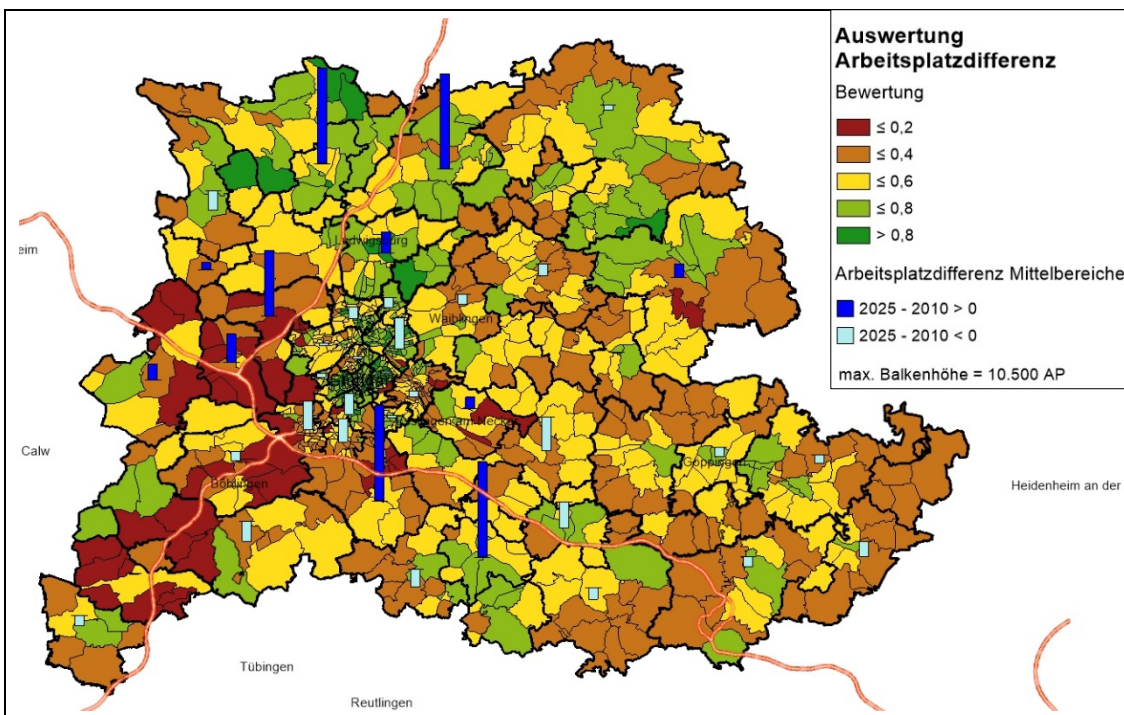


Abbildung 45: Arbeitsplatzdifferenz (2025 - 2010) in der Region Stuttgart des Verkehrsnachfragemodells des Verband Region Stuttgart.

### 5.3.3 Optimierungsverfahren der Arbeitsplatzentwicklung und -verteilung

Die Analyse der Erwerbstätigenentwicklung aus Kapitel 3.4 zeigt, dass unter Einbezug der Einpendler in den erweiterten Modellraum eine Zunahme an 39.400 erwerbstätigen Personen bis zum Jahr 2025 erwartet wird. Auf Grundlage der Prognosen wird die Anzahl der Arbeitsplätze um rund 10.600 Arbeitsplätze steigen. Die Differenz ergibt sich aus dem Überschuss an Arbeitsplätzen im Analysezustand, indem für 1.292.300 Erwerbstätige 1.444.600 Arbeitsplätze zur Verfügung stehen. Die Einwohner- und Arbeitsplatzentwicklung im Jahr 2025 hat zur Folge, dass im Modell für jeden Erwerbstätigen ein Arbeitsplatz zur Verfügung steht. Würde ein Überschuss an erwerbstätigen Personen bestehen, erfolgt aufgrund der zweiseitig gekoppelten Zielwahl eine Skalierung der Arbeitsplätze (vgl. Kapitel 3.5). Daraus folgt, dass jede erwerbstätige Person einen Arbeitsweg am Tag absolvieren kann. Aufgrund der geringen prozentualen Zunahme an Arbeitsplätzen werden die nachfolgenden Szenarien nicht ausschließlich auf die zusätzlichen Arbeitsplätze eingehen. In der Bildung der Szenarien wird nachfolgend davon ausgegangen, dass 10 % der Arbeitsplätze des Bezugszustandes im Untersuchungsgebiet neu verteilt werden können. Ausgenommen werden die Arbeitsplätze, die sich im erweiterten Modellraum befinden. Daraus ergeben sich rund 145.500 zu verteilende Arbeitsplätze. Im Jahr 2025 wird zudem von einer veränderten Zusammensetzung der Aktivitätengruppen „Arbeit“ ausgegangen, die aufgrund des spezifischen Mobilitätsverhaltens zu Verkehrsleistungsänderungen führen kann. Dieser Effekt wird nachfolgend vermieden, indem die Szenarien (ausgenommen Szenario A0-Ana) auf der angenommenen Zusammensetzung des Bezugszustandes basieren. Die in Tabelle 34 enthaltenen Szenarien, stellen die entwickelten Szenarien aus Kapitel 4.3.5 dar, mit den entsprechenden Arbeitsplatzzahlen und -zusammensetzung. Aufgrund der Vielzahl an Szenarien erfolgt am Beispiel der Region Stuttgart eine Umbenennung der Szenarien. Nachfolgende Tabelle 34 enthält die Szenarienbezeichnung aus der Modellerstellung und die im weiteren Verlauf der Beispielrechnung umbenannten Szenarien.

Szenarienbezeichnung der Modellerstellung	Szenarienbezeichnung der Region Stuttgart	Beschreibung	Verkehrsangebot / Arbeitsplatzzahlen	Arbeitsplatzverteilung	Vorrangige Nutzung der Flächenreserven	Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung
0-Ana	A0-2010	Analysezustand mit Arbeitsplatzzusammensetzung des Analysejahres	2025 / 2010	2010	-	-
0-Pro	A0-2025	Analysezustand mit Arbeitsplatzzusammensetzung des Prognosejahres	2025 / 2010	2025	-	-
1	A0	Szenario - „Ist-Zustand“ Grundlage: Trends und wahrscheinliche Entwicklungen	2025 / 2025	2025	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	A1	Szenario mit Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung	2025 / 2025	2025	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	A2	Szenario mit Berücksichtigung der Flächenreserven	2025 / 2025	2025	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	A3	Szenario - „Soll-Zustand“ mit Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung und der Flächenreserven	2025 / 2025	2025	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabelle 34: Szenarien der Arbeitsplatzverteilung in der Region Stuttgart.

### Szenario A0-2010

Das Szenario A0-2010 stellt das im Kapitel 4.3.5 beschriebene Szenario A0-Ana dar und setzt sich aus den Arbeitsplätzen und deren Zusammensetzung des Analysezustandes, sowie dem Verkehrsangebot des Bezugszustandes zusammen. Die Einwohnerzahlen und die Einwohnerzusammensetzung entspricht dem Analysejahr 2010.

### Szenario A0-2025

Das Szenario setzt sich aus den Arbeitsplatzzahlen des Analysezustandes und der Arbeitsplatzzusammensetzung des Bezugszustandes zusammen und soll die Auswirkungen der Verkehrsleistung durch die veränderte Zusammensetzung der Arbeitsplätze verdeutlichen. Das Verkehrsangebot basiert auf dem Prognosejahr 2025. Das Szenario wird als Referenzszenario genutzt und die Auswirkungen der veränderten Arbeitsplatzverteilung analysiert. Die Anzahl der Einwohner entspricht dem Analysejahr 2010 und deren Zusammensetzung dem Bezugsjahr 2025.

### Szenario A0

Nachfolgend stellt das Szenario das Bezugsszenario dar. Die Arbeitsplatzzahlen und die Arbeitsplatzzusammensetzung basieren auf den Angaben des Verband Region Stuttgart. Für die Stadt Stuttgart werden auf der Grundlage der Zeitstufenliste Gewerbe

die vorhandenen freien Flächen auf Verkehrszellenebene ermittelt. Auf dieser Basis werden Arbeitsplatzzahlen in Anlehnung an Bosserhoff<sup>13</sup> berechnet. Für die Stadt Stuttgart wurde davon ausgegangen, dass die Arbeitsplatzzahlen konstant bleiben und es ausschließlich zu einer Umverteilung der Arbeitsplätze kommt. Für die umliegenden Landkreise erfolgte eine Abschätzung der Arbeitsplatzzahlen durch den Verband Region Stuttgart. Flächenpotenziale wurden auf Basis der Gewerbeflächenkarte ermittelt und Arbeitsplätze abgeschätzt. Für die Landkreise wird ebenfalls davon ausgegangen, dass die Anzahl an Arbeitsplätzen nahezu konstant bleibt. Abbildung 46 zeigt die Änderungen der Arbeitsplatzverteilung auf Ebene der Mittelbereiche zweiter Ordnung im Vergleich zum Analysejahr 2010.

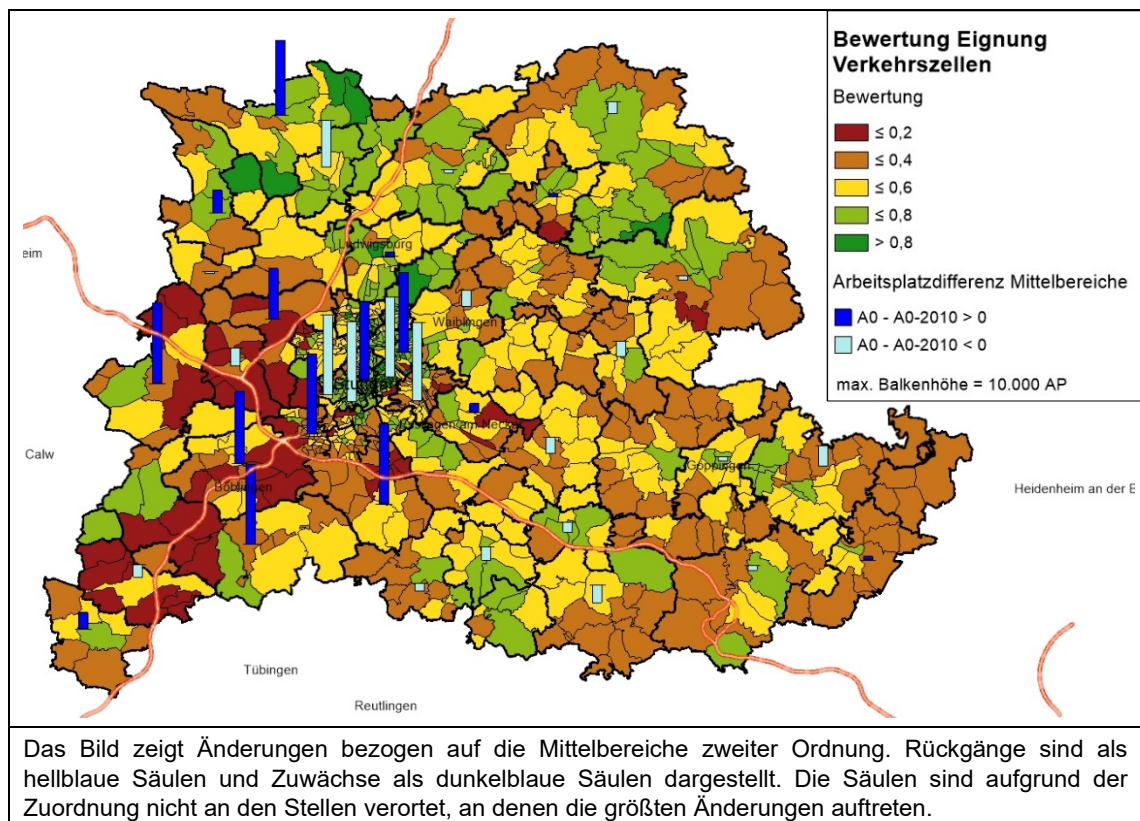


Abbildung 46: Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A0-2010 und A0.

### Szenario A1

Das Szenario A1 geht von der Annahme aus, dass 10 % der Arbeitsplätze aus dem Bezugszustand neu in der Region verteilt werden. Auf Grundlage der verkehrlichen Eignung erfolgt die Reduktion der Arbeitsplätze in den Verkehrszellen. Wird den Verkehrszellen in der Berechnung der verkehrlichen Eignung eine unterdurchschnittliche Bewertung zugewiesen, erfolgt eine Abnahme der Arbeitsplätze um 25 %. Die 145.500 Arbeits-

<sup>13</sup> Nähere Informationen sind folgender Website zu entnehmen: <http://www.dietmar-bosserhoff.de/Programm.html> (abgerufen am: 09.05.2018)

plätze sind nachfolgend auf die Verkehrszellen, in denen keine Reduktion der Arbeitsplätze stattfand, zu verteilen. Die Zuweisung der Arbeitsplätze erfolgt proportional zu den Arbeitsplatzanteilen. Aus der Umverteilung ergibt sich Abbildung 47, in der die Arbeitsplatzdifferenz der Szenarien A1 und A0 dargestellt wird. Aufgrund der Anzahl der Arbeitsplätze und der verkehrlichen Eignung ergibt sich ein Anstieg der Arbeitsplätze im Szenario A1 in der Stadt Stuttgart, sowie im Landkreis Göppingen, Rems-Murr und Ludwigsburg (dunkelblaue Säulen). Aufgrund der verkehrlichen Eignung stammt der Großteil der zu verteilenden Arbeitsplätze aus dem Landkreis Böblingen (hellblaue Säulen).

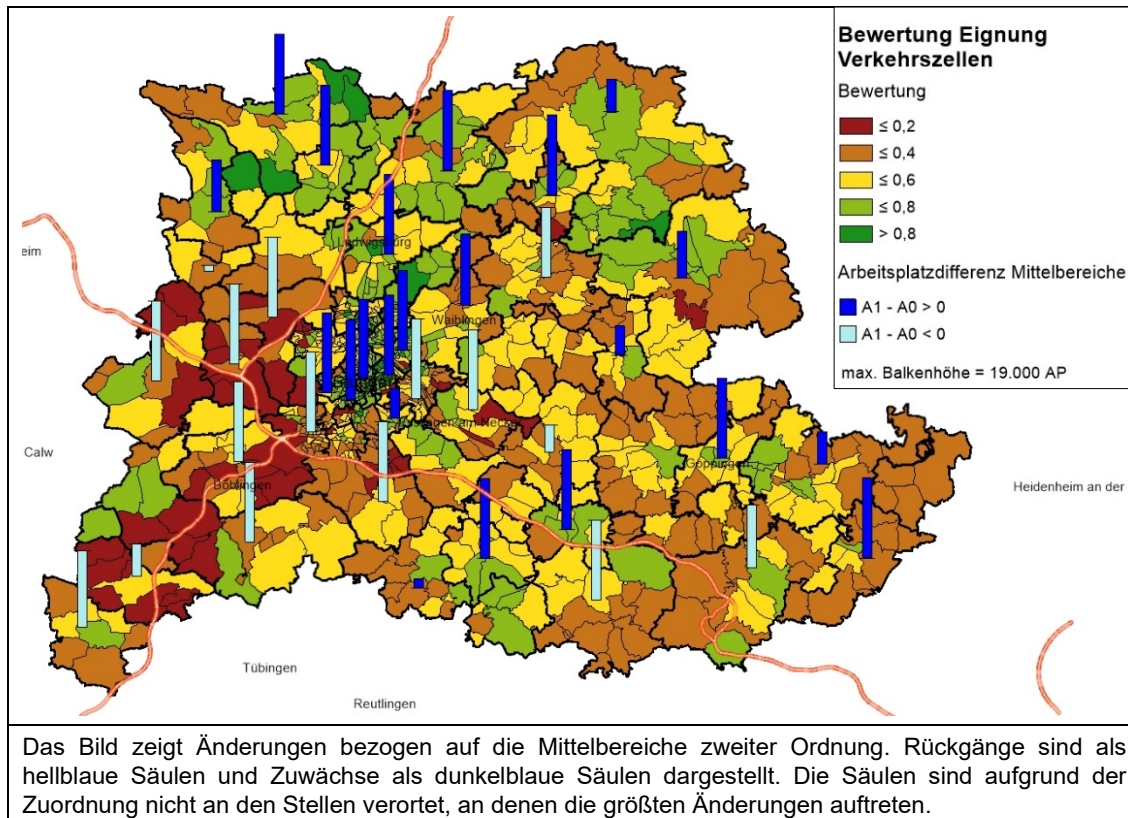


Abbildung 47: Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A1 und A0.

