

TEXTE

50/2023

Abschlussbericht

Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regel- geschwindigkeit von 30 km/h

von:

Dr. Eckhart Heinrichs
LK ARGUS GmbH, Berlin

Timotheus Klein, Juliane Blohm
ARGUS Stadt und Verkehr, Hamburg

Sebastian Eggers
LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg

Herausgeber:
Umweltbundesamt

TEXTE 50/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 15 108 1

FB000994

Abschlussbericht

Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h

von

Dr. Eckhart Heinrichs
LK ARGUS GmbH, Berlin

Timotheus Klein, Juliane Blohm
ARGUS Stadt und Verkehr, Hamburg


Sebastian Eggers
LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg


Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

LK ARGUS GmbH mit ARGUS Stadt und Verkehr und LÄRMKONTOR
Markgrafenstraße 62/63
10969 Berlin

Abschlussdatum:

November 2022

Redaktion:

Fachgebiet I 2.6 Nachhaltige Mobilität in Stadt und Land
Petra Röthke-Habeck

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

**Kurzbeschreibung: Umweltwirkungen einer innerörtlichen
Regelgeschwindigkeit von 30 km/h**

Das vorliegende Forschungsvorhaben untersucht die möglichen Auswirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h auf Verkehr, Lärm- und Luftschadstoffbelastung. Grundlage der Untersuchung sind Simulationen in den Modellstädten Halle, Göttingen und Ravensburg. Das Vorhaben soll Erkenntnisse liefern, die bei einer modellhaften Erprobung oder auch bei einer generellen Einführung von Tempo 30 innerorts berücksichtigt werden können. Im Ergebnis liegen Erkenntnisse zu möglichen verkehrlichen und Umweltwirkungen vor sowie Empfehlungen zur Einführung von Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit mit Hinweisen zu Begleituntersuchungen bei einer Umsetzung.

Abstract: Environmental impact of a 30 km/h speed limit in urban areas

This research project explores the possible impact of a 30 km/h speed limit in urban areas on traffic as well as on noise and air pollution. The study is based on simulations in the model cities of Halle, Göttingen and Ravensburg. The project is intended to generate findings that can be taken into account in a representative trial or in a general rollout of 30 km/h speed limit in built-up urban areas. At the end of the project, findings pertaining to the possible impact on traffic and the environment, recommendations on the rollout of a 30 km/h speed limit in urban areas as well as information on accompanying studies will be available for use in the implementation phase.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	14
Zusammenfassung.....	15
Summary	23
1 Einleitung und Vorgehen.....	31
2 Datengrundlagen und Methodik.....	33
2.1 Verkehrsmodelle	33
2.1.1 Anwendung der Verkehrsmodelle in den Beispielstädten	35
2.1.1.1 Tempo 30 und Motorisierter Individualverkehr (MIV) im Visum-Modell	37
2.1.1.2 Tempo 30 und Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) im Visum-Modell	38
2.1.1.3 Tempo 30 im Vissim-Modell (Mikrosimulation)	39
2.1.2 Kenngrößen für die Auswertung der verkehrlichen Wirkungen	40
2.2 Lärm und Luftschadstoffe	40
2.2.1 Emissionsmodelle	41
2.2.1.1 Lärm – Traffic Noise Emission Calculation Model (TraNECaM)	41
2.2.1.2 Luftschadstoffe – Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA).....	44
2.2.1.3 Eingangsparameter für die Emissionsmodelle	44
2.2.2 Lärm-Immissionsmodell.....	49
2.2.3 Anwendung der Emissions- und Immissionsmodelle in den Beispielstädten.....	50
2.2.3.1 Verkehrsmengen.....	50
2.2.3.2 Verkehrssituation.....	51
2.2.3.3 Verkehrsfluss	55
2.2.3.4 Geschwindigkeiten.....	56
2.2.3.5 Steigungen	56
2.2.3.6 Weitere Parameter der Lärmberechnung	56
2.2.4 Kenngrößen für die Auswertung der Umweltwirkungen	56
3 Ergebnisse	58
3.1 Verkehrliche Wirkungen	58
3.1.1 Ergebnisse der Makrosimulation mit Visum.....	58
3.1.1.1 Halle	61
3.1.1.2 Göttingen	65

3.1.1.3	Ravensburg	69
3.1.2	Ergebnisse der Mikrosimulation mit Vissim	73
3.1.2.1	Verkehrssituation im Bestand.....	73
3.1.2.2	Fahrzeiten	76
3.1.2.3	Zahl der Kfz-Halte im Zulauf signalisierter Knotenpunkte	77
3.1.2.4	Querungszeiten für zu Fuß Gehende abseits der Knotenpunkte und Trennwirkung...	78
3.1.2.5	Verkehrsstärken im Simulationszeitraum.....	79
3.1.2.6	Fahrzeugfolgezeiten.....	80
3.1.3	Verkehrssicherheit.....	81
3.1.4	Optimierung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit für den Fuß- und Radverkehr	82
3.1.5	Fazit zu den verkehrlichen Wirkungen	85
3.2	Umweltwirkungen.....	88
3.2.1	Lärm	88
3.2.1.1	Emissionsfaktoren.....	88
3.2.1.2	Änderung der Lärmemissionen nach Fahrzeugklassen	90
3.2.1.3	Ergebnisse der Immissionsmodellierung	91
3.2.1.4	Zwischenfazit zur Wirkung auf Lärm.....	113
3.2.2	Luftschadstoffe	113
3.2.2.1	Emissionsfaktoren.....	113
3.2.2.2	Abhängigkeit der Emissionen von Verkehrsqualität, Verkehrsmenge und Fahrzeugflotte.....	117
3.2.2.3	Ergebnisse der Modellierung der Luftschadstoffemissionen	119
3.2.2.4	Zwischenfazit zur Wirkung auf Luftschadstoffe.....	128
3.2.3	Fazit zu den Umweltwirkungen	129
4	Fazit	132
4.1	Aufgabenstellung und Ergebnisse.....	132
4.2	Schlussfolgerungen	133
5	Quellenverzeichnis	137
A	Anhang: Abgleich mit dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhalteung“	144
A.1	Einleitung	144
A.2	Allgemeine Unterschiede zwischen den Projekten	144
A.3	Bezugsgebiet.....	146
A.4	Verkehrsmittelwahl.....	146

A.5	Fahrleistungen	147
A.6	Level of Service (LoS) / Verkehrszustände	148
A.7	CO ₂ -Emissionen	150
A.8	NO _x -Emissionen	151
A.9	PM-Emissionen	151

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	LärmKennZiffer in Halle für den Schwellenwert 65 dB(A).....	18
Abbildung 2:	Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Halle (Luftschadstoffe)	19
Figure 3:	Weighted noise index in Halle for a threshold value of 65 dB(A)	26
Figure 4:	Comparison of all scenarios for the model city of Halle (air pollutants)	27
Abbildung 5:	Ablauf der Verkehrsmodellierung – Vier-Stufen-Modell	34
Abbildung 6:	Ablauf der Verkehrsmodellierung – Visum-Modelle / Makromodellierung.....	36
Abbildung 7:	Beispiel für Auslastungsfunktionen	38
Abbildung 8:	Verkehrssituationen im HBEFA 4.1 (Umweltbundesamt, 2019) Quelle: Software zum HBEFA 4.1.....	46
Abbildung 9:	Kontinuierlicher Anteil der Verkehrsqualität – Anteile	48
Abbildung 10:	Kontinuierlicher Anteil der Verkehrsqualität - resultierende Emissionsfaktoren	49
Abbildung 11:	Beispiel der hierarchischen Straßennetz-Gliederung in Halle (links), Göttingen (Mitte) und Ravensburg (rechts), ohne Maßstab.....	52
Abbildung 12:	Straßentypen nach HBEFA in Halle – pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell	53
Abbildung 13:	Straßentypen nach HBEFA in Göttingen – pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell	54
Abbildung 14:	Straßentypen nach HBEFA in Ravensburg – pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell	55
Abbildung 15:	Von der auf 30 km/h reduzierten Regelgeschwindigkeit betroffene und sonstige Strecken in den Verkehrsmodellen ..	58
Abbildung 16:	Streckennetzmodell der Stadt Halle (Saale) – Planfall 30 km/h als Regelgeschwindigkeit. In Rot hervorgehoben sind Ausnahmen mit höherer Höchstgeschwindigkeit	61
Abbildung 17:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Halle	62
Abbildung 18:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Halle infolge veränderter Verkehrsnachfrage im MIV ..	63
Abbildung 19:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Halle infolge veränderter Routenwahl im MIV	64
Abbildung 20:	Streckennetz der Stadt Göttingen. Hervorgehoben sind Ausnahmen von einer allgemeinen zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h	65
Abbildung 21:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Göttingen	66

Abbildung 22:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Göttingen infolge veränderter Verkehrsnachfrage.....	67
Abbildung 23:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Göttingen infolge veränderter Routenwahl im MIV	68
Abbildung 24:	Streckennetz der Stadt Ravensburg. Hervorgehoben sind Ausnahmen von einer allgemeinen zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h	69
Abbildung 25:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Ravensburg.....	70
Abbildung 26:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Ravensburg infolge veränderter Verkehrsnachfrage ...	71
Abbildung 27:	Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Ravensburg infolge veränderter Routenwahl im MIV .	72
Abbildung 28:	Netzausschnitte der Verkehrsflusssimulationen für Halle – Ludwig-Wucherer-Straße (links) und Trothaer Straße (rechts)	73
Abbildung 29:	Netzausschnitte der Verkehrsflusssimulationen für Göttingen – Geismar Landstraße (links) und Weender Landstraße (rechts)	74
Abbildung 30:	Netzausschnitte der Verkehrsflusssimulationen für Ravensburg – Seestraße (links) und Gartenstraße (rechts)	75
Abbildung 31:	Veränderung der mittleren MIV- und ÖPNV-Fahrzeiten durch Tempo 30.....	76
Abbildung 32:	Veränderung Anzahl der Halte pro Fahrzeug im Simulationszeitraum.....	78
Abbildung 33:	Veränderung der Querungszeiten im Fußverkehr abseits der Knotenpunkte	79
Abbildung 34:	Mittlere Verkehrsstärke [Kfz] im Zeitraum der Mikrosimulation	80
Abbildung 35:	Mittlere Fahrzeugfolgezeit [Sek.] an signalisierten Knoten, ohne erstes Fahrzeug, ohne Gelbfahrende	81
Abbildung 36:	Gestaltung einer Fahrradstraße in Senftenberg (Foto Tobias Klein, difu).....	84
Abbildung 37:	Lärm-Emissionsfaktoren Pkw aus TraNECaM (Ausschnitt)	89
Abbildung 38:	Emissionsfaktoren Lärm für verschiedene Szenarien (Hauptverkehrsstraße)	91
Abbildung 39:	Beispiel zur Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basisszenario)	94
Abbildung 40:	LärmKennZiffer in Halle für den Schwellenwert 65 dB(A).....	95
Abbildung 41:	LärmKennZiffer in Halle für den Schwellenwert 55 dB(A).....	96
Abbildung 42:	Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basisszenario) in Halle.....	98

Abbildung 43:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Halle bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Stadtgebiet	99
Abbildung 44:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Halle bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Innenstadt	99
Abbildung 45:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Halle bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Südliche Innenstadt (Europachaussee)	100
Abbildung 46:	LärmKennZiffer in Göttingen für den Schwellenwert 65 dB(A)	101
Abbildung 47:	LärmKennZiffer in Göttingen für den Schwellenwert 55 dB(A)	102
Abbildung 48:	Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basisszenario) in Göttingen	103
Abbildung 49:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Göttingen bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Stadtgebiet	104
Abbildung 50:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Göttingen bei Tempo 30 gegen-über Tempo 50 im Basisszenario – Innenstadt	105
Abbildung 51:	Lärmpegeländerungen an den Gebäuden in Göttingen bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Östliche Innenstadt	106
Abbildung 52:	Lärmpegeländerungen an den Gebäuden in Göttingen bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Nördliche Innenstadt, B 3 / Goßlerstraße	106
Abbildung 53:	Beurteilungspegel an den Gebäuden in Göttingen, Basisszenario Tempo 50 (links) und Tempo 30 (rechts) – Nördliche Innenstadt, B 3 / Goßlerstraße	107
Abbildung 54:	LärmKennZiffer in Ravensburg für den Schwellenwert 65 dB(A)	108
Abbildung 55:	LärmKennZiffer in Ravensburg für den Schwellenwert 55 dB(A)	109
Abbildung 56:	Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basisszenario) in Ravensburg	110
Abbildung 57:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Ravensburg bei Tempo 30 gegen-über Tempo 50 im Basisszenario – Stadtgebiet	111
Abbildung 58:	Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Ravensburg bei Tempo 30 gegen-über Tempo 50 im Basisszenario – Innenstadt	112

Abbildung 59:	CO ₂ -Emissionsfaktoren Pkw aus HBEFA (Ausgewählte Straßentypen).....	114
Abbildung 60:	NO _x - Emissionsfaktoren Pkw aus HBEFA (Ausgewählte Straßentypen).....	115
Abbildung 61:	Änderung der CO ₂ -Emissionensfaktoren je Straßentyp und LoS	116
Abbildung 62:	Änderung der NO _x -Emissionsfaktoren je Straßentyp und LoS	117
Abbildung 63:	Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Halle (Luftschadstoffe)	121
Abbildung 64:	Änderung der Straßenemissionen NO _x in Halle im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Stadtgebiet.....	122
Abbildung 65:	Änderung der Straßenemissionen NO _x in Halle im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Innenstadt	122
Abbildung 66:	Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Göttingen (Luftschadstoffe)	124
Abbildung 67:	Änderung der Straßenemissionen NO _x in Göttingen im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Stadtgebiet	125
Abbildung 68:	Änderung der Straßenemissionen NO _x in Göttingen im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Innenstadt	125
Abbildung 69:	Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Ravensburg (Luftschadstoffe)	126
Abbildung 70:	Änderung der Straßenemissionen NO _x in Ravensburg im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Stadtgebiet	127
Abbildung 71:	Änderung der Straßenemissionen NO _x in Ravensburg im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Innenstadt	127

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Modellansätze elektrischer Kfz	45
Tabelle 2:	Kapazitäten pro Fahrspur nach Verkehrssituation (Auswahl) ..	55
Tabelle 3:	Mittlere Reisegeschwindigkeiten, Reisezeiten und Reiseweiten in den Verkehrsmodellen, im motorisierten Verkehr, Binnenverkehr (BV) und Quell- und Zielverkehr (QZV) der Beispielstädte	59
Tabelle 4:	Werktägliche Fahrleistung in den Verkehrsmodellen [Fzg-km/24h]	60
Tabelle 5:	Modal Split im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr (QZBV) der Beispielstädte	60

Tabelle 6:	Werk tägliche Pkw-Fahrleistung im Visum-Modell Halle [Pkw-km/24h]64
Tabelle 7:	Werk tägliche Pkw-Fahrleistung im Visum-Modell Göttingen [Pkw-km/24h]68
Tabelle 8:	Werk tägliche Pkw-Fahrleistung im Visum-Modell Ravensburg [Pkw-km/24h]72
Tabelle 9:	Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs in Analyse- und Planfall mit Tempo 3085
Tabelle 10:	LärmKennZiffer (LKZ) in den Beispielstädten bei Tempo 50 und Tempo 30.....92
Tabelle 11:	Änderung der LärmKennZiffer (LKZ) bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 in den Beispielstädten93
Tabelle 12:	Luftschadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs in den Beispielstädten bei Tempo 50 und Tempo 30 in t/a120
Tabelle 13:	Änderung der Luftschadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 in den Beispielstädten.....120
Tabelle 14:	Änderung der Luftschadstoffemission des Kfz-Verkehrs je Fahrzeugkilometer bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50120
Tabelle 15:	Strukturgrößen der Untersuchungsgebiete145
Tabelle 16:	Von Tempo 30 _{neu} betroffene Strecken- und Fahrleistungsanteile in den Untersuchungsgebieten.....146
Tabelle 17:	Änderung der Modal-Split Werte durch Tempo 30 (Aufkommensbezogener Modal-Split, Quell-, Ziel- und Binnenverkehre)147
Tabelle 18:	Änderung der Fahrleistung durch Tempo 30 (alle modellierten Fahrzeugkategorien: Pkw, SNF, LNF)147
Tabelle 19:	Anteile der Pkw-Fahrleistung nach Verkehrszuständen im Analysefall Tempo 50149
Tabelle 20:	Änderung der Fahrleistungsanteile an den Verkehrszuständen durch Tempo 30 in Prozentpunkten.....150
Tabelle 21:	Änderung der CO ₂ -Emissionen (Pkw, SNF, LNF) durch Tempo 30151
Tabelle 22:	Änderung der NO _x -Emissionen (Pkw, SNF, LNF) durch Tempo 30151
Tabelle 23:	Mittlere spezifische PM-Emissionen je Fzg.-km (Pkw, SNF, LNF) im Analysefall und Änderung durch Tempo 30152
Tabelle 24:	Änderung der PM-Emissionen (Pkw, SNF, LNF) durch Tempo 30152

Abkürzungsverzeichnis

AVAS	Acoustic Vehicle Alert System
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BUB	Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe)
BV	Binnenverkehr
CO₂	Kohlendioxid
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibel, A-bewertet
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
Fz	Fahrzeug
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren
Kfz	Kraftfahrzeug
km/h	Kilometer pro Stunde
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LKZ	LärmKennZiffer
LoS	Level-of-Service (Verkehrszustand bzw. -fluss)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NMIV	Nichtmotorisierter Individualverkehr
NO_x	Stickoxide
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
PM	Partikel (Feinstaub)
PM₁₀	Partikel (Feinstaub) > 10µm
QV	Quellverkehr
QZV	Quell- und Zielverkehr
RLS-19	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen
RoTraNoMo	Road Traffic Noise Model (Emissionsmodell Fahrzeuglärm)
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
TraNECaM	Traffic Noise Emission Calculation Model (Emissionsmodell Fahrzeuglärm)
TREMOT	Transport Emission Model
UBA	Umweltbundesamt
VwV-StVO	Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung
ZV	Zielverkehr

Zusammenfassung

In vielen Städten und Gemeinden erzeugt der Kfz-Verkehr große Probleme, die sich u. a. im Unfallgeschehen, in der Lärm- und Luftschadstoffbelastung, der CO₂-Bilanz und unzureichenden Aufenthaltsqualitäten zeigen. Ein Ansatz zur Reduzierung der Probleme ist eine geringere innerörtlich zulässige Höchstgeschwindigkeit.

Innerorts gilt in der Bundesrepublik seit 1957 eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Dies war zum damaligen Zeitpunkt eine Verschärfung gegenüber der davor geltenden Regelung von 60 km/h. In den 1980er Jahren wurde die Tempo-30-Zone als flächenhafte Regelung für das untergeordnete Straßennetz eingeführt. Inzwischen gilt auf dieser Grundlage in vielen Städten Tempo 30 im überwiegenden Teil des Straßennetzes. Die Diskussionen konzentrieren sich daher nun zunehmend auf die verbleibenden Hauptverkehrsstraßen und die Frage, welche Geschwindigkeiten dort stadtverträglich sind. In Politik, Wissenschaft und Gesellschaft spielen in diesem Zusammenhang auch Aspekte eine Rolle, die über die heutigen Anordnungsvooraussetzungen in Deutschland hinausgehen:

- ▶ Die OECD wies 2006 darauf hin, dass Geschwindigkeitsbeschränkungen immer auch die Anzahl der anliegenden Wohnbevölkerung und die Anwesenheit ungeschützter Verkehrsteilnehmender berücksichtigen sollten (OECD; ECMT, 2006).
- ▶ Laut World Road Federation kann eine verminderte Abhängigkeit vom motorisierten Verkehr in Verbindung mit verminderten Emissionen den größten Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität in Städten leisten (PIARC, 2019).
- ▶ Hauptbeweggründe für flächendeckende Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 30 km/h bzw. 20 Meilen/h sind verkehrlicher, gesellschaftlicher und gesundheitspolitischer Natur (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018). Dazu zählt die Verminderung schädlicher Auswirkungen des Kfz-Verkehrs in städtischen Gebieten, die preiswerte Verbesserung des Wohnumfelds und die Förderung aktiver Mobilität.
- ▶ Diskutiert wird das Thema auch im Zusammenhang mit den Belangen anderer Verkehrsarten: Höhere Geschwindigkeitslimits haben bei fehlender separater Radinfrastruktur einen geringeren Anteil des Radverkehrs bei Pendelnden gezeigt (Vanparijs, et al., 2020).
- ▶ Im europäischen Ausland nimmt die Tendenz zur Senkung der Geschwindigkeiten zu: In Helsinki wurde Tempo 30 im Jahr 2018 als Teil der „Vision Zero“-Strategie beschlossen und mit Beginn des Jahres 2019 im Stadtgebiet eingeführt. In 2019 wurde dort erstmals keine zu Fuß gehende oder radfahrende Person bei einem Verkehrsunfall getötet (Keine Verkehrstoten: Was Helsinki richtig macht, 2020). Die belgische Hauptstadt Brüssel hat am 1. Januar 2021 ein generelles Tempolimit von 30 km/h in der Innenstadt eingeführt (ARD-aktuell / tagesschau.de, 2021). In Frankreich haben bereits ca. 200 Gemeinden ein generelles Tempolimit von 30 km/h eingeführt, darunter Lille, Nantes und Grenoble (Tempo 30: Weniger Verkehrstote, 2020). Spanien hat 2021 innerorts Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit an allen Straßen mit nicht mehr als einem Fahrstreifen pro Richtung eingeführt (ADAC e.V., 2021).
- ▶ Auch in Deutschland wird das Thema rege diskutiert. Der Deutsche Städtetag forderte bereits in den 1980er Jahren eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h innerorts. Aktuell ist Tempo 30 die Fokusmaßnahme im Rahmen eines von ILS Dortmund und Agora

Verkehrswende geforderten Paradigmenwechsels im Straßenverkehrsrecht (Agora Verkehrswende, 2022).

- An der Städteinitiative „Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten – eine neue kommunale Initiative für stadtverträglicheren Verkehr“ beteiligten sich bis Oktober 2022 rund 300 Kommunen (Deutscher Städtetag, 2021) (Agora Verkehrswende, 2022) (Initiative "Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten", 2022).

Um Erkenntnisse zur Frage zu sammeln, wie sich eine Regelgeschwindigkeit von 30 km/h innerorts auswirkt, hat der Deutsche Bundestag vor allem im Hinblick auf die Sicherheit des Radverkehrs am 17.01.2020 beschlossen, dass entsprechende Modellprojekte durchgeführt werden sollen. Dabei geht es nicht um ein einheitliches Tempo 30 an allen innerörtlichen Straßen, sondern um eine geänderte Regelgeschwindigkeit, die in begründeten Einzelfällen – z. B. an ausgewählten Hauptverkehrsstraßen – auch höhere Geschwindigkeiten zulässt.

Vor diesem Hintergrund bereitet das vorliegende Forschungsvorhaben die reale Erprobung durch Simulationen der verkehrlichen Auswirkungen und der Umweltwirkungen auf Lärm, Luftschadstoffe und CO₂ in drei Modellstädten vor. Es stellt die Erkenntnisse dar und gibt Hinweise für die weitere praktische Anwendung.

Die Untersuchungen wurden in den Städten Göttingen, Halle / Saale und Ravensburg durchgeführt. Die Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens wurden mit Fachleuten in einem Forschungsbegleitkreis diskutiert und mit den beteiligten Städten abgestimmt.

Verkehrliche Wirkungen von Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit

Die verminderte Regelgeschwindigkeit wirkt sich in allen drei Modellbetrachtungen auf zentrale Kenngrößen aus:

- In allen drei Beispielkommunen sinken die mittleren **Reisegeschwindigkeiten** im motorisierten Individualverkehr (MIV). Die Rückgänge liegen im Binnenverkehr bei -0,1 km/h im Modell der Stadt Ravensburg, -2,0 km/h in Göttingen und -4,4 km/h in Halle.
- Dabei steigen im Binnenverkehr die mittleren **Reisezeiten** des MIV um 0,6 Minuten in Ravensburg, um 1,1 Minuten in Göttingen und 1,9 Minuten in Halle.
- Damit einher geht tendenziell eine Reduzierung des MIV im **Modal Split** um 0,5 Prozentpunkte in Göttingen und 1,7 Prozentpunkte in Halle. Lediglich in Ravensburg bleibt der MIV-Anteil nahezu unverändert, hier ist auch der Anteil der auf 30 km/h reduzierten Strecken am geringsten. Der Anteil des nicht-motorisierten Verkehrs steigt in Ravensburg und Göttingen um 0,5 Prozentpunkte und in Halle um 2,5 Prozentpunkte.
- In geringem Ausmaß ist auch eine veränderte **Zielwahl** zu beobachten, bei der relativ besser für den MIV erschlossene Bereiche bevorzugt aufgesucht und genutzt werden.
- Deutlichere Auswirkungen sind in der **Routenwahl** des MIV zu beobachten. Strecken mit unveränderter zulässiger Höchstgeschwindigkeit werden zum Teil erheblich stärker belastet. Es kommt dabei auch zu einer Verlängerung der mittleren Reiseweiten im MIV, indem größere Routenanteile auf Strecken mit unverändert hoher Geschwindigkeit entfallen.
- Innerhalb der drei Beispielkommunen geht die **Fahrleistung**, d. h. die Summe der täglich mit Pkw, leichten (LNF) und schweren Nutzfahrzeugen (SNF) gefahrenen Strecken, leicht zurück: in Ravensburg um 0,5, in Göttingen um 2,5 und in Halle um 3,2 Prozentpunkte.

Hervorzuheben ist, dass die verwendeten Verkehrsmodelle keine langfristigen Mobilitätsentscheidungen, wie den Erwerb oder die Abschaffung privater Pkw, abbilden.

Für die Modellierungspraxis ist festzuhalten, dass ein aktuelles Visum-Verkehrsnetzmodell erforderlich ist, das sowohl das Streckennetz im Planungsraum als auch das Netz in den umliegenden Bereichen realitätsnah mit aktuellen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten abbildet. Die einfache Reduktion der Geschwindigkeit im unbelasteten Netz in Visum führt zu einer unrealistischen Überschätzung der Auswirkungen einer rein straßenverkehrsbehördlichen Maßnahme, die nicht durch bauliche Anpassungen unterstützt wird. Um die Auswirkungen der verminderten Regelgeschwindigkeit nicht zu überschätzen, können – wie in dieser Studie – gesonderte Auslastungsfunktionen entwickelt werden. Alternativ können die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, die streckentypspezifisch in Visum hinterlegt sind, reduziert werden, sofern der Aufbau des Netzes und eine konsequent systematische Verwendung der Streckentypen eine realistische Darstellung des Planfalls gestatten. Eine Anpassung der Kapazitäten oder Wartezeiten an Knotenpunkten scheint auf Grundlage der hier durchgeführten Mikrosimulationen nicht erforderlich. Da die Routenwahleffekte in den Visum-Modellen deutlich stärkere Effekte auf die Verkehrsbelastung einzelner Strecken haben als die Nachfrageeffekte (Ziel- und Verkehrsmittelwahl), scheint es für kleinere Gemeinden statthaft, die Auswirkungen einer verminderten Regelgeschwindigkeit mit reinen Umlegungsmodellen zu untersuchen. Eine hinreichend genaue, flächendeckende Identifikation von Straßen, die infolge veränderter Routenwahl problematische Verkehrszuwächse erfahren könnten, ist auch unter Vernachlässigung der Nachfrageeffekte möglich.

Umweltwirkungen von Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit

Die auf 30 km/h verminderte Regelgeschwindigkeit innerorts zeigt in den Simulationen der drei Modellstädte folgende Auswirkungen:

- ▶ Tempo 30 senkt die **Lärmbetroffenheiten** vor allem an den hochbelasteten Hauptverkehrsstraßen, aber in allen Beispielstädten auch stadtweit insgesamt deutlich. Insbesondere in den hoch belasteten Bereichen über 65 dB(A) nimmt die LärmKennZiffer (LKZ) je nach Stadt um 25 bis 50 Prozent ab (Halle: -50 %, Göttingen: -25 %, Ravensburg: -26 %). Aber auch im Pegelbereich über 55 dB(A) sinkt die LKZ um 7 bis 24 Prozent (Halle: -24 %, Göttingen: -7 %, Ravensburg: -8 %).
- ▶ Die Belastung durch **Luftschadstoffe** wird durch Tempo 30 überwiegend leicht positiv bis neutral beeinflusst. Es kommt nur selten und dann nur zu geringen Zunahmen.
 - ▶ Die im Stadtgebiet insgesamt berechneten **Stickoxidemissionen (NO_x)** ändern sich je nach Modellstadt um -9 bis +2 Prozent (Halle: -8,6 %, Göttingen: -1,2 %, Ravensburg: +1,5 %).
 - ▶ Der stadtweit emittierte **Feinstaub (PM₁₀)** sinkt in den betrachteten Städten um 1 bis 10 Prozent (Halle: -10,2 %, Göttingen: -4,1 %, Ravensburg: -1,3 %).
 - ▶ Die **CO₂-Emissionen** und analog dazu der Energieverbrauch in den Stadtgebieten bleiben weitgehend konstant, die berechneten Änderungen liegen im Bereich von -2 bis +3 Prozent (Halle: -1,9 %, Göttingen: +0,3 %, Ravensburg: +2,8 %).
 - ▶ Die Luftschadstoffemissionen **pro Fahrzeugkilometer** nehmen in den Modellstädten durch Tempo 30 innerorts tendenziell leicht zu. Kompensiert wird dies aber durch die vorwiegend sinkenden Fahrleistungen im Stadtgebiet.

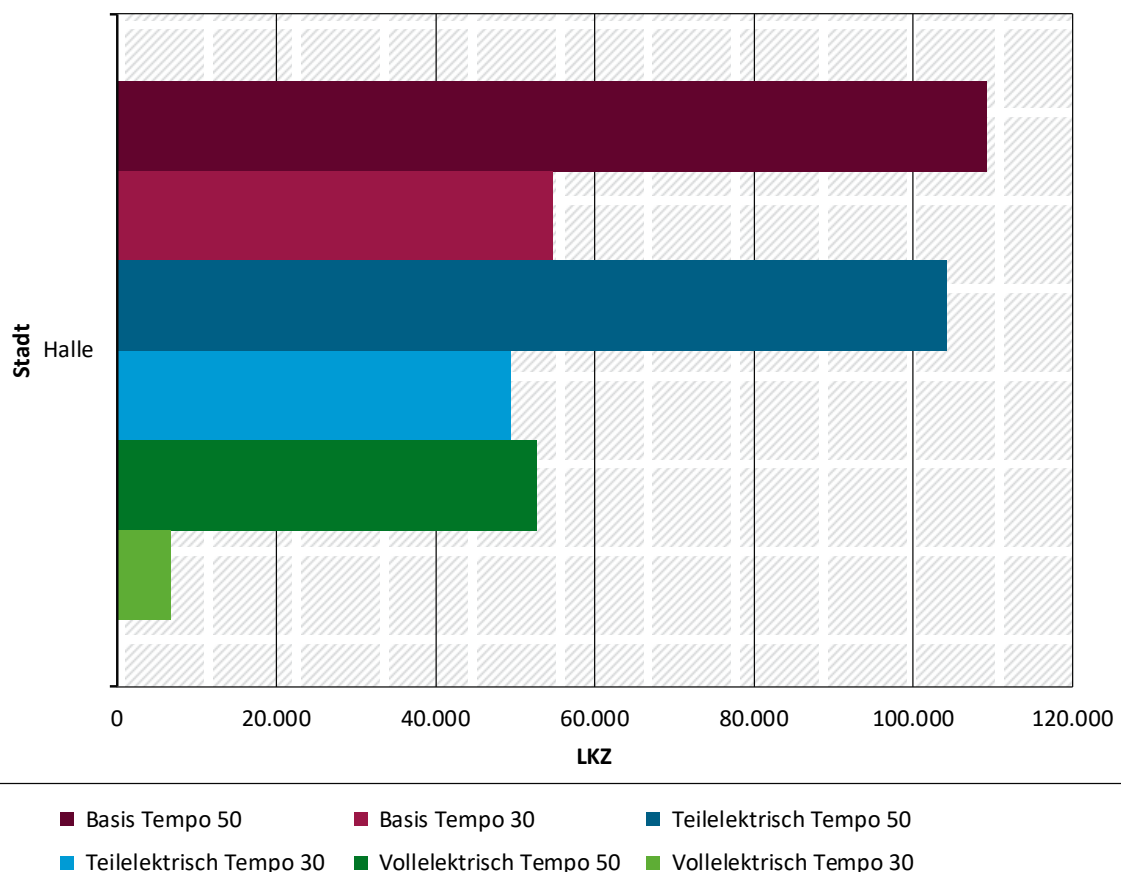
- Die **Elektrifizierung der Fahrzeugflotte** wird zu einem deutlichen Rückgang der CO₂- und NO_x-Vor-Ort-Emissionen führen. Im Bezugsjahr 2030 der Flotte wirkt sich auch ein deutlich höherer Anteil von Fahrzeugen, die neuere Grenzwerte für Schadstoffemissionen einhalten (Euro 6d für Pkw bzw. Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge), insbesondere bei NO_x positiv aus. Die Partikelemissionen werden wegen der verbleibenden Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung durch die Elektrifizierung deutlich weniger beeinflusst. Hinsichtlich des Lärms können relevante Verbesserungen erst mit einer überwiegenden Elektrifizierung der Fahrzeugflotte eintreten, sofern nicht künstliche Fahrzeuggeräusche (AVAS) den positiven Effekt potenziell leiserer Elektrofahrzeuge zunichtemachen.

Die Veränderung der Lärmimmissionen ist für eine LärmKennZiffer über dem Schwellenwert 65 dB(A) in Halle in Abbildung 1 dargestellt. Für Halle werden von den drei Beispielstädten die größten Abnahmen der LKZ ermittelt. Deutlich erkennbar sind die Minderungswirkungen durch Tempo 30 gegenüber Tempo 50 sowie die Minderungswirkung durch eine vollständig elektrifizierte, leise Flotte („vollelektrisch“ mit minimalen AVAS-Emissionen). Nur gering sind die Lärmauswirkungen einer teilelektrischen Flotte.

Abbildung 1: LärmKennZiffer in Halle für den Schwellenwert 65 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 65 dB(A)



Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

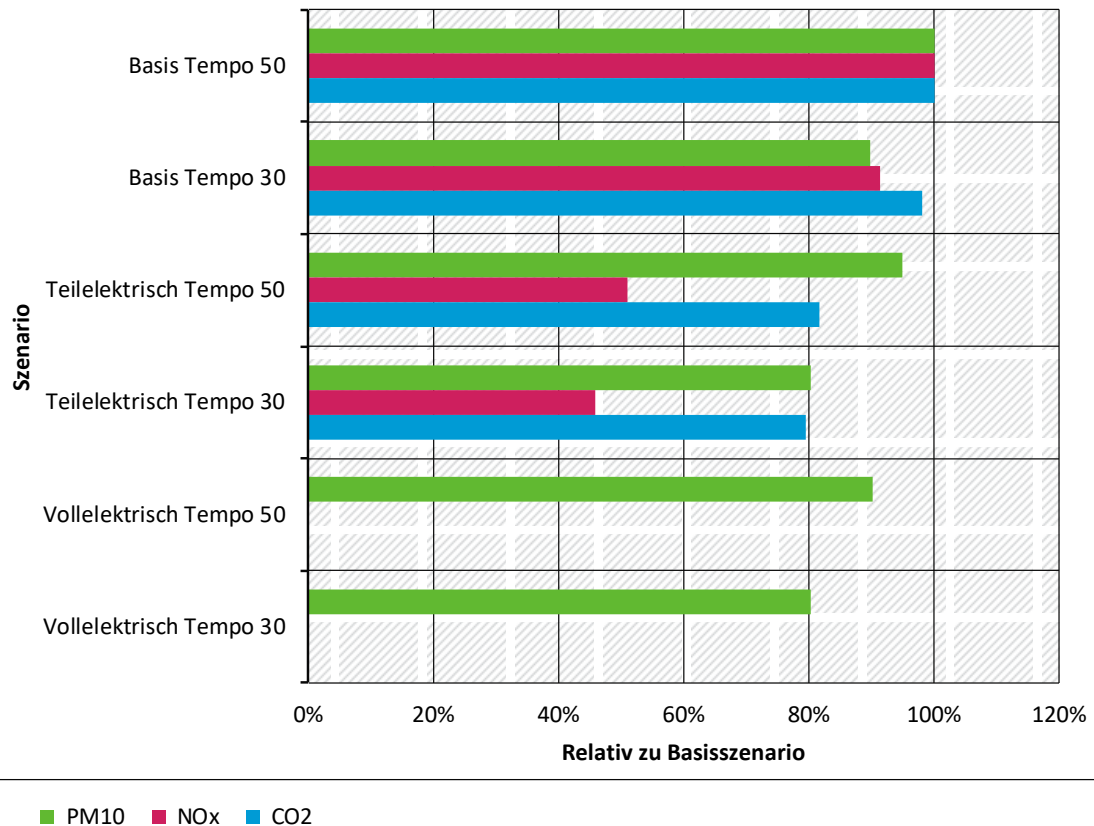
Die Veränderung der Luftschadstoffemissionen für die Szenarien zeigt Abbildung 2 für die Stadt Halle, die von den Beispielstädten die größten Abnahmen aufweist. Erkennbar sind die

Rückgänge der NO_x-Emissionen, auch durch die neuere Flotte im Szenario „Teilelektrisch“, sowie die geringen Änderungen der PM10-Emissionen auch bei elektrifizierten Flotten.

Abbildung 2: Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Halle (Luftschadstoffe)

Emissionsänderungen Halle

Vergleich Emissionen im Gemeindegebiet relativ zu den Emissionen des Szenarios Basis Tempo 50



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Für die Umweltwirkungen ist neben der geänderten zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine mögliche räumliche Verkehrsverlagerung maßgeblich. Hier spielen die lokalen Gegebenheiten eine wesentliche Rolle. Beispielsweise ist in Halle eine Umfahrung mit höherer zulässiger Höchstgeschwindigkeit und wenig sensibler Randbebauung vorhanden, in Göttingen ergibt die Simulation dagegen Verkehrsverlagerungen in Teile des untergeordneten Straßennetzes. Problematisch können besonders jene Straßenabschnitte sein, die bereits im Bestand mit Tempo 30 ausgewiesen sind. Auf diesen können potenziell eher Verkehrszunahmen vorkommen. Treten solche Verlagerungen in nennenswertem Umfang auf, können hinsichtlich der Luftschadstoff- und Lärmbelastung negative Effekte entstehen.

Auswirkung von Tempo 30 auf die Verkehrssicherheit

Für eine Abschätzung der relativen Veränderung der Anzahl der Unfallopfer bei einer Tempo-30-Regelung gegenüber Tempo 50 wären neben örtlichen Unfalldaten flächendeckende Angaben zur Exposition von zu Fuß Gehenden, Radfahrenden und anderen ungeschützten Verkehrsteilnehmenden erforderlich. Diese liegen in den wenigsten Städten vor und so auch nicht in den

Beispielstädten. Die umfangreiche Literatur zum Thema Geschwindigkeit und Verkehrssicherheit deutet jedoch auf einen enormen Sicherheitsgewinn durch Tempo 30 hin:

In Helsinki wurde Tempo 30 im Jahr 2018 als Teil der „Vision Zero“-Strategie beschlossen und mit Beginn des Jahres 2019 im Stadtgebiet eingeführt. In 2019 wurde dort erstmals keine zu Fuß gehende oder radfahrende Person bei einem Verkehrsunfall getötet (Keine Verkehrstoten: Was Helsinki richtig macht, 2020).

Bei Unfällen von Kfz und zu Fuß Gehenden überleben laut (OECD; ECMT, 2006) 90 Prozent den Zusammenstoß bei Tempo 30. Bei Tempo 50 überleben nur noch 20 Prozent. Einer jüngeren Studie von (Tefft, 2011) zufolge liegt das Todesrisiko für eine 45 Jahre alte Person bei einer Kollision mit 32 km/h bei 25 Prozent, bei 53 km/h bei 75 Prozent. Wo Konflikte zwischen Kfz und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden möglich sind, ist die höchste als sicher anzusehende Geschwindigkeit 30 km/h (Van den Berghe, et al., 2020).

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens erlauben Schlussfolgerungen zur Einführung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit und geben Hinweise für weiteren Handlungs- und Klärungsbedarf:¹

1. Aufgrund der deutlich positiven Wirkungen auf die Lärmentlastung und die Verkehrssicherheit ist es sinnvoll, Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit einzuführen. Auch straßenverkehrsbedingte Luftschadstoffe (NO_x und PM₁₀) können durch Tempo 30 leicht zurückgehen. Die CO₂-Emissionen werden kaum beeinflusst.
2. Um lokale, unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden, sollten die Kommunen das voraussichtliche Risiko von Verkehrsverlagerungen in das untergeordnete Straßennetz vorab grob prüfen und ggf. punktuelle Begleitmaßnahmen ergreifen.
3. Die Verkehrs- und Emissionsmodelle sind zum Teil nur bedingt für die Simulation von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen geeignet. Hier besteht Weiterentwicklungsbedarf.

Bei der Ergebnisinterpretation ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse je nach Untersuchungsraum und angewandter Methodik unterschiedlich ausfallen können. Dies betrifft beispielsweise die Stadt- und Straßennetzstruktur sowie den Anteil der von Tempo 50 auf 30 km/h reduzierten Streckenlängen sowie die Modellannahmen. Einige dieser Einflussfaktoren wurden projektbegleitend mit den Bearbeitenden des zeitgleich vom Umweltbundesamt durchgeführten Forschungsvorhabens „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ diskutiert, vgl. (Bawidamann, et al., in Vorbereitung) und Anhang: Abgleich mit dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“, Seite 144 ff.

Zu 1. Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit einführen

Der in dieser Untersuchung quantifizierte Nutzen, insbesondere hinsichtlich der deutlichen Lärmentlastung, überwiegt die quantifizierten Nachteile für den MIV, insbesondere die um 0,6 bis 1,9 Minuten verlängerten Reisezeiten. Hinzu kommen weitere Vorteile einer geringeren Regelgeschwindigkeit wie der Zugewinn an Verkehrssicherheit. Studien zum sogenannten Spillover-Effekt, der sich als wechselseitige Beeinflussung unterschiedlicher Geschwindigkeitsbeschränkungen an aufeinanderfolgenden Strecken ergibt (Richter, et al., 2004) (Alhomaidat, et al.,

¹ Hier werden nur die im Forschungsprojekt behandelten Aspekte diskutiert. Darüber hinaus können weitere Handlungsbedarfe entstehen, beispielsweise zur Anpassung der ÖPNV-Fahrpläne oder der Lichtsignalanlagen-Koordinierungen („Grüne Wellen“).

2021), lassen eine bessere Befolgung einer einheitlich und flächendeckend verminderten Höchstgeschwindigkeit erwarten.

Wesentliche Nachteile einer Regelgeschwindigkeit von 30 km/h konnten nicht festgestellt werden. Es ist aber sinnvoll, den Kommunen einen zeitlichen Vorlauf zu gewähren, damit sie eventuell mögliche, unerwünschte Verkehrsverlagerungen mit den entsprechenden Umweltwirkungen vorab identifizieren und unterbinden können (vgl. nächster Punkt „Stadtspezifische, räumliche Verlagerungsrisiken prüfen und bei Bedarf Begleitmaßnahmen ergreifen“).

Es ist offenbar wirkungsvoller, die innerörtliche Regelgeschwindigkeit bundesweit einheitlich zu senken, als den Kommunen lediglich das Recht einzuräumen, dies auf Wunsch jeweils selbst zu tun. Darauf deutet ein Abgleich der in der vorliegenden Untersuchung erzielten Ergebnisse mit denen des UBA-Forschungsvorhabens „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ hin. Während die vorliegende Untersuchung Tempo 30 nur in den jeweiligen Stadtgebieten der drei Beispielstädte simulierte, hat das Vorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ Tempo 30 auch in allen umliegenden Gemeinden innerhalb eines erweiterten Untersuchungsraums angenommen. Die positiven Wirkungen sind in diesem Fall stärker als bei der Einführung in lediglich einzelnen Städten (vgl. Anhang: Abgleich mit dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“, Seite 144 ff.).

Zu 2. Stadtspezifische, räumliche Verlagerungsrisiken prüfen und bei Bedarf Begleitmaßnahmen ergreifen

Die Untersuchung zeigt, dass flächendeckendes Tempo 30 in einzelnen Fällen zu unerwünschten Verkehrsverlagerungen von Hauptverkehrsstraßen in das untergeordnete Straßennetz führen kann. Daher sollten die Kommunen solche Risiken vorab prüfen. In kleineren Städten und Gemeinden kann dies durch die fachliche Einschätzung der für Verkehrsplanung zuständigen Behörde bzw. eines von ihr beauftragten Fachbüros geschehen. In größeren Städten wird meist ein Verkehrsmodell eingesetzt. Falls das Verkehrsmodell entsprechende Verlagerungen ergibt, wäre angesichts der modellbedingt häufig auftretenden Überschätzung von Verkehrsverlagerungen zunächst zu prüfen, ob die Ergebnisse plausibel sind. Dies kann durch Ortskenntnis und anhand der Frage geschehen, ob die berechneten Verlagerungen überhaupt verkehrstechnisch abwickelbar sind.

Falls die Voruntersuchung das Risiko von unerwünschten Verkehrsverlagerungen bestätigt, wäre anschließend zu prüfen, ob dies durch begleitende Maßnahmen vermieden werden kann. In Frage kommen beispielsweise verkehrsberuhigende oder -beschränkende Maßnahmen im untergeordneten Netz oder – sofern diese nicht ausreichen – die Ausnahmeregelung 50 km/h an ausgewählten Hauptverkehrsstraßen.

Zu 3. Modelle und Regelwerke weiterentwickeln

Makro-Verkehrsmodelle überschätzen mit den Standardeinstellungen häufig die Verlagerungswirkungen einer Tempo-30-Anordnung an einer Hauptverkehrsstraße in das untergeordnete Netz. Da flächendeckendes Tempo 30 auch ohne Änderung der Gesetzes- und Verordnungslage seit Jahren an Bedeutung gewinnt, wäre eine möglichst realistische Simulation mit geeigneten Auslastungsfunktionen, Streckentypen und Knotenpunktkapazitäten hilfreich. Es wäre auch wünschenswert, langfristige Mobilitätsentscheidungen wie den Erwerb oder die Abschaffung privater Pkw abzubilden, weil derartige Entwicklungen einige der modellierten Effekte verstärken können.

Auch die Berechnungsverfahren für Lärm und Luftschadstoffe sollten hinsichtlich Tempo 30 und Elektrifizierung der Fahrzeugflotte weiterentwickelt werden. Die Lärm-Rechenvorschriften RLS-

19 und BUB sollten auch die Fahrzeugemissionen von Elektrofahrzeugen mit AVAS modellieren können, insbesondere auch für schwere Nutzfahrzeuge und Busse. Die für die Berechnung der Luftschadstoffemissionen vorgesehenen Verkehrssituationen des HBEFA sollten auch Tempo 30 an übergeordneten Hauptverkehrsstraßen beinhalten. Für Variantenvergleiche bieten sich realitätsnähere, d. h. weniger sprunghafte, Zuordnungen der Auslastungsgrade zu den Level-of-Ser-vice an.

Schließlich wären die Grenzwerte für das Acoustic Vehicle Alert System (AVAS) aus Sicht der Lärmbekämpfung zu überprüfen. Falls sich die Hersteller in der Mitte der bislang möglichen Grenzwert-Spannweite bewegen werden, wird sich die Lärmsituation einer elektrifizierten Flotte gegenüber der Bestandsflotte nicht wesentlich ändern. Vielmehr würden die akustischen Vorteile der Elektrofahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich bis 20 km/h durch AVAS kompensiert. Bei der Bemessung der AVAS-Grenzwerte sind aber auch sicherheitsrelevante Belange zu berücksichtigen.

Summary

In many cities and municipalities, motor vehicle traffic causes major problems, which are reflected in accidents, noise and air pollution, the CO₂ balance and a lower quality of life. One way to mitigate these problems is to reduce the speed limit within urban areas.

The maximum speed limit in urban areas in the Federal Republic of Germany has been 50 km/h since 1957. At the time, this represented a lowering of the previous speed limit of 60 km/h. In the 1980s, the 30 km/h zones were added to the German Road Traffic Regulation (Strassenverkehrsordnung; StVO) as an area-wide regulation for secondary roads. Since then, many cities have adopted a 30 km/h speed limit for most roads in the network on this basis. Discussions are therefore now increasingly turning to the remaining main roads and the question of what speeds are appropriate for cities. In politics, science and society, there are other factors that also play a role in this context that go beyond the current requirements in Germany:

- ▶ The OECD highlighted in 2006 that speed limits should always take into account the size of the adjacent residential population and the presence of vulnerable road users (OECD; ECMT, 2006).
- ▶ According to the World Road Federation, reduced reliance on motorised transport combined with lower emissions can make the biggest contribution towards improving air quality in cities (PIARC, 2019).
- ▶ The main reasons for an across-the-board speed limit of 30 km/h – or 20 miles per hour – relate to traffic, health and society in general (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018). This includes reducing the harmful effects of motor vehicle traffic in urban areas, improving the residential environment at low cost and promoting active mobility.
- ▶ The topic is also being discussed in relation to concerns regarding other modes of transport: Higher speed limits have been shown to lower the share of cyclists among commuters if there is no separate cycling infrastructure in place (Vanparijs, et al., 2020).
- ▶ In other European countries, there is a growing trend towards lower speed limits: The Belgian capital, Brussels, adopted a general speed limit of 30 km/h in the city centre on 1 January 2021 (ARD-aktuell / tagesschau.de, 2021). In France, about 200 municipalities have already introduced a general speed limit of 30 km/h, including Lille, Nantes and Grenoble (Tempo 30: Weniger Verkehrstote, 2020). In 2021, Spain adopted a general speed limit of 30 km/h in built-up urban areas on all roads with no more than one lane in each direction (ADAC e.V., 2021).
- ▶ The topic is also the subject of lively debate in Germany. As far back as the 1980s, the Association of German Cities (Deutscher Städtetag) called for a maximum speed limit of 30 km/h in urban areas. At the moment, a 30 km/h speed limit is the core measure as part of a paradigm shift in road traffic regulations called for by ILS Dortmund and Agora Verkehrswende (Agora Verkehrswende, 2022).
- ▶ By October 2022, some 300 municipalities were involved in the 'Liveable cities through appropriate speed limits – a new municipal initiative for more urban-friendly road traffic' initiative (Deutscher Städtetag, 2021) (Agora Verkehrswende, 2022) (Initiative "Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten", 2022).

To gather information on the impact of a general speed limit of 30 km/h in urban areas, the German Bundestag decided on 17 January 2020 that corresponding exemplary projects should be carried out, especially with regard to the safety of cycling. The goal is not to impose an across-the-board speed limit of 30 km/h on all roads in built-up urban areas, but to change the general speed limit in a way that also allows for higher speed limits in individual cases where this makes sense, such as on selected main roads.

Against this backdrop, this research project lays the groundwork for real-life testing by simulating the impact on traffic and the environment in terms of noise and air pollution as well as CO₂ emissions in three model cities. Along with that, it presents the findings and provides recommendations for real-life application in future.

The studies were carried out in the cities of Göttingen, Halle / Saale and Ravensburg. The interim findings from the research project were discussed with a team of experts as part of a research support group and coordinated with the participating cities.

Impact of a general 30 km/h speed limit on traffic in urban areas

The lower general speed limit has an impact on the central parameters in all three model cities under consideration:

- ▶ In all three of them, the average **speed of motorised vehicle traffic** went down. Speeds within the cities fell by -0.1 km/h in Ravensburg, -2.0 km/h in Göttingen and -4.4 km/h in Halle.
- ▶ This resulted in an increase in **travel times** of motorised vehicle traffic, which went up in Ravensburg by +0,6 minutes, in Göttingen by +1,1 minutes and in Halle by +1,9 minutes.
- ▶ This was accompanied by a downward trend in motorised private transport in the **modal split** of overall traffic by 0.5 per cent in Göttingen and 1.7 per cent in Halle. Only in Ravensburg did the share of motorised private transport remain more or less unchanged; the share of routes where the speed limit was reduced to 30 km/h is also the lowest there. The share of non-motorised transport increased by 0.5 per cent in Ravensburg and Göttingen and by 2.5 per cent in Halle.
- ▶ To a limited extent, there has been an observable shift in the **choice of destination**. As a result, areas that are relatively easier to access with motorised private transport are preferred and used.
- ▶ A more significant impact can be observed in the **choice of route** when motorised private transport is used. In some cases, there is considerably more traffic on sections of road where the speed limit has remained unchanged. This also results in longer average distances travelled with motorised private transport, as route sections where the speed limit has not been lowered make up a larger share of all routes.
- ▶ Within the three model cities, the **distance travelled**, that is, the sum total of all daily trips made by passenger car, light commercial vehicle and heavy commercial vehicle, decreased slightly (in Ravensburg by 0.5 per cent, in Göttingen by 2.5 per cent and in Halle by 3.2 per cent).

It should also be noted that the traffic models used do not represent long-term mobility decisions, such as whether to purchase or sell one's car.

For applied traffic modelling, it should also be noted that an up-to-date VISUM traffic network model is required in which both the route network in the planning area and the network in the surrounding areas are realistically mapped with current maximum speed limits. A simple reduction of speed limits in the VISUM network model leads to an overestimation of the impact of merely administrative measures taken by the road authorities, if these are not supported by actual changes in the road layout. In order not to overestimate the effects of lower speed limits, specific volume-delay functions were developed for this study. Alternatively, the maximum speeds set in VISUM for specific route types, can be reduced, provided that the structure of the network and a systematic use of the route types allow for a realistic representation of the planned scenario. Adjustments to capacities or waiting times at traffic junctions would not appear necessary based on the micro-simulations carried out here. Seeing as the effects of the choice of route in the VISUM models have a significantly greater impact on traffic volumes on individual routes than the demand effects (choice of destination/mode of transport), it would seem appropriate for smaller municipalities to investigate the impact of a lower general speed limit using simple assignment models. A sufficiently precise, area-wide identification of roads that could experience a problematic increase in traffic volumes as a result of changing route choices is possible even if demand effects are ignored.

Environmental impact of a general 30 km/h speed limit in urban areas

Lowering the general speed limit in built-up urban areas to 30 km/h has produced the following effects in the simulations of the three model cities:

- ▶ A 30 km/h speed limit significantly reduces **noise pollution**, especially on highly congested main roads, but also city-wide in all model cities. Especially for levels of high noise pollution (levels above 65 dB(A)), the weighted noise index (LKZ) decreases by 25 to 50 per cent depending on the city (Halle: -50 %, Göttingen: -25 %, Ravensburg: -26 %). For noise levels above 55 dB(A), the index also decreases by 7 to 24 per cent (Halle: -24 %, Göttingen: -7 %, Ravensburg: -8 %).
- ▶ The effects of a 30 km/h speed limit on exposure to **air pollutants** are slightly positive to neutral. There are rare instances where exposure increases, though only by a small amount.
 - ▶ The **nitrogen oxide (NO_x) emissions** calculated in the urban area – within the administrative boundaries – changed by -9 to +2 per cent (Halle: -8.6 %, Göttingen: -1.2 %, Ravensburg: +1.5 %).
 - ▶ The amount of **fine particulate matter (PM₁₀)** emitted city-wide decreased by 1 to 10 per cent in the cities under consideration (Halle: -10.2 %, Göttingen: -4.1 %, Ravensburg: -1.3 %).
 - ▶ **CO₂ emissions** and thus energy consumption in the urban areas remain largely constant; the calculated changes are in the range of -2 to +3 per cent (Halle: -1.9 %, Göttingen: +0.3 %, Ravensburg: +2.8 %).
 - ▶ Air pollutant emissions **per vehicle kilometre** tend to increase slightly in the model cities in built-up urban areas as a result of the 30 km/h speed limit. However, this is offset by fewer kilometres travelled in the urban area in most cases.
- ▶ **Electrification of the vehicle fleet** will lead to a significant decrease in local CO₂ and NO_x emissions. In the 2030 reference year for the fleet, a significantly higher share of newer emission standards (Euro 6d for passenger cars and Euro VI for heavy commercial vehicles)

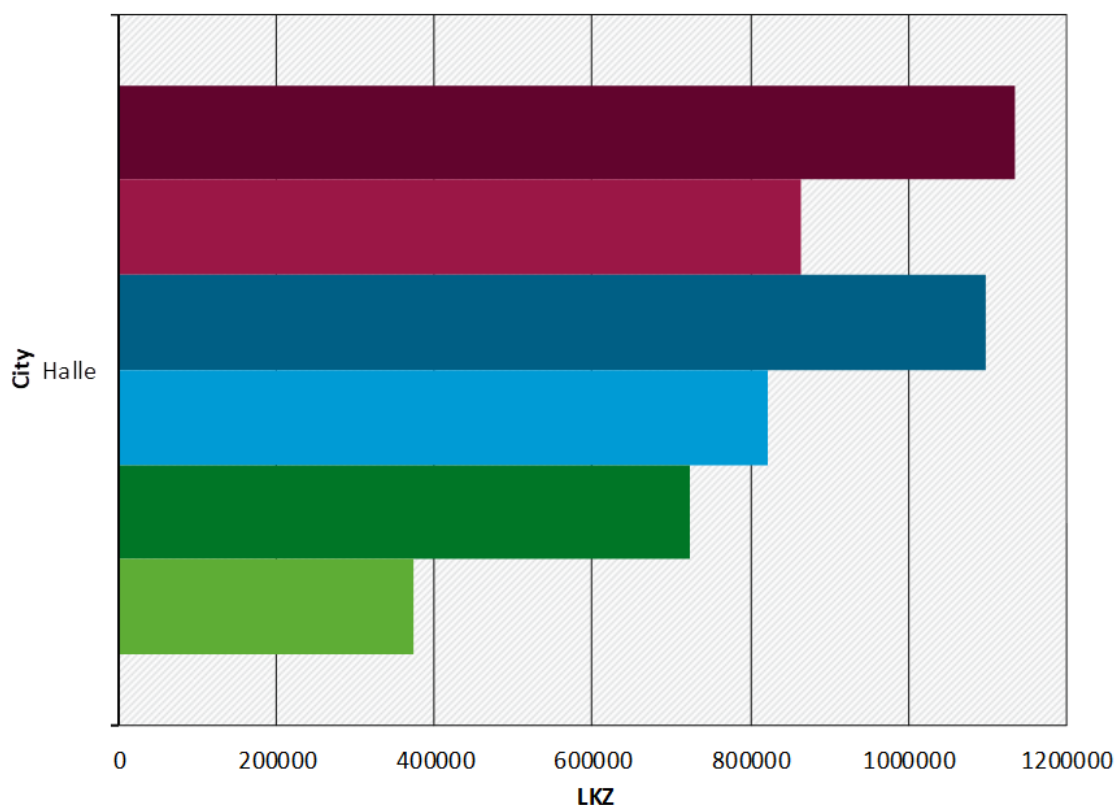
also has a positive effect, especially on NO_x emissions. Particulate emissions are significantly less affected by electrification of the vehicle fleet due to emissions from abraded material and fugitive dust that continue to be produced. With regard to noise pollution, relevant improvements cannot be made until the vehicle fleet is made up predominantly of EVs, provided that artificial vehicle noise (AVAS, or acoustic vehicle alerting system) does not cancel out the positive effects of potentially quieter electric vehicles.

As an example, the change in noise emissions between the variants is shown for a weighted noise index “LärmKennZiffer” LKZ) above 65 dB(A) in Halle in Figure 3. Of the three model cities, the largest decrease in the weighted noise index is to be found in Halle. The noise reductions achieved at a speed limit of 30 km/h compared to 50 km/h as well as those achieved by having a quiet, fully electric fleet (‘fully electric’ with minimal AVAS emissions) are clear to see. The impact of a partially electric fleet on noise emissions is only minor.

Figure 3: Weighted noise index in Halle for a threshold value of 65 dB(A)

Weighted noise index ("LärmKennZiffer", LKZ)

for noise levels above 65 dB(A)



- Baseline scenario - 50 km/h speed limit
- Baseline scenario - 30 km/h speed limit
- Partial electric fleet - 50 km/h speed limit
- Partial electric fleet - 30 km/h speed limit
- Full electric fleet - 50 km/h speed limit
- Full electric fleet - 30 km/h speed limit

Both partial and full electric fleet assume AVAS noise emissions according to minimum requirements.

Source: LÄRM KONTOR GmbH

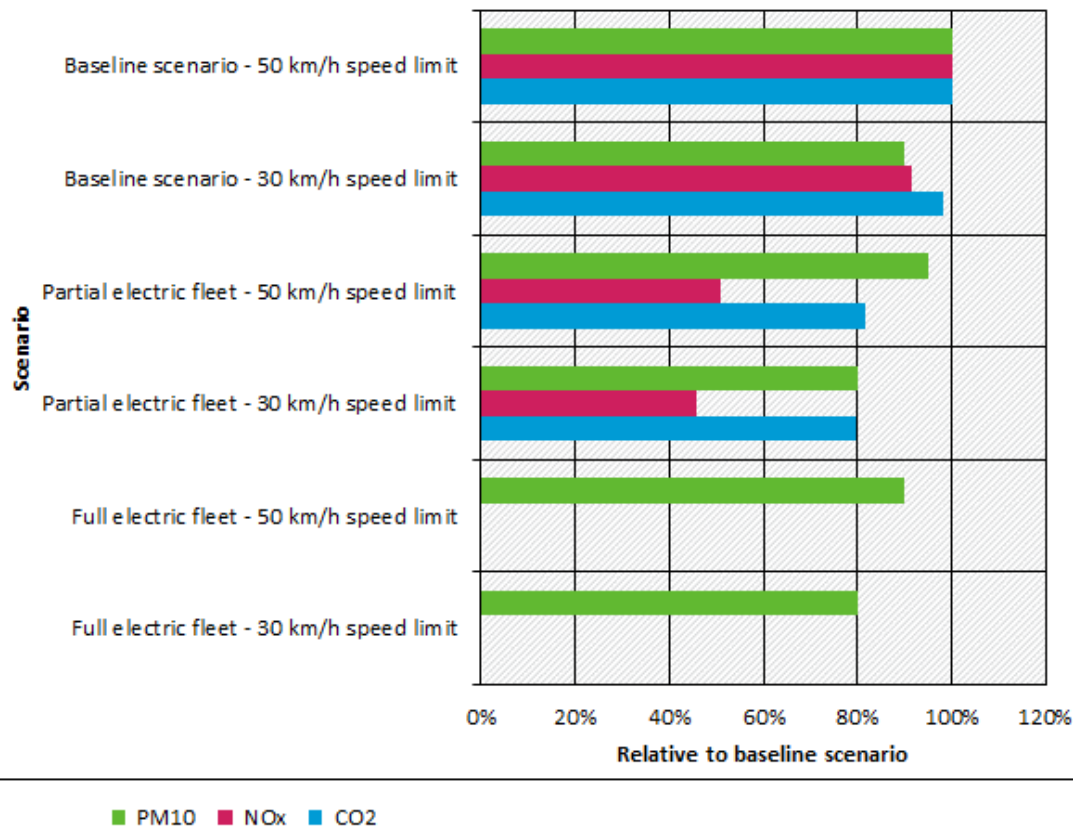
The change in air pollutant emissions for the scenarios is shown using the city of Halle as an example in Figure 4. The decreases demonstrated in Halle are the largest of all the model cities.

Decreases in NO_x emissions, also due to the newer fleet in the ‘partially electric’ scenario, as well as the minor changes in PM10 emissions are clear to see even in electrified fleets

Figure 4: Comparison of all scenarios for the model city of Halle (air pollutants)

Changes in emissions for the model city of Halle Halle

Comparison of emissions of air pollutants in the municipal area relative to the emissions in the baseline scenario with a



Source: LÄRMKONTOR GmbH

In addition to changes in the maximum speed limit, a possible shift in traffic to other areas is a key factor when it comes to the environmental impact. Local conditions play a critical role here as well. In Halle, for example, there is a bypass with a higher speed limit and less sensitive fringe development, whereas diversions of traffic to certain secondary roads are shown in the simulation in Göttingen. Those sections of road with a designated speed limit of 30 km/h could be particularly problematic. Increases in traffic are potentially more likely to occur there. If displacement of traffic happens on a significant scale, there could be negative effects in terms of air and noise pollution.

Impact of 30 km/h on road safety

In order to estimate the relative change in the number of casualties caused by a 30 km/h speed limit compared to a 50 km/h speed limit, area-wide data on the exposure of pedestrians, cyclists and other vulnerable road users would be required in addition to local accident data. This is not available in most cities, nor is it available in the sample cities. However, the extensive literature on speed and road safety suggests that there is an enormous safety gain from 30 km/h speed limits:

In Helsinki, 30 km/h was adopted in 2018 as part of the Vision Zero strategy and introduced in the city area at the beginning of 2019. In 2019, for the first time, no person walking or cycling was killed in a traffic accident there (Keine Verkehrstoten: Was Helsinki richtig macht, 2020).

