

Bericht

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg

hier: Wendlingen, Tempo 30

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg

hier: Wendlingen, Tempo 30

Abschlussbericht Juli 2012

(rps0512t30we)

Bearbeitung:

Federführung: AVISO
Dipl.-Ing. Arnold Niederau
Dr.-Ing. Christiane Schneider
Dr. rer. nat. Nicola Toenges-Schuller
Dipl.-Umw. Torsten Greis
Michael Nacken
Michael Pelzer

PHEM-Berechnungen: TU Graz
Prof. Dr. Stefan Hausberger
Dipl.-Ing. Raphael Luz

Immissionsberechnungen: Ingenieurbüro Rau
Dipl.-Ing. Matthias Rau

Mikrosimulation: TraffGo Road GmbH
Dr. rer. nat. Joachim Wahle
Dipl.-Phys. Michael Klocke

Aachen. Juli 2012

Im Auftrag des Regierungspräsidium Stuttgart Abteilung Umwelt, Baden-Württemberg

AVISO GmbH

Am Hasselholz 15
52074 Aachen
Fon: +49 (0) 241 / 470358-0
Fax: +49 (0) 241 / 470358-9

E-Mail: info@avisogmbh.de
<http://www.avisogmbh.de>



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung	1
2 Messfahrten	2
2.1 Die Messstrecke.....	2
2.2 Auswertung der Fahrten.....	3
2.3 Verkehrliche Grundlagedaten.....	7
2.4 Auswertung der dynamischen Fahrtparameter	8
3 Emissionsberechnung.....	10
3.1 Modell PHEM	10
3.2 Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren	10
3.3 Emissionsfaktoren PM10-Abgas.....	15
3.4 Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren zu HBEFA3.1	16
3.5 Jahresemissionen	17
4 Weitere Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrs	21
4.1 Maximales Potential für eine Verstetigung.....	21
4.2 Verstetigung durch Optimierung der LSA-Schaltungen	23
5 Grundlagen der Immissionsberechnung.....	28
5.1 Einleitung	28
5.2 Das Screeningmodell	28
5.3 Festlegung der Bebauungsstrukturen.....	29
5.4 Möglichkeiten und Grenzen des Screening-Modells	30
6 Berechnung statistischer Kenngrößen der Immissions-Gesamtbelastung	32
6.1 Windstatistik.....	32
6.2 Hintergrundbelastung.....	33
6.3 Beurteilungsgrundlage	34

6.4	Bestimmung der Gesamtbelastung	34
6.5	Berechnung von Kurzzeitwerten der Gesamtbelastung	34
7	Ergebnisse und Bewertung der Immissionsberechnungen	36
8	Zusammenfassung.....	38
	Literaturverzeichnis	40

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1:	Lage der Messstrecke in Wendlingen	2
Bild 2.2:	Fotos entlang der Messstrecken, Lage: siehe Übersichtskarte in Bild 2.1.....	3
Bild 2.3:	Fahrprofile der Messfahrten in Richtung Osten : T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T50-Lkw-Folgefahrt (grüne Linien) und T30-fiktiv (rote Linien); oben: alle Fahrten; unten: Auswahl: Anzahl Halte bei T50- und T30-Fahrten vergleichbar...	5
Bild 2.4:	Fahrprofile der Messfahrten in Richtung Westen : T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T50-Lkw-Folgefahrt (grüne Linien) und T30-fiktiv (rote Linien); oben: alle Fahrten; unten: Auswahl: Anzahl Halte bei T50- und T30-Fahrten vergleichbar...	6
Bild 2.5:	Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) im Untersuchungsgebiet Wendlingen, Analyse 2010	8
Bild 3.1:	Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010	11
Bild 3.2:	Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für Pkw in Richtung Osten	13
Bild 3.3:	Profile Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für sNfz in Richtung Osten	13
Bild 3.4:	Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für Pkw in Richtung Westen	14
Bild 3.5:	Profile Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für sNfz in Richtung Westen	14
Bild 3.6:	Vergleich der PM10 (Abgas)-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ (Störungsgrade: „free“, „heavy“, „saturated“ und „stop&go“) aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den T50- und T30-Messfahrten für Pkw und sNfz in Wendlingen.....	17
Bild 3.7:	PM10-Jahresemission (gesamt) unter Berücksichtigung von Kaltstarts sowie Aufwirbelung und Abrieb für die betrachtete Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%).....	20
Bild 4.1:	Simulierte tagesmittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit in Richtung Osten („Status Quo“, „Grüne Welle“, „Pfortnerampel“) im Vergleich mit den gemessenen tagesmittleren Profilen (alle Fahrten T50)	24

Bild 5.1: Betrachtete Streckenabschnitte	30
Bild 6.1: Synthetische Windstatistik für das Stadtgebiet Wendlingen	33
Bild 7.1: PM10-Immissionsbelastungen der untersuchten Szenarien (oben) sowie relative Änderungen gegenüber T50 (unten)	37

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung.....	4
Tab. 2.2:	Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und zugehörige Anteile der Fahrzeugarten.....	7
Tab. 2.3:	Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe (T50 Pkw-Normalfahrt, T30 Pkw fiktiv, T50 Lkw-Folgefahrt und T30 Lkw fiktiv).....	9
Tab. 3.1:	Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen für Wendlingen für die Fahrzeuggruppen Pkw, INfz und sNfz im Bezugsjahr 2010.....	12
Tab. 3.2:	Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas), abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile	16
Tab. 3.3:	„Warme“ PM10-Abgas-Emissionen für die untersuchte Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile.....	18
Tab. 3.4:	Zusammensetzung der PM10-Jahresemissionen (gesamt) für die betrachtete Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile	19
Tab. 3.5:	Jahresemissionen (PM10 inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb), richtungsgetrennt für die untersuchte Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%)	19
Tab. 4.1:	Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA auf Basis aller Messfahrten T50, auf Basis einer Auswahl dieser Messfahrten, die vergleichbar viele Halte aufweisen wie die T30-Fahrten sowie auf Basis der T50-Fahrten ohne Halte	22
Tab. 4.2:	Emissionen PM10 (gesamt) auf Basis aller Messfahrten T50, auf Basis einer Auswahl dieser Messfahrten, die vergleichbar viele Halte aufweisen wie die T30-Fahrten sowie auf Basis der T50-Fahrten ohne Halte.....	22
Tab. 4.3:	Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerrampel“ sowie relative Änderungen, Fahrtrichtung Osten	25
Tab. 4.4:	Emissionen PM10 (gesamt) für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerrampel“ sowie relative Änderungen, Fahrtrichtung Osten	26

Tab. 4.5:	Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA sowie Emissionen PM10 (gesamt) für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerampel“ sowie relative Änderungen, Fahrtrichtung Westen	26
Tab. 4.6:	Emissionen PM10 (gesamt) für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerampel“ sowie relative Änderungen, Gesamtquerschnitt	27
Tab. 6.1:	Lufthygienische Grenzwerte der EU-Richtlinie (39. BImSchV) für den verkehrsrelevanten Luftschadstoff PM10 /39. BIMSCHV 2010/	34
Tab. 7.1:	Zusammenstellung der für die betrachteten Straßenabschnitte und Szenarien berechneten maximal zu erwartenden Jahresmittelwerte für PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	36

1 Einleitung

Für einen Abschnitt der Stuttgarter Straße / Ulmer Straße in Wendlingen wird die Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h im Rahmen der Luftreinhalteplanung diskutiert.

Die Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung innerorts von 30 km/h auch auf Hauptverkehrsstraßen (HVS) wird in jüngster Zeit immer wieder diskutiert, um Überschreitungssituationen von PM₁₀ und/oder NO₂ zu beheben oder zumindest zu entschärfen. Einer Pressemitteilung des Umweltbundesamtes ist zu entnehmen, dass durch die Einführung von 30 km/h im Vergleich zu 50 km/h eine Verminderung bei PM₁₀ um 10 Überschreitungstage erreichbar sei. Diese Aussage gründet sich allerdings auf nur einen Feldversuch in Berlin (i.w. auf die Schildhornstraße). Aus früheren Jahren liegen einige wenige Untersuchungen zum Einfluss eines Tempolimits innerorts auf die Luftqualität vor, die in der Regel unter speziellen Randbedingungen durchgeführt wurden.

Ziel des vorliegenden Gutachtens ist es, für die spezielle Situation an der Strecke in Wendlingen eine Aussage zum Einfluss eines Tempolimits T30 auf die PM₁₀-Emissions- und -Immissionsbelastung abzuleiten.

Die zentrale Datenbasis zur Berechnung von Emissionen des Straßenverkehrs, das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA3.1), enthält auch in der aktuellsten Version vom Februar 2010 keine Emissionsfaktoren, die die Situation T30 an Hauptverkehrsstraßen abbildet (sondern nur Emissionsfaktoren für Tempo30-Zonen mit Rechts-vor-Links-Regelung).

Es besteht aber die Möglichkeit, mit Hilfe von Simulationsprogrammen Fahrprofile, die im realen Verkehr erhoben wurden (z.B. T50 und T30 "fiktiv"), emissionsseitig „nachzufahren“. Über ein solches Programm (PHEM) verfügt die TU Graz. Mit diesem Programm wurden auch wesentliche Datengrundlagen des HBEFA3.1 ermittelt.

Zur Ermittlung der Situation in Wendlingen wurden daher Messfahrten für „T50-Normalfahrt“ und „T30-fiktiv“ durchgeführt und basierend auf den erhobenen Fahrzyklen mit dem Modell PHEM die Abgasemissionen für diese Fahrprofile berechnet.

Neben T30 wurden die Auswirkungen weiterer Maßnahmen zur Verkehrsverflüssigung auf die Emissionen untersucht.

Aufbauend auf den so bestimmten Emissionen wurden schließlich mit dem Screening-Modell ISIS Immissionsbelastungen entlang der zu untersuchenden Strecke für T50, T30 sowie für den verstetigten Verkehrsfluss berechnet.

2 Messfahrten

Am 27.03.2012 und am 28.03.2012 wurden in Wendlingen in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw Messfahrten zur Bestimmung der Auswirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h entlang eines Abschnitts der Stuttgarter Straße / Ulmer Straße durchgeführt. Zusätzlich wurden manuelle Kurzzeitmessungen mit Differenzierung nach Fahrzeugarten durchgeführt und die Strecke mit Video und Digitalkamera erfasst und dokumentiert.

2.1 Die Messstrecke

Die untersuchte Messstrecke ist in Bild 2.1 dargestellt. Untersucht wurde der Bereich der Stuttgarter Straße und der Ulmer Straße zwischen der Bahnhofstraße und der Kapellenstraße. Ganz im Westen der Strecke (Stuttgarter Straße / Bahnhofstraße) befindet sich eine Fußgängerbedarfs-LSA, an den Kreuzungen der Messstrecke mit der Albstraße / Unterboihinger Straße bzw. mit der Kapellenstraße befinden sich jeweils voll verkehrsabhängig gesteuerte LSA.

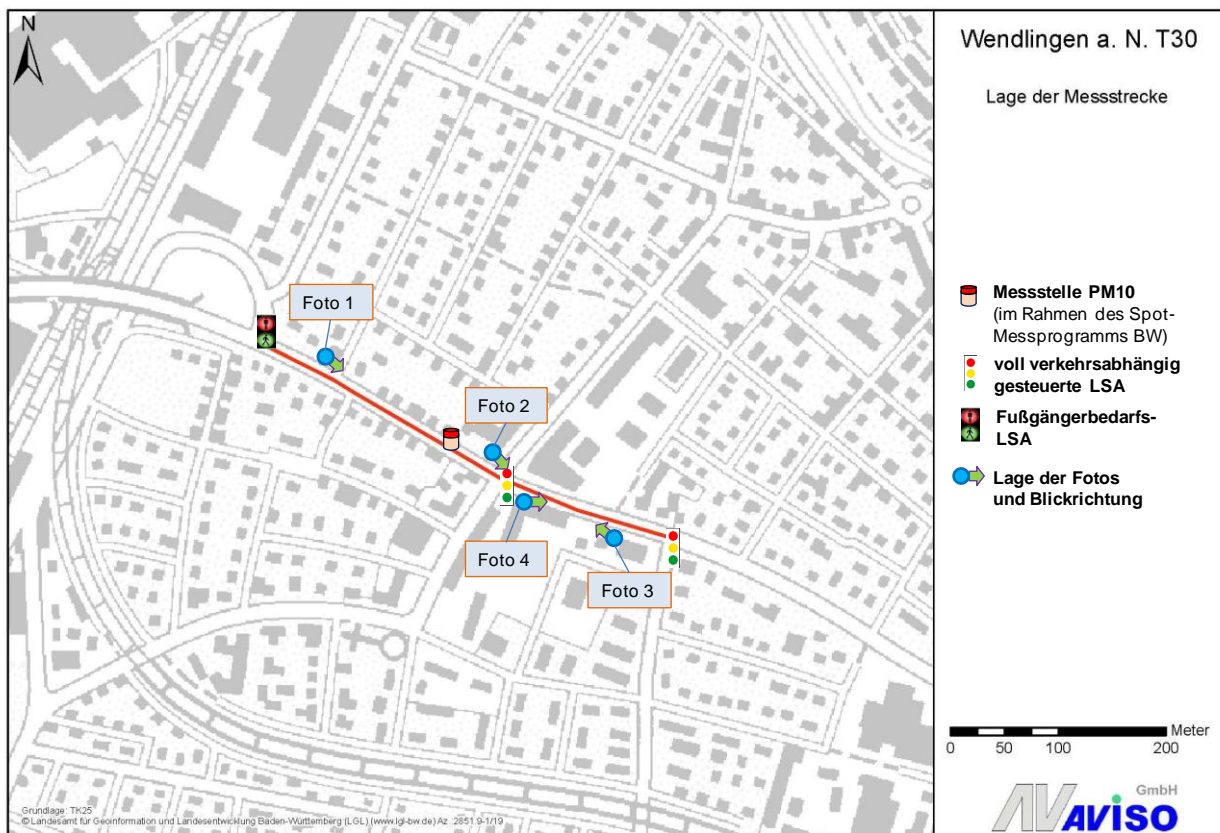


Bild 2.1: Lage der Messstrecke in Wendlingen

Die Strecke verläuft überwiegend eben, in Fahrtrichtung Osten weist sie eine leichte Steigung von weniger als einem Prozent auf. Eine Messstation für PM10 (Spotmessungen) befindet sich an der Stuttgarter Straße in Höhe der Hausnummer vier. In Bild 2.2 sind Bilder der Messstrecke dargestellt.

Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Bild 2.2: Fotos entlang der Messstrecken, Lage: siehe Übersichtskarte in Bild 2.1

2.2 Auswertung der Fahrten

Insgesamt wurden 96 Fahrten in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw durchgeführt. Es wurden dabei Pkw-Verfolgungsfahrten, Lkw-Verfolgungsfahrten und T30-Fahrten („fiktiv“) unterschieden. Die Anzahl der Fahrten ist in Tab. 2.1 dargestellt. Bei der Durchführung der Fahrten wurde beachtet, die unterschiedlichen Möglichkeiten der Fahrtenbeziehungen am Anfangs- und Endknotenpunkt ausreichend abzudecken.

Die Daten zu Geschwindigkeit, Drehzahl und Uhrzeit wurden an der OBD2-Schnittstelle am Fahrzeug in hoher zeitlicher Auflösung (0,2 Sec-Takt) abgenommen. Zusätzlich wurden zeit-synchron mit einem GPS-Gerät die Zeit und die Koordinaten der Fahrstrecke erfasst.

Tab. 2.1: Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung

Fahrtart	Anzahl
T50 "Normalfahrt" Richtung Osten	35
T50 "Normalfahrt" Richtung Westen	37
T30 "fiktiv" Richtung Osten	8
T30 "fiktiv" Richtung Westen	9
T50 "Lkw-Verfolgungsfahrt" Richtung Osten	4
T50 "Lkw-Verfolgungsfahrt" Richtung Westen	3

In Bild 2.3 und Bild 2.4 sind die gemessenen Fahrprofile dargestellt. Es ist jeweils für alle Messfahrten die aktuelle Fahrgeschwindigkeit über die gefahrene Wegstrecke aufgetragen.

Da nur insgesamt sieben Lkw-Verfolgungsfahrten durchgeführt werden konnten, werden im Folgenden die Pkw-Fahrten zusätzlich auch als Lkw-Fahrten ausgewertet.

