

**BESTIMMUNG DER EMISSIONSSEITIGEN AUSWIRKUNGEN VON TEMPO 30 IM
RAHMEN DER ERSTELLUNG DES
LUFTREINHALTEPLANS FÜR SCHRAMBERG**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Freiburg
Schwendstraße 12
79102 Freiburg

Durchführung: Ingenieurbüro Rau (Federführung)
Bottwarbahnstraße 4
74081 Heilbronn

AVISO GmbH
Am Hasselholz 15
52074 Aachen

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Messfahrten	2
2.1 Die Messstrecke	2
2.2 Auswertung der Fahrten	4
2.3 Verkehrliche Grundlagedaten	7
2.4 Auswertung der dynamischen Fahrtparameter	8
3 Emissionsberechnung	11
3.1 Modell PHEM	11
3.2 Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren	11
3.3 Emissionsfaktoren NO _x	17
3.4 Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren zu HBEFA3.1	19
3.5 Jahresemissionen	21
3.6 Auswirkung auf die Immissionsbelastung im Bereich des Hotspots	22
4 Zusammenfassung	23
5 Literaturverzeichnis	24

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1: Lage der Messstrecke Ortsdurchfahrt Schramberg	2
Bild 2.2: Fotos entlang der Ortsdurchfahrt von Schramberg (aufgenommen in Fahrtrichtung Westen, die Lage der Fotos s. Bild 2.1)	3
Bild 2.3: Messfahrten Ortsdurchfahrt Schramberg, T50-Normalfahrt (blaue Linien) und mittlere Fahrt (grüne Linie) sowie T30-fiktiv (rote Linien) und mittlere Fahrt (gelbe Linie); oben Fahrtrichtung Osten, unten Fahrtrichtung Westen	5
Bild 2.4: Messfahrten Ortsdurchfahrt Schramberg, T50-Lkw-Verfolgungsfahrt (blaue Linien) und mittlere Fahrt (grüne Linie), sowie T30-fiktiv (rote Linien) und mittlere Fahrt (orange Linie); oben Fahrtrichtung Osten, unten Fahrtrichtung Westen	6
Bild 2.5: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) im Untersuchungsgebiet Schramberg	8
Bild 3.1: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010	12
Bild 3.2: Ganglinien Pkw Richtung Osten (bergauf), jeweils Geschwindigkeit sowie NO _x -Emissionen	15
Bild 3.3: Ganglinien Pkw Richtung Westen (bergab), jeweils Geschwindigkeit sowie NO _x -Emissionen	15
Bild 3.4: Ganglinien sNfz Richtung Osten (bergauf), jeweils Geschwindigkeit sowie NO _x -Emissionen	16
Bild 3.5: Ganglinien sNfz Richtung Westen (bergab), jeweils Geschwindigkeit sowie NO _x -Emissionen	16
Bild 3.6: Vergleich der warmen NO _x -Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 6% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz für die Ortsdurchfahrt in Schramberg	20
Bild 3.7: NO _x -Jahresemission für die Ortsdurchfahrt Schramberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%)	22

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Beschreibung der Teilabschnitte der Ortsdurchfahrt (von Westen nach Osten)	3
Tab. 2.2: Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung.....	4
Tab. 2.3: Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und zugehörige Anteile der Fahrzeugarten.....	7
Tab. 2.4: Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe für die T50- Normalfahrten, die T30-Fahrten und die Lkw-Verfolgungsfahrten (Gesamtstrecke und Teilabschnitte Richtung Osten)	9
Tab. 2.5: Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe für die T50- Normalfahrten ,T30-Fahrten die Lkw-Verfolgungsfahrten (Gesamtstrecke und Teilabschnitte Richtung Westen).....	10
Tab. 3.1: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen für Schramberg für die Fahrzeuggruppen Pkw, Infz und sNfz im Bezugsjahr 2010.....	13
Tab. 3.2: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für NO_x für die Ortsdurchfahrt Schramberg in Fahrtrichtung Osten (bergauf) , abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile.....	18
Tab. 3.3: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für NO_x für die Ortsdurchfahrt Schramberg in Fahrtrichtung Westen (bergab) , abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile.....	18
Tab. 3.4: „Warme“ NO _x -Emissionen für die Ortsdurchfahrt Schramberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile	21
Tab. 3.5: NO _x -Jahresemissionen für die Ortsdurchfahrt Schramberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile.....	22

1 Einleitung

Für die Ortsdurchfahrt Schramberg (B462, Oberndorfer Straße) 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.

Ziel des vorliegenden Gutachtens ist es, für die spezielle Situation an der Ortsdurchfahrt in Schramberg eine Aussage zum Einfluss eines Tempolimits T30 auf die PM₁₀- und NO_x-Emissionsbelastung 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 an der Ortsdurchfahrt Schramberg wurden daher Messfahrten für „T50-Normalfahrt“ und „T30-fiktiv“ durchgeführt und basierend auf den erhobenen Fahrprofilen mit dem Modell PHEM die Abgasemissionen für diese Fahrprofile berechnet.

2 Messfahrten

Am 25.01.2011 und 26.01.2011 wurden in Schramberg 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 der Ortsdurchfahrt durchgeführt.

2.1 Die Messstrecke

Die untersuchte Messstrecke ist in Bild 2.1 dargestellt. Untersucht wurde der Bereich der Ortsdurchfahrt Schramberg (B462, Oberndorfer Straße). Es existiert eine Lichtsignalanlage (LSA) an der untersuchten Strecke.

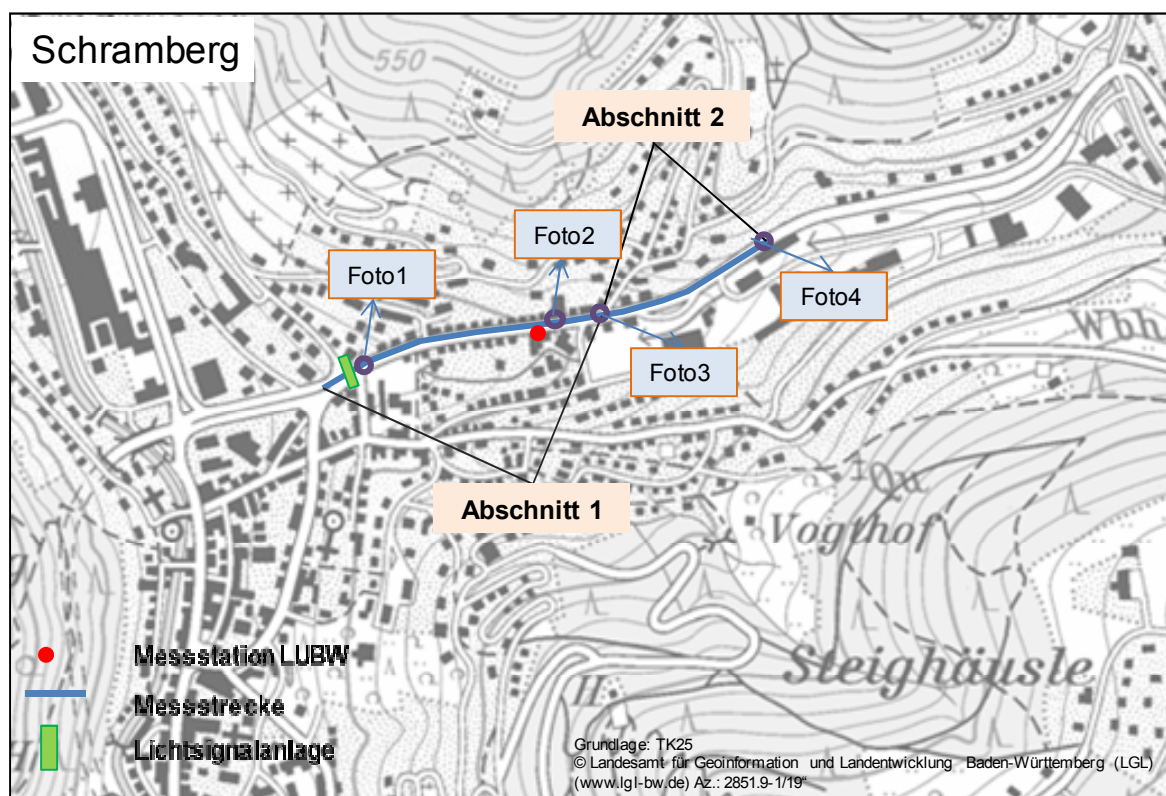


Bild 2.1: Lage der Messstrecke Ortsdurchfahrt Schramberg

Für die Untersuchungen wurde die Ortsdurchfahrt in 2 Abschnitte unterteilt. Diese Teilabschnitte sind in Tab. 2.1 kurz beschrieben. Der Abschnitt 1 weist eine sehr starke Steigung (Richtung Ost) von über 10% auf. Beim Abschnitt 2 liegt die durchschnittliche Steigung/Gefälle bei ca. 3%. Abschnitt 1 enthält die Messstation der LUBW für NO₂ und PM₁₀. In Bild 2.2 sind Bilder aus den einzelnen Abschnitten dargestellt (Lage der Fotos s. Bild 2.1).