According to (OECD; ECMT, 2006), 90 per cent of accidents involving motor vehicles and pedestrians survive the collision at 30 km/h. At 50 km/h, only 20 per cent survive. According to a more recent study by (Tefft, 2011), the risk of death for a 45-year-old person in a collision at 32 km/h is 25 per cent, at 53 km/h 75 per cent. Where conflicts between motor vehicles and vulnerable road users are possible, the highest speed that can be considered safe is 30 km/h (Van den Berghe, et al., 2020).

Conclusions

The findings from the research project provide information on what the adoption of a general 30 km/h speed limit would mean and give advice on where further action and clarification are needed:²

1. Due to the clearly positive effects on noise reduction and traffic safety, it makes sense to introduce 30 km/h as the standard speed in urban areas. Road traffic-related air pollutants (NO_x and PM₁₀) can also be slightly reduced by 30 km/h. CO₂ emissions are hardly affected.
2. In order to avoid local, unwanted side effects, the municipalities should carry out a basic analysis of the likely risk of diversions of traffic to secondary roads in advance and, if necessary, take individual measures in line with the results of the analysis.
3. Certain traffic and emission models are only partially suitable for the simulation of a 30 km/h speed limit on main roads. Further work is needed here.

When interpreting the findings, it is necessary to take into account that they may vary depending on the area under examination and the methodology used. This concerns, for example, the (municipal) road network structure, the share of roads/sections of road where the speed limit has been reduced from 50 km/h to 30 km/h as well as the assumptions made in the models. A number of these influencing factors were discussed during the project with the team working on the 'Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung' (Free-flowing traffic to promote climate protection and air pollution control) research project, which was carried out concurrently by the German Environment Agency; cf. (Bawidamann, et al., in Vorbereitung) and appendix to the report from page 144.

Regarding item 1: Adopt a general 30 km/h speed limit

The benefits described in this study, particularly with regard to a clear reduction in noise pollution, outweigh the disadvantages outlined for motorised traffic, especially the +0,6 to +1,9 minutes increase in travel times. In addition, there are other advantages of a lower general speed limit, such as improved road safety. Studies on the spillover effect, which results from the influence of different speed limits on successive sections of road (Richter, et al., 2004) (Alhomaidat, et al., 2021), suggest greater compliance with an area-wide, uniformly lower speed limit.

No significant disadvantages from having a general speed limit of 30 km/h could be identified. However, it makes sense to give the municipalities prior notice so that they can take advanced measures to identify and mitigate potential, undesirable diversions of traffic with a

² Only the aspects dealt with in the research project are discussed here. In addition, further needs for action may arise, for example to adapt public transport timetables or traffic signal coordination.

corresponding impact on the environment (cf. below “Explore city-specific risks of a shift in traffic to other roads and take accompanying measures if necessary”).

It is clearly more effective to reduce the general speed limit in urban areas uniformly throughout Germany than to simply allow the municipalities to do this themselves if they so choose. This can be shown by comparing the findings from this study with those of the UBA’s ‘Free-flowing traffic to promote climate protection and air pollution control’ research project. While this study simulated a speed limit of 30 km/h only in the relevant urban areas in the three model cities, the ‘Free-flowing traffic to promote climate protection and air pollution control’ project assumed a 30 km/h speed limit also in all surrounding municipalities within an extended area being studied. The positive effects in this case are stronger than would be the case if the speed limit was only adopted in individual cities (cf. appendix to the report from page 144).

Regarding item 2: Explore city-specific risks of a shift in traffic to other roads and take accompanying measures if necessary

The study shows that an area-wide speed limit of 30 km/h can, in individual cases, lead to unwanted displacement of traffic from main roads to secondary roads, which is why municipalities should explore these risks in advance. In smaller towns and municipalities, this can take the form of an expert assessment by the authority responsible for traffic planning or a professional consulting firm commissioned by it. In larger cities, a traffic model is generally used. If the calculations made using the traffic model indicate that there would be a corresponding displacement of traffic, it would be necessary to first check whether the findings are reasonable in view of the overestimation of diversions of traffic that often occurs due to the model being used. This can be done by drawing on local knowledge of the area and by asking whether the displacements of traffic calculated in the model could even be handled from a traffic perspective.

If the preliminary study confirms that there is a risk of undesirable diversions of traffic, the next step that would need to be taken would be to explore whether this can be mitigated through accompanying measures. For example, measures to limit or calm traffic on secondary roads or – if these prove insufficient – exemptions from the 50 km/h speed limit on selected main roads could be considered.

Regarding item 3: Update models and regulations

Macro traffic models with default parameters often overestimate the effects of a 30 km/h speed limit law on the displacement of traffic from a major road to secondary roads. Since an across-the-board speed limit of 30 km/h has been gaining traction for years, even without a change in the legal and regulatory framework, having a simulation that is as realistic as possible with suitable functions regarding road utilisation rates, route types and road junction capacities would be immensely useful. It would also be advantageous to map long-term mobility decisions such as the purchase or sale of private cars, since these could amplify some of the modelled effects.

The methods used to calculate noise and air pollution should also be updated with regard to a 30 km/h speed limit and electrification of the vehicle fleet. The RLS-19 and BUB regulations on calculating noise emissions should also be able to model the emissions of electric vehicles with AVAS and, in particular, heavy commercial vehicles and buses. The designated traffic scenarios laid out in the Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) for calculating air pollutant emissions should also include a speed limit of 30 km/h on primary roads. A more realistic and consistent allocation of road utilisation rates to the levels of service is a suitable method for comparing variants.

Lastly, the threshold values for the acoustic vehicle alerting system (AVAS) would need to be reviewed from a noise abatement perspective. If manufacturers remain in the middle of threshold range that was possible to date, the noise emitted by an electrified fleet will not change significantly compared to the existing fleet. On the contrary, the advantages of electric vehicles in terms of noise emissions at speeds up to 20 km/h would be offset by AVAS. However, safety-related concerns must also be taken into account when assessing AVAS threshold values.

1 Einleitung und Vorgehen

In vielen Städten und Gemeinden erzeugt der Kfz-Verkehr große Probleme, die sich u. a. im Unfallgeschehen, der Lärm- und Luftschadstoffbelastung, der CO₂-Bilanz und unzureichenden Aufenthaltsqualitäten zeigen. Eine Möglichkeit zur Reduzierung der Probleme ist eine geringere innerörtlich zulässige Höchstgeschwindigkeit.

Innerorts gilt in der Bundesrepublik seit 1957 eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Dies war zum damaligen Zeitpunkt eine Verschärfung gegenüber der davor geltenden Regelung von 60 km/h. In den 1980er Jahren wurde die Tempo-30-Zone als flächenhafte Regelung für das untergeordnete Straßennetz in die Straßenverkehrs-Ordnung aufgenommen. Inzwischen gilt auf dieser Grundlage in vielen Städten Tempo 30 im überwiegenden Teil des Straßennetzes. Die Diskussionen konzentrieren sich daher nun zunehmend auf die verbleibenden Hauptverkehrsstraßen und die Frage, welche Geschwindigkeiten dort stadtverträglich sind. In Politik, Wissenschaft und Gesellschaft spielen in diesem Zusammenhang auch Aspekte eine Rolle, die über die heutigen Anordnungsvoraussetzungen in Deutschland hinausgehen:

- ▶ Die OECD wies 2006 darauf hin, dass Geschwindigkeitsbeschränkungen immer auch die Anzahl der anliegenden Wohnbevölkerung und die Anwesenheit ungeschützter Verkehrsteilnehmender berücksichtigen sollten (OECD; ECMT, 2006).
- ▶ Laut World Road Federation kann eine verminderte Abhängigkeit vom motorisierten Verkehr in Verbindung mit verminderten Emissionen den größten Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität in Städten leisten (PIARC, 2019).
- ▶ Hauptbeweggründe für flächendeckende Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 30 km/h bzw. 20 m/h sind verkehrlicher, gesellschaftlicher und gesundheitspolitischer Natur (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018). Dazu zählt die Verminderung schädlicher Auswirkungen des Kfz-Verkehrs in städtischen Gebieten, die preiswerte Verbesserung des Wohnumfelds und die Förderung aktiver Mobilität.
- ▶ Diskutiert wird das Thema auch im Zusammenhang mit den Belangen anderer Verkehrsarten: Höhere Geschwindigkeitsbeschränkungen haben bei fehlender separater Radinfrastruktur einen geringeren Anteil des Radverkehrs bei Pendlern gezeigt (Vanparijs, et al., 2020).
- ▶ Im europäischen Ausland nimmt die Tendenz zur Senkung der Geschwindigkeiten zu: Die belgische Hauptstadt Brüssel hat am 1. Januar 2021 ein generelles Tempolimit von 30 km/h in der Innenstadt eingeführt (ARD-aktuell / tagesschau.de, 2021). In Frankreich haben bereits ca. 200 Gemeinden ein generelles Tempolimit von 30 km/h eingeführt, darunter Lille, Nantes und Grenoble (Tempo 30: Weniger Verkehrstote, 2020). Spanien hat 2021 innerorts Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit an allen Straßen mit nicht mehr als einem Fahrstreifen pro Richtung eingeführt (ADAC e.V., 2021).
- ▶ Auch in Deutschland wird das Thema rege diskutiert. Der Deutsche Städtetag forderte bereits in den 1980er Jahren eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h innerorts. Aktuell ist Tempo 30 die Fokusmaßnahme 1 im Rahmen eines von ILS Dortmund und Agora Verkehrswende geforderten Paradigmenwechsels im Straßenverkehrsrecht (Agora Verkehrswende, 2022).
- ▶ An der Städteinitiative „Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten – eine neue kommunale Initiative für stadtverträglicheren Verkehr“ beteiligen sich bis Oktober

2022 inzwischen rund 300 Kommunen (Deutscher Städtetag, 2021) (Agora Verkehrswende, 2022) (Initiative "Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten", 2022).

Um Erkenntnisse zur Frage zu sammeln, wie sich eine Regelgeschwindigkeit von 30 km/h innerorts auswirkt, hat der Deutsche Bundestag vor allem im Hinblick auf die Sicherheit des Radverkehrs am 17.01.2020 beschlossen, dass entsprechende Modellprojekte durchgeführt werden sollen. Dabei geht es nicht um ein einheitliches Tempo 30 an allen innerörtlichen Straßen, sondern um eine geänderte Regelgeschwindigkeit, die in begründeten Einzelfällen – z. B. an ausgewählten Hauptverkehrsstraßen – auch höhere Geschwindigkeiten zulässt.

Vor diesem Hintergrund bereitet das vorliegende Forschungsvorhaben die reale Erprobung durch Simulationen der verkehrlichen Auswirkungen und der Umweltwirkungen auf Lärm, Luftschadstoffe und CO₂ in drei Modellstädten vor. Es stellt die Erkenntnisse dar und gibt Hinweise für die weitere praktische Anwendung.

Die Untersuchungen wurden in den Städten Göttingen, Halle / Saale und Ravensburg durchgeführt. Die Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens wurden mit Fachleuten in einem Forschungsbegleitkreis diskutiert und mit den beteiligten Städten abgestimmt.

2 Datengrundlagen und Methodik

2.1 Verkehrsmodelle

Für die modellhafte Untersuchung der Auswirkungen einer auf 30 km/h reduzierten Regelgeschwindigkeit in geschlossenen Ortschaften standen drei kommunale Verkehrsnachfrage- und -umlegungsmodelle auf Basis der Software „Visum“ zur Verfügung:

- 1) Halle (yverkehrsplanung, 2016)
- 2) Göttingen (ARGUS, 2017)
- 3) Ravensburg (IVU; brenner BERNARD, 2018)

In allen drei Modellen wurden sowohl Binnenverkehre der Gemeinden als auch Quell- und Zielverkehre auf der Basis von Siedlungsstrukturdaten, Verkehrsnetzen und Verkehrsverhaltensmodellen berechnet. Der Aufbau solcher Verkehrsmodelle hängt im Einzelnen von den operativen Rahmenbedingungen ab – z. B. davon, welche Institution das Modell beauftragt, entwickelt und verwaltet – und von den verwendeten bzw. verfügbaren Daten des Modells.

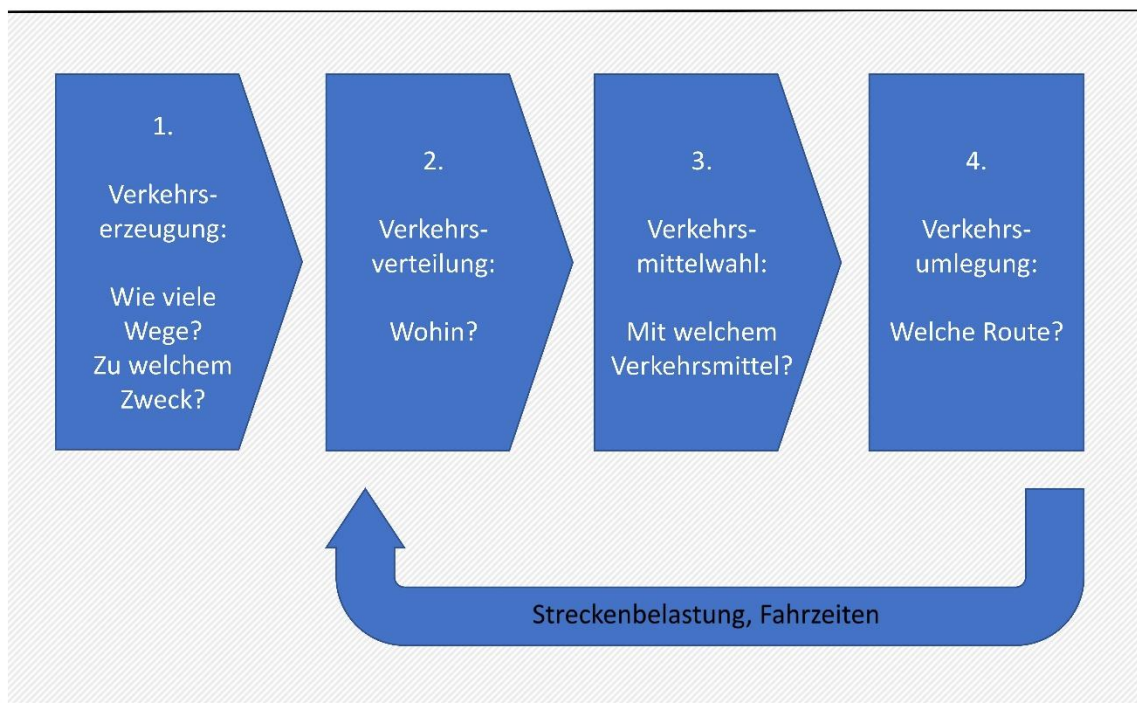
Die Software „Visum“ der Firma PTV AG³ ist ein in Deutschland und den Nachbarländern verbreitetes Programm zur flächendeckenden Berechnung von Verkehrsbelastungen im Individual- und öffentlichen Verkehr. Die mit Visum erstellten Verkehrsmodelle sind überwiegend makroskopisch (Brannolte, 2000) und berechnen Verkehrsbelastungen für längere Zeitintervalle, ohne die Interaktion der einzelnen Verkehrsteilnehmenden gesondert darzustellen. Die Modelle sind weit verbreitet und werden seit vielen Jahren regelmäßig zur strategischen Verkehrsplanung, z. B. bei der Aufstellung von Verkehrsentwicklungsplänen, eingesetzt (Schmidt, 2008). Die Verkehrsnachfrage wird in diesen Modellen auf Grundlage von Daten zur Siedlungsstruktur, zum Verkehrsverhalten und zu den Verkehrsnetzen berechnet. In Verbindung mit dem Verkehrsangebot, d. h. den Wege- und Schienennetzen, berechnen die Verkehrsmodelle die Verkehrsbelastungen auf einzelnen Streckenabschnitten, in der Regel für den motorisierten Individualverkehr (MIV), den öffentlichen Personenverkehr (ÖPNV) und den Lkw-Verkehr. Für den nichtmotorisierten Verkehr (Fuß, Rad) wird häufig die Verkehrsnachfrage berechnet, so dass der Modal Split ausgewiesen werden kann. Eine Umlegungsberechnung, mit der auf Grundlage der Verkehrsnachfrage Streckenbelastungen berechnet werden, ist für die nichtmotorisierten Verkehre jedoch bisher unüblich und wurde in den drei hier verwendeten Modellen nicht implementiert.

Der Ablauf der Verkehrsnachfragemodellierung folgt einem in den 1960er Jahren entwickelten so genannten Vier-Stufen-Modell (Ortuzar, et al., 2008). Die vier Stufen bilden alltägliche Mobilitätsentscheidungen auf der Grundlage der räumlichen Gegebenheiten und der verfügbaren Verkehrsmittel ab. Eine feste Vorgabe in diesen Modellen ist in der Regel die Anzahl der Wege, die die im Modell abgebildeten Personen zur Verrichtung bestimmter Aktivitäten durchführen – z. B. zur Arbeit und zum Einkaufen (in Abbildung 5: Verkehrserzeugung). Die nächste Entscheidung ist bereits vom Verkehrsangebot abhängig, aus dem sich zum Beispiel die Reisezeiten ergeben: Wo können die modellierten Personen die gewünschte Aktivität verrichten? (Verkehrsverteilung). Für ein gegebenes Ziel werden anschließend die individuell verfügbaren Verkehrsmittel verglichen (Verkehrsmittelwahl). Dabei wird neben den Attributen der Verkehrsmittel (Fahrzeit, Fahrtkosten, Umsteigen usw.) die persönliche Disposition berücksichtigt, also ob z. B. ein privater Pkw zur Verfügung steht oder nicht. Daraus ergibt sich für jede im Modell betrachtete Verkehrsbeziehung eine bestimmte Anzahl von Fahrten im Auto, im ÖPNV, zu Rad oder zu Fuß.

³ <https://www.ptvgroup.com/de/impressum/>

Diese – vor allem die Fahrten im motorisierten Verkehr – können im letzten Schritt (Verkehrsumlegung) auf das Straßennetzmodell umgelegt werden. Für jede Fahrt wird in der Umlegungsberechnung die optimale Fahrtroute berechnet, wobei auch die Auslastung des Netzes durch andere Fahrten berücksichtigt wird – ähnlich einem Navigationssystem. Da die Verkehrssituation jedoch Auswirkungen auf die Fahrzeiten und diese wiederum auf die Verkehrsmittelwahl und die Verkehrsverteilung hat, sieht das Vier-Stufen-Modell in der Regel eine wiederholte Rückkopplung zwischen Verkehrsumlegung und Verkehrsverteilung vor. In den in dieser Studie verwendeten Modellen wurden bis zu fünf Iterationen über die Stufen 2 bis 4 berechnet.

Abbildung 5: Ablauf der Verkehrsmodellierung – Vier-Stufen-Modell



Quelle: ARGUS

Mit der Software „Vissim“ der PTV AG lassen sich Mikrosimulationen erstellen, die einen realistischen und detaillierten Überblick über das Verkehrsgeschehen liefern. Die Verkehrsteilnehmenden des Kfz-, Fuß- und Radverkehrs sowie des ÖPNV werden individuell simuliert und ihre Interaktionen dargestellt. Damit können die Auswirkungen von Maßnahmen wie der Temporeduktion auf 30 km/h auf den Verkehrsablauf untersucht werden.

In dieser Studie wurden die Zahl der abgewickelten Fahrzeuge im Simulationszeitraum, die Fahrzeugreisezeit in den simulierten Streckenabschnitten, die Anzahl der Halte von Kfz, die Wartezeiten für den Fußverkehr und die Fahrzeugfolgezeiten untersucht.

Aussagen zur Verkehrssicherheit im Allgemeinen und der Sicherheit von nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmenden im Besonderen lassen sich aus den Mikrosimulationen allenfalls mittelbar ableiten. Die Mikrosimulation ermöglicht zwar die Auswertung von Konfliktsituationen zwischen Verkehrsteilnehmenden, z. B. mit der SSAM-Software⁴. Da aber die Verkehrsflusssimulation zur Bemessung von Verkehrsanlagen entwickelt wurde und dabei grundsätzlich einen sicheren Verkehrsablauf unterstellt, ist eine stichhaltige Ableitung von Kenngrößen der

⁴ Surrogate Safety Assessment Model, eine Entwicklung der Federal Highway Administration (FHWA) im U.S. Department of Transportation

Verkehrssicherheit fraglich – Unfälle kommen in Vissim-Simulationen nicht vor (Kim, 2009). Jüngere Ansätze zur Beurteilung der Verkehrssicherheit von z. B. der Lichtsignalsteuerung verwenden daher Modelle der Extremwerttheorie, um anhand der modellierten Konfliktsituationen das Risiko tatsächlicher Zusammenstöße abzuschätzen (Reyad, et al., 2021). Ein grundsätzliches Problem ist der absolute Mangel an empirischen Daten, mit denen ein Zusammenhang zwischen Ergebnisvariablen der Mikrosimulation und Unfallereignissen quantifiziert werden könnte. So liegen für ein Unfallereignis in der Regel keine Daten zur Menge nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmender am Ort vor, mit denen deren Exposition bemessen werden könnte. Auch zum Unfallhergang selbst sind meist nur rudimentäre Informationen, wie die ungefähre Geschwindigkeit der beteiligten Kfz, die Art des Zusammenstoßes und die entstandenen Sach- und Personenschäden bekannt – und dies auch nur für von der Polizei aufgenommene Unfälle.

2.1.1 Anwendung der Verkehrsmodelle in den Beispielstädten

Der erste Schritt zur Entwicklung der Szenarien mit reduzierter Regelgeschwindigkeit war die Reproduktion der Berechnungsergebnisse in den von den Kommunen übernommenen Verkehrsmodellen. Damit wird zum Start der Bearbeitung kontrolliert, ob alle Berechnungsschritte mit den gleichen Ergebnissen wie beim Einsatz in der jeweiligen Kommune abgearbeitet werden. Anschließend wurden die Modelle teilweise aktualisiert und für die Modellierung der reduzierten Regelgeschwindigkeit vorbereitet. Die so berechneten Modelle, die eine Situation vor Einführung der verminderten Regelgeschwindigkeit darstellen, werden im Folgenden als „Referenzmodell“ oder „-szenario“ bezeichnet.

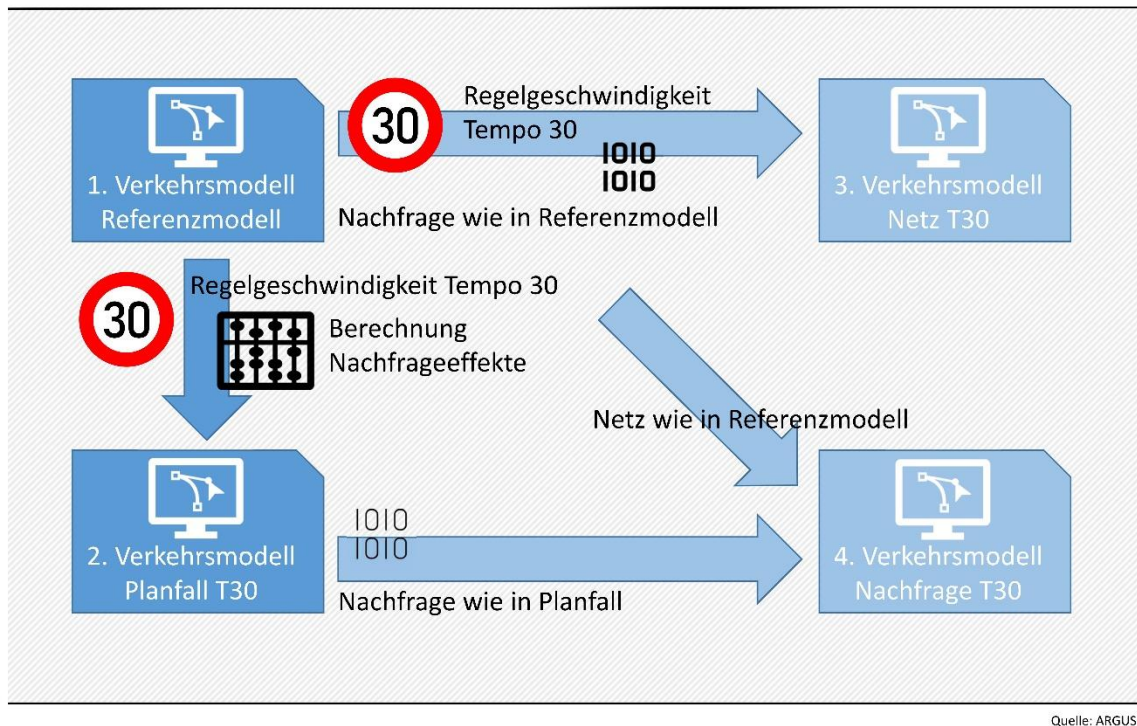
Die Modellierung der reduzierten Regelgeschwindigkeit erfolgte in allen drei Beispielstädten in Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden der Kommunen und dem Forschungsbegleitzkreis. Gegenstand der Abstimmung war zunächst die Auswahl der Streckenabschnitte innerhalb geschlossener Ortschaften, die von der reduzierten Regelgeschwindigkeit auszunehmen waren. Hierzu wurde eine Differenzierung der Strecken nach Lage innerorts, d. h. in angebauten Bereichen, und außerorts, d. h. anbaufrei, vorgenommen. Eine erste Einordnung erfolgte anhand der Landbedeckungsdaten des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (GeoBasis-DE / BKG, 2018). Die Differenzierung wurde in Abstimmung mit den beteiligten Kommunen verifiziert. Bei Strecken, auf denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit schon heute bei 30 km/h oder darunter liegt, wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht verändert. Außerhalb der beteiligten Gemeinden wurden keine Geschwindigkeiten verändert.

Auf Grundlage vorläufiger Berechnungen wurden die Effekte der reduzierten Regelgeschwindigkeit sowie die bei der Berechnung verwendeten Ansätze und Methoden kritisch diskutiert und überarbeitet. Die endgültigen Berechnungsergebnisse und die dabei verwendeten Ansätze und Methoden wurden für alle drei Beispielstädte mit den örtlich zuständigen Fachbehörden erörtert.

Nach abschließender Berechnung der Verkehrsbelastungen in den Referenzmodellen sowie in den Modellen für die Planfälle mit Tempo 30 wurden für die weitere Erörterung der Auswirkungen je zwei weitere Visum-Verkehrsmodelle berechnet, um die Auswirkungen von Tempo 30 auf die Routenwahl der motorisierten Verkehre einerseits und auf das Verkehrsmittelwahlverhalten andererseits isoliert betrachten zu können (Abbildung 6). Die ausschließliche Modellierung der Routenwalleffekte erfolgt, indem im Referenzmodell (Nr. 1) die reduzierte Regelgeschwindigkeit im Modell eingestellt wird, ohne eine Anpassung der Verkehrsnachfrage bzw. Verkehrsmittelwahl zu gestatten. Die einzige Reaktion, die das Modell dann zeigen kann, ist eine veränderte Routenwahl (Nr. 3). Aus dem Planfall mit Tempo 30 (Nr. 2) kann die infolge der geänderten Regelgeschwindigkeit veränderte Nachfrage exportiert und in eine Kopie des Referenzmodells

(Nr. 1 bzw. Nr. 4) eingelesen werden. Das resultierende Belastungsbild im Modell Nachfrage Tempo 30 (Nr. 4) gibt dann allein die Auswirkungen der veränderten Verkehrsnachfrage wieder.

Abbildung 6: Ablauf der Verkehrsmodellierung – Visum-Modelle / Makromodellierung



Sowohl für die Mikrosimulation des Verkehrsablaufs an den ausgewählten Streckenabschnitten als auch für die Emissionsberechnungen sind stundenfeine Werte der Verkehrsbelastung erforderlich. Die im Modell der Stadt Halle implementierten Berechnungsverfahren liefern solche stundenfeine Belastungswerte automatisch, die Modelle der Städte Göttingen und Ravensburg weisen hingegen nur die Tagessummen (Fz / 24 Std.) aus. Diese Tagessummen wurden für die Emissionsberechnung mit Hilfe von standardisierten Tagesganglinien der Verkehrsbelastung (Pinkowsky, 2005) / (Fitschen, et al., 2021) auf Stundenwerte heruntergebrochen. Diese Herangehensweise beschreiben (Neuhold, et al., 2011) als adäquat.

Die Mikrosimulation berücksichtigt örtliche Zähldaten zur Darstellung der stündlichen Verkehrsströme im Bestand und im Planfall mit Tempo 30. Dabei beschränkt sich der zur Auswertung verwendete Simulationszeitraum jeweils auf eine Stunde mit hoher Verkehrsbelastung. Diese Spitzenstunden liegen in den hier durchgeführten Simulationsläufen am Nachmittag. Die Ergebnisse der Mikrosimulation beziehen sich folglich auf das einstündige Zeitfenster der Nachmittags-Spitzenstunde. Die Veränderungen der Verkehrsbelastungen, die sich im Planfall mit Tempo 30 im Visum-Modell ergeben, wurden auf die anhand von Zählbelastungen dargestellten Verkehrsströme in der Mikrosimulation übertragen. Dazu wurde für jeden Verkehrsstrom die prozentuale Veränderung berücksichtigt, die sich bei der Gegenüberstellung desselben Stroms im Planfall mit Tempo 30 einerseits und dem Referenzfall andererseits ergibt. Nimmt z. B. der im Visum-Modell berechnete Verkehrsstrom über den gesamten Tag um 10 Prozent ab, wurde diese Minderung auch bei den betreffenden Werten in der Mikrosimulation angesetzt (vgl. (FGSV, 2015)).

2.1.1.1 Tempo 30 und Motorisierter Individualverkehr (MIV) im Visum-Modell

Alle drei kommunalen Verkehrsmodelle unterscheiden zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit des MIV im unbelasteten Netz (v_0) und einer infolge des Verkehrsaufkommens verminderten Geschwindigkeit im belasteten Netz (v_{akt}). Wie stark die Geschwindigkeit infolge der Belastung sinkt, hängt von verschiedenen Merkmalen der Straße und ihrer Umgebung ab, die in Visum-Verkehrsmodellen durch einen Streckentyp klassifiziert werden können. Üblicherweise fallen dabei ein bestimmter Ausbauzustand (Fahrbahnbreite, Kurvenradien, Nebenflächen, Straßenrandparken usw.) mit einer dazu passenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit zusammen – diese Faktoren wirken sich mitunter stärker auf die gefahrenen Geschwindigkeiten aus als die ausgewiesene Geschwindigkeitsbeschränkung (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018). Bei der pauschalen Anordnung von 30 km/h als Regelgeschwindigkeit wäre davon auszugehen, dass sich am Ausbauzustand der betreffenden Straßen zunächst nichts ändert. Auf einer Straße mit verminderter Höchstgeschwindigkeit dürfte sich die Auslastung deshalb erst dann auf die gefahrenen Geschwindigkeiten auswirken, wenn diese auch schon vorher auslastungsbedingt auf unter 30 km/h gefallen wären. Diese Überlegungen wurden mit Hilfe spezieller Streckentypen in die Verkehrsmodelle implementiert.

Eine unmittelbare Umsetzung dieses Ansatzes ist im Visum-Modell in der Form möglich, dass die Höchstgeschwindigkeit von Kfz auf den betreffenden Strecken (und Streckentypen) auf 30 km/h beschränkt wird. Mit diesem Ansatz wird unterstellt, dass alle Kfz 30 km/h schnell fahren, sofern eine höhere Auslastung keine niedrigere Geschwindigkeit erzwingt. Erst danach wirkt sich die Auslastung auf die Fahrgeschwindigkeit im Modell aus. Unterhalb dieser kritischen Auslastung kann es allerdings bei der Berechnung der Verkehrsumlegung Probleme geben, wenn Verkehr auf verschiedene Routen aufgeteilt werden muss, ohne dass die Mehr- oder Minderbelastungen einen Effekt auf die Fahrzeiten haben.⁵ Im Rahmen dieser Studie wurden deshalb Auslastungsfunktionen entwickelt, die im unbelasteten Netz eine leichte Überschreitung der zulässigen 30 km/h ansetzen, die mit steigender Auslastung der Strecke auf 30 km/h sinkt und dann entsprechend dem ursprünglichen auslastungsabhängigen Funktionsverlauf weiter abfällt.

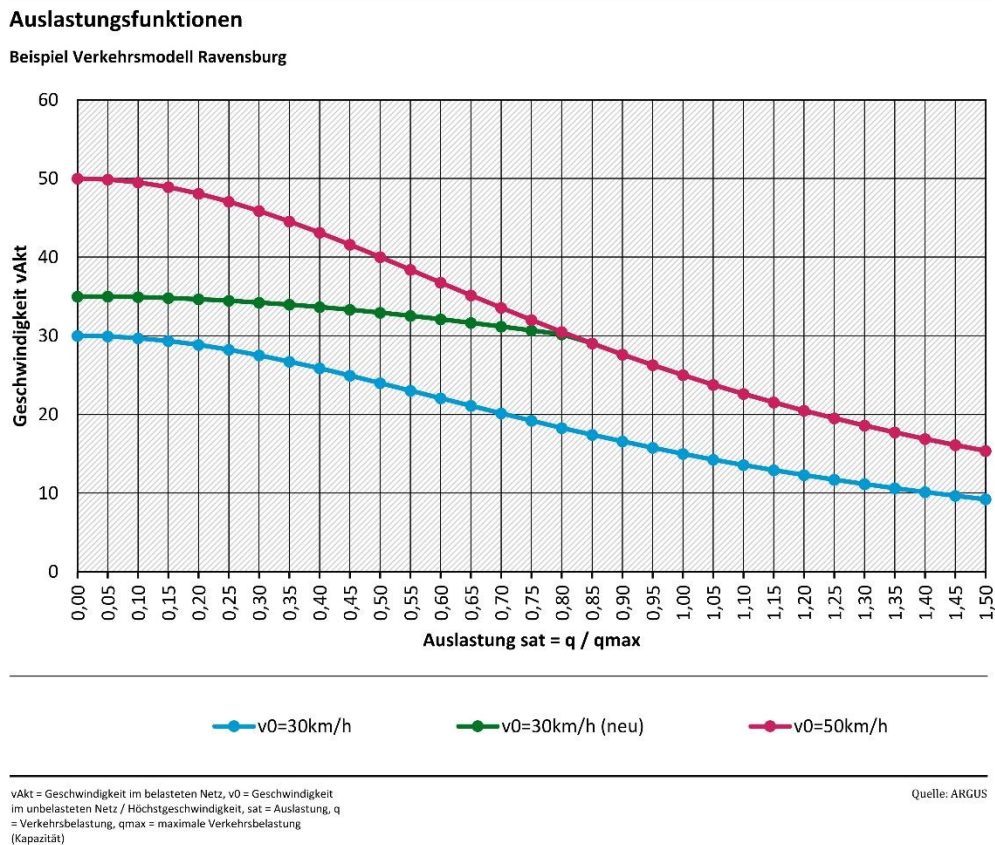
Abbildung 7 stellt entsprechende Funktionsverläufe dar. Die rote Linie zeigt die mit zunehmender Auslastung sinkende Fahrtgeschwindigkeit ausgehend von einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, die blaue Linie entsprechend sinkende Fahrtgeschwindigkeit ausgehend von 30 km/h. Wenn sich am Ausbaustandard der Straße nichts ändert, ist nicht zu erwarten, dass sich die Geschwindigkeit bei einer Auslastung von 80 Prozent bzw. 0,8 allein aufgrund der verminderten Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h (rote Linie) auf unter 20 km/h (blaue Linie) reduziert. Wahrscheinlicher ist eine leichte Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (grüne Linie) bis zu dem Punkt, an dem sich auslastungsbedingt Geschwindigkeiten unter 30 km/h einstellen.

Ein weiterer Aspekt, der allen drei beispielhaften Verkehrsmodellen gemein ist, ist die separate Quantifizierung von Zeitverlusten auf der Strecke einerseits und an Knotenpunkten (Kreuzungen und Einmündungen) bzw. auf Abbiegebeziehungen andererseits. Damit wäre es grundsätzlich möglich, eine infolge der Geschwindigkeitsreduzierung veränderte Kapazität an Knotenpunkten abzubilden. Bei der Vissim-Mikrosimulation im Rahmen dieser Studie hatte die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit jedoch nur geringfügig verminderte Verkehrsströme zu Folge. Darüber hinaus liegt der Anteil der Abbiegezeitverluste an den Gesamtreisezeiten im innergemeindlichen Binnenverkehr der Modelle durchweg unter 20 Prozent. Um die

⁵ Hinweis des PTV-Supports „#PTV259529# Benutzerdefinierte CR-Funktion“ am 01.04.2021

Gesamtreisezeit um 10 Prozent zu erhöhen, müssten sich die Zeitverluste an den Knotenpunkten also um mindestens 50 Prozent erhöhen.

Abbildung 7: Beispiel für Auslastungsfunktionen



2.1.1.2 Tempo 30 und Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) im Visum-Modell

Die Verkehrsnetze des öffentlichen Personenverkehrs werden in den Verkehrsmodellen der drei Beispielstädte mit Hilfe der Fahrpläne abgebildet. Die Fahrpläne gehen nicht unmittelbar aus den Streckenfahrzeiten hervor, so dass die Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Modell nur mittelbaren Einfluss auf die Fahrzeiten im ÖPNV hat. Die notwendige Fahrzeit ist nur einer von mehreren Faktoren, die die im Fahrplan beschriebene Beförderungszeit beeinflussen. Hinzu kommen z. B. Fahrgastwechselzeiten, Pufferzeiten, Wartezeiten beim Einfahren und Verlassen der Haltestelle und andere (Schnieder, 2018). Die Beförderungszeiten im ÖPNV wiederum sind zu unterscheiden von den Reisezeiten, zu denen Zugangszeit, Startwartezeit, Umsteigewartezeit und Abgangszeit gehören. Gleichwohl sind verlängerte Beförderungszeiten und erhöhte Betriebskosten infolge reduzierter Höchstgeschwindigkeiten dokumentiert (Bruder, et al., 1989) (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018) (Spiekermann; Müller-BBM, 2020) (Huber, et al., 2020) (LK Argus, 2021). Die dabei beobachteten Fahrzeitverlängerungen erreichen in Einzelfällen Werte über 30 Prozent, liegen jedoch überwiegend zwischen 10 und 20 Prozent. Stärkere Beeinträchtigungen werden vor allem nach baulichen Anpassungen zur Geschwindigkeitsreduktion berichtet.

Eine Anpassung der in den Verkehrsmodellen hinterlegten ÖPNV-Fahrpläne an die verminderte Höchstgeschwindigkeit war im Rahmen dieser Studie nicht leistbar. Daher wurde die Reisezeit

im ÖPNV pauschal verlängert, indem zunächst die Fahrzeit im Fahrzeug im Binnenverkehr erhöht wurde. Daraus ergibt sich für jeden Verkehrsbezirk innerhalb der Gemeinde eine mittlere ÖPNV-Reisezeitverlängerung, die in einem zweiten Schritt auf die ÖPNV-Reisezeiten im Quell- und Zielverkehr aufgeschlagen wurde.

Das Ausmaß der ÖPNV-Reisezeitverlängerung im Binnenverkehr der betrachteten Städte wurde nach Abstimmung mit den beteiligten Kommunen und dem Forschungsbegleitkreis mit 15 Prozent der Fahrzeit im Fahrzeug in Göttingen und Ravensburg und mit 5 Prozent in Halle angesetzt. Die Stadt Halle verfügt über ein ausgedehntes Straßenbahnnetz mit teilweise besonderem Bahnkörper und lässt daher geringere Verzögerungen im ÖPNV erwarten als in Ravensburg und Göttingen, wo das ÖPNV-Angebot vor allem aus Buslinien besteht.

2.1.1.3 Tempo 30 im Vissim-Modell (Mikrosimulation)

In den drei teilnehmenden Modellstädten wurden exemplarisch jeweils zwei Streckenabschnitte für die Mikrosimulation ausgewählt. Die Kriterien waren hierbei, neben einer Temporeduktion auf 30 km/h, u. a. eine moderate bis hohe Auslastung, eine Abschnittslänge von ca. 200 m mit einem lichtsignalgeregelten Knotenpunkt und das Vorhandensein von ÖPNV, Rad- und Fußverkehr. Im Ergebnis sollen die Auswirkungen einer herabgesetzten Regelgeschwindigkeit von Tempo 30 (Planfallszenario) ausgewertet werden. Dafür wird die Ausgangssituation ohne Reduktion der Regelgeschwindigkeit (Referenzszenario) ebenfalls simuliert. Die Auswahl der Strecken erfolgte in Abstimmung mit dem Forschungsbegleitkreis und den teilnehmenden Gemeinden.

Da für die Verkehrsflusssimulationen mit PTV Vissim nicht auf vorhandene Modelle zurückgegriffen werden konnte, sind diese zunächst von Grund auf erstellt worden. Hierfür sind im ersten Schritt die Netzmodelle für Kfz-, Fuß- und Radverkehr inkl. zulässiger Höchstgeschwindigkeiten, Konfliktflächen, Vorfahrtsregeln und ähnlicher steuernder Elemente erstellt worden. Des Weiteren wurden Fahrzeug- und Fußverkehrszuflüsse und die dazugehörigen Routen durch das Simulationsnetz definiert. Als Grundlage für das Simulationsnetz dienten Luftbilder von Google Earth Pro. Aus der Netzmodellierung mit Blick auf die örtlichen Gegebenheiten und um ausreichend aussagekräftige Ergebnisse erzielen zu können, ergaben sich Streckenabschnitte von etwa 400 bis 500 m, die einer Mikrosimulation mit Vissim unterzogen wurden.

Für die Auswertung wurden in den Verkehrsflusssimulationen auf der Strecke sowie an den Haltlinien des lichtsignalgeregelten Knotenpunkts Messquerschnitte gesetzt, mit denen Verkehrsstärke, Reisezeiten, Verlustzeiten, Stauhalte usw. ermittelt werden können. Darüber hinaus ist in allen Simulationen auf dem Streckenabschnitt eine Fußverkehrsquerung mit Messquerschnitten zur Ermittlung der Warte- und Querungszeit simuliert worden.

Für alle Simulationsstrecken wurden die folgenden drei Szenarien erstellt:

- Referenzszenario mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h
- Referenzszenario mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h
- Planfallszenario (geänderte Verkehrsbelastungen) mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h

Das Referenzszenario mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h weist die gleichen Verkehrsbelastungen auf wie das Referenzszenario mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Dieses Szenario wurde zusätzlich erstellt, um zu ermitteln, welche Auswirkungen direkt auf die Temporeduktion zurückzuführen sind oder auf die in den meisten Fällen

verminderte Verkehrsbelastung, die sich im Planfallszenario aus den im Visum-Verkehrsmodell berechneten Effekten durch Tempo 30 ergibt. Die Lichtsignalsteuerung wurde nicht an Tempo 30 angepasst.

2.1.2 Kenngrößen für die Auswertung der verkehrlichen Wirkungen

Zur Beschreibung und Beurteilung der verkehrlichen Auswirkungen einer auf 30 km/h reduzierten Regelgeschwindigkeit in den untersuchten Verkehrsmodellen werden einerseits aggregierte Kenngrößen des Verkehrs wie

- ▶ die mittleren Reisegeschwindigkeiten und Reisezeiten,
- ▶ die Fahrleistung und die
- ▶ Verkehrsmittelwahl (Modal Split)

ausgewertet. Andererseits werden die Auswirkungen auf den motorisierten Verkehr anhand von Differenzdarstellungen bewertet, die die Veränderung der Verkehrsbelastung im Streckennetz zeigen. Diese Darstellungen waren nicht zuletzt bei der Plausibilitätsprüfung in Abstimmung mit den beteiligten Gemeinden nützlich. Darüber hinaus geben diese Grafiken einen Ausblick auf die auf Grundlage der Verkehrsbelastungen berechnete Veränderung der Emissionen (vgl. Kapitel 3.1.1).

In den Verkehrsflusssimulationen werden parallel die Effekte der reduzierten Regelgeschwindigkeit auf die lokale Verkehrssituation untersucht. Dazu wurden folgende Daten ausgewertet (vgl. Kapitel 3.1.2):

- ▶ Reisezeitdifferenzen für MIV und ÖPNV zwischen Referenz- und Planfallszenarien
- ▶ Anzahl der Anhaltevorgänge pro Fahrzeug an den jeweiligen lichtsignalgeregelten Knotenpunkten
- ▶ Zeitbedarf für die Fahrbahnquerung durch zu Fuß Gehende, abseits der Knotenpunkte
- ▶ Im Simulationszeitraum abgewinkelte Verkehrsmengen
- ▶ Fahrzeugfolgezeiten

2.2 Lärm und Luftschadstoffe

Im Projekt wurden die Auswirkungen einer auf 30 km/h reduzierten Regelgeschwindigkeit innerorts auf Lärm und Luftschadstoffe untersucht. Getroffen werden Aussagen zur Bestandsflotte (Bezugsjahr 2021) sowie für eine teil- und eine vollelektrifizierte Fahrzeugflotte.

Grundlage der Bewertung der Umweltauswirkungen ist eine Berechnung der Lärmimmissionen und der Luftschadstoffemissionen. Dabei ist ein geeignetes Emissionsmodell zugrunde zu legen, das eine ausreichende Modellierung der zu prüfenden Simulationsparameter ermöglicht. Auch für den Lärm ist dies als Grundlage der Immissionsberechnung notwendig. Neben der Simulation der verkehrlichen Auswirkungen sind dies auch die Auswirkungen einer zunehmend elektrifizierten Kfz-Flotte auf die jeweiligen Emissionen.

Für Luftschadstoffe sind neben den bilanzierten CO₂-Emissionen auch die Veränderungen der vorwiegend lokal kritischen Luftschadstoffe Stickoxide sowie Feinstaub zu beurteilen. Für Stickoxide erfolgt die Bewertung anhand der Emissionen von Stickstoffmonoxid (NO) und

Stickstoffdioxid (NO_2), zusammengefasst als NO_x . Die Feinstaubemissionen werden anhand der Partikelgröße von weniger als $10\ \mu\text{m}$ PM10 bewertet.

2.2.1 Emissionsmodelle

Im Folgenden werden die Emissionsmodelle für Lärm und Luftschadstoffe mit den jeweiligen Gemeinsamkeiten und Modellierungsansätzen dargestellt. Ebenfalls benannt werden die jeweils notwendigen Eingangsparameter mit den für dieses Vorhaben notwendigen Rahmenbedingungen.

2.2.1.1 Lärm – Traffic Noise Emission Calculation Model (TraNECaM)

Zur Umsetzung des Projektvorhabens bedarf es einer emissionssensitiven Geräuschermittlung, bei der eine Trennung von Roll- und Antriebsgeräusch möglich ist. Dies ist notwendig, da es bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen nur zu geringen Antriebsgeräuschen im Vergleich zu Verbrennungsmotoren kommt, gleichzeitig aber Lärmemissionen eines „Acoustic Vehicle Alert System“ (AVAS) nicht nur von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, sondern von den real auf einem Straßenabschnitt mit unter 20 km/h gefahrenen Anteile abhängt.

Für die Modellierung der Lärmemissionen stehen weltweit verschiedene Berechnungsmodelle zur Verfügung. Die in Deutschland eingesetzten Emissions- und Ausbreitungsmodelle für Verkehrslärmberechnungen sind hinsichtlich ihrer Detailliertheit und Genauigkeit in der Vergangenheit mehrfach verbessert worden. Dies spiegelt sich in der aktuellen und grundsätzlich anwendbaren RLS-19 (RLS-19) und in der BUB (BUB) wider. Beide Vorschriften und die dahinterliegenden Emissionsansätze wurden 2019 bzw. 2021 veröffentlicht.

Mit den Rechenvorschriften RLS-19 und BUB sind die Fahrzeugemissionen jedoch ausschließlich anhand der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu ermitteln. Es liegen keine Emissionen für Fahrzeuge mit niedrigeren antriebsbedingten Schallemissionen vor. Die Simulation der Auswirkungen eines AVAS für die mit weniger als 20 km/h gefahrenen Anteile einer Strecke ist hiermit ebenfalls nicht möglich.

Für die Analyse wurde daher das Lärmmodell TraNECaM (Umweltbundesamt, 2000) verwendet, das im Rahmen eines Forschungsprojektes für das Umweltbundesamt in den Jahren 1998 bis 2000 entwickelt wurde. Es erlaubt eine detailliertere Emissionsberechnung als die zuvor genannten herkömmlichen Berechnungsmodelle RLS-19 und BUB, und es berücksichtigt auch den technischen Fortschritt der Kraftfahrzeuge. Die Datenbasis des Modells ist hinsichtlich der Straßen- und Fahrzeugkategorien deutlich breiter als die der herkömmlichen Modelle. Das Modell wurde mit finanzieller Unterstützung der EU-Kommission und der norwegischen Immissionschutzbehörde erweitert und aktualisiert. In Norwegen wurde TraNECaM verwendet, um landesweit die Auswirkungen von Vermeidungsmaßnahmen zu quantifizieren, die zur Erreichung politischer Vermeidungsziele eingesetzt werden könnten. Gegenüber einer rein fachlichen pauschalisierten Einschätzung der Emissionsänderung bietet TraNECaM den Vorteil reproduzierbarer und dokumentierbarer Ergebnisse.

Berechnung der Emissionsfaktoren für Lärm

Mit TraNECaM können für die Straßen vergleichbare Emissionsfaktoren für die Lärmemission vorliegen, wie sie auch anhand verschiedener Straßenparameter anhand des Luftemissionsmodells HBEFA vorliegen (siehe hierzu auch im Folgenden Kapitel 2.2.1.2). Die in TraNECaM

hinterlegten Verkehrssituationen basierten bisher auf den Verkehrssituationen des HBEFA 3.1, das u. a. 30 km/h lediglich auf Sammel- und Erschließungsstraßen vorsieht. Für die Betrachtung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit waren daher die Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Hauptverkehrsstraße mit Tempo 30“ zu ergänzen.

Da die Verkehrssituationen und die zugrundeliegenden Fahrzyklen im Zeitraum 2018 bis 2020 erheblich aktualisiert wurden, was zur Veröffentlichung von HBEFA 4.1 führte, wurde darauf verzichtet, allein die fehlenden Verkehrssituationen zu simulieren. Es wurde vielmehr eine vollständige Neuberechnung des TraNECaM-Modells unter Verwendung der Fahrzyklen aus HBEFA 4.1 durchgeführt. Diese Neuberechnung erforderte ein vorgelagertes Modell von TraNECaM, das RoTraNoMo-Modell (RoTraNoMo, 2005).

Das Modell RoTraNoMo berechnet einen momentanen Vorbeifahrtpegel für verschiedene Fahrzeugunterkategorien und Emissionsstufen auf der Grundlage von sekundengenauen Fahrzeuggeschwindigkeitsspuren getrennt für Reifen-/Fahrbahn- und Antriebsschallpegel. Das Modell wurde in den Jahren 2003 bis 2005 entwickelt und in späteren Projekten aktualisiert, um auch die drei in den Richtlinien 2009/661/EU und 540/2014/EU definierten Emissionsstufen, Phase 1 bis Phase 3, abzudecken.

Basierend auf den Erfahrungen früherer Forschungsprojekte werden die fahrzeugbezogenen Geräuschquellen (Motor, Antriebsstrang, Auspuff, Ansaugung) als Antriebsgeräusch zusammengefasst und als Funktion von Motordrehzahl und Motorlast modelliert. Die Reifen-/Fahrbahn- oder Rollgeräuschkomponente wird als Funktion des Reifens, der Straßenoberfläche und der Fahrzeuggeschwindigkeit modelliert.

Berücksichtigung der AVAS-Emissionen

In den Verkehrssituationen von HBEFA bzw. TraNECaM werden anteilig auch die Geräuschemissionen der Fahrzeuge bei Geschwindigkeiten von weniger als 30 km/h berücksichtigt (z. B. beim Anfahren in Kreuzungsbereichen oder in Stau- oder Stop&Go-Situationen). Unter Einsatz des RoTraNoMo-Modells kann der Einfluss von Elektrofahrzeugen mit zusätzlichen Emissionen durch ein Acoustic Vehicle Alert System (AVAS) genau modelliert und simuliert werden. Für die unterschiedlichen Fahrzyklen wird dabei berücksichtigt, dass das AVAS nur bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h in Betrieb ist. Bei der Modellierung der Lärm-Emissionen des AVAS sind folgende Rahmenbedingungen, die sich aus der UNECE R138 (UNECE Nr. 138) ergeben, zu beachten (alle Pegelangaben sind umgerechnet auf eine Entfernung von 2 m):

- ▶ mindestens 50 dB(A) bei 10 km/h,
- ▶ mindestens 56 dB(A) bei 20 km/h,
- ▶ maximal 75 dB(A).

Aufgrund der großen Spanne zwischen minimalen und maximalen Emissionen eines Fahrzeugs kann noch keine Auswahl einer einheitlichen Emission des AVAS erfolgen. Es ist zu erwarten, dass eine ausschließliche Wahl des Minimums zu zu niedrigen Ergebnissen führt. Der maximale Pegel entspricht den für Pkw zulässigen Lärmemissionen (auch für Verbrenner-Pkw) nach UNECE R51 (UNECE Nr. 51). Dieser Emissionspegel wird jedoch von aktuellen Pkw in der Regel deutlich unterschritten. Bei Wahl des maximalen Pegels für die AVAS-Emission würden diese somit tendenziell überschätzt.

Um die Emissionsansätze besser einordnen zu können, erfolgte daher eine Literaturlauswertung zu den bisherigen Emissionen eines AVAS. Bei den Quellen muss berücksichtigt werden, dass die Untersuchungen jeweils an Fahrzeugen stattfanden, für die ein Einsatz von AVAS noch nicht verpflichtend war. Somit können die Emissionen ggf. niedriger ausgefallen sein, als sie nach Mindestanforderungen nach UNECE R138 (UNECE Nr. 138) und EU-Verordnung 540/2014 (EU-Verordnung 540/2014, 2014) für Fahrzeuge vorgeschrieben sind, die

- nach dem 1. Juli 2019 typzugelassen wurden,
- nach dem 1. Juli 2021 erstmals zugelassen wurden.

In (Laib, et al., 2019) wird der minimal sicherzustellende Wert um 4-13 dB überschritten. Ermittelt wurden teilweise deutliche Abweichungen zwischen linker und rechter Seite von bis zu 7 dB. Dies ist verstärkt dann der Fall, wenn nur ein Lautsprecher zur Tonerzeugung eingesetzt wird: Zur Sicherstellung der minimalen Emission in jeder Richtung ist ggf. in einer Richtung die Emission deutlich höher als benötigt. (Bock, et al., 2018) dokumentieren: „In allen Fällen weist der rein elektrische Betrieb [ohne AVAS] den geringsten Pegel auf. Bei geringen Geschwindigkeiten ist der Verbrenner zwar etwas lauter [als ein Elektrofahrzeug ohne AVAS], aber liegt im Schnitt unter der Variante mit AVAS-System.“ In Erhebungen in (Berge, et al., 2019) war bei 20 km/h das werkseitige AVAS beim untersuchten Fahrzeugtyp im Pegel nicht feststellbar. Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch sei dominierend gewesen.

Anhand der Literaturergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass eine AVAS-Emission nahe der maximal zulässigen Lärmmissionen für einen relevanten Flottenanteil nicht wahrscheinlich ist. Die maximalen Emissionen als „Worst Case“ wurden daher nicht weiterverfolgt, da davon auszugehen ist, dass dieser Wert nur in Einzelfällen voll ausgeschöpft wird. Einzelne Fahrzeuge, die das AVAS als „Sound Design“ nutzen, um sich von der Masse der Fahrzeuge abzuheben, werden nicht akustisch dominieren.

Es verbleiben somit zwei Varianten zu den AVAS-Emissionen, die weiterverfolgt werden:

- Mittlere Variante (z. B. 9-12 dB über Minimum) und
- Minimum-Variante.

Für die Berechnungen können somit beide Varianten abgebildet werden:

- Für die Simulation eines „minimalen AVAS“ werden in den Varianten „teilelektrisch“ und „vollelektrisch“ die entsprechenden Flottenanteile der elektrifizierten Fahrzeuge mit abgesenkten Emissionsfaktoren simuliert.
- Für die Simulation des „mittleren AVAS“ werden die Emissionen wie für Verbrennerfahrzeuge angesetzt, d. h. die Prognose der anteiligen Elektroflotte entspricht in den Lärmmissionen der Bestandsflotte. Die Berechnungsergebnisse entsprechen dann denen aus der „Bestandsflotte“.

Die genannte mittlere Variante entspricht in der Lärmmission etwa dem Verbrennerfahrzeug. Die Abweichung zu diesem werden bei einer detaillierten Modellierung der AVAS-Emissionen in RoTraNoMo über einen kompletten Fahrzyklus inkl. mehrerer Verzögerungs- und Beschleunigungsvorgänge, Konstantfahrten und Haltezeiten nur marginal ausfallen. Es wird daher auf eine Modellierung dieser Variante verzichtet. In den Emissionen wird vielmehr das „normale AVAS“

dem Verbrennerfahrzeug gleichgesetzt, bzw. es wird nicht zwischen den Emissionen von Verbrennerfahrzeug und elektrisch angetriebenem Fahrzeug unterschieden.

Die minimale Variante kann aufzeigen, welche Lärminderungspotenziale eine Elektrofahrzeugflotte zukünftig hätte. In RoTraNoMo wird dieser Fall mit einer deutlich abgesenkten Antriebsemission ohne Zuschlag für das AVAS bei Geschwindigkeiten unter 20 km/h berechnet. Dieser Ansatz wird sowohl für die teilelektrische Flotte als auch die vollelektrische Flotte für den anzusetzenden Anteil von Elektrofahrzeugen verwendet.

2.2.1.2 Luftschadstoffe – Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)

Die Emissionen aus dem Straßenverkehr werden je nach Schadstoffgruppe durch die Kfz-Motoren sowie durch Aufwirbelung und Abrieb hervorgerufen. Die Berechnung erfolgt in der Regel mit den Emissionsfaktoren aus dem „Handbuch für Emissionsfaktoren“ (HBEFA) (Umweltbundesamt, 2019), das in Deutschland der Standard bei der Ermittlung von Kfz-bedingten Luftschadstoffemissionen ist. Es findet z. B. auch Anwendung in den Luftreinhalteplänen.

Nach heutiger Erkenntnis kann davon ausgegangen werden, dass ein großer Anteil der verkehrsbedingten PM₁₀- und PM_{2,5}-Emissionen nicht aus dem Auspuff der Fahrzeuge stammt, sondern von Aufwirbelungen auf der Straßenoberfläche liegender Partikel und vom Reifen- und Bremsabrieb verursacht wird. Diese Emissionen fallen somit, anders als die Auspuff-Emissionen, auch für Elektrofahrzeuge an. Das HBEFA 4.1 integriert dem Stand der Technik entsprechende Verfahren zur Bestimmung des zusätzlichen Beitrags von Partikelemissionen.

Mit dem HBEFA sind sämtliche Prognoseberechnungen der Luftschadstoffemissionen abzubilden. Es ist möglich, sowohl eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h zu berücksichtigen, als auch den Einfluss von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen.

Für die Emissionsermittlung wurde die im August 2019 veröffentlichte Version 4.1 des HBEFA genutzt. Gegenüber früheren Versionen enthält sie Änderungen der Eingabeparameter und der zugrundeliegenden Emissionsdaten. In das HBEFA 4.1 sind insbesondere neuere und deutlich umfangreichere Messdaten für Euro-6-Diesel Pkw gegenüber der Version 3.3 eingeflossen.

Im Januar 2022 wurde die Version 4.2 des HBEFA veröffentlicht. Das HBEFA 4.2 ist nach Dokumentation der Änderungen (Notter, et al., 2022) ein „light update“. Eine relevante Änderung in den Emissionen ergibt sich u. a. für schwere Nutzfahrzeuge der Abgasklasse Euro-VI. Hier sind deutliche Abnahmen der Emissionen zu erwarten. Für Linienbusse der Abgasklasse Euro-VI werden hingegen Zunahmen erwartet. Da das HBEFA 4.2 erst nach Durchführung der Berechnungen im hier vorliegenden Projekt veröffentlicht wurde, sind die Auswirkungen der Änderungen in den Ergebnissen nicht berücksichtigt. Es ist jedoch zu erwarten, dass die ermittelten relativen Änderungen in gleicher Größenordnung ermittelt würden.

2.2.1.3 Eingangsparameter für die Emissionsmodelle

Flottenszenarien

Für die Modellierung der Emissionen von Lärm und Luftschadstoffen sind drei Flottenszenarien zu berücksichtigen:

- Bestandsflotte (Bezugsjahr 2021)

- Teilelektrische Flotte (Bezugsjahr 2030)
- Vollelektrische Flotte (Bezugsjahr 2030)

Das Bezugsjahr ist im Wesentlichen relevant für die Zusammensetzung der Fahrzeugklassen (Größen / Typen zueinander, wie z. B. Größenanteile der schweren Nutzfahrzeuge) sowie die Verteilung nach Abgasnorm (z. B. Euro 1-6 für Luftschadstoffemissionen der Pkw). Die Emissionen der Elektrofahrzeuge wurden für beide Szenarien einheitlich modelliert, sodass allein die Auswirkungen des gestiegenen Anteils an Elektrofahrzeugen auf die Änderungen zwischen Tempo 30 und Tempo 50 bewertet werden.

Für die Modellierung der teil- und vollelektrischen Flotte wurden die in Tabelle 1 dargestellten, vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellten Fahrleistungsanteile berücksichtigt. Für das Bezugsjahr 2030 wird ein realistisches Szenario mit einer aus TREMOD (Transport Emission Model) entnommenen teilelektrischen Flotte angenommen sowie ein fiktives Szenario mit einer vollelektrischen Flotte mit einer vollständigen Elektrifizierung sowohl der Pkw als auch der Nutzfahrzeuge und Linienbusse.

Tabelle 1: Modellansätze elektrischer Kfz

Anteil an der Fahrleistung: konventionell / elektrisch

Fahrzeugschicht		2021 Bestand	2030 Teilelektrisch (aus TREMOD)	2030 Vollelektrisch (fiktiv)
Pkw	Konventionell	98,4 %	81,0 %	0 %
	Elektrisch	1,6 %	19,0 %	100 %
Leichte Nutzfahrzeuge	Konventionell	99,4 %	91,5 %	0 %
	Elektrisch	0,6 %	8,5 %	100 %
Linienbusse	Konventionell	99,1 %	85,7 %	0 %
	Elektrisch	0,9 %	14,3 %	100 %
Schwere Nutzfahrzeuge < 12 t	Konventionell	99,9 %	85,8 %	0 %
	Elektrisch	0,1 %	14,2 %	100 %
Schwere Nutzfahrzeuge > 12 t	Konventionell	99,9 %	98,3 %	0 %
	Elektrisch	0,1 %	1,7 %	100 %

Daten 2021 aus HBEFA 4.1 (Umweltbundesamt, 2019)

Die vollelektrische Flotte ist der abzusehende Endzustand einer Flottenelektrifizierung, der über vorliegende Szenarien z. B. der RESCUE-Studie (Purr, et al., 2019) hinausgeht. Die RESCUE-Studie prognostiziert selbst im Szenario mit der größten Elektrifizierung noch rund 10 Prozent der Nutzfahrzeuge mit Dieselantrieb (siehe Abb. 5-62 in (Purr, et al., 2019)) bzw. rund 5-10 Prozent der Pkw mit Verbrennungsantrieb (siehe Abb. 5-59 in (Purr, et al., 2019)). Die vollständige Flottenelektrifizierung bildet damit ein fiktives Szenario, das dazu dient, den Einfluss der Flottenantriebe auf die Umweltwirkung von Tempo 30 zu untersuchen.

Verkehrssituationen

Das HBEFA unterscheidet verschiedene Straßen vorwiegend anhand sogenannter Verkehrssituationen. Diese bilden z. B. Erschließungsstraßen, Sammelstraßen, Hauptverkehrsstraßen und städtische Magistralen mit verschiedenen Geschwindigkeitsbegrenzungen ab (Abbildung 8). Zusätzlich wird bei den Verkehrssituationen nach der Lage (ländlich oder Agglomeration) unterschieden (Ericsson, et al., 2019).

Die Verkehrssituationen unterscheiden sich hinsichtlich der hinterlegten Verkehrszyklen unter anderem in der Anzahl der Halte und der relativen Beschleunigung und bilden somit verschiedene typische Dynamiken und Geschwindigkeiten ab. Die Wahl einer Verkehrssituation ist ein wesentlicher Faktor der Emissionsermittlung nach HBEFA.

