

Ersteinschätzung der Wirkung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen auf die NO_x- und PM10-Emissionen



Ersteinschätzung der Wirkung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen auf die NO_x- und PM10-Emissionen

- HERAUSGEBER** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- BEARBEITUNG** AVISO GmbH
52074 Aachen, Am Hasselholz 15
Dr. rer. nat. Nicola Toenges-Schuller
Dr.-Ing. Christiane Schneider
Dipl.-Ing. Arnold Niederau
- REDAKTION** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Referat 33 – Luftqualität
Dr. Werner Scholz
- STAND** August 2012

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG		5
1	FREIBERG: VERGLEICH MESSFAHRTEN AVISO UND TÜV NORD	7
1.1	Messstrecken und Messfahrten	7
1.2	Emissionsberechnung	9
1.2.1	Mittlere Ganglinien der Emissionsfaktoren	11
1.2.2	Emissionsfaktoren	12
1.2.3	Jahresemissionen	16
1.3	Diskussion	18
2	AUSWERTUNGEN STUTTGART (TÜV NORD)	22
2.1	Messstrecken und Messfahrten	22
2.2	Emissionsfaktoren	24
3	GESAMTAUSWERTUNG MESSFAHRTEN	28
3.1	Überblick Messfahrten	28
3.2	Gesamtauswertung aller sekundlichen Werte	34
3.2.1	Gruppierung	34
3.2.2	Emissionsfaktoren Pkw NO _x	36
3.2.3	Emissionsfaktoren leichte und schwere Nutzfahrzeuge	38
3.3	Anteil Konstantfahrt bei T50 und T30	38
3.4	Ersteinschätzungsschema	40
3.5	Einfluss der Flottenzusammensetzung	45
3.6	Anwendungsgrenzen	48
3.7	Ersteinschätzung der Messstrecken	48
3.8	Wendlingen	49
3.9	Freiberg	50
3.10	Stuttgart	51
4	EINSCHÄTZUNG ÜBER STRECKENEIGENSCHAFTEN	52
4.1	Korrelationsanalysen	52
4.1.1	Abschätzung Konstantfahrtanteil T50 nur über die Verkehrsstärke	54
4.1.2	Abschätzung Konstantfahrtanteil T50 durch Gewichtung von Störstellen	54

4.1.3	Vergleich der unterschiedlichen Verfahren	56
4.2	Ablaufschema Ersteinschätzung	59
LITERATURVERZEICHNIS		61
A	ANHANG FREIBERG: VERGLEICH MESSFAHRTEN AVISO UND TÜV NORD	63
B	ANHANG AUSWERTUNGEN STUTTGART (TÜV NORD)	71
C	ANHANG GESAMTAUSWERTUNG MESSFAHRTEN	75

Zusammenfassung

Im Auftrag verschiedener Regierungspräsidien wurden von AVISO für insgesamt dreizehn Städte in Baden-Württemberg Untersuchungen zur emissionsseitigen Wirkung eines Tempolimits von Tempo 30 (T30) auf Hauptverkehrsstraßen durchgeführt; betrachtet wurden die Luftschadstoffe Stickstoffoxide (NO_x) und Feinstaub PM10 (Abgas). Pro Messstrecke liegen die Daten der Fahrparameter und der mit dem Modell PHEM¹ (TU Graz) berechneten Emissionen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie aggregiert als Mittelwerte für Streckenzüge vor.

Diese Daten wurden nun mit dem Ziel, verallgemeinernde Aussagen zur Wirkung von T30 auf Hauptverkehrsstraßen für verschiedene Straßensituationen abzuleiten, zusammengeführt und in ihrer Gesamtheit ausgewertet. Ergänzend wurden dabei die Ergebnisse des LUBW-Projektes zur Messung realer Emissionen im Straßenverkehr (durchgeführt von TÜV Nord) bei unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Innerortsbereich herangezogen. Diese Messungen wurden im Stuttgarter Raum sowie in Freiberg durchgeführt (dort liegen auch von AVISO Messfahrten vor).

Insgesamt liegen über 1.000 Messfahrten mit rund 225.000 sekundlichen Messpunkten vor. Ausgewertet für alle relevanten Fahrzeugschichten der Pkw, der leichten und der schweren Nutzfahrzeuge ergeben sich damit über 15 Millionen Datensätze.

In Kapitel 1 werden die von TÜV Nord in Freiberg durchgeführten Messfahrten nach der Methodik von AVISO ausgewertet und mit den von AVISO dort durchgeführten Messfahrten verglichen. Die Tendenz der Wirkung einer Einführung von T30 auf die Emissionen ist für beide Auswertungen ähnlich, es gibt bei richtungstrennter Betrachtung der Emissionsfaktoren der beiden Fahrzeuggruppen für einzelne Strecken jedoch auch Unterschiede. Bei einer Betrachtung der Emissionssummen aus Pkw und leichten Nutzfahrzeugen auf den Gesamtstrecken ist die Wirkung eindeutig: Sowohl auf der Ost-West-Strecke wie auf der Nord-Süd-Strecke ergeben sich Abnahmen der NO_x-Emissionen zwischen -4% und -10% sowie Zunahmen der motorbedingten PM10-Emissionen zwischen 1% und 12%.

In Kapitel 2 werden die von TÜV Nord in Stuttgart durchgeführten Messfahrten nach der Methodik von AVISO ausgewertet, so dass sie in den Datensatz für die Gesamtauswertung eingehen können.

Gegenstand von Kapitel 3 ist die Entwicklung eines „Ersteinschätzungsschemas“, das für eine bestimmte Strecke vor dem Durchführen von Messfahrten eine Einschätzung der Wirkung von T30 auf die Verkehrsemissionen, insbesondere von NO_x, ermöglicht.

Dabei wurde angenommen, dass sich weder die Verkehrsmenge noch die mittlere Anzahl von Halten pro Fahrt durch die Einführung von T30 ändern.

¹ Passenger Car and Heavy Duty Emission Model, /Hausberger, S., Luz T. 2010/

In Abhängigkeit von Längsneigung und Konstantfahrtanteil bei T50 kann abgeschätzt werden, ob auf einer gegebenen Strecke die Einführung von T30 zu Reduktionen der verkehrsbedingten Emissionen führen kann: Tendenziell kommt es bei T30 dann zu positiven Effekten, wenn der Konstantfahrtanteil bei T50 vergleichsweise niedrig oder die Längsneigung der Strecke vergleichsweise hoch ist.

Hinsichtlich der Feinstaubemissionen (Abgas) und des Kraftstoffverbrauchs ist die Wirkung von T30 fast überall negativ. Die Feinstaubemissionen eines Fahrzeugs sind jedoch nur zum Teil abgasbedingt, der Beitrag von Aufwirbelung und Abrieb zu den Gesamtemissionen ist größer. Nach einer Studie im Auftrag der BASt /BAST 2009/ können diese durch eine Geschwindigkeitsbeschränkung je nach Beeinflussung durch LSA um bis zu 10% reduziert werden. Daher kann T30, auch wenn die abgasbedingten Partikelemissionen zunehmen, bei den Feinstaub-Gesamtemissionen zu Reduktionen führen.

Die Ergebnisse nach dem Ersteinschätzungsschema wurden mit den Ergebnissen aus den Fahrprofilauswertungen für die einzelnen Kommunen verglichen. Bei 15 von 17 Messstrecken stimmt die jeweils ermittelte Wirkungsrichtung von T30 überein.

Hinsichtlich der Wirkung von T30 auf einer konkreten Strecke stellt der Konstantfahrtanteil bei T50 eine für das Ergebnis wesentliche Variable dar. Für eine Ersteinschätzung wird in Kapitel 4 ein Verfahren vorgestellt, das die Abschätzung dieser Größe aus den Eigenschaften und Störstellen der zu untersuchenden Strecke ermöglichen soll.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass T30 in Abhängigkeit von

- der Längsneigung der Strecke,
- dem Konstantfahrtanteil bei T50 und
- dem Schwerverkehrsanteil

positive Effekte auf die verkehrsbedingten NO_x-Emissionen haben kann. Hinsichtlich der abgasbedingten PM10-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs führt T30 dagegen in vielen Situationen zu Zunahmen.

Wenn auf einer Strecke Grenzwertüberschreitungen bei Stickoxiden auftreten und das Ersteinschätzungsschema Hinweise auf eine mögliche positive Wirkung von T30 liefert, sollten Messfahrten durchgeführt werden, um die erwartete Emissionsreduktion quantitativ zu untermauern und den Beitrag zur Immissionsabsenkung zahlenmäßig bestimmen zu können.

1 Freiberg: Vergleich Messfahrten AVISO und TÜV Nord

In Freiberg wurden am 29.09.2010 von der AVISO GmbH /AVISO 2011/ und am 28.10.2010 von TÜV Nord /TÜV Nord 2011/ Messfahrten zu den Auswirkungen einer Einführung von T30 auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen durchgeführt. Für alle Messfahrten wurde eine Emissionsmodellierung mit dem Modell PHEM an der Uni Graz durchgeführt. Im folgenden Kapitel werden die von TÜV Nord durchgeführten Messfahrten analog zu den von AVISO durchgeführten Messfahrten ausgewertet und mit diesen verglichen.

1.1 MESSSTRECKEN UND MESSFAHRTEN

Die untersuchte Messstrecke ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Untersucht wurde der Bereich der Ortsdurchfahrten Freiberg in West-Ost-Richtung (L1138: Mühlstraße, Benninger Straße) sowie in Nord-Süd-Richtung (L1129: Ludwigsburger Straße). Es existieren fünf Fußgängerbedarfs-LSA auf den untersuchten Strecken. In West-Ost-Richtung verläuft die Strecke überwiegend eben, Abschnitt 1 weist streckenweise eine leichte Steigung von bis zu 2% auf. Die Messstation für NO₂ und PM₁₀ befindet sich im westlichen Teil von Abschnitt 2. In Nord-Süd-Richtung ist die Strecke durch starke Steigungen von teilweise mehr als 10% in Fahrtrichtung Süden charakterisiert.

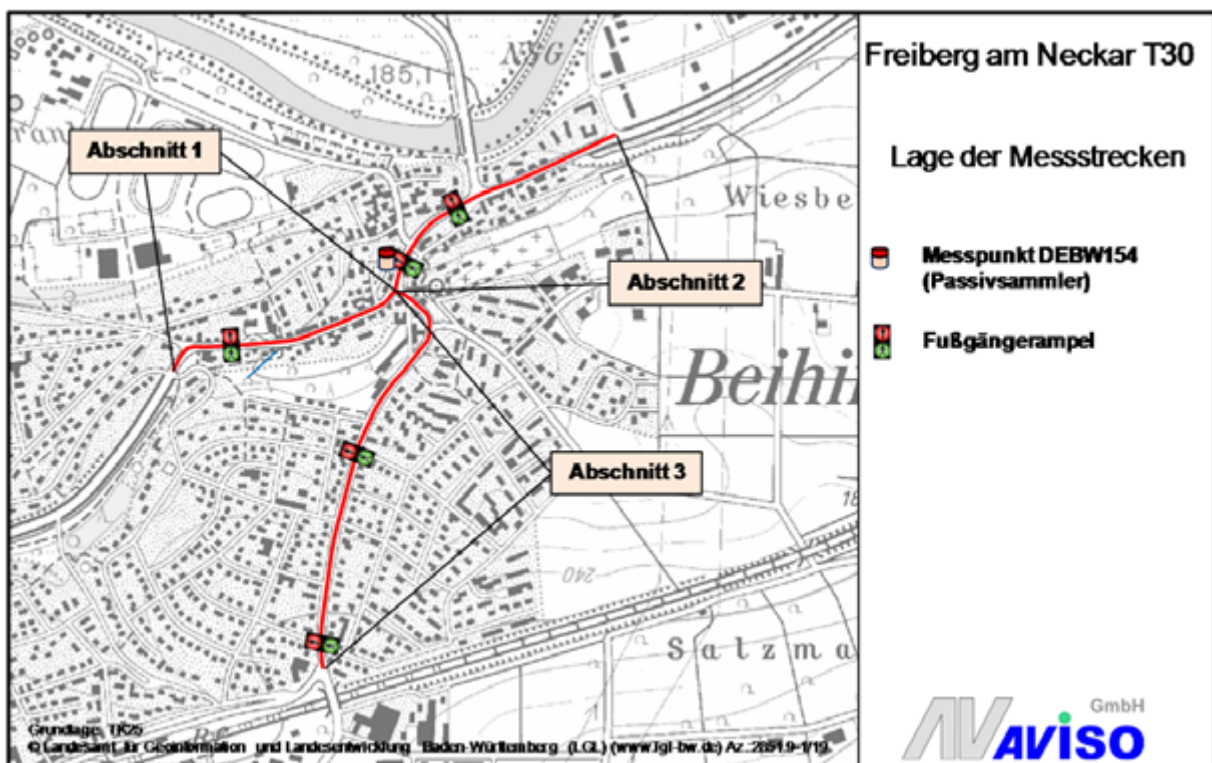


Abbildung 1-1: Lage der Messstrecke entlang der Ortsdurchfahrten Freiberg

Da die Messstrecken in den Fahrten von TÜV Nord zum Teil gemischt vorliegen (es wurden Abschnitt 1 und Abschnitt 3, bzw. Abschnitt 2 und Abschnitt 3 (s. Abbildung 1-1) in Kombination gefahren), wird in der

folgenden Auswertung für die Nord-Süd-Richtung der Abschnitt 3 aus den Fahrten herausgeschnitten und für die Richtung Ost-West werden die Abschnitte 1 und 2 kombiniert.

Von AVISO wurden 159 Fahrten in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw durchgeführt. Es wurden dabei Pkw-Verfolgungsfahrten, Lkw-Verfolgungsfahrten und T30-Fahrten („fiktiv“) unterschieden. 34 dieser Fahrten sind Lkw-Verfolgungsfahrten und daher nicht Gegenstand dieses Vergleichs. Bei der Durchführung der Fahrten wurde beachtet, die unterschiedlichen Möglichkeiten der Fahrtenbeziehungen am Anfangs- und Endknotenpunkt ausreichend abzudecken. Von TÜV Nord wurden insgesamt 97 Fahrten zwischen 7:30 und 12:30 Uhr durchgeführt. Die Anzahl der Fahrten ist in Tabelle 1-1 dargestellt.

Tabelle 1-1: Anzahl der in Freiberg durchgeführten Messfahrten nach Art und Richtung von TÜV Nord und AVISO

Fahrtart	Anzahl TÜV Nord	Anzahl AVISO
T50 Richtung Osten ² (Abschnitte 1 und 2)	11	25
T50 Richtung Westen ¹ (Abschnitte 1 und 2)	12	27
T30 Richtung Osten ¹ (Abschnitte 1 und 2)	12	8
T30 Richtung Westen ¹ (Abschnitte 1 und 2)	12	9
T50 Richtung Norden (Abschnitt 3)	12	17
T50 Richtung Süden (Abschnitt 3)	12	15
T30 Richtung Norden (Abschnitt 3)	13	12
T30 Richtung Süden (Abschnitt 3)	13	12

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. Bei den AVISO-Fahrten wurden die Geschwindigkeitsangaben der OBD2-Schnittstelle für die Auswertungen verwendet, bei den von TÜV Nord durchgeführten Fahrten die Geschwindigkeitsangaben des GPS-Gerätes.

Im Anhang (Abbildung A-1 bis Abbildung A-4) sind die gemessenen Fahrprofile dargestellt. Es ist jeweils für alle Messfahrten die aktuelle Fahrgeschwindigkeit über die gefahrene Wegstrecke aufgetragen. Die erreichten Höchstgeschwindigkeiten liegen bei den T50-Fahrten in allen Fahrtrichtungen nur selten über 50 km/h. Die T30-Fahrten sind in den Diagrammen ebenfalls dargestellt (rote Linien) und zeigen insgesamt ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.

Der Einfluss von Störungen (Fußgängerbedarfs-LSA, vorfahrts geregelter Knotenpunkt in der Mitte der Ost-West-Strecke) führt zu Rückgängen der Geschwindigkeit, zum Teil bis zum Stand. An einigen gedrückten Fußgängerbedarfs-LSA musste aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens mehrfach gehalten werden. Es fällt auf, dass die von TÜV Nord durchgeführten Fahrten deutlich weniger Störungen aufweisen als die von AVISO durchgeführten Fahrten. Dafür gibt es zwei mögliche Ursachen:

² TÜV Nord: Abschnitte 1 und 2 kombiniert

1. Zum Zeitpunkt der AVISO-Messfahrten war die Anschlussstelle Pleidelsheim an der A 81 Richtung Osten gesperrt, was zu einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens in Freiberg aus Richtung Pleidelsheim (Ausweichverkehr) geführt haben kann.
2. Die TÜV Nord-Fahrten decken die Nachmittagsspitze des Verkehrs nicht ab.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Fahrprofilen von AVISO und denen von TÜV Nord besteht hinsichtlich der auftretenden Beschleunigungen. Während bei den AVISO-Fahrten maximal Werte von 2 m/s^2 erreicht werden und nur selten mehr als 1 m/s^2 , treten bei den Messfahrten von TÜV Nord Beschleunigungen von bis zu 4 m/s^2 auf. Beschleunigungen über 2 m/s^2 befinden sich in diesen Fahrten ausschließlich an den Anfangspunkten der Messstrecken. Es sieht so aus, als hätten die Testfahrer bei TÜV Nord versucht, zu Beginn der Messstrecke schnellstmöglich die Zielgeschwindigkeit zu erreichen, während die Fahrer von AVISO weiter über das Ende der Messstrecke hinausgefahren sind und zu Beginn der Strecke bei freier Fahrt die Zielgeschwindigkeit bereits erreicht hatten. Um eine vergleichbare Auswertung zu ermöglichen, wurden die hohen Beschleunigungen zu Beginn der TÜV Nord-Messfahrten, die im normalen Fahrverhalten unrealistisch hoch erscheinen, herausgeschnitten. Die betrachteten Ausschnitte sind in Abbildung A-1 bis Abbildung A-4 eingetragen.

Die verkehrlichen Grundlagen zur Berechnung der Verkehrsemissionen wurden in /AVISO 2011/ beschrieben, die Verkehrswerte sind in Tabelle 1-2 ausgewiesen. Für die vergleichende Auswertung T50 → T30 wurde davon ausgegangen, dass die Verkehrswerte sich durch die Einführung von T30 nicht verändern.

Tabelle 1-2: Jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) auf den Messstrecken in Freiberg und zugehörige Anteile der Fahrzeugarten der untersuchten Abschnitte (s. Abbildung 1-1)

Kfz / 24h	Pkw	INfz	sNfz	Krad	Kfz
gesamt O-W (Abschnitte 1 + 2)	12.748 89,0%	824 5,8%	630 4,4%	117 0,8%	14.320 100,0%
gesamt N-S (Abschnitt 3)	7.392 90,3%	528 6,5%	221 2,7%	42 0,5%	8.184 100,0%

1.2 EMISSIONSBERECHNUNG

Mit dem Modell PHEM (Passenger car and Heavy duty Emission Model, s. Abbildung 1-2, /Hausberger, S., Luz T. 2010/) wurden an der Uni Graz für die gemessenen Fahrprofile in 1 Hz-Taktung (Zeit, Geschwindigkeit, Drehzahl und Steigung/Gefälle) Emissionsrechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse liegen ebenfalls in 1 Hz-Taktung vor.

Das Ergebnis von PHEM sind sogenannte „warme“ Emissionen, d. h. Emissionen von Fahrzeugen mit warmem Motor. Kaltstartzuschlagsemissionen wurden mit PHEM nicht berechnet. Für die AVISO-Fahrten wurden die Emissionsberechnungen mit PHEM für alle relevanten Fahrzeugschichten der Pkw, INfz und sNfz durchgeführt, für die TÜV Nord-Fahrten nur für Pkw und INfz. Daher beschränkt sich der Vergleich in diesem Kapitel auf diese beiden Fahrzeuggruppen.

PHEM Passenger car and Heavy duty Emission Model

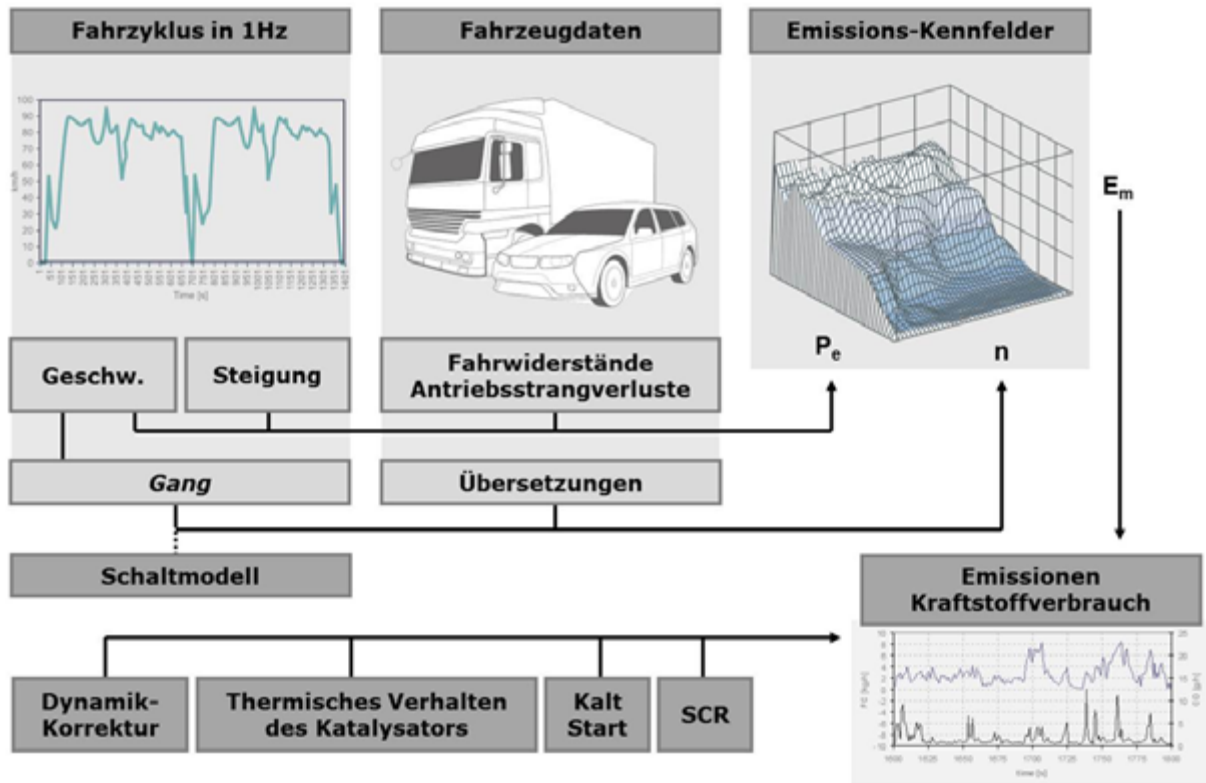


Abbildung 1-2: Das Modell PHEM zur Erstellung der Basis-Emissionsfaktoren in HBEFA 3.1, Quelle: TU Graz, 2010

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 Freiberg sind dort für die Fahrzeuggruppen Pkw und INfz die Bestandsdaten des Zulassungsbezirks Ludwigsburg berücksichtigt, aus denen mittels einer Fahrleistungsgewichtung die Flottenzusammensetzung für Innerortsstraßen abgeleitet worden war. Es wurde eine Anpassung an die Fahrzeugschichtendefinition aus dem aktuellen HBEFA 3.1 /HBEFA 2010/ durchgeführt. In Tabelle 1-3 sind die Flottenzusammensetzungen für Pkw, leichte (INfz) und schwere (sNfz) Nutzfahrzeuge auf Innerortsstraßen für 2010 aufgeführt.

Tabelle 1-3: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen für Freiberg für die Fahrzeuggruppen Pkw, INfz und sNfz (Bezugsjahr 2010)

Pkw		INfz		sNfz	
Otto vor E1	0,6%	Otto vor E1	0,3%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	4,4%	Otto E1	0,2%	Ds EI	3,0%
Otto E2	5,2%	Otto E2	0,7%	Ds EII	12,1%
Otto E3	21,9%	Otto E3	0,7%	Ds EIII	27,5%
Otto E4	31,2%	Otto E4	2,2%	Ds EIV	15,5%
Otto E5	1,2%	Otto E5	0,0%	Ds EV	36,6%
Otto E6	0,0%	Otto E6	0,0%	Ds EVI	0,0%
Gas/Alternativ	0,4%	Gas/Alternativ	0,0%		
Ds vor E1	0,4%	Ds vor E1	1,5%		
Ds E1	1,0%	Ds E1	2,2%		
Ds E2	2,5%	Ds E2	11,6%		
Ds E3	11,2%	Ds E3	27,0%		
Ds E4	18,8%	Ds E4	52,8%		
Ds E5	1,1%	Ds E5	0,7%		
Ds E6	0,1%	Ds E6	0,0%		
gesamt	100%	gesamt	100%		

1.2.1 MITTLERE GANGLINIEN DER EMISSIONSFAKTOREN

Die Emissionen, die als Ergebnis der PHEM-Berechnungen für jedes Fahrprofil pro Fahrzeugschicht vorliegen, wurden zu mittleren Emissionsfaktoren aggregiert. Hierfür wurden die Fahrprofile, die als sekundliche Werte zu unterschiedlichen Orten vorliegen, auf ein einheitliches räumliches Gitter gebracht. Auf diesem Gitter konnte zunächst für jede Schicht einzeln über alle Fahrten gemittelt werden. Im nächsten Schritt wurde entsprechend der aktuellen Flottenzusammensetzung für Freiberg (s. Tabelle 1-3) über die Schichtemissionen der Fahrzeuggruppen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) für T50 und T30 gemittelt.

Schadstoffemissionen werden vornehmlich an Beschleunigungsstrecken ausgestoßen. Für die weiteren Auswertungen wurden die Fahrten daher so ausgewählt, dass Störungsgrad und Anzahl der Halte bei T30- und T50-Fahrten vergleichbar und repräsentativ für den Tag der Messfahrten sind. Dieses Vorgehen wurde ebenso in /AVISO 2011/ angewendet.

Das Ergebnis der oben beschriebenen Mittelungen sind mittlere Ganglinien für die Emissionen der Pkw, der leichten und der schweren Nutzfahrzeuge, jeweils für beide Fahrtrichtungen. Sie sind im Anhang in Abbildung A-5 bis Abbildung A-8 dargestellt. Zur besseren Orientierung sind jeweils die mittleren Geschwindigkeiten mit eingetragen. Um die Darstellung im gleichen Diagramm zu ermöglichen, wurden die Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas) um den Faktor 10 überhöht.

Aus diesen Abbildungen lässt sich folgendes ableiten:

1. In West-Ost-Richtung gibt es in Freiberg kaum Steigungen oder Gefälle, hier unterscheiden sich die Emissionsfaktoren hinsichtlich der Richtungen kaum.

2. Ganz anders in Nord-Süd-Richtung: Hier sind sowohl NO_x- wie auch PM10-Emissionen in Fahrtrichtung Süden (teilweise mehr als 10% Steigung) deutlich höher als in Richtung Norden.
3. Auf Beschleunigungsstrecken sind die Emissionsfaktoren bei Tempo 50 i. d. R. höher als bei Tempo 30, da im letzteren Fall die Zielgeschwindigkeit eher erreicht ist.
4. Auf Strecken mit sinkender Geschwindigkeit ist es häufig genau anders herum. Hier können Fahrzeuge etwa beim Zufahren auf eine rote Ampel bei T50 ihren Schwung ausnutzen, während bei T30 trotzdem Gas gegeben werden muss.
5. Auch auf ebenen Konstantfahrtstrecken liegen die Emissionen bei T30 zum Teil über denen bei T50. Dies ist zum Teil auf den Gangwahleffekt zurückzuführen: Hier zeigt PHEM für T30 eine ungünstigere Gangwahl mit einer Erhöhung der Drehzahl, was die Emissionen entsprechend erhöht. Auf der Steigungsstrecke (Richtung Süd) gilt dies nicht mehr.

Bei Berücksichtigung lediglich der Konstantfahrabschnitte wird die Wirkung von T30 auf Punkt 5 reduziert.

1.2.2 EMISSIONSFAKTOREN

Aus den in Abbildung A-5 bis Abbildung A-8 dargestellten Ganglinien können mittlere „warme“ Emissionsfaktoren für NO_x und PM10 (Abgas) auf den Messstrecken abgeleitet werden.

Zunächst soll die Auswirkung der Fahrtenauswahl und des Herausschneidens der hohen Beschleunigungsphasen am Streckenanfang (s. oben) in den Messfahrten von TÜV Nord dargestellt werden. Dazu sind in Tabelle 1-4 Pkw-Emissionsfaktoren für NO_x und PM10 (Abgas) getrennt nach Fahrtrichtungen dargestellt, und zwar

- TÜV Nord Version 1: für alle kompletten Fahrten (zweite Spalte) sowie
- TÜV Nord Version 2: für die in Abbildung A-5 bis Abbildung A-8 eingetragenen Ausschnitte dieser Fahrten ohne unrealistisch hohe Beschleunigungen und mit vergleichbarer Anzahl an Halten bei T50 und T30 (dritte Spalte).