Tab. 2.1: Beschreibung der Teilabschnitte der Ortsdurchfahrt (von Westen nach Osten)

Abschnittsnr.	Straße	Abschnitt	
		von	bis
1	Oberndorfer Straße	östlich Kpt. Oberndorfer Straße/Graf-von Bissingen-Straße/Schloßstraße	Roßwaldstraße
2	Oberndorfer Straße	Roßwaldstraße	Gewerbepark H.A.U

Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Bild 2.2: Fotos entlang der Ortsdurchfahrt von Schramberg (aufgenommen in Fahrtrichtung Westen, die Lage der Fotos s. Bild 2.1)

2.2 Auswertung der Fahrten

Insgesamt wurden 140 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-fiktiv-Fahrten unterschieden. Die Anzahl der Fahrten ist in Tab. 2.2 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. 2.2: Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung

Fahrtart	Anzahl
Normalfahrt T50 Richtung Osten	31
Normalfahrt T50 Richtung Westen	34
T30 Richtung Osten	18
T30 Richtung Westen	25
Lkw-Verfolgungsfahrt Richtung Osten	21
Lkw-Verfolgungsfahrt Richtung Westen	11

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.

Die Lage der Lichtsignalanlage ist bei den Fahrprofilen in beide Fahrtrichtungen erkennbar. Insbesondere zeigt sich dies in Fahrtrichtung Westen deutlich, da dort bei vielen Fahrten ein Abbremsen auf Stand erfolgte.

Die Höchstgeschwindigkeit, die im Abschnitt erreicht wurde, liegt für die Pkw und Lkw bei der Normalfahrt T50 überwiegend im Bereich von 50-60 km/h, sowohl in Fahrtrichtung Osten als auch in Fahrtrichtung Westen. Die T30-Fahrten sind in den Diagrammen ebenfalls dargestellt (rote Linien) und zeigen insgesamt ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.

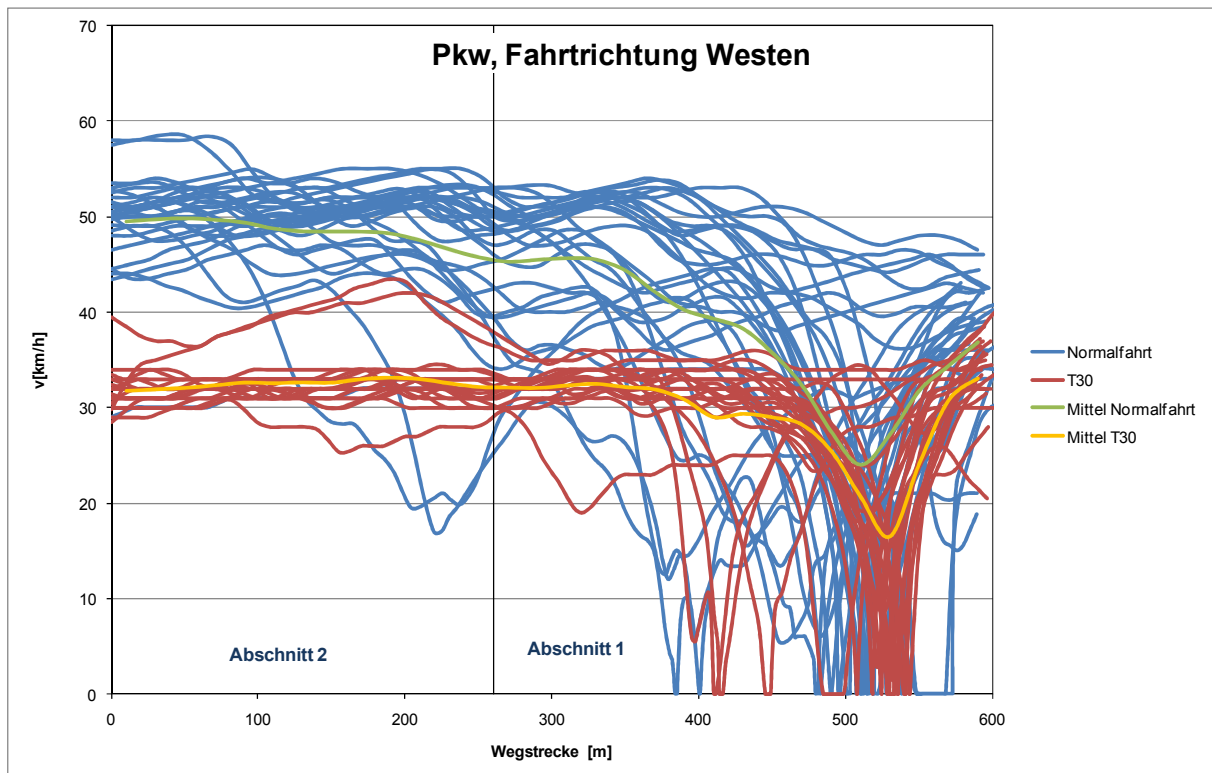
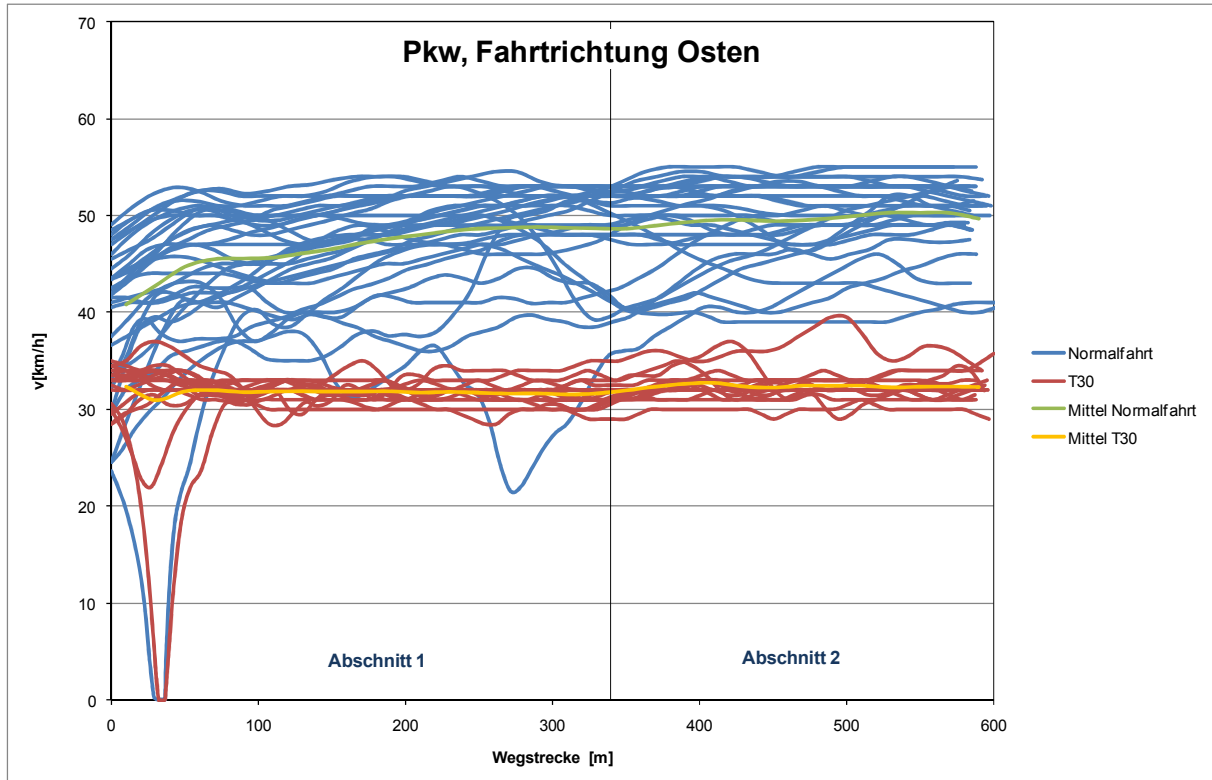


Bild 2.3: Messfahrten Ortsdurchfahrt Schramberg, T50-Normalfahrt (blaue Linien) und mittlere Fahrt (grüne Linie) sowie T30-fiktiv (rote Linien) und mittlere Fahrt (gelbe Linie); oben Fahrtrichtung Osten, unten Fahrtrichtung Westen