## Szenario A2

Im Gegensatz zu Szenario A1 werden im Szenario A2 die zu verteilenden Arbeitsplätze prozentual über alle Verkehrszellen bestimmt. Diese Arbeitsplätze sind auf Grundlage der Flächenpotenziale der Flächennutzungspläne auf die Verkehrszellen zu verteilen. Eine Beachtung der verkehrlichen Eignung erfolgt in diesem Szenario nicht. Im Vergleich mit dem Szenario A0 wird ersichtlich, dass im Stadtgebiet Stuttgart eine Reduktion der Arbeitsplätze stattfindet, was auf die verfügbaren Flächenreserven zurückzuführen ist (Abbildung 48). Ebenso kommt es in den Mittelzentren zu einer Reduktion der Arbeitsplätze, die sich in die Randbereiche der Region verlagern. Die Betrachtung der verkehrlichen Eignung zeigt, dass es in den Mittelbereichen zweiter Ordnung mit einer schlechteren verkehrlichen Eignung zu Ansiedelungen von Arbeitsplätzen kommt.

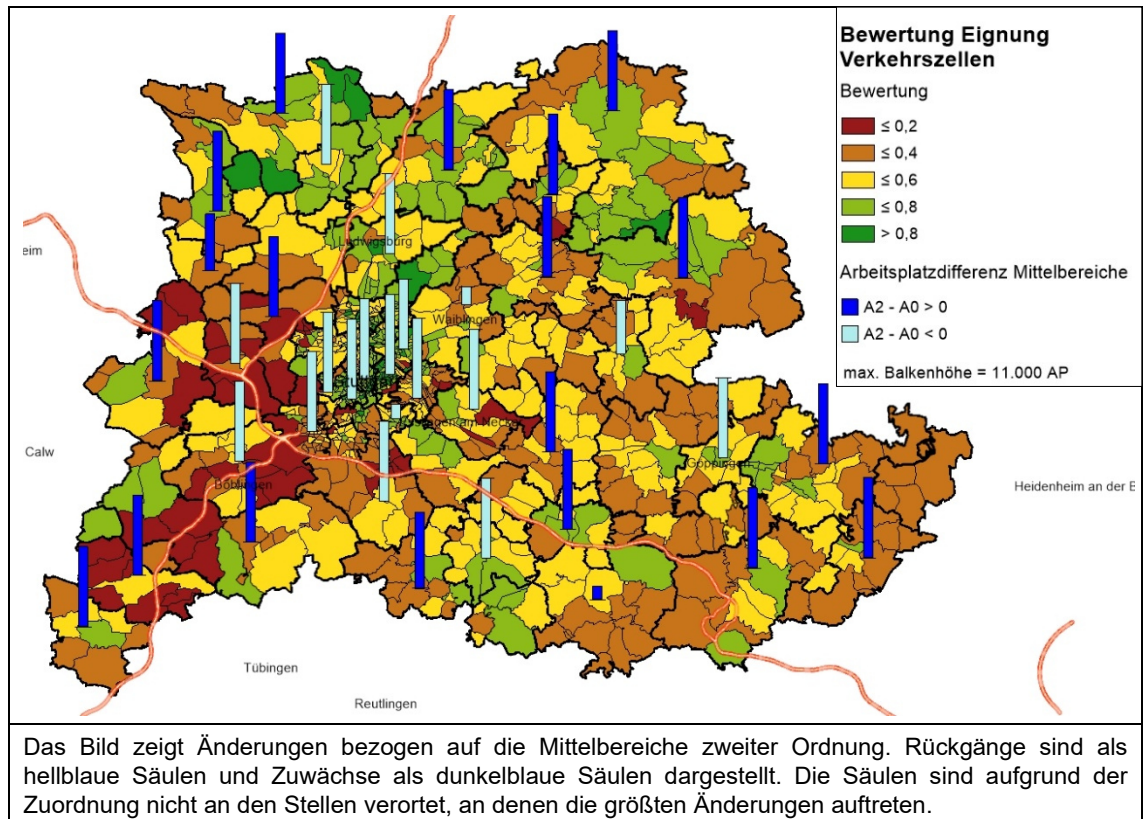


Abbildung 48: Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A2 und A0.

### Szenario A3

Unter Berücksichtigung der Flächenreserven aus den FNP und der zuvor ermittelten verkehrlichen Eignung erfolgt die Erstellung des Szenarios A3. Die 145.500 zu verteilenden Arbeitsplätze sind auf Grundlage der verkehrlichen Eignung zu ermitteln. Bei Verkehrszellen mit einer unterdurchschnittlichen Bewertung erfolgt eine Reduktion der Arbeitsplätze um 50 %, die in einem weiteren Schritt auf die Verkehrszellen ohne Arbeitsplatzreduktion auf Basis der verkehrlichen Eignung und der Flächenverfügbarkeit zu verteilen sind. Die Verteilung basiert auf einem iterativen Prozess, bei dem ausgehend von der Verkehrszelle mit der besten Bewertung die ermittelten Arbeitsplatzkapazitäten genutzt werden. Es wird somit in jedem Iterationsschritt die Verkehrszelle mit nächst schlechterer Bewertung herangezogen. Der Vergleich mit dem Bezugsszenario A0 in Abbildung 49 liefert eine Reduktion der Arbeitsplätze in den Mittelbereichen zweiter Ordnung mit Verkehrszellen schlechterer verkehrlicher Eignung. Aufgrund der Flächenverfügbarkeiten kann es ebenso in Verkehrszellen mit guter verkehrlicher Eignung zu einer Abnahme der Arbeitsplätze im Vergleich zu A0 kommen. Eine Zunahme der Arbeitsplätze ist im Stadtgebiet Stuttgart, sowie in den Landkreisen Rems-Murr, Göppingen und Esslingen zu beobachten. In den Mittelzentren der Landkreise wird ersichtlich, dass diese Verkehrszellen trotz ihrer verkehrlich guten Eignung eine geringere Anzahl an Arbeitsplätzen aufweisen. Dies begründet sich in den zulässigen maximalen Arbeitsplatzzahlen aus den Flächenreserven.

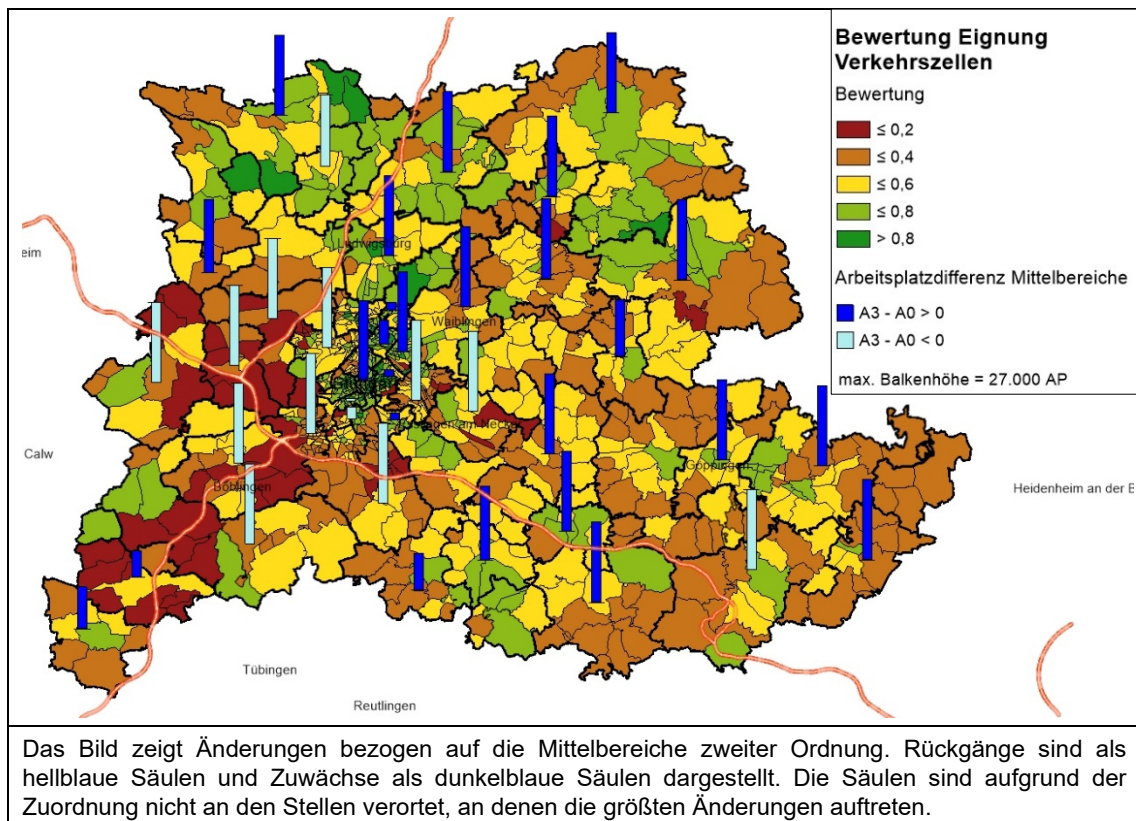


Abbildung 49: Änderung der Arbeitsplatzverteilung zwischen A3 und A0.

### 5.3.4 Vergleich der Ergebnisse

Die Auswertungen der Modellergebnisse erfolgen auf der Grundlage der mittleren Reisezeit, der Verkehrsleistung und den daraus resultierenden Umweltwirkungen. Die geänderte Arbeitsplatzverteilung von 10 % der Arbeitsplätze im Bezugsjahr 2025 hat Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsstärken im Netz. Die nachfolgenden Auswertungen beziehen sich ausschließlich auf die Verkehrsnachfrage der Arbeitnehmer. Wege, die keinen Bezug zur Arbeit haben, werden in den Betrachtungen nicht berücksichtigt.

#### Vergleich der Analyseszenarien A0-2010 und A0-2025

Die Auswertung Verkehrsleistung differenziert nach Modus für die Analyseszenarien A0-2010 und A0-2025 zeigt, dass aufgrund der veränderten Zusammensetzung der Arbeitsplätze keine Änderungen in der Verkehrsleistung auftreten. Demzufolge erfolgt im weiteren Vorgehen keine genauere Betrachtung dieser Ergebnisse, da davon ausgegangen wird, dass sich ebenso die Auswirkungen auf die Umwelt nicht verändern.



## Vergleich der Prognoseszenarien 2025

### Auswertung der Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistung des Szenarios A0 und der erstellten Szenarien mit einer veränderten Arbeitsplatzverteilung ist in Abbildung 50 dargestellt. Die Verkehrsleistung bezieht sich auf den Binnenverkehr der Arbeitswege innerhalb der Region Stuttgart. Die Verkehrsleistung der gesamten Einwohner in der Region Stuttgart nimmt aufgrund des Einwohnerwachstums in allen Szenarien der Arbeitsplatzverteilung zu (vgl. Anhang C). Aufgrund der Umverteilung von rund 145.500 Arbeitsplätzen können Änderungen in der Verkehrsleistung der Arbeitswege beobachtet werden. Im Vergleich zum Analyseszenario A0-2025 erfolgt im Bezugsszenario eine Reduktion der Verkehrsleistung über alle Modi. Gleiches kann auch in der Beurteilung der Szenarien, deren Arbeitsplatzverteilung auf der verkehrlichen Eignung basiert, zum Bezugsszenario beobachtet werden. Es kommt bei allen Modi zu einer leichten Reduktion der Verkehrsleistung. Zu erkennen ist zudem, dass die Verkehrsleistung im Szenario A1 im Vergleich zu Szenario A0 im Pkw-Verkehr abnimmt und sich weitestgehend auf den ÖV verlagert. Insgesamt kann die Verkehrsleistung um rund 2 % reduziert werden. Unter Berücksichtigung der Flächenreserven kann im Szenario A2 eine höhere Reduktion der Verkehrsleistung erzielt werden, die jedoch zulasten des ÖV erfolgt. In den Szenarien A1, A2 und A3 steigt aufgrund der veränderten Arbeitsplatzsituation die Verkehrsleistung von Fuß und Rad. Generell kann mit der Kombination der Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung und der Flächenreserven die Verkehrsleistung insgesamt am stärksten reduziert werden (- 0,7 Mio. PKm).

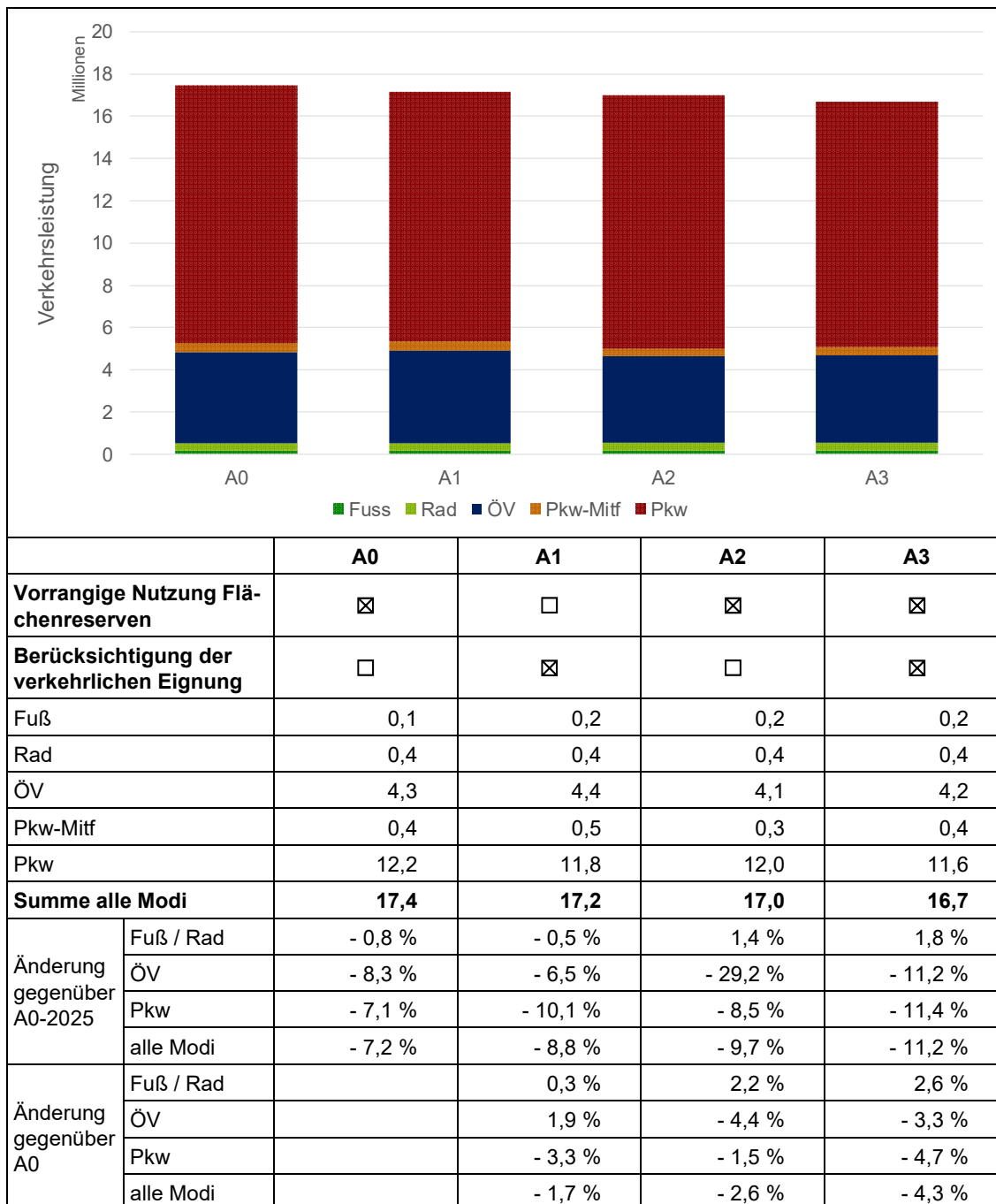


Abbildung 50: Verkehrsleistung (Mio. PKM) der Erwerbstätigen in der Region Stuttgart in den Szenarien A0, A1, A2 und A3.