Bei den T50-Fahrten musste im Vergleich mit den T30-Fahrten häufiger an Lichtsignalanlagen (LSA) gehalten werden, in den unteren Bildern ist daher jeweils eine Auswahl an Fahrten mit vergleichbarer Anzahl an Halten dargestellt. Da Emissionen vornehmlich an Beschleunigungsstrecken anfallen, werden für die weitere Auswertung die jeweils unten dargestellten Fahrten zugrunde gelegt.

In beiden Fahrtrichtungen musste an der LSA am Knoten Stuttgarter Straße / Albstraße / Ulmer Straße / Unterboihinger Straße bei der Mehrzahl aller Fahrten gehalten werden.

Die erreichten Höchstgeschwindigkeiten liegen nur bei wenigen Fahrten deutlich über 50 km/h. Die T30-Fahrten sind in den Diagrammen ebenfalls dargestellt (rote Linien) und zeigen insgesamt ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.

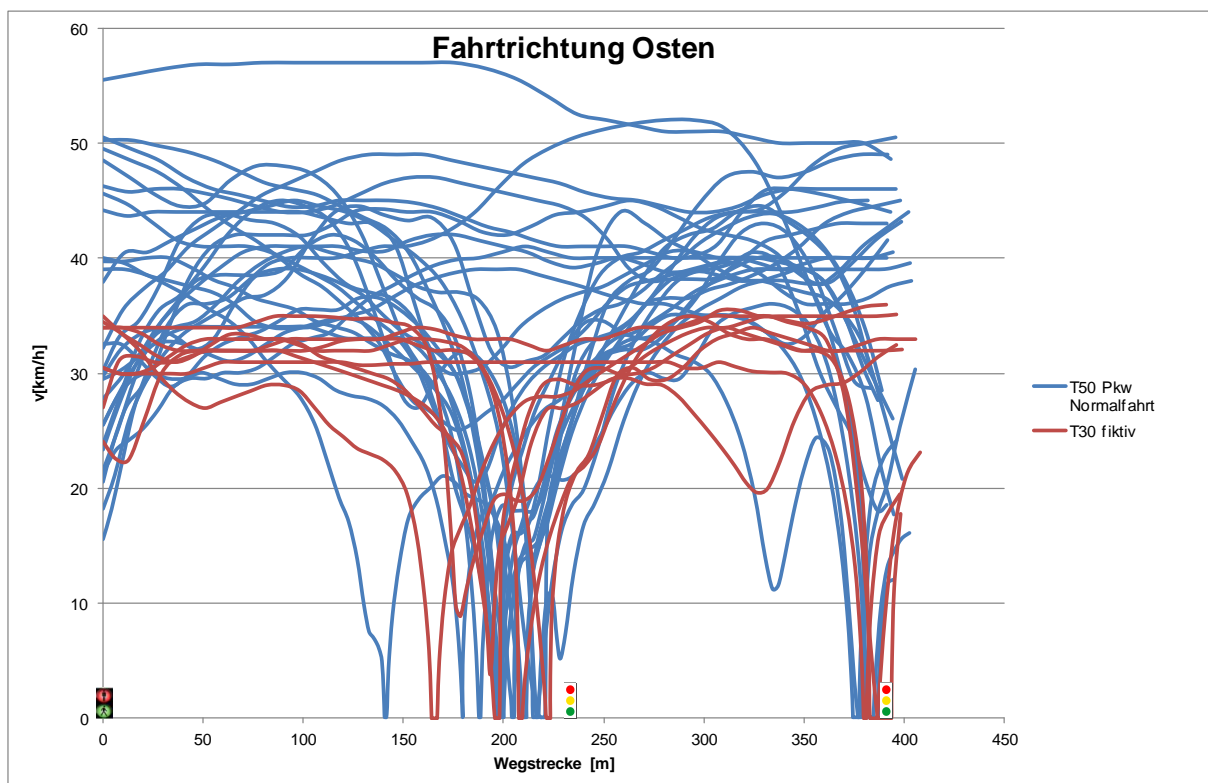
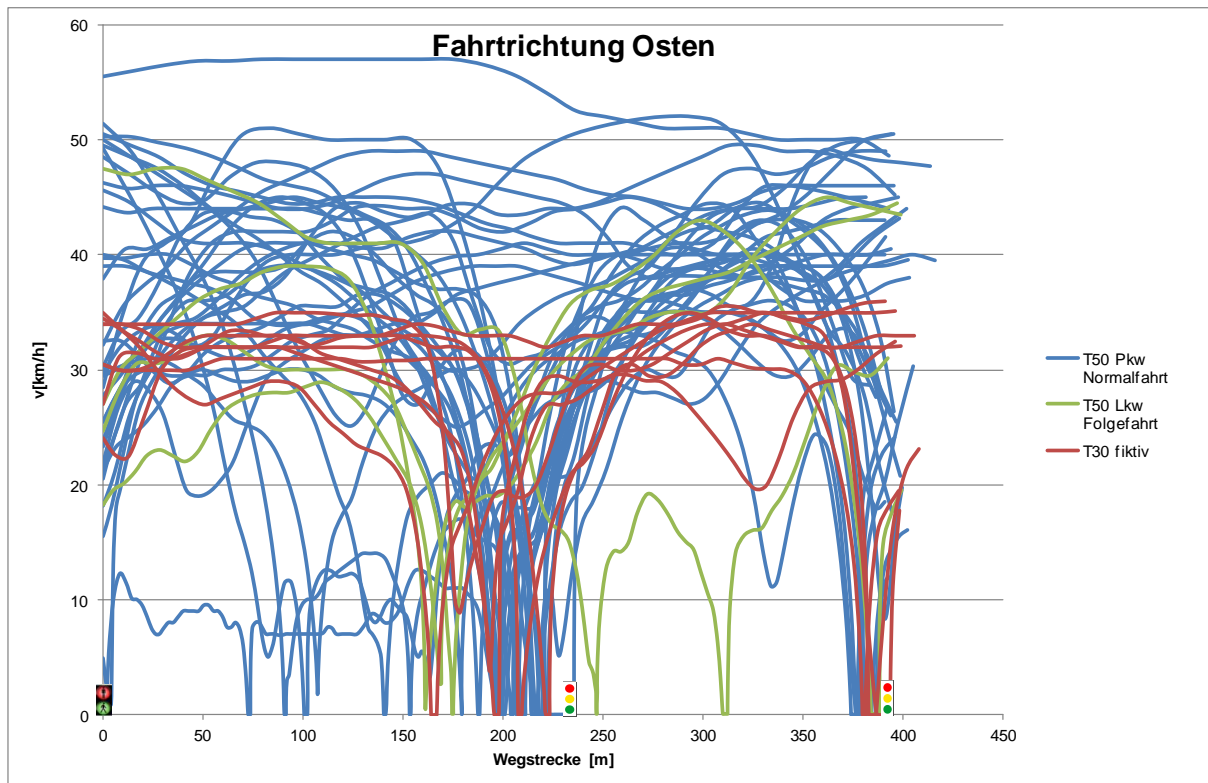


Bild 2.3: Fahrprofile der Messfahrten in Richtung **Osten**: T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T50-Lkw-Folgefahrt (grüne Linien) und T30-fiktiv (rote Linien); oben: alle Fahrten; unten: Auswahl: Anzahl Halte bei T50- und T30-Fahrten vergleichbar

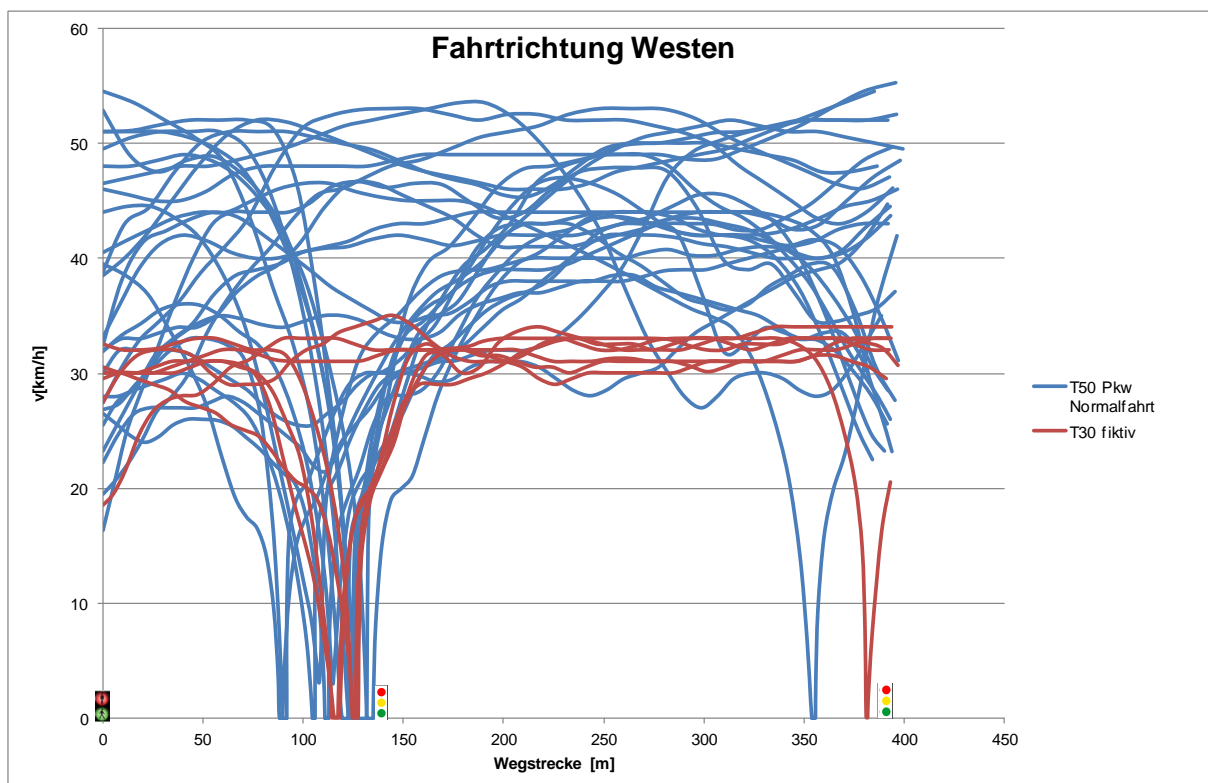
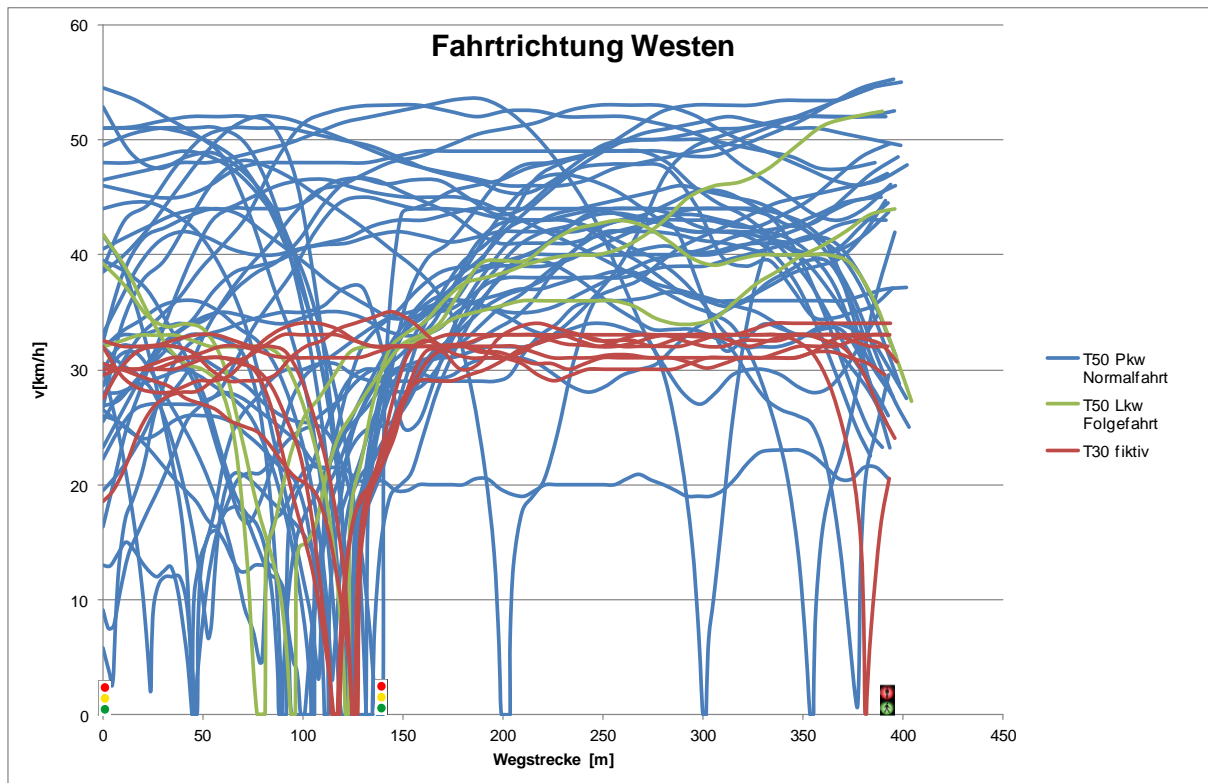


Bild 2.4: Fahrprofile der Messfahrten in Richtung **Westen**: T50-Pkw-Normalfahrt (blaue Linien), T50-Lkw-Folgefahrt (grüne Linien) und T30-fiktiv (rote Linien); oben: alle Fahrten; unten: Auswahl: Anzahl Halte bei T50- und T30-Fahrten vergleichbar

2.3 Verkehrliche Grundlagedaten

Am 17.06.2010 wurde von der Stadt Wendlingen eine 16-h Verkehrszählung an der Stuttgarter Straße zwischen Bahnhofstraße und Olgastraße durchgeführt. Es wurden Kräder, Pkw, Busse, LKW sowie Last- und Sattelzüge einzeln erfasst. Die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) mit zulässigem Gesamtgewicht unter 3,5t sind in den Pkw enthalten.

Zur Ermittlung des Anteils der INfz wurde auf manuelle Kurzzeitzählungen zurückgegriffen, die zusätzlich zu den Messfahrten entlang der Strecke durchgeführt worden sind.

Die Daten der Verkehrszählungen wurden nach /LENSING 2003/ auf jahresmittlere Werte hochgerechnet und sind in Tab. 2.2 angegeben.

Tab. 2.2: Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und zugehörige Anteile der Fahrzeugarten

Krad	Pkw	INfz	sNfz	Kfz
Kfz/ 24h				
262	14.964	582	680	16.488
1,6%	90,8%	3,5%	4,1%	100,0%

In Bild 2.5 sind die jahresmittleren Verkehrsstärken (DTV) für Kfz und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) nochmals grafisch dargestellt. Die Verkehrsstärke liegt in dem betrachteten Abschnitt bei ca. 16.500 Kfz/24h, der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge bei ca. 4%.

