

# Bericht

## Tempo 30-Messfahrten und Maßnahmen der Verkehrsverflüssigung und -verstetigung in Heidenheim

# **Tempo 30-Messfahrten und Maßnahmen der Verkehrsverflüssigung und -verstetigung in Heidenheim**

## **Abschlussbericht Juni 2011**

(rps0410t30hdh)

### **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

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

**Aachen, Juni 2011**

**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](mailto:info@avisogmbh.de)  
<http://www.avisogmbh.de>



# 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 .....	6
2.4 Auswertung der dynamischen Fahrtparameter.....	7
3 Emissionsberechnung.....	9
3.1 Modell PHEM.....	9
3.2 Flottenzusammensetzung.....	9
3.3 Emissionsfaktoren NO <sub>x</sub> und PM10-Abgas .....	11
3.4 Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren zu HBEFA3.1 .....	14
3.5 Jahresemissionen .....	17
4 Weitere Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrs .....	21
5 Zusammenfassung.....	24
Literaturverzeichnis .....	25

## Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1:	Lage der Messstrecken in Heidenheim .....	2
Bild 2.2:	Fotos entlang der Messstrecken, Lage: siehe Übersichtskarte in Bild 2.1 .....	3
Bild 2.3:	Fahrprofile der Messfahrten in Fahrtrichtung <b>Osten</b> (oben) und <b>Westen</b> (unten): Pkw-Normalfahrten T50 (blaue Linien) Lkw-Verfolgungsfahrten (rote Linien) .....	5
Bild 2.4:	Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) auf den Messstrecken in Heidenheim.....	7
Bild 3.1:	Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010 .....	10
Bild 3.2:	Vergleich der warmen NO <sub>x</sub> -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 Heidenheim .....	16
Bild 3.3:	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 Heidenheim .....	16
Bild 3.4:	Jahresemission (oben: NO <sub>x</sub> , unten: PM10 (gesamt)) unter Berücksichtigung von Kaltstarts sowie Aufwirbelung und Abrieb für die Messstrecke in Heidenheim (angenommener Befolungsgrad: 100%) .....	20
Bild 4.1:	Exemplarische Darstellung der „Verflüssigung“ der Fahrprofile und der Auswirkungen auf die NO <sub>x</sub> - Emissionsfaktoren .....	22

## 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.....	6
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 Heidenheim für die Fahrzeuggruppen Pkw, INfz und sNfz im Bezugsjahr 2010.....	11
Tab. 3.2: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für <b>NO<sub>x</sub></b> in Fahrtrichtung <b>Osten</b> , abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1).....	12
Tab. 3.3: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für <b>NO<sub>x</sub></b> in Fahrtrichtung <b>Westen</b> , abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 und 4 nach Tab. 2.1).....	12
Tab. 3.4: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für <b>PM<sub>10</sub></b> (Abgas) in Fahrtrichtung <b>Osten</b> , abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1).....	13
Tab. 3.5: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für <b>PM<sub>10</sub></b> (Abgas) in Fahrtrichtung <b>Westen</b> , abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 und 4 nach Tab. 2.1).....	13
Tab. 3.6: „Warme“ Abgas-Emissionen (NO <sub>x</sub> und PM <sub>10</sub> , Abgas) für die Messstrecke in Heidenheim, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 bis 4 nach Tab. 2.1).....	17
Tab. 3.7: Zusammensetzung der Jahresemissionen (NO <sub>x</sub> und PM <sub>10</sub> ) für die Messstrecke in Heidenheim .....	18
Tab. 3.8: Jahresemissionen (NO <sub>x</sub> und PM <sub>10</sub> inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb) für die Messstrecke in Heidenheim (angenommener Befolgungsgrad: 100%, Abschnitt 1 bis 4 nach Tab. 2.1).....	19
Tab. 4.1: Drei unterschiedliche Betrachtungsansätze zur Abschätzung von Minderungspotentialen durch Verstetigung des Verkehrs und jeweils erreichbare Reduktionen der jährlichen NO <sub>x</sub> - und PM <sub>10</sub> (gesamt) Emissionen (Abschnitt 1 bis 4 nach Tab. 2.1).....	22

# 1 Einleitung

Für die ost-westliche Ortsdurchfahrt in Heidenheim (B 466: Clichystraße und Brenzstraße von der Darwinstraße bis zur Ulmer Straße in Richtung Osten sowie Theodor-Heuss-Straße, Olgastraße und Wilhelmstraße von der Ulmer Straße bis zur Schellingstraße in Richtung Westen) 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 PM<sub>10</sub> und/oder NO<sub>2</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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 ost-westlichen Ortsdurchfahrt in Heidenheim eine Aussage zum Einfluss eines Tempolimits T30 auf die PM<sub>10</sub>- und NO<sub>x</sub>-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 Heidenheim wurden daher auf den oben genannten Strecken Messfahrten durchgeführt und basierend auf den erhobenen Fahrzyklen mit dem Modell PHEM die Abgasemissionen für diese Fahrprofile berechnet. Da entlang der Messstrecke eine LSA-Koordinierung mit Progressionsgeschwindigkeit 50 km/h besteht, kam eine Kombination aus Messfahrten (T50) und Mikrosimulationen (T50 sowie T30 mit entsprechend angepassten LSA-Steuerungen) zum Einsatz.

## 2 Messfahrten

Am 13. und 14.12.2010 wurden in Heidenheim 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 ost-westlichen Ortsdurchfahrt durchgeführt. Zusätzlich wurde 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 B 466 von der Darwinstraße über die Clichystraße und die Brenzstraße bis zur Ulmer Straße in östlicher Richtung sowie in westlicher Richtung von der Ulmer Straße über die Theodor-Heuss-Straße, die Olgastraße und die Wilhelmstraße bis zur Schellingstraße. Es handelt sich bei der Messstrecke um ein nur in den genannten Richtungen zu befahrendes Einbahnstraßensystem. Auffallend sind die vielen relativ eng beieinander liegenden LSA, es besteht eine „Grüne Welle“.

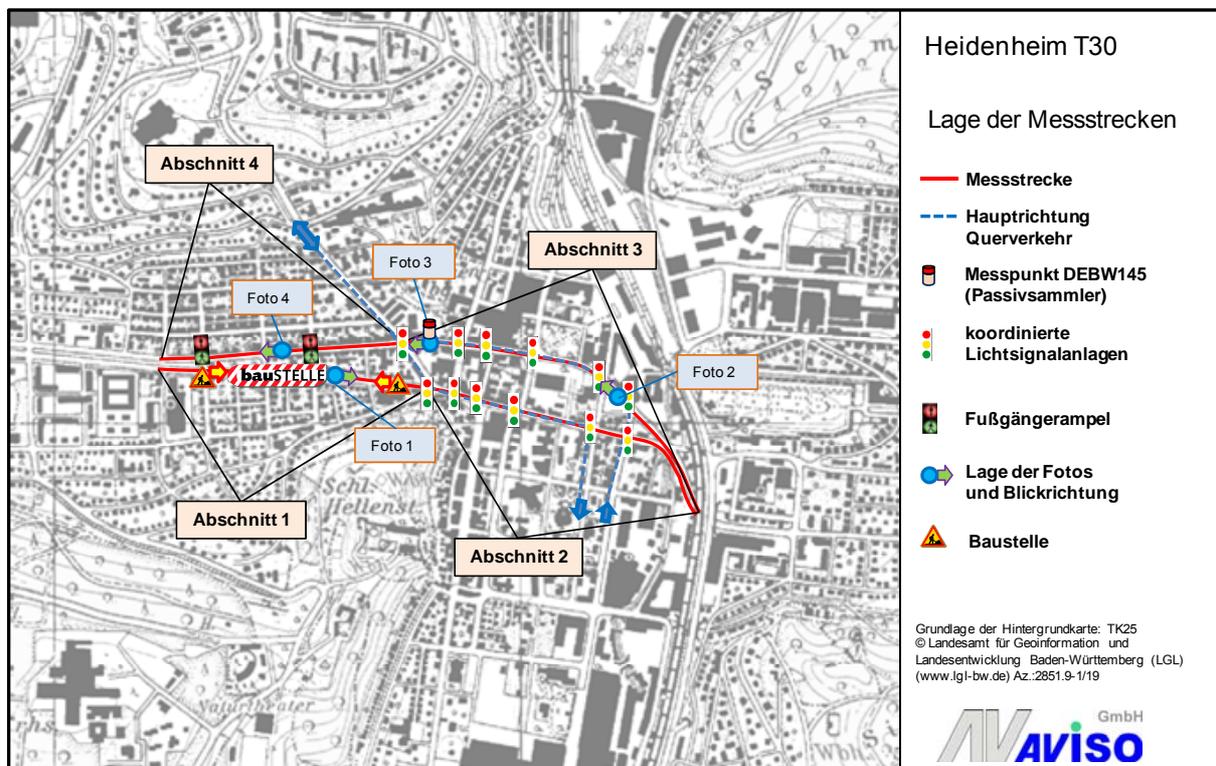


Bild 2.1: Lage der Messstrecken in Heidenheim

Für die Untersuchungen wurde die gefahrene Strecke in vier Abschnitte unterteilt. Diese Teilabschnitte sind in Tab. 2.1 kurz beschrieben. Die Strecke verläuft überwiegend eben, auf Abschnitt 3 befindet sich die Messstation der LUBW für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>. In Bild 2.2 sind Bilder aus den einzelnen Abschnitten dargestellt.