Auswertung der mittleren Reiseweite

Neben der Verkehrsleistung erfolgt die Auswertung der mittleren Reiseweite über alle Modi, die eine erwerbstätige Person an einem Werktag in der Region zurücklegt. Aus Tabelle 35 wird ersichtlich, dass die Arbeitswege im Durchschnitt bei einer Umverteilung der Arbeitsplätze kürzer werden. Die kürzesten Reiseweiten über alle Modi legen die Erwerbstätigen in Szenario A3 zurück, welches die Flächenreserven und die verkehrli-

che Eignung berücksichtigen. Die mittlere Reiseweite nimmt im Szenario A0 im Vergleich zu Szenario A0-2025 ab, was in der Umverteilung und der Verteilung von Arbeitsplätzen durch den Verband Region Stuttgart begründet werden kann.

Szenario	Vorrangige Nutzung Flächenreserven	Arbeitsplätze	Mittlere tägliche Reiseweite eines Erwerbstätigen über alle Modi [km]	Mittlere tägliche Reiseweite eines Einwohners als Fahrer eines Pkw [km]
A0-2025	-	alle Erwerbstätigen	13,0	9,1
A0	<input type="checkbox"/>	alle Erwerbstätigen	12,0	8,4
A1	<input type="checkbox"/>	alle Erwerbstätigen	11,8	8,1
A2	<input checked="" type="checkbox"/>	alle Erwerbstätigen	11,7	8,3
A3	<input checked="" type="checkbox"/>	alle Erwerbstätigen	11,5	8,0

Tabelle 35: Mittlere tägliche Reiseweite je erwerbstätige Person über alle Modi und als Pkw-Fahrer in den Szenarien A0-2025, A0, A1, A2 und A3.

### Ergebnisse der Umweltbelastungen der Szenarien

Die Umweltbelastungen sind nach den Lärmbelastungen, dem Energieverbrauch und den Schadstoffemissionen zu differenzieren. Die Grundlage für die Lärmberechnungen bilden die „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ (RLS-90) des Bundesministeriums für Verkehr (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, 1992). Für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen wird das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.3 (HBEFA) herangezogen (INFRAS, 2017). Folgende Kenngrößen werden ausgewertet:

- Kraftstoffverbrauch von Benzin- und Dieselfahrzeugen,
- HC (Kohlenwasserstoffe),
- PM (Feinstaub),
- NO<sub>x</sub>,
- CO und
- CO<sub>2</sub>.

Basis für die Berechnung des Energieverbrauchs bildet der Kraftstoffverbrauch von Benzin- und Dieselfahrzeugen. Als Heizwerte werden für Benzinfahrzeuge 42,67 MJ/kg und für Dieselfahrzeuge 43,86 MJ/kg angenommen. In die Auswertung gehen ausschließlich Strecken der Region Stuttgart ein.

Die in Abbildung 51 dargestellten prozentualen Veränderungen der Szenarien bezogen auf den Analysezustand verdeutlichen eine geringe Zunahme der Belastungen im Szenario A0 im Vergleich zu Szenario A0-2025, der durch die zusätzlichen Einwohner und

Arbeitsplätze (+ 0,8 %) sowie der Verlagerung bereits bestehender Arbeitsplätze zustande kommt. Die Veränderung der Arbeitsplätze in den Szenarien führt im Vergleich zum Analysezustand zu einer Reduktion der Pkw-Fahrleistung bei den Arbeitswegen, jedoch steigt aufgrund der zusätzlichen Einwohner insgesamt die Pkw-Fahrleistung. Das führt insgesamt zu einem Anstieg der Schadstoffemissionen. Lediglich die Lärmemissionen weisen nahezu keine Änderungen auf, da die Lärmemissionen nicht im gleichen Verhältnis steigen bzw. fallen wie die Pkw-Fahrleistung. Die Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung sowie der verkehrlichen Eignung in Kombination mit den verfügbaren Flächenreserven führt im Vergleich zum Bezugsszenario zu einer Reduktion der Pkw-Fahrleistung, die eine Reduktion der Schadstoffemissionen zur Folge hat.

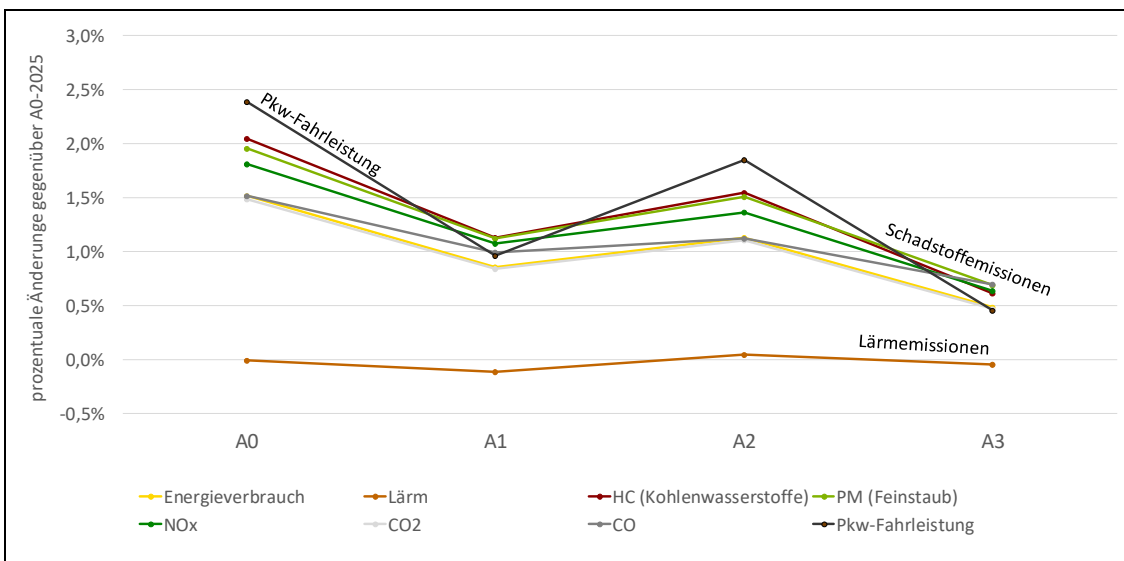


Abbildung 51: Prozentuale Änderungen der Umweltbelastungen in der Region Stuttgart der Szenarien bezogen auf A0-2025.

## 5.4 Verknüpfung der Modellanwendungen der Standortanalysen

Eine integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsnachfragemodellierung fordert nicht nur den Einsatz einzelner unabhängiger Methoden, vielmehr ist eine Verknüpfung der Methoden notwendig. Die in Kapitel 4 ermittelten Ansätze wurden gerade separat angewandt. Grundsätzlich ist auch eine Kombination der einzelnen Szenarien denkbar. Nachfolgend werden je ein ausgewähltes Szenario der Wohn- und Arbeitsstandorte miteinander kombiniert und deren Auswirkungen bezüglich des Verkehrsgeschehens untersucht. Anschließend erfolgt die Identifikation des Reduktionsstandortes bzw. zusätzlichen Standortes am Beispiel von Einzelhandelseinrichtungen. Dieses Ergebnis wird mit dem Bezugsszenario verglichen und bewertet.

Das Kombinationsszenario enthält die Anzahl der Einwohner, der Arbeitsplätze, sowie deren Zusammensetzungen basierend auf dem Bezugsszenario. Die Einwohner- und

Arbeitsplatzverteilungen im Untersuchungsgebiet werden entsprechend den ausgewählten Szenarien angepasst. Die Verteilung der 110.000 zusätzlichen Einwohner erfolgt anhand des Szenarios W2.31, bei dem die verkehrliche Eignung, jedoch nicht die verfügbaren Flächenreserven in die Berechnungen einbezogen werden. In dem Szenario erfolgte kein Einbezug der ÖV-Auslastung der Auslastungsklasse 4. Die Arbeitsplatzverteilung der 145.500 Arbeitsplätze erfolgt auf Basis des Szenarios A3, unter Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung und der ermittelten Flächenreserven. Die Änderungen der Arbeitsplatz- und Einwohnerzahlen im Vergleich zu Szenario A0 bzw. W0-S sind in Abbildung 52 dargestellt. Die Szenarien A0 und W0-S stellen den Bezugszustand dar und sind sowohl im Verkehrsangebot als auch in der Einwohner- und Arbeitsplatzverteilung identisch zueinander. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Szenarien vereinfacht als Ergebnisse des Szenarios A0 dargestellt und beschrieben. In den Randbereichen der Region sowie im Stadtgebiet Stuttgart berechnen die Szenarien unabhängig voneinander eine Zu- bzw. Abnahme der Einwohner bzw. Arbeitsplätze. Die Mittelbereiche weisen demzufolge vermehrt ein Arbeitsplatzwachstum auf, wohingegen ein Einwohnerrückgang in diesen Bereichen berechnet wurde. Insgesamt wird in den Szenarien für 26 von 47 Mittelbereichen ein Einwohner- und Arbeitsplatzanstieg bzw. Rückgang berechnet.

Die Verkehrszellen in Abbildung 52 zeigen die verkehrliche Eignung der Arbeitsplätze. Eine Kombination der verkehrlichen Eignung der Arbeitsplätze und Wohnstandorte erfolgt in dieser Arbeit nicht. Die Identifikation einer geeigneten Variante zur Kombination der verkehrlichen Eignungen miteinander könnte in weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden. Auf Basis einer verkehrlichen Eignung wäre es im Weiteren möglich, eine spezifischere Verteilung der Arbeitsplätze und Einwohner vorzunehmen und ggf. die Verkehrsleistung zu reduzieren.

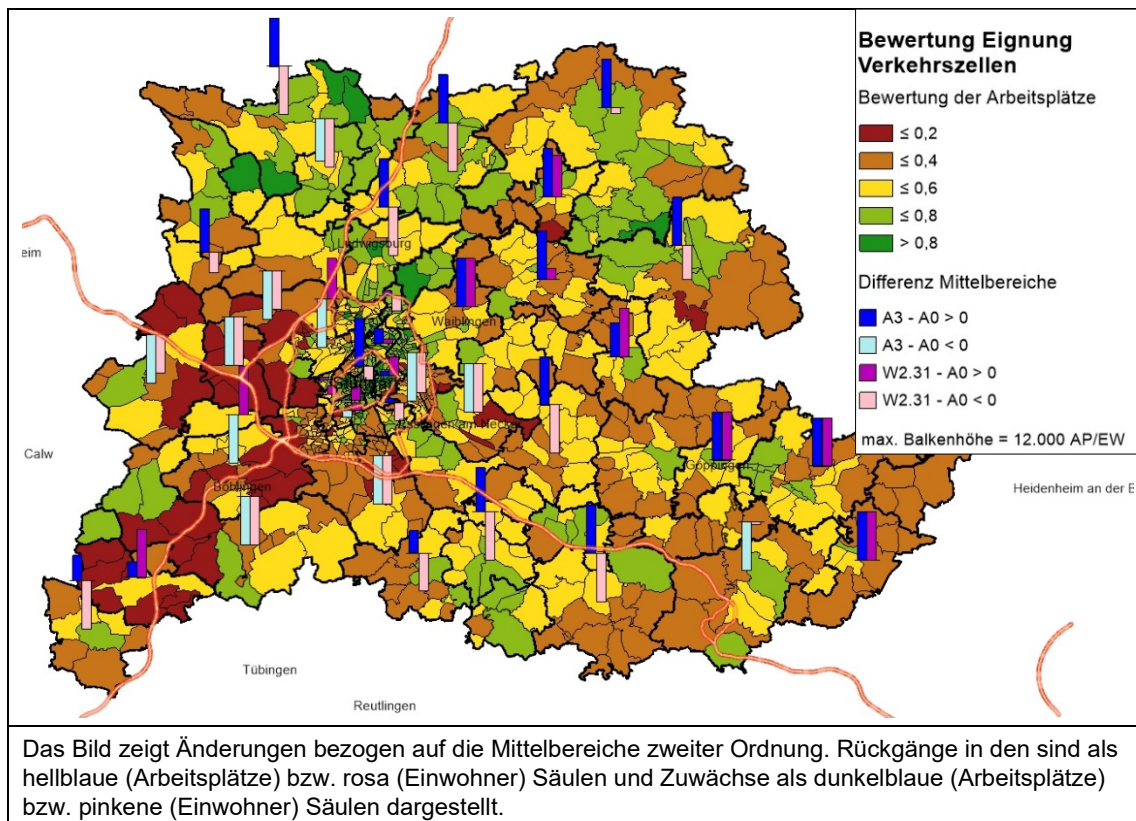


Abbildung 52: Einwohner- und Arbeitsplatzänderungen im Vergleich zum Bezugszenario A0.

Die Auswertung der Verkehrsleistung beider Szenarien im Vergleich zum Szenario A0 liefert einen leichten Rückgang der Pkw-Verkehrsleistung (vgl. Abbildung 53). Durch die Kombination der Szenarien wird erwartet, dass es im Vergleich zum Bezugszenario zu einem weiteren Rückgang in der Verkehrsleistung kommt. Die Modellergebnisse in Abbildung 53 zeigen, dass die größte Reduktion der Verkehrsleistung durch die Umverteilung der Arbeitsplätze im Szenario A3 zustande kommt. Unter Einbezug der veränderten Einwohneransiedlung erfolgt eine zusätzliche Reduktion von 0,1 Mio. PKm. Insgesamt kann die Verkehrsleistung um rund 1,0 Mio. PKm durch die Kombination der Einwohner- und Arbeitsplatzszenarien im Vergleich zum Bezugszenario reduziert werden. Der Einfluss der Einwohnerverteilung ist marginal, was sich darin begründet, dass 4 % der Einwohner umverteilt wurden und die Auswertungen in Abbildung 53 die gesamten Einwohner der Region Stuttgart einbeziehen. Die größten Reduktionen können in der Pkw-Verkehrsleistung beobachtet werden. Demzufolge ist es aus Sicht der Verkehrsleistung sinnvoll, eine einheitliche Betrachtung der Gesamtsituation vorzunehmen.

