BESTIMMUNG DER EMISSIONSSEITIGEN AUSWIRKUNGEN VON TEMPO 30 AUF EINEM STRASSENABSCHNITT IM INNENSTADTBEREICH VON TÜBINGEN IM RAHMEN DER FORTSCHREIBUNG DER LUFTREINHALTEPLÄNE DES REGIERUNGSPRÄSIDIUMS TÜBINGEN - TEILPLAN TÜBINGEN -

Auftraggeber: Regierungspräsidium Tübingen
Referat 54.1 – Luftreinhaltung
Konrad-Adenauer-Str. 20

72072 Tübingen

Durchführung: Ingenieurbüro Rau (Federführung)
Bottwarbahnstraße 4

74081 Heilbronn

AVISO GmbH
Am Hasselholz 15

52074 Aachen

28. November 2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... *I*

1 Einleitung *1*

2 Messfahrten *2*

2.1 Die Messstrecke 2

2.2 Auswertung der Fahrten 4

2.3 Verkehrliche Grundlagendaten 8

2.4 Auswertung der dynamischen Fahrtparameter 10

3 Emissionsberechnung *11*

3.1 Modell PHEM 11

3.2 Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren 11

3.3 Emissionsfaktoren NO_X und PM10-Abgas 17

3.4 Vergleich der Emissionsfaktoren zu HBEFA3.1 19

3.5 Jahresemissionen 21

3.6 Auswirkung auf die Immissionsbelastung 22

4 Zusammenfassung *26*

Literaturverzeichnis *27*

1 Einleitung

Für einen Straßenabschnitt in Tübingen (Einbahnstraßensystem, Fahrtrichtung Osten: Kelternstraße, Am Stadtgraben, Wilhelmstraße; Fahrtrichtung Westen: Mohlstraße, Haußerstraße, Hölderlinstraße, Rümelinstraße, Kelternstraße) 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 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 (im Wesentlichen 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 konkrete Situation dieses Einbahnstraßensystems in Tübingen eine Aussage zum Einfluss eines Tempolimits von 30 km/h auf die PM10- und NO_X-Emissions- und Immissionsbelastung abzuleiten.

Die zentrale Datenbasis zur Berechnung von Emissionen des Straßenverkehrs, das Handbuch für Emissionsfaktoren /HBEFA3.1 2010/, enthält auch in der aktuellsten Version vom Februar 2010 keine Emissionsfaktoren, die die Situation T30 an Hauptverkehrsstraßen abbilden (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 werden (z.B. Tempolimit von 50 km/h („T50-Normalfahrt“) und 30 km/h („T30-fiktiv“)), emissionsseitig „nachzufahren“. Über ein solches Programm (PHEM) verfügt die TU Graz. Mit PHEM wurden auch wesentliche Datengrundlagen des HBEFA3.1 ermittelt.

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

2 Messfahrten

Am 23. und 24.05.2011 wurden in Tübingen im Zeitraum zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw Messfahrten zur Bestimmung der Auswirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h entlang der Messstrecke vorgenommen. Zusätzlich wurde die Strecke mit Video und Digitalkamera erfasst und dokumentiert.

2.1 Die Messstrecke

Die befahrenen Messstrecken sind in Bild 2.1 dargestellt. Untersucht wurde der Bereich des in Rot eingezeichneten Einbahnstraßensystems (Richtung Osten: Kelternstraße, Am Stadtgraben, Wilhelmstraße; Richtung Westen: Mohlstraße, Haußerstraße, Hölderlinstraße, Rümelinstraße, Kelternstraße (Hauptvariante), bzw. Rümelinstraße, Herrenberger Straße, Belthlestraße (Alternativstrecke)). Es existieren 12 Lichtsignalanlagen und weitere neun Fußgängerbedarfs-LSA an der untersuchten Strecke.

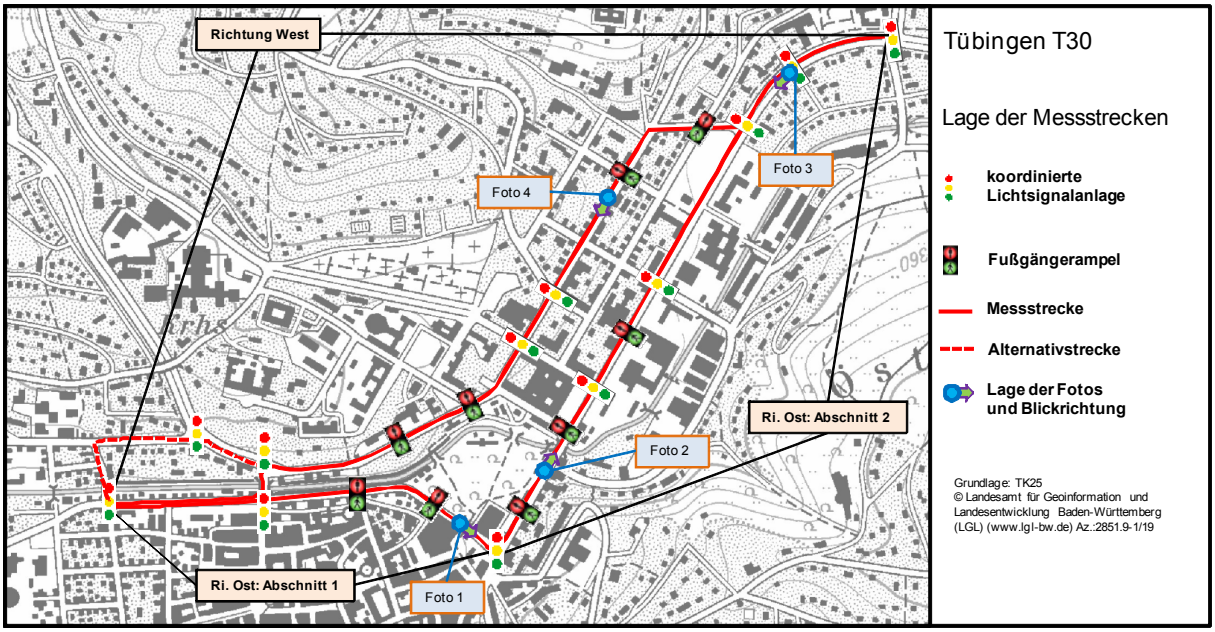


Bild 2.1: Lage der Messstrecken in Tübingen

In Fahrtrichtung Osten wurde die Messstrecke für die Untersuchungen in zwei Abschnitte unterteilt, in Fahrtrichtung Westen wurde die Gesamtstrecke betrachtet. In dieser Richtung wurde bei einigen Fahrten am Ende der Route neben der Hauptvariante entlang der Keltern-

straße auch eine Nebenvariante entlang der Herrenberger Straße und der Belthlestraße gefahren.

Die Teilabschnitte sind in Tab. 2.1 kurz beschrieben. In Bild 2.2 sind Bilder entlang der Messstrecke dargestellt. Die Strecke verläuft überwiegend eben, auf den letzten 50 Metern von Abschnitt 1 und in Richtung Westen auf der Mohlstraße zwischen Wilhelmstraße und Haußerstraße befinden sich kurze Stücke mit geringer Neigung (< 4 %).

Tab. 2.1: Beschreibung der Teilabschnitte der Messstrecke in Tübingen

Richtung	Straße	Abschnitt	
		von	bis
Osten, Abschnitt 1	Kelternstraße, Am Stadtgraben	Belthlestraße	Wilhelmstraße
Osten, Abschnitt 2	Wilhelmstraße	Am Stadtgraben	Nordring
Westen, Hauptvariante	Wilhelmstraße, Mohlstraße, Haußerstraße, Hölderlinstraße, Rümelinstraße, Herrenberger Straße, Kelternstraße	Nordring	Westbahnhofstraße
Westen, Alternativstrecke	Herrenberger Straße, Belthlestraße	Rümelinstraße	Westbahnhofstraße

Foto 1

Foto 2

Foto 3

Foto 4

Bild 2.2: Fotos entlang der Messstrecke (Lage und Blickrichtung der Fotos s. Bild 2.1)

2.2 Auswertung der Fahrten

Insgesamt wurden 84 Fahrten in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw durchgeführt.

Da sich die Fahrprofile von Pkw und Lkw innerhalb geschlossener Ortschaften im ebenen Gelände nicht wesentlich unterscheiden, wurde zugunsten einer größeren Zahl von Pkw-Fahrten auf die Durchführung von Lkw-Verfolgungsfahrten verzichtet.

Es wurde daher zwischen „T50-Normalfahrten“ und „T30-fiktiv“-Fahrten unterschieden. Die Anzahl der Fahrten ist in Tab. 2.2 dargestellt.

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
"T50-Normalfahrt" Richtung Osten	23
"T50-Normalfahrt" Richtung Westen	17
"T50-Normalfahrt" Richtung Westen, Alternativroute	7
"T30-fiktiv" Richtung Osten	19
"T30-fiktiv" Richtung Westen	13
"T30-fiktiv" Richtung Westen, Alternativroute	5

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.

Insgesamt ist die Lage vieler Lichtsignalanlagen (LSA) bei den Fahrprofilen in beiden Fahrtrichtungen erkennbar, da an den meisten LSA zumindest bei einigen Fahrten ein Abbremsen auf Stand erfolgte.

In Fahrtrichtung Osten musste an der Kreuzung am Ende von Abschnitt 1 bei nahezu allen Fahrten gehalten werden. Hier mündet die Mühlstraße in die Messstrecke, eine ebenfalls hoch belastete Straße /RAU 2011/.

Die folgenden LSA in Fahrtrichtung Osten sind mit Progressionsgeschwindigkeit 50 km/h koordiniert. Diese „Grüne Welle“ funktioniert bei den T50-Fahrten ziemlich gut. Bei den T30-Fahrten kam das Testfahrzeug in der ersten Hälfte von Abschnitt 2 vergleichbar gut durch. In der zweiten Hälfte von Abschnitt 2 musste bei den T30-Fahrten aufgrund der geringeren Geschwindigkeit jedoch deutlich öfter als bei den T50-Fahrten gehalten werden.