Tabelle 1-4: Vergleich der mittleren („warmen“) Pkw-Emissionsfaktoren auf den Messstrecken in Freiberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile von TÜV Nord: Version 1: Rohdaten; Version 2: Ausschnitte nach Abbildung A-5 bis Abbildung A-8 sowie Auswahl Fahrten mit vergleichbarer Anzahl Halten bei T50 und T30

Pkw	Messfahrten TÜV Nord Version 1 (Rohdaten)			Messfahrten TÜV Nord Version 2 (Auswahl und Ausschnitt)			
	Efak [g/km]	T50	T30	Änderung	T50	T30	Änderung
Ri O							
NO _x		0,242	0,213	-12,0%	0,184	0,191	3,9%
PM10 (Abgas)		0,0102	0,0090	-11,3%	0,0081	0,0086	5,3%
Ri W							
NO _x		0,277	0,299	7,9%	0,276	0,267	-3,1%
PM10 (Abgas)		0,0114	0,0132	15,4%	0,0116	0,0123	6,6%
Ri N							
NO _x		0,125	0,124	-0,1%	0,067	0,110	64,3%
PM10 (Abgas)		0,0050	0,0049	-2,3%	0,0026	0,0047	82,9%
Ri S							
NO _x		0,606	0,507	-16,3%	0,606	0,507	-16,3%
PM10 (Abgas)		0,0202	0,0212	4,9%	0,0202	0,0212	4,9%

Der Vergleich der Emissionsfaktoren aus Version 1 und Version 2 zeigt, dass unterschiedliche Störungsgrade bei T50 und T30 die Ergebnisse durchaus beeinflussen können:

- In **Ost-West**-Richtung zeigen die Ergebnisse aus Version 2 weniger ausgeprägte Veränderungen durch T30 als die aus Version 1, bei Betrachtung der einzelnen Richtungen ändert sich teilweise auch die Wirkungsrichtung.
- In Richtung **Osten** zeigt Version 1 starke Emissionsminderungen für NO_x und PM10 (Abgas) von mehr als -10% durch T30. Dies ist jedoch auf die starke Beschleunigung zu Streckenbeginn zurückzuführen, die bei T50 länger dauert als bei T30. Dieser Effekt ist nach der Beschneidung der Strecken in Version 2 nicht mehr zu erkennen, jetzt kommt es zu Emissionszunahmen um ca. 4% (NO_x) bzw. ca. 5% (PM10, Abgas).
- In Richtung **Westen** zeigt Version 1 Emissionszunahmen durch T30, die in Version 2 beim NO_x zu Abnahmen werden. Der Abbildung A-6 ist zu entnehmen, dass hier die Beschleunigungsemissionen nach der Kreuzung in der Streckenmitte entscheidend sind.
- In Richtung **Norden** zeigt Version 2 deutliche Zunahmen um über 60% beim NO_x und über 80% beim PM10 (Abgas). Hier ist jedoch zu beachten, dass es sich um eine Gefällestrecke handelt und die absoluten Werte der Emissionsfaktoren sehr niedrig liegen.
- In Richtung **Süden** brauchten die Fahrten nicht beschnitten zu werden, da die Strecke mit einer Einmündung beginnt und alle Fahrzeuge zunächst beschleunigen müssen. Die in den Messfahrten auftretenden Beschleunigungen sind hier auch nicht ungewöhnlich hoch. Außerdem war der Störungsgrad bei T50 und T30 bereits vergleichbar, so dass hier keine Auswahl getroffen werden musste.

Für den Vergleich mit den AVISO-Fahrten werden im Folgenden die Daten aus Version 2 (Tabelle 1-4, Spalte 3, nach vergleichbarer Anzahl Halte ausgewählte und beschnittene Fahrten TÜV Nord) betrachtet. Die AVISO-Fahrten wurden in /AVISO 2011b/ bereits ähnlich ausgewählt.

In Tabelle 1-5 sind für die TÜV Nord- wie für die AVISO-Fahrten die Emissionsfaktoren für NO_x (oben) und PM10 (Abgas, unten) für Pkw sowie Infz jeweils für T50 und T30 ausgewiesen. Ebenfalls angegeben ist die relative Änderung. Für die Pkw ergibt sich folgendes:

- In Richtung **Osten** folgt aus den TÜV Nord-Fahrten eine Zunahme des NO_x-Emissionsfaktors durch T30 um ca. 4%, während aus den AVISO-Messfahrten eine Abnahme um ca. -2% folgt. Ein Grund für die unterschiedliche Wirkung kann der bei den AVISO-Fahrten deutlich höhere Störungsgrad sein: Da bei T30 die Zielgeschwindigkeit schneller erreicht ist, führen höhere Anteile an Beschleunigungsphasen zu Vorteilen bei T30 gegenüber T50. Für PM (Abgas) führt T30 in beiden Fällen zu Zunahmen des Emissionsfaktors.
- In Richtung **Westen** leitet sich sowohl aus den TÜV Nord-Fahrten wie aus den AVISO-Fahrten eine Abnahme der NO_x-Emissionen durch T30 ab. Für PM10 (Abgas) ergibt sich in beiden Fällen eine Zunahme.
- In Richtung **Norden** kommt es bei NO_x in beiden Fällen zu deutlichen Zunahmen auf niedrigem Niveau (Gefälle), in Richtung **Süden** zu deutlichen Abnahmen auf hohem Niveau (Steigung). Bei PM10 (Abgas) kommt es durch T30 in Nord-Süd-Richtung fast ausschließlich zu Zunahmen, lediglich in Richtung Süden folgt aus den AVISO-Fahrten eine leichte Abnahme.

Bei den Infz kommt es in allen Fahrtrichtungen zu Abnahmen des NO_x-Emissionsfaktors durch T30. Beim PM10 (Abgas) führt T30 hier zu Abnahmen in Ost-West-Richtung (Ausnahme: TÜV Nord-Fahrten Richtung Westen) und zu Zunahmen in Nord-Süd-Richtung.

Tabelle 1-5: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren auf den Messstrecken in Freiberg für NO_x (oben) und PM₁₀, Abgas (unten), abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile von TÜV Nord und AVISO

Efaktor NO _x [g/km]	Pkw			INfz		
	T50	T30	Änderung	T50	T30	Änderung
abgeleitet aus den Messfahrten TÜV Nord						
Ri Osten	0,184	0,191	3,9%	0,536	0,380	-29,2%
Ri Westen	0,276	0,267	-3,1%	0,794	0,602	-24,3%
Ri Norden	0,067	0,110	64,3%	0,174	0,158	-9,0%
Ri Süden	0,606	0,507	-16,3%	2,289	1,915	-16,4%
abgeleitet aus den Messfahrten AVISO						
Ri Osten	0,255	0,250	-1,8%	0,651	0,494	-24,0%
Ri Westen	0,263	0,248	-5,7%	0,673	0,533	-20,9%
Ri Norden	0,089	0,110	23,7%	0,176	0,168	-4,6%
Ri Süden	0,688	0,602	-12,5%	2,280	2,090	-8,3%
Efaktor PM ₁₀ [g/km]	Pkw			INfz		
	T50	T30	Änderung	T50	T30	Änderung
abgeleitet aus den Messfahrten TÜV Nord						
Ri Osten	0,0081	0,0086	5,3%	0,0400	0,0376	-5,8%
Ri Westen	0,0116	0,0123	6,6%	0,0497	0,0512	2,9%
Ri Norden	0,0026	0,0047	82,9%	0,0150	0,0191	26,8%
Ri Süden	0,0202	0,0212	4,9%	0,0935	0,0948	1,4%
abgeleitet aus den Messfahrten AVISO						
Ri Osten	0,011	0,011	3,8%	0,048	0,043	-9,7%
Ri Westen	0,012	0,012	3,0%	0,051	0,048	-7,6%
Ri Norden	0,004	0,005	37,5%	0,018	0,021	19,6%
Ri Süden	0,026	0,025	-3,5%	0,105	0,114	8,8%

In Abbildung 1-3 sind die Werte aus Tabelle 1-5 noch einmal grafisch dargestellt. Die angegebenen Unsicherheiten entsprechen jeweils einer Standardabweichung. Dabei ist zu beachten, dass wegen der Auswahl der Fahrten nach vergleichbarer Anzahl an Halten die Fehler bei T30 und T50 nicht unabhängig voneinander sind. Ein Teil der Variabilität der Emissionsfaktoren ist auf die im Tagesverlauf variierende Störungshäufigkeit in den Messfahrten zurückzuführen und wirkt sich daher in der Auswahl der Fahrten für T50 und T30 in die gleiche Richtung aus. Wenn der T50-Emissionsfaktor z. B. im unteren Bereich des Fehlerintervalls liegen sollte, dann liegt der entsprechende T30-Emissionsfaktor mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls im unteren Bereich des Fehlerintervalls.

Zusätzlich dargestellt sind die entsprechenden Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.1 für NO_x und PM₁₀ (Abgas) für die Störungsgrade „free“ und „heavy“. Den betrachteten Streckenabschnitten wurde dafür die Hauptverkehrssituation „Distributor Speedlimit 50 km/h“ zugewiesen, da es sich um innerörtliche Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h handelt. Außer in Richtung Norden zeigen die Messungen tendenziell etwas niedrigere Werte als nach dem Handbuch Emissionsfaktoren bei einem Verkehrsablauf zwischen „free“ und „heavy“ zu erwarten wäre.

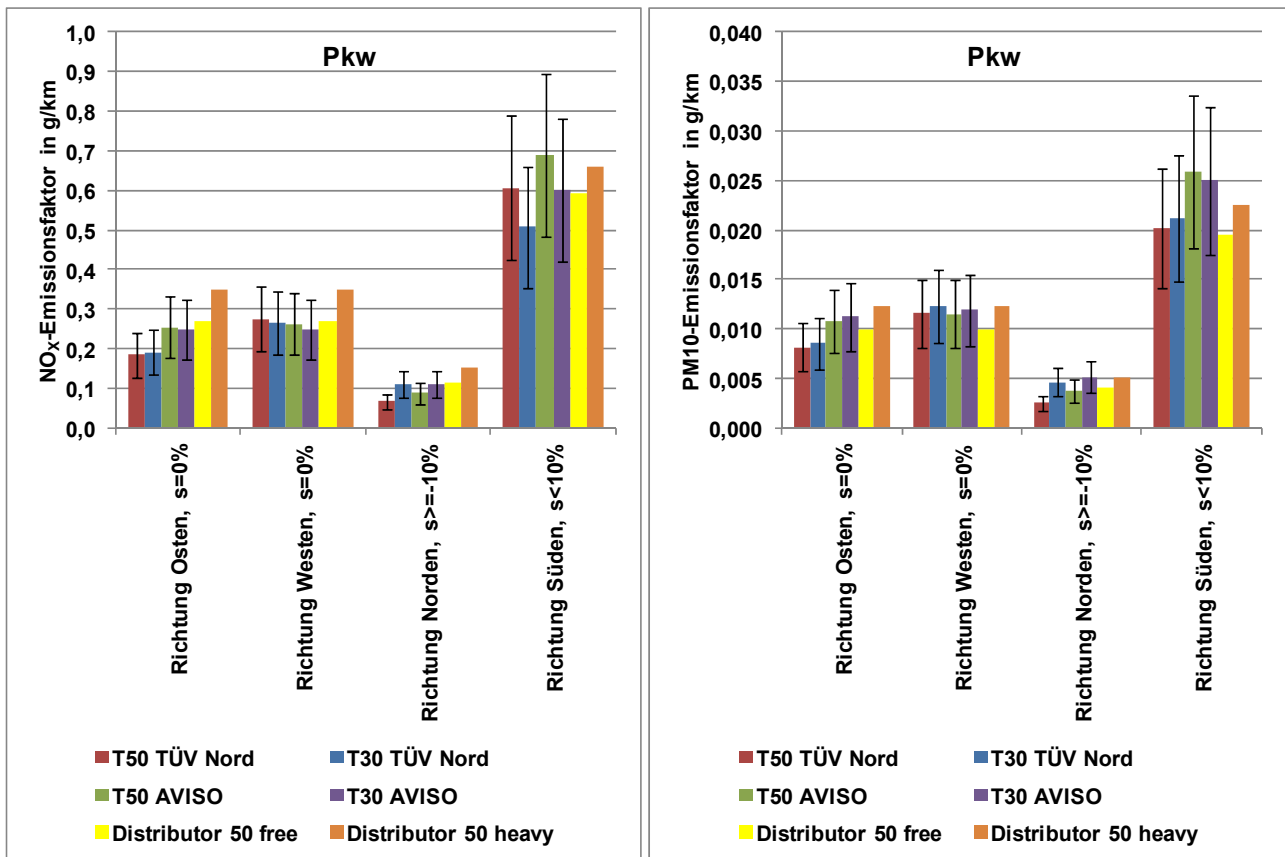


Abbildung 1-3: Vergleich der mittleren („warmen“) Pkw-Emissionsfaktoren für NO_x und PM10 (Abgas) abgeleitet aus den Messfahrten von TÜV Nord und AVISO für die Ortsdurchfahrten in Freiberg mit den warmen Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.1 für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden

Die Tendenzen der Wirkung von T30 sind mit zwei Ausnahmen (NO_x Richtung Osten und PM10 (Abgas) Richtung Süden) gleich. Angesichts der hohen Unsicherheiten und der unterschiedlichen äußeren Rahmenbedingungen (unterschiedliche Testfahrer, durch die Beschneidung unterschiedlich lange Strecken, unterschiedlich großer Anteil Störungen) weist dies auf eine große Robustheit der Ergebnisse hin.

1.2.3 JAHRESEMISSIONEN

Mit dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV, Tabelle 1-2) können die Emissionsfaktoren zu Jahresemissionsdichten in Kilogramm pro Kilometer und Jahr hochgerechnet werden. Dabei werden in diesem Kapitel nur Pkw und INfz betrachtet. Als Summe über diese beiden Fahrzeuggruppen und die Richtungen ergeben sich für die motorbedingten „warmen“ Emissionen die in Tabelle 1-6 angegebenen Werte, sie sind in Abbildung 1-4 grafisch dargestellt.

Die absoluten Werte der Emissionen liegen für die AVISO-Fahrten bei NO_x zwischen 8% und 14% und bei PM10 (Abgas) zwischen 9% und 25% über denen der TÜV Nord-Fahrten. Dies kann durch den höheren Störungsgrad erklärt werden.

Als Wirkung von T30 ergeben sich für NO_x sowohl auf der Ost-West-Strecke als auch auf der Nord-Süd-Strecke aus den TÜV Nord- wie auch aus den AVISO-Messfahrten insgesamt Abnahmen der warmen Jahresemissionsdichten zwischen -4% und -10%. Für PM10 (Abgas) ergeben sich überall Zunahmen zwischen 1% und 12%.

Tabelle 1-6: „Warme“ Abgas-Emissionen (NO_x und PM₁₀, Abgas) der Pkw und INfz für die Ortsdurchfahrten Freiberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile von TÜV Nord und AVISO

"warme" Emissionen Summe Pkw und INfz	NO _x [kg/(km*a)]			PM ₁₀ (Abgas) [kg/(km*a)]		
	T50	T30	Änderung	T50	T30	Änderung
abgeleitet aus den Messfahrten TÜV Nord						
Ri Osten	509	502	-1,4%	24,97	25,63	2,7%
Ri Westen	761	712	-6,5%	34,38	36,38	5,8%
gesamt OW	1.270	1.214	-4,4%	59,4	62,0	4,5%
Ri Norden	107	163	52,8%	4,89	8,13	66,3%
Ri Süden	1.038	869	-16,3%	36,21	37,67	4,0%
gesamt NS	1.145	1.032	-9,8%	41,10	45,81	11,5%
Messfahrten AVISO						
Ri Osten	691	656	-5,0%	32,38	32,64	0,8%
Ri Westen	714	658	-7,8%	34,57	34,79	0,6%
gesamt OW	1.404	1.314	-6,4%	67,0	67,4	0,7%
Ri Norden	137	164	20,2%	6,76	9,00	33,0%
Ri Süden	1.148	1.014	-11,7%	45,01	44,68	-0,7%
gesamt NS	1.285	1.178	-8,3%	51,78	53,68	3,7%

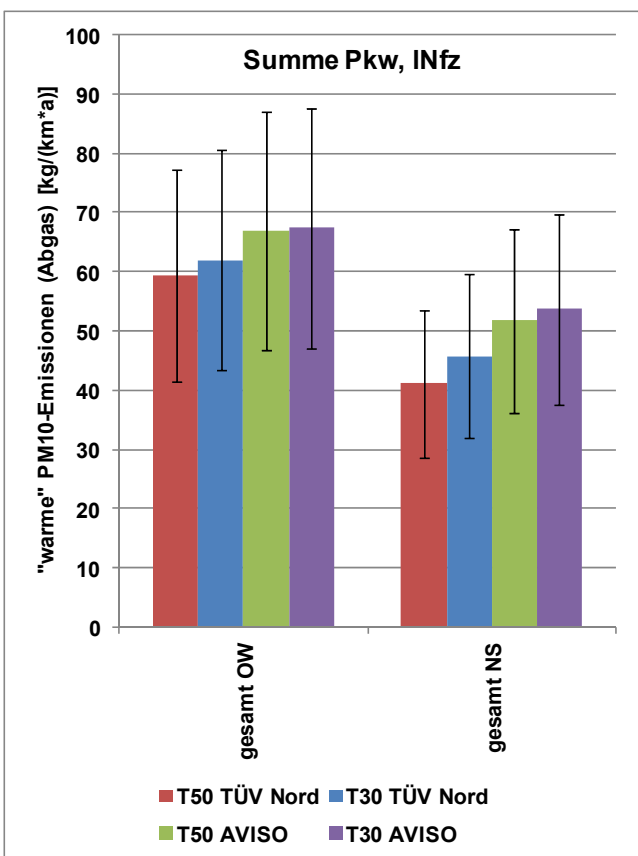
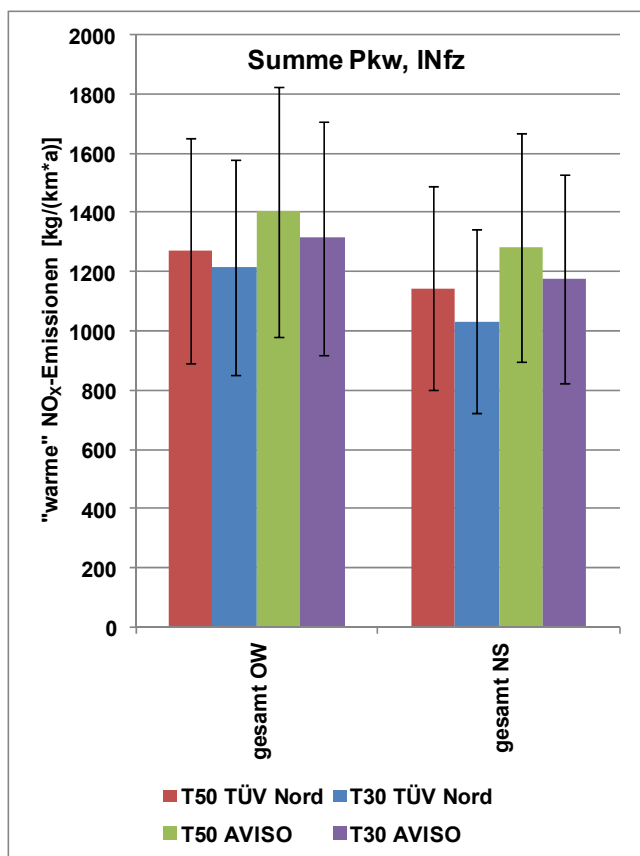


Abbildung 1-4: Jahresemission (links: NO_x, rechts: PM₁₀) der Pkw und INfz ohne Berücksichtigung von Kaltstarts bzw. Aufwirbelung und Abrieb für die Ortsdurchfahrten Freiberg, abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile von TÜV Nord und AVISO (angenommener Befolgungsgrad für T30: 100%)

Für die Kaltstartemissionen, die in HBEFA 3.1 für Pkw und INfz zusätzlich ausgewiesen sind und in der Regel in Form eines Zuschlages auf die warmen Emissionen addiert werden, liegen hinsichtlich der Wirkung von T30 keine weiteren Daten vor.

Die PM10-Emissionen verursacht durch Aufwirbelung und Abrieb waren nicht Gegenstand der durchgeführten Messungen. Nach /BAST 2009/ können diese durch eine Geschwindigkeitsbeschränkung je nach Beeinflussung durch LSA um bis zu 10% reduziert werden. Da Aufwirbelung und Abrieb mehr als der Hälfte der gesamten PM10-Emissionen ausmachen, kann T30, auch wenn die motorbedingten Partikelemissionen zunehmen, bei PM10 zu Reduktionen führen. Die zugrunde liegende Datenbasis ist jedoch sehr klein.

1.3 DISKUSSION

AVISO und TÜV Nord kommen in der Bewertung der durchgeführten Messfahrten zum Teil zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen. Dabei ist zu beachten, dass bei den Untersuchungen jeweils andere Aspekte im Mittelpunkt standen. Bei den Untersuchungen von TÜV Nord /TÜV Nord 2011/ standen die NO_x- und PM10-Emissionen sowie der Kraftstoffverbrauch dreier konkreter Fahrzeuge im Mittelpunkt, die einerseits mit dem PEMS-System direkt gemessen und andererseits mit PHEM modelliert wurden. Bei den Untersuchungen von AVISO stand jeweils eine konkrete Messstrecke im Mittelpunkt, für die Überlegungen hinsichtlich einer Einführung von T30 bestehen.

Hinsichtlich der abgasbedingten PM10-Emissionen sind die Ergebnisse aller Auswertungen eindeutig. Eine Einführung von T30 würde tendenziell zu Zunahmen der abgasbedingten Feinstaubemissionen führen. Für NO_x kommen Kleinebrahm und Steven /TÜV Nord 2011/ einerseits und AVISO /AVISO 2011b/ andererseits zu Ergebnissen, die zunächst widersprüchlich erscheinen, aber bei differenzierter Analyse auf die unterschiedliche Betrachtungsweise verschiedener Teilaspekte zurückzuführen sind.

Kleinebrahm und Steven leiten aus den PHEM-Emissionsmodellierungen der TÜV Nord-Messfahrten folgende Thesen ab:

1. Auf der Steigungsstrecke in Freiberg (Richtung Süd) können durch die Einführung von T30 NO_x-Emissionen vermindert werden. Auf allen anderen Strecken sind die Effekte unklar.

Der erste Aspekt ist unstrittig, auch AVISO kommt auf Steigungsstrecken eindeutig zu Vorteilen von T30. Auf den anderen Strecken sind die Effekte weniger stark ausgeprägt.

2. Kleinebrahm und Steven konstatieren: „Ein Versuchsfahrzeug, das mit einer Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h in einem Verkehrsumfeld unterwegs ist, welches mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h fährt, erreicht sehr viel größere Konstantfahrtanteile, als es bei einer generellen Höchstgeschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h der Fall wäre.“

Der hier angesprochene Befund wird von AVISO ebenso wie von Kleinebrahm und Steven festgestellt: Bei jeweils gleicher Anzahl von Halten liegt der Konstantfahrtanteil der T30-Fahrten deutlich höher als der der T50-Fahrten. AVISO führt dies jedoch nicht in erster Linie auf die bei T30-Fahrten in einem T50-Umfeld geringeren Störungen durch vorausfahrende Fahrzeuge zurück. Vielmehr wird bei T30 nach einer Störung die Zielgeschwindigkeit eher erreicht als bei T50, was unabhängig vom Umfeld zu höheren Konstantfahrtanteilen führt: Die Beschleunigungsphase von 30 km/h auf 50 km/h fällt weg. Dadurch kann es zu positiven Wirkungen von T30 kommen:

- Die Konstantfahrtemissionen sind bei T30 höher als bei T50.
- Die mittleren Emissionen für Verzögerungs- und Beschleunigungsphase sind höher als die für Konstantfahrt. Deshalb führt eine Erhöhung des Konstantfahrtanteils generell zu einer Emissionsminderung.
- Bei gleicher Anzahl von Halten ist der Konstantfahrtanteil bei T30 höher als bei T50.
- In Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten kann der emissionsmindernde Effekt (erhöhter Konstantfahrtanteil bei T30, d. h. geringerer Anteil Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen und damit weniger Emissionen) oder der emissionserhöhende Effekt (höhere Konstantfahrtemissionen für T30 als für T50) die Gesamtbilanz dominieren.

Steven argumentiert in einer weitergehenden Analyse /HS 2011/ darüber hinaus:

3. „Um die Fahrverläufe [T30 und T50 in Freiberg] vergleichbarer zu machen, wurden Fahrten mit starken Einbrüchen weggelassen. ... Bei den Werten ohne Geschwindigkeitseinbrüche ergibt sich für Tempo 30 kein Vorteil mehr.“

Werden nur die Emissionsfaktoren für Konstantfahrtphasen für T30 und T50 verglichen, so wird T30 auf die negative Wirkung reduziert und die positive Wirkung (Erhöhung des Konstantfahrtanteils) wird ausgeblendet. Gleiches gilt in abgeschwächter Form bei einer Beschränkung der Auswertung auf Messfahrten ohne starke Geschwindigkeitseinbrüche.

In der Auswertung von AVISO wurden T50- und T30-Fahrten statt dessen so ausgewählt, dass Anzahl und Art der Halte vergleichbar und typisch für den Tag der Messungen waren.

Beispielhaft sind dazu für Freiberg in Abbildung 1-5 Fahrprofile und Profile der Emissionsfaktoren für eine T50- und eine T30-Fahrt mit jeweils einem Halt dargestellt. Da die T50-Fahrt nur selten Geschwindigkeiten über 40 km/h erreicht, sind im Bild darunter zusätzlich entsprechende Fahrten aus Ulm abgebildet. Die Beschleunigungs-, Verzögerungs- und Konstantfahrtphasen sind jeweils mit entsprechenden Symbolen markiert.

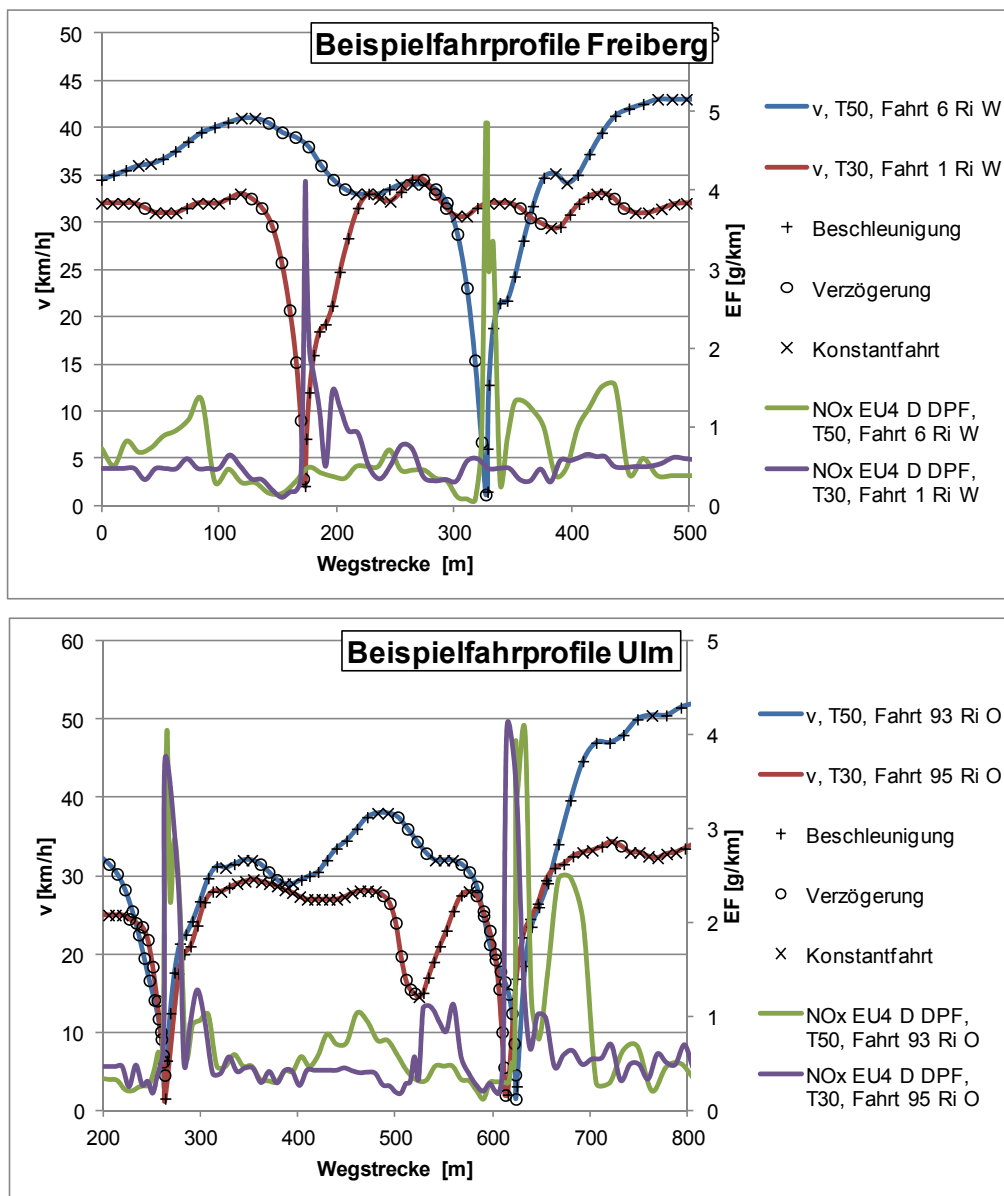


Abbildung 1-5: Beispielprofile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x-Emissionsfaktoren je einer T50-Normalfahrt und einer T30-Fiktivfahrt für einen EU4 D DPF-Pkw in Freiberg und Ulm

Die T50-Fahrt in Freiberg weist im betrachteten Ausschnitt einen Konstantfahrtanteil von 31% auf, die T30-Fahrt einen Konstantfahrtanteil von 46%. Die Geschwindigkeitseinbrüche bei der Störung sowie die darauf folgende Beschleunigung sind bei T30 und bei T50 vergleichbar, bei T50 schließt sich jedoch zwischen Wegstrecke 400 m und 450 m eine weitere Beschleunigungsphase an, um die zulässige Höchstgeschwindigkeit wieder zu erreichen. Der bei T30 höhere Konstantfahrtanteil ist daher hier keine Folge eines niedrigeren Störungsgrades. Für die darunter dargestellten Messfahrten aus Ulm ist der Effekt sogar noch größer: Bei der T50-Fahrt dort beträgt der Konstantfahrtanteil nur 18% gegenüber einem Anteil von 49% bei der T30-Fahrt, obwohl diese bei Wegstrecke 520 m einen zusätzlichen Geschwindigkeitseinbruch auf 15 km/h aufweist.