Tab. 2.1: Beschreibung der Teilabschnitte der Messstrecken

ID	Straße	Abschnitt von	bis
1	Clichystraße	Darwinstraße	Bergstraße
2	Brenzstraße/Theodor-Heuss-Straße	Bergstraße	Ulmer Straße
3	Olgastraße/Theodor-Heuss-Straße	Ulmer Straße	Bergstraße
4	Wilhelmstraße	Bergstraße	Schellingstraße

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 90 Fahrten in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw durchgeführt. Es wurden dabei Pkw-Normalfahrten T50 und Lkw-Verfolgungsfahrten unterschieden.

Da die LSA entlang der Messstrecken mit einer Progressionsgeschwindigkeit von 50 km/h koordiniert sind, waren T30-Messfahrten nicht möglich. Eine Ausnahme bildete Teilabschnitt 1, auf dem sich eine Baustelle befand, in deren Bereich nur mit Tempo30 gefahren werden konnte.

Es wurden daher zusätzlich zu den Messfahrten Mikrosimulationen für T50 (7.400 Profile in Fahrtrichtung Osten und 4.800 Profile in Fahrtrichtung Westen) sowie für T30 (4.700 Profile in Fahrtrichtung Osten und 6.600 Profile in Fahrtrichtung Westen) zur Bestimmung der Auswirkungen von T30 auf die Verkehrsqualität erstellt. Für die simulierten T30-Fahrprofile wurde die Progressionsgeschwindigkeit der LSA entsprechend angepasst.

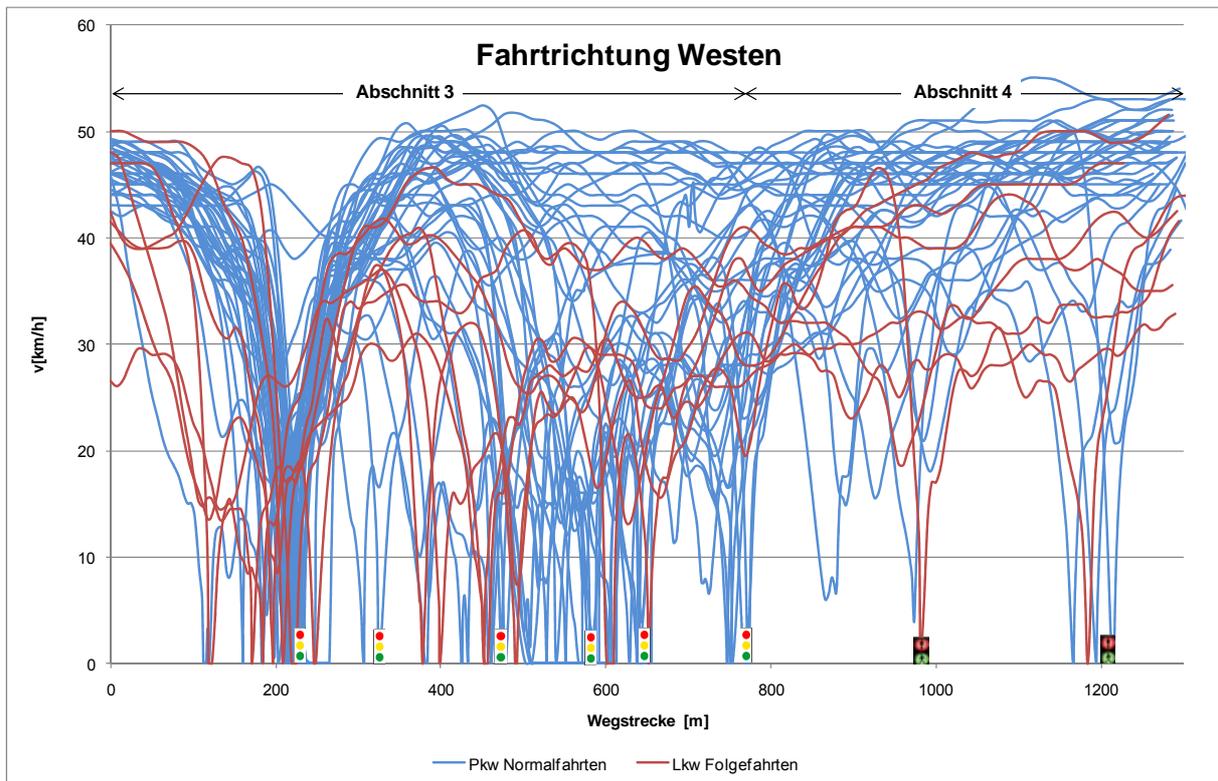
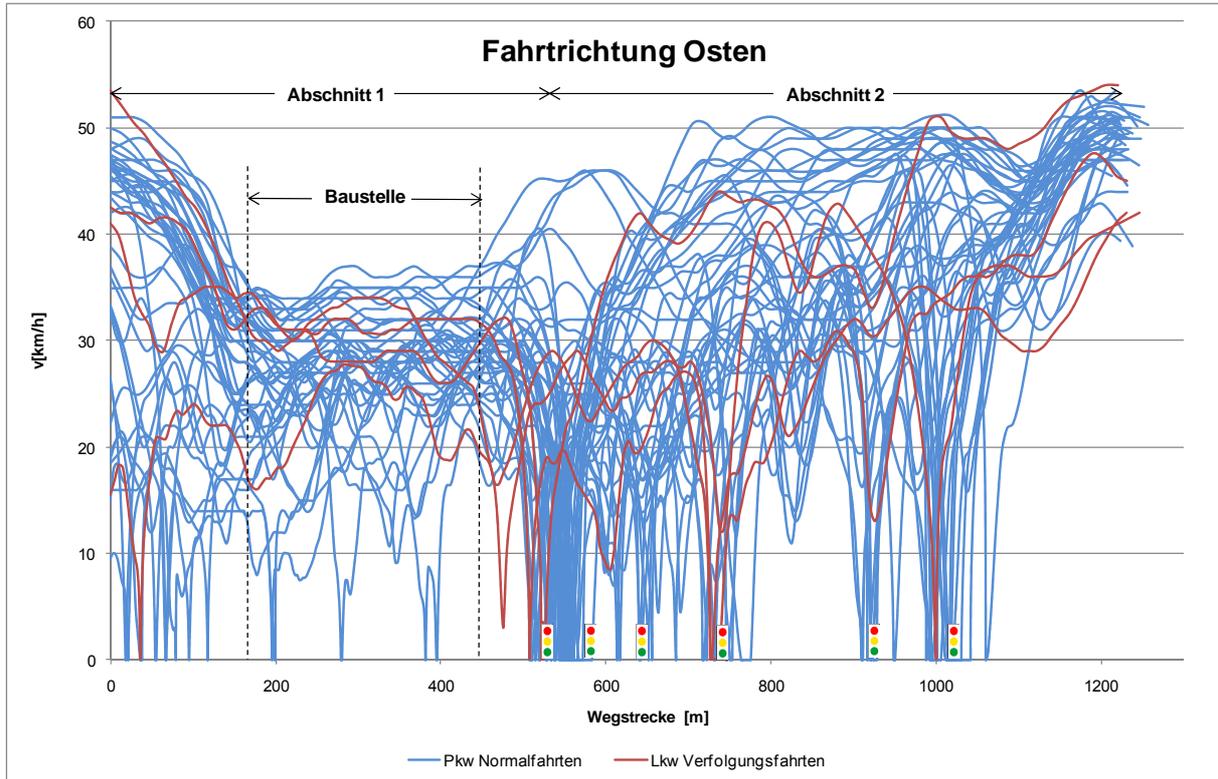
Die Anzahl der Messfahrten ist in Tab. 2.2 dargestellt. Bei der Durchführung der Fahrten wurde beachtet, die unterschiedlichen Möglichkeiten der Fahrtenbeziehungen am Anfangs- und Endknotenpunkt ausreichend abzudecken.

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

	Anzahl Fahrten
Normalfahrt T50 Richtung Ost	41
Normalfahrt T50 Richtung West	38
Lkw-Verfolgungsfahrt Richtung Ost	4
Lkw-Verfolgungsfahrt Richtung West	7

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.

In Bild 2.3 sind die gemessenen Fahrprofile dargestellt. Es ist jeweils für alle Messfahrten die aktuelle Fahrgeschwindigkeit über die gefahrene Wegstrecke aufgetragen. Insbesondere in Fahrtrichtung Osten konnten nur wenige Lkw-Verfolgungsfahrten durchgeführt werden. Diese Fahrprofile unterscheiden sich im Charakter nicht deutlich von den Fahrprofilen der Pkw-Fahrten. Es wurden daher für die Auswertung jeweils alle Fahrprofile als Pkw-, INfz- und sNfz-Fahrten ausgewertet.