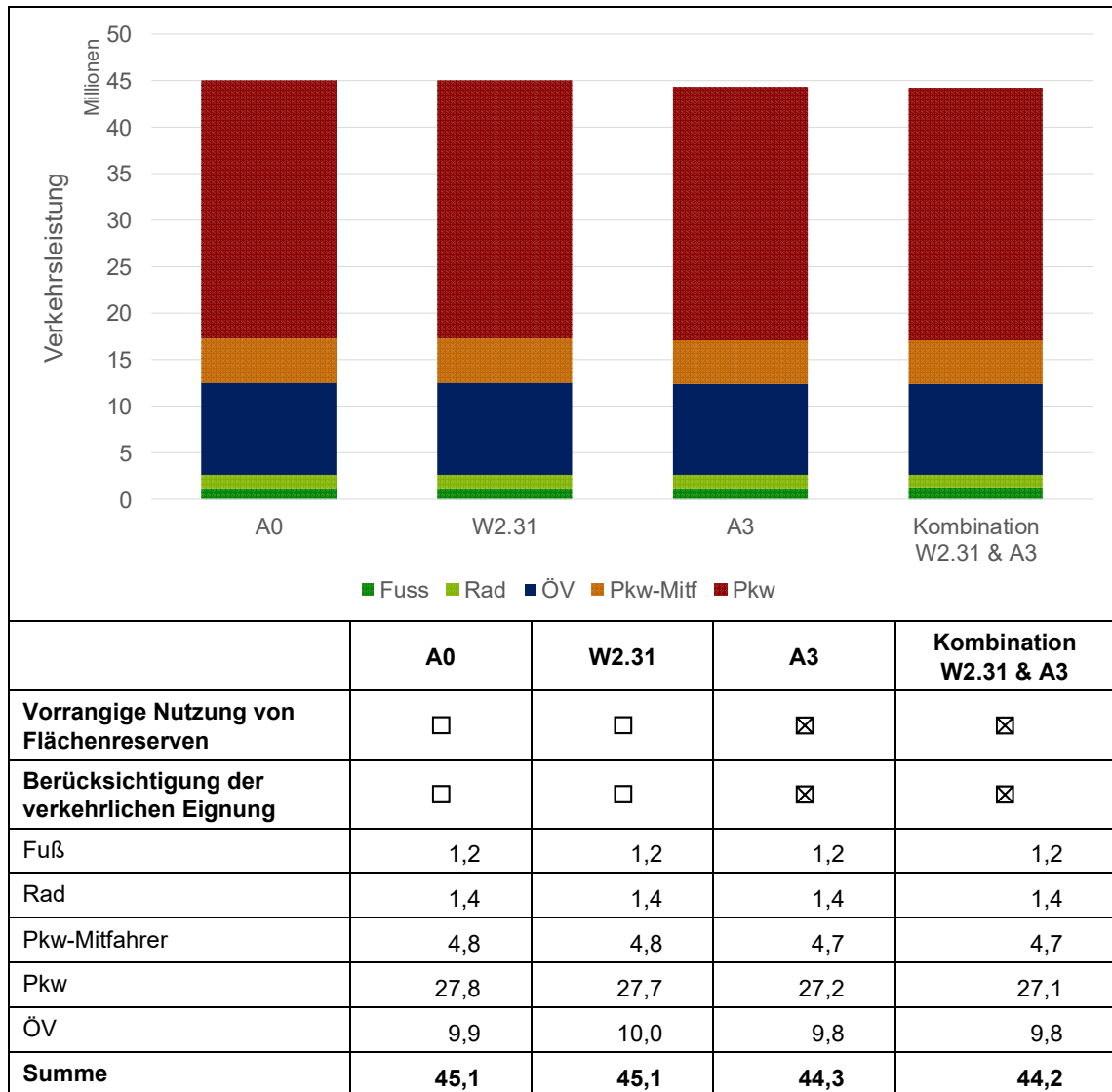


Abbildung 53: Verkehrsleistung (Mio. PKM) der Szenarien A0, W2.31, A3 und „Kombination W2.31 & A3“.

Aufgrund der veränderten Einwohner- und Arbeitsplatzverteilung wird zudem angenommen, dass sich die Ergebnisse der Szenarien der Standorte der Daseinsvorsorge ändern (Kapitel 4.3.5). Für die Darstellung der Ergebnisse erfolgt auszugsweise die Berechnung der Szenarien D2 und D3 sowohl für das Bezugsszenario A0, als auch für das Szenario „Kombination W2.31 und A3“. Als relevante Standortkategorie wurde der Fahrtzweck Einkauf des täglichen Bedarfs herangezogen.

Die Auswertung des Szenarios D2, der Identifikation eines zusätzlichen Standortes, liefert ähnliche Reisezeiteinsparungen in beiden Szenarien (vgl. Abbildung 54). Die höchsten Reisezeiteinsparungen können im Szenario A0 im Stadtgebiet Böblingen bei der Eröffnung einer zusätzlichen Einzelhandelseinrichtung erzielt werden. Die Eröffnung einer Einzelhandelseinrichtung in Stuttgart-Vaihingen liefert hingegen größere Reisezeiteinsparungen im Szenario „Kombination W2.31 & A3“ als im Stadtgebiet Böblingen. Gene-

rell würde die Eröffnung eines zusätzlichen Standortes in den Verkehrszellen mit Reisezeiteinsparungen über 20 PStd zu einer Verbesserung der Erreichbarkeit der Einzelhandelsstandorte führen.

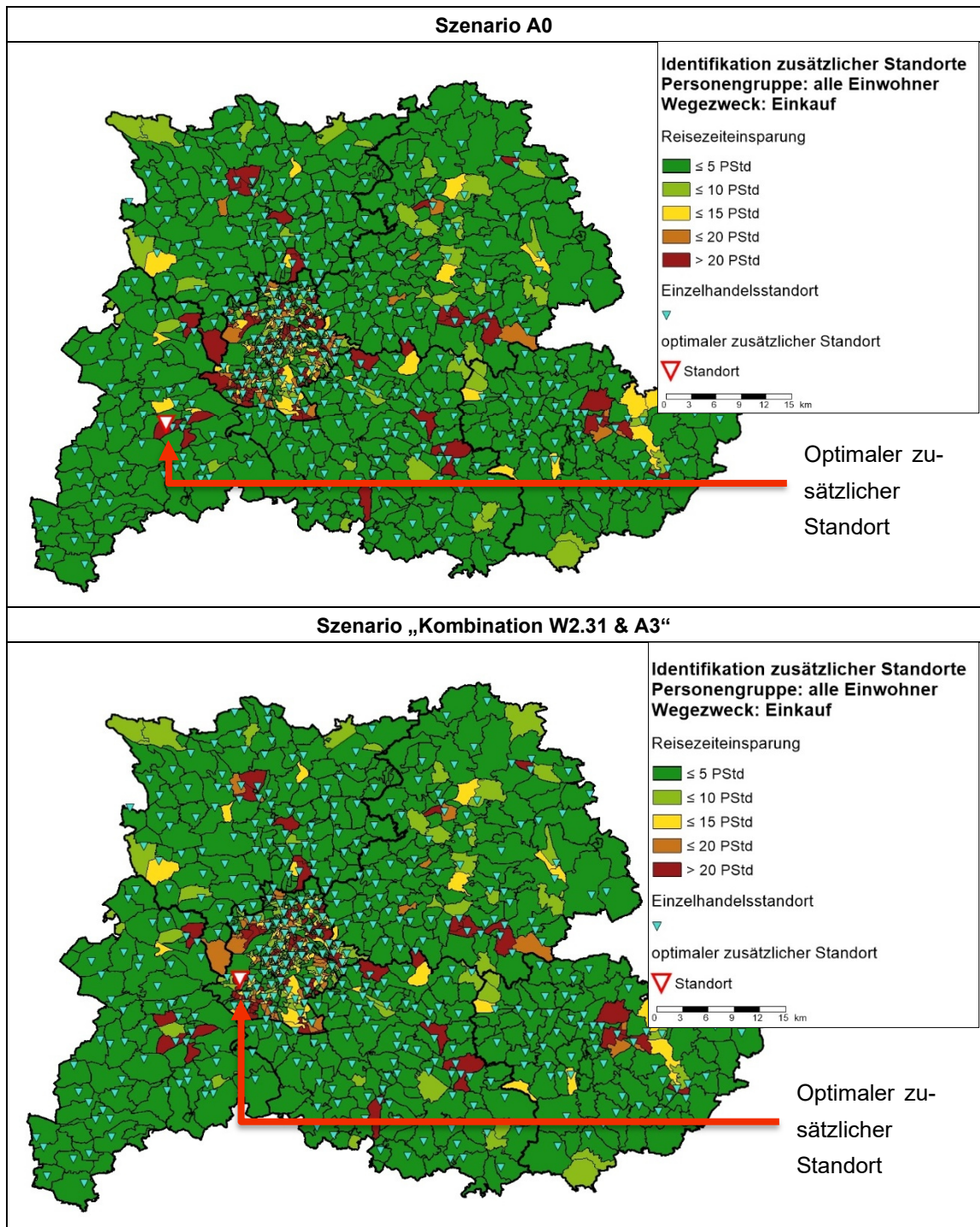


Abbildung 54: Vergleich der Identifikation eines zusätzlichen Standortes einer Einzelhandelseinrichtung in der Region Stuttgart der Szenarien A0 und "Kombination W2.31 & A3".



Nachfolgend sind die Ergebnisse der Identifikation eines Reduktionsstandortes und zusätzlichen Standortes für Einzelhandelseinrichtungen dargestellt. Abbildung 55 zeigt die Berechnungsergebnisse der Szenarien für die Identifikation eines Reduktionsstandortes (Szenario D3). Der Vergleich der Szenarien A0 und „Kombination W2.31 & A3“ zeigt, dass im Szenario A0 die Schließung einer Einzelhandelseinrichtung im Stadtteil Eglosheim der Stadt Ludwigsburg die geringsten Reisezeitwüchse mit sich bringt. Hingegen liefern die Berechnungen im Kombinationsszenario einen geringeren Zuwachs der Reisezeit in der Gemeinde Sulzbach an der Murr im Rems-Murr-Kreis. Die Betrachtung der Reisezeitwüchse zeigt, dass in beiden Szenarien die Stadt Stuttgart die größten Reisezeitwüchse bei der Schließung einer Einzelhandelseinrichtung zu erwarten hätte. Davon sind sowohl die Randbereiche als auch das Stadtgebiet betroffen. In den umliegenden Landkreisen ist in vielen Gemeinden der Reisezeitwuchs bei Schließung einer Einzelhandelseinrichtung gering, was auf eine gute bis sehr gute Versorgung an Einkaufsmöglichkeiten für den täglichen Bedarf der ländlicheren Gebiete in der Region Stuttgart hindeutet.

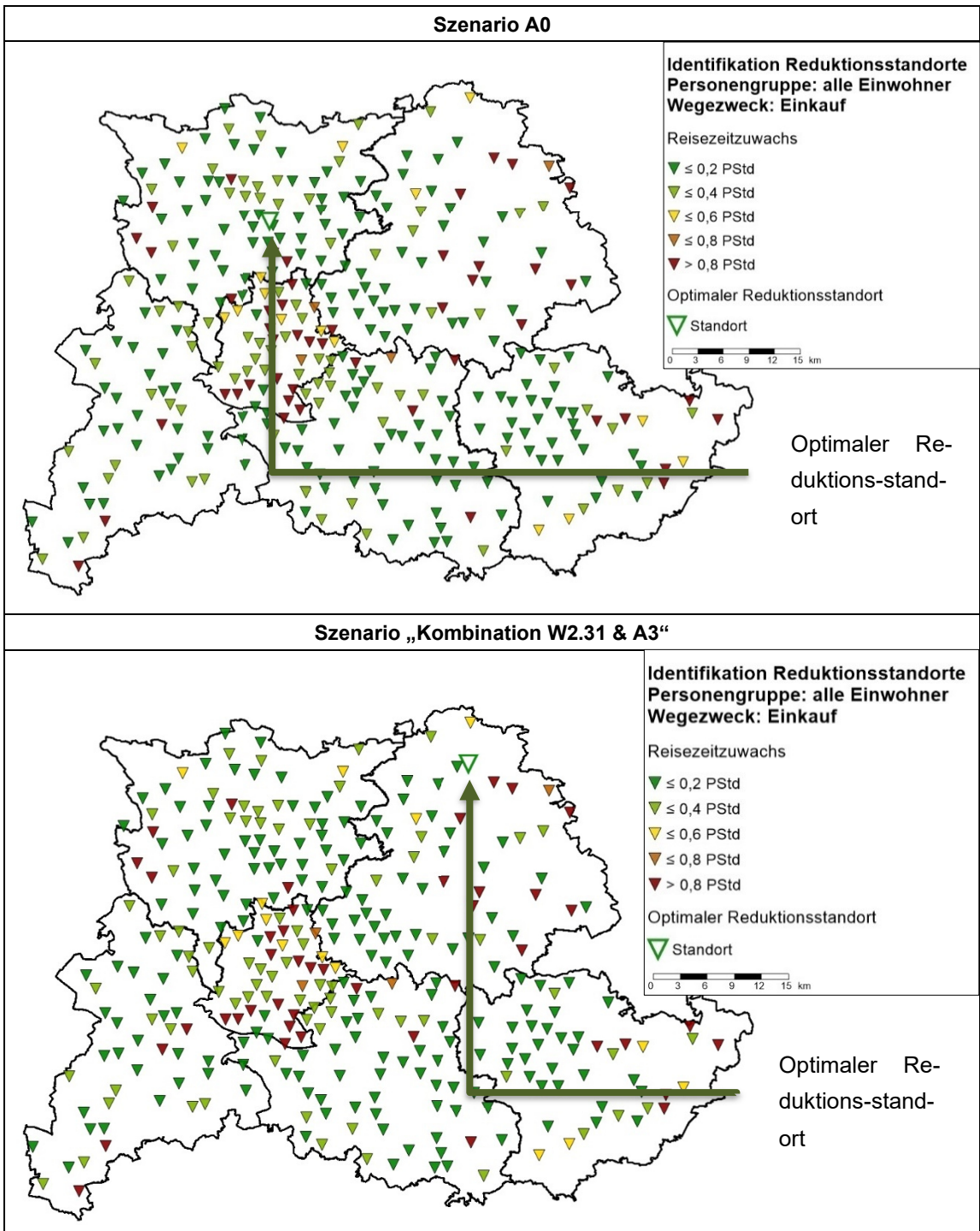


Abbildung 55: Vergleich der Identifikation eines Reduktionsstandortes einer Einzelhandelseinrichtung in der Region Stuttgart der Szenarien A0 und „Kombination W2.31 & A3“.

## 5.5 Zusammenfassung der Modellanwendungen der Standortanalysen

### **Standortanalyse ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Standorte der Daseinsvorsorge**

Die in den Szenarien beschriebenen Ansätze können als Planungsinstrument bei der Berechnung der Erreichbarkeit herangezogen werden und bieten politische und planerische Grundlagen zur Entscheidungsunterstützung. Neben der Berechnung der Erreichbarkeiten für gegenwärtige Zustände kann die Berechnung punktuell für prognostische Zustände genutzt werden. Neben der Berechnung der Reisezeiten für separate Zeitscheiben ist eine Fortschreibung und Berechnung der Ergebnisse denkbar, was eine permanente Aktualisierung der genutzten Struktur- sowie Infrastrukturdaten voraussetzt.

### **Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Wohnstandorte**

Die Ergebnisse der Modellanwendungen der Standortanalysen für Wohnstandorte sind in Tabelle 36 zusammengefasst. Bei einer proportionalen Verteilung der zusätzlichen Einwohner kommt es im Vergleich zum Bezugsszenario zu einem Anstieg der Verkehrsleistung und der damit verbundenen mittleren täglichen Reiseweite. Erfolgt eine Verteilung der zusätzlichen Einwohner anhand der verkehrlichen Eignung, jedoch ohne Berücksichtigung der Vorgaben der raumplanerischen Kenngrößen Flächenreserven und Siedlungsdichte, sinkt die Verkehrsleistung auf das Niveau des Bezugsszenarios. In diesen Szenarien ist zu beobachten, dass die Verkehrszellen mit einer schlechten verkehrlichen Eignung im Bereich der Eigenentwicklung liegen. Dies kann mit der Auswahl der verkehrlichen Kenngrößen zur Ermittlung der verkehrlichen Eignung begründet werden. Die Verkehrszellen, die auf den Entwicklungsachsen liegen, haben vermehrt eine bessere Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs. Erfolgt ein Einbezug der raumplanerischen Kenngröße Flächenreserve steigen die Ergebnisse im Vergleich zum Bezugsszenario an. Die genauere Betrachtung ergibt, dass in diesen Szenarien etwa 20 % bis 30 % der zusätzlichen Einwohner auf Verkehrszellen mit guter verkehrlicher Eignung verteilt werden können. Kommt es zukünftig zu einem weiteren Bevölkerungswachstum, kann auf Grundlage der verkehrlichen Eignung und der vollständigen Nutzung von Flächenreserven die mittlere tägliche Reiseweite eines zusätzlichen Einwohners im Vergleich zum Bezugsszenario reduziert werden. Dies setzt alle zuvor genannten Rahmenbedingungen voraus.

Die Ergebnisse spiegeln sich auch in den Lärm- und Schadstoffemissionen wider. Durch den geringen Anstieg der Bevölkerung kommt es zu einem geringen Anstieg der Umweltschadstoffe. Die in den Szenarien maximale Reduktion der Umwelteinflüsse liegt bei rund 1 %. Diese geringen Auswirkungen können in dem Verkehr ohne Heimatbezug und dem Lkw-Verkehr begründet werden.