In Abbildung 1-5 sind zusätzlich zu den Geschwindigkeitsprofilen die Profile der NO_x-Emissionsfaktoren für die Schicht EU 4 D DPF dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass jede Beschleunigung zu einer Emissionserhöhung führt.

In den gezeigten Ausschnitten liegen für EU 4 D DPF Pkw die NO_x-Emissionen der T30 Profile um 18% (Freiberg) bzw. 22% (Ulm) unter denen der T50 Profile. Werden nur die Konstantfahrtphasen betrachtet, so

liegen die T30-Emissionen jedoch über den T50-Emissionen. Dies entspricht den Aussagen von Steven. Entscheidend für die Aussage zur Wirkungsrichtung von T30 für eine ausgewählte Untersuchungsstrecke sind jedoch die Gesamtverhältnisse der Fahrparameter auf dieser Strecke.

4. Steven argumentiert weiterhin: „Die kurzen Abschnitte in Freiberg können nicht zur Ableitung von Parametereinflüssen herangezogen werden.“

Für diese These sprechen zwei Argumente:

- Wenn jede Messfahrt mit einer Stillstandsphase beginnt, dann werden sehr kurze Messfahrten durch die artifizielle Beschleunigung aus dem Stand verzerrt (systematische Fehler).
- Je kürzer eine Messstrecke ist, desto höher sind bei gleicher Anzahl von Messfahrten die Unsicherheiten, da entsprechend über weniger Datenpunkte gemittelt werden kann (statistische Fehler).

Die Aufgabenstellung von AVISO war es, die Auswirkungen von T30 auf genau spezifizierten Ortsdurchfahrten, hier auf den in Abbildung 1-1 dargestellten Strecken in Freiberg, zu ermitteln. Dazu wurden die Wendepunkte so weit hinter die Streckenenden gelegt, dass die Testfahrer zum Streckenbeginn mit dem Verkehr „mitschwammen“, bei freier Strecke die Messfahrten also mit der Zielgeschwindigkeit beginnen konnten. Darüber hinaus wurde beachtet, die unterschiedlichen Möglichkeiten der Fahrtenbeziehungen (rechts, links, geradeaus) am Anfangs- und Endknotenpunkt ausreichend abzudecken. Dadurch wurden artifizielle Beschleunigungen am Streckenanfang, die zu systematischen Fehlern führen können, vermieden. Um die von TÜV Nord durchgeführten Messfahrten analog auswerten zu können, wurden für die Auswertung in der hier vorliegenden Untersuchung die hohen Beschleunigungen am Streckenanfang herausgeschnitten, um im Vergleich zu den AVISO-Fahrten systematische Fehler zu vermeiden.

Die statistischen Fehler der Auswertung kurzer Strecken können durch eine entsprechend hohe Anzahl an Messfahrten ausgeglichen werden. Es muss sichergestellt sein, dass die T50- wie auch die T30-Fahrten jeweils vergleichbare und für den Tag der Messfahrten typische Störungsgrade aufweisen.

Zusammenfassend lassen sich die Unterschiede in der Bewertung von T30 durch Steven und Kleinebrahm einerseits und AVISO andererseits auf die unterschiedliche Interpretation des bei T30 höheren Konstantfahrtanteils zurückführen. Kleinebrahm und Steven geben als Grund für höhere Konstantfahrtanteile bei reduzierten Höchstgeschwindigkeiten ein schnelleres Erreichen der zulässigen Geschwindigkeiten an, bezeichnen aber in der Bewertung von T30 den Einfluss des T50-Umfelds bei T30-Fiktivfahrten auf den Konstantfahrtanteil als entscheidenden Punkt. Durch eine Fokussierung des Vergleichs der Emissionen bei T50 und bei T30 auf Konstantfahrphasen bzw. auf Fahrten ohne starke Geschwindigkeitseinbrüche fällt der emissionsmindernde Effekt reduzierter Beschleunigungsanteile nicht ins Gewicht. AVISO dagegen vergleicht die Emissionen bei T30 und T50 jeweils für eine Auswahl an Fahrten mit vergleichbarer und typischer Anzahl an Halten. Durch die verkürzten Beschleunigungsphasen ergeben sich in vielen Fällen emissionsmindernde Effekte von T30.

Ein Einfluss des Umfelds ist nicht auszuschließen, lässt sich durch T30-Fiktivfahrten jedoch nicht ermitteln. Da in einer Reihe von Kommunen auf einzelnen Strecken inzwischen T30 eingeführt wurde, können zur Klärung dieser Frage im Sinne einer ex-post Analyse nur Messfahrten in einem T30-Umfeld beitragen.

2 Auswertungen Stuttgart (TÜV Nord)

Im folgenden Kapitel werden die von TÜV Nord auf Hauptverkehrsstraßen in Stuttgart durchgeführten Messfahrten (Strecken 1 bis 3 nach /TÜV Nord 2011/) in analoger Weise zu den Auswertungen der AVISO-Messfahrten für verschiedene Städte (/AVISO 2011a/ bis /AVISO 2011g/, /Rau 2010/ bis /Rau 2011c/) ausgewertet. Für die spätere Gesamtauswertung werden Emissionsfaktoren (in der Einheit g/km/Fahrzeug) benötigt, daher werden die Messfahrten aus Stuttgart analog zu denen aus Freiberg bis zur Bestimmung von Emissionsfaktoren ausgewertet.

2.1 MESSSTRECKEN UND MESSFAHRTEN

Von TÜV Nord wurden im Raum Stuttgart auf sechs verschiedenen Strecken Messfahrten durchgeführt: auf drei innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen, in zwei Wohngebieten sowie auf einer Strecke mit hoher Steigung. In die vorliegende Gesamtauswertung sollen die Messfahrten auf Hauptverkehrsstraßen eingehen. Die entsprechenden Strecken 1, 2 und 3 in Stuttgart sind in Abbildung 2-1, Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3 dargestellt. Sie wurden von Kleinebrahm und Steven /TÜV Nord 2011/ ausführlich beschrieben, hier folgt daher nur eine Kurzbeschreibung:

- Strecke 1: Cityring: Arnulf-Klett-Platz, Schillerstraße, Konrad-Adenauer-Straße, Hauptstätter Straße, Paulinenstraße, Theodor-Heuss-Straße, Friedrichstraße, mehrstreifige Hauptverkehrsstraße, viele LSA geregelte Knoten, Verlauf im Wesentlichen eben, Befahrung in beiden Richtungen, Länge: ca. 4 km
- Strecke 2: Neckartor / Cannstatter Straße: Zyklus: Beginn „Schwabengarage“ an der Kreuzung „Am Neckartor“, in nördlicher Richtung über die Cannstatter Straße bis über den Neckar, Wendestelle, in südlicher Richtung bis zur Schillerstraße, Wendestelle, zurück nach Norden zur „Schwabengarage“, Verlauf im Wesentlichen eben, Länge: 5,8 km
- Strecke 3: Charlottenstraße, Hohenheimer Straße bis Etzelstraße, zwischen Etzelstraße und Nagelstraße ca. 7% Steigung in südlicher Richtung

Im Anhang in Abbildung B-1 und Abbildung B-2 sind die von TÜV Nord aufgenommenen Fahrprofile dargestellt. Es ist jeweils für alle Messfahrten die aktuelle Fahrgeschwindigkeit über die gefahrene Wegstrecke aufgetragen.



Abbildung 2-1: Streckenführung Cityring (Strecke 1), Quelle: /TÜV Nord 2011/

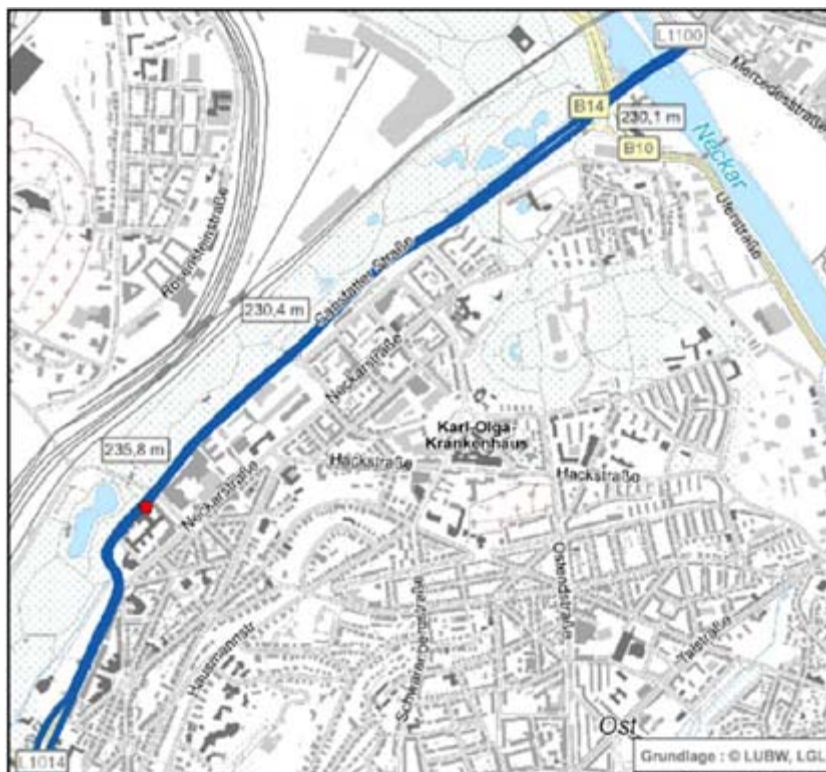


Abbildung 2-2: Streckenführung Cannstatter Straße / Am Neckartor (Strecke 2), Quelle: /TÜV Nord 2011/

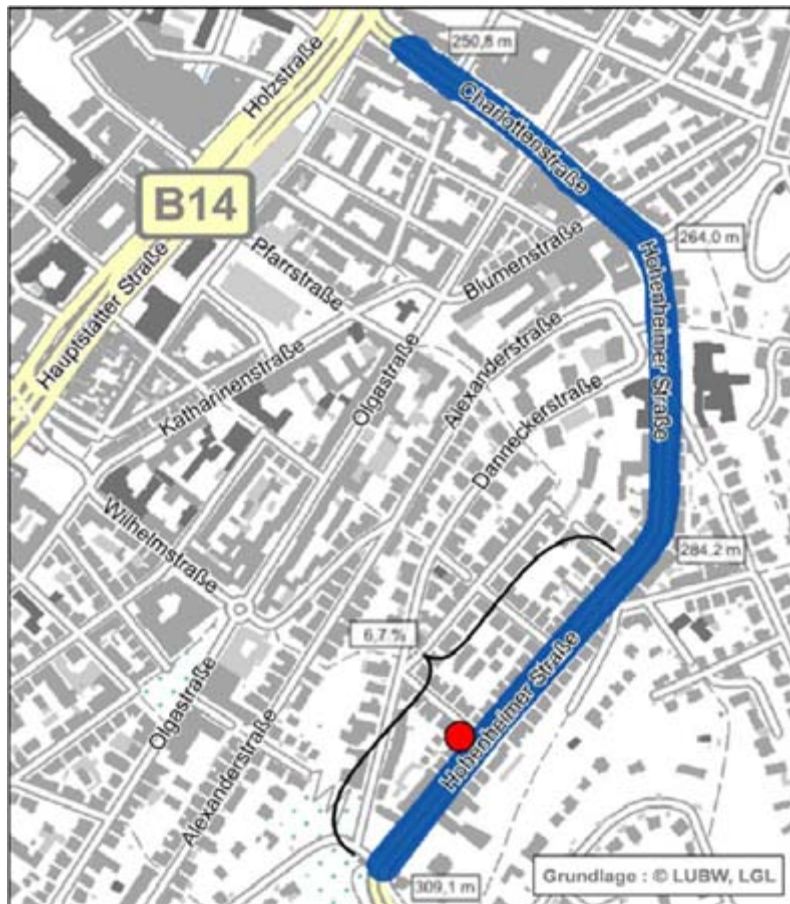


Abbildung 2-3: Streckenführung Hohenheimer Straße (Strecke 3), Quelle: /TÜV Nord 2011/

2.2 EMISSIONSFAKTOREN

Analog zu den in Kapitel 1 beschriebenen Auswertungen der in Freiburg durchgeführten Messfahrten wurden mit dem Modell PHEM an der Uni Graz /Hausberger, S., Luz, T. 2010/ Emissionsrechnungen durchgeführt, räumliche Ganglinien der Emissionsfaktoren bestimmt (dargestellt im Anhang in Abbildung B-3 und Abbildung B-4) und Emissionsfaktoren berechnet. Die dabei verwendete Flottenzusammensetzung auf der Datengrundlage des landesweiten Emissionskatasters Straßenverkehr /AVISO 2009/ ist in Tabelle 2-2 dargestellt.

Auch die Messfahrten in Stuttgart wurden für die weiteren Auswertungen so zusammengestellt, dass Störungsgrad und Anzahl der Halte bei T30- und T50-Fahrten vergleichbar und repräsentativ für den Tag der Messfahrten sind.

Tabelle 2-1: Flottenzusammensetzung auf Innerortsstraßen für Stuttgart für die Fahrzeuggruppen Pkw, INfz und sNfz (Bezugsjahr 2010)

Pkw		INfz		sNfz	
Otto vor E1	0,4%	Otto vor E1	0,2%	Ds vor E I	5,4%
Otto E1	2,9%	Otto E1	0,2%	Ds EI	3,0%
Otto E2	3,6%	Otto E2	0,9%	Ds EII	12,1%
Otto E3	19,3%	Otto E3	0,5%	Ds EIII	27,5%
Otto E4	32,3%	Otto E4	2,3%	Ds EIV	15,5%
Otto E5	1,1%	Otto E5	0,0%	Ds EV	36,6%
Otto E6	0,0%	Otto E6	0,0%	Ds EVI	0,0%
Gas/Alternativ	0,4%	Gas/Alternativ	0,0%		
Ds vor E1	0,3%	Ds vor E1	0,7%		
Ds E1	0,7%	Ds E1	1,7%		
Ds E2	1,9%	Ds E2	9,7%		
Ds E3	12,4%	Ds E3	30,5%		
Ds E4	23,4%	Ds E4	52,5%		
Ds E5	1,1%	Ds E5	0,7%		
Ds E6	0,1%	Ds E6	0,0%		

Analog zu den Auswertungen für Freiberg wurden aus den in Abbildung B-3 und Abbildung B-4 dargestellten Ganglinien mittlere „warme“ Emissionsfaktoren (Pkw und INfz) für NO_x und PM10 (Abgas) auf den Messstrecken abgeleitet, sie sind in Tabelle 2-2 angegeben. Insgesamt ergibt sich folgendes:

NO_x:

- Mit Ausnahme von Strecke 3 in Fahrtrichtung Süden (Steigungsstrecke) würde eine Einführung von T30 bei den **Pkw** auf allen Strecken in Stuttgart zu Emissionszunahmen führen.
- Bei den **INfz** käme es dagegen auf der Mehrzahl der Strecken zu Emissionsabnahmen. Auf Strecke 2 und Strecke 3 nähmen jedoch jeweils in Fahrtrichtung Süden die Emissionen zu.

PM10 (Abgas):

Hier sind die Auswirkungen von T30 auf das Emissionsverhalten von Pkw und INfz einheitlicher, es ergeben sich mit zwei Ausnahmen überall Zunahmen. Bei den Pkw auf Strecke 3 in Fahrtrichtung Süden sind kaum Änderungen festzustellen, bei den INfz werden auf Strecke 3 in Richtung Norden Abnahmen festgestellt.

Tabelle 2-2: Mittlere („warme“) Emissionsfaktoren für NO_x (oben) und PM₁₀, Abgas (unten), abgeleitet aus den mit PHEM berechneten Emissionen auf Basis der gemessenen Fahrprofile von TÜV Nord auf den Messstrecken in Stuttgart

Efaktor NO _x [g/km]	Pkw			Infz		
	T50	T30	Änderung	T50	T30	Änderung
abgeleitet aus den Messfahrten TÜV Nord						
Strecke 1, links herum	0,271	0,285	5,3%	0,635	0,573	-9,7%
Strecke 1, rechts herum	0,281	0,285	1,7%	0,669	0,597	-10,7%
Strecke 2 Richtung Norden	0,209	0,249	19,4%	0,459	0,453	-1,3%
Strecke 2 Richtung Süden	0,241	0,254	5,1%	0,605	0,640	5,8%
Strecke 3 Richtung Norden	0,181	0,188	3,8%	0,306	0,277	-9,5%
Strecke 3 Richtung Süden	0,571	0,493	-13,7%	1,586	1,704	7,5%

Efaktor PM ₁₀ [g/km]	Pkw			Infz		
	T50	T30	Änderung	T50	T30	Änderung
abgeleitet aus den Messfahrten TÜV Nord						
Strecke 1, links herum	0,0104	0,0116	11,4%	0,0467	0,0487	4,3%
Strecke 1, rechts herum	0,0106	0,0117	9,7%	0,0471	0,0507	7,8%
Strecke 2 Richtung Norden	0,0084	0,0106	25,6%	0,0363	0,0415	14,3%
Strecke 2 Richtung Süden	0,0099	0,0113	14,4%	0,0460	0,0578	25,6%
Strecke 3 Richtung Norden	0,0067	0,0076	13,6%	0,029	0,027	-5,6%
Strecke 3 Richtung Süden	0,0200	0,0199	-0,5%	0,080	0,111	40,0%

In Abbildung 2-4 sind die Werte aus Tabelle 2-2 grafisch dargestellt. Die angegebenen Unsicherheiten entsprechen jeweils einer Standardabweichung. Wie bei der analogen Darstellung für Freiberg (Abbildung 1-3) ist zu beachten, dass wegen der Auswahl der Fahrten nach vergleichbarer Anzahl an Halten die Fehler bei T30 und T50 nicht unabhängig voneinander sind. Ein Großteil der Variabilität der Emissionsfaktoren ist auf die im Tagesverlauf variierende Störungshäufigkeit in den Messfahrten zurückzuführen und wirkt sich daher in der Auswahl der Fahrten für T50 und T30 in die gleiche Richtung aus. Wenn der T50-Emissionsfaktor z. B. im unteren Bereich des Fehlerintervalls liegen sollte, dann liegt der entsprechende T30-Emissionsfaktor mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls im unteren Bereich des Fehlerintervalls.

Zusätzlich dargestellt sind die entsprechenden Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.1 für NO_x und PM₁₀ (Abgas) für die Störungsgrade „free“, „heavy“, „saturated“ sowie „stop&go“. Den betrachteten Streckenabschnitten wurde dafür die Hauptverkehrssituation „Distributor Speedlimit 50 km/h“ zugewiesen, da es sich um innerörtliche Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h handelt. Für die Strecken 1 und 2 wurde eine Steigung von 0% angesetzt, für Strecke 3 eine Steigung von 6% in Richtung Süden. Der südliche Teil von Strecke 3 weist konstant hohe Steigungen von 6% bis 7% auf, die Steigung im nördlichen Teil der Strecke ist tatsächlich geringer; dies ist beim Vergleich mit den HBFA-Emissionsfaktoren zu beachten.

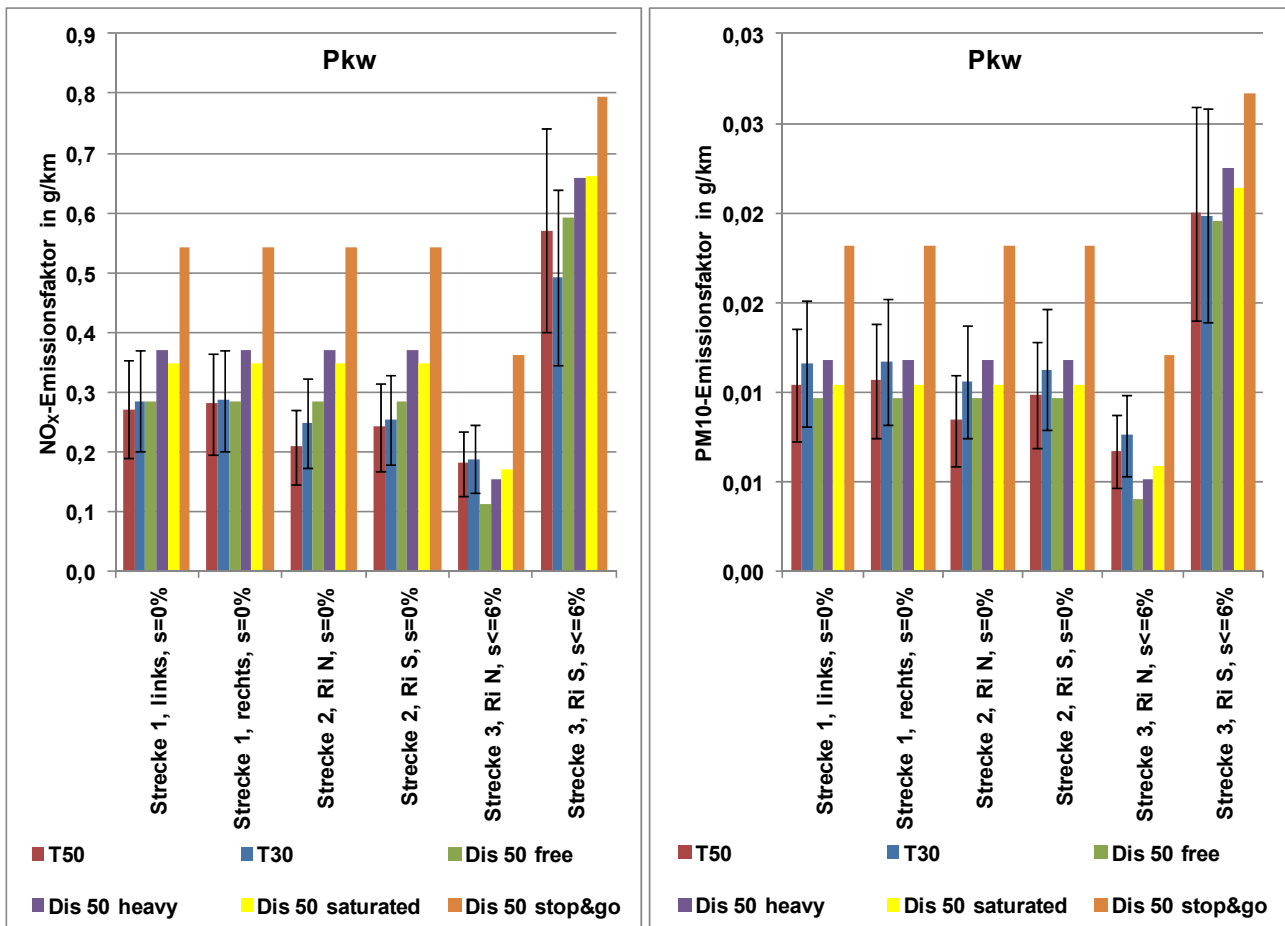


Abbildung 2-4: Vergleich der mittleren („warmen“) Pkw-Emissionsfaktoren für NO_x und PM10 (Abgas) abgeleitet aus den Messfahrten von TÜV Nord für die Messstrecken in Stuttgart mit den warmen Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.1 für die Verkehrssituation „Distributor 50 km/h“ mit unterschiedlichen Störungsgraden

Auf Strecke 1 liegen die aus den Messfahrten abgeleiteten Pkw NO_x-Emissionsfaktoren im Bereich „free“ der Handbuch-Faktoren für Distributor 50, auf Strecke 2 sogar noch darunter. Dies ist etwas niedriger als nach dem durch LSA zumindest beeinflussten Verkehrsablauf zu erwarten wäre. Auf den pro Richtung mehrstreifigen Strecken in Stuttgart hätte auch Trunk Road T50 als Vergleich herangezogen werden können, was für NO_x zu einer besseren Übereinstimmung führt.

Die gemessenen PM10-Emissionsfaktoren stimmen auf diesen Strecken gut mit dem Handbuch für Distributor 50 überein. Für Strecke 3 ist zu beachten, dass die Handbuch-Faktoren mit der Steigung 6% die Steigung im nördlichen Teil der Strecke überschätzen. Daher sind die auftretenden Unterschätzungen der Emissionsfaktoren in Richtung Norden und Überschätzungen in Richtung Süden zu erwarten.

3 Gesamtauswertung Messfahrten

Im folgenden Kapitel sollen die Daten aller zur Wirkung von T30 durchgeführten Messfahrten gemeinsam ausgewertet werden, um Gemeinsamkeiten und wenn möglich Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Ziel ist die Entwicklung eines „Ersteinschätzungsschemas“, das für eine bestimmte Strecke vor dem Durchführen von Messfahrten eine Einschätzung der Wirkung von T30 auf die Verkehrsemissionen, insbesondere von NO_x, erlauben soll.

3.1 ÜBERBLICK MESSFAHRTEN

Im Zeitraum zwischen Juli 2010 und März 2012 wurden im Auftrag der Regierungspräsidien Stuttgart, Tübingen, Karlsruhe und Freiburg in 13 Kommunen in Baden-Württemberg (s. Abbildung 3-1) Messfahrten zur Untersuchung der emissionsseitigen Wirkung eines Tempolimits T30 auf Hauptverkehrsstraßen durchgeführt. Zwei dieser Kommunen (Heidenheim, Markgröningen) wurden wegen lokaler Besonderheiten (Baustellen, extrem kurze Einzelstrecken) nicht in die Auswertung aufgenommen.

Die Messfahrten in Wendlingen wurden im März 2012 durchgeführt, die dabei aufgenommenen Daten gingen nicht in das vorliegende Erstauswertungsschema ein. Daher ermöglichen die Messfahrten aus Wendlingen einen Test dieses Schemas mit unabhängigen Daten.

Insgesamt wurden damit Daten aus 10 Kommunen auf 15 Messstrecken für das Erstauswertungsschema neu ausgewertet, betrachtet wurden NO_x- und abgasbedingte PM10-Emissionen.

Die Messstrecken in den verschiedenen Kommunen unterscheiden sich hinsichtlich Streckenlänge, Steigung und Knotenpunkten. Die entsprechenden Streckenparameter sind in Tabelle 3-1 aufgelistet. Für die Strecken in Stuttgart, auf denen von AVISO keine Messfahrten durchgeführt wurden, wurde die Anzahl der LSA Google Maps entnommen. Sie sind daher in Tabelle 3-1 nur als ungefähre Werte angegeben. Angaben zur Koordinierung dieser LSA liegen nicht vor.