**Bild 2.3:** Fahrprofile der Messfahrten in Fahrtrichtung **Osten** (oben) und **Westen** (unten): Pkw-Normalfahrten T50 (blaue Linien) Lkw-Verfolgungsfahrten (rote Linien)

In den Fahrprofilen ist zu erkennen, dass trotz der Koordinierung der LSA bei einem Großteil der Messfahrten an einigen LSA zum Teil mehrfach gehalten werden musste. Über die ganze Strecke verteilt gibt es auffallend viele Halte. Das heißt, dass die „Grüne Welle“ nicht optimal funktionierte.

Die erreichten Höchstgeschwindigkeiten liegen in allen Fahrrichtungen nur selten über 50 km/h. Die T30-Fahrten in Abschnitt 1 zeigen ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.

## 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), INfz (leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t zul. GG), sNfz (schwere Nutzfahrzeuge > 3,5 t zul. GG mit Busse) und Krad (Krafträder) unterschieden.

Zur Ermittlung dieser Verkehrsdaten wurden Kfz-Werte aus den Induktionsschleifen der LSA entlang der Messstrecke an den Tagen der Messfahrten von der Stadt Heidenheim zur Verfügung gestellt. Die Differenzierung nach Fahrzeugarten erfolgte gemäß dem landesweiten Emissionskataster BW /AVISO 2009/. Diese Daten wurden nach /LENSING 2003/ auf jahresmittlere Werte hochgerechnet und sind in Tab. 2.3 aufgeführt.

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

Kfz/ 24h	Krad	Pkw	INfz	sNfz	Kfz
Abschnitt 1	233 1,9%	10.136 84,5%	241 2,0%	1.390 11,6%	12.000 100,0%
Abschnitt 2	207 1,9%	9.581 87,1%	155 1,4%	1.057 9,6%	11.000 100,0%
Abschnitt 3	188 1,7%	9.634 87,6%	123 1,1%	1.058 9,6%	11.004 100,0%
Abschnitt 4	182 1,7%	9.651 87,7%	108 1,0%	1.058 9,6%	11.000 100,0%

In Bild 2.4 sind die jahresmittleren Verkehrsstärken (DTV) für Kfz und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) nochmals grafisch dargestellt. Die Verkehrsstärken liegen in dem betrachteten Gebiet im Bereich von 11.000 – 12.000 Kfz/24h, der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge zwischen 9% und 12%.

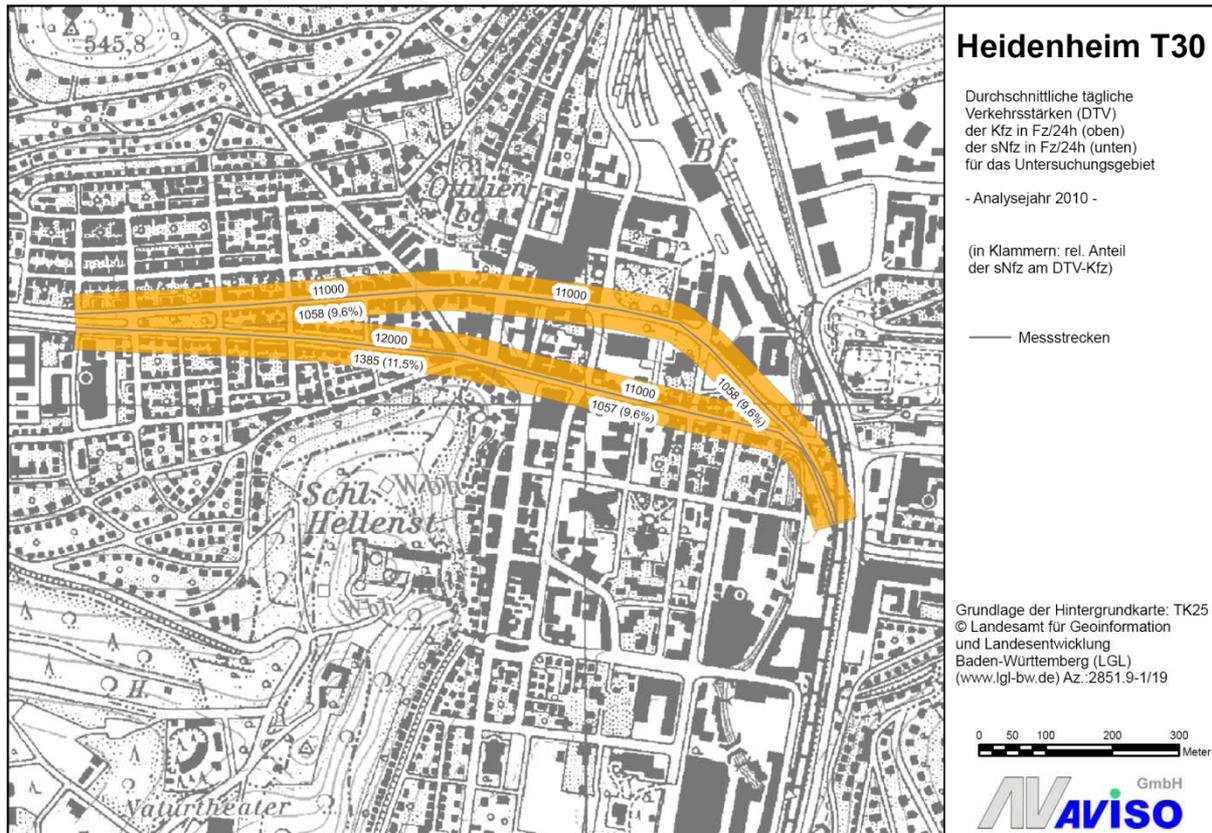


Bild 2.4: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und die schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) auf den Messstrecken in Heidenheim

## 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:

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

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.

Die mittleren Dynamik-Parameter  $v$  (Reisegeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Halten und Haltezeiten) und RPA wurden über alle Messfahrten und Richtungen gemittelt be-

rechnet. Außerdem wurden diese Parameter für die simulierten Fahrprofile (T50 und T30) berechnet. Aus den simulierten Profilen wurde für die vorliegende Auswertung jeweils die relative Änderung von T30 gegenüber T50 übernommen.

Die Werte der Fahrparameter auf den einzelnen Abschnitten wurde wie folgt bestimmt:

- Auf Abschnitt 2, 3 und 4 wurden die Fahrparameter für T50 aus den gemessenen Fahrprofilen berechnet. Zur Ermittlung der Fahrparameter für T30 wurde die mit Hilfe der Mikrosimulationen bestimmte relative Änderung auf die T50-Werte angewandt.
- Auf Abschnitt 1 wurden die Fahrparameter für T30 im Bereich der Baustelle (siehe Bild 2.3, oben) berechnet. Die Fahrparameter für T50 wurden mittels der aus den Mikrosimulationen bestimmten relativen Änderungen von T30 auf T50 zurückgerechnet.

Die Fahrparameter und ihre Standardabweichungen sowie ihre mittels der Mikrosimulationen bestimmten relativen Änderungen von T30 zu T50 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)*

Fahrparameter	v [km/h]		RPA [m/s <sup>2</sup> ]		v [km/h]		RPA [m/s <sup>2</sup> ]		v	RPA
	Wert	stddev	Wert	stddev	Wert	stddev	Wert	stddev		
<b>Richtung Osten</b>	<b>T50 N <sup>(1)</sup></b>				<b>T30 <sup>(2)</sup></b>				<b>Änderung <sup>(3)</sup></b>	
<b>gesamt</b>	<b>35,0</b>	<b>6,1</b>	<b>0,246</b>	<b>0,041</b>	<b>24,3</b>	<b>9,1</b>	<b>0,171</b>	<b>0,024</b>	<b>-30%</b>	<b>-31%</b>
Abschnitt 1	36,7	16,3	0,164	0,031	25,5	5,7	0,114	0,052	-30%	-31%
Abschnitt 2	33,4	8,0	0,317	0,198	23,2	8,7	0,220	0,031	-30%	-31%
<b>Richtung Westen</b>										
<b>gesamt</b>	<b>34,3</b>	<b>8,9</b>	<b>0,216</b>	<b>0,047</b>	<b>26,3</b>	<b>7,7</b>	<b>0,134</b>	<b>0,019</b>	<b>-23%</b>	<b>-38%</b>
Abschnitt 3	31,5	9,8	0,305	0,061	24,2	7,0	0,190	0,026	-23%	-38%
Abschnitt 4	37,7	13,2	0,138	0,151	28,9	8,4	0,086	0,012	-23%	-38%

<sup>(1)</sup> T50 N: Abschnitt 2, 3, 4 aus Messfahrten, Abschnitt 1 aus T30-Messfahrten (Baustelle) und relativer Änderung

<sup>(2)</sup> T30: Abschnitt 1 aus T30-Messfahrten (Baustelle), Abschnitt 2, 3, 4 aus T50-Messfahrten und relativer Änderung

<sup>(3)</sup> Änderung: relative Reduktionen der T30-Mikrosimulationen gegenüber den T50-Mikrosimulationen

In Fahrtrichtung Osten liegt die mittlere Reisegeschwindigkeit bei 35 km/h, in Fahrtrichtung Westen bei 34 km/h. Von den Teilabschnitten liegen in Abschnitt 3 die niedrigsten mittleren Reisegeschwindigkeiten vor. Auf diesem Abschnitt musste besonders häufig an LSA gehalten werden.

