

3. FORTSCHREIBUNG LUFTREINHALTEPLAN FREIBURG

BESTIMMUNG DER EMISSIONS- UND IMMISSIONSSEITIGEN AUSWIRKUNGEN MEHRERER VERKEHRLICHER MASSNAHMEN

– Gutachten Block 2.1 –

Auftraggeber: Regierungspräsidium Freiburg
 Referat 54.1 – Luftreinhaltung
 Schwendistraße 12
 79102 Freiburg

Durchführung: Ingenieurbüro Rau (Federführung)
 Bottwarbahnstraße 4
 74081 Heilbronn
 AVISO GmbH
 Am Hasselholz 15
 52074 Aachen
 R + T Ingenieure
 Julius-Reiber-Straße 17
 D - 64293 Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

Glossar	xii
ZUSAMMENFASSUNG	1
1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise	4
1.1 Aufgabenstellung.....	4
1.2 Vorgehensweise	5
1.2.1 Potenzialanalyse	5
1.2.2 Detaillierte Maßnahmenuntersuchung.....	5
1.3 Untersuchungsumfang	6
1.3.1 Potenzialanalyse	6
1.3.2 Detaillierte Maßnahmenbetrachtung:	7
2 Modellansätze	8
2.1 Verkehr.....	8
2.1.1 Mikrosimulation	8
2.1.2 Makrosimulation	9
2.2 Emission.....	9
2.2.1 Modell PHEM	10
2.2.2 Emissionsberechnungsmodell roadTEIM	11
2.3 Immission	12
3 Analyse des Verkehrs	13
3.1 Bestandsaufnahme Verkehr	13
3.1.1 Übergeordnete Netzfunktion	13
3.1.2 Motorisierter Individualverkehr (MIV).....	14
3.1.3 Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	15
3.1.4 Radverkehr und Fußverkehr	16
3.2 Verkehrsaufkommen	17
3.2.1 Datengrundlage	17
3.2.2 Kfz-Verkehrsstärken.....	18
3.2.3 Verkehrszusammensetzung.....	19
3.2.4 Anteil Durchgangsverkehr und Quell-/Zielverkehr	19
3.3 Verkehrsbeobachtungen	21

3.3.1	Knotenpunkt „B31 / Kaiserbrücke“	22
3.3.2	Knotenpunkt „B31 / Greiffeneggring / Schwabentorring“	23
3.3.3	Knotenpunkt „B31 / Talstraße“	23
3.4	Messfahrten Istzustand	25
3.4.1	Erfassung von Fahrprofilen entlang der Messstrecke.....	25
3.4.2	Abschnittsbildung.....	29
3.4.3	Auswahl Fahrten	30
3.4.4	Fahrparameter	33
4	Potenzialanalyse.....	35
4.1	Prämisse	35
4.2	Potenzialanalyse Verkehr	35
4.2.1	Maßnahme „Pfortnerung“	35
4.2.2	Maßnahme „Optimierung Lichtsignalanlagen“	41
4.2.3	Maßnahme „Tempolimit“	48
4.2.4	Fazit der Potentialanalyse	51
4.3	Potenzialanalyse Emission	52
4.3.1	Ansatz.....	52
4.3.2	Verkehrsstärken.....	52
4.3.3	Flottenzusammensetzung Bestand 2015 und Trend bis 2022	53
4.3.4	Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren	55
4.3.5	Emissionen Bestand 2015 und Trend bis 2022	60
4.3.6	Maximalpotenzial Emission	62
4.3.6.1	Maximales Minderungspotenzial Verflüssigung	62
4.3.6.2	Maximales Minderungspotenzial Tempolimits.....	65
4.4	Potenzialanalyse Immission	66
4.4.1	Ansatz.....	66
4.4.2	Immissionskonzentrationen Bestand 2015 und Trend bis 2022.....	67
4.4.3	Maximalpotenzial Immissionsminderung	67
4.4.3.1	Maximales Minderungspotenzial Verflüssigung	68
4.4.3.2	Maximales Minderungspotenzial Tempolimit	68
4.4.3.3	Fazit zu T30 und T40.....	70

5	Maßnahmenberechnungen Verkehr	71
5.1	Vorgehensweise	71
5.2	Nullfall 2020	72
5.3	Maßnahmen	74
5.3.1	Maßnahme Pfortnerung	75
5.3.2	Maßnahme Optimierung der Lichtsignalanlagen	75
5.3.3	Maßnahme Tempolimit	76
5.4	Ergebnis der Mikrosimulationen.....	76
5.4.1	Bestand.....	77
5.4.2	Nullfall	78
5.4.3	Planfall 1	79
5.4.4	Planfall 2.....	80
6	Maßnahmenberechnungen Emissionen	81
6.1	Grundlagen	81
6.1.1	Emissionsfaktorendatenbank HBEFA3.3.....	81
6.1.2	Verkehrssituation nach HBEFA3.3	82
6.2	Bestimmung des Störungsgrads auf Basis der gemessenen Fahrprofile	82
6.3	Emissionen des Straßenverkehrs im Bestand 2015.....	86
6.4	Abschätzung der emissionsseitigen Wirkungen von Änderungen im Verkehrsablauf	87
6.4.1	Fahrprofile der simulierten Fahrten im Vergleich mit den Messfahrten für den Bestand.....	87
6.4.2	Kopplung der charakteristischen Fahrtparameter aus VISSIM an die aus den Messfahrten abgeleiteten Fahrtparameter für den Bestand	91
6.4.3	Abschätzung der Änderungen der Emissionsfaktoren für Nullfall und Planfälle 1 und 2	93
6.5	Ergebnis der Emissionsberechnungen	102
6.5.1	Emissionsdichten des Straßenverkehrs: Bestand und Nullfall: Entwicklung bis 2022	102
6.5.2	Planfälle 1 und 2	104
6.5.3	Planfall 3.....	106

7	Maßnahmenberechnungen Immissionen.....	108
7.1	Grundlagen	108
7.1.1	Das Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM	108
7.1.2	Modellvorgaben	108
7.1.3	Umfang der Berechnungen	109
7.2	Bestimmung statistischer Kenngrößen für NO ₂	111
7.2.1	Ermittlung der Jahresmittelwerte	111
7.2.1.1	Windstatistik	111
7.2.1.2	Hintergrundbelastung	113
7.2.2	Ermittlung der Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung	113
7.2.3	Berechnung von Kurzzeitwerten der Gesamtbelastung	114
7.3	Ergebnis der Immissionsberechnungen.....	114
7.3.1	Bestand 2015 und Vergleich mit Messungen	114
7.3.2	Ergebnisse für die Jahre 2018 bis 2022 für die Nullfälle sowie die Planfälle	117
8	Literaturverzeichnis	120
	Anhang 1-3.....	122

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung	26
Tab. 3.2:	Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung im Vergleich mit der für die Wirkungsbestimmung der Tempolimits ausgewählten Fahrten.....	30
Tab. 3.3:	Mittlere Reisegeschwindigkeit v_R , Dynamikparameter RPA und Konstantfahrtanteil für die Fahrtengruppe T50, alle Fahrten, im Vergleich mit der für den Vergleich der Tempolimits getroffenen Auswahl (MW: Mittelwert, stddev: Standardabweichung)	33
Tab. 3.4:	Mittlere Reisegeschwindigkeit v_R , Dynamikparameter RPA und Konstantfahrtanteil für die ausgewählten Fahrten pro Fahrtengruppe (MW: Mittelwert, stddev: Standardabweichung).....	34
Tab. 4.1:	Bsp. Freigabezeiten Kaiserbrücke Nord.	44
Tab. 4.2:	Bsp. Freigabezeiten Schwabentorbrücke Nord.	46
Tab. 4.3:	Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und zugehörige Anteile der Fahrzeugkategorien für den Bestand 2015.	53
Tab. 4.4:	Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen im Zulassungsbezirk Freiburg Stand 01.01.2015, differenziert nach Euronormstufen (aus [11]).....	54
Tab. 5.1:	Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (vormittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Osten).	76
Tab. 5.2:	Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (vormittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Westen).	77
Tab. 5.3:	Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (nachmittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Osten).	77
Tab. 5.4:	Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (nachmittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Westen).	77
Tab. 6.1:	Störungsgrad in Abhängigkeit von der Reisegeschwindigkeit v_R für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen mit Tempolimit 50 km/h nach HBEFA.....	85
Tab. 6.2:	Störungsgrad pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich, abgeleitet aus den Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten und den Definitionen nach HBEFA (Tab. 6.1).....	85
Tab. 6.3:	NO _x -Jahresemissionsdichten für den Bestand 2015 auf der B31, gemittelt über Abschnitt 2 der Messstrecke (s. Abb. 3-15): roadTEIM-Ergebnisse im Vergleich mit der Auswertung der Messfahrten.	86
Tab. 6.4 :	Anteile der Fahrzeugkategorien an den NO _x -Jahresemissionsdichten im Bereich der Luftmessstation	103

Tab. 6.5:	NO _x -Jahresemissionsdichten für den Planfall 1 2020 und 2022 an der Luftmessstation im Vergleich mit der prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2020 und 2022: Nullfall).	105
Tab. 6.6:	NO _x -Jahresemissionsdichten für den Planfall 2 2020 und 2022 an der Luftmessstation im Vergleich mit der prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2020 und 2022: Nullfall).	105
Tab. 6.7:	NO _x -Jahresemissionsdichten für den Planfall 3 2018, 2020 und 2022 an der Luftmessstation im Vergleich mit der prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2018: Bestand; 2020 und 2022: Nullfall).	107

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Das Modell PHEM zur Ermittlung der Emissionen [2].	11
Abb. 3-1:	Lage der B31 [7].	14
Abb. 3-2:	Veränderung des Verkehrsmittelwahlverhaltens im Binnenverkehr Freiburg (Quelle: Garten- und Tiefbauamt der Stadt Freiburg).	16
Abb. 3-3:	Lage der Luftmessstation und der Dauerzählstelle in Freiburg, Schwarzwaldstraße; Quelle: LUBW.	17
Abb. 3-4:	Kfz-Stärken Bestand [Kfz/24h].	18
Abb. 3-5:	Verkehrsstärken nach Fahrzeugkategorie [%].	19
Abb. 3-6:	Verkehrsstärken nach Verkehrsarten [Kfz/24h].	20
Abb. 3-7:	Kfz-Verkehrsaufkommen im Tagesverlauf für Di 21.06.2016 – Mi 22.06.2016 – Do 23.06.2016 (Daten der Dauerzählstelle der LUBW).	21
Abb. 3-8:	Kfz-Verkehrsaufkommen im Wochenverlauf für die Woche vom 20.06.2016 – 26.06.2016 (Daten der Dauerzählstelle der LUBW).	21
Abb. 3-9:	Kaiserbrücke Nord - Rückstau (Blickrichtung Westen).	22
Abb. 3-10:	Kaiserbrücke Nord - Rückstaulänge 1 (Blickrichtung Westen).	23
Abb. 3-11:	Kaiserbrücke Nord - Rückstaulänge 2 (Blickrichtung Westen).	23
Abb. 3-12:	B31 / Talstr. - nicht nutzbarer Linksabbiegestreifen (Blickrichtung Westen).	24
Abb. 3-13:	B31 / Talstr. - nicht nutzbarer Geradeausfahrstreifen (Blickrichtung Westen).	24
Abb. 3-14:	Fahrprofile der Messfahrten: T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T40-fiktiv (rote Linien) und T30-fiktiv (gelbe Linien); oben: Fahrtrichtung Osten; unten: Fahrtrichtung Westen; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.	28
Abb. 3-15:	Lage der Messstrecke mit den gewählten Abschnitten und der Luftmessstation der LUBW auf der B31 in Freiburg.	29
Abb. 3-16:	Fahrprofile der Messfahrten: Auswahl T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T40- fiktiv (rote Linien) und T30-fiktiv (gelbe Linien); oben: Fahrtrichtung Osten; unten: Fahrtrichtung Westen; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.	32
Abb. 4-1:	Pförtneranlagen im Bestand.	37
Abb. 4-2:	Pförtnerung Fahrtrichtung Westen - Variante 1.	38
Abb. 4-3:	Pförtnerung Fahrtrichtung Westen - Variante 2.	40
Abb. 4-4:	Pförtnerung Fahrtrichtung Westen - Variante 3.	40

Abb. 4-5: Nutzungsansprüche Kaiserbrücke Nord.43

Abb. 4-6: Nutzungsansprüche Schwabentorbrücke Nord.45

Abb. 4-7: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen im Zulassungsbezirk Freiburg
Stand 01.01.2015, differenziert nach Euronormstufen (aus [11]).....54

Abb. 4-8: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren Pkw-NO_x-
Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten; Auswertung aller Fahrprofile,
Basisjahr 2015.56

Abb. 4-9: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren sNfz-NO_x-
Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten; Auswertung aller Fahrprofile,
Basisjahr 2015.57

Abb. 4-10: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren Pkw-NO_x-
Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten, T40-Fahrten (fiktiv) und T30-
Fahrten (fiktiv); Auswertung der für den Vergleich ausgewählten Fahrprofile,
Basisjahr 2015.58

Abb. 4-11: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren sNfz-NO_x-
Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten, T40-Fahrten (fiktiv) und T30-
Fahrten (fiktiv); Auswertung der für den Vergleich ausgewählten Fahrprofile,
Basisjahr 2015.59

Abb. 4-12: Bestand: Jahresemissionsdichten für NO_x (ohne Kaltstartzuschläge),
richtungsgetreunt und nach Abschnitten differenziert, abgeleitet aus den mit
PHEM berechneten Emissionsfaktoren auf Basis aller gemessenen T50-
Fahrprofile für die Flottenzusammensetzungen 2015, 2018, 2020 und 2022
sowie relative Minderungen gegenüber 2015.....61

Abb. 4-13: Potenzialabschätzung Verflüssigung: Jahresemissionsdichten für NO_x (ohne
Kaltstartzuschläge) für den Bestand ohne Öffnung Kronenbrücke in den
Bezugsjahren 2018, 2020 und 2022 (oben, Auswertung aller Fahrten, wie Abb.
4-12) und entsprechende Jahresemissionsdichten bei flüssigem Verkehrsablauf
(Mitte); im unteren Bild sind die durch Verflüssigung maximal erzielbaren
relativen Minderungen gegenüber dem Bestand im jeweiligen Bezugsjahr
dargestellt.....64

Abb. 4-14: Potenzialabschätzung Tempolimits: Jahresemissionsdichten für NO_x (ohne
Kaltstartzuschläge) für den Bestand ohne Öffnung Kronenbrücke (alle T50-
Fahrten) und die T50-Fahrten mit flüssigem Verkehrsablauf 2018, 2020 und
2022 im Vergleich mit entsprechenden Jahresemissionsdichten bei Auswertung
von T40- und T30-Fahrten mit flüssigem Verkehrsablauf.65

Abb. 4-15: Bestand: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre
2015, 2018, 2020 und 2022.67

Abb. 4-16: Potenzialabschätzung Verflüssigung: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2018, 2020 und 2022 für den Bestand und das maximale Minderungspotenzial Verflüssigung.68

Abb. 4-17: Potenzialabschätzung Tempolimits: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2018, 2020 und 2022 für den Bestand, das maximale Minderungspotenzial Verflüssigung sowie Verflüssigung und T40.69

Abb. 4-18: Potenzialabschätzung Tempolimits: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2018, 2020 und 2022 für den Bestand, das maximale Minderungspotenzial Verflüssigung sowie Verflüssigung und T30.69

Abb. 5-1: Verkehrsstärken Nullfall 2020 [Kfz/24h].....73

Abb. 5-2: Differenz Nullfall (nach Öffnung Kronenbrücke) zum Bestand (ohne Öffnung Kronenbrücke) [Kfz/24h].74

Abb. 6-1: Vergleich der Tagesgänge der mittleren Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt und Richtung abgeleitet aus den Messfahrten (obere zwei Bildreihen), der lokalen Durchschnittsgeschwindigkeit auf Höhe der Dauerzählstelle, abgeleitet aus den Messfahrten (dritte Bildreihe) und der lokalen Durchschnittsgeschwindigkeit pro Fahrspur an der Dauerzählstelle Schwarzwaldstraße 2015 (untere Bildreihe).83

Abb. 6-2: Simulierte Fahrprofile (Bestand) im Vergleich mit den Messfahrten, jeweils Morgenspitze; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.88

Abb. 6-3: Simulierte Fahrprofile (Bestand) im Vergleich mit den Messfahrten, jeweils Nachmittagsspitze; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.89

Abb. 6-4: Simulierte Fahrprofile (Bestand) im Vergleich mit den Messfahrten, jeweils Tagzeitbereich; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.90

Abb. 6-5: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO_x-Emissionsfaktor (EF) 2018) und simulierte Fahrten für den Bestand (schwarz); alle Zeitbereiche.92

Abb. 6-6: Vergleich Nullfall-Bestand: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung, Zeitbereich und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO_x-Emissionsfaktor (EF) 2018) sowie simulierte Fahrten für Bestand (schwarz) und Nullfall (blau).94

Abb. 6-7:	Vergleich Planfall 1 mit Bestand: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung, Zeitbereich und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO _x -Emissionsfaktor (EF) 2018) sowie simulierte Fahrten für Bestand (schwarz) und Nullfall (blau).	96
Abb. 6-8:	Vergleich Planfall 2 mit Bestand: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung, Zeitbereich und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO _x -Emissionsfaktor (EF) 2018) sowie simulierte Fahrten für Bestand (schwarz) und Nullfall (blau).	97
Abb. 6-9:	Relative Änderungen der NO _x -Emissionsfaktoren für den Nullfall ggü. dem Bestand pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.	98
Abb. 6-10:	Relative Änderungen der NO _x -Emissionsfaktoren für den Planfall 1 ggü. dem Bestand pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.	99
Abb. 6-11:	Relative Änderungen der NO _x -Emissionsfaktoren für den Planfall 1 ggü. dem Nullfall pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.	100
Abb. 6-12:	Relative Änderungen der NO _x -Emissionsfaktoren für den Planfall 2 ggü. dem Bestand pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.	101
Abb. 6-13:	Relative Änderungen der NO _x -Emissionsfaktoren für den Planfall 2 ggü. dem Nullfall pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.	101
Abb. 6-14:	Prognose der NO _x -Jahresemissionsdichten an der Luftmessstation bis 2022 (oben) und Differenz zum Bestandsjahr 2015 (unten); 2015 und 2018 basieren auf den Verkehrsstärken und dem Verkehrsablauf für den Bestand, 2020 und 2022 für den Nullfall.	102
Abb. 6-15:	Differenzierung der NO _x -Jahresemissionsdichten auf Höhe der Luftmessstation (s. Abb. 6-14) nach Fahrzeugkategorien und, für die Pkw, zusätzlich nach Fahrzeugkonzepten.	104
Abb. 6-16:	NO _x -Jahresemissionsdichten für alle betrachteten Maßnahmen und die Trendentwicklung an der Luftmessstation (oben); Differenz zur prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen des jeweiligen Jahres (unten).	106
Abb. 7-1:	Ortho-Luftbild mit Darstellung der Luftmessstation und Umrisse des MISKAM-Rechen- bzw. Auswertegebiets (rot bzw. blau umrahmt).	110
Abb. 7-2:	Die für die Immissionsberechnungen gewählte Häufigkeitsverteilung (% der Jahresstunden) der Windrichtungen (10°-Schritte), repräsentativ für das Untersuchungsgebiet.	112

Abb. 7-3:	NO ₂ -Gesamtbelastung im Bereich des Auswertegebiets um die Luftmessstation Schwarzwaldstraße für den Bestand 2015.	116
Abb. 7-4:	NO ₂ -Jahresmittelwerte für alle betrachteten Fälle an der Luftmessstation in Höhe des Messfühlers, in ca. 1,5 m über Straßenniveau sowie die NO ₂ - Hintergrundbelastung.....	119

Glossar

Abbiegestreifen: Ausschließlich für den Abbiegeverkehr bestimmter Fahrstreifen in plangleichen Knotenpunkten.

Anbaufreie Straße: Straße, zu der die angrenzenden Grundstücke in der Regel keine Zugänge und/oder Zufahrten haben.

Aufstellfläche: Fläche, die an Knotenpunkten wartenden Kraftfahrzeugen zum Aufstellen zur Verfügung steht.

Durchgangsverkehr: Summe der Verkehrsvorgänge durch ein festgelegtes Gebiet, deren Ziele und Quellen außerhalb dieses Gebiets liegen.

Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) in Kfz/24h: Für ein ganzes Jahr repräsentative, auf 24 Stunden bezogene Verkehrsstärke aller Verkehrsströme eines Querschnitts oder einer Fahrtrichtung eines Querschnitts.

Durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke (DTVw) in Kfz/24h: Durchschnittlicher täglicher Verkehr an einem Werktag außerhalb der Ferien.

Emission: freigesetzte Menge eines Stoffes (hier: einer Luftverunreinigung) pro Zeiteinheit.

Emissionsfaktor: auf ein Kfz normiertes Verhältnis der emittierten Menge eines Stoffes pro Wegstrecke.

Fahrzeugkategorie: Differenzierung der Fahrzeuge in Klassen wie Pkw, leichte Nutzfahrzeuge ($\leq 3,5$ t zulässige Gesamtmasse) und schwere Nutzfahrzeuge ($> 3,5$ t zulässige Gesamtmasse), Busse (Linienbusse, Reisebusse), motorisierte Zweiräder.

Fahrzeugkonzept: Zusammenfassung von Fahrzeugschichten zu Klassen mit gleichen Motor- und Abgasminderungskonzepten.

Fahrzeugschicht: Eine durch Differenzierung der Kraftfahrzeugflotte gebildete Klasse von Fahrzeugen, die einer bestimmten Fahrzeugkategorie, einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich der Abgasemission angehören und die damit aus technischer Sicht vergleichbar sind und ähnliches Emissionsverhalten zeigen.

Freigabezeit: Zeitdauer, während der ein Freigabesignal (grünes Signal) gegeben wird.

Fußgängerschutzanlage (FSA): Lichtsignalgeregelte Querungsanlage für Fußgänger an Straßen außerhalb von Knotenpunkten.

Grüne Welle: Koordinierte Signalsteuerung, bei der die Mehrzahl der Fahrzeuge bei Einhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit mehrere Knotenpunkte ohne Halt passieren können.

Jahremissionsdichte: pro Wegstrecke und Jahr freigesetzte Menge eines Stoffes (hier: einer Luftverunreinigung).

K-epsilon-Turbulenzmodell: Das k-epsilon-Turbulenzmodell ist ein weitverbreitetes Zweigleichungsmodell. Es beschreibt mit zwei partiellen Differentialgleichungen die Entwicklung der turbulenten kinetischen Energie k und der isotropen Dissipationsrate ϵ .

Kapazität: Größte Verkehrsstärke, die ein Verkehrsstrom unter den gegebenen baulichen und verkehrlichen Bedingungen erreichen kann.

Knotenpunkt: Bauliche Anlage, die der Verknüpfung von Verkehrswegen dient.

Lichtsignalanlage (LSA): Kombination von Lichtsignalgebern und erforderlichen Betriebseinrichtungen zur Steuerung des Verkehrsablaufs.

Makrosimulation (auch makroskopische Simulation): Simulation, deren Ziel es ist, komplexe Vorgänge oder Situationen zu simulieren, ohne die einzelnen Bestandteile in besonderer Weise zu betrachten.

Mikrosimulation (auch mikroskopische Simulation / Einzelfahrzeugsimulation): Simulation, bei der alle Verkehrsteilnehmer der Realität (Kraftfahrzeuge, Busse, Radfahrer, Fußgänger) ein individuelles Gegenstück haben. Dabei berücksichtigt das Simulationsmodell alle relevanten Eigenschaften der Verkehrsteilnehmer sowie ihre Wechselwirkungen untereinander.

Mindestfreigabezeit: Für unterschiedliche Verkehrsmittel und den Fußgängerverkehr jeweils kürzeste, unabhängig von der Verkehrsstärke zu gebende Freigabezeit.

Nutzfahrzeuge, leichte (INfz): Kraftfahrzeuge bis einschließlich 3,5 t zulässiger Gesamtmasse.

Nutzfahrzeuge, schwere (sNfz): Kraftfahrzeuge über 3,5 t zulässiger Gesamtmasse.

Pförtnerung: Temporär lichtsignalgeregelte Dosierung des Zuflusses in ein Gebiet oder in einen Straßenzug.

Planfreier Knotenpunkt: Knotenpunkt, bei dem alle Kreuzungs-, Linksab- und Linkseinbiegevorgänge von Fahrzeugströmen durch Über- oder Unterführungsbauwerke vermieden werden.

plangleicher Knotenpunkt: Knotenpunkt, bei dem der Verkehr nur in einer Ebene abgewickelt wird.

Pulk: Fahrzeugkolonne, Fahrzeuge einer Fahrzeugreihe, von denen jedes außer dem ersten in seinem Geschwindigkeitsverhalten durch mindestens ein vorausfahrendes Fahrzeug beeinflusst wird.

Qualität des Verkehrsablaufs / Verkehrsqualität: Zusammenfassende Gütebeurteilung des Verkehrsflusses.

Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs (QSV): Klassifizierung der Verkehrsqualität nach dem „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“.

Quellverkehr: Summe der Verkehrsvorgänge, die in einem festgelegten Gebiet beginnen und außerhalb davon enden.

Reisegeschwindigkeit v_R : Geschwindigkeit eines Fahrzeugs über einen Streckenabschnitt einschließlich aller Halte.

RPA: Relative Positive Acceleration (relative positive Beschleunigung); RPA ist ein Dynamik-Parameter, der im HBEFA zur Charakterisierung der Verkehrssituationen verwendet wird:

$$RPA = \frac{\int_{t_1}^{t_2} dt (v(t) \cdot a^+(t))}{s}$$

Darin bezeichnen $v(t)$ die Momentangeschwindigkeit, $a^+(t)$ die momentane positive Beschleunigung, t_1 und t_2 den zeitlichen Beginn und das zeitliche Ende der Fahrt sowie s die im Zeitintervall von t_1 bis t_2 zurückgelegte Strecke. RPA stellt somit einen mit der Momentangeschwindigkeit gewichteten Mittelwert der positiven Beschleunigung über die Strecke dar und wird in der Einheit m/s^2 angegeben.

Radroute: Für den überörtlichen Radverkehr auf größeren Entfernungen eingerichtete und ausgewiesene durchgehende Verbindung.

Rückstau: Verkehrszustand an Knotenpunkten, Querungsanlagen, Engstellen oder Abfertigungsanlagen mit einem durch die Verkehrsregelung erzwungenen mehrfachen oder längeren Stillstand von Fahrzeugen.

Signalprogramm: Hinsichtlich Dauer und Zuordnung festgelegte Signalzeiten einer Lichtsignalanlage.

Sonderfahrstreifen: Fahrstreifen, der nach Straßenverkehrs-Ordnung zeitweise oder ständig bestimmten Fahrzeugen (i.d.R. Linienbussen) vorbehalten ist.

Störungsgrad: Qualitative Beschreibung der Güte des Verkehrsflusses; im HBEFA Einteilung in die Klassen flüssig, dicht, gesättigt und Stop&Go.

Umweltverbund: Gruppe der „umweltverträglichen“ Verkehrsmittel (insbesondere Fußverkehr, Radverkehr, öffentliche Verkehrsmittel, Taxis und Carsharing).

verkehrsabhängige Steuerung: Lichtsignalsteuerung, bei der das Signalprogramm durch den Verkehr beeinflusst wird.

Verkehrsablauf: Gesamtheit der zeitlichen und räumlichen Abwicklung des Verkehrs.

Verkehrsart: Gruppe von Verkehrselementen mit gleichen Merkmalen (hier: Quell-/ Ziel- und Durchgangsverkehr).

Verkehrsaufkommen: Anzahl der Ortsveränderungen von Personen oder Fahrzeugen je Zeiteinheit in einem Erhebungsgebiet oder an einem Querschnitt.

Verkehrsfluss: Raum-Zeit-Variation der Bewegung einzelner Fahrzeuge oder Fahrzeuggruppen auf einem Streckenabschnitt.

Verkehrssituation: Verkehrliche Gegebenheit, die durch die infrastrukturellen Parameter eines Straßenabschnitts (wie Funktion, Lage, Ausbaugrad, Kurvigkeit, zulässige Höchstgeschwindigkeit) und den Störungsgrad charakterisiert wird

Verkehrsstärke: Anzahl der einen Straßenquerschnitt passierenden Fahrzeuge je Zeiteinheit (z. B. DTV in Kfz/24 h).

Verkehrstrom: Auf einem Verkehrsweg in der gleichen Richtung sich bewegende Verkehrselemente.

Verkehrszusammensetzung: Zusammensetzung des Fahrzeugbestandes nach Fahrzeugkategorien.

Wunschgeschwindigkeit: Geschwindigkeit, die individuell auf einer Strecke in Abhängigkeit des Fahrtzwecks angestrebt wird.

Zielverkehr: Summe der Verkehrsvorgänge, die außerhalb eines festgelegten Gebiets beginnen und innerhalb davon enden.

ZUSAMMENFASSUNG

An der B31 in Freiburg werden im Bereich der Luftmessstation an der Schwarzwaldstraße der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) seit Jahren die für Freiburg höchsten Belastungen durch Stickstoffdioxid (im Jahr 2015 lag der Jahresmittelwert bei $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gemessen. Aus diesem Grund prüft das Regierungspräsidium Freiburg (RPF) im Zuge der Fortschreibung des Luftreinhalteplans Freiburg (LRP FR) weitere, überwiegend verkehrliche Maßnahmen, mit denen der NO_2 -Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahresmittel möglichst schnell eingehalten werden kann.

Laut Leistungsbeschreibung des RPF sollten die folgenden verkehrlichen Maßnahmen hinsichtlich ihrer emissions- und immissionsmindernden Wirkung zur Reduzierung der NO_2 -Immissionskonzentration an der Luftmessstation der LUBW untersucht werden:

- Nullfälle: Flottenerneuerung (Bezugsjahre 2018, 2020, 2022)
- Maßnahme 1: Pfortnerung auf der B31/B31a
- Maßnahme 2: Optimierung der Steuerung der Lichtsignalanlagen auf der B31/B31a (Optimierung LSA-Steuerung)
- Maßnahme 3: Tempolimit auf der B31/B31a.
- Maßnahme 4: Aufnahme der B31/B31a in die bestehende Umweltzone

Aufbauend auf den Maßnahmenuntersuchungen sollte ermittelt werden, mit welcher Maßnahmenkombination eine möglichst große Reduzierung der Immissionskonzentration an der Luftmessstation erreicht werden kann.

Die Erarbeitung erfolgte in zwei Stufen. In der ersten Bearbeitungsstufe wurde im Rahmen einer Potenzialanalyse das maximal mögliche verkehrliche, emissions- und immissionsseitige Minderungspotenzial abgeschätzt, das durch die Maßnahmen 1 bis 3, die alle auf eine Verflüssigung des Verkehrs abzielen, erreicht werden kann. Hierzu wurden verkehrlicherseits, basierend auf einer detaillierten Analyse der verkehrlichen Bestandssituation, die Möglichkeiten und Grenzen jeder einzelnen Maßnahme diskutiert und das maximal mögliche Potenzial qualitativ benannt, wobei die Wirkung der Maßnahmen 1 bis 3, die alle zur Verflüssigung bzw. zu einer Optimierung des Verkehrsablaufs beitragen, zusammenfassend betrachtet wurden. Basierend auf Messfahrten, die im Rahmen des Projektes für die Istsituation (2017) durchgeführt wurden, wurden mit dem Modell PHEM Emissionen ermittelt und das maximale emissionsseitige Potenzial bestimmt. Betrachtet wurde zum einen eine Verflüssigung bei Tempolimit T50 und zum anderen eine Verflüssigung für die Tempolimits T40 und T30. Schließlich wurde die maximale immissionsseitige Wirkung an der Luftmessstation Schwarzwaldstraße, ausgehend von dem Messwert im Bezugsjahr 2015, abgeschätzt. Betrachtet wurden analog zur

Emissionsbestimmung eine Verflüssigung bei Tempolimit T50 und zum anderen eine Verflüssigung für die Tempolimits T40 und T30. Die Potenzialanalyse ergab für die Bezugsjahre 2018, 2020 und 2022 Minderungen des NO₂-Jahresmittelwertes gegenüber dem Bestand von ca. 4 µg/m³, 2,8 µg/m³ und 2,6 µg/m³ für die maximale Verflüssigung bei T50. Bei Tempolimit T40 und maximaler Verflüssigung liegt die NO₂-Minderung um ca. 0,5 µg/m³ höher. Bei Tempolimit T30 ist das maximale Minderungspotenzial auf Höhe der Luftmessstation in etwa identisch mit dem bei T50.

In der zweiten Bearbeitungsstufe erfolgte eine **detaillierte** Maßnahmenuntersuchung, wobei auf die Erkenntnisse, die im Rahmen der Potenzialanalyse gewonnen wurden, zurückgegriffen werden konnte. So wurde auf Grund der Tatsache, dass sich die einzelnen Maßnahmen gegenseitig beeinflussen und durch jede einzelne Maßnahme nur geringe Wirkungen zu erwarten sind, im Zuge der Projektbearbeitung beschlossen, jeweils die Einzelmaßnahmen „Tempolimit, Optimierung LSA-Steuerung und Pfortnerung“ bzw. die Maßnahmen „Tempolimit, Optimierung LSA-Steuerung“ zu zwei Maßnahmenpaketen zusammenzufassen. Für beide **Maßnahmenpakete** wurden Mikrosimulationen durchgeführt, wobei zur benötigten Feinauflösung des Verkehrsmodells das Verkehrsmodell an Fahrparametern, die wiederum aus den Messfahrten abgeleitet wurden, kalibriert wurde. Diese verkehrlichen Mikrosimulationen lieferten dann die entsprechenden Fahrparameter für die Nullfälle, die die Entwicklung ohne Wirkung von Maßnahmen beschreiben, und die Maßnahmenfälle, die schlussendlich die Basis für die Emissionsbestimmung darstellten. Die immissionsseitigen Auswirkungen für die Nullfälle sowie die Wirkung der Maßnahmenpakete im Bereich der Luftmessstation wurden im Rahmen der detaillierten Maßnahmenuntersuchung mit Hilfe eines hochauflösenden prognostischen Modells ermittelt. Zusätzlich betrachtet wurde die Maßnahme „B31 in grüne Umweltzone“, die sich alleine durch eine emissions- und immissionsseitig wirkende Flottenverbesserung ergibt. Folgende Fälle wurden somit im Rahmen der zweiten Bearbeitungsstufe untersucht:

- **Nullfall 2018** (der hypothetische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke ohne jede weitere Maßnahme für das Jahr 2018)
- **Nullfall 2020 und Nullfall 2022** (der realistische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke ohne jede weitere Maßnahme für die Jahre 2020 und 2022)
- **Planfall 1 2020 und 2022** (der realistische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke und den Maßnahmen Pfortnerung, Optimierung LSA-Steuerung und Tempolimit T40)
- **Planfall 2 2020 und 2022** (der realistische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke mit den Maßnahmen Optimierung LSA-Steuerung und Tempolimit T40)

- **Planfall 3 2018, 2020 und 2022** (Maßnahme Einbeziehung der B31 in die grüne Umweltzone ohne Öffnung der Kronenbrücke im Jahr 2018 und mit Öffnung der Kronenbrücke in den Jahren 2020 und 2022).

Für den Bestand 2018 wurde im Rahmen der detaillierten Maßnahmenberechnung unter Annahme der heutigen Verkehrsstärke und ohne Öffnung der Kronenbrücke in Messfühlerhöhe ein NO₂-Jahresmittelwert von 47,7 µg/m³ berechnet. Diese Minderung gegenüber dem Messwert aus dem Jahr 2015 ergibt sich alleine durch die bis zum Jahr 2018 zu erwartende verbesserte Abgasreinigungstechnik in Kombination mit der realistisch abgeschätzten Reduktion der Hintergrundbelastung bis zum Jahr 2018. Die beiden Nullfälle 2020 und 2022, die gegenüber dem Bestand 2018 die Öffnung der Kronenbrücke berücksichtigen, zeigen die zu erwartende Entwicklung ohne jede weitere Maßnahme. Es zeigt sich, dass im Jahr 2020 der NO₂-Jahresmittelwert in Höhe des Messfühlers den Grenzwert mit 41,8 µg/m³ überschreiten, im Jahr 2022 ohne jede weitere Maßnahme mit 36,8 µg/m³ jedoch einhalten wird. Im Planfall 1 wird im Jahr 2020 bei realistischer Umsetzung von Pfortnerung, Optimierung LSA-Steuerung und für T40 in Höhe des Messfühlers mit 39,6 µg/m³ der Grenzwert gerade eingehalten. Ohne Pfortnerung (Planfall 2) ist im Jahr 2020 noch mit einer Grenzwertüberschreitung zu rechnen (40,5 µg/m³). Falls auf der B31/31a aus Lärmschutzgründen die Entscheidung zu einem ganztägigen T30 fallen würde, ist bei den prognostizierten NO₂-Jahresmittelwerten für die bei T40 untersuchten Planfälle 1 und 2 mit einer leichten Erhöhung der berechneten NO₂-Jahresmittelwerte zu rechnen, die, bei maximal 0,5 µg/m³ liegen dürfte. Dies führt bspw. dazu, dass im Planfall 1 in Höhe des Messfühlers ein NO₂-Jahresmittelwert von etwa 40 µg/m³ zu erwarten ist (prognostiziert bei T40: 39,6 µg/m³), also der Grenzwert immer noch eingehalten werden könnte.

Schließlich wurde noch der Planfall 3 „Einbeziehung der B31 in die grüne Umweltzone“ unter Berücksichtigung der Trendentwicklung betrachtet. Es zeigt sich für alle drei untersuchten Bezugsjahre bei diesem Planfall gegenüber dem Bestand 2018 bzw. den Nullfällen 2020 und 2022 eine mit den Jahren abnehmende Minderung in der NO₂-Gesamtbelastung in Höhe des Messfühlers von ca. 2,2 µg/m³ (2018), 1,7 µg/m³ (2020) und 1,3 µg/m³ (2022).

Da davon auszugehen ist, dass die Planfälle 1 bzw. 2 und der Planfall 3 unabhängig voneinander wirken, kann davon ausgegangen werden, dass bereits im Jahr 2020 der Grenzwert sowohl bei Planfall 1 als auch bei Planfall 2 in Kombination mit Planfall 3 sicher eingehalten werden kann.

1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

1.1 Aufgabenstellung

An der B31 in Freiburg werden im Bereich der Luftmessstation an der Schwarzwaldstraße der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) seit Jahren die für Freiburg höchsten Belastungen durch Stickstoffdioxid (im Jahr 2015 lag der Jahresmittelwert bei $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gemessen. Aus diesem Grund prüft das Regierungspräsidium Freiburg (RPF) im Zuge der Fortschreibung des Luftreinhalteplans Freiburg (LRP FR) weitere, überwiegend verkehrliche Maßnahmen, mit denen der NO_2 -Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahresmittel möglichst schnell eingehalten werden kann.

Laut ausführlicher Leistungsbeschreibung des RPF sollten die folgenden verkehrlichen Maßnahmen hinsichtlich ihrer emissions- und immissionsmindernden Wirkung zur Reduzierung der NO_2 -Immissionskonzentration an der Luftmessstation der LUBW untersucht werden:

- Nullfälle: Flottenerneuerung (Bezugsjahre 2018, 2020, 2022)
- Maßnahme 1: Pfortnerung auf der B31/B31a
- Maßnahme 2: Optimierung der Steuerung der Lichtsignalanlagen auf der B31/B31a (Optimierung LSA-Steuerung)
- Maßnahme 3: Tempolimit auf der B31/B31a.
- Maßnahme 4: Aufnahme der B31/B31a in die bestehende Umweltzone

Aufbauend auf den Maßnahmenuntersuchungen sollte ermittelt werden, mit welcher Maßnahmenkombination eine möglichst große Reduzierung der Immissionskonzentration an der Luftmessstation erreicht werden kann.

Das Ingenieurbüro Rau, Heilbronn, wurde mit Schreiben vom 07.12.2016 mit dieser Untersuchung beauftragt. Für diese Untersuchung wurde eine Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus folgenden Partnern, gebildet:

- Ingenieurbüro Rau, Heilbronn
- AVISO GmbH, Aachen und
- R+T-Ingenieure Darmstadt

Das Büro R+T war für die verkehrlichen Untersuchungen und Simulationen verantwortlich, die AVISO GmbH für die Messfahrten sowie die Emissionsberechnungen. Die Immissionsberechnungen sowie die Koordination des Projektes erfolgten durch das Ingenieurbüro Rau.

1.2 Vorgehensweise

Die Erarbeitung erfolgte, wie in der Leistungsbeschreibung gefordert, in zwei Blöcken, und zwar durch eine Potenzialanalyse und eine detaillierte Maßnahmenuntersuchung. Die Vorgehensweise ist im Folgenden skizziert.

1.2.1 Potenzialanalyse

Ziel der Potenzialanalyse sollte es sein, für jede zu betrachtende Maßnahme, die über eine Beeinflussung des Verkehrsablaufs realisiert werden soll (Pfortnerung, Optimierung der LSA-Steuerung, Tempolimit), das maximal mögliche verkehrliche, emissions- und immissionsseitige **Minderungspotenzial** abzuschätzen.

Im Zuge der Bearbeitung zeigte es sich, dass dies nicht für jede Maßnahme getrennt möglich ist. Dies vor allem deshalb, weil alle drei Maßnahmen ihre emissions- und damit auch immissionsseitige Wirkung über eine Verflüssigung erzielen und die drei Maßnahmen teilweise miteinander gekoppelt sind.

Aus verkehrlicher Sicht war es nicht möglich, wie ursprünglich vorgesehen, basierend auf einer Makrosimulation die tatsächlichen maximalen Auswirkungen zu quantifizieren. Deshalb wurden, basierend auf einer detaillierten Analyse der verkehrlichen Bestandssituation, die Möglichkeiten und Grenzen jeder einzelnen Maßnahme diskutiert und das maximal mögliche Potenzial qualitativ benannt, wobei die Wirkung der drei Maßnahmen, die alle zur Verflüssigung bzw. zu einer Optimierung des Verkehrsablaufs beitragen, zusammenfassend betrachtet wurden.

Auf der Basis der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Messfahrten für die heutige Istsituation (2017) und der aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionen wurden das verkehrlich maximale Potenziale emissionsseitig „übersetzt“. Dabei wurde die Emissionsentwicklung im Bereich der Schwarzwaldstraße für das Bezugsjahr 2015 sowie die Bezugsjahre 2018, 2020 und 2022, basierend auf den Messfahrten, die im Jahr 2017 durchgeführt wurden, abgeleitet und die maximalen Minderungspotenziale für die Maßnahmen „Verflüssigung“ bestimmt. Betrachtet wurden zum einen eine Verflüssigung bei Tempolimit T50 und zum anderen eine Verflüssigung für die Tempolimits T40 und T30. Immissionsseitig wurde im Rahmen der Potenzialanalyse die maximale Wirkung an der Luftmessstation Schwarzwaldstraße, ausgehend von dem Messwert im Bezugsjahr 2015, für dasselbe „Maßnahmenbündel“ wie für die Emissionsbestimmung abgeschätzt.

1.2.2 Detaillierte Maßnahmenuntersuchung

Für die **detaillierte** Maßnahmenuntersuchung konnte auf die Erkenntnisse, die im Rahmen der Potenzialanalyse gewonnen wurden, zurückgegriffen werden. So wurde auf Grund der Tatsache, dass sich die einzelnen Maßnahmen gegenseitig beeinflussen und durch jede einzelne Maßnahme nur geringe Wirkungen zu erwarten sind, im Zuge der Projektbearbeitung beschlossen, jeweils die Einzelmaßnahmen „Tempolimit, Optimierung LSA-Steuerung und

Pförtnerung“ bzw. die Maßnahmen „Tempolimit, Optimierung LSA-Steuerung“ zu zwei Maßnahmenpaketen zusammenzufassen. Für beide **Maßnahmenpakete** wurden Mikrosimulationen durchgeführt, wobei zur benötigten Feinauflösung des Verkehrsmodells das Verkehrsmodell an Fahrparametern, die wiederum aus den Messfahrten für den Istzustand, Bezugsjahr 2017, bestimmt wurden, kalibriert wurde. Diese verkehrlichen Mikrosimulationen lieferten dann die entsprechenden Fahrparameter für die Nullfälle (Entwicklung ohne Wirkung von Maßnahmen) und Maßnahmenfälle, die schlussendlich die Basis für die Emissionsbestimmung darstellten. Die immissionsseitigen Auswirkungen für die Nullfälle sowie die Wirkung der Maßnahmenpakete im Bereich der Luftmessstation wurden im Rahmen der detaillierten Maßnahmenuntersuchung mit Hilfe eines hochauflösenden prognostischen Modells ermittelt. Zusätzlich betrachtet wurde die Maßnahme „B31 in grüne Umweltzone“, die sich alleine durch eine emissions- und immissionsseitig wirkende Flottenverbesserung ergibt.

1.3 Untersuchungsumfang

Wie in Kapitel 1.2 beschrieben musste im Zuge der Bearbeitung in einigen Punkten von der ursprünglichen Leistungsbeschreibung abgewichen werden. Des Weiteren waren einige Zwischenschritte erforderlich, beispielsweise um die Ergebnisse der Messfahrten und die Berechnungsergebnisse des Verkehrsmodells als Basis für die Simulation der Maßnahmen in Einklang zu bringen.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die untersuchten Fälle mit kurzer Erläuterung gegeben. Die dem jeweiligen Fall zugeordnete Bezeichnung (**fett** hervorgehoben) wird sodann konsequent in dem Bericht verwendet.

1.3.1 Potenzialanalyse

- **Bestand 2015.**

Basisjahr für den Vergleich der an der Luftmessstation berechneten Immissionskonzentration mit dem Messwert aus dem Jahr 2015.

- **Bestand 2018**
- **Bestand 2020**
- **Bestand 2022.**

Diese Fälle wurden im Zuge der **Potenzialanalyse** untersucht. Sie betrachten den für 2018 realistischen Fall „ohne Öffnung Kronenbrücke“ bzw. für die Jahre 2020 und 2022 den hypothetischen Fall „ohne Öffnung Kronenbrücke“. Der Verkehr für den Bestand 2015 wird unverändert auf die Bezugsjahre 2018, 2020 und 2022 übertragen. Emissionsseitig wird allerdings die Entwicklung der Flotte berücksichtigt. Diesen Ergebnissen für den Bestand wurde zum einen das maximale Minderungspotenzial durch Verflüssigung bei Tempolimit T50 und zum anderen eine Verflüssigung für die Tempolimits T40 und T30 gegenübergestellt.

1.3.2 Detaillierte Maßnahmenbetrachtung:

- **Nullfall 2018.**

Hypothetischer Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke ohne jede weitere Maßnahme für das Jahr 2018.

- **Nullfall 2020 und Nullfall 2022.**

Der realistische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke ohne jede weitere Maßnahme für die Jahre 2020 und 2022.

- **Planfall 1 2020 und 2022.**

Der realistische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke. Maßnahme Pförtnerung, Optimierung LSA-Steuerung und Tempolimit.

- **Planfall 2 2020 und 2022.**

Der realistische Fall mit dem zu erwartenden Verkehr bei Öffnung der Kronenbrücke. Maßnahme Optimierung LSA-Steuerung und Tempolimit.

- **Planfall 3 2018, 2020 und 2022.**

Maßnahme Einbeziehung der B31 in die grüne Umweltzone ohne Öffnung der Kronenbrücke im Jahr 2018 und mit Öffnung der Kronenbrücke in den Jahren 2020 und 2022.

2 Modellansätze

2.1 Verkehr

2.1.1 Mikrosimulation

Die vom Verkehr verursachten Emissionen hängen von verschiedenen Parametern ab. Von wesentlicher Bedeutung ist der Verkehrsablauf. Ein guter Verkehrsablauf – und damit verbunden gleichmäßige Geschwindigkeiten – hat unter der Voraussetzung gleicher Verkehrsstärken weniger Emissionen zur Folge als ein Verkehrsablauf mit häufigem Abbremsen und Beschleunigen. Dies bedeutet letztlich, dass im Sinne einer Emissionsminimierung eine möglichst gute Qualität des Verkehrsablaufs erreicht werden sollte.

Die Ermittlung der Verkehrsqualität kann mit verschiedenen Verfahren erfolgen. Häufig erfolgt die Leistungsfähigkeitsuntersuchung mit einem standardisierten Berechnungsverfahren isoliert für einzelne Knotenpunkte. Innerstädtischen Straßenzügen mit dicht aufeinander folgenden Knotenpunkten, die sich in erheblichem Maße gegenseitig beeinflussen (z.B. im Zuge einer „grünen Welle“), wird dieses Verfahren jedoch nicht ausreichend gerecht. Hier sind die gegenseitigen Wechselwirkungen genauer abzubilden. Dies erfolgt mit dem Verfahren einer Einzelfahrzeugsimulation (Mikrosimulation).

Bei diesem Verfahren werden alle Verkehrsteilnehmer (also neben dem Kfz-Verkehr auch Radfahrer und Fußgänger) mit ihren vielfältigen und komplexen Interaktionen abgebildet. Im Zuge der Mikrosimulation werden sämtliche vorhandenen Rahmenbedingungen (konkrete Fahrstreifenaufteilung und Knotengeometrie, Verkehrsstärken und -zusammensetzung, Signalprogramme, ...) berücksichtigt. Dabei werden auch die Fußgänger, die die Fahrbahn queren, sowie Radfahrer und der Öffentliche Personennahverkehr, detailliert abgebildet. Im Gegensatz zur „klassischen“ isolierten Betrachtung von Knotenpunkten werden im Zuge der Mikrosimulation insbesondere die Fahrverläufe über gesamte Straßenzüge (inkl. gegenseitiger Beeinträchtigung, Pulkung, ...) realitätsnah abgebildet.

Die Simulation liefert als Ergebnis die konkreten Fahrprofile, die durch Fahrgeschwindigkeiten sowie Brems- und Beschleunigungsverhalten beschrieben werden können, die Auflistung verschiedener verkehrlicher Kenngrößen (durchschnittliche Wartezeit, Rückstaulänge, ...) sowie bei Bedarf auch eine Animation des Verkehrsablaufs (Visualisierung anhand charakteristischer Videomitschnitte). Die Auswertegrößen sind geeignet, um eine Bewertung nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2015) [1] vorzunehmen. Dabei erfolgt eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit anhand von Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV), die basierend auf der durchschnittlichen Wartezeit des jeweiligen Verkehrsstroms definiert sind.

Die Mikrosimulation erfolgte mit dem Programm VISSIM (Verkehr in Städten – Simulationsmodell) der PTV Planung Transport und Verkehr AG aus Karlsruhe. Dem Programm liegt ein

Fahrzeugfolgemodell zu Grunde, das physische und psychologische Aspekte des Verkehrsverhaltens berücksichtigt (Fahrzeugfolgemodell nach Wiedemann). Dies beinhaltet beispielsweise das Beschleunigungs- und Bremsverhalten, die jeweils angestrebte „Wunschgeschwindigkeit“, eingehaltene Abstände, Spurenwechsel.

Die Mikrosimulation wurde für die Untersuchung möglicher verkehrlicher Maßnahmen zur Minderung der Immissionsbelastung entlang der B31 in Freiburg herangezogen und entsprechend aufgebaut. Sie umfasst die B31 vom Kappler Knoten im Osten Freiburgs bis zur Kronenbrücke. Da die verkehrlichen Zusammenhänge räumlich weitreichender sind, geht sie über das eigentliche Untersuchungsgebiet hinaus. Weitere Informationen zum Aufbau der Mikrosimulation können dem Kapitel 5 entnommen werden.

Die Mikrosimulation ermöglicht – neben der Ermittlung der Verkehrsqualität – auch eine direkte Datenweitergabe (Fahrverhalten) an die Emissionsberechnung.

2.1.2 Makrosimulation

Als ein weiteres verkehrsplanerisches Modellverfahren wird in der vorliegenden Untersuchung eine sogenannte Makrosimulation verwendet. Die Makrosimulation erfolgt mit dem Programm VISUM (Verkehr in Städten – Umlegungsmodell) der PTV Planung Transport und Verkehr AG aus Karlsruhe. Dieses Modell dient zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage, der modalen und räumlichen Verkehrsverteilung und insbesondere der Routenwahl. Im Kontext dieser Untersuchung wird es eingesetzt, um mögliche Verkehrsverlagerungen von der B31 auf andere Routen zu untersuchen.

Verwendet wurde das bestehende Verkehrsmodell der Stadt Freiburg. Dieses bildet in erster Linie die Kfz-Verkehrsstärken in der Stadt Freiburg ab. Es wurde im Zuge des Verkehrsentwicklungsplanes¹ der Stadt Freiburg erstellt und seitdem kontinuierlich fortgeschrieben, so dass auch aktuelle Entwicklungen berücksichtigt sind. Derzeit befindet sich zwar ein neues Verkehrsmodell mit regionalem Umgriff in Aufbau, das jedoch zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht einsatzbereit war.

2.2 Emission

Die Emissionen des Straßenverkehrs auf einer vorgegebenen Strecke hängen neben der Fahrzeugtechnik (Flottenzusammensetzung) vor allem von der Verkehrsstärke und dem Störungsgrad auf dieser Strecke ab. Im Zuge dieser Untersuchung wurden zur Ermittlung des Störungsgrads des Bestands (Bezugsjahr 2017) Messfahrten durchgeführt.

¹ Garten- und Tiefbauamt der Stadt Freiburg im Breisgau: Verkehrsentwicklungsplan VEP 2020; Endbericht 2008

Die Emissionen werden für jeden relevanten Streckenabschnitt berechnet. Dazu werden die Verkehrsstärken, differenziert nach Pkw, INfz und sNfz, aus dem Verkehrsmodell übernommen und auf jahresmittlere Werte hochgerechnet.