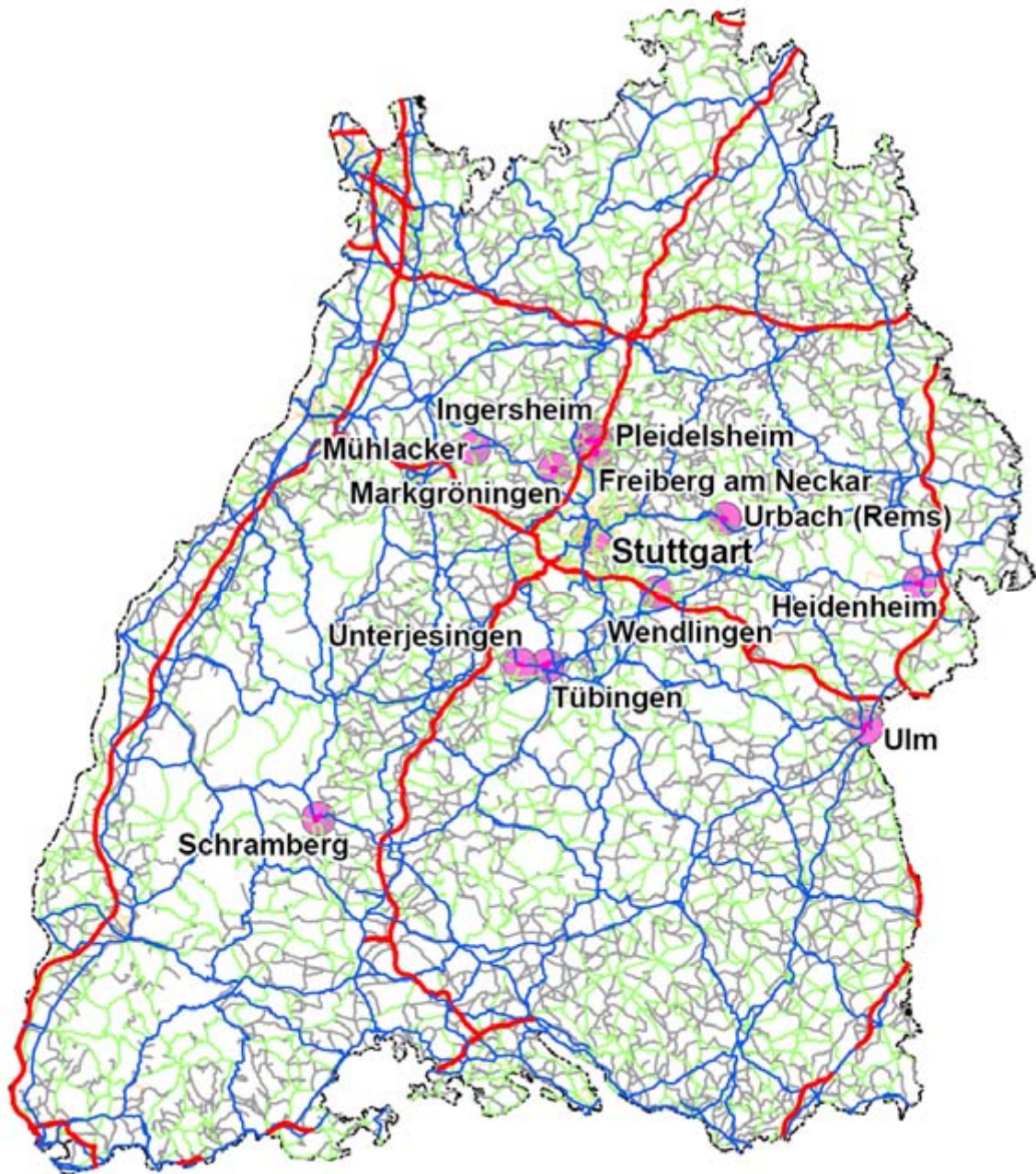


Abbildung 3-1: Untersuchungsgebiete

Tabelle 3-1: Charakterisierung der Messstrecken

Stadt	Streckenlänge pro Richtung	Steigung	Anzahl LSA	Koordinierung	Anzahl Bedarf-LSA	Kreisverkehr	Bemerkung
Mühlacker	ca. 600 m	4-8 % Neigung	2	ja	1	-	Ortsdurchfahrt, LSA am Anfang und Ende der Messstrecke
Urbach	ca. 1.200 m	eben, Teilabsch. 2% Neigung	-	-	3	2	Ortsdurchfahrt
Freiberg A	ca. 800 m	eben, Teilabsch. 2% Neigung	-	-	3	-	Ortsdurchfahrt, Strecke verzweigt sich im Ortszentrum
Freiberg B	ca. 700 m	ca. 6% (eben bis zu 10%)	-	-	2	-	
Ingersheim	ca. 1.100 m	teilweise bis zu 4% Neigung	1	-	3	-	Ortsdurchfahrt, LSA am Streckenanfang voll verkehrsabhängig gesteuert
Pleidelsheim A	ca. 900 m	überwiegend eben	1	-	4	-	Ortsdurchfahrt, LSA im Ortszentrum voll verkehrsabhängig gesteuert
Pleidelsheim B	ca. 450 m	überwiegend eben	1	-	1	-	
Markgröningen	ca. 1600 m	eben bis zu 10% Neigung	1	-	1	-	Ortsdurchfahrt, Innenstadtring
Heidenheim	ca. 1200	überwiegend eben	12	ja	2	-	Hauptverkehrsstraße im Zentrum, Einbahnstraßenregelung
Schramberg	ca. 600 m	bis 10% Neigung	1	-	-	-	Ortsdurchfahrt, LSA am Streckenanfang
Ulm A	ca. 1.100 m	überwiegend eben	5	ja	-	-	Hauptverkehrsstraße im Zentrum
Ulm B	ca. 450 m	überwiegend eben	3	ja	-	-	Hauptverkehrsstraße im Zentrum, Einbahnstraße
Unterjesingen	ca. 1.500 m	eben, Teilabsch. 2% Neigung	2	ja	3	-	Ortsdurchfahrt
Tübingen	ca. 2.000 m	überwiegend eben	11	ja	9	-	Hauptverkehrsstraßen im Zentrum, Einbahnstraßenregelung
Stuttgart 1	ca. 4.000 m	überwiegend eben	ca. 10		ca. 5	-	Hauptverkehrsstraße im Zentrum
Stuttgart 2	ca. 3.000 m	überwiegend eben	ca. 7			-	Hauptverkehrsstraße im Zentrum
Stuttgart 3	ca. 2.200 m	eben bis zu 6% Neigung	ca. 4		ca. 4	-	Hauptverkehrsstraße im Zentrum
Wendlingen	ca. 500 m	überwiegend eben	2	nein	1	-	Teil der Ortsdurchfahrt, LSA voll verkehrsabhängig gesteuert

Die Methodik zur Auswertung der Messfahrten ist in den jeweiligen Einzelberichten für jede Kommune (/AVISO 2011a/ bis /AVISO 2011g/, /Rau 2010/ bis /Rau 2011c/) ausführlich beschrieben und in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt. Ziel der Auswertungen war die Berechnung streckenspezifischer Jahresemissionsdichten für T50 wie für T30 sowie die durch eine Einführung von T30 jeweils erzielbaren Änderungen.

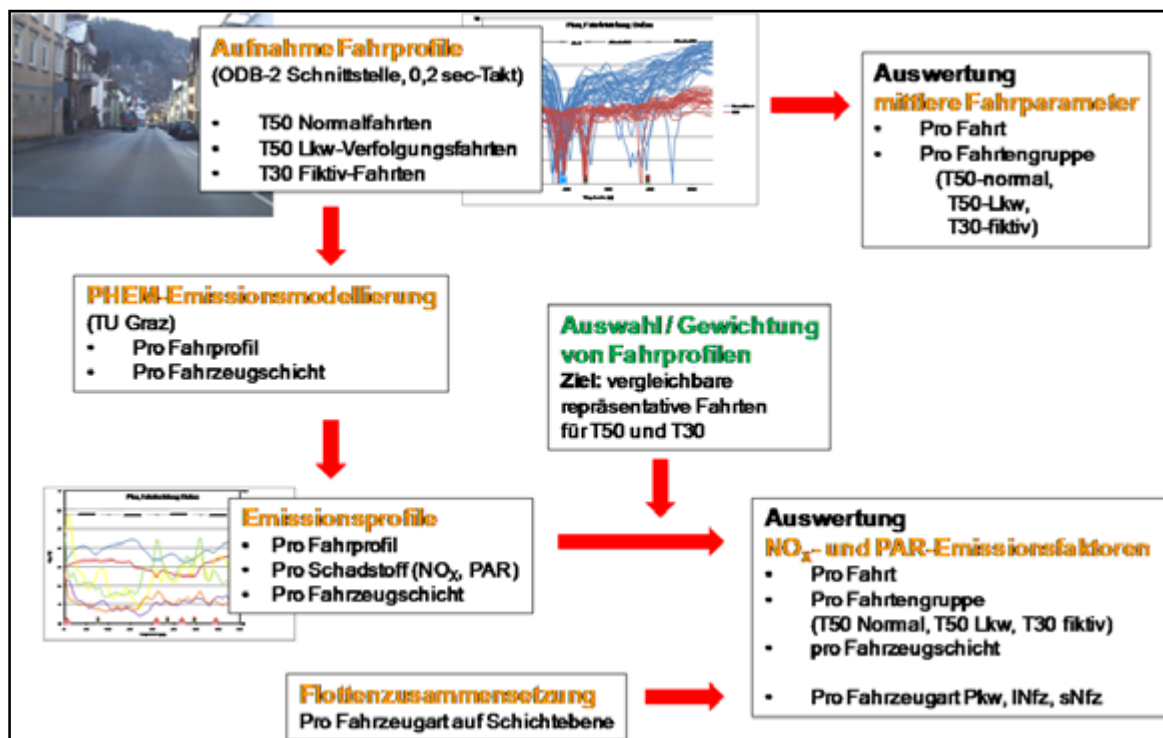


Abbildung 3-2: Auswertungsmethodik Messfahrten T50/T30 für konkrete Strecken

Auf der Mehrzahl der untersuchten Teststrecken können durch T30 für die NO_x -Emissionen Minderungen erzielt werden. Diese liegen zwischen -1% und -12%.

Beim Fachgespräch „Emissionen und Minderungspotenziale im Verkehrsbereich“ am 21.07.2011 in Stuttgart /AVISO 2011h/ wurden die zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Ergebnisse wie folgt zusammengestellt:

1. Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit v und relative positive acceleration RPA (s. Abbildung 3-3, mittlere Werte pro Untersuchungsstrecke und Fahrtrichtung):
 - große Streuung bei Messfahrten T50,
 - etwas geringere Streuung bei Messfahrten T30
 - Vergleich T50 Messfahrten zu HBEFA 3.1 T50: Gute Übereinstimmung bzgl. Lage im rpa/v -Bereich,
 - RPA bei T30 niedriger als bei T50 bei vergleichbaren mittleren Geschwindigkeiten.

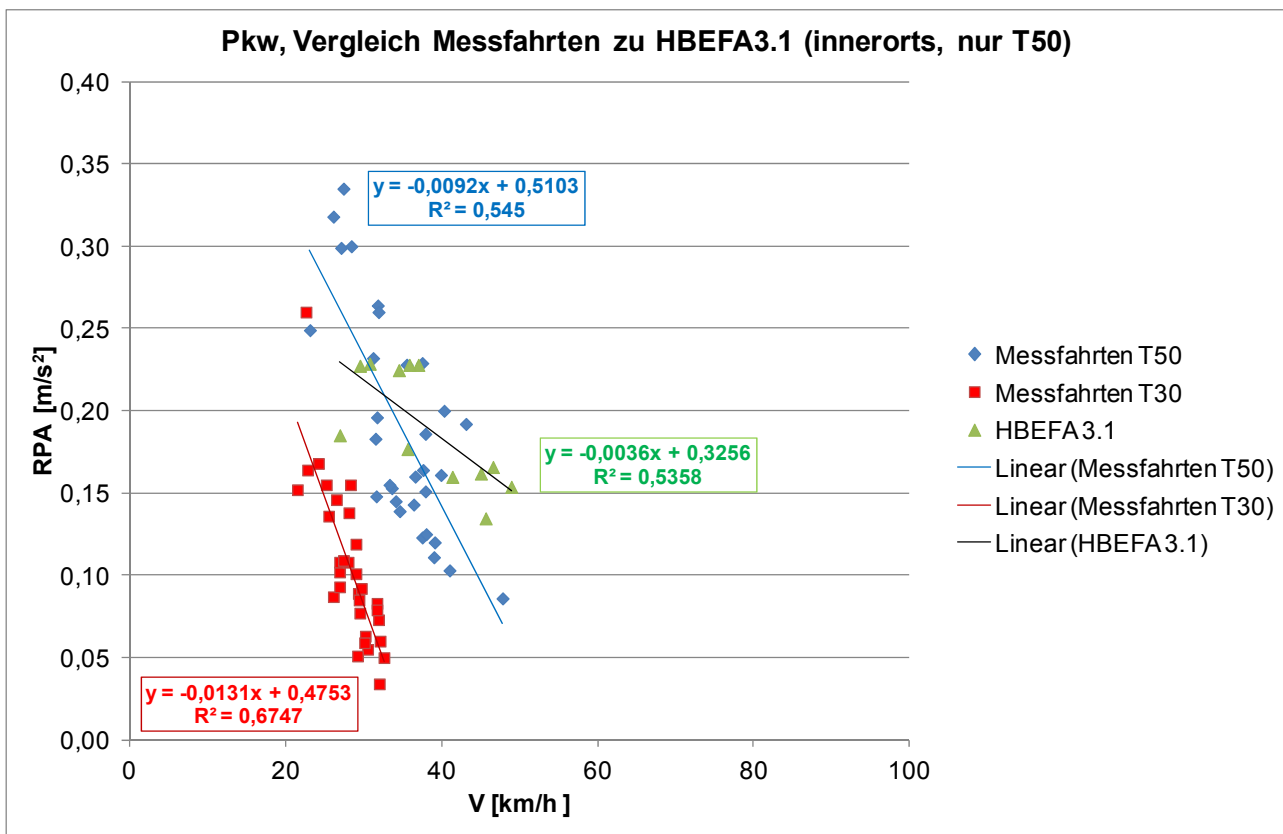


Abbildung 3-3: Gesamtstrecken, Mittelwert pro Richtung: Fahrparameter RPA (relative positive acceleration) in Abhängigkeit von der mittleren Geschwindigkeit v , Quelle: /AVISO 2011h/

2. Steigungsabhängigkeit der Emissionsfaktoren NO_x :

- Pkw: bei Steigung $>4\%$ überwiegend Emissionsreduktionen, bei Gefälle $<4\%$ überwiegend Emissionserhöhungen (s. Abbildung 3-4, mittlerer NO_x -Emissionsfaktor pro Messstrecke und Fahrtrichtung für T50 und T30)
- sNfz: uneinheitlich

3. RPA-Abhängigkeit der Emissionsfaktoren NO_x (s. Abbildung 3-5, Änderung der mittleren NO_x -Emissionsfaktoren pro Messstrecke und Fahrtrichtung):

- Pkw: bei großem RPA überwiegend Emissionsreduktionen, bei kleinem RPA überwiegend Emissionszunahmen, uneinheitlich
- sNfz: ähnlich wie Pkw, nicht so stark ausgeprägt

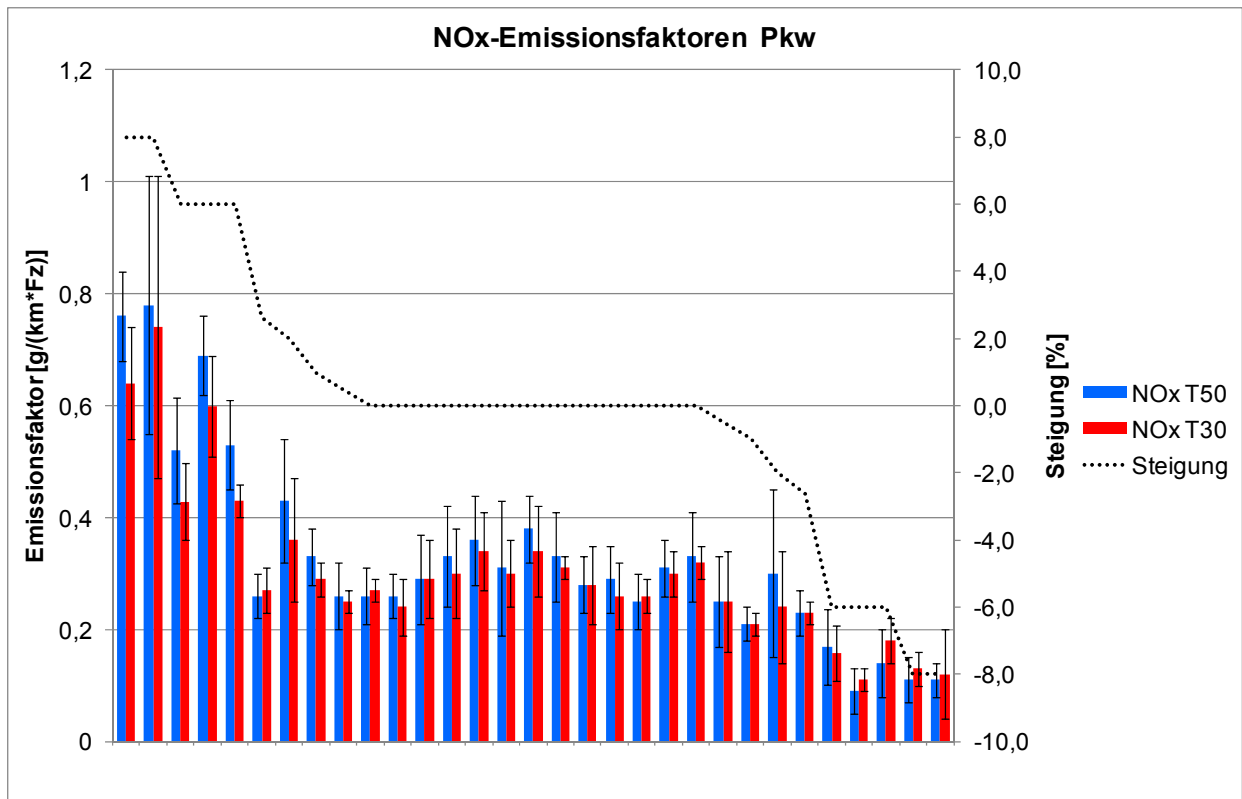


Abbildung 3-4: Pkw Emissionsfaktoren NO_x pro Messstrecke: Steigungsabhängigkeit, Quelle: /AVISO 2011h/

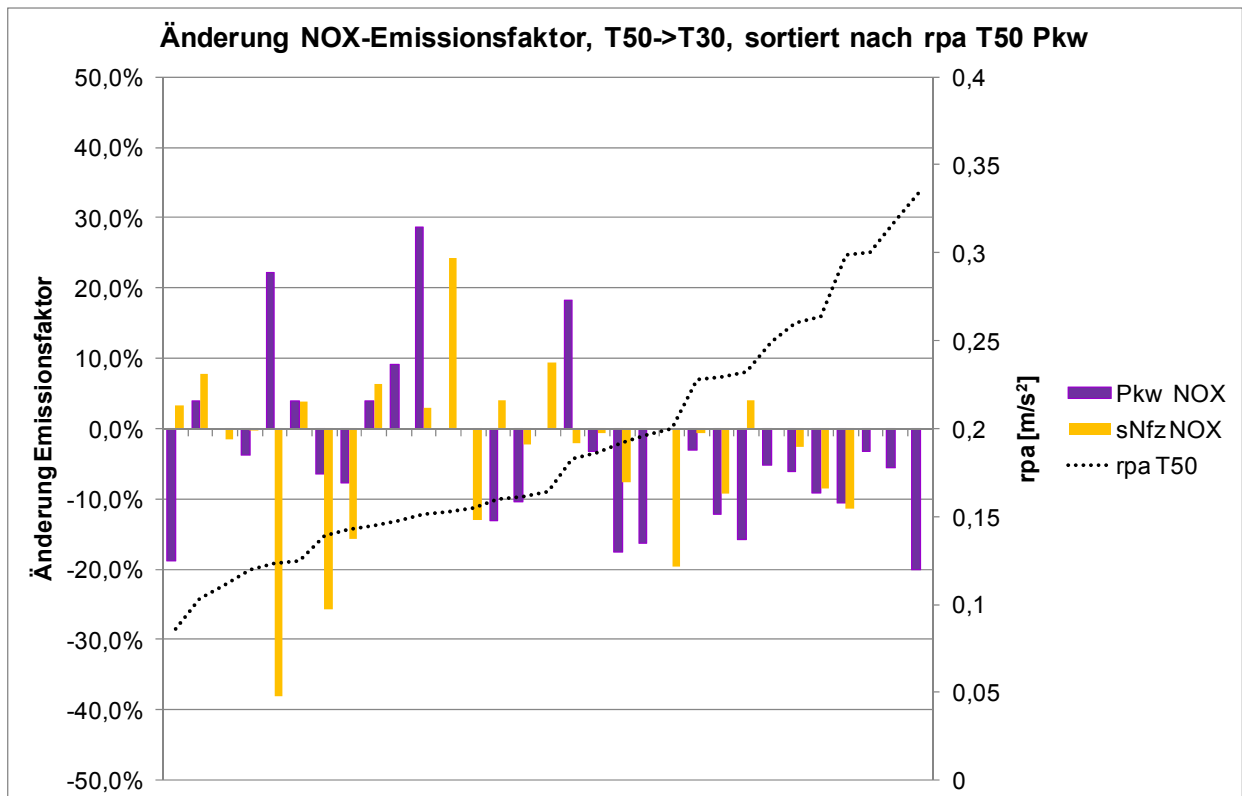


Abbildung 3-5: Änderung der NO_x-Emissionsfaktoren pro Messstrecke beim Übergang von T50 zu T30 in Abhängigkeit von RPA, Quelle: /AVISO 2011h/

Insgesamt ließ sich festhalten, dass die Wirkung von T30 durch Parameter wie RPA, Steigung und Verkehrszusammensetzung (Anteil Schwerverkehr) beeinflusst wird. Auf den untersuchten Teststrecken kamen jedoch immer feste Kombinationen dieser Parameter vor, so dass die Einflüsse nicht einzeln untersucht werden konnten. Daher werden im vorliegenden Bericht zunächst die sekundlichen Datenpunkte losgelöst von der konkreten Strecke untersucht.

Statt des Dynamikparameters RPA wird im folgenden der Konstantfahrtanteil betrachtet. Diese Größe ist leichter zugänglich und beschreibt ebenfalls die Fahrdynamik: Ein hoher RPA Wert entspricht viel Dynamik und damit einem kleinen Konstantfahrtanteil.

3.2 GESAMTAUSWERTUNG ALLER SEKÜNDLICHEN WERTE

Im folgenden Abschnitt werden die von PHEM berechneten sekundlichen Emissionsfaktoren aller Messfahrten gemeinsam ausgewertet. Insgesamt wurden von AVISO und von TÜV Nord über 1.000 Fahrten durchgeführt, es liegen rund 225.000 sekundliche Datenpunkte vor.

3.2.1 GRUPPIERUNG

Diese Datenpunkte wurden nach Steigung s der Strecke sowie nach Fahrzustand (Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung, Stillstand) klassifiziert, dabei wurden die in PHEM gebräuchlichen Definitionen in Abhängigkeit der momentanen Beschleunigung a und Geschwindigkeit v verwendet:

- Beschleunigung: $a > 0,125 \text{ m/s}^2$
- Verzögerung: $a < -0,125 \text{ m/s}^2$
- Stillstand: $v < 0,5 \text{ m/s}$ (in PHEM: 0,1 m/s)
- Konstantfahrt: sonst

Die Begrenzung der Stillstandsphase wurde von $v=0,1 \text{ m/s}$ auf $v=0,5 \text{ m/s}$ erweitert. Dadurch wird die Umrechnung von zeitlichen Emissionsraten in g/h in räumliche Emissionsfaktoren in g/km numerisch stabiler.

Die Steigungsklassen wurden in Anlehnung an HBEFA 3.1 entsprechend der Steigung s gewählt:

-6%:	$s \leq -5\%$
-4%:	$-5\% < s \leq -3\%$
-2%:	$-3\% < s \leq -1\%$
0%:	$-1\% < s \leq 1\%$
+2%:	$1\% < s \leq 3\%$
+4%:	$3\% < s \leq 5\%$
+6%:	$5\% < s$

In Tabelle 3-2 ist die Anzahl der in diesen Klassen vorliegenden Datenpunkte für T50-Normalfahrten, T50-Lkw-Verfolgungsfahrten sowie für T30-Fahrten (fiktiv) ausgewiesen.

Im Bereich von 0% Längsneigung liegen jeweils die meisten Datenpunkte vor, im Bereich von +/- 4% die wenigsten Datenpunkte. Bei Betrachtung der Fahrtarten entfallen die meisten Datenpunkte auf die T50-Normalfahrten (ca. 120.000) und die wenigsten auf die Lkw-Verfolgungsfahrten (ca. 37.000, je nach Schwerverkehrsanteil gab es zum Teil nur wenige Gelegenheiten für Lkw-Verfolgungsfahrten, auf ebenen Strecken konnten jedoch die T50-Normalfahrten auch als Lkw-Verfolgungsfahrten ausgewertet werden), während auf die T30-Fahrten (fiktiv) ca. 65.000 Datenpunkte entfallen.

Bei den T30-Fahrten liegen für alle Steigungsklassen die meisten Datenpunkte im Fahrzustand Konstantfahrt, bei den T50-Fahrten ist dies weniger stark ausgeprägt (siehe Abschnitt 1.3) und bei den Lkw-Verfolgungsfahrten, bei denen Beschleunigung wie auch Verzögerung langsamer ablaufen, liegen im Fahrzustand Konstantfahrt die wenigsten Datenpunkte.

Tabelle 3-2: Anzahl der sekundlichen Datenpunkte aus allen Messfahrten nach Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung und Stillstand sowie nach Steigungsklassen für T50-Normalfahrten, T50 Lkw-Verfolgungsfahrten und T30-Fahrten (fiktiv)

Steigung	Konstantfahrt	Beschleunigung	Verzögerung	Stillstand	gesamt
T50 Normalfahrt					
-6%	2.454	3.888	3.521	2.433	12.296
-4%	1.727	1.657	1.235	512	5.131
-2%	5.956	5.092	5.148	3.363	19.559
0%	15.537	15.171	13.672	9.649	54.030
2%	5.822	4.939	4.986	3.298	19.045
4%	1.183	947	1.135	151	3.416
6%	3.345	2.478	1.813	186	7.822
gesamt	36.024	34.173	31.510	19.592	121.299
T50 Lkw-Folgefahrt					
-6%	297	429	454	253	1.433
-4%	56	162	90	46	354
-2%	311	242	207	-	760
0%	7.864	9.938	8.928	5.364	32.093
2%	288	269	155	-	712
4%	155	79	168	18	420
6%	789	567	271	1	1.628
gesamt	9.759	11.687	10.272	5.682	37.400
T30 fiktiv					
-6%	3.602	1.269	1.435	170	6.476
-4%	1.471	511	341	917	3.240
-2%	5.993	1.296	1.334	3.773	12.396
0%	15.382	5.277	5.058	1.236	26.953
2%	6.369	1.113	1.195	23	8.700
4%	1.189	240	357	292	2.078
6%	3.936	980	764	-	5.680
gesamt	37.942	10.686	10.484	6.411	65.523

3.2.2 EMISSIONSFAKTOREN PKW NO_x

Für die oben genannten Fahrzustände und Steigungsklassen wurden jeweils aus allen rund 225.000 sekundlichen Datenpunkten gemittelte Emissionsfaktoren T50 und T30 berechnet. Für alle vorkommenden Fahrzeugschichten der Pkw, Infz und sNfz ergibt dies insgesamt über 15 Millionen Datensätze, die dann entsprechend dem Flottenmix Baden-Württemberg 2010 gewichtet gemittelt wurden. Für die Pkw sind die resultierenden NO_x-Emissionsfaktoren in Abbildung 3-6 dargestellt. Die angegebenen Fehlerbalken entsprechen jeweils einer Standardabweichung.

Für Konstantfahrt, Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen sind jeweils Emissionsfaktoren in g/km dargestellt. Der Raumbezug ist hier sinnvoll, da die Strecken, nicht aber die Zeitspannen für T50 und T30 gleich sind. Für die Stillstandsphasen wurden Emissionsraten in g/h angegeben, da beim stehenden Fahrzeug kein Streckenbezug möglich ist.

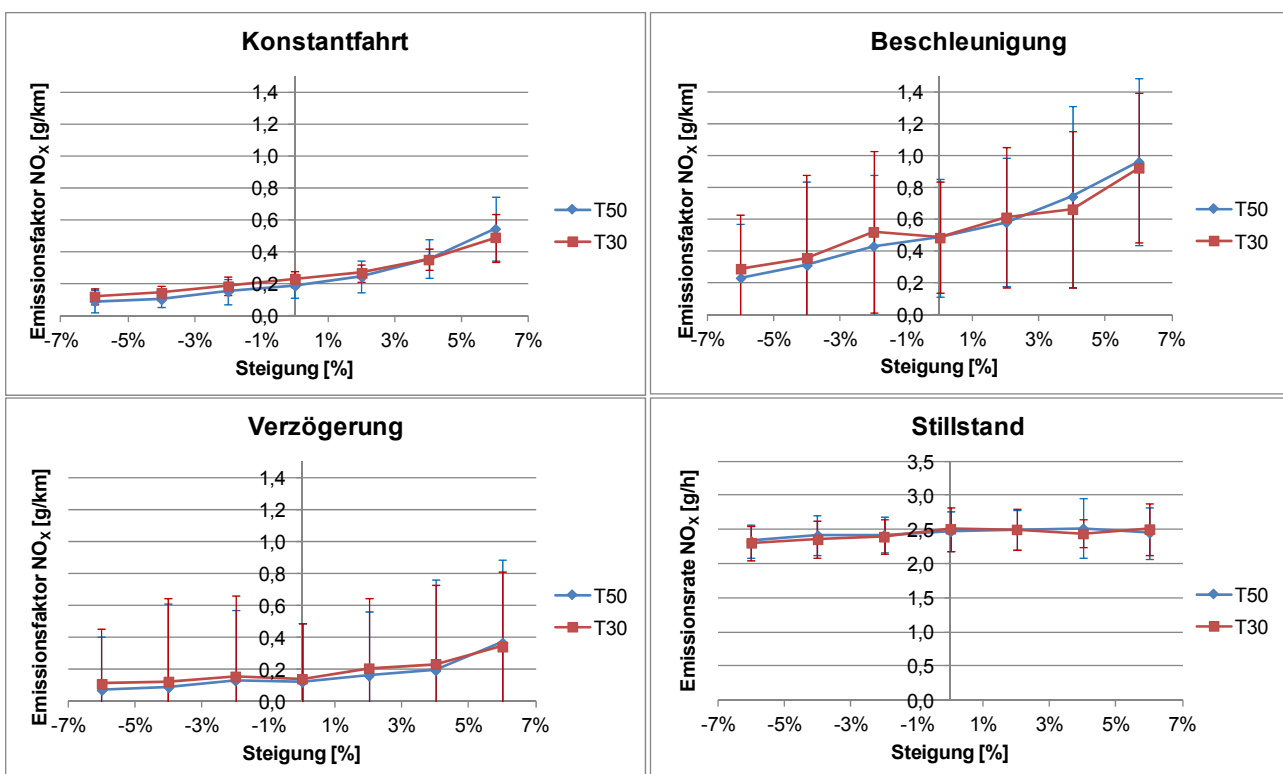


Abbildung 3-6: Pkw-Emissionsfaktoren (Flottenmix Baden-Württemberg 2010) NO_x für Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung und Stillstand (dort: Emissionsraten) nach Steigungsklassen jeweils im Vergleich T50 und T30

Die NO_x-Emissionsfaktoren für Konstantfahrt (Abbildung 3-6, oben links) nehmen erwartungsgemäß mit zunehmender Steigung für T30 (rote Kurve) wie auch für T50 (blaue Kurve) zu. Unterhalb von 4% Steigung liegen die T30-Emissionsfaktoren etwas über den Werten für T50, oberhalb von 4% Steigung liegen sie etwas darunter.