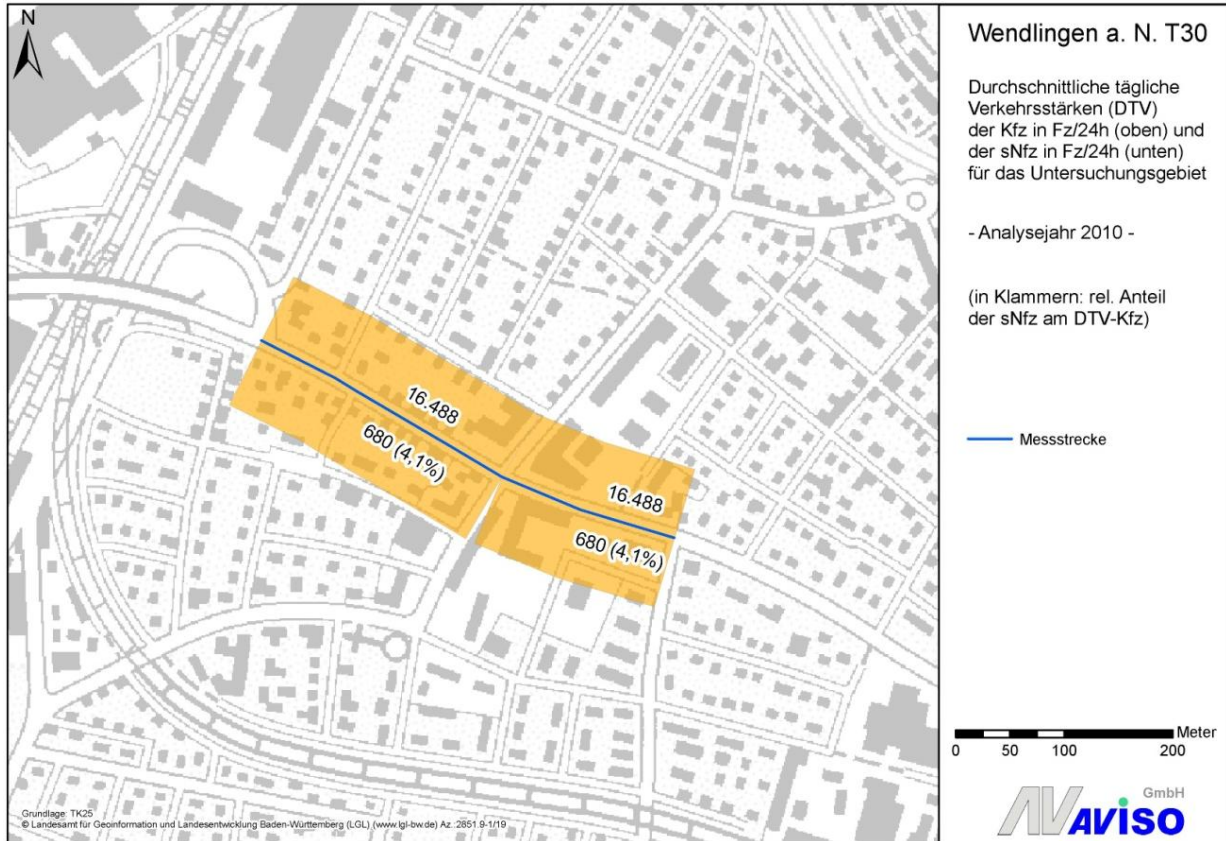


Bild 2.5: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) im Untersuchungsgebiet Wendlingen, Analyse 2010

2.4 Auswertung der dynamischen Fahrparameter

Die Messfahrten wurden aufbereitet und in einer 1Hz-Taktung abgelegt. Sie wurden im Hinblick auf die dynamischen Parameter mittlere Reisegeschwindigkeit, RPA, Anteil Stopp und Anteil Konstantfahrt ausgewertet. RPA (relative positive acceleration) ist ein Dynamik-Parameter, der in HBEFA3.1 zur Charakterisierung der Verkehrssituationen verwendet wird:

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

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.

Pro Fahrtengruppe (T50 Pkw-Normalfahrt, T30 Pkw fiktiv, T50 Lkw-Folgefahrt und T30 Lkw fiktiv) wurden die mittleren Dynamik-Parameter v (Reisegeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Halten und Haltezeiten) und RPA gemittelt über alle Fahrten der jeweiligen Fahrtengruppe berechnet und sind in Tab. 2.3 ausgewiesen.

Tab. 2.3: Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe (T50 Pkw-Normalfahrt, T30 Pkw fiktiv, T50 Lkw-Folgefahrt und T30 Lkw fiktiv)

Fahrt- parameter	Pkw				sNFz			
	v [km/h]	stddev v	RPA [m/s^2]	stddev RPA	v [km/h]	stddev v	RPA [m/s^2]	stddev RPA
T50 Ri Ost	34,6	3,5	0,238	0,048	34,5	3,5	0,236	0,047
T30 Ri Ost	27,6	2,8	0,141	0,028	27,5	2,8	0,142	0,028
T50 Ri West	39,8	4,0	0,226	0,045	39,7	4,0	0,227	0,045
T30 Ri West	28,4	2,8	0,148	0,030	25,9	2,6	0,180	0,036
Reduktion								
Ri Ost	-20%		-40%		-20%		-40%	
Ri West	-29%		-34%		-35%		-21%	

In Fahrtrichtung Osten liegt für die Pkw die mittlere Reisegeschwindigkeit bei 34,6 km/h und in Fahrtrichtung Westen bei 39,8 km/h.

Es zeigen sich für alle Fahrtrichtungen und Fahrzeugarten beim Vergleich T30 zu T50 Reduktionen der mittleren Fahrgeschwindigkeit, die zwischen -20% und -35% liegen.

Auch für den Dynamik-Parameter RPA zeigen sich beim Vergleich T30 fiktiv zu T50-Normalfahrt deutliche Reduktionen zwischen -21% und -40%. Dies ist ein Indiz dafür, dass die T30-Fahrten weniger dynamisch verlaufen sind als die T50-Fahrten, d.h. T30 zu einer Vergleichmäßigung des Verkehrsablaufes geführt hat.

3 Emissionsberechnung

3.1 Modell PHEM

Das Modell PHEM /HAUSBERGER 2010/ basiert auf umfangreichen Emissionskennfeldern einzelner Fahrzeugschichten, die es ermöglichen, das komplette Fahrverhalten (einschließlich Schaltverhalten) zu simulieren und emissionsseitig zu berechnen, es ist schematisch in Bild 3.1 dargestellt. Die Emissionskennfelder sind die gleichen Basisdaten, die auch zur Ableitung der spezifischen Schichtemissionsfaktoren der Verkehrssituationen, die im HBEFA3.1 enthalten sind, verwendet wurden.

Eingangsdaten der Berechnungen bilden die Daten der gemessenen Fahrprofile in 1 Hz-Taktung (Zeit, Geschwindigkeit, Drehzahl und Steigung/Gefälle). Die Ergebnisse liegen ebenfalls in 1 Hz-Taktung vor, dies sind neben den Emissionen verschiedener Schadstoffe auch weitere Daten z.B. zur Beschreibung der Fahrdynamik wie Geschwindigkeit und RPA. Zusätzlich werden für jedes Fahrprofil mittlere Daten angegeben.

Das Ergebnis von PHEM sind sogenannte „warme“ Emissionen d.h. Emissionen von Fahrzeugen mit warmem Motor. Kaltstartzuschlagsemissionen wurden mit PHEM nicht berechnet. Die Emissionsberechnungen mit PHEM wurden für alle Fahrprofile und alle relevanten Fahrzeugschichten der Pkw, INfz und sNfz durchgeführt.

Wie schon bei der Auswertung der Dynamikparameter wurden auch für die Emissionsberechnung die Fahrten so ausgewählt, dass Störungsgrad und Anzahl der Halte an LSA bei T30- und T50-Fahrten vergleichbar.

3.2 Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren

Die Emissionen, die als Ergebnis der PHEM-Berechnungen für jedes Fahrprofil pro Fahrzeugschicht vorliegen, wurden zu mittleren Emissionsfaktoren aggregiert. Hierfür wurden die Fahrprofile, die als sekundliche Werte zu unterschiedlichen Orten vorliegen, auf ein einheitliches räumliches Gitter gebracht. Auf diesem Gitter konnte zunächst für jede Schicht einzeln über alle Fahrten gemittelt werden. Im nächsten Schritt wurde, unter Berücksichtigung der aktuellen Flottenzusammensetzung für Wendlingen, über die Schichtemissionen der Fahrzeuggruppen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) für T50 und T30 gemittelt.

PHEM Passenger car and Heavy duty Emission Model

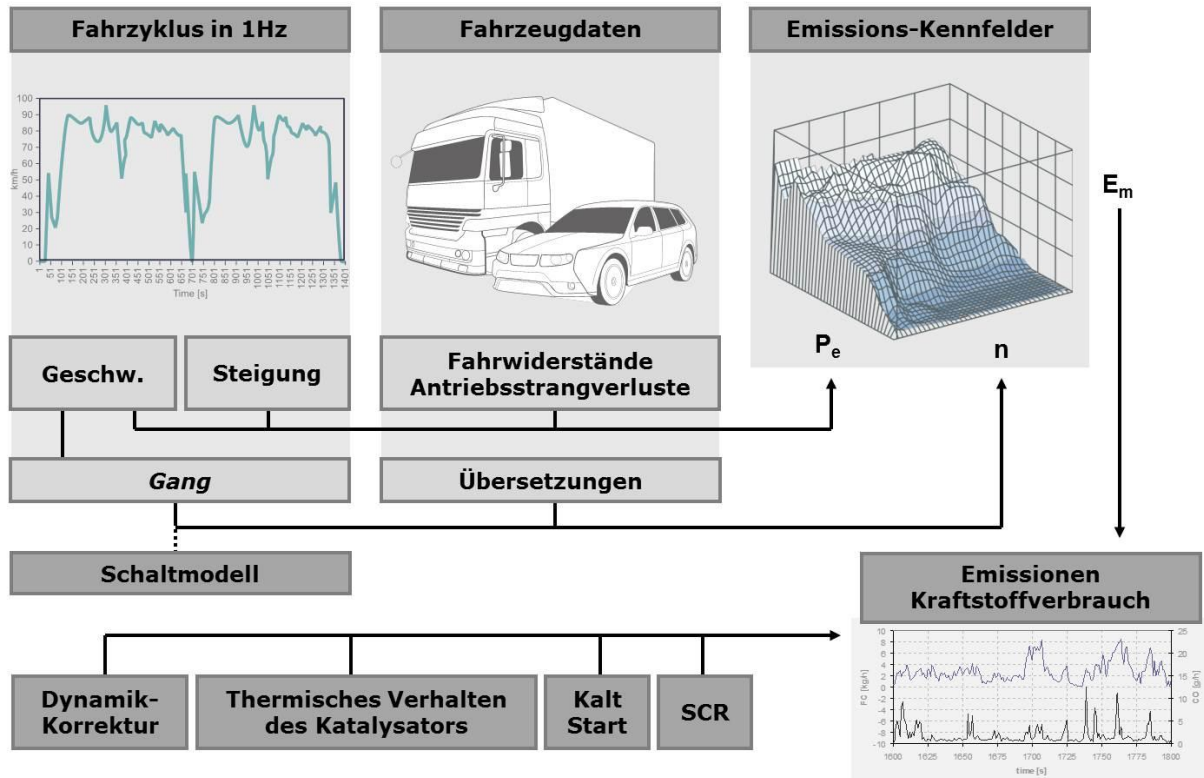


Bild 3.1: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010

Die Daten zur Flottenzusammensetzung (dynamischer Bestand) basieren auf der Datengrundlage des landesweiten Emissionskatasters Straßenverkehr /AVISO 2009/, die pro Zulassungsbezirk und Bezugsjahr Daten zum dynamischen Bestand enthält. Für Wendlingen sind dort für die Fahrzeuggruppen Pkw und INfz die Bestandsdaten des Zulassungsbezirks Esslingen berücksichtigt, aus denen mittels einer Fahrleistungsgewichtung die Flottenzusammensetzung für Innerortsstraßen abgeleitet worden war. Es wurde eine Anpassung an die Fahrzeugschichtendefinition aus dem aktuellen HBEFA3.1 /HBEFA2010/ durchgeführt.

Die Flotte der schweren Nutzfahrzeuge wird stärker vom überregionalen als vom regionalen Bestand bestimmt, daher wurde für die schweren Nutzfahrzeuge die aktuelle bundesmittlere Flottenzusammensetzung aus HBEFA3.1 verwendet.

In Tab. 3.1 sind die Flottenzusammensetzungen für Pkw und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) auf Innerortsstraßen für 2010 aufgeführt.

Tab. 3.1: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen für Wendlingen für die Fahrzeuggruppen Pkw, INfz und sNfz im Bezugsjahr 2010

Pkw		INfz		sNfz	
Otto vor E1	0,6%	Otto vor E1	0,2%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	4,0%	Otto E1	0,2%	Ds E I	3,0%
Otto E2	4,9%	Otto E2	0,7%	Ds E II	12,1%
Otto E3	20,6%	Otto E3	0,6%	Ds E III	27,5%
Otto E4	31,2%	Otto E4	2,2%	Ds E IV	15,5%
Otto E5	1,2%	Otto E5	0,0%	Ds E V	36,6%
Otto E6	0,0%	Otto E6	0,0%	Ds E VI	0,0%
Gas/Alternativ	0,4%	Gas/Alternativ	0,0%		
Ds vor E1	0,4%	Ds vor E1	1,2%		
Ds E1	1,0%	Ds E1	1,9%		
Ds E2	2,5%	Ds E2	11,0%		
Ds E3	12,2%	Ds E3	28,5%		
Ds E4	19,9%	Ds E4	52,7%		
Ds E5	1,1%	Ds E5	0,7%		
Ds E6	0,0%	Ds E6	0,0%		
gesamt	100,0%	gesamt	100,0%	gesamt	100,0%

Das Ergebnis der oben beschriebenen Mittelungen sind mittlere Ganglinien für die Emissionen der Pkw, der leichten und der schweren Nutzfahrzeuge, jeweils für beide Fahrtrichtungen. Sie sind in Bild 3.2 bis Bild 3.5 dargestellt. Zur besseren Orientierung sind jeweils die mittleren Geschwindigkeiten mit eingetragen.

Für Wendlingen lässt sich aus diesen Bildern folgendes ableiten:

- Die Emissionsfaktoren für Feinstaub sind jeweils im Bereich der LSA erhöht. Hier finden Brems- und Beschleunigungsvorgänge statt.
- Während Phasen konstanter Geschwindigkeit liegen die Emissionen bei T30 über denen bei T50.
- In Fahrtrichtung Westen wurde bei T30 nach den LSA stärker beschleunigt (steilerer Anstieg der Geschwindigkeit). Eine Auswertung der mittleren Motordrehzahlen zeigt hier, dass diese als Folge der vom Schaltmodell in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Steigung und Motorleistung ermittelten Gangwahl zum Teil zunehmen. Höhere Motordrehzahlen wirken sich emissionserhöhend aus.

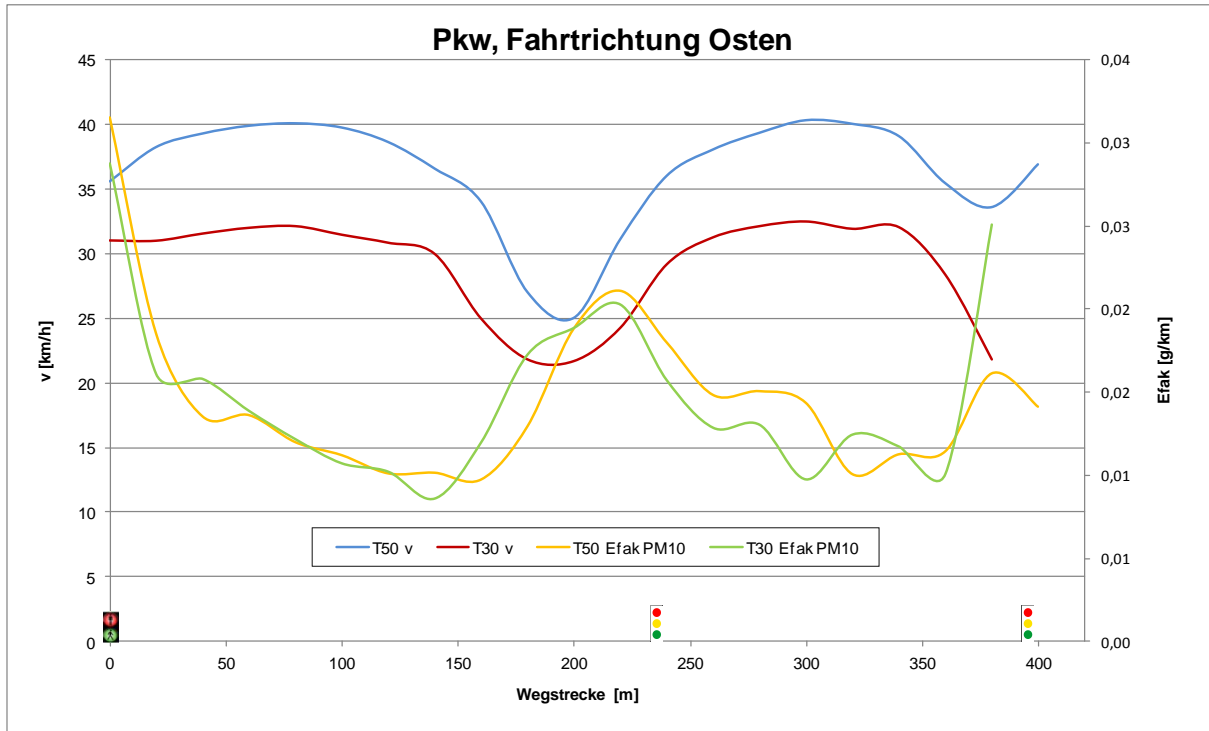


Bild 3.2: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für **Pkw in Richtung Osten**