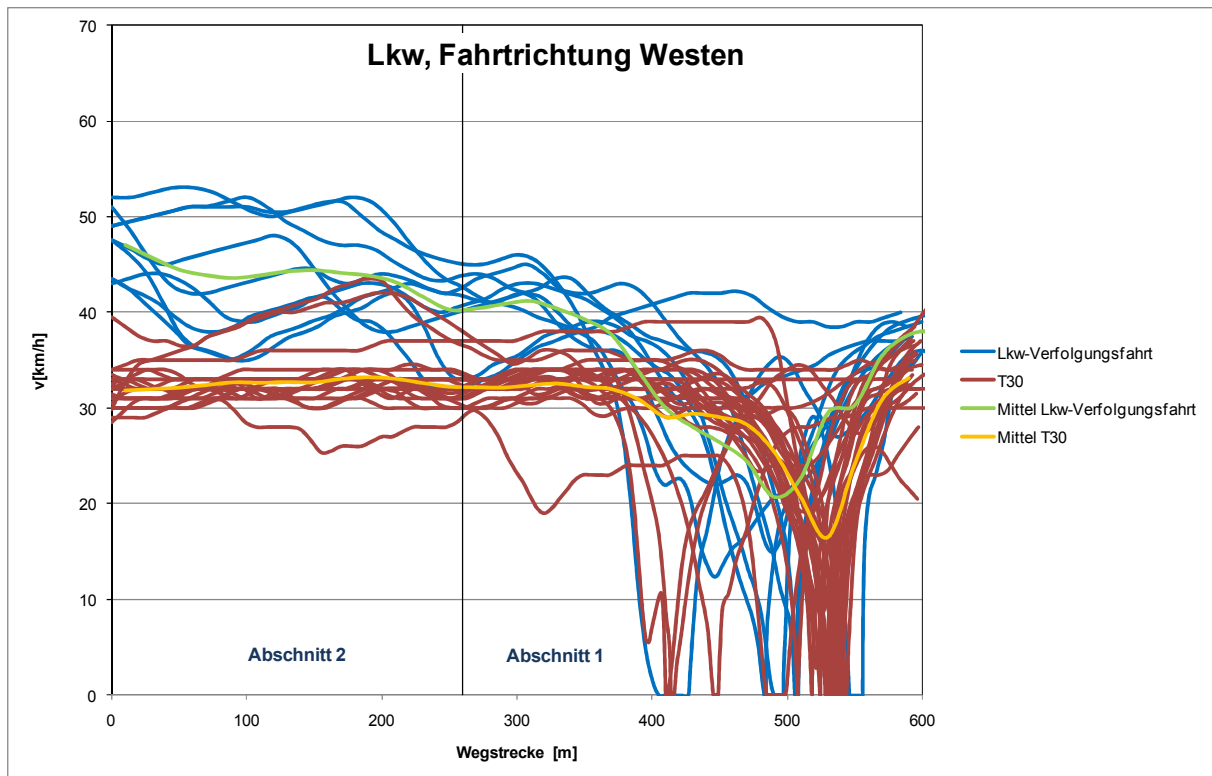
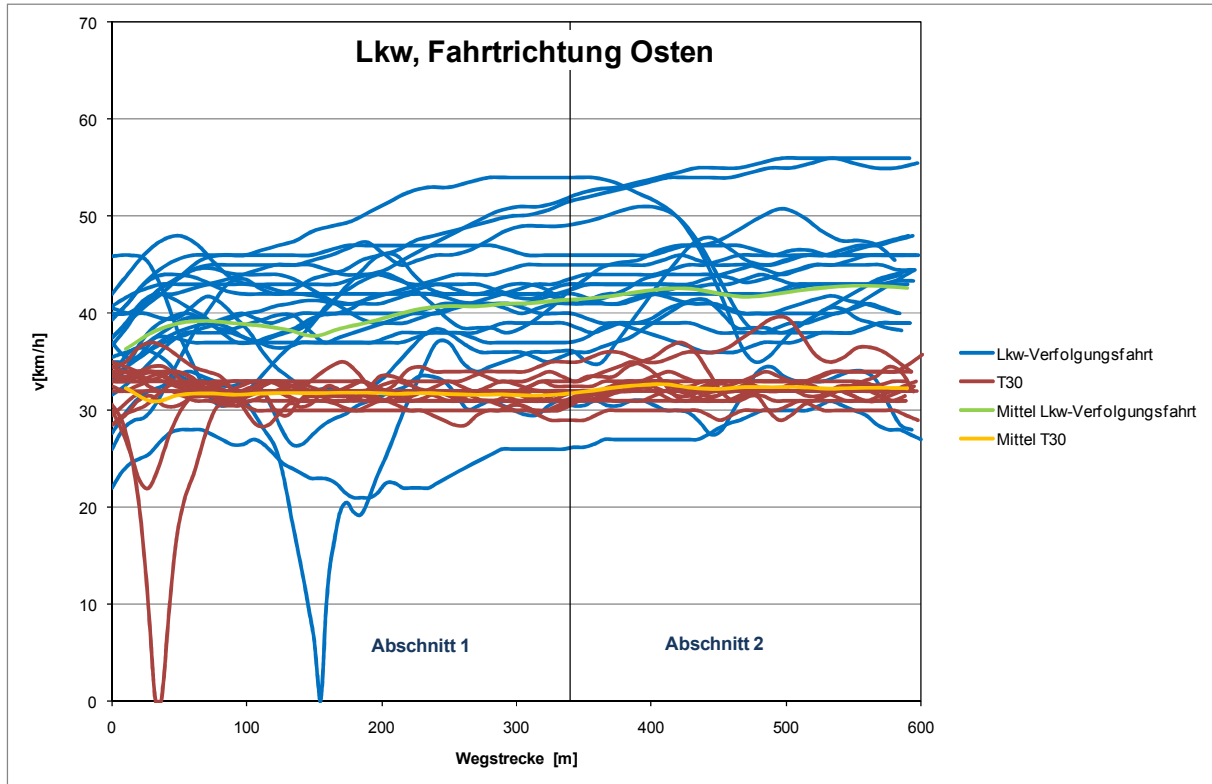


Bild 2.4: Messfahrten Ortsdurchfahrt Schramberg, T50-Lkw-Verfolgungsfahrt (blaue Linien) und mittlere Fahrt (grüne Linie), sowie T30-fiktv (rote Linien) und mittlere Fahrt (orange Linie); oben Fahrtrichtung Osten, unten Fahrtrichtung Westen

2.3 Verkehrliche Grundlagedaten

Zur Ermittlung der Emissionen des Straßenverkehrs sind die Informationen zur Verkehrsstärke und Zusammensetzung notwendig. In den vorliegenden Betrachtungen werden die Fahrzeugarten Pkw (Personenkraftwagen), INfz (leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t zul. GG), sNfz (schwere Nutzfahrzeuge > 3,5 t zul. GG mit Busse) und Krad (Krafträder) unterschieden.

Vom Regierungspräsidium Freiburg wurden die folgenden Verkehrsdaten für die betrachteten Abschnitte von der Oberndorfer Straße zur Verfügung gestellt. Diese Daten wurden durch die Firma MODUS CONSULT ULM GmbH ermittelt /RP FREIBURG 2010/:

- Durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärken (DTVw) der Pkw, INfz und sNoB (schwere Nutzfahrzeuge > 3,5 t zul. GG ohne Busse) für den Anlayse-Nullfall III 2010

Diese vorliegenden DTVw-Werte, die auf dem Verkehrsmodell basieren, wurden anhand eines Umrechnungsfaktors auf die für die Emissionsberechnung benötigten jahresmittleren durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV), die Wochenend- und Urlaubszeiten berücksichtigen, umgerechnet. Der verwendete Faktor wurde aus den Ergebnissen der aktuellen Straßenverkehrszählung SVZ 2005 abgeleitet.

Für die Belastungen durch (Linien-)Busse wurde der aktuelle Fahrplan ausgewertet. Die Verkehrsbelastungen der Kräder wurden dem landesweiten Emissionskataster BW /AVISO 2009/ entnommen.

Tab. 2.3: *Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und zugehörige Anteile der Fahrzeugarten*

Abschnitt	DTV [Kfz/24h]				
	Krad	Pkw	INfz	sNfz	Kfz
1	356	13356	321	1259	15292
	2,3%	87,3%	2,1%	8,2%	100,0%
2	356	12614	401	1259	14630
	2,4%	86,2%	2,7%	8,6%	100,0%

In Bild 2.5 sind die jahresmittleren Verkehrsstärken (DTV) für Kfz und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) nochmals grafisch dargestellt. Die Verkehrsstärken liegen in dem betrachteten Gebiet im Bereich von 14.000 – 16.000 Kfz/24h, der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge im Mittel bei ca. 8%.