In Beschleunigungs- (oben rechts in Abbildung 3-6) und Verzögerungsphasen (unten links in Abbildung 3-6) sieht die Steigungsabhängigkeit ähnlich aus wie für die Konstantfahrt. Insgesamt liegen die Emissionsfaktoren für Beschleunigung über und für Verzögerung etwas unterhalb der Werte für Konstantfahrt.

Auffällig sind hier die im Vergleich mit der Konstantfahrt großen Standardabweichungen. Der Grund dafür ist die hohe Variabilität dieser Fahrzustände: Während Konstantfahrt und Stillstand jeweils durch einen engen Wertebereich definiert sind ($|a| < 0,125 \text{ m/s}^2$ bzw. $v < 0,5 \text{ m/s}$), umfassen Beschleunigungs- und Verzö-

gerungsphasen alle Beschleunigungswerte außerhalb des Konstantfahrbereiches. Auch bei den Emissionsfaktoren für diese Fahrzustände ist daher mit einer hohen Variabilität zu rechnen. Um alle relevanten Beschleunigungsbereiche in allen Steigungsklassen repräsentativ mit Messpunkten abzudecken, sind daher für Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen erheblich mehr Messpunkte erforderlich als für Konstantfahrt- oder Stillstandsphasen. Dies führt zu höheren Unsicherheiten bei diesen Fahrzuständen.

Während die Emissionsfaktoren bei der Konstantfahrt streng monoton mit der Steigung ansteigen, ist dieser Zusammenhang in den Beschleunigungsphasen insbesondere für T30 nicht ganz so glatt. Dies ist zum einen auf den „Gangwahleffekt“ zurückzuführen, da in Abhängigkeit von der Steigung in unterschiedlichen Gängen gefahren wurde. Die oben beschriebene höhere Unsicherheit kommt dazu: mit 511 bzw. 240 Messpunkten ist die Datenlage bei den T30-Beschleunigungsphasen für $\pm 4\%$ Längsneigung weniger gut als für 0% Steigung mit 5.277 Messpunkten (s. Tabelle 3-2).

Während der Stillstandsphasen läuft der Motor ohne eingelegten Gang im Leerlauf. Es sind daher keine Abhängigkeiten von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder der Steigung zu erwarten. Dies wird durch das Bild unten rechts in Abbildung 3-6 bestätigt. Die leichte Erhöhung mit zunehmender Steigung ist auf die von Null verschiedene obere Grenze für die Geschwindigkeit bei Stillstand von $v = 0,5$ m/s zurückzuführen. Sie ist jedoch vernachlässigbar. Unterschiede in den Stillstandsemissionen bei T50 und T30 sind daher auf unterschiedlich lange Standdauern zurückzuführen und daher zufälliger Natur.

Für Konstantfahrtstrecken in der Ebene wurde weiterhin untersucht, welchen Einfluss die Gangwahl auf die Wirkungsrichtung von T30 auf die Pkw-NO_x-Emissionen hat. Betrachtet wurden für T50 alle Messpunkte in Steigungsklasse 0% im Geschwindigkeitsintervall von 40 km/h bis 60 km/h und für T30 im Geschwindigkeitsintervall von 20 km/h bis 40 km/h. In Tabelle 3-3 ist angegeben, für welchen Anteil dieser Messpunkte das Gangwahlmodell von PHEM jeweils den 1., 2., 3. oder 4. Gang ermittelt hat. Zusätzlich ausgewiesen sind die mittleren Emissionsfaktoren für NO_x im jeweiligen Gang sowie der Gesamtemissionsfaktor.

Tabelle 3-3: Einfluss der Gangwahl auf die Wirkung von T30 auf die Pkw-NO_x-Emissionsfaktoren (EF) bei Konstantfahrt in der Ebene

Geschwindigkeitsintervall	1. Gang		2. Gang		3. Gang		4. Gang		gesamt	
	Anteil	EF [g/km]	Anteil	EF [g/km]	Anteil	EF [g/km]	Anteil	EF [g/km]	Anteil	EF [g/km]
T30 (20 - 40) km/h	0,3%	0,605	72,3%	0,239	27,4%	0,194			100,0%	0,228
T50 (40 - 60) km/h			4,0%	0,354	87,4%	0,168	8,6%	0,157	100,0%	0,174
Differenz				-32,5%		15,5%				30,5%

Bei T30 wurde für knapp drei Viertel dieser Messpunkte der 2. Gang und für gut ein Viertel der 3. Gang ermittelt. Die Messpunkte im 1. bzw. 4. Gang können vernachlässigt werden. Bei T50 wird für 87% aller Messpunkte der 3. Gang ermittelt, auf den 2. Gang entfallen 4% und auf den 4. Gang 9% aller Messpunkte. Im Mittel wird T50 also etwa eine Gangstufe höher gefahren als T30. Kleinere Gänge führen zu höheren Drehzahlen des Motors und dadurch zu höheren Emissionen.

Aber auch bei alleiniger Betrachtung der 3. Gangstufe sind die Pkw-Emissionsfaktoren Konstantfahrt für NO_x in der Ebene bei T30 um ca. 16% höher als bei T50. Gemittelt über alle Gangstufen ergibt sich eine Zunahme um ca. 31%. Die Erhöhung der Pkw-Konstantfahrtemissionen NO_x in der Ebene durch T30 ist also zu etwa der Hälfte auf den Gangwahleffekt zurückzuführen.

Im Anhang sind analog zu Abbildung 3-6 die Pkw-Emissionsfaktoren für PM10 (Abgas, Abbildung C-1) bzw. der Kraftstoffverbrauch (Abbildung C-2) für die Fahrzustände Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung und Stillstand angegeben. Der Verlauf der Kurven ist dem Verlauf für NO_x ähnlich, die T30-Werte liegen bei PM10 und beim Kraftstoffverbrauch jedoch deutlicher über den T50-Werten.

3.2.3 EMISSIONSFAKTOREN LEICHTE UND SCHWERE NUTZFAHRZEUGE

Auch für INfz und sNfz (Flottenmix Baden-Württemberg 2010) wurden über alle Datenpunkte gemittelte Emissionsfaktoren T50 und T30 für Fahrzustände und Steigungsklassen berechnet. Für die INfz ergeben sich ähnliche Zusammenhänge wie für die Pkw, jedoch zu positiven Wirkungen von T30 hin verschoben.

Die Lkw-Verfolgungsfahrten beinhalten noch weniger Messpunkte als die T30-Fahrten. Daher ist insbesondere in den Fahrzuständen Beschleunigung und Verzögerung die Datenlage zu dünn, um für alle Steigungsklassen den erforderlichen Beschleunigungsbereich hinreichend abzudecken. Hier können nur Aussagen für ebene Strecken getroffen werden.

Für den Fahrzustand Konstantfahrt sind Auswertungen in allen Steigungsklassen möglich und analog zu den Pkw für NO_x, PM10 (Abgas) und Kraftstoffverbrauch im Anhang in Abbildung C-3 dargestellt. Anders als bei den Pkw sind auf Gefällestrecken kaum Unterschiede im Emissionsverhalten zwischen T30 und T50 zu beobachten. Mit zunehmender Steigung nehmen die T30-Emissionen jedoch stärker als die T50-Emissionen zu, so dass sich Nachteile für T30 ergeben.

3.3 ANTEIL KONSTANTFAHRT BEI T50 UND T30

Während die getrennte Auswertung der sekundlichen Messpunkte für Konstantfahrt, Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen negative Auswirkungen von T30 auf die NO_x-Emissionen erwarten lässt, wurden in den Auswertungen der Einzelstrecken (/AVISO 2011a/ bis /AVISO 2011g/, /Rau 2010/ bis /Rau 2011c/) in vielen Fällen positive Wirkungen von T30 gefunden. Dies ist auf den bei T30 gegenüber T50 höheren Konstantfahrtanteil zurückzuführen (s. auch Diskussion in Abschnitt 1.3). Im folgenden Abschnitt wird daher ein Zusammenhang zwischen dem Konstantfahrtanteil bei T50 und dem bei T30 abgeleitet.

In Tabelle 3-4 sind die Anteile der Fahrzustände an der Gesamtheit der durchgeführten Messfahrten angegeben. Konstantfahrt, Beschleunigung und Verzögerung wurden dabei wie die entsprechenden Emissionsfaktoren auf die Strecke bezogen und ergänzen sich entsprechend räumlich zu 100%. Der in der letzten Spalte angegebene Stillstandsanteil bezieht sich auf die Dauer aller Fahrten.

Tabelle 3-4: Gesamtanteile der Fahrzustände an allen Messfahrten; Konstantfahrt, Verzögerung, Beschleunigung werden wie die entsprechenden Emissionsfaktoren auf die Strecke bezogen und ergänzen sich räumlich zu 100%, der Stillstandsanteil bezieht sich auf die Gesamtdauer aller Fahrten.

		Konstantfahrt	Verzögerung	Beschleunigung	Stillstand
T50 Normalfahrt	MW	37,2%	28,9%	33,9%	9,7%
	StAbw	14,9%	10,6%	10,7%	12,1%
T50 Lkw-Folgefahrt	MW	37,7%	26,4%	35,9%	5,7%
	StAbw	14,3%	12,3%	11,7%	10,5%
T30 (fiktiv)	MW	62,1%	18,2%	19,7%	7,0%
	StAbw	16,6%	8,3%	9,6%	9,6%

Wie schon bei der Anzahl der Datenpunkte in Tabelle 3-2 zu erkennen war, liegt der mittlere Konstantfahrtanteil bei den T30-Fahrten mit 62% deutlich über dem Konstantfahrtanteil bei den T50-Fahrten mit 37%. Anders als in Tabelle 3-2 ist der Konstantfahrtanteil bei den Lkw-Verfolgungsfahrten nicht kleiner als bei den Normalfahrten. Da die Datenpunkte sekundlich aufgenommen wurden, entspricht der Anteil der Messpunkte eines Fahrzustands dem zeitlichen Anteil, während der in Tabelle 3-2 angegebene Anteil sich auf die Strecke bezieht. Bei den Lkw-Verfolgungsfahrten wurde also auf vergleichbar langen Strecken beschleunigt oder gebremst wie bei den Normalfahrten, die Dauer dieser Phasen war jedoch länger.

Insgesamt wurden in 10 Städten 15 Messstrecken untersucht. Da es sich z. T. um Einbahnstraßen handelt, ergeben sich bei richtungsgetrennter Betrachtung 29 Strecken. Für diese Strecken wird nun die mittlere Änderung des Konstantfahrtanteils bei T30 gegenüber T50 bestimmt. Als Datenbasis für jede Strecke dient die Auswahl an T50- bzw. T30-Fahrten, die für die einzelnen Kommunen zur Berechnung der Wirkung von T30 unter der Maßgabe jeweils gleicher Anzahl von Störungen für T50 und T30 getroffen wurde.

In Abbildung 3-7 ist für jede der Strecken die Änderung r des mittleren Konstantfahrtanteils beim Übergang von T50 zu T30 gegen den Anteil p_{T50} bei T50 aufgetragen. An diese Änderung wurde ein Potenzgesetz der Form

$$r = a \cdot (1 - p_{T50})^b$$

mit Parametern a und b angepasst, es ist in Abbildung 3-7 als rote Linie eingetragen.

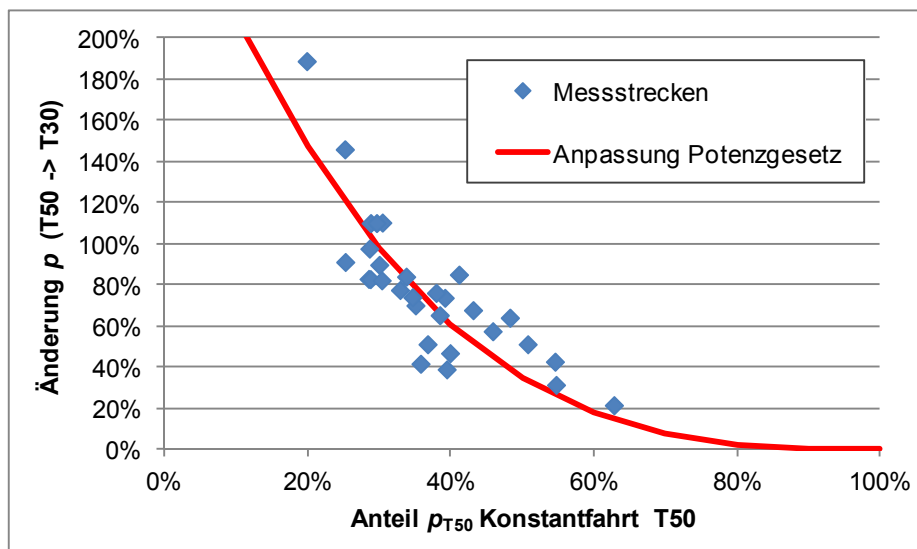


Abbildung 3-7: Zunahme des Konstantfahrtanteils p beim Wechsel von T50 zu T30, abgeleitet aus über 1000 Testfahrten auf 30 Teststrecken

Für den Konstantfahrtanteil p_{T30} bei T30 ergibt sich damit:

$$p_{T30} = p_{T50} \cdot (1 + a \cdot (1 - p_{T50})^b).$$

Dies erfüllt folgende Randbedingungen:

- $p_{T30} = 0$ für $p_{T50} = 0$ bei stop&go gibt es keinen Unterschied zwischen T50 und T30
- $p_{T30} = 1$ für $p_{T50} = 1$ ohne Störungen liegt bei T50 wie bei T30 der Konstantfahrtanteil bei 100%
- $p_{T30} > p_{T50}$ sonst.

3.4 ERSTEINSCHÄTZUNGSSCHEMA

Eine grobe Einschätzung der Verkehrsemissionen $E_{T50/T30}$ bei T50 bzw. T30 eines Luftschadstoffes auf einer konkreten Strecke der Länge L kann für jede Längsneigung als Produkt der oben bestimmten mittleren Emissionsfaktoren $EF_{T50/T30}^{k,b,v}$ nach Längsneigungsklasse und Fahrzustand (Konstantfahrt k , Beschleunigung b , Verzögerung v) mit den jeweiligen Anteilen $p_{T50/T30}^{k,b,v}$ dieser Fahrzustände bestimmt werden, die Stillstandsemissionen E^s kommen noch hinzu:

$$E_{T50/T30} \approx (p_{T50/T30}^k \cdot EF_{T50/T30}^k + p_{T50/T30}^b \cdot EF_{T50/T30}^b + p_{T50/T30}^v \cdot EF_{T50/T30}^v) \cdot L + E^s$$

Indizes für Längsneigungsklasse und Luftschadstoff wurden der Übersicht halber nicht dargestellt.

Da sich die Emissionsraten der Stillstandsemissionen für T50 und T30 nicht unterscheiden und die mittleren Stillstandsdauern ebenfalls gleich sind, können für den Vergleich von T50 mit T30 die Stillstandsemissionen unberücksichtigt bleiben. Die im Folgenden angegebenen Emissionsfaktoren sind daher nur für den Vergleich T50 mit T30 und nicht zur Abschätzung realer Emissionen zu verwenden. Da dann alle Terme der oben angegebenen Gleichung die gleiche Streckenabhängigkeit besitzen, können statt Emissionen auch die Emissionsfaktoren verglichen werden.

Die Anteile der Fahrzustände $p_{T50/T30}^{k,b,v}$ summieren sich für T50 und für T30 zu eins. Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen sind ungefähr gleich groß, aus den Messfahrten ergibt sich für T50 wie auch für T30 als mittleres Verhältnis $p_{T50/T30}^b / p_{T50/T30}^v \approx 1,16$. Damit folgt als grobe Abschätzung für jeden Luftschadstoff und jede Längsneigungsklasse

$$EF_{T50/T30} \approx p_{T50/T30}^k \cdot EF_{T50/T30}^k + (1 - p_{T50/T30}^k) (0,54 \cdot EF_{T50/T30}^b + 0,46 \cdot EF_{T50/T30}^v).$$

Der Konstantfahrtanteil p_{T30}^k bei T30 kann auf Basis der vorhandenen Messfahrten aus dem Konstantfahrtanteil p_{T50}^k bei T50 berechnet werden (s. Abbildung 3-7). Zur Abschätzung einer emissionsseitigen Wirkung von T30 für eine konkrete Strecke sind also Informationen über die Längsneigungsklasse sowie über den Konstantfahrtanteil bei T50 erforderlich. Die Längsneigungsklasse ist für eine gegebene Strecke bekannt; eine Abschätzung für den Konstantfahrtanteil T50 wird Gegenstand des folgenden Kapitels sein.

In Abbildung 3-8 sind die so geschätzten NO_x -Emissionsfaktoren für T30 und T50 bei 0% Steigung in Abhängigkeit vom Konstantfahrtanteil T50 für Pkw, INfz und sNfz dargestellt.

Für die Pkw ergibt sich folgendes:

- Bei einem T50-Konstantfahrtanteil $p_{T50}^k = 0\%$ liegt der T30-Emissionsfaktor geringfügig über dem T50-Emissionsfaktor.
- Bei zunehmendem p_{T50}^k bis ca. $p_{T50}^k = 40\%$ liegen die T30-Emissionsfaktoren unter denen bei T50, hier ergeben sich Vorteile für T30 durch den gegenüber T50 erhöhten Konstantfahrtanteil (s. Abbildung 3-7): Da die Emissionen bei Konstantfahrt geringer sind als die kombinierten Emissionen aus Beschleunigung und Verzögerung (s. Abbildung 3-6), führt eine Erhöhung des Konstantfahrtanteils zu niedrigeren Emissionen.
- Bei $p_{T50}^k > 40\%$ ergeben sich wiederum Vorteile für T50, hier überwiegen die bei T30 höheren Konstantfahrtemissionen.

Für die INfz führt T30 bei 0% Steigung überall zu Emissionsminderungen. Auf vielen Messstrecken hat sich bei der Emissionssimulation durch PHEM bei den INfz der „Gangwahleffekt“ im Vergleich mit den Pkw weniger stark ausgewirkt: Das Gangwahlmodell lieferte zum Teil für die Pkw Konstantfahrt T30 und Pkw Konstantfahrt T50 unterschiedliche Gänge, bei den INfz war dies weniger stark ausgeprägt. Die den Emissionsfaktoren in PHEM zugrundeliegende Datenbasis ist für die INfz jedoch auch deutlich schwächer als für die Pkw, so dass diese Ergebnisse mit Vorsicht zu verwenden sind.

Für die sNfz sieht der Zusammenhang von NO_x -Emissionsfaktor und Konstantfahrtanteil T50 ähnlich aus wie bei den Pkw. Hier ergeben sich allerdings bis zu einem Konstantfahrtanteil von 60% Vorteile für T30.

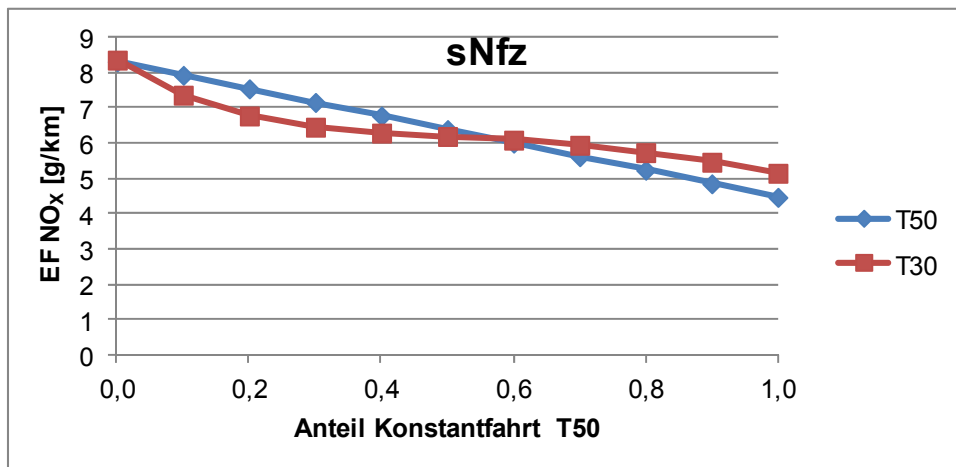
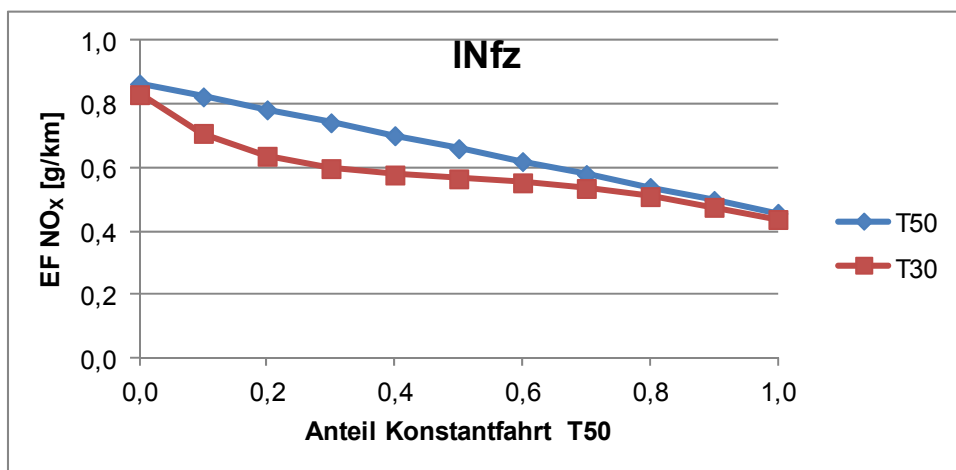
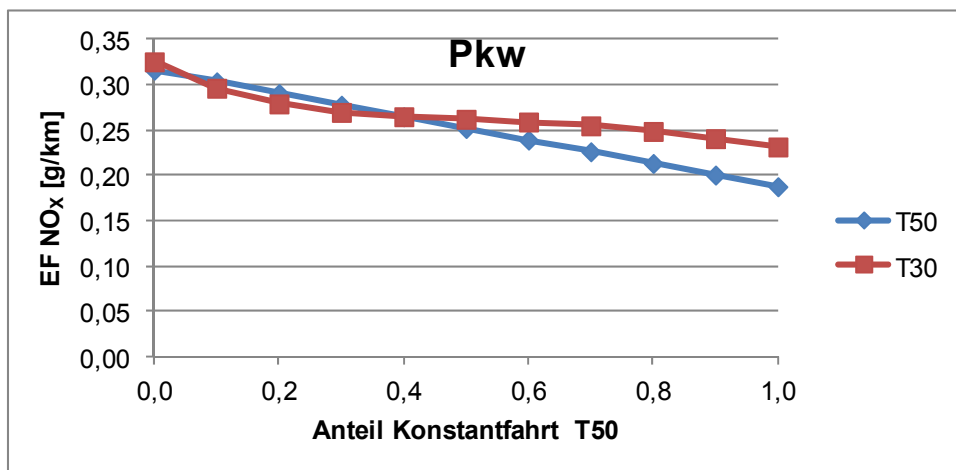


Abbildung 3-8: NO_x Emissionsfaktoren T50 und T30 in Abhängigkeit vom Konstantfahrtsanteil bei T50 für Pkw (oben), leichte (Mitte) und schwere Nutzfahrzeuge (unten) auf ebenen Strecken; der zugehörige Konstantfahrtsanteil bei T30 wurde nach dem Zusammenhang aus Abbildung 3-7 bestimmt.

In Abbildung 3-9 sind für die Pkw analog zu Abbildung 3-8 die geschätzten NO_x-Emissionsfaktoren für T30 und T50 für die Steigungsklassen 6%, 0% und -6% dargestellt.

Bei einem Gefälle von -6% ist die Wirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen unabhängig vom Konstantfahrtsanteil T50 überall negativ. Auf ebenen Strecken gibt es, wie oben bereits erläutert, Wechsel in der Wirkungsrichtung von T30: Oberhalb eines Konstantfahrtsanteils T50 von ca. 40% ist die Wirkung negativ, zwischen ca. 5% und 35% Konstantfahrtsanteil T50 ist sie leicht positiv und darunter wieder leicht negativ. Bei einer Steigung von +6% ist die Wirkung von T30 überall positiv.

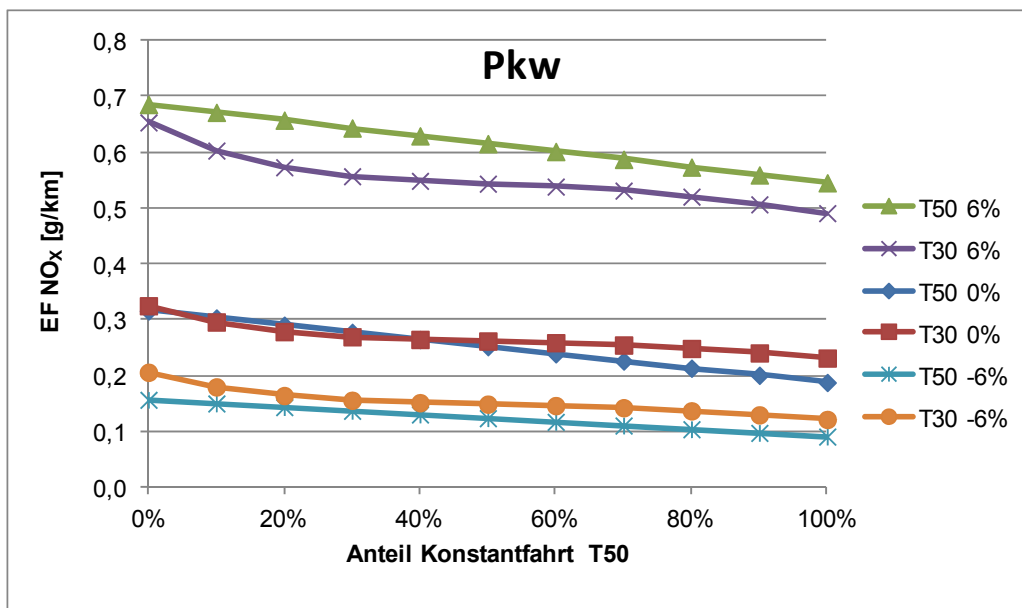


Abbildung 3-9: NO_x Emissionsfaktoren T50 und T30 in Abhängigkeit vom Konstantfahrtanteil bei T50 für Pkw für die Steigungsklassen 6%, 0% und -6%; der zugehörige Konstantfahrtanteil bei T30 wurde nach dem Zusammenhang aus Abbildung 3-7 bestimmt.

Zur Visualisierung der dazwischen liegenden Bereiche ist in Abbildung 3-10 in zweidimensionalen Diagrammen die Wirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen in Abhängigkeit von Konstantfahrtanteil T50 und Steigung bzw. Längsneigung für Pkw, sNfz, sowie für einen Flottenmix aus 97% Pkw und 3% sNfz dargestellt. Aufgrund der hohen Unsicherheiten bei den INfz wurden diese für das Einschätzungsschema nicht berücksichtigt. Sie tragen aufgrund ihres geringen Anteils am Flottenmix nicht viel zu den Gesamtemissionen bei. Ihre Berücksichtigung würde die geschätzte Wirkung von T30 leicht verbessern.

Grüne Bereiche in Abbildung 3-10 markieren Kombinationen aus Steigung und Konstantfahrtanteil T50, in denen die Wirkung von T30 positiv ist, in roten Bereichen ist die Wirkung entsprechend negativ und in den weißen Bereichen neutral. Die Intensität der Färbung entspricht dabei der Höhe der Wirkung, unterschiedliche Grafiken sind jedoch i. d. R. nicht gleich skaliert. Die durchgezogenen Linien markieren den mittleren Konstantfahrtanteil T50 auf allen Messstrecken, die gestrichelten Linien geben die Spannbreite der mittleren Konstantfahrtanteile T50 auf den einzelnen Messstrecken an.

Für die Pkw wurden im Diagramm oben links alle Steigungsklassen von -6% bis +6% einzeln betrachtet (richtungsgetreunt). Abbildung 3-8 (oben) entspricht einem Vertikalschnitt durch dieses Diagramm bei 0% Steigung, Abbildung 3-6 (oben links) entspricht der oberen Kante.

Auf Gefällestrecken wirkt T30 überall negativ oder neutral auf die Pkw NO_x Emissionen. In der Ebene gibt es im Bereich von 10% bis 30% Konstantfahrtanteil T50 leicht positive Wirkungen für T30. Mit zunehmender Steigung wird die Wirkung von T30 stärker positiv und der positive Bereich weitet sich aus. Bei 6% Steigung ist die Wirkung unabhängig vom Konstantfahrtanteil immer deutlich positiv.