Abbildung 8: Verkehrssituationen im HBEFA 4.1 (Umweltbundesamt, 2019)

Quelle: Software zum HBEFA 4.1

Overview Traffic Situations

Area	Road type	Levels of service	Speed Limit [km/h]												
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130	
Rural	Motorway-Nat.	5 levels of service													
	Semi-Motorway	5 levels of service													
	TrunkRoad/Primary-Nat.	5 levels of service													
	Distributor/Secondary	5 levels of service													
	Distributor/Secondary(sinuuous)	5 levels of service													
	Local/Collector	5 levels of service													
	Local/Collector(sinuuous)	5 levels of service													
	Access-residential	5 levels of service													
Urban	Motorway-Nat.	5 levels of service													
	Motorway-City	5 levels of service													
	TrunkRoad/Primary-Nat.	5 levels of service													
	TrunkRoad/Primary-City	5 levels of service													
	Distributor/Secondary	5 levels of service													
	Local/Collector	5 levels of service													
	Access-residential	5 levels of service													

Assigned Fleet Compositions:

= Motorway
 = Rural
 = Urban

Return

Bei der Wahl der Verkehrssituationen ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Hierfür muss eine Entsprechung im HBEFA vorliegen. Da im Projekt eine Umstellung von Tempo 50 auf Tempo 30 auf innerstädtischen Straßen zu untersuchen ist, sind bestimmte Verkehrssituationen für die Modellierung nicht anwendbar. Dies betrifft z. B. die „städtische Magistrale/Ringstraße“ („TrunkRoad/Primary-City“), die nach HBEFA nur für Geschwindigkeiten von 50-90 km/h definiert ist (vgl. Kapitel 2.2.3.2).

Verkehrszustand – Level of Service (LoS)

Ein relevanter Faktor bei der Emissionsermittlung der Luftschadstoffe sowie beim Lärm ist neben der Verkehrssituation auch der jeweilige Verkehrszustand bzw. -fluss oder -qualität. Der Verkehrszustand – Level-of-Service (LoS) – wird im HBEFA mit den Zuständen LoS 1-5 (frei, dicht, gesättigt, Stop&Go, Stau) angegeben.

Die Anteile der Fahrzeuge in den einzelnen Level-of-Service werden in der Regel⁶ anhand eines pauschalisierten Kapazitätsmodells mit Hilfe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsmengen (DTV), typischer Tagesgänge (stündliche Anteile der täglichen Verkehrsmenge) und der stündlichen Kapazität einer Fahrspur ermittelt: Aus der täglichen Verkehrsmenge wird anhand des

⁶ Beschrieben wird ein Modell, wie es im Programm IMMIS^{em} der IVU Umwelt GmbH implementiert ist. Dieses Vorgehen findet z. B. in der Luftreinhalteplanung Anwendung.

Tagesgangs eine stündliche Verkehrsmenge ermittelt, die wiederum mit der stündlichen Kapazität verglichen wird. Je nach Auslastungsgrad (in Prozent), wird ein Level-of-Service zugewiesen. Für jede Stunde kann dabei nur ein Level-of-Service zugewiesen werden, der von einem Schwellenwert abhängt. Bereits geringe Änderungen der täglichen Verkehrsmenge führen dabei zu „Sprüngen“ zwischen den Level-of-Service.

Im Rahmen des Projektes wurde daher ein Modell entwickelt und angewendet, das wesentliche Probleme bei einem Szenarienvergleich vermeidet. Zur Vermeidung von Sprüngen bei der Zuweisung und in den Emissionen wird eine lineare Interpolation der Anteile zwischen definierten Schwellenwerten verwendet.

Die Funktion wird so gewählt (Abbildung 9), dass

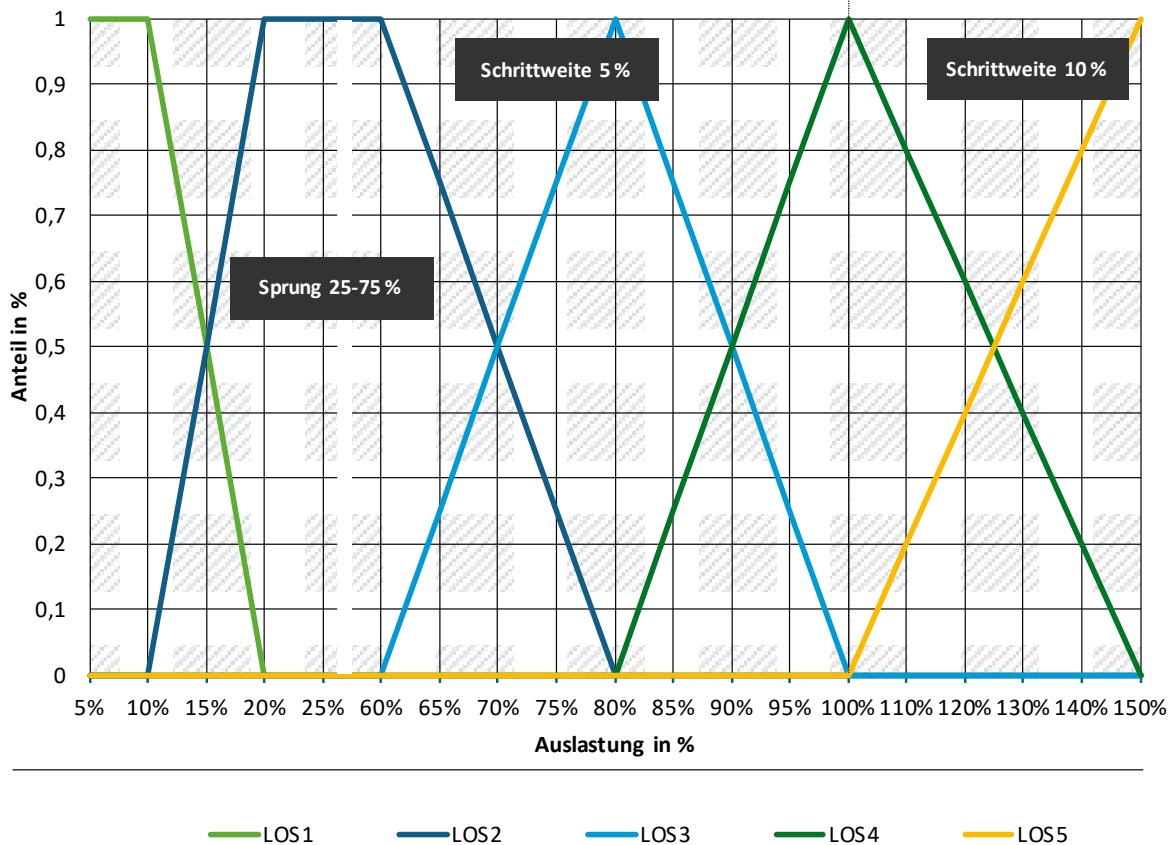
- ▶ der Anteil von LoS 1 zu LoS 2 sich im Bereich von 10 bis 20 Prozent Auslastung kontinuierlich ändert,
- ▶ der Anteil von LoS 2 zu LoS 3 sich im Bereich von 60 bis 80 Prozent kontinuierlich ändert,
- ▶ der Anteil von LoS 3 zu LoS 4 sich im Bereich von 80 bis 100 Prozent kontinuierlich ändert,
- ▶ der Anteil von LoS 4 oberhalb 100 Prozent Auslastung abnimmt und entsprechend
- ▶ der Anteil von LoS 5 bis zu einer Auslastung von 150 Prozent zunimmt.

Es wird somit jeweils ein Bereich der Auslastung von 10, 20 bzw. 50 Prozent gewählt, in denen die Level-of-Service ineinander übergehen.

Abbildung 9: Kontinuierlicher Anteil der Verkehrsqualität – Anteile

Vorschlag Level-of-Service (LOS) ohne Stufen

Anteil der LOS am Gesamtverkehr



*Auslastungen bzw. unterschiedliche Schrittweiten beachten!

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

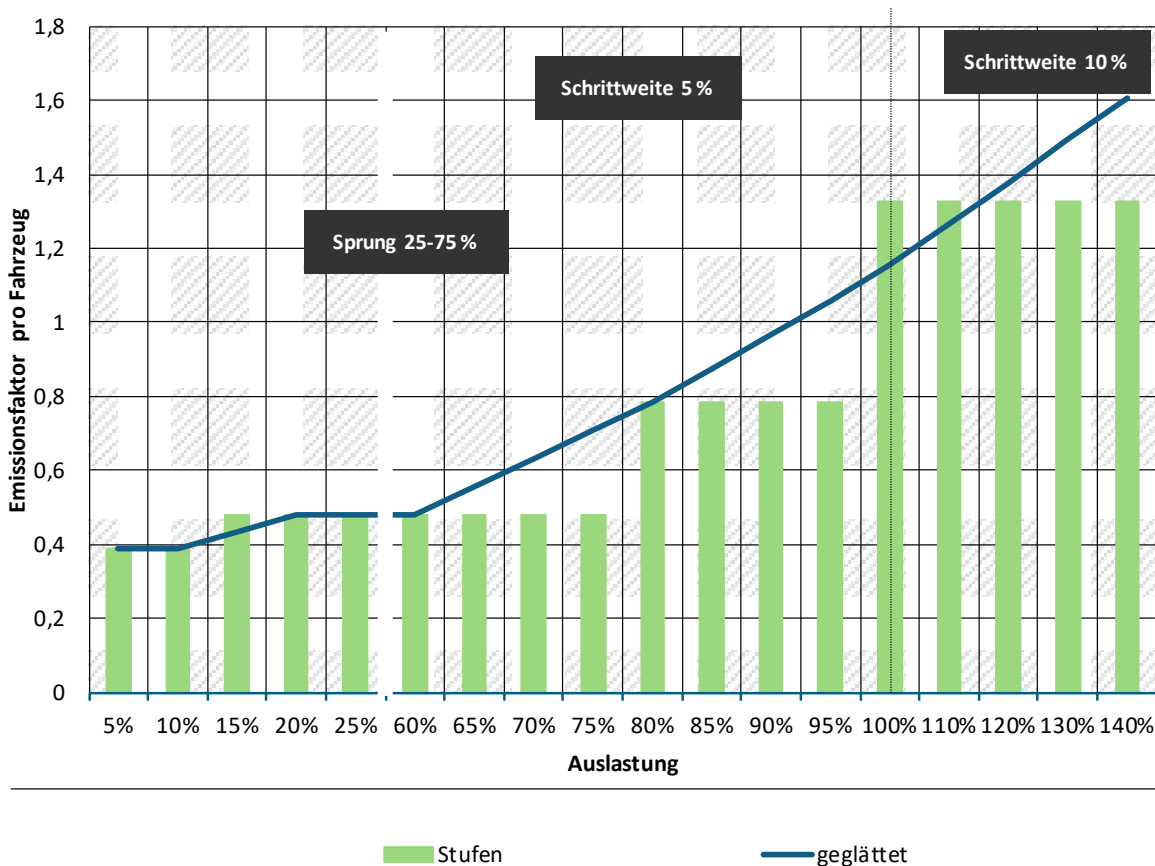
Die Parameter werden so gewählt, dass es im Bereich zwischen LoS 1 und LoS 2 ggf. zu einer (sehr) geringen Unterschätzung der Emissionen kommt. Im Sprungbereich um 100 Prozent Auslastung wird die Auswirkung des LoS 5 vermindert. Im herkömmlichen Modell wird z. B. für eine Auslastung > 100 Prozent eine feste Verteilung von 2/3 LoS 4 und 1/3 LoS 5 gewählt. Hieraus resultiert ein über den Verkehr gemittelter Emissionsfaktor, der nicht wie zuvor Sprünge aufgrund geringer Verkehrsmengenzunahmen und resultierender Änderungen der Auslastung aufweist.

Abbildung 10 stellt den bisherigen Stand als Säule dar und den neuen Verlauf als Linie: Beim bisherigen Modell fällt auf, dass mit Überschreiten einer Auslastung von 100 Prozent der Emissionsfaktor um fast 75 Prozent ansteigt. Eine Verkehrszunahme von unter 1 Prozent kann im Modell somit hoch relevante Änderungen an der Emission der Straße bewirken, die sich deutlich auf die Bewertung von Maßnahmen auswirken können.

Abbildung 10: Kontinuierlicher Anteil der Verkehrsqualität - resultierende Emissionsfaktoren

Vorschlag Level-of-Service (LOS) ohne Stufen

Mittlere Emission eines Fahrzeugs (90 % Pkw, 10 % Lkw)



*Auslastungen bzw. unterschiedliche Schrittweiten beachten!

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten des HBFA 4.1

2.2.2 Lärm-Immissionsmodell

Eine Immissionsmodellierung war im Projekt nach Leistungsbeschreibung nur für den Lärm, nicht für die Luftschadstoffe vorgesehen. Die Berechnung der Lärmimmissionen erfolgt mit den in der Lärmkartierung angewandten Ausbreitungsmethoden der BUB (BUB). Die Emissionen als Schallleistungspegel wurden über die Emissionsfaktoren aus TraNECaM ermittelt. Das Berechnungsmodell benötigt neben den Emissionsquellen Hindernisse (Gebäude, Wände, Wälle) sowie das Geländemodell. Diese wurden aus den jeweiligen Daten der Lärmkartierung der Städte entnommen.

Die Berechnung der Lärmimmissionen findet für bewohnte Gebäude in Form von Fassadenpegelberechnungen statt. Dies bedeutet, dass für jede Fassade für einen oder mehrere Punkte die Lärmbelastung ermittelt wird. Die jeweils einem Gebäude zugewiesene statistische Anzahl der potenziellen Einwohnenden wird dabei gleichmäßig auf die Fassadenpunkte verteilt.

Die Verteilung der Immissionsorte an den Gebäuden geschieht nach der „BEB - Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm“ (BEB, 2021). Die Berechnung der Lärmimmissionen an den Fassaden fand hiernach in einer einheitlichen Höhe von 4 m statt.

Die Bewertung der Lärmbelastung kann anhand der Einteilung der Betroffenen in Pegelklassen erfolgen. Hierzu werden in der Regel Klassenbreiten von 5 dB gewählt. Diese Auswertung ermöglicht eine Erfassung der Anzahl der (hoch) Belasteten.

Um einen einfacheren Vergleich als über die Pegelklassen zu erhalten, kann eine Bewertung der Belastung auch über eine Indexmethode erfolgen. In diesem Fall wird die LärmKennZiffer-Methode (LKZ-Methode) gewählt (Bönnighausen, et al., 1988). Bei der LKZ wird die Betroffenheit ermittelt über die Anzahl Betroffener, gewichtet mit der Überschreitung eines (frei wählbaren) Schwellenwertes.

Die Schwellenwertüberschreitung wird mit der Anzahl der Betroffenen multipliziert:

$$LKZ = (Pegel - Schwellenwert) \times Betroffene$$

Im vorliegenden Projekt werden die Berechnungen für einzelne Fassadenpunkte durchgeführt. Für jeden Immissionsort ergibt sich somit ein Pegel, zusammen mit der statistischen Anzahl der Einwohnenden (Betroffenen) ergibt sich die Teil-LKZ für den jeweiligen Fassadenpunkt. Für die Gesamtbelastung wird die LKZ über die Teil-LKZ aller Fassadenpunkte aufsummiert. Diese beschreibt somit die Lärmbelastung für die gesamte Stadt in einem Einzahl-Wert. Ein Rückgang auf „0“ bedeutet, dass keine Belastungen mehr oberhalb der Schwelle vorliegen.

2.2.3 Anwendung der Emissions- und Immissionsmodelle in den Beispielstädten

Wesentliche Eingangsdaten für die Modelle Lärm und Luft sind die Straßen als Emittenten. Hierfür wird auf die Daten aus der Visum-Modellierung zurückgegriffen. Die Lage der Quellen wird ebenfalls aus dem Visum-Modell übernommen. Kritische Stellen (z. B. Schnitt der Emissionsachse mit Gebäuden) werden bei Bedarf korrigiert. Die Wahl der übrigen emissionsrelevanten Parameter, die sich aus den Parametern der Emissionsfaktoren ergeben (siehe Kapitel 2.2.1.3), ist in den folgenden Kapiteln aufgeführt.

Die Emissionsmodelle TraNECaM und HBEFA greifen prinzipiell hinsichtlich der Verkehrssituationen auf die gleiche Datengrundlage zurück. Der Aufbau des Berechnungsmodells für die Lärmimmissionen erfordert darüber hinaus noch weitere Daten. Hierzu gehören das Gelände-Modell (das auch für die Ermittlung der Steigung der Straßenabschnitte benötigt wird), Gebäude mit Lage und Höhe sowie sonstige Abschirmungen (z. B. Lärmschutzwände). Diese Daten stehen aus den Modellen der Lärmkartierung zur Verfügung.

2.2.3.1 Verkehrsmengen

Bei der Verkehrszusammensetzung wird unter anderem unterschieden zwischen Pkw, leichten (< 3,5 t) und schweren Nutzfahrzeugen (≥ 3,5 t) sowie Bussen und Motorrädern. Hinsichtlich der Luftschadstoffemissionen unterscheiden sich vor allem die schweren Nutzfahrzeuge und Busse von den übrigen Fahrzeugschichten. Aus den VISUM-Modellierungen liegen detaillierte Verkehrsmengen für Pkw, schwere Nutzfahrzeuge sowie Linienbusse vor.

Aus dem VISUM-Modell geht kein Anteil für leichte Nutzfahrzeuge hervor. Für diese liegen die Emissionsfaktoren i. d. R. nur geringfügig über denen des Pkw-Verkehrs. Laut Nachfrage bei den Städten liegen nur in Halle mögliche Anteile vor. Aus zwei Knotenpunktzählungen ergeben sich Anteile von 2,9 bis 20,8 Prozent, wobei sich diese Extremwerte jeweils auf Streckenabschnitte mit sehr geringen Verkehrsmengen beziehen. Im gewichteten Mittel liegt der Wert in Halle mit 8,8 Prozent dicht an üblichen Ansätzen mit rund 10 Prozent (vgl. (BASt, 2013) mit 11 Prozent). Im Modell wird auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten daher für leichte

Nutzfahrzeuge ein pauschaler Anteil von 10 Prozent der Pkw-Menge modelliert und damit eine potenziell höhere Emission berücksichtigt. Nicht berücksichtigt in den Emissionsmodellierungen werden Reisebusse sowie Motorräder.

Die Verkehrsmengen liegen für die drei Beispielstädte in allen Szenarien in stündlicher Auflösung getrennt für Pkw, schwere Nutzfahrzeuge und Linienbusse vor. Für die Emissionsermittlung ist außerdem die Verkehrsqualität zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 2.2.3.2).

2.2.3.2 Verkehrssituation

Für die Ermittlung der Emissionen müssen sämtliche Straßenabschnitte einer Verkehrssituation zugewiesen werden. Die wesentlichen Verkehrssituationen des HBEFA in Innerortslagen sind:

- ▶ Erschließungsstraßen (access-residential)
- ▶ Sammelstraßen (local/collector)
- ▶ Hauptverkehrsstraßen (distributor/secondary)
- ▶ Magistralen (primary-city)

Da die Tempo-30-Emissionsfaktoren nicht für den Typ „Magistralen“ vorliegen, wurden in den Modellen alle Straßen, die einer höheren Hierarchie zugeschrieben werden könnten, einheitlich als Hauptverkehrsstraßen definiert. Die Magistralen weisen durch bessere Fahrverläufe mit weniger Störungen, d. h. Halten und Beschleunigungsvorgängen, in der Regel niedrigere Emissionen auf.

Bei einer Modifikation der Straßen von einer „Magistrale Tempo 50“ zu einer „Hauptverkehrsstraße Tempo 30“ würden absehbar die Effekte durch die geänderte Verkehrssituation die der geänderten Geschwindigkeit überwiegen. Um nur die Effekte der geänderten Regelgeschwindigkeit innerorts zu bewerten, werden daher alle Straßen maximal als „Hauptverkehrsstraßen“ modelliert. Dies führt im Modell tendenziell zu höheren absoluten Emissionen als in einer „korrekten“ Modellierung, vorwiegend bewertungsrelevant ist im Rahmen des Projektes jedoch die Emissionsveränderung.

Die „Hauptverkehrsstraße Tempo 30“ muss damit von der zweispurigen Hauptverkehrsstraße mit möglichem Parken am Fahrbahnrand, Einfluss durch Lichtsignalanlagen etc. bis hin zur Magistrale/Ringstraße (für die kein Emissionsfaktor für Tempo 30 besteht) alle möglichen Situationen abbilden. Eine genauere Zuordnung und Ermittlung der Effekte wäre nicht ohne eine Anpassung des HBEFA möglich.

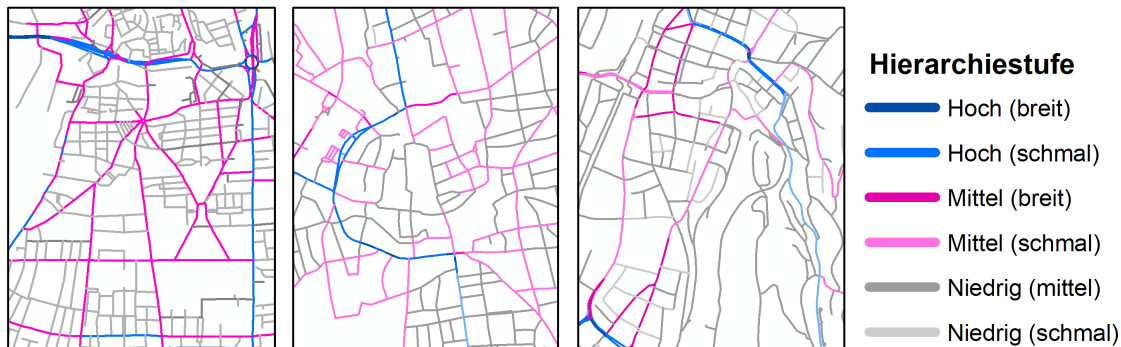
Vorprüfung der Modellstädte und Zuweisung aus dem Verkehrsmodell

Im Folgenden wird eine Hierarchisierung der Straßentypen der Städte aufgeführt, wie sie in einer ersten Untersuchung ermittelt wurde. In einem ersten Schritt wurde für die in den Verkehrsmodellen hinterlegten Streckentypen („Linktype“)⁷ eine Klassifizierung vorgenommen, um eine mögliche Hierarchisierung der Innerortsstraßen zu erkennen. In Abbildung 11 sind die im Modell hinterlegten niedrigsten Klassen (potenzielle Erschließungsstraßen, ggf. Sammelstraßen) grau dargestellt. In der Farbdarstellung folgen dann Straßen in Magenta (potenzielle Sammel- oder Hauptverkehrsstraßen) sowie in der nächsten Hierarchiestufe in Blau (potenzielle Hauptverkehrsstraßen, städtische Magistralen, innerörtliche Bundesstraße etc.). Die Breite bzw. Anzahl der Spuren aus dem Modell ist (sofern aus den Datensätzen ermittelbar) mit der Helligkeit

⁷ Laut Handbuch Visum, PTV AG: „Die Streckentypen dienen der Netzklassifikation und ermöglichen die typbezogene Vergabe von Standardwerten.“

dargestellt. Deutlich erkennbar ist eine Hierarchie, die für eine automatisierte Zuordnung der Verkehrssituation herangezogen werden kann.

Abbildung 11: Beispiel der hierarchischen Straßennetz-Gliederung in Halle (links), Göttingen (Mitte) und Ravensburg (rechts), ohne Maßstab

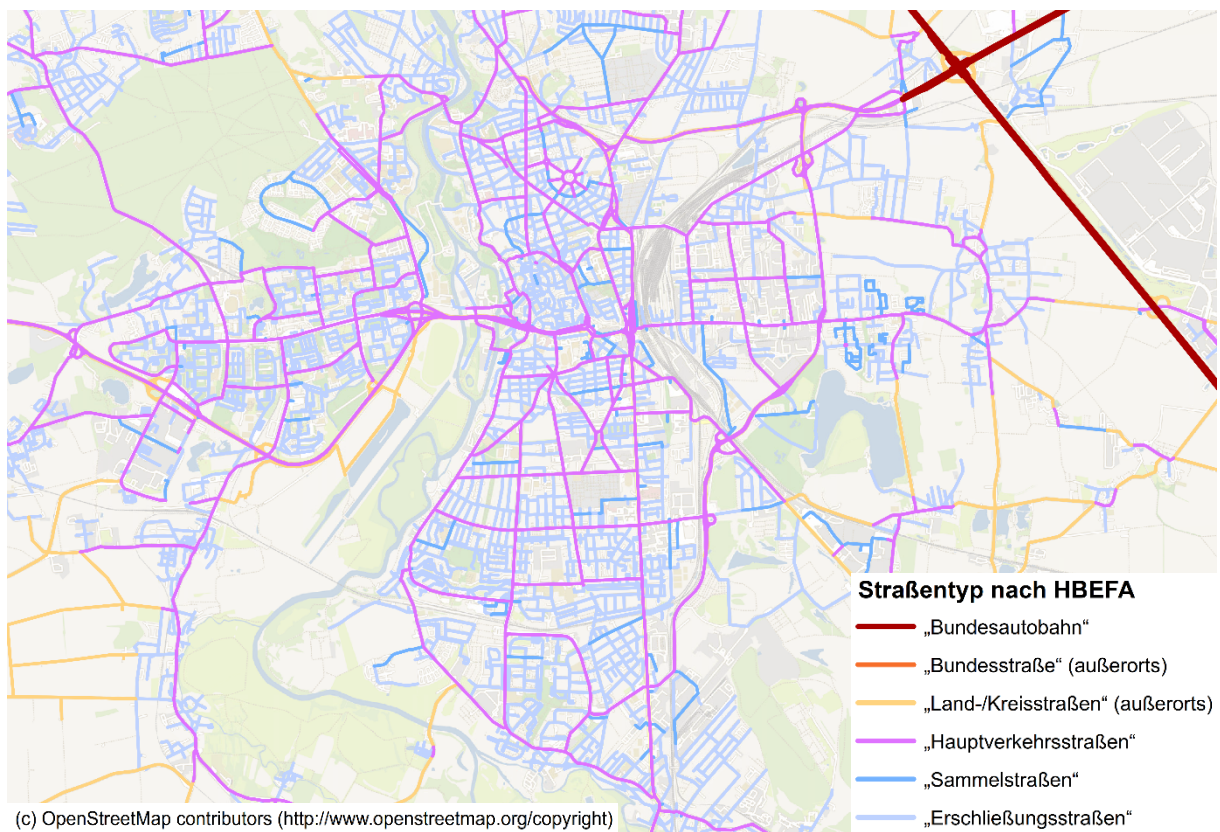


Die Wahl der Straßentypen erfolgte für die Städte pauschalisiert anhand bestehender Daten aus den Verkehrsmodellen mit dem zuvor genannten Parameter „Linktype“. Die einzelnen Verkehrsmodelle unterscheiden sich hierbei, sodass jeweils eine Anpassung der Zuweisungen notwendig war. Grundsätzlich wurden gleiche „Linktypes“ den gleichen Verkehrssituationen zugewiesen. Für Straßen außerorts wurden zudem die Verkehrssituationen „Landes- / Kreisstraße“, „Bundesstraße“ sowie „Bundesautobahn“ verwendet. Die Verkehrssituationen können durch die Pauschalisierung im Detail von den realen Gegebenheiten abweichen. Die Benennung der Verkehrssituationen bezieht sich auf die typischen Verkehrsabläufe, nicht auf die Baulastträgerschaft.

Halle

Für das Verkehrsmodell aus Halle ergibt sich anhand einer Zuweisung mittels „LinkTyp1“ die in Abbildung 12 dargestellte Hierarchie. Aufgrund der notwendigen Wahl der Emissionsfaktoren Tempo 30, die nur für Hauptverkehrsstraßen vorliegen, wurden keine „Städtischen Magistralen / Ringstraßen“ im Modell gewählt. Der hinterlegte Typ „NVSbreit“ wurde als Sammelstraße interpretiert. Die Mehrzahl der Abschnitte liegt als „NVSchmal“ vor, diese sind als Erschließungsstraßen aufgenommen. Grundsätzlich zeigt sich ein plausibles Netz, das in den weiteren Berechnungen nicht weiter angepasst wird.

Abbildung 12: Straßentypen nach HBEFA in Halle – pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell



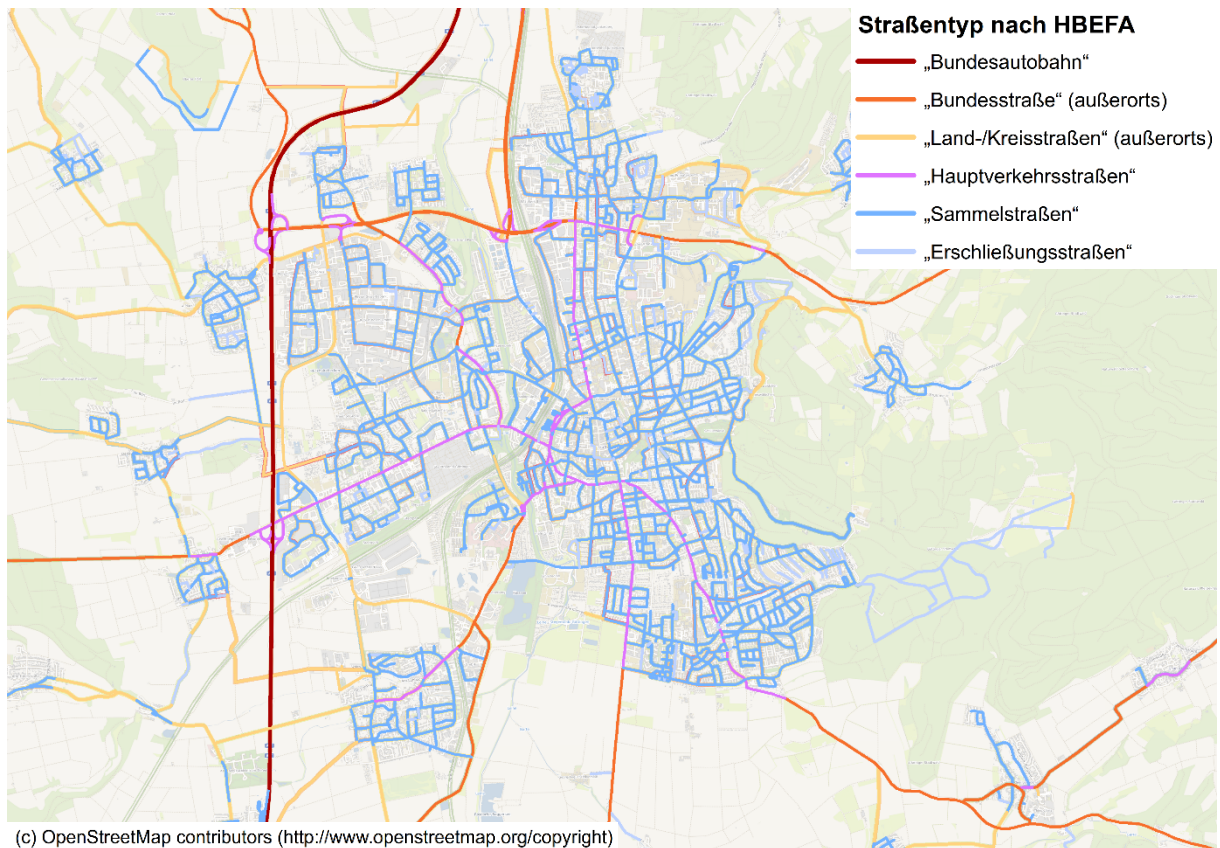
Die dargestellten Straßentypen beziehen sich auf die im HBEFA genannten Straßentypen. Die Ermittlung erfolgte pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell, kann lokal von den realen Gegebenheiten abweichen und entspricht nicht unbedingt der Baulastträgerschaft.

Göttingen

Für Göttingen zeigte sich in der Hierarchie „LinkTyp2“ eine deutliche Konzentration auf typischerweise als „Hauptverkehrsstraße“ bezeichnete Straßentypen (vgl. Abbildung 11, Magenta). Hiermit wäre innerstädtisch deutlich mehr als die Hälfte des Straßennetzes belegt gewesen, Sammel- und Erschließungsstraßen wären nur untergeordnet vertreten (vgl. Abbildung 11, Grau).

Die in Abbildung 13 dargestellte Modellierung hat daher auf die im „LinkTyp1“ hinterlegten Typen zurückgegriffen. Hierbei ergeben sich jedoch in der obersten Hierarchiestufe sehr wenige Hauptverkehrsstraßen. Ansonsten zeigt sich eine passende Hierarchie ab Stufe der Hauptverkehrsstraßen. Insgesamt ist das modellierte Netz stark von Sammelstraßen geprägt, was aufgrund der geringen Emissionsunterschiede zwischen Sammelstraße und Hauptverkehrsstraße fachlich zu vertreten ist.

Abbildung 13: Straßentypen nach HBEFA in Göttingen – pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell

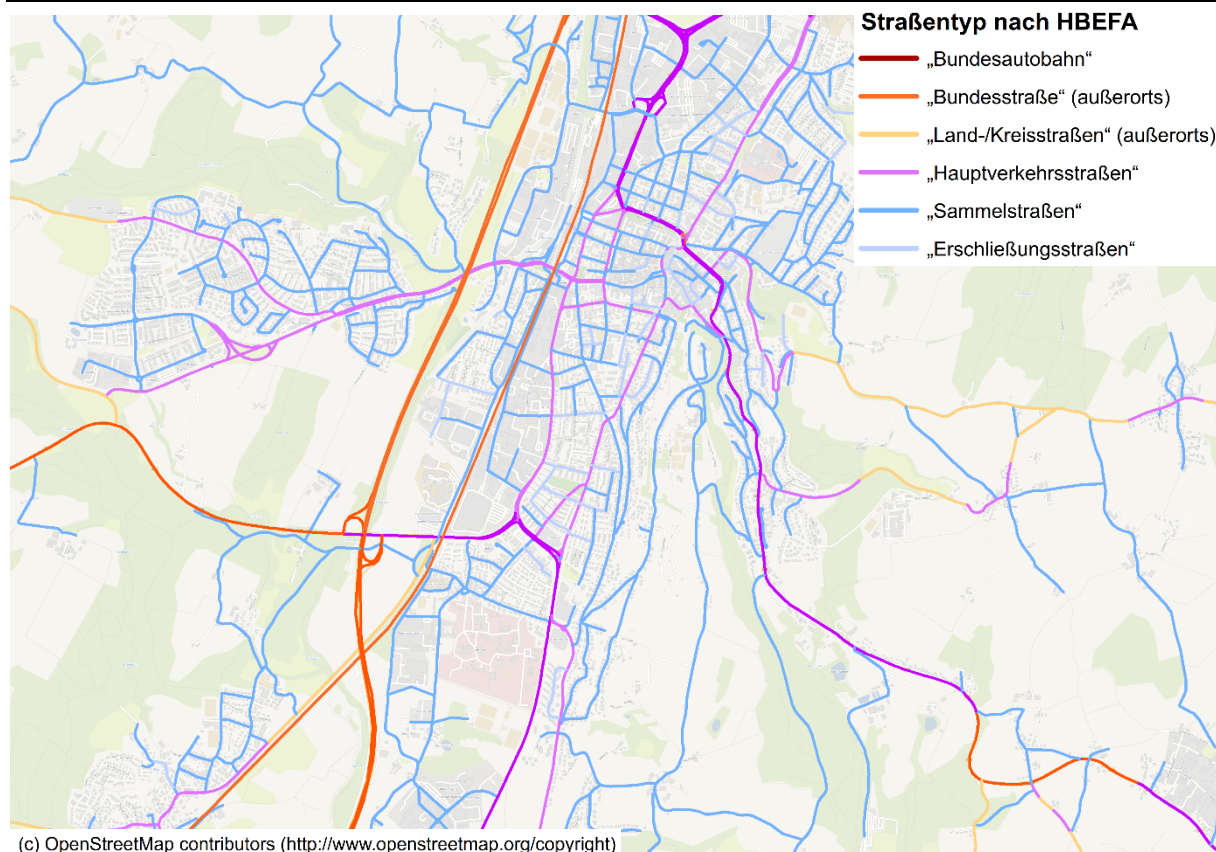


Die dargestellten Straßentypen beziehen sich auf die im HBEFA genannten Straßentypen. Die Ermittlung erfolgte pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell, kann lokal von den realen Gegebenheiten abweichen und entspricht nicht unbedingt der Baulastträgerschaft.

Ravensburg

Im Verkehrsmodell von Ravensburg war der „LinkTyp2“ nicht zu verwenden. Nach dem „LinkTyp1“ wurden aus „Living Street“ die Erschließungsstraßen und aus „Residential“ die Sammelstraßen abgeleitet. Eine teilweise weitere Zuordnung der „Residential“ zu Erschließungsstraßen wäre denkbar, ist aber nicht aus dem Modell abzuleiten und hätte jeweils eine fachliche Einschätzung und händische Bearbeitung erfordert. Für die Hauptverkehrsstraßen liegen verschiedene Typen vor, wobei Straßen höherer Hierarchie innerorts (Magistrale, Bundesstraße) ebenfalls als Hauptverkehrsstraße modelliert wurden. Insgesamt zeigt die Hierarchie eine stimmige Verteilung der Straßentypen (Abbildung 14). Eine weitere Anpassung ist nicht notwendig.

Abbildung 14: Straßentypen nach HBEFA in Ravensburg – pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell



Die dargestellten Straßentypen beziehen sich auf die im HBEFA genannten Straßentypen. Die Ermittlung erfolgte pauschalisiert aus dem Verkehrsmodell, kann lokal von den realen Gegebenheiten abweichen und entspricht nicht unbedingt der Baulastträgerschaft.

2.2.3.3 Verkehrsfluss

Der Verkehrsfluss wird anhand der stündlichen Auslastung der Streckenabschnitte aus den übermittelten Verkehrsmengen und einem Kapazitätsansatz für die Straße ermittelt. Es zeigte sich bei der Modellierung, dass die im VISUM-Verkehrsmodell hinterlegte Kapazität nicht immer ausreichend für eine Ermittlung der Auslastung für die Emissionsberechnung ist.

Als Datengrundlage für die Kapazität wurde daher auf die im Handbuch zu IMMIS^{em} hinterlegten Kapazitäten zurückgegriffen (Tabelle 2). Das Modell IMMIS^{em} wird in einer Vielzahl von Luftreinhalteplanungen in Deutschland genutzt, die Werte sind pauschalisiert. Mit dem gewählten Ansatz erhöht sich die Vergleichbarkeit des Modells mit der Luftreinhalteplanung.

Tabelle 2: Kapazitäten pro Fahrspur nach Verkehrssituation (Auswahl)

Verkehrssituation		Kapazität in Kfz pro Spur und Stunde
Agglomeration	Hauptverkehrsstraße	800
Agglomeration	Sammelstraße	700
Agglomeration	Erschließungsstraße	600

Daten aus Handbuch zu IMMIS^{em}, IVU Umwelt GmbH

2.2.3.4 Geschwindigkeiten

Für alle Straßenabschnitte liegen die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten aus Visum vor. Sofern eine Kombination von Verkehrssituation und Höchstgeschwindigkeit nicht in HBEFA 4.1 implementiert ist (Abbildung 8), wird eine abweichende Wahl getroffen. Dabei wird fachlich eingeschätzt, welche Abweichung (Geschwindigkeit oder Verkehrssituation) die geringeren Abweichungen der Emissionen hervorruft.

2.2.3.5 Steigungen

Für die Längsneigung sind nach HBEFA und TraNECaM Steigungen und Gefälle ab 2 Prozent zu berücksichtigen. Die Steigungen der Straßen werden aus den digitalen Geländemodellen ermittelt. Hierfür werden die Straßenzüge aus Visum, sofern notwendig, in kürzere Abschnitte von 100 m unterteilt, um die jeweils lokale Steigung korrekt einzuschätzen.

2.2.3.6 Weitere Parameter der Lärmberechnung

Weitere lärmrelevante Parameter sind die Straßenoberflächen und die Lage der Fahrspuren (Abstand zur Straßenmitte).

TraNECaM bietet eine große Auswahl an Straßenoberflächen, deren akustische Eigenschaften berücksichtigt werden können. In die Berechnung werden nur akustisch stark abweichende Oberflächen aufgenommen, d. h. Pflasterungen sowie lärmarme Asphalte. Da in den zur Verfügung stehenden Daten aus der Lärmkartierung der Modellstädte keine relevanten Straßenabschnitte mit lärm mindernden Straßenoberflächen dokumentiert sind, wurde für diese einheitlich ein Splitt-Mastix-Asphalt angenommen. Für die bislang nicht kartierten Abschnitte wird ebenfalls von einem Splitt-Mastix-Asphalt ausgegangen.

Für die Lärmberechnung relevant ist auch die Lage der Fahrstreifen relativ zur Straßenmitte. Diese werden in Anlehnung an die Klassifizierung der Straße (siehe Kapitel 2.2.3.2) gewählt. Hierzu werden je nach Straßentyp pauschalisierte, typische Werte pro Fahrspur angesetzt, die Anzahl der Fahrspuren wird entsprechend des Visum-Modells berücksichtigt.

2.2.4 Kenngrößen für die Auswertung der Umweltwirkungen

Die Auswertung der Umweltwirkungen erfolgt für Luftschadstoffe vereinbarungsgemäß emissionsseitig:

- ▶ Änderung der Emissionsfaktoren zur Bewertung der allgemeinen Auswirkungen der Maßnahme,
- ▶ Veränderung der absoluten Emissionen, bezogen auf das Stadtgebiet,
- ▶ Veränderungen der mittleren Emissionen pro Fahrzeugkilometer.

Für den Lärm ist eine stadtweite Aggregation der Emissionsänderung hingegen nicht möglich. Zur Identifizierung von Überlagerungseffekten, die zu einer Änderung der Immissionen führen, ist jedoch eine lokale Bewertung der Emissionsänderung hilfreich. Die absoluten Emissionspegel sind ebenfalls nur für einen lokalen Vergleich (welche Straße dominiert die Immissionssituation) anzuwenden. Die Auswertung für den Lärm greift daher auf folgende Faktoren zurück:

- ▶ Auswertung der resultierenden Emissionsfaktoren zur Bewertung der allgemeinen Auswirkungen der Maßnahmen,

- ▶ Veränderung der Betroffenheiten anhand der LKZ, bezogen auf das Stadtgebiet, um die Belastung zu bewerten,
- ▶ Veränderung der Betroffenheit, d. h. die Zu- und Abnahmen in den einzelnen Pegelklassen.

3 Ergebnisse

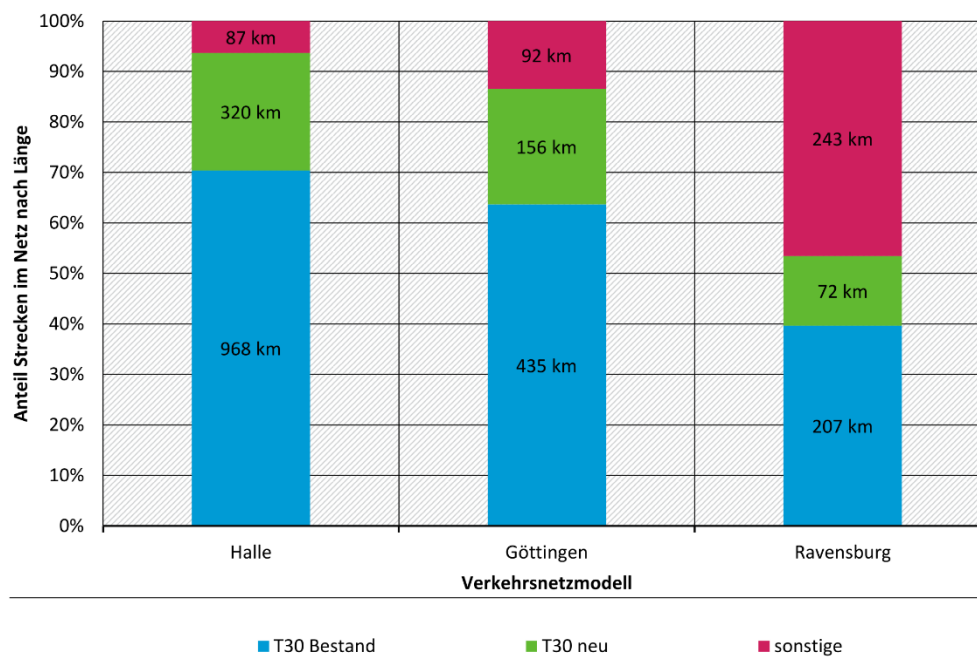
3.1 Verkehrliche Wirkungen

3.1.1 Ergebnisse der Makrosimulation mit Visum

Für die Beurteilung der Ergebnisse der Makrosimulation ist zunächst der Umfang der Tempo-30-Regelungen von Bedeutung, also der längenmäßige Anteil der Strecken, an denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h reduziert wird. Abbildung 15 zeigt die betreffenden Streckenlängen in den drei Städten. Dabei wurden alle im Netzmodell abgebildeten Strecken innerhalb der Verwaltungsgrenzen berücksichtigt. Die deutlichen Unterschiede erklären sich vor allem aus dem Anteil der besiedelten Flächen innerhalb des Gemeindegebiets. Dieser ist in Ravensburg am kleinsten, das Verwaltungsgebiet beinhaltet zahlreiche benachbarte Dörfer und land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Flächen. Entsprechend hoch ist der Anteil außerorts gelegener Landstraßen, für die die reduzierte Innerortsgeschwindigkeit nicht anwendbar ist. Bei den Städten Göttingen und Halle ist dieser Anteil deutlich geringer.

Abbildung 15: Von der auf 30 km/h reduzierten Regelgeschwindigkeit betroffene und sonstige Strecken in den Verkehrsmodellen

Zusammensetzung Streckennetze



jede Richtung wird einzeln gezählt: 100 m Straße mit
Zweirichtungsverkehr = 200 m Strecke

Quelle: ARGUS

Das Verhältnis bestehender Strecken mit Tempo 30 zu Strecken, auf denen infolge einer reduzierten Regelgeschwindigkeit Tempo 30 neu angeordnet wird, ist in allen drei Städten ähnlich und liegt bei ca. 1:3; die verminderte Regelgeschwindigkeit betrifft im Umkehrschluss ungefähr ein Viertel des innerörtlichen Straßennetzes. Dies deutet auf ähnliche Erschließungsstrukturen bzw. einen ähnlichen Aufbau der drei Verkehrsmodelle hin.

Die Verminderung der Regelgeschwindigkeit auf ungefähr einem Viertel des innerörtlichen Straßennetzes führt in den Modellen erwartungsgemäß zu sinkenden mittleren Reisegeschwindigkeiten im motorisierten Verkehr (Tabelle 3). Grundlage der Auswertung sind relationale Kenngrößen, die die Modelle für alle Beziehungen zwischen einzelnen Verkehrsbezirken ausgeben. Für die Angaben zum Quell- und Zielverkehr der Gemeinden bedeutet dies, dass die gesamte Streckenlänge bzw. Fahrzeit in die Berechnung eingeht, und nicht nur der Teil innerhalb der Gemeindegrenzen. Weiterhin ist zu beachten, dass es sich um Mittelwerte handelt, die mit dem Verkehrsaufkommen auf den jeweiligen Relationen gewichtet wurden.

Vor dem Hintergrund der möglichen Auswirkungen von Tempo 30 auf die Kapazität der Knotenpunkte ist der auf die Knotenpunkte entfallende Reisezeitanteil von Interesse. Der Knotenpunktanteil an den Reisezeiten des MIV in den Modellen schwankt zwischen 5 und 19 Prozent. Um die gesamte MIV-Reisezeit um mehr als 1 Prozent zu verlängern, müsste die Verlustzeit an Knotenpunkten also um mindestens 5,3 Prozent ansteigen ($0,01 / 0,19 = 0,053$). Die mögliche Verlängerung der Verlustzeiten auf Abbiegebeziehungen infolge von Tempo 30 dürfte sich daher nur dann erheblich (über 5 Prozent) im Nachfrage- und Umlegungsmodell auswirken, wenn sie in Größenordnungen über 20 Prozent gerät. Ob dieser Fall realistisch ist, konnte im Rahmen dieser Studie nicht abschließend beantwortet werden (vgl. Kapitel 3.1.2.2).

In den Modellen von Göttingen und Ravensburg kommt es durch Tempo 30 teilweise zu einer Abnahme der mittleren Reisezeiten und Reiseweiten im ÖPNV. Dieser Effekt kann durch einen sinkenden Anteil längerer Wege im ÖPNV hervorgerufen werden.

Tabelle 3: Mittlere Reisegeschwindigkeiten, Reisezeiten und Reiseweiten in den Verkehrsmodellen, im motorisierten Verkehr, Binnenverkehr (BV) und Quell- und Zielverkehr (QZV) der Beispielstädte

	Halle Referenz	Änderung im Planfall	Göttingen Referenz	Änderung im Planfall	Ravensburg Referenz	Änderung im Planfall
Reisegeschwindigkeit [km/h]						
BV ÖPNV	12,5	-0,3	12,4	-0,4	17,0	-1,9
QZV ÖPNV	23,5	-0,5	28,2	-0,9	16,3	-0,3
BV MIV	30,5	-4,4	24,0	-2,0	32,4	-0,1
QZV MIV	55,8	-2,1	47,1	-1,0	47,9	0,0
Reisezeit [Minuten]						
BV ÖPNV	24	+1,2	20	+0,6	30	+3,5
QZV ÖPNV	45	+1,2	51	-0,4	37	+0,5
BV MIV	9	+1,9	12	+1,1	9	+0,6
QZV MIV	22	+1,5	34	+0,7	21	+0,4
Reiseweite [km]						
BV ÖPNV	5,0	+0,1	4,1	0,0	8,6	-0,1
QZV ÖPNV	17,9	+0,1	23,8	-0,9	9,9	-0,1
BV MIV	4,7	+0,1	4,8	+0,0	4,7	+0,3
QZV MIV	20,0	+0,6	26,9	+0,0	16,6	+0,3

Die Fahrleistung in den Modellen wird durch Multiplikation der Streckenlänge mit der Verkehrsbelastung für jede Strecke im Gemeindegebiet berechnet. Insgesamt sinkt die Fahrleistung im jeweiligen Gemeindegebiet infolge von Tempo 30 (Tabelle 4). Differenziert man die Fahrleistung

nach Innerorts- und Außerorts-Strecken, zeigt sich in den Modellen von Halle und Ravensburg innerorts ein Rückgang der Fahrleistung und außerorts ein Anstieg. Im Modell von Göttingen stellt sich innerorts wie außerorts ein ähnlich starker Rückgang der Fahrleistung ein. Die Unterschiede ergeben sich aus der jeweiligen Siedlungs- und Erschließungsstruktur: In Halle und Ravensburg stehen im Gemeindegebiet anbaufreie Alternativrouten ohne Geschwindigkeitsreduktion zur Verfügung, während sich der Verkehr in Göttingen auch innerhalb bebauter Bereiche verlagert (vgl. Kapitel 3.1.1.1 ff.).

Tabelle 4: Werk tägliche Fahrleistung in den Verkehrsmodellen [Fzg-km/24h]

	Halle	Göttingen	Ravensburg
Alle Strecken			
Pkw-km Analysefall (Bestand)	2,1 Mio. km/24h	1,6 Mio. km/24h	1,1 Mio. km/24h
Veränderung Pkw-km im Planfall T30	-2,5 %	-2,7 %	-0,5 %
Veränderung Kfz-km im Planfall T30	-3,2 %	-2,5 %	-0,5 %
Innerorts			
Pkw-km Analysefall (Bestand)	1,4 Mio. km/24h	1,1 Mio. km/24h	0,5 Mio. km/24h
Veränderung Pkw-km im Planfall T30	-8,5 %	-2,5 %	-3,1 %
Veränderung Kfz-km im Planfall T30	-9,0 %	-2,3 %	-3,1 %
Außerorts			
Pkw-km Analysefall (Bestand)	0,7 Mio. km/24h	0,5 Mio. km/24h	0,7 Mio. km/24h
Veränderung Pkw-km im Planfall T30	+9,4 %	-3,0 %	+1,3 %
Veränderung Kfz-km im Planfall T30	+8,6 %	-3,3 %	+1,2 %

Hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl hat die verminderte Regelgeschwindigkeit sinkende Anteile des motorisierten Verkehrs zugunsten der nichtmotorisierten Modi Fuß und Rad zur Folge (Tabelle 5). Der Effekt zeigt sich am stärksten in Halle. Dies korrespondiert mit der stärksten Reduktion der Reisegeschwindigkeit für den MIV in Halle (Tabelle 3). Beides wird dadurch begünstigt, dass in größeren Städten tendenziell längere Strecken von der verminderten Regelgeschwindigkeit betroffen sind. Die geringfügige Zunahme des MIV in Ravensburg kann durch die Reisezeitverlängerungen im ÖPNV hervorgerufen werden.

Zu beachten ist, dass die in Tabelle 5 ausgewiesenen Modal-Split-Anteile nicht mit denen der betreffenden Haushaltsbefragungen (Gerike, et al., 2019), (LK Argus, 2016), (brenner BERNARD, 2018) vergleichbar sind, da die hier ausgewiesenen Wege auch die Wege von Einfahrenden in die Stadt berücksichtigen, die keine Einwohner sind.

Tabelle 5: Modal Split im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr (QZBV) der Beispielstädte

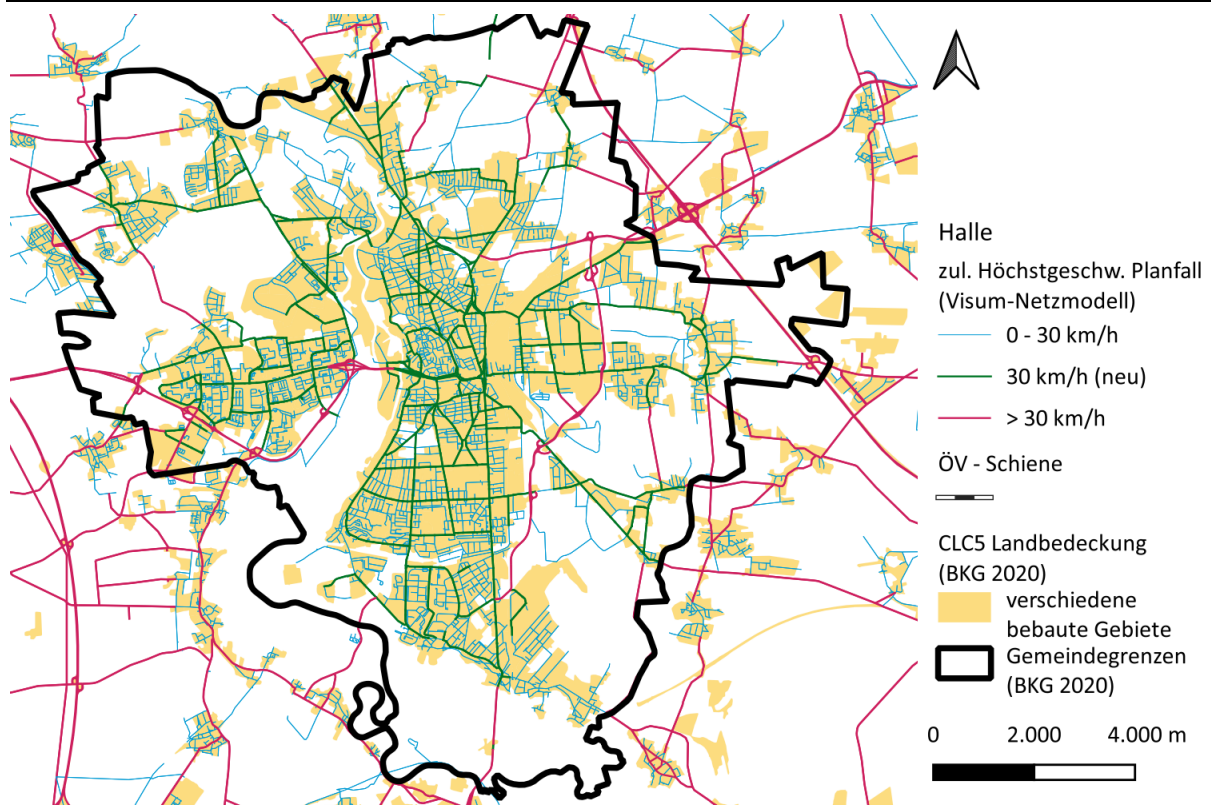
	Halle Referenz	Göttingen Referenz	Ravensburg Referenz	Halle Planfall	Göttingen Planfall	Ravensburg Planfall
NMIV	35,7 %	32,1 %	32,7 %	+2,5 %	+0,5 %	+0,5 %
MIV	47,5 %	55,0 %	61,2 %	-1,7 %	-0,5 %	+0,1 %
ÖPNV	16,8 %	12,9 %	6,1 %	-0,8 %	-0,0 %	-0,6 %

In den folgenden Kapiteln werden die Auswirkungen von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit in den Beispielstädten räumlich differenzierter betrachtet.

3.1.1.1 Halle

Bei dem für die Stadt Halle verwendeten Verkehrsmodell handelt es sich um ein Prognosemodell, das nach Aussage der örtlichen Fachleute zur Darstellung der gegenwärtigen Verkehrssituation geeigneter ist als das zugrunde liegende Analysemodell (yverkehrsplanung, 2016). Abbildung 16 zeigt die Verwaltungsgrenzen der Stadt Halle, die bebauten Bereiche und das Verkehrsnetzmodell. Die Strecken sind entsprechend der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Planfall farblich differenziert. Unterschieden wird zwischen Tempo 30 oder weniger im Bestand, Tempo 30 im Planfall und Strecken mit höheren Geschwindigkeiten im Planfall. Abgesehen von kleineren anbaufreien Strecken sind im Planfall nur die B 80, die B 100 und die Europachaussee von der verminderten Regelgeschwindigkeit ausgenommen.

Abbildung 16: Streckennetzmodell der Stadt Halle (Saale) – Planfall 30 km/h als Regelgeschwindigkeit. In Rot hervorgehoben sind Ausnahmen mit höherer Höchstgeschwindigkeit

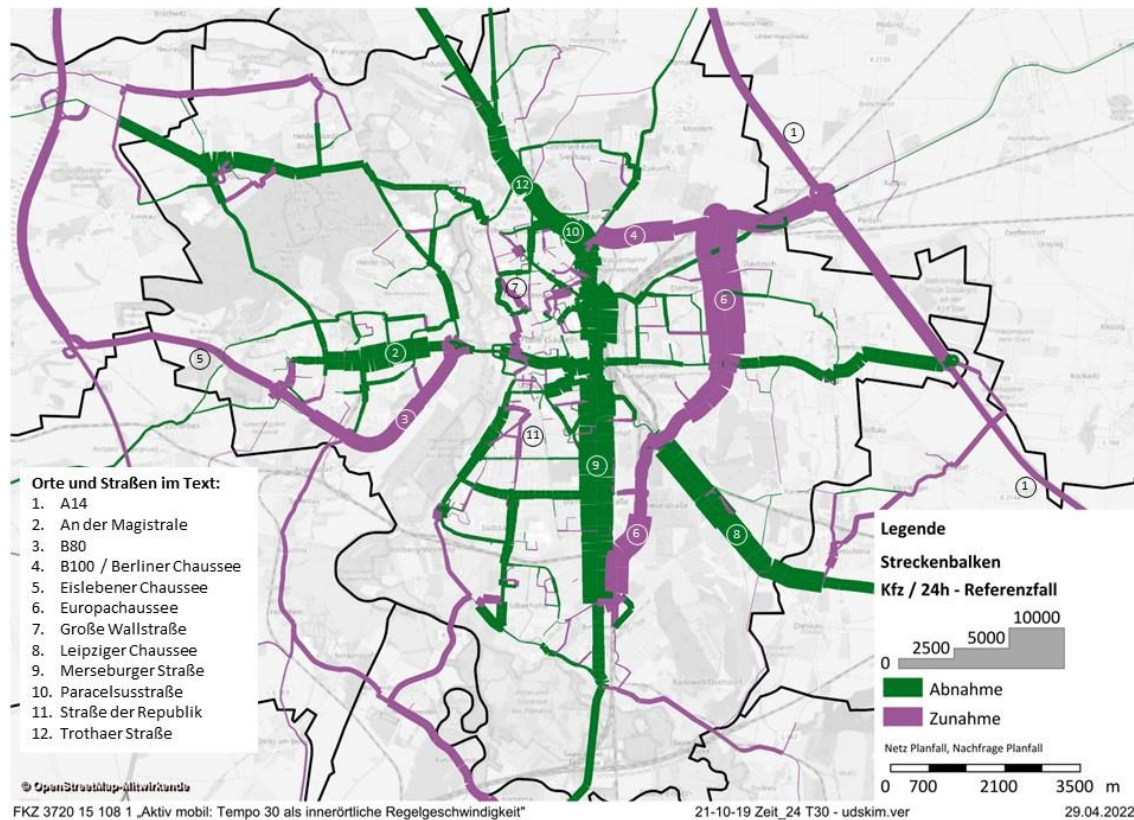


Deutliche Verlagerungswirkungen zeigen sich bei der Routenwahl im motorisierten Individualverkehr (Abbildung 17). Hauptverkehrsstraßen mit reduzierter zulässiger Höchstgeschwindigkeit werden stark entlastet. Das betrifft z. B. die Bundesstraße 6 im Norden (Trothaer Straße, Paracelsusstraße) und Südosten (Leipziger Chaussee), die Bundesstraße 91 im Süden (Merseburger Straße) und die L 159 im Westen (An der Magistrale). Geeignete Alternativrouten mit unverändert höherer zulässiger Geschwindigkeit werden entsprechend stärker belastet, wie z. B. die Autobahn 14 (120-130 km/h), die Bundesstraße 100 (Berliner Chaussee, 50-100 km/h) und die Europachaussee im Osten (70 km/h) oder die Bundesstraße 80 (Eislebener Chaussee, 70-100 km/h) im Westen.

Im Zentrum werden einige Strecken stärker belastet, deren relative Attraktivität für den MIV durch die verminderte Regelgeschwindigkeit zunimmt, z. B. die Straße der Republik im Stadtteil Gesundbrunnen oder die Große Wallstraße in der nördlichen Innenstadt. Diese Effekte entstehen teilweise unterhalb der räumlichen Auflösung des Verkehrsnachfragemodells. Hier ist im

Einzelfall zu prüfen, ob es sich um einen plausiblen Hinweis auf mögliche nachteilige Verlagerungswirkungen oder eher ein rechnerisches Artefakt handelt.

Abbildung 17: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Halle



Um die Auswirkungen der veränderten Verkehrsnachfrage einerseits und der veränderten Routenwahl andererseits separat zu betrachten, wurden zwei weitere Modellrechnungen durchgeführt. Den Effekt der Nachfrageveränderung zeigt die Umlegung der im Tempo 30 – Szenario berechneten Verkehrsnachfrage im Netzmodell des Referenzfalls (Abbildung 18). Legt man die Verkehrsnachfrage des Referenzfalls im Netzmodell des Tempo 30 – Planfalls um, zeigen sich ausschließlich Effekte der veränderten Routenwahl (Abbildung 19).

Die differenzierte Betrachtung zeigt, dass der verminderte MIV-Anteil im Modal Split für sich genommen einen schwachen, aber flächendeckenden Rückgang der Verkehrsbelastungen im Stadtgebiet zur Folge hätte (Abbildung 18). Dagegen sind infolge der veränderten Routenwahl deutlich stärkere Zu- und Abnahmen in der Verkehrsbelastung zu sehen (Abbildung 19). Ein Großteil der insgesamt zu beobachtenden Auswirkungen auf die Verkehrsbelastungen einzelner Strecken ist demnach auf die veränderte Routenwahl zurückzuführen.

Dies zeigt sich auch in der Auswertung der Fahrleistung für verschiedene Streckentypen im Stadtgebiet in Tabelle 6. Eine rückläufige Fahrleistung ergibt sich für das Stadtgebiet und Innerortsstrecken insgesamt. Die Fahrleistung sinkt auch auf Strecken, die im Bestand eine Höchstgeschwindigkeit zwischen 30 und 50 km/h haben, da viele von diesen Strecken im Planfall von der reduzierten Regelgeschwindigkeit betroffen sind. Für die Strecken, deren zulässige Höchstgeschwindigkeit im Planfall nicht verändert wird, steigt hingegen die Fahrleistung. Das betrifft auch Strecken, die bereits im Bestand eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h oder weniger haben.