Szenario	Einwohnerzuwachs	Vorrangige Nutzung Flächenreserven	Faktor regional-planerische Mindestdichte der Flächenreserven	Berücksichtigung verkehrlichen Eignung	Mittlere tägliche Reiseweite eines Einwohners über alle Modi [km]	Verkehrsleistung der zusätzlichen Einwohner über alle Modi [Mio. PKm]
<b>W0-S</b>	<b>+ 110.000</b>	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	<b>10,7</b>	<b>1,19</b>
W1	+ 110.000	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	15,2	1,69
W2.11	+ 110.000	<input type="checkbox"/>	1,5	<input checked="" type="checkbox"/>	11,1	1,24
W2.21			2,0		10,9	1,21
W2.31**			2,0		10,2	1,13
W2.12	+ 110.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5	<input checked="" type="checkbox"/>	15,7	1,75
W2.22			2,0		14,9	1,66
W2.32**			2,0		14,2	1,58
W3.1	+ 149.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1,0 / 1,5	<input checked="" type="checkbox"/>	17,2	2,57
W3.2	+ 220.000		1,0 / 1,5		16,1	3,59
Anmerkungen						
* Die Angaben beziehen sich auf den Durchschnitt aller Einwohner						
** In diesen Szenarien wird in der verkehrlichen Eignung die ÖV-Auslastung nicht berücksichtigt						

Tabelle 36: Zusammenfassung der Szenarien der Einwohnerverteilung.

### Standortanalyse mit Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen - Arbeitsstandorte

Tabelle 37 enthält eine Zusammenfassung der Szenarien und deren modellierten Wirkungen auf das Verkehrsgeschehen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in allen Szenarien eine Reduktion der Verkehrsleistung verglichen mit dem Szenario A0-2025 berechnet wurde. Das deutet darauf hin, dass die regionalplanerischen Vorgaben des Verband Region Stuttgart in Szenario A0 wirken und es deshalb im Szenario A0 zu Reduktionen der Verkehrsleistung und der mittleren täglichen Reiseweite kommt. Die Berechnungen unter Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung zeigen, dass noch größere Reduktionen der Verkehrsleistung und mittleren täglichen Reiseweite erwartet werden können. Hingegen schneidet das Szenario A2, das ausschließlich die Flächenreserven berücksichtigt etwas schlechter ab. Es werden jedoch nur geringfügige Rückgänge berechnet. Die Berücksichtigung der verkehrlichen Eignung und der verfügbaren Flächenreserven (Szenario A3) liefern die besten Ergebnisse. Die ermittelte Verkehrsleistung sinkt im Bezug zu A0-2025 um rund 11 %, was sich auch in der mittleren täglichen Reiseweite widerspiegelt.

Aufgrund des Einwohnerwachstums kommt es in allen Szenarien der Arbeitsplatzverteilung zu einem Anstieg der Umweltbelastungen. Diese sind durch die Verkehrsleistung beeinflussbar und können somit geringfügige Rückgänge der Schadstoffemissionen im

Vergleich zu dem Szenario A0 ermitteln. Aufgrund der Wirkung des Lärms wird davon ausgegangen, dass keine Änderungen bemerkbar sind.

Szenario	Arbeitsplatzänderung	Vorrangige Nutzung Flächenreserven	Berücksichtigung verkehrlichen Eignung	Anteil Arbeitsplatzänderung in Verkehrszellen mit guter verkehrlicher Eignung (> 0,5)	Anteil der Verkehrsleistungsänderung im Vergleich zu A0-2025 über alle Modi	Anteil der Verkehrsleistungsänderung im Vergleich zu A0-2025 als Pkw-Selbstfahrer	Mittlere tägliche Reiseweite eines Beschäftigten über alle Modi [km]	Mittlere tägliche Reiseweite eines Beschäftigten als Pkw-Selbstfahrer [km]
A0-2025	-	-	-	-	-	-	13,0	9,1
A0	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	- 7,1 %	- 7,2 %	12,0	8,4
A1	145.500	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	17 %	- 10,1 %	- 8,8 %	11,8	8,1
A2	145.500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- 1 %	- 8,5 %	- 9,7 %	11,7	8,3
A3	145.500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11 %	- 11,4 %	- 11,2 %	11,5	8,0

Tabelle 37: Zusammenfassung der Szenarien und den daraus resultierenden verkehrlichen Wirkungen pro Arbeitsplatzänderung.

### Kombination der Modellansätze

Durch die Kombination der Einwohner- und Arbeitsplatzverteilung wird sichtbar, dass mit einer gezielten Flächennutzungsplanung und unter Berücksichtigung der verkehrlichen Situation das Verkehrsgeschehen beeinflusst werden kann. Dadurch wird es möglich, die Verkehrsleistung der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet zu reduzieren, was ebenso eine Reduktion der Umweltwirkungen aus dem Verkehr zur Folge hat. Eine gezielte Siedlungsflächenentwicklung beeinflusst neben dem Verkehrsgeschehen auch die Infrastruktur der Daseinsvorsorgestandorte, die wiederum einen Einfluss auf die Verkehrsleistung ausüben. Demzufolge sollte die Siedlungsstruktur mit all ihren Facetten nie getrennt von dem Verkehrsgeschehen gesehen werden.



## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

In vielen Stadtregionen ist die Leistungsfähigkeit der Verkehrsnetze erreicht bzw. überschritten. Aufgrund der hohen Verkehrsstärken im MIV kommt es zu einer Reduktion der Aufenthaltsqualität, verbunden mit Konflikten mit Fuß und Rad. Eine Alternative ist der ÖV, der gegenüber dem Pkw jedoch nur bedingt konkurrenzfähig ist. Hinzu kommen Einwohnerzuwächse und Standortänderungen von Unternehmen, die die Nachfragestrukturen verändern. Hingegen haben ländliche Regionen die Herausforderung, die Daseinsvorsorge in einer angemessenen Qualität für die Bewohner aufrecht zu erhalten. Diese Ausgangssituationen erfordern in der Zukunft eine Verkehrsnetz- und Standortplanung, die den Zusammenhang zwischen Flächennutzung und Verkehrsnachfrage (noch) stärker beachtet als in der Vergangenheit.

Ziel der Arbeit war es, unter Einbezug von Verkehrsnachfragemodellen die Standortanalysen und -planungen so zu erweitern, dass diese die verkehrlichen Wirkungen einbeziehen. Dabei können die Standorte neben Wohn- und Arbeitsflächen auch Standorte der Daseinsvorsorge sein. Zur Zielerreichung der übergeordneten Fragestellung wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

- Welche Kenngrößen sind geeignet, um die verkehrliche Eignung bei einer integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsangebotsplanung zu berücksichtigen?

Sowohl in der Raumplanung als auch in der Verkehrsplanung erfolgt der Einsatz von Kenngrößen. In der Raumplanung werden die Flächennutzung, Erreichbarkeiten und Siedlungsdichten für die Analysen herangezogen. Aus verkehrlicher Sicht kommen die Fahrzeiten und Kosten verstärkt zum Einsatz. In der Literatur wurden für die integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsangebotsplanung die Kenngrößen Verkehrsleistung, Reiseweite und Bedienungshäufigkeit herangezogen. Die Verkehrsleistung sollte nach Möglichkeit bezüglich der Streckenauslastungen differenziert werden.

- Mit welcher Methode lassen sich geeignete Standorte identifizieren?

Durch Standortanalysen lassen sich Standorte für Wohn- und Arbeitsflächen und Standorte der Daseinsvorsorge identifizieren. Die Standortanalysen können in angebotsorientiert und nachfrageorientiert differenziert werden.

- Angebotsorientierte Standortanalyse

Für Standorte der Daseinsvorsorge kann ohne Berücksichtigung der verkehrlichen Nachfragewirkungen die Erreichbarkeit von Standorten berechnet werden. Die Analyse basiert auf Datenmodellen der Bevölkerung, Standorten und des Verkehrsangebots. Im Wirkungsmodell der Erreichbarkeit wird für eine Aktivität pro Person die Reisezeit je Modus zum nächsten Ort berechnet. Die Moduswahl wird im Modell nicht abgebildet. Die Berechnungen gehen von der Nutzung des kürzesten Weges aus. Neben der Reisezeit lassen sich in den Erreichbarkeitsberechnungen die Bedienungshäufigkeit, Umsteigehäufigkeit und der Erreichbarkeitsindex ermitteln. Dies bildet die Grundlage der Szenarienerstellung. So ist es

möglich, durch die Analyse Standorte zu identifizieren, an denen neue Standorte aus Sicht der Erreichbarkeit geschaffen werden sollten. Eine weitere Möglichkeit ist auf Grundlage der Erreichbarkeitsberechnung die Identifikation neuer Wohnstandorte.

- Nachfrageorientierte Standortanalyse

Neue bzw. alternative Wohn- bzw. Arbeitsstandorte können zudem durch eine nachfrageorientierte Standortanalyse ermittelt werden. Dazu ist es notwendig neben Datenmodellen der Bevölkerung, Standorte und Verkehrsangebot auch das Mobilitätsverhalten und die Flächenverfügbarkeit zu berücksichtigen. Durch die Nutzung von Verkehrsnachfragemodellen ist es möglich, im Wirkungsmodell der Ortsveränderungen, aus dem modellierten Mobilitätsverhalten, die Aktivitätenwahl abzuleiten. Die Ziel-, Modus- und Routenwahl werden durch das Verteilungsmodell, Aufteilungsmodell und die Umlegung im Verkehrsnachfragemodell berücksichtigt. Dies ermöglicht eine Nachfrageberechnung differenziert nach Zwecken, die Berechnung der Verkehrsstärke im Netz je Modus, sowie die Verkehrsleistung je Modus und Einwohner / Arbeitsplatz. Es wird möglich auf Basis der Berechnungen eine verkehrliche Eignung für jede Verkehrszelle zu ermitteln, die die Grundlage der Szenarienerstellung ist. Die Standortanalyse der Wohn- und Arbeitsstandorte ermöglicht den Vergleich der Wirkungen der heutigen und geplanten Standorte auf die Verkehrsnachfrage.

- Wo sollten neue Standorte unter Berücksichtigung der Erreichbarkeit bzw. der verkehrlichen Nachfragewirkungen angeordnet werden?

Mit der entwickelten Methode können differenziert nach angebotsorientierter und nachfrageorientierter Standortanalyse mögliche Standorte ermittelt werden, die folgende Bedingungen erfüllen:

- Bei angebotsorientierter Standortanalyse sind nach Möglichkeit neue Standorte so zu wählen, dass die Verkehrsteilnehmenden die Zeitaufwände zur Erreichung der Ziele reduzieren können.
- Bei nachfrageorientierten Standortanalysen sollten Standorte so angeordnet werden, dass die Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr reduziert bzw. konstant gehalten werden kann.

- Welche Wirkungen haben heutige und geplante Wohn- und Arbeitsstandorte auf die Verkehrsnachfrage?

Die Anwendung der entwickelten Methode an der Region Stuttgart zeigt, dass die heutigen Wohn- und Arbeitsstandorte die Verkehrsnachfrage bestimmen. Die erwarteten Änderungen der Einwohner bzw. Arbeitsplätze sind für die Region so gering, dass die geplanten Standorte nur einen marginalen Einfluss auf die Verkehrsnachfrage ausüben. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass durch eine gezielte Standortplanung die Verkehrsleistung eines zusätzlichen Einwohners in der Region im Vergleich zu der Verkehrsleistung eines derzeit in der Region lebenden Einwohners reduziert werden kann. Die Berechnungen ergaben für die Arbeitsplätze ähnliche



Ergebnisse. Daraus folgt, dass sowohl bei Hinzukommen neuer Einwohner bzw. Arbeitsplätze als auch bei einer Änderung der bereits existierenden Einwohner bzw. Arbeitsplätze eine Änderung der Verkehrsnachfrage zu beobachten ist.

Nicht nur die Standorte der Wohn- und Arbeitsplätze üben einen Einfluss auf die Verkehrsleistung aus. Standorte von Daseinsvorsorgeeinrichtungen haben ebenso einen Einfluss auf das Verkehrsgeschehen. Die Erreichbarkeiten der Standorte von Daseinsvorsorgeeinrichtungen werden sowohl von den Einwohnern als auch vom Verkehrsangebot beeinflusst. Demzufolge sollte die Siedlungsstruktur mit all ihren Facetten nie getrennt von dem Verkehrsgeschehen gesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Integration vorhandener Standortanalysen in Verkehrsnachfragemodelle in Hinblick auf umwelttechnische und soziale Aspekte sinnvoll ist.

### **Ausblick**

Aus der Kombination von Bevölkerungs- und Arbeitsplatzverteilung wurde ersichtlich, dass eine integrierte Betrachtung die größten Reduktionen der Verkehrsleistung mit sich bringt. Ein weiterer Schritt besteht darin, zu erforschen, welche weiteren Möglichkeiten es für eine integrierte Betrachtung der Wohnbau- und Gewerbeflächen gibt. Die Nutzung zwei getrennter Bewertungen für Wohnen und Arbeit führt in den jeweiligen Betrachtungen zu schnellen Ergebnissen. Jedoch erscheint eine Kombination der Werte zu einer Gesamtbewertung als sinnvoll. Dies bezieht die Standorte der Daseinsvorsorgeeinrichtungen mit ein, da die Ergebnisse der Erreichbarkeitsberechnungen von den Wohnstandorten der relevanten Bevölkerungsgruppen beeinflusst werden. Dies wurde am Beispiel der Kombination der Methoden an der Region Stuttgart deutlich. Durch die Entwicklung einer integrierten Methode lassen sich die Verkehrsleistungen weiter reduzieren. Ebenso erfolgt durch eine veränderte Wohnortwahl eine andere Wahl der Standorte der Daseinsvorsorge. Damit ist auch eine Reduktion der Umweltwirkungen aus dem Verkehr verbunden, die nach Möglichkeit so stark wie möglich zu reduzieren sind.



