Bericht

Wirkungsanalysen im Zuge der Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Stadt Ulm

hier: Tempo 30

AVISO GmbH

Abschlussbericht Mai 2011

Wirkungsanalysen im Zuge der Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Stadt Ulm

hier: Tempo 30

Abschlussbericht Mai 2011

(rpt0110t30ulm)

Bearbeitung:

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

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

Aachen, Mai 2011

Im Auftrag des Regierungspräsidiums Tübingen, 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 II
Tabellenverzeichnis IV
1 Einleitung 1
2 Messfahrten 2
2.1 Die Messstrecke 2
2.2 Auswertung der Fahrten 4
2.3 Verkehrliche Grundlagedaten 6
2.4 Auswertung der dynamischen Fahrtparameter 7
3 Emissionsberechnung 10
3.1 Modell PHEM 10
3.2 Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren 10
3.3 Emissionsfaktoren NO_X und PM10-Abgas 17
3.4 Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren zu HBEFA3.1 21
3.5 Jahresemissionen 23
4 Zusammenfassung 27
Literaturverzeichnis 28

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1: Lage der Messstrecken in Ulm 2

Bild 2.2: Fotos entlang der Messstrecken, Lage: siehe Übersichtskarte in Bild 2.1 3

Bild 2.3: Fahrprofile der Messfahrten in Fahrtrichtung **Osten** (oben) und **Westen** (unten): T50-Normalfahrt (blaue Linien) und T30-fiktv (rote Linien) 5

Bild 2.4: Fahrprofile der Messfahrten in Fahrtrichtung **Norden**: T50-Normalfahrt (blaue Linien) und T30-fiktv (rote Linien) 6

Bild 2.5: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) auf den Messstrecken in Ulm 7

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 NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **Pkw in Richtung Osten**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht 14

Bild 3.3: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **sNFz in Richtung Osten**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht 14

Bild 3.4: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **Pkw in Richtung Westen**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht 15

Bild 3.5: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **sNFz in Richtung Westen**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht 15

Bild 3.6: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **Pkw in Richtung Norden**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht 16

Bild 3.7: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **sNFz in Richtung**

Norden; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht 16

Bild 3.8: Vergleich der warmen NO_X-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 0% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz in Ulm 22

Bild 3.9: Vergleich der warmen PM10-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 0% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz in Ulm 22

Bild 3.10: Jahresemission (oben: NO_X, unten: PM10 (gesamt)) unter Berücksichtigung von Kaltstarts sowie Aufwirbelung und Abrieb für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%) 26

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Beschreibung der Teilabschnitte der Messstrecken 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 und T30-Fahrten (Gesamtstrecke und Teilabschnitte) 8

Tab. 3.1: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen für Ulm für die Fahrzeuggruppen Pkw, lNfz und sNfz im Bezugsjahr 2010 12

Tab. 3.2: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **NO_X** in Fahrtrichtung **Osten**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1) 18

Tab. 3.3: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **NO_X** in Fahrtrichtung **Westen**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1) 18

Tab. 3.4: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **NO_X** in Fahrtrichtung **Norden**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 nach Tab. 2.1) 19

Tab. 3.5: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Osten**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1) 19

Tab. 3.6: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Westen**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1) 20

Tab. 3.7: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Norden**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 nach Tab. 2.1) 20

Tab. 3.10: „Warme“ Abgas-Emissionen (NO_X und PM10, Abgas) für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 bis 3 nach Tab. 2.1) 23

Tab. 3.11: Zusammensetzung der Jahresemissionen (NO_X und PM10) für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile 24

Tab. 3.12: Jahresemissionen (NO_X und PM10 inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb) für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%, Abschnitt 1 bis 3 nach Tab. 2.1) 25

1 Einleitung

Für zwei Hauptverkehrsstraßen in Ulm (Karlstraße von Neutorstraße bis König-Wilhelm-Straße sowie Zinglerstraße von Bismarckring bis Neue 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 NO_2 zu beheben oder zumindest zu entschärfen. Einer Pressemitteilung des Umweltbundesamtes war jüngst 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 Zinglerstraße und der Karlstraße in Ulm 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 in Ulm wurden daher auf den oben genannten Strecken Messfahrten für „T50-Normalfahrt“ und „T30-fiktiv“ durchgeführt und basierend auf den erhobenen Fahrzyklen mit dem Modell PHEM die Abgasemissionen für diese Fahrprofile berechnet.

2 Messfahrten

Am 14. und 15.12.2010 wurden in Ulm 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 zweier Hauptverkehrsstraßen (Zinglerstraße und Karlstraße) durchgeführt. Zusätzlich wurde die Strecke mit Video und Digitalkamera erfasst und dokumentiert.

2.1 Die Messstrecke

Die untersuchten Messstrecken sind in Bild 2.1 dargestellt. Untersucht wurde der Bereich der Karlstraße von der Neutorstraße bis zur König-Wilhelm-Straße (Ost-West-Richtung) sowie der Bereich der Zinglerstraße vom Bismarckring bis zur Neuen Straße. Die Zinglerstraße ist im betrachteten Abschnitt eine Einbahnstraße, die nur in nördlicher Richtung befahren werden kann. Auf beiden Strecken ist der Verkehr für T50 optimiert.

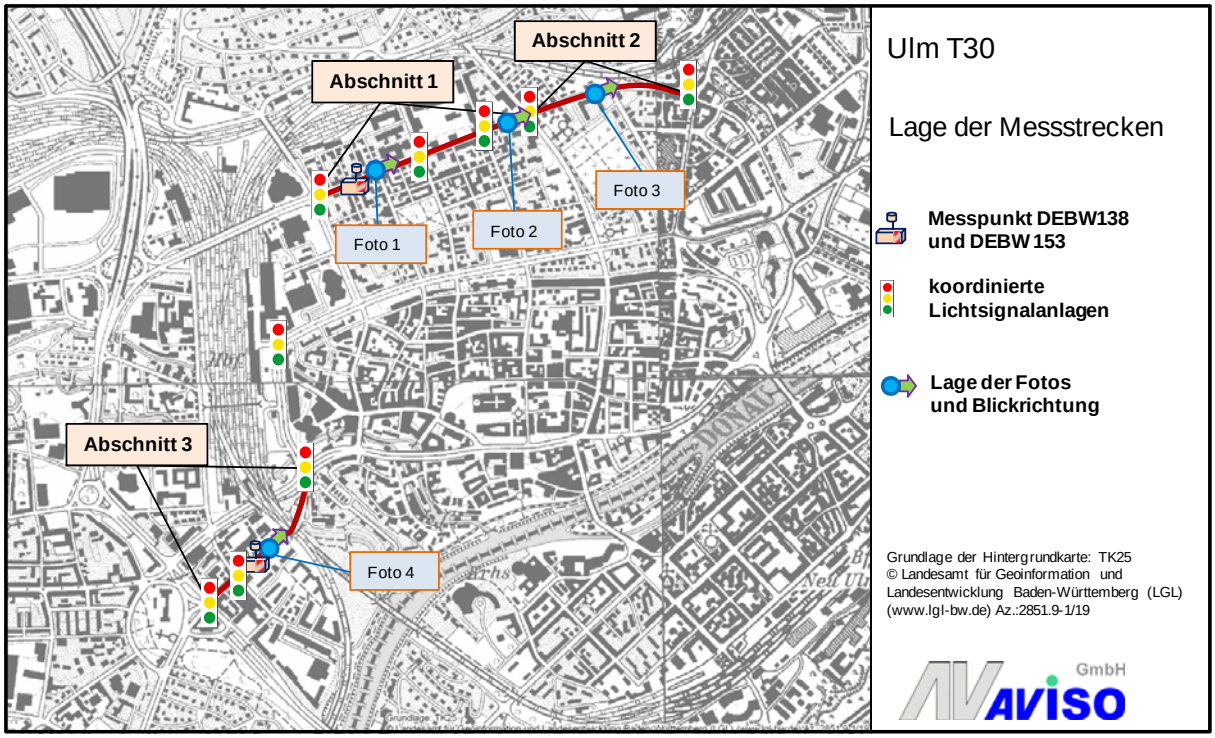


Bild 2.1: Lage der Messstrecken in Ulm

Für die Untersuchungen wurden die gefahrenen Strecken in drei Abschnitte unterteilt. Diese Teilabschnitte sind in Tab. 2.1 kurz beschrieben. Die Strecke verläuft überwiegend eben, auf

Abschnitt 1 sowie auf Abschnitt 3 befinden sich die Messstationen der LUBW für NO_2 und PM10. In Bild 2.2 sind Bilder aus den einzelnen Abschnitten dargestellt.

Abschnitt 1 ist in Fahrtrichtung Westen um ca. 200 m kürzer als in Fahrtrichtung Osten, da die Messstrecke auf den von der Baustelle im Zulauf auf den Knoten VSA 152 – Neutorstraße / Karlstraße von Osten kommend nicht beeinflussten Bereich verkürzt wurde.

Tab. 2.1: Beschreibung der Teilabschnitte der Messstrecken

ID	Straße	Abschnitt	
		von	bis
1	Karlstraße	Neutorstraße	Frauenstraße
2	Karlstraße	Frauenstraße	König-Wilhelm-Straße
3	Zinglerstraße	Bismarckring	Neue Straße

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 45 Fahrten in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw durchgeführt. Es wurden dabei T50-Normalfahrten und T30-Fahrten („fiktiv“) 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 zeitsynchron mit einem GPS-Gerät die Zeit und die Koordinaten der Fahrstrecke erfasst.