**Abbildung 18: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Halle infolge ver-
änderter Verkehrsnachfrage im MIV**

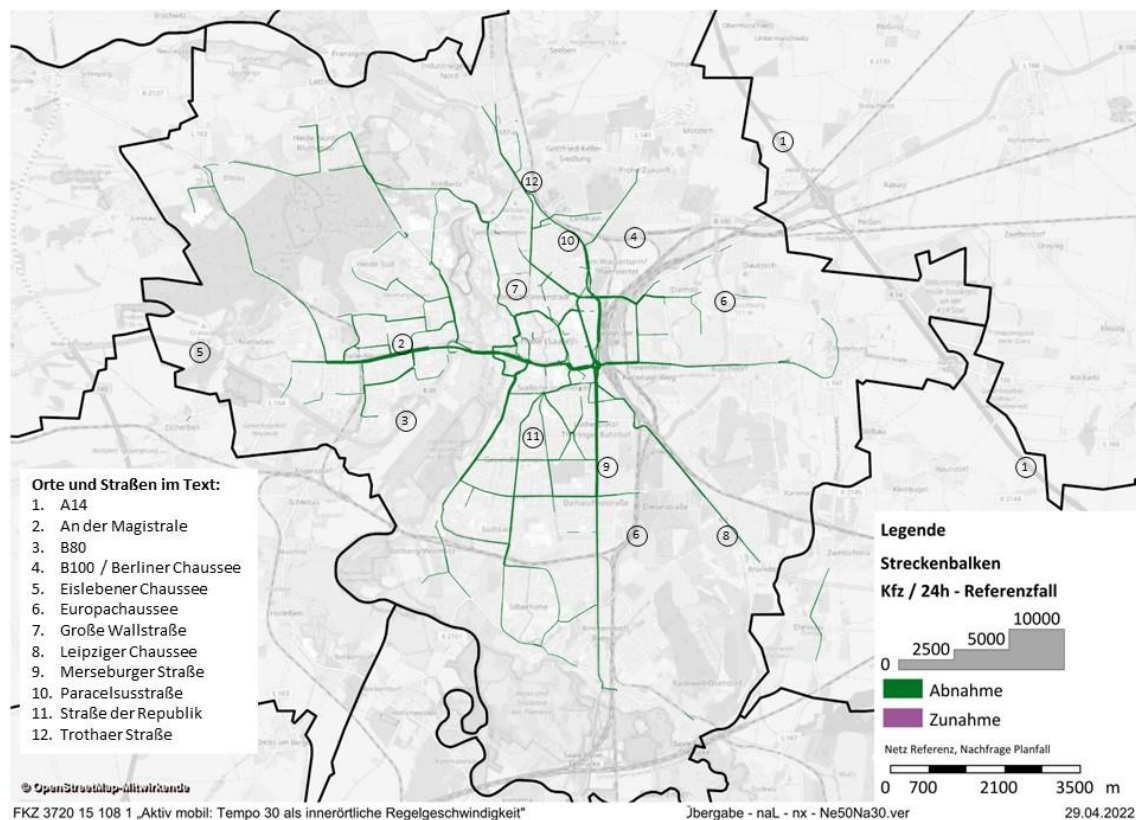


Abbildung 19: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Halle infolge veränderter Routenwahl im MIV

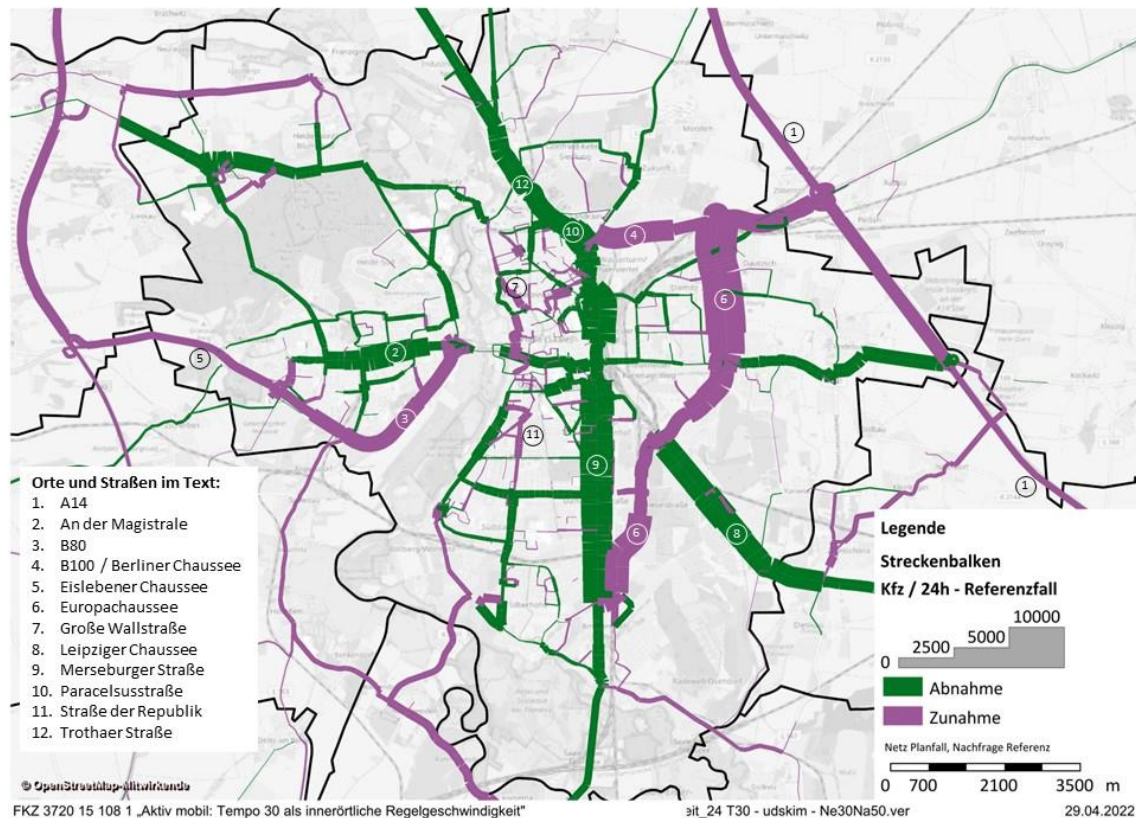


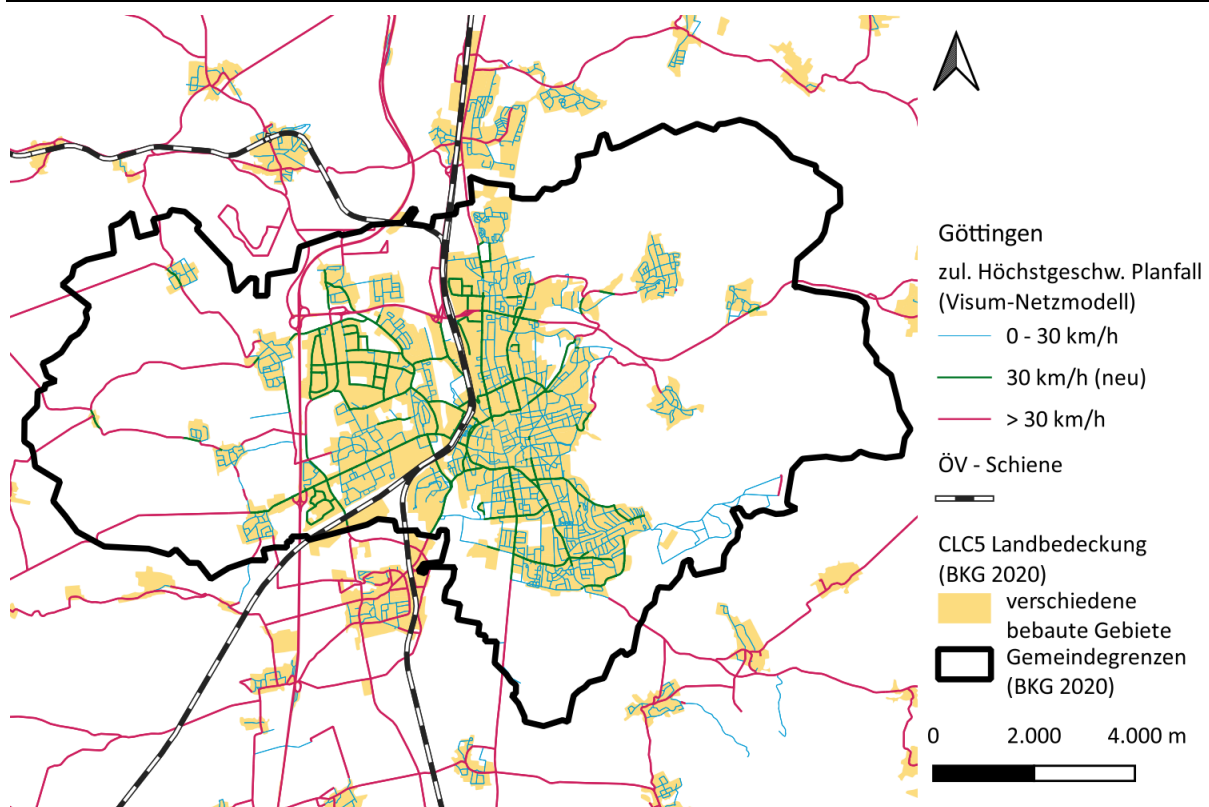
Tabelle 6: Werktägliche Pkw-Fahrleistung im Visum-Modell Halle [Pkw-km/24h]

	a) Nachfrage Referenz Netz Referenz: Referenzszenario	b) Nachfrage Referenz Netz Planfall: Routenwahl verändert	c) Nachfrage Planfall Netz Referenz: Nachfrage verändert	d) Nachfrage Planfall Netz Planfall: Routenwahl und Nachfrage verändert
Gemeindegebiet gesamt	2.149.010	2.136.666	2.106.528	2.094.279
innerorts	1.434.413	1.347.253	1.398.407	1.312.369
außerorts	714.597	789.413	708.120	781.910
innerorts Straßen mit bis 30 km/h im Bestand	180.258	210.483	174.221	203.403
innerorts Straßen mit bis 30 km/h im Planfall (neu)	1.052.301	904.942	1.023.166	878.149
alle Straßen mit bis 30 km/h im Bestand	190.291	223.094	184.019	215.697
alle Straßen über 30, bis 50 km/h im Bestand	1.227.242	1.085.601	1.195.105	1.055.728
alle Straßen über 50, bis 80 km/h im Bestand	482.205	536.969	478.748	532.786
alle Straßen über 80 km/h im Bestand	249.273	291.002	248.656	290.068

3.1.1.2 Göttingen

Das Verkehrsmodell für Göttingen wurde 2012 aufgebaut. 2016/2017 wurde das ÖPNV-Angebot im Modell aktualisiert (ARGUS, 2017). Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde das IV-Netz punktuell aktualisiert, eine neuerliche Kalibrierung des Modells ist jedoch erst nach der nächsten turnusmäßigen Mobilitätsbefragung vorgesehen. Für die lokale Verkehrsplanung sind die Ergebnisse daher nur eingeschränkt verwendbar. Abbildung 20 zeigt die Modellierung der reduzierten Regelgeschwindigkeit im Verwaltungsgebiet der Stadt Göttingen. Abgesehen von einigen anbaufreien Strecken sind nur die BAB A 7 und der Autobahnzubringer Göttingen Nord von der Maßnahme ausgenommen.

Abbildung 20: Streckennetz der Stadt Göttingen. Hervorgehoben sind Ausnahmen von einer allgemeinen zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h

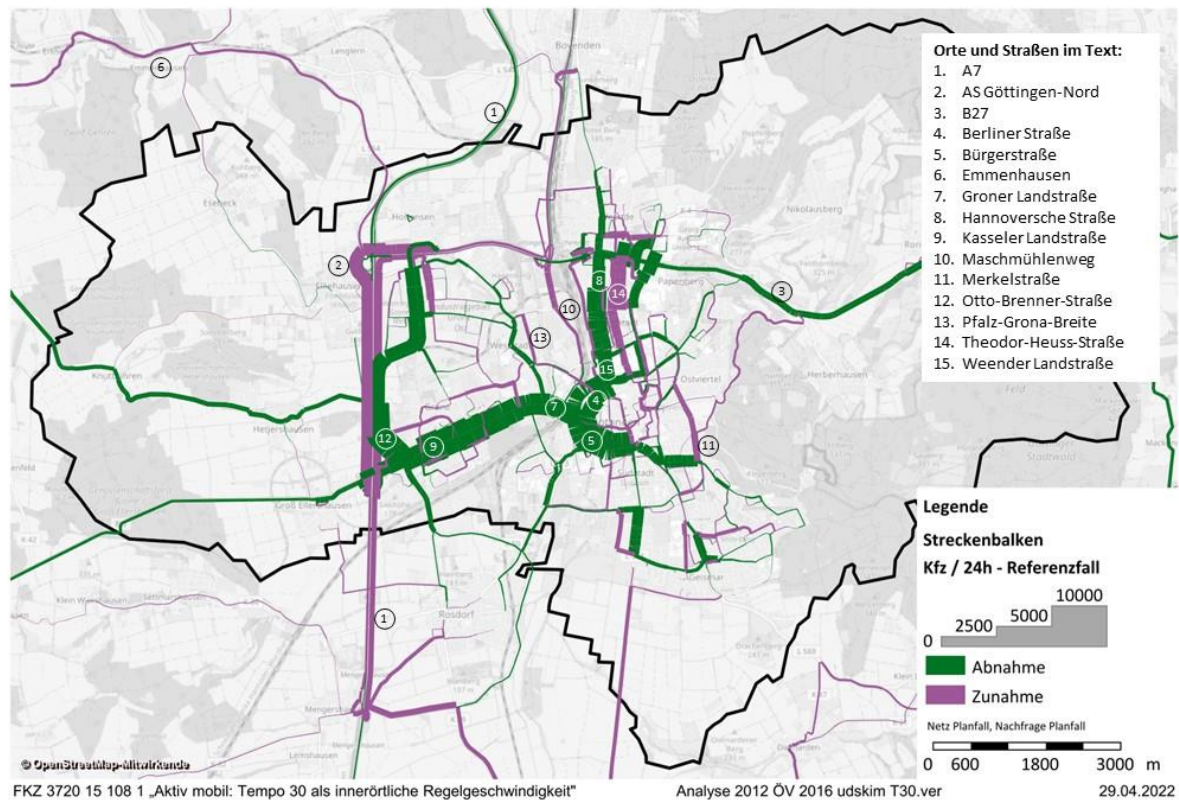


Deutliche Verlagerungswirkungen zeigen sich bei der Routenwahl im motorisierten Individualverkehr (Abbildung 21). Hauptverkehrsstraßen mit reduzierter zulässiger Höchstgeschwindigkeit werden stark entlastet. Das betrifft z. B. die Bundesstraße 3 im Norden (Hannoversche Straße, Weender Landstraße) und die zentrale Ringstraße (Berliner Straße, Bürgerstraße), die Bundesstraße 3 im Westen (Groner Landstraße, Kasseler Landstraße) und die K 36 Otto-Brenner-Straße sowie die Siekhöhenallee als Verlängerung der Otto-Brenner-Straße nach Süden parallel zur Autobahn A 7. Geeignete Alternativrouten mit unverändert höherer zulässiger Geschwindigkeit werden entsprechend stärker belastet, wie z. B. die Autobahn A 7 im Westen.

Ein nicht unerheblicher Teil der Verkehre wird jedoch auch ins nachgeordnete Netz verlagert, z. B. auf die Theodor-Heuss-Straße nördlich des Zentrums, die Merkelstraße östlich davon oder die beiderseits der Leine verlaufenden Straßen Maschmühlenweg und Pfalz-Grona-Breite. Zwar können die im Modell sichtbaren Verlagerungen auf den vorhandenen Verkehrsanlagen (Abbiegefahrstreifen etc.) vor Ort möglicherweise nicht in vollem Umfang abgewickelt werden, so dass sie sich nur teilweise in der Realität einstellen würden. Der modellierte Umfang ist jedoch ein

deutlicher Hinweis darauf, dass bei einer reduzierten Regelgeschwindigkeit flankierende Maßnahmen zur Verkehrslenkung in den betreffenden Bereichen geprüft werden sollten.

Abbildung 21: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Göttingen



Im Modell von Göttingen ist darüber hinaus zu beobachten, dass der Binnen-, Quell- und Zielverkehr des Gemeindegebiets im Szenario mit Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit insgesamt leicht rückläufig ist (um ca. 2.000 Wege/d). Neben einer veränderten Routenwahl mit einer mehr oder weniger weiträumigen Umgehung des Stadtgebiets ist auch eine veränderte Zielwahl zu beobachten. Einige Aktivitäten werden nicht in Göttingen, sondern andernorts durchgeführt.

Die Auswirkungen, die die veränderte Verkehrsnachfrage einerseits und die veränderte Routenwahl andererseits auf die Belastungen haben, lassen sich auch separat visualisieren. Dazu wird die im Tempo 30 – Szenario berechnete Verkehrsnachfrage im Netzmodell des Referenzfalls umgelegt, um ausschließlich den Effekt der Nachfrageveränderung darzustellen (Abbildung 22). Legt man die Verkehrsnachfrage aus dem Referenzfall im Netzmodell des Tempo 30 – Planfalls um, zeigen sich ausschließlich Effekte der veränderten Routenwahl (Abbildung 23).

Die veränderte Verkehrsnachfrage allein würde in Göttingen zu einem leichten Rückgang der Verkehrsbelastungen im Stadtgebiet sowie auf einigen radialen Strecken führen. Hier ergeben sich auch jenseits der Gemeindegrenzen leichte Abnahmen der Verkehrsbelastungen, was auf eine veränderte Verkehrsmittelwahl im Quell- und Zielverkehr der Stadt hinweist. Vereinzelt deuten sich auch Zunahmen an, z. B. in Abbildung 22 im Nordwesten bei Emmenhausen. Hier kann eine veränderte Zielwahl der Verkehre ursächlich sein.

Wie beim Modell der Stadt Halle fallen auch in Göttingen die Auswirkungen der veränderten Routenwahl im MIV deutlich stärker aus. Die veränderte Routenwahl im MIV bestimmt entsprechend der Lage und dem Umfang weitgehend den Gesamteffekt. Innerorts führt die veränderte

Verkehrsnachfrage zu einer etwas stärkeren Verminderung der Pkw-Fahrleistung als die veränderte Routenwahl. Die Fahrleistung steigt aber außerorts infolge der Routenwahl nicht an (Tabelle 7), anders als beim Modell von Halle. Die Verlagerung geht im Modell Göttingen folglich weniger zu Lasten der Außerortsstrecken im Gemeindegebiet. Dazu trägt bei, dass sich die Routenwahl im Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr weiträumig ändert und einen Rückgang der Verkehrsbelastung z. B. auf der B 27 im Osten und der B 3 im Westen hervorruft (Abbildung 23). Auf den Straßen, die bereits im Bestand eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h haben, nimmt die Fahrleistung in der Summe zu.

Abbildung 22: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Göttingen infolge veränderter Verkehrsnachfrage

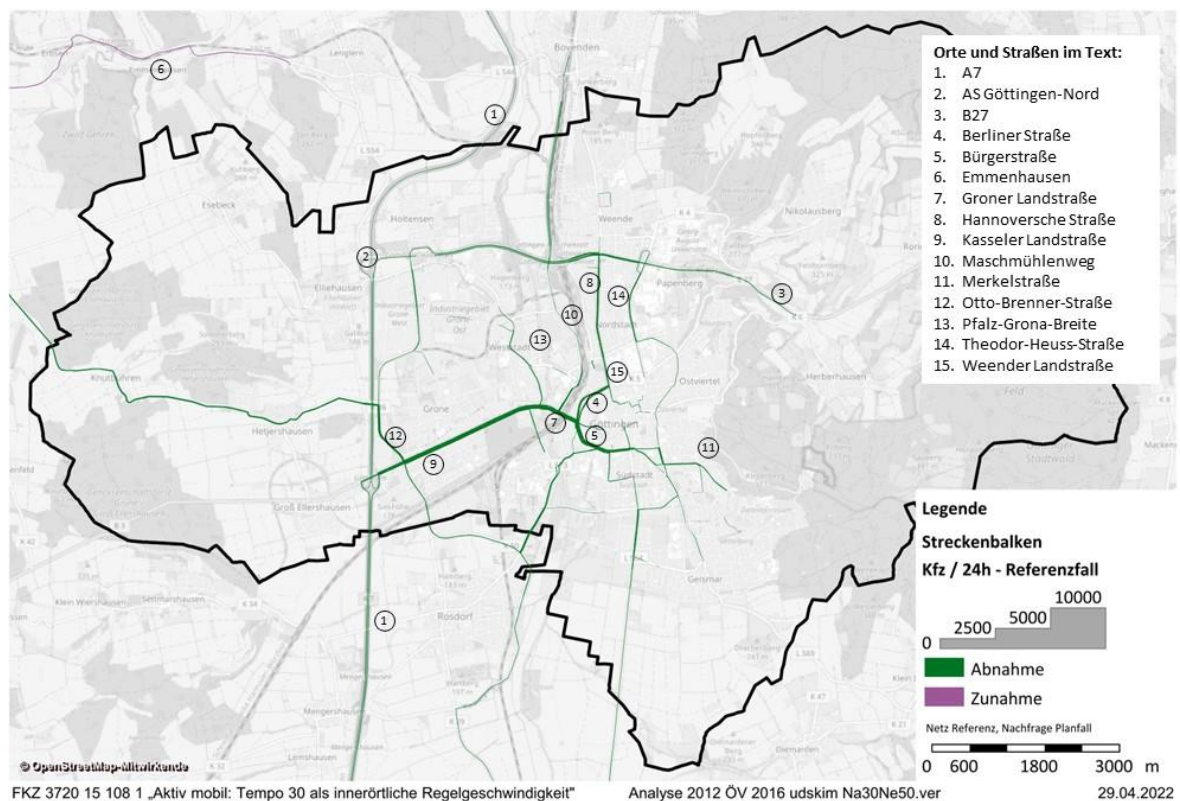


Abbildung 23: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Göttingen infolge veränderter Routenwahl im MIV

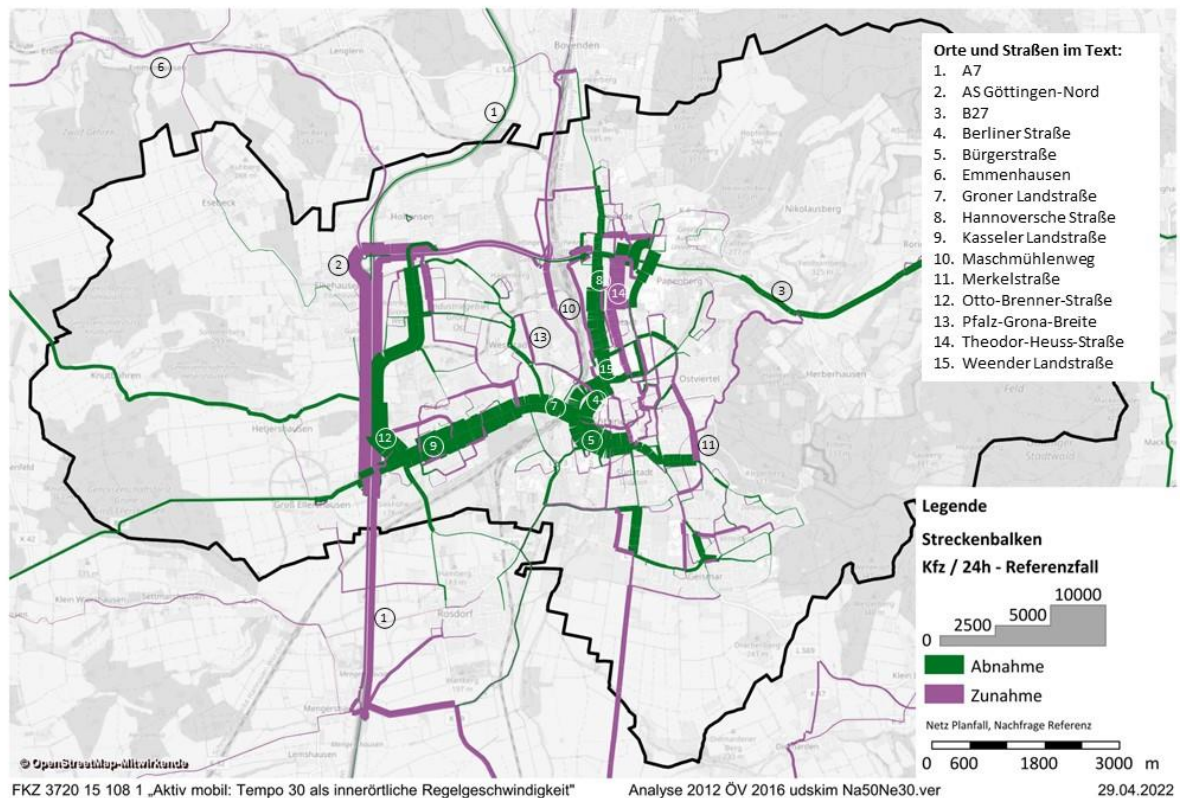


Tabelle 7: Werktägliche Pkw-Fahrleistung im Visum-Modell Göttingen [Pkw-km/24h]

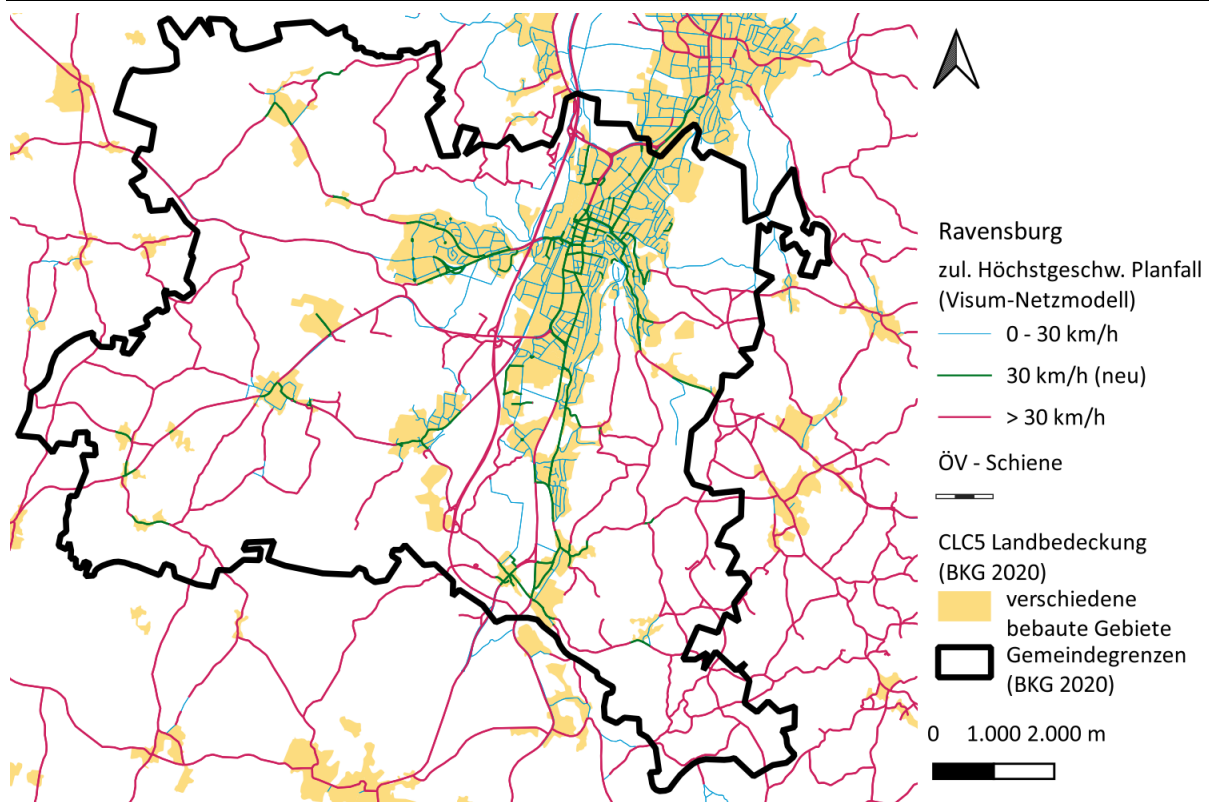
	a) Nachfrage Referenz Netz Referenz: Referenzszenario	b) Nachfrage Referenz Netz Planfall: Routenwahl verändert	c) Nachfrage Planfall Netz Referenz: Nachfrage verändert	d) Nachfrage Planfall Netz Planfall: Routenwahl und Nachfrage verändert
Gemeindegebiet gesamt	1.570.629	1.551.977	1.547.613	1.528.714
Innerorts	1.115.687	1.104.938	1.098.093	1.087.593
Außerorts	454.942	447.040	449.519	441.121
innerorts Straßen mit bis 30 km/h im Bestand	169.714	197.817	167.117	194.976
innerorts Straßen mit bis 30 km/h im Planfall (neu)	486.927	426.217	474.288	415.767
alle Straßen mit bis 30 km/h im Bestand	184.192	213.793	181.427	210.573
alle Straßen über 30, bis 50 km/h im Bestand	385.572	366.115	378.732	359.120
alle Straßen über 50, bis 80 km/h im Bestand	440.827	397.384	431.058	389.450
alle Straßen über 80 km/h im Bestand	560.038	574.685	556.396	569.571

Der Rückgang der Fahrleistung stellt sich im Rahmen dieser Modellbetrachtung etwas schwächer dar als in der 2014 im Rahmen des Klimaplan Verkehrsentwicklung (LK Argus, 2014) durchgeführten Modellrechnung zu einer reduzierten Regelgeschwindigkeit in Göttingen. In den damaligen Modellrechnungen lag der Rückgang der Fahrleistung bei ca. 4 Prozent, während er in dieser Studie unter 3 Prozent liegt (Tabelle 7). Eine Vergleichbarkeit ist jedoch nur bedingt gegeben, u. a. weil 2014 mit einem Prognosemodell und einer einfacheren Modellierungs- und Auswertungsmethodik gearbeitet wurde.

3.1.1.3 Ravensburg

Das Modell Ravensburg wurde im Rahmen der Luftreinhalteplanung entwickelt (IVU; brenner BERNARD, 2018) und seitdem punktuell fortgeschrieben. Die Verwendung im Rahmen dieser Studie erforderte eine flächendeckende Anpassung von Parametern des Streckennetzes, so dass die folgenden Ergebnisse nur in allgemeiner Form für die lokale Verkehrsplanung verwendet werden können.

Abbildung 24: Streckennetz der Stadt Ravensburg. Hervorgehoben sind Ausnahmen von einer allgemeinen zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h



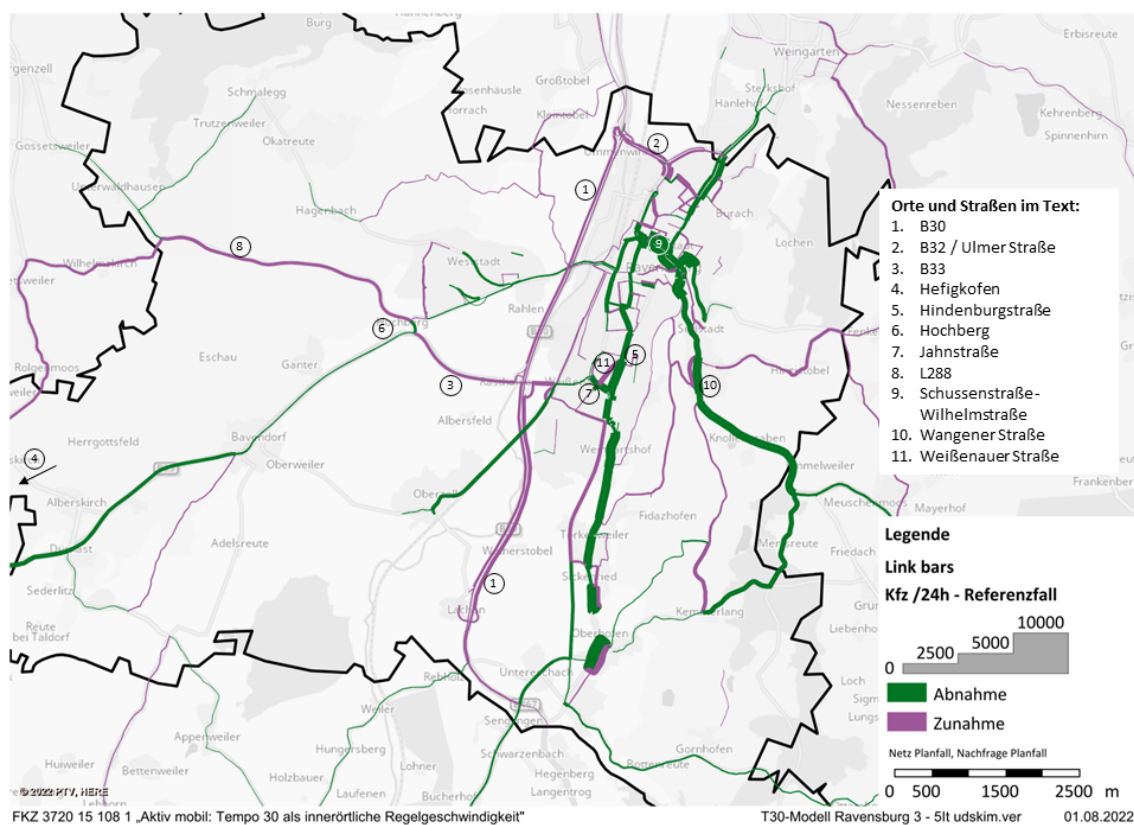
Deutliche Verlagerungswirkungen zeigen sich bei der Routenwahl im motorisierten Individualverkehr (Abbildung 25). Hauptverkehrsstraßen mit reduzierter zulässiger Höchstgeschwindigkeit werden stark entlastet. Das betrifft z. B. den Straßenzug Schussenstraße – Wilhelmstraße im Zentrum, die Wangener Straße im Südosten und die Hindenburgstraße im Süden. Geeignete Alternativrouten mit unverändert höherer zulässiger Geschwindigkeit werden entsprechend stärker belastet, wie z. B. die Bundesstraßen 30 und 33 im Westen oder die Bundesstraße 32 (Ulmer Straße) im Norden.

In der weiteren Umgebung zeigt das Modell Verlagerungen im klassifizierten Straßennetz, die eine großräumige Umfahrung von Strecken mit reduzierter Geschwindigkeit andeuten, z. B.

zwischen der Bundesstraße 32 im Südwesten und der Landesstraße 288 im Westen. Diese Modell-Effekte sind kritisch zu betrachten, denn das Modell reagiert im genannten Beispiel auf eine Reisezeitdifferenz von weniger als 20 Sekunden auf der 8 bzw. 11 km langen Route zwischen Hefigkofen und Hochberg.

Im Zentrum werden einige Strecken stärker belastet, deren relative Attraktivität durch die verminderte Regelgeschwindigkeit zunimmt, z. B. die Weißenauer Straße als Abkürzung zwischen Hindenburg- und Jahnstraße. Diese Effekte entstehen teilweise unterhalb der räumlichen Auflösung des Verkehrsnachfragemodells. Auch hier ist im Einzelfall zu prüfen, ob es sich um einen plausiblen Hinweis auf mögliche nachteilige Wirkungen oder um ein rechnerisches Artefakt handelt.

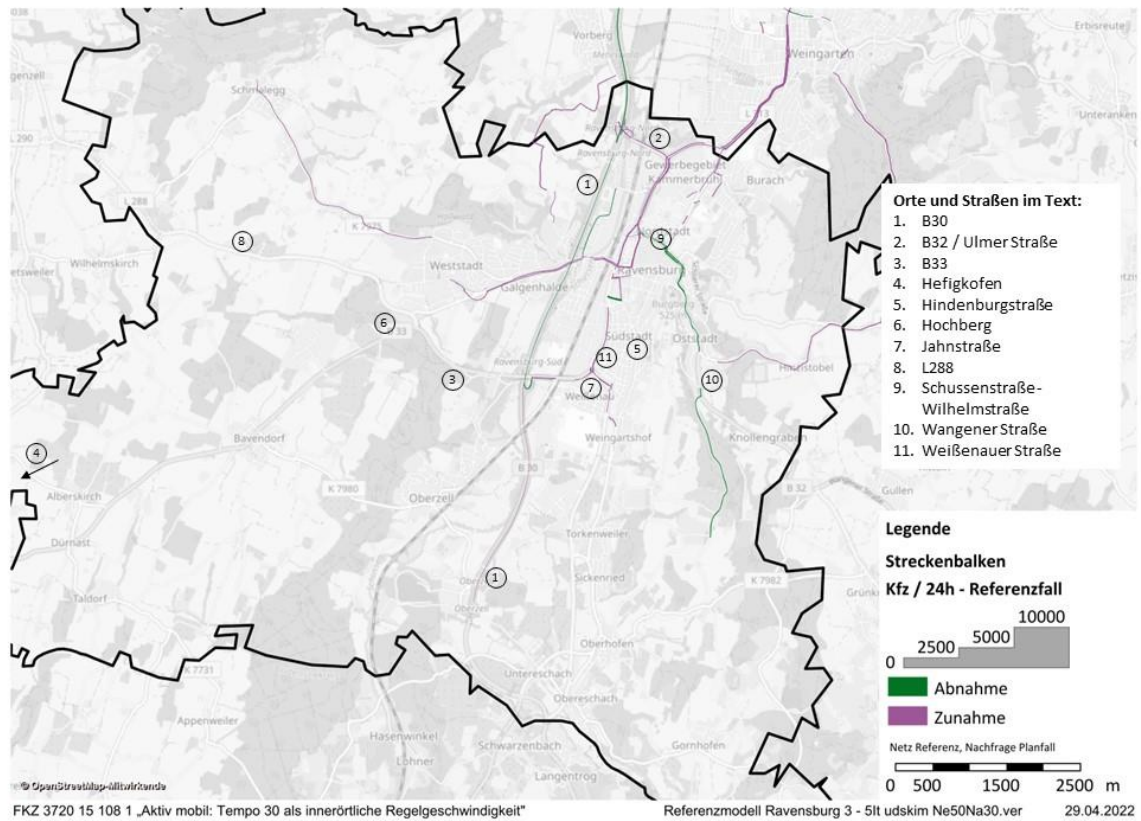
Abbildung 25: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Ravensburg



Die Auswirkungen, die die veränderte Verkehrsnachfrage einerseits und die veränderte Routenwahl andererseits auf die Belastungen haben, lassen sich auch separat visualisieren. Dabei wird die im Tempo 30 – Szenario berechnete Verkehrsnachfrage im Netzmodell des Referenzfalls umgelegt, um ausschließlich den Effekt der Nachfrageveränderung darzustellen (Abbildung 26). Legt man die Verkehrsnachfrage aus dem Referenzfall im Netzmodell des Tempo 30 – Planfalls um, zeigen sich ausschließlich Effekte der veränderten Routenwahl (Abbildung 27).

Die Veränderung der Nachfrage im Modell Ravensburg führt, für sich genommen, zu einem leichten Anstieg der Pkw-Fahrleistung im Gemeindegebiet (Tabelle 8). Dieser korrespondiert mit dem geringfügigen Anstieg des MIV-Anteils im Modal Split (Tabelle 5). Wie bei den beiden anderen Beispielkommunen sind die Effekte der veränderten Routenwahl wesentlich stärker. Die Routenwahleffekte gehen im Modell der Stadt Ravensburg stärker zu Lasten der Außerortsstrecken, auf denen die Fahrleistung deutlich ansteigt.

**Abbildung 26: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Ravensburg in-
folge veränderter Verkehrsnachfrage**



**Abbildung 27: Zu- und Abnahmen der Verkehrsbelastungen [Kfz/24h] im Modell Ravensburg in-
folge veränderter Routenwahl im MIV**

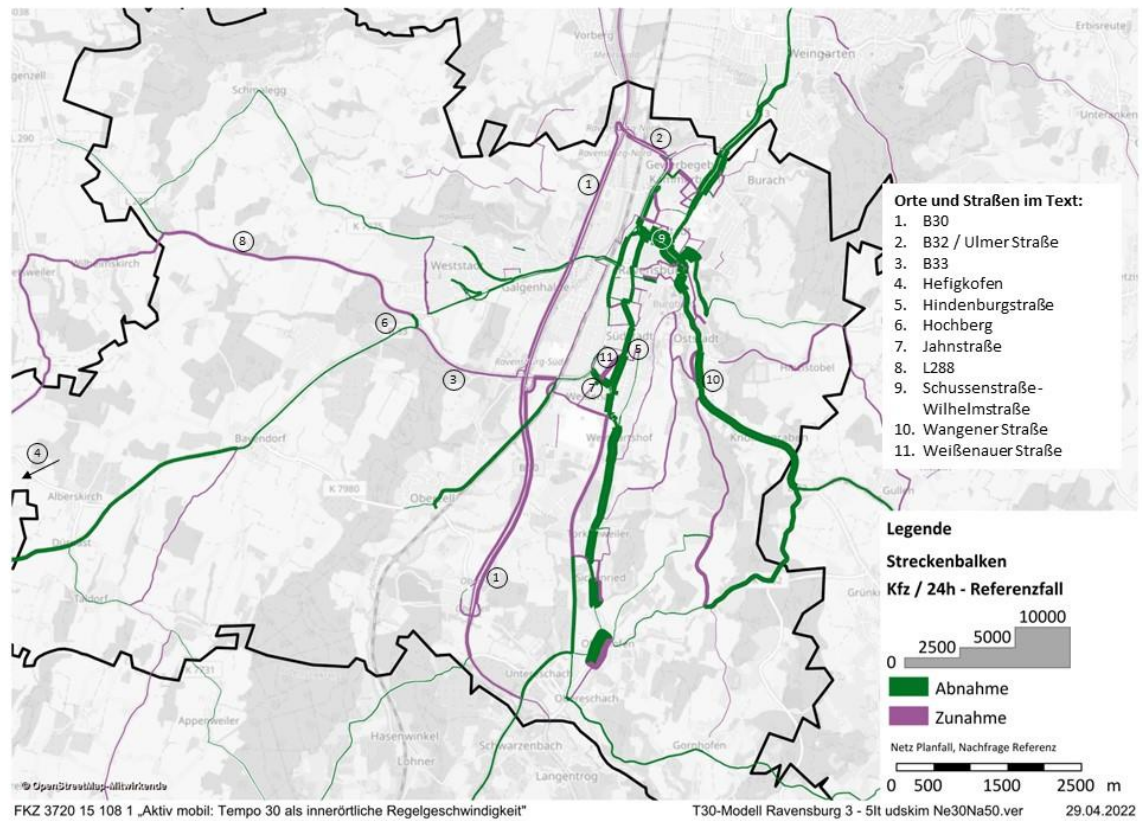


Tabelle 8: Werktägliche Pkw-Fahrleistung im Visum-Modell Ravensburg [Pkw-km/24h]

	a) Nachfrage Referenz Netz Referenz: Referenzszenario	b) Nachfrage Referenz Netz Planfall: Routenwahl verändert	c) Nachfrage Planfall Netz Referenz: Nachfrage verändert	d) Nachfrage Planfall Netz Planfall: Routenwahl und Nachfrage verändert
Gemeindegebiet gesamt	1.140.755	1.133.552	1.143.278	1.135.180
innerorts	457.017	440.638	459.328	442.674
außerorts	683.739	692.914	683.950	692.506
innerorts Straßen mit bis 30 km/h im Bestand	102.175	111.970	103.087	112.842
innerorts Straßen mit bis 30 km/h im Planfall (neu)	274.363	247.836	275.178	248.221
alle Straßen mit bis 30 km/h im Bestand	110.972	121.505	111.918	122.418
alle Straßen über 30, bis 50 km/h im Bestand	488.362	469.122	489.779	470.214
alle Straßen über 50, bis 80 km/h im Bestand	115.892	108.739	116.590	109.196
alle Straßen über 80 km/h im Bestand	425.530	434.185	424.992	433.353

3.1.2 Ergebnisse der Mikrosimulation mit Vissim

3.1.2.1 Verkehrssituation im Bestand

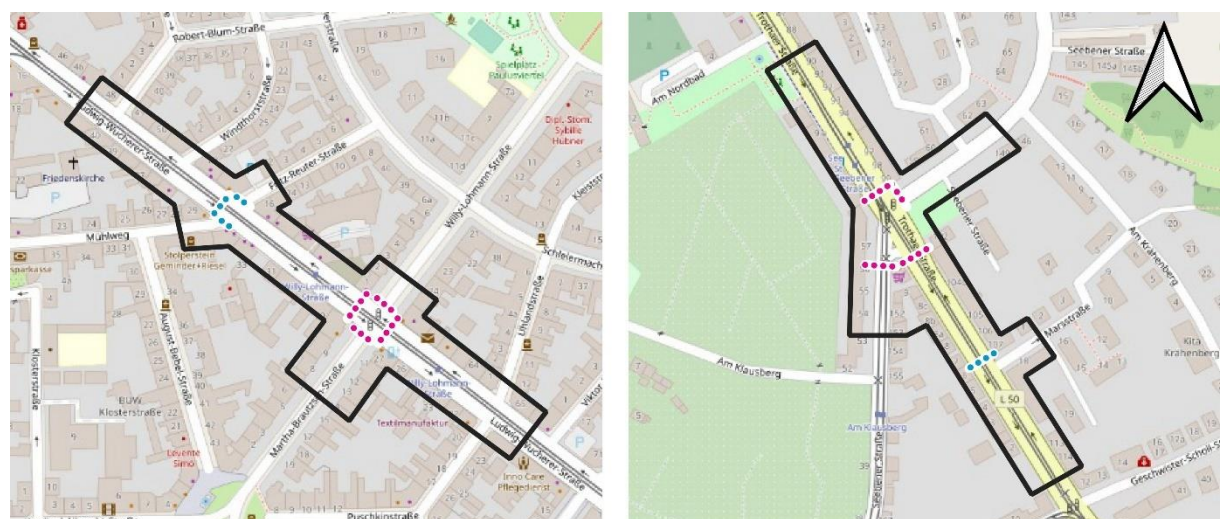
Halle

In Halle wurden zwei Streckenabschnitte im Norden der Stadt für die Mikrosimulation ausgewählt, auf der Trothaer Straße und auf der Ludwig-Wucherer-Straße (Abbildung 28).

Die Ludwig-Wucherer-Straße ist eine Hauptnetzstrecke, die die Stadtteile Nördliche Innenstadt, Giebichenstein und Paulusviertel erschließt und verbindet (Stadt Halle, 2019). Den historisch gewachsenen Straßenquerschnitt teilen sich alle Verkehrssysteme einschließlich der Straßenbahn, die zwar auf einem eigenen Gleiskörper fährt, der in Kreuzungsbereichen jedoch auch als Abbiegestreifen fungiert. Die werktägliche Verkehrsbelastung liegt im Bestand in einer Größenordnung von ca. 8.000 Kfz/24h. Die Verkehrsflusssimulation des Streckenabschnitts mit dem Knotenpunkt Martha-Brauttsch-Straße / Willy-Lohmann-Straße zeigt weder für die Verkehrszahlen des Referenz- noch des Planfallszenarios hohe Auslastungen.

Die Trothaer Straße liegt ebenfalls im Norden der Stadt und dient als Landesstraße 50 der Anbindung an das nordwestliche gelegene Umland. Die insgesamt vierstreifige Trothaer Straße ist als Engstelle in der Nord-Süd-Verkehrsachse mit Kapazitätsproblemen bekannt (Stadt Halle, 2019). Die Straßenbahn wird im simulierten Abschnitt auf einem Kfz-Fahrstreifen geführt. Die werktägliche Verkehrsbelastung liegt im Bestand in einer Größenordnung von knapp 20.000 Kfz/24h. Die Verkehrsflusssimulation des Streckenabschnitts Trothaer Straße in Halle mit dem signalisierten Knotenpunkt Seebener Straße zeigt sowohl für die Verkehrszahlen des Referenz- als auch des Planfallszenarios hohe Auslastungen auf den Knotenpunktzufahrten der Seebener Straße. Teilweise kommt es hier zu Überlastungen.

Abbildung 28: Netzausschnitte der Verkehrsflusssimulationen für Halle – Ludwig-Wucherer-Straße (links) und Trothaer Straße (rechts)



Legende

-

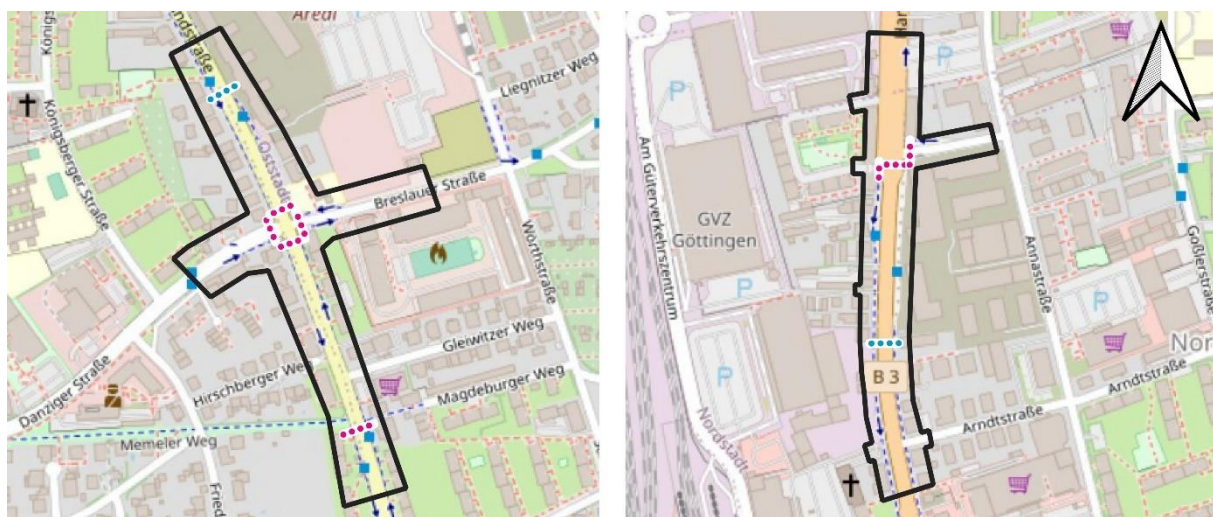
Göttingen

In Göttingen wurden Abschnitte der Weender Landstraße nördlich des Zentrums und der Geismar Landstraße im Südosten der Stadt für die Mikrosimulation ausgewählt (Abbildung 29).

Die Weender Landstraße hat als Bundesstraße 3 überregionale Verbindungs- und Erschließungsfunktionen. Sie verfügt über zwei Fahrstreifen pro Richtung und einen Mittelstreifen, der in Knotenpunktbereichen durch Abbiegespuren oder Mittelinseln ersetzt wird. Westlich der Weender Straße finden sich vor allem gewerbliche Nutzungen und großflächiger Einzelhandel, auf der Ostseite werden über die Nebenstraßen auch Wohngebiete und stilles Gewerbe erschlossen. Die Verkehrsbelastung der Weender Straße liegt in Größenordnungen von 15-20.000 Kfz/24h. Die Verkehrsflusssimulation des Streckenabschnitts mit dem Knotenpunkt Daimlerstraße zeigt sowohl für das Referenz- als auch das Planfallszenario keine hohen Auslastungen.

Die Geismar Landstraße verbindet als Landesstraße 569 das Göttinger Zentrum mit einer Reihe von Ortschaften im Südosten der Stadt, zudem erschließt sie die angrenzenden Stadtteile Lohberg und Geismar. Die Straße verfügt über einen Fahrstreifen pro Richtung. Die angrenzenden Flächen sind überwiegend mit aufgelockerter Wohn- und Mischgebietsbebauung mit vereinzelt gewerblichen Nutzungen belegt. Die Verkehrsbelastung der Geismar Landstraße liegt im Bestand in Größenordnungen von 15-20.000 Kfz/24h. Die Verkehrsflusssimulation des Streckenabschnitts mit dem Knotenpunkt Danziger Straße / Breslauer Straße zeigt sowohl für die Verkehrszahlen des Referenz- als auch des Planfallszenarios recht hohe Auslastungen. Im Planfallszenario gibt es zweitweise Überlastungen auf den Knotenpunktzufahrten Breslauer Straße und Danziger Straße.

Abbildung 29: Netzausschnitte der Verkehrsflusssimulationen für Göttingen – Geismar Landstraße (links) und Weender Landstraße (rechts)



Legende

- Vissim Netzausschnitt
- Fußgängerquerung
- signalisiert
- unsignalisiert

Hintergrundkarte OpenStreetMap
© OpenStreetMap-Mitwirkende

0 50 100 150 200 m



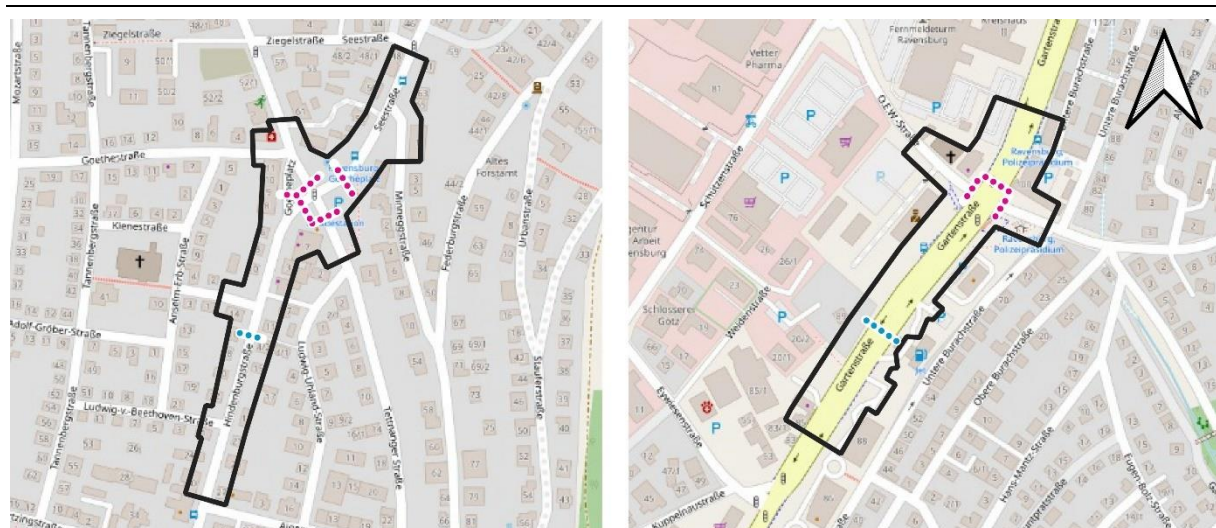
Ravensburg

In Ravensburg wurden ein Teil der Gartenstraße im Norden des Stadtgebietes und ein Teil der Seestraße südlich des Zentrums für die Mikrosimulation ausgewählt (Abbildung 30).



Die Gartenstraße verbindet als vierstreifige Hauptverkehrsstraße das Zentrum von Ravensburg mit dem Zentrum der unmittelbar nördlich gelegenen Stadt Weingarten. Im simulierten Abschnitt ist die Gartenstraße fast anbaufrei, die anliegenden Nutzungen werden über wenige Vorfahrten erschlossen. Dabei handelt es sich in erster Linie um großflächige Gewerbenutzungen. Im weiteren Umfeld schließen sich westlich weitere Gewerbegebiete und im Osten aufgelockerte Wohngebiete an. Die werktägliche Verkehrsbelastung der Gartenstraße liegt im Bestand in einer Größenordnung von ungefähr 20.000 Kfz/24h. Die Verkehrsflusssimulation des Streckenabschnitts mit dem Knotenpunkt O.E.W.-Straße / Am Sonnenbüchel zeigt sowohl für die Verkehrszahlen des Referenz- aber vor allem des Planfallszenarios hohe Auslastungen auf der Knotenpunktzufahrt Am Sonnenbüchel und zeitweise auch auf der O.E.W.-Straße. Mit den Verkehrsbelastungen des Planfalls Tempo 30 ist die Zufahrt in der Spitzenstunde überlastet.



Die Seestraße verbindet die historische Innenstadt von Ravensburg mit der Südstadt und über die Hindenburgstraße mit den überörtlichen Straßenverbindungen Richtung Süden (alte B 30). Im simulierten Bereich hat die Straße mit einem Fahrstreifen je Richtung und werktäglichen Verkehrsbelastungen in Größenordnungen von 6.000 Kfz/24h überwiegend Erschließungs- und Sammelfunktion. Die Verkehrsflusssimulation mit dem Knotenpunkt Goetheplatz / Tettlinger Straße zeigt sowohl für das Referenz- als auch das Planfallszenario geringe Auslastungen. Da auf diesem Streckenabschnitt die Radfahrenden mit dem Kfz-Verkehr auf der Straße fahren, zeigt sich bereits im Referenzszenario nur eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 40 km/h.

Abbildung 30: Netzausschnitte der Verkehrsflusssimulationen für Ravensburg – Seestraße (links) und Gartenstraße (rechts)



Legende

 Vissim Netzausschnitt
 Fußgängerquerung

 signalisiert
 unsignalisiert

Hintergrundkarte OpenStreetMap
© OpenStreetMap-Mitwirkende

0 50 100 150 200 m



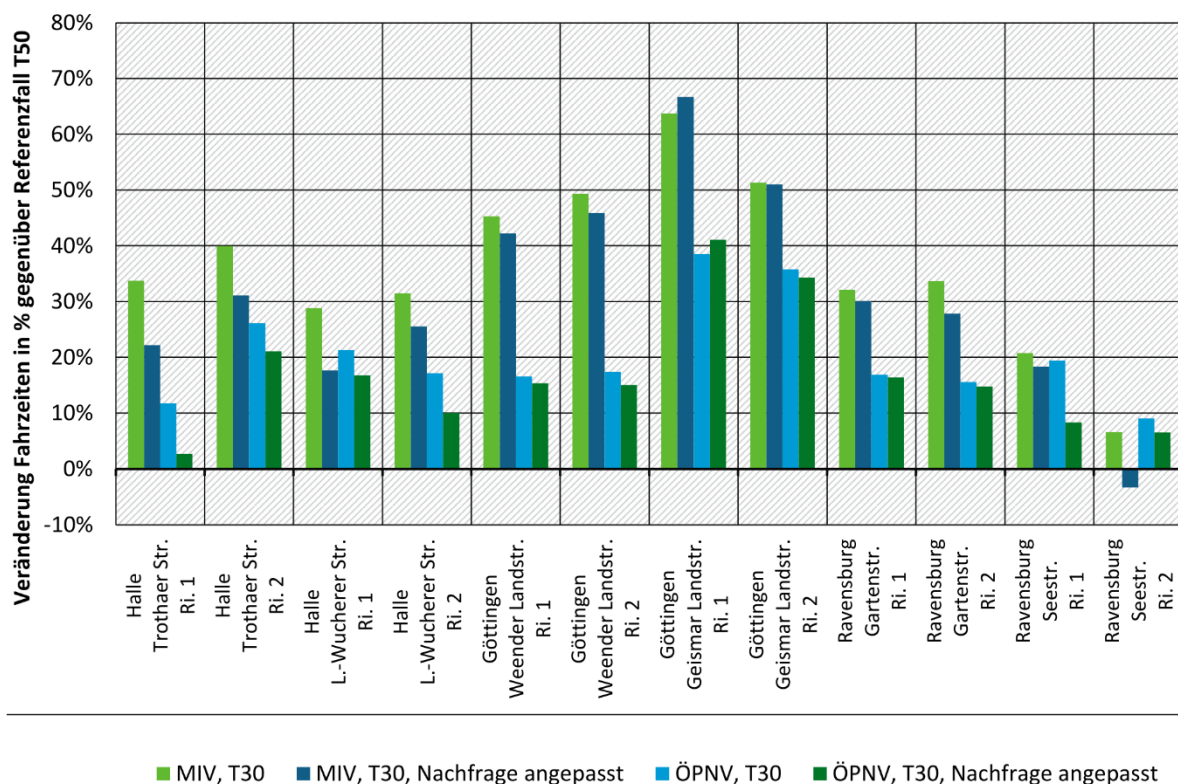
3.1.2.2 Fahrzeiten

Die mittleren Fahrzeiten in den simulierten Netzausschnitten verlängern sich durch Tempo 30 in allen drei Beispielstädten. Die in Abbildung 31 dargestellte relative Verlängerung der Fahrzeiten fällt für ÖPNV-Fahrzeuge geringer aus, da diese aufgrund der Haltestellen von vornherein länger unterwegs sind. Die in der Makrosimulation angesetzten Fahrzeitzuschläge für den ÖPNV in Höhe von 15 Prozent werden durch die Ergebnisse der Mikrosimulation bestätigt.

Eine unmittelbare Vergleichbarkeit mit den Reisezeitverlängerungen in der Visum-Makrosimulation besteht nicht, da die Reisezeit neben der reinen Fahrzeit, die hier analysiert wird, auch Zu- und Abgangszeiten zwischen Haustür und Fahrzeug sowie andere Reisezeitanteile wie z. B. Parksuchzeit im MIV berücksichtigt. Darüber hinaus ist nicht bekannt, wie repräsentativ die in der Mikrosimulation gemessene Fahrzeit für das Gesamtnetz ist und welcher Anteil der Zuwächse der verringerten Höchstgeschwindigkeit anzulasten ist und welcher Anteil eventuell veränderten Wartezeiten am Knotenpunkt. Auch die Frage, ob veränderte bzw. verlängerte Wartezeiten am Knotenpunkt in der Makrosimulation zu berücksichtigen wären, lässt sich aus den Ergebnissen nicht stichhaltig beantworten.

Abbildung 31: Veränderung der mittleren MIV- und ÖPNV-Fahrzeiten durch Tempo 30

Fahrzeiten im Simulationszeitraum



Quelle: ARGUS

Der Simulationszeitraum ist für eine der Tagesstunden mit dem höchsten Verkehrsaufkommen gewählt, an auch sonst eher stark befahrenen Straßen. Geringere Zuwächse in der Fahrzeit ergeben sich auch aus niedrigen Geschwindigkeiten im Referenzfall. Im Fall der Seestraße in

Ravensburg sind die Geschwindigkeiten aufgrund des auf der Fahrbahn geführten Radverkehrs bereits im Referenzfall so niedrig, dass Tempo 30 nur noch zu geringen Zuwächsen in der Fahrzeit führt.

In den meisten hier betrachteten Fällen ähneln sich die Effekte in beiden Fahrtrichtungen. Bei der Seestraße in Ravensburg, aber auch bei der Trothaer Straße in Halle ergeben sich die Asymmetrien durch starke Abbiegeströme aus der Hauptrichtung, die nur in einer der beiden Richtungen zu erheblichen Verzögerungen führen.

Mit Ausnahme der Geismar Landstraße in Göttingen (Richtung 1) führt die Anpassung der Verkehrsnachfrage im simulierten Netzausschnitt zu kürzeren Fahrzeiten. Bei der Geismar Landstraße in Göttingen ist im Planfall mit angepassten Verkehrsströmen ein Anstieg der Fahrzeiten zu beobachten, der mit einer steigenden Anzahl Abbieger von und zur Breslauer Straße zusammenhängt; auch in der Summe steigt die Belastung des Knotenpunktes im Planfall.

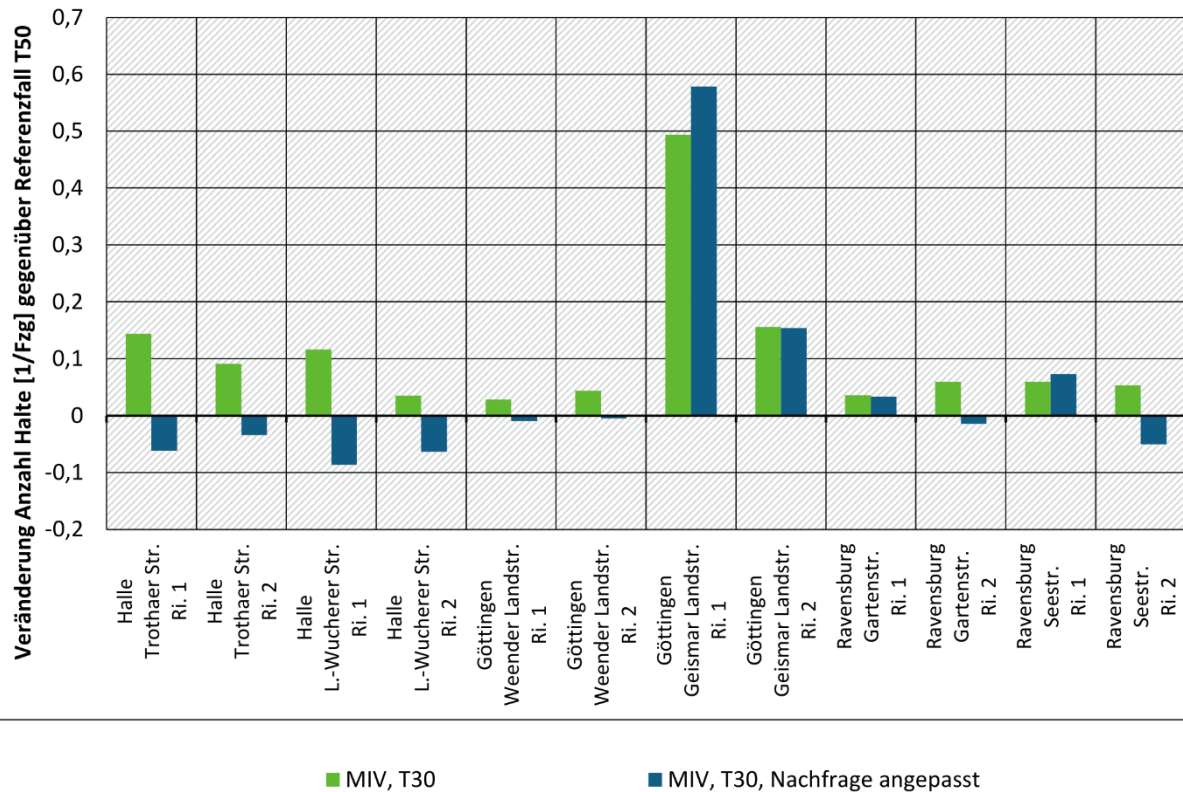
3.1.2.3 Zahl der Kfz-Halte im Zulauf signalisierter Knotenpunkte

Als Zahl der Halte wird gemessen, wie oft ein Fahrzeug im Zulauf auf den betrachteten Knotenpunkt anhalten bzw. auf eine Geschwindigkeit unterhalb eines entsprechend niedrigen Schwellenwertes abbremsen muss. Halte jenseits der Haltelinie des signalisierten Knotens – also z. B. von Abbiegenden, die querenden Fußverkehr abwarten – konnten nicht berücksichtigt werden. Als Indiz für die flächendeckende Verstetigung des Verkehrsflusses ist dieser Auswertungsparameter in den hier betrachteten Netzausschnitten daher wenig geeignet.