## 7 Literatur

- AHLMAYER, F., & WITOWSKY, D. (2018): Was brauchen wir in ländlichen Räumen? Erreichbarkeitsmodellierung als strategischer Ansatz der regionalen Standort- und Verkehrsplanung. *Raumforschung Und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 76(6), 531–550 <https://doi.org/10.1007/s13147-018-0558-8>
- BBSR (2018): *Erfolgsfaktoren für Wohnungsbauvorhaben im Rahmen der Innenentwicklung von dynamischen Städten*. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
- BIENERT, M. L. (1996): Standortmanagement: Methoden und Konzepte für Handels- und Dienstleistungsunternehmen In *Neue betriebswirtschaftliche Forschung* ; 194. Wiesbaden: Gabler
- BIRKMANN, J. (1999): *Indikatoren für eine nachhaltige Raumentwicklung: Methoden und Konzepte der Indikatorenforschung* (Vol. 96). Blaue Reihe. Dortmund: IRPUD
- BMI (2020): Zentrale Orte. *Bundesministerium Des Innern, Für Bau Und Heimat. Berlin*. <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/heimat-integration/raumordnung-raumentwicklung/grundlagen/zentrale-orte/zentrale-orte-node.html> [accessed: 09.10.2020]
- BORCHARD, K. (2011): *Grundriss der Raumordnung und Raumentwicklung*. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung
- BOTTOMLEY, P. A., & DOYLE, J. R. (2001): A comparison of three weight elicitation methods: good, better, and best *Omega*, 29(6), 553–560 [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(01\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(01)00044-5)
- CAMBRIDGE SYSTEMATICS INC. (2010): *Travel Model Validation and Reasonability Checking Manual: Second Edition: The Travel Model Improvement Program* (Federal Highway Administration (ed.)). Massachusetts. [https://connect.ncdot.gov/projects/planning/tpb training presentations/fhwa model validation handbook.pdf](https://connect.ncdot.gov/projects/planning/tpb_training_presentations/fhwa_model_validation_handbook.pdf) [accessed: 21.09.2021]
- CHRISTALLER, W. (1980): *Die zentralen Orte in Süddeutschland: Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen* (3., unverä). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchges
- DANIELZYK, R., & MÜNTER, A. (2018): Raumplanung In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 1931–1942). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB\\_2018/Raumplanung.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB_2018/Raumplanung.pdf) [accessed: 30.01.2021]
- DEPARTMENT FOR TRANSPORT (2014): *TAG UNIT M3.1: Highway Assignment Modelling: Transport Analysis Guidance: WebTAG M3.1*. London: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/427124/webtag-tag-unit-m3-1-highway-assignment-modelling.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/427124/webtag-tag-unit-m3-1-highway-assignment-modelling.pdf) [accessed: 21.09.2021]
- DOMHARDT, H.-J. (2018): Eigenentwicklung In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 457–462). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung <https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB>

2018/Eigenentwicklung.pdf [accessed: 30.01.2021]

- ERTLE, S. (2003): Standortanalyse für Büroimmobilien In *Reihe: Immobilienmanagement*; 4. Norderstedt: Books on Demand GmbH
- FARHAUER, O., & KRÖLL, A. (2013): *Standorttheorien*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01574-9>
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2012): *Begriffsbestimmungen* (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (ed.); Ausg. 2012, Vol. 220). Köln: FGSV
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (1992): *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen: RLS-90* (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (ed.); Ausg. 1992; Vol. 334). Köln: FGSV
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2001): *Leitfaden für Verkehrsplanungen* (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (ed.); Ausg. 2001). Köln: FGSV
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2006): *Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen* (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (ed.); Vol. 147). Köln: FGSV
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2009): *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung: RIN* (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (ed.); Ausg. 2008, Vol. 121). Köln: FGSV
- FRIEDRICH, M. (2016): *Engpassanalyse für den Straßenverkehr in der Region Stuttgart: unveröffentlichter Bericht*
- FRIEDRICH, M. (2018): *Verkehrsplanung und Verkehrsmodelle: Vorlesungsskript WS 2018/2019* Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (Hg.). Stuttgart: Schriftenreihe
- FRIEDRICH, M., PESTEL, E., HEIDL, U., PILLAT, J., SCHILLER, C., & SIMON, R. (2020): *Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hsg.)
- FRIEDRICH, M., & RITZ, C. (2014): Was bringt wie viel? Alte und neue Verkehrs- und Mobilitätskonzepte für Städte In *Heureka '14*. Köln: FGSV-Verl.
- FRIEDRICH, M., RÖNSCH, S., BIRKMANN, J., FINA, S., FELDMEYER, D., VALLÉE, D., & JANSSEN, G. (2017): *Überprüfung und Weiterentwicklung des Instrumentariums zur Koordination von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung vor dem Hintergrund erforderlicher CO2-Reduktion und der demografischen Entwicklung für die Region Stuttgart*. Stuttgart: unveröffentlicherter Bericht
- FRIEDRICH, M., & SIEDENTOP, S. (2016): *Erreichbarkeitssicherung im ländlichen Raum: Entwicklung und Erprobung eines Werkzeugs zur Bewertung der Wirkungen von Standortentwicklungen der sozialen Infrastruktur und Angebotsveränderungen des IV/ÖV*. Stuttgart: Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (Hsg.) [https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/PDFs/Bioökonomie/Langform\\_ErreichbarkeitsSicherungLREndberichtISV\\_ILS.pdf](https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/PDFs/Bioökonomie/Langform_ErreichbarkeitsSicherungLREndberichtISV_ILS.pdf) [accessed: 21.09.2021]

- GALSTER, M. (2008): *Modellierung von Anbindungen in Verkehrsplanungsmodellen* [Universität Stuttgart] <https://doi.org/10.18419/opus-296>
- INFRAS (2017): *Handbuch für Emissionsfaktoren: HBEFA* (Umweltbundesamt (ed.)) <http://www.hbefa.net/d/> [accessed: 18.07.2021]
- INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT KÖLN MEDIEN GMBH (2020): *Deutschland in Zahlen*. Köln: <https://www.deutschlandinzahlen.de/tab/deutschland/infrastruktur/gebäude-und-wohnen/wohnfläche-je-einwohner> [accessed: 05.08.2020]
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE SOZIALWISSENSCHAFT GMBH (2011): *Mobilität in Deutschland: Kurzreport: Verkehrsaufkommen -- Struktur -- Trends* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (ed.); pp. 8–9) [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas\\_Mobilitaet\\_in\\_Deutschland\\_2017\\_Kurzreport.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas_Mobilitaet_in_Deutschland_2017_Kurzreport.pdf) [accessed: 03.09.2021]
- KNIELING, J. (2018): Raumentwicklung In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 1873–1880). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB\\_2018/Raumentwicklung.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB_2018/Raumentwicklung.pdf) [accessed: 31.03.2021]
- KOERNICKE, I. (2007): Accessibility Constraints Mapping for Walking and Public Transport in the Sutherland Shire In *Proceedings of the 30th Australasian Transport Research Forum (ATRF)*. Perth
- KRIEBERNEGG, G., HAUSBERGER, S., SCHILLER, C., & REXEIS, M. (2011): ROdEM: Modellierung einer optimalen Raumnutzungsverteilung zur Minimierung von Kfz-Emissionen: RAUMNUTZUNGSOPTIMIERUNG DURCH Heureka '11, 140–160. Köln: FGSV-Verl.
- LOWRY, I. S. (1964): *A model of metropolis: Memorandum RM-4035-RC* (Rand Corporation (ed.)). Santa Monica: [https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research\\_memoranda/2006/RM4035.pdf](https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2006/RM4035.pdf) [accessed: 21.01.2021]
- MARTENS, M. J., & VAN GRIETHUYSEN, S. (1999): The ABC Location Policy in the Netherlands – ‘The Right Business at the Right Place’ *TRANSLAND-Forschungsbericht*
- MILSTEIN, A. (2018): Daseinsvorsorge In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 361–373). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB\\_2018/Daseinsvorsorge.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB_2018/Daseinsvorsorge.pdf) [accessed: 31.03.2021]
- MOECKEL, R. (2018): *Simple Integrated Land Use Orchestrator* <https://silo.zone/index.html> [accessed: 15.01.2020]
- MOECKEL, R. (2019): *Integration of land use and transport* (Technische Universität München (ed.)). München: <https://www.bgu.tum.de/msm/forschung/modellierung/integration/> [accessed: 15.01.2020]
- MOECKEL, R., LLORCA GARCIA, C., MORENO CHOU, A. T., & OKRAH, M. B. (2018): Trends

- in integrated land use/transport modeling: An evaluation of the state of the art  
*Journal of Transport and Land Use*, 11(1) <https://doi.org/10.5198/jtlu.2018.1205>
- ORTÚZAR, J. DE D., & WILLUMSEN, L. G. (2011): *Modelling Transport* (4th ed.) John Wiley & Sons <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10510502>
- OTTMANN, M., & LIFKA, S. (2010): *Methoden der Standortanalyse* WBG (Wiss. Buchges.)
- PRIEBS, A. (2018): Regionalplanung In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 2047–2062). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB\\_2018/Regionalplanung.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB_2018/Regionalplanung.pdf) [accessed: 31.03.2021]
- PTV AG (2016) *PTV-Visum 16 – Handbuch*. Karlsruhe
- PUTMAN, S. H. (1976): Further results from the integrated transportation and land use model package (ITLUP) *Transportation Planning and Technology*, 3, 165–173 <https://doi.org/10.1080/03081067608717103>
- RITTER, E.-H. (2005): *Handwörterbuch der Raumordnung*. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung
- SAATY, T. L., & VARGAS, L. G. (2012): *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Vol. 175). Boston, MA: Springer US <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- SCHADE, G., & LIEDTKE, D. (1999): *Standortanalyse - Evaluierung von vier Standorten im Freistaat Sachsen auf ihre Eignung für einen nachhaltig wettbewerbsfähigen Markt mit wöchentlichen Öffnungszeiten*
- SCHILLER, C. (2007): *Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung*. Dresden: Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/vnm/ressourcen/dateien/institutsschriftenreihe/Heft-10.pdf?lang=de> [accessed:12.07.2017]
- SCHLAICH, J. (2011): *Verkehrsmodellierung für die Region Stuttgart: Analyseverkehr 2009/2010: Schlussbericht Modellierung* (PTV AG (ed.))
- SCHNABEL, W., & LOHSE, D. (1997): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*. (Vols. 2-Verkehr). Berlin: Verlag für Bauwesen
- SCHNABEL, W., & LOHSE, D. (2011): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung* (3. Auflage). Berlin: Beuth Verlag GmbH
- SCHÖLER, K. (2018): Standortentscheidung In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 2571–2581). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB\\_2018/Standortentscheidung.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB_2018/Standortentscheidung.pdf) [accessed: 31.03.2021]
- SCHWARZE, B. (2005): *Erreichbarkeitsindikatoren in der Nahverkehrsplanung*. Dortmund: <http://www.raumplanung.tu-dortmund.de/irpud/fileadmin/irpud/content/documents/publications/ap184.pdf> [accessed:10.06.2020]

- SCHWARZE, B. (2015): *Eine Methode zum Messen von Naherreichbarkeit in Kommunen*. Münster: MV-Verlag
- SÖFKER, W. (2018): *Baugesetzbuch: Mit Immobilienwertermittlungsverordnung, Baunutzungsverordnung, Planzeichenverordnung, Raumordnungsgesetz, Raumordnungsverordnung: Textausgabe* (50. Auflag, Vol. 5018). München: dtv
- STEIERWALD, G., KÜNNE, H. D., & VOGT, W. (2005): *Stadtverkehrsplanung: Grundlagen, Methoden, Ziele* (2., neu be). Berlin: Springer
- TERFRÜCHTE, T., & FLEX, F. (2018): Zentraler Ort In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (pp. 2969–2979). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB\\_2018/Zentraler Ort.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB_2018/Zentraler_Ort.pdf) [accessed: 31.03.2021]
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, P. D. (2014): *World urbanization prospects, the 2014 revision: Highlights*. New York: United Nations <https://esa.un.org/Unpd/Wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf> [accessed: 14.11.2017]
- VERBAND REGION STUTTGART (2009): *Regionalplan: Satzungsbeschluss vom 22. Juli 2009: Region Stuttgart* (Verband Region Stuttgart (ed.)). Stuttgart
- VERBAND REGION STUTTGART (2011): *Mobilität und Verkehr in der Region Stuttgart 2009/2010: Regionale Haushaltsbefragung zum Verkehrsverhalten: Begleituntersuchungen zur Fortschreibung des Regionalverkehrsplans - Band 1* (Verband Region Stuttgart (ed.)). Stuttgart: <https://www.region-stuttgart.org/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1951&token=fe36d21eb0f6e141e53f5a1d8b443cf96c699fd3> [accessed: 14.05.2018]
- VOPPEL, G., & ESSER, C. (1993): Standortanalyse im Gewerbegebiet Köln-Braunsfeld, Ehrenfeld Untersuchungen des Wirtschafts- und Sozialgeographischen Instituts der Universität zu Köln im Auftrag der Stadt Köln In *Kölner Forschungen zur Wirtschafts- und Sozialgeographie Institut ; 41*. Köln: Selbstverl. im Wirtschafts- und Sozialgeographischen Inst.
- WADDELL, P. (1998): *UrbanSim* <https://urbansim.com/home> [accessed: 05.02.2020]
- WARDROP, J. G. (1952): *Some theoretical aspects of road traffic research*. London: Inst. of Civil Engineers
- WEGENER, M. (2009): Modelle der räumlichen Stadtentwicklung - alte und neue Herausforderungen In D. Vallée (Ed.), *Ein Blick zurück - ein Blick voraus* (pp. 73–81). Axhausen: ISB
- WEGENER, M., & FUERST, F. (1999): *Land-Use Transport Interaction: State of the Art*. Dortmund: Institut für Raumplanung, Fakultät Raumplanung <https://doi.org/10.2139/ssrn.1434678>
- WERMUTH, M. (2005): B5 Modellvorstellungen zur Prognose In G. Steierwald, H. D. Künne, & W. Vogt (Eds.), *Stadtverkehrsplanung*. Heidelberg: Springer Berlin





## 8 Formelverzeichnis

$AP_{go}$	Anzahl Arbeitsplätze einer Nutzergruppe g in der Verkehrszelle o
$B1(x) / B2(x)$	Bewertungsfunktionen eines Wertes x
$c$	Erhebungswert
$c_{odm}^{FK}$	Fahrkosten einer Quelleverkehrszelle o und Zielverkehrszelle d mit dem Modus m
$c_{odm}^{FP}$	Fahrpreis einer Quelleverkehrszelle o und Zielverkehrszelle d mit dem Modus m
$c_n$	Anteil der modellierten Verteilung im Intervall n / Anteil des Referenzszenarios im Intervall n
$c_{odm}^{PK}$	Parkkosten einer Quelleverkehrszelle o und Zielverkehrszelle d mit dem Modus m
$CR$	Koinzidenz-Verhältnis
$d_{god}$	Ortsveränderungen in einer Nachfragegruppe g von einer Quellzelle o in eine Zielzelle d
$d_{godm}$	Widerstandsfunktion je Nachfragegruppe g einer Quelle-Ziel-Beziehung o-d
$d_{gd}^a$	angezogene Ortsveränderungen d einer Nachfragegruppe g in einer Verkehrszelle d
$d_{godm}^{AP}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g zwischen den Verkehrszellen o und d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen oder enden am Arbeitsplatz AP)
$d_{gdm}^{a=AP^T}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g ausgehend von der Verkehrszelle d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen enden am Arbeitsplatz AP)
$d_{gdm}^{a=W^T}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g ausgehend von der Verkehrszelle d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen enden am Wohnort W)
$d_{go}^p$	produzierte Ortsveränderungen d einer Nachfragegruppe g in einer Verkehrszelle o
$d_{gom}^{p=AP^T}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g ausgehend von der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen am Arbeitsplatz AP)
$d_{gom}^{p=W}$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g ausgehend von der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen am Wohnort W)
$d_{godm}^W$	Anzahl der Ortsveränderungen einer Nutzergruppe g zwischen den Verkehrszellen o und d mit dem Verkehrsmittel m (Ortsveränderungen beginnen oder enden am Wohnort W)
$EW_{go}$	Anzahl Einwohner einer Personengruppe g in einer Verkehrszelle o
$f(x_{god})$	Widerstandsfunktion je Nachfragegruppe g einer Quelle-Ziel-Beziehung o-d
$FZI_{Pkw}$	Fahrzeitindex auf einem Netzelement mit dem Verkehrsmittel Pkw