Zur Emissionsberechnung kommen **zwei Modelle** zum Einsatz, von denen jedes seine spezifischen Vorteile hat:

- Die Emissionsberechnung für die Messfahrten erfolgt mit dem Modell PHEM (Passenger car and Heavy duty Emission Model) im Unterauftrag durch die TU Graz auf Basis der bei den Messfahrten aufgezeichneten Fahrprofile. Diese Emissionen beziehen sich direkt auf die Messstrecke und die zugehörigen Zeitpunkte. Kaltstart-Zuschläge werden hierbei nicht berechnet. Zur Berechnung von Jahresmittelwerten werden die Ergebnisse für die Messfahrten geeignet hochgerechnet. Im Rahmen der **Potenzialanalyse** (Kap.4.3) wird direkt auf die mit dem Modell PHEM berechneten Emissionen zurückgegriffen.
- Für die detaillierten Maßnahmenuntersuchungen werden Immissionsmodellierungen durchgeführt, bei denen gegenüber den Messfahrten ein leicht erweitertes Gebiet inklusive Querstraßen betrachtet wird. Da es nicht möglich ist, auf allen Querstraßen eine für die Auswertung hinreichend große Anzahl an Messfahrten durchzuführen, wird die Emissionsberechnung für die **detaillierten Maßnahmenuntersuchungen** (Kap.6) mit dem Emissionsberechnungsmodell roadTEIM durchgeführt. In die roadTEIM-Berechnungen gehen Informationen aus den Messfahrten z.B. zum Verkehrsablauf ein. Die Ergebnisse werden mit den PHEM-Emissionen abgeglichen. Mit roadTEIM werden zusätzlich Kaltstart-Zuschläge berücksichtigt.

Beide Modelle werden im Folgenden näher beschrieben.

2.2.1 Modell PHEM

Das Modell PHEM [2], [3] basiert auf umfangreichen Emissionskennfeldern einzelner Fahrzeugschichten (Hubraum, Leistung, Antriebsart, Euronorm, ...), die es ermöglichen, das komplette Fahrverhalten (einschließlich Schaltverhalten) zu simulieren und emissionsseitig zu berechnen. Es ist schematisch in Abb. 2-1 dargestellt. Die Emissionskennfelder sind die gleichen Basisdaten, die auch zur Ableitung der spezifischen Schichtemissionsfaktoren für definierte Verkehrssituationen für die jeweils aktuelle Version des HBEFA verwendet werden. Die hier durchgeführte Auswertung entspricht der Version HBEFA3.3 [4].

Eingangsdaten der Berechnungen bilden die Daten der im Zuge der Messfahrten aufgenommenen Fahrprofile in 1 Hz-Taktung (Zeit, Geschwindigkeit, Drehzahl und Steigung/Gefälle). Die PHEM-Ergebnisse liegen ebenfalls in 1 Hz-Taktung vor. Dies sind neben den von PHEM berechneten Emissionen verschiedener Schadstoffe auch weitere Daten, z.B. zur

Beschreibung der Fahrdynamik des Fahrprofils wie Geschwindigkeit und RPA (relative positive acceleration = relative positive Beschleunigung).

Das Ergebnis von PHEM sind sogenannte „warme“ Emissionen pro Fahrzeug, d.h. Abgas-Emissionen eines Fahrzeugs mit warmem Motor. Kaltstartzuschlagsemissionen werden mit PHEM nicht berechnet. Die Emissionsberechnungen mit PHEM werden für alle im Rahmen der Messfahrten ermittelten Fahrprofile und alle relevanten Fahrzeugschichten der Pkw, INfz und sNfz durchgeführt.

PHEM Passenger car and Heavy duty Emission Model

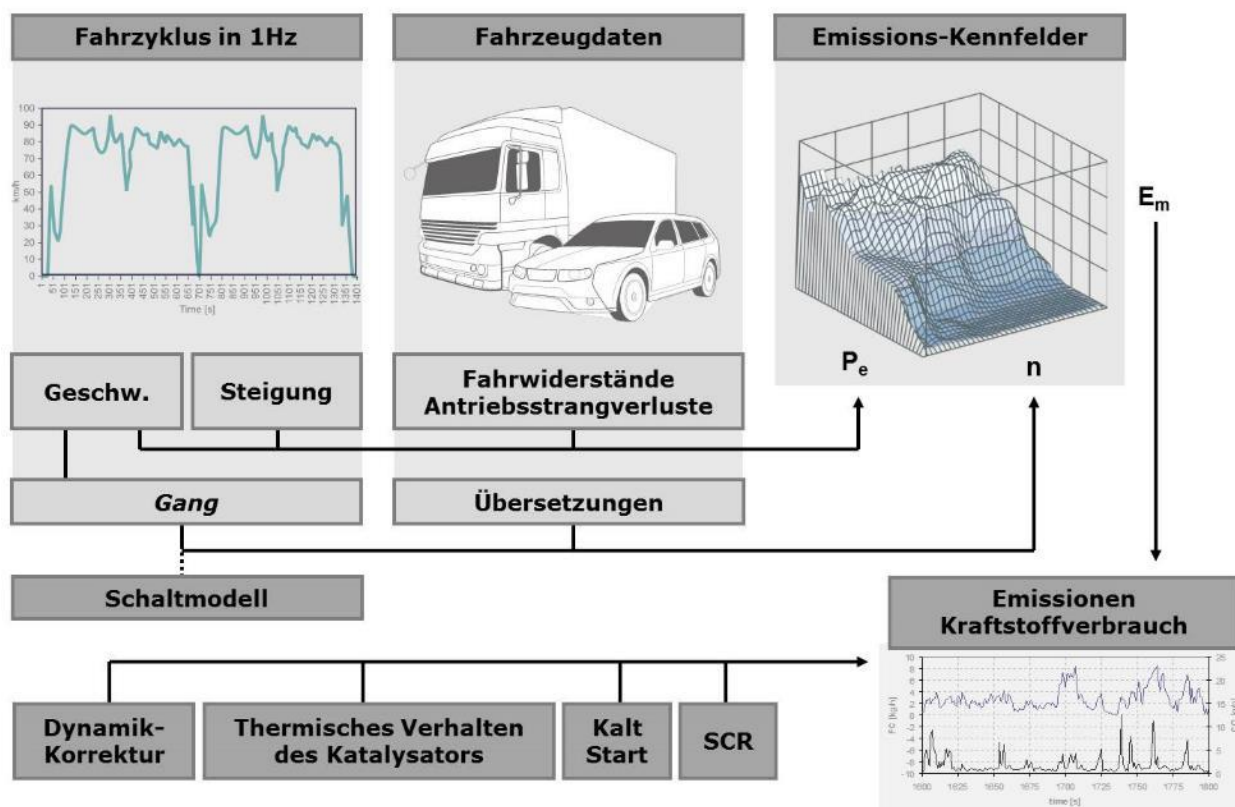


Abb. 2-1: Das Modell PHEM zur Ermittlung der Emissionen [2].

2.2.2 Emissionsberechnungsmodell roadTEIM

Das Emissionsberechnungsmodell *roadTEIM* besteht aus den folgenden drei Hauptmodulen:

1. Das Emissionsfaktorenmodul basiert im Wesentlichen auf den Daten der HBEFA-Emissionsfaktorendatenbank in der Version 3.3 (auf Fahrzeugschichtebene). Ergänzende Daten für weitere in HBEFA nicht enthaltene Schadstoffe und Schichten sind integriert. Des Weiteren wird zur Ermittlung der charakteristischen Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkategorie, insbesondere für die Pkw und INfz, die regionale Flottenzusammensetzung berücksichtigt. Die Emissionsfaktoren werden pro Fahrzeugkategorie für ausgewählte Bezugsjahre für alle relevanten Verkehrssituationen

berechnet. Dabei wird ein Kaltstarteinfluss auf die Emissionshöhe berücksichtigt (in Abhängigkeit von typischen Fahrtweitenverteilungen, Außentemperatur und Motortemperatur bzw. Abstellzeit).

2. Im Verkehrsmodul werden pro Streckenabschnitt die zeitlich aufgelösten Daten der Verkehrsstärken (differenziert nach Fahrzeugkategorien) und des Verkehrsablaufs (Geschwindigkeit und Verkehrsablaufbedingungen in Abhängigkeit vom Störungsgrad von frei fließend bis Stop&Go) ermittelt. Standardmäßig werden Stundenwerte für die Tagesgruppen Mo-Fr, Sa und So berechnet. Auf Basis dieser Daten werden pro Streckenabschnitt die charakteristischen Verkehrssituationen gemäß der Definition in HBEFA für jede Tagesstunde abgeleitet.
3. Im Emissionsmodul werden die Emissionen pro Streckenabschnitt und Fahrzeugkategorie auf Basis der Ergebnisse des Verkehrsmoduls und des Emissionsfaktorenmoduls berechnet. Die Ergebnisse liegen stundenfein vor und werden zusätzlich zu Jahreswerten aggregiert. Die Daten können im Weiteren als Eingangsdaten für Immissionsberechnungen verwendet werden.

2.3 Immission

Für die Prognostizierung der Immissionsbelastungen für die im Rahmen dieses Gutachtens zu betrachtenden Fälle an der Luftmessstation Schwarzwaldstraße werden Immissionsberechnungen mit dem mikroskaligen, prognostische Strömungsmodell MISKAM, das am Institut für Physik der Atmosphäre Mainz entwickelt wurde [5], [6] und mittlerweile in der Version 6.3 (2015) vorliegt, durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung des Modells ist in der zitierten Arbeit von Eichhorn gegeben. MISKAM gilt in seiner heutigen Version als Standardmodell und dient für andere Modellentwicklungen als Referenz- und Vergleichsmaßstab. Es handelt sich um ein dreidimensionales Strömungsmodell, das, gekoppelt mit einem entsprechenden Ausbreitungsmodell, die Berechnung der Ausbreitung auch in komplex bebautem Gelände erlaubt. Das Windfeld wird dabei durch die numerische Lösung der Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und Energie berechnet. Einzelne Gebäude und Hindernisse können somit explizit in ihrer Form aufgelöst werden. Als Turbulenzmodell wird ein standardisiertes k-epsilon-Modell (siehe Glossar) eingesetzt.

3 Analyse des Verkehrs

Die Analyse des Verkehrsablaufs auf der B31 erfolgte auf der Grundlage einer Bestandsaufnahme vor Ort, vorliegender Zählwerte, durchgeführten Videoaufzeichnungen an einzelnen Knotenpunkten, durchgeführten Messfahrten, Auswertung von Daten aus Routenplanern sowie mit Hilfe des vorhandenen Verkehrsmodells der Stadt Freiburg.

3.1 Bestandsaufnahme Verkehr

3.1.1 Übergeordnete Netzfunktion

Die B31 verläuft in Ost-West-Richtung von der A96 bei Lindau bis Breisach am Rhein. Westlich von Freiburg ist sie mit der A5 (Karlsruhe – Basel) verknüpft. Die B31 nimmt somit eine (über-)regionale Verbindungsfunktion wahr. Die Lage der B31 ist in Abb. 3-1 aufgezeigt.

Entsprechend ihrer Verkehrsfunktion ist sie gut ausgebaut. Der Höllentalaufstieg erfolgt drei- und z.T. sogar vierstreifig. Größere Knotenpunkte sind planfrei gestaltet, d.h. die Kreuzung von Fahrzeugströmen wird durch Überführungs- oder Unterführungsbauwerke vermieden.

Im Bereich von Freiburg ist die B31 überwiegend vierstreifig und planfrei ausgebaut. Im Osten der Stadt verläuft die B31 durch den Kappeler Tunnel und den Schützenalleetunnel. Im Westen hat die B31 als „Autobahnzubringer Mitte“ autobahnähnlichen Charakter.

Die einzige alternative Verbindung zur B31 für Verkehr aus dem Bereich Titisee-Neustadt in Richtung A5 stellt die L128 / L112 durch das Glottertal dar. Diese Verbindung ist zwischen Titisee-Neustadt und der Anschlussstelle Freiburg-Nord laut Routenplaner ca. 2 km bzw. nur wenige Minuten länger. Als Ausweichroute ist die Verbindung durch das Glottertal jedoch nicht geeignet, da die Kurvigkeit, die starken Gefällestrrecken, die engen Ortsdurchfahrten sowie die Bedeutung der Region als Erholungsgebiet der Aufnahme von überregionalem Durchgangsverkehr (insbesondere Schwerverkehr) entgegenstehen.

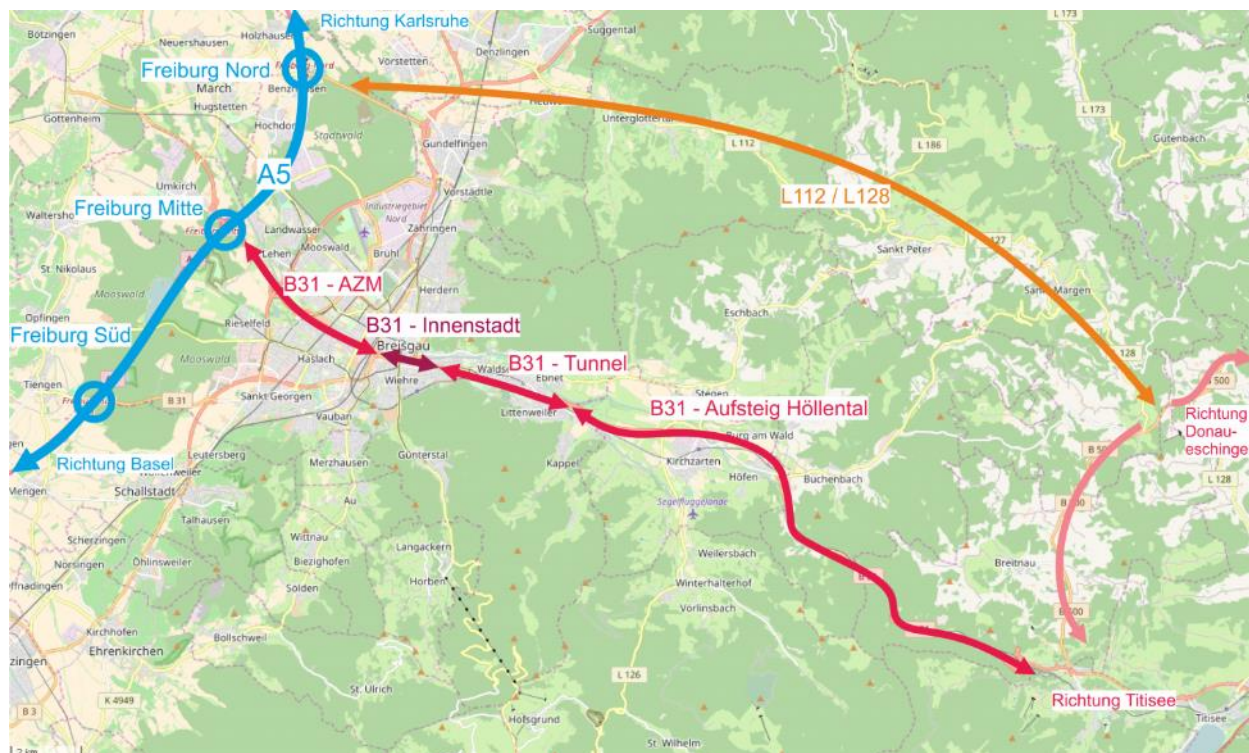


Abb. 3-1: Lage der B31 [7].

3.1.2 Motorisierter Individualverkehr (MIV)

Im Bereich der Freiburger Innenstadt wird die sonst planfrei gestaltete B31 zu einer städtischen Hauptverkehrsstraße mit signalgeregelten Knotenpunkten (siehe Anlage 1). Sie weist in beiden Richtungen jeweils zwei durchgängige Fahrstreifen auf, sowie separate Abbiegestreifen an den Knotenpunkten.

Westlich der Talstraße sind beide Richtungen von der Dreisam getrennt. Mit der Schwabentorbrücke, der Kaiserbrücke und der Kronenbrücke (derzeit im Neubau) bestehen hier komplexe „Doppelknotenpunkte“ (Teilknoten auf beiden Seiten der Dreisam) mit vielfältigen Anforderungen der verschiedenen Verkehrssysteme. Neben dem Kfz-Verkehr aus den Querrichtungen müssen auch die bevorrechtigte Stadtbahn sowie Radfahrer und Fußgänger abgewickelt werden.

Zusätzlich zu diesen großen Knotenpunkten sich kreuzender Hauptverkehrsstraßen bestehen noch mehrere Einmündungen von untergeordneten Straßen sowie Einfahrten (Parkhaus, Tankstelle). Auf dem Abschnitt zwischen dem Greiffeneggring und der Kaiser-Joseph-Straße ist in beide Fahrrichtungen Längsparken ausgewiesen.

Aktuell wird die Kronenbrücke neu gebaut. Baustellenbedingt ist die Verkehrsführung dort eingeschränkt, so dass das Queren der Dreisam für den Kfz-Verkehr nicht möglich ist. Die Kronenbrücke nimmt in Fahrtrichtung Osten eine Pfortnerfunktion wahr. Ein entsprechender Rückstau ist häufig bis westlich der Heinrich-von-Stephan-Straße zu beobachten. In

Fahrtrichtung Westen stellt der Knotenpunkt an der Schwabentorbrücke die erste gravierende Engstelle dar, so dass hier ebenfalls de facto eine Pförtnerung erfolgt. In dieser Fahrtrichtung bestehen durch die Verengung von 3 auf 2 durchgehende Fahrstreifen derzeit z.T. Probleme hinsichtlich des abfließenden Verkehrs (vgl. auch Kap. 3.3.2). Die gegenwärtige Baustelle an der Kronenbrücke erzeugt jedoch nicht nur Engpässe an der Kronenbrücke selbst, sondern auch, durch Umwegfahrten, an benachbarten Knotenpunkten – insbesondere der Kaiserbrücke

Die Signalsteuerung ist entlang des Straßenzuges der B31 für den Kfz-Verkehr grundsätzlich koordiniert. Zugunsten der Koordination auf der B31 sind die Möglichkeiten der Beeinflussung der Signalisierung durch die Stadtbahn an den Knotenpunkten Schwabentorbrücke, Kaiserbrücke und Kronenbrücke deutlich eingeschränkt. Dennoch ergeben sich auch durch diese eingeschränkten Beeinflussungsmöglichkeiten unterschiedliche Freigabezeiten für die Verkehrsströme auf der B31. Die Koordination im Zuge der B31 wird dadurch aufgeweicht. Weitere Einschränkungen in der Koordination der Signalsteuerung ergeben sich durch vielfältige andere Nutzungsansprüche (Kfz-Verkehr in den Nebenrichtungen, Parken, Fußgängerschutzanlagen, querende Radfahrer und Fußgänger an den Knotenpunkten) aufgeweicht.

3.1.3 Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

Ein wesentliches Ziel der Freiburger Verkehrspolitik ist es, den ÖPNV zu fördern. Dadurch wird sehr erfolgreich das Aufkommen an Kfz-Fahrten in Freiburg verringert. Rückgrat des ÖPNV-Angebotes in Freiburg ist das Stadtbahnnetz, das kontinuierlich ausgebaut bzw. attraktiviert wird. Mit der Inbetriebnahme der Kronenbrücke im Jahr 2018 werden sämtliche 3 großen Dreisam-Brücken im Innenstadtbereich von der Stadtbahn befahren (siehe Anlage 2). Um die Stadtbahn als umweltfreundliches Verkehrsmittel zu fördern, ist jeweils eine möglichst uneingeschränkte Bevorrechtigung der Stadtbahn gegeben bzw. vorgesehen.

Innerhalb der Haupt- und Normalverkehrszeit verkehrt die Stadtbahn in einem dichten Takt (5 bis 10 Minuten-Takt). Auf den Dreisam-Brücken entsteht in der vormittäglichen Spitzenstunde folgendes Fahraufkommen mit einer dichten Fahrtenfolge:

- Kronenbrücke (Linie 5) 16 Fahrten (je 8 Fahrten pro Richtung)
- Kaiserbrücke (Linien 2,3) 28 Fahrten (je 6, bzw. 8 Fahrten je Linie und Richtung)
- Schwabentorbrücke (Linie 1) 24 Fahrten (je 11 bzw. 13 Fahrten je Richtung)

Bei einer Umlaufzeit von 90 Sekunden an den Signalanlagen ist somit etwa in jedem zweiten Umlauf eine Stadtbahn enthalten.

3.1.4 Radverkehr und Fußverkehr

Neben dem ÖPNV verfolgt die Stadt Freiburg sehr erfolgreich die Förderung des Radverkehrs. Dementsprechend werden innerhalb Freiburgs viele Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt, was ebenfalls zu einer Verringerung der Kfz-Fahrten beiträgt.



Abb. 3-2: Veränderung des Verkehrsmittelwahlverhaltens im Binnenverkehr Freiburg (Quelle: Garten- und Tiefbauamt der Stadt Freiburg).

Ein wesentlicher Baustein ist ein dichtes Netz an Radrouten. Damit soll für Rad fahrende ein Streckennetz geschaffen werden, auf dem sie sicher und zügig fahren können.

Über alle drei großen Dreisam-Brücken (Schwabentorbrücke, der Kaiserbrücke und der Kronenbrücke) verlaufen wichtige innerstädtische Radrouten (siehe Anlage 2). Diese sind jeweils mit dem Dreisam-Ufer-Radweg, der als übergeordnete Ost-West-Verbindung dient, verknüpft. Das Radverkehrsaufkommen auf den Dreisam-Brücken ist entsprechend hoch.

Im Bereich zwischen Greiffeneggbrücke und Kronenbrücke tangiert die B31 die Freiburger Innenstadt. Dies spiegelt sich auch in einer dichten Abfolge von Fußgängerquerungen wieder. Zusätzlich zu den „großen“ Dreisambrücken, die auch von Fußgängern genutzt werden können, bestehen noch weitere Fußgängerstege, die als konsequente Fortsetzungen auch Querungen der B31 ermöglichen.

Das engmaschige Fußwegenetz mit den regelmäßigen Querungsmöglichkeiten dient der guten Erreichbarkeit der Freiburger Innenstadt, insbesondere aus dem direkt südlich der Dreisam angrenzenden Quartier „Wiehre“. Es wird der hohen Bedeutung des Fußverkehrs in der

Freiburger Innenstadt gerecht und dient der von der Stadt Freiburg gewünschten Förderung der Nahmobilität.

3.2 Verkehrsaufkommen

3.2.1 Datengrundlage

Für den Bereich der Luftmesstation in der Schwarzwaldstraße liegen ganzjährige Zählwerte der Kfz-Verkehrsstärken aus einer Dauerzählstelle der LUBW vor (2015 und 2016). Die entsprechenden Standorte können der Abb. 3-3 entnommen werden. Der genaue Zählort liegt fahrstreifenabhängig zwischen der Talstraße (Zählung des Verkehrs auf den Fahrstreifen in Fahrtrichtung Osten) und der westlichen Tunnelmündung (Zählung des Verkehrs auf den Fahrstreifen in Fahrtrichtung Westen). Der Zählort in Fahrtrichtung Osten ist somit nahezu lagegleich mit der Luftmesstation Schwarzwaldstraße.

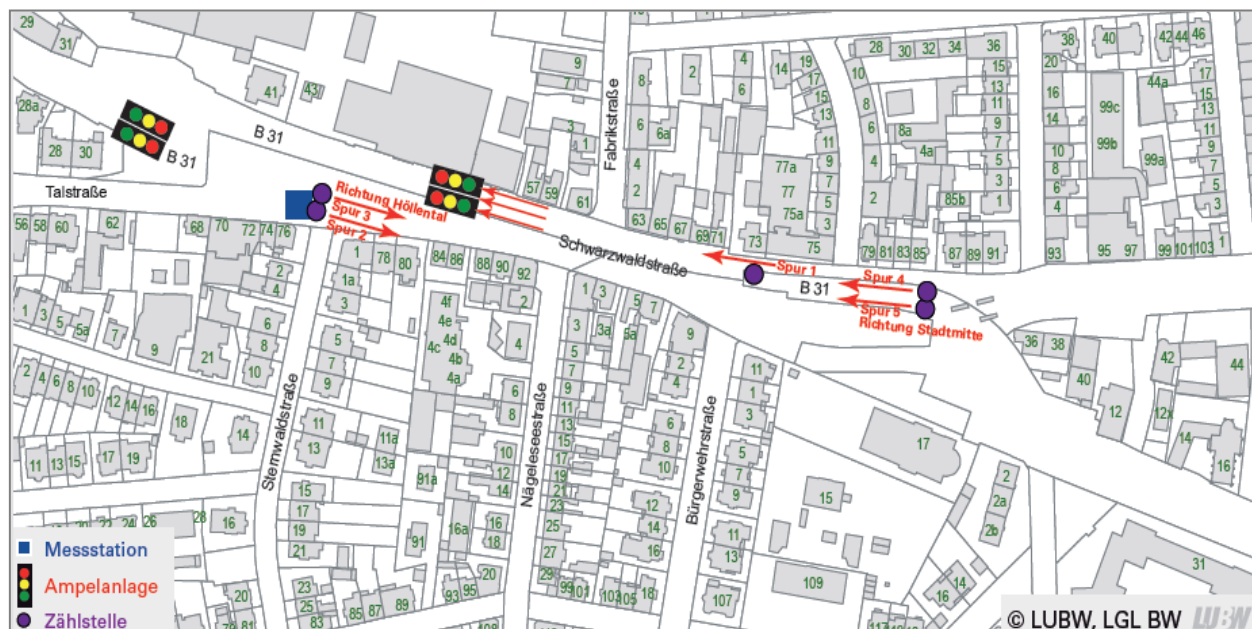


Abb. 3-3: Lage der Luftmesstation und der Dauerzählstelle in Freiburg, Schwarzwaldstraße; Quelle: LUBW.

Bei den Messungen werden die Fahrzeugkategorien Personenkraftwagen (Pkw), leichte Nutzfahrzeuge (INfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) unterschieden.

Von der Stadt Freiburg wurden des Weiteren Detektorzählungen für die großen Knotenpunkte zur Verfügung gestellt – diese sind jedoch z. T. unvollständig und nicht immer knotenstromscharf. Die Detektorwerte stammen aus dem Zeitraum von 08.03.2017 und 09.03.2017. Weiterhin lagen die Detektorwerte für je zwei Tage aus den Jahren 2015 (7. Juli und 10. November) und 2016 (07. Juni und 08. November) vor. Die Werte aus 2017 wurden mit den Werten der vergangenen Jahre verglichen. Hierbei konnten keine größeren Abweichungen festgestellt werden. Die Werte aus 2017 entsprechen demnach einem durchschnittlichen Werktag.

Da für die Mikrosimulation die genauen Knotenstrombelastungen benötigt werden, wurden ergänzend zu den vorliegenden Erhebungen am 04.04.2017 von R+T zusätzliche Knotenpunkt- und Querschnittszählungen durchgeführt. Es wurden die Fahrzeugklassen Fahrräder (Rad), Krafträder (Krad), Personenkraftwagen (Pkw), Lieferwagen (Lfw), Busse (Bus), Lastkraftwagen (Lkw) und Lastzüge (LZ) unterschieden. Eine genaue Verortung der jeweiligen Zählstellen ist in Anlage 3 zu finden.

3.2.2 Kfz-Verkehrsstärken

Die Kfz-Verkehrsstärken auf der B31 im Bereich der Freiburger Innenstadt in Kfz pro Tag (blau) können der Abb. 3-4 entnommen werden.

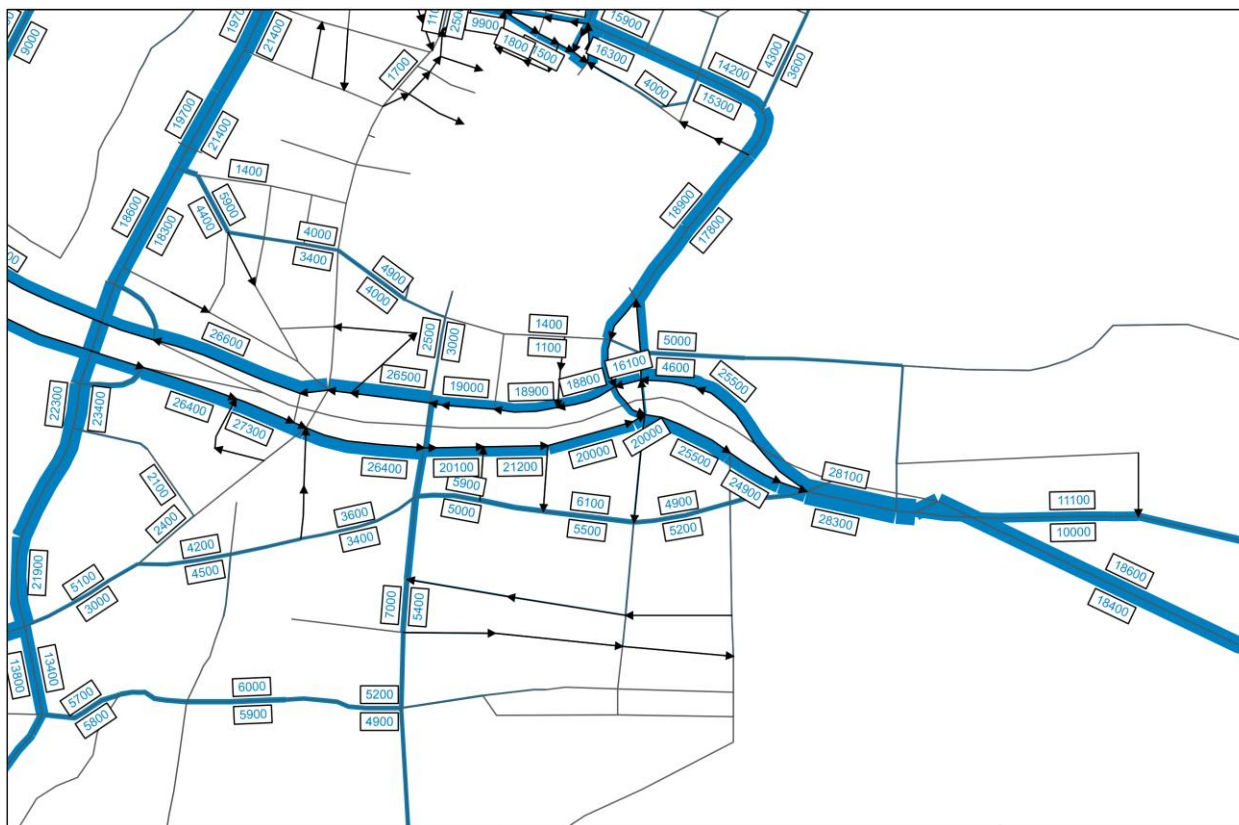


Abb. 3-4: Kfz-Stärken Bestand [Kfz/24h].

Die Luftmessstation liegt im Abschnitt der B31 mit dem höchsten Kfz-Verkehrsaufkommen. Dort beträgt die Kfz-Verkehrsstärke im Bestand rund 56.000 Kfz/24h im Querschnitt.

Auch wenn der größte Teil aus dem Schützenalleetunnel stammt, kommt dennoch ein erheblicher Teil aus den östlichen Stadtteilen Freiburgs und fährt über die Schwarzwaldstraße zu (ca. 21.000 Kfz/24h).

Westlich der Schwabentorbrücke wird die B31 pro Richtung von ca. 20.000 Kfz befahren. Westlich der Kaiserbrücke sind es ca. 26.000 Kfz/24h pro Richtung.

3.2.3 Verkehrszusammensetzung

Die Klassifizierung nach Fahrzeugkategorien zeigt einen sehr hohen Anteil an Lkw – und insbesondere einen außerordentlich hohen Anteil an „großen“ Lkw, d.h. Lastzügen und Lkw mit Anhängern. In Abb. 3-5 ist der Prozentsatz der jeweiligen Fahrzeugkategorie in den Spitzenstunden dargestellt (in blau dargestellt noch einmal die absolute Anzahl der Kfz als Bezugsgröße)².

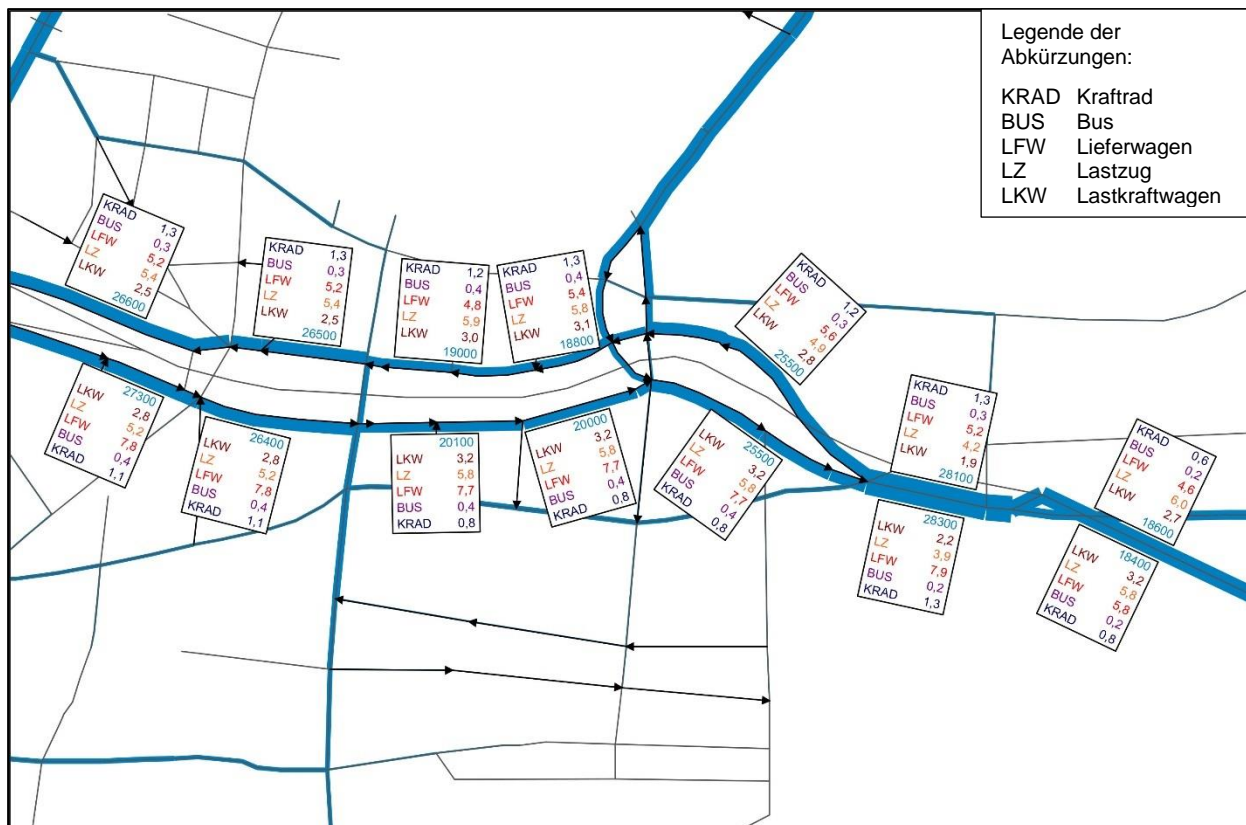


Abb. 3-5: Verkehrsstärken nach Fahrzeugkategorie [%].

3.2.4 Anteil Durchgangsverkehr und Quell-/Zielverkehr

Den größten Anteil des Kfz-Verkehrsaufkommens auf der B31 nimmt der Quell-/Zielverkehr (bezogen auf die gesamte Stadt Freiburg) ein. Der Anteil des Durchgangsverkehrs ist absolut gesehen vergleichsweise gering, wobei hier von einem sehr hohen Lkw-Anteil auszugehen ist. Die B31 dient zwar dem Durchgangsverkehr als (über-)regionale Straßenverbindung, nimmt jedoch auch eine wichtige Verteilerfunktion für die Erschließung der Freiburger Innenstadt wahr.

² Die Aufteilung in die unterschiedlichen Fahrzeugkategorien basiert auf den videobasierten Knotenpunkts- und Querschnittszählungen von R+T.

Die Verkehrsstärken unterschieden in die jeweiligen Verkehrsarten sind in der Abb. 3-6 dargestellt.³

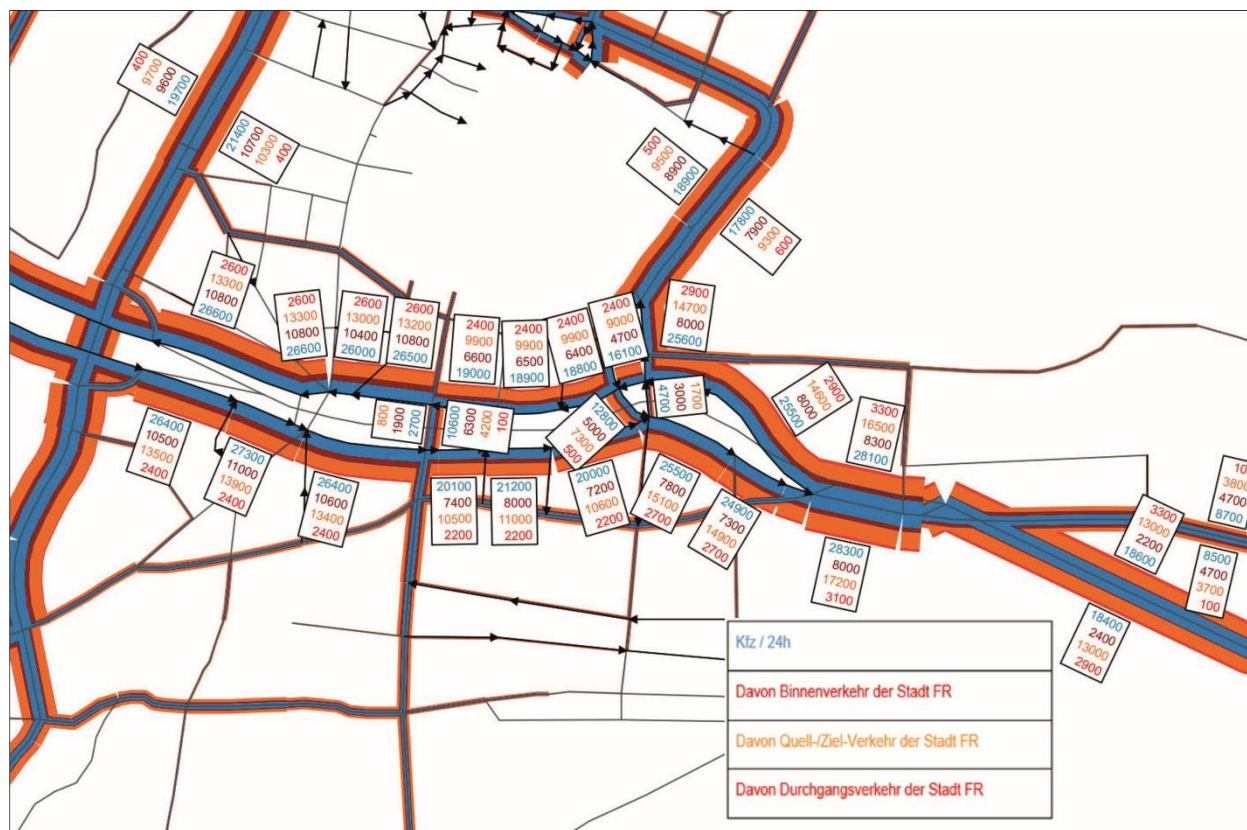


Abb. 3-6: Verkehrsstärken nach Verkehrsarten [Kfz/24h].

Auf Basis der Daten der Dauerzählstelle (s. Abb. 3-3) wurden Tagesganglinien von drei repräsentativen Werktagen außerhalb der Ferienzeit erstellt. Die Aufbereitung der Tagesganglinien zeigt eine starke punktuelle Vormittagsspitze stadteinwärts, d.h. in Fahrtrichtung Westen. Diese ist durch das hohe Aufkommen an Zielverkehr in das Freiburger Stadtgebiet (Berufsverkehr) verursacht. Die Spitze in die Gegenrichtung tritt entsprechend nachmittags auf, wobei diese nicht so ausgeprägt ist, sich aber über einen längeren Zeitraum erstreckt. Die Tagesverläufe sind der Abb. 3-7 zu entnehmen.

³ Die Unterscheidung des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs ist dem vorliegenden makroskopischen Verkehrsmodell der Stadt Freiburg entnommen.

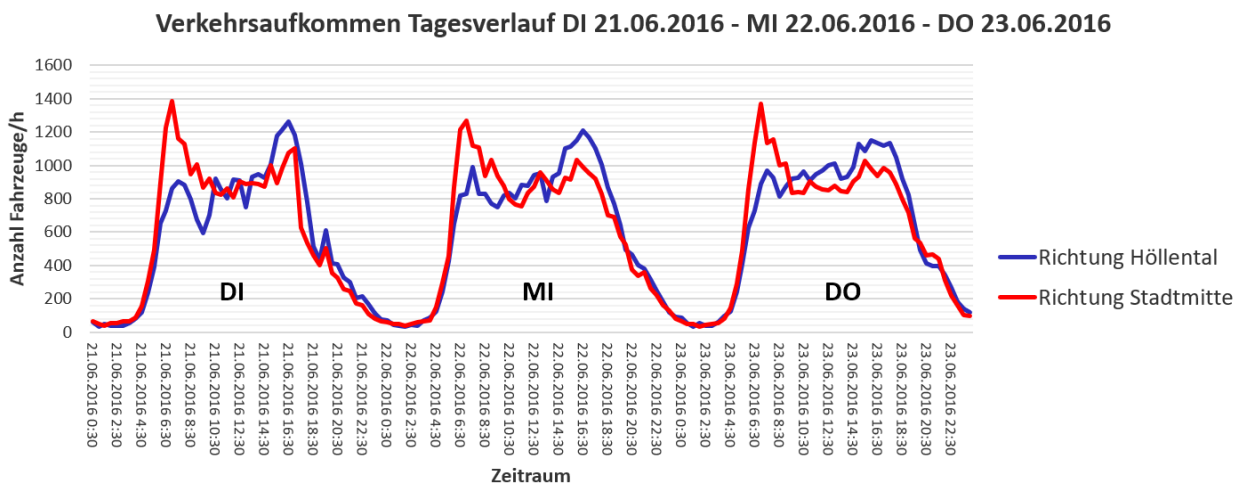


Abb. 3-7: Kfz-Verkehrsaufkommen im Tagesverlauf für Di 21.06.2016 – Mi 22.06.2016 – Do 23.06.2016 (Daten der Dauerzählstelle der LUBW).

Auch an den Wochenenden ist ein vergleichsweise hohes Kfz-Verkehrsaufkommen auf der B31 gegeben, wenn auch mit weniger ausgeprägten Spitzen (siehe Abb. 3-8). Auffällig sind vor allem die Spitze am Freitagabend (die ggf. auf ein singuläres Ereignis zurückzuführen ist) sowie die Spitze am späten Sonntagnachmittag (rückfließender Freizeitverkehr aus dem Höllental).

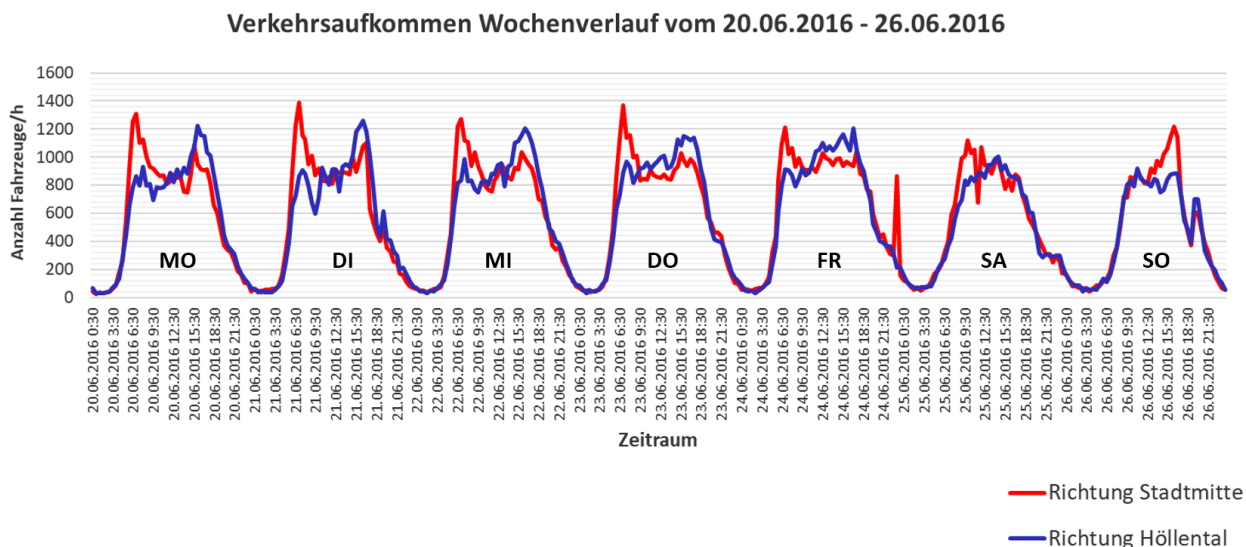


Abb. 3-8: Kfz-Verkehrsaufkommen im Wochenverlauf für die Woche vom 20.06.2016 – 26.06.2016 (Daten der Dauerzählstelle der LUBW).

3.3 Verkehrsbeobachtungen

Anhand der von R + T ergänzend durchgeführten videobasierten Knotenpunkt- und Querschnittszählungen konnte der Verkehrsablauf – insbesondere an den Knotenpunkten mit den Dreisambrücken – beobachtet werden. Dabei konnten typische Probleme, die während der Spitzenstunden an den Knotenpunkten auftreten, analysiert und daraus mögliche Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden. Die Verkehrsbeobachtungen dienen somit als Ergänzung zu den durchgeführten Messfahrten (Kapitel 3.4), bei denen jeweils einzelne Fahrzeuge über den innerstädtischen Streckenverlauf der B31 im Untersuchungsgebiet verfolgt

wurden. Die Auswertung hinsichtlich des Verkehrsablaufes wurde für die vor- und nachmittägliche Spitzenstunde sowie für den Zeitraum von 10:00 – 11:00 Uhr und den Zeitraum von 22:00 – 23:00 Uhr durchgeführt.

3.3.1 Knotenpunkt „B31 / Kaiserbrücke“

Die Videobeobachtungen am nördlichen Teilknoten der Kaiserbrücke zeigen, dass die Freigabezeiten in den Nebenrichtungen voll ausgenutzt werden – es sind hier zum Ende der Freigabezeit keine „verlorenen Grünzeiten“ zu beobachten (d.h. Lücken in den Fahrzeugströmen), die darauf hindeuten, dass die Grünzeiten für die Nebenrichtung reduziert werden könnte.

Bedingt durch die anschließende Verengung von 3 auf 2 Fahrstreifen im Zuge der Baustelle Kronenbrücke konnte an diesem Teilknoten – insbesondere während der Spitzenstunden – ein Rückstau in Richtung Westen festgestellt werden. Dieser Rückstau führte teilweise dazu, dass geradeausfahrende Fahrzeuge aus Richtung Osten kommend während der Freigabezeit nicht abfließen konnten (siehe Abb. 3-9).



Abb. 3-9: Kaiserbrücke Nord - Rückstau (Blickrichtung Westen).

In Folge dessen entsteht dann häufig (d.h. mehrere Male pro Stunde) ein Rückstau, der zum Teil bis zum Greiffeneggring reicht (siehe Abb. 3-10 und Abb. 3-11). Weitere Störeinflüsse entstehen unter anderem durch Parkvorgänge und durch die vorhandenen Fußgängerquerungen. Der Rückstau konnte nicht nur während der Spitzenstunden festgestellt werden, sondern auch in dem ausgewerteten Zeitraum zwischen 10:00 bis 11:00 Uhr. Lediglich nachts war kein Rückstau zu beobachten.



Abb. 3-10: Kaiserbrücke Nord - Rückstaulänge 1 (Blickrichtung Westen).



Abb. 3-11: Kaiserbrücke Nord - Rückstaulänge 2 (Blickrichtung Westen).

3.3.2 Knotenpunkt „B31 / Greiffeneggring / Schwabentorring“

Sofern dieser Rückstau bis zum Greiffeneggring angewachsen ist (vgl. Abb. 3-11), wird der weitere Zufluss am Knotenpunkt „B31 / Greiffeneggring / Schwabentorring“ durch Rückstaudetektoren verhindert.

3.3.3 Knotenpunkt „B31 / Talstraße“

Weiterhin aufgefallen ist die Situation für den nach Westen fahrenden Verkehr am Knotenpunkt B31 / Talstraße. Es konnte beobachtet werden, dass einige Fahrstreifen zeitweise aufgrund der Rückstaulänge auf anderen Fahrstreifen nicht nutzbar waren (siehe Abb. 3-12 und Abb. 3-13).

Diese Situation war jedoch fast ausschließlich in der vormittäglichen Spitzenstunde zu beobachten.



Abb. 3-12: B31 / Talstr. - nicht nutzbarer Linksabbiegestreifen (Blickrichtung Westen).



Abb. 3-13: B31 / Talstr. - nicht nutzbarer Geradeausfahrstreifen (Blickrichtung Westen).

Zusammengefasst konnte anhand der Verkehrsbeobachtungen festgestellt werden, dass die einzelnen Knotenpunkte im Verlauf der B31 während der Spitzenstunden in hohem Maße ausgelastet sind. Die Freigabezeiten für die Nebenrichtungen werden augenscheinlich gut ausgenutzt.

Im Verlauf der B31 sind während der Spitzenstunden immer wieder lange Rückstaus zu beobachten, insbesondere wenn die Stadtbahn längere Freigabezeiten in den Nebenrichtungen anfordert. Die entstehenden Rückstaus bauen sich jedoch auch immer wieder ab.

Die vorhandene Koordination des Verkehrs im Verlauf der B31 wird in der Praxis durch viele Ereignisse gestört (Querverkehr, Stadtbahnbevorrechtigung, ...). Aufgrund des hohen Anteils an Lkw (und insbesondere an Lastzügen) und dem damit verbundenen unterschiedlichen Beschleunigungsverhalten wird die Pulkbildung aufgeweicht. Dadurch verringert sich der Durchfluss an den einzelnen Knotenpunkten.

Der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Osten ist dabei besser als der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Westen. Dies liegt an der Pförtnerung, die derzeit in West-Ost-Richtung an der Kronenbrücke erfolgt.

In Fahrtrichtung Westen besteht durch den Baustellenbetrieb ein Engpass an der Kronenbrücke – dort wird der Abfluss durch die Verengung von 3 auf 2 Fahrstreifen gedrosselt. An den Knotenpunkten Kaiserbrücke und Schwabentorbrücke können Fahrzeuge in manchen Umläufen nicht in die Knotenpunkte einfahren, weil diese zugestaut sind. Grundsätzlich gibt es Rückstaudetektoren, um dies zu verhindern.

3.4 Messfahrten Istzustand

3.4.1 Erfassung von Fahrprofilen entlang der Messstrecke

Am 07., 08. und 09. März 2017 wurden insgesamt 97 Messfahrten in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem für die Erfassung von Fahrprofilen technisch ausgestatteten Pkw im fließenden Verkehr durchgeführt. Es wurden dabei T50-Normalfahrten, T40-Fahrten („fiktiv“) und T30-Fahrten („fiktiv“) unterschieden. Bei den T50-Fahrten waren die Testfahrer angewiesen, im Verkehr „mitzuschwimmen“, bei den T40- und T30-Fahrten wurde ein entsprechendes fiktives Tempolimit angenommen. Die Zahl der auf der Messstrecke durchgeführten Fahrten ist in Tab. 3.1 dargestellt. Zusätzlich wurden Messfahrten auf den wichtigsten Abbiegebeziehungen durchgeführt.

Tab. 3.1: Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung.

Tempolimit	Fahrtrichtung	Anzahl Fahrten
T50 (Normalfahrt)	Osten	21
	Westen	18
T40 (fiktiv)	Osten	15
	Westen	14
T30 (fiktiv)	Osten	15
	Westen	14
gesamt		97

Die Daten zu Geschwindigkeit, Drehzahl und Uhrzeit wurden an der OBD2-Schnittstelle am Fahrzeug in hoher zeitlicher Auflösung (0,2 Sec-Takt) abgenommen. OBD (On Board Diagnose) ist ein System, bei dem in einem Fahrzeug während des Fahrbetriebs wichtige Steuergeräte, deren Daten durch ihre Software zugänglich sind (unter anderem die abgasbeeinflussenden Systeme), überwacht werden können.

Zusätzlich wurden zeitsynchron mit einem GPS-Gerät die Zeit und die Koordinaten der Fahrstrecke erfasst.

In Abb. 3-14 sind alle gemessenen Fahrprofile dargestellt. Es ist jeweils für alle Messfahrten die aktuelle Fahrgeschwindigkeit über die gefahrene Wegstrecke aufgetragen.

In Fahrtrichtung Osten musste nur bei wenigen Fahrten mehrfach vor LSA gehalten werden. Der Verkehrsablauf war vergleichsweise gut, möglicherweise als Folge einer Pförtnerung durch die bestehende Sperrung des Querverkehrs an der Kronenbrücke.

In Fahrtrichtung Westen musste dagegen häufig mehrfach vor LSA gehalten werden. Nicht nur in der Spitzenstunde weisen die Messfahrten hier hohe Stop&Go-Anteile auf.

Erläuterung zu T50-Normalfahrten, T40- und T30-Fahrten fiktiv

Bei einem gültigen Tempolimit von 50 km/h können grundsätzlich nur T50-Normalfahrten durchgeführt werden. Bei den T40- und den T30-Fahrten handelt es sich daher um Fiktivfahrten unter Annahme eines niedrigeren Tempolimits in einem T50-Umfeld. Es stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Umfelds auf die Messfahrten.

Bei frei fließendem Verkehr wird ein Fahrzeug definitionsgemäß nicht von den Fahrzeugen seines Umfelds beeinflusst. Bei Stop&Go hat das Tempolimit keinen Einfluss, da die zulässige Höchstgeschwindigkeit ohnehin nicht erreicht wird. Im gebundenen Verkehr wird die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs jedoch maßgeblich von der Geschwindigkeit der Fahrzeuge im Umfeld und vom Tempolimit bestimmt:

- Einerseits hat ein Fahrzeug bei einer fiktiven T40- oder T30-Fahrt in einem T50-Umfeld häufiger eine freie Strecke vor sich, so dass der Störungsgrad gesenkt wird.

- Andererseits ist bei einem realen Tempolimit von T40 oder T30 eine vorausschauende Fahrweise möglich, so dass Störungen vermieden werden.

Vom Auftragnehmer wurden in über 15 Kommunen Messfahrten zu Tempolimits von T30 oder T40 durchgeführt. Zur Bestimmung der Wirkung des Tempolimits wurde jeweils eine Auswahl von T50-Normalfahrten und entsprechenden Fiktivfahrten mit gleichem Anteil an Störungen getroffen. In einer Reihe von Kommunen wurde auf Basis der Untersuchungen mit diesem Ansatz auf einzelnen Strecken inzwischen T30 eingeführt. Auswertungen entsprechender Luftmessstationen der LUBW bestätigen die zuvor ermittelten Wirkungen [8].