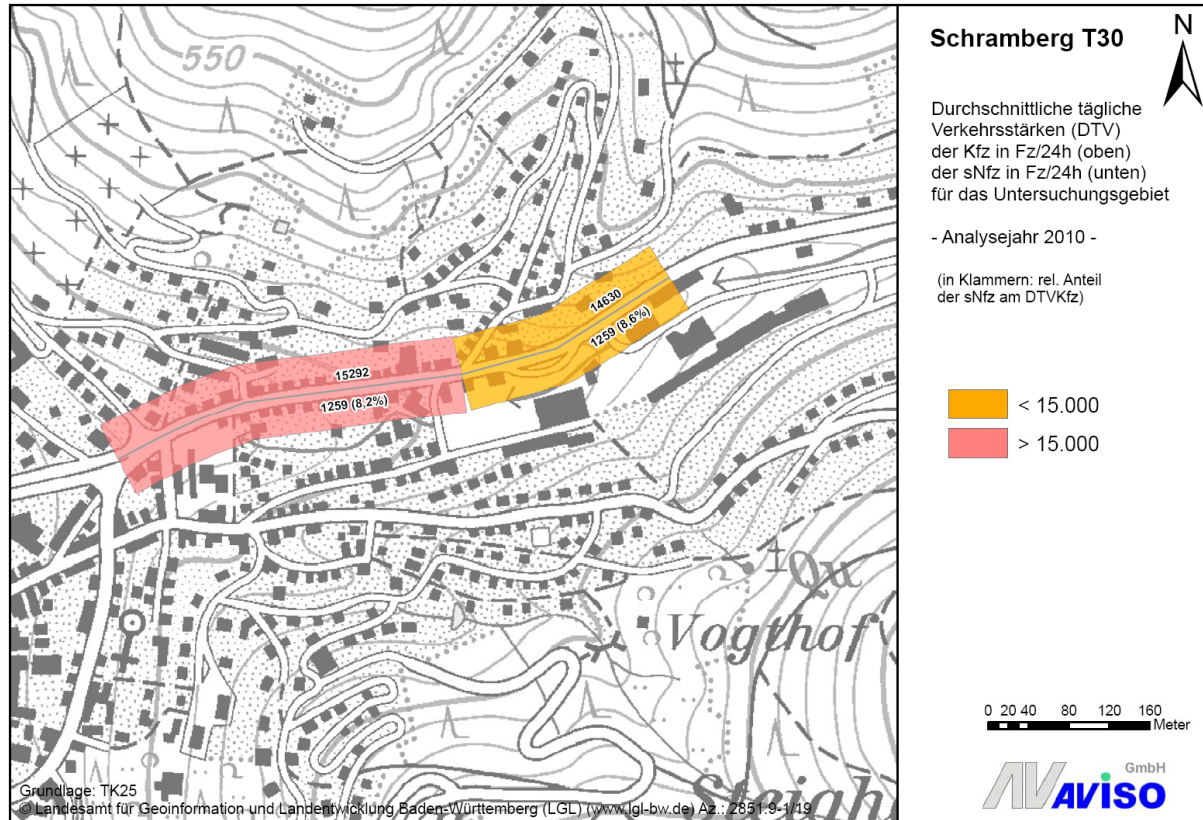


Bild 2.5: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) im Untersuchungsgebiet Schramberg

2.4 Auswertung der dynamischen Fahrtparameter

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 Charaktisierung 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.

Pro Fahrtengruppe (Pkw-Normalfahrt T50, Pkw T30, Lkw-Normalfahrt T50, Lkw-Verfolgungsfahrt und Lkw T30) wurden die mittleren Dynamik-Parameter v (Reisegeschwin-

digkeit unter Berücksichtigung von Halten und Haltezeiten) und RPA gemittelt über alle Fahrten der jeweiligen Fahrtengruppe berechnet und sind in Tab. 2.4 und Tab. 2.5 ausgewiesen.

In Fahrtrichtung Osten liegt für die Pkw die mittlere Reisegeschwindigkeit bei 47,8 km/h, in Fahrtrichtung Westen bei 37,9 km/h. Für die Lkw-Verfolgungsfahrten belaufen sich diese auf 40,5 km/h (Richtung Osten) und 34,4 km/h (Richtung Westen).

Von den Teilabschnitten liegen jeweils für beide Fahrzeugarten und Fahrtrichtungen in Teilabschnitt 1 niedrigere mittlere Reisegeschwindigkeiten vor. Dieser Teilabschnitt enthält eine Lichtsignalanlage. Außerdem liegen hier höhere Verkehrswerte vor. Beides kann zu Reduzierungen in der Geschwindigkeit führen.

Tab. 2.4: *Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe für die T50-Normalfahrten, die T30-Fahrten und die Lkw-Verfolgungsfahrten (Gesamtstrecke und Teilabschnitte Richtung Osten)*

Fahrtparameter	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 N Ri Ost								
gesamt	47,8	5,1	0,086	0,043				
Abschnitt 1	46,4	5,7	0,114	0,071				
Abschnitt 2	49,6	5,3	0,049	0,046				
T30 Ri Ost								
gesamt	32,0	2,1	0,034	0,022	31,9	2,2	0,034	0,021
Abschnitt 1	31,7	2,1	0,034	0,036	31,6	2,3	0,034	0,036
Abschnitt 2	32,3	2,2	0,035	0,029	32,3	2,2	0,034	0,028
Lkw-Verfolgungsfahrt Ost								
gesamt					40,5	5,4	0,079	0,040
Abschnitt 1					39,3	5,6	0,093	0,061
Abschnitt 2					42,3	5,6	0,060	0,047
Reduktion T30/T50 N								
gesamt	-33%		-60%					
Abschnitt 1	-32%		-70%					
Abschnitt 2	-35%		-30%					
Reduktion T30/Lkw-Verf.								
gesamt					-21%		-56%	
Abschnitt 1					-20%		-63%	
Abschnitt 2					-24%		-42%	

Tab. 2.5: Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe für die T50-Normalfahrten, T30-Fahrten die Lkw-Verfolgungsfahrten (Gesamtstrecke und Teilschnitte Richtung Westen)

Fahrtparameter	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 N Ri West								
gesamt	37,9	5,1	0,151	0,043				
Abschnitt 1	33,9	7,9	0,220	0,151				
Abschnitt 2	48,5	6,5	0,060	0,017				
T30 Ri West								
gesamt	29,0	2,1	0,119	0,022	28,8	3,8	0,129	0,032
Abschnitt 1	27,2	4,1	0,188	0,110	26,9	5,4	0,206	0,123
Abschnitt 2	32,5	2,4	0,030	0,005	32,6	4,3	0,029	0,007
Lkw-Verfolgungsfahrt West								
gesamt					34,4	7,9	0,159	0,041
Abschnitt 1					30,5	8,7	0,237	0,144
Abschnitt 2					43,8	10,1	0,057	0,015
Reduktion T30/T50 N								
gesamt	-24%		-21%					
Abschnitt 1	-20%		-14%					
Abschnitt 2	-33%		-51%					
Reduktion T30/Lkw-Verf.								
gesamt					-16%		-19%	
Abschnitt 1					-12%		-13%	
Abschnitt 2					-25%		-49%	

Es zeigen sich für alle Fahrtrichtungen für Pkw beim Vergleich T30 zu T50-Normalfahrt Reduktionen der mittleren Fahrgeschwindigkeit, die für die Gesamtstrecke zwischen -24% und -33% liegen. Beim Vergleich T30 zu Lkw-Verfolgungsfahrt werden für sNfz Reduktionen von ca. -21% (Richtung Osten) bzw. ca. -16% (Richtung Westen) ermittelt.

Auch für den Dynamik-Parameter RPA zeigt sich beim Vergleich T30 zu T50-Normalfahrt für die Pkw eine Reduktion, die zwischen -21% und -60% liegt. Betrachtet man den Fall T30 zu Lkw-Verfolgungsfahrt, ergibt sich die Reduktion für sNfz von ca. -56% (Richtung Osten) bzw. ca. -19% (Richtung Westen).

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.

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, zunächst 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 Schramberg, über die Schichtemissionen der Fahrzeuggruppen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) für T50, T30 gemittelt.

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 Schramberg sind dort für die Fahrzeuggruppen Pkw und INfz die Bestandsdaten des Zulassungsbezirks Rottweil 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.