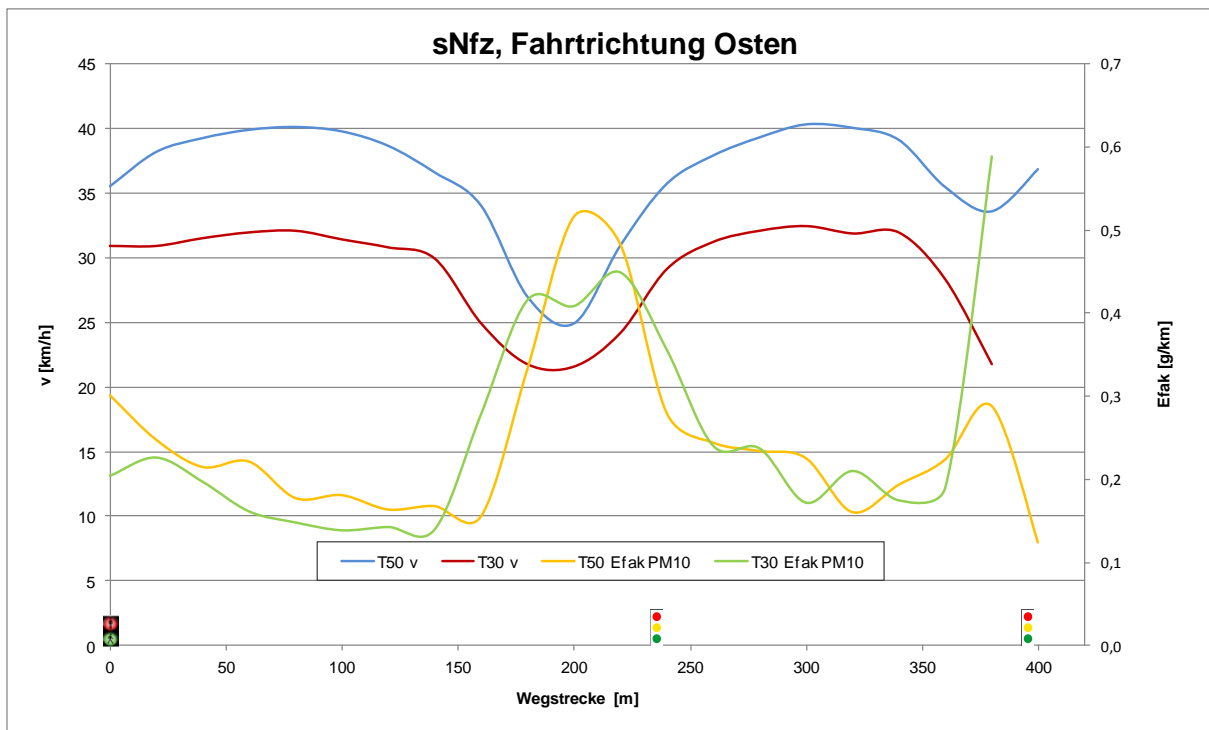


Bild 3.3: Profile Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für **sNfz in Richtung Osten**

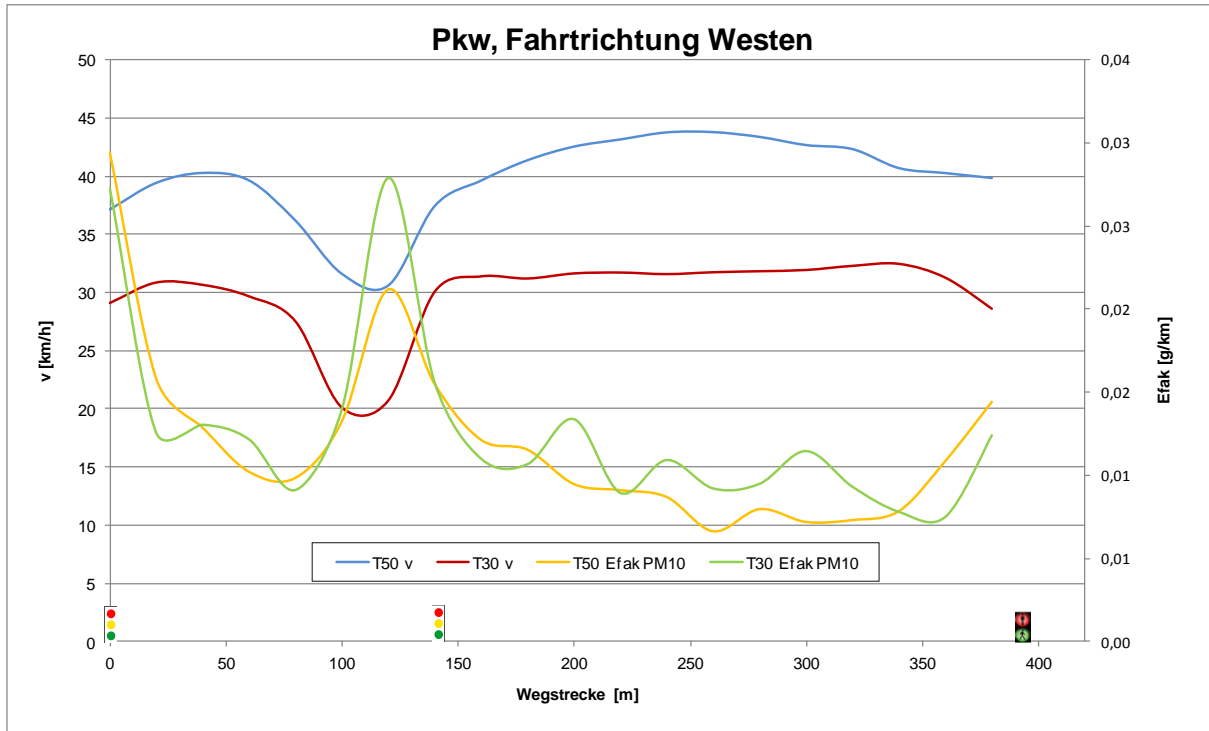


Bild 3.4: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für **Pkw in Richtung Westen**

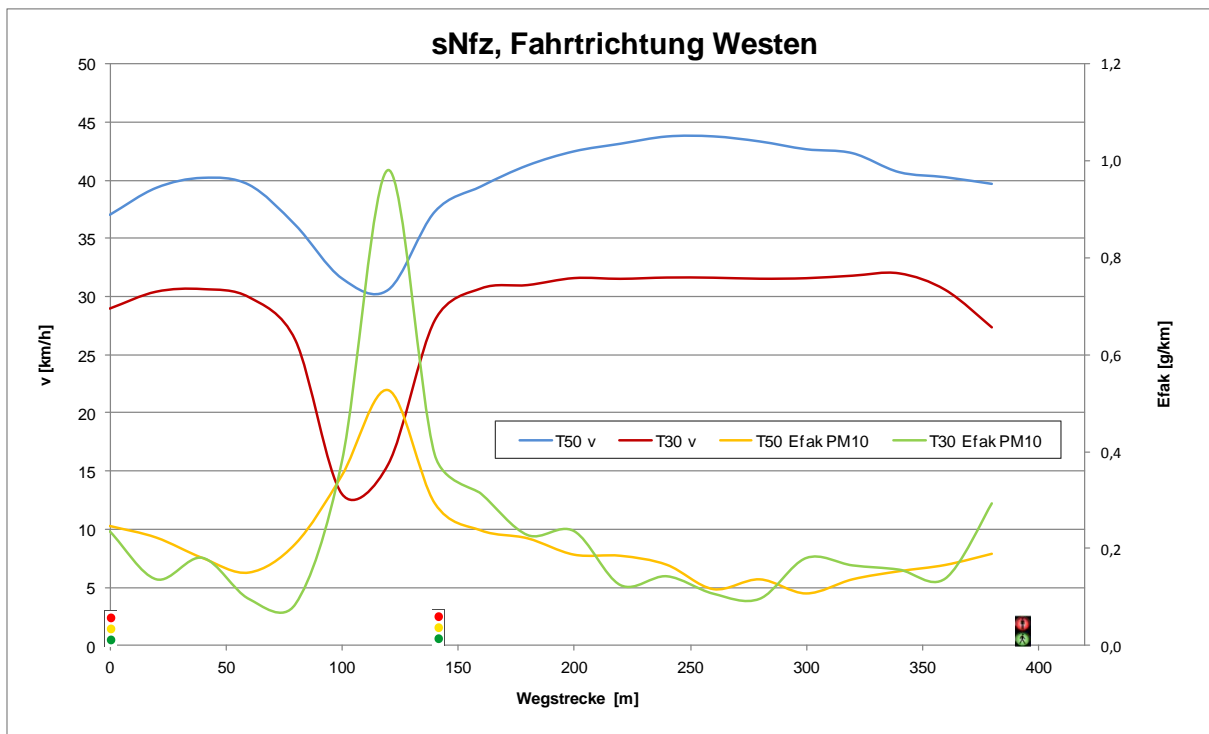


Bild 3.5: Profile Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-fiktiv für **sNfz in Richtung Westen**

3.3 Emissionsfaktoren PM10-Abgas

Aus den in Bild 3.2 bis Bild 3.5 dargestellten Ganglinien können für alle drei Fahrzeuggruppen mittlere „warme“ Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas) auf den Messstrecken abgeleitet werden. Wenn die Strecken hinsichtlich ihrer Verkehrswerte, Verkehrssituationen (LSA etc.) oder der Steigung sehr heterogen sind, kann es sinnvoll sein, zusätzlich Emissionsfaktoren für Unterabschnitte zu bestimmen. Die Unsicherheiten auf den Teilabschnitten sind jedoch aus folgenden Gründen höher als für die Gesamtstrecken:

- Wie schon bei RPA ist die Streuung der Emissionsfaktoren zwischen den Fahrten sehr hoch, und je kürzer die betrachteten Abschnitte sind, desto höher ist die Standardabweichung.
- Weil Luftschadstoffe im Wesentlichen während der Beschleunigungsphasen emittiert werden, wurden bei der Mittelwertbildung die Fahrprofile für T50 und T30 jeweils so gewichtet, dass ähnliche Störungsgrade auf den Messstrecken vorliegen. Dies kann auf kurzen Teilabschnitten nicht überall garantiert werden, auch weil sich Störungen, die zu mehrfachen Halten führen, oft über Abschnittsgrenzen erstrecken.
- Weiterhin enthalten einzelne Streckenabschnitte teilweise nur eine Beschleunigungs-, Ausroll-, Konstantfahrt- oder Abbremsstrecke. Damit besitzen sie einen emissionsseitigen Vor- oder Nachteil, der zu Lasten bzw. zu Gunsten benachbarter Streckenabschnitte geht. Wenn etwa ein Abschnitt nur eine Beschleunigungsstrecke enthält und der Folgeabschnitt nur eine Ausrollstrecke, so ist im ersten Abschnitt eine emissionsmindernde und im zweiten Abschnitt eine emissionserhöhende Wirkung von T30 zu erwarten. Diese sind nicht unabhängig voneinander zu realisieren.

Da weder die Verkehrswerte noch die Steigung auf der Messstrecke stark variieren, wird für Wendlingen nur die Gesamtstrecke ausgewertet. Diese ist mit ca. 420 Metern Länge bereits so kurz, dass eine weitere Unterteilung auch nicht sinnvoll erscheint.

Die so gebildeten Emissionsfaktoren für PM10-Abgas für die Fahrzeuggruppen Pkw, INfz und sNfz sind gemittelt über die in Tab. 3.2 getrennt nach Fahrtrichtungen dargestellt. Ebenfalls angegeben sind die absoluten Standardabweichungen. Diese entsprechen pauschal 20%, was sich aus der Mittelung über alle Fahrten ergibt.

Im unteren Teil der Tabellen ist jeweils die Veränderung von T30 gegenüber T50 angegeben.

Tab. 3.2: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas), abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

Efaktor PM10 [g/km]	Pkw		INFz		sNFz	
	MW	stddev	MW	stddev	MW	stddev
T50 Ri Ost	0,015	0,003	0,058	0,012	0,251	0,050
T30 Ri Ost	0,015	0,003	0,060	0,012	0,254	0,051
T50 Ri West	0,012	0,002	0,050	0,010	0,209	0,042
T30 Ri West	0,013	0,003	0,049	0,010	0,234	0,047
Änderung						
Ri Ost	0,2%		4,1%		1,4%	
Ri West	4,9%		-3,5%		11,8%	

Beim Vergleich der warmen Emissionsfaktoren PM10 (Abgas) T30 mit den warmen Emissionsfaktoren PM10 (Abgas) T50-Normalfahrt kommt es fast überall zu Zunahmen, lediglich bei den INFz kommt es in Fahrtrichtung Westen zu einer Abnahme.

3.4 Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren zu HBEFA3.1

Üblicherweise werden zur Ermittlung der Emissionen auf einem Streckenabschnitt keine individuellen Messfahrten durchgeführt, sondern die Berechnung erfolgt auf der Basis des HBEFA3.1. Zu deren Bestimmung muss dem Streckenabschnitt eine Hauptverkehrssituation und eine Steigung/Gefälle-Klasse zugewiesen werden. In Abhängigkeit des Tagesganges des Störungsgrades werden dann die Emissionen berechnet.

Dem betrachteten Streckenabschnitt wurde die Hauptverkehrssituation „Distributor Speedlimit 50 km/h“ zugewiesen, da es sich um eine innerörtliche Hauptverkehrsstraße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h handelt.

Die Steigungen im betrachteten Bereich liegen unter 1%. Da Steigungen im HBEFA3.1 erst ab 2% berücksichtigt werden, wird für den Vergleich mit dem Handbuch die Steigung vernachlässigt.

Für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge sind die Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas) nach HBEFA3.1 in Bild 3.6 den Emissionsfaktoren gegenübergestellt, die über die Messfahrten und PHEM-Berechnungen ermittelt wurden. Ziel war es, zu analysieren inwieweit mit den Basisdaten aus HBEFA3.1 die Emissionssituation an dem betrachteten Streckenabschnitt für die Ist-Situation T50 abgebildet werden kann.

Dieser Vergleich wurde für die „warmen“ Emissionsfaktoren durchgeführt, da in HBEFA3.1 die warmen Emissionsfaktoren und der Kaltstartzuschlag (für Pkw und INFz) separat ausge-

wiesen werden und die PHEM-Berechnungen ausschließlich für den warmen Motor durchgeführt worden sind.

Aus den gemessenen Fahrprofilen konnte abgeleitet werden, dass der Störungsgrad im Tagzeitbereich im Bereich von geringen (free) bis mittleren Störungen (heavy) liegt. An der LSA am Knoten Stuttgarter Straße / Albstraße / Ulmer Straße / Unterboihinger Straße trat zum Teil ein geringer Rückstau auf.

Für die Pkw liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren PM10 (Abgas) etwas oberhalb der Spannweiten der Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 für die relevanten Verkehrssituationen. Für die schweren Nutzfahrzeuge liegen sie dagegen deutlich über den Werten nach HBEFA3.1. Hier müsste ein beträchtlicher Anteil an Verkehrssituationen mit großem Störungsgrad angenommen werden, um eine Übereinstimmung mit dem Handbuch zu erzielen.