Die relativen Änderungen der Fahrparameter wurden, wie oben beschrieben, aus den Mikrosimulationen bestimmt. Sie gelten jeweils für die Gesamtstrecke. Die mittlere Reisegeschwindigkeit nimmt demnach in Fahrtrichtung Osten um -30%, in Fahrtrichtung Westen um -23% ab. Auch der Dynamikparameter RPA zeigt Reduktionen von -31% (Richtung Osten) bzw. -38% (Richtung Westen).

## **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, INfz und sNfz durchgeführt.

### **3.2 Flottenzusammensetzung**

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 Heidenheim, 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

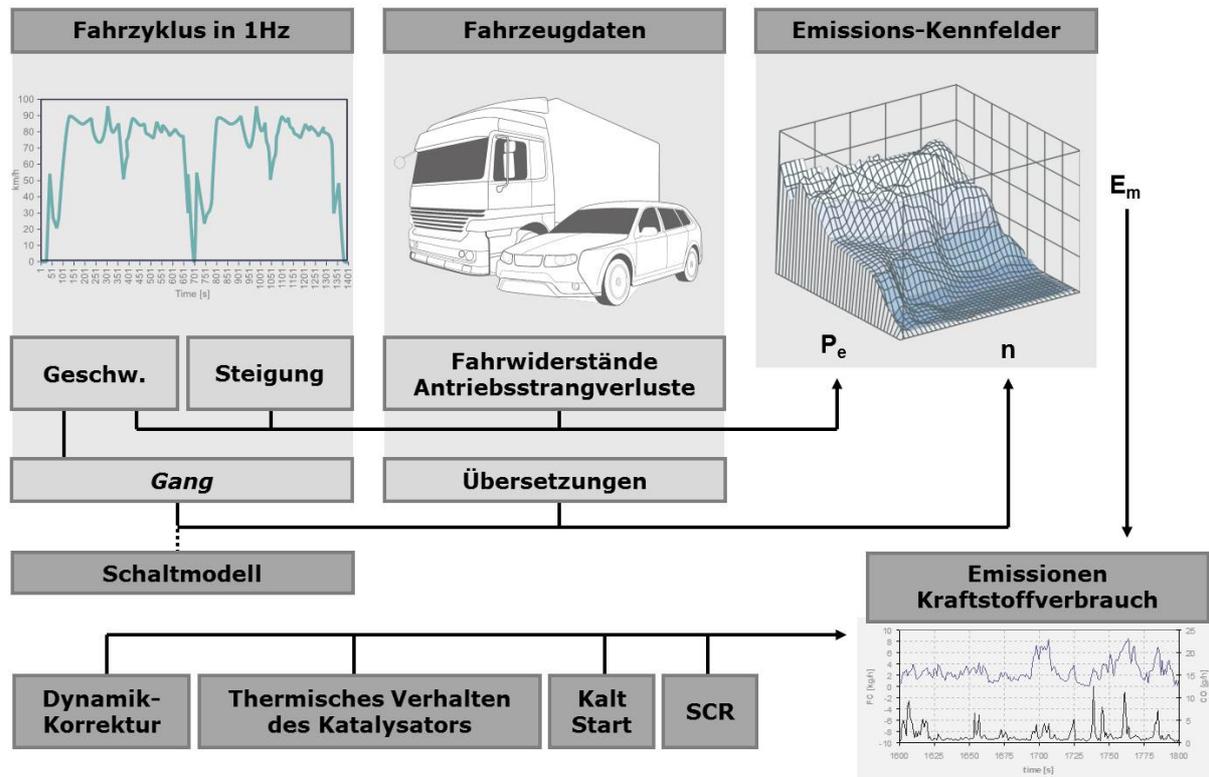


Bild 3.1: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: TU Graz, 2010

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

Das Ergebnis der oben beschriebenen Mittelungen sind streckenbasierte Emissionen der Pkw, der leichten und der schweren Nutzfahrzeuge, jeweils für beide Fahrtrichtungen.

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

Pkw		INfz		sNfz	
Otto vor E1	0,6%	Otto vor E1	0,4%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	4,8%	Otto E1	0,3%	Ds E I	3,0%
Otto E2	5,5%	Otto E2	0,8%	Ds E II	12,1%
Otto E3	22,0%	Otto E3	0,6%	Ds E III	27,5%
Otto E4	30,1%	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	0,5%	Gas/Alternativ	0,0%		
Ds vor E1	0,5%	Ds vor E1	1,6%		
Ds E1	1,1%	Ds E1	2,3%		
Ds E2	3,0%	Ds E2	12,2%		
Ds E3	11,2%	Ds E3	25,8%		
Ds E4	18,5%	Ds E4	53,0%		
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%

### 3.3 Emissionsfaktoren NO<sub>x</sub> und PM10-Abgas

Aus den Messfahrten können „warme“ Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> und PM10 (Abgas) auf folgenden Abschnitten abgeleitet werden:

- Emissionsfaktoren T50: auf Abschnitt 2, 3, 4 nach Tab. 2.1,
- Emissionsfaktoren T30: auf Abschnitt 1, Bestimmung im Bereich der Baustelle (siehe Bild 2.3), der Baustellenbereich wird als repräsentativ für Abschnitt 1 angenommen.

Zur Berechnung der

- Emissionsfaktoren T50 auf Abschnitt 1 sowie der
- Emissionsfaktoren T30 auf den Abschnitten 2, 3 und 4

wurde auf die Ergebnisse für alle anderen Kommunen in Baden-Württemberg zurückgegriffen, in denen T30-Untersuchungen durchgeführt worden sind. Berücksichtigt wurden alle Messstrecken, deren Steigung zwischen -2% und +2% liegt. Für diese wurde mittels einer Regression der Zusammenhang zwischen den Emissionsfaktoren und RPA (*relative positive acceleration*) bestimmt. Die erforderlichen RPA-Änderungen wurden den Mikrosimulationen entnommen, siehe Tab. 2.4.

Die so gebildeten Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> 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. 3.5 getrennt nach Fahrrichtungen dargestellt. Ebenfalls angegeben sind die Standardabweichungen 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<sub>x</sub> in Fahrtrichtung **Osten**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 und 2 nach Tab. 2.1)

Efaktor NO <sub>x</sub> [g/km]	Pkw			INfz			sNfz		
	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
<b>T50 N Ri Ost</b>									
<b>gesamt</b>	<b>0,32</b>	<b>0,06</b>	<b>19%</b>	<b>0,82</b>	<b>0,15</b>	<b>19%</b>	<b>9,41</b>	<b>2,04</b>	<b>22%</b>
Abschnitt 1	0,29	0,08	28%	0,70	0,12	17%	8,23	2,38	29%
Abschnitt 2	0,35	0,16	47%	0,91	0,47	52%	10,45	5,40	52%
<b>T30 Ri Ost</b>									
<b>gesamt</b>	<b>0,32</b>	<b>0,08</b>	<b>26%</b>	<b>0,72</b>	<b>0,23</b>	<b>32%</b>	<b>9,27</b>	<b>2,77</b>	<b>30%</b>
Abschnitt 1	0,29	0,11	38%	0,61	0,18	29%	8,09	3,23	40%
Abschnitt 2	0,35	0,22	64%	0,82	0,72	87%	10,31	7,32	71%
<b>Änderung</b>									
<b>gesamt</b>	<b>0,0%</b>			<b>-11,2%</b>			<b>-1,5%</b>		
Abschnitt 1	0,0%			-12,9%			-1,7%		
Abschnitt 2	0,0%			-10,0%			-1,4%		

Tab. 3.3: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> in Fahrtrichtung **Westen**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 und 4 nach Tab. 2.1)

Efaktor NO <sub>x</sub> [g/km]	Pkw			INfz			sNfz		
	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
<b>T50 N Ri West</b>									
<b>gesamt</b>	<b>0,29</b>	<b>0,07</b>	<b>24%</b>	<b>0,76</b>	<b>0,16</b>	<b>21%</b>	<b>9,82</b>	<b>2,36</b>	<b>24%</b>
Abschnitt 3	0,33	0,15	46%	0,84	0,35	42%	11,38	5,02	44%
Abschnitt 4	0,26	0,10	38%	0,70	0,29	41%	8,45	3,45	41%
<b>T30 Ri West</b>									
<b>gesamt</b>	<b>0,28</b>	<b>0,09</b>	<b>31%</b>	<b>0,64</b>	<b>0,23</b>	<b>35%</b>	<b>9,52</b>	<b>2,95</b>	<b>31%</b>
Abschnitt 3	0,32	0,19	60%	0,71	0,50	71%	11,09	6,28	57%
Abschnitt 4	0,25	0,12	49%	0,57	0,41	71%	8,15	4,32	53%
<b>Änderung</b>									
<b>gesamt</b>	<b>-3,4%</b>			<b>-16,5%</b>			<b>-3,0%</b>		
Abschnitt 3	-3,0%			-15,0%			-2,6%		
Abschnitt 4	-3,8%			-17,9%			-3,5%		