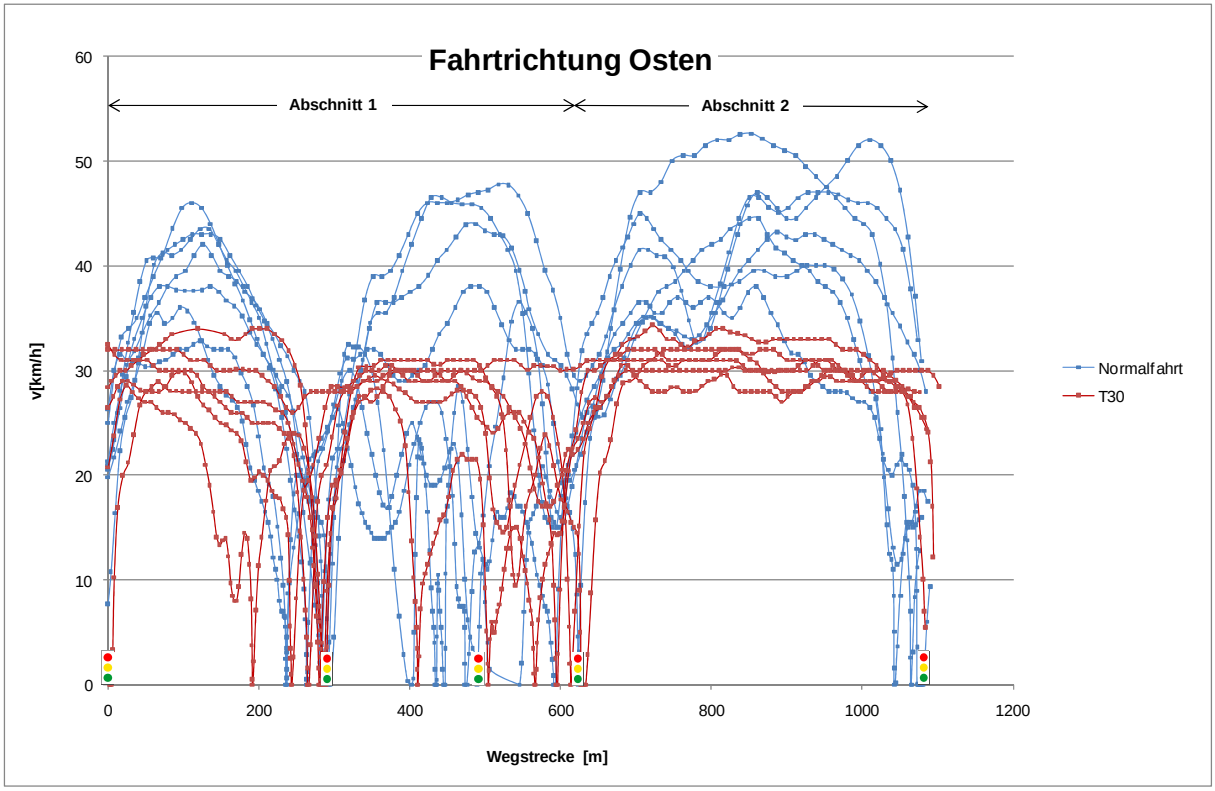
Tab. 2.2: Anzahl der durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung

Fahrtart	Anzahl
Normalfahrt T50 Richtung Osten	8
Normalfahrt T50 Richtung Westen	8
T30 Richtung Osten	6
T30 Richtung Westen	6
Normalfahrt T50 Richtung Norden	9
T30 Richtung Norden	8

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 Lichtsignalanlagen ist in den Fahrprofilen insbesondere in Fahrtrichtung Osten erkennbar, da dort bei vielen Fahrten ein Abbremsen auf Stand erfolgte. Die „Grüne Welle“ funktioniert in diesem Bereich nicht optimal. Zwischen den Halten werden bei einem Teil der T50-Fahrten wieder Geschwindigkeiten über 40 km/h erreicht, die Beschleunigungsphasen über 30 km/h fehlen bei den T30-Fahrten.

Die erreichten Höchstgeschwindigkeiten liegen in allen Fahrtrichtungen nur selten über 50 km/h. Die T30-Fahrten zeigen insgesamt ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.



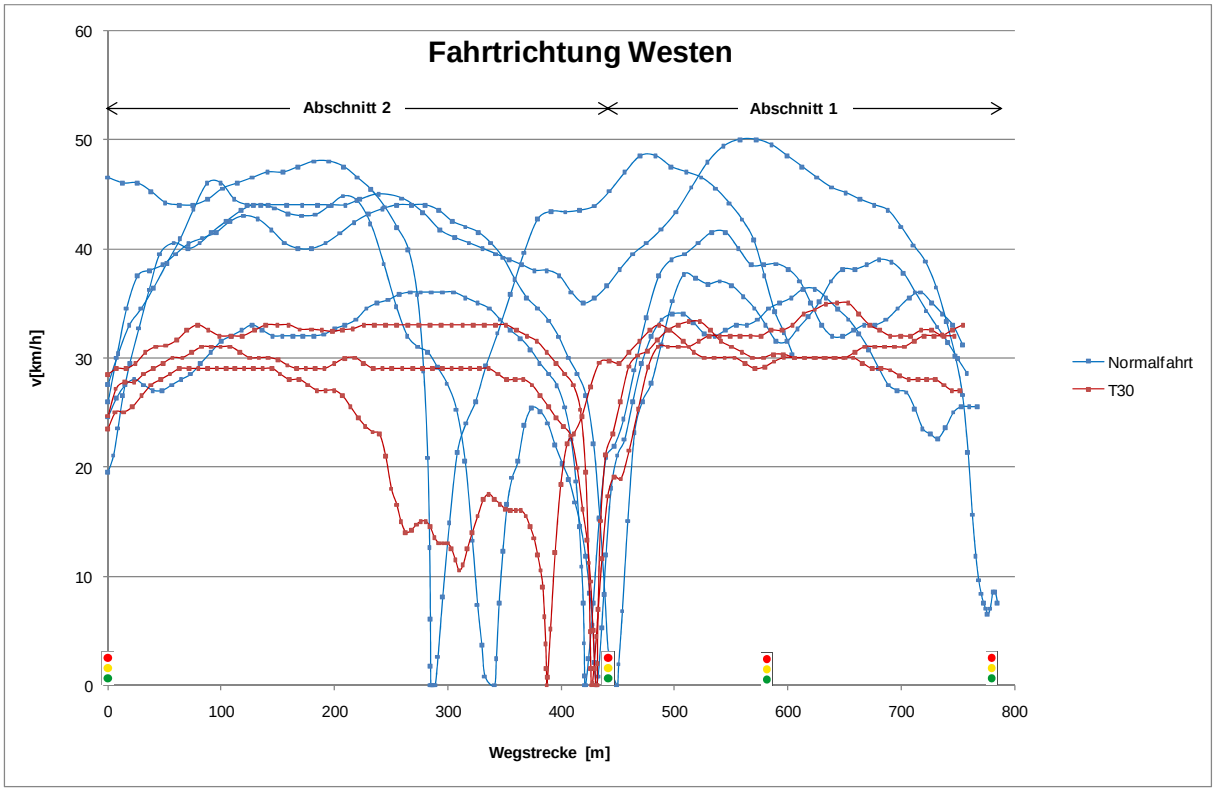


*Bild 2.3: Fahrprofile der Messfahrten in Fahrtrichtung **Osten** (oben) und **Westen** (unten): T50-Normalfahrt (blaue Linien) und T30-fiktv (rote Linien)*

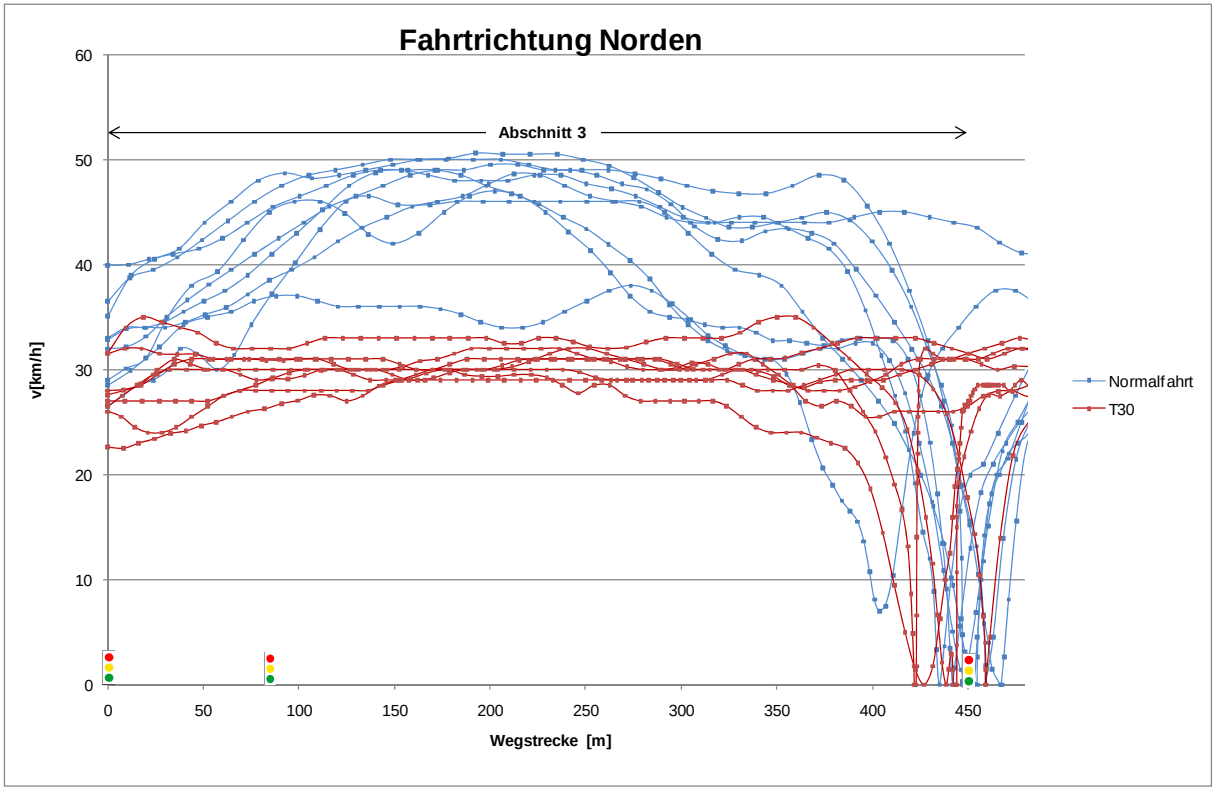


*Bild 2.4: Fahrprofile der Messfahrten in Fahrtrichtung **Norden**: T50-Normalfahrt (blaue Linien) und T30-fiktv (rote Linien)*

2.3 Verkehrliche Grundlagedaten

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

Zur Festlegung der verkehrlichen Grundlagedaten für die betrachteten Strecken wurden für das Analysejahr 2010 Verkehrsdaten (Bestand 2008) aus dem Verkehrsentwicklungsplan Ulm /Ulm 2010/ zur Verfügung gestellt. Die Anteile der betrachteten Fahrzeugarten wurden dem landesweite Emissionskataster Straßenverkehr Baden-Württemberg /AVISO 2009/ entnommen.