Im Diagramm oben rechts in Abbildung 3-10 ist die Wirkung von T30 auf die Pkw NO_x Emissionen richtungsgemittelt dargestellt, d. h. es wurde jeweils über die Wirkung bei 6% und -6%, 4% und -4% sowie 2% und -2% gemittelt. Weil die Emissionsfaktoren auf Steigungsstrecken höher sind als auf Gefällestrecken, gibt es richtungsgemittelt in jeder Längsneigungsklasse Bereiche im Konstantfahrtanteil mit positivem Einfluss von T30. Bei ±2% ist dieser Bereich am schmalsten.

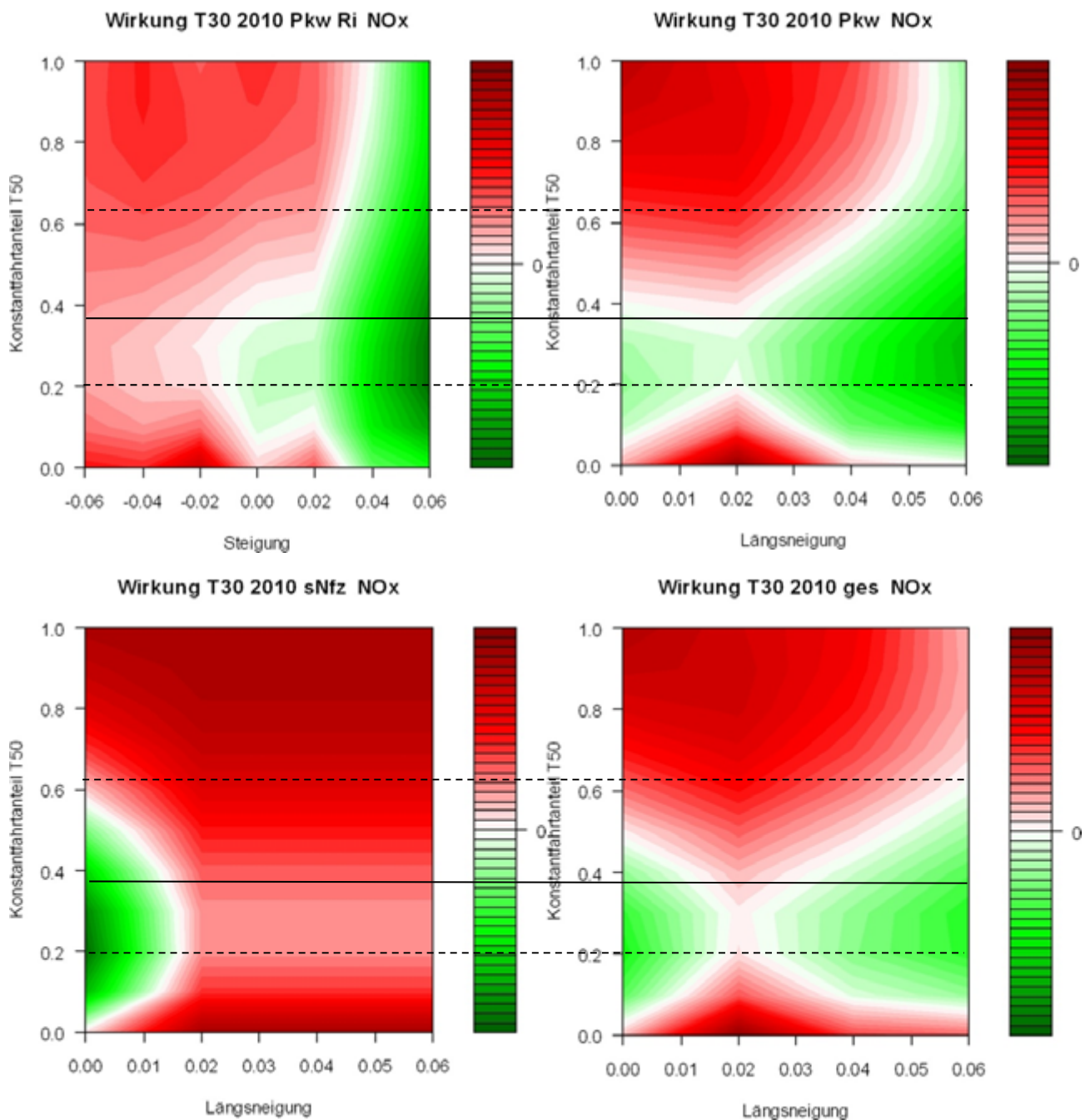


Abbildung 3-10: Wirkung von T30 auf die NO_x Emissionen in Abhängigkeit von Konstantfahrtanteil T50 und Steigung/Längsneigung für Pkw richtungsgetreunt (oben links), Pkw richtungsgemittelt (oben rechts), sNfz (gemittelt über alle Längsneigungen >1%, unten links) sowie Gesamtwirkung (unten rechts, Annahme: 97% Pkw, 3% sNfz); durchgezogene Linien: mittlerer Konstantfahrtanteil T50 auf allen Messstrecken, gestrichelte Linien: Spannweite der mittleren Konstantfahrtanteile T50 auf den einzelnen Messstrecken

Im Diagramm unten links in Abbildung 3-10 ist die Wirkung von T30 auf die NO_x Emissionen der sNfz richtungsgemittelt dargestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Messpunkten bei den Lkw-Verfolgungsfahrten mit von Null verschiedenen Steigungen wurde zusätzlich über alle Längsneigungen ≠ 0% gemittelt. Die Längsneigungsabhängigkeit im Diagramm unten links enthält also nur zwei verschiedene Zustände und die Interpolation dazwischen.

Bei der Untersuchung der Steigungsabhängigkeit der Emissionsfaktoren der sNfz für Konstantfahrt (Abschnitt 3.2, Abbildung C-3 im Anhang) wird deutlich, dass bei den sNfz die Wirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen mit zunehmender Steigung nicht positiver sondern negativer wird. Da auch bei den sNfz die Emissionsfaktoren auf Steigungsstrecken über denen auf Gefällestrecken liegen, überwiegt bei der Mittelung

über alle von Null verschiedenen Steigungen bei allen Konstantfahrtanteilen die negative Wirkung von T30. Bei $s=0\%$ liegt zwischen 5% und 55% Konstantfahrtanteil eine deutlich positive Wirkung vor.

Wie oben dargelegt, sollen wegen der hohen Unsicherheit bei den INfz diese nicht in das Ersteinschätzungsschema eingehen. Im Anhang in Abbildung C-4 sind die Diagramme zur richtungsgetrenten und richtungsgemittelten Abhängigkeit der Wirkung von T30 auf die NO_x -Emissionen der INfz im Vergleich mit den Diagrammen aus Abbildung 3-10 jedoch angegeben. Der Bereich positiver Wirkungen von T30 ist bei den INfz deutlich größer als bei den Pkw.

Das Diagramm unten rechts in Abbildung 3-10 lässt sich als Ersteinschätzungsschema für die Wirkung von T30 auf einer Strecke verwenden. Dafür wurde eine Verkehrszusammensetzung von 97% Pkw und 3% sNfz angenommen. Die Wirkungen aus den Diagrammen oben rechts und unten links wurden entsprechend kombiniert.

Bei der angenommenen Verkehrszusammensetzung gibt es in der Längsneigungsklasse von 2% keine positiven Wirkungen von T30 auf die NO_x -Emissionen. In allen anderen Längsneigungsklassen wirkt sich T30 im Bereich zwischen 20% (geringere Werte traten nicht auf) und ca. 40% Konstantfahrtanteil, also bei Strecken, auf denen häufiger Störungen auftreten, durchaus positiv aus. Bei hohen Längsneigungen weitet sich der Bereich positiver Wirkungen bis zu einem Konstantfahrtanteil von 55% auf.

Analog zum Ersteinschätzungsschema für NO_x (Diagramm unten rechts in Abbildung 3-10) wurde auch die Gesamtwirkung von T30 auf die PM_{10} Emissionen (Abgas) sowie auf den Kraftstoffverbrauch bestimmt. Die entsprechenden Diagramme sind im Anhang in Abbildung C-5 dargestellt. Die Wirkung von T30 auf den Kraftstoffverbrauch ist überall negativ. Die Wirkung auf die PM_{10} Emissionen (Abgas) ist ebenfalls fast überall negativ, es gibt jedoch bei 0% Längsneigung einen Bereich zwischen einem Konstantfahrtanteil T50 von 10% und 40%, in dem T30 leicht positive Auswirkungen auf die abgasbedingten PM_{10} -Emissionen hätte.

Es gibt demnach Bereiche, in denen durch eine Einführung von T30 positive Auswirkungen auf die NO_x -Emissionen zu erwarten sind. Auf den Kraftstoffverbrauch und auf die abgasbedingten PM_{10} -Emissionen wirkt sich T30 in weiten Bereichen negativ aus. Da ein Großteil der Feinstaubemissionen jedoch durch Aufwirbelung und Abrieb bedingt ist und es dabei in Folge von Geschwindigkeitsbeschränkungen zu Minderungen bis zu 10% kommen kann (BAST 2009), sind hinsichtlich der gesamten Feinstaubemissionen auch Minderungen durch T30 möglich.

3.5 EINFLUSS DER FLOTTENZUSAMMENSETZUNG

Das oben abgeleitete Ersteinschätzungsschema der Wirkung von T30 auf die NO_x Emissionen in Abhängigkeit von Konstantfahrtanteil T50 und Längsneigungsklasse gilt für den Flottenmix Baden-Württemberg 2010. In Abbildung 3-11 (oben) ist es vergleichend mit dem für 2020 prognostizierten Flottenmix Baden-Württemberg dargestellt.

Die Bereiche mit positiver bzw. negativer Wirkrichtung von T30 ändern sich zwischen 2010 und 2020 kaum. Dies soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass die absoluten Werte der Emissionsfaktoren in diesem Zeitraum drastisch sinken, da die Anteile von Euro-5- und Euro-6-Fahrzeugen am Flottenmix deutlich zunehmen.

Eine Einzelbetrachtung der Wirkrichtung für die Konzepte Euro-5 und Euro-6 (Abbildung 3-11, unten) zeigt, dass diese für die beiden Konzepte unterschiedlich ausfällt: In einer Flotte ausschließlich aus Euro-5 Fahrzeugen ist der Bereich positiver Wirkrichtung von T30 etwas größer als für den Flottenmix 2010, für eine Euro-6-Flotte dagegen deutlich kleiner. Im Flottenmix 2020 heben sich diese beiden Effekte auf.

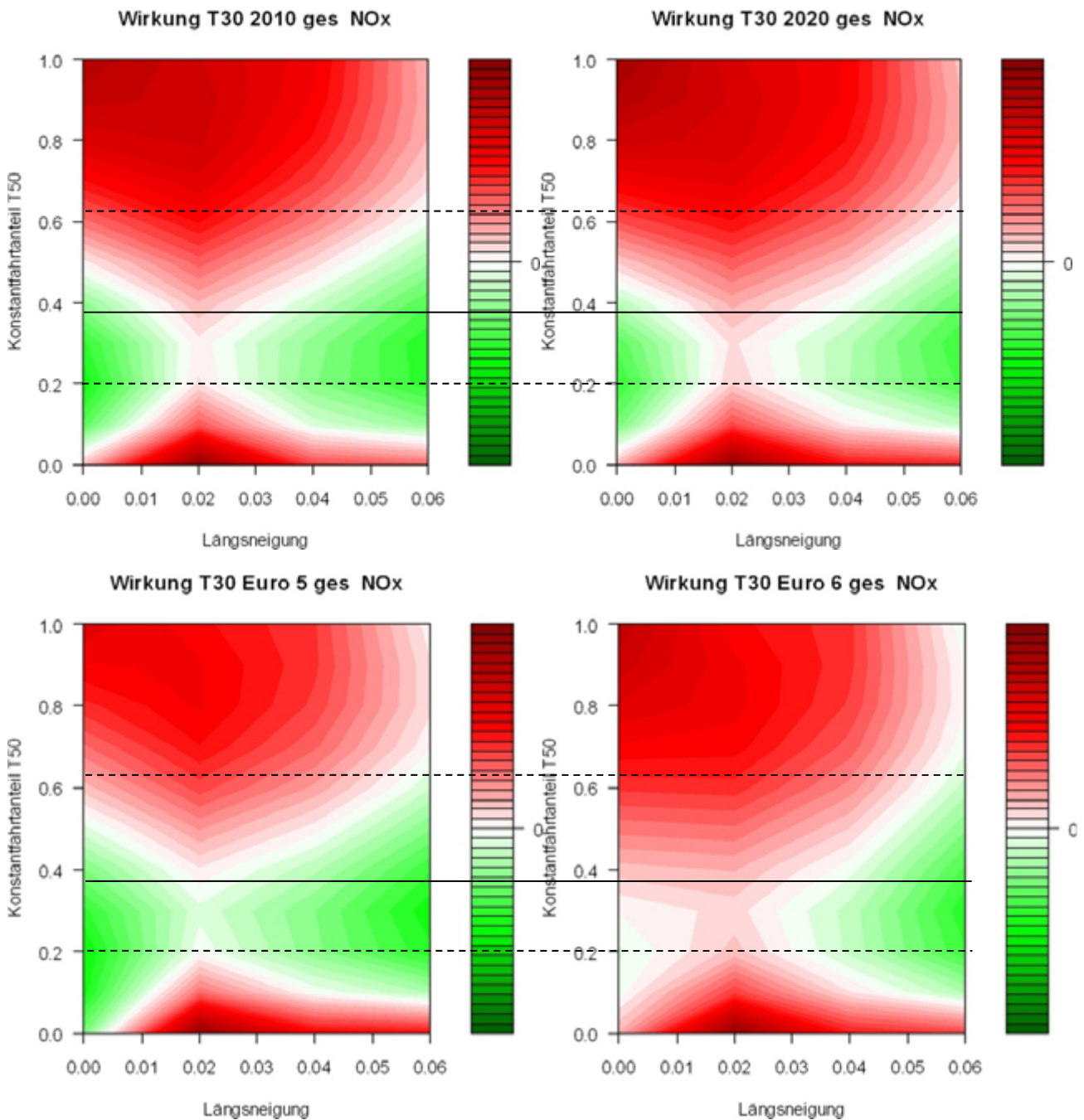


Abbildung 3-11: Gesamtwirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen in Abhängigkeit von Konstantfahrtanteil T50 und Längsneigungsklasse für den Flottenmix Baden-Württemberg 2010 und 2020 sowie nur für Fahrzeuge der Euronormstufen 5 und 6; gestrichelte Linien: Spannweite der mittleren Konstantfahrtanteile T50 auf den einzelnen Messstrecken

In Abbildung 3-12 ist das Ersteinschätzungsschema (Bezugsjahr 2010) schließlich für variierende Schwerverkehrsanteile (zwischen 0% und 5%) dargestellt. Der Bereich positiver Wirkungsrichtung (grün) verkleinert sich insgesamt mit zunehmendem Schwerverkehrsanteil. Auf ebenen Strecken nimmt die positive Wirkung dabei zu, auf Strecken mit starker Längsneigung dagegen ab.

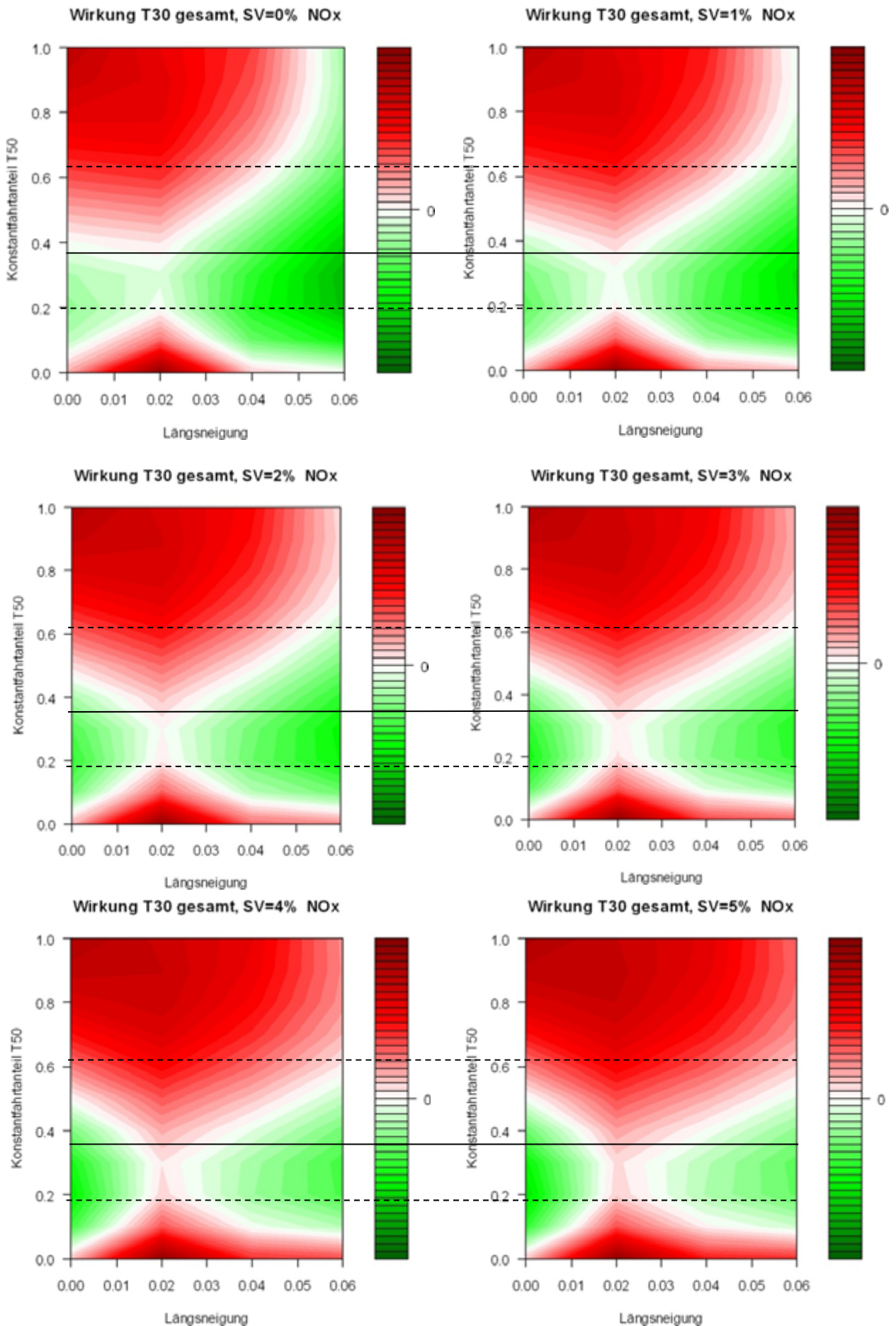


Abbildung 3-12: Gesamtwirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen in Abhängigkeit von Konstantfahranteil T50 und Längsneigungsklasse für verschiedene Schwerverkehrsanteile (SV); gestrichelte Linien: Spannweite der mittleren Konstantfahranteile T50 auf den einzelnen Messstrecken

3.6 ANWENDUNGSGRENZEN

Bei der Anwendung des hier abgeleiteten Erstauswertungsschemas sind die Wertebereiche der Eingangsdaten zu beachten. Folgende Parameter sind entscheidend:

- Streckenlänge: Die Längen der untersuchten Teststrecken liegen zwischen 450m und 4000m. Bei der Ableitung des Ersteinschätzungsschemas wurde angenommen, dass ein Fahrprofil Konstantfahrt-, Beschleunigungs- und Verzögerungsanteile enthält und dass Beschleunigungs- und Ausrollphasen vor und nach einer Störung sich ausgleichen. Die Strecke, für die eine Ersteinschätzung vorgenommen werden soll, sollte daher nicht wesentlich kürzer als 450m sein.
- DTV: Auf den untersuchten Teststrecken liegt die tagesmittlere Verkehrsstärke zwischen 4.000 und 8.000 Kfz pro Fahrstreifen und Tag.
- Längsneigung: Die untersuchten Teststrecken weisen Längsneigungen zwischen 0% und $\pm 10\%$ auf.

Für Teststrecken, die sich hinsichtlich dieser Parameter deutlich von den untersuchten Strecken unterscheiden, ist das Ersteinschätzungsschema nur von begrenzter Aussagekraft.

3.7 ERSTEINSCHÄTZUNG DER MESSSTRECKEN

Für jede Messstrecke kann aus den durchgeführten Messfahrten der mittlere Konstantfahrtanteil bei T50 bestimmt werden. Ebenso ist die mittlere Längsneigung bekannt. Damit kann für jede Strecke die Wirkrichtung von T30 auf die NO_x-Emissionen aus dem Ersteinschätzungsschema in Abbildung 3-12 abgelesen und mit den Einzelauswertungen der Messfahrten verglichen werden. In Tabelle 3-5 sind die entsprechenden Werte ausgewiesen.

Die positive Wirkrichtung von T30 in der Tabelle entspricht einer Senkung der NO_x-Emissionen und damit den grün eingefärbten Bereichen aus den Diagrammen. Eine nach dem Ersteinschätzungsschema bestimmte Wirkung ist als „leicht“ positiv oder „leicht“ negativ bezeichnet, wenn sie dem sehr hell eingefärbten Bereich zuzuordnen ist. Nach den Messfahrten bestimmte Wirkungen sind als „leicht“ positiv oder „leicht“ negativ bezeichnet, wenn die NO_x-Emissionen um weniger als 2% geändert werden. Sich widersprechende Ergebnisse sind hellrot eingefärbt.

Insgesamt ist die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen des Ersteinschätzungsschemas und den Messfahrten sehr gut. Lediglich bei zwei von 17 Messstrecken treten gegensätzliche Ergebnisse auf. Auf diesen Strecken sind die jeweils prognostizierten Wirkungen nicht sehr groß.

Ein Gegensatz tritt für die von TÜV Nord durchgeführten Messfahrten in Freiberg auf der Ost-West-Strecke auf. Der andere Widerspruch betrifft Unterjesingen. Dort liegen mit 16.000 bzw. 19.000 Kfz/24h für eine pro Richtung einstreifige Straße hohe DTV-Werte vor, der Konstantfahrtanteil liegt mit 42% aber ebenfalls vergleichsweise hoch.

Tabelle 3-5: Vergleich der nach dem Ersteinschätzungsschema bestimmten Wirkungsrichtung von T30 auf die NO_x-Emissionen mit den Ergebnissen der Einzelauswertungen für 15 Messstrecken in 10 Kommunen; widersprüchliche Ergebnisse sind hellrot eingefärbt

Kommune	mittl. Steigung Anteil Konstantfahrt T50		Wirkung T30 auf NO _x -Emissionen	
			Ersteinschätzung	Messfahrten
Mühlacker	+6%	39%	positiv	positiv
Urbach	+1%	32%	leicht positiv	positiv
Freiberg O/W	0%	36%	positiv	positiv
Freiberg N/S	+8%	29%	positiv	positiv
Freiberg O/W (TÜV Nord)	0%	49%	leicht negativ	positiv
Freiberg N/S (TÜV Nord)	+8%	49%	positiv	positiv
Ingersheim	0%	32%	positiv	positiv
Pleidelsheim O/W	0%	36%	positiv	positiv
Pleidelsheim N/S	0%	30%	positiv	positiv
Schramberg	+6%	42%	positiv	leicht positiv
Ulm O/W	0%	22%	positiv	positiv
Ulm N	0%	30%	positiv	positiv
Unterjesingen	+1%	42%	leicht negativ	leicht positiv
Tübingen	0%	30%	positiv	leicht positiv
Stuttgart Str 1 (TÜV Nord)	0%	41%	leicht negativ	negativ
Stuttgart Str 2 (TÜV Nord)	0%	63%	negativ	negativ
Stuttgart Str 3 (TÜV Nord)	0% bis +6,7%	38%	positiv	positiv

Bei den INfz sind fast überall positive Wirkungen von T30 auf die NO_x-Emissionen zu verzeichnen (s. Abbildung C-4 im Anhang). Diese sind im Ersteinschätzungsschema wegen hoher Unsicherheiten nicht berücksichtigt (s. o.), in den Einzelauswertungen der Messfahrten in den Kommunen hingegen schon. Eine im Vergleich mit den Einzelauswertungen tendenziell etwas ungünstigere Einschätzung der Wirkung von T30 durch das Ersteinschätzungsschema entspricht daher der Erwartung.

3.8 WENDLINGEN

Am 27.03.2012 und am 28.03.2012 wurden in Wendlingen in allen Tageszeitbereichen zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends mit einem Pkw Messfahrten zur emissionsseitigen Wirkung von T30 durchgeführt. Untersucht wurde der Bereich der Stuttgarter Straße und der Ulmer Straße zwischen der Bahnhofstraße und der Kapellenstraße. Ganz im Westen der Strecke (Stuttgarter Straße / Bahnhofstraße) befindet sich eine Fußgängerbedarfs-LSA, an den Kreuzungen der Messstrecke mit der Albstraße / Unterboihinger Straße bzw. mit der Kapellenstraße befinden sich jeweils voll verkehrsabhängig gesteuerte LSA. In Fahrtrichtung Osten steigt die Strecke leicht an (Steigung < 1%). Der Schwerverkehrsanteil liegt bei ca. 4%.

Die Auswertungen dieser Messfahrten sind inzwischen abgeschlossen, jedoch nicht in das vorliegende Ersteinschätzungsschema eingegangen. Sie bilden damit einen unabhängigen Datensatz, der im Folgenden als Test für das Ersteinschätzungsschema dienen soll.

In Tabelle 3-6 sind die Ergebnisse der Messfahrten in Wendlingen zusammengefasst. Der mittlere Konstantfahrtanteil in Richtung Osten liegt mit 25% sehr niedrig, in Richtung Westen mit 27% nur geringfügig dar-

über. Die Wirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen ist insgesamt positiv (d. h. NO_x nimmt ab). Lediglich für die sNfz kommt es in Fahrtrichtung Osten zu leichten Zunahmen von ca. 1%.

Tabelle 3-6. Ergebnisse der Einzelauswertung Wendlingen: Streckeneigenschaften und Wirkung von T30 auf die warmen NO_x-Emissionsfaktoren (Veröffentlichung in Arbeit)

	Streckeneigenschaften		Wirkung von T30			
	mittl. Steigung	Konstantfahrtanteil T50	Emissionsfaktor NO _x (warm)			Emissionen gesamt
			Pkw	INfz	sNfz	
Ri Osten	0,7%	25%	-8%	-5%	1%	-4%
Ri Westen	-0,7%	27%	-3%	-21%	-7%	-6%

Nach dem Ersteinschätzungsschema für 4% sNfz (Abbildung 3-12) ist bei einer mittleren Längsneigung von ±1% und einem mittleren Konstantfahrtanteil von 26% ebenfalls eine positive Wirkung von T30 zu erwarten. Mit Hilfe des Ersteinschätzungsschemas wäre also für Wendlingen die Wirkrichtung von T30 auf die NO_x-Emissionen richtig eingeschätzt worden.

Pkw und INfz können auch richtungsgetreunt betrachtet werden. Nach Abbildung C-4 (Anhang) sind für beide Fahrzeuggruppen in beiden Richtungen positive Effekte zu erwarten, in Richtung Osten (bergauf, kleinerer Konstantfahrtanteil) stärker positiv als in Richtung Westen. Für die Pkw entspricht dies den Ergebnissen der Messfahrten, für die INfz treten dagegen mit -21% stärkere Reduktionen in Richtung Westen auf. Hier ist die dem Modell PHEM zugrunde liegende Datenbasis jedoch gering, so dass die INfz im Gesamtschema nicht berücksichtigt worden sind (s. o.).

Insgesamt ergibt sich sowohl aus der Einzelauswertung wie auch aus dem Ersteinschätzungsschema für Wendlingen eine positive Wirkung von T30 auf die NO_x-Emissionen.

3.9 FREIBERG

Bei der Einzelauswertung für Freiberg in Kapitel 1 wurden in Abschnitt 1.3 die teilweise unterschiedlichen Schlussfolgerungen aus den Messfahrten in Freiberg von TÜV Nord und AVISO dargestellt. Die dort genannten Argumente sollen vor dem Hintergrund des in diesem Kapitel entwickelten Ersteinschätzungsschemas noch einmal beleuchtet werden.

Ein wesentlicher Parameter im Ersteinschätzungsschema ist der Konstantfahrtanteil bei T50. Hier unterscheiden sich die von AVISO und von TÜV-Nord durchgeführten Messfahrten (betrachtet werden die um die starken Beschleunigungsphasen gekürzten Messfahrten) signifikant: Der Konstantfahrtanteil liegt bei den AVISO-Fahrten bei 36% (O/W) bzw. 29% (N/S), bei den TÜV Nord-Fahrten jedoch auf beiden Strecken mit 49% deutlich höher. Auch die in Abbildung A-1 bis Abbildung A-4 im Anhang dargestellten Fahrprofile bestätigen diese Unterschiede.

Die Schwerverkehrsanteile in Freiberg liegen auf der O/W-Strecke bei 4,4% und auf der N/S-Strecke bei 2,7% (Tabelle 1-2). Die O/W-Strecke verläuft im Wesentlichen eben, in Richtung Süden liegt die mittlere Steigung über 6%. Nach Abbildung 3-12 bzw. Tabelle 3-5 sind damit auf der N/S-Strecke eindeutig Minderungen der NO_x-Emissionen durch T30 zu erwarten und wurden sowohl von AVISO wie auch von TÜV Nord gefunden. Auf der O/W-Strecke folgt bei den für die AVISO-Fahrten ermittelten Konstantfahrtanteilen T50 nach Abbildung 3-12 ebenfalls eine positive Wirkung von T30. Der für die TÜV Nord-Fahrten ermittel-

te Konstantfahrtanteil T50 von 49% liegt jedoch gerade auf dem Wendepunkt der Wirkungsrichtung von T30 auf die NO_x-Emissionen.