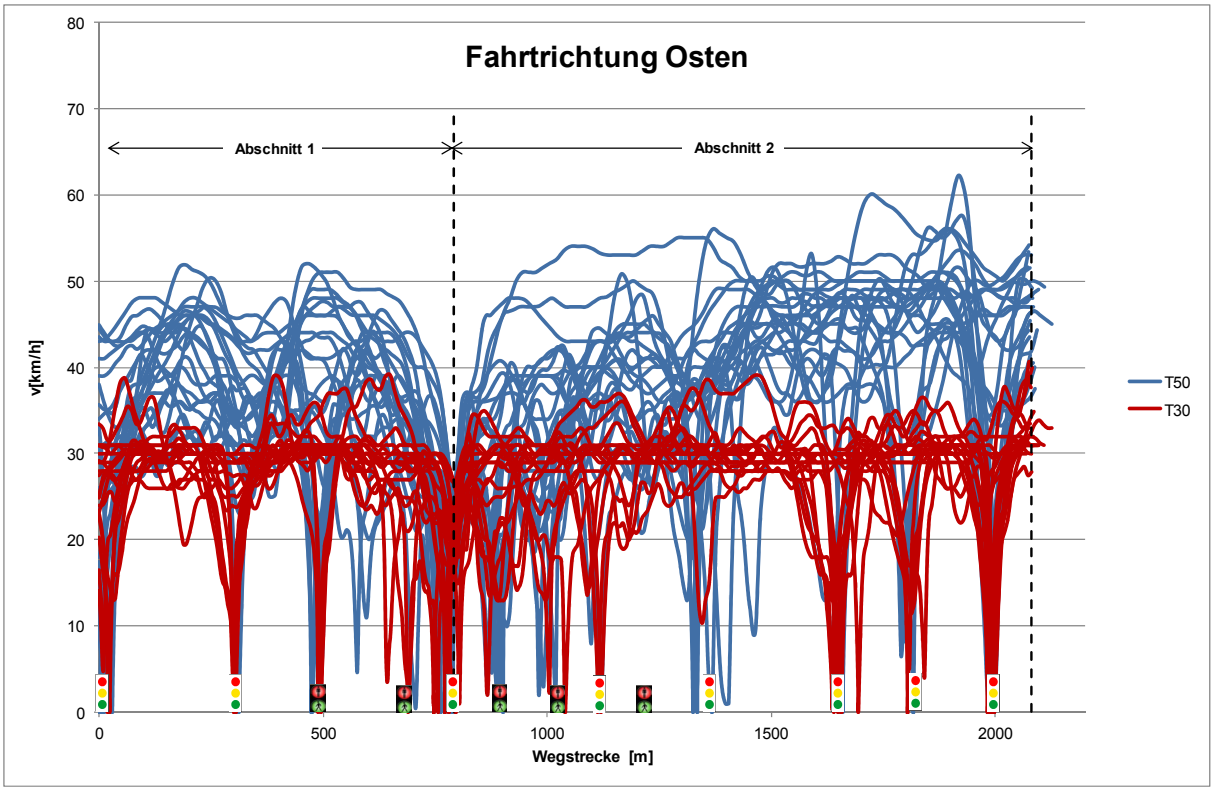


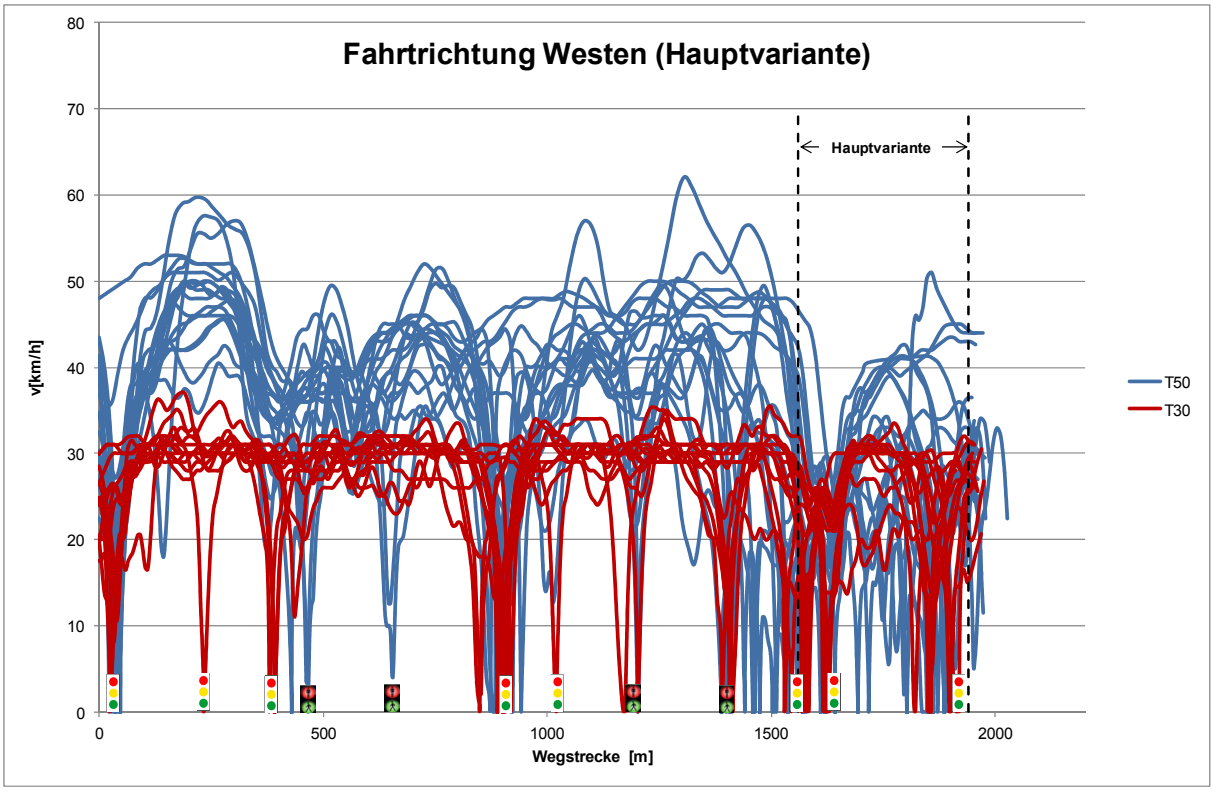
Bild 2.3: Messfahrten Tübingen in Fahrtrichtung Osten, „T50-Normalfahrt“ (blaue Linien) und „T30-fiktiv“ (rote Linien)

In Fahrtrichtung Westen funktionierte die Koordinierung der LSA für T50 wie auch für T30 auf den ersten drei Vierteln der Strecke ebenfalls gut. An den letzten drei LSA musste jedoch insbesondere bei den T30-Fahrten, aber auch bei einem Großteil der T50-Fahrten, häufig gehalten werden. Westlich der Schnarrenbergstraße (d. h. ab der vorletzten LSA) ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf der Alternativstrecke bereits auf 30 km/h beschränkt.

Auf der Alternativstrecke war der Verkehr stärker gestört als auf der Hauptvariante. Der Verkehrsfluss auf der Alternativstrecke verläuft zum Großteil in Richtung Schnarrenbergstraße, die Grünphase in Richtung Herrenberger Straße ist entsprechend kurz. Dazu kommt das scharfe Linksabbiegen in die Belthlestraße, bei dem alle Fahrzeuge die Geschwindigkeit reduzieren müssen.

Zusätzlich waren bei einigen Fahrten die Fußgängerbedarfsampeln rot, auch dies ist entsprechend durch einen Rückgang der Geschwindigkeit zu erkennen.

Die Geschwindigkeit, die auf den Teststrecken erreicht wurde, liegt in beiden Fahrtrichtungen bei der Normalfahrt T50 überwiegend im Bereich von 50 km/h, teilweise auch etwas darüber. Die T30-Fahrten sind in den Diagrammen ebenfalls dargestellt (rote Linien) und zeigen insgesamt ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.



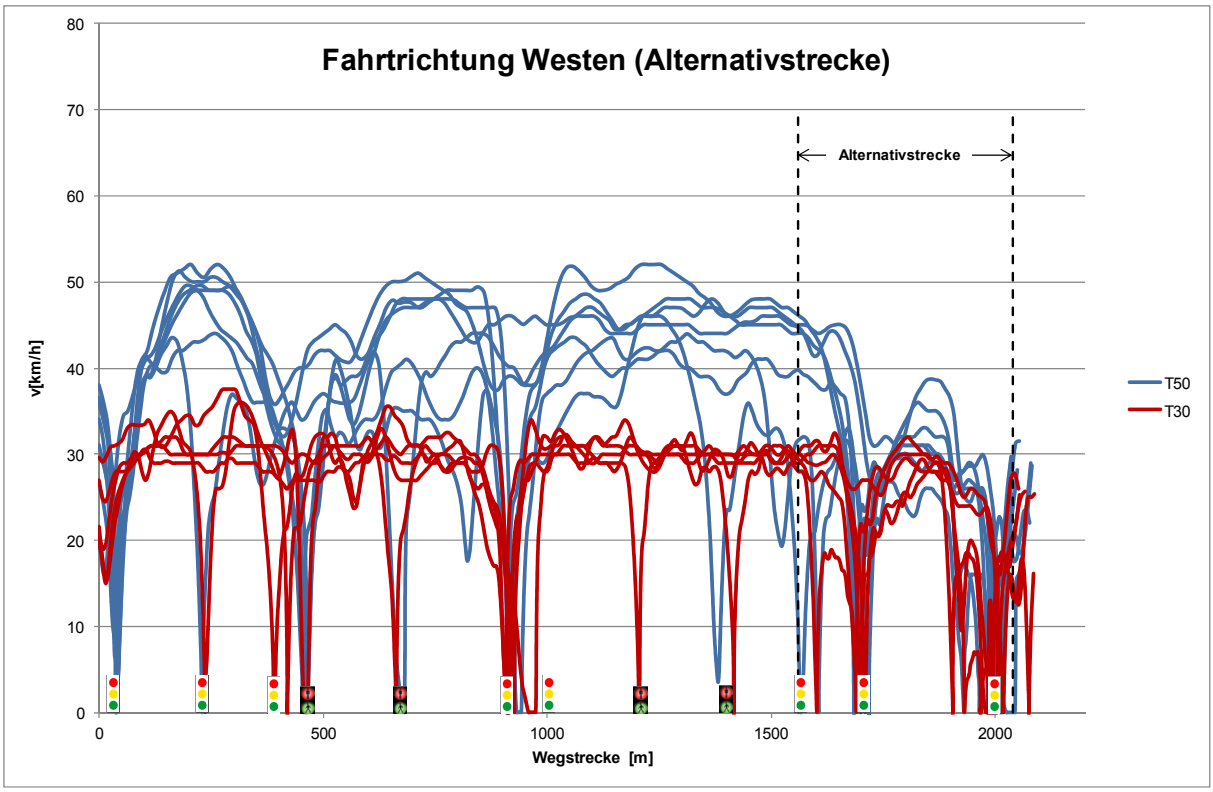


Bild 2.4: Messfahrten Tübingen in Fahrtrichtung Westen, „T50-Normalfahrt“ (blaue Linien) und „T30-fiktiv“ (rote Linien); oben: Hauptvariante, unten: Alternativstrecke

2.3 Verkehrliche Grundlagendaten

Zur Ermittlung der Emissionen des Straßenverkehrs sind die 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.