Die ermittelten Verkehrsstärken für das Bezugsjahr 2010 sind in Tab. 2.3 aufgeführt. 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 18.000 – 23.000 Kfz/24h, der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge zwischen 3,5% und 4,7%.

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

Kfz/ 24h	Krad	Pkw	lNfz	sNfz	Kfz
Abschnitt 1	564 *2,4%*	20.972 *91,0%*	423 *1,8%*	1.076 *4,7%*	23.036 *100,0%*
Abschnitt 2	447 *2,4%*	17.132 *91,6%*	337 *1,8%*	784 *4,2%*	18.700 *100,0%*
Abschnitt 3	387 *2,0%*	18.259 *92,7%*	376 *1,9%*	678 *3,5%*	19.700 *100,0%*

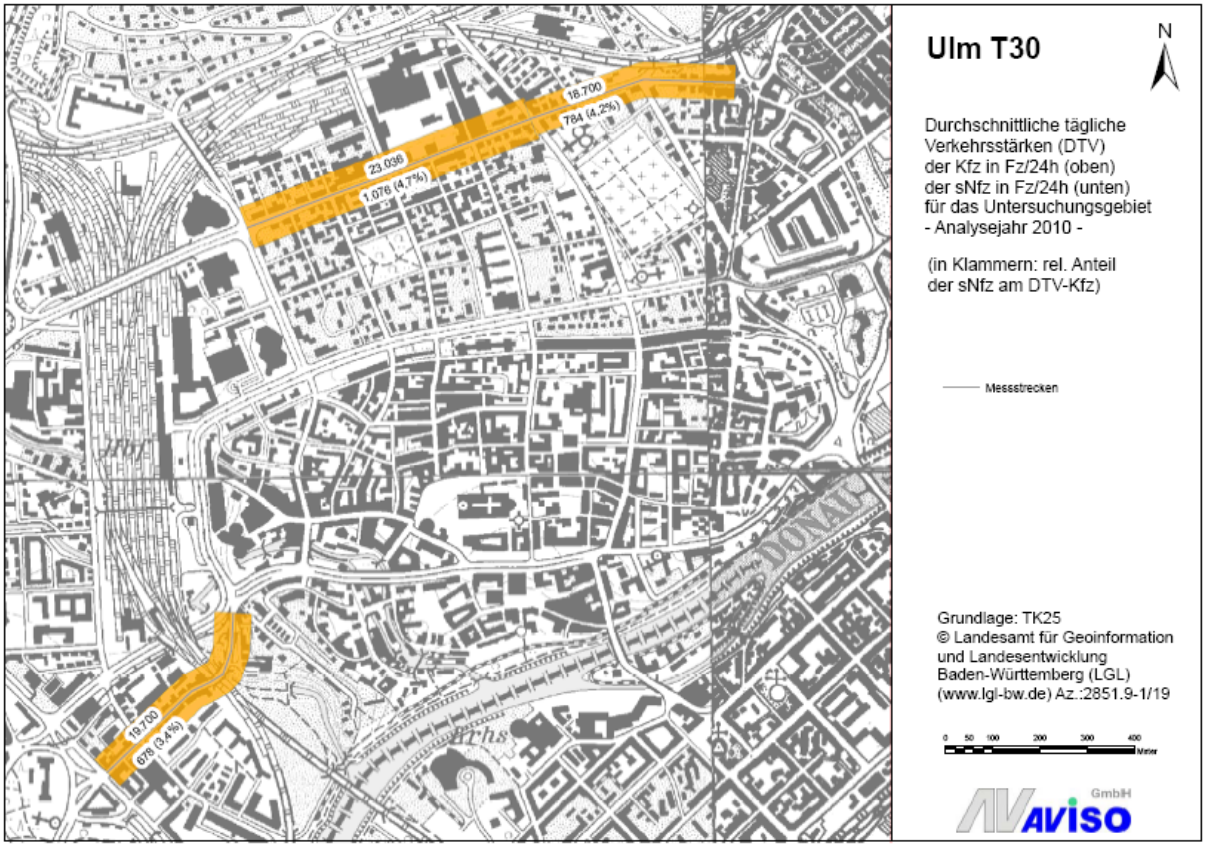


Bild 2.5: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) auf den Messstrecken in Ulm

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 Charakterisierung der Verkehrssituationen verwendet wird:

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

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 „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. 2.4 ausgewiesen.

Tab. 2.4: Mittlere Reisegeschwindigkeit und RPA pro Fahrtengruppe für die T50-Normalfahrten und T30-Fahrten (Gesamtstrecke und Teilabschnitte)

Fahrt-parameter	**Fahrtrichtung Osten**				**Fahrtrichtung Westen**			
	v [km/h]	stddev v	**RPA [m/s^2]**	stddev RPA	**v [km/h]**	stddev v	**RPA [m/s^2]**	stddev RPA
T50 N								
gesamt	**27,1**	**5,9**	**0,299**	**0,030**	**31,9**	**11,8**	**0,260**	**0,035**
Abschnitt 1	23,8	6,3	0,228	0,023	31,7	11,8	0,357	0,112
Abschnitt 2	29,5	7,9	0,401	0,261	32,0	12,0	0,181	0,081
T30					0,0	0,0	0,000	0%
gesamt	**22,8**	**4,7**	**0,164**	**0,032**	**25,5**	**2,0**	**0,136**	**0,017**
Abschnitt 1	22,7	5,4	0,136	0,043	29,1	3,6	0,171	0,077
Abschnitt 2	23,0	5,6	0,203	0,129	23,4	3,0	0,108	0,034
Reduktion								
gesamt	**-16%**		**-45%**		**-20%**		**-48%**	
Abschnitt 1	-4%		-40%		-8%		-52%	
Abschnitt 2	-22%		-49%		-27%		-40%	
	Fahrtrichtung Norden							
	v [km/h]	stddev v	**RPA [m/s^2]**	stddev RPA				
T50 N								
Abschnitt 3	33,3	7,9	0,155	0,023				
T30								
Abschnitt 3	26,9	6,2	0,093	0,028				
Reduktion								
Abschnitt 3	-19%		-40%					

In Fahrtrichtung Osten liegt die mittlere Reisegeschwindigkeit bei 27 km/h, in Fahrtrichtung Westen bei 32 km/h und in Fahrtrichtung Norden bei 33 km/h. Von den Teilabschnitten liegen in Abschnitt 1 die niedrigsten mittleren Reisegeschwindigkeiten vor. Auf diesem Abschnitt musste besonders häufig an LSA gehalten werden.

Es zeigen sich für alle Fahrtrichtungen beim Vergleich T30 zu T50-Normalfahrt Reduktionen der mittleren Fahrgeschwindigkeit, die für die Gesamtstrecke zwischen -16% und -20% liegen. Auch der Dynamik-Parameter RPA zeigt in Ulm auf den Gesamtstrecken überall Abnahmen zwischen -40% und -50%.

Bei der Interpretation der RPA-Werte auf den Einzelabschnitten ist Vorsicht angebracht, wie ein Blick auf die Standardabweichungen zeigt. Die Beschleunigung unterliegt aus physikalischen Gründen stärkeren Schwankungen als die Geschwindigkeit. Bei einer Mittelung über die Strecke wird dies zum Teil ausgeglichen. Je kürzer der betrachtete Streckenabschnitt jedoch ist, desto größer ist die Streuung der RPA-Werte zwischen den einzelnen Fahrten auf diesem Abschnitt. Trotzdem ist die Tendenz beim Übergang von T50 zu T30 eindeutig, überall wird RPA reduziert. Dies ist ein Indiz dafür, dass die T30-Fahrten weniger dynamisch verlaufen sind als die Normalfahrten T50, d.h. T30 zu einer Vergleichmäßigung des Verkehrsablaufes geführt hat.

3 Emissionsberechnung

3.1 Modell PHEM

Das Modell PHEM (Passenger car and Heavy duty Emission Model /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, lNfz und sNfz durchgeführt.

Für die weiteren Auswertungen wurden die Fahrten so ausgewählt bzw. gewichtet, dass Störungsgrad und Anzahl der Halte an LSA bei T30- und T50-Fahrten vergleichbar und repräsentativ für den Tag der Messfahrten sind.

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 sekündliche 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 Ulm, über die Schichtemissionen der Fahrzeugruppen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (lNfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) für T50 und T30 gemittelt.