Ein Einfluss des Umfelds ist dennoch nicht auszuschließen, lässt sich durch Fiktivfahrten jedoch nicht ermitteln. Zur eindeutigen Klärung dieser Frage im Sinne einer ex-post Analyse können daher nur Messfahrten in einem T40-Umfeld bzw. T30-Umfeld beitragen.

Übertragbarkeit der Pkw-Fahrten auf schwere Nutzfahrzeuge (sNFz)

Bei vom Auftragnehmer in der Vergangenheit in anderen Kommunen durchgeführten Messfahrten wurde anfangs zwischen Pkw-Verfolgungsfahrten (Mitschwimmen im Verkehr) und Lkw-Verfolgungsfahrten unterschieden. Beide Fahrtarten wurden mit PHEM für Fahrzeugschichten der Pkw und der sNFz ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass für Fahrprofile mit gleicher Anzahl Störungen mit Ausnahme von Strecken mit hohen Längsneigungen kein Unterschied zwischen den für sNFz ausgewerteten Pkw-Verfolgungsfahrten und den für sNFz ausgewerteten Lkw-Verfolgungsfahrten bestand. In der Ebene ist das Fahrverhalten der sNFz also vergleichbar mit dem der Pkw. Es ist daher sinnvoller, eine möglichst hohe Zahl an Messfahrten insgesamt durchzuführen und sowohl für Pkw als auch für sNFz auszuwerten, als eine geringere Zahl Pkw-Verfolgungsfahrten bzw. sNFz-Verfolgungsfahrten durchzuführen und diese jeweils nur für die Fahrzeugschichten der Pkw bzw. der sNFz auszuwerten.

Bei der Emissionsberechnung mit dem Modell PHEM wird auf das Motorkennfeld (Emissionen in Abhängigkeit von Motorleistung und Drehzahl) zurückgegriffen. PHEM beinhaltet ein Tool zur Dynamikkorrektur: Wenn bei Fahrzeugschichten mit hoher Fahrzeugmasse und geringer maximaler Motorleistung eine durch das Fahrprofil vorgegebene Beschleunigung z.B. bei hohen Steigungen nicht erreicht werden kann, wird die Beschleunigung entsprechend reduziert. Dann weichen die Eingabe-Geschwindigkeiten und die Ausgabe-Geschwindigkeiten des Modells voneinander ab. Größere Abweichungen traten bei den hier ausgewerteten Messfahrten jedoch nicht auf. Die aufgenommenen Fahrprofile konnten also problemlos für alle Fahrzeugschichten, auch für sNFz, ausgewertet werden.

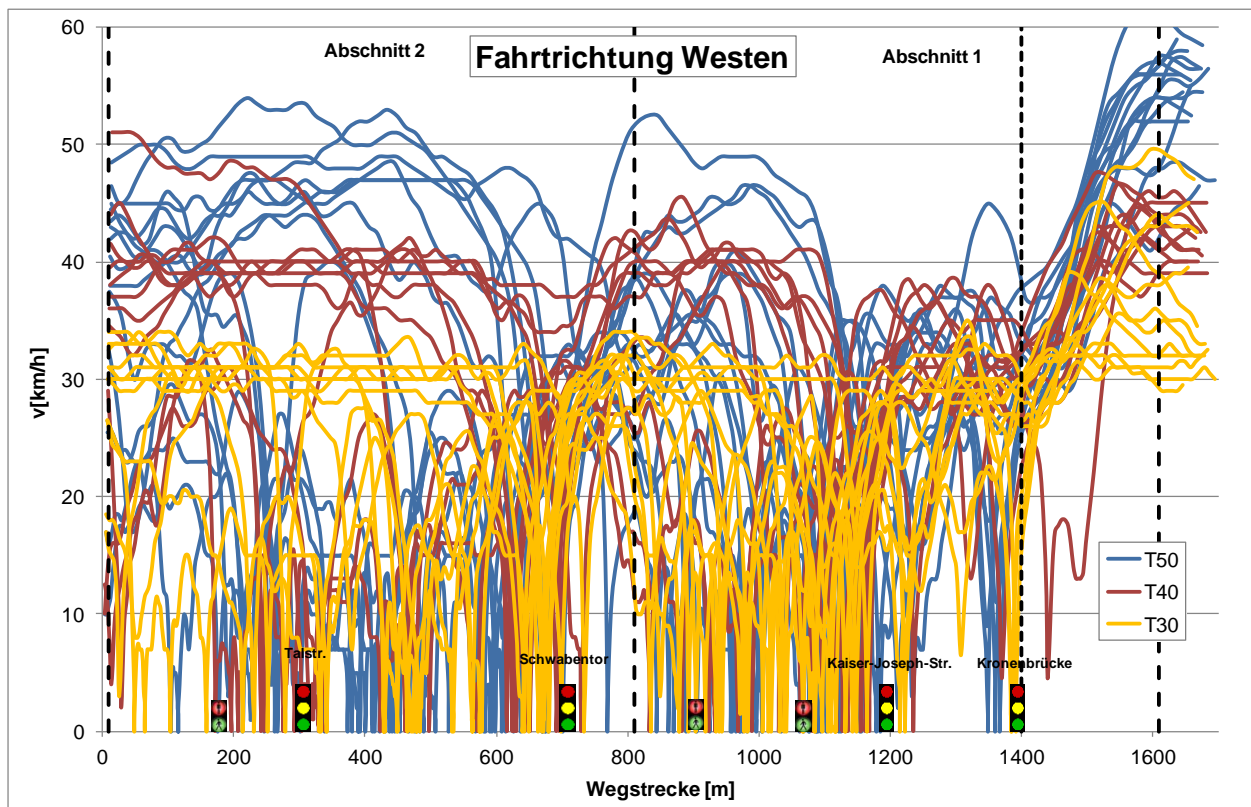
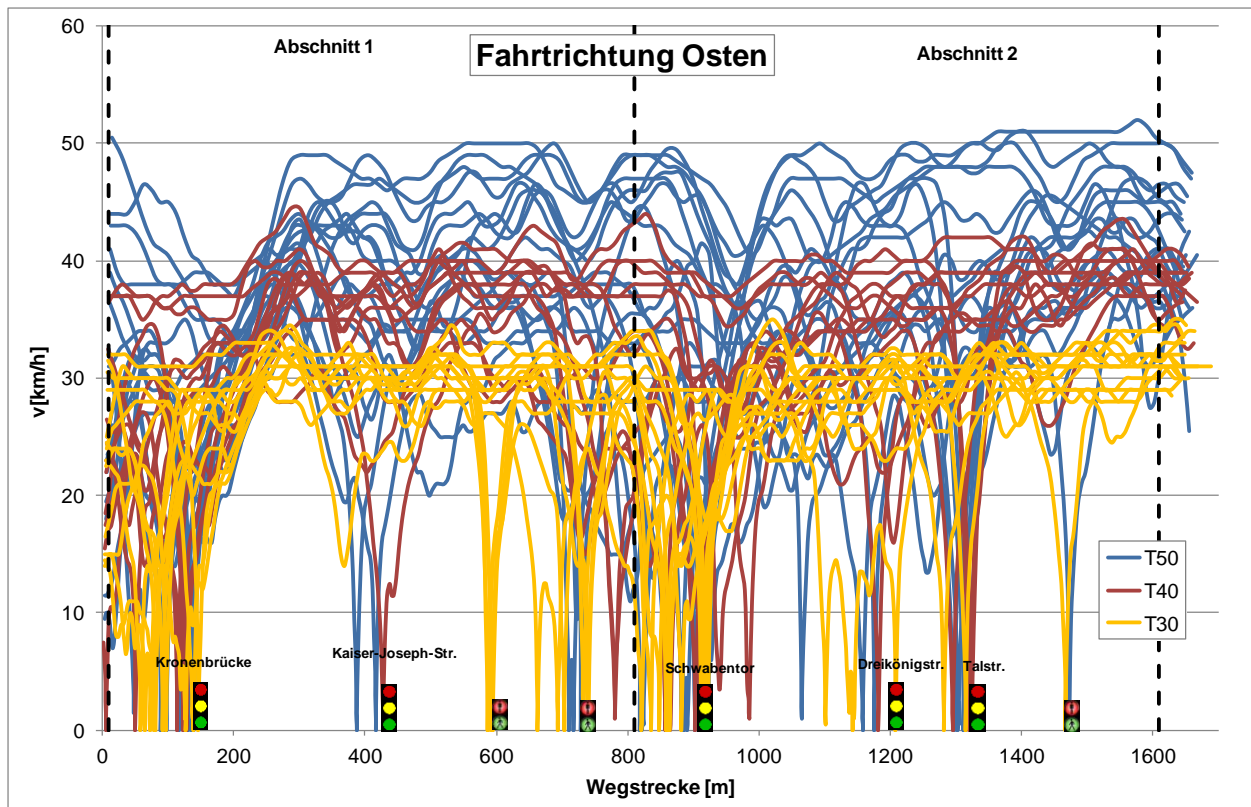


Abb. 3-14: Fahrprofile der Messfahrten: T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T40-fiktiv (rote Linien) und T30-fiktiv (gelbe Linien); oben: Fahrtrichtung Osten; unten: Fahrtrichtung Westen; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.

3.4.2 Abschnittsbildung

Da die Messstrecke, auf der die Messfahrten durchgeführt wurden, zwischen Kronenbrücke und Schützenalleeetunnel hinsichtlich der Verkehrsstärken, des Störungsgrads und, wie später deutlich wird, hinsichtlich der Wirkung von Maßnahmen nicht homogen ist, wurde sie unterteilt. Die Emissionsberechnung für die Messfahrten wurde getrennt für zwei Abschnitte durchgeführt (in den Diagrammen dargestellt durch gestrichelte schwarze vertikale Linien). Diese wurden wie folgt gewählt:

- Die Abschnitte sollten mindestens 500 m lang sein;
- Die Abschnitte sollten vergleichbare Längen aufweisen;
- Die Abschnitte sollten vom Charakter her homogen sein;
- Die Beschleunigungsstrecke nach einem Halt vor einem Knoten sollte eindeutig einem Abschnitt zugeordnet werden können (d.h. die Abschnittsgrenze sollte nicht direkt an einem Knoten liegen).

In Abb. 3-15 sind die Lage der Messstrecke und die gewählten Abschnitte als Karte dargestellt. Abschnitt 2 ist somit der östliche Teil der Messstrecke, in dem auch die Luftmessstation (auf Höhe der Talstraße) und die Dauerzählstelle liegen, Abschnitt 1 entsprechend der westliche Teil der Messstrecke.



Abb. 3-15: Lage der Messstrecke mit den gewählten Abschnitten und der Luftmessstation der LUBW auf der B31 in Freiburg

Abschnitt 1 wurde in Fahrtrichtung Westen um ca. 200 m verkürzt. Der Grund dafür ist Folgender: Wie in Abb. 3-14 zu sehen ist, wird in den Fahrprofilen ab Streckenmeter 1400 bei allen Fahrten beschleunigt, je nach Tempolimit auf etwas über 30, 40 oder 50 km/h. Nach einer Aufhebung des fiktiven Tempolimits am Ende der Messstrecke würden alle Fahrten eine Beschleunigung auf 50 km/h aufweisen. Die Emissionen, die durch diese Beschleunigung entstehen, sind hier in den T50-Fahrten bereits enthalten, in den T30- bzw. T40-Fahrten jedoch nicht. Um eine Verzerrung der Ergebnisse zu vermeiden, werden die Fahrprofile in Fahrtrichtung Westen nur bis zum Beginn dieser Beschleunigung ausgewertet.

3.4.3 Auswahl Fahrten

Zur Berechnung der Emissionen für den verkehrlichen Istzustand 2017 werden alle T50-Fahrten ausgewertet.

Zur Berechnung der Wirkung der Tempolimits wird jeweils eine Auswahl an Fahrten verglichen.

Der Grund dafür ist Folgender:

In der Verkehrssituation „Stop&Go“ sowie in Beschleunigungsphasen nach Störungen bzw. Halten sind die Emissionen jeweils besonders hoch. Messfahrten, in denen überwiegend „Stop&Go“ gefahren wurde, sind unabhängig von der (fiktiven) zulässigen Höchstgeschwindigkeit, weil diese ohnehin nicht erreicht wird. Unterschiede der Emissionen bei T50, T40 und T30 dürfen nicht durch die Varianz der Störungen und Stop&Go-Anteile in der jeweiligen Stichprobe bedingt sein. Deshalb wurden für den Vergleich Fahrtenkollektive aus T50-, T40- und T30-Fahrten gebildet,

- in denen nur selten mehrfach vor LSA gehalten werden musste,
- die pro Kollektiv in Abschnitt 1 und in Abschnitt 2 einen jeweils vergleichbaren Anteil von Halten aufweisen.

In Tab. 3.2 ist die Anzahl der für den Vergleich ausgewählten Fahrten für jedes untersuchte Tempolimit im Vergleich mit der Gesamtzahl der Fahrten ausgewiesen. In Abb. 3-16 sind die ausgewählten Fahrprofile grafisch dargestellt.

Tab. 3.2: Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung im Vergleich mit der für die Wirkungsbestimmung der Tempolimits ausgewählten Fahrten.

Tempolimit	Fahrtrichtung	Anzahl Fahrten	Anzahl Auswahl
T50 (Normalfahrt)	Osten	21	17
	Westen	18	8
T40 (fiktiv)	Osten	15	12
	Westen	14	7
T30 (fiktiv)	Osten	15	7
	Westen	14	4
gesamt		97	55

In Fahrtrichtung Osten ist die Anzahl der für den Vergleich ausgewählten Fahrten nur geringfügig kleiner als die Gesamtzahl der Fahrten. Die auf dieser Basis bestimmten Wirkungen der Tempolimits können somit als repräsentativ angesehen werden.

In Fahrtrichtung Westen konnte aufgrund der hohen Stop&Go-Anteile jedoch nur eine geringe Anzahl Fahrten für den Vergleich ausgewählt werden. Dies führt zu einer entsprechend höheren Unsicherheit, zum anderen sind in dieser Fahrtrichtung die auf Basis der Auswahl bestimmten Wirkungen der Tempolimits als Maximalwirkungen anzusehen: Positive (oder negative) Wirkungen sind entsprechend geringer, wenn bei allen Tempolimits ein vom Tempolimit unabhängiger Anteil der Emissionen im Verkehrsablauf Stop&Go erzeugt wird.

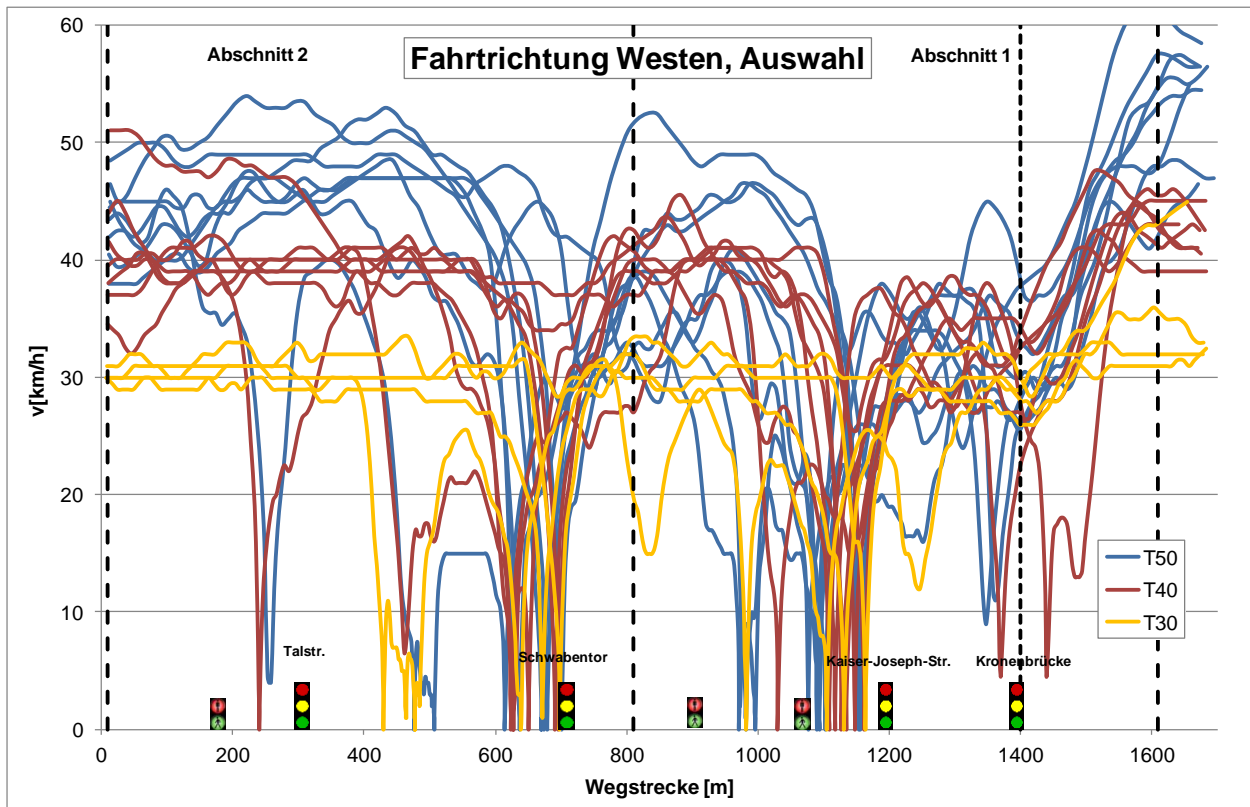
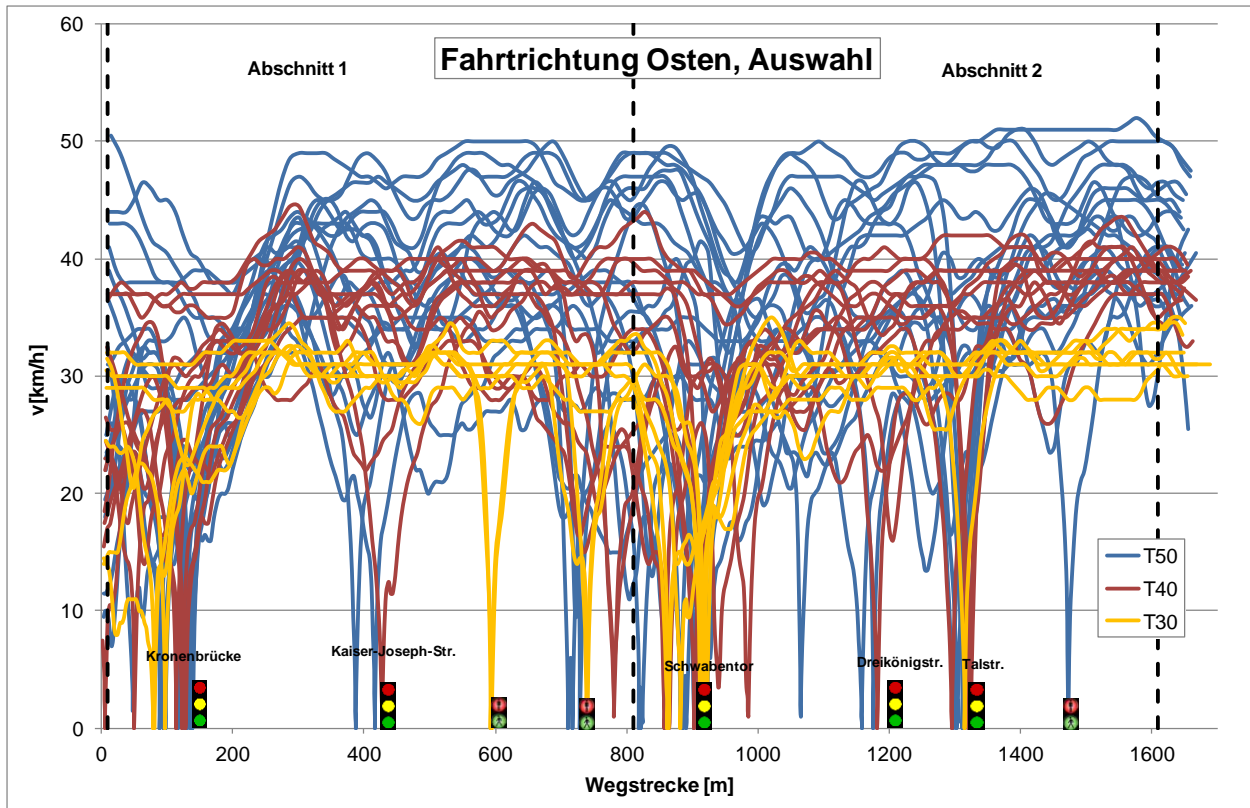


Abb. 3-16: Fahrprofile der Messfahrten: Auswahl T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T40-fiktiv (rote Linien) und T30-fiktiv (gelbe Linien); oben: Fahrtrichtung Osten; unten: Fahrtrichtung Westen; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.

3.4.4 Fahrparameter

Pro Fahrtengruppe (T50-Normalfahrt, T40 fiktiv und T30 fiktiv) wurden die mittleren Dynamik-Parameter v (Reisegeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Halten und Haltezeiten), RPA (Relative Positive Beschleunigung) und Konstantfahrtanteil über alle Fahrten der jeweiligen Fahrtengruppe gemittelt. In Tab. 3.3 sind diese Werte für die T50-Fahrten ausgewiesen, und zwar jeweils für alle Fahrten im Vergleich mit der im vorherigen Abschnitt getroffenen Auswahl.

Tab. 3.3: Mittlere Reisegeschwindigkeit v_R , Dynamikparameter RPA und Konstantfahrtanteil für die Fahrtengruppe T50, alle Fahrten, im Vergleich mit der für den Vergleich der Tempolimits getroffenen Auswahl (MW: Mittelwert, stddev: Standardabweichung).

Fahrparameter	v_R [km/h]		RPA [m/s^2]		Konstantfahrtanteil	
	MW	stddev	MW	stddev	MW	stddev
T50, alle						
gesamt Ri O	29	9	0,14	0,03	19%	7%
gesamt Ri W	20	11	0,17	0,02	17%	5%
T50, Auswahl						
gesamt Ri O	29	9	0,14	0,03	19%	7%
gesamt Ri W	26	9	0,16	0,02	18%	6%
Änderung						
gesamt Ri O	0%		0%		0%	
gesamt Ri W	32%		-6%		2%	

In Fahrtrichtung Osten liegt die mittlere Reisegeschwindigkeit bei Auswertung aller T50-Normalfahrten bei 29 km/h und in Fahrtrichtung Westen deutlich niedriger bei 20 km/h. Der Dynamikparameter RPA liegt bei 0,14 m/s^2 in Fahrtrichtung Osten und 0,17 m/s^2 in Fahrtrichtung Westen, der Konstantfahrtanteil bei 19% in Fahrtrichtung Osten und 17% in Fahrtrichtung Westen.

Durch die Auswahl ändert sich in Fahrtrichtung Osten an den Fahrparametern nichts. In Fahrtrichtung Westen steigt die mittlere Reisegeschwindigkeit durch die Auswahl um 32 % auf 26 km/h, der Dynamikparameter sinkt um 6 % und der Konstantfahrtanteil nimmt geringfügig um 2 % zu. Damit werden ähnliche Werte erreicht wie in Fahrtrichtung Osten.

In Tab. 3.4 sind die Fahrparameter für die jeweils ausgewählten T50-, T40 und T30-Fahrten im Vergleich ausgewiesen.

Tab. 3.4: Mittlere Reisegeschwindigkeit v_R , Dynamikparameter RPA und Konstantfahrtanteil für die ausgewählten Fahrten pro Fahrtengruppe (MW: Mittelwert, stddev: Standardabweichung).

Fahrtparameter	v [km/h]		RPA [m/s ²]		Konstantfahrtanteil	
	MW	stddev	MW	stddev	MW	stddev
T50						
gesamt Ri O	29	9	0,14	0,03	19%	7%
gesamt Ri W	26	9	0,16	0,02	18%	6%
T40						
gesamt Ri O	26	6	0,11	0,03	28%	8%
gesamt Ri W	26	6	0,12	0,02	28%	10%
T30						
gesamt Ri O	23	4	0,07	0,02	46%	9%
gesamt Ri W	23	7	0,07	0,03	47%	15%
Änderung T50->T40						
gesamt Ri O	-7%		-22%		46%	
gesamt Ri W	-1%		-28%		57%	
Änderung T50->T30						
gesamt Ri O	-18%		-47%		137%	
gesamt Ri W	-10%		-55%		163%	

Beim Vergleich T30 fiktiv zu T50 liegt die Reduktion der mittleren Reisegeschwindigkeit zwischen 10% und 18%, beim Vergleich T40 fiktiv zu T50 zwischen 1% und 7%.

Für den Dynamik-Parameter RPA zeigen sich beim Vergleich T30 fiktiv zu T50-Normalfahrt deutliche Reduktionen zwischen 47% und 55%, beim Vergleich T40 fiktiv zu T50-Normalfahrt zwischen 22% und 28%. Dies ist ein Indiz dafür, dass die T30- und T40-Fahrten auch bei gleichem Anteil an Halten weniger dynamisch verlaufen sind als die T50-Fahrten, d.h. dass die fiktiven Tempolimits durch die Verkürzung der Beschleunigungs- und Bremsphasen zu einer Vergleichsmäßigung des Verkehrsablaufes geführt haben. Dies zeigt sich auch in der deutlichen Erhöhung der Konstantfahrtanteile.

4 Potenzialanalyse

4.1 Prämisse

Bei der Identifikation von Maßnahmen, die geeignet sind, die verkehrsbedingten Emissionen und Immissionen im Bereich der Luftmessstation an der B31 zu verringern, sind grundsätzlich folgende Rahmenbedingungen zu berücksichtigen:

- Insbesondere sollen mögliche Verbesserungen an der B31 nicht zu Lasten von erheblichen Verschlechterungen an anderen Stellen im Straßennetz führen. Dies bedeutet, dass sowohl großräumige regionale Verkehrsverlagerungen, als auch kleinräumige Verlagerungen auf das nachgeordnete Straßennetz der Stadt Freiburg zu vermeiden sind.

Vor dem Hintergrund, dass in der Stadt Freiburg keine geeigneten Parallelstrecken als Alternativen zur B31 zur Verfügung stehen, können daher die gewählten Maßnahmen (insbesondere Pfortnerung) nicht zu restriktiv sein.

- Außerdem sollen die Maßnahmen nicht bewirken, dass andere Verkehrsmittel (d.h. der ÖPNV, Rad- und Fußverkehr als sogenannter „Umweltverbund“) aufgrund einer „Verflüssigung des Kfz-Verkehr“ benachteiligt werden. In diesem Fall könnte es dazu kommen, dass Wege, die aktuell mit den Verkehrsmitteln des „Umweltverbundes“ zurückgelegt werden, zukünftig mit dem eigenen Kfz bewältigt werden. Die Folge davon wäre eine Zunahme des Kfz-Verkehrs – ggf. auch auf der B31.

4.2 Potenzialanalyse Verkehr

4.2.1 Maßnahme „Pfortnerung“

In den Hauptverkehrsstraßennetzen von Großstädten treten starke Pendlerströme aus dem Umland auf. Die Zulaufstrecken aus dem Umland wurden in der Regel mit Priorität für diese Verkehrsströme ausgebaut und sind wie im Fall der B31 oftmals autobahnähnlich ausgeführt. Die Einfallstraßen sind darüber hinaus durch eine starke Spitzennachfrage im Berufsverkehr gekennzeichnet. Im Übergang vom planfreien Straßennetz zu den signalisierten Knotenpunkten im Stadtgebiet ist die Zahl der ankommenden Fahrzeuge pro Umlauf ungleichmäßig. Die erste Signalanlage im Stadtgebiet verstetigt den Fahrzeugstrom, so dass dieser an den folgenden Signalanlagen in gleichmäßigen Fahrzeugpulks auftritt. Hierdurch entstehen an der ersten Signalanlage unterschiedlich große Rückstaulängen.

Durch eine zusätzliche Pfortneranlage können diese wechselnden Rückstaus von der ersten Signalanlage, i. d. R. an einem Knotenpunkt im angebauten Straßennetz (Straßennetz mit Randbebauung) an einen günstiger gelegenen Standort, z. B. im anbaufreien Straßennetz (Straßennetz ohne Randbebauung) am Stadtrand verlagert werden.

Bezüglich der Pförtnerung sind grundsätzlich zwei verschiedene Ansätze zu unterscheiden:

- „sanfte“ Pförtnerung, die lediglich die auftretende Kfz-Verkehrsstärke verstetigt.
- „starke“ Pförtnerung, die zusätzlich zu einer Reduzierung der Kfz-Verkehrsstärke führt.

Eine Pförtnerung kann in unterschiedlicher Form vorgenommen werden:

- Zuflussdosierung auf den Hauptströmen, u. U. ergänzt durch weitere Maßnahmen zur Verkehrsbeeinflussung wie (temporären) Geschwindigkeitsanordnungen.
- Zuflussdosierung auf zufließenden Nebenströmen, z. B. in einer Autobahnauffahrt, um eine Überlastung der Hauptverkehrsstraße zu vermeiden
- Zuflussdosierung auf abfließenden Nebenströmen (Links- / Rechtsabbieger), um die Kfz-Verkehrsstärke im nachgeordneten Straßennetz zu verringern.

Die Zuflussdosierung erfolgt i. d. R. über eine zusätzliche bzw. verlängerte Rotlichtschaltung, entweder an bestehenden signalisierten Knotenpunkten oder als zusätzliche Signalanlage, die nur der Pförtnerung dient. In Verbindung mit Sonderfahrstreifen kann die Pförtneranlage auch für die Beschleunigung von ÖPNV- oder anderen Sonderfahrzeugen genutzt werden. Bei der Pförtnerung wird bewusst in Kauf genommen, dass für einzelne Fahrzeuge längere Wartezeiten als üblich auftreten, damit der Verkehrsablauf für alle Verkehrsteilnehmer insgesamt verbessert wird. In den Spitzen des Verkehrsaufkommens können die Rückstaus schnell anwachsen, nach dem Ende der Berufsverkehrsspitze werden die durch die Pförtneranlage verursachten Rückstaus i. d. R. schnell wieder abgebaut.

Die Pförtneranlage kann mit einer „Grünen Welle“ koordiniert werden, so dass der Kfz-Verkehr nach der Durchfahrt an der Pförtneranlage an folgenden Signalanlagen ohne Halt weiterfahren kann. Der Betrieb der Pförtneranlage kann auf die Zeiträume beschränkt werden, in denen eine Zuflussdosierung auf Grund der Kfz-Verkehrsstärken erforderlich ist.

In Freiburg ist die B31/B31a als Ost-West-Achse bis auf den Abschnitt zwischen Kronenbrücke und Schützenalleeetunnel autobahnähnlich ausgebaut. Der Übergang von der anbaufreien Zulaufstrecke in das signalisierte Straßennetz erfolgt nahe der Innenstadt.

Für die B31 stehen im Untersuchungsbereich keine geeigneten Alternativstrecken zur Verfügung. Sie ist die einzige leistungsfähige Hauptverkehrsstraße im östlichen Freiburger Umland und Verbindungsstrecke zwischen dem Hochschwarzwald und der A5. Es kann daher nicht das Ziel sein, mit einer Pförtnerung die Kfz-Verkehrsstärke auf der B31 zu reduzieren und in andere Teile des Straßennetzes zu verdrängen. Bei einer starken Pförtnerung wären kleinräumige Verlagerungen (z.B. auf die Kartäuserstraße) bzw. großräumige Verlagerungen – jeweils auf nicht dafür geeignete Ortsdurchfahrten – die Folge. Daher wird davon ausgegangen, dass eine Pförtnerung nur so stark in den Verkehrsablauf eingreifen darf, dass entsprechende räumliche Verlagerungen nicht zu erwarten sind. Ziel einer Pförtneranlage als Maßnahme zur

Luftreinhaltung auf der Schwarzwaldstraße muss es daher sein, den Verkehrsstrom so zu verstetigen und an die Kapazität der Knotenpunkte anzugleichen, dass im Untersuchungsgebiet möglichst keine weiteren Fahrzeughalte entstehen.

Eine Pfortnerung auf der B31 erfolgt aus Richtung Westen an der Signalanlage an der Kronenbrücke (siehe Abb. 4-1). Dieser Knotenpunkt ist aus Richtung Westen der erste signalisierte Knotenpunkt. Die Freigabezeit der B31a kann an diesem Knotenpunkt so gesteuert werden, dass weitere Fahrzeughalte auf der B31 begrenzt werden. Wie die Simulation des Nullfalls 2018 nach Wiederinbetriebnahme der Kronenbrücke zeigt, ist hierfür eine längere Rotzeit erforderlich, als für die Freigabe der Querverkehrsströme benötigt wird. Es ist somit eine zusätzliche Zuflussdosierung zu schalten, um den Fahrzeugstrom auf der B31 an die Kapazitäten der Knotenpunkte an der Kaiserbrücke und Schwabentorbrücke anzugleichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch der Zufluss aus der Kronenstraße beschränkt wird.

Eine Pfortnerung aus Richtung Osten ist deutlich schwerer umzusetzen. Die erste Signalanlage liegt nahe an der Ausfahrt aus dem Schützenalleeetunnel, so dass bei einer Zuflussdosierung Rückstau im Tunnel aufgebaut würden. Faktisch übernimmt daher die Signalanlage am Knotenpunkt „Schwabentorbrücke“ die Pfortnerfunktion aus Richtung Osten. Die Folge ist – insbesondere während der vormittäglichen Spitzenzeiten – ein „Stop&Go“-Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Westen mit zahlreichen zusätzlichen Anfahrvorgängen im Bereich der Luftmessstation.



Abb. 4-1: Pfortneranlagen im Bestand.

Zur Reduzierung der Haltevorgänge im Umfeld der Luftmessstation muss eine Zuflussdosierung östlich der Luftmessstation hergestellt werden. Hierfür wurden verschiedene Varianten von

Standorten für die Pfortneranlagen untersucht. Sie unterscheiden sich in der Entfernung von der Luftmessstation und ihrer Lage im bzw. außerhalb des Schützenalleeetunnels.

Variante 1:

Die Grundidee besteht darin, die Pfortnerung durch die Lage am Knotenpunkt „Schützenalleeetunnel / Schwarzwaldstraße“ möglichst nahe an die Luftmessstation zu integrieren (siehe Abb. 4-2). Hierdurch wird eine bestmögliche Pulkung an der Luftmessstation erzielt.

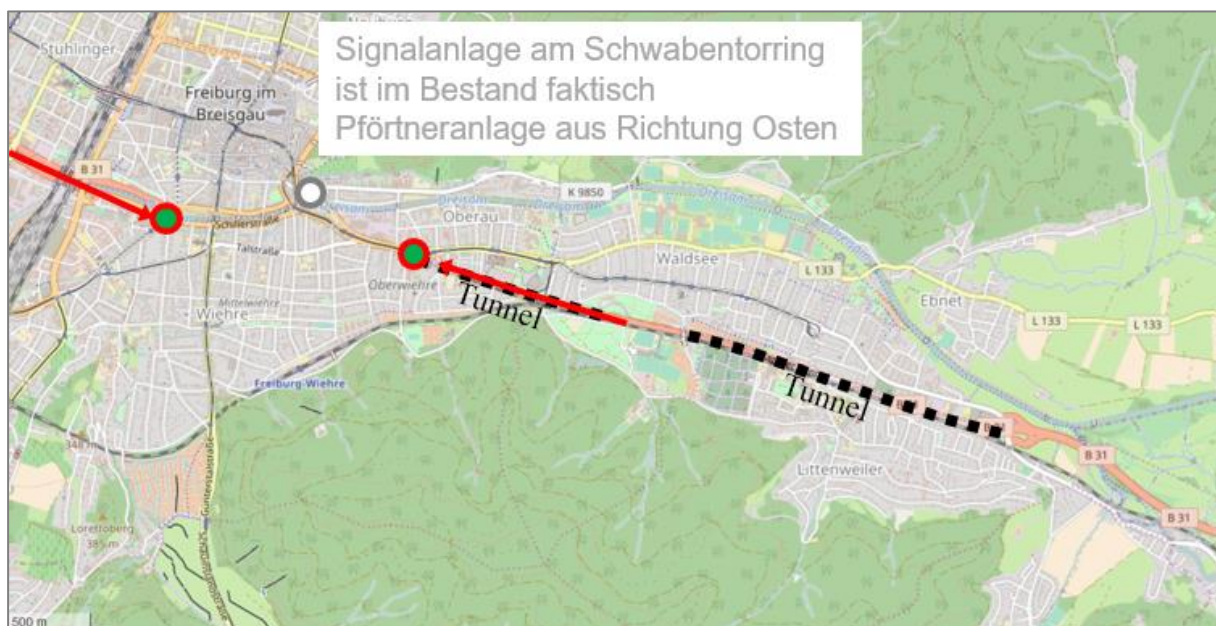


Abb. 4-2: Pfortnerung Fahrtrichtung Westen - Variante 1.

Bei einer moderaten (d.h. „sanften“) Pfortnerung an diesem Knotenpunkt sind keine erheblichen Verlagerungen des überregionalen Verkehrs im Verlauf der B31 (z.B. aus dem Bereich Titisee-Neustadt) zu erwarten. Zwar besteht mit der Relation „Kappler Straße – Hansjakobstraße – Schwarzwaldstraße“ eine parallele Alternativverbindung zur B31, jedoch ist die Reisezeit hier aufgrund mehrerer signalisierter Knotenpunkte und Querungen deutlich länger.

Für kleinräumige Verkehre stehen dagegen alternative Verbindungen zur Verfügung, die z.T. nur unwesentlich unattraktiver sind. Dies betrifft insbesondere Verkehrsteilnehmer, die aus dem Bereich Stegen bzw. St. Peter stammen (über die L127 / L133) sowie Verkehrsteilnehmer aus dem südlichen Bereich von Kirchzarten bzw. Oberried (über die Freiburger Straße – Kirchzartener Straße – Kappler Straße). Diese Alternativrouten würden dann attraktiv werden, wenn durch die Pfortnerung eine erhebliche Verlustzeit auf der B31 resultiert.

Wenn entsprechende kleinräumige Verlagerungen auf das nachgeordnete Straßennetz ausgeschlossen werden sollen, sind geeignete Begleitmaßnahmen erforderlich:

- Zum einen sollte die Schwarzwaldstraße in die Pfortnerung einbezogen werden – dies ist jedoch problematisch, da dann im dicht bebauten Bereich der Schwarzwaldstraße

zusätzliche Fahrzeughalte erzeugt werden und ein erheblicher Rückstau (ggf. bis hin zu der Hochschule für Musik und dem deutsch-französischem Gymnasium) entstehen kann.

- Zum anderen ist ggf. auch eine Pfortnerung an den östlichen Ortseingängen von Ebnet und Kappel erforderlich, um Ausweichverkehre zu verhindern.

Erheblicher Nachteil von Variante 1 ist, dass sich der Rückstau auf der B31 mit den daraus resultierenden „Stop&Go-Abläufen“ im Schützenalleetunnel bildet, was vor allem bei wesentlich längeren Rotzeiten ungünstig ist, da ein Rückstau im Tunnel insbesondere aus Gründen des Brandschutzes und der Entlüftung vermieden werden sollte.

Variante 2:

Variante 2 platziert die Pfortneranlage in den offenen Abschnitt der B31 zwischen Schützenalleetunnel und Kappler Tunnel (siehe Abb. 4-3). Auch bei dieser Möglichkeit kann Ausweichverkehr größtenteils ausgeschlossen werden, wenn die Schwarzwaldstraße mit in die Pfortnerung einbezogen wird.

Vorteil von Variante 2 gegenüber Variante 1 ist, dass sich der Rückstau der Pfortneranlage außerhalb des Schützenalleetunnels aufbaut.

Nachteil dieser Variante ist, dass ein Teil des Rückstaus an der Pfortneranlage bis in den Kappler Tunnel reichen wird. Außerdem ist bei dieser Variante der Abstand der Pfortneranlage zur Luftmessstation größer, so dass sich die Wirkung der Pulkbildung bei höheren Fahrgeschwindigkeiten bereits wieder verringern kann. Die Höchstgeschwindigkeit im Schützenalleetunnel sollte daher ggf. auf 50 km/h beschränkt werden, um die Pulkbildung möglichst aufrecht zu erhalten.

Bei Variante 2 sind die gleichen Begleitmaßnahmen wie bei Variante 1 erforderlich.



Abb. 4-3: Pfortnerung Fahrtrichtung Westen - Variante 2.

Variante 3:

In Variante 3 wird eine Pfortnerung östlich des Kappler Knotens vorgeschlagen (siehe Abb. 4-4). Bei diesem Standort werden alle Kfz-Ströme, die von Osten auf der B31 zum Kappler Knoten fahren, in die Zuflussdosierung einbezogen, also auch Fahrzeuge, die in Richtung Littenweiler ausfahren, so dass Ausweichfahrten in Richtung Schwarzwaldstraße vermieden werden.



Abb. 4-4: Pfortnerung Fahrtrichtung Westen - Variante 3.

Der wesentliche Vorteil dieser Variante ist, dass der durch die Pfortnerung erzeugte Rückstau außerhalb der Tunnel und außerhalb des bebauten Stadtgebietes auftritt. Außerdem können

Verlagerungen des überregionalen Verkehrs auf das nachgeordnete Straßennetz der Stadt Freiburg mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Lage der Pfortneranlage können jedoch Verlagerungen von kleinräumigem Verkehr aus dem südlichen Bereich von Kirchzarten bzw. Oberried (über die Freiburger Straße – Kirchzartener Straße – Kappler Straße) auftreten. Daher ist ergänzend zur Pfortnerung der B31 auch eine Pfortnerung auf der Freiburger Straße (östlich von Kappel) geboten. Gegebenenfalls sollte auch eine begleitende Pfortnerung auf der L133 (östlich von Ebnet) erfolgen. Durch diese begleitenden Pfortneranlagen können bei dieser Variante auch kleinräumige Ausweichverkehr wirkungsvoll unterbunden werden.

Nachteil von Variante 3 ist der sehr große Abstand zur Luftmessstation, so dass die Wirkung der Pfortneranlage hinsichtlich der Verstetigung des Kfz-Verkehrs sehr begrenzt ist.

Die Möglichkeiten, mit einer Pfortnerung das Kfz-Verkehrsaufkommen in Fahrtrichtung Westen zu verstetigen oder gar zu reduzieren sind entsprechend begrenzt.

- Eine „starke“ Pfortnerung mit der Folge von räumlichen Verkehrsverlagerungen kann nicht erfolgen, da keine geeigneten Alternativrouten zur Verfügung stehen.
- Eine „sanfte“ Pfortnerung gestaltet sich schwierig, da sich in Fahrtrichtung Westen der Schützenallee-Tunnel nahe der Luftmessstation befindet und ein längerer tunnelfreier Streckenabschnitt erst östlich des Kappler Knotens vorhanden ist.

Am geeignetsten erscheint der Standort östlich des Kappler Knotens (Variante 3). Bei einer Pfortnerung an diesem Standort werden Rückstaus in den Tunneln der B31 vermieden. Außerdem können bei einer Pfortnerung an diesem Standort Ausweichverkehre durch begleitende Maßnahmen wirkungsvoll vermieden werden. Die Wirkungen in Bezug auf die Verstetigung des Kfz-Verkehrsaufkommens einer dortigen Pfortneranlage können jedoch erst auf der genaueren Betrachtungsebene der Mikrosimulation ermittelt werden.

4.2.2 Maßnahme „Optimierung Lichtsignalanlagen“

Die Maßnahme „Optimierung Lichtsignalanlagen“ zielt darauf ab, die Lichtsignalanlagen im Verlauf der B31 zwischen dem Schützenallee-Tunnel und der Kronenbrücke so zu steuern, dass ein möglichst guter Verkehrsfluss des Kfz-Verkehrs auf der B31 mit möglichst wenigen Haltevorgängen entsteht. Dabei wird vor allem der Abschnitt der komplexen Knotenpunkte zwischen der Schwabentorbrücke und der Kronenbrücke betrachtet.

Die Möglichkeiten der Optimierung des Verkehrsflusses im Zuge der B31 wurden bereits im Rahmen einer Verkehrsuntersuchung der Dr. Brenner Ingenieurgesellschaft untersucht [9]. Dabei wurden keine wesentlichen Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert.

Die Signalanlagen im Verlauf der B31 sind grundsätzlich aufeinander abgestimmt. Durch Rückstauschleifen erfolgt jeweils eine Zuflussdosierung, um ein Blockieren der großen Knotenpunkte an den Dreisambrücken zu vermeiden.

Die verkehrsabhängige Steuerung räumt der Stadtbahn nur eine begrenzte Bevorrechtigung ein. Zu Gunsten des Verkehrs auf der B31 werden die Stadtbahnen im Wesentlichen nur innerhalb der Zeitfenster des Querverkehrs freigeschaltet. Obwohl gegenüber anderen Straßen in Freiburg hier der Bevorrechtigungsgrad deutlich eingeschränkt ist, ergeben sich durch die Anforderungen der Stadtbahn sehr unterschiedliche Freigabezeiten für die Hauptströme auf der B31. Die Koordination der Hauptrichtung auf der B31 wird dadurch aufgeweicht.

Zusätzlich zur Stadtbahn bestehen in den Nebenrichtungen vielfältige weitere Ansprüche. Dies betrifft den Kfz-Verkehr – für den die kurzen Aufstellflächen zwischen den Teilknoten nördlich und südlich der Dreisam problematisch sind – ebenso wie die Radfahrer und Fußgänger, deren längere Räumzeiten zu berücksichtigen sind.

Bsp. Kaiserbrücke Nord:

Die Hauptrichtung der B31 hat pro Umlauf (ca. 90s) etwa 30s Freigabe. Dies reicht mit den vorhandenen 3 Geradeausfahrstreifen grundsätzlich aus, um die Kfz-Verkehrsstärken auch während der Spitzenstunden abzuwickeln, sofern ein kontinuierlicher Zufluss erfolgt und der Abfluss gewährleistet ist.

Im Falle einer Stadtbahnanforderung sind die Freigabezeiten jedoch u.U. erheblich kürzer. Dann entstehen Rückstaus, die jedoch in der Regel nach kurzer Zeit wieder abgebaut werden. Die Freigabezeiten der Querrichtungen können nicht wesentlich gekürzt werden, da kurze Aufstellflächen für den Kfz-Verkehr auf der Kaiserbrücke sowie Räumzeiten für Radfahrer und Fußgänger berücksichtigt werden müssen. Die verschiedenen Nutzungsansprüche sind in Abb. 4-5 grafisch dargestellt. Die Hauptrichtung wurde hierbei sowohl in der Grafik, als auch in der nachfolgenden Tabelle **rot** gekennzeichnet.

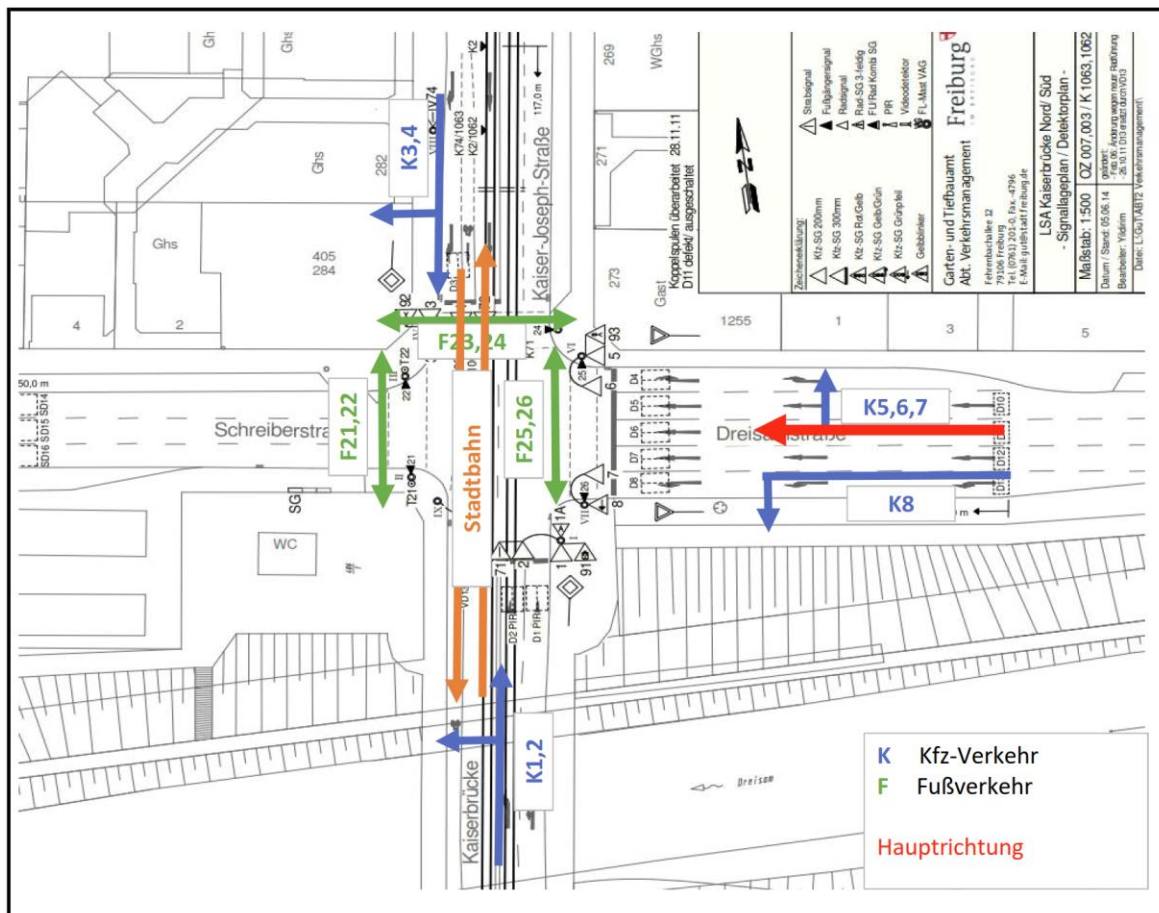


Abb. 4-5: Nutzungsansprüche Kaiserbrücke Nord.

In Tab. 4.1 ist ein beispielhafter Auszug der Freigabezeitverteilung dargestellt. Zudem sind die mittleren Freigabezeiten angegeben. Die mittleren Freigabezeiten wurden mit Hilfe des mikroskopischen Verkehrsmodells (Bestand Vormittag) ausgewertet. Hierbei wurden zwei Szenarien unterschieden. Zum einen wurde der Knotenpunkt im Gesamtsystem betrachtet, zum andern wurde er einzeln betrachtet (alle anderen Lichtsignalanlagen wurden deaktiviert).

Hierbei wurde deutlich, dass der Knotenpunkt einzeln betrachtet eine höhere Freigabezeit für die Haupttrichtung aufweist als sie im Bestand (Gesamtsystem) erreicht wurde. Es ist zu beobachten, dass der Verkehrsablauf an diesem Knotenpunkt bei einer isolierten Betrachtung des Knotenpunktes merklich besser funktioniert als im Gesamtkontext.

Bsp. Schwabentorbrücke Nord:

Die Hauptrichtung der B31 hat mit ca. 42s eine vergleichsweise lange Freigabezeit, die üblicherweise ausreicht, mit den beiden Geradeausfahrtstreifen den Verkehr auch zu den Spitzenstunden abzuwickeln.

Durch die Stadtbahnbevorrechtigung sowie die Zuflussdosierung durch Rückstauschleifen sind jedoch z.T. auch sehr lange Rotphasen (von bis zu 90s) zu beobachten. Dadurch entstehen hier zu Spitzenzeiten immer wieder kurzzeitig längere Rückstaus, die sich jedoch auch immer wieder abbauen.

Die verschiedenen Nutzungsansprüche sind in Abb. 4-6 dargestellt, eine beispielhafte Freigabezeitenverteilung in Tab. 4.2. Auch hier kann bei dem Vergleich zwischen der Betrachtung des Knotenpunktes im Gesamtsystem oder als einzelner Knotenpunkt festgestellt werden, dass die Freigabezeit für die Hauptrichtung im Gesamtsystem geringer ausfällt. Dies zeigt die den Zufluss dosierende Wirkung der Rückstauschleifen.

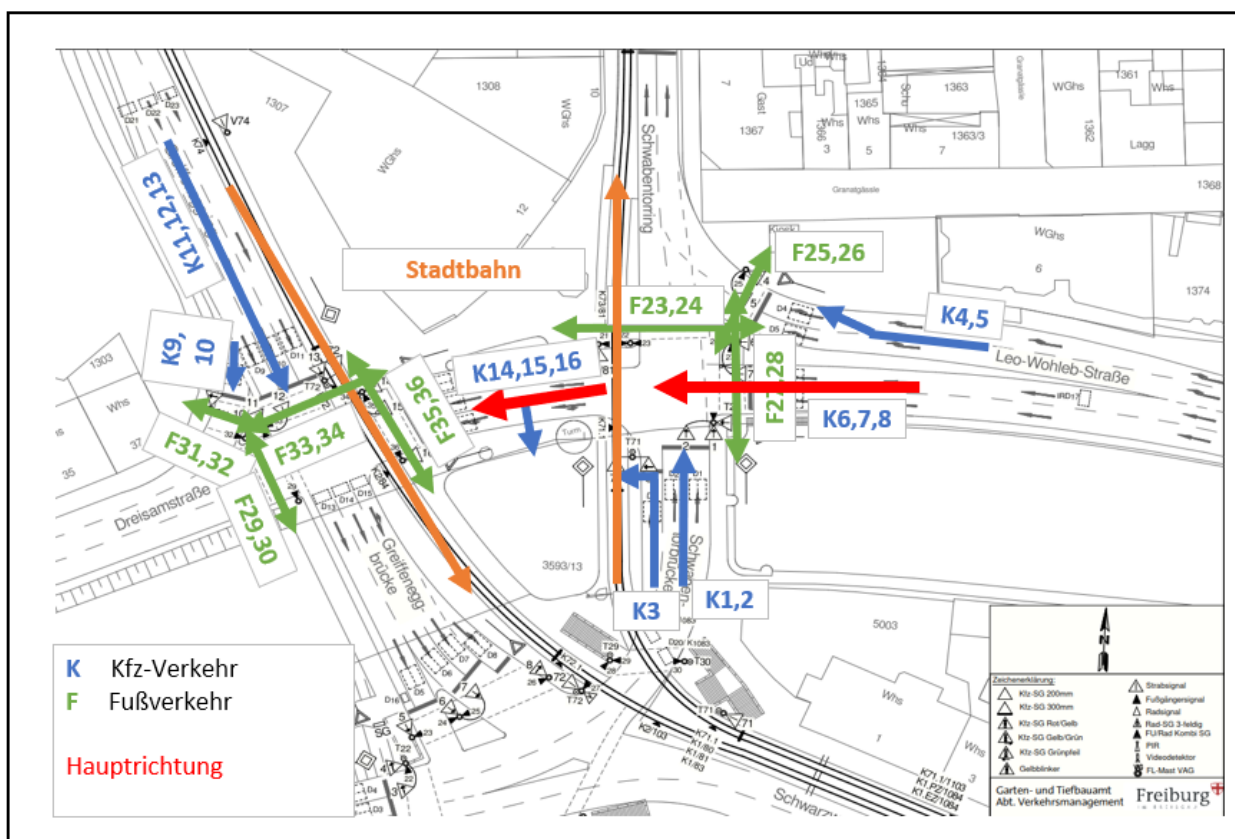


Abb. 4-6: Nutzungsansprüche Schwabentorbrücke Nord.