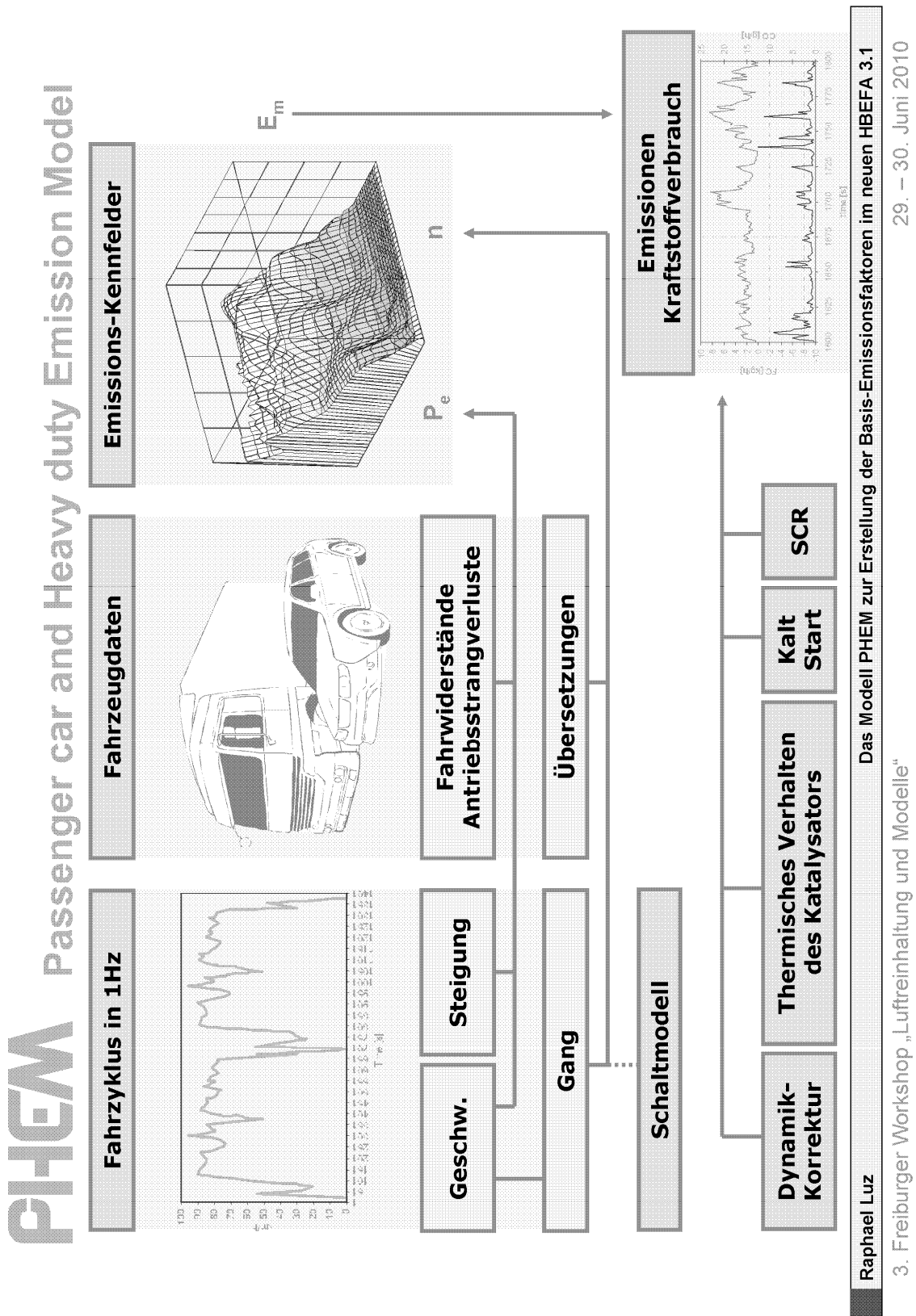


Bild 3.1: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010

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

Pkw		INfz		sNfz	
Otto vor E1	0,7%	Otto vor E1	0,2%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	3,5%	Otto E1	0,1%	DS E I	3,0%
Otto E2	6,6%	Otto E2	0,6%	Ds E II	12,1%
Otto E3	20,5%	Otto E3	0,6%	Ds E III	27,5%
Otto E4	29,0%	Otto E4	2,0%	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	0,7%		
Ds E1	1,1%	Ds E1	2,1%		
Ds E2	3,2%	Ds E2	12,3%		
Ds E3	13,2%	Ds E3	28,2%		
Ds E4	19,2%	Ds E4	52,5%		
Ds E5	1,1%	Ds E5	0,7%		
Ds E6	0,1%	Ds E6	0,0%		
gesamt	100,0%	gesamt	100,0%	gesamt	100,0%

Das Emissionsverhalten von schweren Nutzfahrzeugen 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.

Das Ergebnis der oben beschriebenen Mittelungen sind mittlere Ganglinien für die Emissionen der Pkw 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 (siehe Bild 2.3 und Bild 2.4) mit eingetragen.

Für Schramberg lässt sich aus diesen Bildern folgendes ableiten:

- Auf Beschleunigungsstreckenabschnitten sind die Emissionsfaktoren bei Tempo 50 i. d. R. höher als bei Tempo 30, da im letzteren Fall die Zielgeschwindigkeit eher erreicht ist. Auf Strecken mit sinkender Geschwindigkeit ist es genau anders herum. Ein Grund dafür kann sein, dass Fahrzeuge beim Zufahren auf eine rote Ampel bei T50 ihren Schwung besser ausnutzen können als bei T30.
- Die Emissionen für Stickoxide in Richtung Westen (bergab) sind im Bereich der Ampel deutlich erhöht. Hier finden jeweils Brems- und Beschleunigungsvorgänge statt.

- In Richtung Osten (bergauf) sind die NO_x -Emissionen deutlich höher als in Richtung Westen (bergab). Dies gilt nicht für den durch die LSA beeinflussten Bereich.
- Bei den schweren Nutzfahrzeugen zeigen sich in Richtung Osten (bergauf) keine signifikanten Unterschiede zwischen T50 und T30. In Richtung Westen (bergab) sind sowohl bei T50 als auch bei T30 bis auf den Nahbereich der LSA vergleichsweise sehr geringe Emissionen ermittelt worden.

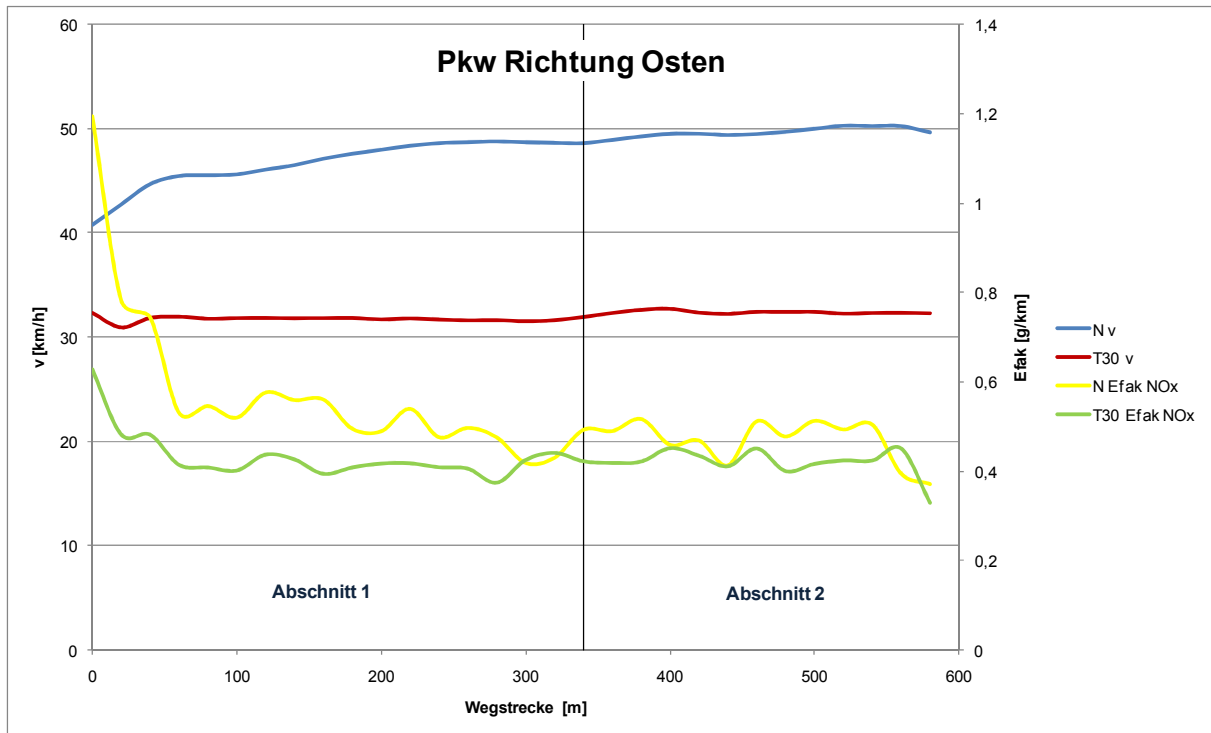


Bild 3.2: Ganglinien Pkw Richtung Osten (bergauf), jeweils Geschwindigkeit sowie NO_x -Emissionen