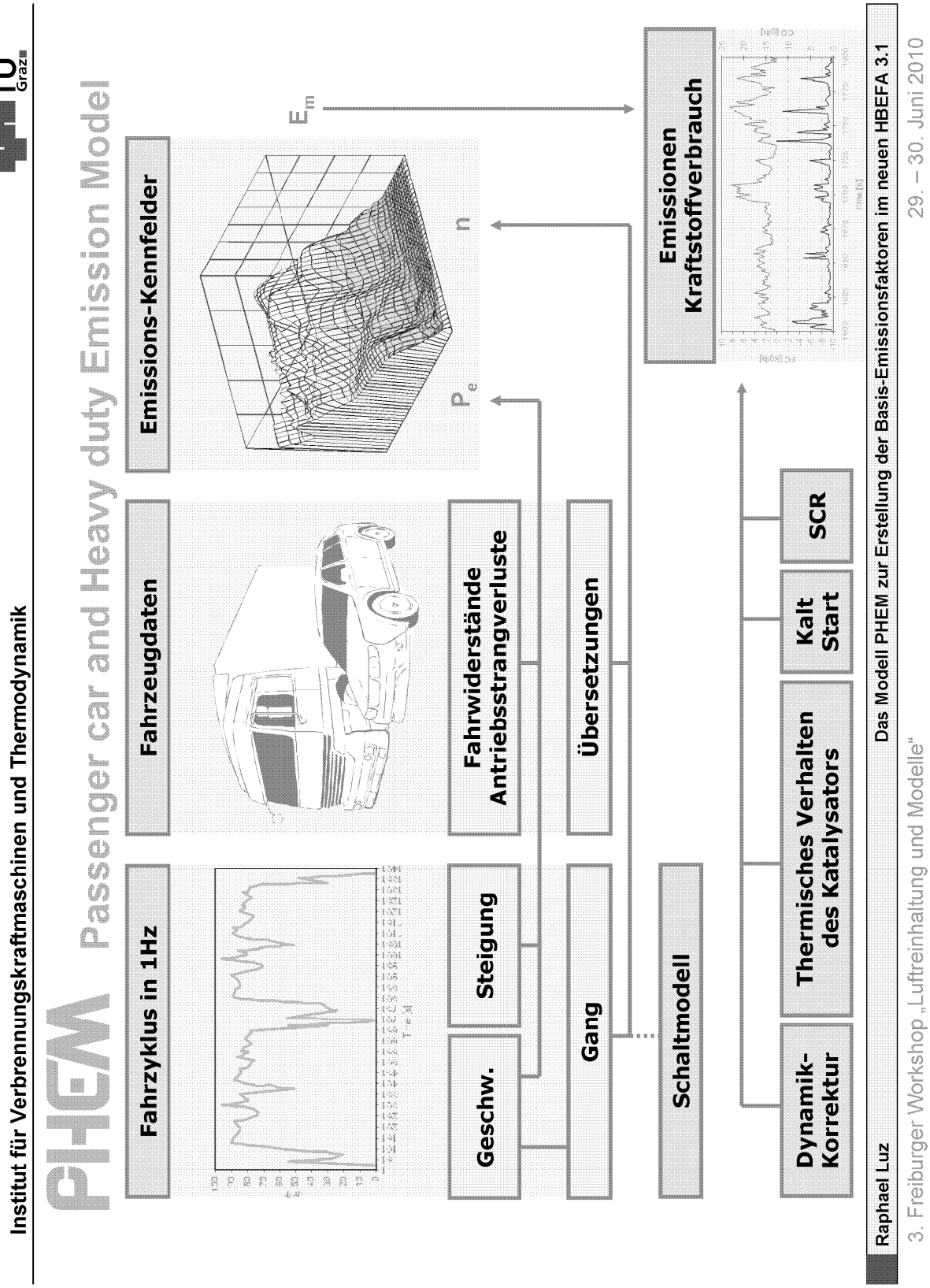


Bild 3.1: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010

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 Ulm sind dort für die Fahrzeuggruppen Pkw und lNfz die Bestandsdaten des Zulassungsbezirks Ulm 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.

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

Pkw		**lNfz**		**sNfz**	
Otto vor E1	0,4%	Otto vor E1	0,5%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	2,6%	Otto E1	0,1%	DS E I	3,0%
Otto E2	4,9%	Otto E2	0,5%	Ds E II	12,1%
Otto E3	19,5%	Otto E3	0,5%	Ds E III	27,5%
Otto E4	29,6%	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	0,3%	Ds vor E1	1,3%		
Ds E1	0,8%	Ds E1	1,4%		
Ds E2	2,5%	Ds E2	9,9%		
Ds E3	15,0%	Ds E3	30,6%		
Ds E4	21,7%	Ds E4	52,2%		
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%

Die Flotte der 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, der leichten und der schweren Nutzfahrzeuge, jeweils für beide Fahrtrichtungen. Sie sind für Pkw und lNfz in Bild 3.2 bis Bild 3.7 dargestellt. Zur besseren Orientierung

sind jeweils die mittleren Geschwindigkeiten mit eingetragen. Um die Darstellung im gleichen Diagramm zu ermöglichen, wurden die Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas) um einen Faktor 10 überhöht.

Für Ulm lässt sich aus diesen Bildern folgendes ableiten:

- Die Emissionsfaktoren für Stickoxide und Feinstaub sind während der Beschleunigungsphasen nach LSA, an denen gehalten wurde, am höchsten.

- Die T30-Emissionsfaktoren liegen im Bereich einiger LSA über den T50-Emissionsfaktoren. Dies ist zum Teil eine Folge der vom Schaltmodell in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Steigung und Motorleistung ermittelten Gangwahl. Es lässt sich zeigen, dass an diesen Stellen die mittlere Motordrehzahl bei den T30-Fahrten gegenüber den T50-Fahrten erhöht ist. Höhere Motordrehzahlen wirken sich emissionserhöhend aus.

- Die Beschleunigungsphasen mit erhöhten Emissionen sind bei Tempo 50 länger als bei Tempo 30, da im letzteren Fall die Zielgeschwindigkeit eher erreicht ist.

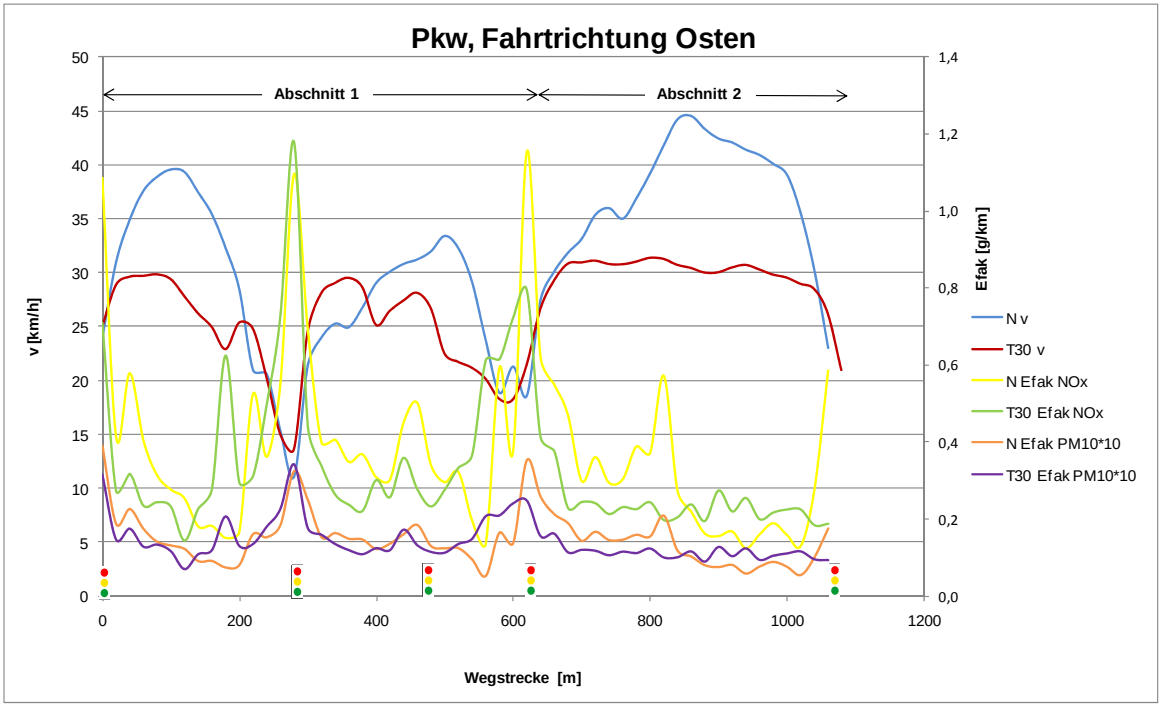


*Bild 3.2: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **Pkw in Richtung Osten**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht*