Die Freigabezeiten auf der Hauptrichtung der B31 sind grundsätzlich aufeinander abgestimmt, unter Berücksichtigung der jeweiligen Verkehrsstärke und Fahrstreifenanzahl. Probleme im Verkehrsablauf treten dort auf, wo die Auslastung der Fahrstreifen am höchsten ist. Dies bedeutet, dass die Verlängerung von Freigabezeiten in der Hauptrichtung an einzelnen Knotenpunkten zu Problemen an nachfolgenden Knotenpunkten führt.

Eine Verbesserung des Verkehrsablaufs auf der Hauptrichtung der B31 ist daher nur möglich, wenn das Gesamtsystem mehr Kapazität erhält. Also müssten entsprechende Verlängerungen der Freigabezeit an allen Knotenpunkten gleichermaßen umgesetzt werden.

Ein möglicher Ansatz könnte sein, die Freigabezeit nur am jeweils letzten Knotenpunkt (d.h. an der Kronenbrücke in Fahrtrichtung Westen und an der Schwabentorbrücke bzw. Talstraße in Fahrtrichtung Osten) zu verlängern, um jeweils einen reibungslosen Abfluss am letzten städtischen Knotenpunkt zu gewährleisten. Dadurch könnte ggf. erreicht werden, dass die Rückstaudetektoren seltener anschlagen und an den davorliegenden Knotenpunkten mehr Freigabezeit für die Hauptrichtung der B31 gewährt werden kann. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die nördlich und südlich der Dreisam gelegenen Teilknoten jeweils zusammenhängend betrachtet werden müssen, so dass der Gestaltungsspielraum voraussichtlich gering ist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aufgrund des komplexen Zusammenspiels der benachbarten (Teil-)Knotenpunkte sowie der verschiedenen Verkehrssysteme nur relativ wenig Potenzial bzgl. der Optimierung der Signalsteuerung besteht:

- Die Bevorrechtigung der Stadtbahn soll nicht noch weiter eingeschränkt werden. Eine völlige Aufgabe der Stadtbahnbevorrechtigung würde voraussichtlich ohnehin keine spürbare Verbesserung für den Kfz-Verkehr auf der B31 bewirken.
- Radfahrer und Fußgänger sollen weiterhin an allen Furten queren können und in jedem Umlauf „Freigabe“ erhalten. Dabei müssen Mindestfreigabezeiten und Räumzeiten berücksichtigt werden.
- Der Kfz-Verkehr in den Nebenrichtungen muss – insbesondere angesichts der kurzen Aufstellflächen auf den Dreisambrücken – abgewickelt werden, ohne dass er die Hauptrichtungen durch Rückstaus beeinträchtigt.

Einer starken Bevorrechtigung der Hauptrichtung der B31 ist somit zum einen aus signaltechnischer Sicht Grenzen gesetzt.

Zum anderen würde eine Benachteiligung des ÖPNV sowie der Radfahrer und Fußgänger gegebenenfalls zu modalen Verlagerungen führen. Dies würde ggf. zu einem höheren Kfz-Verkehrsaufkommen auf der B31 – und somit zu einer Verschlechterung hinsichtlich des Verkehrsablaufs und zu höheren Emissionen – führen. Darüber hinaus könnte eine durch

Kapazitätserweiterung ausgelöste Verflüssigung des Verkehrs auf der B31 zu räumlichen Verkehrsverlagerungen (z.B. vom Schlossbergring auf die B31) führen. Durch den nachrückenden Kfz-Verkehr könnte der Verflüssigungseffekt allerdings wieder kompensiert werden, dann allerdings mit höheren Kfz-Verkehrsstärken und entsprechend höheren Emissionen.

Die konkreten Möglichkeiten der Optimierung der LSA-Steuerung werden im Rahmen der Mikrosimulation (vgl. Kapitel 5) genauer geprüft.

Im Zuge der Mikrosimulation wird sich außerdem herausstellen, ob der Neubau der Kronenbrücke – und die damit verbundene Verlagerung der Stadtbahnlinie 5 – sich vorteilhaft oder nachteilhaft auf den Verkehrsablauf auswirkt.

4.2.3 Maßnahme „Tempolimit“

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit innerhalb geschlossener Ortschaften liegt laut Straßenverkehrsordnung (§3 StVO) für alle Kfz bei 50 km/h. Die Straßenverkehrsbehörde kann die zulässige Höchstgeschwindigkeit jedoch zum Schutz der Wohnbevölkerung vor Lärm und Abgasen verringern (Verkehrsbeschränkung nach §45 StVO).

Nachdem Temporeduzierungen auf Nebenstraßen in fast allen Gemeinden üblich sind, dehnen inzwischen immer mehr Kommunen diese Maßnahme auch auf Hauptverkehrsstraßen aus. Zielsetzung sind dabei eine bessere Luftreinhaltung, Lärmschutz, Verkehrssicherheit und eine höhere Stadtverträglichkeit des Verkehrs. Nach einer Untersuchung des Umweltbundesamtes [10] haben beispielsweise die bestehenden Tempo-30-Regelungen an Hauptverkehrsstraßen überwiegend positive Wirkungen. Die „Auto-Mobilität“ (Leistungsfähigkeit an Knotenpunkten, Reisezeitverluste) wird dabei nicht übermäßig eingeschränkt.

Aus Gründen des Lärmschutzes ist in Freiburg auf dem Abschnitt der B31 zwischen der Kronenbrücke und dem Schützenalleetunnel bereits im Bestand nachts die Regelung „Tempo 30“ umgesetzt.

Ohnehin ist der Verkehrsfluss auf der B31 zu den Hauptverkehrszeiten überwiegend gebunden, Geschwindigkeiten von über 30 km/h werden meistens nur auf sehr kurzen Abschnitten (s. Kapitel 3.4) erreicht.

Der Ansatz der Temporeduzierung zielt daher in erster Linie darauf ab, den Verkehrsablauf zu verstetigen – und weniger darauf, die Geschwindigkeiten zu reduzieren. Durch das Vermeiden von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen soll zum einen die Leistungsfähigkeit verbessert werden (insb. durch geringere Abstände zwischen den Fahrzeugen). Zum anderen sollen dadurch Emissionen reduziert werden.

Mögliche Varianten für Geschwindigkeitsreduzierungen sind:

- Variante 1: tagsüber Geschwindigkeitsreduzierung auf dem Teilabschnitt zwischen Schützenalleetunnel und Schwabentorbrücke (im Bereich der Luftmessstation);
- Variante 2: tagsüber Geschwindigkeitsreduzierung auf dem Teilabschnitt zwischen Schwabentorbrücke und Kronenbrücke (im Bereich der Innenstadt);
- Variante 3: tagsüber Geschwindigkeitsreduzierung auf dem gesamten Abschnitt zwischen Schützenalleetunnel und Kronenbrücke.

Bei den einzelnen Varianten besteht jeweils die Möglichkeit, die Geschwindigkeit auf 40 km/h oder auf 30 km/h zu verringern.

Im Zuge der Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit auf der B31 sind Verlagerungen auf das nachgeordnete Straßennetz zu vermeiden. Die Maßnahmen sind daher immer im Netzzusammenhang, insbesondere mit parallel verlaufenden Alternativstrecken, zu betrachten.⁴ Letztlich sollte die Attraktivität für den Durchgangsverkehr auf der B31 gewahrt bleiben

Variante 1:

Die Geschwindigkeitsreduzierung nur in diesem Teilabschnitt zwischen Schützenalleetunnel und Schwabentorbrücke lässt sich unter dem Gesichtspunkt der Netzgestaltung bzw. Begreifbarkeit des Straßennetzes (Lage etwas abseits der Innenstadt) nicht logisch ableiten. Sie ist ausschließlich auf den Standort der Luftmessstation ausgerichtet. Dies könnte sich problematisch auf die Akzeptanz – insbesondere stadtauswärts in Fahrtrichtung Osten – auswirken.

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass es zu keinen Verkehrsverlagerungen in die Kartäuserstraße und die Talstraße als nachgeordnete Parallelstraßen kommt.

Variante 2:

Die Geschwindigkeitsreduzierung auf diesem Abschnitt ist in Punkto Netzgestaltung logischer, da sie im Bereich der Innenstadt angesiedelt ist. Auf diesem Abschnitt weist die B31 den

⁴ Mit Hilfe des vorliegenden makroskopischen Verkehrsmodells der Stadt Freiburg wurde ermittelt, auf welchen Alternativstrecken möglicherweise mit Verkehrsverlagerungen zu rechnen ist und demnach ggf. Begleitmaßnahmen zu erwägen sind.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Maßnahme „Temporeduzierung“ angesichts der bereits im Bestand gemessenen relativ geringen Geschwindigkeiten in erster Linie auf eine Verstetigung des Verkehrsablaufs und nicht auf eine Verringerung der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten abzielt.

So waren selbst bei der bereits angeordneten nächtlichen Geschwindigkeitsbeschränkung entlang der B31 auf 30 km/h keine nennenswerten Verkehrsverlagerungen feststellbar, obwohl hier tatsächlich das Geschwindigkeitsniveau merklich gesenkt wurde.

Charakter einer städtischen Hauptverkehrsstraße (mit einseitig dicht angrenzender Bebauung und straßenbegleitendem Parken) auf.

Für den betreffenden Abschnitt der B31 steht mit der Route „Schlossbergring – Leopoldring – Friedrichring“ für manche Verkehrsbeziehungen eine Alternative zur Verfügung. Dementsprechend könnten räumliche Verlagerungen auf diese Relation die Folge sein.

Variante 3:

Die Geschwindigkeitsbeschränkung über den gesamten Abschnitt zwischen dem Schützenalleeetunnel und der Kronenbrücke ist unter dem Aspekt der Netzgestaltung am sinnvollsten. Sie erstreckt sich über den gesamten innerstädtischen Bereich der B31, in dem sie als städtische Hauptverkehrsstraße – mit den damit verbundenen vielfältigen Nutzungsansprüchen – gestaltet ist. Die räumliche Ausdehnung der Maßnahme wäre identisch mit der bestehenden nächtlichen Geschwindigkeitsbeschränkung aus Lärmschutzgründen und damit am leichtesten begreifbar und vermittelbar.

Bei Variante 3 erstreckt sich die Maßnahme über die längste Strecke, so dass Schleichverkehre auf parallelen Strecken – insbesondere wie auch bei Variante 2 auf den Schlossbergring – am ehesten zu erwarten sind. Sollten sich entsprechende Verkehrsverlagerungen tatsächlich einstellen, können geeignete flankierende Maßnahmen (z.B. durchgängig Tempo 30 auf dem „Innenstadtring“) ergriffen werden.

Die Maßnahme des Tempolimits entspricht grundsätzlich der Zielsetzung der Stadt Freiburg, den Verkehr stadtverträglich abzuwickeln. Sie dient der Verkehrssicherheit und begünstigt den „Langsamverkehr“, also Radfahrer und Fußgänger.

Angesichts der Erkenntnisse aus den Messfahrten ist davon auszugehen, dass die negativen Auswirkungen für den Kfz-Verkehr (insb. Reisezeitverluste) vergleichsweise gering sein werden. Durch die Maßnahme wird voraussichtlich eher eine Verstetigung des Verkehrsflusses erreicht, indem Beschleunigungs- und Bremsvorgänge verringert werden. Ein homogenerer Verkehrsablauf könnte sogar zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit – und somit zu einer Verringerung der Fahrzeughalte führen. Dem entgegen wirken könnte das Erfordernis von etwas längeren Räumzeiten an den Knotenpunkten. Grundsätzlich ist die Koordination des durchgängigen Kfz-Verkehrs auf der B31 an die Temporeduzierung anzupassen. Im Zuge der nächtlichen Geschwindigkeitsreduzierung auf Tempo 30 wurde dies von der Stadt Freiburg bereits erfolgreich umgesetzt.

Räumliche Verkehrsverlagerungen – insbesondere auf das nachgeordnete Straßennetz – sind angesichts der bereits im Bestand eher geringen Geschwindigkeiten relativ unwahrscheinlich. Sofern räumliche Verlagerungen in erheblichem Umfang auftreten, sind geeignete flankierende

Maßnahmen (z. B. geschwindigkeitsdämpfende Gestaltung an Knotenpunkten oder wechselseitiges Parken) zu ergreifen. Für die spätere Mikrosimulation wird zunächst davon ausgegangen, dass die räumlichen Verlagerungen dadurch vermieden werden.

4.2.4 Fazit der Potentialanalyse

Die B31 ist eine Hauptverkehrsstraße mit überregionaler Verkehrsbedeutung, die in hohem Maße auf eine leistungsfähige Abwicklung des Kfz-Verkehrs ausgelegt ist. Sie ist östlich und westlich des Untersuchungsgebietes planfrei ausgebaut, anbaufrei und verläuft in Tunnellage oder vergleichsweise weit abgerückt von der Randbebauung mit störungsempfindlichen Nutzungen (wie Wohnen, Schulen, Kindergärten, Seniorenheime, Krankenhäuser, ...). Sie verträgt daher dort grundsätzlich hohe Kfz-Verkehrsstärken.

Im Untersuchungsgebiet weist die B31 dagegen einen völlig anderen Charakter – als städtische Hauptverkehrsstraße – mit vielfältigen anderen Nutzungsansprüchen (Stadtbahn, Rad- und Fußverkehr, Straßenrandparken) auf. Hier sind die hohen Kfz-Verkehrsstärken problematisch – sowohl in Bezug auf den Verkehrsablauf als auch in Bezug auf die verkehrsbedingten Emissionen (Luftschadstoffe, Lärm, Erschütterungen).

Durch die Überlagerung der Kfz-Verkehrsströme der B31 sowie des Schlossbergrings, der Talstraße und der Schwarzwaldstraße ist der Abschnitt im Umfeld der Luftmessstation der verkehrlich am höchsten belastete Abschnitt der B31 in Freiburg.

Eine stadtverträgliche Verlagerung von Kraftfahrzeugen von der B31 auf andere Straßen ist im Umfeld der Luftmessstation nicht möglich, da keine geeigneten Alternativen zur Verfügung stehen.

Ziel muss es stattdessen sein, den Kfz-Verkehr auf der B31 durch eine Kombination verkehrlicher Maßnahmen (Pförtnerung, Optimierung der Lichtsignalanlagen, Tempolimit) möglichst weitgehend zu verstetigen. In welchem Maße dies gelingt, lässt sich angesichts des komplexen innerstädtischen Umfeldes und den vielfältigen verkehrlichen Nutzungsansprüchen und Wechselwirkungen im Rahmen der Potenzialanalyse nicht quantifizieren. Eine verkehrliche Quantifizierung erfolgt im Rahmen der detaillierten Untersuchung des Maßnahmenprogramms (vgl. Kap. 5) per mikroskopischer Simulation mit dem Programm VISSIM.

Da der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Osten vergleichsweise gut ist, betrifft die Verstetigung in erster Linie den Verkehr in Fahrtrichtung Westen. Das Potenzial besteht darin, in Fahrtrichtung Westen den gleichen Verkehrsfluss wie in der Gegenrichtung zu erreichen. Für den besseren Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Osten ist v.a. die bestehende Pförtnerwirkung am Knotenpunkt „Kronenbrücke“ verantwortlich. Aufgrund der erschwerten Bedingungen für die Pförtnerung in Fahrtrichtung Westen wird der gleiche Effekt jedoch möglicherweise nicht (ganz) zu erreichen sein.

Merklich darüber hinausreichende Verbesserungen könnten nur auf Kosten unzumutbarer Beeinträchtigungen anderer Freiburger Straßen (räumliche Verlagerungen auf parallel verlaufende Straßen, aber auch Störungen auf zulaufenden Querstraßen bei Umverteilung der Freigabezeit) oder auf Kosten erheblicher Benachteiligungen der anderen – weniger bzw. keine Emissionen verursachenden – Verkehrsteilnehmer (ÖPNV-Nutzer, Radfahrer und Fußgänger) erreicht werden.

4.3 Potenzialanalyse Emission

4.3.1 Ansatz

Die Emissionsberechnung im Rahmen der Potenzialanalyse basiert auf den Auswertungen der Messfahrten mit dem Modell PHEM an der TU Graz. Dabei werden warme NO_x-Emissionen (ohne Kaltstartzuschläge) berechnet. Eine genauere Analyse inklusive des Kaltstart-Einflusses erfolgt in Kapitel 6 im Rahmen der detaillierten Emissionsberechnung für die Maßnahmen.

4.3.2 Verkehrsstärken

Die zur Emissionsberechnung erforderlichen Verkehrsstärken wurden aus dem Verkehrsmodell übernommen (s. Abschnitt 3.2). Da die dort betrachteten Abschnitte kürzer sind als die für die Auswertung der Messfahrten gewählten Abschnitte, wurden die Modell-Abschnitte geeignet zusammengefasst und gemittelt.

Außerdem wurden die Werte vom Werktagsverkehr (DTV_w) in Jahresverkehr (DTV) umgerechnet. Die dazu erforderlichen Umrechnungsfaktoren wurden, differenziert nach Fahrzeugkategorien, aus den Werten der Dauerzählstelle der LUBW an der Schwarzwaldstraße (s. Abb. 3-3) für 2015 abgeleitet. Es ergaben sich für das Verhältnis von DTV zu DTV_w folgende Werte: Pkw: 0,97, INfz: 0,86, sNfz: 0,80.

Die resultierenden jahresmittleren durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken und die zugehörigen Anteile der Fahrzeugkategorien für das Basisjahr 2015 sind in Tab. 4.3 ausgewiesen.

Tab. 4.3: Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und zugehörige Anteile der Fahrzeugkategorien für den Bestand 2015.

		Ri. Osten		Ri. Westen		Querschnitt	
		Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 1	Abschnitt 2
Pkw	Anzahl	18.668	21.449	18.367	22.352	37.035	43.801
	Anteil	86%	86%	88%	89%	87%	87%
INfz	Anzahl	1.578	1.800	937	1.278	2.514	3.078
	Anteil	7%	7%	5%	5%	6%	6%
sNfz	Anzahl	1.561	1.653	1.480	1.531	3.041	3.183
	Anteil	7%	7%	7%	6%	7%	6%
Kfz	Anzahl	21.807	24.901	20.783	25.161	42.591	50.062
	Anteil	100%	100%	100%	100%	100%	100%

4.3.3 Flottenzusammensetzung Bestand 2015 und Trend bis 2022

Im Modell PHEM der TU Graz wurden für alle Messfahrten für jede Fahrzeugschicht einzeln Emissionen berechnet. Diese wurden entsprechend der lokalen Flottenzusammensetzung in Freiburg gemittelt.

In HBEFA sind zur Ermittlung der Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie typische bundesmittlere Flottenzusammensetzungen für Autobahnen, Außerortsstraßen oder Innerortsstraßen hinterlegt. Da sich die Flottenzusammensetzung, insbesondere für die Pkw und INfz, regional von der bundesmittleren Flottenzusammensetzung unterscheiden kann, wurde für die Pkw und INfz im Rahmen der vorliegenden Untersuchung die regionale Flottenzusammensetzung für den Zulassungsbezirk Freiburg berücksichtigt (übernommen aus [11]). Diese wurde aus der Zusammensetzung des gemeldeten Kfz-Bestands, differenziert nach Fahrzeugschichten, abgeleitet.

Um den für Freiburg in den betrachteten Bezugsjahren repräsentativen statischen Kfz-Bestand entsprechend der Bestandsschichtung der vorhandenen Schichtemissionsfaktoren einteilen zu können, wurden in [11] die Bestandsdaten aus einer Sonderauswertung zum 01.01.2015 des Kraftfahrtbundesamtes (KBA), gegliedert nach Fahrzeugkategorie, Antriebsart, Emissionsschlüssel, Hubraum, Gewichtsklasse und Jahr der Erstzulassung, für das Land Baden-Württemberg (auf Kreisebene) herangezogen. Die standardmäßig vom KBA veröffentlichten Daten enthalten diese Informationen zum größten Teil nicht.

Aus diesen Basisdaten (die differenziert nach Fahrzeugschichten pro Fahrzeugkategorie vorliegen) wurden, mittels einer Fahrleistungsgewichtung, die Flottenzusammensetzungen für Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen abgeleitet. Es wurde dabei eine Dieselpartikelfilter-Nachrüstung für Pkw und INfz Euro 3/III in Anlehnung an [12] berücksichtigt. Die resultierende Flottenzusammensetzung ist für den Zulassungsbezirk Freiburg in Tab. 4.4 aufgeführt und in Abb. 4-7 grafisch dargestellt.

Tab. 4.4: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen im Zulassungsbezirk Freiburg Stand 01.01.2015, differenziert nach Euronormstufen (aus [11]).

	Pkw				INfz				sNfz			
	2015	2018	2020	2022	2015	2018	2020	2022	2015	2018	2020	2022
Otto vor E1	0,9%	0,6%	0,5%	0,4%	0,9%	0,3%	0,1%	0,1%				
Otto E1	1,9%	1,3%	1,0%	0,8%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%				
Otto E2	3,6%	2,4%	1,8%	1,4%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%				
Otto E3	8,9%	5,0%	3,6%	2,8%	0,7%	0,2%	0,1%	0,0%				
Otto E4	24,2%	16,5%	12,9%	10,0%	2,0%	1,0%	0,7%	0,4%				
Otto E5	12,8%	12,0%	10,2%	8,2%	1,7%	1,0%	0,6%	0,4%				
Otto E6	1,8%	12,8%	19,1%	24,6%	0,1%	2,1%	2,6%	2,8%				
Ds vor E1	0,6%	0,4%	0,3%	0,3%	1,2%	0,2%	0,0%	0,0%	1,5%	0,8%	0,6%	0,4%
Ds E1	0,3%	0,2%	0,2%	0,1%	0,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,9%	0,4%	0,3%	0,2%
Ds E2	1,4%	0,9%	0,7%	0,6%	1,5%	0,3%	0,0%	0,0%	4,2%	2,1%	1,3%	0,8%
Ds E3	5,3%	3,8%	3,0%	2,3%	9,8%	3,5%	1,1%	0,3%	10,8%	6,0%	3,8%	2,4%
Ds E4	13,8%	8,7%	6,8%	5,3%	28,1%	15,9%	10,9%	6,1%	6,4%	4,0%	2,9%	1,9%
Ds E5	22,2%	19,4%	15,1%	11,1%	52,2%	47,5%	32,0%	20,1%	49,8%	28,1%	19,4%	13,6%
Ds E6	2,2%	16,0%	24,8%	32,3%	0,3%	27,8%	52,0%	69,7%	26,3%	58,5%	71,7%	80,6%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Ebenfalls dargestellt in Tab. 4.4 und Abb. 4-7 sind Trendprognosen für die Jahre 2018, 2020 und 2022. Diese wurden ausgehend von den Bestandsdaten der Pkw und der leichten Nutzfahrzeuge (INfz) 2015 analog zum Vorgehen in [11] ermittelt.

Das Emissionsverhalten von schweren Nutzfahrzeugen wird stärker vom überregionalen als vom regionalen Bestand bestimmt. Daher wurden für die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz: Lkw, LzSz (Lastzüge/Sattelzüge) und Busse) die bundesmittleren Flottenzusammensetzungen aus HBEFA3.3 für das jeweilige Bezugsjahr verwendet. Diese Daten wurden unverändert aus [11] übernommen. Buslinien der Freiburger Verkehrs AG verkehren entlang der Messstrecke nicht.

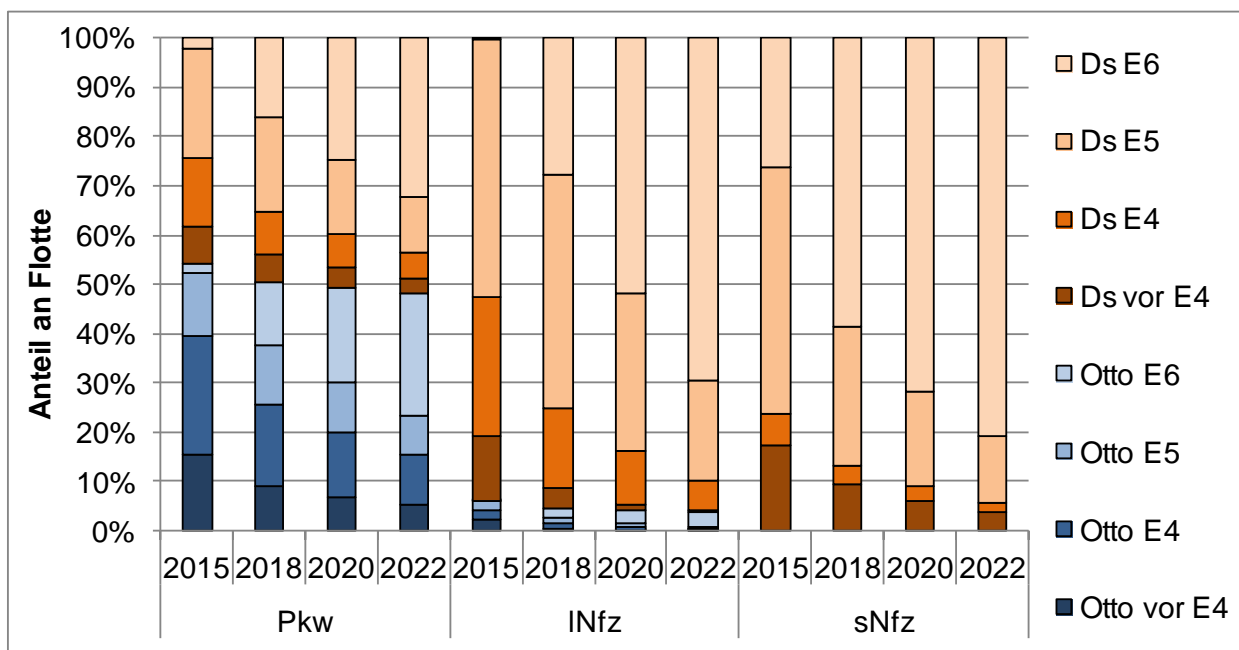


Abb. 4-7: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen im Zulassungsbezirk Freiburg Stand 01.01.2015, differenziert nach Euronormstufen (aus [11]).

4.3.4 Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren

Das Ergebnis der Flottengewichtung der Emissionsprofile sind mittlere Ganglinien für die Emissionsfaktoren (EF) der Pkw, der leichten und der schweren Nutzfahrzeuge, jeweils für beide Fahrtrichtungen. Für Pkw und sNfz sind sie in Abb. 4-8 bis Abb. 4-11 dargestellt. Die T50-Fahrten wurden zunächst für das gesamte Fahrtenkollektiv ausgewertet (dargestellt in Abb. 4-8 für die Pkw und in Abb. 4-9 für die sNfz) und dann noch einmal im Vergleich mit den T40- und T30-Fahrten für die für diesen Vergleich getroffene Auswahl.

Zur besseren Orientierung sind jeweils die mittleren Geschwindigkeiten mit eingetragen. Wie in Abschnitt 3.4.1 beschrieben, sind die der Auswertung zugrundeliegenden Fahrprofile für Pkw, INfz und sNfz identisch.

Aus diesen Bildern lässt sich Folgendes ableiten:

- Stickoxide werden vornehmlich in Beschleunigungsphasen, etwa nach einer LSA, emittiert. Hier sind die Emissionen bei Tempo 50 höher als bei Tempo 30, da im letzteren Fall die Zielgeschwindigkeit eher erreicht ist.
- Bei ungestörter Fahrt sind die Emissionen bei T30 höher als bei T50. Dies ist zum Teil ein Effekt der Gangwahl (niedrigere Emissionen bei niedrigeren Motordrehzahlen/höheren Gängen). Die Emissionsfaktoren bei Konstantfahrt sind jedoch auch im jeweils gleichen Gang bei T30 höher als bei T50.
- Die T40-Fahrten liegen häufig zwischen den T50- und den T30-Fahrten.

Aus den in Abb. 4-8 bis Abb. 4-11 dargestellten Ganglinien können pro Abschnitt und Richtung für alle drei Fahrzeuggruppen mittlere „warme“ Emissionsfaktoren für NO_x auf der Messstrecke abgeleitet werden.

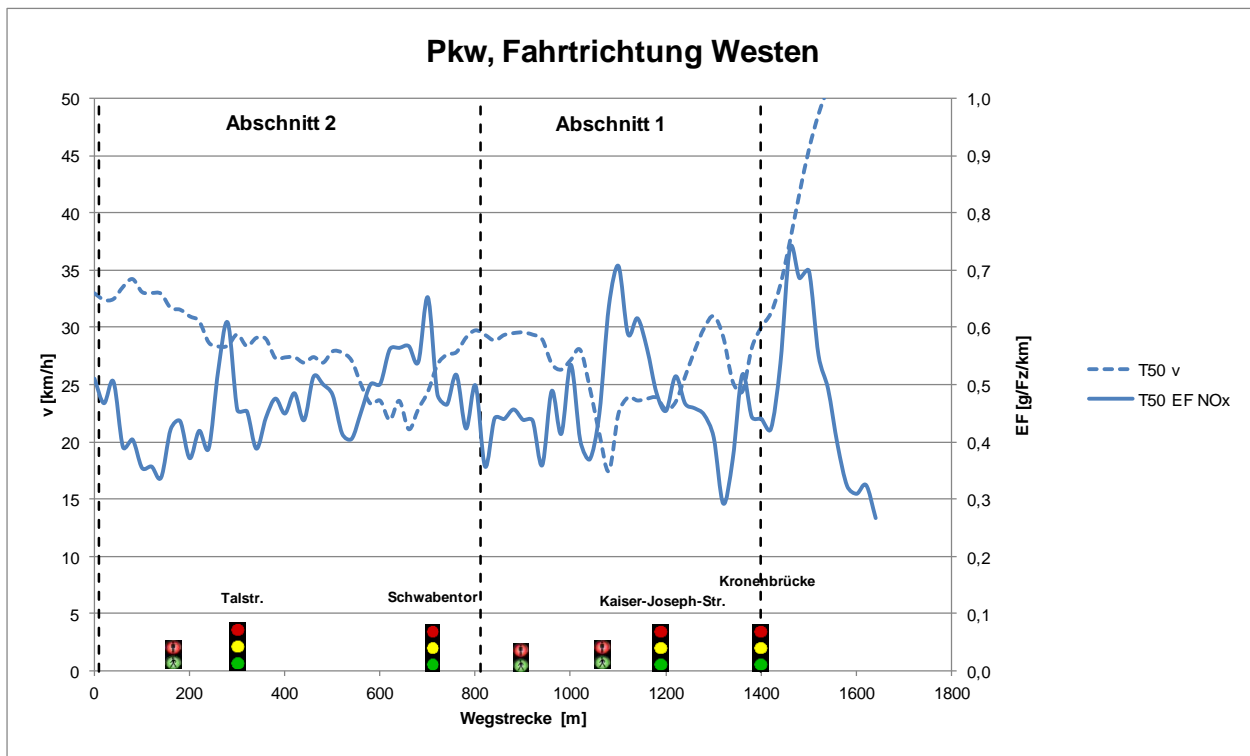
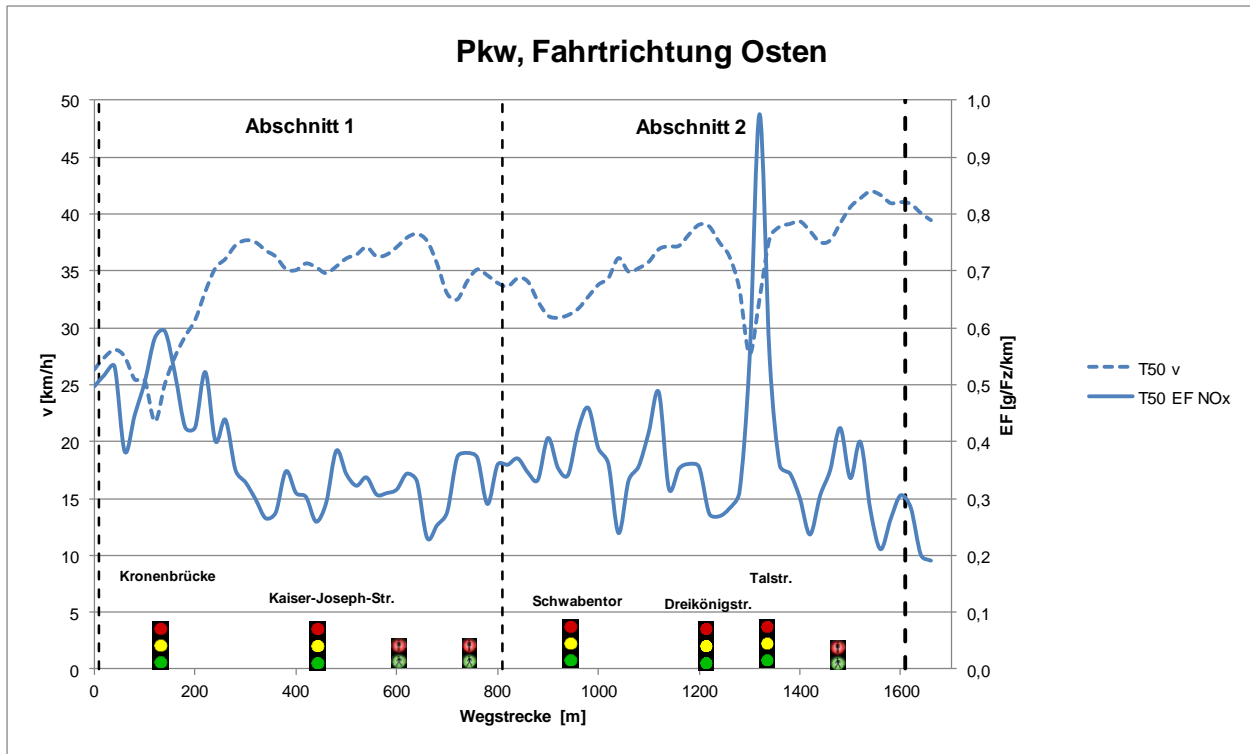


Abb. 4-8: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren Pkw-NO_x-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten; Auswertung aller Fahrprofile, Basisjahr 2015.

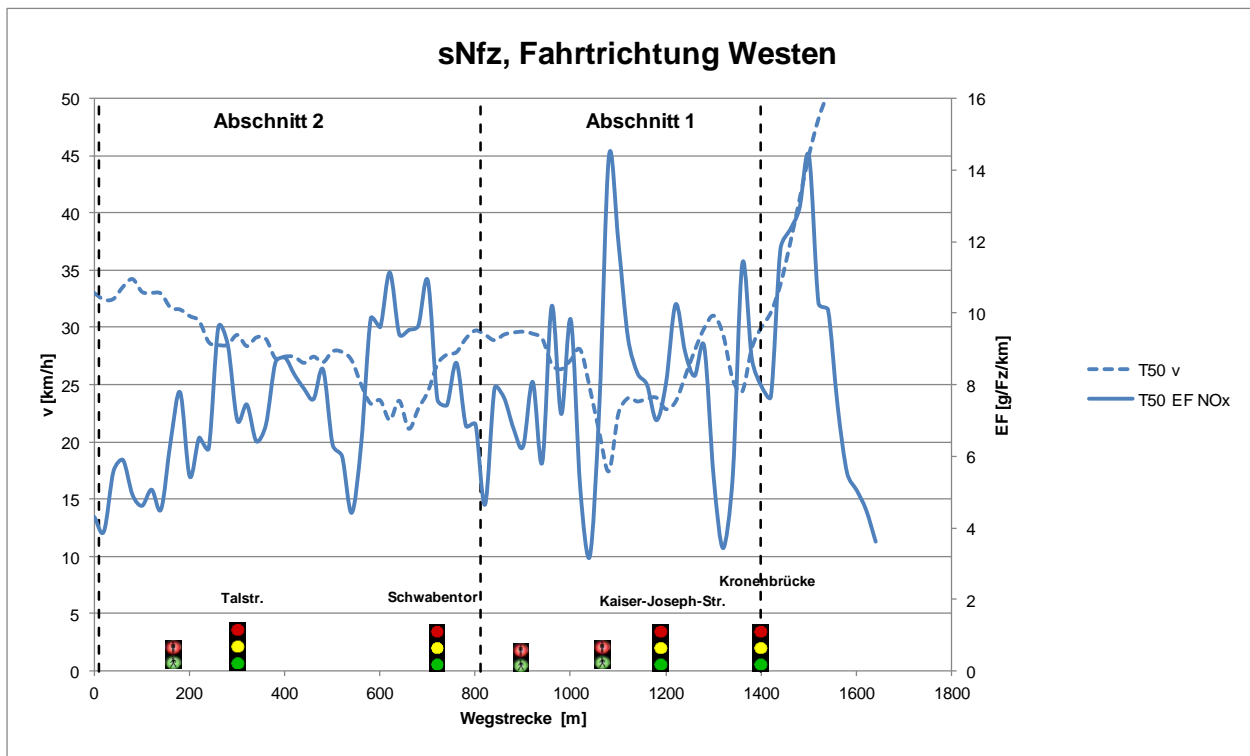
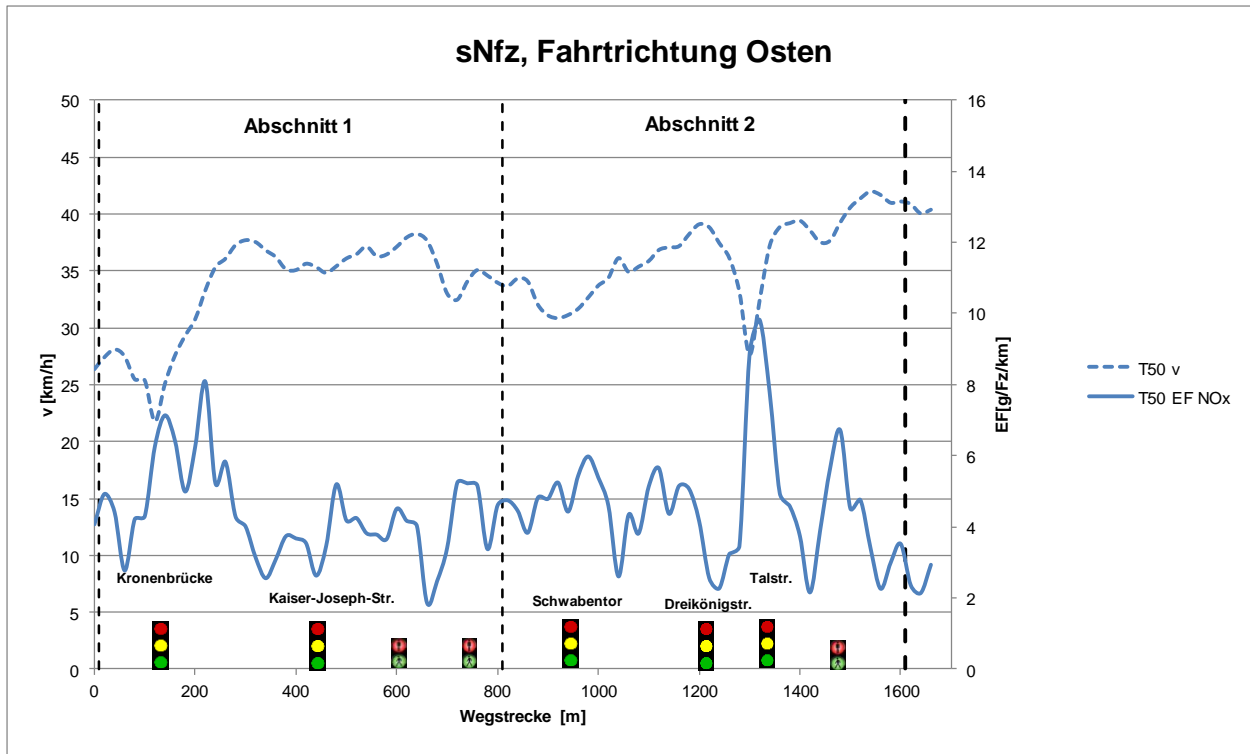


Abb. 4-9: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren sNfz-NO_x-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten; Auswertung aller Fahrprofile, Basisjahr 2015.

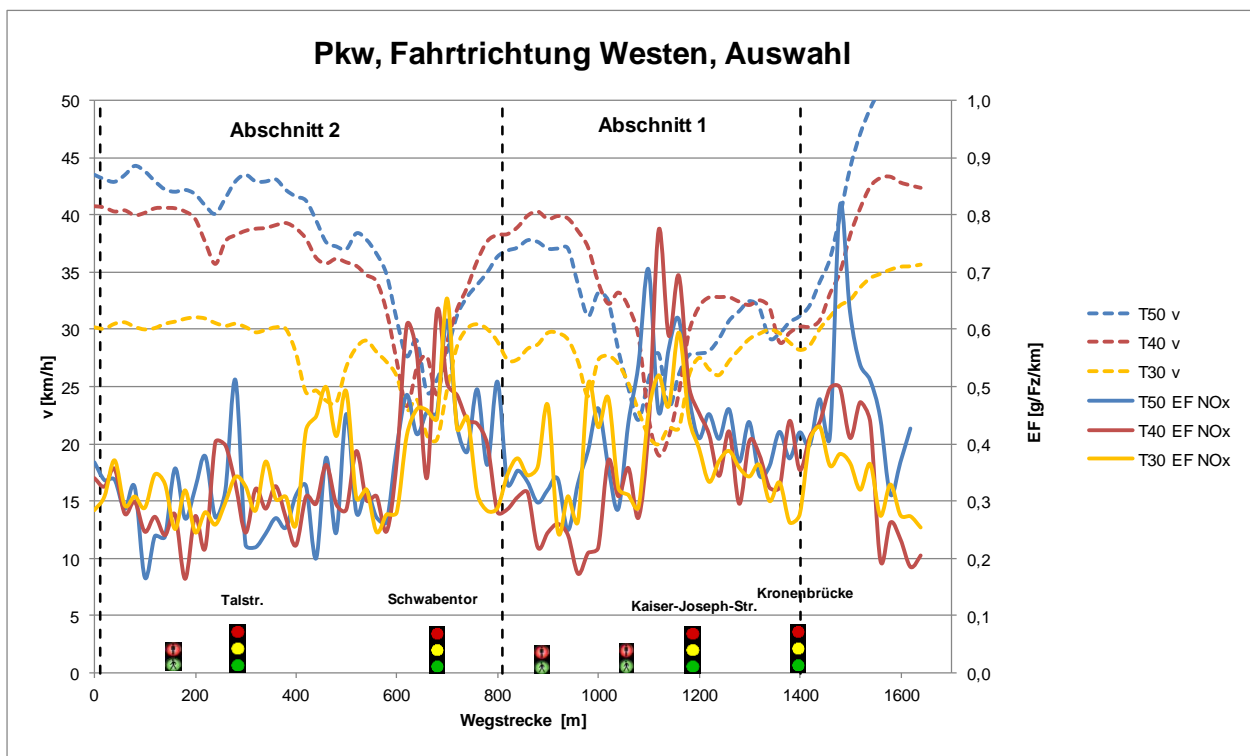
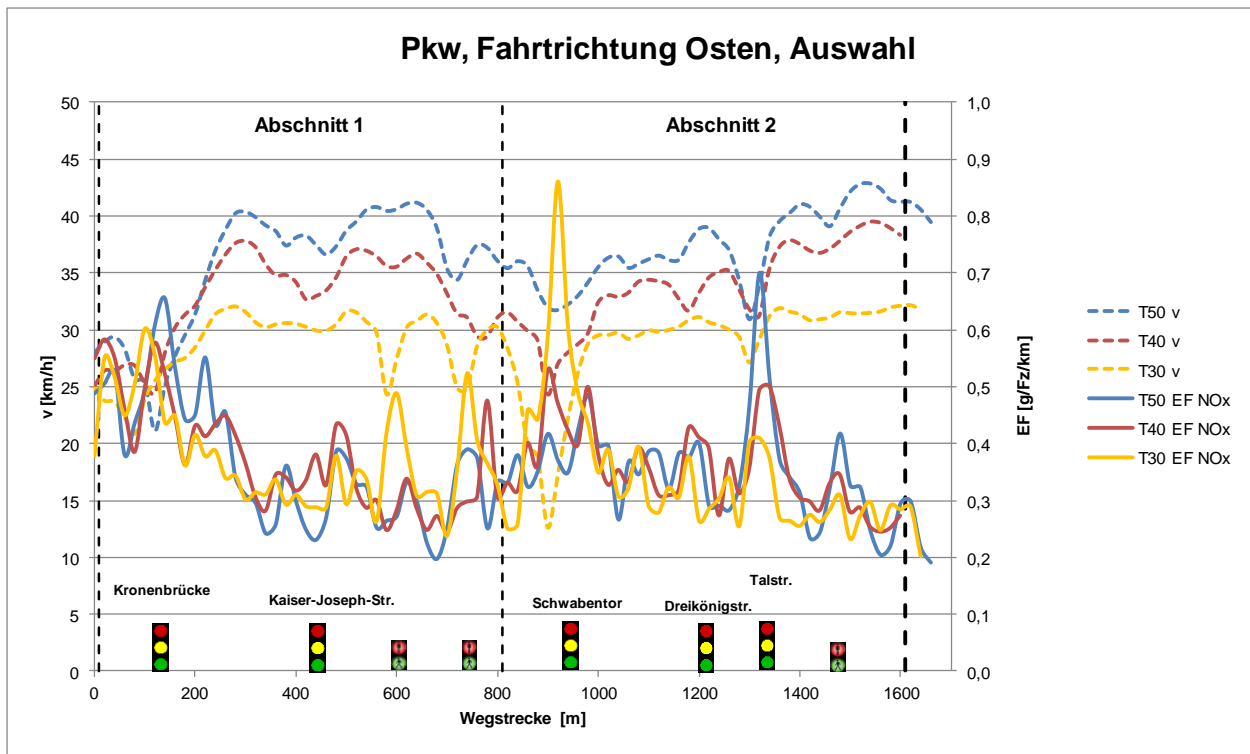


Abb. 4-10: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren Pkw-NO_x-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten, T40-Fahrten (fiktiv) und T30-Fahrten (fiktiv); Auswertung der für den Vergleich ausgewählten Fahrprofile, Basisjahr 2015.

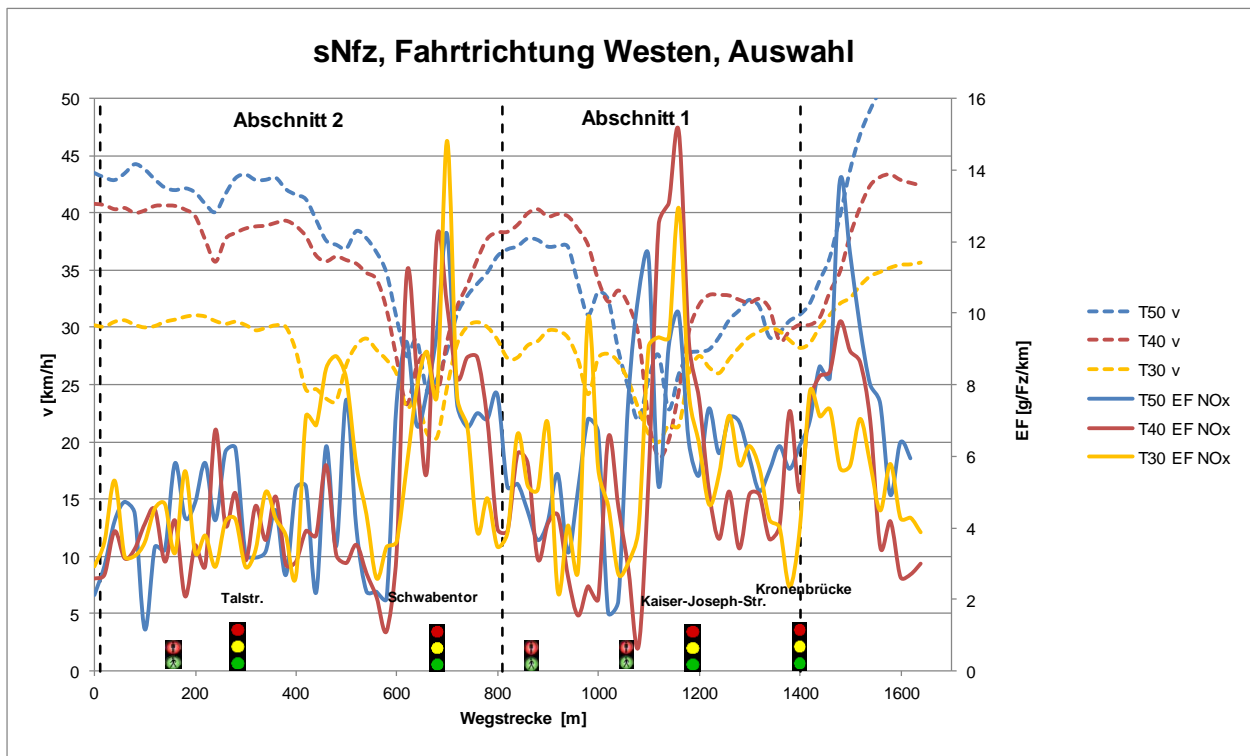
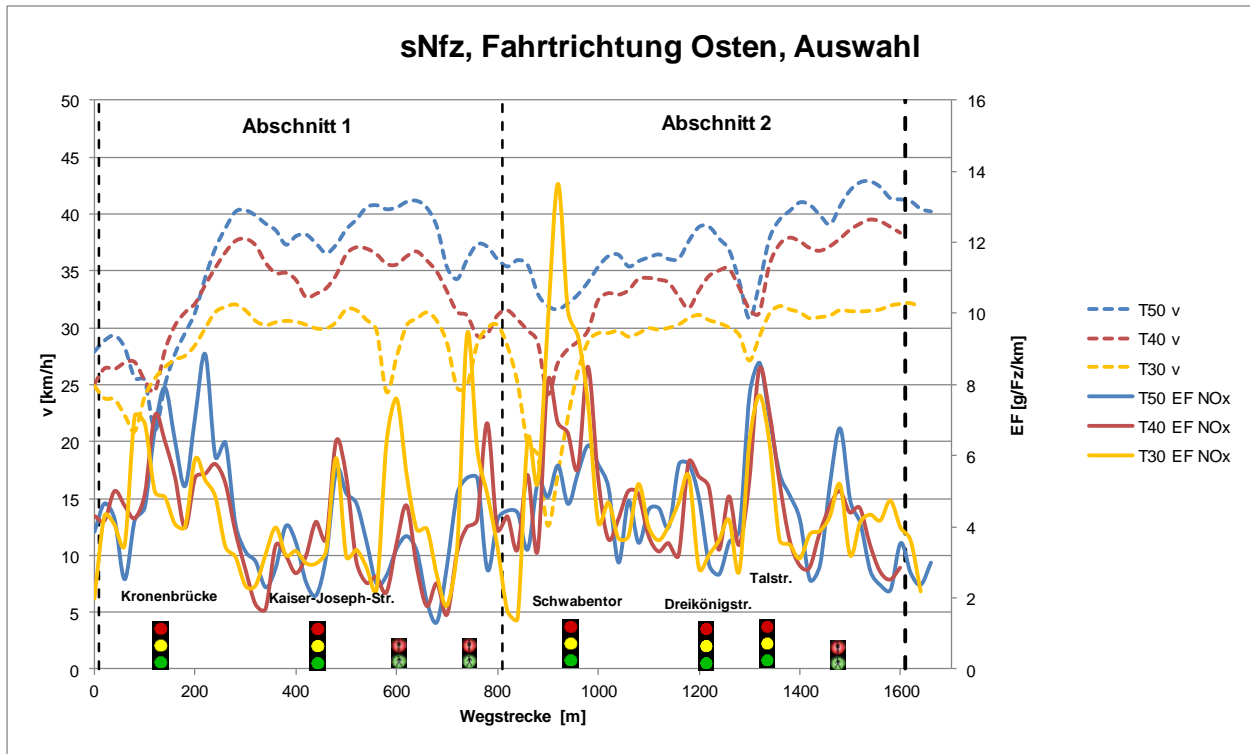


Abb. 4-11: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der mittleren sNfz-NO_x-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten, T40-Fahrten (fiktiv) und T30-Fahrten (fiktiv); Auswertung der für den Vergleich ausgewählten Fahrprofile, Basisjahr 2015.

4.3.5 Emissionen Bestand 2015 und Trend bis 2022

Mit den aus den Verkehrszählungen hochgerechneten durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV, Tab. 4.3) für die einzelnen Fahrzeugkategorien können die aus allen T50-Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren (in Gramm pro Fahrzeug-Kilometer) zu Jahresemissionsdichten (in Kilogramm pro Kilometer und Jahr) umgerechnet werden. Unter Berücksichtigung der erwarteten natürlichen Flottenentwicklung (Tab. 4.4) wird eine Prognose bis 2022 erstellt. Diese Bestandsprognose bezieht sich hinsichtlich Verkehrsstärke und Verkehrsablauf auf den Bestand 2015 und geht von einer geschlossenen Kronenbrücke aus.

In Abb. 4-12 sind die ermittelten Jahresemissionsdichten (ohne Kaltstartzuschläge) der Pkw, INfz und sNfz richtungsgetrennt für die einzelnen Abschnitte dargestellt. Die eingetragenen Fehlerbalken entsprechen in beiden Richtungen einer Standardabweichung und ergeben sich aus der Streuung der Auswertungen der einzelnen Messfahrten.