Die Anzahl der Halte pro Fahrzeug an signalisierten Knotenpunkten nimmt im Planfall mit reduzierter Geschwindigkeit in jeder Simulation zu; unter Berücksichtigung der veränderten Verkehrsnachfrage geht sie in 8 von 12 Fällen zurück (Abbildung 32). Zu den 4 Fällen, in denen die Zahl der Halte zunimmt, zählen auch die Ergebnisse der Mikrosimulation für die Geismar Landstraße. Dort steigt die Belastung des Knotens infolge der reduzierten Regelgeschwindigkeit durch vermehrte Abbiegende von und zur Breslauer Straße.

Abbildung 32: Veränderung Anzahl der Halte pro Fahrzeug im Simulationszeitraum

Zahl der Halte vor signalisierten Knoten im Simulationszeitraum



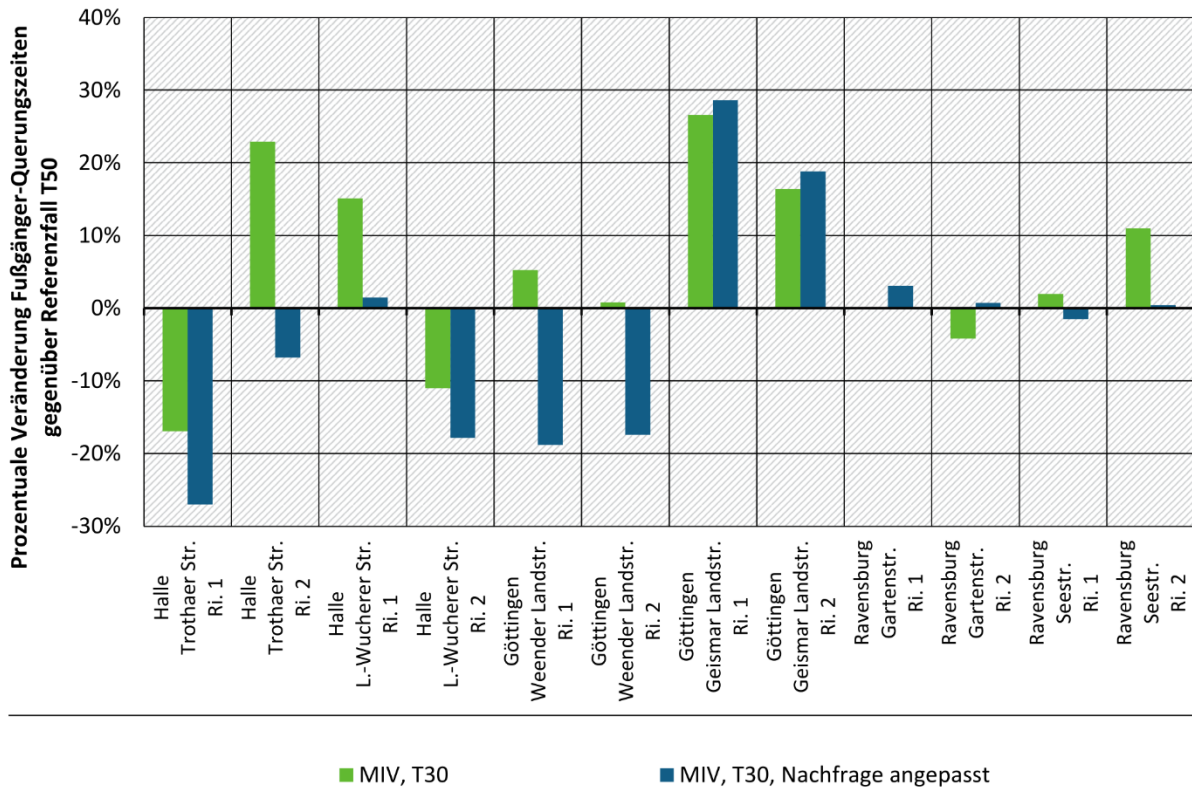
Quelle: ARGUS

3.1.2.4 Querungszeiten für zu Fuß Gehende abseits der Knotenpunkte und Trennwirkung

Der Querungszeitbedarf von zu Fuß Gehenden auf freier Strecke steigt in Szenarien mit reduzierter Geschwindigkeit in 8 von 12 Fällen (Abbildung 33). Wird zusätzlich die Nachfrage im Netzausschnitt verändert, steigt der Querungszeitbedarf in 6 und sinkt in 6 Fällen. Die reduzierte Geschwindigkeit scheint hier einen eher nachteiligen Effekt auf die Verteilung von für die Querung geeigneten Zeitlücken im Fahrzeugstrom zu haben. Die Minderung der Verkehrsnachfrage im Netzausschnitt begünstigt hingegen die Querung.

Abbildung 33: Veränderung der Querungszeiten im Fußverkehr abseits der Knotenpunkte

Querungszeiten im Fußverkehr



Quelle: ARGUS

3.1.2.5 Verkehrsstärken im Simulationszeitraum

Die hier ausgewiesene Verkehrsstärke im Simulationszeitraum gibt die Anzahl der in der Mikrosimulation innerhalb der simulierten Zeitfenster abgewickelten Kfz an. Diese Zahl kann deutlich unter der in die Simulationen eingespeisten Verkehrsnachfrage liegen, wenn diese von den Verkehrsanlagen (Fahrbahnen, Lichtsignalanlagen usw.) im simulierten Zeitfenster nicht bewältigt werden kann. Insofern können die Verkehrsstärken im Simulationszeitraum als Indikator für die Kapazität des Knotenpunktes bzw. des Netzausschnittes interpretiert werden.

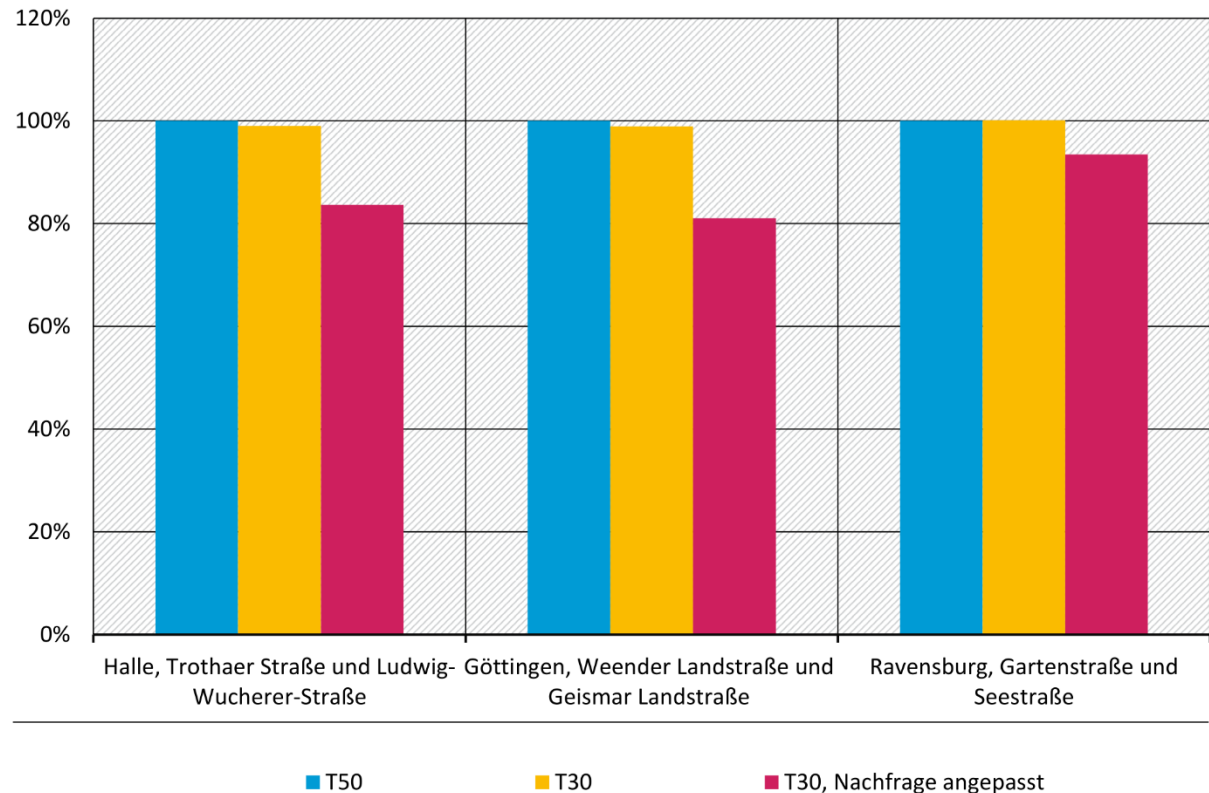
Abbildung 34 zeigt die abgewickelten Verkehrsstärken nach der jeweiligen Beispielstadt aufsummiert. Die Verminderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit allein hat demnach nur einen geringen Rückgang der Verkehrsstärken zur Folge. In den Simulationen für Halle und Göttingen ergibt sich ein Rückgang um ca. 1 Prozent, in den Simulationen für Ravensburg sind die abgewickelten Verkehrsstärken unverändert. Der geringe Rückgang deutet auf Kapazitätseinbußen lediglich bei voll ausgelasteten Fahrstreifen hin. In der Regel ist jedoch in jeder Ampelphase nur eine Fahrbeziehung voll bzw. nahezu voll ausgelastet.

Im Planfallszenario mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h wird die verminderte Verkehrsnachfrage aus den Visum-Modellrechnungen für Tempo 30 in die Simulationen eingespeist. Dementsprechend sinken auch die im Simulationszeitraum abgewickelten Verkehrsstärken.

Abbildung 34: Mittlere Verkehrsstärke [Kfz] im Zeitraum der Mikrosimulation

Mittlere Verkehrsstärke [Kfz] im Simulationszeitraum

Bezug = 100%



Quelle: ARGUS

3.1.2.6 Fahrzeugfolgezeiten

Die Fahrzeugfolgezeit misst den zeitlichen Abstand zwischen Fahrzeugen, die eine Haltelinie an einem signalisierten Knotenpunkt überfahren. Für die Kapazität eines signalisierten Knotenpunktes sind kurze Fahrzeugfolgezeiten vorteilhaft; für die Bemessung von Grünphasen werden üblicherweise Fahrzeugfolgezeiten zwischen 1,8 und 2,0 Sekunden verwendet. Die Auswertung in Abbildung 35 umfasst alle im Simulationszeitraum gemessenen Fahrzeugfolgezeiten, wobei das erste Fahrzeug (keine Folgezeit) und Gelbfahrende (verboten) nicht berücksichtigt werden.

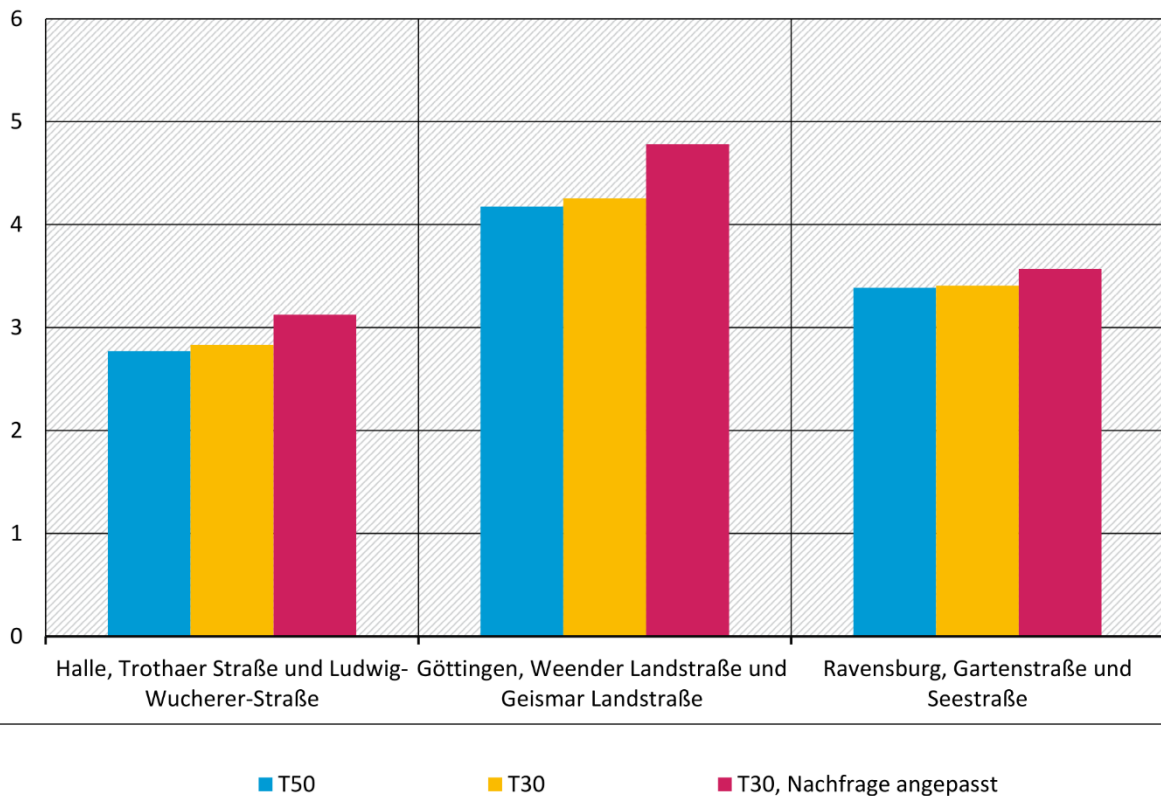
Zunächst fällt auf, dass die mittleren Fahrzeugfolgezeiten in allen Simulationen deutlich über den Bemessungswerten liegen. Dies erklärt sich aus dem Umstand, dass auf nicht ausgelasteten Fahrstreifen deutlich längere Folgezeiten entstehen.

Hinsichtlich der drei hier betrachteten Szenarien zeigt sich, dass die Verminderung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h bei gleichbleibender Verkehrsnachfrage im Netzausschnitt einen leichten Anstieg der Fahrzeugfolgezeiten zur Folge hat. Im Planfallszenario mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h und verminderter Verkehrsnachfrage steigt die mittlere Fahrzeugfolgezeit stärker an. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass in den unveränderten Grünphasen weniger Fahrzeuge abzuwickeln sind. Eine im Einzelfall ggf. gemäß HBS notwendige Anpassung der LSA-Steuerung an Tempo 30 bzw. an die infolgedessen veränderten Verkehrsbelastungen wird in den Mikrosimulationen nicht berücksichtigt.

Abbildung 35: Mittlere Fahrzeugfolgezeit [Sek.] an signalisierten Knoten, ohne erstes Fahrzeug, ohne Gelbfahrende

Fahrzeugfolgezeiten [s] an signalisierten Knoten

gemessen auf Haltelinien



Quelle: ARGUS

3.1.3 Verkehrssicherheit

Die quantitativen Ansätze zur Beschreibung ernster und tödlicher Unfallrisiken stützen sich bezeichnenderweise vor allem auf die Einflussgröße Geschwindigkeit. Dabei hat sich zuletzt das Exponentialmodell von Elvik durchgesetzt, mit der Geschwindigkeit im Exponenten (Elvik, 2020), (Van den Berghe, et al., 2020):

$$\text{Unfallrisiko} \quad r = c * e^{\beta * v}$$

mit:

- v: Geschwindigkeit (beim Aufprall)
- c: Konstante ohne Bezug zur Geschwindigkeit, kann z. B. zur Abschätzung veränderter Unfallzahlen in Abhängigkeit von veränderten Geschwindigkeiten verwendet werden (ITF/OECD, 2018)
- β: Funktionsparameter (β = 0.08 für tödliche Unfälle, β = 0.06 für Verletzungen)

Bei der Abschätzung der Unfallrisiken ist nicht nur die mittlere Geschwindigkeit, sondern auch die Verteilung der gefahrenen Geschwindigkeiten zu beachten (Elvik, 2019). Da sich eine verminderte Höchstgeschwindigkeit am stärksten auf die schnellsten gefahrenen Geschwindigkeiten auswirkt, ist der Sicherheitseffekt einer reduzierten Höchstgeschwindigkeit unter Umständen stärker, als es der formelmäßige Zusammenhang zunächst vermuten lässt.

Bei Unfällen von Kfz und zu Fuß Gehenden überleben laut (OECD; ECMT, 2006) 90 Prozent den Zusammenstoß bei Tempo 30. Bei Tempo 50 überleben nur noch 20 Prozent. Einer jüngeren Studie von (Tefft, 2011) zufolge liegt das Todesrisiko für eine 45 Jahre alte Person bei einer Kollision mit 32 km/h bei 25 Prozent, bei 53 km/h bei 75 Prozent. Wo Konflikte zwischen Kfz und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden möglich sind, ist die höchste als sicher anzusehende Geschwindigkeit 30 km/h (Van den Berghe, et al., 2020).

Zwar wurde beobachtet, dass mit der Geschwindigkeit auch der Anteil der Fahrzeuge sinkt, die einen angemessenen Sicherheitsabstand einhalten (Retzko, et al., 2000)⁸. Im Allgemeinen haben jedoch alle jüngeren Studien über Geschwindigkeitsreduktionen eine Verminderung der Unfälle gezeigt (Cleland, et al., 2020), (Van den Berghe, et al., 2020). Für die Reduktion der Höchstgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h berichten (Wegman, et al., 2012) eine Reduktion der Unfall-opfer um etwa 25 Prozent. In Edinburgh wurde nach Ausweitung der 20 m/h-Bereiche ein Rückgang der Verletzten um 35 Prozent beobachtet (Milton, et al., 2021). In Helsinki wurde Tempo 30 im Jahr 2018 als Teil der „Vision Zero“-Strategie beschlossen und mit Beginn des Jahres 2019 im Stadtgebiet eingeführt. In 2019 wurde dort erstmals keine zu Fuß gehende oder radfahrende Person bei einem Verkehrsunfall getötet (Keine Verkehrstoten: Was Helsinki richtig macht, 2020).

Einfluss haben auch wahrnehmungspsychologische Aspekte. Die Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) zählt zu den Ursachen der erhöhten Unfallgefahr die zunehmende Menge an Informationen, die bei höheren Geschwindigkeiten zu verarbeiten ist (BFU, 2020). (Wann, et al., 2011) stellen fest, dass schnellere Fahrzeuge im Augenwinkel eher als stationär wahrgenommen werden und daher weniger auffallen. Demnach bemerken Kinder ein Fahrzeug, dass sich schneller als mit 25 m/h (ca. 40 km/h) nähert, nicht zuverlässig. Auch haben Kinder im Grundschulalter Schwierigkeiten, die Gefährdung durch schnellere Fahrzeuge richtig einzuschätzen. In einer Studie von (Leung, et al., 2021) stieg die Wahrscheinlichkeit kritischer Fehlentscheidungen je 1 km/h Fahrzeuggeschwindigkeit um über 4 Prozent. Dabei stellen insbesondere Fahrzeuge auf der gegenüberliegenden Fahrbahn eine Gefahr dar.

Trotz der umfangreichen Literatur zum Thema Geschwindigkeit und Verkehrssicherheit ist es nicht ohne weiteres möglich, mit Hilfe von Visum- oder Vissim-Modellen die Verkehrssicherheit oder entsprechende Kenngrößen (Anzahl Unfallopfer o. ä.) zu berechnen. Selbst für die Abschätzung der relativen Veränderung wären neben örtlichen Unfalldaten flächendeckende Angaben zur Exposition von zu Fuß Gehenden, Radfahrenden und anderen ungeschützten Verkehrsteilnehmenden erforderlich, die in den wenigsten Städten verfügbar sind.

3.1.4 Optimierung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit für den Fuß- und Radverkehr

Um die Vorteile einer generell reduzierten Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h für den Fuß- und Radverkehr ausschöpfen zu können und unerwünschte Verkehrsverlagerungen ins Nebennetz zu vermeiden, bieten sich in Ergänzung zur verminderten Regelgeschwindigkeit begleitende Maßnahmen an.

In allgemeiner administrativer Hinsicht könnten dies Änderungen an der Straßenverkehrsordnung sein, wie sie Anfang 2022 in Großbritannien in Kraft getreten sind: Diese beinhalten unter anderem eine ausdrücklich an das mit dem Fahrzeug verbundene Gefahrenpotential geknüpfte Verantwortung bzw. Schuldfähigkeit (Highway Code update comes into force in England, Scotland and Wales, 2022), (GOV.UK, 2022). Diese Änderungen passen gut zur Einführung von

⁸ Dies muss jedoch nicht zwangsläufig zu niedrigeren mittleren Fahrzeugfolgezeiten führen, wie die Mikrosimulationen zeigen (vgl. Kapitel 3.1.2.6, Seite 68)

Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit, was in Graz zu einem verbesserten Sicherheitsgefühl und gestiegenen Selbstbewusstsein der zu Fuß Gehenden und Radfahrenden geführt hat und zu einem kooperativeren Verhalten von Kfz und Radfahrenden bei Überholvorgängen (Pischinger, et al., 1995).

Vor Ort kann der nichtmotorisierte Verkehr durch eine Verbesserung der gefühlten und tatsächlichen Sicherheit und durch Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur bzw. des Straßenraumes gefördert werden. Dabei gehen Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Senkung der gefahrenen Geschwindigkeiten sowie zur Förderung des Rad- und Fußverkehrs vielfach Hand in Hand. Die bauliche Gestaltung einer Straße hat erheblichen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten (PIARC, 2016) (Van den Berghe, et al., 2020). Ein Bericht der OECD listet Portale, Inseln, Engstellen, Kreisverkehrsplätze, Schwellen und Kissen, Aufpflasterungen an Querungsstellen und Knotenpunkten, Poller und Fahrbahnmarkierungen sowie angepasste Signalisierungen als geeignete Maßnahmen auf (OECD; ECMT, 2006). Mittels Inseln als Querungshilfe erhöhen nicht nur die Sicherheit der zu Fuß Gehenden beim Queren der Straßen erheblich, sondern können auch eine Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeiten bewirken (Furth, et al., 2021). Kleinere Kurvenradien an Einmündungen können zu einer Verminderung der Fußverkehrsunfälle beitragen (Fitzpatrick, et al., 2022). Laut (Wegman, et al., 2012) reduzieren farbige Radwegfurten die Anzahl der Kollisionen mit Fahrradbeteiligung um 20 Prozent. Darüber hinaus empfehlen sie die Signalisierung oder Aufpflasterung von Knotenpunkten und die Anlage von Kreisverkehrsplätzen zugunsten der Sicherheit des Radverkehrs. Aufpflasterungen und Mittels Inseln eignen sich auch punktuell, um die Begrenzung der Tempo-30-Bereiche deutlich zu machen (Bassani, et al., 2020).

Untersuchungen von Determinanten der Unfallrisiken im Radverkehr zeigen häufig einen übertragenden Einfluss der Radinfrastruktur (Aldred, et al., 2018), (Mukoko, et al., 2020), (Kapousizis, et al., 2021). Die Schwere der Unfälle von Radfahrenden steigt mit der Geschwindigkeit der beteiligten Kfz (Liu, et al., 2020). Bei der Umgestaltung von Straßenräumen kann die Einrichtung von Einbahnstraßen die Verkehrssicherheit für Rad- und Fußverkehr deutlich verbessern, da querender Fußverkehr nur auf eine Richtung achten muss und Straßenraum für anderweitige Zwecke frei wird (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021).

Eine weitere Möglichkeit, die Sicherheit des Radverkehrs zu erhöhen und das Geschwindigkeitsniveau zu senken, besteht im Einsatz von Schutzstreifen für Radfahrende oder Radfahrstreifen. Dabei wirkt sich eine ausreichende Breite der Radverkehrsanlagen positiv auf die Verkehrssicherheit der Radfahrenden aus (Richter, et al., 2019). Bei Schutzstreifen ist in der Regel ein Begegnungsfall Pkw/Pkw ohne Nutzung der Schutzstreifen zu ermöglichen. In Nebenstraßen mit Tempo 30 als Strecken- oder Zonenanordnung kommen auch baulich und farblich, z. B. durch Pflasterung oder Asphalteinfärbung, abgesetzte Randbereiche infrage, die suggerieren, dass diese dem Radverkehr vorbehalten sind. Die Effekte auf Geschwindigkeiten, Abstände beim Überholen etc. sind jedoch nicht eindeutig (Williams, et al., 2021) (Baert, et al., 2022).

Durch Kombination gestalterisch abgesetzter Streifen für Radfahrende mit der Anordnung als Fahrradstraße oder Fahrradzone ergibt sich eine Situation, bei der auf die Gewährleistung des Begegnungsfalls zwischen den markierten Randbereichen verzichtet werden kann. Im Begegnungsfall müssen Kfz ggf. anhalten und Fahrräder passieren lassen, bevor ein Ausweichmanöver erfolgen kann (Abbildung 36). Ein Praxisleitfaden empfiehlt für Fahrradstraßen dementsprechend eine Mindestfahrgassenbreite von 3,50 m zzgl. Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr, wobei nötigenfalls Ausweichstellen vorgesehen werden können (Klein, et al., 2021). In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass für die Anordnung einer Fahrradstraße laut VwV-StVO bereits eine der drei genannten Voraussetzungen ausreichend ist – eine untergeordnete

Bedeutung für den Kfz-Verkehr, eine bestehende oder erwartete hohe Fahrradverkehrsdichte oder eine hohe Netzbedeutung für den Radverkehr.⁹

Um das unbewusste Beschleunigen von Kfz auf Strecken mit reduzierter Geschwindigkeit zu unterbinden, ist eine Verschwenkung oder optische Abschnittbildung, z. B. durch Gehwegvorstreckungen und Bepflanzung an geradlinigen Streckenabschnitten sinnvoll. Auch die Begrenzung der Sichtweiten und die Blickführung hin zu ungeschützten Verkehrsteilnehmenden kann die Beachtung der Geschwindigkeitsbeschränkungen verbessern (PIARC, 2016).

Abbildung 36: Gestaltung einer Fahrradstraße in Senftenberg (Foto Tobias Klein, difu)



Einer Verlagerung des Kfz-Verkehrs ins Wohnquartier können Anordnungen von verkehrsberuhigten Bereichen, Begegnungszonen mit Tempo 20 und auch modale Filter wie Diagonalsperren vorbeugen, die lediglich den Fuß- und Radverkehr passieren lassen (Aichinger, et al., 2020). Durch Straßenraumumgestaltungen mit Einsatz von attraktiven Aufenthaltsbereichen, Straßenmöbeln sowie (mobilen) Bäumen und Sträuchern lässt sich erreichen, dass sich Radfahrende und zu Fuß Gehende eingeladen fühlen, Kfz-Fahrende diese Bereiche für eine Durchfahrt aber meiden oder zumindest äußerst vorsichtig befahren (Aichinger, et al., 2017). Im Einzelfall ist die Einrichtung einer (unechten) Einbahnstraße mit Freigabe des Radverkehrs in der Lage, Kraftfahrzeuge am Ausweichen ins Nebennetz zu hindern, ohne die direkten Routen des Radverkehrs zu unterbrechen.

⁹ VwV-StVO zu Zeichen 244.1 und 244.2 Beginn und Ende einer Fahrradstraße, I.

3.1.5 Fazit zu den verkehrlichen Wirkungen

Die verminderte Regelgeschwindigkeit wirkt sich in allen drei Makrosimulationen auf zentrale Kenngrößen aus:

- ▶ In allen drei Beispielkommunen sinken die mittleren **Reisegeschwindigkeiten** im motorisierten Individualverkehr (MIV). Die Rückgänge liegen im Binnenverkehr bei -0,1 km/h im Modell der Stadt Ravensburg, -2,0 km/h in Göttingen und -4,4 km/h in Halle.
- ▶ Dabei steigen im Binnenverkehr die mittleren **Reisezeiten** des MIV um 0,6 Minuten in Ravensburg, um 1,1 Minuten in Göttingen und 1,9 Minuten in Halle.
- ▶ Damit einher geht tendenziell eine Reduzierung des MIV im **Modal Split** um 0,5 Prozentpunkte in Göttingen und 1,7 Prozentpunkte in Halle. Lediglich in Ravensburg bleibt der MIV-Anteil nahezu unverändert, hier ist auch der Anteil der auf 30 km/h reduzierten Strecken am geringsten. Der Anteil des nicht-motorisierten Verkehrs steigt in Ravensburg und Göttingen um 0,5 Prozentpunkte und in Halle um 2,5 Prozentpunkte (Tabelle 9).
- ▶ In geringem Ausmaß ist auch eine veränderte **Zielwahl** zu beobachten, bei der relativ besser für den MIV erschlossene Bereiche und deren Nutzungen bevorzugt aufgesucht werden.
- ▶ Deutlichere Auswirkungen sind in der **Routenwahl** des MIV zu beobachten. Strecken mit unveränderter zulässiger Höchstgeschwindigkeit werden zum Teil erheblich stärker belastet. Es kommt dabei auch zu einer Verlängerung der mittleren Reiseweiten im MIV, indem größere Routenanteile auf Strecken mit unverändert hoher Geschwindigkeit entfallen.
- ▶ Innerhalb der drei Beispielkommunen geht die **Fahrleistung**, d. h. die Summe der täglich mit Pkw, leichten (LNF) und schweren Nutzfahrzeugen (SNF) gefahrenen Strecken, leicht zurück: in Ravensburg um 0,5, in Göttingen um 2,5 und in Halle um 3,2 Prozentpunkte.

Tabelle 9: Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs in Analyse- und Planfall mit Tempo 30

Fahrleistung [km/Werntag]	Pkw-Verkehr			Kfz-Verkehr		
	Halle	Göttingen	Ravensburg	Halle	Göttingen	Ravensburg
Analysefall	2.149.010	1.570.629	1.140.755	2.316.014	1.741.852	1.263.775
Planfall	2.094.279	1.528.714	1.135.180	2.242.884	1.697.658	1.257.591
Änderung der Fahrleistung [%]	-2,5 %	-2,7 %	-0,5 %	-3,2 %	-2,5 %	-0,5 %

Hervorzuheben ist, dass die Verkehrsmodelle keine langfristigen Mobilitätsentscheidungen wie den Erwerb oder die Abschaffung privater Pkw abbilden. Derartige Entwicklungen könnten einige der modellierten Effekte verstärken.

Für die Modellierungspraxis ist festzuhalten, dass ein aktuelles Visum-Verkehrsnetzmodell erforderlich ist, in dem sowohl das Streckennetz im Planungsraum als auch das Netz in den umliegenden Bereichen realitätsnah mit aktuellen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten abgebildet ist. Die einfache Reduktion der Geschwindigkeit im unbelasteten Netz in Visum führt zu einer unrealistischen Überschätzung der Auswirkungen einer rein straßenverkehrsbehördlichen Maßnahme, die nicht durch bauliche Anpassungen unterstützt wird. Um die Auswirkungen der verminderten Regelgeschwindigkeit nicht zu überschätzen, können wie in dieser Studie gesonderte Auslastungsfunktionen entwickelt werden. Alternativ können die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, die streckentypspezifisch in Visum hinterlegt sind, reduziert werden – sofern der Aufbau des Netzes und eine konsequent systematische Verwendung der Streckentypen eine

realistische Darstellung des Planfalls gestatten. Eine Anpassung der Kapazitäten oder Wartezeiten an Knotenpunkten scheint auf Grundlage der hier durchgeführten Mikrosimulationen nicht erforderlich. Da die Routenwahleffekte in den Visum-Modellen deutlich stärkere Effekte auf die Verkehrsbelastung einzelner Strecken haben als die Nachfrageeffekte (Ziel- und Verkehrsmittelwahl), scheint es für kleinere Gemeinden statthaft, die Auswirkungen einer verminderten Regelgeschwindigkeit mit reinen Umlegungsmodellen zu untersuchen. Eine hinreichend genaue, flächendeckende Identifikation von Straßen, die infolge veränderter Routenwahl problematische Verkehrszuwächse erfahren könnten, ist auch unter Vernachlässigung der Nachfrageeffekte möglich. Nicht zuletzt ist zu bedenken, dass die Verkehrsmodellierung „den politischen Entscheidungsprozess unterstützen, nicht aufhalten“ sollte (Schlaich, 2022).

Die Reduktion der Regelgeschwindigkeit führt in den Modellen zu räumlichen Verkehrsverlagerungen, die zunächst geprüft und im Falle einer Verifizierung durch geeignete flankierende Maßnahmen kompensiert werden sollten. Zu überprüfen wären die modellierten Belastungen hinsichtlich Plausibilität, verkehrstechnischer Abwickelbarkeit und städtebaulicher Verträglichkeit. Die Modelle zeigen diejenigen Straßenzüge auf, die für den Fall einer reduzierten Regelgeschwindigkeit besondere Beachtung verdienen und deren Verkehrsbelastung unter Umständen durch flankierende Maßnahmen gesteuert werden muss.

Die Ergebnisse der Mikrosimulation der einzelnen Streckenabschnitte zeigen, dass trotz der bei der Streckenauswahl gesetzten gleichen Randbedingungen ein Vergleich untereinander schwierig ist. Die örtlichen Gegebenheiten, die Verkehrsbelastungen in den einzelnen Szenarien und die dafür vorliegenden Datengrundlagen variieren zu stark, als dass mehr als eine Tendenz bei den ermittelten Kenngrößen abzuleiten ist. Die mittleren Fahrzeiten des MIV und des ÖPNV steigen bei einer Reduktion auf Tempo 30 in fast allen simulierten Streckenabschnitten. In den meisten Fällen ergibt sich im Planfallszenario durch Tempo 30 eine Verringerung der Verkehrsbelastung, wodurch die mittlere Fahrzeiterhöhung geringer ausfällt. Wie stark die Fahrzeiterhöhung ausfällt, hängt u. a. von der mittleren Geschwindigkeit im Ausgangszustand, der Höhe der Verkehrsbelastungsänderung, aber auch der generellen Auslastung des Streckenabschnitts und vor allem des Knotenpunkts ab.

Auswirkungen von Tempo 30 auf den Verkehr – Praxisberichte

In der Praxis hat die Verminderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in bebauten Gebieten einen geringeren Rückgang der gefahrenen Geschwindigkeiten zur Folge. Einer Meta-Studie der OECD zufolge führt eine Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um 10 km/h zu einer Verminderung der durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3-4 km/h (OECD; ECMT, 2006). Umgekehrt wurden bereits bei der Einführung von Tempo-30-Zonen in den 1980er Jahren nur Reisezeitverlängerungen von ca. 3 Prozent beobachtet (Huber, et al., 2020), (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018) berichten von Reisezeitverlängerungen von ca. 1 Minute pro Weg.

Teilweise sind die gefahrenen Geschwindigkeiten schon vor der Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten geringer (SR, 2022). Eine weitere Ursache mag sein, dass die Geschwindigkeitsbeschränkungen nicht exakt befolgt werden – zwei Drittel der Kraftfahrenden in Deutschland geben an, in bebauten Gebieten schneller als erlaubt zu fahren (Van den Bergh, et al., 2020). In einer Studie aus Großbritannien beachtete immerhin die Hälfte der Fahrzeuge die verminderte Höchstgeschwindigkeit (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018).

Zahlreiche Veröffentlichungen unterscheiden allerdings nicht explizit zwischen örtlich gemessenen Geschwindigkeiten und mittleren Reisegeschwindigkeiten. In Brighton wurde beispielsweise ein Rückgang der mittleren Geschwindigkeiten von 1.6 Meilen pro Stunde gemessen, aber örtliche

Geschwindigkeitsreduktionen von bis zu 9.0 Meilen pro Stunde (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018). Bei der Einführung von Tempo 30 auf einigen Berliner Hauptverkehrsstraßen wurden Geschwindigkeitsreduktionen, differenziert nach örtlicher und Reisegeschwindigkeit, in ähnlichen Größenordnungen beobachtet (Senatsverwaltung für Umwelt, 2021). Dazu kommt, dass unterschiedliche Auswertungszeitintervalle und statistische Kenngrößen (Mittelwert, Median etc.) verwendet werden. Nichtsdestotrotz werden die Auswirkungen auf die Reisezeit in der Regel überschätzt (OECD; ECMT, 2006).

Im Rahmen der Evaluation eines Geschwindigkeitskonzepts in Münster mit örtlicher Reduktion der Höchstgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h wurde keine Veränderung der Verkehrsbelastungen über 10 Prozent erfasst (Spiekermann; Müller-BBM, 2020). In Berlin wurde bereits vorab festgestellt, dass die Alternativen zu den von der Geschwindigkeitsreduktion betroffenen Straßen keine konkurrenzfähigen Reisezeiten bieten, so dass Verkehrsverlagerungen weder erwartet noch beobachtet wurden (Senatsverwaltung für Umwelt, 2021). In Folge einer flächendeckenden Geschwindigkeitsreduktion in Brighton (UK) wurden hingegen Entlastungen von Hauptverkehrsstraßen um 4 Prozent und Mehrbelastungen von nachrangigen Straßen um 8 Prozent festgestellt (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018). In Graz gaben Befragte nur für 1,5 Prozent der Wege eine wegen Tempo 30 veränderte Routenwahl an (Pischinger, et al., 1995).

Eine Mikrosimulation von Tempo 30 in Wohngebieten in Braunschweig hatte eine leichte Reduktion des MIV-Anteils im Modal Split um rund 3 Prozentpunkte zur Folge (Benefits of using microscopic models for simulating air quality management measures, 2016). Die Studie von (Atkins; AECOM; Maher, Mike, 2018) konnte in den verfügbaren Daten keinen Modal Shift feststellen; Teilnehmende einer Befragung äußerten jedoch zu 5 Prozent, sie würde infolge der 30 km/h Regelung mehr zu Fuß gehen, 2 Prozent gaben an, mehr Rad zu fahren. In Graz wurde im Rahmen einer begleitenden Haushaltsbefragung kein Verkehrsmittelwechsel mit der großflächigen Einführung von Tempo 30 begründet (Pischinger, et al., 1995).

Die Trennwirkung von Straßen wird nach einer Studie von (Retzko, et al., 2000) nicht erkennbar durch die Geschwindigkeit beeinflusst. Allerdings verringert sich mit steigender Geschwindigkeit die Wahrscheinlichkeit, dass zu Fuß Gehende eine gleich lange Zeitlücke zur Querung nutzen (Theofilatos, et al., 2021).

3.2 Umweltwirkungen

Basierend auf den Ergebnissen der Makrosimulationen des Referenzszenarios Tempo 50 und des Planfallszenarios Tempo 30 werden die Umweltwirkungen auf Lärm und Luftschadstoffe jeweils für die Varianten Bestandsflotte, teilelektrische Flotte und vollelektrische Fahrzeugflotte berechnet.

Für eine erste Bewertung der Sensitivitäten der Modellierung sowie der potenziellen Auswirkungen von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit werden verschiedene Emissionsfaktoren je nach Verkehrsqualität und Verkehrssituation zu Lärm und Luftschadstoffen betrachtet. Ausgewertet werden sowohl die Auswirkungen eines Wechsels von Tempo 50 auf Tempo 30 als auch die Änderungen aufgrund einer teil- oder vollelektrifizierten Flotte.

Je nach örtlicher Situation und den Ergebnissen der Verkehrsmodellierung ergeben sich neben der Änderung von Tempo 50 auf Tempo 30 auch Änderungen an weiteren emissionsbestimmenden Parametern wie der Verkehrsmenge sowie daraus abgeleitet des Verkehrszustands (Level-of-Service). Bewertet werden die gesamtstädtische Änderung der Luftschadstoffemissionen und die Änderung der mittleren Luftschadstoffemissionen pro Fahrzeugkilometer.

Die Wirkung der Planfall-Varianten auf den Lärm wird anhand der Belastungsänderungen bewertet. Hierzu werden auf Grundlage der Ergebnisse der Emissionsmodellierung sowie der ergänzenden Modelldaten (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.2.3.6) die Betroffenheiten an den Wohngebäuden berechnet. Für einzelne detaillierte Betrachtungen werden die lokalen Emissionsänderungen analysiert.

3.2.1 Lärm

Die Wirkungsermittlung hinsichtlich des Lärms findet sowohl anhand der Veränderungen der Lärmemissionen als auch nach Durchführung einer Ausbreitungsberechnung anhand der Lärmimmissionen statt. Die Wirkung der betrachteten Szenarien wird zusammenfassend hinsichtlich der Emissionen und Immissionen sowie für jede Stadt einzeln bewertet. Bei der stadtweisen Auswertung berücksichtigt die Ergebnisinterpretation eventuelle Besonderheiten.

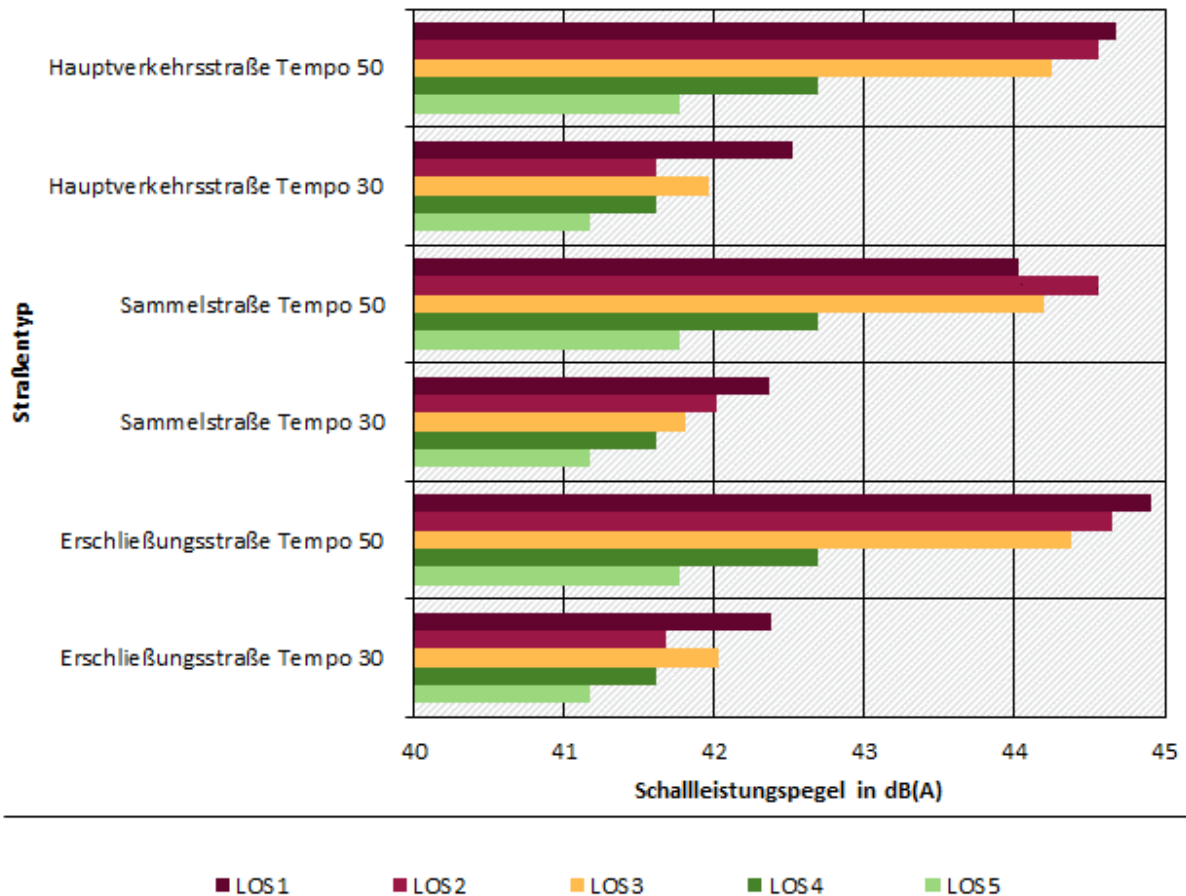
3.2.1.1 Emissionsfaktoren

Für die Lärmemissionen nach TraNECaM ist eine Auswahl der Pkw-Emissionsfaktoren innerorts in Abbildung 37 dargestellt. Für die LoS 1-3 bewirkt Tempo 30 gegenüber Tempo 50 eine Abnahme der Lärmemissionsfaktoren um rund 2,5 bis 3 dB. Für LoS 4 beträgt der Unterschied aufgrund der deutlich geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit lediglich noch rund 1 dB. Für den LoS 5 liegt der Unterschied bei rund 0,5 dB. Zwischen den Zyklen für Erschließungsstraßen und Hauptverkehrsstraßen beträgt der Unterschied bei Tempo 30 weniger als 0,5 dB, bei Tempo 50 weniger als 1 dB.

Abbildung 37: Lärm-Emissionsfaktoren Pkw aus TraNECaM (Ausschnitt)

Emissionen TraNECaM

Vergleich Emissionsfaktoren Pkw innerorts (ausgewählte Straßentypen)



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten aus TraNECaM

Insgesamt hat die Wahl des Straßentyps demnach wenig Einfluss auf die Pkw-Emissionsfaktoren. Wesentlich tragen aber die zulässige Höchstgeschwindigkeit durch die Rollgeräusche sowie der Verkehrszustand (Level-of-Service) zu den Lärmemissionen bei.

Ein relevantes Lärminderungspotenzial ist bei ungestörtem Verkehr (LoS 1-3) von Tempo 50 auf Tempo 30 zu erwarten. Stau- sowie Stop&Go-Situationen weisen (auf den gesamten Zyklus im Mittel bezogen) geringere Lärmemissionen auf und sind somit schalltechnisch grundsätzlich eher unkritisch. Dies liegt auch an den durch die geringeren gefahrenen Geschwindigkeiten geringeren Rollgeräuschen.

Lärmemissionsfaktoren des Schwerverkehrs und der Linienbusse

Für die Lkw- und Bus-Flotte ergibt sich durch den Einsatz elektrischer Antriebe eine potenziell deutlich stärkere Minderung der Lärmemission als für Pkw. Eine Untersuchung zu Bussen im Vergleich konventioneller Antriebe zu elektrischen Antrieben (Braun, et al., 2018) ermittelte die Lärmemissionen beider Antriebsarten jeweils anhand vergleichender Messungen. Sie zeigte, dass z. B. für Elektrobusse eine um rund 10-14 dB geringere Lärmemission im

Geschwindigkeitsbereich bis 30 km/h zu erwarten ist. Bei 40 km/h unterscheidet sich der Vorbeifahrtpegel noch um rund 4 dB, bei 50 km/h wird kein Unterschied in den Lärmemissionen ausgegeben.

In den mit RoTraNoMo erstellten Emissionsansätzen, die Grundlage für die Fahrzyklen in TraN-ECaM und die daraus resultierenden Lärmemissionen sind, zeigt sich ein mit den zuvor genannten Messungen vergleichbarer Unterschied in den Vorbeifahrtpegeln. Die Unterschiede von RoTraNoMo zu den Messungen beim Zyklus für Hauptverkehrsstraßen mit Tempo 30 liegen bei ungefähr 11-15 dB (LoS 1-4) bzw. rund 19 dB (LoS 5 „Stop&Go II“).

Neben den AVAS-Emissionen der Pkw berücksichtigen die Emissionsberechnungen für den Lärm auch jene der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) und Linienbusse. Da die Antriebsgeräusche bei konventionellen SNF und Bussen bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich über jenen eines möglichen AVAS liegen, ist das Minderungspotenzial auch mit AVAS deutlich höher als bei Pkw.

Es könnte sich somit neben den bereits für Pkw genannten Varianten („mittleres AVAS“ entsprechend Verbrennern in der Basisflotte sowie „leises AVAS“ in der teil- und vollelektrischen Flotte) auch eine Kombination des „mittleren AVAS“ für Pkw mit dem „leisen AVAS“ für schwere Nutzfahrzeuge und Busse ergeben. Aufgrund der weiter ansteigenden Komplexität wurde auf eine solche Modellierung verzichtet.

In der Variante „Basisflotte 2021“, die auch stellvertretend für eine elektrifizierte Pkw-Flotte mit einem „mittleren AVAS“ steht, sind somit die Minderungen durch eine (teil)elektrische Lkw- und Busflotte nicht enthalten. Mit einer zunehmenden Elektrifizierung der schweren Nutzfahrzeuge und Linienbusse wäre, auch bei gleichbleibenden Lärmemissionen der Pkw, gegenüber dieser Variante eine Minderung der Lärmmissionen gegeben, die tendenziell in der teil- und vollelektrischen Flotte abgebildet wird.

3.2.1.2 Änderung der Lärmemissionen nach Fahrzeugklassen

Es ist davon auszugehen, dass Tempo 30 durch die geringeren Geschwindigkeiten größtenteils zu einer Abnahme der Lärmemissionen führen wird. Die wesentlichen Emissionsfaktoren sinken für Pkw bei Tempo 30 um rund 2,5 bis 3 dB, bei Stop&Go- und Stau ist der Unterschied geringer (Abbildung 37). Eine Änderung um 3 dB entspricht einer Halbierung bzw. Verdoppelung der Verkehrsmenge, sodass in der Regel auch bei Verkehrszunahmen die Lärmbelastung durch eine Tempo-30-Anordnung abnimmt.

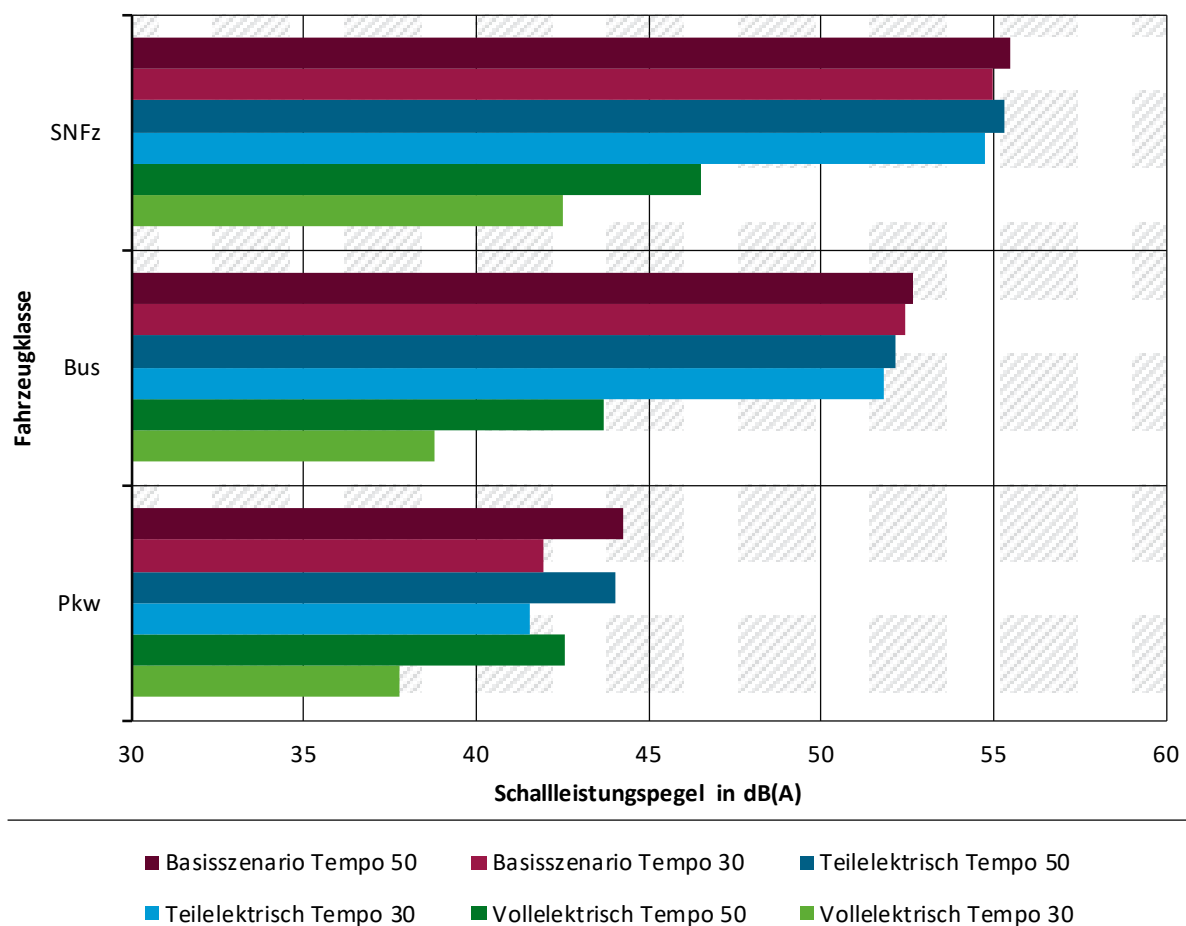
Abbildung 38 zeigt die Lärmemissionen der Fahrzeugklassen Pkw, schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Linienbusse jeweils für die drei Flottenszenarien (Basisszenario sowie teil- und vollelektrische Flotte) auf einer Hauptverkehrsstraße bei Tempo 50 und Tempo 30. Der bereits genannte Rückgang der Fahrzeugemissionen bei Pkw von 2,5-3,0 dB im Basisszenario ist erkennbar. Bei der teilelektrischen Flotte sind die Rückgänge bei Pkw in gleicher Größe zu erwarten, da aufgrund des geringen Anteils leiserer Fahrzeuge weiterhin die lauterer Fahrzeuge dominieren. Erst im Szenario „Vollelektrisch“ ist bei den dort angesetzten minimalen AVAS-Emissionen ein deutlicher Rückgang der Lärmemissionen zu erkennen. Deutlich erkennbar ist der Minderungseffekt zwischen Tempo 50 und Tempo 30: Bei Tempo 50 fällt aufgrund des deutlich höheren Anteils der Rollgeräusche an den Fahrzeugemissionen auch bei einer potenziell leiseren Elektroflotte der Emissionsfaktor kaum geringer aus als bei der Basisflotte. Bei Tempo 30 hingegen ist der Anteil geringer Geschwindigkeiten höher, bei denen das Antriebsgeräusch entscheidend ist. Da das AVAS ab 20 km/h abschaltet und die Rollgeräusche erst ab 30 km/h dominieren, kommt eine weitere Lärminderung zustande.

Für Busse und SNF sind vergleichbare Trends erkennbar. Der stärkere Rückgang der Lärmemissionen bei den Bussen gegenüber SNF in der teilelektrischen Flotte ist durch den höheren Anteil elektrischer Busse zu begründen (Tabelle 1). Die Unterschiede bei den Lärmemissionen zwischen Basisflotte und teilelektrischer Flotte sind bei SNF und Bussen nur gering. Die in diesen Szenarien erzielbare Emissionsminderung durch Tempo 30 liegt bei diesen Fahrzeugklassen bei unter 1 dB. Deutliche Pegelminderungen ergeben sich hier erst bei einer vollelektrischen Flotte. Dann wird auch der Unterschied zwischen Tempo 50 und Tempo 30 bei entfallenden Antriebsmissionen ohne relevante AVAS-Emissionen mit fast 5 dB deutlich.

Abbildung 38: Emissionsfaktoren Lärm für verschiedene Szenarien (Hauptverkehrsstraße)

Emissionen TraNECaM

Vergleich Emissionsfaktoren innerorts, Hauptverkehrsstraße



Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten aus TraNECaM

3.2.1.3 Ergebnisse der Immissionsmodellierung

In den Ausbreitungsberechnungen wurden für die bewohnten Gebäude der Städte die Immissionen anhand von Fassadenpegeln berechnet. Die Bewertung der Lärmbelastung nach Lärmkennziffer (LKZ) erfolgt mit zwei Schwellenwerten:

► LKZ 65:

Ein Schwellenwert von 65 dB(A) berücksichtigt die derzeit in der Lärmaktionsplanung vorwiegend angesetzten Schwellen.

► LKZ 55:

Ein Schwellenwert von 55 dB(A) wird ergänzend gewählt, um darüber hinaus ein Maß der Veränderungen der Lärmbelastung in den weniger kritischen Pegelbereichen 55-65 dB(A) zu erhalten.

Mit der LKZ 65 lassen sich somit die relevanten Lärmbelastungen bei potenziell gesundheits-schädlichen Mittelungspegeln identifizieren, für die z. B. im Rahmen der Lärmaktionsplanung, der Lärmsanierung bzw. der Lärmvorsorge Maßnahmen getroffen würden. Eine Abnahme der LKZ 65 bedeutet einen Rückgang von (hoch) belasteten Personen. Die LKZ 55 bietet darüber hinaus die Möglichkeit zu prüfen, ob die Lärmbelastung in zwar weniger kritischen, aber dennoch stark belästigenden Pegelbereichen (55-65 dB(A)) verbleibt.

Die Ergebnisse der LKZ-Berechnung zeigt Tabelle 10. Die LKZ ist auch abhängig von der Anzahl der Einwohnenden der Städte: Halle verfügt über mehr potenziell Betroffene als Göttingen oder Ravensburg. Es wird aber deutlich, dass sich die Beispielstädte hinsichtlich der LKZ nicht proportional zur Einwohnendenzahl unterscheiden. Dies kann z. B. an einer höheren Bebauungs-dichte in der Nähe zu Lärmemittenten liegen.

Tabelle 10: LärmKennZiffer (LKZ) in den Beispielstädten bei Tempo 50 und Tempo 30

Szenario	LKZ 55			LKZ 65		
	Halle	Göttingen	Ravensburg	Halle	Göttingen	Ravensburg
Basis Tempo 50	819.810	343.714	252.805	109.206	44.720	37.626
Basis Tempo 30	624.735	321.253	233.393	54.745	33.342	27.942
Teilelektrisch Tempo 50	793.146	330.580	245.174	104.231	42.125	35.407
Teilelektrisch Tempo 30	593.256	306.396	225.185	49.515	30.427	25.654
Vollelektrisch Tempo 50	522.274	177.580	129.748	52.686	14.773	10.671
Vollelektrisch Tempo 30	270.152	116.519	79.965	6.628	2.929	1.789

Die LKZ sinken durch Tempo 30 in allen Städten deutlich (Tabelle 11). In Halle fallen die Rückgänge mit -24 bis -48 Prozent für die LKZ 55 bzw. -50 bis -87 Prozent für die LKZ 65 besonders hoch aus. Die Rückgänge in Göttingen und Ravensburg liegen im Bereich -7 bis -38 Prozent für die LKZ 55 bzw. -25 bis -83 Prozent für die LKZ 65.

Tabelle 11: Änderung der LärmKennZiffer (LKZ) bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 in den Beispielstädten

Szenario	LKZ 55			LKZ 65		
	Halle	Göttingen	Ravensburg	Halle	Göttingen	Ravensburg
Basis	-24 %	-7 %	-8 %	-50 %	-25 %	-26 %
Teilelektrisch	-25 %	-7 %	-8 %	-52 %	-28 %	-28 %
Vollelektrisch	-48 %	-34 %	-38 %	-87 %	-80 %	-83 %

Für die einzelnen Städte werden die Ergebnisse der LKZ-Änderungen in den kommenden Kapiteln jeweils einzeln ausgewertet.

Lärmemissionen unter Berücksichtigung einer Elektrifizierung der Flotte

Die Szenarien mit der teil- und vollelektrischen Flotte berücksichtigen bei den Lärmemissionen jeweils einen Ansatz minimal möglicher Lärmemissionen durch das AVAS der Fahrzeuge. Die hier gewählten Ansätze sind somit als „bestmöglicher Zustand“ bei optimal niedrig emittierenden Elektrofahrzeugen zu verstehen. In der Realität werden sich die AVAS-Emissionen der Elektrofahrzeuge absehbar zwischen den Ansätzen der Basisflotte 2021 (mit „mittleren AVAS-Emissionen“) und dem bestmöglichen Zustand (minimale AVAS-Emissionen) mit teil- oder vollelektrischer Flotte bewegen.

Bereits anhand der in Abbildung 38 dargestellten Emissionsänderungen ist erkennbar, dass mit der teilelektrischen Flotte und dem damit nur geringen Anteil potenziell leiser Fahrzeuge keine relevante Änderung in der Lärmbelastung zu erwarten ist. Erst wenn der Anteil der potenziell leisen Fahrzeuge deutlich ansteigt, wird die Pegelminderung wirksam.

Anhand der Szenarien lässt sich auch die Wirkung eines leiseren AVAS prognostizieren: Selbst bei einem relevanten Anteil potenziell leiser Fahrzeuge (vgl. Tabelle 1: fast 20 Prozent der Pkw) sinken die mittleren Lärmemissionen nur geringfügig. Für die Lärmemissionen des Straßenverkehrs ist daher ein hoher Anteil leiser Fahrzeuge entscheidend: Eine starke Emissionsminderung selbst eines Anteils von 20 Prozent der Flotte wird im Mittel noch nicht zu einer deutlichen Lärminderung führen.

Pegeländerungen und Änderung der Betroffenheiten

Weder mit der LKZ-Methode noch mit den Belastetenzahlen in den Pegelklassen ist es möglich, die Pegeländerungen in Abhängigkeit von der Lärmbetroffenheit in der Ausgangssituation festzustellen. Von Interesse für die Auswertung der Lärmwirkungen ist die Prüfung, ob eine in Summe festgestellte Entlastung zulasten der Betroffenheiten in niedrigeren Pegelklassen führt.

Durch die Höchstgeschwindigkeitsreduzierung von 50 auf 30 km/h sind für die betroffenen Straßen grundsätzlich Pegelrückgänge zu erwarten, da die Emission jedes einzelnen Fahrzeugs deutlich abnimmt. Durch die geänderte Geschwindigkeit im Straßennetz können sich jedoch Verkehrsverlagerungen ergeben, die auf einzelnen Straßen zu einer deutlichen Verkehrs- und Pegelzunahme führen können (siehe Kapitel 3.1.1). Problematisch können besonders jene Straßenabschnitte sein, die bereits im Bestand mit Tempo 30 ausgewiesen und nun von Verkehrsverlagerungen betroffen sind.

Zur Auswertung der genannten Effekte einer Lärmverlagerung dient eine Darstellung, die die relative Pegeländerung des Tempo-30-Szenarios im Vergleich zur Ausgangssituation mit

Tempo 50 zeigt. Für jede Kombination „Ausgangspegel“ und „Pegeländerung“ werden jeweils die aus den Fassadenpegelberechnungen ermittelten Betroffenenzahlen angegeben. Das Beispiel in Abbildung 39 stellt mittig den Bereich mit einer Pegeländerung von rund 0 dB dar, hier sind es bei Ausgangspegeln von 45 dB(A) 170 Betroffene, die keine Pegeländerung durch Tempo 30 erfahren. Rechts davon sind jeweils die Betroffenen mit Pegelzunahmen aufsummiert, links jene mit Pegelabnahmen. Das Beispiel zeigt, dass im gezeigten Pegelbereich 45-47 dB(A) die Pegelabnahmen mit mehreren Tausend Betroffenen deutlich gegenüber jenen mit Pegelzunahmen dominieren. Die Darstellung der Auswertung erfolgt jeweils in den folgenden Kapiteln für die Beispielstädte getrennt.