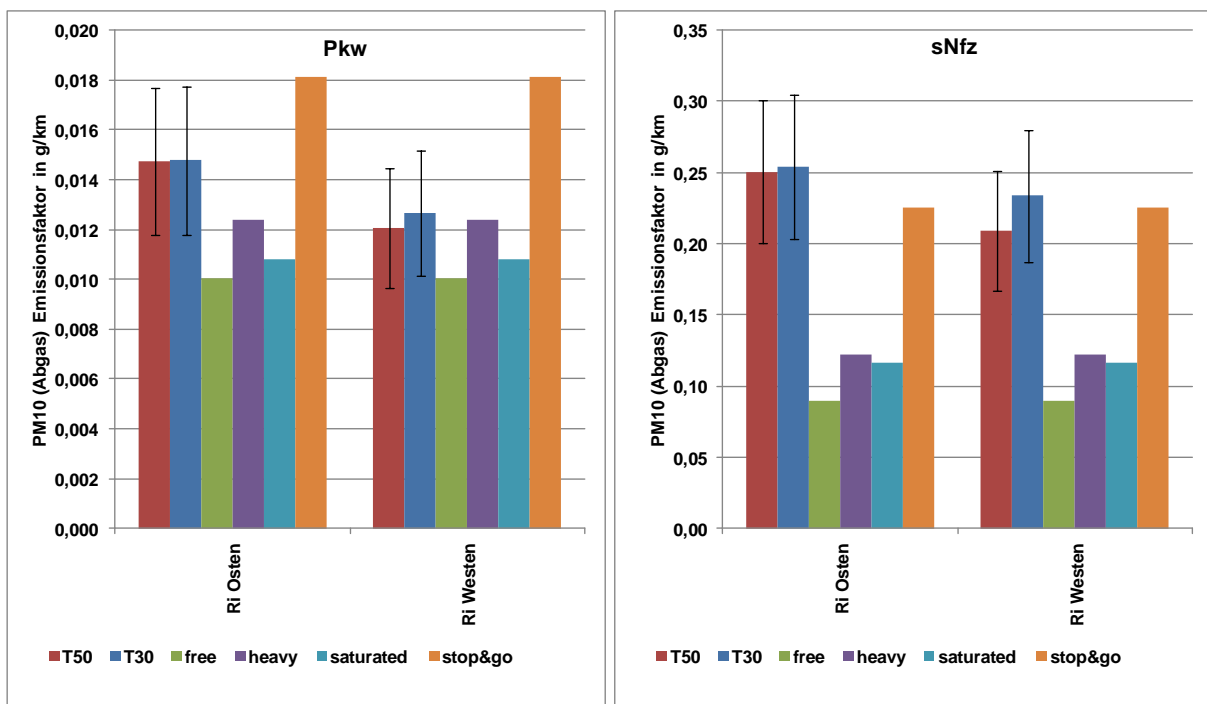


Bild 3.6: Vergleich der PM10 (Abgas)-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ (Störungsgrade: „free“, „heavy“, „saturated“ und „stop&go“) aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den T50- und T30-Messfahrten für Pkw und sNfz in Wendlingen

3.5 Jahresemissionen

Mit dem aus den Verkehrszählungen berechneten durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV, Tab. 2.2) können die Emissionsfaktoren zu Jahresemissionsdichten in Kilogramm pro

Kilometer und Jahr hochgerechnet werden. Als Summe über die Fahrzeuggruppen und Richtungen ergeben sich die in Tab. 3.3 angegebenen Werte.

Tab. 3.3: „Warme“ PM10-Abgas-Emissionen für die untersuchte Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

PM10 (Abgas) [kg/(km*a)]	Mittelwert	Standardabweichung
T50		
gesamt	143,0	28,6
Ri O	78,2	15,6
Ri W	64,8	13,0
T30		
gesamt	148,3	29,7
Ri O	79,0	15,8
Ri W	69,3	13,9
Änderung		
gesamt	3,7%	
Ri O	1,0%	
Ri W	6,9%	

Für PM10 (Abgas) ergeben sich auf der betrachteten Strecke in Wendlingen für die motorbedingten „warmen“ Emissionen Zunahmen von ca. 3,7%.

Die Berechnung der Jahresemissionen einschließlich der Kaltstarts wurde unter Berücksichtigung folgender Annahmen durchgeführt:

- Für die Kaltstartemissionen, die in HBEFA3.1 für Pkw und INfz zusätzlich ausgewiesen sind, wurde angenommen, dass diese durch die Veränderung von T50 auf T30 unbeeinflusst bleiben, da keine weiteren Daten hierzu vorliegen. Die Kaltstartemissionen werden in Form eines Zuschlages auf die warmen Emissionen addiert.
- Die PM10-Emissionen verursacht durch Aufwirbelung und Abrieb wurden nach den Ansätzen aus /AVISO 2009/ ermittelt. Ergänzend wurde angenommen, dass diese in Anlehnung an /BAST 2009/ durch die Einführung von T30 um ca. 10% reduziert werden können.

In Tab. 3.4 sind die so bestimmten Jahresemissionen für T50 sowie T30 mit angenommenen Befolgungsgraden von 100% und 50% für die Gesamtstrecke dargestellt.

Tab. 3.4: Zusammensetzung der PM10-Jahresemissionen (gesamt) für die betrachtete Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

jährliche Emissionen [kg/(km*a)]	PM10, Gesamtstrecke
"Warme" Emissionen T50	143,0
"Warme" Emissionen T30	148,3
Kaltstartzuschlag	19,1
Aufwirbelung und Abrieb T50	287,0
Aufwirbelung und Abrieb T30	258,3
Jahresemissionen T50	449,2
Jahresemissionen T30, Befolgungsgrad 100%	425,7
Jahresemissionen T30, Befolgungsgrad 50%	437,4
Änderung Befolgungsgrad 100%	-5,2%
Änderung Befolgungsgrad 50%	-2,6%

In Tab. 3.5 sind diese Jahresemissionen richtungsgetreunt angegeben (nur Befolgungsgrad 100%). Ebenso angegeben sind die durch Einführung von T30 jeweils erreichbaren Emissionsänderungen.

Tab. 3.5: Jahresemissionen (PM10 inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb), richtungsgetreunt für die untersuchte Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%)

PM10 Gesamtemissionen [kg/(km*a)]	Fahrtrichtung		
	Osten	Westen	gesamt
T50	231,3	217,9	449,2
T30	217,7	208,0	425,7
Änderung	-5,9%	-4,5%	-5,2%

In Fahrtrichtung Osten würde die Einführung von T30 zu Reduktionen der PM10-Emissionen von ca. -5,9% führen, in Fahrtrichtung Westen liegt die Abnahmen bei PM10 bei etwa -4,5%. Insgesamt ergeben sich eine Abnahme von ca. -5,2% bei PM10.

In Bild 3.7 sind die Jahresemissionen bei angenommenem Befolgungsgrad von 100% auch grafisch dargestellt.

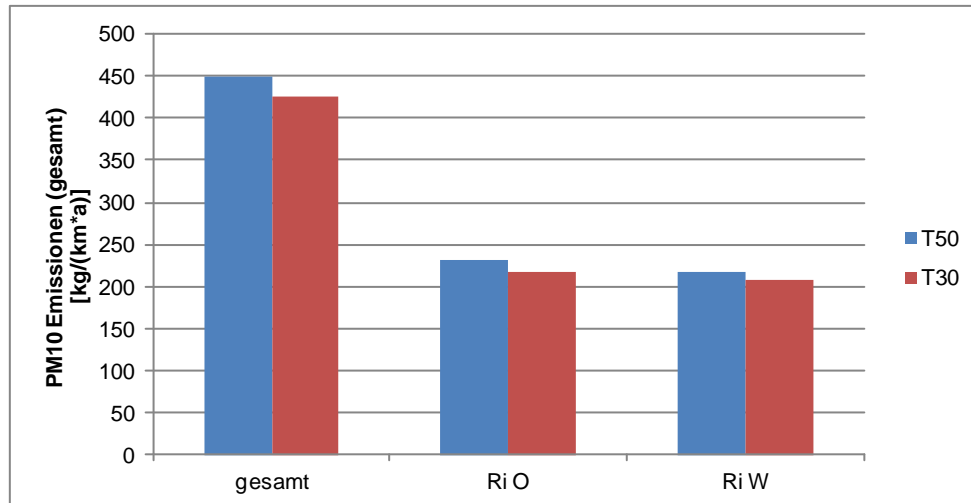


Bild 3.7: PM10-Jahresemission (gesamt) unter Berücksichtigung von Kaltstarts sowie Aufwirbelung und Abrieb für die betrachtete Strecke in Wendlingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%)

Die Emissionsberechnungen bis hier her basieren auf einer Auswahl von T50- und T30-Fahrten mit vergleichbarer Anzahl an Halten. Da die T50-Fahrten deutlich mehr Störungen aufwiesen als die T30-Fahrten, wurden dafür T50-Fahrten mit hohem Störungsanteil aussortiert (s. Bild 2.3 und Bild 2.4). Deswegen entsprechen die in Bild 3.7 ausgewiesenen Gesamtemissionen T50 bereits einem leicht verflüssigten Verkehrsablauf und sind daher etwas zu niedrig.

Für die folgende Immissionsberechnung wurden die T50-Emissionen nochmals auf Basis aller Messfahrten berechnet. Sie liegen für PM10 um 2,3 % über den in Bild 3.7 ausgewiesenen Werten. Die T30-Emissionen wurden so bestimmt, dass die in Tab. 3.5 angegebene prozentuale Änderung zu T50 erhalten bleibt.

4 Weitere Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrs

Als Alternative oder Ergänzung zur Einführung eines Tempolimits von 30 km/h kommen zur Senkung von Verkehrsemissionen auch verkehrsverflüssigende Maßnahmen in Betracht. Die Auswirkungen solcher Maßnahmen auf die PM10-Emissionen sollen im folgenden Kapitel untersucht werden.

Zur Abschätzung der maximal durch Verflüssigung möglichen Emissionsminderungen werden in Abschnitt 4.1 nur Fahrprofile ausgewertet, die keine Störungen aufweisen.

Zur Abschätzung erreichbarer Emissionsminderungen wurden die LSA-Schaltungen näher betrachtet, da sie nach Auskunft der Stadt Wendlingen auf der untersuchten Strecke nicht mehr dem aktuellen Standard entsprechen. Konkret wird mittels einer Mikrosimulation untersucht, welche Auswirkung eine Koordinierung der LSA an der Albstraße und an der Kapellenstraße auf die PM10-Emissionen hätte. Die beiden LSA sind derzeit unabhängig voneinander voll verkehrsabhängig gesteuert. In einer weiteren Simulation wird eine Pfortnerung an der LSA Bahnhofstraße in Richtung Osten untersucht. Dort befindet sich derzeit eine Fußgängerbedarfs-LSA.

4.1 Maximales Potential für eine Verstetigung

Im folgenden Abschnitt wird abgeschätzt, wie groß die maximal durch Verkehrsverflüssigungen erreichbaren Emissionsminderungen sind. Störungen des Verkehrsflusses sind entweder „intern“ durch die Verkehrsmenge selbst bedingt oder werden durch „externe“ Störungen wie Halte an LSA, betätigte Fußgängerbedarfsampeln bzw. ein- oder ausparkende Fahrzeuge am Fahrbahnrand verursacht. Für die Maximalabschätzung werden daher nur Fahrprofile ohne Halte oder starke Geschwindigkeitseinbrüche gesondert nach dem in Kapitel 3 beschriebenen Verfahren ausgewertet.

Die T50-Fahrten in Wendlingen weisen im Vergleich zu den T30-Fahrten besonders viele Halte auf. In Kapitel 3 wurde daher eine Auswahl der T50-Fahrten getroffen, die vergleichbar viele Halte wie die T30-Fahrten enthält. Insgesamt ergeben sich drei Stichproben, die hier verglichen werden sollen:

- Stichprobe 1: alle T50-Messfahrten („Status Quo“, Bild 2.3 und Bild 2.4, oben)
- Stichprobe 2: die in Kapitel 3 betrachtete Auswahl (Halte wie T30, Bild 2.3 und Bild 2.4, unten)
- Stichprobe 3: nur T50-Fahrten ohne Halte oder starke Geschwindigkeitseinbrüche

In Tab. 4.1 sind die Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA jeweils für die drei Stichproben ausgewiesen.

Während in Stichprobe 2 gegenüber Stichprobe 1 nur geringe Unterschiede der Fahrparameter von +4,7% bei v bzw. -10,2% bei RPA auftreten (richtungsgemittelt), sind die Unter-

schiede in Stichprobe 3 gegenüber Stichprobe 1 deutlich größer: Die maximal verflüssigten Fahrten weisen richtungsgemittelt eine um ca. 26% höhere mittlere Geschwindigkeit sowie ein um ca. 58% niedrigeres RPA gegenüber allen T50-Fahrten auf.

Tab. 4.1: Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA auf Basis aller Messfahrten T50, auf Basis einer Auswahl dieser Messfahrten, die vergleichbar viele Halte aufweisen wie die T30-Fahrten sowie auf Basis der T50-Fahrten ohne Halte

Fahrparameter	v [km/h]	RPA [m/s^2]	v	RPA [m/s^2]	v	RPA [m/s^2]
	Fahrtrichtung Osten		Fahrtrichtung Westen		Gesamtquerschnitt	
1. T50 alle Messfahrten	33,6	0,269	37,5	0,247	35,5	0,258
2. T50 Auswahl, Halte wie T30	34,6	0,238	39,8	0,226	37,2	0,232
3. T50 ohne Halte	43,4	0,085	46,0	0,132	44,7	0,108
Abweichung 2. zu 1.	3,1%	-11,6%	6,2%	-8,8%	4,7%	-10,2%
Abweichung 3. zu 1.	29,2%	-68,4%	22,9%	-46,6%	25,8%	-58,0%

In Tab. 4.2 sind die Gesamtemissionen PM10 für die drei Stichproben aus den T50-Fahrten gemäß Tab. 4.1 ausgewiesen. Ebenso angegeben sind die Reduktionen der Emissionen aus Stichprobe 2 und 3 gegenüber Stichprobe 1.

Tab. 4.2: Emissionen PM10 (gesamt) auf Basis aller Messfahrten T50, auf Basis einer Auswahl dieser Messfahrten, die vergleichbar viele Halte aufweisen wie die T30-Fahrten sowie auf Basis der T50-Fahrten ohne Halte

Emissionen PM10 (gesamt) [kg/(km*a)]	Fahrtrichtung Osten	Fahrtrichtung Westen	Gesamtquerschnitt
1. T50 alle Messfahrten	235,88	223,57	459,45
2. T50 Auswahl, Halte wie T30	231,27	217,88	449,15
3. T50 ohne Halte	193,67	187,97	381,63
Abweichung 2. zu 1.	-2,0%	-2,5%	-2,2%
Abweichung 3. zu 1.	-17,9%	-15,9%	-16,9%

Während die PM10-Emissionen in Stichprobe 2 um ca. -2% unter denen von Stichprobe 1 (Status Quo) liegen, liegen die PM10-Emissionen der Fahrten ohne Halte um ca. -17% unter denen von Stichprobe 1. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die nicht-motorbedingten PM10-Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb keine Reduktion angesetzt wurde. In der Realität dürften hier die Minderungen höher liegen.

Die Ergebnisse zeigen das theoretische/maximale Reduktionspotential für den Fall, dass die Strecke ohne Halte, d. h. ungestört, befahren werden kann (Stichprobe 3) im Vergleich zum Status Quo (Stichprobe 1, Gesamtkollektiv der Messfahrten).

4.2 Verstetigung durch Optimierung der LSA-Schaltungen

Nach Aussagen der Stadt Wendlingen entsprechen die LSA-Schaltungen auf der untersuchten Strecke nicht mehr dem aktuellen Standard. Es handelt sich um zwei unabhängig voneinander voll verkehrsabhängig gesteuerte LSA (an der Albstraße und an der Kapellenstraße) sowie um eine Fußgängerbedarfs-LSA an der Bahnhofstraße.

Für die vorliegende Untersuchung wurden zwei Varianten betrachtet:

1. Alle LSA im Zuge der Messstrecke werden koordiniert („Grüne Welle“).
2. Anstelle der Fußgängerbedarfs-LSA an der Bahnhofstraße wird, koordiniert mit den anderen LSA, eine Pförtnerrampel installiert, die in Richtung Osten Fahrzeuge zurückhalten soll.

Beide Varianten wurden im Rahmen einer Mikrosimulation mit einem CA-Modell (Cellular Automat, /TRAFFGO 1992/) untersucht. Das Simulationsgebiet reicht von der Kreuzung K1219 / L1200 bis zur Ulmer Straße (L1200) / Neuffenstraße (Höhe Playerweg). Ausgewertet wurde der zentrale Bereich L1200 / Bahnhofstraße bis L1200 / Kapellenstraße.

Die Basis für die Simulationen bildeten die Fahrprofile der T50-Normalfahrten. Das Modell wurde mit diesen Messfahrten kalibriert. Dazu wurden 14.088 Normalfahrten simuliert (Simulation „Status Quo“). Anschließend wurden 13.992 Fahrten für Variante 1 (Simulation „Grüne Welle“) und 13.960 Fahrten für Variante 2 (Simulation „Pförtnerrampel“) jeweils in allen Tagzeitbereichen simuliert.

Die Pförtnerrampel wird asymmetrisch ausgelegt: In Fahrtrichtung Westen bleibt es bei einer Fußgängerschaltung, in Fahrtrichtung Osten hingegen wird mit einem Umlauf von 60 Sekunden für 15 Sekunden der Verkehr geblockt. In Richtung Westen ergeben sich für diese Variante keine signifikanten Änderungen der Fahrparameter gegenüber der Grünen Welle.