In der aktuellen Situation kommt es im Bezugsjahr 2015 auf der Messstrecke zu verkehrsbedingten NO_x-Emissionen zwischen ca. 5.300 kg/km/a auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Osten und ca. 8.200 kg/km/a auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen. Der starke Richtungsunterschied ist Folge des deutlich stärker gestörten Verkehrsablaufs in Fahrtrichtung Westen. Die auf Abschnitt 2 im Vergleich zu Abschnitt 1 höheren Emissionen sind im Wesentlichen auf die dort höheren Verkehrsstärken zurückzuführen. In Abschnitt 2 befindet sich auch die Luftmessstation.

Bei gleicher Verkehrsstärke und unverändertem Störungsgrad werden durch die natürliche Flottenentwicklung bis zum Jahr 2018 gegenüber dem Jahr 2015 Reduktionen der Emissionen um etwas mehr als 25% erwartet, bis zum Jahr 2020 um etwas mehr als 40% und bis zum Jahr 2022 um etwas weniger als 55%. Die ermittelten Reduktionen sind nahezu unabhängig von Abschnitt oder Richtung.

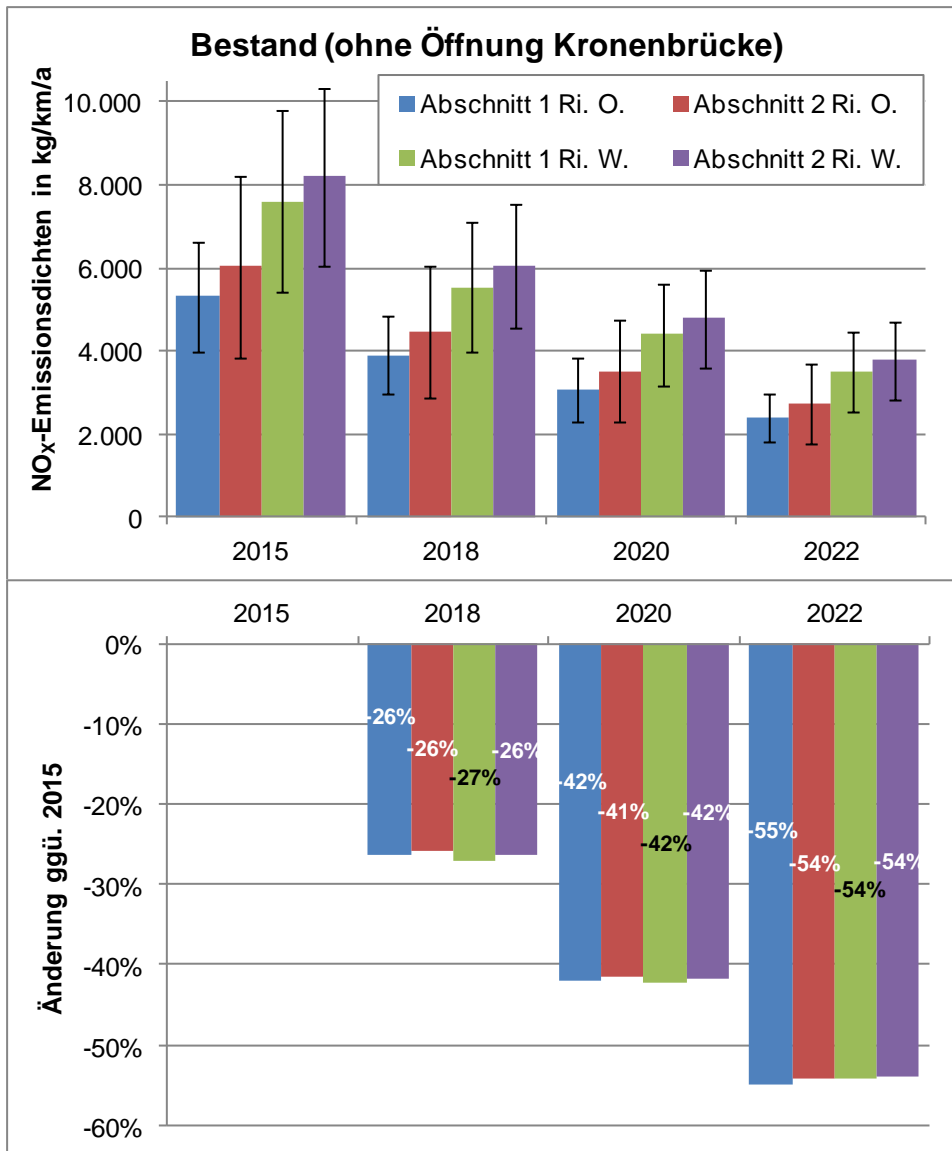


Abb. 4-12: Bestand: Jahresemissionsdichten für NO_x (ohne Kaltstartzuschläge), richtungsgetrennt und nach Abschnitten differenziert, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionsfaktoren auf Basis aller gemessenen T50-Fahrprofile für die Flottenzusammensetzungen 2015, 2018, 2020 und 2022 sowie relative Minderungen gegenüber 2015.

4.3.6 Maximalpotenzial Emission

4.3.6.1 Maximales Minderungspotenzial Verflüssigung

In Abschnitt 4.2.4 wurde aus verkehrlicher Sicht das Maximalpotenzial durch Verflüssigung wie folgt zusammengefasst:

- In Fahrtrichtung Westen ist der Verkehrsablauf stark gestört, daher kann durch Verflüssigung in dieser Richtung potenziell viel erreicht werden. Das Potenzial in dieser Richtung besteht darin, den gleichen Verkehrsfluss wie in der Gegenrichtung zu erreichen.
- In Fahrtrichtung Osten ist der Verkehrsablauf vergleichsweise gut, entsprechend besteht hier ein geringeres Verbesserungspotenzial.

Die maximale Verflüssigung unterstellt somit eine optimal wirkende Pförtnerung sowie eine Optimierung der LSA-Steuerung. Zur Abschätzung des emissionsseitigen Maximalpotenzials durch Verflüssigung auf Basis der Ergebnisse der Messfahrten wurde die Differenz der Emissionen eines maximal verflüssigten Zustands zum Istzustand (Basis: alle T50-Messfahrten) betrachtet. Der maximal verflüssigte Zustand wurde je nach Fahrtrichtung unterschiedlich abgeleitet, wie im Folgenden beschrieben.

Fahrtrichtung Westen

Für den maximal verflüssigten Zustand in Fahrtrichtung Westen wurde auf ein verflüssigtes Kollektiv aus Messfahrten zurückgegriffen, und zwar auf die in Abschnitt 3.4.3 für den Vergleich der Tempolimits ausgewählten T50-Fahrten: Die Auswahl enthält Messfahrten, in denen nur selten mehrfach vor LSA gehalten werden musste. In Fahrtrichtung Osten ist der Verkehrsablauf in dieser Auswahl gegenüber dem Ist-Zustand nur minimal verbessert. In Fahrtrichtung Westen kann somit im Rahmen der Potenzialanalyse ein deutlich verbesserter Verkehrsablauf unterstellt werden, der ungefähr dem in Fahrtrichtung Osten für den Ist-Zustand entspricht.

Analog zum Istzustand (alle Fahrten) wurden für die getroffene Auswahl an T50-Fahrten mit flüssigem Verkehrsablauf NO_x-Jahresemissionsdichten berechnet. In Abb. 4-13 (Mitte) sind diese für die Flottenzusammensetzungen 2018, 2020 und 2022 im Vergleich mit den Jahresemissionsdichten im Bestand (Basis: alle Fahrten, oberes Bild) dargestellt.

In Fahrtrichtung Westen, in der aktuell der Verkehrsablauf deutlich gestört ist, sind auf Abschnitt 1 maximale Minderungen von etwas unter 20% möglich, auf dem am höchsten belasteten Abschnitt 2 sogar von etwas unter 30%.

Fahrtrichtung Osten

In Fahrtrichtung Osten, in der der Verkehrsablauf im Bestand schon relativ gut ist, werden bei der betrachteten Fahrtenauswahl im Vergleich mit dem jeweiligen Bezugsjahr im Bestand durch Verflüssigung nur noch minimale Emissionsminderungen von ca. 2% erreicht. Wie oben

beschrieben, war das Ziel der Auswahl jedoch nicht primär die Verflüssigung, sondern die Zusammenstellung von Fahrtenkollektiven für T50, T40 und T30 mit vergleichbaren Anteilen an Störungen. Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsflusses auf der B31, die auf die Stärkung der Hauptrelation zielen (z.B. Verlängerungen der Grünzeiten auf der B31 im Vergleich zu den Nebenrelationen) wirken potenziell in beiden Fahrtrichtungen gleichermaßen. Es ist daher zu erwarten, dass in Fahrtrichtung Osten ein Minderungspotenzial für die NO_x-Emissionen von mehr als 2% besteht. In Untersuchungen für Heidenheim [13], Mülheim a.d.R. [14] oder Graz [15] wurde ein Minderungspotenzial durch Verflüssigung in der Größenordnung von 10% gefunden. Dieser Wert kann hier für das maximale Minderungspotenzial in Fahrtrichtung Osten angesetzt werden.

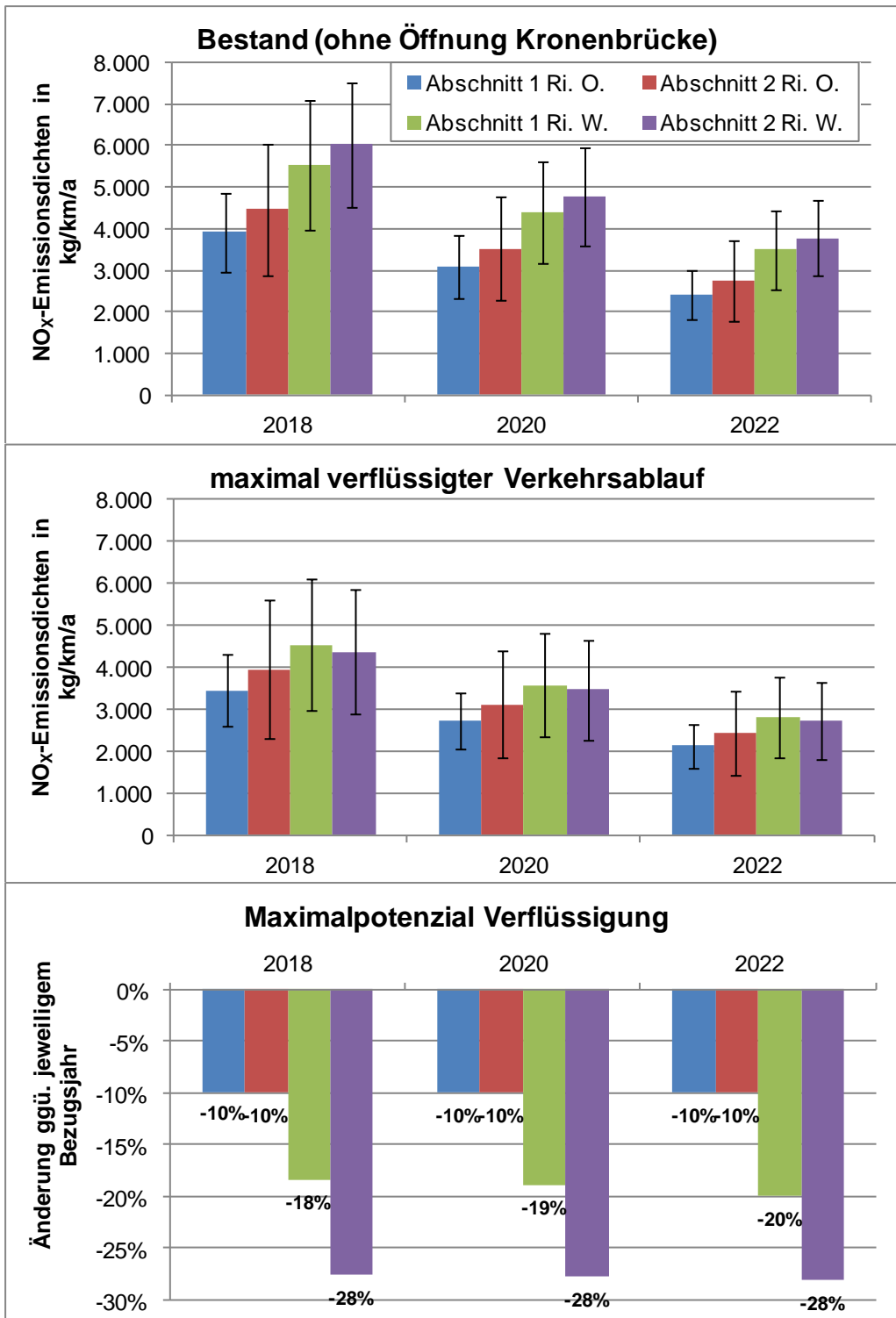


Abb. 4-13: Potenzialabschätzung Verflüssigung: Jahresemissionsdichten für NO_x (ohne Kaltstartzuschläge) für den Bestand ohne Öffnung Kronenbrücke in den Bezugsjahren 2018, 2020 und 2022 (oben, Auswertung aller Fahrten, wie Abb. 4-12) und entsprechende Jahresemissionsdichten bei flüssigem Verkehrsablauf (Mitte); im unteren Bild sind die durch Verflüssigung maximal erzielbaren relativen Minderungen gegenüber dem Bestand im jeweiligen Bezugsjahr dargestellt.

4.3.6.2 Maximales Minderungspotenzial Tempolimits

Analog zu den T50-Fahrten wurden auch die in Abschnitt 3.4.3 für den Vergleich der Tempolimits ausgewählten Kollektive der T40- und T30-Fahrten (Fahrprofile: s. Abb. 3-16) ausgewertet. Die resultierenden jahresmittleren NO_x-Emissionsdichten sind im Vergleich mit der Bestandsauswertung sowie der Auswertung des für den Vergleich ausgewählten T50-Kollektivs in Abb. 4-14 dargestellt.

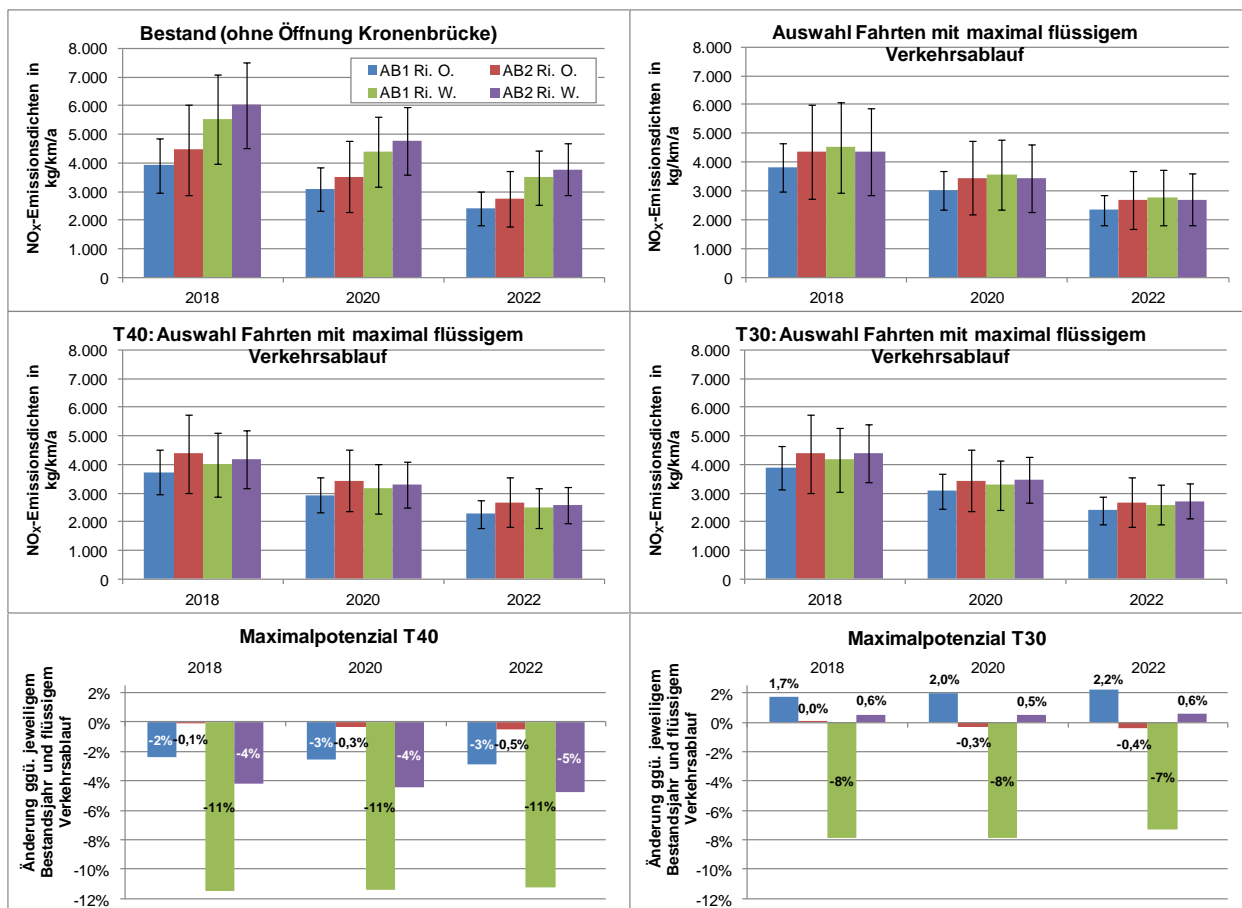


Abb. 4-14: Potenzialabschätzung Tempolimits: Jahresemissionsdichten für NO_x (ohne Kaltstartzuschläge) für den Bestand ohne Öffnung Kronenbrücke (alle T50-Fahrten) und die T50-Fahrten mit flüssigem Verkehrsablauf 2018, 2020 und 2022 im Vergleich mit entsprechenden Jahresemissionsdichten bei Auswertung von T40- und T30-Fahrten mit flüssigem Verkehrsablauf.

Bei Einführung von T30 käme es ggü. T50 auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Osten und auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen zu leichten Zunahmen der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen, bei Einführung von T40 käme es ggü. T50 jedoch überall zu Abnahmen. Auf den Abschnitten, auf denen auch für T30 Abnahmen der NO_x-Emissionen abgeleitet wurden, sind die für T40 gegenüber T50 abgeleiteten Abnahmen höher. Insgesamt zeigt auf der hier betrachteten Messstrecke ein Tempolimit von 40 km/h zur Minderung verkehrsbedingter NO_x-Emissionen eine etwas stärkere Emissionsminderung als ein Tempolimit von 30 km/h.

Die erwarteten Minderungen der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen bei T40 gegenüber T50 liegen auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Osten zwischen 2% und 3%. Auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Osten werden nahezu keine Änderungen erwartet. Auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen werden Minderungen von ca. 4%, auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Westen sogar von ca. 11% erwartet. Zu dieser starken Minderung ist jedoch Folgendes anzumerken: Im Anschluss an Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Westen wird die B31 vom Charakter her zur Stadtautobahn, alle Fahrzeuge beschleunigen nach Ende der Messstrecke in dieser Richtung. Bei niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten muss entsprechend länger beschleunigt werden. Die starken Emissionsminderungen durch T40 auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Westen werden also voraussichtlich durch Emissionszunahmen nach Ende der Messstrecke in dieser Fahrtrichtung zumindest zum Teil ausgeglichen werden. Dies ist kein Argument gegen eine Einführung von T40 sondern lediglich ein Hinweis, dass die Minderungen durch T40 auf Abschnitt 1 nicht den Ausschlag geben sollten bei einer Entscheidung über ein Tempolimit.

Wie oben beschrieben, wurden die hier angegebenen Änderungen auf Basis der für diesen Vergleich ausgewählten Fahrtenkollektive abgeleitet, die insbesondere in Fahrtrichtung Westen einem deutlich flüssigeren Verkehrsablauf entsprechen als dem im Ist-Zustand. Sie stellen damit Maximalpotenziale dar: Insbesondere in Fahrtrichtung Westen sind die Änderungen entsprechend geringer, wenn bei allen Fahrtarten ein vom Tempolimit unabhängiger Anteil der Emissionen im Verkehrsablauf Stop&Go erzeugt wird.

4.4 Potenzialanalyse Immission

4.4.1 Ansatz

Im Rahmen der Potenzialanalyse erfolgte immissionsseitig keine detaillierte Berechnung, sondern eine Abschätzung, basierend auf dem Messwert an der Schwarzwaldstraße für das Jahr 2015. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Der gemessene NO₂-Jahresmittelwert für das Jahr 2015 wurde unter Berücksichtigung der einfachen Ozon-Chemie (s. nähere Beschreibung in Kap. 7.2.2) in einen Stickoxidjahresmittelwert NO_x umgerechnet.
- Der für das Jahr 2015 charakteristische NO₂-Wert für die Hintergrundbelastung wurde auf Basis der Verursacheralyse des Jahres 2015 ([16]) mit 23,6 µg/m³ angenommen und ebenfalls unter Berücksichtigung der vereinfachten Ozonchemie in NO_x umgerechnet (s. detaillierte Beschreibung in Kapitel 7.2.1.2).
- Die Differenz aus NO_x-Gesamtbelastung und NO_x-Hintergrundbelastung entspricht der lokalen Zusatzbelastung durch den Verkehr im Bereich der Luftmessstation.
- Das maximale Minderungspotenzial einzelner Maßnahmen wirkt auf diese NO_x-Zusatzbelastung.

- Unter Berücksichtigung einer leichten Abnahme der Hintergrundbelastung in den nächsten Jahren gemäß dem Ansatz, der in Kap. 7.2.1.2 detailliert beschrieben ist, sowie der Maßnahmenwirkung berechnen sich für die Jahre 2018, 2020 und 2022 die NO_x-Gesamtbelastungen, die wiederum unter Berücksichtigung der vereinfachten Ozonchemie in NO₂ umgerechnet werden.

Es ist zu berücksichtigen, dass die emissionsseitige Minderung aus den jeweiligen Wirkungen pro Fahrtrichtung in Abschnitt 2 gemittelt wurde.

4.4.2 Immissionskonzentrationen Bestand 2015 und Trend bis 2022

Analog zur Emissionsermittlung wurden die NO₂-Immissionskonzentrationen unter Berücksichtigung der erwarteten natürlichen Flottenentwicklung bis 2022 ohne Öffnung der Kronenbrücke bestimmt. Diese so genannte Bestandsprognose bezieht sich hinsichtlich Verkehrsstärke und Ablauf auf den Bestand 2015. Abb. 4-15 zeigt, dass bis zum Jahr 2020, ausgehend von dem im Jahr 2015 gemessenen Wert an der Luftmessstation, nur durch die Flottenentwicklung ein Jahresmittelwert im Bereich des Grenzwertes zu erwarten ist. Die abgeschätzten Werte beziehen sich auf die Höhe des Messfühlers in ca. 3 m Höhe über Straßenniveau.

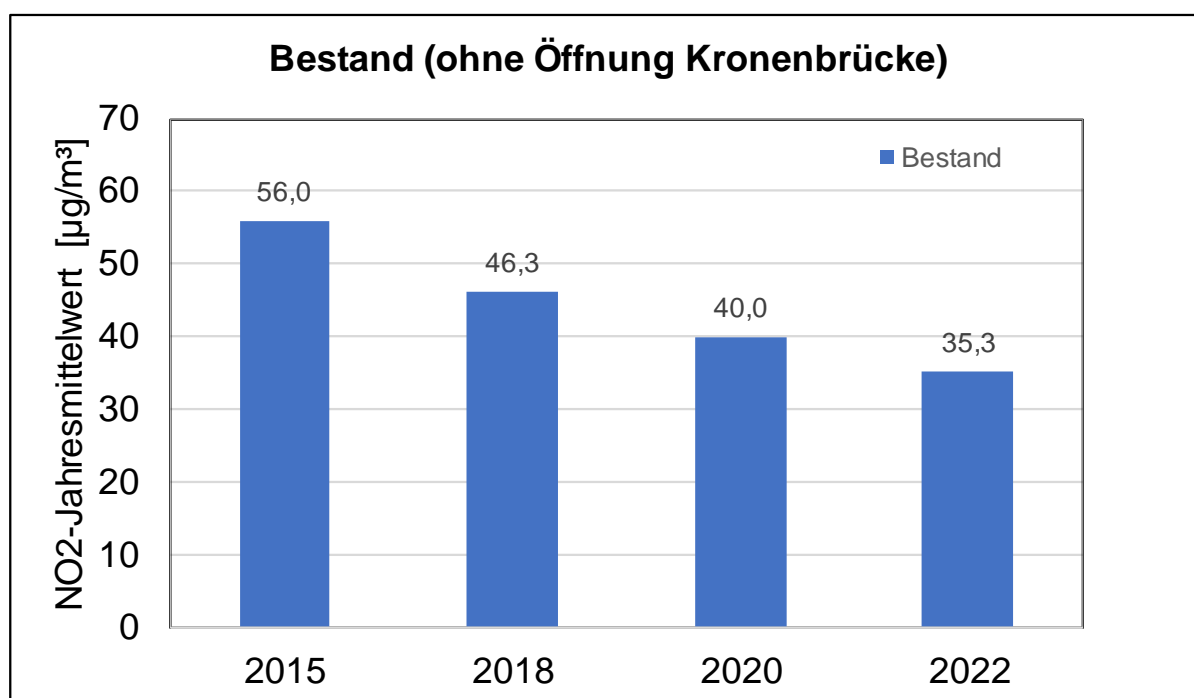


Abb. 4-15: Bestand: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2015, 2018, 2020 und 2022.

4.4.3 Maximalpotenzial Immissionsminderung

Wie in den vorstehenden Kapiteln ausgeführt wurde das maximale Minderungspotenzial durch Verflüssigung sowie durch Tempolimits ermittelt. Die immissionsseitigen Ergebnisse sind im Folgenden aufgeführt. Sie beziehen sich auf die Höhe des Messfühlers in 3,0 m über Grund.

4.4.3.1 Maximales Minderungspotenzial Verflüssigung

Die gewählten Ansätze zur Abschätzung eines maximalen Minderungspotenzials für eine Verflüssigung wurden in Kap. 4.3.6.1 erläutert. Die Betrachtungen setzen den oben abgeleiteten verflüssigten Verkehrsablauf mit T 50 voraus. Unter Berücksichtigung des mittleren Minderungspotenzials für Abschnitt 2, in dem die Luftmessstation liegt, wurden die NO₂-Jahresmittelwerte für die Jahre 2018, 2020 und 2022 abgeschätzt. Das Ergebnis der Abschätzung in Abb. 4-16 zeigt, dass bei optimierter Verflüssigung bereits im Jahr 2020 mit einer Einhaltung des Immissionsgrenzwertes zu rechnen ist.

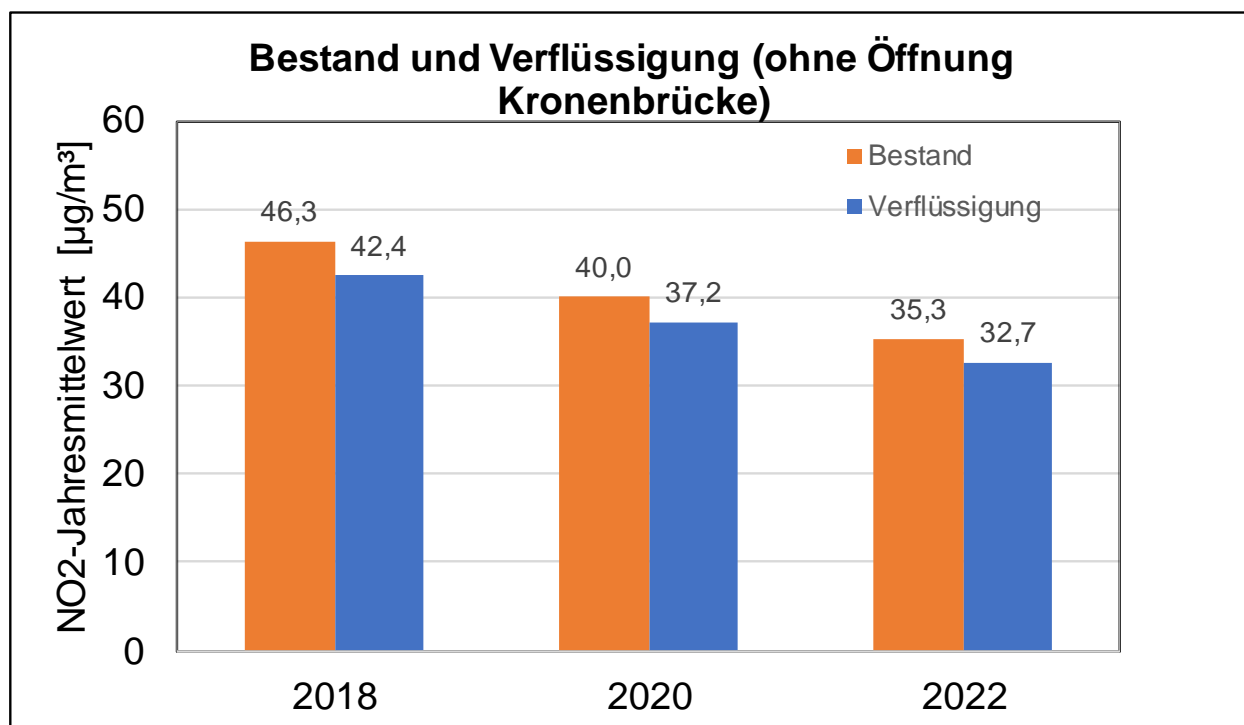


Abb. 4-16: Potenzialabschätzung Verflüssigung: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2018, 2020 und 2022 für den Bestand und das maximale Minderungspotenzial Verflüssigung.

4.4.3.2 Maximales Minderungspotenzial Tempolimit

Die gewählten Ansätze zur Abschätzung eines maximalen Minderungspotenzials für Tempolimits wurden in Kap. 4.3.6.2 erläutert. Die Betrachtungen für T40 und T30 setzen den oben abgeleiteten verflüssigten Verkehrsablauf voraus. Unter Berücksichtigung des mittleren Minderungspotenzials für Abschnitt 2 (in diesem liegt die Luftmessstation) wurden wieder die NO₂-Jahresmittelwerte für die Jahre 2018, 2020 und 2022 abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in Abb. 4-17 für T40 und Abb. 4-18 für T30 zusammen mit den NO₂-Immissionskonzentrationen für den Bestand bzw. das Verflüssigungspotenzial bei T50 dargestellt. Die Abb. 4-17 zeigt, dass durch T40 das maximale Minderungspotenzial im Bereich der Luftmessstation gegenüber dem maximalen Minderungspotenzial Verflüssigung nur noch geringfügig erhöht wird. Es werden zusätzliche Minderungen von maximal 0,4 µg/m³ erzielt. Durch Tempo 30 kann, wie Abb. 4-18

zeigt, gegenüber dem maximalen Minderungspotenzial durch Verflüssigung keine zusätzliche Minderung erreicht werden.

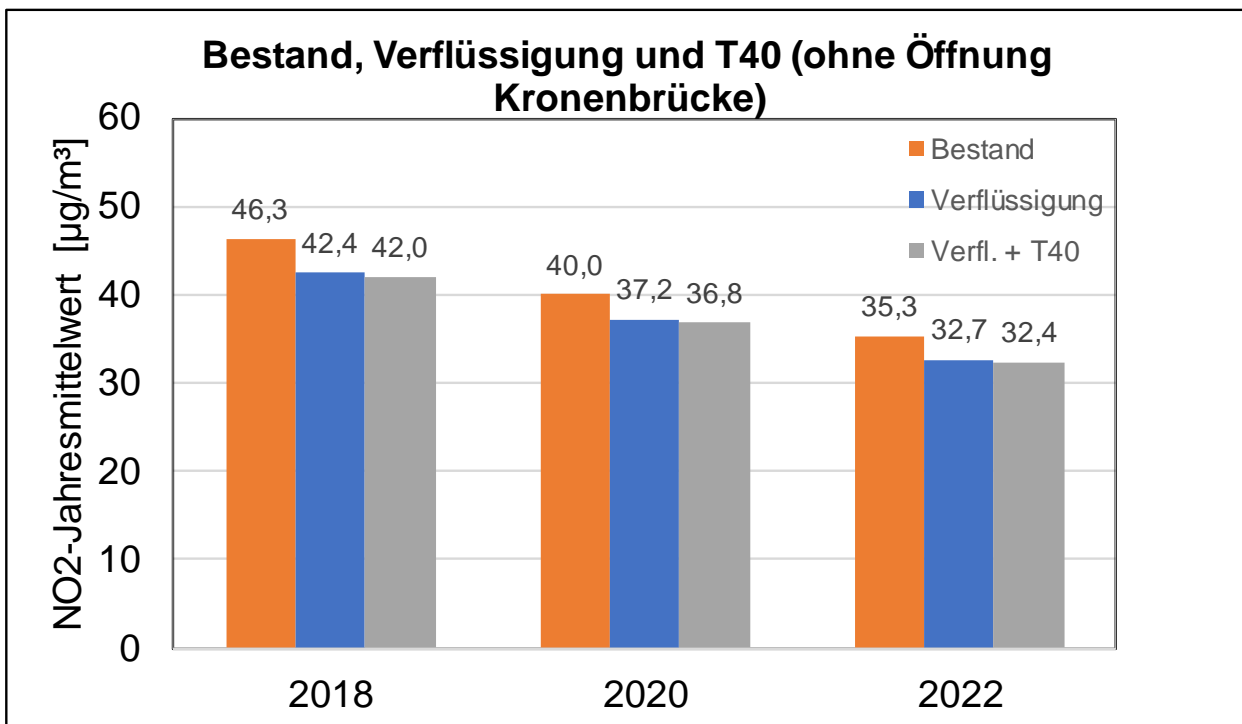


Abb. 4-17: Potenzialabschätzung Tempolimits: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2018, 2020 und 2022 für den Bestand, das maximale Minderungspotenzial Verflüssigung sowie Verflüssigung und T40.

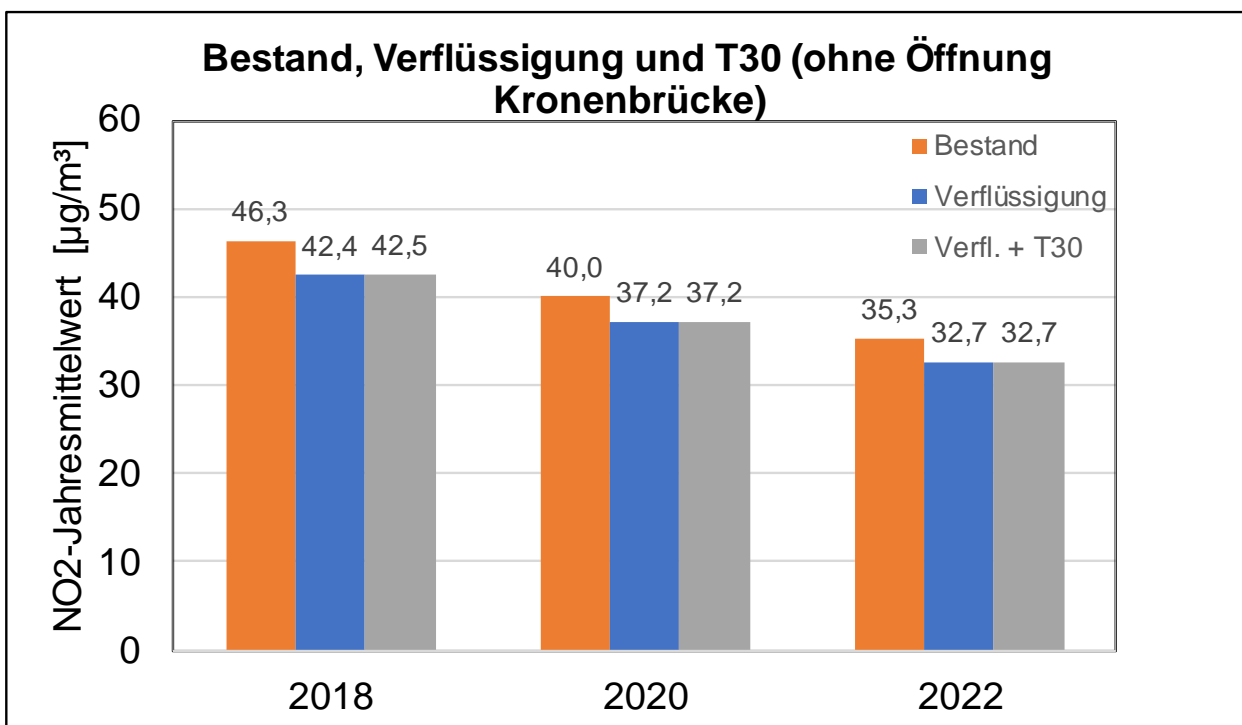


Abb. 4-18: Potenzialabschätzung Tempolimits: NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Luftmessstation für die Jahre 2018, 2020 und 2022 für den Bestand, das maximale Minderungspotenzial Verflüssigung sowie Verflüssigung und T30.

4.4.3.3 Fazit zu T30 und T40

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde emissions- und immissionsseitig das maximal mögliche Minderungspotenzial für eine Verflüssigung bei T50 sowie eine Verflüssigung bei T40 und T30 abgeschätzt. Im Bereich der Luftmessstation zeigt sich, dass der NO₂-Jahresmittelwert bei T40 in allen drei untersuchten Bezugsjahren gegenüber der maximalen Verflüssigung bei T50 eine leichte Verbesserung von maximal 0,5 µg/m³ bringt. Bei T30 dagegen sind die abgeschätzten Immissionskonzentrationen nahezu identisch mit den Immissionskonzentrationen, die für die Verflüssigung bei T50 berechnet wurden.

Im Zuge der Projektbearbeitung wurde beschlossen, für die detaillierte Maßnahmenberechnung (s. Kapitel 5 bis 7) auf Basis der sehr aufwändigen Mikrosimulationen und Emissionsberechnungen im Wesentlichen von T40 auszugehen, um emissions- und immissionsseitig die maximale Wirkung zu erfassen.

5 Maßnahmenberechnungen Verkehr

5.1 Vorgehensweise

Im Rahmen der Potenzialuntersuchung wurden verschiedene Maßnahmen, die potentiell geeignet sind, die Emissionen und Immissionen an der B31 im Bereich der Luftmessstation zu reduzieren, vorgestellt. Basierend auf der Erkenntnis, dass der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Westen deutlich schlechter ist als in Gegenrichtung und dementsprechend erheblich mehr Emissionen verursacht werden, wurde das Emissionsminderungspotenzial grob abgeschätzt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass durch eine entsprechende Maßnahme auch in Fahrtrichtung Westen ein vergleichbarer Verkehrsablauf erreicht werden kann wie in die Gegenrichtung.

Aufbauend auf der Potenzialanalyse wurden für die dort behandelten Maßnahmenfelder „Pförtnerung“, „Optimierung Lichtsignalanlagen“ und „Tempolimit“ nun konkrete Maßnahmen ausformuliert und mit Hilfe einer Mikrosimulation (vgl. Kap. 2.1.1) hinsichtlich ihrer Wirkung überprüft. Dabei wurden die verschiedenen Maßnahmen miteinander kombiniert, so dass die Gesamtwirkung der Maßnahmen (die z.T. Wechselwirkungen miteinander aufweisen) ermittelt werden konnte. Bei der Umsetzung der Maßnahmen wurden die komplexen Rahmenbedingungen, die aufgrund der lokalen Gegebenheiten bestehen, berücksichtigt – z.B. Schwierigkeiten bei der Standortfindung einer Pförtnerung in Richtung Westen, bzw. die eingeschränkte Möglichkeit, der B31 zu Lasten der Querrichtung mehr Freigabezeit zu geben.

Die Mikrosimulation umfasst den untersuchten Straßenzug der B31. Sie reicht in westlicher Richtung bis einschließlich Wilhelmstraße, in östlicher Richtung bis zum Knotenpunkt Schwarzwaldstr. / Seminarstraße bzw. bis zum Tunnelende Knotenpunkt B31 / Kappler-Straße. Die in dem Abschnitt vorhandenen Lichtsignalanlagen wurden verkehrsabhängig in die Simulation eingebunden. Die Stadtbahn (inkl. Bevorrechtigung) wurde ebenfalls in die Simulation integriert.

Mikrosimulationen wurden für den Bestand 2018, den Nullfall 2020 und die Planfälle 1 und 2, Bezugsjahr ebenfalls 2020, durchgeführt⁵:

- Zunächst wurde der Bestand (Verkehrssituation ohne Kronenbrücke) abgebildet. Hierbei wurden die aktuellen Zählraten in das Modell eingespeist und anhand der von AVISO aus den Messfahrten ermittelten Parameter kalibriert. Es wurden insbesondere die

⁵ Bei den Maßnahmenberechnungen Verkehr reicht es aus, für den Nullfall und die Planfälle das Bezugsjahr 2020 (nach Öffnung Kronenbrücke) zu betrachten, da sich bzgl. der Verkehrsmengen die Bezugsjahre 2020 und 2022 nicht unterscheiden.

Parameter „Geschwindigkeitsverlauf“, „Wartezeiten an Knotenpunkten“ und „Anzahl an Halten“ betrachtet.

- Der in der Simulation zu beobachtende Verkehrsablauf zeigt eine gute Übereinstimmung mit den angefertigten Videomitschnitten des realen Verkehrsablaufs sowie den durchgeführten Messfahrten.
- Anschließend wurde der Nullfall abgebildet. Dieser beinhaltet die Öffnung der Kronenbrücke, jedoch keine weiteren Maßnahmen. Grundlage des Nullfalls sind die von der Stadt Freiburg zur Verfügung gestellten Unterlagen (Entwurfsplanung Kronenbrücke und Signalsteuerung).
- In einem weiteren Schritt wurden die Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsablaufes in das Modell integriert. Der Planfall 1 enthält die Maßnahmen „Pfortnerung“, „Optimierung der Lichtsignalanlagen“ und „Tempolimit“.
- Um festzustellen welche Auswirkungen auf die östliche Pfortnerung zurückzuführen sind bzw. welche Verbesserungen auch ohne diese Maßnahme „Pfortnerung“ erreicht werden können, wurde außerdem ein Planfall 2 (ohne östliche Pfortnerung) untersucht.

Alle Berechnungen wurden für die vormittägliche und nachmittägliche Spitzenstunde sowie für eine Stunde in der „Normalverkehrszeit“ (10:00 bis 11:00 Uhr) durchgeführt.

Die zu Grunde gelegten Kfz-Verkehrsstärken für den Bestand stammen aus den erhobenen Verkehrsstärken (Dauerzählstelle der LUBW, Zählungen der Stadt Freiburg und Zählungen von R+T, vgl. Kap. 3.2.1). Für die Berechnung der Verkehrsstärken des Nullfalls und der Planfälle wurde das VISUM-Modell (vgl. Kap. 2.1.2) herangezogen.

Die Simulationen für die jeweiligen Fälle und Uhrzeiten wurden jeweils mit den Geschwindigkeiten 50 km/h, 40 km/h und 30 km/h auf dem Straßenzug der B31 durchgeführt, um den Zusammenhang der Geschwindigkeiten mit den Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und Emission herstellen zu können.

Die Simulationsergebnisse für die jeweiligen Planfälle wurden – getrennt nach den einzelnen Zeiträumen – direkt als Fahrzeitprofile der Emissionsberechnung übermittelt.

5.2 Nullfall 2020

Der Nullfall beschreibt den Zustand im Jahr 2020 ohne jegliche Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation entlang der B31. Da die neue Kronenbrücke bis zu diesem Zeitpunkt fertiggestellt sein wird, ist diese Bestandteil des Nullfalls.

In der folgenden Abbildung (Abb. 5-1) sind die Verkehrsstärken des Nullfalls dargestellt (Kfz/24h).

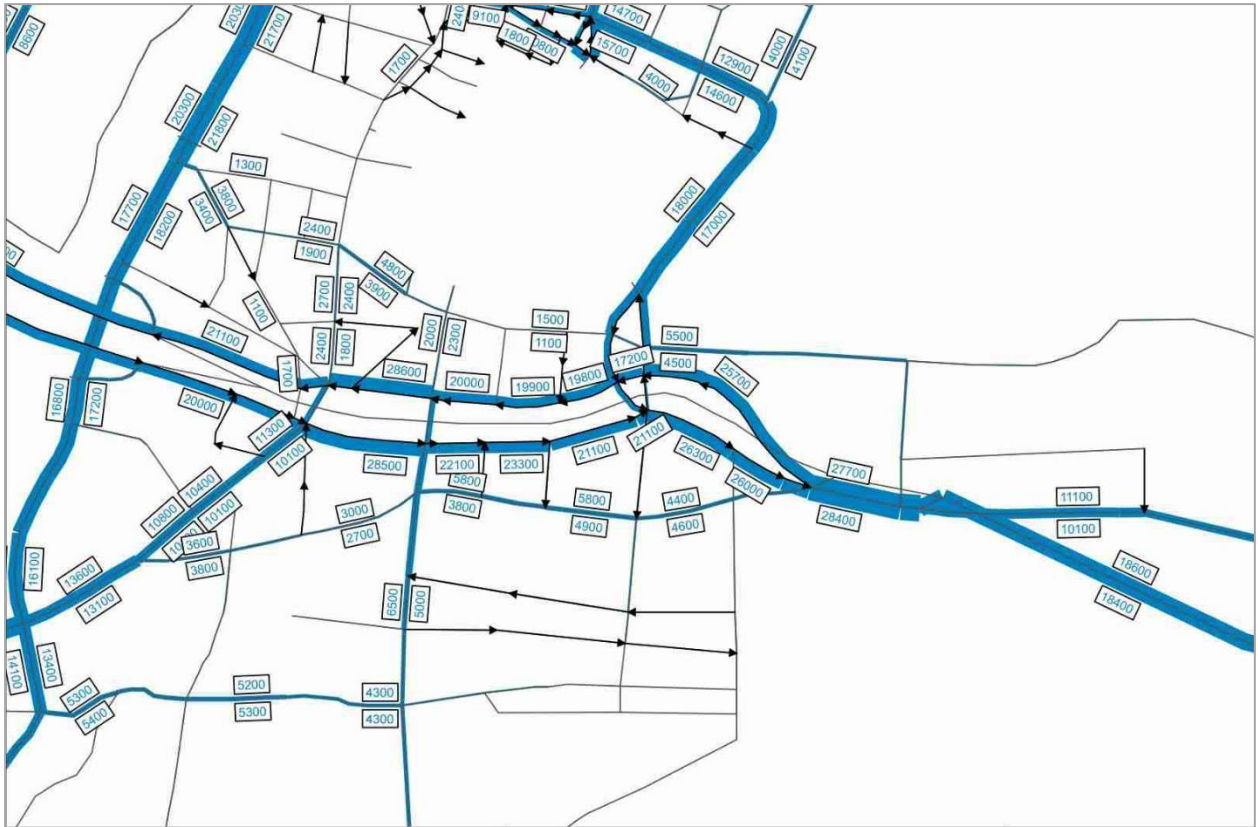


Abb. 5-1: Verkehrsstärken Nullfall 2020 [Kfz/24h].

In der Abb. 5-2 ist die Differenz zur heutigen Belastung dargestellt (grün bedeutet eine Verkehrsabnahme – rot eine Verkehrszunahme). Basis der Verkehrsstärkenberechnung bildet erneut das vorliegende VISUM-Modell. Durch Wieder-Inbetriebnahme der Kronenbrücke kommt es zu merklichen Verkehrsverlagerungen. Infolgedessen steigt das Kfz-Verkehrsaufkommen auf der B31 östlich der Kronenbrücke leicht an (um ca. 5-10%). Entlastet werden dagegen der Abschnitt der B31 westlich der Kronenbrücke, die Heinrich-von-Stephan-Straße sowie der Straßenzug „Basler Straße – Talstraße“.

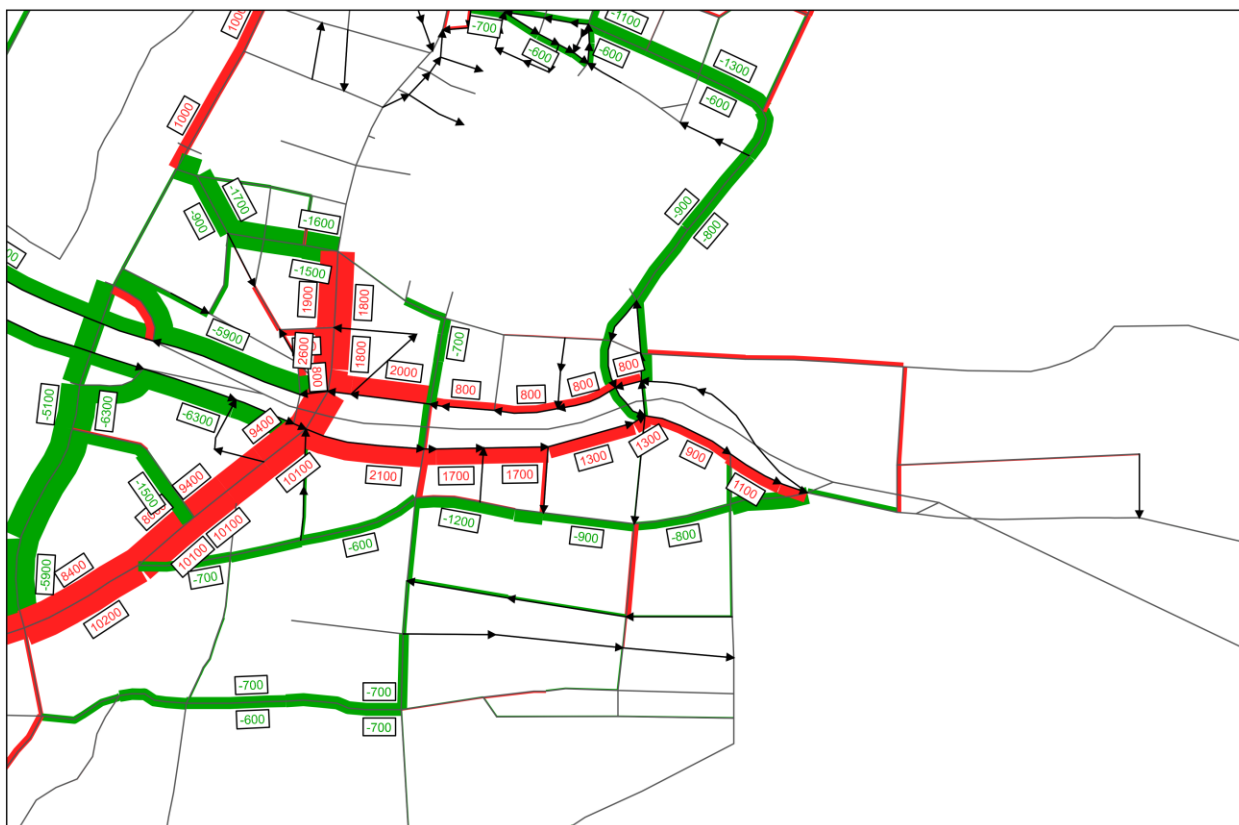


Abb. 5-2: Differenz Nullfall (nach Öffnung Kronenbrücke) zum Bestand (ohne Öffnung Kronenbrücke) [Kfz/24h].

Die zur Verfügung gestellten signaltechnischen Unterlagen zur Kronenbrücke enthalten nur eine vergleichsweise moderate Pfortnerung für die Fahrtrichtung Osten. Da aufgrund der bestehenden Baustelleneinrichtung aktuell über die Kronenstraße kein Zufluss zur B31 erfolgen kann und dementsprechend das Kfz-Verkehrsaufkommen auf der B31 östlich der Kronenbrücke nach Inbetriebnahme der Kronenbrücke ansteigen wird, verschlechtert sich im Nullfall in diesem Bereich der Verkehrsfluss auf der B31 in Fahrtrichtung Osten. Der in der Simulation dargestellte Nullfall kann daher als „Worstcase-Szenario“ betrachtet werden.

5.3 Maßnahmen

Das Maßnahmenprogramm beinhaltet konkrete Maßnahmen, die den folgenden Maßnahmenfeldern (vgl. Kap. 4) zuzuordnen sind:

- Pfortnerung,
- Optimierung der Signalsteuerung,
- Tempolimit.

Die konkrete Umsetzung und Prüfung dieser Maßnahmen in der mikroskopischen Simulation erfolgte iterativ.⁶

Welche konkreten Änderungen für die Umsetzung der Maßnahmen vorgenommen wurden, ist im Folgenden beschrieben.

5.3.1 Maßnahme Pfortnerung

Um den Zufluss aus Osten kommend in die Stadt hinein zu begrenzen, wurde östlich des Tunnels eine Pfortneranlage in das Modell integriert. Sie befindet sich östlich des Tunnels vor der Anschlussstelle Littenweiler. Die Umlaufzeit beträgt 90 Sekunden, die Grünzeit ist in zwei Grünzeiten (19 Sekunden und 20 Sekunden) unterteilt.

Für den Zufluss aus Westen kommend, wurde die Pfortnerwirkung an der Kronenbrücke gegenüber der vorliegenden Planung (Nullfall) verstärkt.

5.3.2 Maßnahme Optimierung der Lichtsignalanlagen

Die Lichtsignalanlagen im Verlauf der B31 sind bereits im Bestand aufeinander abgestimmt. Bedingt durch das komplexe Zusammenspiel verschiedener Nutzungsansprüche besteht nur wenig Spielraum zur Optimierung der Signalsteuerung.

Im Zuge der mikroskopischen Simulation wurden insbesondere die folgenden verkehrstechnischen Anpassungen vorgenommen:

- An der Kronenbrücke eine Verringerung der Freigabezeit für Verkehrsteilnehmer auf der B31 aus westlicher Richtung kommend im Sinne einer stärkeren Pfortnerung;
- Am nördlichen Teilknotenpunkt der Kaiserbrücke eine geringfügige Kürzung der Freigabezeit aus der Kaiser-Joseph-Straße (die Umverteilung ist jedoch begrenzt durch Mindestfreigabezeit für den parallelen Fußgängerstrom);
- An den Fußgängerschutzanlagen Luisenbrücke und Marienbrücke eine Anpassung der Freigabezeiten an die beiden großen Knotenpunkte „Kaiserbrücke“ und „Kronenbrücke“ (d.h. durchgängig nur 1-mal Freigabe pro Umlauf anstatt z.T. 2-mal);
- Am Knotenpunkt Schwabentorbrücke Nord eine geringfügige Umverteilung der Freigabezeit zugunsten der Leo-Wohlleb-Straße (B31);
- Am Knotenpunkt Talstraße eine geringfügige Umverteilung der Freigabezeiten zugunsten der Hauptrichtungen der B31.