$Gem$	Menge aller Verkehrszellen innerhalb einer Gemeinde ( $o = 1, \dots, Gem$ )
$l_{godm}$	Länge einer Ortsveränderung der Nutzergruppe $g$ zwischen den Verkehrszelle $o$ und $d$ mit dem Verkehrsmittel $m$
$l_{godmk}$	Länge einer Ortsveränderung der Nutzergruppe $g$ zwischen den Verkehrszelle $o$ und $d$ mit dem Verkehrsmittel $m$ in der Auslastungsklasse $k$
$l_{odm}$	Luftlinienentfernung einer Quelleverkehrszelle $o$ und Zielverkehrszelle $d$ mit dem Modus $m$
$m$	In der allgemeinen Formelbezeichnung wird Modus $m$ verwendet, wobei $m$ je nach Nutzenfunktion den Modi Fuß, Rad, ÖV, P+R oder Pkw darstellt
$m$	Modellwert
$M$	Anzahl an Modi im Verkehrsnachfragemodell ( $m = 1, \dots, M$ )
$m_n$	Anteil der beobachteten Verteilung im Intervall $n$ / Anteil des Vergleichsszenarios im Intervall $n$
$n$	Histogramm Intervall für Zeiten, Entfernungen, ...
$N$	Anzahl Iterationsschritte ( $n = 1, \dots, N$ )
$n_{odm}^{UH}$	Umsteigehäufigkeit einer Quelleverkehrszelle $o$ und Zielverkehrszelle $d$ mit dem Modus $m$
$p_{godm}$	Wahrscheinlichkeit der Wahl des Verkehrsmittels $m$ einer Nachfragegruppe $g$ für eine Quelle-Ziel-Beziehung $o-d$
$R$	Widerstand eines Netzelementes
$R(n)$	Geschätzter Widerstand eines Netzelementes mit $R'(n - 1) + \Delta(n) \cdot (R(n) - R'(n - 1))$
$\beta_{0,gm}$	Konstanter Nutzen einer Nutzergruppe $g$ mit einem Modus $m$
$\beta_g$	Parameter der Verkehrsverteilungsfunktion je Nachfragegruppe $g$
$\beta_{n,gm}$	Nutzenparameter einer Einflussgröße $n$ für eine Nutzergruppe $g$ mit einem Modus $m$
$t_{0 Pkw}$	Fahrzeit im unbelasteten Netz mit dem Verkehrsmittel Pkw
$t_{godm}$	Fahrzeit einer Quelleverkehrszelle $o$ in eine Zielverkehrszelle $d$ mit dem Modus $m$
$t_{gom}$	Reisezeit einer Personengruppe $g$ ausgehend von einer Startverkehrszelle $o$ zum nächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel $m$
$t_{Pkw}$	Fahrzeit im belasteten Netz mit dem Verkehrsmittel Pkw
$t_{IV}^{AZ}$	Abgangszeit vom Fahrzeug
$t_{\text{ÖV}}^{AZ}$	Abgangszeit von Haltestelle des öffentlichen Verkehrs
$t_{IV}^{FZ}$	Fahrzeit im Fahrzeug inkl. Abbiegezeit an Knotenpunkten
$t_{\text{ÖV}}^{FZ}$	Fahrzeit im Fahrzeug inkl. Haltestellenaufenthaltszeit
$t_{gom}^{Gem}$	Personenstunden der Personengruppe $g$ ausgehend von einer Gemeinde $Gem$ zum nächsten bzw. übernächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel $m$
$t_{\text{ÖV}}^{GZ}$	Gehzeit

$t_{gom}^{nS}$	Reisezeit einer Personengruppe g ausgehend von einer Startverkehrszelle o zum nächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel m
$t_{\text{ÖV}}^{SZ}$	Startwartezeit an der Starthaltestelle
$t_{gom}^{\text{ünS}}$	Reisezeit einer Personengruppe g ausgehend von einer Startverkehrszelle o zum übernächsten Standort der Daseinsvorsorge mit dem Verkehrsmittel m
$t_{\text{ÖV}}^{UZ}$	Umsteigewartezeit an einem Umsteigepunkt
$t_{godm}^{WZ}$	Umsteigewartezeit einer Quelleverkehrszelle o und Zielverkehrszelle d mit dem Modus m
$t_{godm}^{ZZ,AZ}$	Zu- und Abgangszeit einer Quelleverkehrszelle o und Zielverkehrszelle d mit dem Modus m
$t_{IV}^{ZZ}$	Zugangszeit zum Fahrzeug
$t_{\text{ÖV}}^{ZZ}$	Zugangszeit zur Haltestelle des öffentlichen Verkehrs
$v_{godm}$	Nutzen eines Modus m je Nachfragegruppe g einer Quelle-Ziel-Beziehung o-d
$v_{gom}^{AP}$	Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g (Arbeit) der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m
$v_{gomk}^{AP}$	Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g (Arbeit) der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m in der Auslastungsklasse k
$v_{gom}^{EW}$	Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m
$v_{gomk}^{EW}$	Verkehrsleistung einer Nutzergruppe g (Einwohner) der Verkehrszelle o mit dem Verkehrsmittel m in der Auslastungsklasse k
$x_{p15}$	15 % Perzentil der Wertemenge
$x_{p85}$	85 % Perzentil der Wertemenge
Z	Menge aller Verkehrszellen (o = 1, ..., Z; d = 1, ..., Z)
$\Delta (n)$	Faktor zur Dämpfung der Schwingung



## 9 Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis

### A

Aktivitätenkette	beschreibt eine Folge von Aktivitäten vom Verlassen der Wohnung bis zum Betreten der Wohnung
Analysezustand	Verkehrsnachfragemodell des Analysejahres 2010
ATKIS	Abkürzung für Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

### B

BauNVO	Abkürzung für Baunutzungsverordnung
Bedienungshäufigkeit	Anzahl der Abfahrten je Zeitintervall auf einer Relation im ÖV
Bezugszustand	Verkehrsnachfragemodell des Prognosejahres 2025
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

### D

Daseinsvorsorge	umfasst gemeinwohldienliche Leistungen im weiteren Sinn, die der Einzelne zu einer angemessenen Lebensführung benötigt und deren grundsätzlich marktförmige Darbietung daher regelmäßig staatlichem Einfluss unterliegt (MILSTEIN, 2018; P. 361)
-----------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### E

Erreichbarkeitsindex	bildet den mittleren Aufwand über mehrere Aktivitäten ab
EW	Abkürzung für Einwohner

### F

Fahrleistung	Produkt der Fahrzeuge und der zurückgelegten Fahrweite, ohne Zu- und Abgangsweiten
Flächennutzung	beschreibt die zweckgebundene Nutzung von Flächen und wird u.a. in Flächennutzungsplänen ausgewiesen
FNP	Abkürzung für Flächennutzungsplan; beinhaltet die Darstellung der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung differenziert nach Art der Bodennutzung einer Gemeinde

## H

Hauptverkehrszeit                      Zeit zwischen 6 und 9 Uhr, sowie 16 und 19 Uhr, wobei die Fahrtzwecke Arbeit und Schule dominieren

HVZ                                              Abkürzung für Hauptverkehrszeit

## I

IFVM                                              Abkürzung für integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsnachfragemodellen

IV                                                      Abkürzung für Individualverkehr, bei dem alle Formen des Individualverkehrs (motorisierter Individualverkehr, nicht motorisierter Individualverkehr) betrachtet werden

## L

Lagegunstindex                              bildet den mittleren bewerteten Aufwand über mehrere Aktivitäten ab

Lärmemissionen                              von Fahrzeugen ausgehender störender bzw. schädigender Schall

## M

Mittelbereiche zweiter Ordnung              ist eine inoffizielle Unterteilung der Mittelbereiche in Mittelbereiche um ein Mittelzentrum und den Verflechtungsbereich

MIV                                                      Abkürzung für motorisierter Individualverkehr, wobei alle Verkehrsmittel betrachtet werden, die motorisiert angetrieben werden (Pkw, Lkw, ...)

Mobilitätsrate                                      gibt das spezifische Verkehrsaufkommen einer Personengruppe je Nachfrageschicht an

MORO                                                      Modellvorhaben der Raumordnung

## O

ÖV                                                      Abkürzung für öffentlicher Verkehr

## P

PKm                                                      Abkürzung für Personenverkehr

Pkw-Mitf                                                      Abkürzung für Pkw-Mitfahrer

Planzustand                                              Verkehrsnachfragemodell, welches in Hinblick auf der Prognosejahr erstellt ist

PStd                                                      Abkürzung für Personenstunden

**Q**

QZG Abkürzung für Quelle-Ziel-Gruppen

**R**

Reiseweite Gesamtlänge der zurückgelegten Wege einer Person an einem Tag

Reisezeit Zeitbedarf einer Person für das Durchführen eines Weges

ROG Abkürzung für Raumordnungsgesetz

**S**

Schadstoffemissionen von Fahrzeugen ausgehende Stoffe, die ab einer gewissen Konzentration den Personen und der Umwelt schaden

Schwachverkehrszeit Zeit zwischen 19 und 6 Uhr

Siedlungsdichte Anzahl der Einwohner pro (ha) Siedlungs- und Verkehrsfläche

**U**

Umsteigehäufigkeit Anzahl der Umsteigevorgänge zwischen einem Starthaltepunkt und einem Zielhaltepunkt

**V**

Verkehrsleistung Produkt der betrachteten Personen und dem zurückgelegten Weg

Verkehrsverteilung Ermittlung der Zielwahl

Verlustzeit beschreibt den zusätzlichen Zeitaufwand, der bezogen auf die Fahrzeit im unbelasteten Netz erforderlich ist





---

## 10 Anhang

<b>Anhang A</b>	<b>Erreichbarkeiten von Daseinsvorsorgeeinrichtungen am Beispiel der Grundschulen – Rad &amp; Pkw</b>	<b>XXXIV</b>
<b>Anhang B</b>	<b>Diagramme der Einwohnerdifferenz der Szenarien</b>	<b>XXXVI</b>
Anhang B - 1	Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W1	XXXVI
Anhang B - 2	Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W2	XXXVII
Anhang B - 3	Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W3	XXXVIII
<b>Anhang C</b>	<b>Verkehrsleistung aller Einwohner in den Szenarien der Arbeitsplatzverteilung</b>	<b>XXXIX</b>

## Anhang A Erreichbarkeiten von Daseinsvorsorgeeinrichtungen am Beispiel der Grundschulen – Rad & Pkw

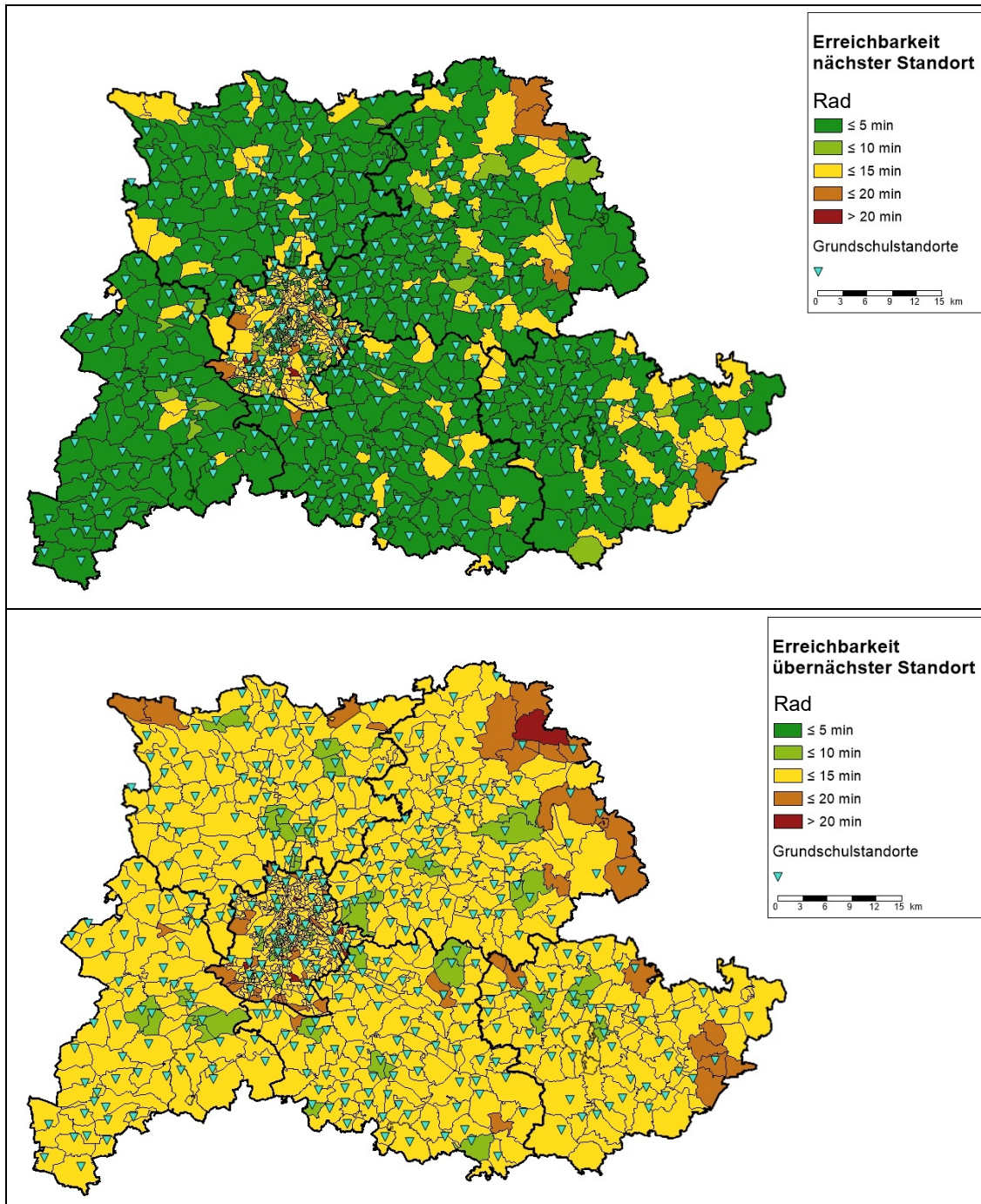


Abbildung 56: Erreichbarkeitsänderungen mit dem **Rad** zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.

Die Erreichbarkeiten zum nächsten Standort einer Grundschule basieren in den Verkehrszellen mit einem Grundschulstandort auf der gegebenen und gesetzten Diagonalen der Modellersteller (SCHLAICH (2011)). Diese Werte sind für den Radverkehr im Vergleich

zu den anderen Modi (Fuß, ÖV und Pkw) niedrig, wodurch der Großteil der Verkehrszellen verhältnismäßig geringe Reisezeiten des Radverkehrs aufweist.

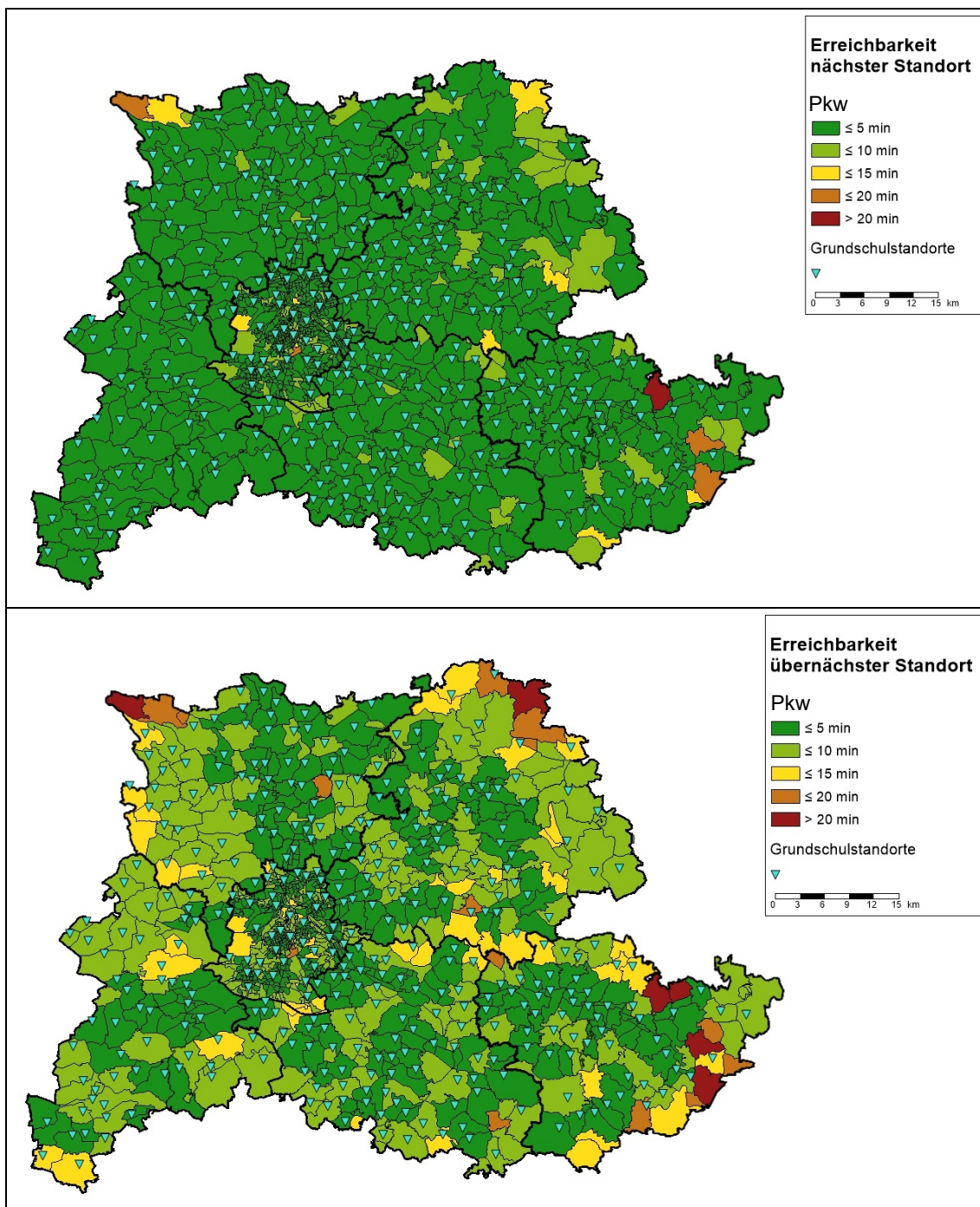


Abbildung 57: Erreichbarkeitsänderungen mit dem **Pkw** zum nächsten bzw. übernächsten Standort einer Grundschule.