Kleine Veränderungen des Konstantfahrtanteils T50 der Messfahrten von TÜV-Nord auf dieser Strecke ändern deshalb die Wirkungsrichtung auf NO_x, wie auch von Steven /HS 2011/ beschrieben: Werden alle Fahrten auf der O/W-Strecke einschließlich der (in Kapitel 1 herausgeschnittenen) starken Beschleunigungsphasen zu Beginn jeder Messfahrt berücksichtigt, so ergeben sich niedrigere Konstantfahrtanteile T50 und damit Reduktionen der NO_x-Emissionen durch T30. Werden dagegen nur ungestörte Fahrten ohne Halte betrachtet, so liegt der Konstantfahrtanteil T50 höher und T30 führt zu erhöhten NO_x-Emissionen. Das Ersteinschätzungsschema führt also zu den selben Ergebnissen wie sie auch von Steven /HS 2011/ gefunden wurden.

3.10 STUTTGART

In Kapitel 2 wurden drei der von TÜV Nord in Stuttgart befahrenen Messstrecken nach der Methodik von AVISO ausgewertet. Auf Strecke 1 (Cityring) folgt nach dem Ersteinschätzungsschema eine leicht negative, auf Strecke 2 (Neckartor) eine deutlich negative Wirkung von T30. Diese Strecken weisen einen vergleichsweise stetigen Verkehrsfluss (teilweise untertunnelte Knotenpunkte) auf, was zu Konstantfahrtanteilen T50 von 41% (Cityring) bzw. 63% (Neckartor) führt. Hier gibt es keine Abweichung zu Kleinebrahm und Steven /TÜV Nord 2011/. Auf Strecke 3 (Hohenheimer Straße, Steigungsstrecke, 38% Konstantfahrt T50) werden nach dem Ersteinschätzungsschema Abnahmen der NO_x-Emissionen durch T30 erwartet. Diese Strecke wurde von Kleinebrahm und Steven /TÜV Nord 2011/ nicht gesondert beschrieben.

Die von TÜV Nord durchgeführten Messfahrten wurden im Rahmen der Luftreinhalteplanung für Stuttgart auch von Nagel et al. /Lohmeyer 2011/ ausgewertet. Diese kamen für die NO_x-Emissionen der Pkw zu folgenden Ergebnissen:

- Es können für Stuttgart keine allgemeinen Schlussfolgerungen für die Wirkung von T30 gezogen werden.
- Auf Steigungsstrecken führt T30 tendenziell zu Abnahmen der Pkw-NO_x-Emissionen.
- Auf ebenen Strecken mit mittlerem Verkehrsaufkommen führt T30 tendenziell zu Zunahmen der Pkw-NO_x-Emissionen.
- Auf ebenen Strecken mit starkem Verkehrsaufkommen und weniger flüssiger Fahrweise führt T30 tendenziell zu Abnahmen der Pkw-NO_x-Emissionen.

Diese Ergebnisse passen gut in das hier abgeleitete Ersteinschätzungsschema.

Für PM₁₀ (Abgas) und für den Kraftstoffverbrauch kommen die Auswertungen von TÜV Nord und von AVISO zu den selben Ergebnissen. Hier führt eine Einführung von T30 zu Erhöhungen der Emissionen bzw. des Verbrauchs.

4 Einschätzung über Streckeneigenschaften

Im vorherigen Kapitel wurde ein Schema abgeleitet, das eine erste Einschätzung der Wirkungsrichtung von T30 auf die verkehrsbedingten NO_x-Emissionen in Abhängigkeit von der Längsneigung der Strecke und dem mittleren Anteil Konstantfahrt bei T50 ermöglicht. Die Längsneigung ist einfach zu ermitteln, der mittlere Anteil Konstantfahrt bei T50 ist ohne Durchführung von Messfahrten i. d. R. nicht bekannt. Im folgenden Kapitel werden zwei Möglichkeiten angegeben, den Konstantfahrtanteil T50 ohne Durchführung von Messfahrten durch Berücksichtigung von Korrelationen zwischen Konstantfahrtanteil T50 und einfach zu bestimmenden Streckeneigenschaften abzuschätzen.

4.1 KORRELATIONSANALYSEN

Zunächst wurde versucht, den Konstantfahrtanteil bei T50 mittels einer Korrelationsanalyse aus leicht zu ermittelnden Streckeneigenschaften abzuleiten. Folgende Merkmale wurden betrachtet:

1. Anzahl LSA pro Kilometer
2. Anzahl nicht signalisierte Knoten und Fußgängerbedarfs-LSA pro Kilometer
3. Anzahl starke Richtungswechsel und Kreisverkehrsplätze (KVP) pro Kilometer
4. mittlere Steigung

Diese Eigenschaften charakterisieren die Strecke, sie stellen betriebsbedingte Einflüsse auf den Verkehrsfluss dar.

5. DTV pro Fahrstreifen³
6. Anteil sNfz

Die beiden letztgenannten Parameter charakterisieren nicht die Strecke, sondern die Interaktionen der Fahrzeuge unter den gegebenen Betriebsbedingungen. Sie erzeugen je nach Verkehrsstärke und -mischung interne Störungen des Verkehrsflusses.

Die Datengrundlage bilden die richtungstrennten Messstrecken in den untersuchten Kommunen. Die Strecken in Stuttgart konnten nicht berücksichtigt werden, da hier weder Streckeneigenschaften noch Verkehrswerte vorliegen.

³ Der Bezug auf den Fahrstreifen ermöglicht die Vergleichbarkeit zwischen pro Richtung ein- und mehrstreifigen Strecken, wobei fahrstreifenbezogene Kapazitätsunterschiede zwischen ein- und mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen nicht weiter betrachtet werden.

In Abbildung 4-1 ist für die untersuchten Strecken der Anteil Konstantfahrt bei T50 in Abhängigkeit von den oben genannten Streckeneigenschaften aufgetragen. Zusätzlich angegeben ist jeweils das Bestimmtheitsmaß. Dieses ist ein Maß für die durch die einzelnen Eigenschaften erklärbare Varianz.

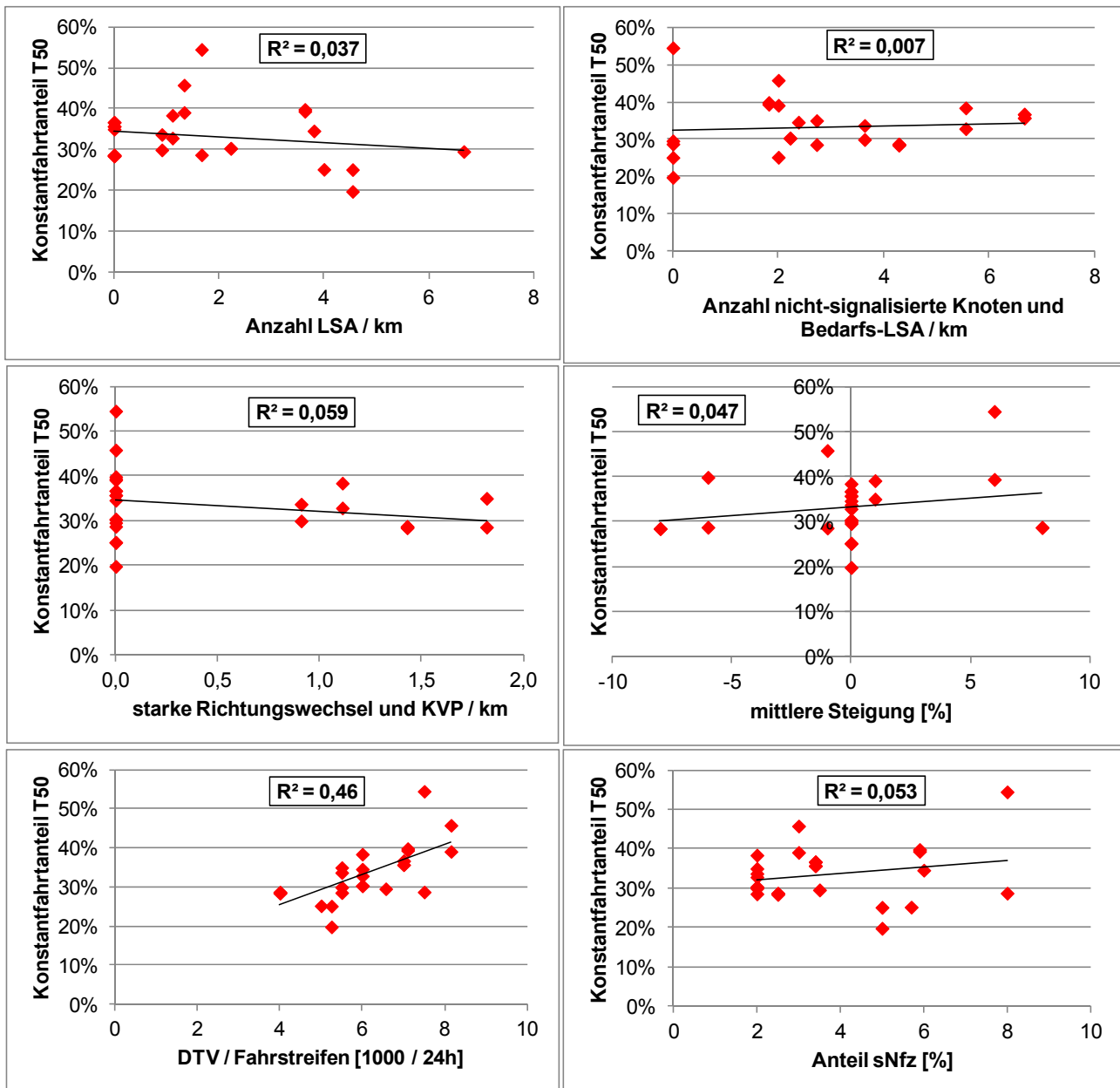


Abbildung 4-1: Anteil Konstantfahrt T50 in Abhängigkeit von folgenden Streckenparametern: Anzahl LSA pro km, nicht-signalisierte Knoten und Bedarfs-LSA pro km, starke Kurven und Kreisverkehrsplätze pro km, mittlere Steigung, DTV pro Fahrstreifen sowie Anteil sNfz

Das Merkmal „DTV/Fahrstreifen“ erklärt mit 46% am meisten Varianz der Zielgröße „Konstantfahrtanteil T50“, alle anderen Merkmale erklären jede für sich weniger als 6% Varianz.

Die Korrelation zwischen DTV und Konstantfahrt in den vorhandenen Daten ist positiv, wie an der positiven Steigung der Regressionsgeraden erkennbar ist: Je höher der Verkehr, desto mehr Konstantfahrt. Dies ist im Bereich des gebundenen Verkehrs zu erwarten. Bei sehr geringen Verkehrswerten (freier Verkehrsfluss) und bei sehr hohen Verkehrswerten (Übergang zum Stau) gilt diese Korrelation nicht mehr unbedingt. Zu der stark positiven Korrelation kann jedoch auch beitragen, dass gerade die viel befahrenen Straßen oft gut aus-

gebaut sind, einen breiteren Querschnitt, größere Knotenpunktabstände sowie eine geringere Kurvigkeit aufweisen. Auch die Korrelation des Schwerverkehrsanteils mit dem Konstantfahrtanteil T50 ist positiv.

Die Anzahldichte der LSA korreliert in den vorliegenden Daten negativ mit dem Konstantfahrtanteil: Je mehr LSA pro Kilometer, desto größer die Störungen im Verkehrsfluss. Gleiches gilt für starke Richtungswechsel und KVP.

Nicht-signalisierte Knoten und Fußgängerbedarfs-LSA weisen hier keine Korrelation mit dem Konstantfahrtanteil auf. Eine Betrachtung der einzelnen Knoten und Bedarfs-LSA zeigt, dass an einigen Knoten oder Bedarfs-LSA bei einem hohen Anteil der Fahrten gehalten werden musste, an anderen wiederum fast nie. Hier sind für eine Einschätzung der Störung Informationen über die konkrete Situation erforderlich.

Die positive Korrelation aus mittlerer Steigung und Konstantfahrtanteil kommt durch eine einzige Messstrecke zustande: In Schramberg befindet sich eine LSA am westlichen Ende der Strecke. Diese stellt zugleich den tiefsten Punkt der Strecke dar, in östlicher Richtung schließt sich eine Steigung von bis zu 10% an. In dieser Richtung ist das Anfahren vor der LSA also nicht mehr Teil der Messstrecke, es wird bergauf ein mittlerer Konstantfahrtanteil von 55% erreicht. In Fahrtrichtung Westen dagegen wird zum Teil mehrfach vor der LSA gehalten, der mittlere Konstantfahrtanteil beträgt bergab nur 29%. Die positive Korrelation ist hier also eine Folge der Lage der LSA im Vergleich zur Steigung. Wird Schramberg aus den Daten eliminiert, verschwindet die Korrelation zwischen Konstantfahrtanteil und Steigung.

4.1.1 ABSCHÄTZUNG KONSTANTFAHRTANTEIL T50 NUR ÜBER DIE VERKEHRSTÄRKE

Durch das Merkmal DTV/FS (Fahrstreifen) kann im Vergleich zu allen anderen betrachteten Merkmalen mit $R^2=46\%$ der größte Anteil an Varianz der Zielgröße erklärt werden. Es wurde daher eine Regression zur Bestimmung des Konstantfahrtanteils T50 p_{T50} nur über die Verkehrsstärke abgeleitet:

$$p_{T50} = 0,065 + 0,044 \cdot 10^{-3} \cdot DTV/FS$$

mit: DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge [Kfz/24h], FS = Anzahl Fahrstreifen im Querschnitt

Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der zugrundeliegenden Datenbasis Werte zwischen $DTV = 4000\text{Kfz} / 24\text{h} / FS$ und $DTV = 8000\text{Kfz} / 24\text{h} / FS$ enthalten sind. Bei deutlich geringeren (freier Verkehrsfluss) bzw. deutlich höheren (Stau) Verkehrsstärken ist nicht mehr von einem linearen Zusammenhang zwischen Konstantfahrtanteil und Verkehrsstärke auszugehen.

4.1.2 ABSCHÄTZUNG KONSTANTFAHRTANTEIL T50 DURCH GEWICHTUNG VON STÖRSTELLEN

Neben der Verkehrsstärke wird der Konstantfahrtanteil T50 durch externe Streckeneigenschaften beeinflusst. Einzelne Störstellen können sich jedoch unterschiedlich auf den Verkehrsfluss auswirken, z. B. werden einige Fußgängerbedarfs-LSA stark frequentiert, andere fast gar nicht. Ob solche Streckeneigenschaften eine nennenswerte Störung für den Verkehrsablauf darstellen, ist daher nur mit Kenntnis der lokalen Gegebenheiten einzuschätzen. Darüber hinaus fehlen in den oben untersuchten Merkmalen noch weitere Informationen zur Strecke, wie z. B. Parkmöglichkeiten am Straßenrand.

Der gesuchte Zusammenhang zwischen Störstellen und Konstantfahrtanteil bei T50 für eine Strecke lässt sich daher nicht automatisiert über die Koeffizienten einer Regressionsanalyse aus einfach „abzuzählenden“

Streckeneigenschaften ermitteln. Es wurde daher zusätzlich ein Screeningverfahren auf Basis der vorliegenden Daten zur Ermittlung des Konstantfahrtanteils T50 entwickelt.

Insbesondere die Beschleunigungsphasen bestimmen zum einen die Höhe der Gesamtemissionen, zum anderen auch die Wirkungsrichtung von T50/T30. Daher wurden für alle vorliegenden Messstrecken nochmals detailliert die vorliegenden Daten (Streckenparameter, Videoaufnahmen, Messfahrten) ausgewertet, wobei die folgenden Informationen zu den potentiellen Störstellen und deren Intensität im Bezug auf die damit verbundenen Verzögerungs- und Beschleunigungsphasen dokumentiert wurden:

- Erfassung aller Störstellen, für die zumindest ein Teil der Kfz die Geschwindigkeit signifikant reduzieren muss (z.B. LSA, Kreisverkehr, starke Richtungsänderung, eingeschränkter Begegnungsverkehr (z.B. durch parkende Fahrzeuge), Linksabbieger, u.a.), maßgeblich ist die Situation im Tagzeitbereich.
- Einschätzung der Wirkungsintensität pro Störstelle in eine der drei Stufen groß / mittel / klein. Für die LSA kann sich dies z.B. an den Qualitätsstufen (QS) nach HBS orientieren /HBS 2009/. Ein Schema zur Einordnung der Wirkungsintensität für verschiedenen Typen von Störstellen zeigt Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Zuordnungsschema Wirkungsintensität für verschiedenen Typen von Störstellen

Zuordnungsschema	Wirkungsintensität
LSA (koordiniert, nicht koordiniert, Bedarf) groß = mehr als 50% der Fzge müssen halten (ca. QS F) mittel = zw. 15% und 50% der Fzge müssen halten (ca. QS C, D, E) klein = weniger als 15% der Fzge müssen halten (ca. QS A, B)	GR MI KL
Kreisverkehr, starke Kurve / Engstelle mit großem Geschwindigkeitseinbruch (Reduktion größer 75%) mit mittlerem Geschwindigkeitseinbruch (Reduktion zw. 50% und 75%) mit kleinem Geschwindigkeitseinbruch (Reduktion kleiner 50%)	GR MI KL
sonstige Störstelle (Linksabbieger, parkende Fzge, Sonstiges) groß = mehr als 50% der Fzge müssen halten/deutlich abbremsen mittel = zw. 15% und 50% der Fzge müssen halten/deutlich abbremsen klein = weniger als 15% der Fzge müssen halten/deutlich abbremsen	GR MI KL

Für die Messstrecken aus den AVISO-Untersuchungen wurde die Ermittlung der Anzahl der Störstellen und deren Wirkungsintensität richtungsgetreunt nach dieser Methode durchgeführt, unter Verwendung aller vorliegenden Informationen. Um anschließend die Gesamtanzahl der Störstellen pro Kilometer zu ermitteln, wurde zusätzlich eine Gewichtung gemäß der Wirkungsintensität groß (100%), mittel (50%), klein (10%) eingeführt. Für die Abhängigkeit des Konstantfahrtanteils von der Anzahl der gewichteten Störstellen pro Kilometer (richtungsgetreunt) konnte der in Abbildung 4-2 dargestellte Zusammenhang abgeleitet werden. Für den Konstantfahrtanteil T50 ergibt sich demnach

$$p_{T50} = -0,0633 \cdot gAS + 0,5135$$

mit gAS = mit Wirkungsintensität gewichtete Anzahl der Störstellen pro Kilometer.

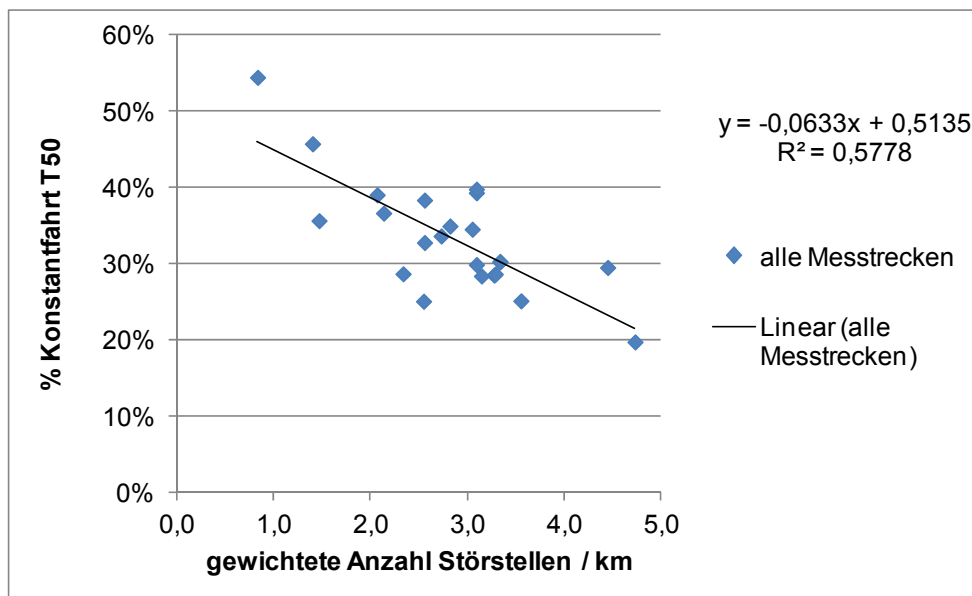


Abbildung 4-2: Abnahme des Konstantfahrtanteils T50 p_{T50} in Abhängigkeit der mit der Wirkungsintensität gewichteten Anzahl der Störstellen pro Kilometer (Datenbasis AVISO-Teststrecken, richtungsgetrennte Betrachtung)

Es zeigt sich, dass mit steigender Anzahl der gewichteten Störstellen pro km der Konstantfahrtanteil sinkt. Für 0 Störstellen ergibt sich über diesen linearen Zusammenhang ein Konstantfahrtanteil von 51%, höhere Konstantfahrtanteile können damit nicht abgebildet werden. Dies ist aber im Hinblick auf das Ziel, über den Konstantfahrtanteil die potentielle Wirkung von T30 abzuschätzen, unkritisch, da bei Konstantfahrtanteilen >50% überwiegend eine negative Wirkung zu erwarten ist (vgl. Abbildung 3-12).

Für die hier berücksichtigten Messstrecken lagen sehr detaillierte Informationen vor, um sowohl die Anzahl der Störstellen als auch deren Wirkungsintensität möglichst objektiv zu ermitteln (z.B. über den Anteil der Fahrten mit Halten an den Störstellen zur Ableitung der Wirkungsintensität). Die Höhe des Konstantfahrtanteils hängt im starken Maße von der Anzahl der großen und mittleren Störungen ab, die mit deutlich höherem Gewicht in die Berechnung eingehen als die Störstellen mit kleiner Wirkungsintensität. Daher ist die realistische Einschätzung der Störstellen und deren Wirkungsintensität von großer Bedeutung. Wird dies nur aufgrund der bei einer Ortsbegehung erfassten Merkmale vorgenommen, kann das Ergebnis deutlich subjektiver geprägt sein als bei Verwendung umfangreicherer Daten. So wird zumindest die Beobachtung des Verkehrsgeschehens an den wesentlichen Störstellen in der Spitzenstunde angeraten. Grundsätzlich besser ist es, Messfahrten durchzuführen, aus denen ein Konstantfahrtanteil abgeleitet werden kann.

4.1.3 VERGLEICH DER UNTERSCHIEDLICHEN VERFAHREN

Insgesamt lässt sich festhalten, dass der gesuchte Konstantfahrtanteil T50 durch die Verkehrsstärke pro Fahrstreifen einerseits und die Gesamtheit der Störstellen andererseits bestimmt wird. Zur Abschätzung dieser Einflüsse wurden zwei getrennte Verfahren vorgestellt, die im Folgenden verglichen werden.

In Abbildung 4-3 sind für alle Messstrecken die Konstantfahrtanteile T50 aus den Messfahrten sowie die Schätzungen über den DTV pro Fahrstreifen und über das Verfahren der Gewichtung von Störstellen dargestellt.

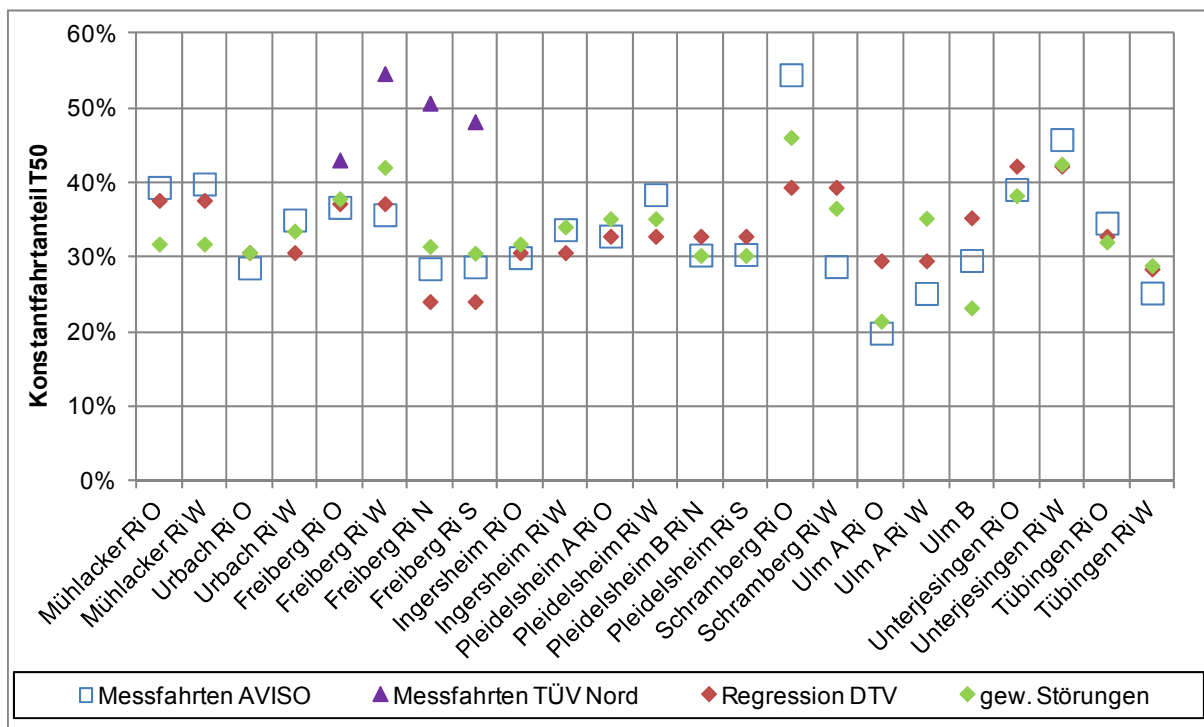


Abbildung 4-3: Konstantfahranteil (richtungsgetreunt) auf allen untersuchten Messstrecken, bestimmt aus den Messfahrten sowie abgeschätzt über den DTV und über das Verfahren der Gewichtung von Störstellen

Aus der Abbildung lässt sich folgendes ablesen:

- Der Konstantfahranteil T50 der von TÜV Nord durchgeführten Messfahrten liegt, wie schon in Kapitel 1 thematisiert, deutlich über dem Konstantfahranteil T50 der von AVISO durchgeführten Messfahrten.
- Die Konstantfahranteile der Messfahrten in Schramberg können für beide Fahrtrichtungen durch keines der beiden Schätzverfahren annähernd reproduziert werden.
- Die aus der Verkehrsstärke abgeleitete Schätzung weist weniger Extremwerte auf als die Schätzung nach den gewichteten Störungen.
- Die Schätzverfahren liegen maximal um weniger als 10 Prozentpunkte auseinander und stimmen damit gut überein.

In Tabelle 4-2 sind die Zahlenwerte für die Gegenüberstellung in Abbildung 4-3 ausgewiesen, es wurde jedoch über die Richtungen gemittelt. Dadurch können die Werte zum Ablesen der Wirkung aus dem Erstein-schätzungsschema nach Abbildung 3-12 verwendet werden.

Tabelle 4-2: Vergleich der über den DTV/Fahrstreifen sowie über die gewichtete Anzahl der Störstellen pro km ermittelten Konstantfahrtanteile mit den Ergebnissen der Einzelauswertungen für die Messstrecken (Querschnittswerte)

Kommune	mittl. Längsneigung	SV	Anteil Konstantfahrt T50			Differenz zu Messfahrten	
			Messfahrten	Schätzung		DTV/FS	gew. Störungen
Mühlacker	+6%	5,9%	39%	38%	32%	-4%	-19%
Urbach	+1%	2,0%	32%	31%	32%	-4%	1%
Freiberg O/W	0%	3,4%	36%	37%	40%	3%	10%
Freiberg N/S	+8%	2,5%	29%	24%	31%	-16%	8%
Freiberg O/W (TÜV Nord)	0%	3,0%	49%	37%	40%	-24%	-18%
Freiberg N/S (TÜV Nord)	+8%	3,0%	49%	24%	31%	-51%	-37%
Ingersheim	0%	2,0%	32%	31%	33%	-4%	3%
Pleidelsheim O/W	0%	2,0%	36%	33%	35%	-8%	-1%
Pleidelsheim N/S	0%	2,0%	30%	33%	30%	8%	0%
Schramberg	+6%	8,0%	42%	39%	41%	-5%	-1%
Ulm O/W	0%	5,0%	22%	30%	28%	31%	26%
Ulm N	0%	3,5%	30%	35%	23%	19%	-21%
Unterjesingen	+1%	3,0%	42%	42%	40%	0%	-5%
Tübingen	0%	6,0%	30%	31%	30%	2%	2%

Der Konstantfahrtanteil T50 ermittelt über den DTV / Fahrstreifen sowie über die Anzahl Störstellen / km zeigt eine gute Übereinstimmung zu dem Konstantfahrtanteil T50 abgeleitet aus den AVISO-Messfahrten. Die maximale Differenz liegt bei 31% (DTV/FS) bzw. 26% (gew. Störungen). Für die TÜV Nord-Messfahrten, die sehr hohe Konstantfahrtanteile aufweisen, ist die Übereinstimmung nicht so gut.