⁶ Dies bedeutet, die Maßnahmen wurden konkret im Modell abgebildet (z.B. eine Anpassung der Freigabezeit an einem Knotenstrom um 3 Sekunden), ihre Wirkung wurde simuliert und ausgewertet. Bei einem nicht zufriedenstellenden Ergebnis wurde eine Anpassung im Modell vorgenommen (z.B. Anpassung der Freigabezeit nur um 2 Sekunden) neu simuliert und ausgewertet – bis letztlich ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht war. Ansonsten wurde die Maßnahme verworfen.

5.3.3 Maßnahme Tempolimit

Die Simulationen wurden mit den Geschwindigkeiten 50 km/h, 40 km/h und 30 km/h durchgeführt. Die jeweiligen Ergebnisse wurden bezüglich emissionstechnischer Untersuchungen an AVISO weitergeleitet.

5.4 Ergebnis der Mikrosimulationen

Die Mikrosimulationen für die verschiedenen Planfälle wurden zum einen der Emissionsberechnung detailliert für verschiedene Tageszeiten als simulierte Fahrzeitprofile übermittelt.

Zum anderen wurde die Mikrosimulation hinsichtlich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (QSV) ausgewertet. Die Auswertung erfolgte entsprechend dem HBS 2015 – dabei werden Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes⁷ in Abhängigkeit von den durchschnittlichen Wartezeiten ermittelt. Die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs auf der B31 (unterschieden nach der jeweiligen Fahrtrichtung und Spitzenstunde) werden in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 5.1 bis Tab. 5.4) aufgezeigt:

Tab. 5.1: Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (vormittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Osten).

Qualitätsstufen vormittägliche Spitzenstunde - geradeausfahrender Verkehrsstrom auf der B31				
	Fahrtrichtung Osten			
	Bestand	Nullfall	Planfall 1	Planfall 2 (ohne östl. Pfortnerung KP B31 / Kappler-Str.)
Kronenbrücke	Nicht ausgewertet da Baustelle	E	F*	F*
Kaiserbrücke	A	B	A	A
Schwabentorbrücke	C	D	A	A

* bedingt durch die Pfortnerung

⁷ Die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (QSV) reichen von A (sehr kurze Wartezeiten) bis F (extrem lange Wartezeiten). Die in der Regel mindestens angestrebte QSV D beschreibt einen noch stabilen Verkehrsablauf.

Tab. 5.2: Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (vormittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Westen).

Qualitätsstufen vormittägliche Spitzenstunde - geradeausfahrender Verkehrsstrom auf der B31				
	Fahrtrichtung Westen			
	Bestand	-Nullfall	Planfall 1	Planfall 2 (ohne östl. Pfortnerung KP B31 / Kappler-Str.)
Kronenbrücke	Nicht ausgewertet da Baustelle	A	A	A
Kaiserbrücke	B	B	B	B
Schwabentorbrücke	F	F	B	E

Tab. 5.3: Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (nachmittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Osten).

Qualitätsstufen nachmittägliche Spitzenstunde - geradeausfahrender Verkehrsstrom auf der B31				
	Fahrtrichtung Osten			
	Bestand	Nullfall	Planfall 1	Planfall 2 (ohne östl. Pfortnerung KP B31 / Kappler-Str.)
Kronenbrücke	Nicht ausgewertet da Baustelle	E	F*	F*
Kaiserbrücke	B	B	A	A
Schwabentorbrücke	C	B	A	A

* bedingt durch die Pfortnerung

Tab. 5.4: Vergleich der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (nachmittägliche Spitzenstunde Fahrtrichtung Westen).

Qualitätsstufen nachmittägliche Spitzenstunde - geradeausfahrender Verkehrsstrom auf der B31				
	Fahrtrichtung Westen			
	Bestand	Nullfall	Planfall 1	Planfall 2 (ohne östl. Pfortnerung KP B31 / Kappler-Str.)
Kronenbrücke	Nicht ausgewertet da Baustelle	A	A	A
Kaiserbrücke	B	B	B	B
Schwabentorbrücke	F	F	C	C

5.4.1 Bestand

Im Bestand sind für die Fahrtrichtung West in der Simulation erhebliche Probleme an der Kronenbrücke (Bauzustand) und der Schwabentorbrücke festzustellen. An der Kronenbrücke können derzeit bedingt durch die Verengung von 3 auf 2 Fahrstreifen in manchen Umläufen nicht alle Fahrzeuge abfließen, so dass der Zufluss zu diesem Knotenpunkt beschränkt wird und es zu Rückstaus (welche sich jedoch auch immer wieder abbauen) nach Osten hin bis zum

Greiffeneggring kommt. An der Schwabentorbrücke selbst ist sowohl während der vormittäglichen als auch nachmittäglichen Spitzenstunde die QSV F zu verzeichnen. Hier erfolgt hier de fakto eine Zuflusdosierung, um eine Überlastung der nachfolgenden Knotenpunkte zu vermeiden. Der entsprechende Rückstau reicht mitunter bis zum Standort der Luftmessstation bzw. sorgt dort für einen stockenden Verkehrsablauf.

In Fahrtrichtung Ost wird der Kfz-Verkehr an der Kronenbrücke (Baustelle) gepförtnernt. Im weiteren Streckenverlauf in Richtung Osten sind dann deutlich bessere Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes festzustellen. Für die geradeausfahrenden Fahrzeugströme befinden sich die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes ausschließlich zwischen A und C. Die Mikrosimulation zeigt, dass bedingt durch die hohe Kfz-Verkehrsstärke zwar lange Rückstaus entstehen, diese jedoch auch immer wieder abgebaut werden.

5.4.2 Nullfall

Im Nullfall (d.h. nach Fertigstellung Kronenbrücke, jedoch ohne die untersuchten Maßnahmen) kommt es zu leichten Verkehrsverlagerungen: Das Kfz-Verkehrsaufkommen auf der B31 erhöht sich in geringem Maße, während sich das Verkehrsaufkommen der ein- und ausbiegenden Ströme (insbesondere am Greiffeneggring, Schwabentorring und in der Talstraße) leicht verringert.

In Fahrtrichtung Westen ergeben sich gegenüber dem Bestand keine erheblichen Veränderungen im Verkehrsablauf. Der Mehrverkehr auf der B31 und der bessere Abfluss am Knotenpunkt „Kronenbrücke“ gleichen sich letztlich aus.

In Fahrtrichtung Osten verschlechtert sich der Verkehrsablauf während der vormittäglichen Spitzenstunde in geringfügigem Maße, da das Kfz-Verkehrsaufkommen leicht ansteigt und die Pfortnerwirkung an der Kronenbrücke im Nullfall vergleichsweise gering ist. Somit kann mehr Verkehr auf die nachfolgenden Knotenpunkte zufließen und eine etwas schlechtere Qualitätsstufe des Verkehrsablaufes ist die Folge.

Während der nachmittäglichen Spitzenstunde tritt dieser Effekt grundsätzlich auch auf, wirkt sich jedoch nicht nachteilig aus, da das nachmittägliche Signalprogramm dem durchgehenden Kfz-Verkehr an den Knotenpunkten Schwabentorbrücke und Talstraße viel Freigabezeit vorhält. Es kommt sogar zu einer leichten Verbesserung des Verkehrsablaufes, weil die eher problematischen einbiegenden Ströme (insb. der Strom vom Greiffeneggring in Richtung Osten) geringer werden. Außerdem kann der B31 am Knotenpunkt Talstraße mehr Freigabezeit eingeräumt werden, da die Kfz-Verkehrsstärken in der Talstraße leicht abnehmen. Dadurch verbessert sich auch die Koordination der „grünen Welle“ für den durchgehenden Kfz-Verkehr auf der B31 geringfügig.

5.4.3 Planfall 1

Für den Planfall 1 (d.h. mit allen untersuchten verkehrlichen Maßnahmen) wird von den gleichen Kfz-Verkehrsstärken wie im Nullfall ausgegangen und keine Verkehrsverlagerungen (z.B. in Folge von Pfortnerung) unterstellt.

Bei der Auswertung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für den Planfall 1 sind deutlich bessere Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs als im Nullfall festzustellen. Dies gilt insbesondere für die Fahrtrichtung Westen am Knotenpunkt „Schwabentorbrücke“, der aufgrund seiner räumlichen Nähe erhebliche Auswirkungen auf den Verkehrsablauf im Bereich der Luftmessstation hat. Durch die in der mikroskopischen Simulation unterstellte Pfortnerung am Knotenpunkt „B31 / Kappler-Straße“ werden am Knotenpunkt „Schwabentorbrücke“ eine deutlich bessere Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs und am Knotenpunkt „Kaiserbrücke“ eine leicht bessere Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs erreicht. Der Rückstau in der vormittäglichen Spitzenstunde an der Pfortneranlage am Knotenpunkt B31 / Kappler-Straße überschreitet im ungünstigsten Zeitraum, d.h. während der vormittäglichen Spitzenstunde, in 90% der Fälle nicht eine Länge von 1.600m. Die durchschnittliche Wartezeit an der Pfortneranlage beträgt dann ca. 4 Minuten. Dafür sinkt die Reisezeit auf der B31 im Untersuchungsbereich aufgrund des verbesserten Verkehrsablaufs. Insgesamt steigt die Gesamtreisezeit auf der B31 für manche kleinräumigen Verkehrsrelationen etwa in dem Maße an, wie alternative Verbindungen derzeit länger sind. Potentielle Ausweichverkehre müssen daher durch geeignete Maßnahmen unterbunden werden (vgl. Kap. 4.2.1). Außerhalb der Spitzenzeiten im Berufsverkehr sind dagegen ein geringerer Rückstau und geringere Wartezeiten zu erwarten.

In Fahrtrichtung Osten verbessert sich die Situation ebenfalls. Folge der stärkeren Pfortnerung an der Kronenbrücke ist hier die QSV F. Es können hier nur so viele Fahrzeuge in das Straßensystem der B31 einfahren, wie das Netz aufnehmen kann. An den nachfolgenden Knotenpunkten wird der durchgängige Verkehr auf der B31 dann aufgrund der Koordination der Knotenpunkte mit guter Verkehrsqualität abgewickelt.

Insbesondere die Pfortnerung würde zu einer Verbesserung des Verkehrsablaufs führen – diese ist aber nicht einfach umzusetzen. Zur Machbarkeit der Pfortnerung ist daher eine vertiefende verkehrstechnische Untersuchung erforderlich, die vor allem folgende Fragestellungen umfasst:

- Wo genau soll gepfortnert werden? Ist auch eine Pfortnerung näher an der Luftmessstation im Bereich der Tunnel (mit den damit verbundenen Rückstaus im Tunnel) denkbar?
- Wie stark soll die Pfortnerung sein? Bzw. welche Kfz-Verkehrsmengen dürfen den problematischen Streckenabschnitt der B31 im Untersuchungsbereich innerhalb eines definierten Zeitraums befahren?

- Wie können diese am besten detektiert werden (unter Berücksichtigung des Zulaufs aus der Schwarzwaldstraße)?
- Wie kann die Schwarzwaldstraße am besten in die Pfortnerung eingebunden werden? Wo kann hier gepfortnert werden?
- Welche Begleitmaßnahmen sind zur Vermeidung von Ausweichverkehren erforderlich und wie können diese am besten umgesetzt werden?

5.4.4 Planfall 2

Da die Pfortnerung für den von Osten ankommenden Kfz-Verkehr technisch nicht einfach umzusetzen ist und zu Ausweichverkehren führen kann, wurde ein weiterer Planfall ohne östliche Pfortnerung (Planfall 2) durch mikroskopische Simulation untersucht.

Hierbei kann – im Vergleich zum Planfall 1 – eine deutliche Verschlechterung der Fahrtrichtung Westen festgestellt werden. Die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs am Knotenpunkt „B31 / Schwabentorbrücke“ während der vormittäglichen Spitzenstunde verschlechtert sich von QSV B auf QSV E und ähnelt somit dem Verkehrsablauf im Bestand.

Während der nachmittäglichen Spitzenstunde bleibt sie mit QSV C in etwa konstant, da zu dieser Zeit die Pfortnerung angesichts der geringeren Ost-West-Verkehrsstärken eine geringere Bedeutung hat. Hier sind die übrigen Maßnahmen (Optimierung LSA-Steuerung, Geschwindigkeitsbeschränkung) von höherer Bedeutung.

6 Maßnahmenberechnungen Emissionen

6.1 Grundlagen

Zur Berechnung der Emissionen im Modellgebiet für den Bestand 2015 und die Prognose bis 2022 (Abschnitt 6.5) wurde das Emissionsberechnungsmodell *roadTEIM* eingesetzt (vergl. Kapitel 2.2.2). Dabei wurden die lokalen Gegebenheiten insbesondere für die Abschnitte der B31 wie folgt berücksichtigt:

- Störungsgrad auf der Messstrecke, der zur Ermittlung der Verkehrssituation benötigt wird, wurde für jede Tagesstunde aus den Messfahrten abgeleitet.
- Die Tagesganglinien für die Verkehrsstärke wurden pro Fahrzeugart aus der Dauerzählstelle der LUBW an der Schwarzwaldstraße abgeleitet.
- Flottenzusammensetzung: Es wurde der bereits in Tab. 4.4 und Abb. 4-7 dargestellte lokale dynamische Bestand verwendet.
- Es wurde die in Tab. 4.3 für die beiden in Abb. 3-15 dargestellten Abschnitte ausgewiesenen Verkehrsstärken verwendet.

Bei der Ermittlung der Emissionen für den Planfall 3 „B31 in grüne Umweltzone“ (Abschnitt 6.5.3) wurde eine veränderte Flottenzusammensetzung verwendet, die die Aussperrung von Dieselfahrzeugen schlechter Euro 4 und Benzin-Fahrzeugen schlechter Euro 1 berücksichtigt.

Messfahrten liegen nur für die verkehrliche Situation zum Zeitpunkt ihrer Durchführung, also für den Bestand im Jahr 2017, vor. Für die Situation mit geöffneter Kronenbrücke (Nullfälle) und für die Maßnahmenfälle wurden Fahrten mit dem mikroskopischen Modell simuliert. Um abzuschätzen, welche Auswirkungen die dadurch bedingten Änderungen im Verkehrsablauf auf die Emissionsfaktoren haben, wurden die für diese Fälle simulierten Fahrten an die Messfahrten gekoppelt. Dies wird in Abschnitt 6.4 beschrieben.

Die für die Emissionsberechnung verwendeten Grundlegendaten werden im Folgenden erläutert.

6.1.1 Emissionsfaktorendatenbank HBEFA3.3

Die HBEFA3.3-Datenbank [4] enthält pro Fahrzeugkategorie für jede einzelne Fahrzeugschicht (unterschieden nach Motorkonzept, Euronormstufe, Hubraum, Gewichtsklasse, etc.) pro Verkehrssituation sogenannte Schichtemissionsfaktoren für verschiedene Abgaskomponenten. Die Schichtemissionsfaktoren geben die charakteristischen spezifischen Abgasemissionen für die betrachtete Verkehrssituation in g/Fzg/km an. Diese Schichtemissionsfaktoren wurden im Rahmen umfangreicher europäischer Projekte ermittelt, wobei zunächst typische Real-World-Fahrzyklen definiert und daraus die sogenannten Verkehrssituationen abgeleitet worden waren (vgl. z.B. [2], [3]). Die Schichtemissionsfaktoren werden zur Berechnung der Emissionsfaktoren im Berechnungsmodell *roadTEIM* verwendet.

6.1.2 Verkehrssituation nach HBEFA3.3

Die Schichtemissionsfaktoren sind in HBEFA3.3 für unterschiedliche Fahr-/Straßen- und Verkehrszustände angegeben. Diese wurden in einem Schema von Verkehrssituationen kategorisiert. Für die Emissionsberechnung war es notwendig, jedem Streckenabschnitt eine Hauptverkehrssituation zuzuordnen. Diese Hauptverkehrssituationen wurden pro Streckenabschnitt aus dem Netzmodell des landesweiten Emissionskatasters übernommen, auf Plausibilität überprüft und bei Bedarf angepasst.

Neben der Hauptverkehrssituation ist der Störungsgrad im Verkehrsablauf zur vollständigen Bestimmung der Verkehrssituation notwendig. Jede Verkehrssituation im HBEFA3.3 ist über die Dynamik-Parameter „mittlere Reisegeschwindigkeit“ (v_R), „relative positive acceleration“ (RPA) und Konstantfahrtanteil charakterisiert. Zur Berechnung der Emissionen ist es erforderlich, die Störungsgrad-Verteilung zeitaufgelöst zu bestimmen.

6.2 Bestimmung des Störungsgrads auf Basis der gemessenen Fahrprofile

Für die Messstrecke auf der B31 wurde aus den Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten in den Zeitbereichen „Morgenspitze“, „Tagzeitbereich“, „Nachmittagsspitze“ und „Nachtzeitbereich“ die Störungsgrad-Verteilung über den Tag abgeleitet. Das Vorgehen wird im Folgenden beschrieben.

Relevant für die Bestimmung des Störungsgrads ist die Reisegeschwindigkeit v_R , einer der charakteristischen Dynamikparameter nach HBEFA3.3⁸. Diese kann pro Abschnitt für jede Messfahrt berechnet werden. Zur Berechnung einer Tagesganglinie für v_R werden zusätzliche Informationen aus der Dauerzählstelle der LUBW in der Schwarzwaldstraße abgeleitet. Diese liegt in Fahrtrichtung Osten am Ende der Messstrecke. In Fahrtrichtung Westen liegt die Dauerzählstelle östlich des Beginns der Messstrecke (für Spur 1 auf der Schwarzwaldstraße vor der Einmündung in die B31, für Spur 4 und 5 am Tunnelmund). An der Dauerzählstelle wird pro Fahrspur mittels Seitenradar halbstündlich die lokale Durchschnittsgeschwindigkeit am jeweiligen Messpunkt bestimmt. Die lokale Durchschnittsgeschwindigkeit an einem Punkt ist nicht direkt mit der Reisegeschwindigkeit über einen Abschnitt vergleichbar, trotzdem gibt sie Hinweise auf den Verlauf der Tagesganglinie und die Lage der morgendlichen und der nachmittäglichen Spitzenstunden.

In Abb. 6-1 (obere zwei Darstellungsreihen) ist der Tagesgang der mittleren Reisegeschwindigkeiten aus den Messfahrten pro Abschnitt und Richtung dargestellt.

⁸ Für eine gegebene Messstrecke sind RPA, Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit hoch korreliert, daher ist es ausreichend, zur Ableitung der Störungsgrad-Verteilung die Reisegeschwindigkeit auszuwerten.

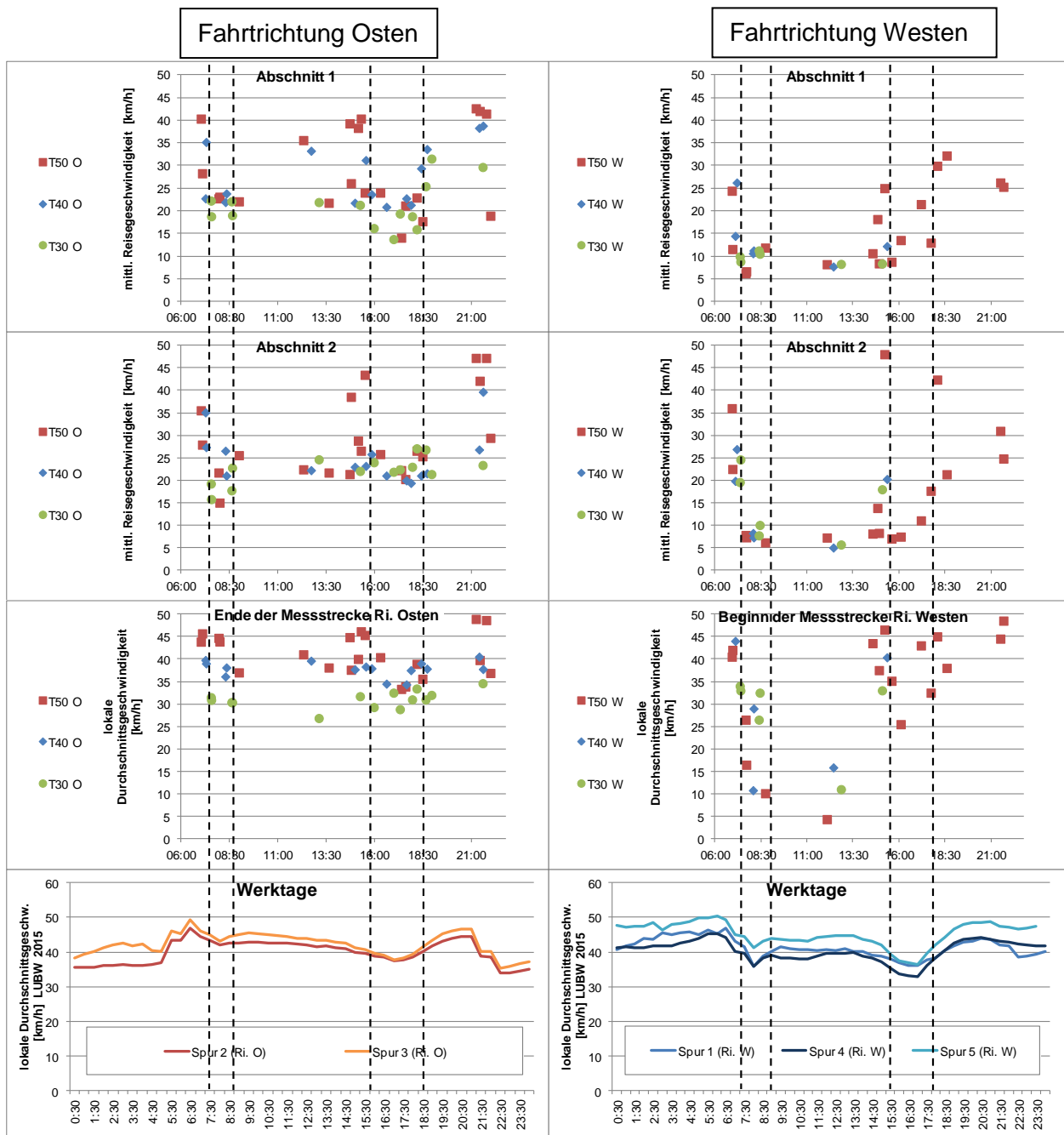


Abb. 6-1: Vergleich der Tagesgänge der mittleren Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt und Richtung abgeleitet aus den Messfahrten (obere zwei Bildreihen), der lokalen Durchschnittsgeschwindigkeit auf Höhe der Dauerzählstelle, abgeleitet aus den Messfahrten (dritte Bildreihe) und der lokalen Durchschnittsgeschwindigkeit pro Fahrspur an der Dauerzählstelle Schwarzwaldstraße 2015 (untere Bildreihe).

Außerdem ist der Tagesgang der lokalen Durchschnittsgeschwindigkeit bei Messfahrten in Richtung Osten am Ende und bei Messfahrten in Richtung Westen am Anfang der Messstrecke dargestellt (dritte Darstellungsreihe). Wie oben beschrieben entspricht dies in Fahrtrichtung Osten der Lage der Dauerzählstelle der LUBW, in Fahrtrichtung Westen ist es etwas verschoben. In der vierten Bildreihe in Abb. 6-1 ist zusätzlich der Tagesgang der lokalen

Durchschnittsgeschwindigkeit pro Fahrspur aus der Dauerzählstelle für das Jahr 2015 dargestellt. Da die Messfahrten an Werktagen stattfanden, wurde der Vergleich mit der Dauerzählstelle ebenfalls für Werktage durchgeführt.

In Abb. 6-1 ist Folgendes zu erkennen:

- Die Zeitbereiche der Morgenspitze und der Nachmittagsspitze aus den Messfahrten (jeweils markiert durch gestrichelte vertikale Linien) stimmen mit der Dauerzählstelle (als leichte Einbrüche der lokalen Geschwindigkeit zu erkennen) überein.
- Innerhalb aller Zeitbereiche gibt es in den Messfahrten eine hohe Variabilität der mittleren Reisegeschwindigkeit. In Fahrtrichtung Westen ist diese noch höher als in Fahrtrichtung Osten.
- Nur bei hohen mittleren Reisegeschwindigkeiten (geringer Störungsgrad) unterscheiden sich die mittleren Reisegeschwindigkeiten der Fahrten je nach Tempolimit.
- In Fahrtrichtung Osten stimmen die lokalen Durchschnittsgeschwindigkeiten aus den Messfahrten am Ende der Messstrecke über den gesamten Zeitbereich gut mit den Werten der Dauerzählstelle überein.
- In Fahrtrichtung Westen sind die lokalen Durchschnittsgeschwindigkeiten aus den Messfahrten am Anfang der Messstrecke (es handelt sich nicht um die Beschleunigungsphase) zum Teil deutlich kleiner als nach der Dauerzählstelle. Dafür kann es mehrere Gründe geben:
 - Der Stau reicht in dieser Richtung nur selten bis in den Tunnel hinein. Es ist daher zu erwarten, dass der Verkehrsablauf an der Dauerzählstelle am Tunnelmund i.d.R. besser ist als auf der Messstrecke.
 - Am Mittwoch, dem 08.03.2017 (am mittleren Tag der drei Tage, an denen Messfahrten durchgeführt wurden), kam es zwischen 09:00 Uhr und 11:00 Uhr zu einer Tunnelsperrung in beiden Richtungen. Messfahrten während dieses Zeitbereichs gingen nicht in die Auswertung ein. Der Verkehrsablauf in Richtung Westen nach der Öffnung des Tunnels kann jedoch nach der Öffnung durch den abfließenden Rückstau negativ beeinflusst sein.

Für die Zeitbereiche „Morgenspitze“, „Tagzeitbereich“, „Nachmittagsspitze“ und „Nachtzeitbereich“ wurden die mittleren Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten pro Abschnitt und Fahrtrichtung bestimmt. In Anlehnung an die Definitionen nach dem HBEFA (dargestellt in Tab. 6.1) wurde den Abschnitten pro Richtung für jeden Zeitbereich ein Störungsgrad zugeordnet.

Wie oben beschrieben kam es am 08.03.2017 zwischen 09:00 Uhr und 11:00 Uhr zu einer Tunnelsperrung in beiden Richtungen. Messfahrten aus diesem Zeitbereich gingen nicht in die Auswertung ein. Die vorliegenden Messfahrten in Richtung Westen im Tagzeitbereich liegen im Zeitraum zwischen 12:00 Uhr und 13:00 Uhr und können durch den abfließenden Rückstau

negativ beeinflusst sein. Auf Basis dieser Fahrten ergibt sich für den Tagzeitbereich in Fahrtrichtung Westen der Störungsgrad „Stop&Go“. Ein entsprechender Einbruch der lokalen Durchschnittsgeschwindigkeit ist, wie Abb. 6-1 zeigt, in den Messungen der Dauerzählstelle in dieser Richtung nicht vorhanden. Der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Westen im Tagzeitbereich wird daher ggü. der Auswertung der Messfahrten um eine Stufe verbessert und auf „gesättigt“ gesetzt.

Tab. 6.1: Störungsgrad in Abhängigkeit von der Reisegeschwindigkeit v_R für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen mit Tempolimit 50 km/h nach HBEFA.

	Reisegeschwindigkeit
flüssig	$v_R > 45 \text{ km/h}$
dicht	$45 \text{ km/h} \geq v_R > 30 \text{ km/h}$
gesättigt	$30 \text{ km/h} \geq v_R > 15 \text{ km/h}$
Stop&Go	$v_R < 15 \text{ km/h}$

In Tab. 6.2 sind für die beiden Abschnitte der Messstrecke auf der B31 die ermittelten Störungsgrade pro Tagzeitbereich ausgewiesen.

Tab. 6.2: Störungsgrad pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich, abgeleitet aus den Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten und den Definitionen nach HBEFA (Tab. 6.1).

Bestand		Anzahl Stunden	Reisegeschw. [km/h]		Störungsgrad	
			Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 1	Abschnitt 2
Ri. Osten						
Nachtzeitbereich	18:30 bis 07:15	12,75	36	38	flüssig ^(*) , T30	flüssig ^(*) , T30
Morgenspitze	07:15 bis 08:45	1,50	23	18	gesättigt	gesättigt
Tagzeitbereich	08:45 bis 16:00	7,25	31	29	dicht	gesättigt
Nachmittagsspitze	16:00 bis 18:30	2,50	20	24	gesättigt	gesättigt
Ri. Westen						
Nachtzeitbereich	18:00 bis 07:15	13,25	24	28	flüssig ^(*) , T30	flüssig ^(*) , T30
Morgenspitze	07:15 bis 08:45	1,50	10	11	Stop&Go	Stop&Go
Tagzeitbereich	08:45 bis 15:30	6,75	12	15	gesättigt ^(**)	gesättigt
Nachmittagsspitze	15:30 bis 18:00	2,50	13	12	Stop&Go	Stop&Go

(*) Verkehrsablauf flüssig, mittl. Reisegeschwindigkeit geringer wegen T30 im Nachtzeitbereich aus Lärmschutzgründen

(**) Verkehrsablauf eine Stufe besser als auf Basis der Messfahrten, da diese nach der Aufhebung der Tunnelsperrung zusätzlich gestört

Im Nachtzeitbereich ist der Verkehrsablauf auf den betrachteten Abschnitten der Messstrecke in beiden Fahrtrichtungen „flüssig“; aufgrund des nachts aus Lärmschutzgründen geltenden

Tempolimits von 30 km/h ist die Reisegeschwindigkeit etwas geringer als bei einem Tempolimit von 50 km/h.

Während der morgendlichen und der nachmittäglichen Spitzenzeiten ist der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Osten „gesättigt“, in Fahrtrichtung Westen bei „Stop&Go“.

Im Tagzeitbereich außerhalb der Spitzenstunden liegt der Verkehrsablauf zwischen „dicht“ und „gesättigt“.

Die aus den Messfahrten abgeleiteten und in Tab. 6.2 ausgewiesenen Störungsgrade pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich werden zur Berechnung der Emissionen mit *roadTEIM* verwendet.

6.3 Emissionen des Straßenverkehrs im Bestand 2015

Die Berechnung der Emissionen wurde, wie oben beschrieben, mit dem Emissionsberechnungsmodell *roadTEIM* durchgeführt. Das Modellgebiet entspricht dem später für die Immissionsberechnungen gewählten MISKAM-Modellgebiet und umfasst damit nur den östlichen Teil der Messfahrten (s. Abschnitt 2, Abb. 3-15).

Unter Berücksichtigung der aus den Messfahrten abgeleiteten Störungsgrade im Tagesgang (Tab. 6.2) und der mit der Flottenzusammensetzung 2015 für Freiburg (Tab. 4.4) nach HBEFA3.3 ermittelten Emissionsfaktoren wurden unter Verwendung der in Tab. 4.3 ausgewiesenen Verkehrsdatenbasis stündliche Emissionen berechnet; zusätzlich wurden Kaltstart-Zuschläge berechnet und addiert. Die pro Zeitbereich ermittelten stündlichen Emissionen wurden zu Jahresemissionsdichten aggregiert. Die *roadTEIM*-Ergebnisse für die NO_x-Emissionen und das Analysejahr 2015 auf Abschnitt 2 sind im Vergleich mit den NO_x-Emissionen, ermittelt durch Auswertungen der Messfahrten (Abb. 4-12), in Tab. 6.3 ausgewiesen.

Tab. 6.3: NO_x-Jahresemissionsdichten für den Bestand 2015 auf der B31, gemittelt über Abschnitt 2 der Messstrecke (s. Abb. 3-15): *roadTEIM*-Ergebnisse im Vergleich mit der Auswertung der Messfahrten.

NO _x -Jahresemissionsdichten Bestand 2015 [kg/km/a]	Modellrechnung <i>roadTEIM</i> (inklusive Kaltstart)	Auswertung Messfahrten mit Modell PHEM (exklusive Kaltstart)	Differenz
Abschnitt 2 Fahrtrichtung Osten	6.151	6.026	-2%
Abschnitt 2 Fahrtrichtung Westen	7.459	8.193	10%

Die für Abschnitt 2 mit *roadTEIM* berechnete Jahresemissionsdichte liegt in Fahrtrichtung Osten bei ca. 6.150 kg/km/a und in Fahrtrichtung Westen bei ca. 7.460 kg/km/a. Beim Vergleich mit den Auswertungen der Messfahrten ist zu berücksichtigen, dass diese keine Kaltstart-Zuschläge enthalten, also erwartungsgemäß etwas niedriger sind. In Fahrtrichtung Osten besteht eine sehr gute Übereinstimmung zwischen beiden Auswertungen. In Fahrtrichtung Westen liegt die

Auswertung der Messfahrten auf Abschnitt 2 um 10% über der *roadTEIM*-Berechnung. Wie in Abschnitt 6.1.2 beschrieben sind die Messfahrten in dieser Richtung im Tagzeitbereich potenziell durch die Tunnelsperrung beeinflusst, es wurde dort im Tagzeitbereich in Fahrtrichtung Westen für die *roadTEIM*-Berechnungen der tendenziell günstigere Störungsgrad (gesättigt statt Stop&Go) gewählt. Dies erklärt die (ohnehin geringe) Abweichung von 10%.

Für die *roadTEIM*-Rechnung wurde analog zum Verkehrsmodell (s. Abb. 3-4) eine feinere Abschnittseinteilung gewählt als für die Auswertung der Messfahrten. Die für den im Vergleich mit Abschnitt 2 der Messstrecke kürzeren *roadTEIM*-Abschnitt auf Höhe der Luftmessstation berechneten NO_x-Jahresemissionsdichten 2015 liegen bei ca. 5.900 kg/km/a in Fahrtrichtung Osten und bei ca. 7.400 kg/km/a in Fahrtrichtung Westen. In Fahrtrichtung Osten sind die mit *roadTEIM* für den kürzeren Abschnitt an der Luftmessstation berechneten Emissionen also etwas niedriger als gemittelt über den längeren Abschnitt 2 der Messstrecke.

6.4 Abschätzung der emissionsseitigen Wirkungen von Änderungen im Verkehrsablauf

Sowohl der Nullfall (Öffnung der Kronenbrücke) wie auch die Planfälle führen zu Änderungen im Verkehrsablauf. Zur Bestimmung der Änderung der Emissionsfaktoren für diese Fälle wurden die ermittelten Änderungen der Fahrtparameter der simulierten Fahrten zwischen Bestand, Nullfall und Planfall auf die Fahrtparameter der Messfahrten übertragen. Die Vorgehensweise wird im Folgenden im Detail erläutert.

6.4.1 Fahrprofile der simulierten Fahrten im Vergleich mit den Messfahrten für den Bestand

In Abb. 6-2 bis Abb. 6-4 sind für verschiedene Zeitbereiche die mit VISSIM simulierten Fahrprofile für den Bestand (Istzustand ohne Öffnung Kronenbrücke) jeweils im Vergleich mit den Messfahrten in diesen Zeitbereichen dargestellt. Abb. 6-2 zeigt die Morgenspitze (T50, T40 und T30), Abb. 6-3 die Nachmittagsspitze (T50 und T40) und Abb. 6-4 den weniger belasteten Tagzeitbereich zwischen Morgen- und Nachmittagsspitze (als repräsentativ für diesen Zeitbereich wurde vormittags die Stunde zwischen 10:00 Uhr und 11:00 Uhr angesehen, T50 und T40).

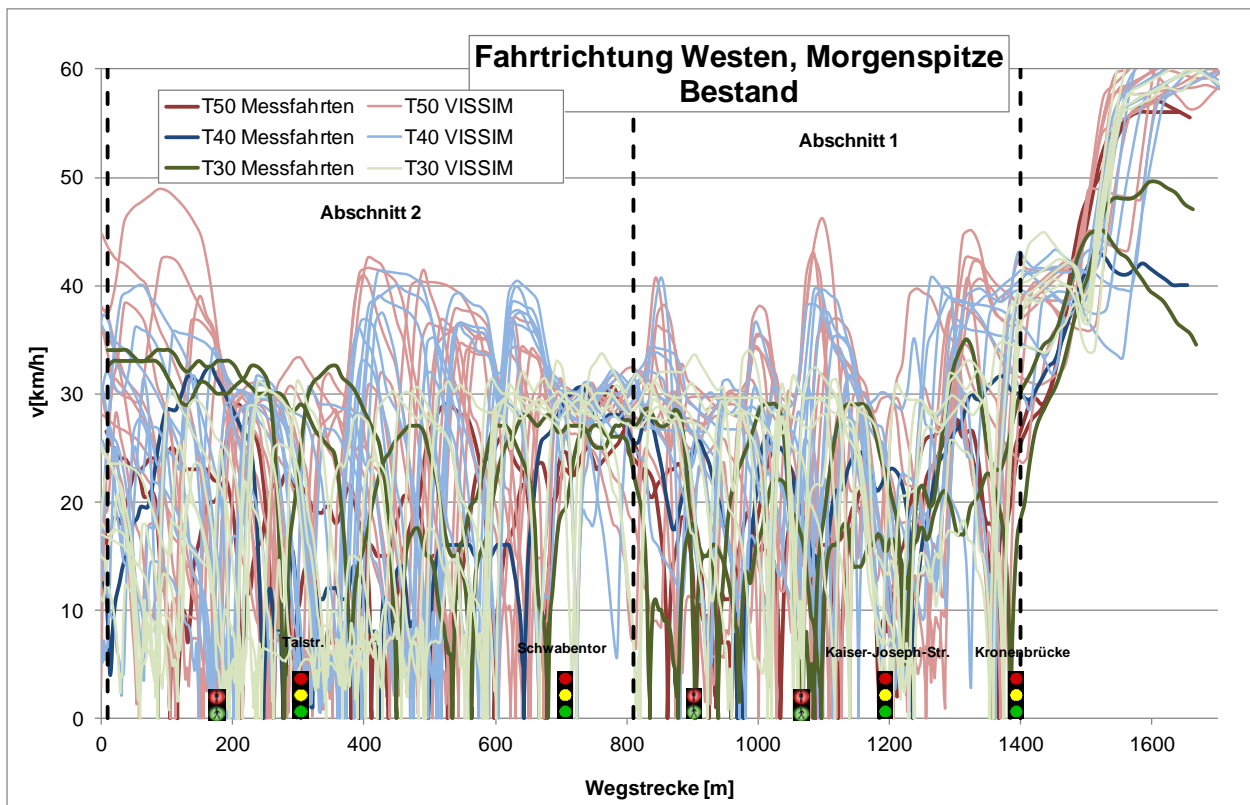
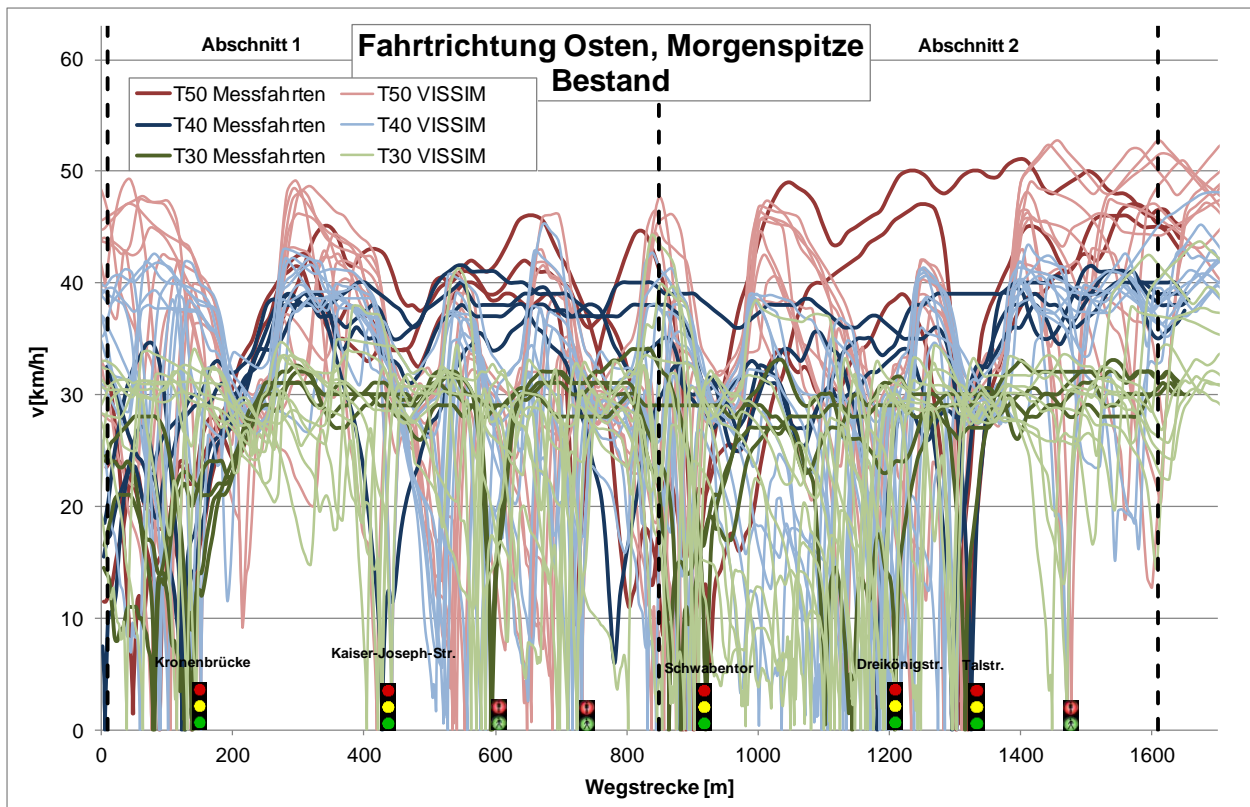


Abb. 6-2: Simulierte Fahrprofile (Bestand) im Vergleich mit den Messfahrten, jeweils Morgenspitze; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.

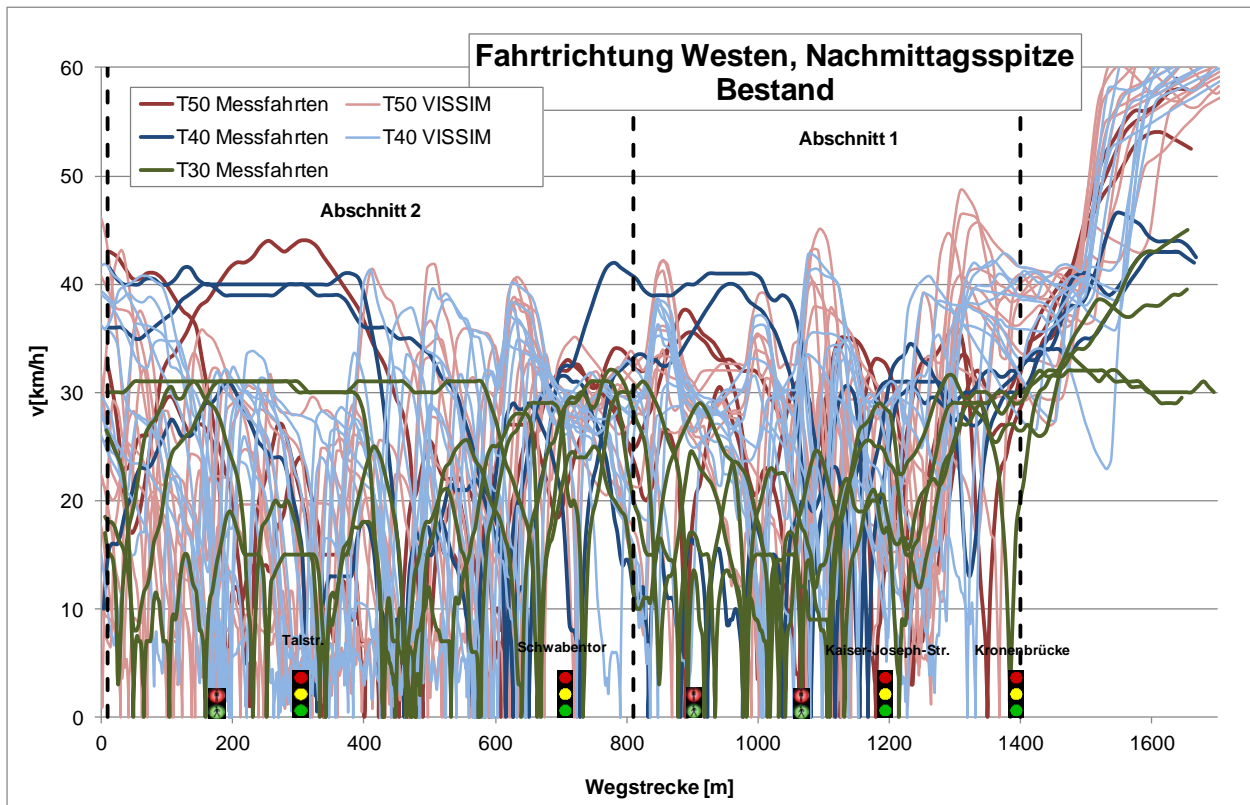
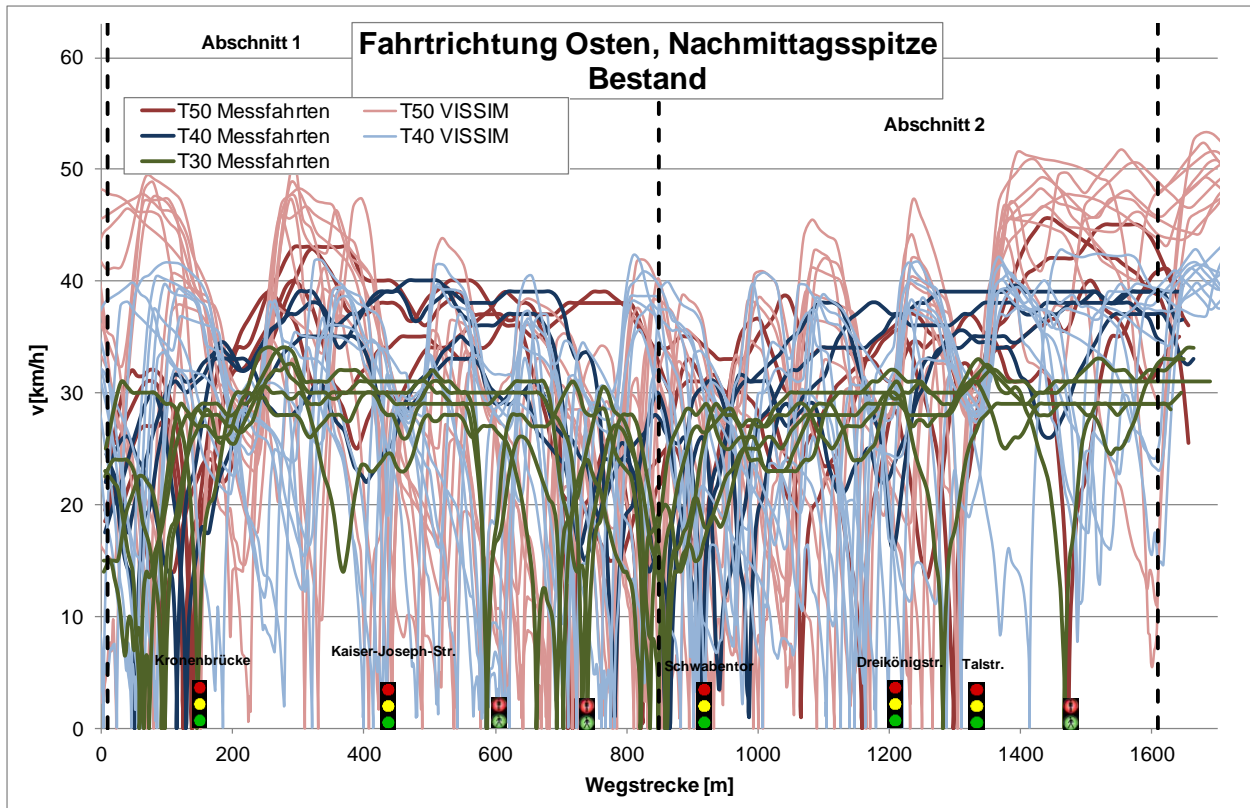


Abb. 6-3: Simulierte Fahrprofile (Bestand) im Vergleich mit den Messfahrten, jeweils Nachmittagsspitze; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.

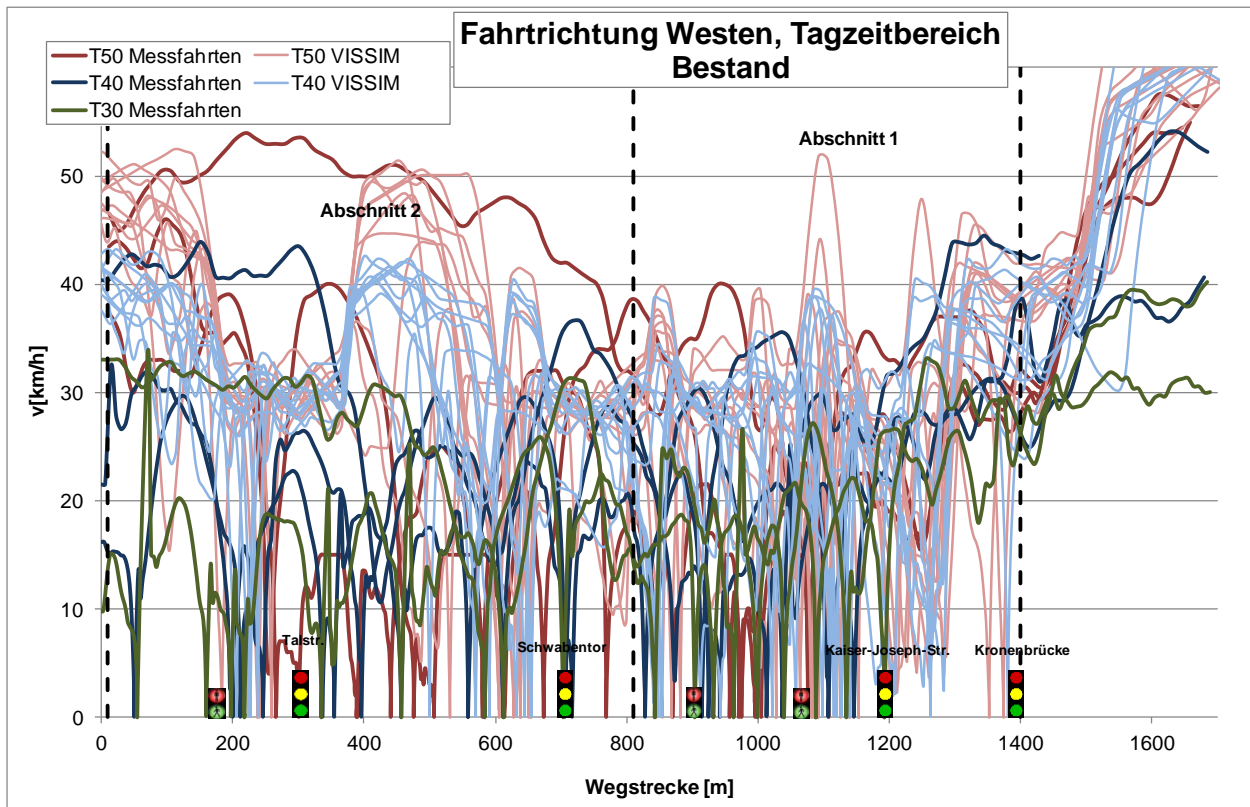
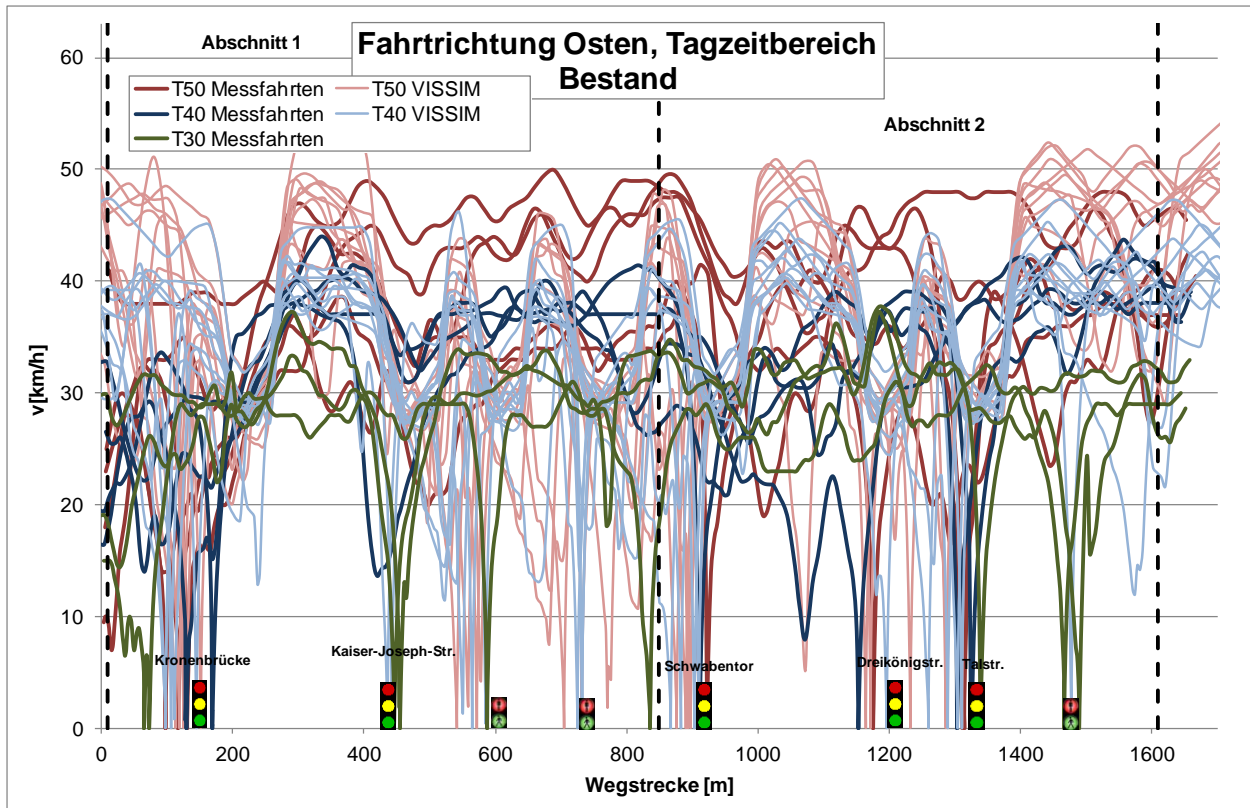


Abb. 6-4: Simulierte Fahrprofile (Bestand) im Vergleich mit den Messfahrten, jeweils Tagzeitbereich; die schwarz gestrichelten Linien markieren jeweils den auszuwertenden Bereich.