Tab. 3.4: 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 [g/km]	Pkw			INfz			sNfz		
	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
<b>T50 N Ri Ost</b>									
gesamt	<b>0,013</b>	<b>0,002</b>	<b>19%</b>	<b>0,057</b>	<b>0,011</b>	<b>20%</b>	<b>0,235</b>	<b>0,051</b>	<b>22%</b>
Abschnitt 1	0,012	0,004	29%	0,053	0,015	29%	0,214	0,070	33%
Abschnitt 2	0,014	0,005	38%	0,060	0,022	36%	0,253	0,116	46%
<b>T30 Ri Ost</b>									
gesamt	<b>0,014</b>	<b>0,003</b>	<b>24%</b>	<b>0,057</b>	<b>0,015</b>	<b>27%</b>	<b>0,230</b>	<b>0,067</b>	<b>29%</b>
Abschnitt 1	0,013	0,005	38%	0,053	0,021	39%	0,209	0,091	44%
Abschnitt 2	0,014	0,007	49%	0,061	0,030	49%	0,248	0,150	61%
<b>Änderung</b>									
gesamt	<b>2,8%</b>			<b>0,6%</b>			<b>-2,2%</b>		
Abschnitt 1	3,0%			0,7%			-2,4%		
Abschnitt 2	2,6%			0,6%			-2,0%		

Tab. 3.5: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für **PM10** (Abgas) in Fahrtrichtung **Westen**, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 3 und 4 nach Tab. 2.1)

Efaktor PM10 [g/km]	Pkw			INfz			sNfz		
	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
<b>T50 N Ri West</b>									
gesamt	<b>0,012</b>	<b>0,003</b>	<b>21%</b>	<b>0,054</b>	<b>0,010</b>	<b>19%</b>	<b>0,260</b>	<b>0,057</b>	<b>22%</b>
Abschnitt 3	0,014	0,006	40%	0,058	0,020	34%	0,314	0,105	33%
Abschnitt 4	0,011	0,005	41%	0,051	0,018	34%	0,213	0,109	51%
<b>T30 Ri West</b>									
gesamt	<b>0,012</b>	<b>0,003</b>	<b>27%</b>	<b>0,054</b>	<b>0,014</b>	<b>27%</b>	<b>0,247</b>	<b>0,069</b>	<b>28%</b>
Abschnitt 3	0,014	0,007	51%	0,057	0,027	48%	0,300	0,128	43%
Abschnitt 4	0,011	0,006	52%	0,050	0,024	48%	0,199	0,133	66%
<b>Änderung</b>									
gesamt	<b>-0,2%</b>			<b>-1,4%</b>			<b>-5,2%</b>		
Abschnitt 3	-0,2%			-1,3%			-4,3%		
Abschnitt 4	-0,2%			-1,4%			-6,3%		

Beim Vergleich der Emissionsfaktoren NO<sub>x</sub> für T30 „fiktiv“ mit den Emissionsfaktoren NO<sub>x</sub> für T50-Normalfahrt zeigen sich folgende Veränderungen:

- Bei den Pkw würde die Einführung von T30 in Fahrtrichtung Osten keine Änderungen der Emissionsfaktoren bewirken. In Fahrtrichtung Westen käme es zu Abnahmen zwischen -3% und -4%.
- Bei den INfz würde die Einführung von T30 in Fahrtrichtung Osten zu Minderungen zwischen -10% und 13%, in Fahrtrichtung Westen zwischen -15% und -18% führen.

- Bei den sNfz würde die Einführung von T30 in Fahrtrichtung Osten zu Minderungen zwischen -1% und -2%, in Fahrtrichtung Westen zwischen -3% und -4% führen.

Bei den Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas) ergeben sich folgende Veränderungen:

- Bei den Pkw würde die Einführung von T30 in Fahrtrichtung Osten zu Zunahmen der Emissionsfaktoren zwischen 2% und 3% führen. In Fahrtrichtung Westen würde nahezu keine Änderung bewirkt.
- Bei den INfz würde die Einführung von T30 in Fahrtrichtung Osten zu Zunahmen zwischen 0,5% und 1%, in Fahrtrichtung Westen zu Abnahmen zwischen -1% und -1,5% führen.
- Bei den sNfz würde die Einführung von T30 in Fahrtrichtung Osten zu Minderungen zwischen von ca. -2%, in Fahrtrichtung Westen zwischen -4% und -6% führen.

Es sind jeweils die angegebenen Unsicherheiten zu beachten.

### 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 3.2 (NO<sub>x</sub>) und Bild 3.3 (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 INfz) 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<sub>x</sub> 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 Störungsgrad „Stop&Go“ angenommen werden, um eine Übereinstimmung mit dem Handbuch zu erzielen.

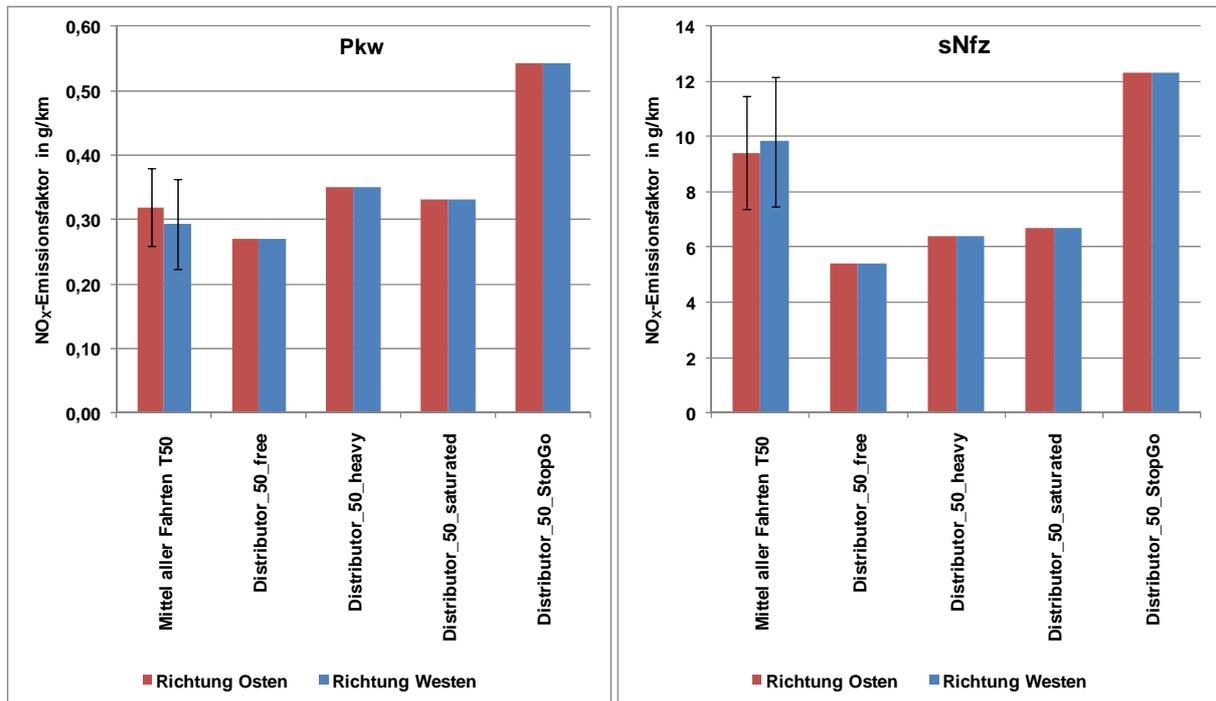


Bild 3.2: Vergleich der warmen NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 0% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz in Heidenheim