Abbildung 39: Beispiel zur Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basisszenario)

Pegel vorher in dB(A)	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45						1	7	298	1058	879	170	57	20	19	9	5	16	1	12	6	1
46						1	14	413	1786	1592	423	99	41	11	1	6	10	4	3	1	
47						1	35	824	3464	2217	646	126	30	15	16	5	11	13	3	1	1

Halle

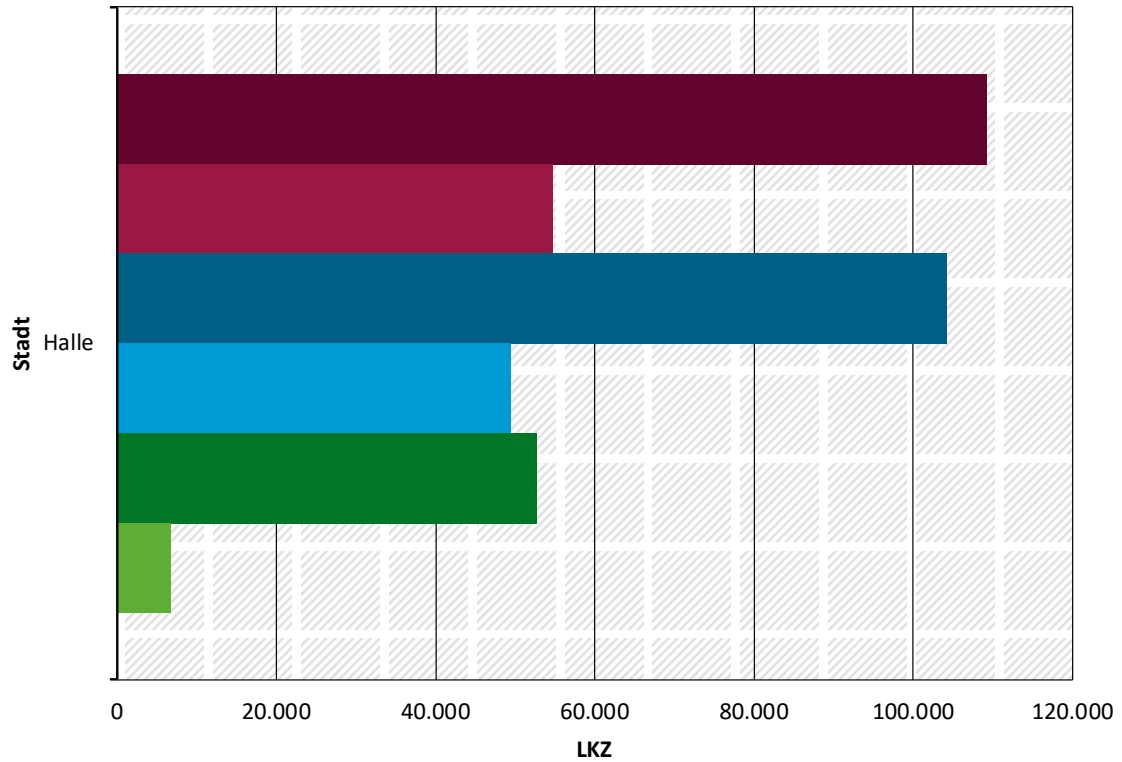
Die Ergebnisse der Lärmberechnung in Halle zeigen anhand der LKZ, dass mit dem Tempo-30-Szenario ein deutlicher Rückgang der Lärmbelastung erwartet werden kann. Dies ist insbesondere bei den Betroffenenheiten über 65 dB(A) erkennbar (Abbildung 40). Hier führt die Kombination aus Emissionsminderung und Verkehrsverlagerung zu einem Rückgang von rund 50 Prozent gegenüber dem Tempo-50-Basisszenario. Bei minimalem AVAS wird im Szenario „Voll-elektrisch“ ein noch deutlicherer Rückgang errechnet, sodass nur wenige Betroffene in den Pegelklassen > 65 dB(A) verbleiben.

Hinsichtlich der Betroffenenheiten mit einem Schwellenwert von 55 dB(A) sinkt die LKZ im Basisszenario mit 24 % ebenfalls deutlich (Abbildung 41), aber weniger stark. Dies ist darauf zurückzuführen, dass an manchen Stellen auch eine höhere Lärmbelastung von zuvor unter 55 dB(A) Belasteten auftritt, die der Minderung entgegenwirkt (siehe hierzu Abbildung 42 und die dazugehörigen Erläuterungen).

Abbildung 40: LärmKennZiffer in Halle für den Schwellenwert 65 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 65 dB(A)



■ Basis Tempo 50 ■ Basis Tempo 30 ■ Teilelektrisch Tempo 50
■ Teilelektrisch Tempo 30 ■ Vollelektrisch Tempo 50 ■ Vollelektrisch Tempo 30

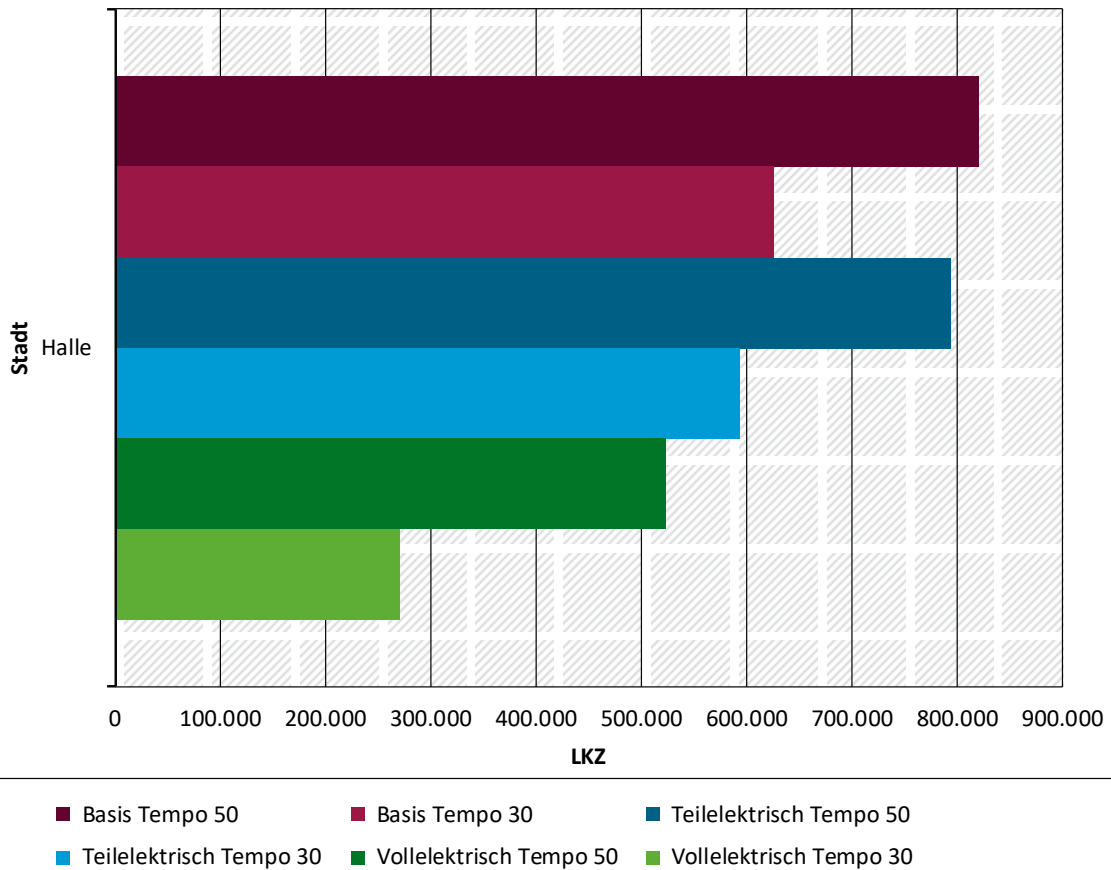
Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 41: LärmKennZiffer in Halle für den Schwellenwert 55 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 55 dB(A)



Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Die Unterschiede zwischen der Basisflotte und der teilelektrischen Flotte sind sowohl beim Vergleich der Tempo-50-Szenarien als auch der Tempo-30-Szenarien marginal. Erst mit größerem Umsetzungsgrad einer Elektrifizierung, bei der die Lärmemissionen des AVAS den Minimalanforderungen entsprechen, könnte potenziell eine deutliche Lärminderung eintreten. Die Minderungswirkung überträte in diesem Fall sogar die prozentuale Abnahme im Basisszenario. Da jedoch zu erwarten ist, dass die AVAS-Emissionen der Fahrzeuge über den Minimalanforderungen liegen, wird die Immissionssituation erwartbar zwischen den betrachteten Szenarien liegen. In jedem Fall wird das Tempo-30-Szenario zu einer deutlichen Abnahme der Lärmbelastung gegenüber Tempo 50 führen.

Zur Bewertung der resultierenden Änderungen in der Lärmbelastung soll die Verlagerung von Immissionsbelastungen betrachtet werden. Abbildung 42 zeigt, wie sich die Lärmbelastung für die Stadt Halle im Basisszenario von Tempo 50 zu Tempo 30 verändert. Erkennbar ist eine Abnahme zwischen -3 und -1 dB für eine Vielzahl von Betroffenen. In der Summe erfahren rund 180.000 Betroffene eine Pegelminderung von mindestens 1 dB, davon rund 26.000 im kritischen Pegelbereich ≥ 65 dB(A) sowie weitere rund 76.000 Betroffene im Pegelbereich 55-65 dB(A). Dem gegenüber stehen rund 17.000 Betroffene, die eine Pegelzunahme von mindestens 1 dB erfahren, hiervon rund 1.000 im kritischen Pegelbereich ≥ 65 dB(A). Weitere rund 10.000 Betroffene mit Pegelzunahmen liegen im Pegelbereich 55-65 dB(A).

Gesamtstädtisch kann auf den Hauptverkehrsstraßen mit vorherigem Tempo 50 eine deutliche Pegelminderung von meist über 2 dB erreicht werden (Abbildung 43 und Abbildung 44). Deutliche Pegelzunahmen von über 2 dB bleiben im Wesentlichen beschränkt auf die Europachaussee, Straßen des nachgeordneten Netzes sowie außerhalb des Innenstadtbereichs. Im Bereich der südlichen Neustadt, wo der Verkehr auf die B 80 verlagert wird, ergeben sich auf der B 80 Emissionszunahmen von unter 1 dB.

Abbildung 42: Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basiszenario) in Halle

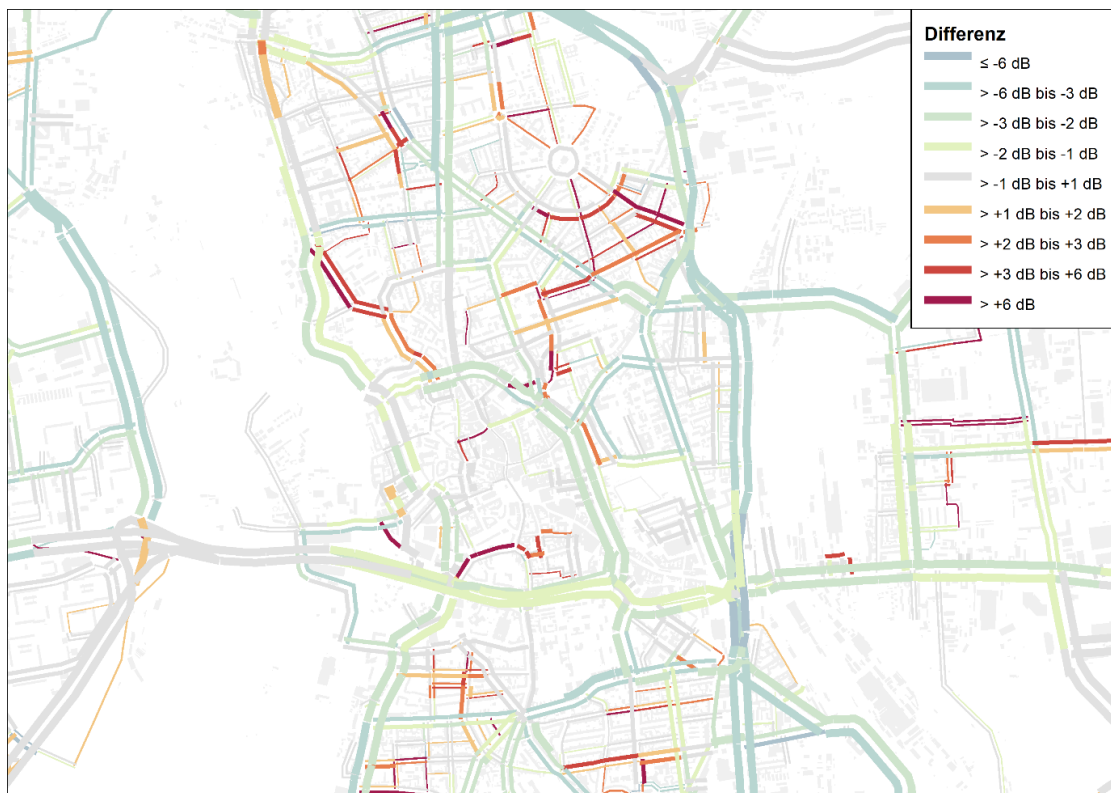
Pegel vorher in dB(A)	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45						1	7	298	1058	879	170	57	20	19	9	5	16	1	12	6	1
46						1	14	413	1786	1592	423	99	41	11	1	6	10	4	3	1	
47						1	35	824	3464	2217	646	126	30	15	16	5	11	13	3	1	1
48							50	1281	4641	2915	902	209	59	16	8	14	10	4	7	1	
49						2	124	1732	4143	2985	1110	363	93	56	25	7	4	7			
50					1	19	205	2066	3947	3023	1372	447	110	51	14	9	1				
51					6	22	269	2159	3942	2896	1722	478	139	51	22	6	1				
52				1	4	20	272	2530	4107	3214	2011	621	181	85	9	7	4	4			
53					5	25	354	2501	3980	3235	2346	705	315	59	13	11		4			
54				1	5	42	499	2693	4059	3286	2301	714	291	40	27	12	11				
55				1	7	79	739	2790	3513	2841	2293	736	381	100	14	16	1				
56				4	14	134	815	2486	3200	2921	2547	914	279	79	38	5					
57				1	26	171	840	2376	3052	2514	2575	888	269	95	19	18					
58				4	51	201	819	2428	2654	2507	2881	1097	293	89	31	1					
59			1	12	109	262	818	2172	2491	2363	2472	934	260	95	7	30					
60				19	97	217	678	2042	2423	1990	1927	714	249	29	17	10					
61				6	46	230	765	1986	2136	1630	1811	730	295	22	25						
62					34	181	703	2022	1855	1358	1650	535	169	39							
63				4	41	168	647	1650	1504	1050	1316	368	158	6							
64			1	3	33	134	591	1627	1503	897	1156	288	66	8							
65			1	4	20	99	471	1477	1402	671	726	271	53	7							
66				3	27	86	490	1459	1011	508	538	120	59	3							
67			2	4	46	124	433	1246	927	603	353	173	13								
68				9	33	125	768	1168	818	368	251	73	5								
69				1	50	142	360	1040	654	229	333	196	1								
70				5	55	131	376	895	469	255	296	35	1								
71			4	18	69	147	355	968	469	173	125	17	2								
72			7	9	44	160	301	376	238	72	49	4									
73			3	3	161	186	250	351	262	46	35	4									
74				48	155	112	107	273	299	56	17										
≥ 75				12	86	184	288	624	403	70	4										
	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Summe	0	0	18	172	1226	3409	1344	3479	2664	1493	4363	8119	15383	976	295	161	69	37	25	10	3

(Abweichungen rundungsbedingt)

Abbildung 43: Pegeländerungen der Straßenlärmissionen in Halle bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Stadtgebiet



Abbildung 44: Pegeländerungen der Straßenlärmissionen in Halle bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Innenstadt



Die Linienbreite beschreibt jeweils die Höhe der Emissionen in der Ausgangsvariante Tempo 50.

Ein Beispiel für die Emissionssituation, die sich aus einer Verkehrsverlagerung von den innerstädtischen Straßen auf die Europachaussee ergibt, zeigt Abbildung 45. Durch den Rückgang der Verkehrsmenge sowie die geringere zulässige Höchstgeschwindigkeit sinken die Verkehrslärmemissionen auf der Merseburger Straße (B 91) deutlich, während auf der parallel dazu verlaufenden Europachaussee die Emissionen deutlich zunehmen. Da die Europachaussee weitgehend außerhalb kritischer Bebauung verläuft, sind keine größeren Konflikte und im betrachteten Bereich keine Pegelzunahmen > 1 dB zu erwarten.

Abbildung 45: Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Halle bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Südliche Innenstadt (Europachaussee)



Die Linienbreite beschreibt jeweils die Höhe der Emissionen in der Ausgangsvariante Tempo 50.

Insgesamt zeigen die Modellberechnungen, dass in Halle mit Tempo 30 eine weitreichende Lärminderung für die Mehrheit der Betroffenen erreicht werden kann. Die Anzahl der von Pegelminderungen Betroffenen überwiegt die Anzahl der von Pegelzunahmen betroffenen Anwohnenden. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse aber auch, dass bisher bereits von Lärm Betroffene ohne weitere Maßnahmen weiteren Belastungszunahmen ausgesetzt sein können. Dies ist in Abbildung 42 im Bereich der Pegelzunahmen erkennbar, insbesondere bei Pegeln im Bereich ≥ 65 dB(A). Insbesondere bei diesen Zunahmen wäre zu prüfen, ob Begleitmaßnahmen diese Mehrbelastungen vermeiden können.

Göttingen

Für Göttingen zeigen die Ergebnisse der Lärmberechnung, dass mit dem Tempo-30-Szenario ein Rückgang der LKZ erwartet werden kann. Die Betroffenheiten über 65 dB(A) sinken im Basisszenario mit rund 25 Prozent aber geringer als in Halle (Abbildung 46). Im Szenario

„Vollelektrisch“ mit minimalem AVAS wird ein ähnlich hoher Rückgang (> 80 Prozent) der Betroffenen in den Pegelklassen > 65 dB(A) wie in Halle erreicht.

Für Betroffenenheiten mit einem Schwellenwert von 55 dB(A) sinkt die LKZ im Basisszenario um rund 10 Prozent (Abbildung 47). Im Szenario mit vollelektrischer Flotte ist der Rückgang ähnlich stark wie in Halle.

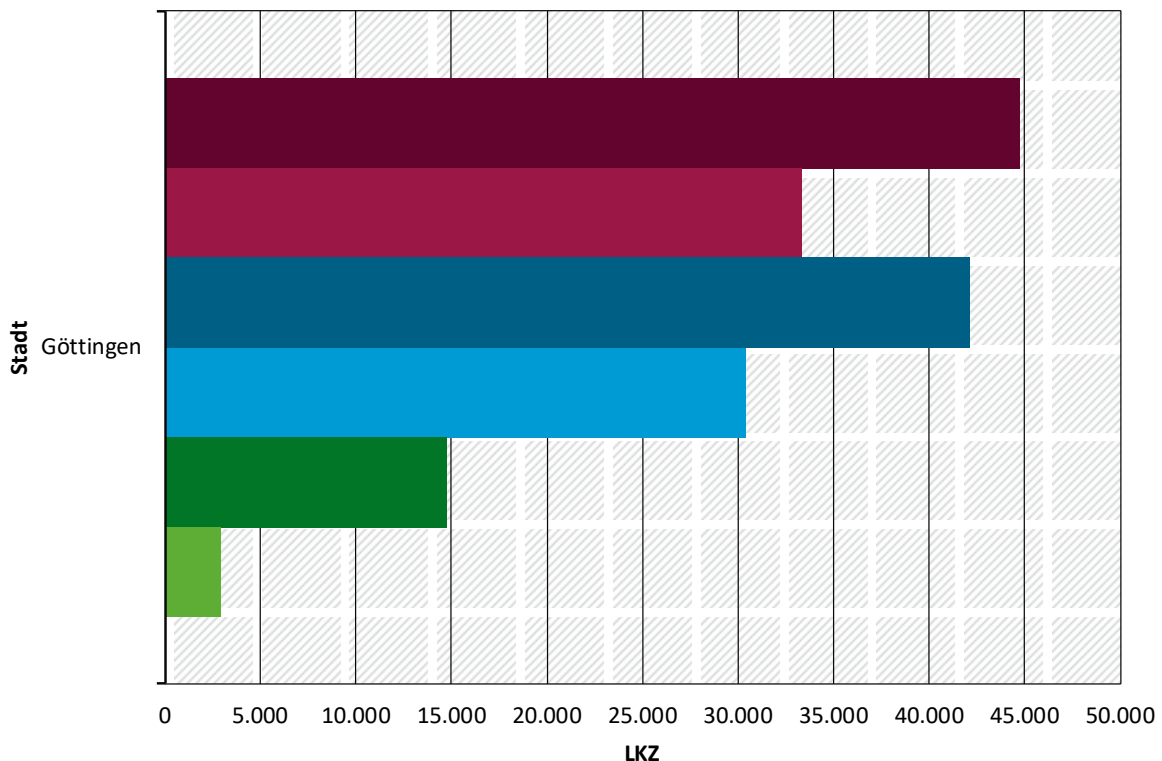
Erkennbar ist auch für Göttingen, dass zwischen der Basisflotte und der teilelektrischen Flotte nur geringfügige Unterschiede in den Belastungen festzustellen sind. Eine deutliche Lärmminde- rung wird erst bei größerem Umsetzungsgrad einer Elektrifizierung eintreten, bei der die Lärmemissionen des AVAS den Minimalanforderungen entsprechen. Da jedoch zu erwarten ist, dass die AVAS-Emissionen der Fahrzeuge über den Minimalanforderungen liegen, wird die Im- missionssituation zwischen den teil- und vollelektrischen Szenarien liegen. In jedem Fall kann jedoch festgestellt werden, dass das Tempo-30-Szenario auch in Göttingen zu einer deutlichen Abnahme der Lärmbelastung führt.

Abbildung 48 zeigt die resultierenden Änderungen in der Lärmbelastung für das Tempo-30-Ba- sisszenario im Vergleich zu Tempo 50.

Abbildung 46: LärmKennZiffer in Göttingen für den Schwellenwert 65 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 65 dB(A)

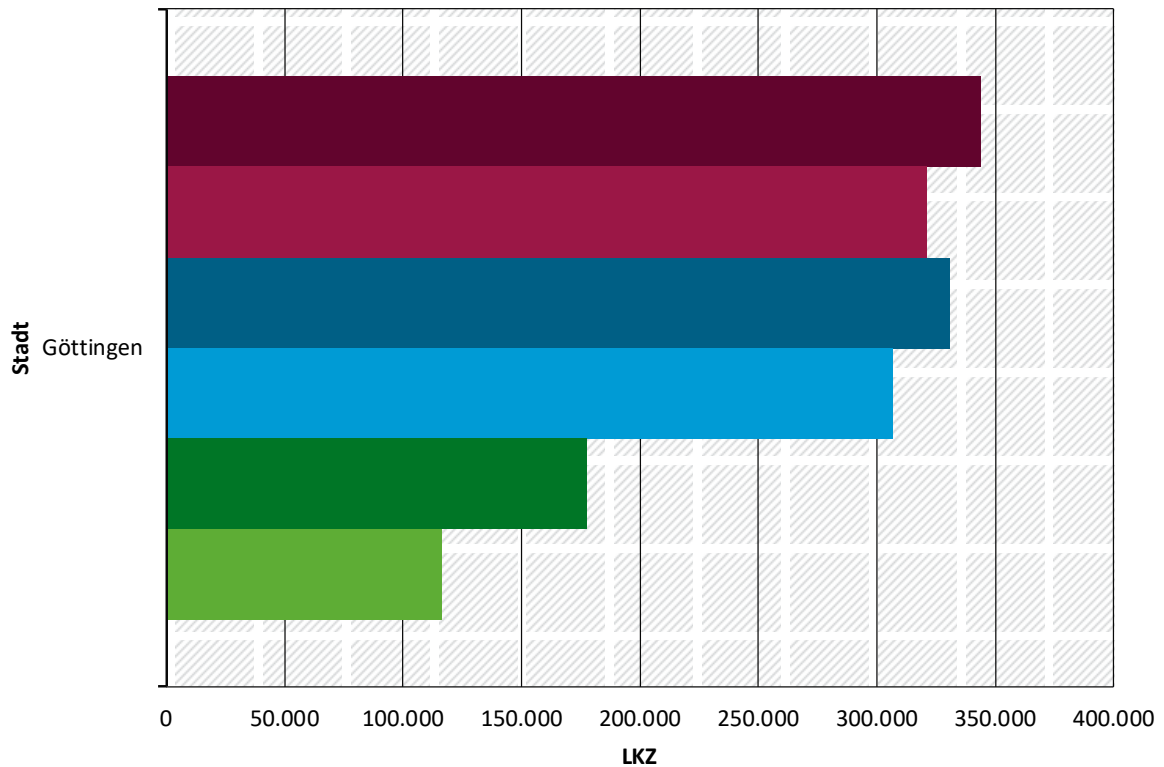


■ Basis Tempo 50 ■ Basis Tempo 30 ■ Teilelektrisch Tempo 50
■ Teilelektrisch Tempo 30 ■ Vollelektrisch Tempo 50 ■ Vollelektrisch Tempo 30

Abbildung 47: LärmKennZiffer in Göttingen für den Schwellenwert 55 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 55 dB(A)



■ Basis Tempo 50 ■ Basis Tempo 30 ■ Teilelektrisch Tempo 50
■ Teilelektrisch Tempo 30 ■ Vollelektrisch Tempo 50 ■ Vollelektrisch Tempo 30

Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 48: Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basisszenario) in Göttingen

Pegel vorher in dB(A)	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45									387	861	836	95	46	11	4	2					
46								4	604	1384	1202	173	38	15	11		2				
47								17	834	1691	1668	251	69	15	2	4	2				
48						2		34	815	2222	2281	297	61	23	4	6					
49					2	2		63	872	2624	2302	331	166	59							
50							2	57	998	2373	2066	442	238	93	17						
51							4	103	1021	2034	2205	472	366	69	15	2					
52							4	82	857	1640	2106	497	274	116	44		2				
53					2		91	878	1432	2230	577	318	128	51	4			2			
54							11	126	800	1539	2207	508	417	112	74	6	2	2			
55							6	141	769	1495	2133	543	425	120	51	6	4	2			
56							25	175	625	1415	2184	543	307	137	97	25					
57							21	194	697	1394	2118	592	299	164	57	13					
58					2		32	164	672	1133	2344	558	217	145	93	8					
59					2	4	38	160	657	1036	2087	670	227	206	177	2					
60							40	126	752	762	1649	621	238	112	78	8					
61							38	196	655	878	1611	390	236	67	67	2					
62							40	179	682	646	1373	381	112	154	93	23					
63							63	141	560	543	1154	282	57	42	29						
64							17	139	505	459	977	221	72	78							
65							59	131	600	318	729	139	51	27							
66						2	72	234	592	314	529	137	4	4							
67							34	289	470	299	411	145	13								
68						2	15	215	560	230	347	177	4								
69			2			15	17	179	423	202	223	99	4								
70						4	13	135	537	86	217	147									
71						11	13	187	291	93	427	120									
72					2		19	126	286	72	230	86									
73				2		4	4	126	303	67	173	2									
74			4				2	69	93		78	13									
≥ 75							13	88	181	11	82	13									
	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Summe	0	0	6	2	8	48	600	3972	1897	8292	44017	79521	4260	1897	962	114	13	6	0	0	0

(Abweichungen rundungsbedingt)

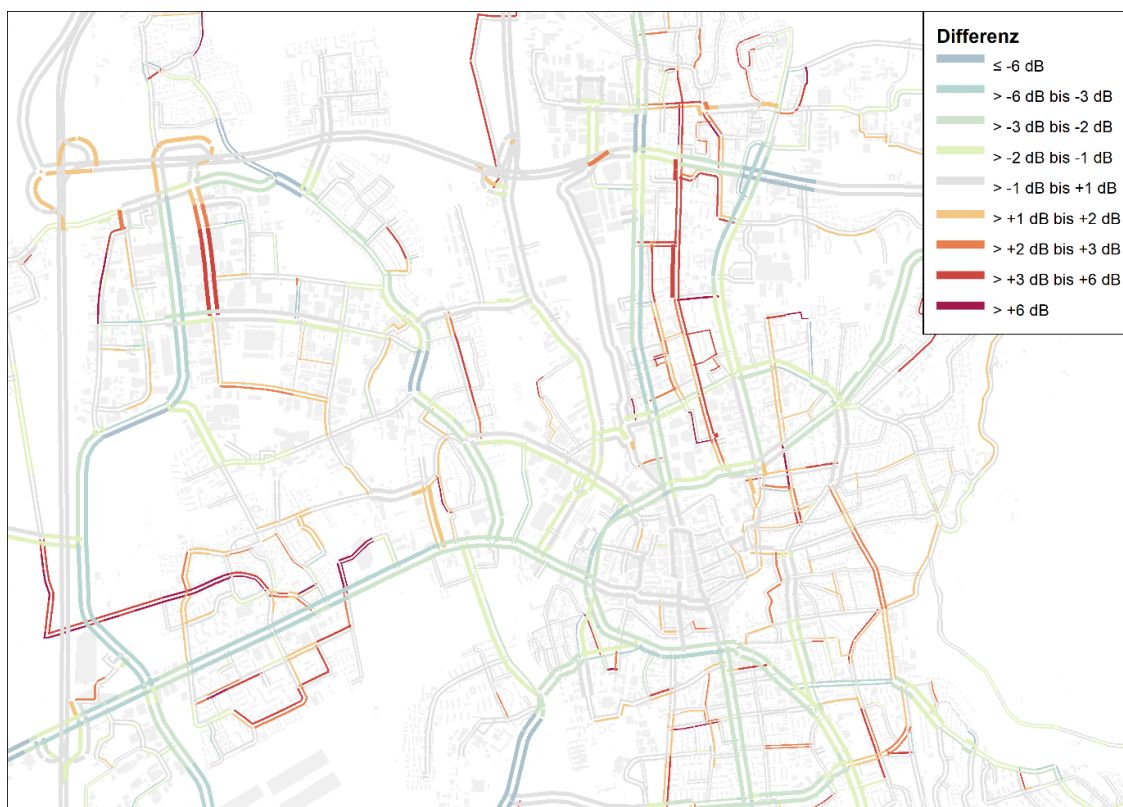
Im Vergleich zu den Ergebnissen aus Halle ist die Abnahme im Mittel deutlich geringer, sie liegt vorwiegend im Bereich von -1 dB. Rund 53.000 Betroffene erfahren eine Pegelabnahme von mindestens 1 dB, davon rund 8.000 im kritischen Pegelbereich ≥ 65 dB(A) sowie rund 18.000 im Pegelbereich 55-65 dB(A). Dem stehen rund 17.000 Betroffene entgegen, die eine Pegelzunahme von mindestens 1 dB erfahren. Hiervon liegen rund 1.200 im kritischen Pegelbereich ≥ 65 dB(A) und weitere rund 9.100 im Pegelbereich ≥ 55 dB(A).

Insgesamt zeigen die Modellberechnungen, dass die Lärmbetroffenheit in Göttingen durch Tempo 30 sinkt. Die Wirkung ist aber geringer als im Modell von Halle. Auch in Göttingen können ohne weitere Maßnahmen Zunahmen der Belastung für bisher bereits von Lärm Betroffenen auftreten.

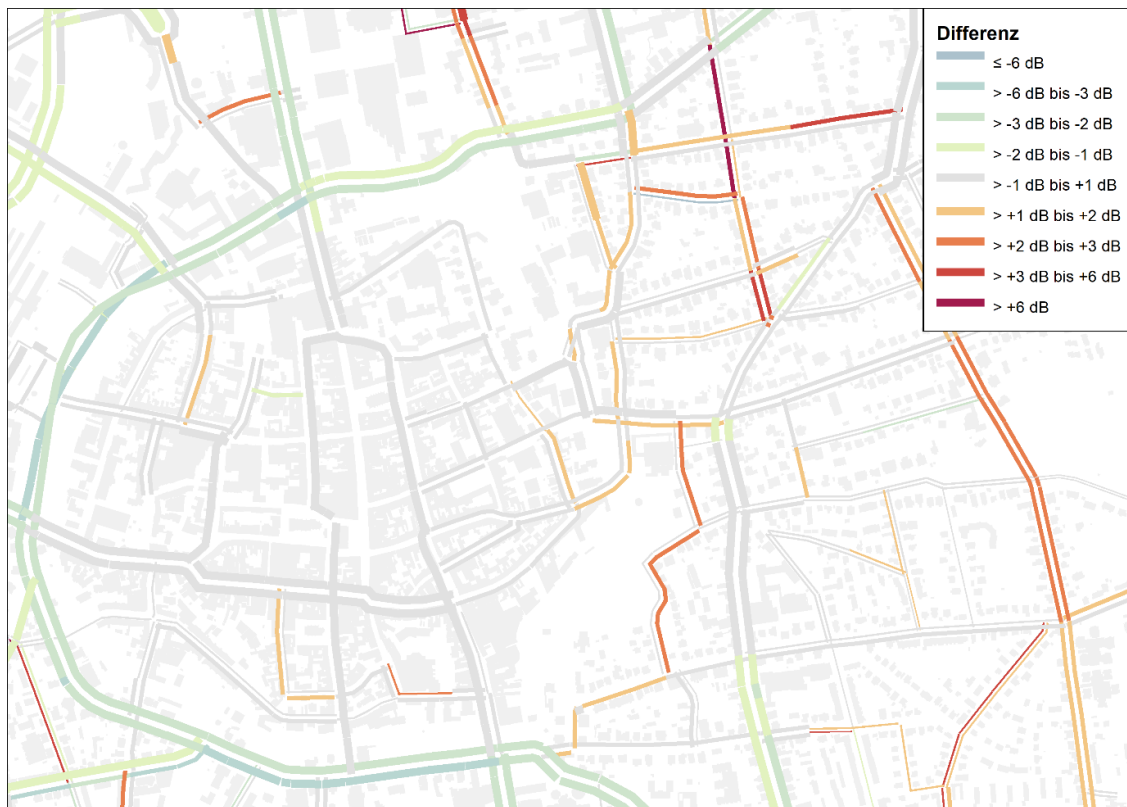
Ursache für die geringere Wirkung und die relativ häufigeren Pegelzunahmen kann in Göttingen sein, dass insbesondere im östlichen Stadtgebiet bereits eine überwiegende Anzahl von Straßen mit Tempo 30 ausgewiesen ist (vgl. Abbildung 20). Für diese werden im Modell durch die Verlagerung des Verkehrs vom Innenstadtring (B 27) Verkehrszunahmen ermittelt. Trotz der geringeren Geschwindigkeit der Fahrzeuge kommt es zu keiner Lärmentlastung.

In der Betrachtung der Lärmemissionen zeigt sich für das Stadtgebiet, dass auf den meisten Hauptverkehrsstraßen Pegelminderungen auftreten (Abbildung 49). Im Innenstadtbereich ist dabei eine Verlagerung von den Strecken der B 27 auf das umgebende Straßennetz zu erkennen (Abbildung 50).

Abbildung 49: Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Göttingen bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Stadtgebiet



**Abbildung 50: Pegeländerungen der Straßenlärmmissionen in Göttingen bei Tempo 30 gegen-
über Tempo 50 im Basisszenario – Innenstadt**



Die Linienbreite beschreibt jeweils die Höhe der Emissionen in der Ausgangsvariante Tempo 50.

Die Auswirkungen einer innerörtlichen Verkehrsverlagerung zeigt Abbildung 51 für den Bereich der B 3 (links) sowie der parallelen Verbindungen Merkelstraße, Beethovenstraße und Hanssenstraße (rechts). An der B 3 sinken die Beurteilungspegel, dafür steigen die Pegel auf den von der Verkehrsverlagerung betroffenen Straßen im östlichen Stadtgebiet.

Deutliche Pegelzunahmen treten z. B. auch im Bereich der parallel verlaufenden B 27 im Westen, der Theodor-Heuss-Straße / Goßlerstraße sowie der Robert-Koch-Straße im Westen auf (Abbildung 52). Da durch die Verlagerung zudem vornehmlich Wohnbebauung von höheren Lärmpegeln betroffen ist, ist in diesem Bereich auch eine Zunahme der Betroffenen insgesamt zu erwarten. Hier wären die prognostizierten Verkehrsverlagerungen zu prüfen und ggf. kompensierende Begleitmaßnahmen zu ergreifen, um kritische Verlagerungen zu vermeiden.

Abbildung 51: Lärmpegeländerungen an den Gebäuden in Göttingen bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Östliche Innenstadt

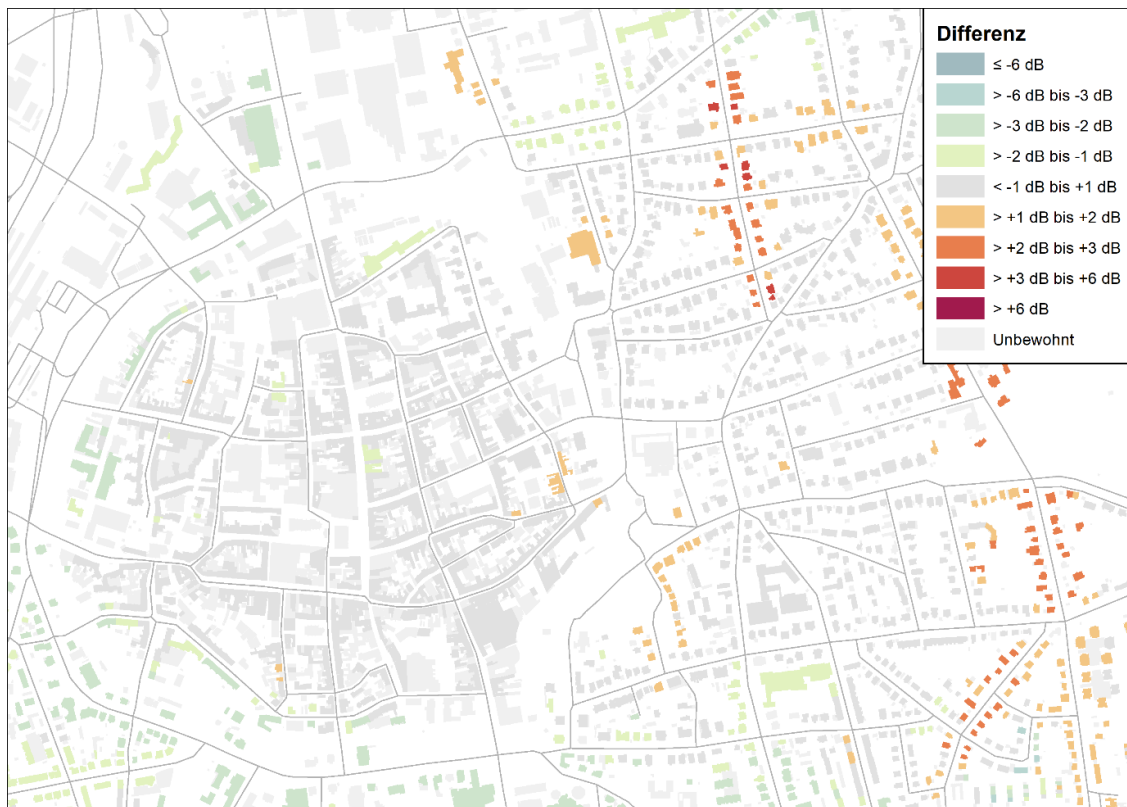
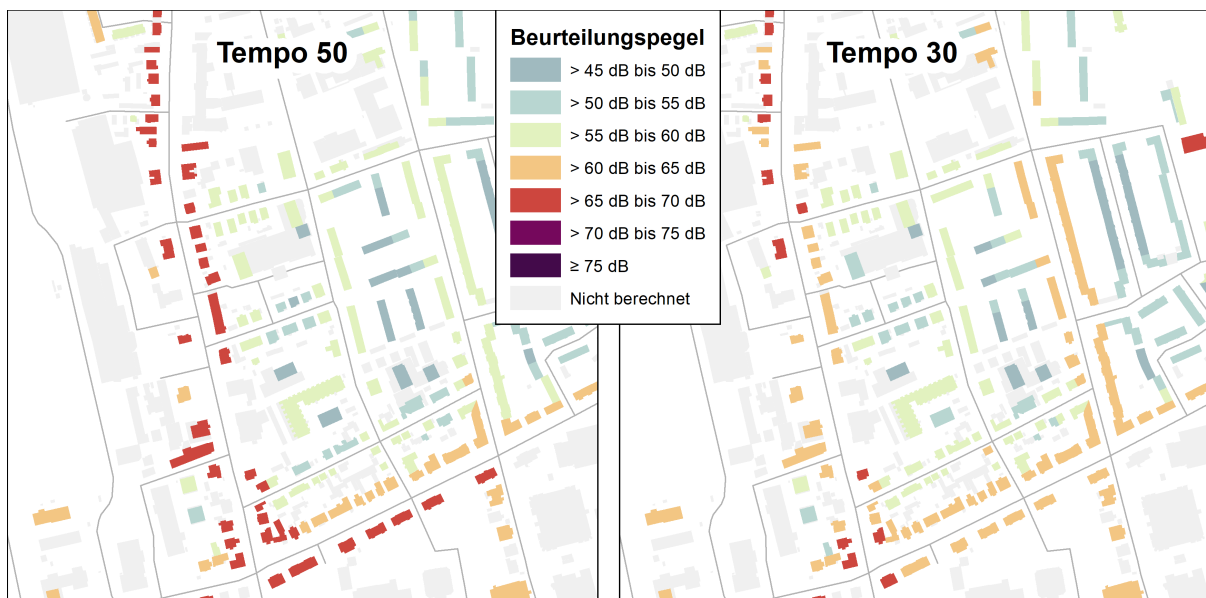


Abbildung 52: Lärmpegeländerungen an den Gebäuden in Göttingen bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Nördliche Innenstadt, B 3 / Goßlerstraße



Die Betrachtung der Beurteilungspegel im Vergleich zu Tempo 50 in Abbildung 53 zeigt, dass an der B 3 die Beurteilungspegel im Tempo-30-Basiszenario von rund 65-70 dB(A) auf rund 60-65 dB(A) sinken. An der Theodor-Heuß-Straße / Goßlerstraße hingegen steigen die Beurteilungspegel von rund 55-60 dB(A) auf 60-65 dB(A) an. Insgesamt ergibt sich somit im gezeigten Bereich eine gleichmäßigere Verteilung der Lärmbelastung.

Abbildung 53: Beurteilungspegel an den Gebäuden in Göttingen, Basiszenario Tempo 50 (links) und Tempo 30 (rechts) – Nördliche Innenstadt, B 3 / Goßlerstraße



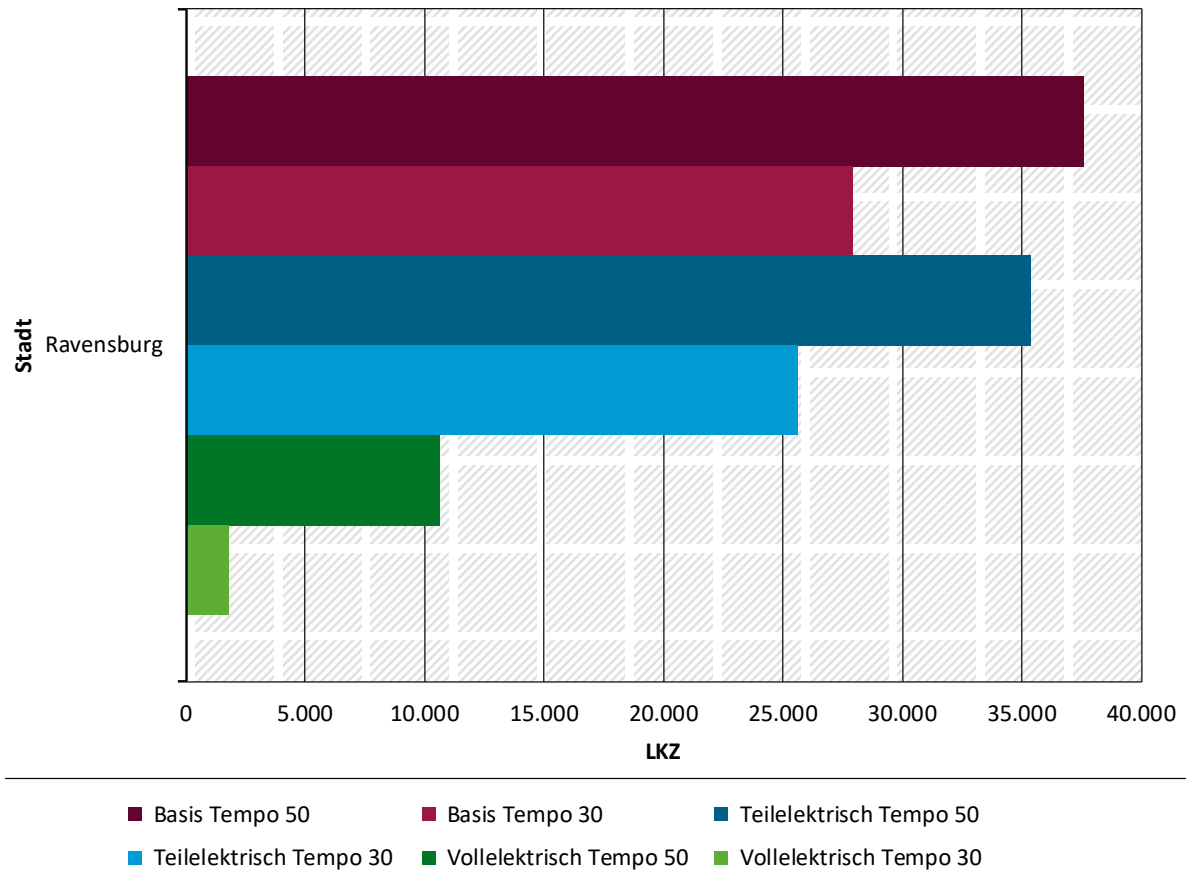
Ravensburg

Die für Ravensburg ermittelten Ergebnisse sind vergleichbar mit denen für Göttingen (Abbildung 54). Im Tempo-30-Basiszenario wird ein Rückgang der Betroffenen über 65 dB(A) um 26 Prozent ermittelt. Das Szenario „Vollelektrisch“ mit minimalem AVAS zeigt einen starken Rückgang (> 80 Prozent) der Betroffenen in den Pegelklassen > 65 dB(A). Auch für Betroffenen mit einem Schwellenwert von 55 dB(A) werden vergleichbare Reduzierungen der LKZ ermittelt (Abbildung 55). In Ravensburg fällt der Rückgang im Basiszenario mit unter 10 Prozent gering aus. Für das Szenario mit vollelektrischer Flotte ist der Rückgang hingegen mit über 80 Prozent deutlicher.

Abbildung 54: LärmKennZiffer in Ravensburg für den Schwellenwert 65 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 65 dB(A)



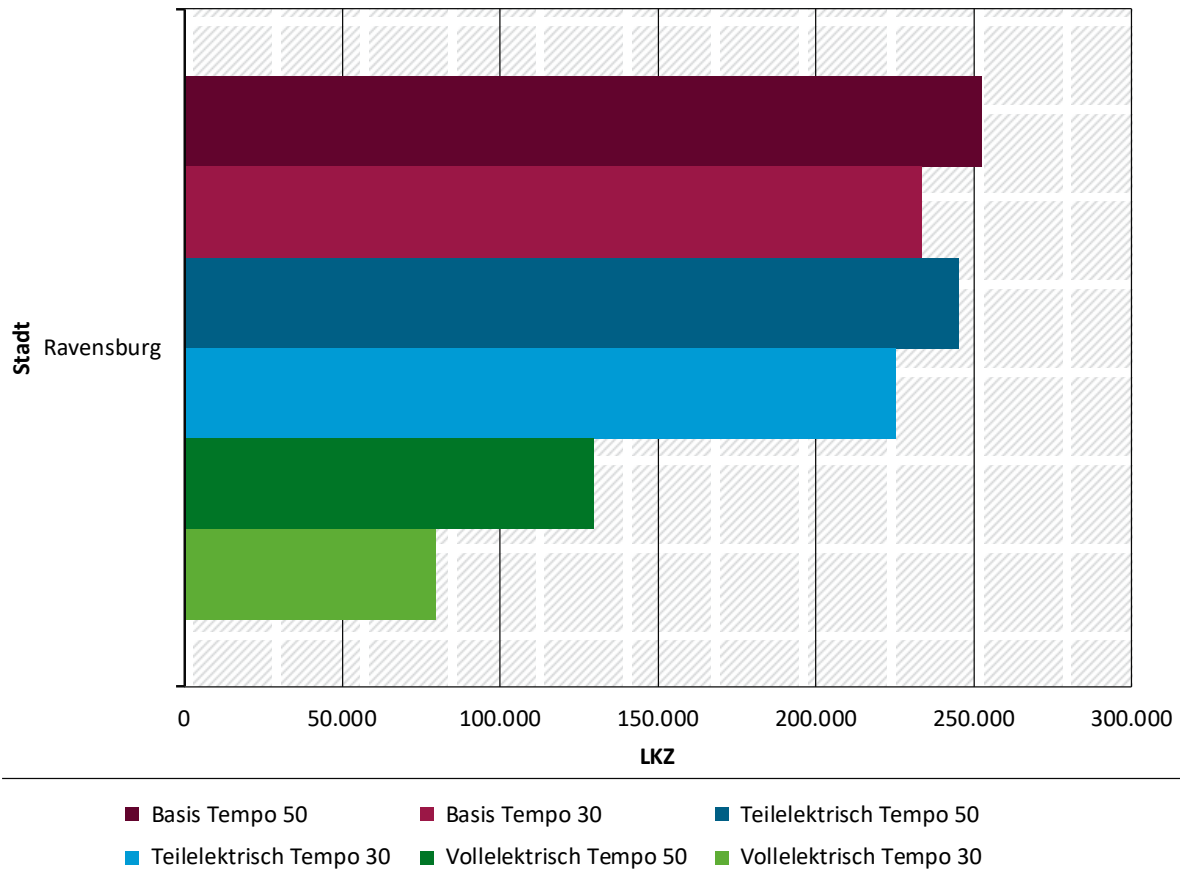
Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 55: LärmKennZiffer in Ravensburg für den Schwellenwert 55 dB(A)

LärmKennZiffer

für Überschreitungen 55 dB(A)



Die teil- und vollelektrische Flotte geht von AVAS-Emissionen aus, die den Minimalanforderungen entsprechen.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Auch hier gibt es zwischen der Basisflotte und der teilelektrischen Flotte nur geringfügige Unterschiede in den Belastungen. Eine deutliche Lärminderung wird erst bei größerem Umsetzungsgrad einer Elektrifizierung eintreten, bei der die Lärmemissionen des AVAS den Minimalanforderungen entsprechen. Da jedoch zu erwarten ist, dass die AVAS-Emissionen der Fahrzeuge über den Minimalanforderungen liegen, wird die Immissionssituation zwischen dem teil- und dem vollelektrischen Szenario liegen. In jedem Fall führt das Tempo-30-Szenario aber zu einer deutlichen Abnahme der Lärmbelastung.

Die Bewertung der resultierenden Änderungen in der Lärmbelastung findet anhand einer Betrachtung der Verlagerungen der Immissionsbelastung statt. Dies ist für das Tempo-30-Basiszenario im Vergleich zu Tempo 50 in Abbildung 56 dargestellt.

Abbildung 56: Änderung der Lärmbetroffenheit bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 (Basiszenario) in Ravensburg

Pegel vorher in dB(A)	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45										54	127	15		5	10						
46										93	127	10	10								
47									5	147	166	34	5								
48										142	215	24	5								
49									10	303	401	108	15								
50									15	376	665	112	5								
51									68	1144	1212	98	10	5		15					
52									64	1149	1315	147	10	5		5					
53									68	1569	1530	225	15	10		10			5		
54								5	122	1281	1291	235	20	15	10						
55								5	83	890	1403	205	20	10					5	5	
56									191	948	1599	254	20	10			5				
57								15	210	983	1462	142	39	15	20	5					
58								10	269	826	1207	176	49	39	10	5	10			5	10
59							10		235	650	1080	249	68	54	10				5		
60								24	186	679	1061	200	117	24		10	5				
61								5	293	709	797	298	73	20							
62								29	230	626	841	215	59	15							
63								78	357	689	821	156	10	15							
64							15	59	332	723	777	323		10							
65							15	64	342	621	484	244	29								
66							20	54	323	694	733	156	10								
67							10	117	386	631	450	54									
68							34	152	435	430	386	10									
69								49	440	396	230	10									
70							5	54	240	381	152										
71								24	220	181	73	39									
72							5	24	196	323	147										
73							10		288	284	5										
74								10	132	122	10										
≥ 75								29	83	225	44										
	Differenz in dB																				
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Summe	0	0	0	0	0	0	122	807	5822	1826	8208	10374	587	249	59	49	20	0	15	10	10

(Abweichungen rundungsbedingt)

Erkennbar im Vergleich zu den Ergebnissen aus Halle ist, dass die Abnahme der Lärmbetroffenheit wie bei Göttingen im Mittel deutlich geringer ausfällt und vorwiegend im Bereich von -1 dB liegt. Rund 25.000 Betroffene erfahren eine Pegelabnahme von mindestens 1 dB, davon rund 8.000 im kritischen Pegelbereich ≥ 65 dB(A) sowie weitere rund 10.000 im Pegelbereich 55-65 dB(A). Dem stehen rund 4.700 Betroffene gegenüber, die eine Pegelzunahme von mindestens 1 dB erfahren. Davon sind rund 600 im kritischen Pegelbereich ≥ 65 dB(A) und weitere rund 3.000 im Pegelbereich 55-65 dB(A).

Die Betrachtung der Lärmemissionen zeigt, dass zwar auf vielen Hauptverkehrsstraßen weitgehend Pegelminderungen auftreten, gleichzeitig ergeben sich auf parallelen Straßen aber auch Pegelzunahmen von teilweise mehr als 6 dB (Abbildung 57 und Abbildung 58).

Abbildung 57: Pegeländerungen der Straßenlärmemissionen in Ravensburg bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Stadtgebiet

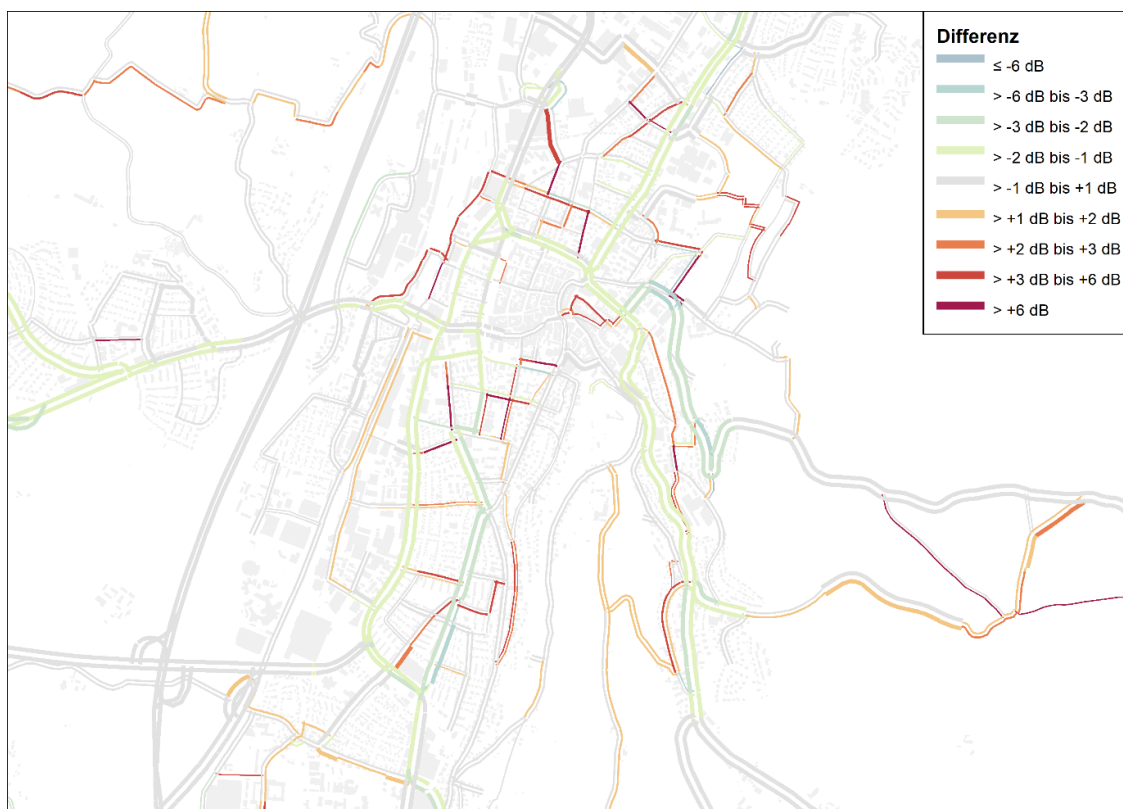
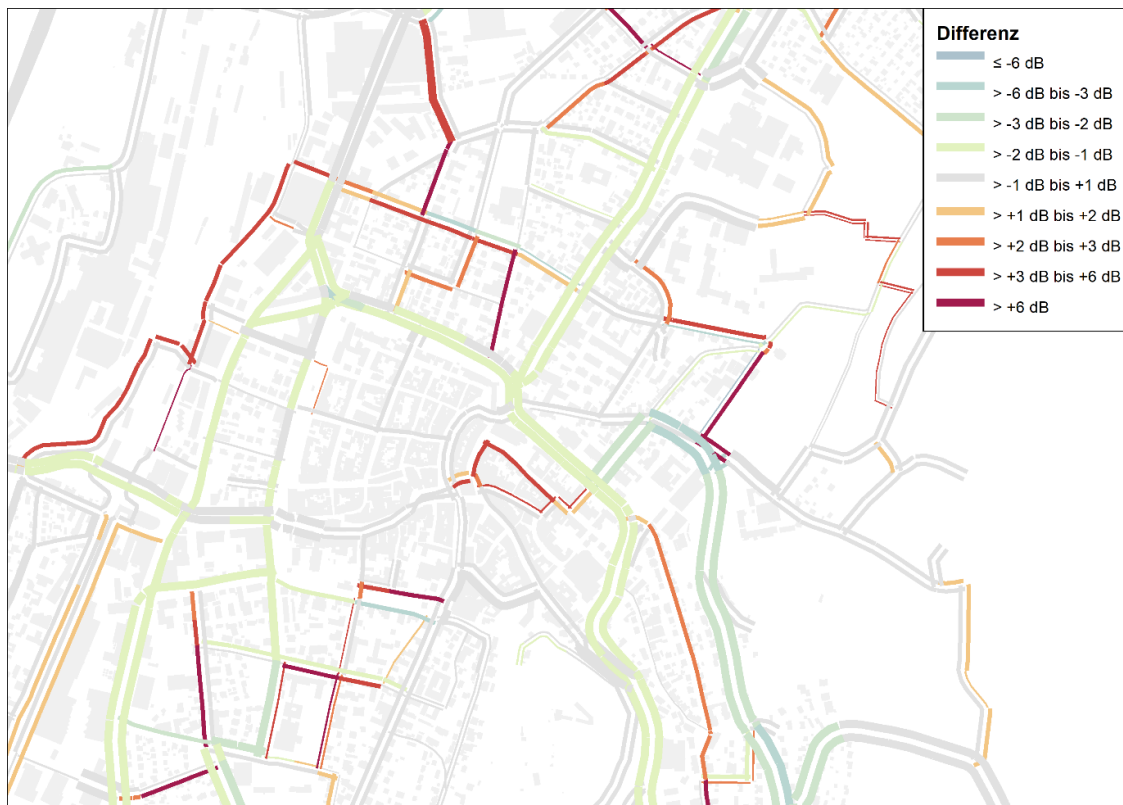


Abbildung 58: Pegeländerungen der Straßenlärmmissionen in Ravensburg bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Basisszenario – Innenstadt



Insgesamt zeigen die Modellberechnungen eine positive Wirkung beim Lärm, ähnlich stark wie in Göttingen, aber geringer als im Modell von Halle. Auch in Ravensburg wird eine Zunahme der Belastung für bisher bereits von Lärm Betroffene ermittelt, falls nicht begleitende Maßnahmen ergriffen werden. In Ravensburg fallen die Pegelzunahmen aber tendenziell etwas geringer aus: Rund 80 Prozent der Betroffenen mit Zunahmen erfahren eine Änderung um +1 dB. Für Halle (69 Prozent) und Göttingen (57 Prozent) liegen in mehr Fällen stärkere Pegelzunahmen vor.

3.2.1.4 Zwischenfazit zur Wirkung auf Lärm

Insgesamt sinkt die Lärmbelastung mit Tempo 30 in allen drei untersuchten Städten deutlich. Je nach örtlichen Gegebenheiten werden Rückgänge von rund 25-50 Prozent der LärmKennZiffer ≥ 65 dB(A) (Hochbelastete) und von 7-24 Prozent der LärmKennZiffer ≥ 55 dB(A) ermittelt. Jede Stadt hat ihre Besonderheiten, die durch Verkehrsverlagerungen lokal auch zu größeren Pegeländerungen führen können:

- ▶ In Halle bietet eine akustisch wenig sensible Alternativroute (Europachaussee) sehr günstige Rahmenbedingungen für stadtverträgliche Verkehrsverlagerungen.
- ▶ In Göttingen können neben Entlastungen im Innenstadtbereich auch unerwünschte Verlagerungen in bestehende Tempo-30-Bereiche und somit in potenziell sensiblere Gebiete auftreten. Zu nennen ist hier die Verlagerung des Verkehrs von der innerstädtischen B 3 auf parallele Strecken sowie auf Bereiche östlich der Innenstadt.
- ▶ In Ravensburg ist die Gesamtwirkung vergleichbar mit Göttingen. Teilweise gibt es eine Verlagerung ins Nebennetz, es gibt jedoch weniger ausgeprägte „parallele Verlagerungen“ bzw. großräumige Gebiete mit Verlagerungen.

In den drei betrachteten Städten wird neben einer insgesamt dominierenden Lärmentlastung auch jeweils eine relevante Anzahl von Betroffenen ermittelt, die eine Pegelzunahme erfahren, sowohl im Bereich ≥ 65 dB(A) als auch bei Pegeln ≥ 55 dB(A). Ursächlich sind die im Verkehrsmodell prognostizierten räumlichen Verkehrsverlagerungen auf einzelnen Straßenabschnitten.

Hinsichtlich der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte ist eine starke Abnahme der Lärmbelastung erst im vollelektrischen Szenario zu erwarten. Der für 2030 angenommene Anteil von 20 Prozent Elektrofahrzeugen mit minimalen AVAS-Emissionen führt nur zu geringen Lärminderungen. Erst bei höheren Anteilen von lärmarmen Elektrofahrzeugen wird im Mittel eine merkliche Lärmentlastung auftreten.

3.2.2 Luftschadstoffe

Für die Luftschadstoffe Stickoxide (hier Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid zusammen als NO_x), Feinstaub (hier PM_{10}) und Kohlendioxid (CO_2) findet die Bewertung der Veränderungen vereinbarungsgemäß anhand der Emissionen statt.

Die Emissionsminderung der betrachteten Szenarien wird zusammenfassend und für jede Beispielstadt einzeln bewertet. Bei der stadtweisen Auswertung erfolgt dabei eine Betrachtung eventueller Besonderheiten, die für die Ergebnisse mit ursächlich sind.

3.2.2.1 Emissionsfaktoren

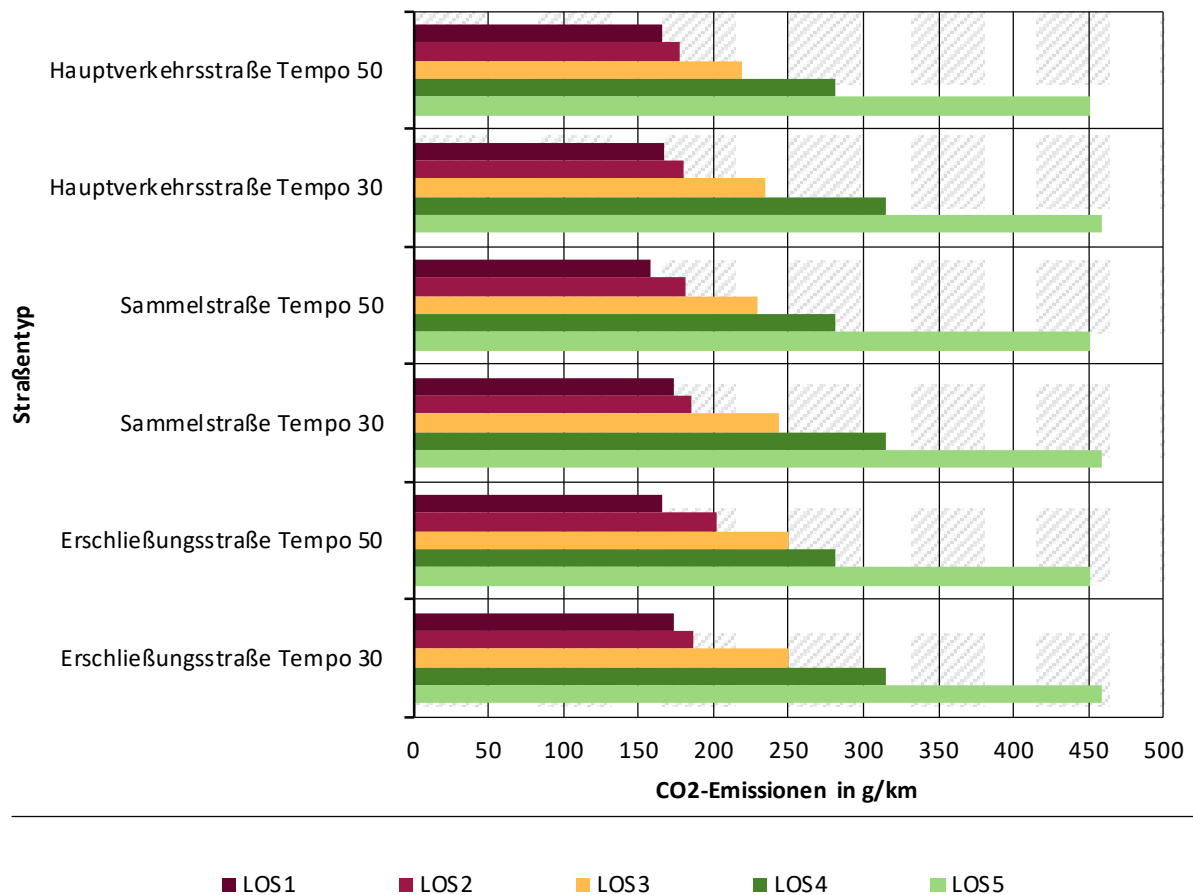
Für die Luftschadstoffemissionen nach HBEFA ist eine Auswahl der Pkw-Emissionsfaktoren innerorts in Abbildung 59 (CO_2) und Abbildung 60 (NO_x) dargestellt. Es zeigt sich der Einfluss der jeweils identischen Fahrverläufe für die Level-of-Service (LoS) 4 und 5 (Stop&Go und Stau): Die Emissionsfaktoren im LoS 4 und 5 sind bei den betrachteten Verkehrssituationen (Hauptverkehrsstraße, Sammelstraße, Erschließungsstraße) jeweils nur abhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, nicht aber vom Straßentyp.