Simulierte und reale Fahrprofile sind im Kontext der Emissionsberechnung nicht direkt vergleichbar: Für die Emissionsberechnung sind insbesondere die Beschleunigungsphasen von besonderer Bedeutung, bei geringfügig höheren Beschleunigungen können die Emissionen deutlich zunehmen, bei einer „sportlichen“ Fahrweise sind sie höher als bei einer „defensiven“ Fahrweise. Verkehrsmodelle wurden nicht primär für diesen Anwendungszweck entwickelt, in einem mikroskaligen Verkehrsmodell sind prinzipiell hohe Beschleunigungen möglich. Die Bilder zeigen jedoch, dass die Übereinstimmung hinsichtlich der erreichten Höchstgeschwindigkeiten und der Beschleunigungsphasen relativ gut ist.

6.4.2 Kopplung der charakteristischen Fahrparameter aus VISSIM an die aus den Messfahrten abgeleiteten Fahrparameter für den Bestand

Die Emissionsfaktoren für die simulierten Fahrten werden auf Basis ihrer Fahrparameter und der Emissionsfaktoren der Messfahrten abgeschätzt. Dazu werden jeweils die mittlere Reisegeschwindigkeit und der Konstantfahrtanteil verglichen. Das Vorgehen wird im Folgenden beschrieben.

Für die Messfahrten und die simulierten Fahrten wurden pro Abschnitt und Fahrtrichtung die Fahrparameter mittlere Reisegeschwindigkeit, RPA und Konstantfahrtanteil bestimmt. Die mittlere Reisegeschwindigkeit und der Konstantfahrtanteil sind im Streudiagramm in Abb. 6-5 dargestellt. Ein Symbol in diesem Streudiagramm stellt jeweils der Konstantfahrtanteil und die mittlere Reisegeschwindigkeit für eine Fahrt auf dem entsprechenden Streckenabschnitt dar:

- In der Legende links sind die im Diagramm verwendeten Farben definiert. Sie gelten für alle Symbole: Schwarz für die simulierten VISSIM-Fahrten bzw. eingefärbt nach NO_x -Emissionsfaktor (von grün (geringe Emissionsfaktoren) über gelb (mittlere EF) nach rot (hohe EF)) für die Messfahrten.
- In der Legende rechts werden, unabhängig von der Farbe, die Symbole für die Messfahrten und die simulierten Fahrten erklärt: Diese stellen das Tempolimit (Kreise für T50, Dreiecke für T40) und die Richtung (gefüllte Symbole in Fahrtrichtung Westen und nicht gefüllte Symbole in Fahrtrichtung Osten) dar.
- Die farblich codierten Emissionsfaktoren der Messfahrten wurden gewichtet mit den Anteilen der Fahrzeugarten nach Tab. 4.3 aus den Emissionsfaktoren für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge gemittelt. Die Flottenzusammensetzung entspricht dem Jahr 2018 (s. Tab. 4.4).
- Die Parameter für die simulierten Fahrten (schwarze Symbole) wurden mit einem Skalierungsfaktor versehen, so dass für den Bestand im Streudiagramm ähnliche Parameterbereiche abgedeckt werden wie von den Messfahrten.

Abb. 6-5 enthält alle Zeitbereiche der T50- und T40-Fahrten. Da T30 auf einem Streckenabschnitt gegenüber T40 zu einer geringfügigen Emissionszunahme führt und daher nicht explizit als

Maßnahme betrachtet wird, werden die T30-Fahrten der besseren Übersicht wegen nicht dargestellt. Es ist Folgendes zu erkennen:

- Die Emissionsfaktoren hängen stark von der Reisegeschwindigkeit ab. Der Einfluss des Konstantfahrtanteils ist auf der hier betrachteten Strecke gering. Bei der Betrachtung verschiedener Strecken wäre dagegen ein Einfluss von Konstantfahrtanteil zu erwarten.
- Die analoge Auswertung mit Streudiagrammen aus mittlerer Reisegeschwindigkeit und RPA (hier nicht gezeigt) ergibt, dass der Einfluss von RPA auf die Emissionsfaktoren auf der betrachteten Strecke vergleichbar gering ist wie der des Konstantfahrtanteils. Zudem sind die Einflüsse der Parameter nicht unabhängig: Beide Größen sind negativ korreliert: Ein hoher RPA-Wert tritt bei niedrigem Konstantfahrtanteil und umgekehrt auf. Die Betrachtung der Reisegeschwindigkeit und einer dieser beiden Größen ist daher hier ausreichend. Es wurde der Konstantfahrtanteil gewählt.
- Die Emissionsfaktoren nehmen mit zunehmender Reisegeschwindigkeit ab. Diese Abnahme ist bei kleinen Reisegeschwindigkeiten stärker ausgeprägt als bei hohen Reisegeschwindigkeiten (starke Abnahme der Emissionsfaktoren bei Anstieg der Reisegeschwindigkeit unterhalb 20 km/h (hoher Störungsgrad); geringe Abnahme der Emissionsfaktoren bei Anstieg der Reisegeschwindigkeit oberhalb 30 km/h (geringer Störungsgrad)).
- In Fahrtrichtung Westen (gefüllte schwarze Symbole) werden niedrigere mittlere Reisegeschwindigkeiten erreicht als in Fahrtrichtung Osten (nicht gefüllte schwarze Symbole). Dies gilt für Messfahrten und simulierte Fahrten und insbesondere für Abschnitt 2, in dem sich die Luftmessstation befindet.

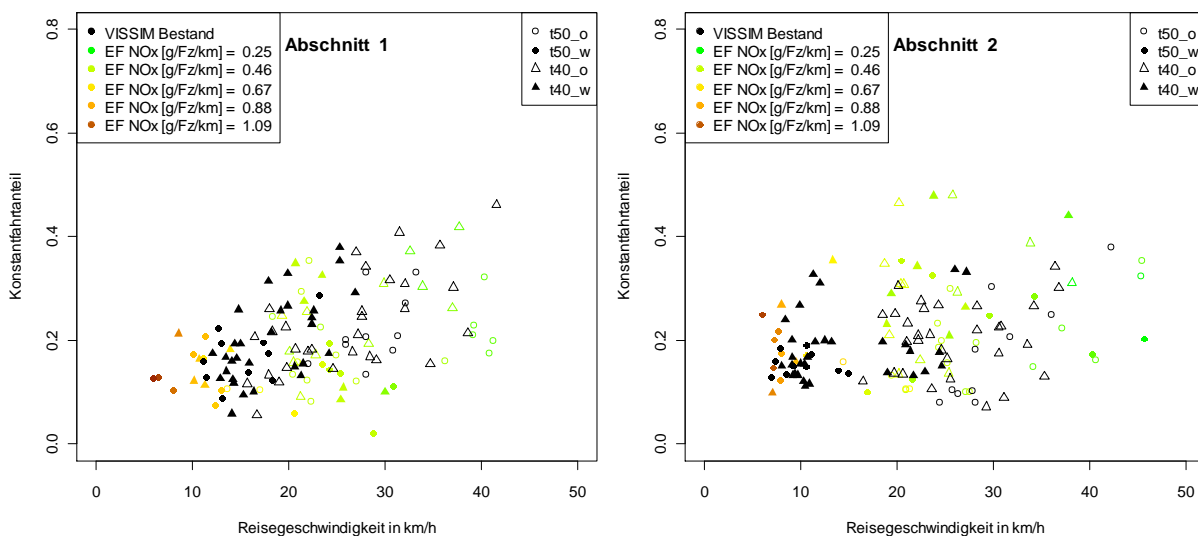


Abb. 6-5: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO_x-Emissionsfaktor (EF) 2018) und simulierte Fahrten für den Bestand (schwarz); alle Zeitbereiche.

Als Abschätzung für die Emissionsfaktoren der simulierten Fahrten pro Abschnitt wird der Mittelwert über die Emissionsfaktoren der Messfahrten berechnet, die in dem von den simulierten Fahrten abgedeckten Parameterbereich liegen.

Diese Abschätzung wird nicht als Absolutwert für die Emissionsfaktoren verwendet, sondern sie dient als Basis zur Berechnung von Emissionsänderungen für die Maßnahmenfälle.

6.4.3 Abschätzung der Änderungen der Emissionsfaktoren für Nullfall und Planfälle 1 und 2

Abb. 6-5 zeigt die Kopplung der mit VISSIM simulierten Fahrten für den Bestand über die Fahrtparameter an die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren. Analog zum Bestand wurden auch für die simulierten Fahrten für Nullfall und Planfälle 1 und 2 die Fahrtparameter pro Abschnitt, Richtung, Zeitbereich und Tempolimit bestimmt. Sie sind in den Streudiagrammen in Abb. 6-6 bis Abb. 6-8 dargestellt.

- Die Fahrtparameter für die Messfahrten für den Bestand sind in allen Diagrammen jeweils für alle Zeitbereiche eingetragen, nach zunehmenden Emissionsfaktoren eingefärbt von grün über gelb nach rot. Dadurch wird der gesamte durch Messfahrten abgedeckte Parameterbereich sichtbar (für die Messfahrten identisch zu Abb. 6-5).
- Die Fahrtparameter der simulierten Fahrten für Nullfall (Abb. 6-6), Planfall 1 (Abb. 6-7) sowie Planfall 2 (Abb. 6-8) sind in den einzelnen Diagrammen getrennt nach Zeitbereich (Morgenspitze, Nachmittagsspitze, Tagzeitbereich) in blau eingetragen. Zusätzlich sind in diesen Diagrammen die Fahrtparameter für den Bestand in schwarz eingetragen.

Aufgrund der Änderungen der Fahrtparameter für Nullfall und Planfälle gegenüber dem Bestand aus den simulierten Fahrten ist jeweils die Lage der blauen Symbole gegenüber den schwarzen Symbolen im Streudiagramm verschoben. Diese Verschiebung bedingt eine Änderung der Emissionsfaktoren (dargestellt durch die Farbgebung der Symbole für die Parameter aus den Messfahrten). Pro Richtung, Abschnitt und Zeitbereich wurde jeweils die Änderung der Emissionsfaktoren bestimmt, die sich aus der Verschiebung des Gesamtkollektivs der entsprechenden blauen Symbole gegenüber den zugehörigen schwarzen Symbolen ergibt.

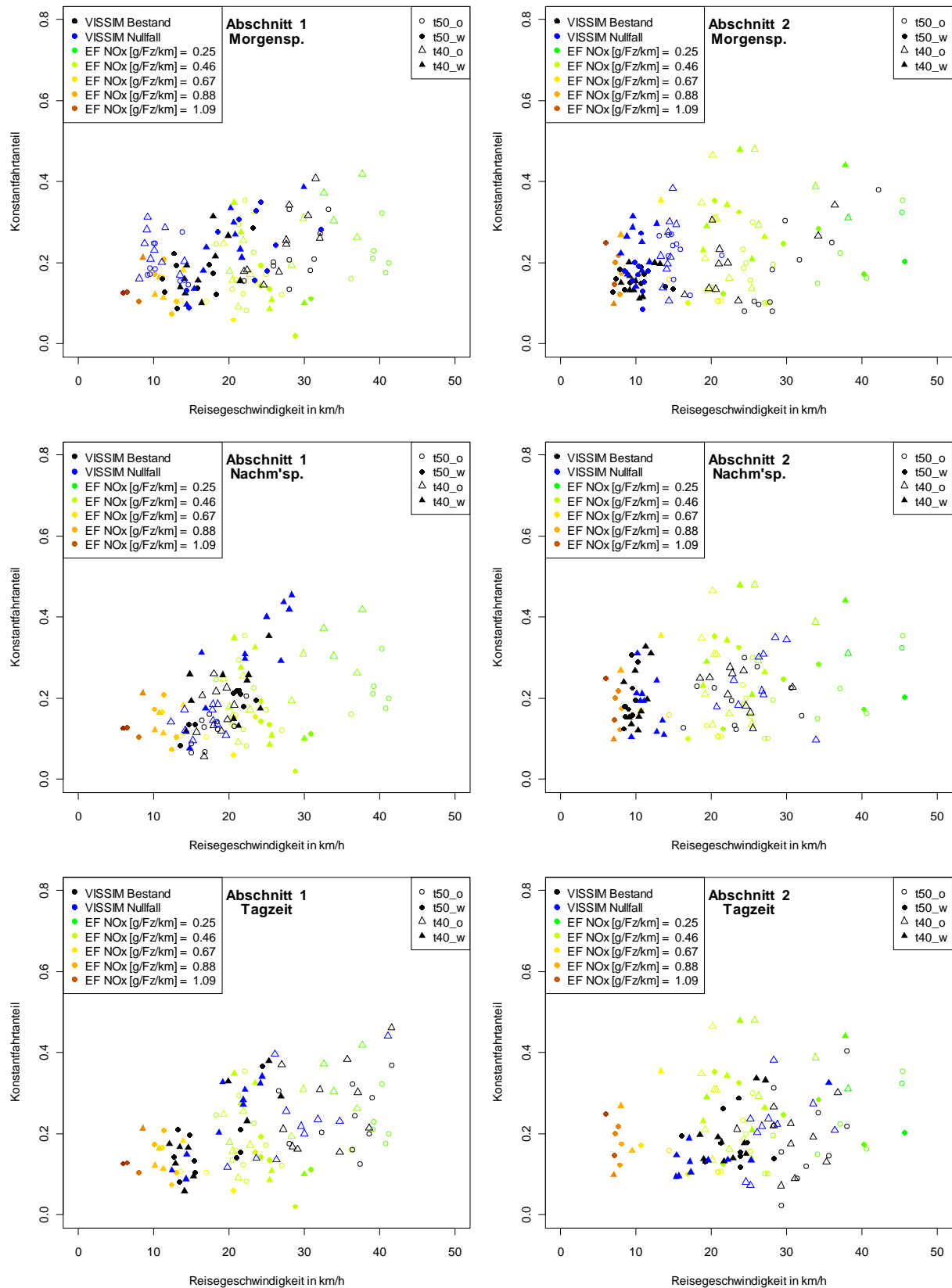


Abb. 6-6: Vergleich Nullfall-Bestand: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahranteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung, Zeitbereich und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO_x-Emissionsfaktor (EF) 2018) sowie simulierte Fahrten für Bestand (schwarz) und Nullfall (blau).

In Abb. 6-6 ist zu erkennen, dass sich der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Osten durch die Öffnung der Kronenbrücke (Nullfall, nicht gefüllte blaue Symbole) gegenüber dem Bestand (nicht gefüllte schwarze Symbole) verschlechtert. Dies gilt insbesondere in der Morgenspitze auf Abschnitt 1, dargestellt im Teildiagramm oben links in Abb. 6-6: Die nicht gefüllten blauen Symbole für den Nullfall liegen bei deutlich kleineren mittleren Reisegeschwindigkeiten als die nicht gefüllten schwarzen Symbole für den Bestand und sogar bei kleineren mittleren Reisegeschwindigkeiten als die gefüllten schwarzen Symbole für den Bestand in Fahrtrichtung Westen.

Der Hauptgrund dafür ist, dass die durch die Sperrung verursachte Pfortnerung an der Kronenbrücke entfällt; hinzu kommt, dass die Verkehrsstärke östlich der Kronenbrücke leicht ansteigen wird (s. Abschnitt 5.2). Insgesamt ist der Verkehrsablauf im Nullfall in der Morgenspitze in Fahrtrichtung Osten bis zum Schwabentor durch Stop&Go geprägt.

Auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Osten ist dieser Effekt in der Morgenspitze auch vorhanden, aber deutlich schwächer ausgeprägt. Ähnliches gilt für die anderen Zeitbereiche.

In Fahrtrichtung Westen (gefüllte Symbole) kommt es durch die Öffnung der Kronenbrücke zu leichten Verbesserungen im Verkehrsablauf: Der Knotenpunkt Kronenbrücke ist leistungsfähiger als die bestehende Baustellensignalisierung. Dadurch wird der Abfluss am Knotenpunkt Kaiserbrücke verbessert, so dass sich der Verkehrsfluss zwischen Schwabentorbrücke und Kaiserbrücke verbessert.

Analog zu Abb. 6-6 wird in Abb. 6-7 der Planfall 1 mit dem Bestand verglichen. Der Planfall 1 beinhaltet die geöffnete Kronenbrücke sowie das Maßnahmenpaket zur Verflüssigung des Verkehrsablaufs aus Pfortnerung und Optimierung der LSA-Steuerung sowie Tempolimit T40.

Auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Osten ist der Verkehrsablauf im Planfall 1 während der Morgenspitze und des Tagzeitbereichs ebenfalls schlechter als im Bestand, der Effekt ist jedoch durch die angesetzten Maßnahmen deutlich geringer als im Nullfall.

In Abschnitt 2 (dort befindet sich die Luftmessstation) und in Fahrtrichtung Westen kommt es im Planfall 1 gegenüber dem Bestand überall zu Verbesserungen des Verkehrsablaufs. Die stärksten Verbesserungen werden auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen während der Morgen- und der Nachmittagsspitze erreicht.

In Abb. 6-8 wird entsprechend der Planfall 2 mit dem Bestand verglichen. Anders als beim Planfall 1 wird der Verkehrsablauf auf dem am höchsten belasteten Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen in der morgendlichen Spitzenstunde gegenüber dem Bestand nur geringfügig verbessert.

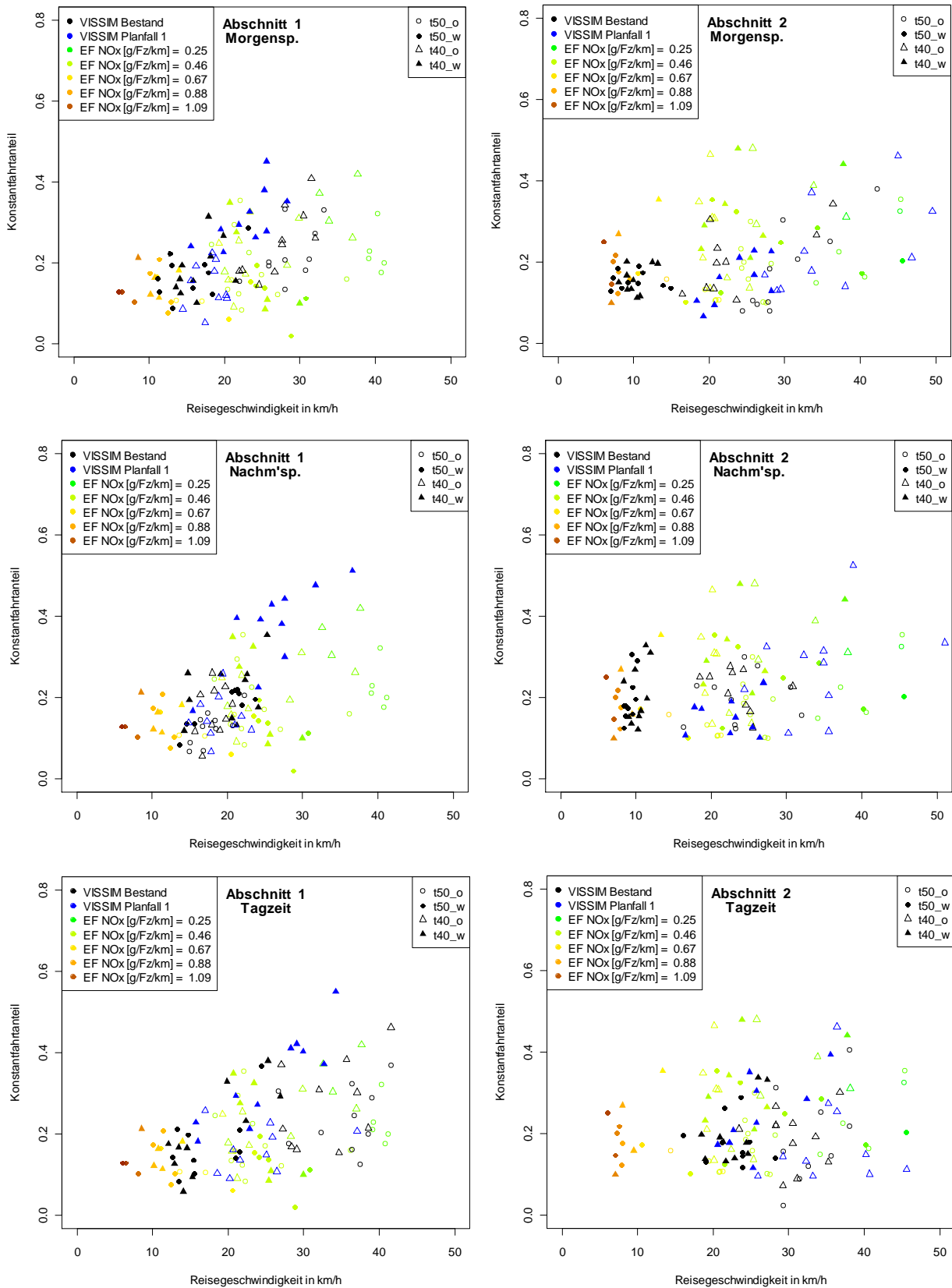


Abb. 6-7: Vergleich Planfall 1 mit Bestand: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahranteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung, Zeitbereich und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO_x-Emissionsfaktor (EF) 2018) sowie simulierte Fahrten für Bestand (schwarz) und Nullfall (blau).

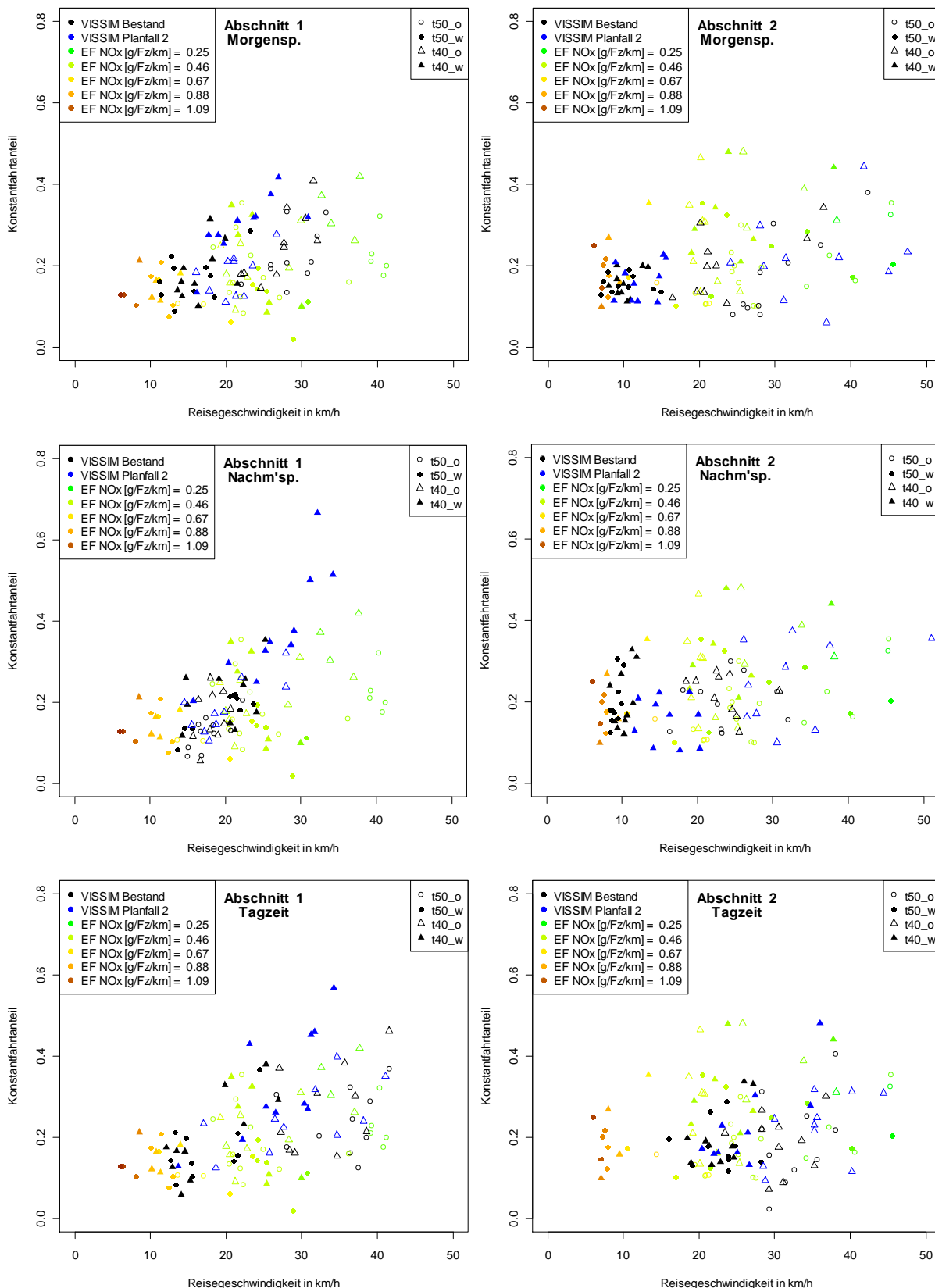


Abb. 6-8: Vergleich Planfall 2 mit Bestand: Streudiagramme im Parameterraum aus Konstantfahranteil und Reisegeschwindigkeit pro Abschnitt, Fahrtrichtung, Zeitbereich und Tempolimit: Messfahrten (eingefärbt nach mittlerem NO_x-Emissionsfaktor (EF) 2018) sowie simulierte Fahrten für Bestand (schwarz) und Nullfall (blau).

Analog zum Bestand wurden pro Abschnitt und Fahrtrichtung mittlere NO_x-Emissionsfaktoren für die simulierten Fahrten aus Nullfall und Planfall durch Mittelwertbildung über die Emissionsfaktoren der Messfahrten abgeschätzt, die in dem von den entsprechenden simulierten Fahrten abgedeckten Parameterbereich liegen.

Die Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren im Nullfall gegenüber denen im Bestand für die Flotte 2018 pro Abschnitt, Fahrtrichtung und Zeitbereich sind in Abb. 6-9 dargestellt.

Da die Kronenbrücke im Jahr 2018 noch nicht geöffnet sein wird, ist der Nullfall hier hypothetischer Natur. Es wurden in der Abbildung dennoch die Emissionsfaktoren für beide Fälle im selben Jahr (2018) verglichen, damit die Änderung durch die Öffnung der Kronenbrücke getrennt von der Änderung durch die Flottenentwicklung betrachtet werden kann.

Bei Wahl der Flotten für die Jahre 2020 und 2022 als Basis ergeben sich nahezu identische relative Änderungen zwischen den Emissionsfaktoren der verschiedenen Fälle.

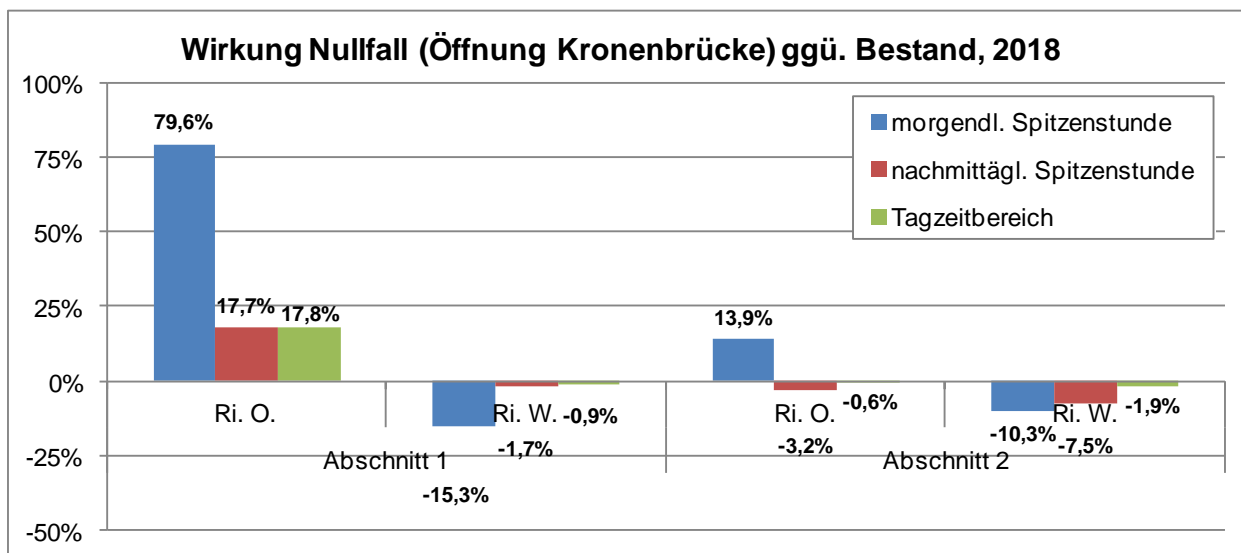


Abb. 6-9: Relative Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren für den Nullfall ggü. dem Bestand pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.

Wie schon in den Streudiagrammen Abb. 6-6 gezeigt, verschlechtert sich der Verkehrsablauf in Fahrtrichtung Osten durch die Öffnung der Kronenbrücke. Während der Morgenspitze werden Zunahmen der Emissionsfaktoren von ca. 80% auf Abschnitt 1 und ca. 14% auf Abschnitt 2 erwartet. Während der Nachmittagsspitze und im Tagzeitbereich kommt es zu geringeren Zunahmen von ca. 18% auf Abschnitt 1, auf Abschnitt 2 sind die erwarteten Änderungen gering. Die extreme Zunahme auf Abschnitt 1 während der morgendlichen Spitzenstunde in Fahrtrichtung Osten rührt daher, dass durch Öffnung der Kronenbrücke die Pförtnerung entfällt und ein vorher flüssiger Verkehrsablauf in den Stop&Go-Bereich fällt. In der nachmittäglichen Spitzenstunde und im Tagzeitbereich sowie auf Abschnitt 2 ist dieser Effekt deutlich schwächer

ausgeprägt. Es wird davon ausgegangen, dass durch Optimierung der LSA-Steuerung dieser Effekt vermieden werden kann.

In Fahrtrichtung Westen werden durch die Öffnung der Kronenbrücke überall Abnahmen der Emissionsfaktoren bis maximal ca. 15% (Morgenspitze, Abschnitt 1) erwartet. Diese Abnahmen liegen in der bei Verbesserung des Verkehrsablaufs erwarteten Bandbreite (vergl. Potenzialanalyse).

Die Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren im Planfall 1 gegenüber denen im Bestand für die Flotte 2018 pro Abschnitt, Fahrtrichtung und Zeitbereich sind in Abb. 6-10 dargestellt.

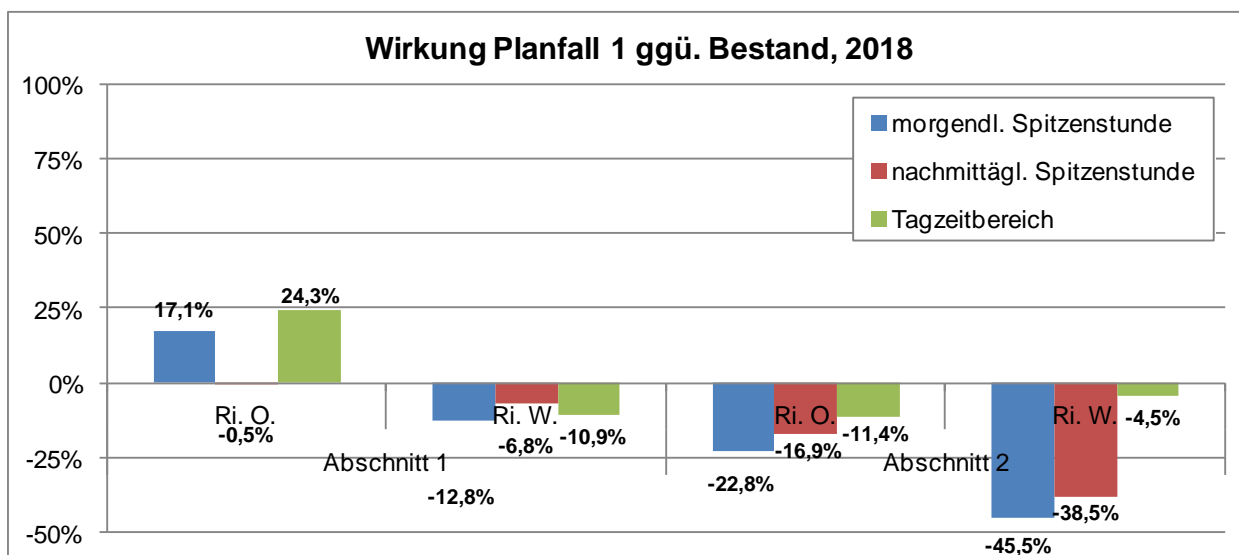


Abb. 6-10: Relative Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren für den Planfall 1 ggü. dem Bestand pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.

Auch im Planfall 1 werden in Fahrtrichtung Osten (siehe auch Streudiagramm Abb. 6-7) auf Abschnitt 1 gegenüber dem Bestand Zunahmen der NO_x-Emissionsfaktoren erwartet, jedoch deutlich geringere als im Nullfall. Während der Morgenspitze liegen sie bei ca. 17% und während der Nachmittagsspitze bei ca. 24%. Die erwarteten Änderungen im Tagzeitbereich sind gering. Auf Abschnitt 2 werden in Fahrtrichtung Osten in allen Zeitbereichen Abnahmen der NO_x-Emissionsfaktoren erwartet, sie liegen zwischen ca. 11% im Tagzeitbereich und ca. 23% während der Morgenspitze.

In Fahrtrichtung Westen werden auf beiden Abschnitten Abnahmen der NO_x-Emissionsfaktoren erwartet. Auf Abschnitt 1 liegen diese je nach Zeitbereich zwischen 7% und 13%, auf Abschnitt 2, der die Luftmessstation enthält, wirken die Maßnahmen zur Verflüssigung besonders effektiv. Hier werden Minderungen von fast 46% während der morgendlichen und fast 39% während der nachmittäglichen Spitzenstunde erwartet. Die erwartete Änderung für den Tagzeitbereich ist deutlich geringer und liegt bei fast 5%.

Minderungen um 46% bzw. 39% liegen deutlich über der durch die Verflüssigungsmaßnahmen erwarteten Bandbreite (vergl. Potenzialanalyse Kapitel 4.3.6.1). Sie kommen dadurch zustande, dass in den Spitzenstunden in Fahrtrichtung Westen auf Abschnitt 2 der Verkehrsablauf im Bestand besonders schlecht ist (Stop&Go), so dass hier besonders hohe Minderungen möglich sind. Die im Tagesmittel erzielbaren Minderungen liegen im Rahmen der nach der Potenzialanalyse erwarteten Bandbreite, siehe Abschnitt 4.3.6.1.

Die Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren im Planfall 1 gegenüber denen im Nullfall für die Flotte 2018 pro Abschnitt, Fahrtrichtung und Zeitbereich sind in Abb. 6-11 dargestellt.

Auf Abschnitt 1 im Tagzeitbereich in Fahrtrichtung Osten und in der morgendlichen Spitzenstunde in Fahrtrichtung Westen werden leichte Zunahmen (ca. 5% bzw. ca. 3%) der NO_x-Emissionsfaktoren erwartet. Abgesehen davon werden überall Abnahmen zwischen ca. 3% und ca. 40% erwartet, die stärksten Abnahmen liegen in der morgendlichen Spitzenstunde bei ca. 35% auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Osten und ca. 40% auf Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen.

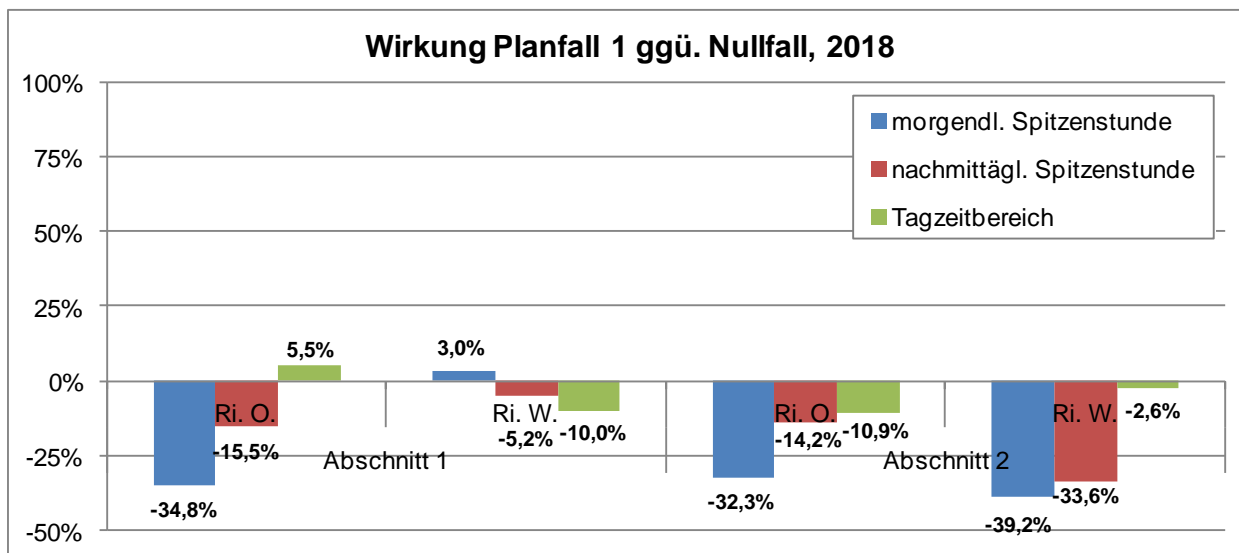


Abb. 6-11: Relative Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren für den Planfall 1 ggü. dem Nullfall pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.

Die ermittelten Emissionsänderungen für den Planfall 2 im Vergleich zum Bestand bzw. zum Nullfall sind in Abb. 6-12 bzw. Abb. 6-13 dargestellt. In beiden Planfällen sind Minderungen gegenüber dem Nullfall zu erwarten. Insbesondere auf dem am höchsten belasteten Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Westen in der morgendlichen Spitzenstunde sind die gegenüber dem Nullfall erreichbaren Minderungen für Planfall 2 (ca. 10%) deutlich geringer als für Planfall 1 (fast 40%).

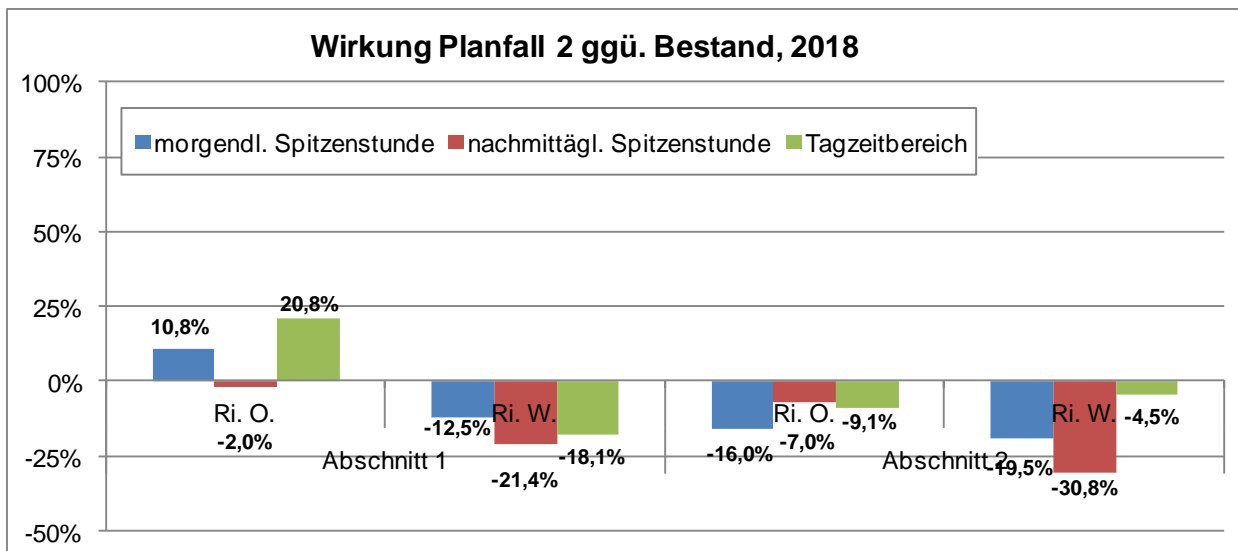


Abb. 6-12: Relative Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren für den Planfall 2 ggü. dem Bestand pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.

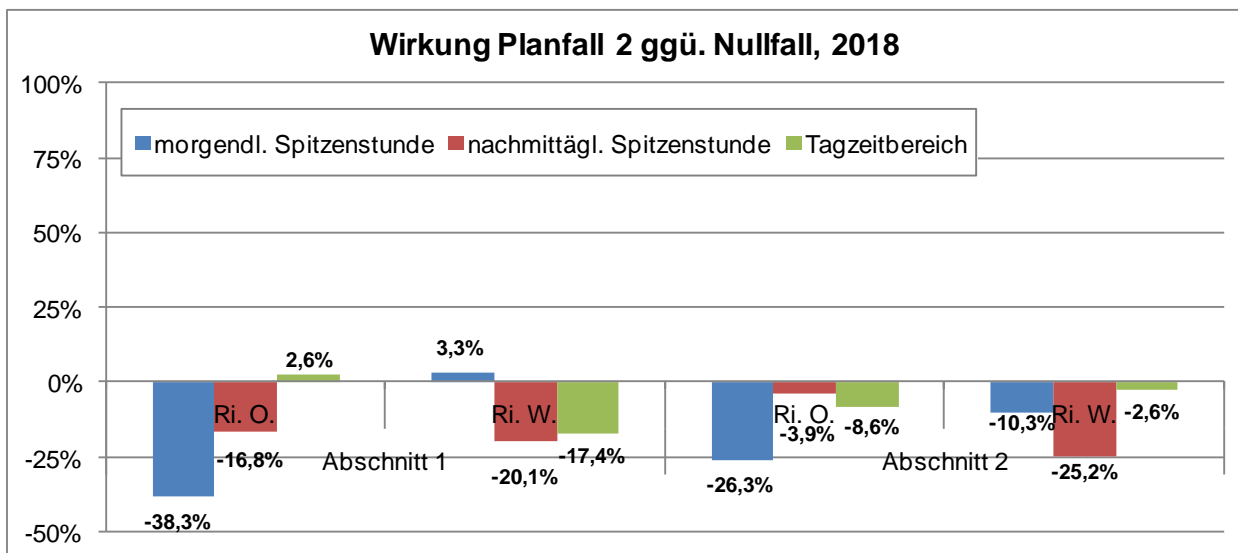


Abb. 6-13: Relative Änderungen der NO_x-Emissionsfaktoren für den Planfall 2 ggü. dem Nullfall pro Abschnitt, Richtung und Zeitbereich für die Flotte 2018.

Während des Nachtzeitbereichs gibt es bereits aus Lärmschutzgründen ein Tempolimit von 30 km/h, die Verkehrsstärke ist gering und der Verkehrsablauf im Bestand flüssig. Es ist nicht zu erwarten, dass sich dies durch die geplanten Maßnahmen wesentlich ändert.

Zur Abschätzung der NO_x-Emissionen im Modellgebiet für Nullfall und Planfälle werden zunächst mit roadTEIM Emissionsfaktoren für den Bestand entsprechend der Flottenentwicklung für alle Jahre berechnet. Diese werden dann an Nullfall und Planfälle angepasst, indem die relativen Änderungen aus Abb. 6-9 (für den Nullfall), bzw. aus Abb. 6-10 (für Planfall 1) und Abb. 6-12 (für den Planfall 2) pro Richtung, Abschnitt und Zeitbereich darauf angewendet werden.

6.5 Ergebnis der Emissionsberechnungen

Im Folgenden werden die NO_x-Jahresemissionsdichten für den Bestand und den Nullfall sowie die Wirkungen der zu untersuchenden Maßnahmen auf die NO_x-Jahresemissionsdichten bestimmt.

6.5.1 Emissionsdichten des Straßenverkehrs: Bestand und Nullfall: Entwicklung bis 2022

Die Prognose der Emissionen berücksichtigt zum einen die prognostizierte Flottenentwicklung bis 2022. Zum anderen berücksichtigt sie die Änderungen im Verkehrsablauf durch Öffnung der Kronenbrücke: Bis zum Jahr 2018 (einschließlich) basiert sie auf den Verkehrsstärken und dem Verkehrsablauf für den Bestand, ab dem Jahr 2020 berücksichtigt sie die in Abschnitt 6.4.3 abgeleiteten Änderungen der Emissionsfaktoren und die geänderte Verkehrsstärke für den Nullfall. Wie schon für das Analysejahr 2015 (s. Abschnitt 6.3) beschränkt sich die Emissionsberechnung auf das MISKAM-Modellgebiet (Abschnitt 2 der Messstrecke).

In Abb. 6-14 ist die Prognose der NO_x-Jahresemissionsdichten auf Höhe der Luftmessstation bis zum Jahr 2022 sowie jeweils die Änderungen gegenüber dem Analysejahr 2015 grafisch dargestellt.

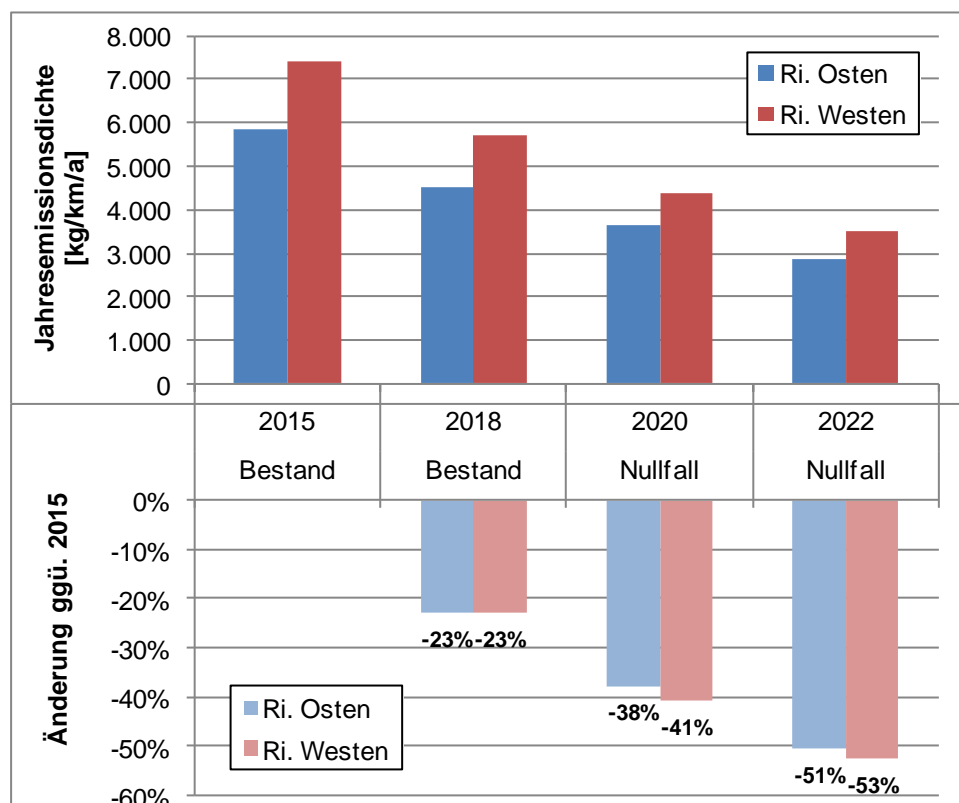


Abb. 6-14: Prognose der NO_x-Jahresemissionsdichten an der Luftmessstation bis 2022 (oben) und Differenz zum Bestandsjahr 2015 (unten); 2015 und 2018 basieren auf den Verkehrsstärken und dem Verkehrsablauf für den Bestand, 2020 und 2022 für den Nullfall.

Bis zum Jahr 2022 werden auf Höhe der Luftmessstation Minderungen der NO_x-Jahresemissionsdichten des Straßenverkehrs gegenüber dem Jahr 2015 um ca. 50% erwartet. Die wesentliche Ursache ist in der Flottenentwicklung hin zu emissionsärmeren Fahrzeugen zu sehen.

Durch die Wahl des Modellgebiets werden die Auswirkungen der bei der Auswertung der VISSIM-Fahrten abgeleiteten Zunahmen der Emissionsfaktoren in der morgendlichen Spitzenstunde auf Abschnitt 1 in Fahrtrichtung Osten (s. Abb. 6-9) auf die Emissionen hier nicht berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass eine derartige Verschlechterung des Verkehrsablaufs durch entsprechende Maßnahmen bei der Öffnung der Kronenbrücke (z.B. Optimierung der LSA-Steuerung) verhindert wird.

In Tab. 6.4 sind die Beiträge der einzelnen Fahrzeugkategorien zu den in Abb. 6-14 (oben) gezeigten NO_x-Jahresemissionsdichten ausgewiesen.

Tab. 6.4 : Anteile der Fahrzeugkategorien an den NO_x-Jahresemissionsdichten im Bereich der Luftmessstation

		Pkw	INfz	Kräder	sNfz
2015 Bestand	Ri. O	57%	7%	<1%	36%
	Ri. W	57%	4%	<1%	39%
2018 Bestand	Ri. O	65%	7%	<1%	28%
	Ri. W	64%	4%	<1%	32%
2020 Nullfall	Ri. O	68%	6%	<1%	26%
	Ri. W	67%	3%	<1%	30%
2022 Nullfall	Ri. O	70%	5%	<1%	24%
	Ri. W	68%	3%	<1%	29%

Der Beitrag der Pkw liegt im Jahr 2015 für beide Fahrtrichtungen bei etwas unter 60%, bis zum Jahr 2022 wird ein Anstieg auf knapp 70% erwartet. Der Beitrag der INfz liegt je nach Fahrtrichtung zwischen ca. 4% und 7%, hier wird ein Rückgang auf ca. 3% bis 5% erwartet. Der Beitrag der sNfz liegt je nach Fahrtrichtung zwischen ca. 35% und 40%, es wird ein Rückgang auf ca. 25% bis 30% erwartet. Der Beitrag der Kräder (motorisierte Zweiräder) ist vernachlässigbar.

In Abb. 6-15 sind die Beiträge der Fahrzeugkategorien, für die Pkw zusätzlich differenziert nach Fahrzeugkonzepten, grafisch dargestellt. Der Anteil der Diesel-Pkw an den Pkw-Emissionen liegt für alle betrachteten Jahre bei knapp 80%.

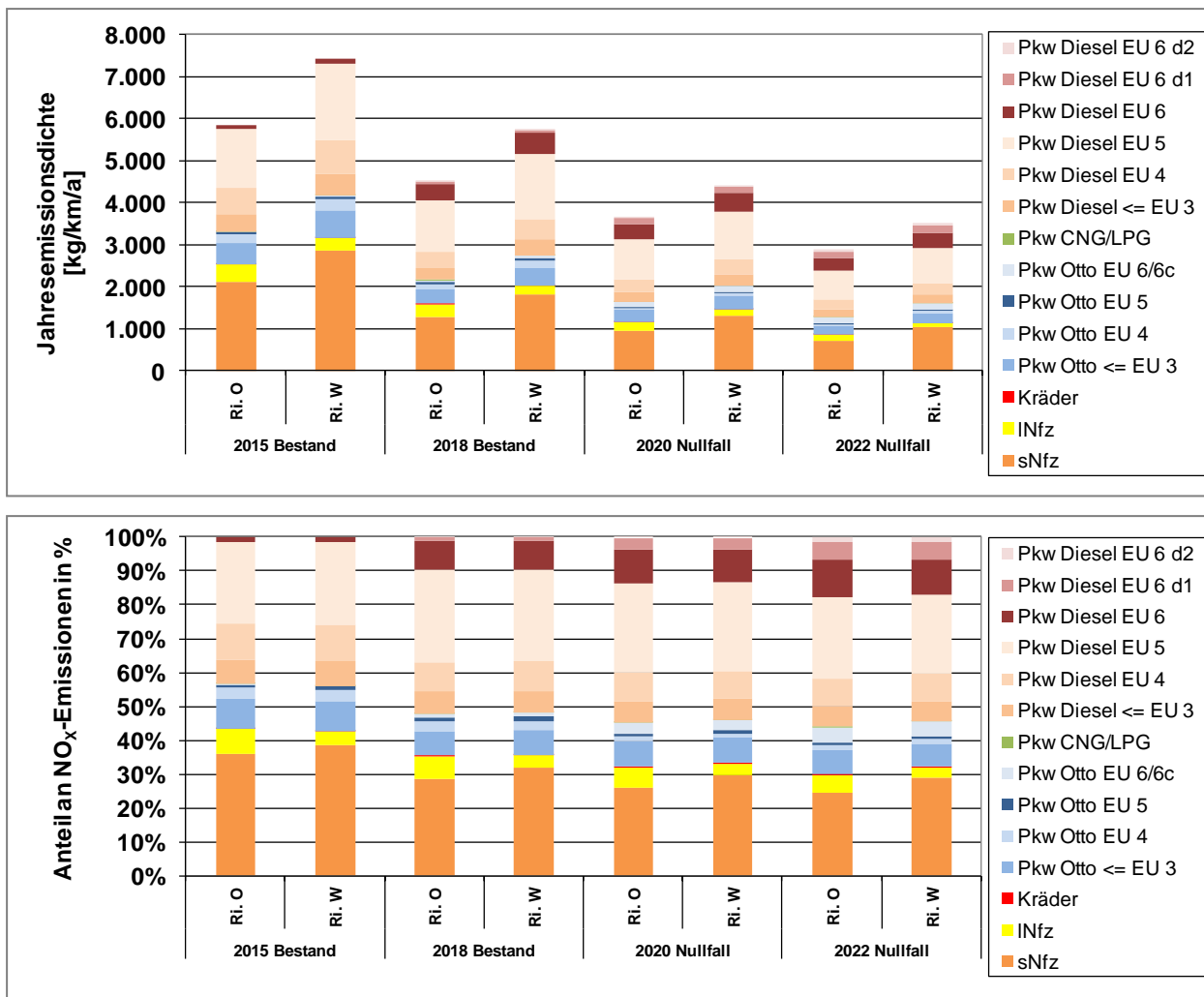


Abb. 6-15: Differenzierung der NO_x-Jahresemissionsdichten auf Höhe der Luftmessstation (s. Abb. 6-14) nach Fahrzeugkategorien und, für die Pkw, zusätzlich nach Fahrzeugkonzepten.