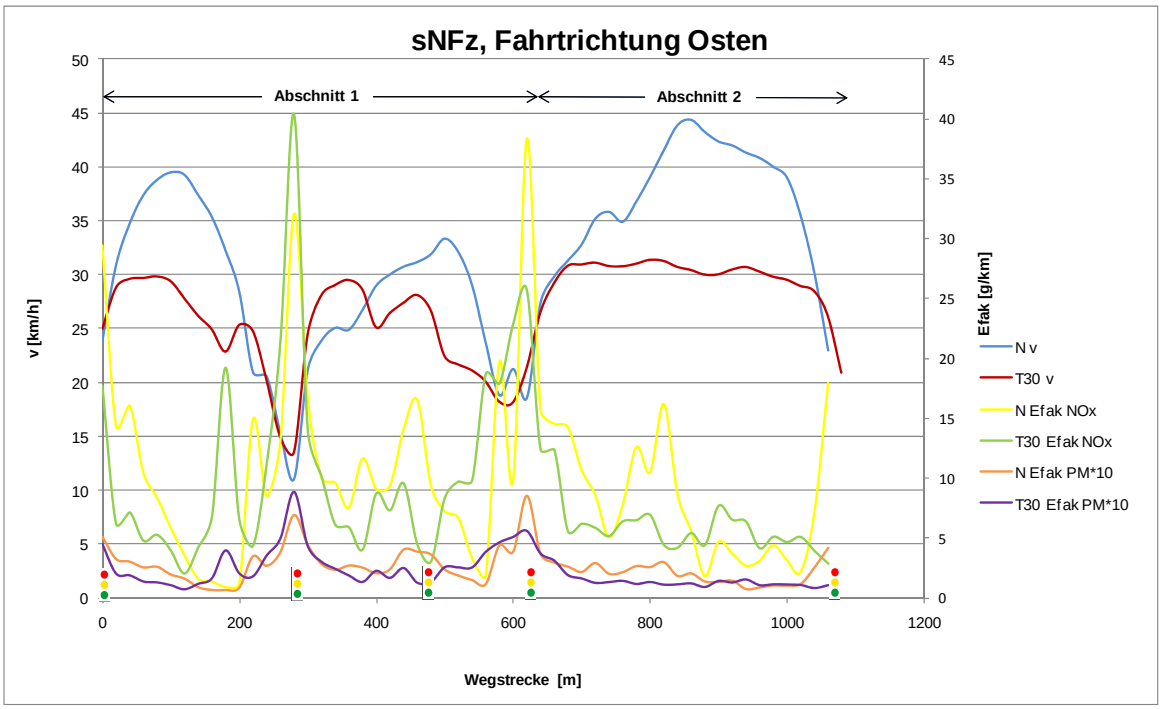


*Bild 3.3: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **sNFz in Richtung Osten**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht*

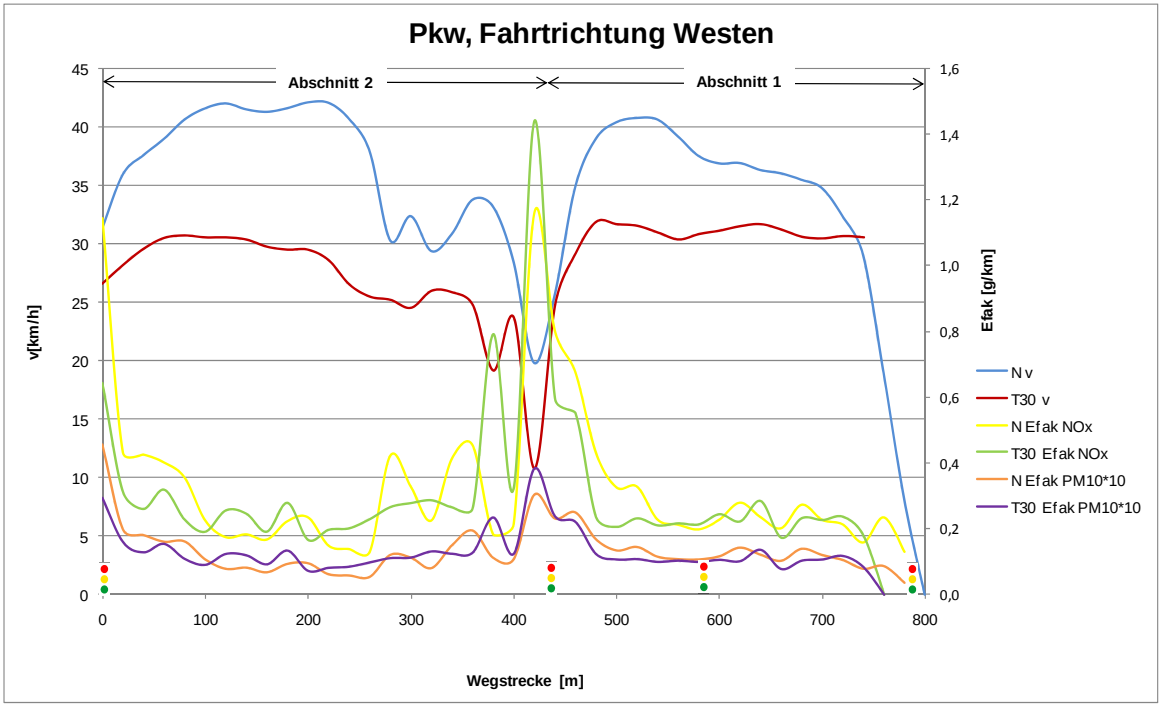


*Bild 3.4: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **Pkw in Richtung Westen**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht*

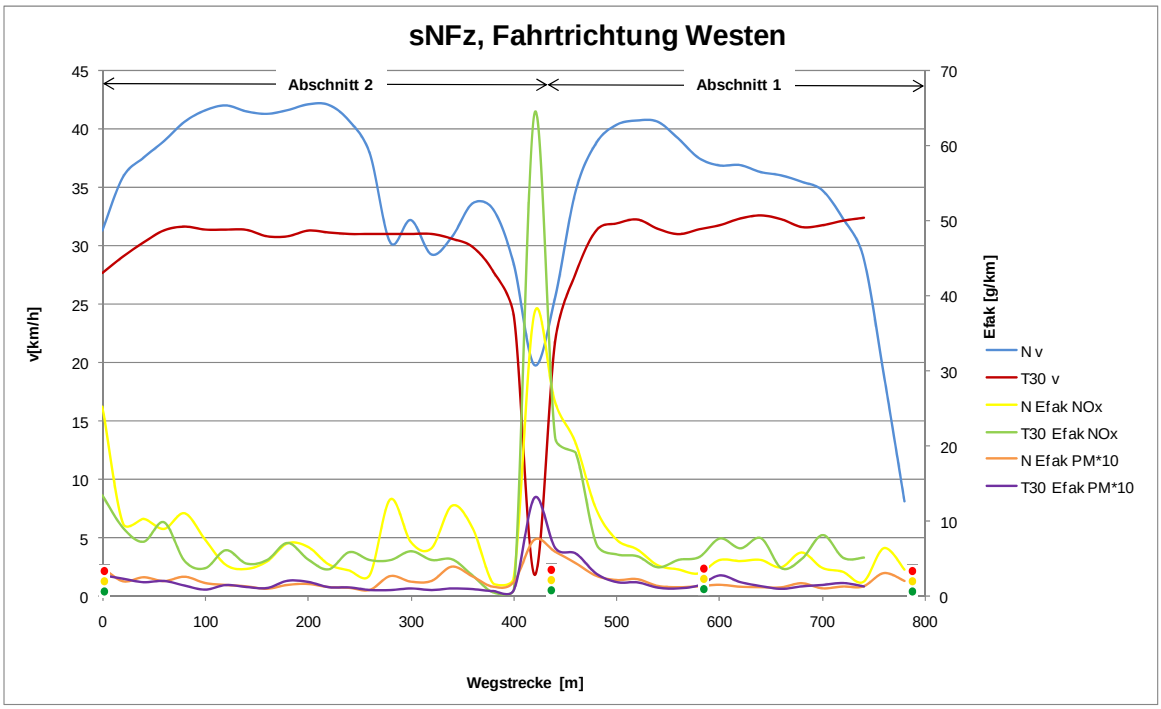


*Bild 3.5: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **sNFz in Richtung Westen**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht*

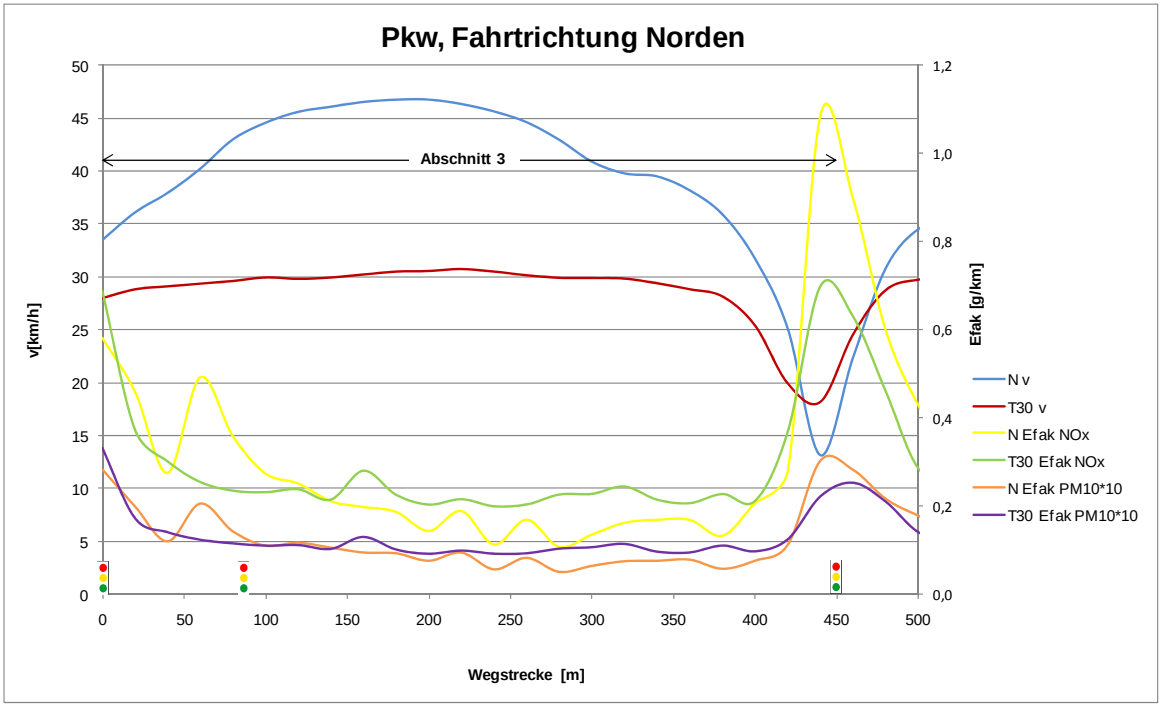


*Bild 3.6: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **Pkw in Richtung Norden**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht*