Die Verkehrsdaten werden aus dem Bericht zum Luftreinhalteplan /Rau 2011/ übernommen. Für diesen Bericht wurden zur Festlegung der verkehrlichen Grundlagedaten die folgenden Verkehrsdaten von der Stadt Tübingen zur Verfügung gestellt:

- Kfz-Verkehrsbelastungen (DTVw-Kfz) für die Gesamtstadt in Kfz/24h (Grundlage Modellrechnung) aus dem Verkehrsentwicklungsplan Tübingen 2008 /R+T 2008/
- Zähldaten aus den Verkehrszählungen in 2009 für 3 Knotenpunkte und 4 Querschnitte

Die vorliegenden Kfz-Verkehrsbelastungen aus dem VEP Tübingen 2008, die auf dem Verkehrsmodell basieren, stellen werktägliche Verkehrsstärken dar und wurden dann anhand eines Umrechnungsfaktors auf die für die Emissionsberechnung benötigten jahresmittleren durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV), die Wochenend- und Urlaubszeiten berücksichtigen, umgerechnet. Der verwendete Faktor wurde aus den Ergebnissen der Straßenverkehrszählung 2005 /BAST 2007/ abgeleitet. Die Anteile der betrachteten Fahrzeugarten wurden dem landesweite Emissionskataster Straßenverkehr Baden-Württemberg /AVISO 2009/ entnommen.

Die ermittelten Verkehrsstärken für das Bezugsjahr 2010 sind in Bild 2.5 grafisch im Netzzusammenhang dargestellt. Demnach liegt die jahresmittlere Verkehrsstärke zwischen 6.200 Kfz/24h (letzter Teil der Alternativstrecke in Fahrtrichtung Westen) und 20.800 Kfz/24h (östlicher Teil der Messstrecke). Der Anteil der sNfz (einschließlich Busse) variiert ebenfalls stark zwischen 1 % und 8 %.

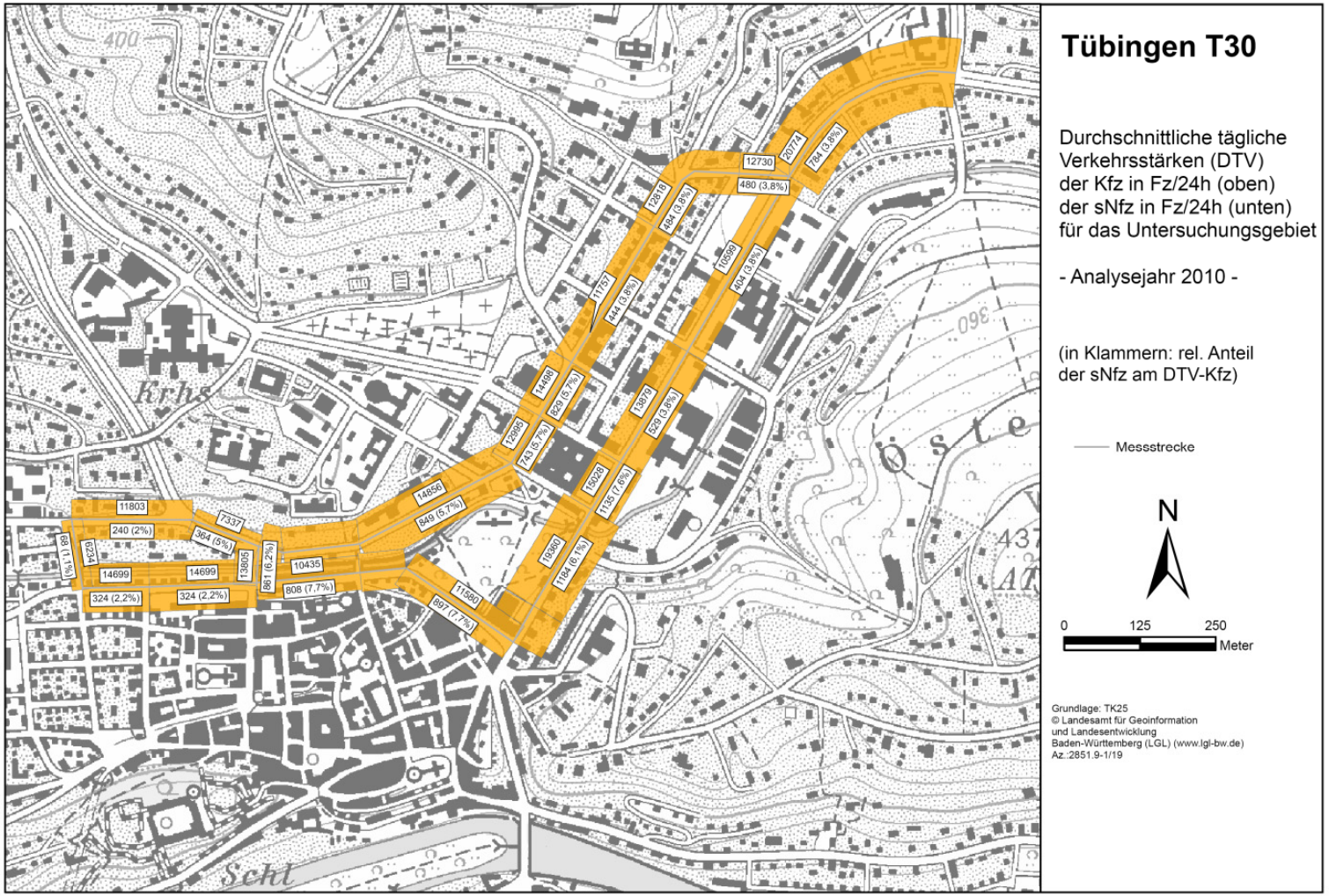


Bild 2.5: Jahresmittlere durchschnittliche Verkehrsstärken (DTV) für Kfz-gesamt und sNfz auf den Messstrecken in Tübingen

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. 2.3 ausgewiesen.

Tab. 2.3: Mittlere Reisegeschwindigkeit v und RPA pro Fahrtengruppe für „T50-Normalfahrt“ und „T30-fiktiv“ Fahrten (Gesamtstrecken und Teilabschnitte)

Fahrt-parameter	T50				T30				Änderung	
	v [km/h]	stddev v	**RPA [m/s^2]**	stddev RPA	**v [km/h]**	stddev v	**RPA [m/s^2]**	stddev RPA	**v**	**RPA**
Ri. Osten										
gesamt	**37,6**	4,2	**0,178**	0,043	**28,0**	3,1	**0,108**	0,038	**-26%**	**-39%**
Abschnitt 1	35,9	5,1	0,160	0,090	27,7	3,4	0,089	0,060	-23%	-44%
Abschnitt 2	38,6	5,3	0,188	0,104	28,2	3,4	0,119	0,072	-27%	-37%
Ri. Westen										
gesamt	**36,2**	4,2	**0,177**	0,043	**27,4**	3,1	**0,123**	0,038	**-24%**	**-31%**

In Fahrtrichtung Osten liegt die mittlere Reisegeschwindigkeit bei 37,6 km/h, in Fahrtrichtung Westen bei 36,2 km/h. Es zeigen sich für beide Fahrtrichtungen beim Vergleich „T30-fiktiv“ zu „T50-Normalfahrt“ Reduktionen der mittleren Fahrgeschwindigkeit, die für die Gesamtstrecke bei ca. -25 % liegen.

Auch für den Dynamik-Parameter RPA zeigt sich beim Vergleich T30 zu T50 für eine Reduktion, die für die Gesamtstrecke in Richtung Osten bei -39 % und in Richtung Westen bei -31 % liegt.

3 Emissionsberechnung

3.1 Modell PHEM

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

Eingangsdaten der Berechnungen bilden die 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 jede Fahrkurve mittlere Werte angegeben.

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

Für die weiteren Auswertungen wurden im Nachgang die Fahrten so ausgewählt, dass Störungsgrad und Anzahl der Halte an LSA bei T30- und T50-Fahrten vergleichbar und repräsentativ für den Tag der Messfahrten sind. Im zweiten Teil von Abschnitt 2 in Fahrtrichtung Osten war dies aufgrund der für T30 „ungünstigen“ Koordinierung der LSA mit Progressionsgeschwindigkeit 50 km/h nicht möglich. Hier wurden einige T30-Fahrten daher „manuell verflüssigt“, indem so viele Emissionsspitzen in der Folge von Halten aus den Emissionsprofilen eliminiert wurden, bis eine Vergleichbarkeit der Anzahl der Halte mit den T50-Fahrten erreicht werden konnte.

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. Zunächst wurde für jede Schicht einzeln über alle Fahrten gemittelt. Im nächsten Schritt wurde, unter Berücksichtigung der Anteile der aktuellen Flottenzusammensetzung für Tübingen, über die Schichtemissionen der Fahrzeuggruppen Pkw, lNfz und sNfz für T50 und T30 gemittelt.