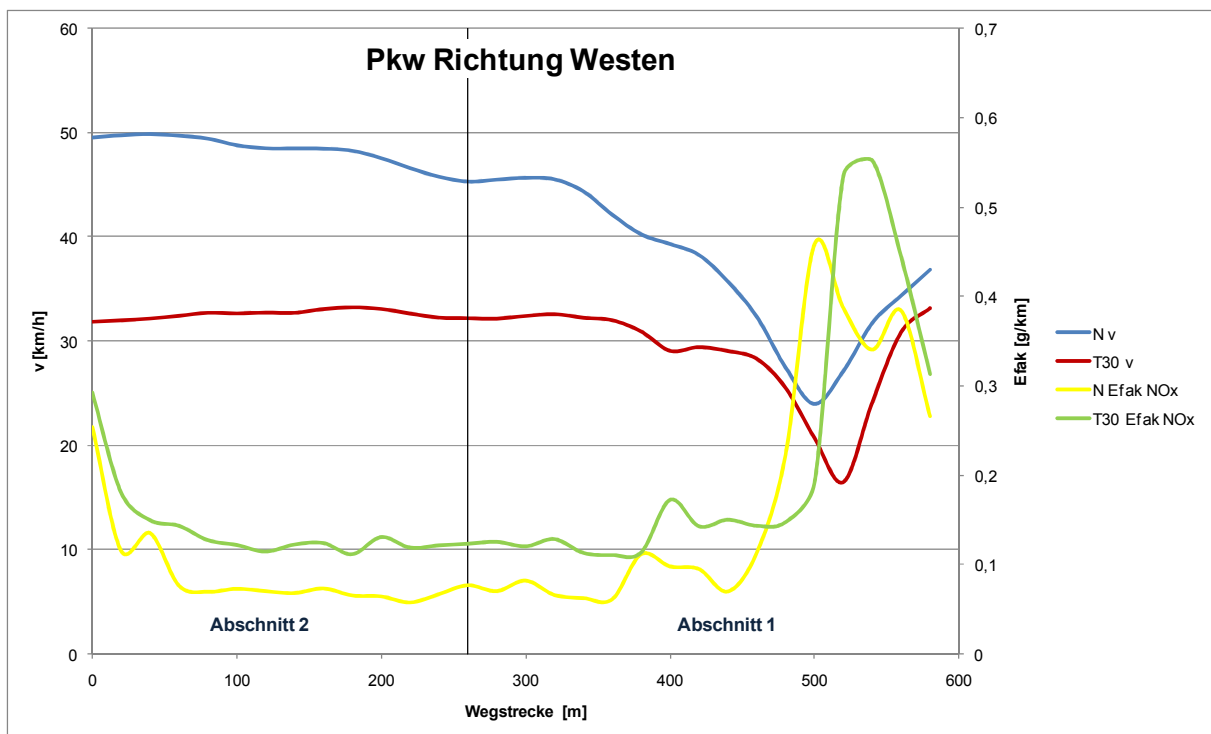


Bild 3.3: Ganglinien Pkw Richtung Westen (bergab), jeweils Geschwindigkeit sowie NO_x -Emissionen

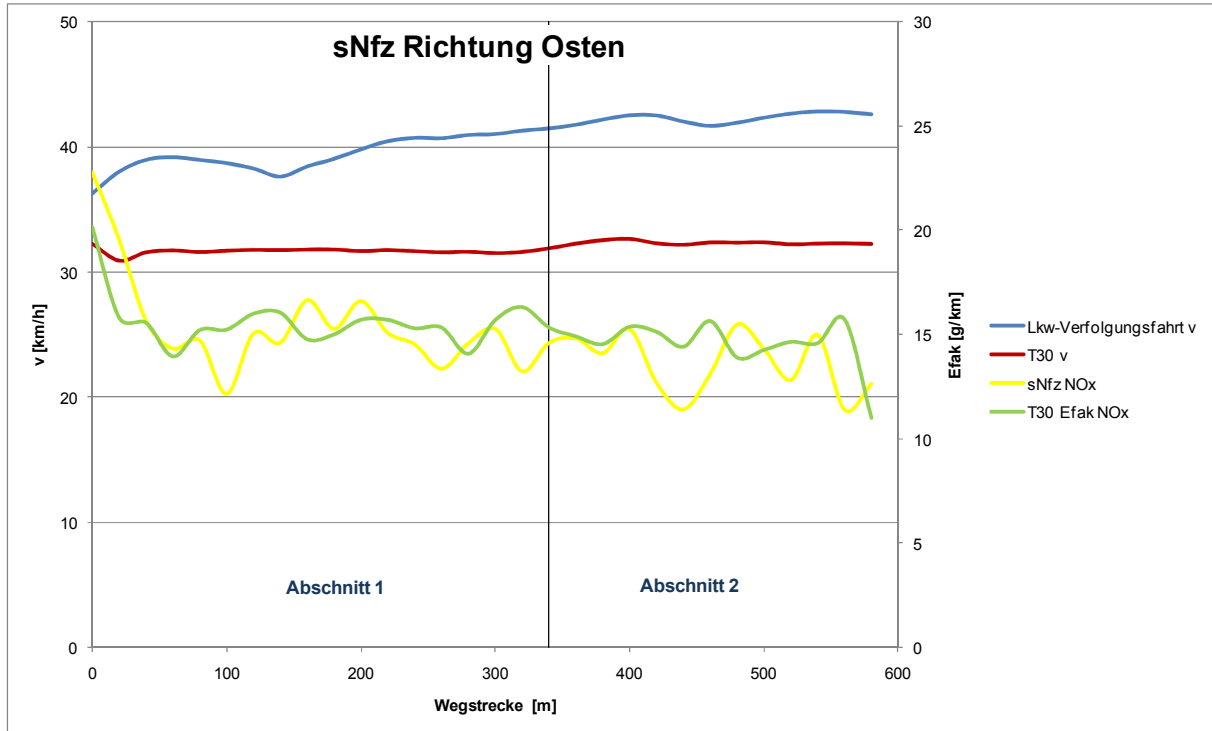


Bild 3.4: Ganglinien sNfz Richtung Osten (bergauf), jeweils Geschwindigkeit sowie NO_x -Emissionen

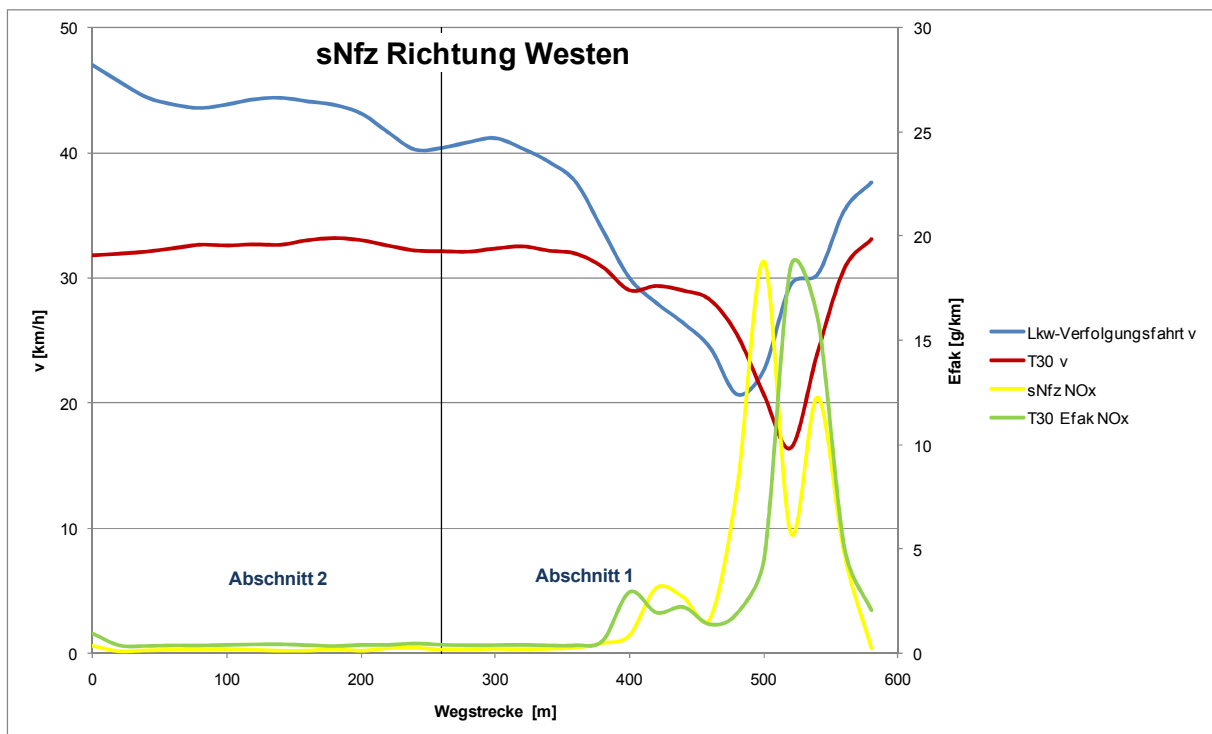


Bild 3.5: Ganglinien sNfz Richtung Westen (bergab), jeweils Geschwindigkeit sowie NO_x -Emissionen

3.3 Emissionsfaktoren NO_x

Auf den in Bild 3.2 bis Bild 3.5 dargestellten Ganglinien können Abschnitte gebildet werden, für die jeweils mittlere „warme“ Emissionsfaktoren bestimmt werden. Die so gebildeten Emissionsfaktoren für NO_x für die Fahrzeuggruppen Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sind gemittelt über die in Bild 2.1 eingetragenen Teilabschnitte in Tab. 3.2 bis Tab. 3.3 getrennt nach Fahrtrichtungen dargestellt. Ebenfalls angegeben sind die Standardabweichungen aus der Mittelung über die Fahrten jeweils als Absolutwerte und als relativer Anteil. Im unteren Teil der Tabellen ist jeweils die Veränderung von T30 gegenüber T50 angegeben.