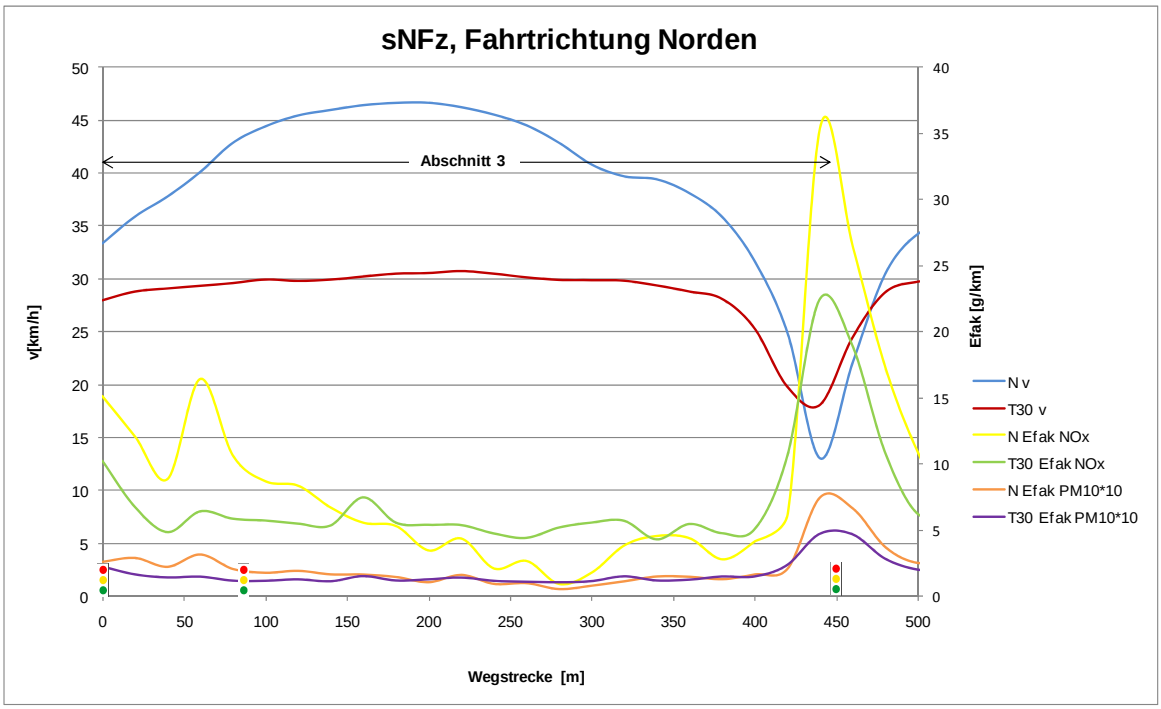


*Bild 3.7: Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten (N) und die T30-fiktiv (T30) für **sNFz in Richtung Norden**; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht*

3.3 Emissionsfaktoren NO_X und PM10-Abgas

Aus den in Bild 3.2 bis Bild 3.7 dargestellten Ganglinien können für alle drei Fahrzeuggruppen mittlere „warme“ Emissionsfaktoren für NO_X und 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.

Trotzdem liefern die Emissionsfakoren für die Einzelabschnitte nützliche Zusatzinformationen zu den Werten für die Gesamtstrecken. Die Auswirkungen eines Tempolimits können auf verschiedenen Teilabschnitten durchaus gegenläufig sein. Allerdings sind die entsprechenden Unsicherheiten zu beachten.

Die so gebildeten Emissionsfaktoren für NO_X und PM10 (Abgas) für die Fahrzeuggruppen Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sind gemittelt über die in Bild 2.1 eingetragenen Teilabschnitte in Tab. 3.2 bis Tab. 3.7 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.

*Tab. 3.2: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **NO_X** in Fahrtrichtung **Osten**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1)*

Efaktor NOx	**Pkw**			**INFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri Ost									
gesamt	**0,38**	**0,06**	**15%**	**0,86**	**0,08**	**9%**	**10,03**	**2,30**	**23%**
Abschnitt 1	0,43	0,17	39%	0,95	0,35	37%	11,30	5,85	52%
Abschnitt 2	0,31	0,06	21%	0,72	0,14	19%	8,19	2,21	27%
T30 Ri Ost									
gesamt	**0,34**	**0,08**	**23%**	**0,67**	**0,15**	**23%**	**8,88**	**2,65**	**30%**
Abschnitt 1	0,40	0,20	50%	0,85	0,42	50%	10,86	7,45	69%
Abschnitt 2	0,24	0,05	23%	0,41	0,09	23%	6,01	1,79	30%
Änderung									
gesamt	**-11,7%**			**-21,4%**			**-11,4%**		
Abschnitt 1	-5,8%			-10,2%			-3,9%		
Abschnitt 2	-23,5%			-42,9%			-26,6%		

*Tab. 3.3: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **NO_X** in Fahrtrichtung **Westen**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1)*

Efaktor NOx	**Pkw**			**INFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri West									
gesamt	**0,33**	**0,08**	**25%**	**0,72**	**0,13**	**17%**	**8,12**	**2,21**	**27%**
Abschnitt 1	0,30	0,08	26%	0,63	0,14	23%	6,99	2,25	32%
Abschnitt 2	0,35	0,15	43%	0,80	0,32	40%	9,05	4,55	50%
T30 Ri West									
gesamt	**0,31**	**0,02**	**8%**	**0,58**	**0,08**	**13%**	**7,91**	**0,65**	**8%**
Abschnitt 1	0,25	0,05	21%	0,50	0,17	35%	7,58	2,25	30%
Abschnitt 2	0,35	0,08	22%	0,64	0,17	27%	8,15	2,40	30%
Änderung									
gesamt	**-7,0%**			**-19,9%**			**-2,7%**		
Abschnitt 1	-15,9%			-21,8%			8,4%		
Abschnitt 2	-1,6%			-19,7%			-10,0%		

*Tab. 3.4: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **NO_X** in Fahrtrichtung **Norden**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 nach Tab. 2.1)*

Efaktor NOx	**Pkw**			**INFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri Nord									
Abschnitt 3	0,28	0,05	17%	0,68	0,13	19%	7,63	1,65	22%
T30 Ri Nord									
Abschnitt 3	0,28	0,07	26%	0,47	0,16	34%	6,64	2,10	32%
Änderung									
Abschnitt 3	1,5%			-30,7%			-13,0%		

*Tab. 3.5: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Osten**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1)*

Efaktor PM10	**Pkw**			**INFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri Ost									
gesamt	**0,015**	**0,002**	**14%**	**0,056**	**0,005**	**9%**	**0,262**	**0,046**	**18%**
Abschnitt 1	0,016	0,005	34%	0,058	0,010	17%	0,271	0,058	21%
Abschnitt 2	0,013	0,003	23%	0,054	0,018	33%	0,256	0,124	48%
T30 Ri Ost									
gesamt	**0,014**	**0,003**	**19%**	**0,053**	**0,010**	**19%**	**0,228**	**0,067**	**30%**
Abschnitt 1	0,016	0,006	38%	0,066	0,026	39%	0,265	0,144	54%
Abschnitt 2	0,011	0,002	19%	0,045	0,008	19%	0,202	0,069	34%
Änderung									
gesamt	**-4,7%**			**-4,7%**			**-13,1%**		
Abschnitt 1	0,3%			12,9%			-2,2%		
Abschnitt 2	-13,6%			-17,6%			-21,0%		

*Tab. 3.6: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Westen**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1)*

Efaktor PM10	**Pkw**			**lNFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri West									
gesamt	**0,013**	**0,003**	**21%**	**0,048**	**0,009**	**18%**	**0,215**	**0,049**	**23%**
Abschnitt 1	0,013	0,003	21%	0,041	0,007	18%	0,206	0,047	23%
Abschnitt 2	0,014	0,006	40%	0,053	0,020	37%	0,221	0,113	51%
T30 Ri West									
gesamt	**0,013**	**0,001**	**11%**	**0,044**	**0,004**	**9%**	**0,207**	**0,018**	**9%**
Abschnitt 1	0,011	0,002	19%	0,040	0,007	18%	0,225	0,054	24%
Abschnitt 2	0,014	0,003	24%	0,048	0,011	24%	0,194	0,053	27%
Änderung									
gesamt	**-3,6%**			**-7,4%**			**-3,4%**		
Abschnitt 1	-11,4%			-3,7%			9,3%		
Abschnitt 2	1,8%			-10,6%			-12,3%		

*Tab. 3.7: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Norden**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 nach Tab. 2.1)*

Efaktor PM10	**Pkw**			**lNFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50 N Ri Nord									
Abschnitt 3	0,012	0,002	20%	0,045	0,007	16%	0,192	0,040	21%
T30 Ri Nord									
Abschnitt 3	0,013	0,002	17%	0,041	0,010	26%	0,156	0,044	28%
Änderung									
Abschnitt 3	7,9%			-9,6%			-18,5%		

Beim Vergleich der Emissionsfaktoren NO_X für T30 „fiktiv" mit den Emissionsfaktoren NO_X für T50-Normalfahrt zeigen sich auf der Karlstraße (Ost-West-Strecke) für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge auf der Gesamtstrecke Abnahmen, die zwischen -3% (sNfz Richtung Richtung Westen) und -21% (lNfz Richtung Osten) liegen. Auf der Zinglerstraße (Richtung Norden) würde T30 für Pkw hingegen zu leichten Zunahmen führen, für lNfz und sNfz zu deutlichen Abnahmen.