6.5.2 Planfälle 1 und 2

Analog zum Vorgehen beim Nullfall in Abschnitt 6.5 wurden NO_x-Jahresemissionsdichten für die Planfälle 1 und 2 und die Jahre 2020 und 2022 berechnet. Für den Planfall 1 (mit Pförtnerung) sind die Ergebnisse in Tab. 6.5, für den Planfall 2 (ohne Pförtnerung) in Tab. 6.6 ausgewiesen, jeweils im Vergleich mit den entsprechenden Ergebnissen für den Nullfall.

Im Planfall 1 werden gegenüber dem Nullfall Emissionsminderungen von ca. 10% in Fahrtrichtung Osten und ca. 13% in Fahrtrichtung Westen erreicht. Im Planfall 2 sind die Minderungen etwas geringer und liegen bei ca. 6% in Fahrtrichtung Osten und ca. 8% in Fahrtrichtung Westen.

Beide Planfälle beinhalten bereits die Einführung eines Tempolimits von 40 km/h.

Tab. 6.5: NO_x-Jahresemissionsdichten für den Planfall 1 2020 und 2022 an der Luftmessstation im Vergleich mit der prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2020 und 2022: Nullfall).

NO _x Jahresemissionsdichten [kg/km/a]	2020	2022
	Nullfall	
Fahrtrichtung Osten	3.634	2.887
Fahrtrichtung Westen	4.388	3.519
	Planfall 1	
Fahrtrichtung Osten	3.289	2.613
Fahrtrichtung Westen	3.809	3.055
	Differenz	
Fahrtrichtung Osten	-10%	-10%
Fahrtrichtung Westen	-13%	-13%

Tab. 6.6: NO_x-Jahresemissionsdichten für den Planfall 2 2020 und 2022 an der Luftmessstation im Vergleich mit der prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2020 und 2022: Nullfall).

NO _x Jahresemissionsdichten [kg/km/a]	2020	2022
	Nullfall	
Fahrtrichtung Osten	3.634	2.887
Fahrtrichtung Westen	4.388	3.519
	Planfall 2	
Fahrtrichtung Osten	3.399	2.701
Fahrtrichtung Westen	4.049	3.247
	Differenz	
Fahrtrichtung Osten	-6%	-6%
Fahrtrichtung Westen	-8%	-8%

In Abb. 6-16 (oben) sind die NO_x-Jahresemissionsdichten für alle betrachteten Maßnahmen und die prognostizierte Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2015 und 2018: Bestand; 2020 und 2022: Nullfall) an der Luftmessstation noch einmal grafisch dargestellt. Der untere Teil der Abbildung zeigt für alle Maßnahmen die Differenz zur prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen des jeweiligen Jahres.

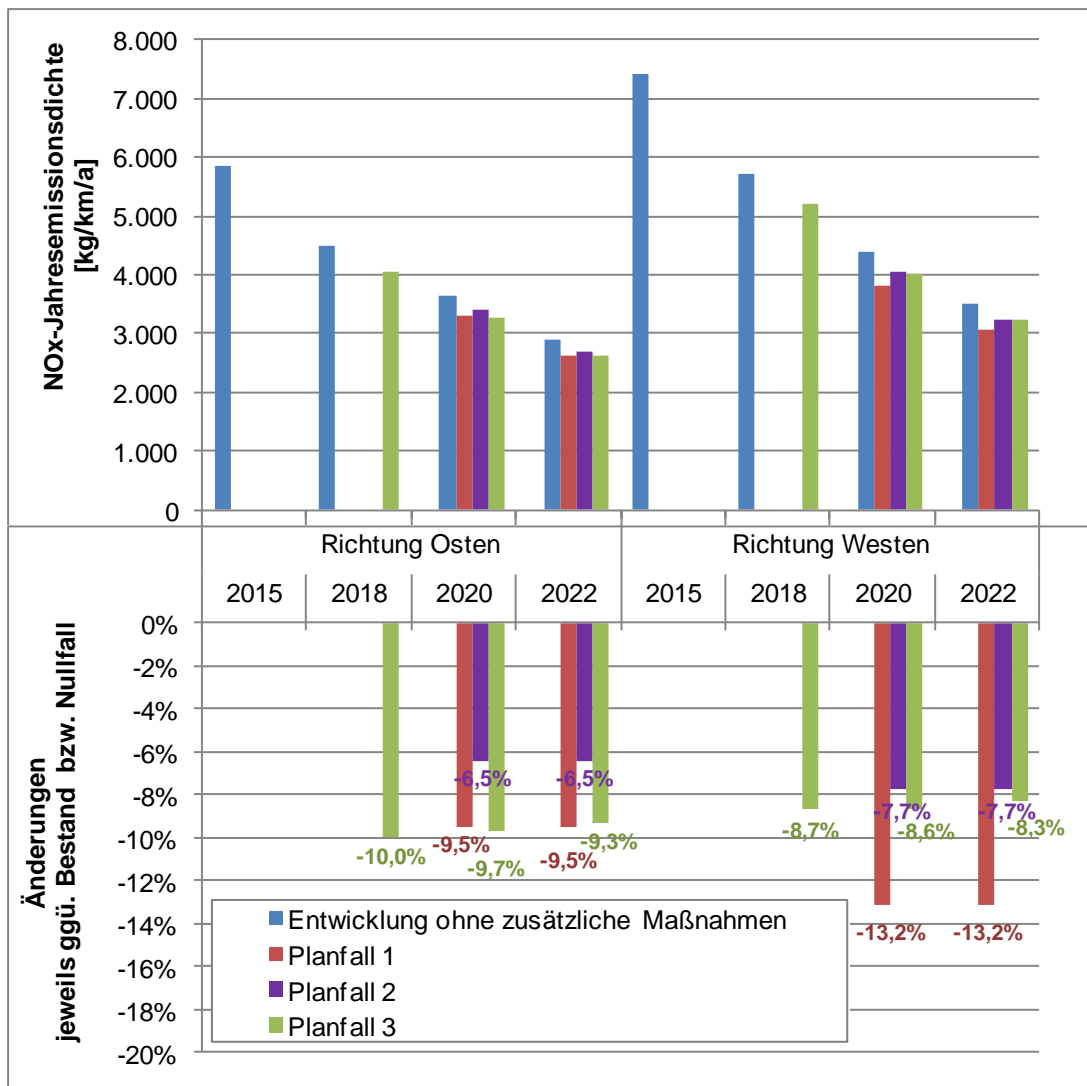


Abb. 6-16: NO_x-Jahresemissionsdichten für alle betrachteten Maßnahmen und die Trendentwicklung an der Luftmessstation (oben); Differenz zur prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen des jeweiligen Jahres (unten).

Alle betrachteten Maßnahmen führen gegenüber der Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen zu Minderungen von ca. 10% (für den Planfall 2 sind die Minderungen etwas geringer). Planfall 1 und Planfall 2 implizieren ein Tempolimit von T40. Prinzipiell wird erwartet, dass sich die Wirkungen der Planfälle und die Wirkung der Einbeziehung der B31 in die grüne Umweltzone überlagern.

6.5.3 Planfall 3

In Freiburg existiert eine grüne Umweltzone. Aufgrund des hohen Anteils an Durchgangsverkehr ist die B31 jedoch aktuell von dieser Umweltzone ausgenommen. Die Wirkung der Einbeziehung der B31 in die bestehende Umweltzone wurde für das Jahr 2015 von IVU im Rahmen des zurzeit laufenden Verfahrens zur Fortschreibung des Luftreinhalteplans Freiburg untersucht [17]. Dabei wurden folgende Rahmenbedingungen unterstellt:

- Annahme von 20% Ausnahmegenehmigungen bzw. verbotswidrigen Durchfahrten,
- Annahme von 30%, 50% bzw. 70% Ausweichverkehr (je nach betrachtetem Planfall).

Im Jahr 2015 lag der Anteil der betroffenen Fahrzeuge im Schwerverkehr in der hier angesetzten bundesweiten Flotte bei ca. 17%, die Prognose nach HBEFA3.3 für das Jahr 2018 liegt bei ca. 9% und lässt bis zum Jahr 2022 einen Rückgang auf knapp 4% erwarten. Bei den Pkw und leichten Nutzfahrzeugen ist der Anteil der betroffenen Fahrzeuge sogar noch geringer. Unter diesen Umständen wurden hier keine Ausnahmen von der grünen Umweltzone angesetzt. (Bei Einführung einer blauen Umweltzone und einem entsprechend höheren Anteil betroffener Fahrzeuge müssten wiederum Ausnahmen angesetzt werden.)

Als Grundlage für die Berechnung wurde der Verkehr angesetzt, der derzeit in Freiburg besteht. Die Wirkung der Umweltzone ergibt sich damit aus der Flottenverbesserung: Die betroffenen Fahrzeuge in der Flotte werden durch Fahrzeuge ersetzt, deren Verteilung der der nicht betroffenen Fahrzeuge entspricht. Die resultierenden NO_x-Jahresemissionsdichten sind im Vergleich zur prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen in Tab. 6.7 ausgewiesen.

Tab. 6.7: NO_x-Jahresemissionsdichten für den Planfall 3 2018, 2020 und 2022 an der Luftmessstation im Vergleich mit der prognostizierten Entwicklung ohne zusätzliche Maßnahmen (Verkehr 2018: Bestand; 2020 und 2022: Nullfall).

NO _x Jahresemissionsdichten [kg/km/a]	2018	2020	2022
	Nullfall		
Fahrtrichtung Osten	4.502	3.634	2.887
Fahrtrichtung Westen	5.716	4.388	3.519
	Planfall 3		
Fahrtrichtung Osten	4.051	3.281	2.617
Fahrtrichtung Westen	5.218	4.009	3.225
	Differenz		
Fahrtrichtung Osten	-10%	-10%	-9%
Fahrtrichtung Westen	-9%	-9%	-8%

Durch Einbeziehung der B31 in die bestehende grüne Umweltzone in Freiburg sind NO_x-Minderungen von knapp 10% zu erwarten.

7 Maßnahmenberechnungen Immissionen

7.1 Grundlagen

7.1.1 Das Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM

Zur Bestimmung der zu erwartenden Immissionsbelastungen an der Luftmessstation Schwarzwaldstraße werden wie schon in vorgehenden Wirkungsuntersuchungen [17] zu Freiburg Immissionsberechnungen mit dem mikroskaligen, prognostische Strömungsmodell MISKAM durchgeführt. Eine Kurzbeschreibung des Modells ist bereits in Abschnitt 2.3 gegeben.

7.1.2 Modellvorgaben

Das für die Berechnungen mit MISKAM gewählte Untersuchungsgebiet Schwarzwaldstraße (Abb. 7-1) hat in etwa eine Größe von 1100 m in Ost-West-Richtung und 500 m in Nord-Südrichtung. Das Rechengebiet hat im Straßenraum der Schwarzwaldstraße im Bereich der Luftmessstation eine horizontale Gitterauflösung von 1,0 m quer zur Straßenachse und 1,0 m in Längsrichtung. Die feine Auflösung in Querrichtung ist erforderlich, um zum einen die Turbulenzstrukturen abzubilden zu können und zum anderen die in dem VDI-Richtlinienentwurf 3783, Blatt 9 [18] angegebenen Mindestabstände zwischen Immissionsort, Beurteilungsort und Quelle einhalten zu können. In Querrichtung nehmen die Maschenweiten bis zum Rand des Rechengebietes kontinuierlich zu. In der Vertikalen beträgt die Gittermaschenweite bis in 3,2 m Höhe 0,4 m. Damit sind die Definition der Kfz-Emissionen in einer mittleren Höhe von 0,6 m und die Ermittlung der Immissionskonzentrationen in der mittleren Standardhöhe von 1,5 m sowie in Höhe des Messfühlers der Luftmessstation in 3,0 m Höhe möglich. Bis zum oberen Modellrand, der mit der 4,5-fachen Höhe des höchsten Gebäudes im Modellgebiet festgesetzt wurde, um eine Beeinflussung des Modelloberrandes durch die höchsten Gebäude in den Untersuchungsgebieten weitgehend auszuschließen, erfolgt eine kontinuierliche Spreizung des Gitters. Die für die Modellrechnungen benötigten Gebäudestrukturen, Geländestructuren und Gebäudehöhen wurden auf der Basis von Ortho-Luftbildaufnahmen aus 2015 und ALKIS sowie LoD1 Daten ermittelt (bereitgestellt am 04.04.2017 durch: Vermessungsamt der Stadt Freiburg – Abteilung Liegenschaftskataster und Geoinformation, Sachgebiet Geodaten und Kartographie). Das Untersuchungsgebiet Schwarzwaldstraße ist in Abb. 7-1 dargestellt; es umfasst neben der Schwarzwaldstraße die in die Schwarzwaldstraße einmündenden bzw. von der Schwarzwaldstraße abgehenden Straßenabschnitte zwischen Kronenbrücke im Westen und den westlichen Tunnelportalen des Schützenalleetunnels im Osten.

Die Kfz-Emissionen der zu betrachtenden Straßen wurden im Bereich der Luftmessstation fahrspurfein, für die von der Luftmessstation entfernt liegenden Straßenabschnitte richtungsfine als Linienquellen vorgegeben mit einer Emissionsfreisetzung in einer mittleren Höhe von 0,6 m. Der Schützenalleetunnel wird natürlich bzw. mit Längslüftern über die Portale entlüftet. Da die

Fahrrichtungen getrennt sind, werden im Normalbetrieb die Emissionen der nördlichen Tunnelröhre über das Westportal, die der südlichen Tunnelröhre über das östliche Tunnelportal abgeleitet. In dieser Untersuchung interessiert vornehmlich die Immissionsbelastung an der Luftmessstation Schwarzwaldstraße. Da diese über 300 m von dem westlichen Tunnelportal entfernt ist, ist es ausreichend, die sehr komplexe Überlagerung des Tunneljets, verursacht durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge und/oder die Längslüftung, mit den meteorologischen Verhältnissen im Bereich des Tunnelportals vereinfacht abzubilden. Die Tunnelemissionen wurden über 80 m im Bereich der Rampe über eine abklingende Exponential-Funktion verteilt. Untersuchungen aus Windkanälen zeigen, dass damit die mit zunehmender Entfernung vom Portal abnehmende Konzentration im Abluftstrahl im Mittel gut wiedergegeben wird.

7.1.3 Umfang der Berechnungen

Der Umfang der Immissionsberechnungen für das Detailuntersuchungsgebiet Schwarzwaldstraße umfasst die folgenden Fälle:

- Bestand 2015 / 2018
 - ohne Öffnung Kronenbrücke
- Nullfall 2020 / 2022
 - mit Öffnung Kronenbrücke
- Planfall 1 2020 / 2022
 - Maßnahmen Pfortnerung, Optimierung der LSA-Steuerung und Tempo 40
- Planfall 2 2020 / 2022
 - Maßnahmen Optimierung der LSA-Steuerung und Tempo 40
- Planfall 3 2018 / 2020 / 2022
 - Einbeziehung der B31 in die grüne Umweltzone für die Bezugsjahre unter Berücksichtigung der Trendentwicklung



Abb. 7-1: Ortho-Luftbild mit Darstellung der Luftmessstation und Umriss des MISKAM-Rechen- bzw. Auswertegebiets (rot bzw. blau umrahmt).

7.2 Bestimmung statistischer Kenngrößen für NO₂

7.2.1 Ermittlung der Jahresmittelwerte

7.2.1.1 Windstatistik

Für die Bestimmung der Jahresmittelwerte für NO₂ wird eine für den Untersuchungsort repräsentative Windstatistik mit den Parametern Windrichtung und Windgeschwindigkeit benötigt. Bei Gewichtung der für jede Anströmrichtung und Windgeschwindigkeitsklasse bestimmten Immissionszusatzbelastungen gemäß der prozentualen Häufigkeit der entsprechenden Ausbreitungssituation, die in der Windstatistik durch Angabe der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit gegeben ist, werden die Jahresmittelwerte bestimmt.

Für die Untersuchung wurde eine synthetische Windstatistik verwendet. Synthetische Windstatistiken wurden von der ARGE IB Rau/METCON [19] [20] im Auftrag der LUBW Karlsruhe flächendeckend in einem Raster von 500 m x 500 m für das ganze Land Baden-Württemberg berechnet. Sie basieren auf langjährigen synoptischen Höhenantriebsdaten und spiegeln somit die langjährigen Verhältnisse wieder. Die für die vorliegende Untersuchung gewählte Windverteilung ist in Abb. 7-2 dargestellt. Sie zeigt die Dominanz für Winde aus Ostsüdost sowie ein Sekundärmaximum für Winde aus Westnordwest. Die langjährige mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m über Verdrängungshöhe liegt bei 1,6 m/s.

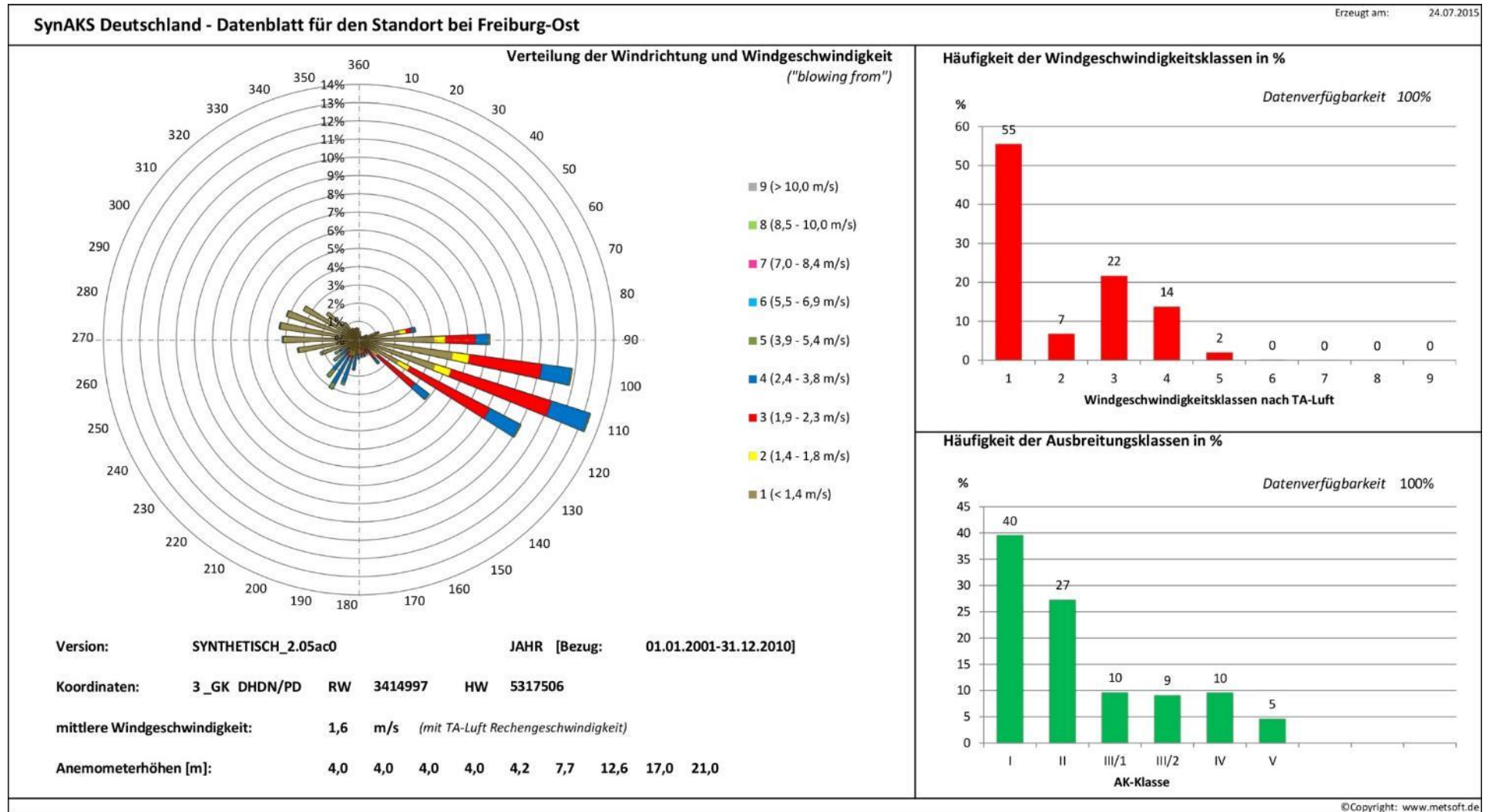


Abb. 7-2: Die für die Immissionsberechnungen gewählte Häufigkeitsverteilung (% der Jahresstunden) der Windrichtungen (10°-Schritte), repräsentativ für das Untersuchungsgebiet.

7.2.1.2 Hintergrundbelastung

Die Berechnungen mit MISKAM liefern als Ergebnis die durch die Straßenemissionen verursachten Immissionszusatzbelastungen. Die Immissionsgesamtbelastungen ergeben sich durch Überlagerung der berechneten Zusatzbelastung mit der großflächigen Hintergrundbelastung, die durch Gewerbe, Hausbrand und Industrie sowie die Kfz-Immissionen außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes bestimmt wird.

Der charakteristische Wert für die städtische Hintergrundbelastung im Bereich der Luftmessstation wird aus der Verursacheranalyse 2015 [21] abgeleitet. In dieser wird für den Hintergrund ein Wert von 42% der NO₂-Gesamtbelastung ausgewiesen. Bei dem im Jahr 2015 gemessenen Wert für das NO₂-Jahresmittel von 56 µg/m³ ergibt sich so ein Wert für die Hintergrundbelastung von 23,6 µg/m³. Dies entspricht recht genau dem Wert, der in der Studie der IVU Umwelt [16] für das Jahr 2010 im Bereich der Luftmessstation berechnet wurde. In dieser Studie sind u.a. flächendeckende NO₂-Hintergrundbelastungswerte für die Bezugsjahre 2010 und 2020 angegeben. Zur Berücksichtigung eines Rückgangs der städtischen Hintergrundbelastung in den nächsten Jahren wurde die in der Studie der IVU Umwelt [16] prognostizierte zeitliche Entwicklung herangezogen. Da die städtische Hintergrundbelastung in vielen Städten Baden-Württembergs, so auch in Freiburg, zwischen 2010 und 2015 nahezu keine Abnahme zeigte (20 µg/m³ ± 1 µg/m³), wird die in der IVU-Studie abgeschätzten Minderungen zwischen 2010 und 2020 erst ab 2015 angesetzt, d.h. eine erstmalige Abnahme wird von 2015 auf 2016 angenommen. Die Werte für die in dieser Untersuchung interessierenden Hintergrundbelastungen für die Bezugsjahre 2018, 2020 und 2022 wurden entsprechend aus der in der IVU-Studie prognostizierten Abnahme interpoliert. Man erhält so eine jährliche Abnahme der Hintergrundbelastung ab 2015 von etwa 2,8%. Diese von IVU ermittelte Abnahme spiegelt die zu erwartende Abnahme (Trendentwicklung) bei den einzelnen Quellgruppen wieder.

7.2.2 Ermittlung der Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung

Mit den charakteristischen Werten für die Hintergrundbelastung werden, wie vorab beschrieben, durch Überlagerung mit den für die einzelnen Strecken berechneten Zusatzbelastungen die statistischen Kenngrößen (Jahresmittelwerte für NO₂) der Gesamtbelastung berechnet. Bei der Überlagerung der Hintergrundbelastungswerte mit den Zusatzbelastungen muss bei Stickoxiden zusätzlich die NO-NO₂-Konversion berücksichtigt werden. Die chemische Umwandlung von NO_x nach NO₂ ist äußerst komplex und von einer Reihe von Parametern wie z.B. UV-Strahlung, Ozonwert, Temperatur abhängig. Bisher gibt es noch kein hinreichend validiertes Chemiemodell, mit dem die sehr schnelle Umwandlung auf kleinem Raum in bebauten Gebieten genau beschrieben werden kann.

Stand der Technik war es bisher, die Umwandlung mittels des empirischen Modells von Romberg [22], welches den NO-NO₂-Umwandlungsgrad als Funktion der NO_x-Gesamtmission

beschreibt, zu bestimmen. Diese empirische Beziehung wurde aus Messdaten Mitte der 1990er Jahre abgeleitet. In den letzten Jahren hat der Anteil der NO₂-Direktemissionen, was auch Auswirkungen auf die Umwandlung von NO_x zu NO₂ hat, deutlich zugenommen. Trotzdem gibt der Romberg-Ansatz die Immissionskonzentrationen für Werte, die im Bereich des Grenzwertes liegen, befriedigend genau wieder. Bei deutlich höheren Konzentrationen werden mit dem Romberg-Ansatz gegenüber Ansätzen mit Berücksichtigung einfacher Chemie niedrigere NO₂-Konzentrationen berechnet. Für die vorliegende Untersuchung wird für die Umwandlung der empirische Modellansatz nach Düring [23] herangezogen, der den NO-NO₂-Umwandlungsgrad als Funktion der NO_x-Gesamtimmission und der O₃-Hintergrundkonzentration beschreibt.

7.2.3 Berechnung von Kurzzeitwerten der Gesamtbelastung

Die 39. BImSchV [24], deren Grenzwerte für die Immissionsbeurteilung relevant sind, enthält neben dem Immissionsgrenzwert für den Jahresmittelwert von NO₂ auch einen Immissionsgrenzwert für den Kurzzeitwert (Mittelungszeit 1 Stunde) von NO₂, der nicht öfter als 18 Mal im Kalenderjahr überschritten werden darf (entspricht einem 99,8 %-Wert).

Eine korrekte Berechnung eines 1-h-Kurzzeitwertes erfordert für einen identischen Zeitraum eine meteorologische Zeitreihe, Zeitreihen der Stundenmittelwerte der Hintergrundbelastung sowie detaillierte, möglichst stundenfeine Information bzgl. des Verkehrsablaufs. Diese Datengrundlage ist, wenn überhaupt, nur für einen zurückliegenden Zeitraum vorhanden. Eine Prognose dieser zeitabhängigen Parameter für einen zukünftigen Zeitraum ist eher spekulativ.

Allerdings ist es durchaus möglich, auf Basis der Höhe des Jahresmittelwertes Rückschlüsse auf eine mögliche Überschreitung des NO₂-Kurzzeitwertes zu ziehen. Aus den in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2008 gemessenen NO₂-Stundenmittelwerten und NO₂-Jahresmittelwerten lässt sich zumindest ableiten, dass bei einem Jahresmittelwert unter 60 µg/m³ der Kurzzeitgrenzwert sicher eingehalten wird, wohingegen bei Jahresmittelwerten über 80 µg/m³ von Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwertes ausgegangen werden muss [25].

7.3 Ergebnis der Immissionsberechnungen

7.3.1 Bestand 2015 und Vergleich mit Messungen

Die flächig mit dem Detailmodell MISKAM berechneten Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung für NO₂ für das gesamte Untersuchungsgebiet ist in Abb. 7-3 dargestellt. Die Farbskala der Abbildungen ist so gewählt, dass Überschreitungen des geltenden Grenzwertes für den Jahresmittelwert in Gelb- und Rottönen erscheinen. Die Bezugshöhe in der Abb. 7-3 entspricht mit 1,4 m über Grund etwa der mittleren Atemhöhe von 1,5 m über Grund.

Es zeigen sich über große Flächen im Straßenraum der Schwarzwaldstraße für das Basisjahr 2015 deutliche Überschreitungen des NO₂-Jahresmittelwertes von 40 µg/m³. Direkt an der Luftmessstation ergeben die Berechnungen in der Höhe des NO₂-Messfühlers (3,0 m über

Straßenniveau) einen Jahresmittelwert von 56,5 µg/m³. Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem im Jahr 2015 gemessenen NO₂-Jahresmittelwert von 56 µg/m³ überein. In ca. 1,5 m über Grund liegt der Wert direkt an der Position des Messfühlers etwas höher, und zwar bei 59,7 µg/m³.

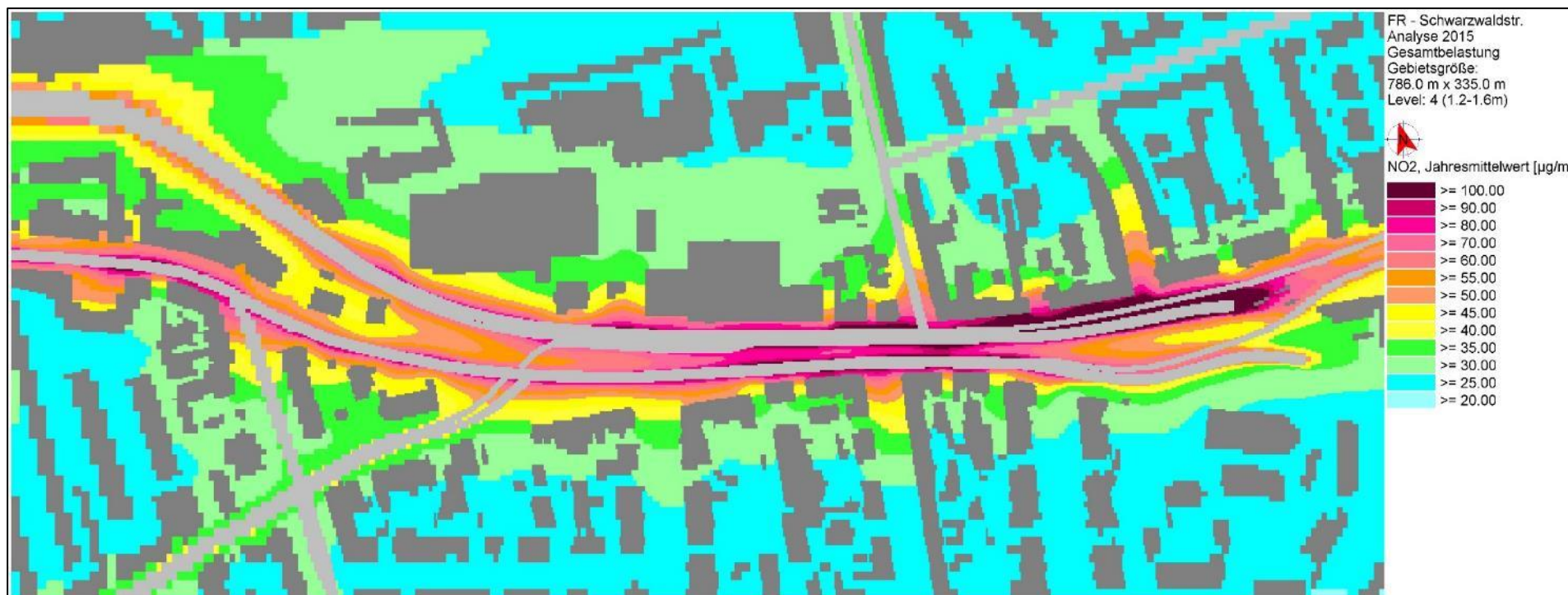


Abb. 7-3: NO₂-Gesamtbelastung im Bereich des Auswertebiets um die Luftmessstation Schwarzwaldstraße für den Bestand 2015.

7.3.2 Ergebnisse für die Jahre 2018 bis 2022 für die Nullfälle sowie die Planfälle

Die für alle Nullfälle und Planfälle mit MISKAM berechneten Konzentrationsfelder wurden im Bereich der Luftmessstation ausgewertet. Die gesamten Ergebnisse sind in Abb. 7-4 zusammengefasst und werden im Folgenden interpretiert. Die in Abb. 7-4 gezeigten Fälle sind in Kap. 7.1.3 genau erläutert. Dargestellt sind für jeden untersuchten Fall jeweils der Wert für die NO₂-Hintergrundbelastung, der NO₂-Jahresmittelwert in Höhe des Messfühlers sowie der NO₂-Jahresmittelwert in ca. 1,5 m über Straßenniveau an der Position des Messfühlers.

Für den Bestand 2018 (heutige Verkehrsstärke, ohne Öffnung Kronenbrücke) berechnet sich in Messfühlerhöhe ein NO₂-Jahresmittelwert von 47,7 µg/m³ und in ca. 1,5 m Höhe von 50,1 µg/m³. Diese Minderung ergibt sich alleine durch die bis zum Jahr 2018 zu erwartende verbesserte Abgasreinigungstechnik in Kombination mit der realistisch abgeschätzten Reduktion der Hintergrundbelastung bis zum Jahr 2018. Die beiden Nullfälle 2020 und 2022, die allerdings gegenüber dem Bestand 2018 die Öffnung der Kronenbrücke zur Basis haben, zeigen die zu erwartende Entwicklung ohne jede weitere Maßnahme. Demnach wird der NO₂-Jahresmittelwert im Jahr 2020 sowohl in Höhe des Messfühlers als auch in 1,5 m über Grund noch klar überschritten. Im Jahr 2022 ist ohne jede weitere Maßnahme bereits eine Unterschreitung des NO₂-Jahresmittelwertes zu erwarten. Im Planfall 1 wird bereits im Jahr 2020 in Höhe des Messfühlers der Grenzwert gerade eingehalten, in Bodennähe noch überschritten. Bei Planfall 2 (ohne Pfortnerung) fällt die Minderung etwas geringer aus. Ebenfalls deutlich zu sehen ist die Wirkung der beiden Planfälle im Vergleich zum Nullfall für das Bezugsjahr 2022.

Planfall 3 beinhaltet die Maßnahme „Einbeziehung der B31 in die grüne Umweltzone“ unter Berücksichtigung der Trendentwicklung. Es zeigt sich für alle drei untersuchten Bezugsjahre bei diesem Planfall gegenüber dem Bestand 2018 bzw. den Nullfällen 2020 und 2022 eine deutliche Minderung in der NO₂-Gesamtbelastung in beiden untersuchten Höhenniveaus.

Die Planfälle 1,2 und der Planfall 3 wurden, wie schon in Kapitel 6.5.2 erläutert, getrennt betrachtet. Da davon auszugehen ist, dass sich die Planfälle 1 bzw. 2 und der Planfall 3 überlagern, kann davon ausgegangen werden, dass bereits im Jahr 2020 der Grenzwert bei den Planfällen 1 und 2 in Kombination mit Planfall 3 sicher eingehalten werden kann.

Wie in Kapitel 4.4.3.3 beschrieben wurden die detaillierten Maßnahmenberechnungen für die Planfälle 1 und 2 für ein Tempolimit von 40 km/h durchgeführt, da bei T40 insgesamt eine etwas höhere Minderung zu erwarten ist als bei T30. Falls auf der B31/31a aus Lärmschutzgründen die Entscheidung zu einem ganztägigen T30 fallen würde, ist bei den prognostizierten NO₂-Jahresmittelwerten für die untersuchten Planfälle 1 und 2 mit einer leichten Erhöhung der berechneten NO₂-Jahresmittelwerte zu rechnen, die, wie in Kapitel 4.4.3.3 im Rahmen der Potenzialuntersuchung abgeschätzt bei maximal 0,5 µg/m³ liegen dürfte. Dies führt bspw. dazu, dass für Planfall 1 in Höhe des Messfühlers ein NO₂-Jahresmittelwert von etwa 40 µg/m³ zu

erwarten ist (prognostiziert bei T40: 39,6 µg/m³), also der Grenzwert immer noch eingehalten werden könnte.

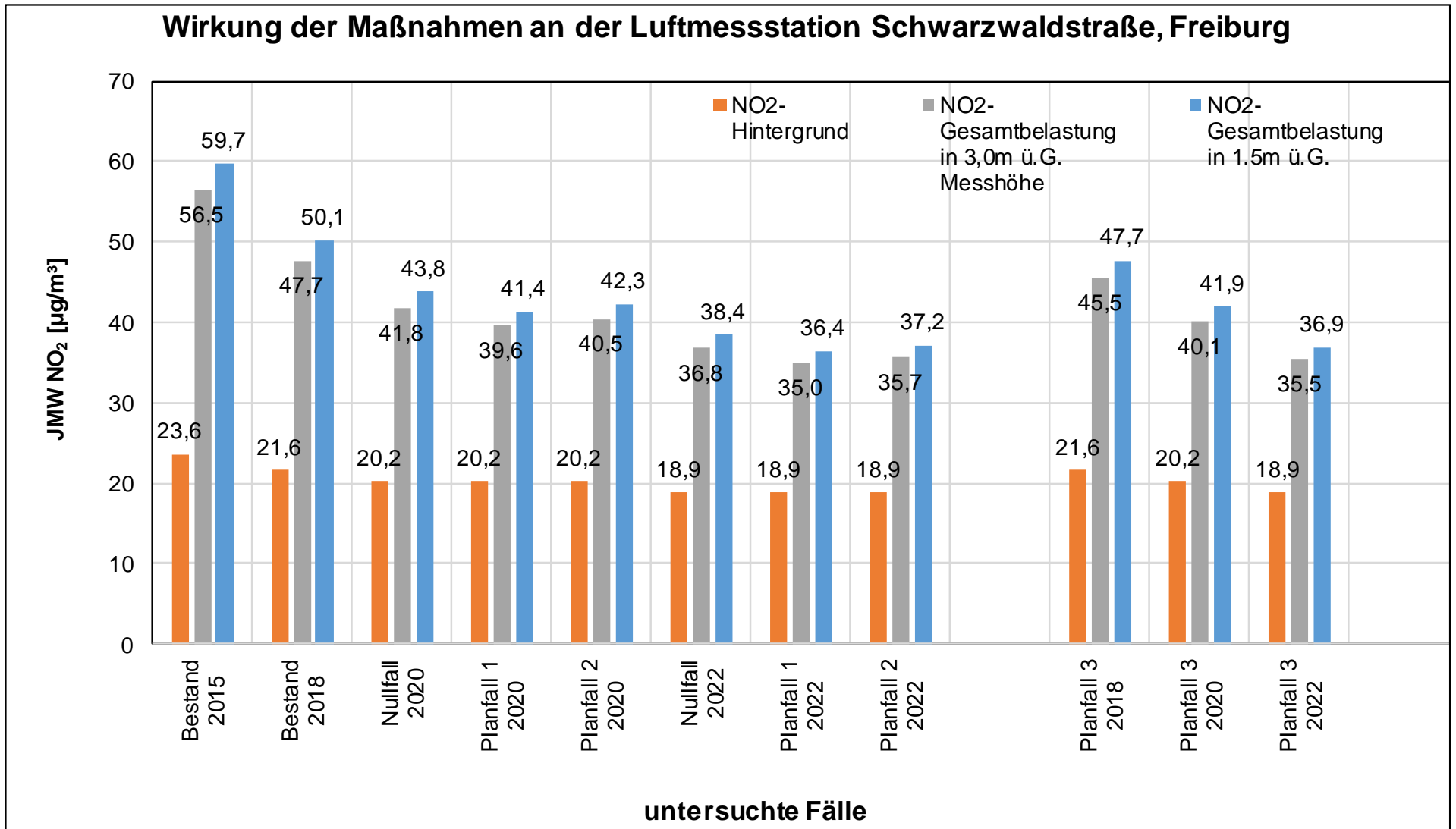


Abb. 7-4: NO₂-Jahresmittelwerte für alle betrachteten Fälle an der Luftmessstation in Höhe des Messfühlers, in ca. 1,5 m über Straßenniveau sowie die NO₂-Hintergrundbelastung.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen,“ Köln, 2005.
- [2] Hausberger, S. et al., „Emission factors from the model PHEM for the HBEFA Version 3,“ TU Graz Institute for internal combustion engines and thermodynamics, Graz, 2009.
- [3] Hausberger, S. et. al, „Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.2,“ TU Graz, Graz, 2014.
- [4] INFRAS, „HBEFA 3.3 - Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA),“ Bern (Schweiz) / TU Graz, 2017.
- [5] Eichhorn, J., „Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen, mikroskaligen Stadtklimamodells. Diss. Meteorol. Inst. Univ. Mainz,“ Mainz, 1989.
- [6] Eichhorn, J., „MISKAM Handbuch,“ giese-eichhorn umweltmeteorologische software, Wackernheim, 2011.
- [7] google, 2017. [Online]. Available: www.google.de/maps.
- [8] Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg, „Verkehrsstärken an ausgewählten Verkehrs- und Spotmessstellen, Auswertungen 2013,“ 2015.
- [9] Dr. Brenner Ingenieurgesellschaft mbH, „Verkehrsqualität in Freiburg - Netzweite Analyse von Fahrtabläufen,“ 2013.
- [10] Heinrichs, E.; Scherbarth, F.; Sommer, S. (LK Argus GmbH), „Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen,“ Umweltbundesamt / LK ARGUS, 2017.
- [11] AVISO GmbH, „Luftschadstoffemissionskataster 2012 Baden-Württemberg,“ LUBW, Aachen, 2015.
- [12] AVISO GmbH, „Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen für den Ballungsraum Stuttgart, 1. Teilbericht Analyse und Trendprognose 2020,“ LUBW, Aachen, 2015.
- [13] AVISO GmbH, „Tempo 30-Messfahrten und Maßnahmen der Verkehrsverflüssigung und -verstetigung in Heidenheim,“ Aachen, 2011.
- [14] AVISO GmbH, „Machbarkeitsstudie Kölner Straße – Maßnahmenprüfung,“ Aachen, 2015.

- [15] Technische Universität Graz, „Grazer adaptive Verkehrssteuerung, I2 - Intelligente Infrastruktur, Leitprojekt MOBILE - Übergreifendes Verkehrsmanagement,“ Graz, 2009.
- [16] IVU Umwelt GmbH, „Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010,“ Freiburg, 2014.
- [17] IVU Umwelt GmbH, „Luftreinhalteplan Freiburg: Wirkungsuntersuchung zur Entwicklung der Schadstoffbelastung durch die Einbeziehung der B31 in die bestehende Umweltzone,“ Freiburg, 2015.
- [18] VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie, „VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 - Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung,“ Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdl, 2005.
- [19] Bigalke, K.; Ahrens, D.; Rau, M., „Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen - Eine Alternative zu "klassischen" Übertragungsverfahren,“ Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 68. Jahrgang, 2008.
- [20] Bigalke, K.; Rau, M., „Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken für Baden-Württemberg - Hinweise für Anwender,“ Auftraggeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Pinneberg, Heilbronn, 2013.
- [21] Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg, „Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg - Grundlagenband,“ 2015.
- [22] Romberg, E.; et al, „NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase,“ Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Nr. 56 Jahrgang 1996, pp.215-218, 1996.
- [23] Düring, I.; Bächlin, W.; Ketzler, M.; Baum, A.; Friedrich, U.; Wurzler, S., „A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions,“ Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, No. 1, 067-073 © by Gebrüder Borntraeger 2011 (published online), Stuttgart, 2011.
- [24] 39. BImSchV, „39. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes,“ BGBl.I S. 1065, 02.08.2010.
- [25] IVU Umwelt GmbH, „Leitfaden-Modellierung verkehrsbedingter Emissionen-Anforderungen an die Eingangsdaten,“ Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz, Freiburg, 2011.

Anhang 1-3

Anhang 1: Kfz-Verkehr im Bestand

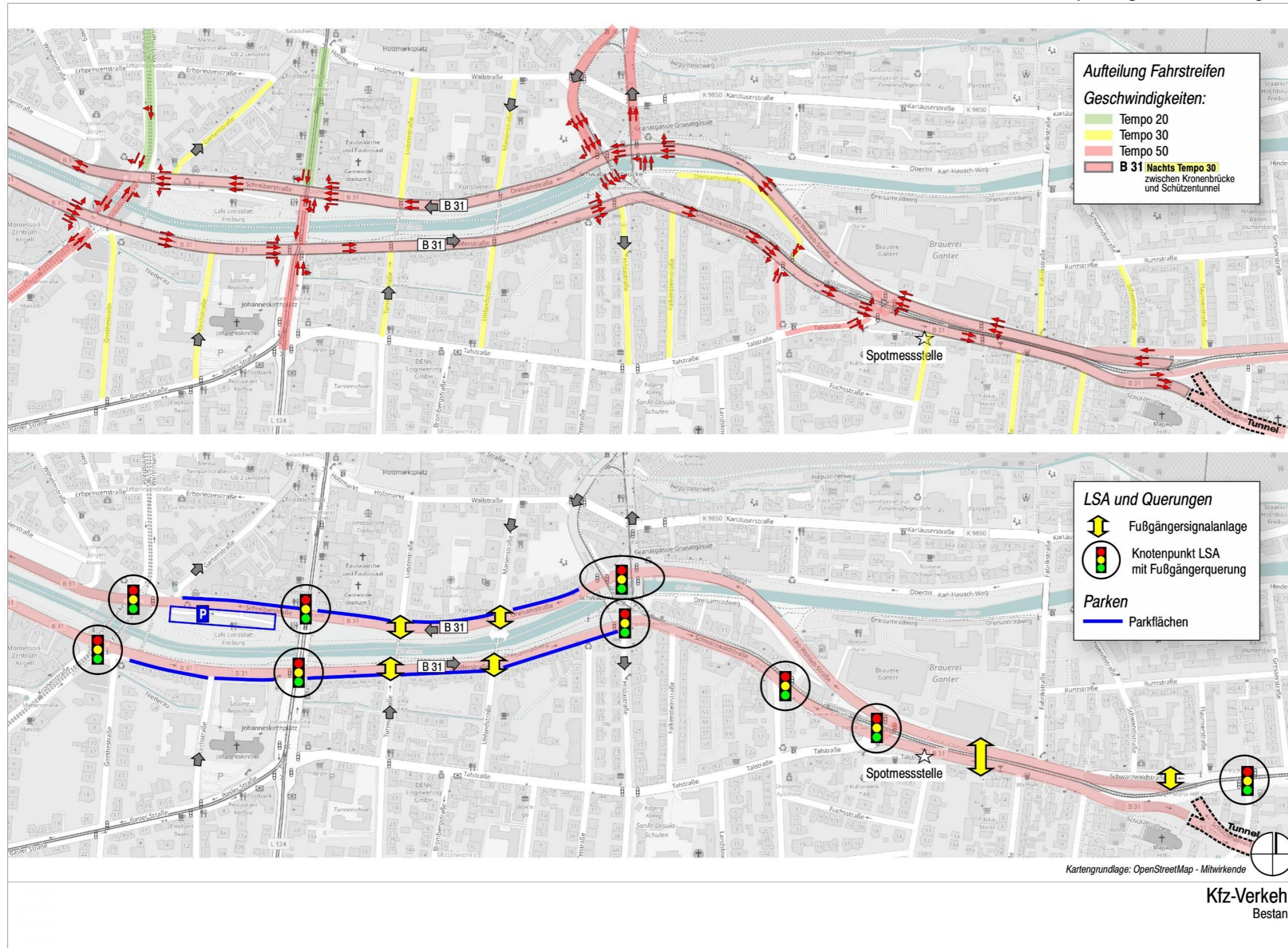
Anhang 2: ÖPNV-Netz und Radverkehr im Bestand

Anhang 3: Zählstellenplan

Anhang 1: Kfz-Verkehr im Bestand

Luftreinhalteplanung B 31 - Freiburg i. Br.

1

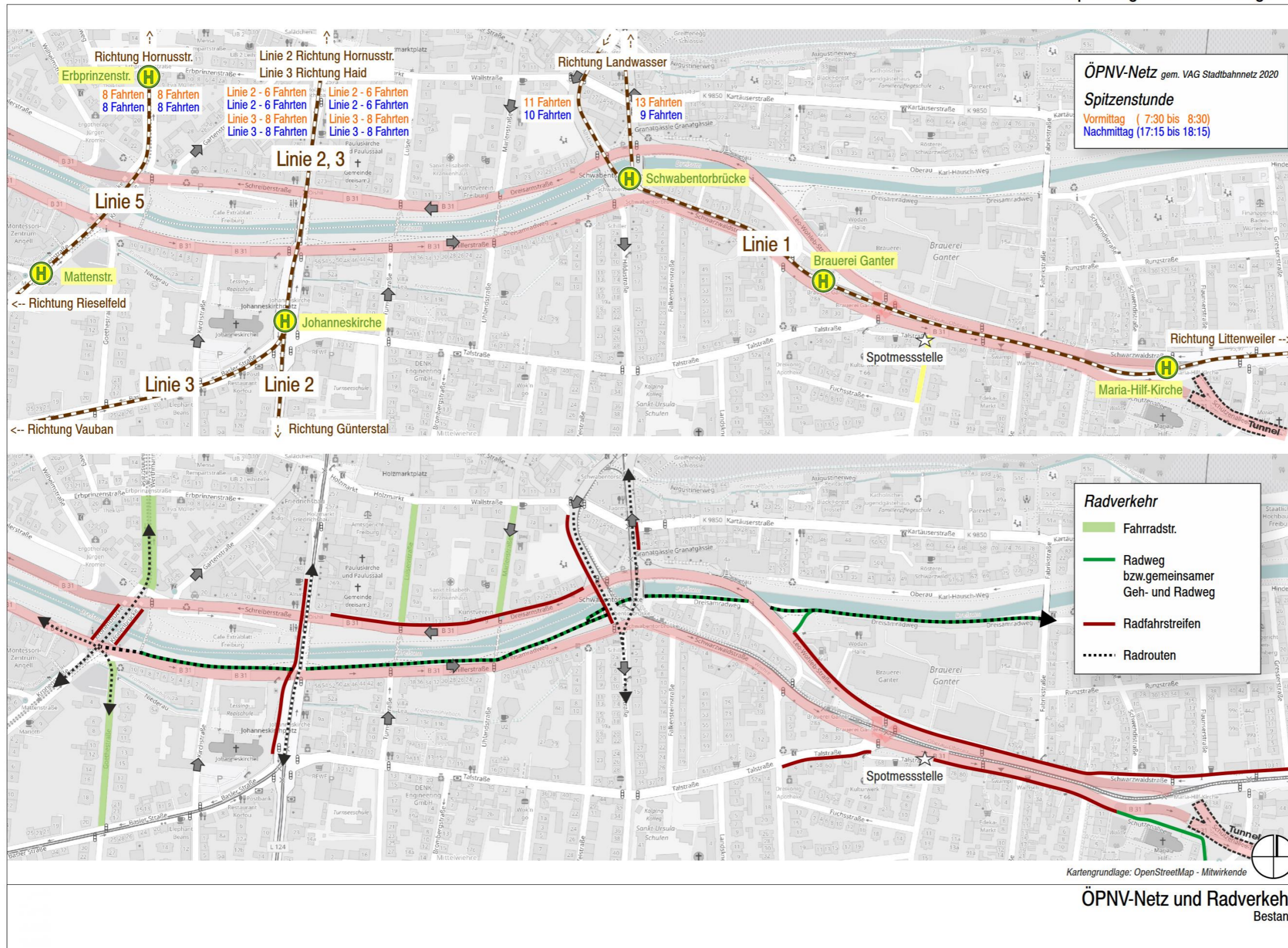


R+T
Verkehrsplanung

Anhang 2: ÖPNV-Netz und Radverkehr im Bestand

Luftreinhalteplanung B 31 - Freiburg i. Br.

2

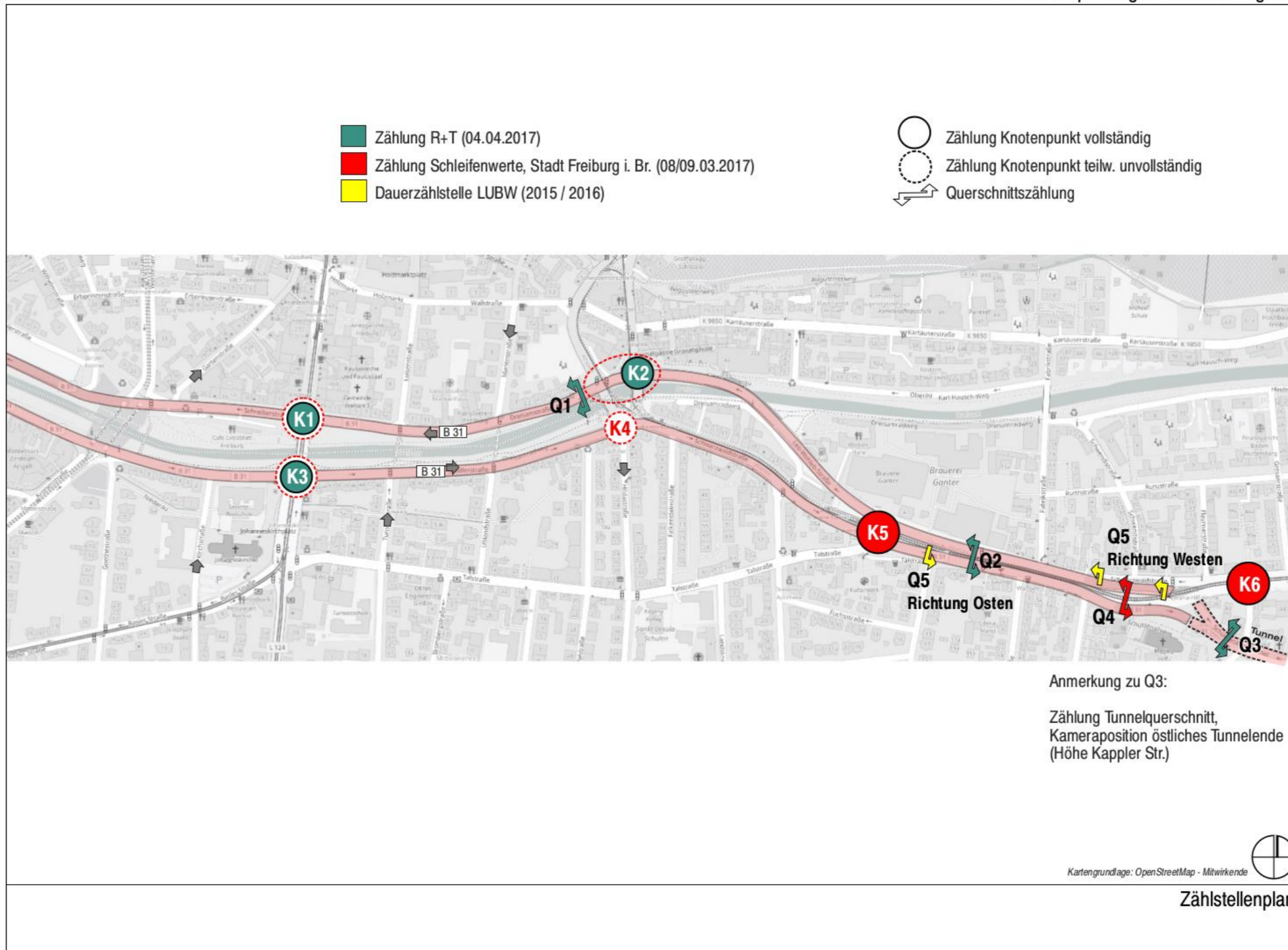


R+T
Verkehrsplanung

Anhang 3: Zählstellenplan

Luftreinhalteplanung B 31 - Freiburg i. Br.

3



R+T
Verkehrsplanung