Wie schon bei RPA (siehe Tab. 2.4 und Tab. 2.5) ist die Streuung der Emissionsfaktoren zwischen den Fahrten sehr hoch, was insbesondere bei kürzeren Abschnitten zu hohen Standardabweichungen führt. Trotzdem erscheint es sinnvoll, einzelne Abschnitte zu betrachten, wenn sich diese hinsichtlich ihrer Verkehrswerte, Verkehrssituationen (Ampeln etc.) oder der Steigung unterscheiden. Die Auswirkungen eines Tempolimits können durchaus gegenläufig sein. Allerdings sind die Ergebnisse bei den vorliegenden großen Unsicherheiten eher als Tendenzen zu interpretieren.

Für die Fahrtrichtung Osten wurden deutlich höhere NO_x-Emissionsfaktoren berechnet als für die Fahrtrichtung Westen. Eine wesentliche Ursache hierfür stellt die Steigung (Richtung Osten) dar.

Der Vergleich der Emissionsfaktoren T30 zu den Emissionsfaktoren T50-Normalfahrt weist für Pkw Reduktionen von -20% (Richtung Osten) bzw. eine Zunahme von +32% (Richtung Westen), für die INfz Reduktionen von -24% (Richtung Osten) bzw. eine Zunahme von +16% (Richtung Westen) und für die sNfz Emissionszunahmen von +3%.

Die Strecke ist in Fahrtrichtung Westen durch ein starkes Gefälle charakterisiert. Die Pkw können zum Großteil bei T50 in einem günstigen Gang (emissionsarm) „bergab rollen“.

Ähnliche Tendenzen ergeben sich bei der Betrachtung der Einzelabschnitte. Wie oben schon erläutert, sind jedoch die Unsicherheiten bei Betrachtung der Einzelabschnitte groß, so dass diese Werte lediglich als Tendenzen interpretiert werden sollten.

Tab. 3.2: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **NO_x** für die Ortsdurchfahrt Schramberg in Fahrtrichtung **Osten (bergauf)**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

Efaktor NO _x [g/km]	Pkw			INFz			sNFz		
	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri Ost									
gesamt	0,53	0,08	15%	1,82	0,16	9%	14,69	0,89	6%
Abschnitt 1	0,58	0,15	27%	1,95	0,43	22%	15,49	2,12	14%
Abschnitt 2	0,47	0,11	23%	1,64	0,28	17%	13,65	2,16	16%
T30 Ri Ost									
gesamt	0,43	0,03	7%	1,38	0,15	11%	15,18	0,64	4%
Abschnitt 1	0,43	0,06	15%	1,45	0,32	22%	15,64	1,81	12%
Abschnitt 2	0,42	0,04	10%	1,29	0,18	14%	14,58	1,26	9%
Änderung									
gesamt	-20%			-24%			3%		
Abschnitt 1	-25%			-26%			1%		
Abschnitt 2	-11%			-21%			7%		

Tab. 3.3: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **NO_x** für die Ortsdurchfahrt Schramberg in Fahrtrichtung **Westen (bergab)**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

Efaktor NO _x [g/km]	Pkw			INFz			sNFz		
	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri West									
gesamt	0,14	0,06	43%	0,26	0,11	43%	2,10	2,12	101%
Abschnitt 1	0,17	0,14	80%	0,34	0,30	86%	3,54	4,78	135%
Abschnitt 2	0,09	0,04	43%	0,15	0,06	43%	0,21	0,22	101%
T30 Ri West								0,00	
gesamt	0,18	0,04	23%	0,30	0,08	27%	2,16	1,07	49%
Abschnitt 1	0,21	0,12	56%	0,37	0,23	61%	3,49	3,64	104%
Abschnitt 2	0,14	0,03	23%	0,22	0,06	27%	0,42	0,21	49%
Änderung									
gesamt	32%			16%			3%		
Abschnitt 1	22%			7%			-2%		
Abschnitt 2	56%			44%			97%		

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.

Angesichts der hohen Unsicherheiten auf den Einzelabschnitten sollen hier jedoch nur die Emissionsfaktoren für die Gesamtstrecke verglichen werden. Diese Strecke weist eine starke Steigung auf. Daher wird für den Vergleich mit dem Handbuch eine Steigung von 6% für die Gesamtstrecke angenommen.

Für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge sind die NO_x-Emissionsfaktoren 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 ausgewiesen 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. Große Störungen mit Stop&Go-Verkehr sind an dem Tag, an dem die Messungen stattgefunden haben, nicht aufgetreten.

Für die Pkw liegt der aus den Messfahrten abgeleitete NO_x-Emissionsfaktor in Richtung Osten unter den Emissionsfaktoren für die relevanten Verkehrssituationen nach HBEFA3.1.

Bei den Pkw-Fahrten in Richtung Westen und bei den schweren Nutzfahrzeugen in beiden Richtungen liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten NO_x-Emissionsfaktoren über den zu erwartenden Werten nach dem Handbuch. Hier müssten deutliche Anteile an Verkehrssituationen mit großem Störungsgrad angenommen werden, um eine Übereinstimmung mit dem Handbuch zu erzielen.

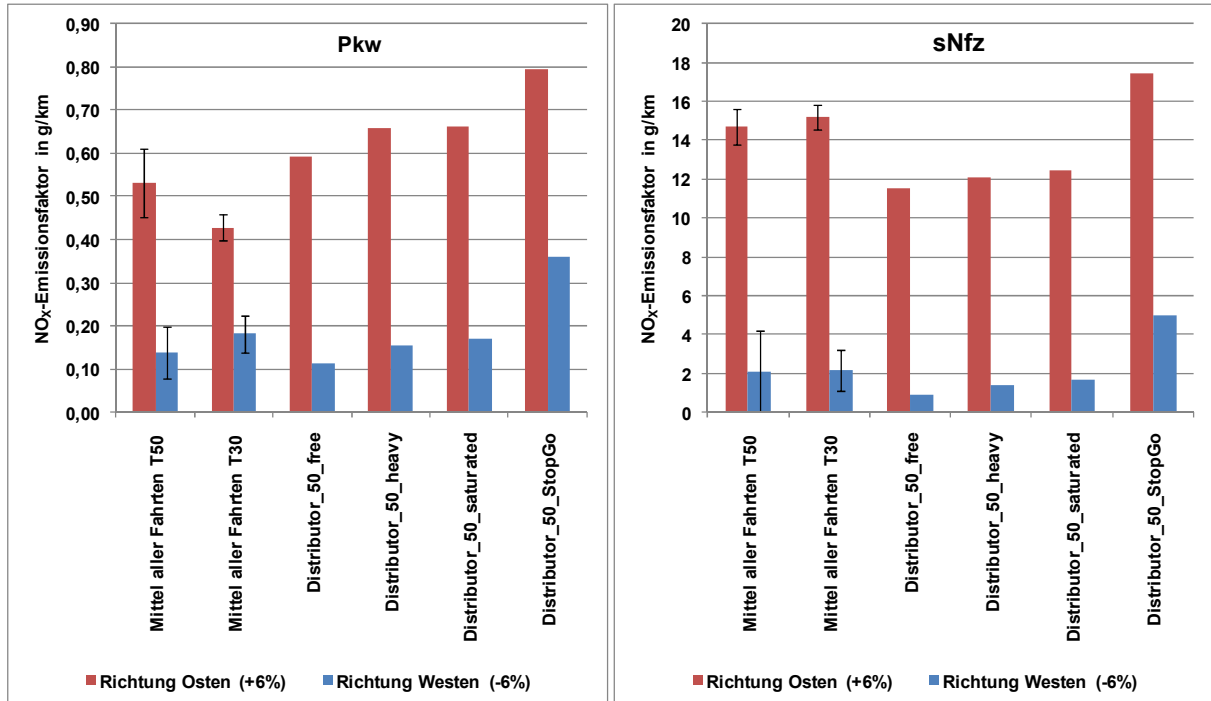


Bild 3.6: Vergleich der warmen NO_x-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 6% Steigung aus HBE-FA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz für die Ortsdurchfahrt in Schramberg

3.5 Jahresemissionen

Mit dem aus den Verkehrszählungen berechneten durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV, Tab. 2.3) können die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren zu Jahresemissionen in Kilogramm pro Kilometer und Jahr hochgerechnet werden. Als Summe über die Fahrzeuggruppen und Richtungen ergeben sich die in Tab. 3.4 angegebenen Werte.