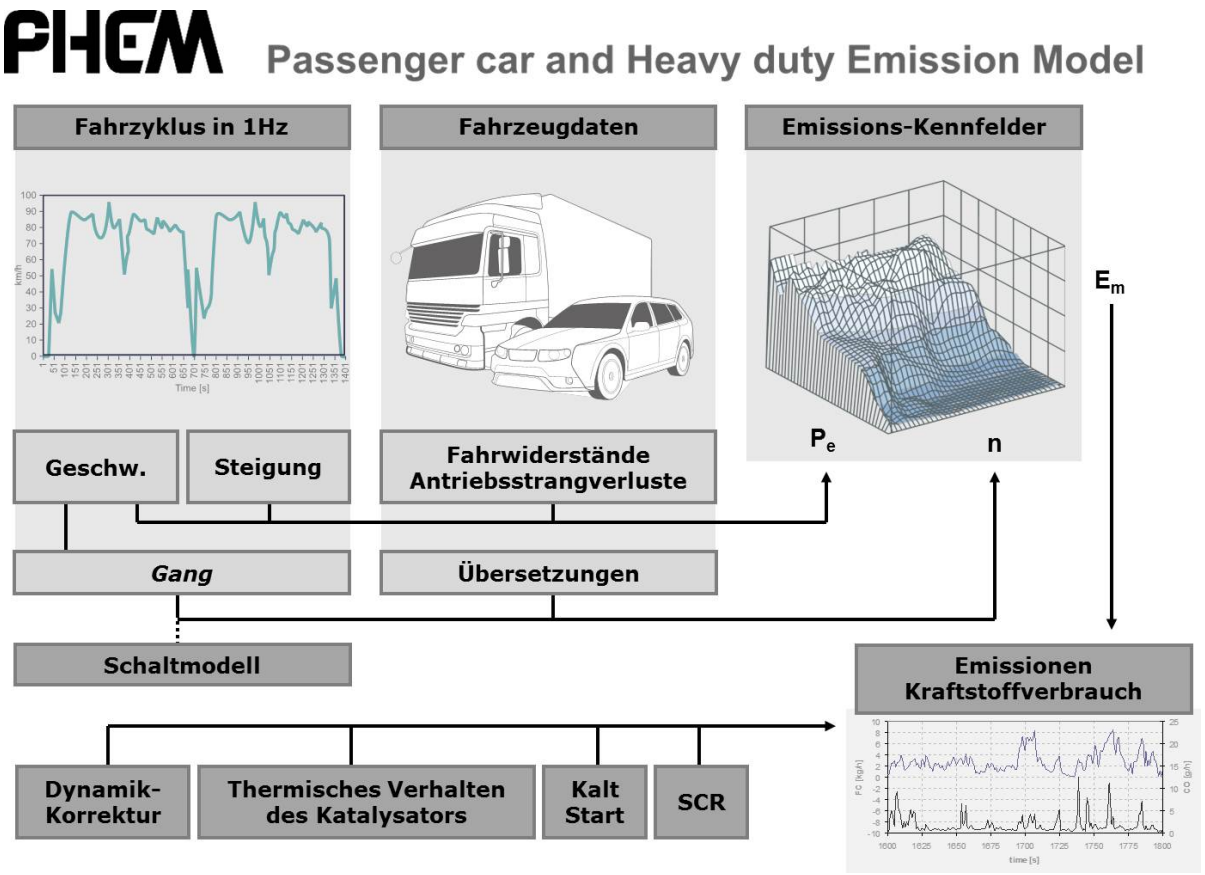


Bild 3.1: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1, Quelle: /TU Graz 2011/

Die Daten zur Flottenzusammensetzung (dynamischer Bestand) basieren auf der Datengrundlage des landesweiten Emissionskatasters Straßenverkehr /AVISO 2009/, die pro Zulassungsbezirk und Bezugsjahr Anteilsverteilungen zum dynamischen Bestand enthält. Für Tübingen sind dort für die Fahrzeuggruppen Pkw und lNfz die Bestandsdaten des Zulassungsbezirks Tübingen berücksichtigt, aus denen mittels einer Fahrleistungsgewichtung die Flottenzusammensetzung für Innerortsstraßen abgeleitet worden war.

Die Flotte der sNfz wird weniger stark vom regionalen Bestand bestimmt. Daher wurde für die sNfz die aktuelle bundesmittlere Flottenzusammensetzung aus HBEFA3.1 verwendet.

In Tab. 3.1 sind die Flottenzusammensetzungen für Pkw und sNfz auf Innerortsstraßen für 2010 aufgeführt.

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

Pkw		INfz		sNfz	
Otto vor E1	0,8%	Otto vor E1	0,6%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	3,8%	Otto E1	0,2%	DS E I	3,0%
Otto E2	6,4%	Otto E2	0,9%	Ds E II	12,1%
Otto E3	20,2%	Otto E3	0,5%	Ds E III	27,5%
Otto E4	27,5%	Otto E4	2,5%	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	0,6%	Ds vor E1	2,3%		
Ds E1	1,3%	Ds E1	2,5%		
Ds E2	3,3%	Ds E2	11,2%		
Ds E3	13,6%	Ds E3	25,4%		
Ds E4	19,7%	Ds E4	53,1%		
Ds E5	1,1%	Ds E5	0,8%		
Ds E6	0,1%	Ds E6	0,0%		
gesamt	100,0%	gesamt	100,0%	gesamt	100,0%

Das Ergebnis der oben beschriebenen Gewichtungen sind mittlere Ganglinien für die Emissionen der Pkw, INfz und sNfz, jeweils für beide Fahrtrichtungen. Die entsprechenden Ganglinien sind in Bild 3.2 bis Bild 3.7 dargestellt. Zur besseren Orientierung sind jeweils die mittleren Geschwindigkeiten mit eingetragen. Die Emissionsfaktoren für PM10-Abgas sind in der Grafik um den Faktor 10 überhöht dargestellt.

Für Tübingen lässt sich aus diesen Bildern folgendes ableiten:

- Stickoxide und Partikel werden vornehmlich an positiven Beschleunigungsstellen emittiert. Hier sind die Emissionsfaktoren bei Tempo 50 höher als bei Tempo 30, da im letzteren Fall die Zielgeschwindigkeit früher erreicht ist.
- In Fahrtrichtung Osten sind deutliche Emissionsspitzen an den LSA zu Beginn der Messstrecke, an der Einmündung der Mühlstraße sowie am Knoten Wilhelmstraße/Nordring zu erkennen.
- In Fahrtrichtung Westen befinden sich die höchsten Emissionsspitzen an den LSA zu Beginn der Messstrecke sowie auf der Alternativstrecke (mehrfaches Halten). Auch Halte an Fußgängerbedarfs-LSA sind als erhöhte Emissionen zu erkennen.
- Auf Ausrollstrecken liegen die T30-Emissionsfaktoren über denen für T50.

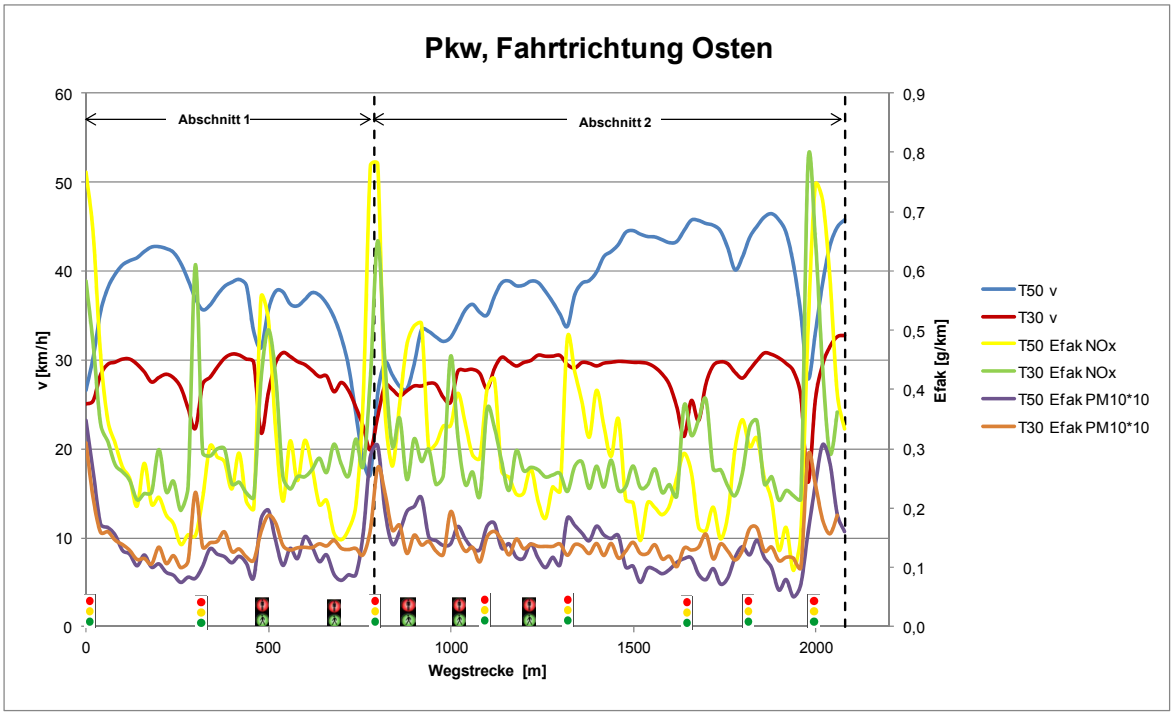


*Bild 3.2: Profile der mittleren Fahrgeschwindigkeit (T50 v bzw. T30 v) sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für „T50-Normalfahrten“ und „T30-fiktiv“ für **Pkw in Richtung Osten**; PM10-Emissionsfaktoren um den Faktor 10 überhöht*