In Bild 4.1 sind die tagesmittleren Profile der Simulationen für „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pförtnerrampel“ in Fahrtrichtung Osten im Vergleich mit den tagesmittleren Profilen aus allen T50-Normalfahrten dargestellt.

Da beim „Status Quo“ und bei der „Grünen Welle“ jeweils nur wenige Fahrzeuge an der Fußgänger-LSA an der Bahnhofstraße halten müssen, unterscheiden sich die mittleren Fahrprofile im westlichen Teil der Strecke nur unwesentlich. Bei der Simulation „Pförtnerrampel“ halten jedoch deutlich mehr Fahrzeuge an der Bahnhofstraße, die mittlere Geschwindigkeit ist entsprechend niedriger. Die auf die Pförtnerrampel folgende Beschleunigungsstrecke liegt im Untersuchungsabschnitt.

Am östlichen Ende der Messstrecke (LSA Kapellenstraße) ist der Effekt genau umgekehrt: Durch die Koordinierung der LSA müssen bei den Simulationen „Grüne Welle“ und „Pförtnerrampel“ deutlich weniger Fahrzeuge an der Kapellenstraße halten als beim „Status Quo“, die mittlere Geschwindigkeit ist entsprechend höher.

An der LSA Albstraße ist beim „Status Quo“ die mittlere Geschwindigkeit am geringsten, bei der „Grünen Welle“ etwas höher und bei der „Pförtnerrampel“ am höchsten. Die Pförtnerung unterstützt die Funktionalität der Koordinierung.

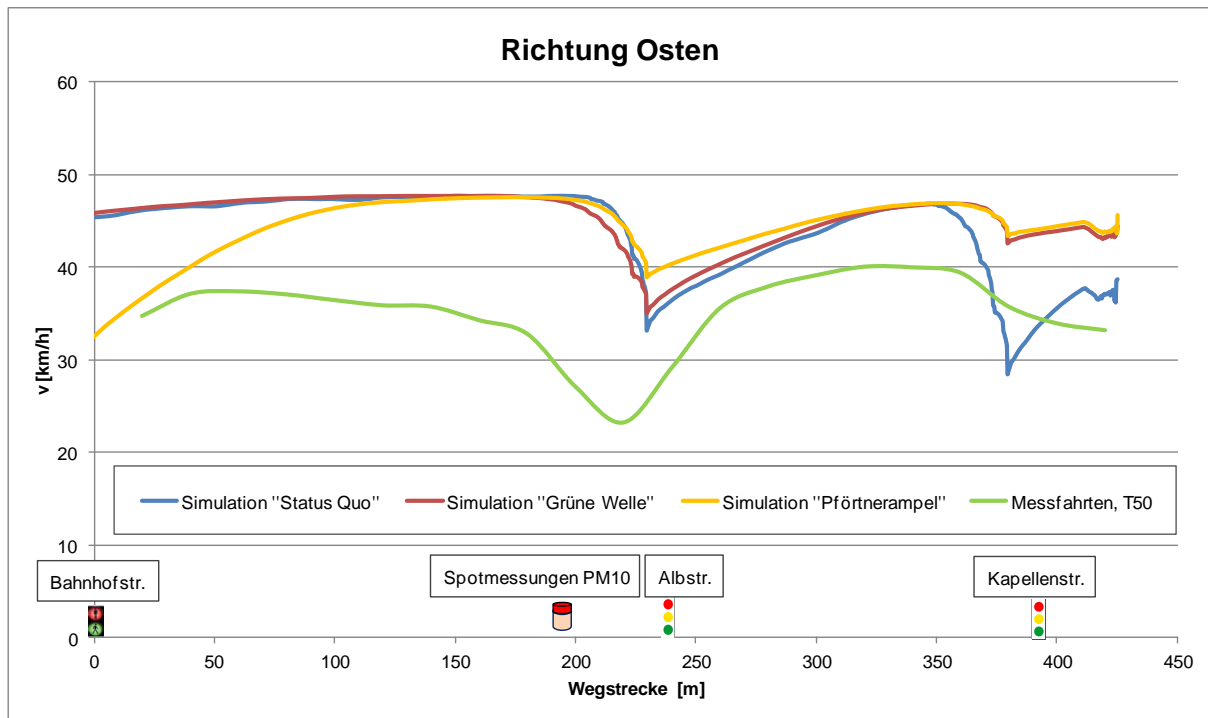


Bild 4.1: Simulierte tagesmittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit in Richtung Osten („Status Quo“, „Grüne Welle“, „Pförtnerrampel“) im Vergleich mit den gemessenen tagesmittleren Profilen (alle Fahrten T50)

Wie in Bild 4.1 zu erkennen ist, gibt es prinzipielle Unterschiede zwischen den simulierten und den gemessenen Fahrprofilen, die in der Simulationsmethodik begründet liegen. Daher können die Fahrparameter der simulierten Profile nicht direkt mit denen der realen Profile verglichen werden. Die relativen Änderungen der Fahrparameter der simulierten Varianten zu einander können jedoch zur Abschätzung der möglichen Emissionsminderungen verwendet werden.

In Tab. 4.3 sind die Fahrparameter in Fahrtrichtung Osten für die drei Simulationen ausgewiesen. Da sich, wie oben beschrieben, die Pförtnerrampel in Fahrtrichtung Osten im Westteil der Strecke anders auswirkt als im Ostteil der Strecke, wurden die Fahrparameter der simulierten Fahrten getrennt für den Westteil der Strecke (Bahnhofstr. bis Albstr.) und den Ostteil der Strecke (Albstr. bis Kapellenstr.) sowie für die Gesamtstrecke bestimmt.

Sowohl bei der Grünen Welle wie auch bei der Pförtnerrampel nimmt die mittlere Geschwindigkeit auf der Gesamtstrecke in Richtung Osten um ca. 25% gegenüber dem Status Quo zu. Bei RPA führt die Grüne Welle zu Abnahmen (-13%), die Pförtnerrampel jedoch zu Zunahmen (+2%) bezogen auf die Gesamtstrecke.

Tab. 4.3: Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerampel“ sowie relative Änderungen, Fahrtrichtung Osten

Fahrparameter Fahrtrichtung Osten	v [km/h]	RPA [m/s^2]	v [km/h]	RPA [m/s^2]	v [km/h]	RPA [m/s^2]
	Gesamtstrecke		Bahnhofstr. - Albstr.		Albstr. - Kapellenstr.	
1. Sim "Status Quo"	31,1	0,214	39,8	0,159	27,5	0,252
2. Sim "Grüne Welle"	38,9	0,186	42,3	0,144	38,8	0,225
3. Sim "Pfortnerampel"	39,1	0,219	39,7	0,231	40,8	0,184
Änderung 1. - 2.	25,1%	-13,3%	6,2%	-9,1%	41,0%	-10,8%
Änderung 1. - 3.	25,6%	2,2%	-0,4%	45,6%	48,2%	-27,2%

Für den westlichen Teilabschnitt zwischen Bahnhofstraße und Albstraße steigt v in Richtung Osten durch die Grüne Welle um ca. 6%, RPA sinkt um ca. -9%. Durch die Pfortnerampel geht v in diesem Teilstück minimal zurück, RPA steigt jedoch um ca. 46%. Hier ergibt sich durch die Pfortnerampel keine verflüssigende Wirkung.

Für den östlichen Teilabschnitt zwischen Albstraße und Kapellenstraße erhöht sich v in Richtung Osten durch die Grüne Welle um ca. 41%, RPA sinkt um ca. 11%. Auf diesem Teilstück sind die Auswirkungen der Pfortnerampel positiv: v steigt um ca. 48% und RPA vermindert sich um ca. 27%.

Die relativen Änderungen von RPA können zur Abschätzung der geänderten PM10 (Abgas)-Emissionen herangezogen werden. Dazu wird die Änderung $\Delta PM10/\Delta RPA$ (Abgas) aus den Messfahrten herangezogen. Für den Status Quo werden die Emissionen aller T50 Normalfahrten angesetzt. Die Feinstaubemissionen aus Aufwirbelung und Abrieb werden konstant gehalten und zu den Abgas-Emissionen addiert. Damit ergeben sich für die Simulationen in Fahrtrichtung Osten die in Tab. 4.4 ausgewiesenen PM10 (gesamt)-Emissionen.

Für die Gesamtstrecke ergeben sich für die Grüne Welle in Fahrtrichtung Osten Emissionsminderungen von -2,6% bei PM10. Durch die Pfortnerampel würden die Emissionen hingegen um 2,4% (PM10) steigen.

Die Grüne Welle führt in Richtung Osten auf beiden Teilstücken zu Emissionsminderungen vergleichbarer Höhe. Bei der Pfortnerampel sind die Auswirkungen auf die Emissionen jedoch gegensätzlich: Während zwischen Bahnhofstraße und Albstraße die PM10-Emissionen durch die Pfortnerampel um 11,9% steigen würden, käme es zwischen Albstraße und Kapellenstraße zu Emissionsminderungen von -7,1%.

Wie in Abschnitt 4.1 wurde auch hier für die nicht-motorbedingten PM10-Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb keine Reduktion angesetzt.

Tab. 4.4: Emissionen PM10 (gesamt) für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerampel“ sowie relative Änderungen, Fahrtrichtung Osten

Emissionen PM10 (gesamt) [kg/(km*a)]			
Fahrtrichtung Osten	Gesamtstrecke	Bahnhofstr. - Albstr.	Albstr. - Kapellenstr.
1. Sim "Status Quo"	235,88	235,88	235,88
2. Sim "Grüne Welle"	229,71	230,24	229,19
3. Sim "Pfortnerampel"	241,57	264,01	219,12
Abweichung 2. zu 1.	-2,6%	-2,4%	-2,8%
Abweichung 3. zu 1.	2,4%	11,9%	-7,1%

Wegen der asymmetrisch nur in Richtung Osten wirksamen Pfortnerampel gibt es in Fahrtrichtung Westen keinen Unterschied zwischen den Varianten „Grüne Welle“ und „Pfortnerampel“. Analog zum Vorgehen in Richtung Osten wurden in Richtung Westen für den „Status Quo“ die aus den T50-Normalfahrten abgeleiteten Emissionen angesetzt. Aus den relativen Änderungen der simulierten Fahrparameter „Grüne Welle“ zu „Status Quo“ wurde die entsprechende Emissionsänderung abgeschätzt. Fahrparameter und Emissionen für PM10 (gesamt) in Richtung Westen sind in Tab. 4.5 ausgewiesen.

Tab. 4.5: Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und RPA sowie Emissionen PM10 (gesamt) für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerampel“ sowie relative Änderungen, Fahrtrichtung Westen

Fahrparameter und Emissionen	v	RPA	PM10 (gesamt)
Gesamtstrecke Richtung Westen	[km/h]	[m/s ²]	[kg/(km*a)]
1. Sim "Status Quo"	34,72	0,197	223,57
2. Sim "Grüne Welle"	42,12	0,176	217,31
3. Sim "Pfortnerampel"	42,12	0,176	217,31
Abweichung 2. zu 1.	21,3%	-10,7%	-2,8%
Abweichung 3. zu 1.	21,3%	-10,7%	-2,8%

Die auf den Gesamtquerschnitt bezogenen Emissionsänderungen sind in Tab. 4.6 ausgewiesen.

- Die Variante „Grüne Welle“ führt auf der gesamten Untersuchungsstrecke zu Emissionsminderungen bei PM10 (gesamt) von ca. -3%. Es gibt kaum Unterschiede zwischen den beiden betrachteten Abschnitten.
- Die Emissionsänderungen bei der Variante „Pfortnerampel“ auf der Gesamtstrecke sind vernachlässigbar. Auf dem westlichen Teilstück zwischen Bahnhofstraße und Albstraße ergeben sich jedoch Zunahmen um ca. 4,8% bei PM10 (gesamt), die durch

Abnahmen um -5% auf dem östlichen Teilstück zwischen Albstraße und Kapellenstraße kompensiert werden.

Tab. 4.6: Emissionen PM10 (gesamt) für die Simulationen „Status Quo“, „Grüne Welle“ und „Pfortnerrampe“ sowie relative Änderungen, Gesamtquerschnitt

Emissionen PM10 (gesamt) [kg/(km*a)] Gesamtquerschnitt	Gesamtstrecke	Bahnhofstr. - Albstr.	Albstr. - Kapellenstr.
1. Sim "Status Quo"	459,45	459,45	459,45
2. Sim "Grüne Welle"	447,02	447,54	446,50
3. Sim "Pfortnerrampe"	458,87	481,32	436,43
Abweichung 2. zu 1.	-2,7%	-2,6%	-2,8%
Abweichung 3. zu 1.	-0,1%	4,8%	-5,0%

Zusammenfassung Verflüssigung

Eine Grüne Welle würde in Wendlingen auf der gesamten Untersuchungsstrecke zu Emissionsminderungen führen. Eine zusätzliche Pfortnerrampe an der Bahnhofstraße hingegen würde in ihrer Wirkungsrichtung nach Osten die Gesamtemissionen sogar erhöhen.

Die Messstation für PM10 (Spotmessungen) befindet sich auf der Stuttgarter Straße in Höhe der Hausnummer 4, ca. 50m westlich der Albstraße, im westlichen Teilstück (Bild 4.1). Hier sind durch eine Pfortnerrampe eher Emissionserhöhungen als Emissionsminderungen zu erwarten.

Während die in Tab. 4.2 ausgewiesenen Maximalreduktionen durch Eliminierung sämtlicher Störungen in der Realität nicht erreichbar sind, sollten sich die in Tab. 4.4 ausgewiesenen Reduktionen durch eine Grüne Welle realisieren lassen.

5 Grundlagen der Immissionsberechnung

5.1 Einleitung

Das Strömungs- und Ausbreitungsfeld in bebauten Gebieten wird maßgeblich durch die Gebäude geprägt. Es bilden sich zum Teil sehr komplexe, dreidimensionale Strömungszonen wie Nachlaufzonen, Rückströmzonen und Wirbelgebiete aus. Zur flächendeckenden, detaillierten Prognostizierung der Immissionskonzentrationen unter Berücksichtigung der realen Bebauung kommen in aller Regel numerische Modelle zum Einsatz, die in der Lage sind, diese komplexen Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse abzubilden. Alternativ werden häufig für eine Ersteinschätzung vereinfachte Verfahren, so genannte Screening-Modelle, eingesetzt, bei denen gegenüber detaillierten Berechnungen bzgl. der Genauigkeit Abstriche zu machen sind. Diese Vorgehensweise wird für Wendlingen gewählt. Das Verfahren sowie die für die Berechnungen benötigten Eingangsparameter werden im Folgenden beschrieben.

5.2 Das Screeningmodell

Ein Screening-Modell ist ein Verfahren, mit dessen Hilfe unter Vorgabe bestimmter Randbedingungen die Immissionskonzentrationen im Nahbereich von Quellen abgeschätzt werden können. Die Grundlage des hier eingesetzten Screening-Modells ISIS /BENIGERT ET AL. 1996/ bilden so genannte Transmissionskoeffizienten, die im Vorfeld mit dem komplexen mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM /EICHHORN 1989/ für standardisierte Randbedingungen gewonnen und in einer Datenbank abgelegt werden. „Standardisierte Randbedingungen“ bedeutet, dass die Transmissionskoeffizienten für fest vorgegebene

- Einheitsquellen (Lage und Größe)
- Emissionen $E_{\text{Screening}}$ (in diesem Fall die Kfz-erzeugten Emissionen)
- Windgeschwindigkeiten $U_{\text{Screening}}$
- Windrichtungen
- und Bebauungsstrukturen

ermittelt wurden. Für eine real gegebene Situation kann daraus die Immission I_{real} durch eine einfache lineare Skalierung der Transmissionskoeffizienten ($I_{\text{screening}}$) mit der tatsächlich vorhandenen Emission E_{real} und reziproken Skalierung mit der Windgeschwindigkeit U_{real} ermittelt werden:

$$I_{\text{real}} = I_{\text{Screening}} \cdot \frac{E_{\text{real}}}{E_{\text{Screening}}} \cdot \frac{U_{\text{Screening}}}{U_{\text{real}}}$$

Dieser Transformation liegt die Annahme zugrunde, dass bei gleicher Bebauungsstruktur, Quellposition, Anströmrichtung und atmosphärischer Schichtung die Immissionskonzentrationen

onen reziprok von der Windgeschwindigkeit und linear von den Emissionen abhängen. Bei einer real doppelt so hohen Windgeschwindigkeit bzw. Emissionsstärke verglichen mit der Einheitswindgeschwindigkeit und -emission, die bei der Generierung der dem Screening-Modell zugrunde liegenden Ergebnisse gewählt wurden, halbieren bzw. verdoppeln sich die Immissionswerte. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten führt diese Annahme zu Abweichungen im Vergleich zu den realen Immissionskonzentrationen, da die durch Kfz erzeugte Turbulenz und gegebenenfalls auch thermische Effekte zunehmend an Einfluss gewinnen. Allerdings sind sowohl die Bestimmung des Einflusses fahrzeuginduzierter Turbulenz als auch thermischer Einflüsse innerhalb einer Bebauung und deren Berücksichtigung selbst in prognostischen mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen zurzeit noch nicht Stand der Technik. Durch die Nicht-Berücksichtigung bspw. der durch Kfz erzeugten Turbulenz liegt man im Sinne einer konservativen Betrachtung eher auf der sicheren Seite.