Danach ergibt sich für die Ortsdurchfahrt Schramberg für die motorbedingten „warmen“ NO_x-Emissionen insgesamt eine Reduktion von ca. -1% für die gesamte Strecke.

Betrachtet man die zwei Einzelabschnitte, so zeigt sich für Abschnitt 1 (in dem auch die LUBW-Messstation liegt) eine Reduktion von -4% und für Abschnitt 2 eine Zunahme von 5%.

Tab. 3.4: „Warme“ NO_x-Emissionen für die Ortsdurchfahrt Schramberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

	NO _x	stddev NO _x	stddev rel.
	[kg/(km*a)]		
T50 N			
gesamt	5614	1046	19%
Abschnitt 1	6391	2365	37%
Abschnitt 2	4646	919	20%
T30			
gesamt	5569	582	10%
Abschnitt 1	6121	1738	28%
Abschnitt 2	4888	532	11%
Reduktion			
gesamt	-0,8%		
Abschnitt 1	-4,2%		
Abschnitt 2	5,2%		

Die Berechnung der tatsächlichen Jahresemissionen wurde unter Berücksichtigung folgender Annahme 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.

In Tab. 3.5 sind die so bestimmten Jahresemissionen für T50 sowie T30 bei einem angenommenen Befolgungsgrad von 100% auf der Gesamtstrecke für NO_x dargestellt. Ebenso angegeben sind die durch Einführung von T30 jeweils erreichbaren Emissionsminderungen

Geht man von einem geringeren Befolgungsgrad aus, dann verringern sich entsprechend auch die ausgewiesenen Wirkungen. In Bild 3.7 sind die Jahresemissionen bei angenommenem Befolgungsgrad von 100% für die Einzelabschnitte grafisch dargestellt.

Tab. 3.5: *NO_x-Jahresemissionen für die Ortsdurchfahrt Schramberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad 100%)*

jährliche Emissionen [kg/(km*a)]	NO _x		
	T50 N	T30	Änderung
gesamt	5.773	5.728	-0,8%
Abschnitt 1	6.557	6.286	-4,1%
Abschnitt 2	4.802	5.044	5,0%

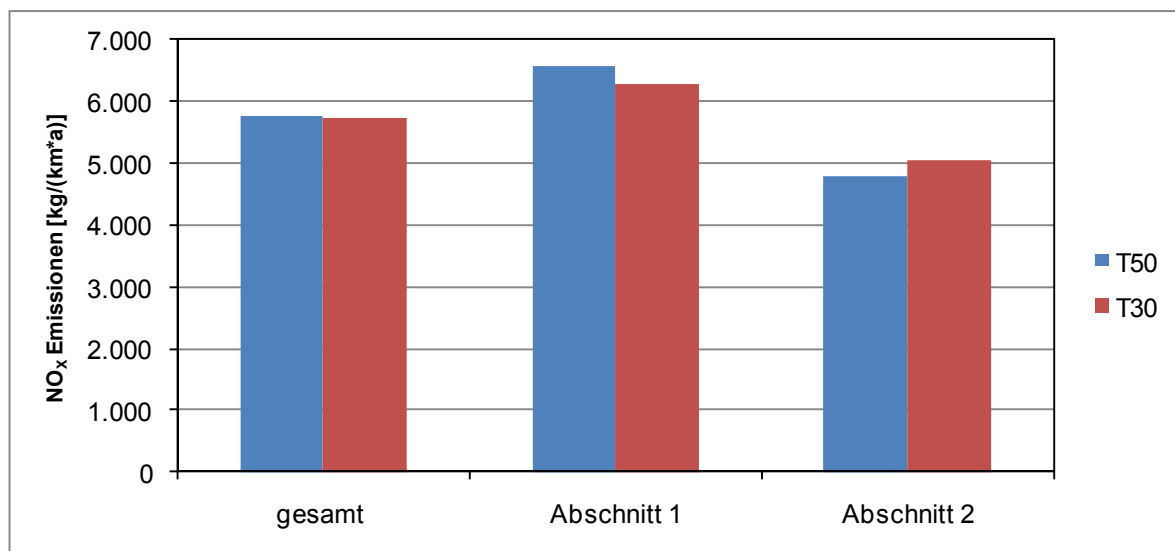


Bild 3.7: *NO_x-Jahresemission für die Ortsdurchfahrt Schramberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%)*

3.6 Auswirkung auf die Immissionsbelastung im Bereich des Hotspots

Im Rahmen der Untersuchungen zur Maßnahmenwirkung /Rau 2011/ wurde für den Analyse-Nullfall am Messpunkt Oberndorfer Straße ein NO₂-Jahresmittelwert von 53,6 µg/m³ ermittelt. Gegenüber dem Analyse-Nullfall 2010 reduziert sich die NO_x-Emission in Folge des Kfz-Verkehrs im Bereich der Messstelle, wie vorstehend ausgeführt, um 4%. Unter Annahme

der für den Analyse-Nullfall angesetzten Hintergrundbelastung von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahre 2010 und unter Berücksichtigung der nicht-linearen Umwandlung von NO_x zu NO_2 ergibt sich näherungsweise bei T30 eine Reduktion der NO_2 -Gesamtbelastung von $53,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf etwa $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

4 Zusammenfassung

Zur Ermittlung der Auswirkungen eines Tempolimits von 30 km/h in der Ortsdurchfahrt von Schramberg wurden am 25&26.01.2010 in Schramberg mit einem Pkw Messfahrten mit Tempo 50 und Tempo 30 „fiktiv“ sowie Lkw-Verfolgungsfahrten entlang dieser Ortsdurchfahrt durchgeführt. Zusätzlich wurde die Strecke mit Video erfasst und dokumentiert.

Basierend auf den erhobenen Fahrzyklen wurden mit dem Modell PHEM der TU Graz die Abgasemissionen für diese Fahrprofile berechnet. Darauf aufbauend wurden unter Berücksichtigung des lokalen dynamischen Bestands und der von RP Freiburg zur Verfügung gestellten Verkehrsstärken „warme“ Emissionsfaktoren sowie jährliche Emissionen für NO_x berechnet.

Insgesamt liegen die Emissionsfaktoren für Fahrtrichtung Osten (bergauf) deutlich höher als in Fahrtrichtung Westen (bergab).

Die Auswertung der Fahrtparameter mittlere Geschwindigkeit und RPA (*relative positive acceleration*) für T50 und T30 zeigt für beide Parameter deutliche Reduzierungen beim Übergang von T50 zu T30. Die Einführung von T30 würde also zu einer Verstetigung des Verkehrsflusses führen. Diese Verstetigung führt jedoch nicht zwangsläufig zu einer Reduktion der Emissionen, da insbesondere die Gangwahl entscheidend ist. Eine Erhöhung der Drehzahl könnte sich emissionserhöhend auswirken.

Für die Ortsdurchfahrten Schramberg ergeben sich somit für die motorbedingten „warmen“ Emissionen insgesamt Abnahmen von -1,0% bei NO_x für T30 im Vergleich zu T50.

Für die weitere Auswertung wurde die Gesamtstrecke in zwei Abschnitte unterteilt (siehe Tab. 2.1). Auf Abschnitt 1 sind die Verkehrswerte und damit die Emissionen am höchsten. Dieser Abschnitt hat die Steigung über 10% in Richtung Osten. Hier befindet sich auch die Messstation. Die Ergebnisse für die Einzelabschnitte sind mit größeren Unsicherheiten behaftet als für die Gesamtstrecke. Es zeigt sich, dass die Auswirkungen einer Einführung von T30 auf den einzelnen Teilabschnitten durchaus unterschiedlich sind. In Teilabschnitt 1, wo sich die Messstation befindet, könnten bei einem Befolgungsgrad von 100% durch die Einführung von T30 Reduktionen der „warmen“ motorbedingten NO_x Emissionen mit den gegebenen Unsicherheiten von -4% erreicht werden. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtbelastung für das NO_2 -Jahresmittel gegenüber dem Analyse-Nullfall 2010 um $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für den Teilabschnitt 2 wurde dagegen eine Erhöhung um +5% ermittelt.

5 Literaturverzeichnis

AVISO 2009

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

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

HAUSBERGER 2010

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, December 2009

HBEFA 2010

www.hbefa.net

RP FREIBURG 2010

Verkehrsuntersuchung zu den Auswirkungen von Maßnahmen auf den Straßenverkehr, MODUS CONSULT ULM GmbH, durchgeführt im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg November 2010

RAU 2011

Bestimmung der emissions- und immissionsseitigen Auswirkungen mehrerer Maßnahmen im Rahmen der Aufstellung eines Luftreinhalteplans für Schramberg. Im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg.

Heilbronn, 28.03.2011



(Dipl.-Ing. M. Rau)