## Anhang B Diagramme der Einwohnerdifferenz der Szenarien

### Anhang B - 1 Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W1

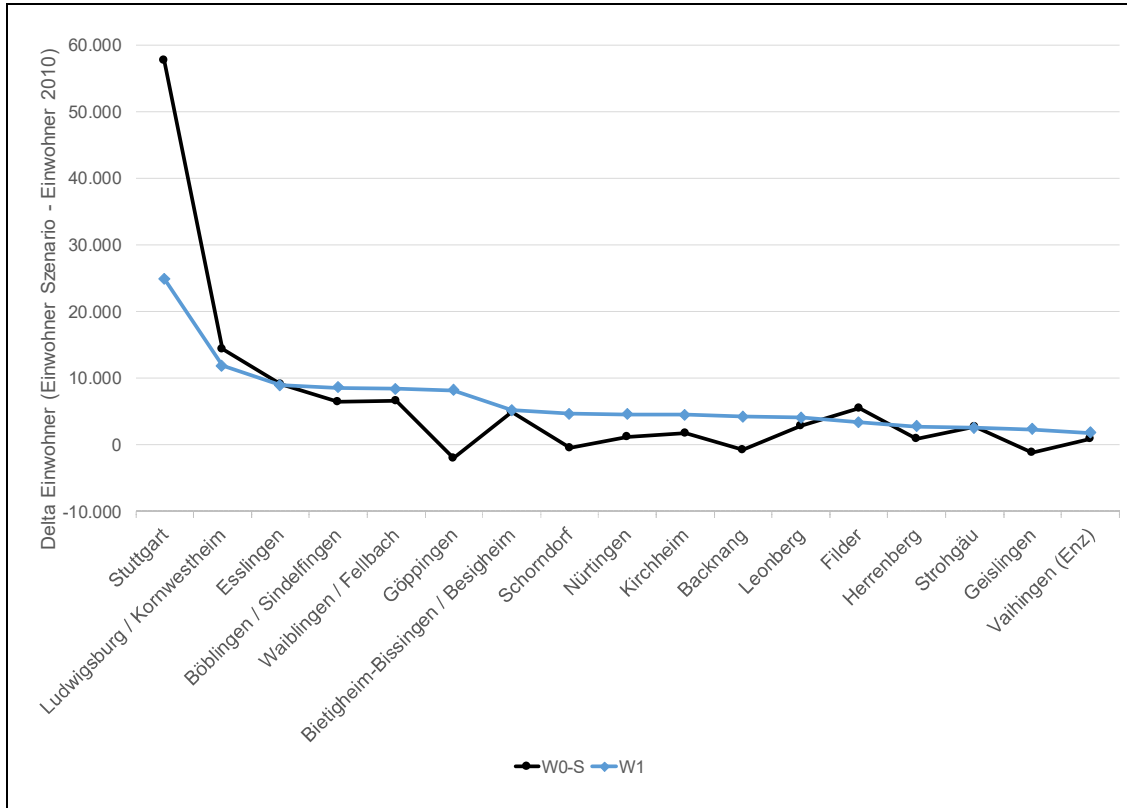


Abbildung 58: Einwohnerdifferenz der Mittelbereich in den Szenarien W0-S und W1.

### Anhang B - 2 Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W2

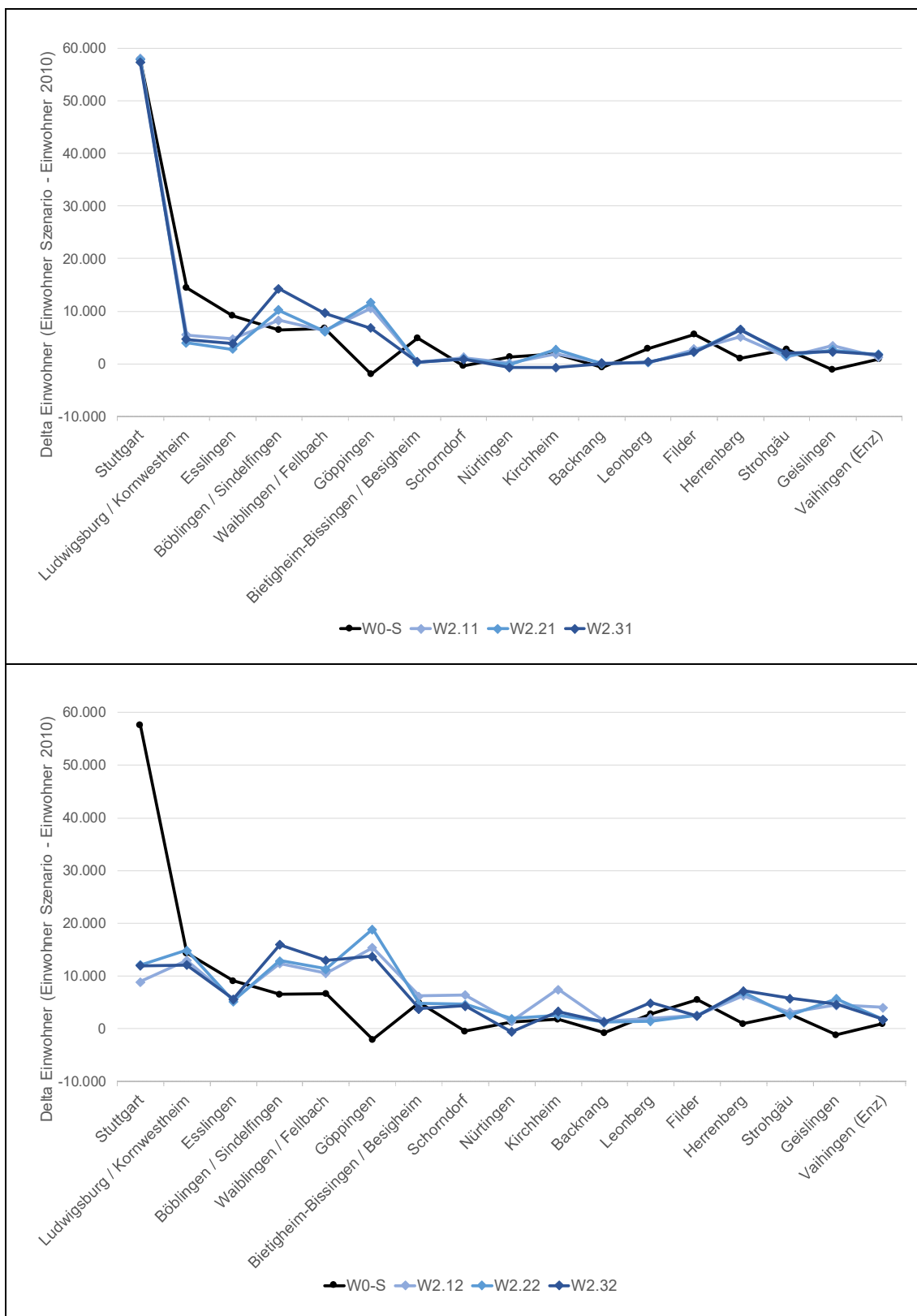


Abbildung 59: Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W2.

**Anhang B - 3 Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W3**

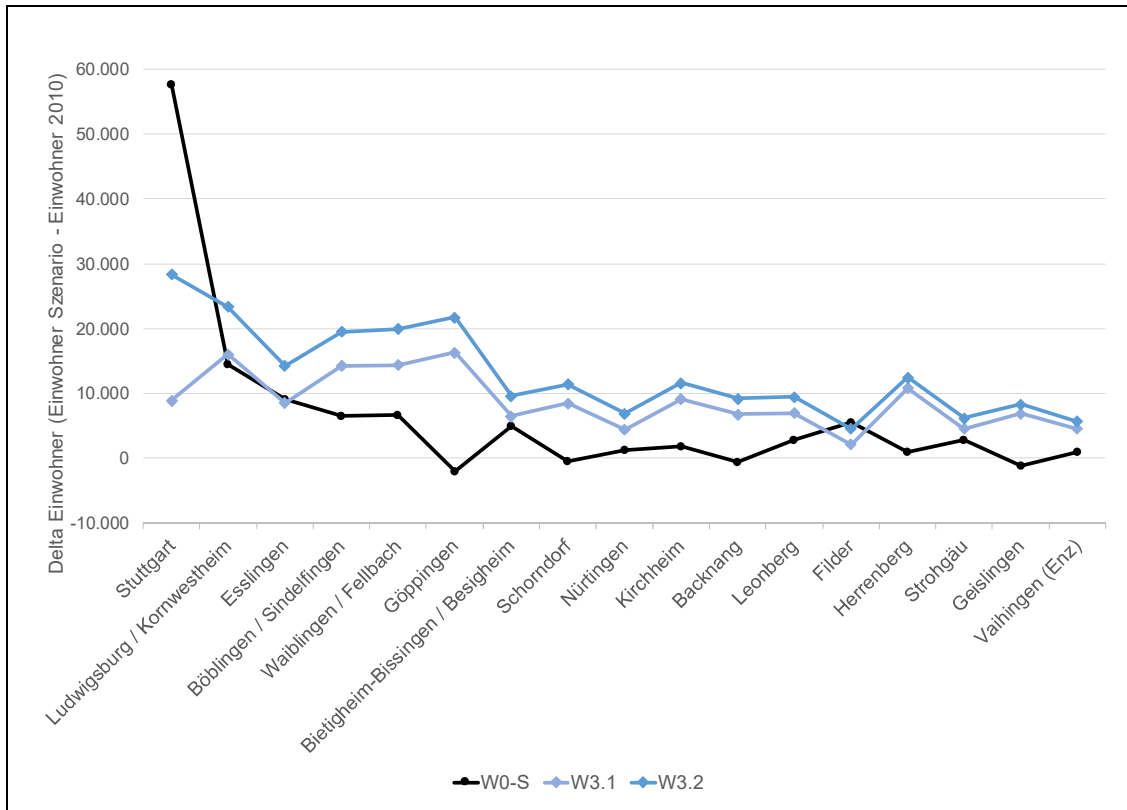


Abbildung 60: Einwohnerdifferenz der Mittelbereiche in den Szenarien W0-S und W3.

## Anhang C Verkehrsleistung aller Einwohner in den Szenarien der Arbeitsplatzverteilung

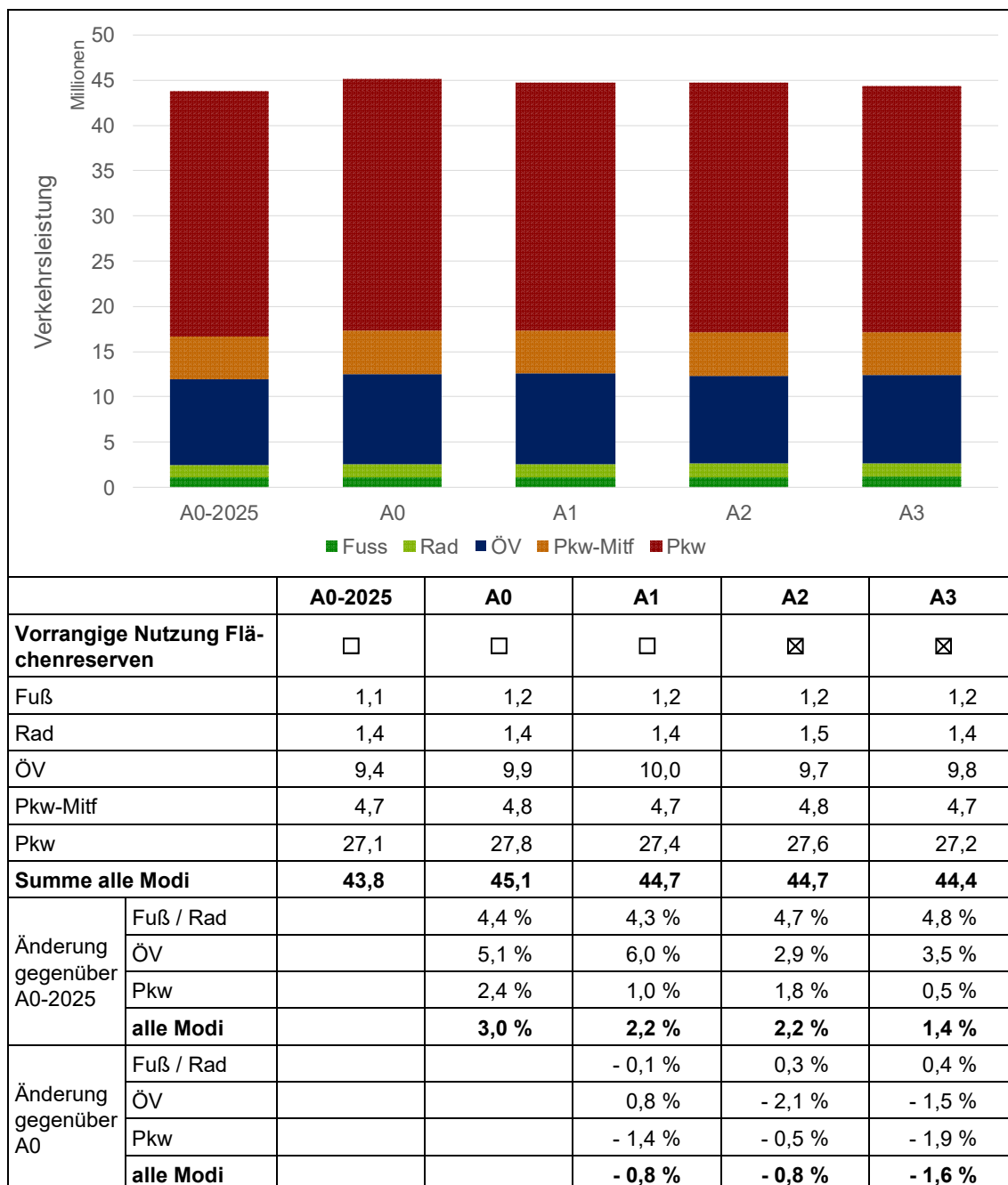


Abbildung 61: Verkehrsleistung (Mio. PKm) der Einwohner der Region Stuttgart in den Szenarien A0, A1, A2 und A3.





## 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 Fahrraumbewirtschaftung mit Sonderfahrstreifen für ausgewählte Stadtverkehre	2/1998
Heft 23	Szabolcs Törgyekes Ableitung spezifischer Abgas-Emissionsfaktoren für Kraftfahrzeugkollektive 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 offenerporiger 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
Heft 58	Matthias Schmaus Quantifizierung der Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs in langfristigen Energieszenarien auf kommunaler Ebene	8/2019
Heft 59	Maximilian Hartl Integrierte ÖV-Planung – Entwurf, Vergleich und Bewertung von planerischen und algorithmischen Lösungsverfahren	1/2020
Heft 60	Eric Pestel Qualität von Verkehrsnachfragemodellen	4/2021
Heft 61	Jörg Sonnleitner Abbildung der Eigenschaften automatisierter Fahrzeuge in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen	4/2022
Heft 62	Stefanie Lenske Standortanalysen mit Berücksichtigung der verkehrlichen Wirkungen	5/2022





**ISSN 0932 - 402X**

**ISBN 978 - 3 - 9821138 - 3 - 8**

**D 93 (Dissertation der Universität Stuttgart)**