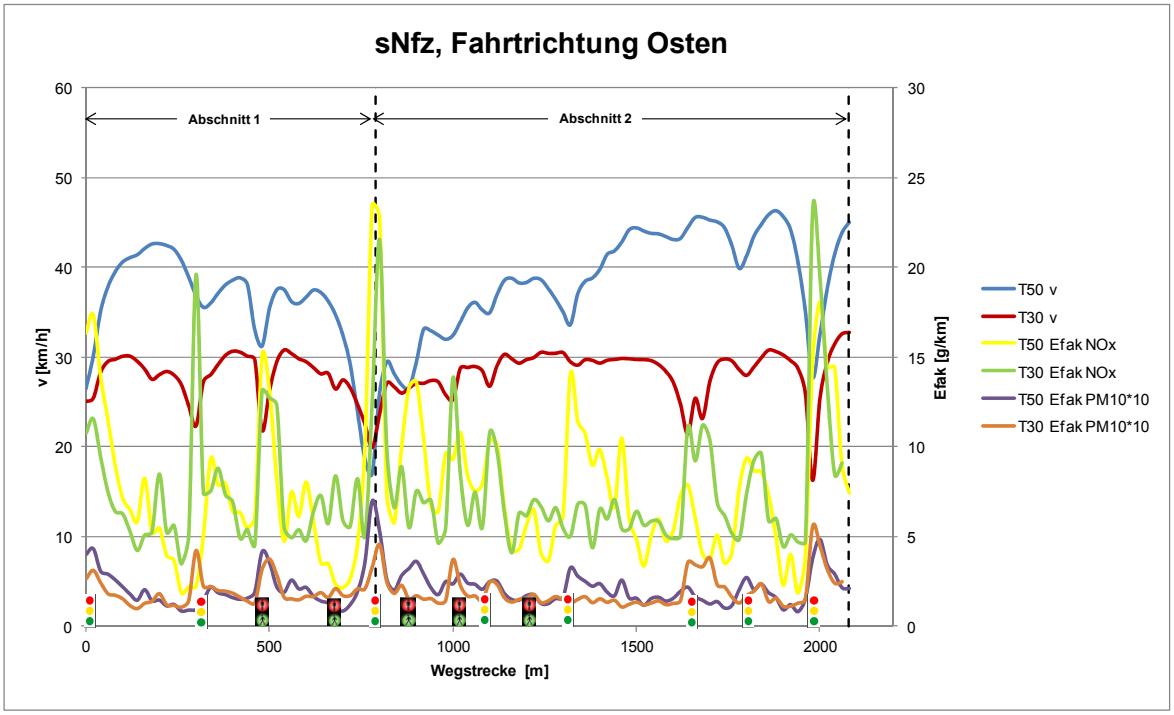


*Bild 3.3: Profile der mittleren Fahrgeschwindigkeit (T50 v bzw. T30 v) sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für „T50-Normalfahrten“ und „T30-fiktiv“ für **sNfz in Richtung Osten**; PM10-Emissionsfaktoren um den Faktor 10 überhöht*

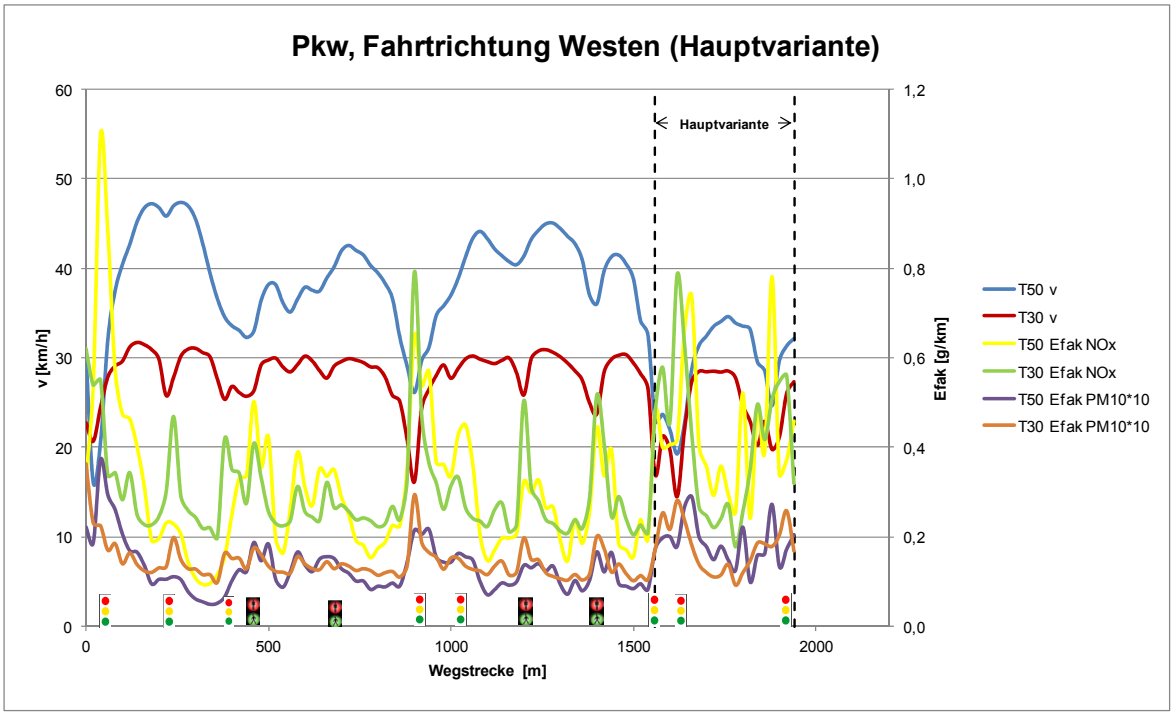


*Bild 3.4: Profile der mittleren Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für „T50-Normalfahrten“ und „T30-fiktiv“ für **Pkw in Richtung Westen (Hauptvariante)**; PM10-Emissionsfaktoren um den Faktor 10 überhöht*

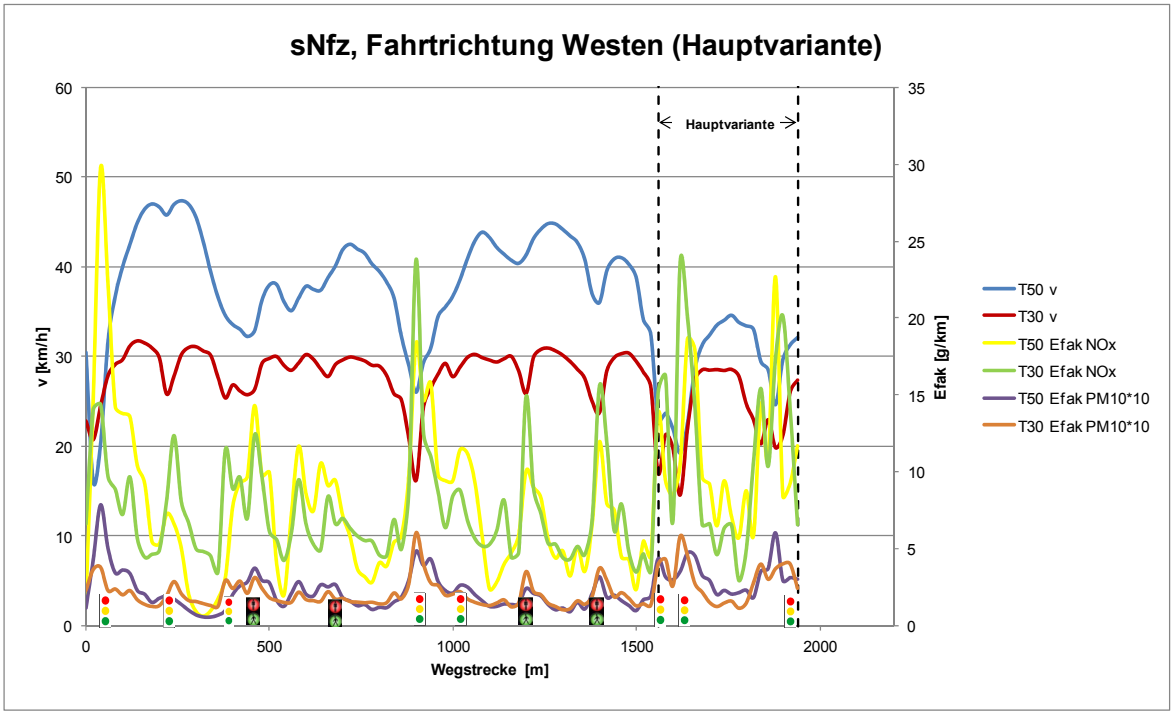


*Bild 3.5: Profile der mittleren Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für „T50-Normalfahrten“ und „T30-fiktiv“ für **sNfz in Richtung Westen (Hauptvariante)**; PM10-Emissionsfaktoren um den Faktor 10 überhöht*

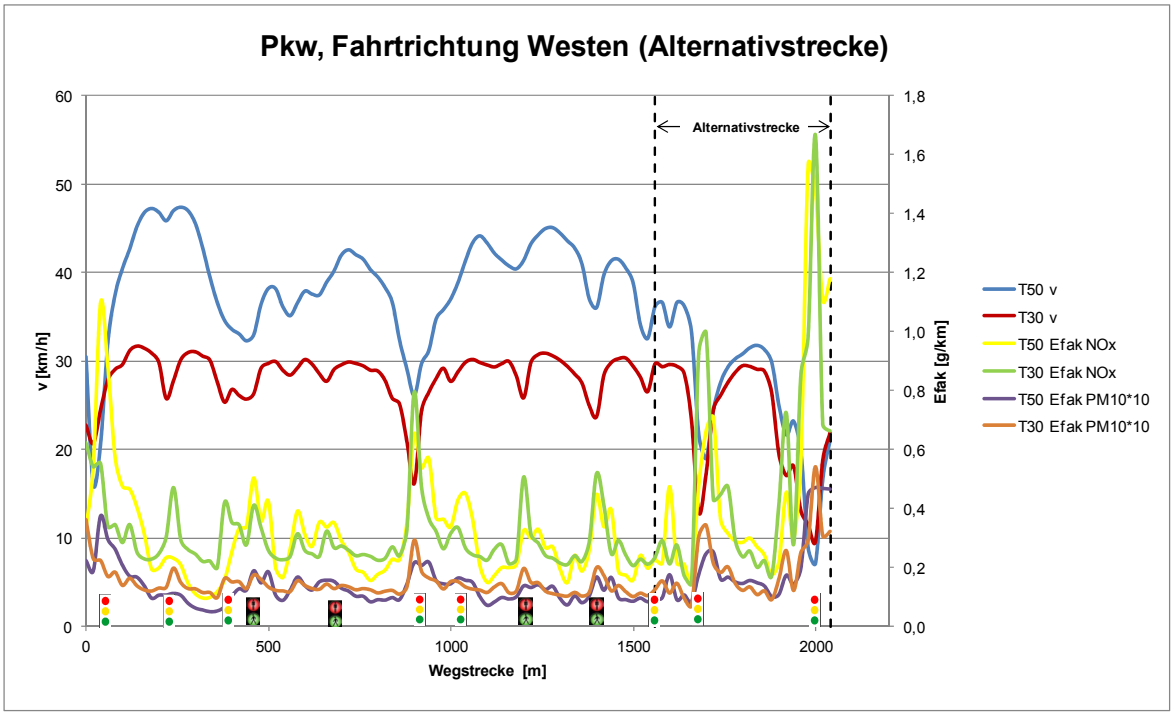


*Bild 3.6: Profile der mittleren Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für „T50-Normalfahrten“ und „T30-fiktiv“ für **Pkw in Richtung Westen (Alternativstrecke)**; PM10-Emissionsfaktoren um Faktor 10 überhöht*