Insgesamt zeigt sich in den Pkw-Emissionsfaktoren der Luftschadstoffe, dass die Wahl der Verkehrssituation bei üblichen Verkehren außerhalb der Stop&Go- oder Stausituationen einen Einfluss auf die Emissionen hat.

Durch den besseren Verkehrsfluss mit geringeren Beeinträchtigungen bei gleicher Verkehrssqualität (LoS), u. a. durch Bevorzugung an Knotenpunkten im Rahmen von Vorfahrtregelungen oder Lichtsignalanlagensteuerungen, ergeben sich für die Hauptverkehrsstraße gegenüber Sammel- und Erschließungsstraßen geringere Verbräuche und somit geringere CO₂-Emissionen je Kilometer. In den LoS 2 und 3 beträgt der Unterschied für CO₂ bei Tempo 50 rund 15 Prozent, bei Tempo 30 rund 5 Prozent.

Abbildung 59: CO₂-Emissionsfaktoren Pkw aus HBEFA (Ausgewählte Straßentypen)

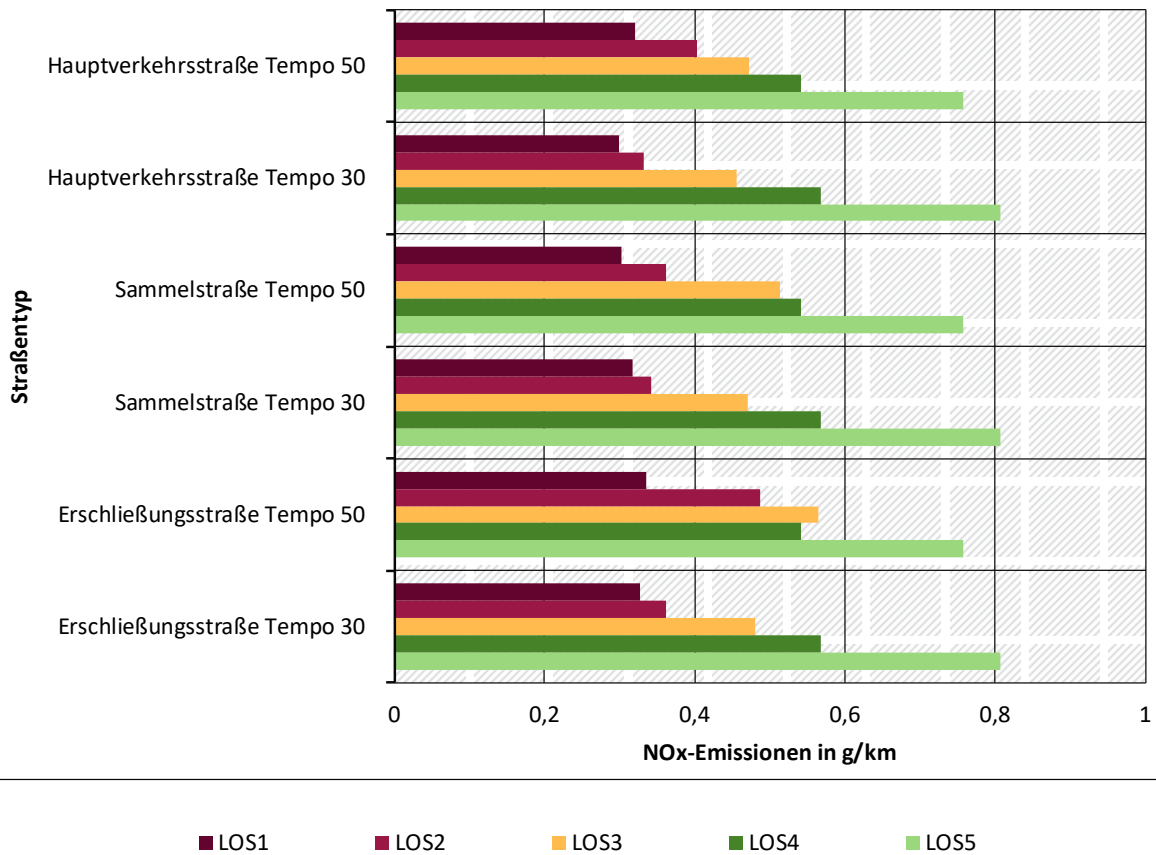
Vergleich Emissionsfaktoren CO₂ Pkw innerorts (ausgewählte Straßentypen)



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten aus HBEFA 4.1

Abbildung 60: NO_x- Emissionsfaktoren Pkw aus HBEFA (Ausgewählte Straßentypen)

Vergleich Emissionsfaktoren NO_x Pkw innerorts (ausgewählte Straßentypen)

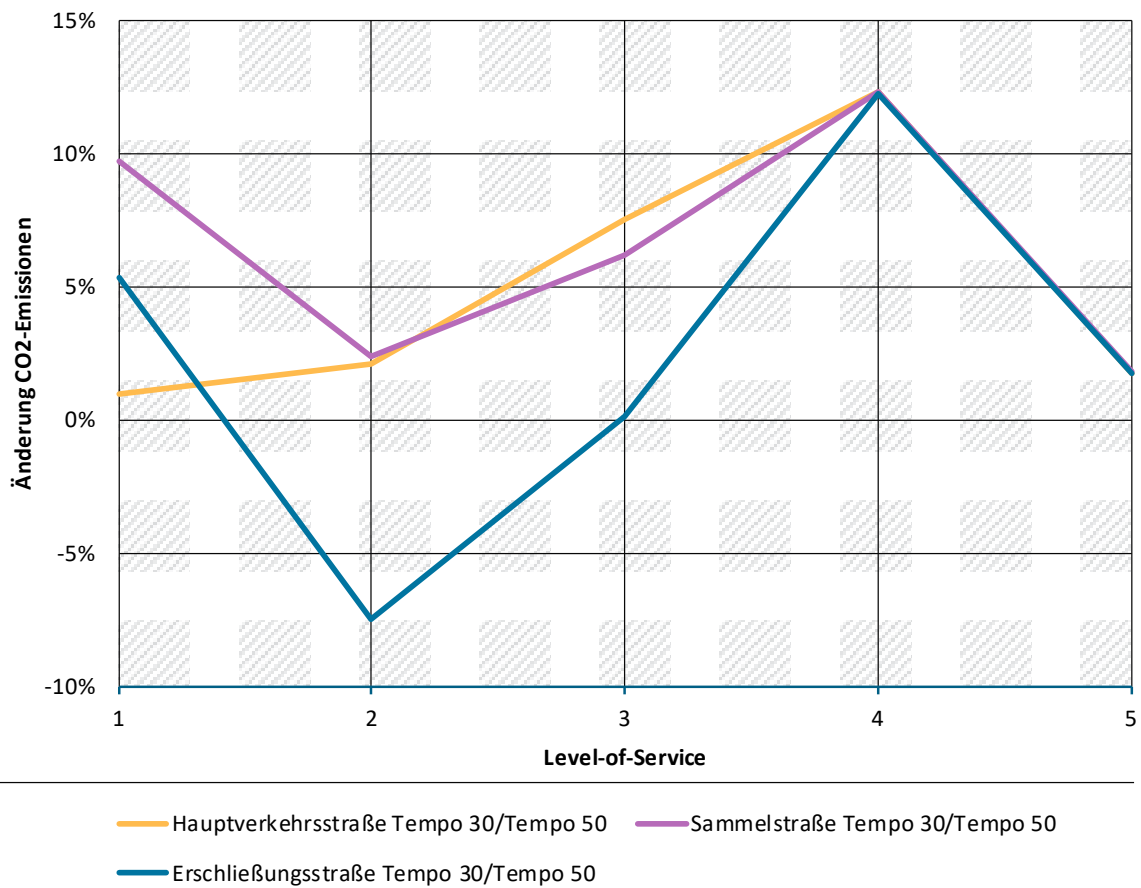


Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten aus HBEFA 4.1

Abbildung 61 und Abbildung 62 stellen die relativen Änderungen jeweils für die Verkehrssituationen mit Tempo 30 und Tempo 50 dar. Bei CO₂ nehmen die Emissionsfaktoren von Tempo 50 zu Tempo 30 fast durchgehend zu (Abbildung 61). Für NO_x nehmen sie für die LoS 1-3 (mit Ausnahme von LoS 1 bei Sammelstraßen) teilweise sehr deutlich ab. Für LoS 4-5 werden geringe Zunahmen angesetzt.

Abbildung 61: Änderung der CO₂-Emissionensfaktoren je Straßentyp und LoS

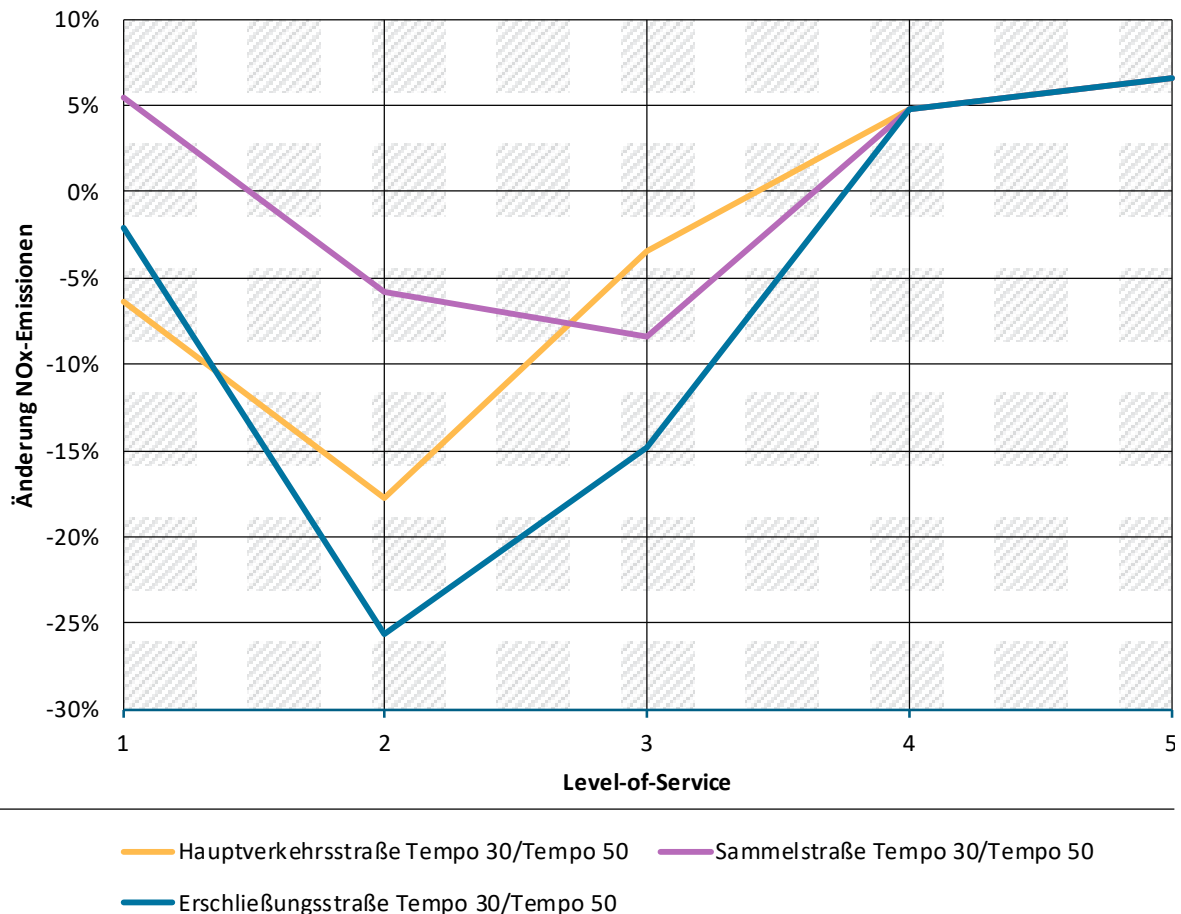
Vergleich Emissionsfaktoren Pkw innerorts (ausgewählte Straßentypen)



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten aus HBEFA 4.1

Abbildung 62: Änderung der NO_x-Emissionsfaktoren je Straßentyp und LoS

Vergleich Emissionsfaktoren Pkw innerorts (ausgewählte Straßentypen)



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH mit Daten aus HBEFA 4.1

3.2.2.2 Abhängigkeit der Emissionen von Verkehrsqualität, Verkehrsmenge und Fahrzeugflotte

Bei den Luftschadstoffen zeigt bereits die Modellierung der Emissionsfaktoren eine deutliche Abhängigkeit der Emission von der Verkehrsqualität (Level-of-Service, LoS). Anders als beim Lärm (siehe Kapitel 3.2.1.2) wirkt sich die Verkehrsmengenänderung bei den Luftschadstoffen stark auf die Emission aus: Eine Verdoppelung der Verkehrsmenge bewirkt eine Verdoppelung der Emissionen. Bereits geringe Änderungen im Verkehr wirken sich so durch Menge und ggf. geänderte Verkehrsqualität potenziell relevant auf die Emissionen aus.

Änderungen durch Elektrifizierung der Flotte und Flottenerneuerung (Prognose)

Bei der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte ist ein deutlicher Rückgang der CO₂- und der NO_x-Emissionen gegenüber der Bestandsflotte 2021 zu erwarten, da die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge dies nicht lokal emittieren. Bereits in der teilelektrischen Flotte ist ein deutlicher Rückgang zu erwarten. Im Bezugsjahr 2030 wirkt sich auch ein deutlich höherer Anteil neuerer Emissionskonzepte (Euro 6d für Pkw bzw. Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge) mit den einhergehenden niedrigeren Luftschadstoffemissionen insbesondere bei NO_x positiv aus. Bei CO₂ ist durch die Flottenerneuerung ebenfalls ein Rückgang zu erwarten, der jedoch geringer ausfällt.

Bei den Partikel-Emissionen (z. B. PM₁₀) ist eine deutlich geringere Wirkung festzustellen: Auch Elektrofahrzeuge emittieren Partikel in relevanter Menge. Die wesentlichen Partikelemissionen sind auf sogenannte Vorgänge der Aufwirbelung und vor allem des Abriebs (u. a. Reifen und Bremsen) zurückzuführen (siehe Kapitel 2.2.1.1). Für die Partikelemissionen liegt bei Pkw der Anteil des Antriebs bereits im Bestandsszenario bei nur rund 10 Prozent der Aufwirbelungs- und Abriebsemissionen. Mit der Flottenerneuerung ist daher nach aktuellem Datenstand im HBEFA kein relevanter Rückgang der Partikelemissionen zu erwarten. Auch weitere Studien stützen diese Prognose (OECD, 2020), wobei hier eine starke Abhängigkeit der Partikelemissionen vom Fahrzeuggewicht festgestellt wird, die laut Studie bei einer Tendenz zu größeren Pkw auch zu höheren Abriebsemissionen für Elektrofahrzeuge führen könnten.

Änderungen der Emissionsfaktoren durch Tempo 30, Straßentyp und Verkehrsqualität

Tempo 30 bewirkt auf den verschiedenen Straßentypen Änderungen bei den Fahrzeugemissionen (siehe Kapitel 3.2.2.1). Für CO₂ werden bei Tempo 30 auf fast allen Straßentypen und bei allen LoS, außer auf Erschließungsstraßen bei LoS 2, höhere Emissionsfaktoren als bei Tempo 50 ermittelt (Abbildung 61). Für NO_x werden durch Tempo 30 bei LoS 1-3 auf fast allen Straßentypen niedrigere Fahrzeugemissionen festgestellt, nur bei gestörtem Verkehr (Stau und Stop&Go, LoS 4 und 5) stellen sich höhere Emissionsfaktoren ein (Abbildung 62).

Aufgrund der Modellansätze im HBEFA 4.1 ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit die wesentliche Einflussgröße für die Partikelemissionen: Bei Geschwindigkeiten unter 80 km/h liegen die Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb höher als bei höheren Geschwindigkeiten. Bei Pkw ist die Zunahme ab LoS 3 mit rund +30 bis +50 Prozent bereits hoch, für schwere Nutzfahrzeuge und Busse liegen die Partikelemissionen bei ≤ 70 km/h jedoch ab LoS 2 in etwa um den Faktor 2,5-9 höher als bei höheren Geschwindigkeiten. Mit Verkehrsverlagerungen auf Straßen mit höheren zulässigen Geschwindigkeiten (ab 80 km/h) kann durch das Emissionsmodell des HBEFA somit eine wesentliche Änderung der Partikelemission einhergehen.

Durch die Ausweisung von Tempo 30 ist vornehmlich ein Rückgang der Luftschadstoffemissionen zu erwarten, sofern sich der Verkehr nicht in ungünstigen Level-of-Service (Stau oder Stop&Go) befindet. Eine Verschiebung zu höheren Stauanteilen würde eine Zunahme der Emissionen bedeuten. Eine Verlagerung der Verkehre auf Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von mindestens 80 km/h kann zu einer deutlichen Abnahme der Partikelemissionen führen.

Die Änderungen der Luftschadstoff-Emissionsfaktoren durch Tempo 30 gegenüber Tempo 50 bewegen sich bei CO₂ und NO_x weitgehend im Bereich ±15 Prozent, teilweise bei deutlich geringeren Abweichungen. Die Partikelemissionen werden maßgeblich von Aufwirbelung und Abrieb bestimmt, wodurch ein hoher Einfluss durch eine Verlagerung auf außerörtliche bzw. innerörtliche Strecken mit hoher zulässiger Höchstgeschwindigkeit gegeben ist.

3.2.2.3 Ergebnisse der Modellierung der Luftschadstoffemissionen

Die summierten Luftschadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs in den drei Beispielstädten jeweils für die Basis-Szenarien Tempo 50 und Tempo 30 sowie die beiden Flottenszenarien sind in Tabelle 12 dargestellt. Die prozentualen Änderungen gegenüber dem Tempo 50-Basiszenario zeigt Tabelle 13. Bei den Auswirkungen sind deutliche Unterschiede zwischen den Beispielstädten festzustellen:

- ▶ In Halle treten durchweg hohe Rückgänge der Emissionen auf. Über alle Szenarien liegen diese Minderungen bei NO_x bei etwa -9 bis -10 Prozent, bei den Partikelemissionen bei -10 bis -11 Prozent und bei CO₂ bei rund -2 bis -3 Prozent.
- ▶ In Göttingen bleiben die NO_x- und CO₂-Emissionen weitgehend unverändert (-1,2 bis +0,3 Prozent bzw. +0,2 bis +0,3 Prozent), die Partikelemissionen sinken aber deutlich um -4 bis -5 Prozent.
- ▶ In Ravensburg sind geringe Minderungen für NO_x mit -2,0 bis +1,5 Prozent und für PM10 mit -1,3 bis -2,0 Prozent zu erwarten. Die CO₂-Emissionen steigen leicht um +2,8 bis +3,0 Prozent.

Da bei der Auswertung der summierten Emissionen auch die Fahrtlänge einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis hat, werden ergänzend die Änderungen der Emissionen je Fahrzeugkilometer berechnet (Tabelle 14). Anhand dieser Größen kann bewertet werden, ob die Zu- bzw. Abnahmen allein durch die Verkehrsverlagerung und damit einhergehende Verlängerungen der Fahrzeugrouten entstehen oder ob die Änderung auch unabhängig von diesem Einfluss tendenziell positiv oder negativ sind.

Auch hier weichen die Ergebnisse für Halle von Göttingen und Ravensburg ab: Eine deutliche Abnahme der Emissionen je Fahrzeugkilometer ist in Halle für NO_x und PM10 erkennbar. Dies trifft für Göttingen und Ravensburg nicht zu. Gleichzeitig ist die CO₂-Zunahme je Fahrzeugkilometer in Halle deutlich geringer. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass in Halle die Verlagerung der Verkehre (Abbildung 17) auf Magistralen wie z. B. die Europachaussee sowie weitere Straßen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit > 50 km/h (bei Partikelemissionen relevant insbesondere ≥ 80 km/h) Einfluss auf die Emissionsänderung hat.

Insgesamt lässt sich anhand der Emissionen pro Fahrzeugkilometer (Tabelle 14) und der Fahrleistungsänderungen (Tabelle 4 in Kapitel 3.1.1) ableiten, dass die Abnahme der Fahrleistung einer teilweisen Erhöhung der Emissionsfaktoren entgegenwirkt. Die geringe Abnahme der Fahrleistung in Ravensburg um lediglich 0,5 Prozent resultiert in zunehmenden CO₂- und NO_x-Gesamtemissionen. In Göttingen heben sich die beiden Einflüsse weitgehend auf, sodass die Gesamtemission unverändert bleibt. In Halle führt der hohe Rückgang der Fahrleistung zu einem deutlichen Rückgang der Gesamtemissionen.

Die in den Gesamtemissionen ablesbaren Auswirkungstendenzen werden in den folgenden Kapiteln detailliert pro Stadt betrachtet. Dabei wird auf Besonderheiten der einzelnen Städte eingegangen, anhand derer die Effekte von Tempo 30 auf die Emissionsänderung erklärt werden können.

Tabelle 12: Luftschadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs in den Beispielstädten bei Tempo 50 und Tempo 30 in t/a

Szenario	NO _x			CO ₂			PM10		
	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg
Basis Tempo 50	1,17	0,96	0,68	474	373	259	0,129	0,099	0,075
Basis Tempo 30	1,07	0,95	0,69	465	374	266	0,116	0,096	0,074
Teilelektrisch Tempo 50	0,60	0,50	0,43	387	310	215	0,123	0,095	0,072
Teilelektrisch Tempo 30	0,54	0,50	0,42	377	311	221	0,109	0,090	0,070
Vollelektrisch Tempo 50	-	-	-	-	-	-	0,116	0,089	0,067
Vollelektrisch Tempo 30	-	-	-	-	-	-	0,104	0,085	0,066

Tabelle 13: Änderung der Luftschadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 in den Beispielstädten

Szenario	NO _x			CO ₂			PM10		
	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg
Basis	-8,6 %	-1,2 %	+1,5 %	-1,9 %	+0,3 %	+2,8 %	-10,2 %	-4,1 %	-1,3 %
Teilelektrisch	-9,9 %	+0,3 %	-2,0 %	-2,6 %	+0,2 %	+3,0 %	-10,7 %	-4,6 %	-1,9 %
Vollelektrisch	-	-	-	-	-	-	-11,0 %	-5,0 %	-2,0 %

Tabelle 14: Änderung der Luftschadstoffemission des Kfz-Verkehrs je Fahrzeugkilometer bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50

Szenario	NO _x			CO ₂			PM10		
	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg	Halle	Göttin- gen	Ravens- burg
Basis	-5,6 %	+1,4 %	+2,0 %	+1,3 %	+2,9 %	+3,4 %	-7,3 %	-1,6 %	-0,8 %
Teilelektrisch	-7,0 %	+2,9 %	-1,5 %	+0,6 %	+2,8 %	+3,5 %	-7,8 %	-2,1 %	-1,5 %
Vollelektrisch	-	-	-	-	-	-	-8,1 %	-2,5 %	-1,6 %

Halle

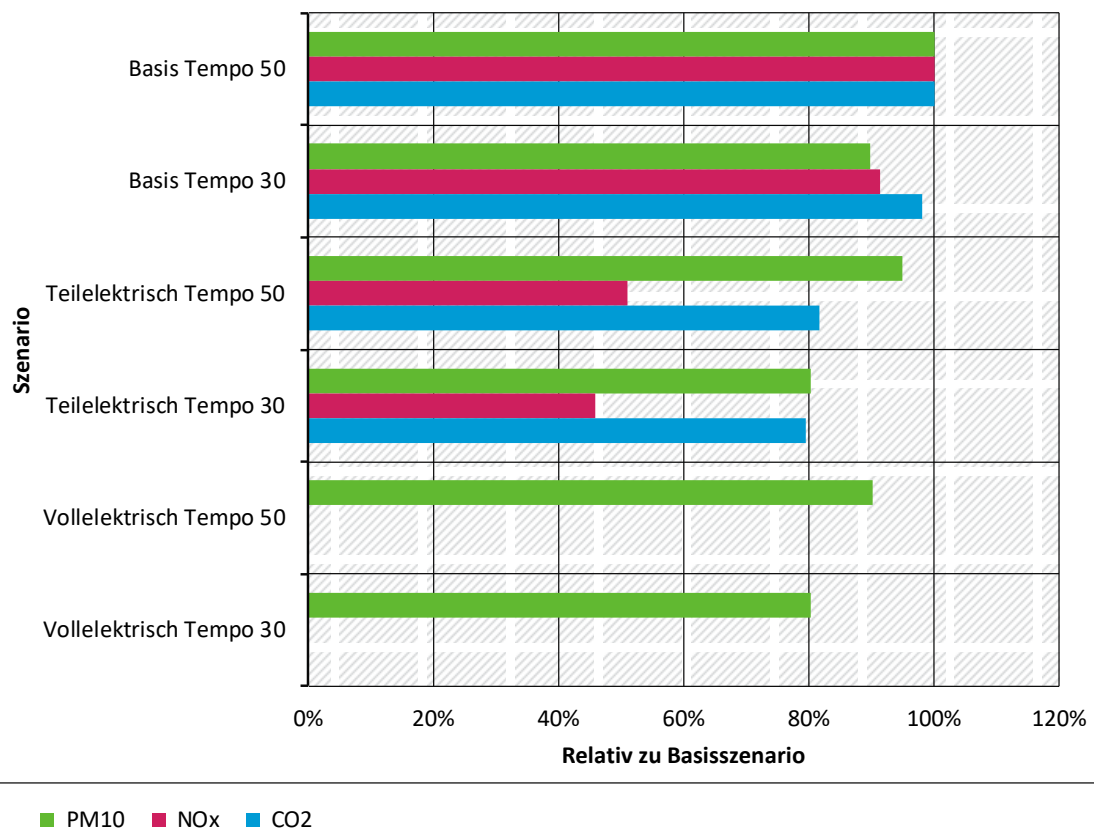
Die Ergebnisauswertung der summierten Luftschadstoffemissionen in Abbildung 63 zeigt für Halle: Gegenüber dem Basisszenario Tempo 50 werden durchgängig Rückgänge der Emissionen

durch Tempo 30 ermittelt. Deutliche Rückgänge gibt es bei den PM₁₀ und NO_x-Emissionen, was nicht allein auf einen Rückgang des Verkehrs zurückzuführen ist. Vielmehr zeigt die Auswertung der auf einen Fahrzeugkilometer bezogenen Emissionen (Tabelle 14), dass dies auf eine luftschadstofftechnisch bessere Verkehrssituation zurückzuführen ist. Grund kann sowohl eine Änderung der Verkehrsqualität sein, naheliegender ist aber auch hier die Verlagerung auf Magistralen wie z. B. die Europachaussee. Dies wird im Weiteren detaillierter betrachtet.

Abbildung 63: Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Halle (Luftschadstoffe)

Emissionsänderungen Halle

Vergleich Emissionen im Gemeindegebiet relativ zu den Emissionen des Szenarios Basis Tempo 50



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Die Emissionsveränderungen bei NO_x zeigen, dass im Bereich der Europachaussee eine deutliche Zunahme von über 20 Prozent zu erwarten ist (Abbildung 64 und Abbildung 65). Der Grund ist die Verkehrszunahme auf diesem Streckenabschnitt (vgl. Abbildung 17). Dem gegenüber steht eine Abnahme der NO_x-Emissionen auf der parallel verlaufenden Merseburger Straße durch Tempo 30, besonders durch die Abnahme der Verkehrsmenge auf dieser Straße infolge der verringerten zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Abbildung 64: Änderung der Straßenemissionen NO_x in Halle im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Stadtgebiet

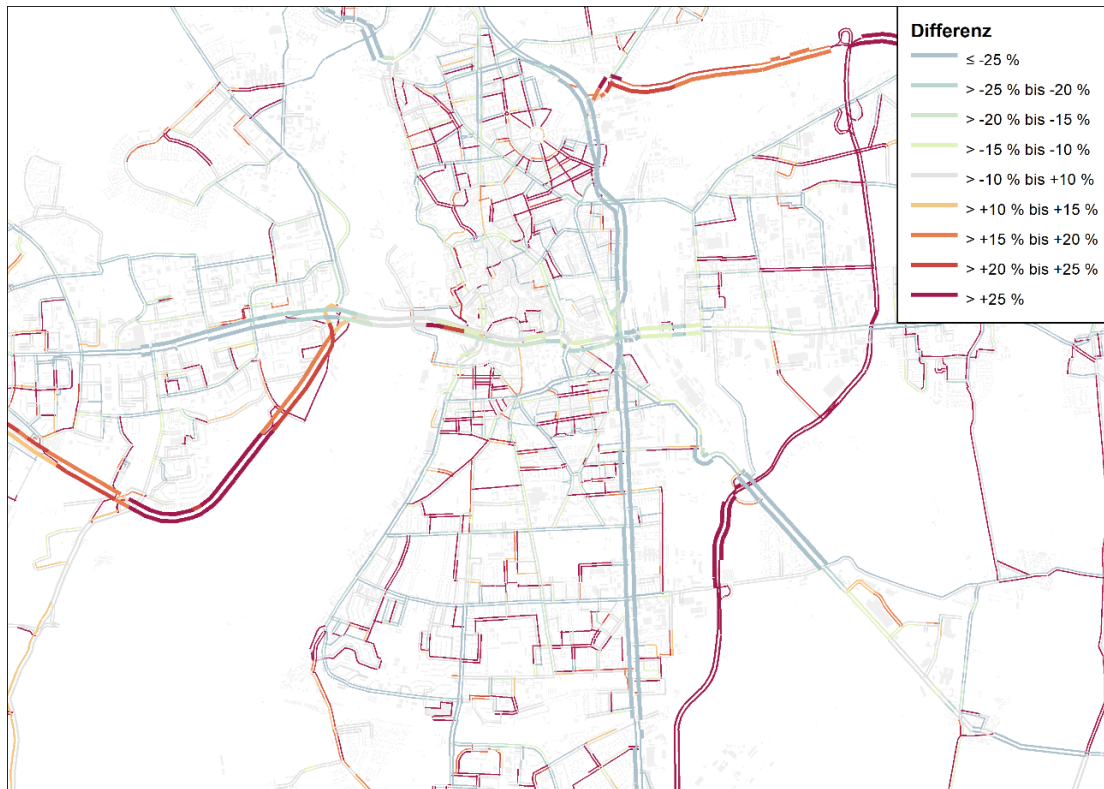
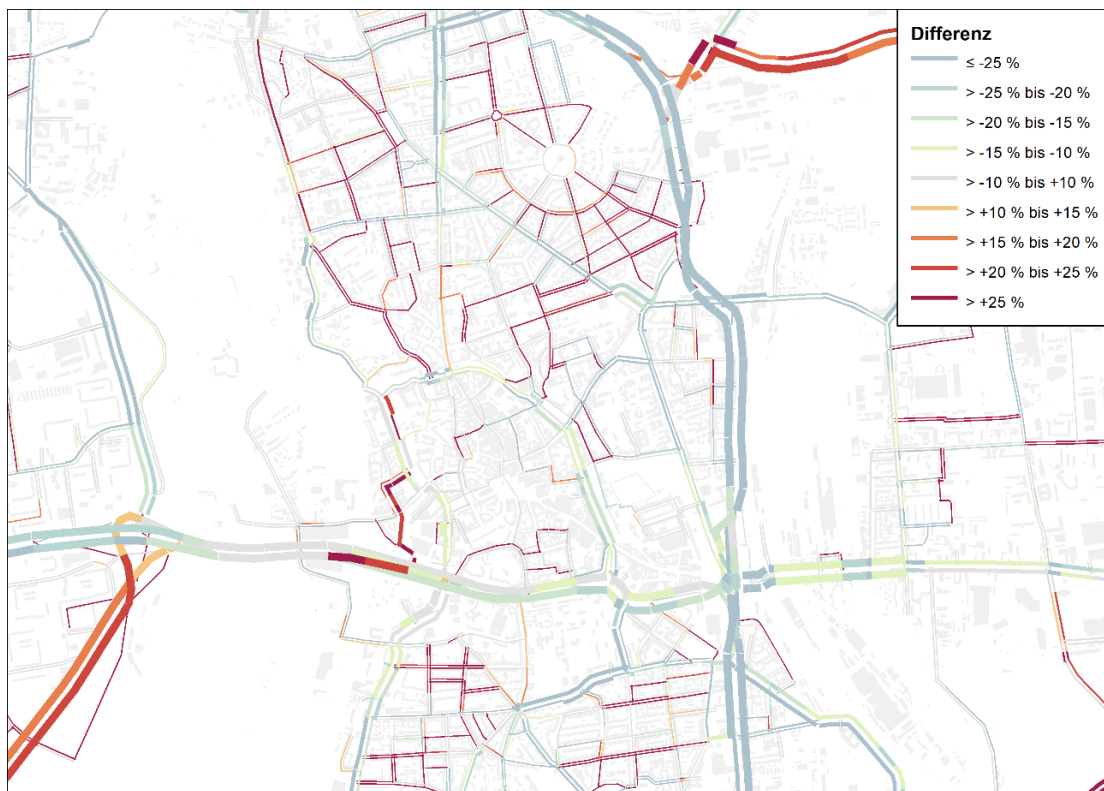


Abbildung 65: Änderung der Straßenemissionen NO_x in Halle im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Innenstadt



Die Linienbreite beschreibt jeweils die Höhe der Emissionen in der Ausgangsvariante Tempo 50.

Insgesamt sinken die Luftschadstoffemissionen auf den Hauptverkehrsstraßen tendenziell, dafür wird das nachgeordnete Straßennetz mehr belastet. Ebenfalls stärker belastet werden die von Verkehrsverlagerungen betroffenen Strecken wie B 80, Europachaussee und B 100.

Im Szenario mit teilelektrischer Flotte ist durch den Rückgang der NO_x- und CO₂-emittierenden Fahrzeuge und durch die Verbesserung der Flotte ein deutlicher Rückgang insbesondere bei den NO_x-Emissionen zu erkennen.

Die PM10-Emissionen sinken auch bei vollelektrischer Flotte nicht deutlich. In den Szenarien mit Tempo 30 fällt die Emission aber geringer aus als bei Tempo 50. Dies kann ebenfalls auf eine Verlagerung auf Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit > 70 km/h und die dort deutlich geringeren PM10-Emissionsfaktoren des HBEFA zurückgeführt werden.

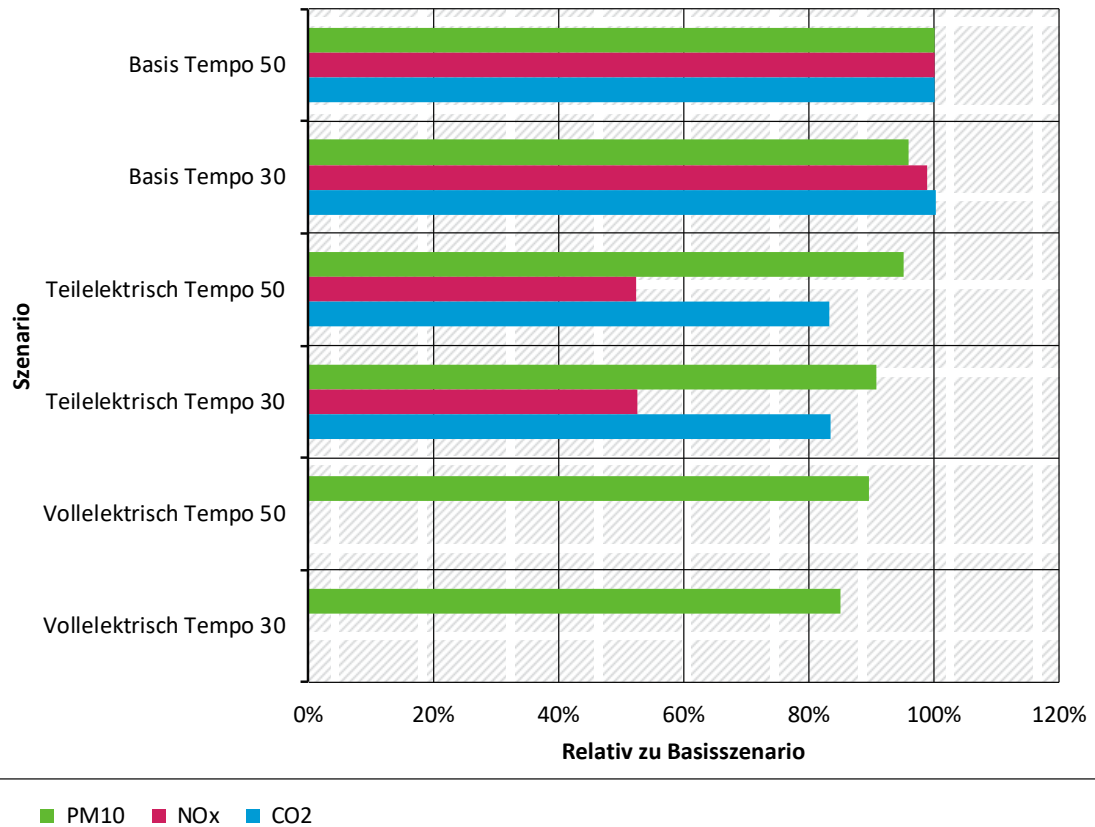
Göttingen

Bei den Berechnungen für Göttingen (Abbildung 66) sind im Basisszenario Tempo 30, bezogen auf das Basisszenario Tempo 50, fast durchgängig leichte Rückgänge der Emissionen zu erwarten. Die Änderungen in den PM10-Emissionen fallen geringer aus als im Modell für Halle, was ein Indiz für eine vorwiegend innerörtliche Verlagerung des Verkehrs sein kann. Für die CO₂-Emissionen wird eine geringe Zunahme ermittelt. Für NO_x wird eine leichte Abnahme im Basisszenario, eine sehr geringe Zunahme im teilelektrischen Szenario prognostiziert.

Abbildung 66: Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Göttingen (Luftschadstoffe)

Emissionsänderungen Göttingen

Vergleich Emissionen im Gemeindegebiet relativ zu den Emissionen des Szenarios Basis Tempo 50



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Auch in Göttingen wirken sich im Szenario mit teilelektrischer Flotte der Rückgang der NO_x- und CO₂-emittierenden Fahrzeuge und damit die Verbesserung der Flotte aus. Die Rückgänge der PM10-Emissionen sind geringer.

Die Verkehrsmodellierung zeigt, dass lediglich im Westen der Stadt größere Verkehrsverlagerungen auf außerörtliche Straßen zu erwarten sind (Abbildung 21). Dies spiegelt sich auch in der Betrachtung der Emissionsveränderung bei NO_x wider (Abbildung 67 und Abbildung 68). Auf der BAB A 7 entstehen Zunahmen der NO_x-Emissionen durch den Mehrverkehr. Innerstädtisch sinken die NO_x-Emissionen auf der B 3 um mehr als -10 Prozent, gleichzeitig nehmen sie auf den parallel verlaufenden Straßen sowie im östlichen Innenstadtgebiet deutlich zu.

Insgesamt treten in der Modellierung für Göttingen – mit Ausnahme der durch Verlagerungseffekte entlasteten Magistralen und Hauptverkehrsstraßen – kaum Minderungen der NO_x-Emissionen auf.

Abbildung 67: Änderung der Straßenemissionen NO_x in Göttingen im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Stadtgebiet

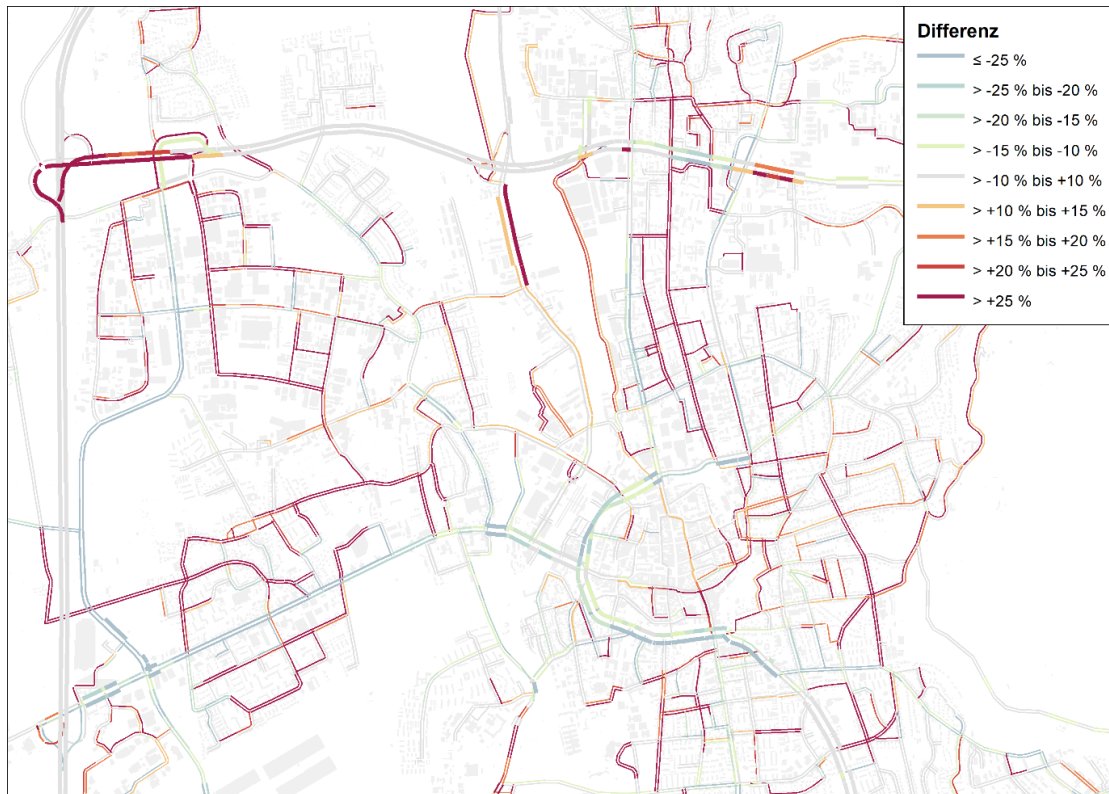
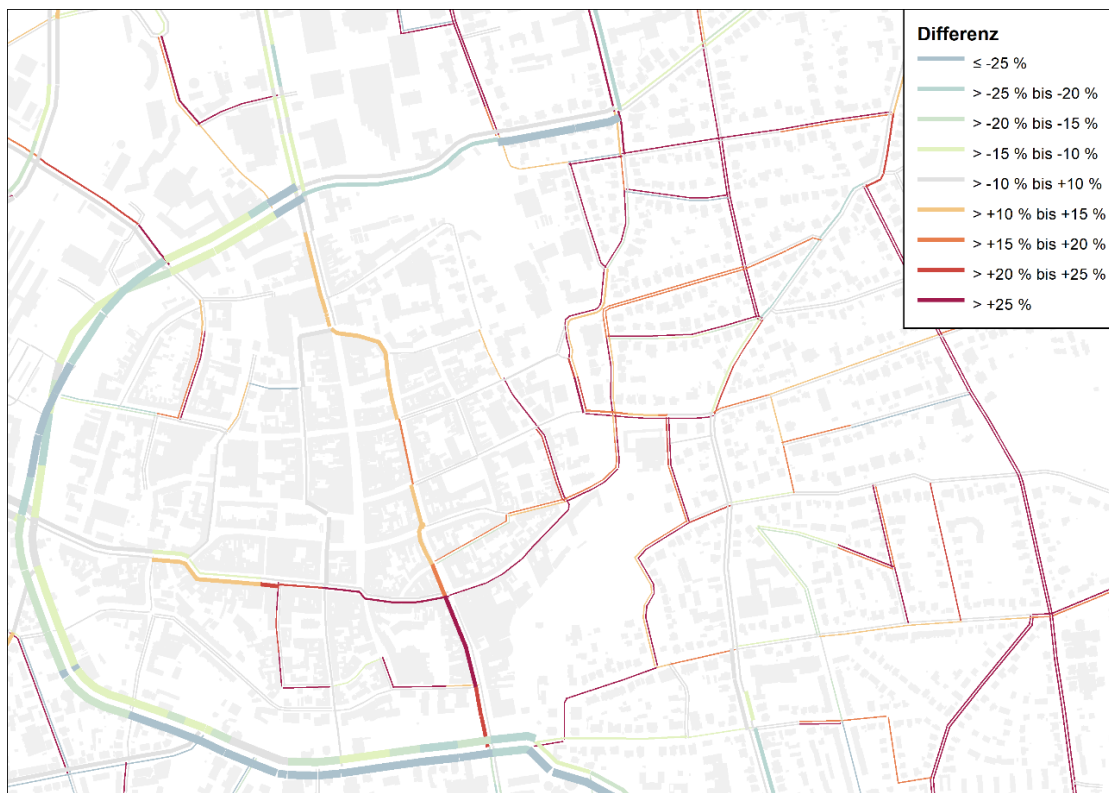


Abbildung 68: Änderung der Straßenemissionen NO_x in Göttingen im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Innenstadt



Die Linienbreite beschreibt jeweils die Höhe der Emissionen in der Ausgangsvariante Tempo 50.

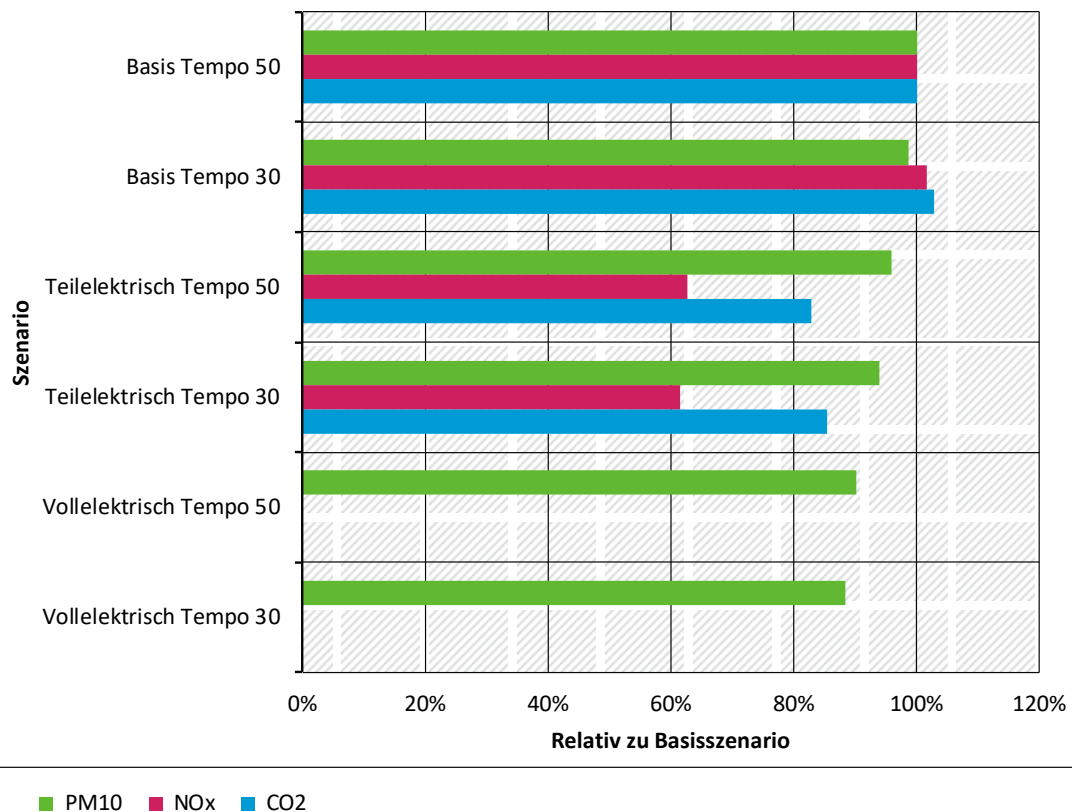
Ravensburg

Die Ergebnisse des Modells für Ravensburg zeigen nochmals differenziertere Ergebnisse als für Halle und Göttingen (Abbildung 69). Die CO₂-Emissionen steigen in den Szenarien von Tempo 50 auf Tempo 30 an, die PM10-Emissionen sinken leicht, für NO_x-Emissionen ergibt sich eine leichte Zunahme (Basisflotte) bzw. Abnahme (teilelektrische Flotte).

Abbildung 69: Vergleich aller Szenarien für die Beispielstadt Ravensburg (Luftschadstoffe)

Emissionsänderungen Ravensburg

Vergleich Emissionen im Gemeindegebiet relativ zu den Emissionen des Szenarios Basis Tempo 50



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Auch in Ravensburg sind die Änderungen der PM10-Emissionen durch Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit geringer als im Modell für Halle. Wie in Göttingen führt auch in Ravensburg eine teilelektrische Flotte zu einem Rückgang der NO_x- und CO₂-Emissionen durch die geringeren Emissionen der Flotte. Für die PM10-Emissionen fallen die Rückgänge gering aus.

Laut Verkehrsmodellierung finden Verlagerungen des Verkehrs z. B. auf die B 30 außerorts sowie auf die südlichen Hauptverkehrsstraßen statt (Abbildung 25). Auch in der Innenstadt treten Änderungen der Verkehrsmengen auf, dies sind jedoch eher kleinräumige Verlagerungen. Dies ist in der Betrachtung der NO_x-Emissionsveränderungen erkennbar (Abbildung 70 und Abbildung 71). Auf einigen Abschnitten sind bei NO_x relevante Emissionsminderungen zu erkennen. Dass im inneren Stadtgebiet nicht mehr Straßen relevante NO_x-Minderungen aufweisen, kann damit zusammenhängen, dass dort keine umfangreichen Verkehrsverlagerungen stattfinden oder trotz Verlagerung die NO_x-Emissionen durch die höheren spezifischen Emissionen pro Fahrzeug bei Tempo 30 zunehmen.

Abbildung 70: Änderung der Straßenemissionen NO_x in Ravensburg im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Stadtgebiet

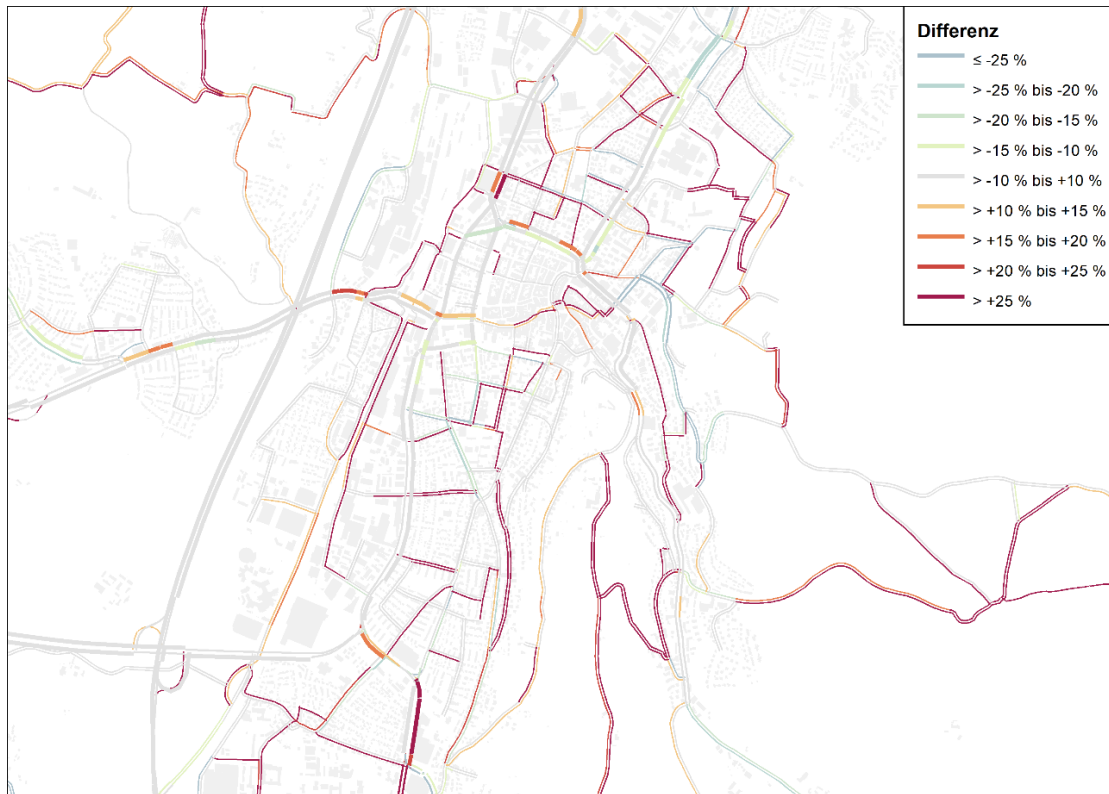
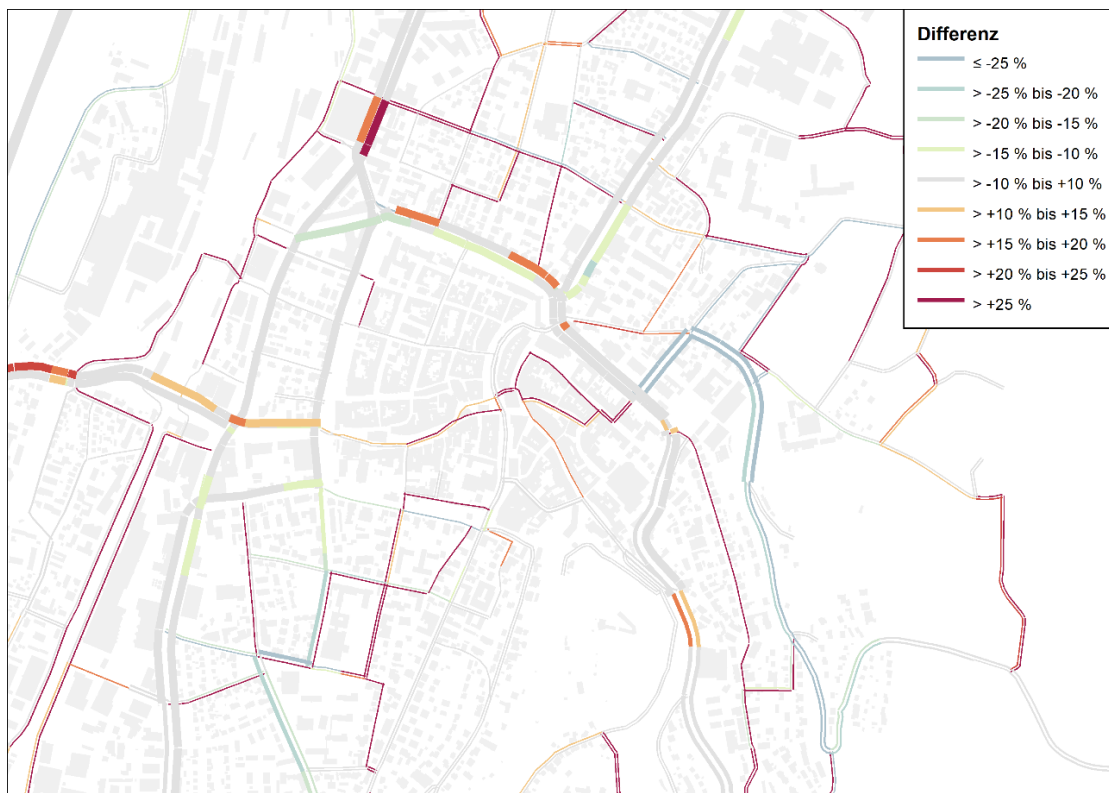


Abbildung 71: Änderung der Straßenemissionen NO_x in Ravensburg im Basisszenario Tempo 30 gegenüber Tempo 50 – Innenstadt



Die Linienbreite beschreibt jeweils die Höhe der Emissionen in der Ausgangsvariante Tempo 50.

3.2.2.4 Zwischenfazit zur Wirkung auf Luftschadstoffe

In den drei untersuchten Beispielstädten nehmen die Emissionen pro Fahrzeugkilometer durch Tempo 30 innerorts tendenziell leicht zu. Die vorwiegend sinkenden Fahrleistungen im Tempo-30-Szenario bewirken aber, summiert für das jeweilige Stadtgebiet, insgesamt nur geringe Erhöhungen der verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen. Lokal können deutliche Unterschiede bei den Emissionen auftreten, sodass sich die Immissionssituation an Hot-Spots (Bereiche mit kritischen Luftschadstoffbelastungen im Bestand) in Einzelfällen auch negativ entwickeln kann.

Jede Stadt weist Besonderheiten auf, die sich auf die Wirkung von Tempo 30 innerorts auswirken:

- ▶ In Halle entsteht durch eine vorhandene Alternativroute (z. B. Europachaussee) eine Verlagerung auf Strecken mit tendenziell geringeren Emissionen pro Fahrzeugkilometer. Dies wirkt sich deutlich mindernd auf die Emission von CO₂, NO_x und PM10 aus. Die Europachaussee ist aufgrund der geringen Bebauung zudem eine hinsichtlich Luftschadstoffimmissionen tendenziell geeignete Alternative.
- ▶ In Göttingen ergibt die Modellierung im Innenstadtbereich Verlagerungen auf bereits bestehende Tempo-30-Bereiche. Die NO_x- und PM10-Emissionen nehmen im Tempo-30-Szenario leicht ab, während die CO₂-Emissionen sich nicht verändern.
- ▶ In Ravensburg sinkt die Kfz-Fahrleistung nur wenig, sodass summiert auf das Stadtgebiet durch die höheren fahrzeugspezifischen Emissionen bei Tempo 30 nur bei PM10 eine Emissionsminderung zu verzeichnen ist, während die CO₂- und NO_x-Emissionen etwas zunehmen.

Die Wirkung von Tempo 30 als stadtweite Regelgeschwindigkeit hängt stark von der Änderung der Fahrleistung ab. Zudem beeinflussen vorhandene geeignete Alternativrouten, die tendenziell zu geringeren Luftschadstoffemissionen führen können (Strecken außerorts), deutlich die Bilanz der verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen. Ohne flankierende Maßnahmen entsteht bei entsprechend geringer Fahrleistungsminderung nur ein marginaler Effekt (leicht positiv oder negativ). In keiner Modellierung der drei Beispielstädte ist ein Fall mit deutlicher Emissionszunahme eingetreten.

3.2.3 Fazit zu den Umweltwirkungen

Die auf 30 km/h verminderte Regelgeschwindigkeit innerorts zeigt in den Simulationen folgende Auswirkungen:

- ▶ Tempo 30 senkt die **Lärmbetroffenheiten** vor allem an den hochbelasteten Hauptverkehrsstraßen, aber auch in allen drei Stadtgebieten insgesamt deutlich. Insbesondere in den hochbelasteten Bereichen über 65 dB(A) nimmt die LärmKennZiffer (LKZ) je nach Beispielstadt um 25 bis 50 Prozent ab. Aber auch im Pegelbereich über 55 dB(A) sinkt die LKZ um 7 bis 24 Prozent.
- ▶ Die Belastung durch straßenverkehrsbedingte **Luftschadstoffe** wird durch Tempo 30 in den drei Beispielstädten überwiegend leicht positiv beeinflusst.
 - ▶ Die in den Stadtgebieten insgesamt berechneten **Stickoxidemissionen (NO_x)** ändern sich je nach Beispielstadt um -9 bis +2 Prozent.
 - ▶ Der stadtweit emittierte **Feinstaub (PM₁₀)** sinkt in den betrachteten Städten um -1 bis -10 Prozent.
 - ▶ Die **CO₂-Emissionen** und analog dazu der Energieverbrauch in den Stadtgebieten ändern sich im Bereich von -2 bis +3 Prozent.
 - ▶ Die Luftschadstoffemissionen **pro Fahrzeugkilometer** nehmen in den Beispielstädten durch Tempo 30 innerorts tendenziell leicht zu. Kompensiert wird dies aber durch die vorwiegend sinkenden Fahrleistungen in den Stadtgebieten.
- ▶ Die **Elektrifizierung der Fahrzeugflotte** wird schon bei einer teilelektrischen Flotte zu einem deutlichen Rückgang der CO₂- und NO_x- Emissionen in den Beispielstädten führen. Im Bezugsjahr 2030 wirkt sich in der Flotte zudem ein deutlich höherer Anteil von Fahrzeugen, die neuere Grenzwerte für Schadstoffemissionen einhalten (Euro 6d für Pkw bzw. Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge), insbesondere bei NO_x positiv aus. Die Partikelemissionen werden durch die Elektrifizierung wegen der verbleibenden Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung deutlich weniger beeinflusst. Hinsichtlich des Lärms können erst mit einer überwiegenden Elektrifizierung der Fahrzeugflotte relevante Verbesserungen eintreten, sofern nicht künstliche Fahrzeuggeräusche (AVAS) den Effekt potenziell leiserer Elektrofahrzeuge zunichtemachen. Bei einer vollelektrischen Flotte mit minimalem AVAS ist in den Beispielstädten eine deutliche Reduzierung der Lärmbelastung gegenüber der Bestandsflotte bereits bei Tempo 50 zu erwarten. Die LärmKennZiffer wird, insbesondere für Betroffenheiten über 65 dB(A), weitgehend halbiert. Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit in der Stadt kann die Lärmbetroffenheit noch einmal weit darüber hinaus senken.

Für die Umweltwirkungen ist neben der geänderten zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine mögliche räumliche Verkehrsverlagerung maßgeblich. Hier spielen die lokalen Gegebenheiten eine wesentliche Rolle. Beispielsweise ist in Halle eine Umfahrung mit höherer zulässiger Höchstgeschwindigkeit und wenig sensibler Randbebauung vorhanden. In Göttingen zeigt das Modell dagegen Verkehrsverlagerungen in Teile des untergeordneten Straßennetzes. Problematisch können besonders jene Straßenabschnitte sein, die bereits im Bestand mit Tempo 30 ausgewiesen sind. Treten solche Verlagerungen in nennenswertem Umfang auf, können hinsichtlich der Luftschadstoff- und Lärmbelastung negative Effekte entstehen. Es ist daher sinnvoll, das untergeordnete Straßennetz vor Einführung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit auf mögliche

Verkehrszunahmen im Nebennetz zu untersuchen und ggf. entsprechende Begleitmaßnahmen zur Unterbindung von Schleichverkehren zu ergreifen.

Die Berechnungsverfahren sollten weiterentwickelt werden. Beispielsweise ermitteln die Lärm-Rechenvorschriften RLS-19 und BUB die Fahrzeugemissionen nur anhand der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, Elektrofahrzeuge mit niedrigeren Antriebsemissionen und AVAS können damit nicht modelliert werden. Die für die Berechnung der Luftschadstoffemissionen vorgesehenen Verkehrssituationen des HBEFA sehen Tempo 30 bislang nur auf Sammel- und Erschließungsstraßen, nicht aber für übergeordnete Hauptverkehrsstraßen vor. Zudem können die stufenweisen Zuordnungen der Auslastungsgrade zu den Level-of-Service dazu führen, dass im Extremfall ein einziges zusätzliches Fahrzeug je Stunde zu einer deutlich veränderten Emissionsberechnung führt.

Der zukünftige Einfluss des Acoustic Vehicle Alert Systems (AVAS) auf die Lärmsituation ist wegen der großen Spannweite der Emissionsgrenzwerte nicht einheitlich prognostizierbar. Sollten sich die Hersteller etwa in der Mitte der möglichen Spannweite bewegen, wird sich die Lärmsituation gegenüber der Bestandsflotte nicht wesentlich ändern. Es wird daher empfohlen, dass die AVAS-Emissionen sich eher an den (bisherigen) Mindestanforderungen orientieren.