Die Änderungen für PM10 sind ähnlich: Auch dabei kommt es auf der Karlstraße (Ost-West-Strecke) für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge auf der Gesamtstrecke zu Abnahmen zwischen -3% und -13%. Auf der Zinglerstraße (Richtung Norden) würde T30 für Pkw bei PM10 zu etwas stärkeren Zunahmen führen als bei NO_X, für lNfz und sNfz ebenfalls zu deutlichen Abnahmen.

Ähnliche Tendenzen, allerdings auch zum Teil gegenläufige Effekte, ergeben sich bei der Betrachtung der Einzelabschnitte. Wie oben schon erläutert, sind jedoch die Unsicherheiten bei Betrachtung der Einzelabschnitte groß.

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.

Den betrachteten Streckenabschnitten wurde die Hauptverkehrssituation „Distributor Speedlimit 50 km/h“ zugewiesen, da es sich um innerörtliche Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h handelt.

Angesichts der hohen Unsicherheiten auf den Einzelabschnitten sollen hier jedoch nur die Emissionsfaktoren für die Gesamtstrecken verglichen werden. Diese verlaufen im Wesentlichen ohne Gefälle. Daher wird für den Vergleich mit dem Handbuch eine Steigung von 0% für die Gesamtstrecke angenommen.

Für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge sind die Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 in Bild 3.8 (NO_X) und Bild 3.9 (PM10, Abgas) 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 lNfz) separat ausgewiesen werden und die PHEM-Berechnungen ausschließlich für den warmen Motor durchgeführt worden sind.

Für die Pkw liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren sowohl für NO_X wie auch für PM10 innerhalb der Spannweiten der Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 für die relevanten Verkehrssituationen.

Für die schweren Nutzfahrzeuge liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren insbesondere für PM10 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.

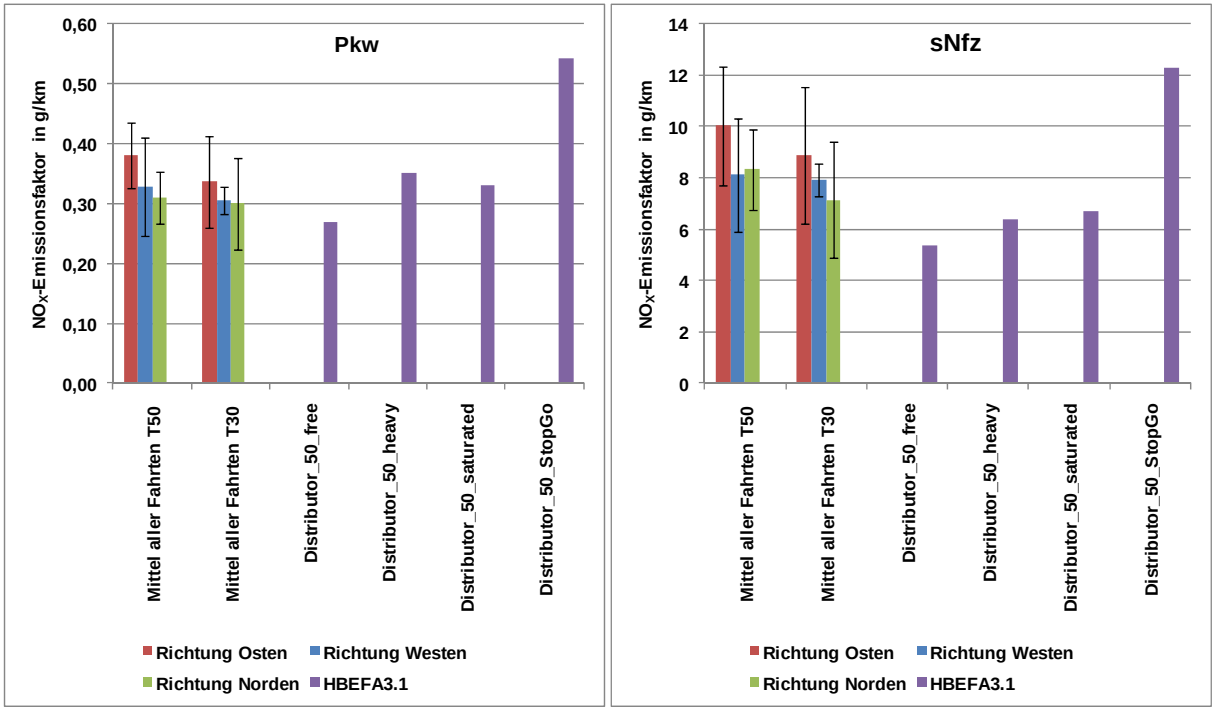


Bild 3.8: Vergleich der warmen NO_X-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 0% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz in Ulm

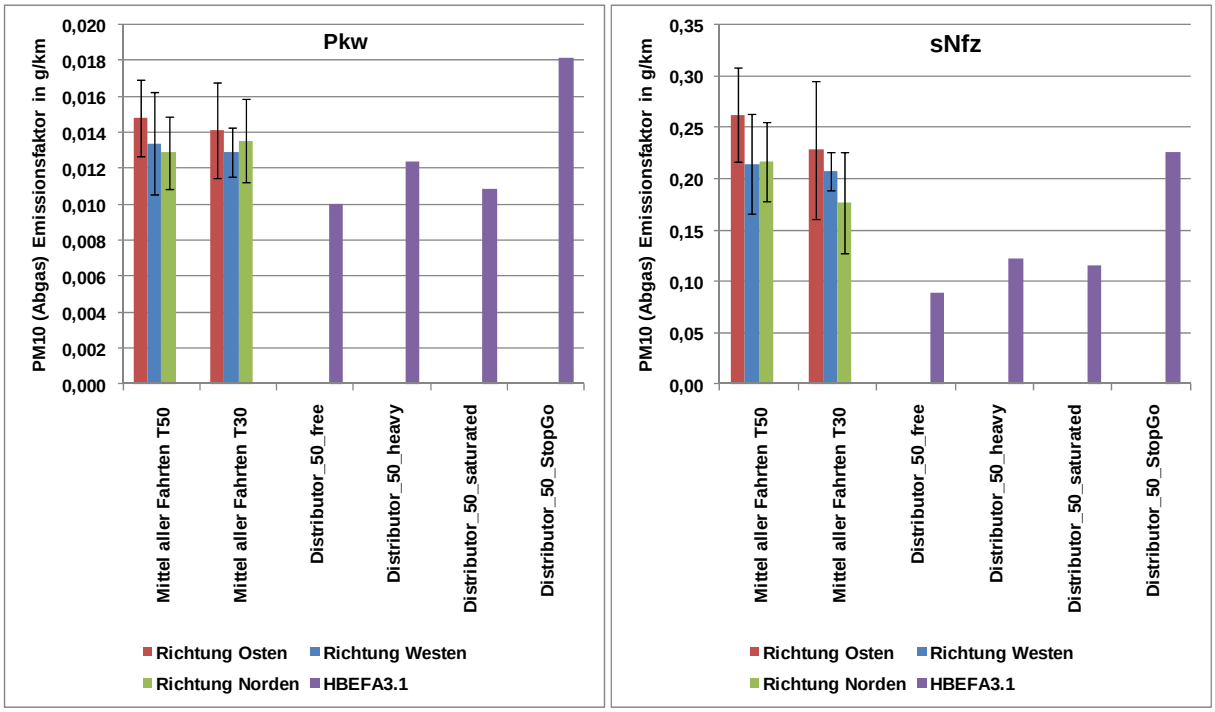


Bild 3.9: Vergleich der warmen PM10-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 0% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz in Ulm

3.5 Jahresemissionen

Mit dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV, Tab. 2.3) können die Emissionsfaktoren zu Jahresemissionen in Kilogramm pro Kilometer und Jahr hochgerechnet werden. Dabei wird unterstellt, dass die an einem Werktag zu allen Tageszeiten durchgeführten Messfahrten für das gesamte Jahr repräsentativ sind. Als Summe über die Fahrzeuggruppen und Richtungen ergeben sich die in Tab. 3.8 angegebenen Werte.

Tab. 3.8: „Warme“ Abgas-Emissionen (NO_X und PM10, Abgas) für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 bis 3 nach Tab. 2.1)

	NOx	**stddev NOx**	**stddev rel.**	**PM10 (Abgas)**	**stddev PM10**	**stddev rel.**
	[kg/(km*a)]			[kg/(km*a)]		
T50 N						
W-O gesamt	**5.882**	**1.307**	**22,2%**	**194**	**36**	**18,4%**
Abschnitt 1	6.583	2.597	39,4%	216	54	25,1%
Abschnitt 2	4.700	1.693	36,0%	161	64	39,6%
N-S						
Abschnitt 3	3.877	758	19,5%	133	27	20,0%
T30						
W-O gesamt	**5.373**	**960**	**17,9%**	**182**	**31**	**17,0%**
Abschnitt 1	6.310	2.953	46,8%	213	74	34,9%
Abschnitt 2	3.977	1.041	26,2%	144	36	25,1%
N-S						
Abschnitt 3	3.630	1.034	28,5%	130	27	20,8%
Änderung						
W-O gesamt	**-8,6%**			**-6,2%**		
Abschnitt 1	-4,1%			-1,2%		
Abschnitt 2	-15,4%			-10,8%		
N-S						
Abschnitt 3	-6,4%			-2,4%		

Es ergeben sich in Ulm für die motorbedingten „warmen“ Emissionen auf der Karlstraße (West-Ost-Richtung) insgesamt Abnahmen von ca. -9% bei NO_X und von -6% bei PM10 (Abgas). Auf der Zinglerstraße (Richtung Norden) ergeben sich Abnahmen von ca. -6% bei NO_X und von -2% bei PM10 (Abgas).