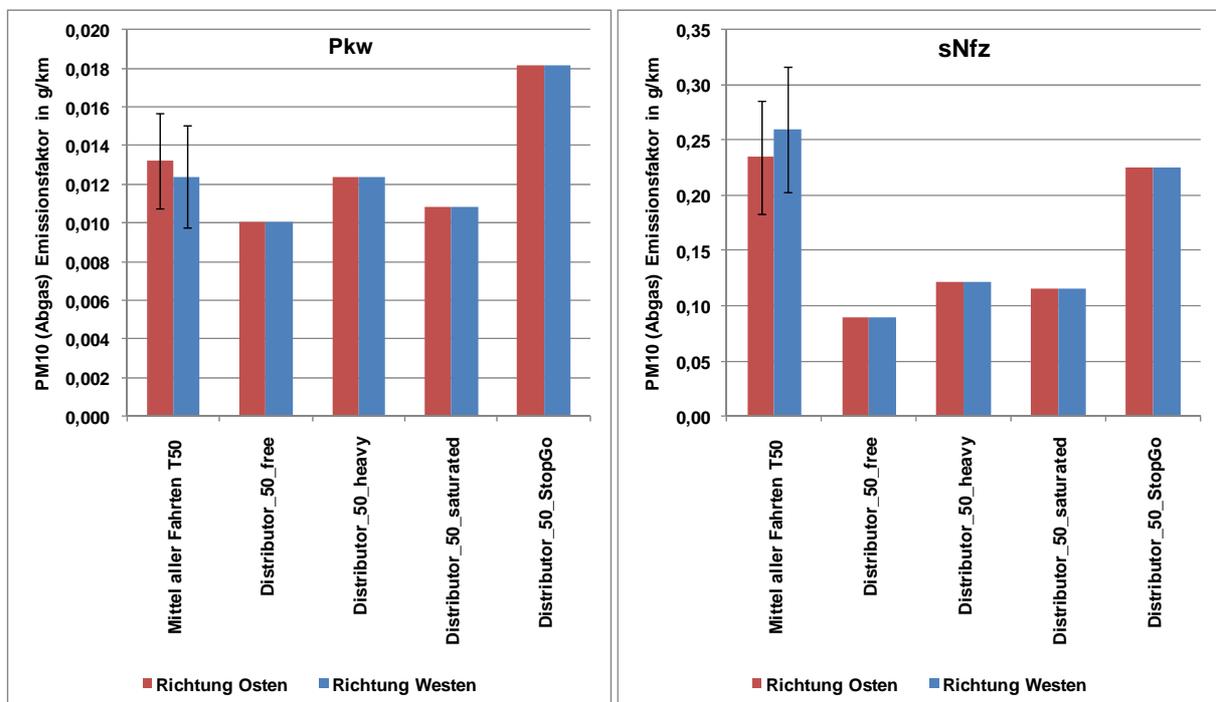


Bild 3.3: Vergleich der warmen PM10-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden für 0% Steigung aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz in Heidenheim

### 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. 3.6 angegebenen Werte.

Tab. 3.6: „Warme“ Abgas-Emissionen (NO<sub>x</sub> und PM<sub>10</sub>, Abgas) für die Messstrecke in Heidenheim, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile (Abschnitt 1 bis 4 nach Tab. 2.1)

	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>stddev NO<sub>x</sub></b>	<b>stddev rel.</b>	<b>PM<sub>10</sub> (Abgas)</b>	<b>stddev PM<sub>10</sub></b>	<b>stddev rel.</b>
	[kg/(km*a)]			[kg/(km*a)]		
<b>T50 N</b>						
<b>Richtung Osten</b>	<b>5.638</b>	<b>1.185</b>	<b>21,0%</b>	<b>164,7</b>	<b>34</b>	<b>20,8%</b>
Abschnitt 1	5.455	2.048	37,5%	164,8	57	34,7%
Abschnitt 2	5.423	2.733	50,4%	155,6	67	42,8%
<b>Richtung Westen</b>	<b>4.877</b>	<b>1.169</b>	<b>24,0%</b>	<b>147,2</b>	<b>32</b>	<b>21,7%</b>
Abschnitt 3	5.622	2.500	44,5%	173,9	62	35,4%
Abschnitt 4	4.224	1.695	40,1%	123,7	59	47,6%
<b>T30</b>						
<b>Richtung Osten</b>	<b>5.567</b>	<b>1.616</b>	<b>29,0%</b>	<b>164,0</b>	<b>45</b>	<b>27,4%</b>
Abschnitt 1	5.376	2.790	51,9%	163,8	75	45,8%
Abschnitt 2	5.363	3.728	69,5%	155,1	87	56,4%
<b>Richtung Westen</b>	<b>4.721</b>	<b>1.468</b>	<b>31,1%</b>	<b>141,9</b>	<b>40</b>	<b>27,9%</b>
Abschnitt 3	5.466	3.138	57,4%	168,6	76	45,2%
Abschnitt 4	4.069	2.128	52,3%	118,4	73	61,5%
<b>Änderung</b>						
<b>Richtung Osten</b>	<b>-1,3%</b>			<b>-0,5%</b>		
Abschnitt 1	-1,5%			-0,6%		
Abschnitt 2	-1,1%			-0,3%		
<b>Richtung Westen</b>	<b>-3,2%</b>			<b>-3,6%</b>		
Abschnitt 3	-2,8%			-3,0%		
Abschnitt 4	-3,7%			-4,3%		

Es ergeben sich durch Einführung von T30 in Heidenheim für die motorbedingten „warmen“ Emissionen in Richtung Osten (Westen) insgesamt Abnahmen von ca. -1,3% (-3,2%) bei NO<sub>x</sub> und von ca. -0,5% (-3,6%) bei PM<sub>10</sub> (Abgas).

Die Messstation befindet sich in Teilabschnitt 3. Dort sind die Minderungen mit ca. -2,8% (NO<sub>x</sub>) bzw. -3% (PM10) etwas geringer als auf der Gesamtstrecke in Richtung Westen. Bei der Interpretation der Teilergebnisse sind die hohen Unsicherheiten 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 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. In Anlehnung an /BAST 2009/ wurde wegen der starken Beeinflussung durch LSA auf keinem der Streckenabschnitte eine weitere Reduktion angesetzt.

In Tab. 3.7 sind die so bestimmten Jahresemissionen für T50 sowie T30 mit angenommenen Befolgungsgraden von 100% und 50% für die Gesamtstrecke ausgewiesen. In Tab. 3.8 sind diese Jahresemissionen für die Einzelabschnitte angegeben (nur Befolgungsgrad 100%). Ebenso dargestellt sind die durch Einführung von T30 jeweils erreichbaren Emissionsminderungen.

Tab. 3.7: Zusammensetzung der Jahresemissionen (NO<sub>x</sub> und PM10) für die Messstrecke in Heidenheim

jährliche Emissionen [kg/(km*a)]	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM10	PM10
	Richtung Osten	Richtung Westen	Richtung Osten	Richtung Westen
"Warme" Emissionen T50	5.638	4.877	165	147
"Warme" Emissionen T30	5.567	4.721	164	142
Kaltstartzuschlag	162	161	13	12
Aufwirbelung und Abrieb T50			378	318
Aufwirbelung und Abrieb T30			378	318
Jahresemissionen T50	5.800	5.037	556	477
Jahresemissionen T30, Befolgungsgrad 100%	5.729	4882	556	472
Jahresemissionen T30, Befolgungsgrad 50%	5.764	4959	556	475
Änderung Befolgungsgrad 100%	-1,2%	-3,1%	-0,1%	-1,1%
Änderung Befolgungsgrad 50%	-0,6%	-1,5%	-0,1%	-0,6%

Tab. 3.8: *Jahresemissionen (NO<sub>x</sub> und PM10 inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb) für die Messstrecke in Heidenheim (angenommener Befolgungsgrad: 100%, Abschnitt 1 bis 4 nach Tab. 2.1)*

jährliche Emissionen [kg/(km*a)]	NO <sub>x</sub>	PM10	NO <sub>x</sub>	PM10	NO <sub>x</sub>	PM10
	T50 N		T30		Änderung	
<b>Richtung Osten</b>						
<b>gesamt</b>	<b>5.800</b>	<b>556</b>	<b>5.729</b>	<b>556</b>	<b>-1,2%</b>	<b>-0,1%</b>
Abschnitt 1	5.621	585	5.541	584	-1,4%	-0,2%
Abschnitt 2	5.580	510	5.521	509	-1,1%	-0,1%
<b>Richtung Westen</b>						
<b>gesamt</b>	<b>5.037</b>	<b>477</b>	<b>4.882</b>	<b>472</b>	<b>-3,1%</b>	<b>-1,1%</b>
Abschnitt 3	5.786	505	5.630	499	-2,7%	-1,1%
Abschnitt 4	4.382	453	4.227	448	-3,5%	-1,2%

Bei den Gesamtemissionen für NO<sub>x</sub> und PM10 würde die Einführung von T30 bei den aktuell vorliegenden Ampelschaltungen fast überall zu leichten Emissionsminderungen führen (NO<sub>x</sub>: Richtung Osten: ca. -1%, Richtung Westen ca. -3%; PM10: Richtung Osten: nahezu keine Änderung, Richtung Westen: ca. -1%). Wie bei den „warmen“ Abgas Emissionen sind auch hier die Minderungen auf Abschnitt 3, wo sich die Messstation befindet, etwas geringer als auf der Gesamtstrecke in Richtung Westen.

In Bild 3.4 sind die Jahresemissionen bei angenommenem Befolgungsgrad von 100% auch für die Einzelabschnitte grafisch dargestellt.