Variable Größen des Screening-Modells ISIS sind die mittlere Bebauungshöhe eines Straßenabschnitts, die mittlere Straßenbreite und die Bebauungsstruktur der Randbebauung. Dem Modell ISIS liegen folgende standardisierte Bebauungsstrukturen zugrunde:

- beidseitig geschlossene Randbebauung (Straßenschlucht)
- einseitig geschlossene, einseitig offene Randbebauung
- beidseitig durchbrochene Randbebauung
- einseitig durchbrochene, einseitig offene Randbebauung
- einseitig geschlossene, einseitig durchbrochene Randbebauung.

Das Screening-Modell liefert als Ergebnis eine mittlere Immissionskonzentration für den betrachteten Straßenabschnitt. Je näher die standardisierte Bebauungsstruktur dabei der tatsächlichen Bebauung kommt, desto besser ist die Übereinstimmung zwischen der Realität und der Screening-Berechnung.

5.3 Festlegung der Bebauungsstrukturen

Zur Festlegung der Bebauungsstrukturen wurden folgende Unterlagen verwendet:

- Katasterpläne
- Luftbildaufnahmen
- Videoaufnahmen.

Auf der Basis dieser Unterlagen wurden die mittleren Gebäudehöhen für den Streckenabschnitt auf der Stuttgarter Straße zwischen der Kreuzung Bahnhofstraße und Albstraße und auf der Ulmer Straße zwischen der Kreuzung Albstraße und Kapellenstraße festgelegt. Das Screening-Modell kennt keine unterschiedlichen Gebäudehöhen für eine beidseitige Bebauung. Im Sinne einer konservativen Betrachtung wird bei unterschiedlicher mittlerer Bebauungshöhe die jeweils höhere mittlere Gebäudehöhe für beide Straßenseiten zugrunde gelegt. Neben der mittleren Straßenbreite wurde aus den Katasterplänen für jeden Strecken-

abschnitt die Porosität der Straßenrandbebauung ermittelt. Nach Definition in ISIS ist ab einer Porosität von größer 40 % von einer durchbrochenen Randbebauung auszugehen. Das Screening-Modell benötigt neben den Bebauungsstrukturen- und Geometrien auch noch die Straßenausrichtung gegen Nord. Diese wurde aus dem im Straßennetzmodell gegebenen Anfangs- und Endkoordinaten eines jeden Streckenabschnitts ermittelt.

Die für die Immissionsabschätzung gewählten Streckenabschnitte sind Abschnitte mit jeweils gleich bleibenden Verkehrs- und damit Emissionswerten sowie ähnlicher Bebauungsstruktur, Straßengeometrie sowie Ausrichtung gegen Nord. Insgesamt wurden unter Berücksichtigung dieser Kriterien die oben genannten Straßenzüge in 2 Streckenabschnitte, wie in Bild 5.1 dargestellt, unterteilt.

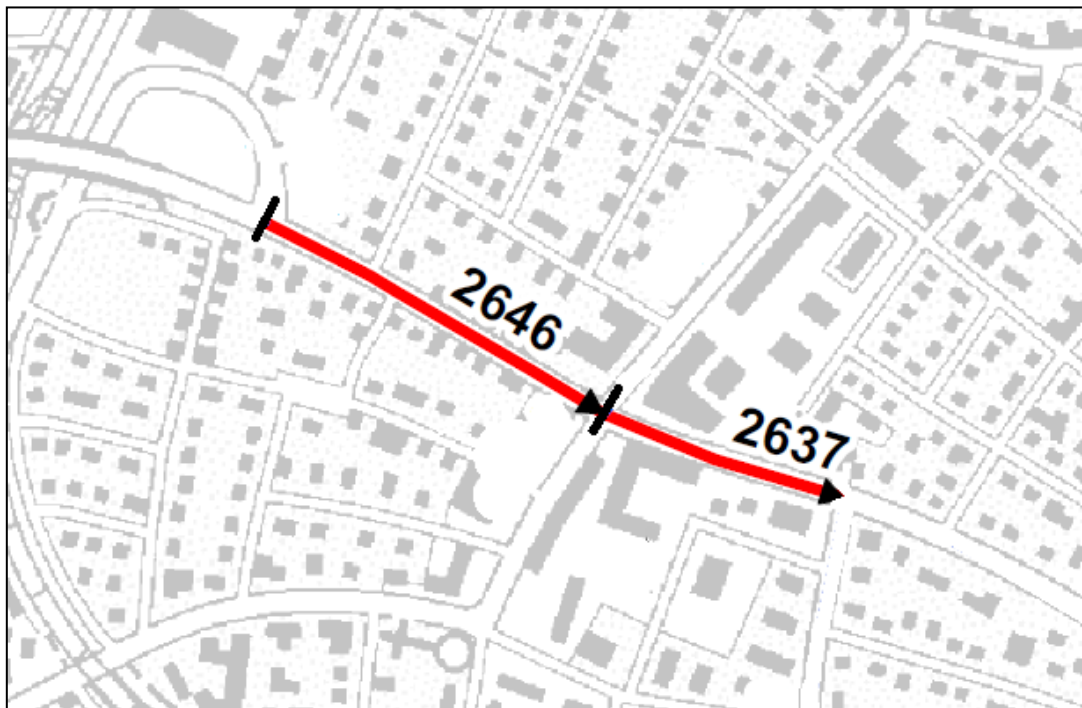


Bild 5.1: Betrachtete Streckenabschnitte

5.4 Möglichkeiten und Grenzen des Screening-Modells

Der Ansatz des Screening-Verfahrens bringt dadurch, dass er auf standardisierten Bebauungsstrukturen basiert, eine Vereinfachung mit sich. Es ist damit zu rechnen, dass die in einem Screening-Modell bereitgestellten Bebauungsstrukturen im konkreten Fall die in der Natur gegebenen Bebauungsstrukturen nicht exakt wiedergeben. Aus diesem Grund handelt es sich bei Screening-Modellen um Abschätzverfahren. Je genauer jedoch die reale Bebauung durch eine standardisierte Bebauungsstruktur wiedergegeben werden kann, desto besser stimmen die berechneten Werte mit der Realität überein. Dies ist vor allem in innerstädtischen Kernbereichen mit dichter Straßenrandbebauung (Straßenschluchtcharakter) und häu-

fig nur leicht variierenden Gebäudehöhen recht gut gegeben. Da in diesen Straßenschluchten aufgrund des reduzierten Luftaustausches mit der Atmosphäre über Dach mit hohen Immissionsbelastungen zu rechnen ist, kann man davon ausgehen, dass mit den Screening-Modellen für die lufthygienisch kritischeren Straßenzüge recht verlässliche Aussagen erzielt werden können.

Erreichen für einen konkreten Fall die mit dem Screening-Modell berechneten Immissionskonzentrationen an beurteilungsrelevanten Punkten die maßgeblichen Grenzwerte, dann sollten vor allem für Abschnitte, bei denen die Bebauungsstrukturen in der Realität deutlich von den standardisierten Bebauungsstrukturen abweichen, Modellrechnungen mit einem detaillierten Modellverfahren wie bspw. MISKAM durchgeführt werden, mit dem die reale Bebauungsstruktur sowie das Strömungs- und Turbulenzfeld nahezu naturgetreu wiedergegeben werden kann.

6 Berechnung statistischer Kenngrößen der Immissions-Gesamtbelastung

6.1 Windstatistik

Für die Berechnung statistischer Kennwerte mit dem Screening-Modell sollten meteorologische Daten herangezogen werden, die für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind.

Die nächstgelegene Messstation ist die Station am Flughafen Stuttgart. Diese Station befindet sich ca. 12 km in westlicher Richtung von Wendlingen entfernt. Die langjährigen Messungen am Flughafen zeigen die Hauptwindrichtung Südwest sowie ein Sekundärmaximum aus Ost bis Ostnordost. An der Messstation Stuttgart-Flughafen, die recht frei liegt, beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit 2,7 m/s.

Für das Gebiet Wendlingen liegen berechnete Windstatistiken vor, die von der ARGE IB Rau/METCON im Auftrag der LUBW Karlsruhe flächendeckend in einem Raster von 500 m x 500 m für das ganze Land Baden-Württemberg erstellt wurden. Diese zeigen ebenfalls die größte Häufigkeit für südwestliche Winde. Das Sekundärmaximum liegt wie an der Flughafen-Station bei östlichen Winden. Daneben zeigen die synthetischen Windstatistiken im Bereich des Stadtgebietes von Wendlingen noch eine Nordnordwestkomponente. Die Windverteilung des Flughafens zeigt somit eine ähnliche Windrichtungsverteilung wie die synthetische Windstatistik für das Stadtgebiet von Wendlingen. Die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe liegt auf Grund der Bebauung und der dadurch erhöhten Rauigkeit in Wendlingen bei 1,9 m/s. Für die statistische Auswertung wird die synthetische Windstatistik verwendet.

Bild 6.1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen über dem Stadtgebiet von Wendlingen im Bereich der Stuttgarter Straße.

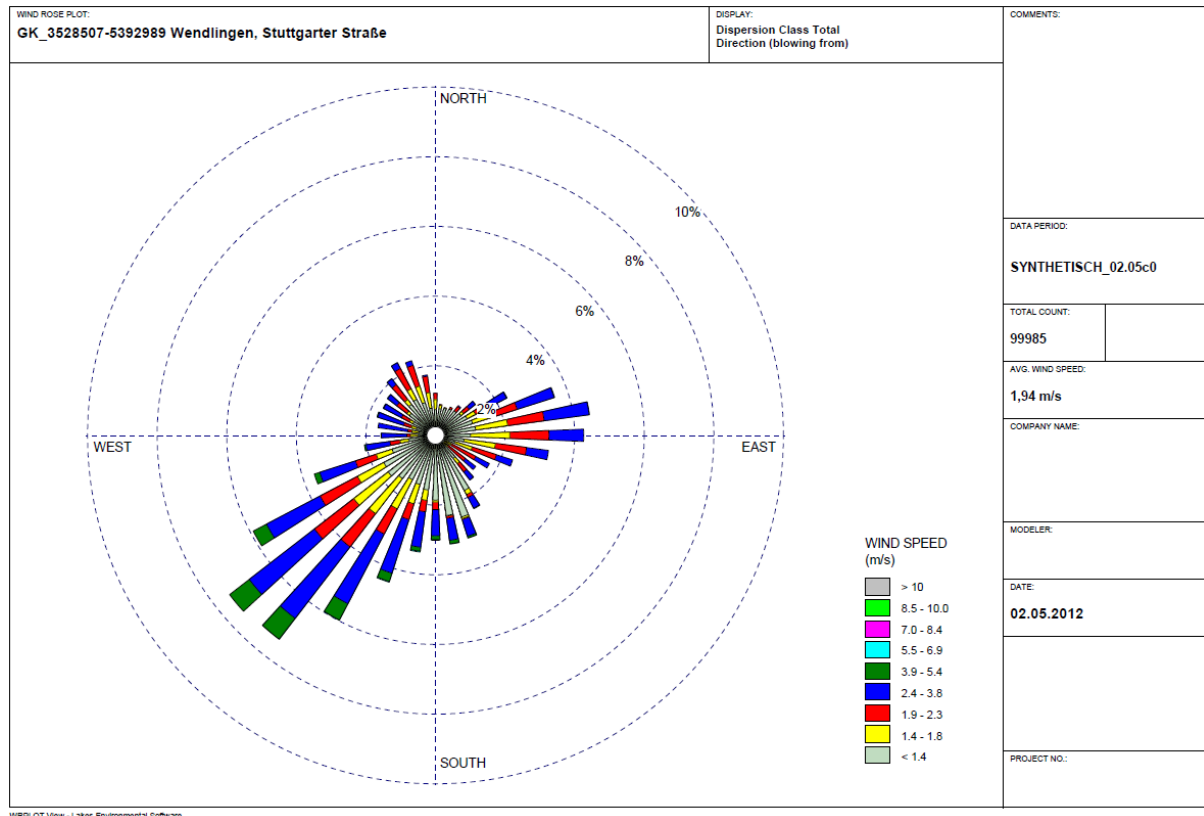


Bild 6.1: Synthetische Windstatistik für das Stadtgebiet Wendlingen

6.2 Hintergrundbelastung

Die Berechnungen mit ISIS liefern als Ergebnis die durch die Straßenemissionen eines Streckenabschnitts verursachten Immissionszusatzbelastungen. Die Immissionsgesamtbelastung an einem Ort ergibt sich durch Überlagerung der berechneten Zusatzbelastung mit der Hintergrundbelastung, die durch Gewerbe und Industrie, Hausbrand sowie die Kfz-Immissionen außerhalb des Untersuchungsgebietes bestimmt wird.

In dem zu untersuchenden Gebiet in Wendlingen befindet sich in unmittelbarer Nähe keine Messstation der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Zur Festlegung der Hintergrundbelastung eignet sich die Station Bernhausen. Sie befindet sich westlich von Wendlingen und ist ca. 15 km entfernt. Die Station Bernhausen liegt am äußeren östlichen Stadtrand von Filderstadt / Bernhausen und wird als städtische Hintergrundstation eingestuft. Sie wird nicht durch Bebauung beeinflusst und liegt außerhalb des Einflussbereiches markanter Emittenten. Die gemessene Hintergrundbelastung im Jahr 2010 für das PM₁₀-Jahresmittel lag bei 22 µg/m³.

Die in Bernhausen gemessenen Jahresmittelwerte für PM₁₀ waren in den letzten Jahren relativ konstant. Deshalb wird für die Hintergrundbelastung in Wendlingen der PM₁₀-Jahresmittelwert von 22 µg/m³ der Station Bernhausen aus dem Jahr 2010 verwendet.

6.3 Beurteilungsgrundlage

Für die Beurteilung der Immissionskonzentrationen von PM10 werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 2008/50/EG herangezogen, die mit der 39. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt wurde und seit 06.08.2010 in Kraft getreten ist. Die Grenzwerte sind in Tab. 6.1 zusammengestellt. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, gelten die Grenzwerte für PM10 seit Anfang 2005.

Tab. 6.1: Lufthygienische Grenzwerte der EU-Richtlinie (39. BImSchV) für den verkehrsrelevanten Luftschadstoff PM10 /39. BIMSCHV 2010/

Luftschadstoff	Immissionswert	Statistische Definition	Zeitpunkt, seit dem der Grenzwert eingehalten werden muss
Partikel (PM10)	40 µg/m ³ 50 µg/m ³	Jahresmittelwert (Kalenderjahr) 24 Stunden; 50 µg/m ³ dürfen bis zu 35 mal im Kalenderjahr überschritten werden	gültig seit 01.01.2005 gültig seit 01.01.2005

6.4 Bestimmung der Gesamtbelastung

Mit den charakteristischen Werten für die Hintergrundbelastung werden durch Überlagerung mit den berechneten Zusatzbelastungswerten aus ISIS die statistischen Kenngrößen (Jahresmittelwerte für PM10) der Gesamtbelastung zum Vergleich mit den Grenzwerten berechnet. Die Überlagerung der Hintergrundbelastungswerte mit den Zusatzbelastungswerten erfolgt durch Addition der Jahresmittelwerte.