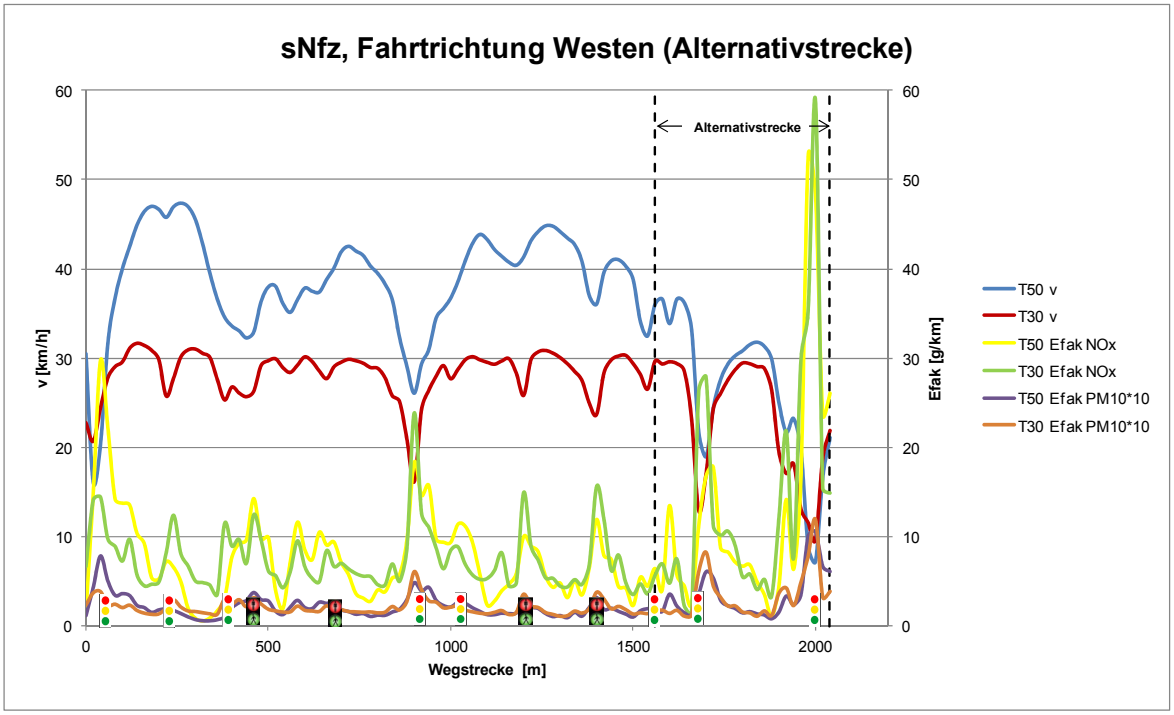


*Bild 3.7: Profile der mittleren Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_X- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und „T30-fiktiv“ für **sNfz in Richtung Westen (Alternativstrecke)**; PM10-Emissionsfaktoren um Faktor 10 überhöht*

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 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 kurzen Teilabschnitten sind jedoch aus folgenden Gründen höher als für die Gesamtstrecken:

- Wie auch 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 können Emissionsfaktoren für kürzere Einzelabschnitte nützliche Zusatzinformationen zu den Werten für die Gesamtstrecken liefern, die Auswirkungen eines Tempolimits können auf verschiedenen Teilabschnitten durchaus gegenläufig sein.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde entschieden, die konkrete Messstrecke in Tübingen in Fahrtrichtung Osten in zwei Unterabschnitte aufzuteilen und in Fahrtrichtung Westen als Gesamtstrecke auszuwerten (s. Bild 2.1).

Die in Richtung Westen bestimmten Emissionsfaktoren beziehen sich auf die Hauptvariante:

- Der Vergleich der Ganglinien der Emissionsfaktoren in Bild 3.4 und Bild 3.5 mit Bild 3.6 und Bild 3.7 zeigt deutlich, dass die Emissionen unabhängig vom Tempolimit auf der Alternativstrecke höher sind als auf der Hauptvariante.
- Westlich der Schnarrenbergstraße besteht auf der Alternativstrecke ohnehin ein Tempolimit von 30 km/h, die verbleibenden 150 Meter haben auf die Gesamtstrecke in Fahrtrichtung Westen angesichts der im Vergleich niedrigen Verkehrsstärken nur einen geringen Einfluss.

Die so gebildeten Emissionsfaktoren für NO_X und PM10-Abgas für die Fahrzeuggruppen Pkw, lNfz und sNfz sind gemittelt über die in Bild 2.1 eingetragenen Teilabschnitte in Tab. 3.2 und Tab. 3.3 getrennt nach Fahrtrichtungen dargestellt. Ebenfalls angegeben sind die Standardabweichungen aus der Mittelung über die Fahrten jeweils als Absolutwert und als relativer Anteil. Im unteren Teil der Tabellen ist jeweils die Veränderung von T30 gegenüber T50 angegeben.

Der Vergleich der Emissionsfaktoren T30 zu den Emissionsfaktoren T50 weist, bei Betrachtung der gesamten Strecke, für NO_X in Fahrtrichtung Osten für die Pkw eine Reduktion um -1,5 %, für die lNfz eine Reduktion um -20,4 % und für die sNfz eine Reduktion von -0,7 % auf. In Fahrtrichtung Westen ergeben sich für die NO_X-Emissionsfaktoren für die Pkw Reduktionen um -1,6 %, für die lNfz um -21,7 % und für die sNfz um -0,8 %.

Für die Abgas-Partikel zeigen sich in Fahrtrichtung Osten (Westen) für die Pkw Zunahmen des Emissionsfaktors um +8,1 % (+7,7 %), für die lNfz bzw. sNfz Abnahmen um -7,0 % (-5,2 %) bzw. -8,3 % (-7,4 %).

*Tab. 3.2: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **NO_X** für die Messstrecken in Tübingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofilen*

Efaktor NO_X	**Pkw**			**lNfz**			**sNfz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50									
gesamt Ri Ost	**0,3062**	**0,0532**	**17%**	**0,7325**	**0,1501**	**20%**	**7,701**	**0,958**	**12%**
Abschnitt 1	0,2959	0,1009	34%	0,6829	0,2675	39%	7,417	3,399	46%
Abschnitt 2	0,3127	0,1258	40%	0,7640	0,3616	47%	7,881	2,443	31%
gesamt Ri West	**0,3271**	**0,0755**	**23%**	**0,7915**	**0,1697**	**21%**	**8,213**	**1,382**	**17%**
T30									
gesamt Ri Ost	**0,3015**	**0,0424**	**14%**	**0,5830**	**0,1279**	**22%**	**7,650**	**1,118**	**15%**
Abschnitt 1	0,3011	0,0920	31%	0,5931	0,2541	43%	7,414	3,018	41%
Abschnitt 2	0,3061	0,0694	23%	0,5625	0,1902	34%	7,607	2,080	27%
gesamt Ri West	**0,3218**	**0,0338**	**10%**	**0,6200**	**0,1058**	**17%**	**8,146**	**0,939**	**12%**
Änderung									
gesamt Ri Ost	**-1,5%**			**-20,4%**			**-0,7%**		
Abschnitt 1	1,8%			-13,2%			0,0%		
Abschnitt 2	-2,1%			-26,4%			-3,5%		
gesamt Ri West	**-1,6%**			**-21,7%**			**-0,8%**		

*Tab. 3.3: Mittlere („warme") Emissionsfaktoren für **PM10** für die Messstrecken in Tübingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofilen*

EfaktorPM10	**Pkw**			**INFz**			**sNFz**		
[g/km]	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.	MW	stddev abs.	stddev rel.
T50									
gesamt Ri Ost	**0,0135**	**0,0022**	**16%**	**0,0533**	**0,0073**	**14%**	**0,2111**	**0,0343**	**16%**
Abschnitt 1	0,0131	0,0042	32%	0,0523	0,0144	28%	0,2106	0,0883	42%
Abschnitt 2	0,0137	0,0049	36%	0,0539	0,0156	29%	0,2115	0,0653	31%
gesamt Ri West	**0,0140**	**0,0031**	**22%**	**0,0546**	**0,0080**	**15%**	**0,2327**	**0,0499**	**21%**
T30									
gesamt Ri Ost	**0,0146**	**0,0018**	**13%**	**0,0495**	**0,0098**	**20%**	**0,1935**	**0,0431**	**22%**
Abschnitt 1	0,0144	0,0037	26%	0,0509	0,0186	37%	0,1950	0,0919	47%
Abschnitt 2	0,0146	0,0030	21%	0,0477	0,0130	27%	0,1888	0,0595	32%
gesamt Ri West	**0,0150**	**0,0016**	**11%**	**0,0518**	**0,0086**	**17%**	**0,2154**	**0,0352**	**16%**
Änderung									
gesamt Ri Ost	**8,1%**			**-7,0%**			**-8,3%**		
Abschnitt 1	10,2%			-2,8%			-7,4%		
Abschnitt 2	6,6%			-11,6%			-10,7%		
gesamt Ri West	**7,7%**			**-5,2%**			**-7,4%**		

3.4 Vergleich 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 der Emissionsfaktoren 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 Messstrecken wurde die Hauptverkehrssituation „Distributor Speedlimit 50 km/h" zugewiesen, da es sich mit Ausnahme eines Teils der Alternativstrecke um innerörtliche Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h handelt.

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

Für Pkw und sNfz sind die Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 in Bild 3.8 (NO_X) und Bild 3.9 (PM10-Abgas) den Emissionsfaktoren vergleichend gegenübergestellt, die über die Messfahrten und PHEM-Berechnungen für T50 und T30 ermittelt wurden, um die Ergebnisse besser einordnen zu können.