Die Messstationen befinden sich auf der Karlstraße in Teilabschnitt 1 sowie auf der Zinglerstraße. In Abschnitt 1 sind die Minderungen mit -4% (NO_X) bzw. -1% etwas geringer

als auf der Gesamtstrecke. Bei der Interpretation der Teilergebnisse sind die oben genannten Einschränkungen zu beachten.

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

- Für die Kaltstartemissionen, die in HBEFA3.1 für Pkw und lNfz 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 auf den Abschnitten 2 und 3 durch die Einführung von T30 um ca. 10% reduziert werden können; auf Abschnitt 1, der stark von LSA beeinflusst ist, wurde keine Reduktion angesetzt (in Anlehnung an /BAST 2009/).

In Tab. 3.9 sind die so bestimmten Jahresemissionen für T50 sowie T30 mit angenommenen Befolgungsgraden von 100% und 50% für die Gesamtstrecke ausgewiesen. In Tab. 3.10 sind diese Jahresemissionen für die Einzelabschnitte angegeben (nur Befolgungsgrad 100%). Ebenso dargestellt sind die durch Einführung von T30 jeweils erreichbaren Emissionsminderungen.

Tab. 3.9: Zusammensetzung der Jahresemissionen (NO_X und PM10) für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile

jährliche Emissionen [kg/(km*a)]	NO_X Strecke W-O	NO_X Richtung Nord	PM10 Strecke W-O	PM10 Richtung Nord
"Warme" Emissionen T50	5.882	3.877	194	133
"Warme" Emissionen T30	5.373	3.630	182	130
Kaltstartzuschlag	187	178	24	23
Aufwirbelung und Abrieb T50			406	309
Aufwirbelung und Abrieb T30			378	278
Jahresemissionen T50	6.069	4.055	624	465
Jahresemissionen T30, Befolgungsgrad 100%	5.560	3.808	584	431
Jahresemissionen T30, Befolgungsgrad 50%	5.814	3.931	604	448
Änderung Befolgungsgrad 100%	-8,4%	-6,1%	-6,4%	-7,3%
Änderung Befolgungsgrad 50%	-4,2%	-3,0%	-3,2%	-3,7%

Tab. 3.10: Jahresemissionen (NO_X und PM10 inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb) für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%, Abschnitt 1 bis 3 nach Tab. 2.1)

jährliche Emissionen	**NO_X**	**PM10**	**NO_X**	**PM10**	**NO_X**	**PM10**
[kg/(km*a)]	T50 N		T30		Änderung	
gesamt W-O	**6.069**	**624**	**5.560**	**584**	**-8,4%**	**-6,4%**
Abschnitt 1	6.785	700	6.511	674	-4,0%	-3,6%
Abschnitt 2	4.866	515	4.142	464	-14,9%	-9,9%
Ri Nord						
Abschnitt 3	4.055	465	3.808	431	-6,1%	-7,3%

Bei den Gesamtemissionen für NO_X und PM10 würde die Einführung von T30 bei den aktuell vorliegenden Ampelschaltungen überall zu Emissionsminderungen führen. (NO_X: -8% auf der Karlstraße und -6% auf der Zinglerstraße, PM10: -6% auf der Karlstraße und -7% auf der Zinglerstraße).

Wie schon bei den Emissionsfaktoren (siehe Tab. 3.2 bis Tab. 3.7) sind diese Minderungen auf Teilabschnitt 1, auf dem sich die Messstation Karlstraße befindet, mit ca. -4% für NO_X und für PM10 etwas schwächer ausgeprägt als auf der Gesamtstrecke W-O. Hier sind, wie auch bei den Emissionsfaktoren und den „warmen“ Emissionen, hohe Unsicherheiten aufgrund der Kürze des Abschnitts zu beachten.

In Bild 3.10 sind die Jahresemissionen bei angenommenem Befolgungsgrad von 100% auch für die Einzelabschnitte grafisch dargestellt.

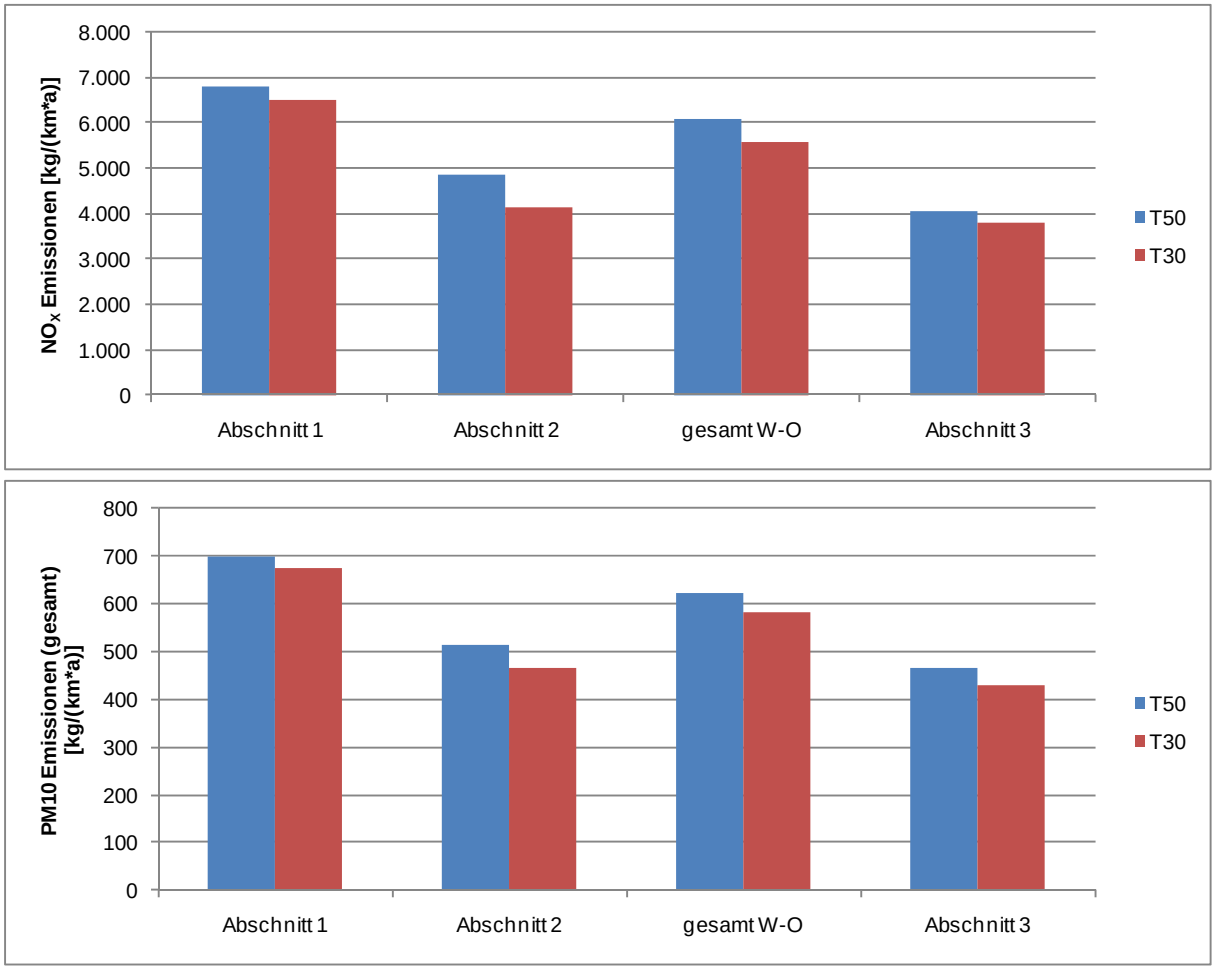


Bild 3.10: Jahresemission (oben: NO_X, unten: PM10 (gesamt)) unter Berücksichtigung von Kaltstarts sowie Aufwirbelung und Abrieb für die Messstrecken in Ulm, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (angenommener Befolgungsgrad: 100%)

4 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 zwei Hauptverkehrsstraßen in Ulm (Karlstraße von Neutorstraße bis König-Wilhelm-Straße sowie Zinglerstraße von Bismarckring bis Neue Straße) am 14. und 15.12.2010 mit einem Pkw Messfahrten zur Aufnahme von Fahrprofilen (v=f(t)) mit Tempo 50 und Tempo 30 „fiktiv“ durchgeführt. Zusätzlich wurde 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 sekündlich berechnet. Unter Berücksichtigung der lokalen dynamischen Fahrzeugbestände und der bei den Zählungen erhobenen Verkehrsstärken wurden „warme“ Abgas-Emissionsfaktoren sowie jährliche Emissionen (unter Einbeziehung von Kaltstarts) für NO_X und PM10 (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 Fahrtparameter RPA (*relative positive acceleration*) wird überall reduziert. Die Einführung von T30 würde also zu einer Verstetigung des Verkehrsflusses führen. Diese Verstetigung 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.

Für die Messstrecken in Ulm ergeben sich bei den aktuell vorliegenden LSA-Schaltungen für die Gesamtemissionen inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb (in Anlehnung an /BAST 2009/) in allen Fahrtrichtungen für NO_X und PM10 Abnahmen, die zwischen -6% und -8% liegen. Diese Reduktionen sind geringer als die Rückgänge bei RPA und werden unter Annahme eines Befolgungsgrads von 100% erreicht.

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

LUTZ 2010
NO_2-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 NO_2-Immissionen, Gesetzgebung, Luftbelastung, Lösungen, Heidelberg, 3./4. März 2010

Ulm 2010
Information per Email von Herrn Uwe Reimers, Stadt Ulm, Hauptabteilung VGV, Abteilung Verkehrsplanung und Straßenbau