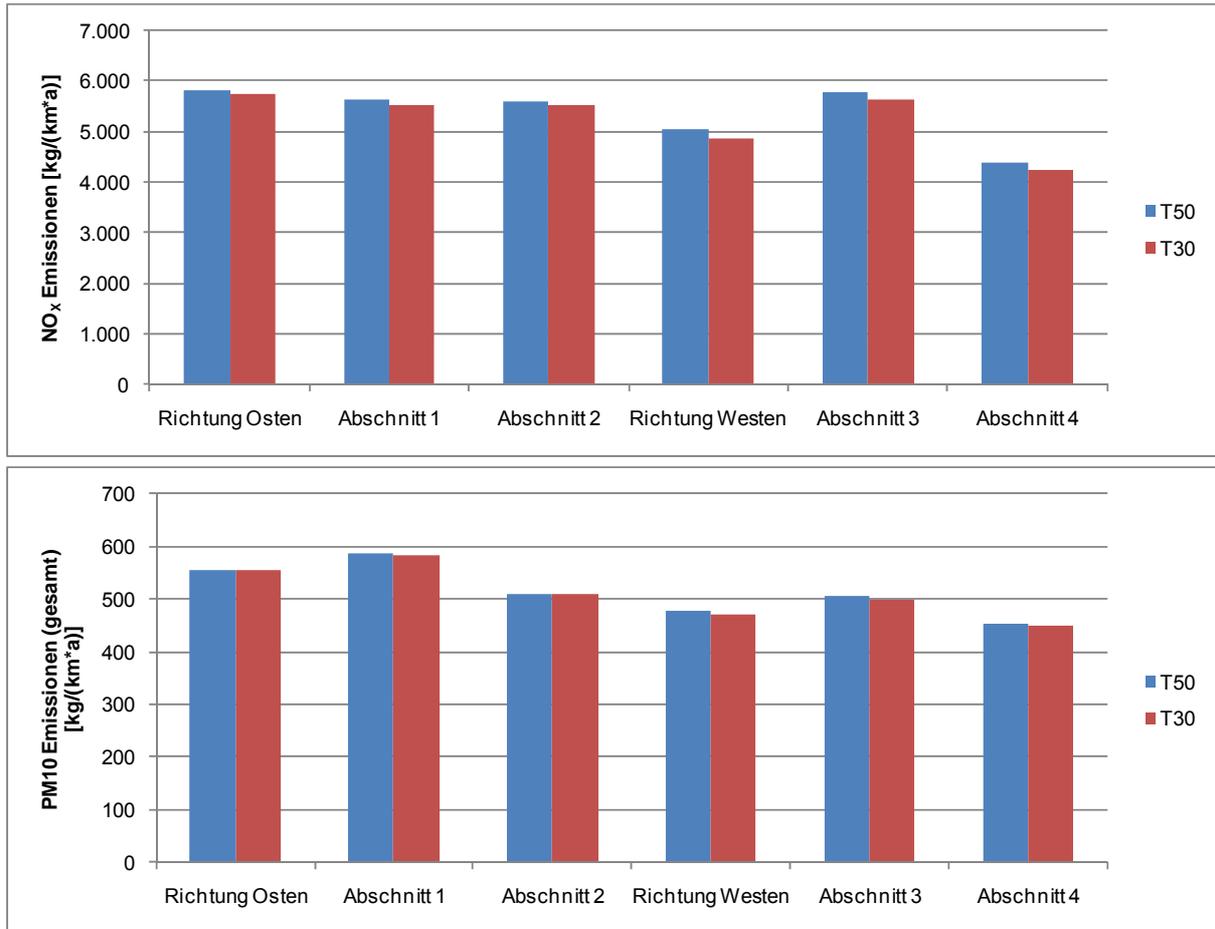


Bild 3.4: *Jahresemission (oben: NO<sub>x</sub>, unten: PM10 (gesamt)) unter Berücksichtigung von Kaltstarts sowie Aufwirbelung und Abrieb für die Messstrecke in Heidenheim (angenommener Befolgungsgrad: 100%)*

## 4 Weitere Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrs

Auch verkehrsverflüssigende Maßnahmen kommen zur Senkung von Verkehrsemissionen in Betracht. Mögliche Auswirkungen solcher Maßnahmen auf die  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen werden im folgenden Kapitel untersucht.

Trotz einer bestehenden Koordinierung der LSA musste bei einem Großteil der Messfahrten an mehreren LSA gehalten werden, es gab auffällig viele Halte entlang der gesamten Strecke. Das heißt, dass die „Grüne Welle“ nicht optimal funktionierte. Ein Grund dafür kann nach Einschätzung unserer Testfahrer der quer zur Messstrecke gerichtete Durchgangsverkehr in Nord-Süd-Richtung sein. Dieser wird abschnittsweise über die Messstrecke geleitet (blau gestrichelte Linien in Bild 2.1), wobei es zu mehrfachen Spurwechseln kommt. Dies führt zu Störungen des Verkehrsflusses in Ost-West-Richtung auf der Messstrecke. Parkvorgänge am Seitenstreifen führten nach den Beobachtungen unserer Testfahrer nicht zu größeren Störungen des Verkehrsflusses.

Ob und in welchem Umfang es gelingt, Emissionen durch Verstetigung des Verkehrs zu senken, hängt davon ab, ob es trotz dieser komplexen Verflechtung der Verkehrsströme möglich ist, die Koordinierung der LSA weiter zu optimieren.

Zur Abschätzung der Größenordnung möglicher Minderungspotentiale werden in der vorliegenden Untersuchung drei unterschiedliche Betrachtungsansätze verfolgt.

### „Maximale Verflüssigung“

Zur Abschätzung der maximal durch Verflüssigung möglichen Emissionsminderungen werden alle signifikanten Störungen des Verkehrsflusses aus den gemessenen Fahrprofilen (T50) eliminiert. Dadurch schwanken die Geschwindigkeiten in den Fahrprofilen nur noch mäßig, hohe Beschleunigungen kommen nach der „Verflüssigung“ nicht mehr vor. Solche Fahrprofile werden in der Realität kaum erreichbar sein, hier soll im Sinne einer Maximalabschätzung gezeigt werden, wie groß das theoretische Minderungspotential durch Verflüssigung bzw. wie groß der Einfluss der Beschleunigungsphasen auf die Emissionen ist.

In den identifizierten Störungsbereichen werden mittlere Emissionsfaktoren der „ungestörten“ Fahrten angesetzt. In Bild 4.1 ist dieses Vorgehen exemplarisch für eine Pkw-Fahrt dargestellt. Die aus der „maximalen Verflüssigung“ resultierenden Minderungen der jährlichen  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  (gesamt) Emissionen gegenüber den ursprünglichen Fahrprofilen sind in der zweiten Spalte von Tab. 4.1 angegeben. Sie liegen bei  $\text{NO}_x$  zwischen -40% und -59% und bei  $\text{PM}_{10}$  zwischen -35% und -41%.

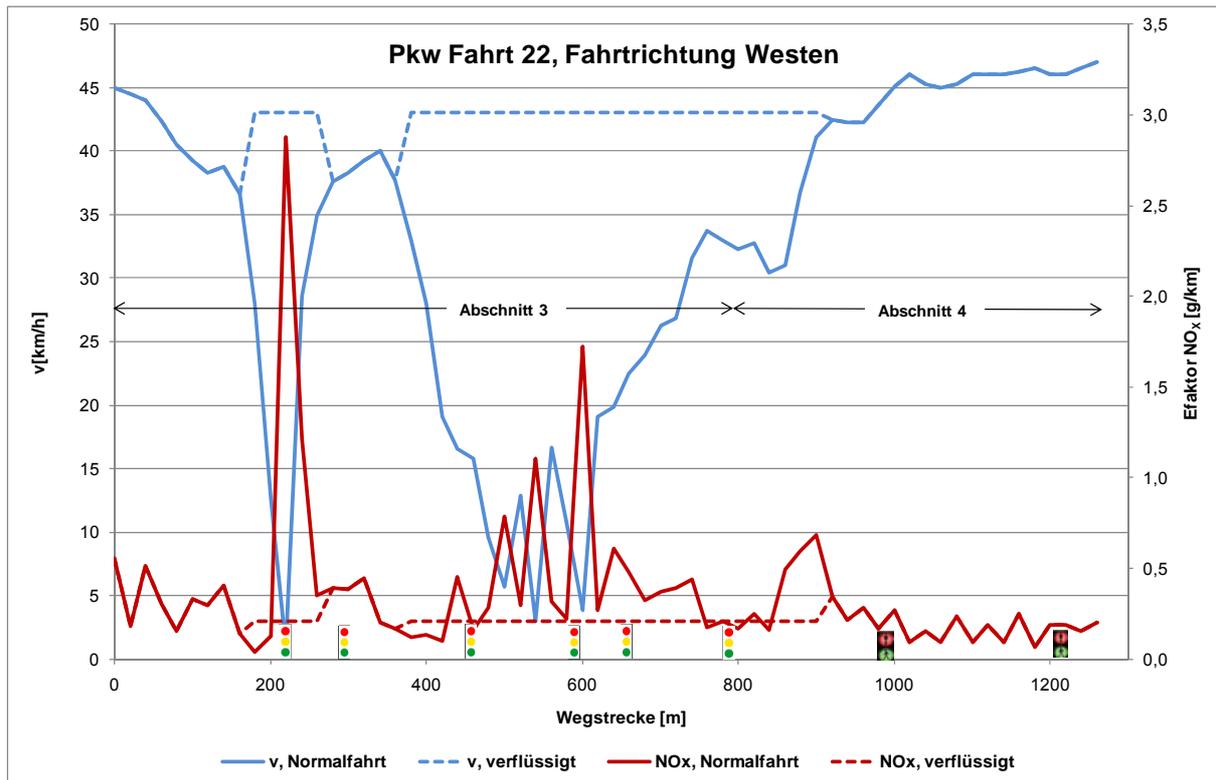


Bild 4.1: Exemplarische Darstellung der „Verflüssigung“ der Fahrprofile und der Auswirkungen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren

Tab. 4.1: Drei unterschiedliche Betrachtungsansätze zur Abschätzung von Minderungspotentialen durch Verstetigung des Verkehrs und jeweils erreichbare Reduktionen der jährlichen NO<sub>x</sub>- und PM10 (gesamt) Emissionen (Abschnitt 1 bis 4 nach Tab. 2.1)

Minderung der jährlichen Emissionen	"maximale Verflüssigung" der Fahrprofile: Elimination aller Störungen		Emissionsmodell: Störungsgrad in Spitzenstunden um eine Qualitätsstufe verbessert		Grazer adaptive Verkehrssteuerung	
	NO <sub>x</sub>	PM10	NO <sub>x</sub>	PM10	NO <sub>x</sub>	PM10
<b>Richtung Osten</b>						
<b>gesamt</b>	<b>-43%</b>	<b>-36%</b>	<b>-7%</b>	<b>-10%</b>	<b>-10%</b>	<b>-14%</b>
Abschnitt 1	-40%	-35%	-7%	-12%		
Abschnitt 2	-46%	-37%	-8%	-9%		
<b>Richtung Westen</b>						
<b>gesamt</b>	<b>-51%</b>	<b>-39%</b>	<b>-8%</b>	<b>-9%</b>	<b>-10%</b>	<b>-14%</b>
Abschnitt 3	-59%	-41%	-9%	-9%		
Abschnitt 4	-41%	-36%	-8%	-9%		

## Verbesserung der Verkehrsqualität im Emissionsmodell

Im Sinne einer realistischeren Betrachtung wurden die Emissionsminderungen bestimmt, die sich ergeben, wenn im Emissionsmodell auf den betrachteten Strecken in Heidenheim der Störungsgrad in den Spitzenstunden um jeweils eine Qualitätsstufe nach HBEFA3.1 verbessert wird:

- Stop&Go → saturated
- saturated → heavy

Für die übrigen Stunden wurde keine Verbesserung im Verkehrsablauf angenommen. Das bedeutet, dass durch Maßnahmen zur Verflüssigung zwar eine Reduzierung der Störungen erreicht wird, aber kein kompletter Abbau der Störungen wie in der vorherigen Betrachtung.

Die durch eine solche Verbesserung der Verkehrsqualität erzielbaren Minderungen der jährlichen NO<sub>x</sub> und PM<sub>10</sub> (gesamt) Emissionen sind in der dritten Spalte von Tab. 4.1 angegeben. Sie liegen bei NO<sub>x</sub> zwischen -7% und -9% und bei PM<sub>10</sub> zwischen -9% und -12%.

## Grazer adaptive Verkehrssteuerung

Ziel des Forschungsprojekts „Grazer adaptive Verkehrssteuerung“ (GAVe) /TUG 2009/ war es, für einen ausgewählten Streckenzug in Graz eine adaptive Verkehrssteuerung im Sinne der Luftqualität zu optimieren. Es wurden die Steuerung auf dem Verkehrsrechner von Graz (MOTION), das Mikrosimulationsmodell VISSIM und das Emissionsmodell PHEM so gekoppelt, dass die LSA-Steuerungen unter dem Aspekt der Minimierung der Emissionen angepasst wurden. Vor und nach der Anpassung wurden Messfahrten mit und ohne on-Bord-Emissionsmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurden die aufgenommen Fahrprofile am Rollenprüfstand nachgefahren und auch dort die Emissionen gemessen. Dies diente auch der Kalibration der Modelle.

Die optimierten LSA-Steuerungen wurden im Rahmen eines Testbetriebs in Graz umgesetzt, es konnten Emissionsminderungen von -10% für NO<sub>x</sub> und -14% für PM<sub>10</sub> erreicht werden (siehe Tab. 4.1, letzte Spalte).

In Graz gibt es ÖPNV-Bevorrechtigungen insbesondere für die Straßenbahnen, die im motorisierten Individualverkehr zu Störungen führen. Da sich durch die emissionsseitige Optimierung der LSA-Steuerungen die Verlustzeiten für den ÖPNV verlängerten, wurde diese Steuerung nicht in einen Dauerbetrieb übernommen. Der Versuch zeigt aber zumindest prinzipiell, dass eine emissionsoptimierte LSA-Steuerung möglich ist und zu Verbesserungen führen kann.

Die im ersten Beispiel angegebene „maximale Verflüssigung“ wird in der Realität nicht erreichbar sein. Wenn es jedoch gelingt, zum Beispiel durch Optimierung der „Grünen Welle“ die Verkehrsqualität in Heidenheim entscheidend zu verbessern, so können Emissionsminderungen in der Größenordnung von -10% bei NO<sub>x</sub> und PM<sub>10</sub> erwartet werden.

## 5 Zusammenfassung

Im neuen Emissionsfaktoren-Handbuch HBEFA3.1 gibt es noch keine Emissionsfaktoren für T30 auf Hauptverkehrsstraßen. Daher kam zur Ermittlung der Auswirkungen eines Tempolimits von 30 km/h auf der ost-westlichen Ortsdurchfahrt in Heidenheim (B 466: Clichystraße und Brenzstraße von der Darwinstraße bis zur Ulmer Straße in Richtung Osten sowie Theodor-Heuss-Straße, Olgastraße und Wilhelmstraße von der Ulmer Straße bis zur Schellingstraße in Richtung Westen) eine Kombination aus Messfahrten und Mikrosimulationen zur Anwendung.

Am 13. und 14.12.2010 wurden mit einem Pkw Messfahrten zur Aufnahme von Fahrprofilen ( $v=f(t)$ ) durchgeführt. Wegen einer bestehenden „Grünen Welle“ mit Progressionsgeschwindigkeit 50 km/h wurden diese Messfahrten mit Ausnahme eines Teilstücks, auf dem wegen einer Baustelle eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h bestand, mit Tempo 50 durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Strecke mit Video und Digitalkamera erfasst und dokumentiert. Zusätzlich zu den Messfahrten wurden Mikrosimulationen für T50 sowie für T30 erstellt und so die Auswirkungen von T30 auf die mittlere Geschwindigkeit und auf RPA bestimmt. Für die simulierten T30-Fahrprofile wurde die Progressionsgeschwindigkeit der LSA entsprechend angepasst.

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 Zählungen erhobenen Verkehrsstärken wurden „warme“ Abgas-Emissionsfaktoren berechnet. Zur Berechnung der Emissionsfaktoren T30 bzw. auf dem Baustellenstück der Emissionsfaktoren T50 wurde auf die Ergebnisse von T30-Untersuchungen in anderen Kommunen zurückgegriffen. Für diese wurde mittels linearer Regression ein Zusammenhang zwischen den Emissionsfaktoren und RPA (*relative positive acceleration*) bestimmt. Die zur Berechnung der Emissionsfaktoren erforderlichen RPA-Änderungen durch T30 auf den Strecken in Heidenheim wurden den Mikrosimulationen entnommen. Mit Hilfe der Verkehrswerte aus den Induktionsschleifen der LSA wurden die Emissionsfaktoren zu jährlichen Emissionen (unter Einbeziehung von Kaltstarts) für  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  (einschließlich Aufwirbelung und Abrieb) hochgerechnet.

Auf der Messstrecke in Heidenheim würde die Einführung von T30 für  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  bei den aktuell vorliegenden Ampelschaltungen fast überall zu leichten Emissionsminderungen führen ( $\text{NO}_x$ : Richtung Osten: ca. -1%, Richtung Westen ca. -3%;  $\text{PM}_{10}$ : Richtung Osten: nahezu keine Änderung, Richtung Westen: ca. -1%).

Weiterhin wurde das Potential für Emissionsminderungen durch Verstetigung des Verkehrs abgeschätzt. Die „Grüne Welle“ entlang der Messstrecke funktioniert nicht optimal, was zu mehrfachen Halten und entsprechend erhöhten Emissionen führt. Wenn es gelingt, die Verkehrsqualität in Heidenheim entscheidend zu verbessern, so können Emissionsminderungen in der Größenordnung von -10% bei  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  erwartet werden.

## 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](http://www.hbefa.net)

### 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

NO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Immissionen, Gesetzgebung, Luftbelastung, Lösungen, Heidelberg, 3./4. März 2010

### TRAFFGO 1992

A cellular automaton model for freeway traffic, K. Nagel, M. Schreckenberg *J. Phys. I France* 2 2221–2229 (1992).

### TUG 2009

GAVe – Grazer adaptive Verkehrssteuerung, I2 – Intelligente Infrastruktur, Leitprojekt “MOBILE – Übergreifendes Verkehrsmanagement” Endbericht GAVe, Technische Universität Graz, Siemens AG, Graz 2009