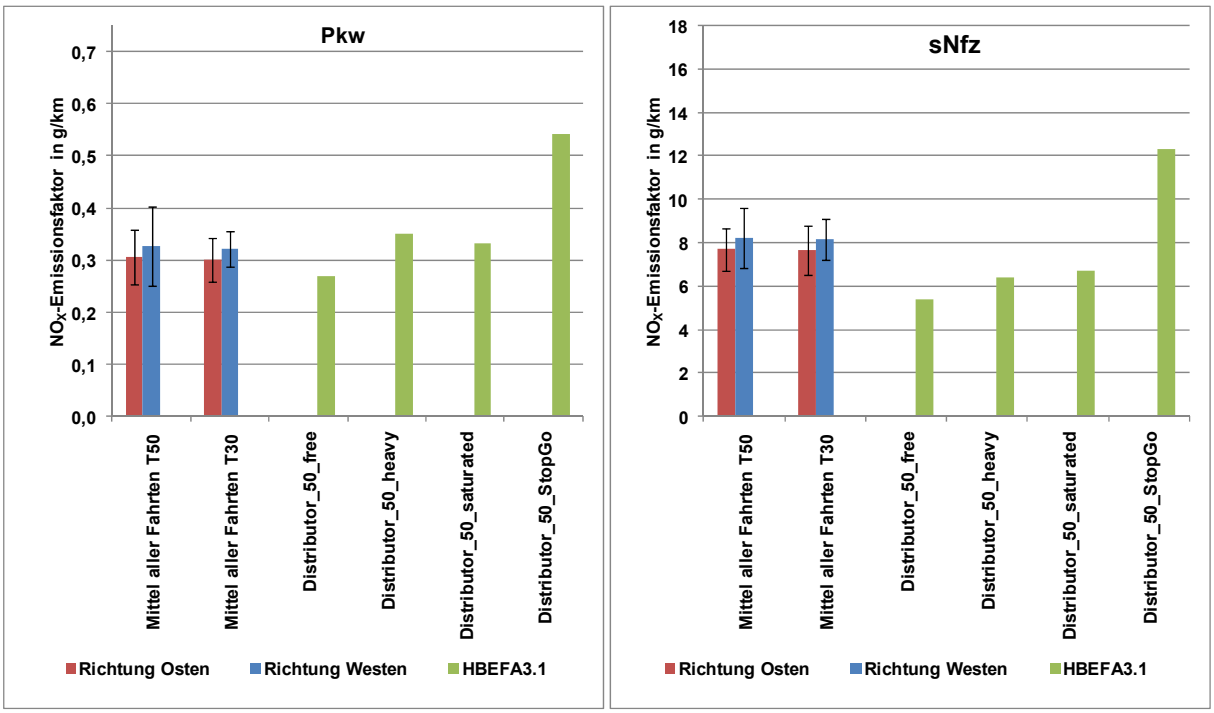


Bild 3.8: Vergleich der warmen NO_X-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren, abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz für die Messstrecke in Tübingen

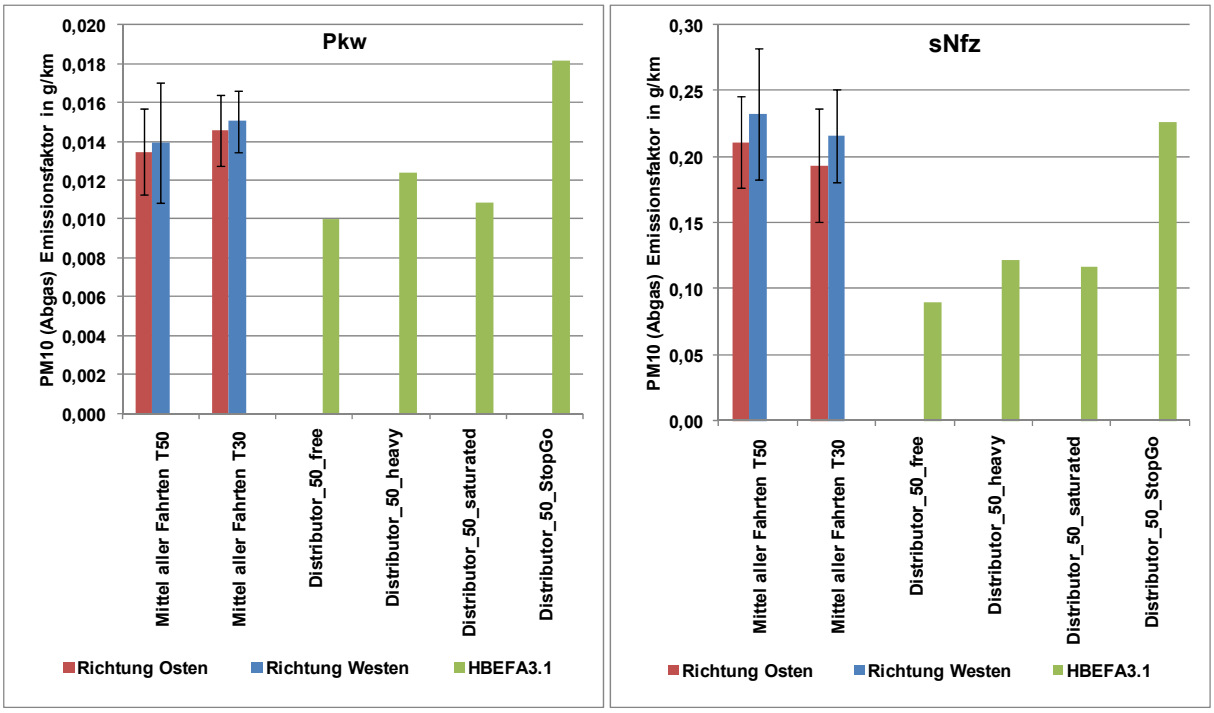


Bild 3.9: Vergleich der warmen PM10-Abgas-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden aus HBEFA3.1 mit den mittleren („warmen“) Emissionsfaktoren, abgeleitet aus den Messfahrten für Pkw und sNfz für die Messstrecke in Tübingen

Bei den Pkw liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren für NO_X innerhalb der Spannweiten der Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 für die relevanten Verkehrssituationen (ausgenommen Stop&Go), für PM10 liegen sie etwas darüber.

Bei den sNfz liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten Emissionsfaktoren sowohl für NO_X und noch deutlicher für PM10 über den zu erwartenden Werten nach dem Handbuch. Hier müssten deutliche Anteile an Verkehrssituationen mit großem Störungsgrad angenommen werden, damit die Messergebnisse in das Spektrum des Handbuchs passen.

3.5 Jahresemissionen

Über den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV, s. Bild 2.5) können jahresmittlere Emissionsdichten berechnet werden. Dazu tragen neben den warmen Abgas-Emissionen auch Kaltstartzuschläge sowie Aufwirbelung und Abrieb bei. Deren Berechnung 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 unbeein-

flusst 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 in Anlehnung an /BAST 2009/ angenommen, dass diese durch die Einführung von T30 pauschal um ca. 5% reduziert werden können.

In Tab. 3.4 sind die durch Einführung von T30 jeweils erreichbaren Emissionsminderungen für NO_X und PM10 auf den untersuchten Strecken ausgewiesen (angenommener T30-Befolgungsgrad: 100%).

Tab. 3.4: Wirkung einer Einführung von T30 auf die Jahresemissionen (NO_X und PM10 inklusive Kaltstartzuschlägen sowie Aufwirbelung und Abrieb) für die Messstrecken in Tübingen, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofilen (angenommener T30-Befolgungsgrad: 100 %)

jährliche Gesamtemissionen	**NO_X**	**PM10 (gesamt)**
	Änderung T30 gegenüber T50	
gesamt Ri O	**-1,6%**	**-3,5%**
Abschnitt 1	0,3%	-3,3%
Abschnitt 2	-3,6%	-3,9%
gesamt Ri W	**-1,8%**	**-3,3%**

Es ergeben sich in beiden Fahrtrichtungen für NO_X geringe Emissionsminderungen von knapp unter zwei Prozent und für PM10 etwas größere Minderungen von knapp über drei Prozent. In Fahrtrichtung Osten zeigt die Bildung von Unterabschnitten, dass die Abnahmen NO_X-Emissionen vornehmlich auf Abschnitt 2 zurückzuführen sind (-3,6 %), während sich auf Abschnitt 1 nahezu keine Änderung ergibt (+0,3 %). Bei PM10 sind die Unterschiede zwischen den Unterabschnitten minimal.

3.6 Auswirkung auf die Immissionsbelastung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Maßnahmenwirkung /Rau 2011/ wurde unter anderem für den Analyse-Nullfall mit dem Screening-Modell ISIS für den Innenstadtbereich von Tübingen die NO_2-und PM10-Jahresmittelwerte ermittelt. Gegenüber dem Analyse-Nullfall 2010 ändern sich bei T30 die NOx- bzw. die PM10-Emissionen auf den untersuchten Messstrecken wie in Tab. 3.4 angegeben. Während emissionsseitig insgesamt 3 Abschnitte (2 Ab-

schnitte nach Osten, 1 Abschnitt nach Westen) betrachtet wurden, wurde immissionsseitig kleinräumiger differenziert, da sich die Immissionskonzentrationen bei gleich bleibender Emissionen in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur, der Straßenausrichtung und der Straßengeometrie ändern.

Die für die einzelnen Straßenabschnitte innerhalb der T30-Messstrecke ermittelten NO_2- und PM10-Jahresmittelwerte sind in Tab. 3.5 im Vergleich zum Analysefall 2010 zusammengestellt. Die Pfeile in der Tabelle kennzeichnen einen Konzentrationsanstieg bzw. eine Reduzierung in Folge der Maßnahme T30 gegenüber dem Basisfall. Eine Karte mit der Zuordnung der ID-Nummern zu den einzelnen Straßenabschnitten ist in Bild 3.10 gegeben.

Tab. 3.5: Ergebnis der Screening-Berechnungen für Hauptstraßen im Tübinger Stadtgebiet für die Maßnahme T30. NO_2- und PM10-Jahresmittelwerte für das Basisszenarium sowie die Maßnahme. Der Pfeil kennzeichnet einen Anstieg (↑) in Folge der Maßnahme gegenüber dem Basisfall. In allen anderen Fällen kommt es zu einer Reduzierung (↓) gegenüber dem Basisfall.