6.5 Berechnung von Kurzzeitwerten der Gesamtbelastung

Die 39. BImSchV, deren Grenzwerte für die Immissionsbeurteilung relevant sind, enthält neben den Immissionsgrenzwerten für die Jahresmittelwerte von PM10 auch Immissionsgrenzwerte für den Kurzzeitwert (Tagesmittelwert) von PM10, der nicht öfter als 35 mal im Kalenderjahr überschritten werden darf. Mit den vorliegenden Eingangsdaten und dem eingesetzten Berechnungsverfahren können direkt keine Kurzzeitwerte bestimmt werden. Hierzu wären eine meteorologische Zeitreihe, Zeitreihen der Stundenmittelwerte der Vorbelastung sowie detaillierte, möglichst stundenfeine Informationen bzgl. des Verkehrsablaufs notwendig. Diese Datengrundlage wäre nur mit großem Aufwand zu erstellen.

Bei PM10 ist es derzeit Standard, den 90,4%-Wert auf der Basis des Jahresmittelwertes abzuschätzen. Die Auswertung umfangreicher Messungen von kontinuierlich betriebenen Dauermessstellen in Deutschland und europäischen Nachbarländern zeigt einen funktionalen

Zusammenhang zwischen dem 90,4%-Wert der Tagesmittelwerte und dem Jahresmittelwert. Bei einem zulässigen 24-Stundenwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen die Schwellenwerte für den Jahresmittelwert etwa zwischen 28 und $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das LANUV NRW kommt auf Grund der neueren Auswertung der PM10-Messungen von bundesweit über 1000 Messstellen zu dem Ergebnis, dass ab einem Jahresmittel von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in über 90% der Fälle von mehr als 35 Überschreitungstagen ausgegangen werden kann.

Legt man die Ergebnisse der LANUV-Studien zugrunde, dann ist bezogen auf den seit 2005 gültigen Grenzwert für den 24-h-Wert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einem Jahresmittel von bis zu $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Unterschreitung des 90,4 %-Wertes gegeben, bei einem Jahresmittel von $> 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Überschreitung des 90,4 %-Wertes.

7 Ergebnisse und Bewertung der Immissionsberechnungen

Mit dem Screening-Modell ISIS wurden unter Berücksichtigung der Emissionen, der Hintergrundbelastung und der für den Raum Wendlingen charakteristischen Meteorologie für das Jahr 2010 die PM10-Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung für die interessierenden Straßenabschnitte für die zwei betrachteten Szenarien berechnet. Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen sind in Tab. 7.1 zusammengestellt. Für die Emissionen bei T30 wurde ein Befolgungsgrad von 100% angenommen; bei geringeren Befolgungsgraden reduzieren sich die Effekte entsprechend.

Tab. 7.1: Zusammenstellung der für die betrachteten Straßenabschnitte und Szenarien berechneten maximal zu erwartenden Jahresmittelwerte für PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Jahresmittlere PM10-Konzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	Berechnungsfall				
ID Straße	T50	T30	max. Verfl.	Grüne Welle	Pförtner
2646	30,6	30,1	29,1	30,3	31,0
2637	26,2	26,0	25,5	26,1	26,0

Die ermittelten Jahresmittelwerte für PM10 unterschreiten auf beiden untersuchten Straßenabschnitten für alle Szenarien den Grenzwert für das Jahresmittel von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sicher. Die Jahresmittelwerte liegen zudem für den Abschnitt 2637 bei allen Szenarien und für den Abschnitt 2646 bei Szenario „T50 maximale Verflüssigung“ unter dem in Abschnitt 6.5 diskutierten Schwellenwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist eine Einhaltung der maximal zulässigen 35 Überschreitungen des Kurzzeitwertes für PM10 somit sichergestellt. Bei allen anderen Szenarien für den Abschnitt 2646 liegt der berechnete Jahresmittelwert für PM10 etwas über dem Schwellwertes von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Damit kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Kurzzeitgrenzwert für PM10 überschritten wird.

Die Bild 7.1 zeigt die relative Änderung der PM10-Immissionen zum Szenario T50 in Prozent. Die niedrigsten PM10-Immissionen werden für das Szenario „T50 maximale Verflüssigung“ für beide Streckenabschnitte berechnet. Der Einsatz eines Pförtners wirkt sich für den Streckenabschnitt 2646 negativ aus: Hier wird die PM10-Belastung gegenüber T50 um ca. 1,5% erhöht. In den Szenarien „T30“ und „Grüne Welle“ wird die PM10-Belastung gegenüber T50 leicht gesenkt („T30“: ca. -1,5% auf Abschnitt 2646, ca. -0,8% auf Abschnitt 2637; „Grüne Welle“: ca. -0,7% auf Abschnitt 2646, ca. -0,2% auf Abschnitt 2637).

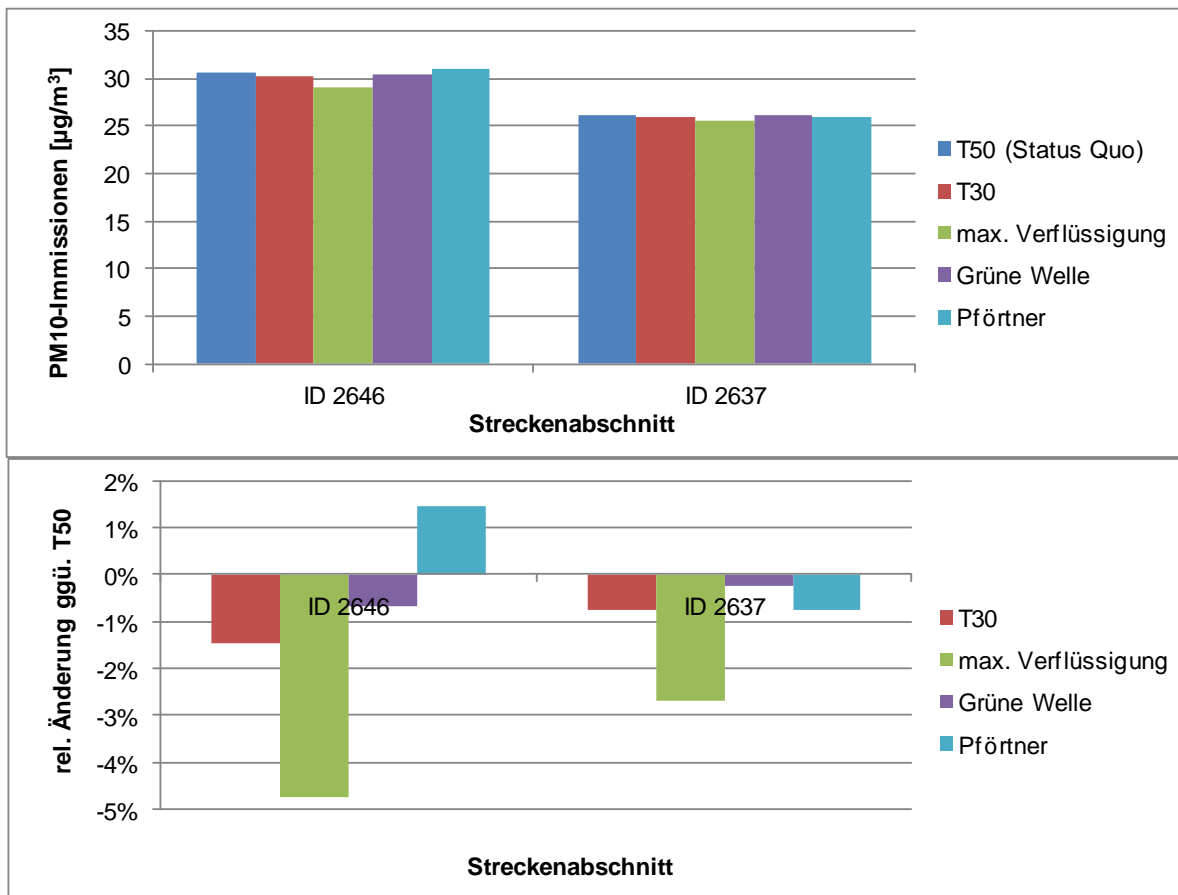


Bild 7.1: PM10-Immissionsbelastungen der untersuchten Szenarien (oben) sowie relative Änderungen gegenüber T50 (unten)

In Streckenabschnitt 2646 liegt der Messpunkt, an dem im Jahr 2010 PM10-Messungen durchgeführt wurden /LUBW 2011/. Dabei wurde ein PM10-Jahresmittelwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Der mit ISIS für diesen Abschnitt berechnete PM10-Jahresmittelwert von $30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (T50) trifft die Messung sehr gut.

Fazit:

- Bei fast allen betrachteten Szenarien wird auf beiden Streckenabschnitten bei PM10 eine leichte Minderung gegenüber Tempo 50 erzielt.
- Eine Ausnahme stellt das Szenario „Pförtner“ dar. Hier kommt es für den Abschnitt 2646 zu einer Erhöhung der Immissionen.
- Die Reduzierungen (außer „Pförtner“) liegen gegenüber T50 zwischen -0,2% (grüne Welle, ID 2637) und -4,7% (max. Verflüssigung, ID 2646).
- Der Grenzwert für das Jahresmittel wird bei allen Szenarien deutlich unterschritten.
- Des Weiteren ist von einer Einhaltung des PM10 Kurzzeitgrenzwertes für den Streckenabschnitt 2637 auszugehen. Bei Abschnitt 2646 (bis auf das Szenario „T50 maximale Verflüssigung“) kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Kurzzeitgrenzwert für PM10 überschritten wird.

8 Zusammenfassung

Im neuen Emissionsfaktoren-Handbuch HBEFA3.1 gibt es noch keine Emissionsfaktoren für T30 auf Hauptverkehrsstraßen. Daher wurden zur Ermittlung der Auswirkungen eines Tempolimits von 30 km/h auf einem Abschnitt der Stuttgarter Straße / Ulmer Straße am 27.03.2012 und am 28.03.2012 mit einem Pkw Messfahrten zur Aufnahme von Fahrprofilen ($v=f(t)$) mit Tempo 50 und Tempo 30 „fiktiv“ sowie Lkw-Verfolgungsfahrten durchgeführt. Zusätzlich wurden manuelle Kurzzeitmessungen mit Differenzierung nach Fahrzeugarten vorgenommen und die Strecke mit Video und Digitalkamera erfasst und dokumentiert.

Basierend auf den erhobenen Fahrprofilen wurden mit dem Modell PHEM (Passenger car and Heavy duty Emission Model) der TU Graz die Abgasemissionen sekundlich berechnet. Unter Berücksichtigung der lokalen dynamischen Fahrzeugbestände und der bei den Messungen erhobenen Verkehrsstärken wurden „warme“ Abgas-Emissionsfaktoren sowie jährliche Emissionen für PM10 unter Einbeziehung von Kaltstarts einschließlich Aufwirbelung und Abrieb berechnet.

Die Auswertung der mittleren Geschwindigkeit für T50 und T30 zeigt deutliche Reduzierungen beim Übergang von T50 zu T30, auch der Fahrparameter RPA (*relative positive acceleration*) wird fast überall reduziert. Die Einführung von T30 würde also zu einer Verstärkung des Verkehrsflusses führen. Diese Verstärkung führt jedoch nicht zwangsläufig zu einer Reduktion der Emissionen, da neben dem Störungsgrad auch die Gangwahl und bei Abgasnachbehandlungsanlagen schwerer Nutzfahrzeuge die Abgastemperatur entscheidend sind. Bei den gegebenen Randbedingungen der Strecke zeigt PHEM bei den Pkw für T30 zum Teil eine ungünstigere Gangwahl mit einer Erhöhung der Drehzahl.

Für die Strecke in Wendlingen ergeben sich durch eine Einführung von T30 für die motorbedingten „warmen“ Emissionen insgesamt Zunahmen von ca. +3,7% bei PM10 (Abgas). Werden Kaltstartzuschläge sowie Aufwirbelung und Abrieb in die Betrachtung mit einbezogen (in Anlehnung an /BAST 2009/), ergeben sich für PM10 (gesamt) Reduktionen der Emissionen von -5,2%.

Eine getrennte Betrachtung der Fahrtrichtungen zeigt, dass die Tendenz in beiden Richtungen ähnlich ist.

Zur Abschätzung von Emissionsminderungen durch verkehrsverflüssigende Maßnahmen wurden als Extremfall maximaler Verflüssigung nur Fahrten ganz ohne Halte oder starke Geschwindigkeitseinbrüche ausgewertet. Dies führt zu Reduktionen der PM10-Emissionen (gesamt) um -17%.

Als realistischere Maßnahmen wurden zwei Varianten für eine Optimierung der LSA-Schaltungen entlang der Teststrecke untersucht. In Variante 1 werden alle LSA im Zuge der Messstrecke koordiniert („Grüne Welle“). Dadurch können die PM10-Emissionen (gesamt) um -3% gegenüber dem Status Quo gesenkt werden.

In Variante 2 wird anstelle der Fußgängerbedarfs-LSA an der Bahnhofstraße koordiniert mit den anderen LSA eine Pfortnerampel installiert, die in Richtung Osten Fahrzeuge zurückhalten soll. Dadurch wird einerseits die Koordinierung in dieser Richtung unterstützt und die Emissionen im östlichen Teil der Strecke sinken. Andererseits müssen jedoch an der Bahnhofstraße deutlich mehr Fahrzeuge als beim Status Quo halten. Wegen der darauf folgenden Beschleunigung steigen die Emissionen im westlichen Teil der Strecke an. Anders als bei der „Grünen Welle“ ergibt sich insgesamt bei der Variante „Pfortnerampel“ emissionsseitig kein Vorteil gegenüber dem Status Quo.

Zur Immissionsberechnung mit dem Screening-Modell ISIS wurde die Strecke unterteilt. Für beide Streckenabschnitte wurden auf Basis der hier bestimmten Emissionen Immissionskonzentrationen berechnet. Die für das Jahr 2010 modellierte PM10-Konzentration stimmt sehr gut mit dem Messwert für 2010 überein. Für PM10 verändern sich die Immissionskonzentrationen bei den einzelnen Szenarien gegenüber T50 um +1,3% bis -4,7%. Der Grenzwert für das Jahresmittel von PM10 wird auf beiden Streckenabschnitten mit und ohne Maßnahme eingehalten. Mit geringer Wahrscheinlichkeit muss damit gerechnet werden, dass der Kurzzeitgrenzwert bei einigen Szenarien im Streckenabschnitt 2646 überschritten wird.

Literaturverzeichnis

AVISO 2009

Erstellung eines zukunftsfähigen Emissionskatasters Straßenverkehr für Baden-Württemberg, AVISO GmbH, im Auftrag der LUBW; Aachen, 2009

BAST 2009

Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 189, Januar 2010

HBEFA 2010

www.hbefa.net

HBS 2009

HBS Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2001, Fassung 2009, Hartkopf et al., FGSV Verlag 2009

LENSING 2003

Programm DMTG für Windows zum Auswerten, Hochrechnen und Visualisieren von Verkehrsdaten aus Kurz- und Langzeitmessungen, Büro für angewandte Statistik, Aachen, 2003

LUTZ 2010

NO₂-Belastung in deutschen Kommunen: Situation, Maßnahmen, Fortschritte, Probleme am Beispiel Berlin, Lutz M., Vortrag auf der Tagung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg: Herausforderung NO₂-Immissionen, Gesetzgebung, Luftbelastung, Lösungen, Heidelberg, 3./4. März 2010

BANGERT ET AL. 1996

EDV-gestütztes Screening-Modell für unterschiedliche Verkehrsstandorte in Sachsen. Abschlußbericht. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Radebeul.

EICHHORN 1989

Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. Diss. Meteorol. Inst. Univ. Mainz

LUBW 2010

Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg, Grundlagenband 2010, LUBW-Referat 33-Luftqualität. Karlsruhe, Dezember 2011.

METCON/IBRAU 2012

Synthetische Windstatistiken ARGE METCON und Ingenieurbüro Rau

39. BIMSCHV 2010

Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen). In: BGBl. I S. 1065 (Nr. 40) vom 02.08.2010

DÜRING 2009

Tendenzen der NO₂-Belastung im Land Brandenburg von 1997 bis 2020. Immissionsschutz 3-10.

LUBW LEITFADEN 2011

Leitfaden: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten. LUBW Baden-Württemberg (Hrsg.)

LUBW 2011

Feinstaubmessungen in Wendlingen 2010. Auftraggeber: Stadt Wendlingen am Neckar. LUBW-Referat 33-Luftqualität. Karlsruhe, Februar 2012.