Auswirkungen von Tempo 30 auf die Umwelt – Praxisberichte

Die Auswirkungen von Tempo 30 auf Lärm und Luftschadstoffe sind Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Bei der Ergebnisinterpretation ist aber zu beachten, dass die vorliegenden Studien in der Regel mit unterschiedlichen Methoden arbeiten. Manche Studien beruhen auf Modellberechnungen, andere auf Messergebnissen unter Laborbedingungen oder im realen Betrieb. Hinzu kommen die sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen der jeweiligen Testobjekte (Straßentyp, Lage im Raum, Fahrbahnoberflächen, Hintergrundbelastung, Rechen- / Messverfahren usw.) und unterschiedliche Betrachtungszeiträume. Die folgenden Ergebnisse sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

Eine Metastudie des Umweltbundesamtes kommt zu dem Schluss, dass Tempo 30 in der Mehrzahl der untersuchten Fälle zu wahrnehmbaren Lärmmentlastungen führt und die Luftschadstoffbelastung senken kann, wenn es gelingt, die Qualität des Verkehrsflusses beizubehalten oder zu verbessern (Heinrichs, et al., 2016):

- ▶ „Die Begleituntersuchungen an Hauptverkehrsstraßen zeigen nach der Anordnung von Tempo 30 rund 1 bis 4 dB(A) niedrigere Mittelungspegel. Geschwindigkeitssenkungen bewirken aber nicht nur Änderungen des Mittelungspegels. Einige Studien weisen darauf hin, dass bei Tempo 30 niedrigere Maximalpegel und deutlich geringere Pegelschwankungen auftreten als bei Tempo 50.
- ▶ In Frankfurt am Main zeigen Lärmmessungen bei Tempo 30 nachts um rund 2 dB(A) gesunkene Mittelungspegel über die ganze Nacht (Stadt Frankfurt am Main, ohne Datum). In der morgendlichen kritischen Phase für Lärmstörungen des Schlafs von 5 bis 6 Uhr war die Wirkung mit Differenzen von 4 dB(A) noch ausgeprägter.
- ▶ Begleitende Messungen in der Mainzer Rheinstraße ergaben bei Tempo 30 nachts mit mehrtägiger Radarüberwachung verkehrsmengenbereinigt um 3,3 dB(A) geringere Mittelungspegel als bei Tempo 50, obwohl die mittleren Geschwindigkeiten nur um 13 km/h sanken (Augustin-Gohlke, 2015). Vor allem die besonders störenden Einzelereignisse, deren Maximalwert 65 dB(A) für eine Sekunde oder länger überstieg, sanken durchschnittlich um 40 Prozent.

- ▶ In Freiburg i.Br. wurden an der Schillerstraße (B 31) nächtliche Pegelminderungen von 3,1 dB(A) gemessen (Lais, 2010). Diese Werte lagen über den nach VBUS und RLS-90 errechneten Minderungen von 2,4 bis 2,6 dB(A).
- ▶ Eine Schweizer Untersuchung nennt Reduzierungen des energieäquivalenten Dauerschallpegels um durchschnittlich rund 4 dB(A) bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 (Ammann, et al., 2016). Der maximale Vorbeifahrtpegel sinkt durchschnittlich um 6 dB(A). Die Studie weist darauf hin, dass die Lärmbelastung bei Tempo 20 weiter sinkt. Das häufige Argument, bei geringeren Geschwindigkeiten würde in niedrigeren Gängen und damit mit höheren Drehzahlen (= lauter) gefahren, konnte nicht bestätigt werden. Die Untersuchung kommt zu dem Schluss, dass keine eindeutige Beziehung zwischen Vorbeifahrtpegel und Drehzahl erkennbar ist und Fahrzeugeigenschaften (Reifen und Motortyp) offenbar einen größeren Einfluss auf die Lärmsituation haben als das Fahrverhalten (Drehzahl).
- ▶ Der Pilotversuch Kalchbühlstrasse in Zürich ergab um 3 dB(A) gesunkene Pegel bei um 12–16 km/h niedrigeren Geschwindigkeiten (v_{85}) (Zürich, 2009).
- ▶ Langjährige Messreihen an Berliner Hauptverkehrsstraßen ergaben eindeutige Minderungen der untersuchten Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2), Feinstaub (PM_{10}) und elementarer Kohlenstoff (EC) (Rauterberg-Wulff, 2015). Unter Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren wie Meteorologie und Verkehrsmengen sanken die Schadstoffkonzentrationen durch Tempo 30 gegenüber Tempo 50 im Mittel über drei Jahre bei NO_2 um 6 bis 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei PM_{10} um 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und bei EC um 0,3 bis 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der lokale Verkehrsbeitrag sank bei NO_2 um bis zu 28 Prozent und bei PM_{10} um 21 Prozent.“

Eine baden-württembergische Studie mit Messfahrten aus dem Jahr 2012 untersuchte den Einfluss eines reduzierten Tempolimits auf die Feinstaub- (PM_{10}) und Stickstoffdioxidbelastung (NO_2), jeweils abhängig von Steigung und Schwerverkehrsanteil (Toenges-Schuller, et al., 2012). Es wurde festgestellt, dass diese Parameter für eine eintretende Emissionszu- oder -abnahme relevant sind. Je nach örtlichen Gegebenheiten könnte auch eine Zunahme zu erwarten sein.

Eine neuere Untersuchung aus Baden-Württemberg kommt zu dem Schluss, dass die Belastung durch Tempo 30 an einer Steigungsstrecke der Bundesstraßen-Ortsdurchfahrt Schramberg „so weit gesenkt werden [konnte], dass der Immissionsgrenzwert für NO_2 inzwischen eingehalten wird“ (Regierungspräsidium Freiburg, 2018), entnommen aus (Heinrichs, 2019).

Eine neuere Untersuchung des Berliner Senates kommt zu dem Schluss, dass Tempo 30 auch bei inzwischen eingetretenen Änderungen wie dem Emissionsverhalten modernerer Fahrzeuge die Stickstoffdioxidbelastung (NO_2) mehrheitlich reduzieren kann (Senatsverwaltung für Umwelt, 2021). Die Studie beruht auf Messreihen vor und nach Anordnung von Tempo 30 und vergleicht diese mit Änderungen an Straßen ohne Geschwindigkeitsreduzierung. So sollte der „Netto-Effekt“, der tatsächlich nur auf Tempo 30 zurückzuführen ist, festgestellt werden. Im Ergebnis lagen an vier von fünf untersuchten Straßen NO_2 -Reduktionen von 2,2 bis 3,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vor. An einer Straße wurde rechnerisch eine Zunahme um 2,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt. Die Studie stellt außerdem fest, dass kein relevantes Ausweichen auf andere Routen auftrat.

4 Fazit

4.1 Aufgabenstellung und Ergebnisse

Seit 65 Jahren gilt in der Bundesrepublik Tempo 50 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit. In den letzten rund 40 Jahren haben aber viele Städte Tempo-30-Zonen im überwiegenden Teil ihrer Straßennetze ausgewiesen. Darüber hinaus gibt es inzwischen zahlreiche Forderungen nach einer Änderung der innerörtlichen Regelgeschwindigkeit auf 30 km/h, um auch an Hauptverkehrsstraßen leichter Tempo 30 anordnen zu können. Die angestrebten Ziele einer niedrigeren Regelgeschwindigkeit sind vielfältig, sie reichen von einer höheren Verkehrssicherheit über geringere Umweltwirkungen bis hin zu höheren Aufenthaltsqualitäten.

Das vorliegende Forschungsvorhaben simuliert die verkehrlichen Auswirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h und die Umweltwirkungen auf Lärm, Luftschadstoffe und CO₂ in den Städten Göttingen, Halle/Saale und Ravensburg. Dabei geht es davon aus, dass eine Regelgeschwindigkeit 30 km/h nicht zwingend bedeutet, dass überall in der Stadt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h gilt. Es kann durchaus Straßen mit höheren Höchstgeschwindigkeiten geben. In diesen Fällen ist aber wie bisher für Tempo 30 die Ausnahme von der Regelgeschwindigkeit zu begründen.

Die Makromodellierungen des Verkehrsgeschehens zeigen in Halle und Göttingen eine leichte Abnahme des motorisierten Individualverkehrs und des ebenfalls von Tempo 30 betroffenen öffentlichen Nahverkehrs an allen Wegen um bis zu knapp 2 Prozent. Die Anteile des Fuß- und Radverkehrs steigen entsprechend leicht an. Ursache dafür sind die um 2 bis 4 km/h gesunkenen Reisegeschwindigkeiten im motorisierten Verkehr. Diese Ergebnisse hängen vom Ausmaß der Tempo-30-Regelungen und von den Rahmenbedingungen in der jeweiligen Stadt ab. Daher zeigen die Simulationen in Ravensburg keine Änderungen der Reisegeschwindigkeiten und der Verkehrsmittelwahl. Es ist auch zu berücksichtigen, dass die Verkehrsmodelle keine langfristigen Mobilitätsentscheidungen wie den Erwerb oder die Abschaffung privater Pkw abbilden.

Bezogen auf das jeweilige Stadtgebiet sinkt die motorisierte Fahrleistung in allen Beispielstädten um wenige Prozentpunkte. Dies ist vor allem auf die geänderte Verkehrsmittelwahl und in geringerem Maß auf eine veränderte Zielwahl zugunsten von Bereichen, die besser mit dem MIV zu erreichen sind, zurückzuführen. Unterschiedlich stark wählt der motorisierte Verkehr in den Modellstädten den Simulationen zufolge andere Routen als in der Ausgangssituation mit Tempo 50. Dies kann positive Effekte haben wie in Halle, wo eine geeignete Alternativroute mit weitgehend unsensibler Randnutzung stärker befahren wird. Es kann aber auch unerwünschte Folgen haben wie in Göttingen, wo Teile des untergeordneten Straßennetzes stärker belastet werden könnten, sofern nicht mit Begleitmaßnahmen gegengesteuert wird.

Die Lärmbetroffenheiten sinken durch Tempo 30 in allen Städten deutlich, vor allem in den höchstbelasteten Bereichen. Im Pegelbereich über 65 dB(A) nimmt die LärmKennZiffer als Maß für die Lärmbetroffenheit um 25 bis 50 Prozent ab. Es kann aber aufgrund der stellenweise simulierten Verkehrsverlagerungen in das untergeordnete Straßennetz lokal auch zu unerwünschten Mehrbelastungen kommen.

Tempo 30 beeinflusst die verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen in den betrachteten Städten überwiegend leicht positiv. Die Emissionsänderungen liegen bei Stickoxiden NO_x je nach Beispielstadt zwischen -9 und +2 Prozent, bei Feinstaub PM₁₀ zwischen -1 und -10 Prozent sowie bei CO₂ zwischen -2 und +3 Prozent.

Bereits eine Teil-Elektrifizierung der Fahrzeugflotte von etwa 20 Prozent wird die Vor-Ort-Emissionen von CO₂ und NO_x in den Beispielstädten deutlich reduzieren. Die Partikelemissionen werden wegen der verbleibenden Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung weniger beeinflusst. Die Lärmsituation wird eine Elektrifizierung nur mit niedrigen AVAS-Emissionen und erst mit weitgehender Durchdringung der Flotte verändern, ein Anteil von nur 20 Prozent Elektrofahrzeugen wird keine relevanten Lärminderungen entfalten.

4.2 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens erlauben Schlussfolgerungen zur Einführung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit und geben Hinweise für weiteren Handlungs- und Klärungsbedarf:¹⁰

- ▶ Aufgrund der deutlich positiven Wirkungen auf die Lärmentlastung und die Verkehrssicherheit ist es sinnvoll, Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit einzuführen. Auch straßenverkehrsbedingte Luftschadstoffe (NO_x und PM₁₀) können durch Tempo 30 leicht zurückgehen. Die CO₂-Emissionen werden kaum beeinflusst.
- ▶ Um lokale, unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden, sollten die Kommunen das voraussichtliche Risiko von Verkehrsverlagerungen in das untergeordnete Straßennetz vorab grob prüfen und ggf. punktuelle Begleitmaßnahmen ergreifen.
- ▶ Die Verkehrs- und Emissionsmodelle sind nicht in allen Details für die Simulation von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen geeignet. Hier besteht Weiterentwicklungsbedarf.

Bei der Ergebnisinterpretation ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse je nach Untersuchungsraum und angewandter Methodik unterschiedlich ausfallen können. Dies betrifft beispielsweise die Stadt- und Straßennetzstruktur sowie den Anteil der von Tempo 50 auf 30 km/h reduzierten Streckenlängen sowie die Modellannahmen. Einige dieser Einflussfaktoren wurden projektbegleitend mit den Bearbeitenden des zeitgleich vom Umweltbundesamt durchgeführten Forschungsvorhabens „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ diskutiert, vgl. (Bawidamann, et al., in Vorbereitung) und Anhang: Abgleich mit dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“, Seite 144 ff.

Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit einführen

Der in dieser Untersuchung quantifizierte Nutzen für die Beispielstädte, insbesondere hinsichtlich der deutlichen Lärmentlastung, überwiegt die quantifizierten Nachteile für den motorisierten Verkehr, insbesondere die um 0,6 bis 1,9 Minuten verlängerten Reisezeiten. Hinzu kommen weitere Vorteile einer geringeren Regelgeschwindigkeit wie der Zugewinn an Verkehrssicherheit. Studien zum sogenannten Spillover-Effekt, der sich als wechselseitige Beeinflussung unterschiedlicher Geschwindigkeitsbeschränkungen an aufeinanderfolgenden Strecken ergibt, lassen eine bessere Befolgung einer einheitlich und flächendeckend verminderten Höchstgeschwindigkeit erwarten (Richter, et al., 2004) (Alhomaidat, et al., 2021).

Wesentliche Nachteile einer Regelgeschwindigkeit von 30 km/h konnten nicht festgestellt werden. Es ist aber sinnvoll, den Kommunen einen zeitlichen Vorlauf zu gewähren, damit sie eventuell mögliche, unerwünschte Verkehrsverlagerungen vorab identifizieren und unterbinden

¹⁰ Hier werden nur die im Forschungsprojekt behandelten Aspekte diskutiert. Darüber hinaus können weitere Handlungsbedarfe entstehen, beispielsweise zur Anpassung der ÖPNV-Fahrpläne oder der Lichtsignalanlagen-Koordinierungen („Grüne Wellen“).

können (vgl. nächster Punkt „Stadtspezifische, räumliche Verlagerungsrisiken prüfen und bei Bedarf Begleitmaßnahmen ergreifen“).

Es ist offenbar wirkungsvoller, die innerörtliche Regelgeschwindigkeit bundesweit einheitlich zu senken als den Kommunen lediglich das Recht einzuräumen, dies auf Wunsch jeweils selbst zu tun. Darauf deutet ein Abgleich der in der vorliegenden Untersuchung erzielten Ergebnisse mit denen des UBA-Forschungsvorhabens „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ hin. Während die vorliegende Untersuchung Tempo 30 nur in den jeweiligen Beispielstädten simulierte, hat das Vorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ Tempo 30 auch in allen umliegenden Gemeinden innerhalb eines erweiterten Untersuchungsraums angenommen. Die positiven Wirkungen sind in diesem Fall stärker als bei der Einführung in lediglich einzelnen Städten (vgl. Anhang: Abgleich mit dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“, Seite 144 ff.).

Stadtspezifische, räumliche Verlagerungsrisiken prüfen und bei Bedarf Begleitmaßnahmen ergreifen

Die Untersuchung zeigt, dass flächendeckendes Tempo 30 in einzelnen Fällen zu unerwünschten Verkehrsverlagerungen von Hauptverkehrsstraßen in das untergeordnete Straßennetz führen kann. Daher sollten die Kommunen solche Risiken vorab prüfen. In kleineren Gemeinden kann dies durch die fachliche Einschätzung der für Verkehrsplanung zuständigen Behörde bzw. eines von ihr beauftragten Fachbüros geschehen. In größeren Städten wird meist ein Verkehrsmodell eingesetzt. Falls das Verkehrsmodell entsprechende Verlagerungen ergibt, wäre angesichts der modellbedingt häufig auftretenden Überschätzung von Verkehrsverlagerungen zunächst zu prüfen, ob die Ergebnisse plausibel sind. Dies kann durch Ortskenntnis und anhand der Frage geschehen, ob die berechneten Verlagerungen überhaupt verkehrstechnisch abwickelbar sind.

Falls die Voruntersuchung das Risiko von unerwünschten Verkehrsverlagerungen bestätigt, wäre anschließend zu prüfen, ob dies durch begleitende Maßnahmen vermieden werden kann. In Frage kommen beispielsweise verkehrsberuhigende oder -beschränkende Maßnahmen im untergeordneten Netz oder – sofern diese nicht ausreichen – die Ausnahmeregelung 50 km/h an ausgewählten Hauptverkehrsstraßen.

Modelle und Regelwerke weiterentwickeln

Makro-Verkehrsmodelle können mit den Standardeinstellungen die Verlagerungswirkungen einer Tempo-30-Anordnung an einer Hauptverkehrsstraße in das untergeordnete Netz überschätzen. Da flächendeckendes Tempo 30 auch ohne Änderung der Gesetzes- und Verordnungslage seit Jahren an Bedeutung gewinnt, wäre eine möglichst realistische Simulation mit geeigneten Auslastungsfunktionen, Streckentypen und Knotenpunktkapazitäten hilfreich. Es wäre auch wünschenswert, langfristige Mobilitätsentscheidungen wie den Erwerb oder die Abschaffung privater Pkw abzubilden, weil derartige Entwicklungen einige der modellierten Effekte verstärken könnten.

Auch die Berechnungsverfahren für Lärm und Luftschadstoffe sollten hinsichtlich Tempo 30 und Elektrifizierung der Fahrzeugflotte weiterentwickelt werden. Die Lärm-Rechenvorschriften RLS-19 und BUB sollten auch die Fahrzeugemissionen von Elektrofahrzeugen mit AVAS modellieren können, insbesondere auch für schwere Nutzfahrzeuge und Busse. Die für die Berechnung der Luftschadstoffemissionen vorgesehenen Verkehrssituationen des HBEFA sollten auch Tempo 30 an übergeordneten Hauptverkehrsstraßen beinhalten. Für Variantenvergleiche bieten sich realitätsnähere, d. h. weniger sprunghafte Zuordnungen der Auslastungsgrade zu den Level-of-Service an.

Schließlich wären die Grenzwerte für das Acoustic Vehicle Alert System (AVAS) aus Sicht der Lärmbekämpfung zu überprüfen. Falls sich die Hersteller in der Mitte der bislang möglichen Grenzwert-Spannweite bewegen werden, wird sich die Lärmsituation einer elektrifizierten Flotte gegenüber der Bestandsflotte nicht wesentlich ändern. Vielmehr würden die akustischen Vorteile der Elektrofahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich bis 20 km/h durch AVAS kompensiert. Bei der Bemessung der AVAS-Grenzwerte sind aber auch sicherheitsrelevante Belange zu berücksichtigen.

5 Quellenverzeichnis

EU-Verordnung 540/2014. 2014. Verordnung (EU) Nr. 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157. 2014.

ADAC e.V. 2021. Spanien: Tempo 30 in Städten. [Online] 11. Mai 2021. [Zitat vom: 20. Mai 2022.] <https://www.adac.de/news/spanien-tempo-30/>.

Agora Verkehrswende. 2022. 100 Städte für mehr Tempo 30. [Online] März 2022. [Zitat vom: 20. Mai 2022.] <https://www.agora-verkehrswende.de/presse/newsuebersicht/100-staedte-fuer-mehr-tempo-30-1/>.

—. **2022.** *Wende im Pendelverkehr. Wie Bund und Kommunen den Weg zur Arbeit fairer und klimagerechter gestalten können.* Berlin : s.n., 2022.

Aichinger, Wolfgang und Frehn, Michael. 2017. *Straßen und Plätze neu denken.* Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt (Hg.), 2017.

Aichinger, Wolfgang, Frehn, Michael und Pöpsel, Lukas. 2020. *Quartiersmobilität gestalten. Verkehrsbelastungen reduzieren und Flächen gewinnen.* Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt (Hg.), 2020. ISSN 2363-832X.

Aldred, Rachel, et al. 2018. Cycling injury risk in London: A case-control study exploring the impact of cycle volumes, motor vehicle volumes, and road characteristics including speed limits. *Accident Analysis and Prevention.* 2018, 117, S. 75-84.

Alhomaïdat, Fadi, Kwigizile, Valerian und Oh, Jun-Seok. 2021. Impacts of freeway speed limit on operation speed of adjacent arterial roads. *IATSS Research.* 2021, Bd. 45, S. 161-168.

Allekotte, Michel, et al. 2020. *Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990- 2018) - Berichtsteil "TREMOD".* Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 2020.

Ammann, C., Heutschi, K. und Rüttener, S. 2016. Potenzial von Temporeduktionen innerorts als Lärmschutzmaßnahme. *Lärmbekämpfung.* 2016, 2/2016, S. 43-49.

ARD-aktuell / tagesschau.de. 2021. Brüssel will Autofahrer abschrecken. [Online] 01. 01 2021. <https://www.tagesschau.de/ausland/bruessel-autos-101.html>.

ARGUS. 2017. *Aktualisierung ÖV-Angebot im Verkehrsmodell Göttingen.* Hamburg : s.n., 2017. Dokumentation zur teilweisen Aktualisierung des Verkehrsmodells im Auftrag der Stadt Göttingen, FD Stadt- und Verkehrsplanung.

Atkins; AECOM; Maher, Mike. 2018. *20mph Research Study.* 2018.

Augustin-Gohlke, S. 2015. *Pilotprojekt "Tempo 30" auf der Rheinstraße in Mainz.* s.l. : Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, 2015. Bericht Nr. 3285.

Baert, Wout, Caers, Inge und Martensen, Heike. 2022. *Fietsen in gemengd verkeer - Onderzoek fietsmarkeringen.* Brussel : Fietsberaad Vlaanderen, 2022.

Bassani, Marco, Rossetti, Leonardo und Catani, Lorenzo. 2020. Traffic crash pattern modification as a result of a 30 km/h zone implementation. A case study in Turin (Italy). *Transportation Research Procedia.* 2020, 45, S. 402-409.

BAST. 2013. *Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS - Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Verkehrstechnik, Heft V222.* Bergisch-Gladbach : s.n., 2013.

Bawidamann, J., et al. in Vorbereitung. *Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung, FKZ 3719 58 102 0.* s.l. : Umweltbundesamt, in Vorbereitung.

BEB. 2021. BEB - Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm. s.l. : vom 7. September 2021 (BANZ AT 05.10.2021 B4), 2021.

Benefits of using microscopic models for simulating air quality management measures.

Krajewicz, Daniel, et al. 2016. Washington : s.n., 2016. 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Berge, Truls Svern und Haukland, Frode. 2019. *Adaptive acoustic vehicle alerting sound, AVAS, for Electric vehicles Results from field testing.* s.l. : SINTEF, 2019.

BFU. 2020. *Mit Tempo 30 die Verkehrssicherheit erhöhen - Fakten und Argumente.* Bern : Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2020.

Bock, F., et al. 2018. Auswirkungen der AVAS-Gesetzgebung auf elektrifizierte Fahrzeuge. *Präsentiert bei DAGA 2018 – 44. Deutsche Jahrestagung für Akustik.* München : s.n., 2018.

Bönnighausen, G. und Popp, C. 1988. *LärmKennZiffer-Methode – Methode zur Beurteilung lärmbedingter Konfliktpotentiale in der städtebaulichen Planung.* Hamburg : Baubehörde Hamburg, 1988.

Bornioli, Anna, et al. 2020. Effects of city- wide 20 mph (30km/hour) speed limits on road injuries in Bristol, UK. *Injury Prevention.* 21. 01 2020, 26, S. 85-88.

Brannolte, Ulrich. 2000. Simulationsmodelle im Verkehrswesen - Analyse und spezifische Weiterentwicklungen. [Hrsg.] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen FGSV. *Straßenverkehrstechnik.* 2000, 6, S. 265-269.

Braun, A., et al. 2018. *Leis-E: Elektrische Antriebe im Busverkehr: Potenziale für die Minderung von Lärmimmissionen.* Stuttgart : s.n., 2018.

brenner BERNARD. 2018. Integrierter Verkehrsentwicklungsplan. 4. Arbeitsgruppensitzung. [Präsentationsfolien]. 16. April 2018.

Bruder, Bernhard, et al. 1989. *Erfahrungen mit Tempo 30 - Regelungen aus dem Betrieb von Bussen im ÖPNV.* Bereich Unfallforschung. Bergisch Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen, 1989. Bericht zum Forschungsprojekt 70175/86 des Bundesminister für Verkehr. ISSN 0173-7066.

BUB. Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen, Bekanntmachung im Bundesanzeiger vom 28.12.2018.

Cleland, Claire L., et al. 2020. Effects of 20mph interventions on a range of public health outcomes: A meta-narrative evidence synthesis. *Journal of Transport & Health.* 06 2020, 17.

Debauche, Wanda und Van Damme, Olivier. 2019. The Case for Optimizing the Use of Public Urban Space. *Routes/Roads.* 2019, 379, S. 31-36.

Deutscher Städtetag. 2021. Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten. [Online] 8. Juli 2021. [Zitat vom: 20. Mai 2022.]
<https://www.staedtetag.de/themen/2021/lebenswerte-staedte-durch-angemessene-geschwindigkeiten>.

Elvik, Rune. 2019. A comprehensive and unified framework for analysing the effects on injuries of measures influencing speed. *Accident Analysis and Prevention*. 2019, 125, pp. 63-69.

Ericsson, Eva, et al. 2019. *Work programme 2016 -2018 for HBEFA Version 4.1 - Report of the work carried out for work package 2*. 2019.

EUGENT. Fakten aus Graz / Österreich. [Online] [Zitat vom: 12. 01 2022.]
<https://de.30kmh.eu/fakten-aus-europaeischen-staedten/graz/#Geschwindigkeits%C3%A4nderungen>.

FGSV. 2015. *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*. Köln : FGSV Verlag, 2015. S - Stadtstraßen. ISBN 978-3-86446-103-3.

Fitschen, Arnd und Nordmann, Hartwig. 2021. *Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017*. [Hrsg.] BASt. Bergisch Gladbach : s.n., 2021. Bd. V 340. ISBN 978-3-95606-569-9.

Fitzpatrick, Kay, et al. 2022. *Crash Modification Factor for Corner Radius, Right-Turn Speed, and Prediction of Pedestrian Crashes at Signalized Intersections*. Washington, DC : Federal Highway Administration, 2022. FHWA-HRT-21-105.

Furth, Peter G., et al. 2021. Designing Crossing Islands for Speed Control and Intersection Safety on Two-Lane Collectors and Arterials. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2021, 2675-9, S. 898-909.

Geht's auch langsamer? **Przybilla, Steve. 2021.** 12. 02 2021, Süddeutsche Zeitung.

GeoBasis-DE / BKG. 2018. CORINE Land Cover 5 ha CLC5 (2018). *clc5_2018.utm32s.shape*. Leipzig : s.n., 2018.

Gerike, Regine, et al. 2019. *Mobilitätssteckbrief für Halle (Saale)*. Technische Universität Dresden. Dresden : s.n., 2019.

GOV.UK. 2022. The Highway Code. [Online] 25. März 2022. <https://www.gov.uk/guidance/the-highway-code/introduction>.

Heinrichs, Eckhart. 2019. Stadtverträgliche Geschwindigkeiten. *Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung*. 83. Ergänzungs-Lieferung, 2019.

Heinrichs, Eckhart, Scherbarth, Frank und Sommer, Karsten. 2016. *Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen*. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 2016.

Highway Code update comes into force in England, Scotland and Wales. **Hall, Rachel. 2022.** s.l. : Guardian News & Media Limited, 29. 01 2022.

Huber, David und Kring, Veronique. 2020. *Tempo 30 als neue innerstädtische Regelgeschwindigkeit - Chance oder Gefahr für den ÖPNV?* TUHH. Hamburg : s.n., 2020. student work.

Initiative "Lebenswerte Städte durch angemessene Geschwindigkeiten". 2022. [Online] 12. August 2022. [Zitat vom: 12. August 2022.] <https://www.lebenswerte-staedte.de/>.

ITF/OECD. 2018. *Speed and Crash Risk*. Paris : International Transport Forum, 2018.

IVU; brenner BERNARD. 2018. *Fachgutachterliche Begleitung der Luftreinhaltung für die Stadt Ravensburg*. Freiburg, Aalen : s.n., 2018. Endbericht für das Regierungspräsidium Tübingen, Referat 54.1.

Kapousizis, Georgios, Goodman, Anna and Aldred, Rachel. 2021. Cycling injury risk in Britain: A case-crossover study of infrastructural and route environment correlates. *Accident Analysis and Prevention*. 2021, 154, pp. 1-13.

Keine Verkehrstoten: Was Helsinki richtig macht. Schmiester, Carsten und Welzel, Sharon. 2020. 2020, NDR.

Kim, Ki-Joon. 2009. Development of Intersection Traffic Accident Risk Assessment Model-Application of Microsimulation Model with SSAM to Sungnam City. [Online] 2009.
<https://www.itf-oecd.org/6-kim2pdf>.

Klein, Tobias, et al. 2021. *Fahrradstraßen - Leitfaden für die Praxis*. Wuppertal/Berlin : Bergische Universität Wuppertal, Deutsches Institut für Urbanistik (Hg.), 2021.

Laib, F. und Schmid, J.A. 2019. Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS) of electric cars and its possible influence on urban soundscape. ICA Aachen : s.n., 2019.

Lais, T. 2010. *Schalltechnischer Messbericht „Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf den Dreisamuferstraßen – B 31“*. Freiburg i. Br. : Stadt Freiburg i. Br., Garten- und Tiefbauamt, 2010.

Leung, Kevin Y.K., et al. 2021. To cross or not to cross: A closer look at children's decision-making on the road. *Transportation Research Part A*. 2021, 149, S. 1-11.

Liu, Jun, et al. 2020. Bicyclist injury severity in traffic crashes: A spatial approach for geo-referenced crash data to uncover non-stationary correlates. *Journal of Safety Research*. 2020, 73, S. 25-35.

LK Argus. 2021. *Evaluierung von Tempo 30. GPS-Messfahrten im ÖPNV*. Berlin : s.n., 2021. Abschlussbericht im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg.

—. **2016.** *Haushaltsbefragung zum Mobilitätsverhalten 2015 / 2016*. Kassel : s.n., 2016. Bericht zur Haushaltsbefragung im Auftrag der Stadt Göttingen, FD Stadt- und Verkehrsplanung, und des Zweckverband Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen.

—. **2014.** *Klimaplan Verkehrsentwicklung der Stadt Göttingen*. Kassel : s.n., 2014.

Lohmeyer. 2015. *LRP Potsdam. Durchführung und Auswertung von Messfahrten zur T30 Wirkungsuntersuchung*. Radebeul : s.n., 2015. Schlussbericht im Auftrag des Umweltministerium Brandenburg.

Milton, Karen, et al. 2021. Use of natural experimental studies to evaluate 20mph speed limits in two major UK cities. *Journal of Transport & Health*. 2021, 22, S. 1-9.

Mukoko, Kanya K. und Pulugurtha, Srinivas S. 2020. Examining the influence of network, land use, and demographic characteristics to estimate the number of bicycle-vehicle crashes on urban roads. *IATSS Research*. 2020, 44, S. 8-16.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. *Application of Crash Modification Factors for Access Management, Volume 2: Research Overview*. Washington, DC : The National Academies Press, 2021.

Neuhold, Robert, Cik, Michael und Fellendorf, Martin. 2011. Typisierte Verkehrsbelastungsganglinien in der Emissionsberechnung. [Hrsg.] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV. *Straßenverkehrstechnik*. 2011, 12.2011, S. 773-781.

Notter, B., et al. 2022. *HBEFA 4.2 - Documentation of updates*. Bern/Graz/Heidelberg/Lyon/Göteborg : s.n., 2022.

OECD. 2020. Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge. Paris : OECD Publishing,, 2020.
<https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>.

OECD; ECMT. 2006. *Speed Management*. Paris : s.n., 2006. ISBN 92-821-0377-3.

Ortuzar, Juan de Dios und Willumsen, Luis G. 2008. *Modeling Transport*. 3. Ames : John Wiley & Sons, 2008.

PIARC. 2019. *Best Practice Guide to Air Quality in Relation to Road Operations*. Technical Committee E.2 Environment Considerations in Road Projects and Operations. Paris : World Road Association (PIARC), 2019. ISBN 978-2-84060-566-9.

—. **2016.** *Human Factors Guidelines for a Safer Man-Road Interface*. Paris : World Road Association, 2016. ISBN 978-2-84060-408-2.

Pinkowsky, Lutz. 2005. *Typisierung von Ganglinien der Verkehrsstärke und ihre Eignung zur Modellierung der Verkehrsstärke*. Köln : Shaker Verlag GmbH, 2005. ISBN 3-8322-4859-5.

Pischinger, R., et al. 1995. *Tempo 30/50 in Graz*. Graz : Verlag für die Technische Universität Graz, 1995. Schriftenreihe der Institute für Eisenbahnwesen, Strassen- und Verkehrswesen TU Graz Heft Nr. 21. ISBN 3 7041 9508 1.

Purr, Katja, et al. 2019. *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität - RESCUE-Studie - CLIMATE CHANGE 36/2019*. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 2019.

Rauterberg-Wulff, Annette. 2015. Beobachtungen zur langjährigen Entwicklung der Luftqualität an Berliner Hauptverkehrsstraßen vor und nach Anordnung von Tempo 30. *Immissionsschutz*. 2015, Bd. 2/2015, S. 64-70.

Regierungspräsidium Freiburg. 2018. *Luftreinhalteplan Schramberg, Evaluierungsbericht für die ab 01.11.2016 eingeführte Maßnahme M6 (Tempo 30 auf einem Abschnitt der B 462 / Oberndorfer Straße)*. 2018.

Retzko, Hans-Georg und Korda, Christian. 2000. Auswirkungen unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten auf städtischen Verkehrsstraßen - Ein Beitrag zur Tempo 30-Diskussion. [Hrsg.] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen FGSV. *Straßenverkehrstechnik*. 2000, 2.

Reyad, Passant, et al. 2021. Real-Time Crash-Risk Optimization at Signalized Intersections. *Transportation Research Record*. 2021, S. 1-19.

Richter, Elihu D., et al. 2004. Speed Limits, Speed Spillover, Case-Fatality Rates, and Deaths in Israel: A 5-Year Follow-Up. *American Journal of Public Health*. 2004, Bd. 94, 4.

Richter, Thomas, et al. 2019. *Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen*. Technische Universität Berlin, FG Straßenplanung und Straßenbetrieb. Berlin : Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hg.), 2019. Forschungsbericht im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV). ISBN 978-3-939163-89-3.

RLS-19. Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19, FGSV Ausgabe 2019.

RoTraNoMo. 2005. *ROTRANOMO, Development of a Microscopic Road Traffic Noise Model for the Assessment of Noise Reduction Measures, Projektnr. GRD2-2001-50091*. s.l. : im Auftrag der Europäischen Kommission im Programm "Wettbewerbsorientiertes und nachhaltiges Wachstum", 2005.

Schlaich, Johannes. 2022. Eine Frage der Geschwindigkeit - Über den Diskurs zu flächendeckendem Tempo 30 in Innenstädten. *polisMOBILITY*. 2022.

Schmidt, Rolf. 2008. Makroskopische Verkehrssimulationsmodelle in der kommunalen Planungspraxis. [Diplomarbeit am Lehrstuhl für Stadtbauwesen und Stadtverkehr (ISB) an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen]. Aachen : s.n., 2008.

Schnieder, Lars. 2018. *Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr.* Berlin : Springer, 2018. ISBN 978-3-662-57318-1.

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin. 2021.

Untersuchungskonzept zur lufthygienischen und verkehrlichen Wirkung von Tempo 30 mit Verkehrsverstetigung als Maßnahmen des Luftreinhalteplans zur Reduzierung von NO₂. 2021.

Speed and the risk of crashes and injuries : A summary of current knowledge. **Elvik, Rune. 2020.** 2020. Speed and Speed Management in Road Safety Policy. S. 5-11.

Spiekermann; Müller-BBM. 2020. *Evaluierung des Geschwindigkeitskonzepts Münster.* Düsseldorf : s.n., 2020. Zusammenfassung der Evaluierung im Auftrag der Stadt Münster.

SR. 2022. Wie wirken sich großflächige Tempo-30-Zonen aus? [Online] Saarländischer Rundfunk, 05. 01 2022.

https://www.sr.de/sr/home/nachrichten/politik_wirtschaft/erfahrungen_tempo_30_innenstadt_100.html.

Stadt Frankfurt am Main. ohne Datum. *Zusammenfassung der Ergebnisse des Modellvorhabens Tempo 30 in der Nacht auf Hauptverkehrsstraßen.* ohne Datum.

Stadt Halle. 2019. *Stadtmobilitätsplan Stadt Halle (Saale).* Halle : s.n., 2019. smp-broschuere_200227.pdf.

Tefft, Brian C. 2011. *Impact of Speed and a Pedestrian's Risk of Severe Injury or Death.* Washington DC : AAA Foundation for Traffic Safety, 2011.

Tempo 30: Weniger Verkehrstote. **Pomrehn, Wolfgang. 2020.** 04. 03 2020, heise online / Telepolis.

Theofilatos, Athanasios, et al. 2021. To cross or not to cross? Review and meta-analysis of pedestrian gap acceptance decisions at midblock street crossings. *Journal of Transport & Health.* 2021, 22, S. 1-20.

Toenges-Schuller, N., Schneider, C. und al., et. 2012. *Ersteinschätzung der Wirkung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen auf die NO_x- und PM₁₀-Emissionen.* s.l. : LUBW, 2012.

Umweltbundesamt. 2019. *Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA), Version 4.1.* s.l. : Umweltbundesamt Deutschland UBA / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Schweiz BUWAL, 2019.

—. **2000.** *TraNECaM, Emissionsmodul im Geräuschbelastungsmodell, ARGE TÜV Automotive / LÄRMKONTOR, Vorhaben Nr. 105 02 221, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dezember 2000.* 2000.

UNECE Nr. 138. Regelung Nr. 138 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit [2017/71].

UNECE Nr. 51. Regelung Nr. 51 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen [2018/798].

Van den Berghe, Wouter und Pelssers, Brecht. 2020. *Themadossier Verkeersveiligheid nr. 9 - Snelheid en te snel rijden.* Brüssel : Vias institute - Kenniscentrum Verkeersveiligheid, 2020.

Vanparijs, J., et al. 2020. Cycling exposure and infrastructural correlates in a Flemish adolescent population. *Journal of Transport and Health.* 2020, 16, S. 1-13.

Wann, John P., Poulter, Damian R. und Purcell, Catherine. 2011. Reduced Sensitivity to Visual Looming Inflates the Risk Posed by Speeding Vehicles When Children Try to Cross the Road. *Psychological Science*. 2011, 22(4), S. 429-434.

Wegman, Fred und Dijkstra, Atze. 2012. Safe Cycling in the Netherlands. *Routes-Roads*. 2012, No. 354, S. 42-50.

Weniger Lärm, mehr Sicherheit - Paris wird zur Tempo-30-Zone. **n-tv Nachrichten. 2021.** 2021, n-tv.de.

Williams, Michael, et al. 2021. *Safety Considerations for All Road Users on Edge Lane Roads*. San José, CA : Mineta Transportation Institute, 2021.

yverkehrsplanung. 2016. *Gesamtverkehrsmodell Halle (Saale). Qualifizierung auf Basis aktueller Verkehrszählungen*. Weimar : s.n., 2016. Dokumentation zum aktualisierten Verkehrsmodell im Auftrag der Stadt Halle (Saale), FB Planen / Abt. Verkehrsplanung.

Zürich, Stadt. 2009. *Pilotversuch Tempo 30 Kalchbühlstrasse, zusammenfassender Bericht*. 2009.

A Anhang: Abgleich mit dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“

A.1 Einleitung

Die Projekte „Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h“ und „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ (Bawidamann, et al., in Vorbereitung) behandeln beide die Auswirkungen von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit innerorts, wobei das Projekt „Flüssiger Verkehr“ keine Lärmwirkungen betrachtete. Das vorliegende Memo beschreibt die Unterschiede in der Herangehensweise der beiden Forschungsvorhaben und erklärt die Ursachen für relevante Abweichungen bei den Ergebnissen im Bereich Verkehr und Luftschadstoffe.

Grundlage dieses Memos sind Abstimmungen der Bearbeitenden beider Projekte vom 29.03.2022 und 07.04.2022. Teilgenommen haben folgende Personen:

Vom Projekt „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“:

- ▶ Prof. Dr. Markus Friedrich | Universität Stuttgart (nur 29.03.2022)
- ▶ Dr. Matthias Schmaus | Universität Stuttgart
- ▶ Ralf Lohse | PTV (nur 29.03.2022)
- ▶ Jörg Uhlig | PTV

Vom Projekt „Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h“:

- ▶ Sebastian Eggers | Lärmkontor
- ▶ Dr. Eckhart Heinrichs | LK Argus
- ▶ Tim Klein | Argus Stadt und Verkehr

A.2 Allgemeine Unterschiede zwischen den Projekten

Das Projekt „Umweltwirkungen von Tempo 30“ untersucht drei Städte (Halle, Göttingen, Ravensburg), das Projekt „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ betrachtet drei Stadtregionen (Dresden, Magdeburg, Stuttgart). Die betrachteten Beispielstädte haben unterschiedliche Strukturen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Ergebnisse (Tabelle 15).

Zum Beispiel unterscheiden sich die Beispielstädte hinsichtlich

- ▶ der Anteile ländlicher Bereiche im Gemeindegebiet,
- ▶ der Einwohnerdichte im Umland,
- ▶ der Siedlungsstruktur, insbesondere hinsichtlich Dichte und Ausdehnung,
- ▶ dem Anteil von Fernstraßen mit gebietsfremden Verkehren im Gemeindegebiet, und
- ▶ der ÖPNV-Struktur und -Qualität.

Tabelle 15: Strukturgrößen der Untersuchungsgebiete

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Fläche [km²]	328	201	207	135	117	92
Einwohnende [Tsd.]	556	236	630	238	117	51
Einw.-Dichte [EW/km²]	1.696	1.173	3.045	1.762	999	552

Die Vorhaben bilden eine unterschiedliche räumliche Ausdehnung der reduzierten Regelgeschwindigkeit ab und stellen insofern unterschiedliche Maßnahmen dar:

- „Flüssiger Verkehr“ nimmt an, dass deutschlandweit Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit eingeführt wird.
- „Umweltwirkungen von Tempo 30“ simuliert Tempo 30 nur in der jeweiligen Beispielstadt.

Zwar wird in beiden Vorhaben nur der Verkehr innerhalb des administrativen Stadtgebiets der Beispielstädte (siehe unten) bilanziert. Ein- und auspendelnde Verkehre machen davon aber einen bedeutenden Anteil aus. Diese werden bei „Flüssiger Verkehr“ zusätzlich durch die herabgesetzten Regelgeschwindigkeiten in den umliegenden Gemeinden beeinflusst. Bei „Umweltwirkungen von Tempo 30“ gibt es diesen Einfluss nicht.

Die Vorhaben treffen in der Modellierung unterschiedliche Annahmen und verwenden teilweise unterschiedliche Datengrundlagen:

- „Flüssiger Verkehr“ setzt in der Simulation eine 10 Prozent geringere Streckenkapazität infolge von Tempo 30 ausgehend von Tempo 50 und eine 6 Prozent geringere Kapazität bei Tempo 30 ausgehend von Tempo 40 an.
„Umweltwirkungen von Tempo 30“ setzt eine unveränderte Kapazität an. Beide Ansätze sind plausibel begründbar; sie bilden die Spannweite der möglichen Ansätze ab. Beispielsweise gibt es in der Praxis verschiedene Ansätze zur Modellierung der Zeitverluste an Knotenpunkten einerseits und auf der Strecke andererseits. Die Annahme aus „Flüssiger Verkehr“ beruht auf Simulationen, die eine um bis zu 10 Prozent reduzierte Kapazität an LSA-Knoten zeigen. „Umweltwirkungen von Tempo 30“ berücksichtigt, dass sich die Kapazitätsreduzierungen nur auf Fahrbeziehungen mit Sättigungsverkehrsstärke auswirken – was in der Regel nur einen Strom je Phase zu den Tagesspitzen betrifft. Es besteht derzeit keine wissenschaftliche Grundlage dafür, eine der beiden Vorgehensweisen zu bevorzugen. Insofern gibt es hier kein richtiges oder falsches Vorgehen, sondern nur die o. g. unterschiedlichen Annahmen. Dass an dieser Stelle noch Forschungsbedarf besteht, zeigt sich auch darin, dass sich aktuell ein BASt-Forschungsvorhaben mit dem Titel „Nachweis der Auswirkungen von Tempo 30 auf die LSA-Steuerung und Kapazität (77.0523)“ mit genau dieser Fragestellung beschäftigt. Dessen Ergebnisse zu diesem Thema werden die Diskussion weiter voranbringen.
- „Flüssiger Verkehr“ geht davon aus, dass das ÖPNV-Angebot von Tempo 30 nicht beeinträchtigt wird. „Umweltwirkungen von Tempo 30“ berücksichtigt Fahrzeitverluste auch beim ÖPNV.
- Die Emissionsfaktoren werden in beiden Projekten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren entnommen (HBEFA Version 4.1). Die Zuordnung der Straßenkategorien war bei

„Umweltwirkungen von Tempo 30“ bereits in den verwendeten Verkehrsnachfragemodellen hinterlegt. Die Zuordnung war bei „Flüssiger Verkehr“ ein wichtiger Bestandteil des Projektes, die Methodik kann dem dortigen Bericht entnommen werden.

- Beide Projekte differenzieren die Straßen nach „innerorts“ und „außerorts“ anhand der Landnutzungsdaten, die auf den clc5-Datensatz des Bundesamts für Kartografie und Geodäsie zurückgeführt werden können.

Die Auswahl der Strecken, die durch die Maßnahme betroffen sind, wurde in beiden Projekten vergleichbar getroffen, nämlich Tempo 30 auf allen innerörtlichen Straßen außer auf ausgewählten mehrstreifigen Magistralen, wo weiterhin eine höhere Geschwindigkeit zulässig ist. Die Ausnahmen sind in den Projektberichten dargestellt. Trotz vergleichbarer Kriterien ergeben sich in Abhängigkeit von den Strukturen im Gemeindegebiet (siehe oben) unterschiedliche Anteile der von Tempo 30 betroffenen Streckenlänge bzw. Fahrleistung in den jeweiligen untersuchten Städten (Tabelle 16).

Tabelle 16: Von Tempo 30_{neu} betroffene Strecken- und Fahrleistungsanteile in den Untersuchungsgebieten

Die Streckenanteile sind weniger aussagekräftig als die Fahrleistungsanteile, da diese stark von der Tiefe des Netzmodells abhängen. Die Fahrleistungsanteile beziehen sich auf die Fahrleistung aller modellierten Fahrzeugkategorien (Pkw, SNF, LNF)

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Anteil der Streckenlänge	38,1 %	24,2 %	26,4 %	23,3 %	22,8 %	13,8 %
Anteil der Fahrleistung	57,0 %	51,6 %	35,1 %	48,1 %	30,1 %	23,9 %

A.3 Bezugsgebiet

Sowohl „Umweltwirkungen von Tempo 30“ als auch „Flüssiger Verkehr“ werten die Ergebnisse für die administrativen Stadtgebiete aus. Alle hier dargestellten Werte beziehen sich auf die administrativen Stadtgebiete.

„Flüssiger Verkehr“ betrachtet in seinem Projektbericht darüber hinaus die Wirkungen in den Stadtregionen, schließt also die umliegenden Gemeinden mit ein. Die Ergebnisse für die dort betrachteten erweiterten Untersuchungsräume sind in diesem Memo nicht dargestellt.

A.4 Verkehrsmittelwahl

Beide Vorhaben geben Modal Split Werte aus dem jeweiligen Verkehrsmodell an (Tabelle 17). Relevante Abweichungen gibt es in folgenden Punkten:

- Die Reduzierung des MIV-Anteils durch Tempo 30 ist bei „Flüssiger Verkehr“ tendenziell höher, weil die reduzierte Regelgeschwindigkeit nicht nur für die betrachtete Gemeinde modelliert wird, sondern für alle innerörtlichen Straßen im Untersuchungsraum (s. o. „Allgemeines“). Verkehre zwischen zwei Gemeinden sind dadurch nicht nur in einer Gemeinde, z. B.

am Ziel des Weges, von der verminderten Geschwindigkeit betroffen, sondern auch am Start des Weges und auf allen Innerortsstraßen unterwegs.

- Die auffällig hohe Fahrleistungsabnahme des MIV in Dresden ist erklärbar durch die große Ost-West-Ausdehnung der Stadt als Band entlang der Elbe, das gleichzeitig sehr gut durch die S-Bahn erschlossen ist.
- Die Auswirkungen auf den ÖPNV sind in „Umweltwirkungen von Tempo 30“ negativer, weil dort die Fahrtzeitverlängerungen berücksichtigt werden (s. o. „Allgemeines“). Deshalb nimmt der ÖPNV-Anteil bei „Umweltwirkungen von Tempo 30“ grundsätzlich ab, während er bei „Flüssiger Verkehr“ aufgrund der Verlangsamung des MIV grundsätzlich zunimmt.

Beide Vorhaben zeigen aber in Summe ähnliche Tendenzen in den betrachteten Beispielstädten: Grundsätzlich sinkt durch Tempo 30 der MIV und Fuß- und Radverkehr nehmen zu. Lediglich in Ravensburg zeigt der MIV ein positives Vorzeichen, da die Fahrzeiterhöhungen für den ÖPNV überwiegen.

Tabelle 17: Änderung der Modal-Split Werte durch Tempo 30 (Aufkommensbezogener Modal-Split, Quell-, Ziel- und Binnenverkehre)

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Fuß	+1,4 %	+0,7 %	+0,4 %	+2,9 %	+0,2 %	-0,4 %
Rad	+0,8 %	+0,6 %	+0,2 %	-0,4 %	+0,3 %	+1,0 %
MIV	-3,7 %	-1,8 %	-1,3 %	-1,7 %	-0,5 %	+0,1 %
ÖPNV	+1,5 %	+0,5 %	+0,7 %	-0,8 %	0,0 %	-0,6 %

A.5 Fahrleistungen

Die Vorhaben zeigen in Summe dieselbe Tendenz (Tabelle 18). Die Fahrleistung nimmt durch die Maßnahme ab. Die unterschiedlich starken Abnahmen resultieren aus den unterschiedlichen Ansätzen in der Modellierung (s. o. „Allgemeines“) und den unter „Verkehrsmittelwahl“ beschriebenen unterschiedlich starken Verlagerungseffekten.

Tabelle 18: Änderung der Fahrleistung durch Tempo 30 (alle modellierten Fahrzeugkategorien: Pkw, SNF, LNF)

	Flüssiger Verkehr			Aktiv mobil		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Änderung der Fahrleistung	-9,0 %	-5,2 %	-2,7 %	-3,2 %	-2,5 %	-0,5 %

A.6 Level of Service (LoS) / Verkehrszustände

Der Grund für die deutlichen Unterschiede in der Aufteilung der Verkehrszustände im Analysezustand (Tabelle 19) liegt darin, dass sich die Methoden zur Zuordnung der LoS grundlegend unterscheiden:

- ▶ „Umweltwirkungen von Tempo 30“ folgt dem in der Luftreinhalteplanung üblichen Vorgehen. Hierbei wird die stündliche Verkehrsmenge auf einem Streckenabschnitt mit der stündlichen Kapazität verglichen. Die Kapazität ergibt sich aus Straßentyp und Anzahl der Fahrspuren. Abweichend von dem Vorgehen in der Luftreinhalteplanung wird für Halle eine genauere stündliche Verkehrsmenge zugrunde gelegt (sonst: durchschnittlicher täglicher Verkehr über pauschalisierten Tagesgang auf Stunden verteilt), für alle LoS-Ermittlungen wird nicht eine Zuordnung in „Stufen“, sondern „gleitend“ vorgenommen. Die Länge eines Streckenabschnitts entspricht dabei jeweils der gesamten Länge von Knoten zu Knoten, für den einheitliche Verkehrsmengen vorliegen. Eine Unterteilung der Abschnitte erfolgt nicht, bei der LoS-Ermittlung würden sich (durch gleiche Verkehrsmenge und gleiche Kapazität) auch keine Unterschiede ergeben. Eine Trennung in Kreuzungsbereich und freie Strecke ist nach HBEFA generell nicht vorgesehen. Die Streckentypen nach HBEFA wurden pauschalisiert anhand verschiedener Parameter aus den Verkehrsmodellen (Anzahl Spuren, Klassifizierung Streckentyp, Geschwindigkeiten) vergeben. Eine einheitliche Zuordnung aus den Modellen lag nicht vor.
- ▶ „Flüssiger Verkehr“ leitet die LoS aus Floating Car Data des Anbieters TomTom ab. Die Daten liegen auf Streckenabschnitten mit Längen von i. d. R. einigen hundert Metern vor. Die Zuordnung der LoS erfolgt anhand der Perzentile der gefahrenen Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeiten wurden zur Zuordnung eines LoS des HBEFA anhand der mittleren Geschwindigkeiten der Fahrzyklen verwendet. Die Länge der Streckenabschnitte aus den TomTom-Daten stimmt nicht mit der Länge der Fahrzyklen des HBEFA (z. B. 3,5 km) überein. Da die Fahrzeuge auf jedem Streckenabschnitt unterschiedlichen Geschwindigkeitsperzentilen zugeordnet werden können, werden die innerhalb eines Fahrzyklus durchlaufenen Fahreigenschaften (Halte an Knotenpunkten, freie Fahrt zwischen den Knotenpunkten etc.) aufgrund der Methodik in einzelne Verkehrszustände zerlegt. Im Vergleich zu „Umweltwirkungen von Tempo 30“ entsteht eine extremere Verteilung, d. h. es entfällt mehr Fahrleistung auf die Verkehrszustände flüssig und Stop&Go / Stop&Go II.
- ▶ Die Prüfung der Auswirkungen von unterschiedlichen Verteilungen zeigt, dass die Auswirkungen auf die Ergebnisse der Luftschadstoff-Emissionsmodellierung des Analysefalls im Vergleich zu anderen Modellfaktoren eher gering ausfallen. Lärmauswirkungen wurden im Projekt „Flüssiger Verkehr“ nicht untersucht.

Die Auswirkungen von Tempo 30 auf die LoS (Tabelle 20) unterscheiden sich aufgrund der folgenden Unterschiede in den Modellansätzen:

- ▶ Bei „Flüssiger Verkehr“ bewirkt Tempo 30 gegenüber „Umweltwirkungen von Tempo 30“ eine größere auslastungsbedingte Verbesserung der Verkehrszustände infolge der stärker gesunkenen Fahrleistungen. Dem wirkt jedoch die Annahme einer herabgesetzten Streckenkapazität entgegen. Weiterhin bewirken die Verlagerungen auf andere Strecken (insbesondere auf Autobahnnetzabschnitte) eine Änderung der Zusammensetzung der jeweiligen LoS. Die dort ermittelten Verkehrszustände unterscheiden sich bereits im Analysefall stark von jenen Streckenabschnitten, die von Tempo-30-Maßnahmen betroffen sind.

- „Umweltwirkungen von Tempo 30“ geht im Rahmen der LoS-Ermittlung davon aus, dass die Kapazität der Tempo-30-Abschnitte gegenüber Tempo 50 grundsätzlich unverändert ist. Es gibt somit nur die Veränderung der LoS-Zuordnung durch die geänderten Verkehrsmengen. Andere Ansätze sind nicht bekannt, im Rahmen der Luftreinhalteplanung werden auch für Tempo-30-Hauptverkehrsstraßen keine abweichenden Ansätze vorgenommen.

Die Begriffe „flüssig“ usw. werden in der Verkehrsplanung und im HBEFA zwar gleichlautend verwendet, aber unterschiedlich mit Inhalt gefüllt und verstanden. Hier besteht eine große Gefahr von Missverständnissen.

- In der Verkehrsplanung wird nach HBS¹¹ die Verkehrsqualität durch die QSV (Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs) an Strecken und Knotenpunkten bzw. die SAQ (Stufen der Angebotsqualität) bei Betrachtung von Netzabschnitten beschrieben. Der Begriff „freier Verkehrsfluss“ wird hier auf Strecken für die beste QSV verwendet, die Bemessungskriterien sind auf Autobahnen der Auslastungsgrad, auf Land- und Stadtstraßen die Verkehrsdichte.
- Im HBEFA bedeutet „flüssig“ „free traffic flow“.¹² Die Klasse „flüssig“ (LoS 1) wird bei geringen stündlichen Verkehrsmengen gewählt, dabei ist stets eine mittlere Verkehrsmenge pro Stunde oder mittlere Geschwindigkeit in einem Messintervall (z. B. >5 Minuten) die Grundlage der Bewertung. Nach einer Studie zu den Daten im HBEFA und TREMOD¹³ wird für Agglomerationen typischerweise von <10 Prozent flüssigem Verkehr ausgegangen.
- Die Teilnehmenden der diesem Memo zugrundeliegenden Abstimmungsgespräche sind sich einig, dass die teilweise ähnlichen Fachbegriffe bei den Schnittstellen zwischen Verkehrsmodellen und HBEFA zu Problemen führen können. So ist die Kapazität im Verkehrsmodell (Grundlage für die CR-Funktion) nicht direkt zu einer Kapazität für die LoS-Bestimmung (z. B. nach dem auch von IVU-Umwelt publizierten Modell) zu überführen. Die Übernahme von Modellparametern sollte daher stets kritisch geprüft werden.

Tabelle 19: Anteile der Pkw-Fahrleistung nach Verkehrszuständen im Analysefall Tempo 50

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Flüssig	45,8 %	60,1 %	53,9 %	19,2 %	16,1 %	15,7 %
Dicht	28,3 %	22,6 %	27,7 %	56,2 %	61,1 %	49,1 %
Gesättigt	20,1 %	11,3 %	12,2 %	19,7 %	19,9 %	28,3 %
Stop + Go	3,9 %	3,7 %	3,8 %	3,7 %	2,8 %	6,3 %
Stop + Go II	2,0 %	2,2 %	2,5 %	1,3 %	0,0 %	0,5 %

¹¹ FGSV: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2015

¹² Work programme 2016 – 2018 for HBEFA Version 4.1, Report of the work carried out for work package 2, April 2019

¹³ Umweltbundesamt (Hrsg.) / IFEU (Bearb.): Aktualisierung und Recherche zu Emissionsfaktoren von Euro 5- und Euro 6-Fahrzeugen und nachgerüsteten Kfz und Übertragung der Daten ins Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) und in TREMOD, FKZ 3711 45 105, AP 200, Dezember 2013

Tabelle 20: Änderung der Fahrleistungsanteile an den Verkehrszuständen durch Tempo 30 in Prozentpunkten

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Flüssig	-0,9 %	-0,3 %	-0,2 %	+1,1 %	+1,6 %	+0,8 %
Dicht	-0,6 %	0,0 %	0,0 %	-1,1 %	-0,4 %	-0,1 %
Gesättigt	+2,0 %	+0,7 %	+0,5 %	-0,5 %	-2,0 %	-0,7 %
Stop + Go	-0,3 %	-0,3 %	-0,1 %	+0,5 %	+0,7 %	+0,1 %
Stop + Go II	-0,3 %	-0,2 %	-0,1 %	0,0 %	+0,1 %	0,0 %

A.7 CO₂-Emissionen

Für den Kraftfahrzeugverkehr (Pkw, SNF, LNF) kommen die beiden Untersuchungen bei den CO₂-Emissionen je Fahrzeugkilometer im Analysefall (Tempo 50) zu ähnlichen Ergebnissen. Abweichungen resultieren größtenteils aus den unterschiedlichen Zusammensetzungen der Fahrzeugkategorien (Lkw-Anteil).

Auch die Änderungen der CO₂-Emissionen je Fahrzeugkilometer durch Tempo 30 sind mit +1,3 bis +3,4 Prozent im Kfz-Verkehr bei „Umweltwirkungen von Tempo 30“ und +0,7 bis +3,7 Prozent bei „Flüssiger Verkehr“ ähnlich. Die Zunahme der kilometerspezifischen Emissionen ist dadurch bedingt, dass nach HBEFA 4.1 für Pkw die Emissionsfaktoren für Tempo-30-Strecken im Durchschnitt höher sind als für Tempo-50-Strecken. Die unterschiedlichen Größen sind erklärbar. So ist beispielsweise der Wert in Stuttgart mit +0,7 Prozent so gering, weil dort auf einem beträchtlichen Teil des Hauptstraßennetzes bereits im Bestand ein Tempolimit von 40 km/h gilt.

Die Unterschiede bei den resultierenden Änderungen der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen in den Beispielstädten (Tabelle 21) erklären sich damit vornehmlich aus der unterschiedlichen Stärke der Fahrleistungsänderung und weniger aus den Unterschieden bei den kilometerspezifischen Emissionen. Aufgrund der beschriebenen Maßnahmenausgestaltung und Modellannahmen (s. o. „Allgemeines“) dominieren die berechneten starken Fahrleistungsrückgänge bei „Flüssiger Verkehr“. Die CO₂-Emissionen nehmen hier durchweg ab. Bei „Umweltwirkungen von Tempo 30“ ist die Wirkrichtung nicht eindeutig. Die Modellierung zeigt, dass die Maßnahme (aufgrund der steigenden Emission pro km) auch zu Mehremissionen bei CO₂ führen kann. Dieser Aspekt ist für die politische Diskussion von Bedeutung: Der Vergleich zeigt, dass eine kommunal individuelle Tempo-30-Regelung negative Auswirkungen haben kann, weil damit die Verkehrsnachfrage nicht ausreichend beeinflusst werden kann. Bei einer großräumigen Einführung von Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit zeigt die Modellierung dagegen, dass der Fahrleistungsrückgang überwiegt und die CO₂-Bilanz der Maßnahme positiv ist.

Tabelle 21: Änderung der CO₂-Emissionen (Pkw, SNF, LNF) durch Tempo 30

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Wirkung auf CO₂	-5,7 %	-2,4 %	-2,0 %	-1,9 %	+0,3 %	+2,8 %

A.8 NO_x-Emissionen

Bei „Umweltwirkungen von Tempo 30“ weichen nur die Änderungen von NO_x pro km in Halle mit -5,6 Prozent deutlich von den anderen Städten des Projekts „Umweltwirkungen von Tempo 30“ (+1,4 bis + 2,0 Prozent) sowie „Flüssiger Verkehr“ (+0,6 bis +4,6 Prozent) ab. Da das HBEFA für Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit > 50 km/h niedrigere NO_x-Emissionen je Fahrzeugkilometer ermittelt als für Straßen mit Tempo 50, kann dies durch den höheren Anteil des Verkehrs auf Strecken mit weiterhin hoher zulässiger Höchstgeschwindigkeit >50 km/h (BAB A 14, B 100, Europachaussee) erklärt werden.

Tabelle 22: Änderung der NO_x-Emissionen (Pkw, SNF, LNF) durch Tempo 30

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Wirkung auf NO_x	-4,9 %	-2,2 %	-2,1 %	-8,6 %	-1,2 %	+1,5 %

A.9 PM-Emissionen

Die Unterschiede der kilometerbezogenen Emissionen (Tabelle 23) ergeben sich aus den Faktoren Abrieb und Aufwirbelung (AWAR), die in „Umweltwirkungen von Tempo 30“ berücksichtigt werden und in „Flüssiger Verkehr“ nicht (dort nur Auspuff).

Auch die Änderungen der PM-Emissionen je Fahrzeugkilometer bei Tempo 30 in „Umweltwirkungen von Tempo 30“ sind durch die AWAR-Emissionen geprägt. Die Fahrzeugemissionen setzt das HBEFA für Geschwindigkeiten <80 km/h deutlich höher an (SNF: 0,70 g/km für <80 km/h, 0,13 g/km ab 80 km/h; d. h. -81 Prozent; für Pkw ist die Minderung mit -9 Prozent deutlich geringer). Daraus resultiert vor allem die relativ hohe Minderung für Halle (-7,3 Prozent pro Fahrzeug-km), da Verkehre von Strecken mit vormalig Tempo 50 (Merseburger Straße, An der Magistrale) auf Strecken mit Tempo ≥ 80 (Europachaussee, B 80) verlagert werden.

Durch den unterschiedlichen Bilanzrahmen (AWAR-Emissionen ein-/ausgeschlossen) ergeben sich auch Unterschiede in den Gesamtergebnissen (Tabelle 24). Aufgrund des größeren Bilanzrahmens erfassen die Ergebnisse des Projekts „Umweltwirkungen von Tempo 30“ die realen Wirkungen der Maßnahme besser und sind damit als Entscheidungsgrundlage geeigneter. Da die Gesamtwirkung aus der Multiplikation aus Fahrleistung und spezifischen Emissionen je Fzg.-km resultiert, ist wegen der höheren Fahrleistungsminderungen bei „Flüssiger Verkehr“ davon

auszugehen, dass sich unter Einschluss der AWAR-Emissionen ebenfalls ein Emissionsrückgang, also ein positiver Effekt der Maßnahme, einstellen würde.

Tabelle 23: Mittlere spezifische PM-Emissionen je Fzg.-km (Pkw, SNF, LNF) im Analysefall und Änderung durch Tempo 30

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Spezifische Emission [mg/km]	6,12	5,22	5,64	60,10	63,40	65,50
Änderung durch Tempo 30	+10,0 %	+9,2 %	+4,1 %	-7,3 %	-1,6 %	-0,8 %

Tabelle 24: Änderung der PM-Emissionen (Pkw, SNF, LNF) durch Tempo 30

	Flüssiger Verkehr			Umweltwirkungen von Tempo 30		
	Dresden	Magdeburg	Stuttgart	Halle	Göttingen	Ravensburg
Wirkung auf PM	+0,1 %	+3,5 %	+1,3 %	-10,2 %	-4,1 %	-1,3 %