Name Straßenabschnitt		Szenarium 2010 SG1		Tempo 30	
	ID	NO_2	PM10	NO_2	PM10
Am Stadtgraben	15	38,6	21,4	38,7 ↑	21,4
Am Stadtgraben	16	56,8	26,5	56,8	26,2 ↓
Am Stadtgraben	58	62,2	26,6	62,3 ↑	26,3 ↓
Belthlestraße	17	34,1	21,6	33,9 ↓	21,6
Haußerstraße	54	43,1	24,0	42,8 ↓	23,8 ↓
Herrenberger Straße	20	39,8	23,1	39,5 ↓	23,0 ↓
Herrenberger Straße	21	32,7	20,8	32,5 ↓	20,8
Herrenberger Straße	22	40,4	22,5	40,2 ↓	22,4 ↓
Hölderlinstraße	23	34,5	21,5	34,3 ↓	21,4 ↓
Hölderlinstraße	51	45,0	24,5	44,7 ↓	24,4 ↓
Hölderlinstraße	60	40,9	22,4	40,6 ↓	22,3 ↓
Kelternstraße	24	50,2	26,4	50,0 ↓	26,2 ↓
Kelternstraße	42	34,8	21,7	34,8	21,6 ↓
Rümelinstraße	25	44,0	23,5	43,7 ↓	23,3 ↓
Rümelinstraße	26	65,1	29,2	64,5 ↓	28,9 ↓
Rümelinstraße	27	33,6	21,9	33,4 ↓	21,8 ↓
Wilhelmstraße	32	55,9	26,4	54,9 ↓	26,1 ↓
Wilhelmstraße	33	31,7	20,8	31,5 ↓	20,8
Wilhelmstraße	41	65,9	29,2	64,6 ↓	28,8 ↓
Wilhelmstraße	53	28,5	19,8	28,3 ↓	19,8
Wilhelmstraße	56	30,9	20,5	30,7 ↓	20,4 ↓
Wilhelmstraße	59	53,3	25,9	52,4 ↓	25,6 ↓

Bis auf zwei Straßenabschnitte innerhalb des Messabschnitts 1 nach Osten (Am Stadtgraben mit den ID 15, 58) nehmen die NO_2-Jahresmittelwerte auf allen Abschnitten der T30-Messstrecke um maximal 1,3 µg/m³ gegenüber dem Basisfall ab. Die PM10-

Jahresmittelwerte nehmen auf allen immissionsseitig untersuchten Streckenabschnitten um maximal 0,4 µg/m³ gegenüber dem Basisfall ab bzw. bleiben unverändert.

Auf keinem der im Zuge von T30 untersuchten Streckenabschnitte führt die Maßnahme für die Fälle, in denen im Basisfall der NO_2-Grenzwert für das Jahresmittel überschritten wird, bei Realisierung der Maßnahme T30 zu einer Unterschreitung des Grenzwertes.

Bei PM10 wird der Immissionswert für das Jahresmittel sowohl für den Basisfall als auch bei T30 deutlich unterschritten. Die Maßnahme Tempo 30 bringt für die Fälle, in denen für den Basisfall eine Über- oder Unterschreitung des Kurzzeitwertes möglich ist, keine Verbesserung in Richtung "Einhaltung des Kurzzeitwertes".

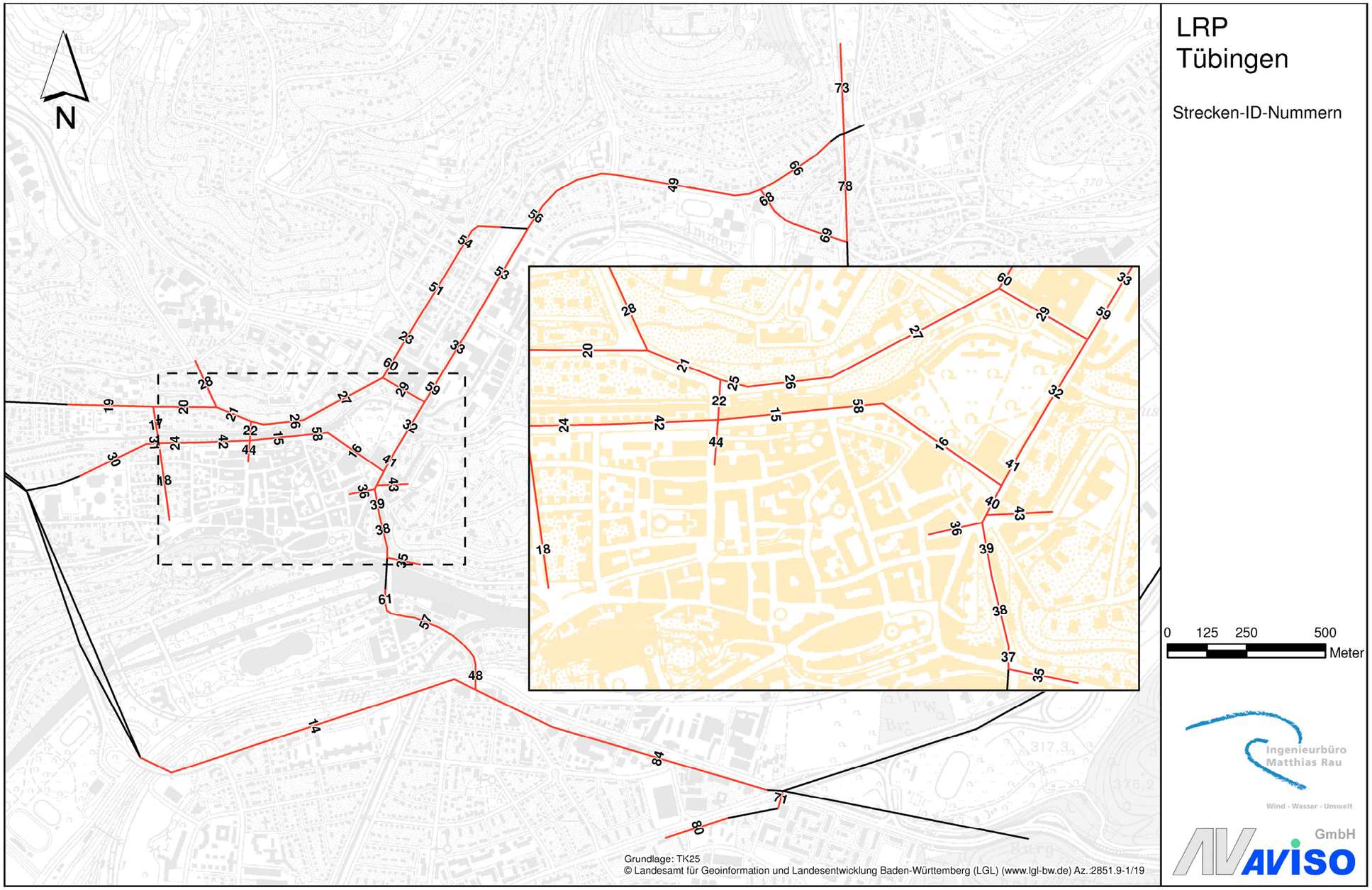


Bild 3.10: Strecken-ID Hauptstraßenabschnitte

4 Zusammenfassung

Zur Ermittlung der Auswirkungen eines Tempolimits von 30 km/h entlang eines Einbahnstraßensystems in Tübingen auf die Luftqualität wurden am 23. und 24.05.2011 in Tübingen mit einem Pkw Messfahrten mit Tempo 50 und „Tempo 30 fiktiv“ entlang dieser Messstrecke durchgeführt. Zusätzlich wurde die Strecke mit Video und Digitalkamera erfasst und dokumentiert.

Basierend auf den erhobenen Fahrzyklen wurden mit dem Modell PHEM der TU Graz die Abgasemissionen für diese Fahrkurven berechnet. Darauf aufbauend wurden unter Berücksichtigung des lokalen dynamischen Bestands und der Verkehrsstärken „warme“ Emissionsfaktoren sowie jährliche Emissionen für NO_X und PM10 berechnet.

Im Handbuch Emissionsfaktoren HBEFA3.1 gibt es noch keine Emissionsfaktoren für T30 auf Vorfahrtsstraßen. Es wurde daher nur ein Vergleich der aus den Messfahrten abgeleiteten T50 Emissionsfaktoren mit den entsprechenden Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 durchgeführt. Für NO_X liegen die Pkw-Emissionsfaktoren für die Verkehrssituationen „free“, „heavy“ und „saturated“ nach HBEFA3.1 im durch die beiden Fahrtrichtungen aufgespannten Bereich der gemessenen Emissionsfaktoren. Insbesondere bei den sNfz liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten PM10-Abgas-Emissionsfaktoren jedoch über den Werten aus dem Handbuch.

Die Auswertung der Fahrtparameter mittlere Geschwindigkeit und RPA (*relative positive acceleration*) für T50 und T30 zeigt für beide Parameter deutliche Reduzierungen beim Übergang von T50 zu T30 (v: zwischen -23 % und -27 %; RPA: zwischen -31 % und -44 %). Die Einführung von T30 würde also zu einer deutlichen Verstetigung des Verkehrsflusses führen.

Auf die Gesamtstrecke bezogen würde eine Einführung von T30 zu Reduktionen der jährlichen Emissionen führen, die für NO_X bei knapp unter zwei Prozent und für PM10 bei etwas über drei Prozent liegen.

Die immissionsseitigen Auswirkungen von T30 wurden kleinräumig für alle Streckenabschnitte des Tübinger Innenstadtbereiches, die innerhalb der T30-Messstrecke liegen und im Rahmen der bereits durchgeführten Maßnahmenuntersuchungen /Rau 2011/ definiert wurden, ermittelt. Es zeigen sich bei den NO_2- und PM10-Jahresmittelwerten Minderungen um maximal 1,3 µg/m³ bzw. 0,4 µg/m^3.

Heilbronn, 28.11.2011

Literaturverzeichnis

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

BAST 2007
Straßenverkehrszählungen 2005, Ergebnisse, BAST, Wirtschaftsverlag NW, Bergisch-Gladbach, 2007

BAST 2009
Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 189, Januar 2010

Hausberger 2010
User Guide for the Model PHEM, Luz R.; Hausberger S., IVT Uni Graz, 2010

HBEFA3.1 2010
www.hbefa.net

TU Graz 2011
persönliche Email von Herrn Raphael Luz, Übersichtsgrafik PHEM

RAU 2011B
Bestimmung der emissions- und immissionsseitigen Auswirkungen von Maßahmen im Rahmen der Fortschreibung der Luftreinhaltepläne des Regierungspräsidiums Tübingen für die Bezugsjahre 2012 und 2013 – Teilplan Tübingen. Im Auftrag des Regierungspräsidiums Tübingen.

R+T 2008
Tübingen, Verkehrsentwicklungsplanung 2008, R+T Topp, Huber-Erler, Hagedorn