In Tabelle 4-3 ist die Wirkungsrichtung T30 angegeben nach folgenden Bestimmungsmethoden:

- aus den Fahrprofilen der Messfahrten,
- nach dem Ersteinschätzungsschema (vgl. Abbildung 3-12) auf Basis der gemessenen Konstantfahrtanteile T50,
- nach dem Ersteinschätzungsschema (vgl. Abbildung 3-12) auf Basis der über den DTV geschätzten Konstantfahrtanteile T50,
- nach dem Ersteinschätzungsschema (vgl. Abbildung 3-12) auf Basis der über die gewichteten Störstellen geschätzten Konstantfahrtanteile T50.

Auch hier ergibt sich eine gute Übereinstimmung.

Tabelle 4-3: Vergleich der Wirkungsrichtungen von T30 auf die NO_x-Emissionen: Messfahrten, Ersteinschätzungsschema mit Konstantfahrtanteilen jeweils aus Messfahrten und Abschätzung über DTV/FS sowie über gewichtete Störungen (Querschnittswerte)

Wirkung T30 auf NO _x -Emissionen	Messfahrten	Ersteinschätzungsschema Konstantfahrtanteil T50 aus		
		Messfahrten	DTV/FS	gew. Störungen
Mühlacker	positiv	positiv	positiv	positiv
Urbach	positiv	leicht positiv	leicht positiv	leicht positiv
Freiberg O/W	positiv	positiv	positiv	positiv
Freiberg N/S	positiv	positiv	positiv	positiv
Freiberg O/W (TÜV Nord)	leicht positiv	leicht negativ	positiv	leicht negativ
Freiberg N/S (TÜV Nord)	positiv	positiv	positiv	positiv
Ingersheim	positiv	positiv	positiv	positiv
Pleidelsheim O/W	positiv	positiv	positiv	positiv
Pleidelsheim N/S	positiv	positiv	positiv	positiv
Schramberg	leicht positiv	positiv	positiv	positiv
Ulm O/W	positiv	positiv	positiv	positiv
Ulm N	positiv	positiv	positiv	positiv
Unterjesingen	leicht positiv	leicht negativ	leicht negativ	keine
Tübingen	leicht positiv	positiv	positiv	positiv

Wenn der Verkehrsfluss eher durch externe Störungen (Punkt 1 bis 4 in der Liste der Merkmale oben) bestimmt ist, so ist das in Abschnitt 4.1.2 beschriebene Verfahren besser zur Abschätzung des Konstantfahrtanteils T50 geeignet. Dominieren die internen Störungen (Punkte 5 und 6), bietet sich das Verfahren nach Abschnitt 4.1.1 an.

Die Bestimmung des Konstantfahrtanteils aus Messfahrten (durchzuführen in ausreichender Anzahl, verteilt über alle Tageszeitbereiche an einem typisch belasteten Werktag) wird stets das bessere, aber auch aufwändigere Verfahren sein, da nur hier die individuellen Gegebenheiten der Untersuchungsstrecke umfassend berücksichtigt werden.

4.2 ABLAUSCHHEMA ERSTEINSCHÄTZUNG

Soll für eine ausgewählte Strecke die Wirkungsrichtung von T30 auf die NO_x-Emissionen abgeschätzt werden, so muss zunächst geprüft werden, ob die Anwendungsgrenzen des Schemas bezüglich Streckenlänge, Steigung und Verkehrsstärke (s. Abschnitt 3.6) eingehalten sind. Insbesondere sollte die Streckenlänge nicht unter 400m liegen.

Sind diese Bedingungen erfüllt, müssen Werte für die drei Eingangsgrößen

- mittlere Längsneigung der Strecke
- Anteil des Schwerverkehrs sowie
- Anteil Konstantfahrt bei T50

ermittelt werden.

Die ersten beiden Punkte sollten für eine gegebene Strecke leicht zu bestimmen sein. Der Konstantfahrtanteil bei T50 kann, wie oben beschrieben, durch Messfahrten bestimmt oder über die Verkehrsstärke (s. Abschnitt 4.1.1) bzw. über das Verfahren der gewichteten Störstellen (s. Abschnitt 4.1.2) abgeschätzt werden.

In Abbildung 3-12 kann mit diesen Werten die voraussichtliche Wirkungsrichtung von T30 auf die NO_x-Emissionen abgelesen werden.

Wenn das Ersteinschätzungsschema Hinweise auf eine mögliche positive Wirkung von T30 liefert (grüner oder weißer Bereich im entsprechenden Diagramm), sollte die Durchführung von Messfahrten erwogen werden, um die erwartete NO_x-Emissionsreduktion quantitativ bestimmen zu können. Der Bereich der auf den untersuchten Messstrecken durch T30 erzielbaren NO_x-Reduktionen liegt zwischen -1% und -10%.

Bei Feinstaub (Abgas) und Kraftstoffverbrauch sind in weiten Bereichen durch T30 keine positiven Wirkungen zu erwarten. Da ein Großteil der Feinstaubemissionen jedoch durch Aufwirbelung und Abrieb bedingt ist und es dabei in Folge von Geschwindigkeitsbeschränkungen zu Minderungen bis zu 10% kommen kann (BAST 2009), sind hinsichtlich der gesamten Feinstaubemissionen auch Minderungen durch T30 möglich.

Literaturverzeichnis

/AVISO 2009/

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

/AVISO 2011a/

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg, hier: Urbach, Tempo 30, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1332002/rps-ref54.1-luftrein-Urbach-Abschlussbericht.pdf>

/AVISO 2011b/

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg, hier: Freiberg, Tempo 30, http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1331755/rps-ref54.1-luftrein-PIF-AVISO-T30_Freiberg.pdf

/AVISO 2011c/

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg, hier: Ingersheim, Tempo 30, http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1331756/rps-ref54.1-PIF-AVISO-T30_Ingersheim.pdf

/AVISO 2011d/

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg, hier: Pleidelsheim, Tempo 30, http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1331757/rps-ref54.1-luftrein-PIF-AVISO-T30_Pleidelsheim.pdf

/AVISO 2011e/

Untersuchungen zur Auswirkung von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Luftqualität in ausgewählten Städten in Baden-Württemberg, hier: Markgröningen, Tempo 30, http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1331757/rps-ref54.1-luftrein-PIF-AVISO-T30_Markgröningen.pdf

/AVISO 2011f/

Tempo 30-Messfahrten und Maßnahmen der Verkehrsverflüssigung und -verstetigung in Heidenheim, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1331763/rps-ref54.1-luftrein-Heidenheim-AVISO-Gutachten-Tempo-30.pdf>

/AVISO 2011g/

Wirkungsanalysen im Zuge der Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Stadt Ulm, hier: Tempo 30, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1337144/rpt-54-1-lrpul-gutacht-aviso.pdf>

/AVISO 2011h/

Fachgespräch „Emissionen und Minderungspotenziale im Verkehrsbereich“, 21.07.2011, Stuttgart, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/207995/>

/BAST 2009/

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

/Hausberger, S., Luz T. 2010/

User Guide for the Model PHEM, IVT Uni Graz,

https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.showMask?pPersonNr=2416&pCurrPk=52085&pVtKbz=EFB&pStatus=A&pSiteNr=1004600

/HBEFA 2010/

www.hbefa.net

/HBS 2009/

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

/HS 2011/

Weitergehende Auswertungen der PEMS-Messergebnisse aus Stuttgart und der darauf basierenden Berechnungsergebnisse mit dem Emissionsmodell PHEM, Steven, 2011

/Lohmeyer 2011/

Aussagen zu den Auswertungen der Emissionen für Tempo 40 gegenüber Tempo 50 in Stuttgart, Nagel, 2011

/Rau 2010/

Bestimmung der emissions- und immissionsseitigen Auswirkungen der Maßnahme Umweltzone Gelb und Grün im Zusammenhang mit der Aktualisierung des Luftreinhalteplans des Regierungspräsidiums Karlsruhe für die Bezugsjahre 2012 und 2013 – Teilplan Mühlacker, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/-s/i9ag7gwdzojsl1ad5ifgyh8mjbghr/show/1329012/index.htm>

/Rau 2011a/

Bestimmung der emissionsseitigen Auswirkungen von Tempo 30 im Rahmen der Erstellung des Luftreinhalteplans für Schramberg, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1331059/rpf-ref54.1-luftreinhalteplan-schramberg-bestimmung-auswirkung-t30.pdf>

/Rau 2011b/

Bestimmung der emissionsseitigen Auswirkungen von Tempo 30 auf der Ortsdurchfahrt in Unterjesingen im Rahmen der Fortschreibung der Luftreinhaltepläne des Regierungspräsidiums Tübingen – Teilplan Tübingen, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1332259/rpt-ref54-1-lrptue-gutacht-tue-unterj-rau-aviso.pdf>

/Rau 2011c/

Bestimmung der emissions- und immissionsseitigen Auswirkungen von Maßnahmen im Rahmen der Fortschreibung der Luftreinhaltepläne des Regierungspräsidiums Tübingen für die Bezugsjahre 2012 und 2013, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1332258/rpt-ref54-1-lrptue-gutacht-tue-rau-aviso.pdf>

/TÜV Nord 2011/

Vermessung des Abgasemissionsverhaltens von zwei Pkw und einem Fahrzeug der Transporterklasse im realen Straßenbetrieb in Stuttgart mittels PEMS Technologie, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/23231/bericht-tuev-nord-lubw-pems-2011.pdf?command=downloadContent&filename=bericht-tuev-nord-lubw-pems-2011.pdf>

A Anhang Freiberg: Vergleich Messfahrten AVISO und TÜV Nord

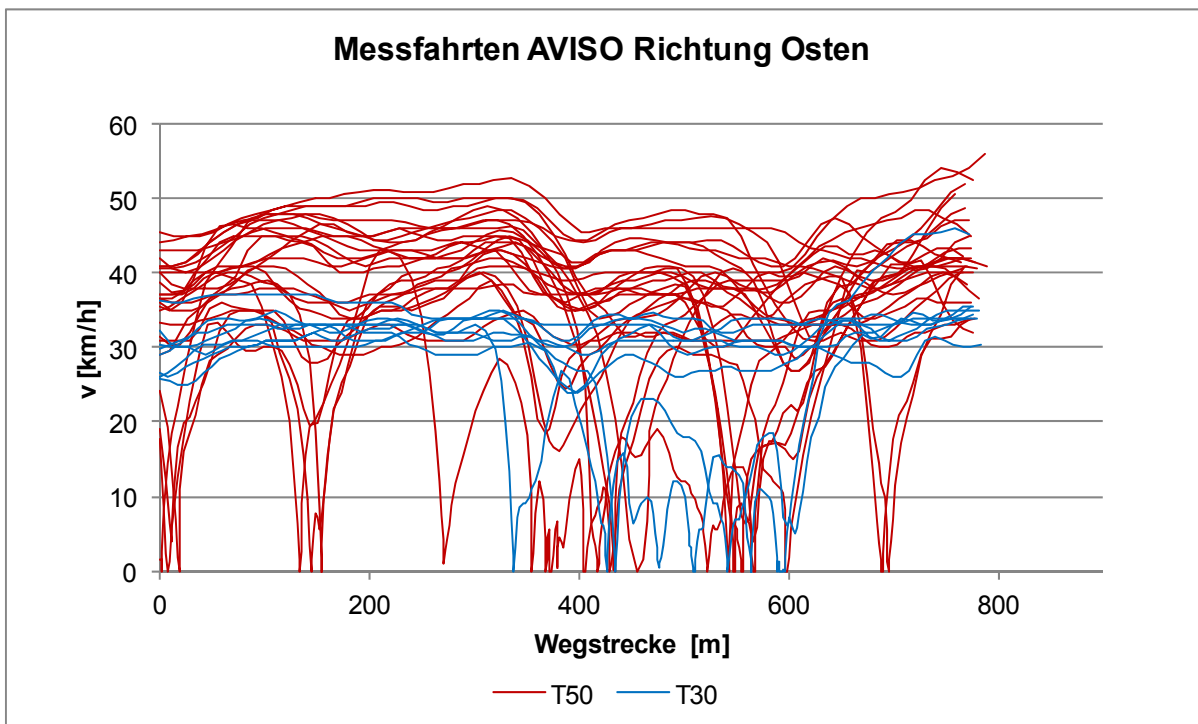
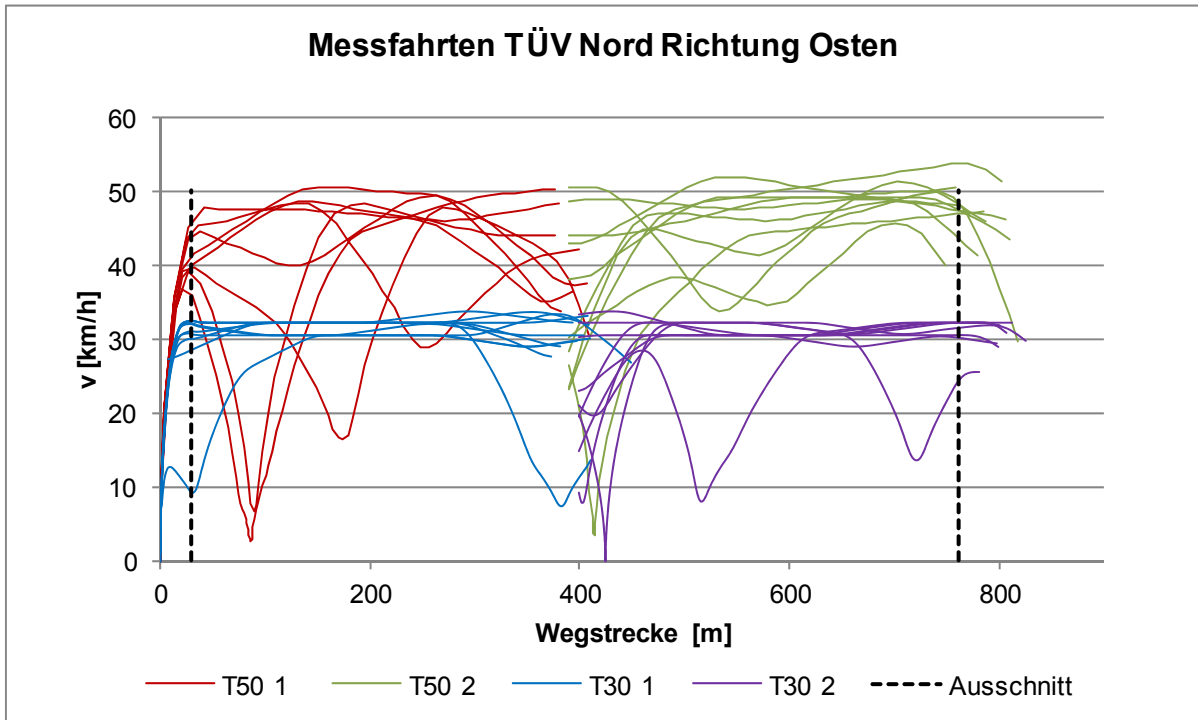


Abbildung A-1: Fahrprofile der Messfahrten in Freiberg in Fahrtrichtung Osten: T50-Normalfahrt (rote bzw. grüne Linien) und T30-fiktiv (blaue bzw. violette Linien), oben: TÜV Nord (Abschnitte 1 (rot bzw. blau) und 2 (grün bzw. violett) aneinandergehängt), unten: AVISO

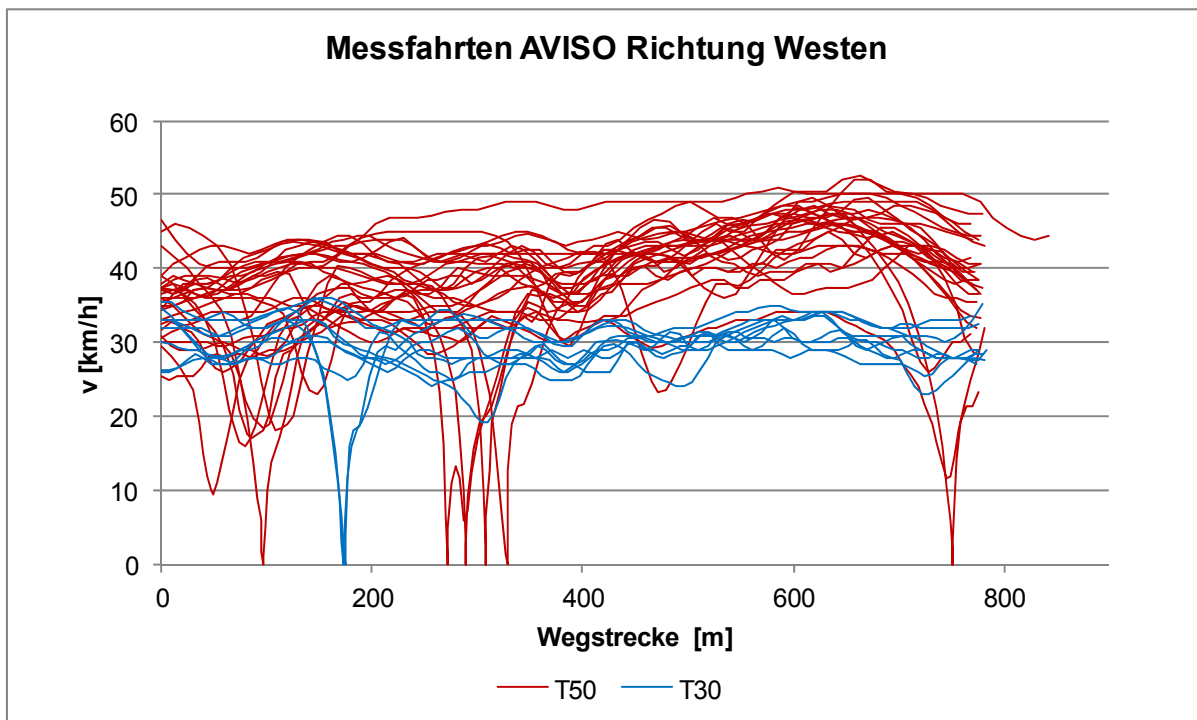
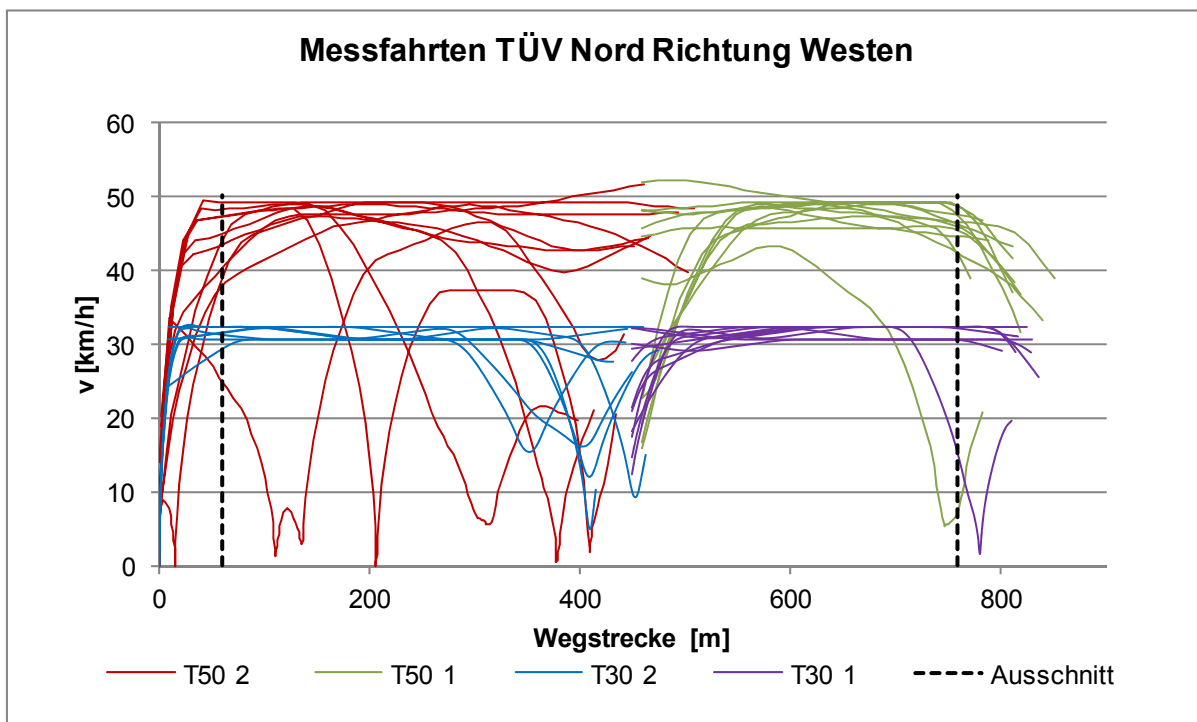


Abbildung A-2: Fahrprofile der Messfahrten in Freiberg in Fahrtrichtung Westen: T50-Normalfahrt (rote bzw. grüne Linien) und T30-fiktiv (blaue bzw. violette Linien), oben: TÜV Nord (Abschnitte 1 (rot bzw. blau) und 2 (grün bzw. violett) aneinandergehängt), unten: AVISO

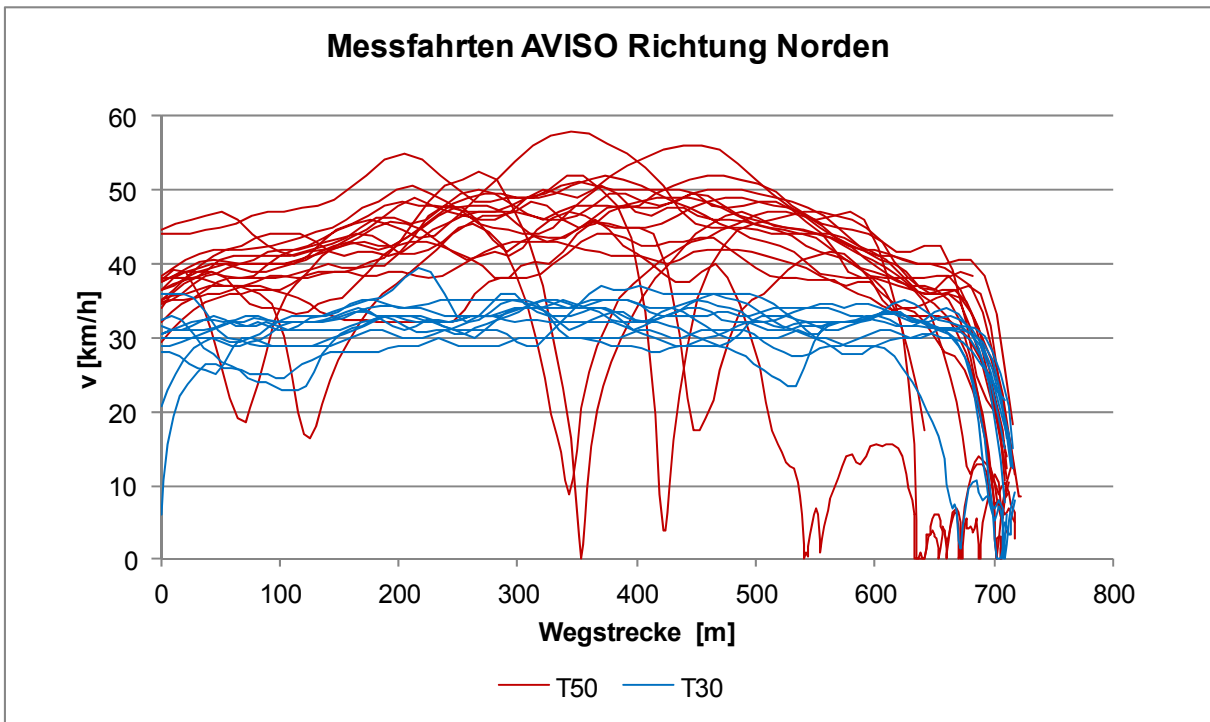
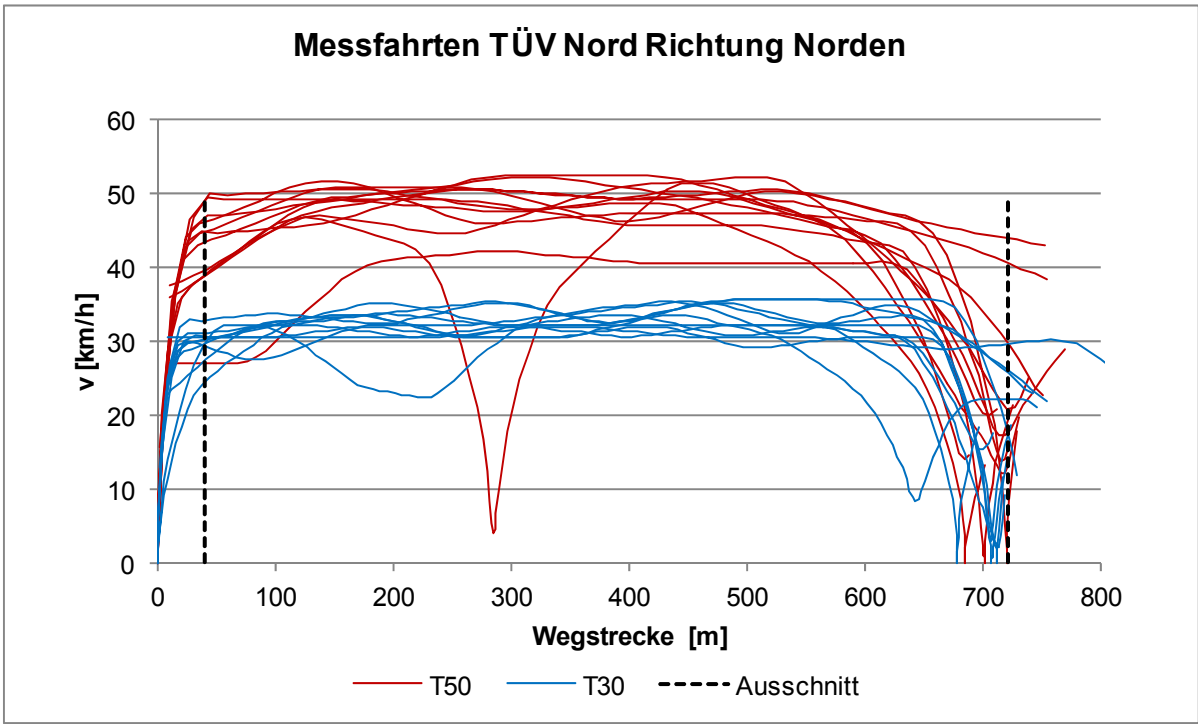


Abbildung A-3: Fahrprofile der Messfahrten in Freiberg in Fahrtrichtung Norden: T50-Normalfahrt (rote Linien) und T30-fiktiv (blaue Linien), oben: TÜV Nord, unten: AVISO

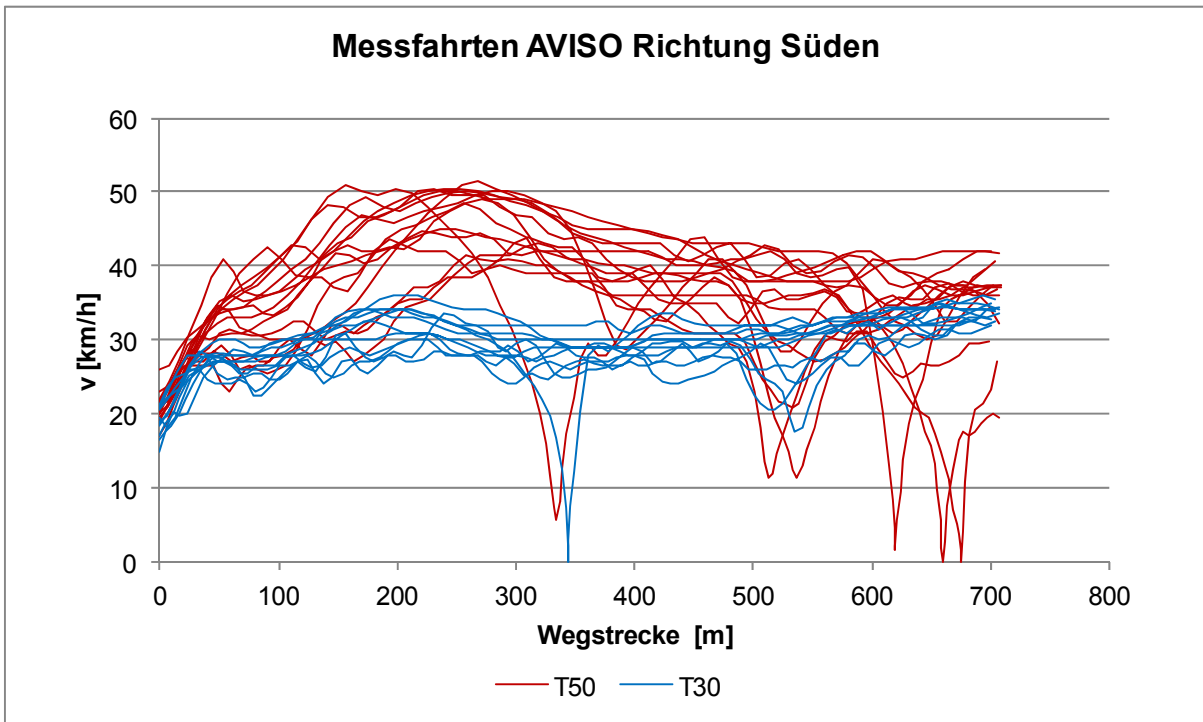
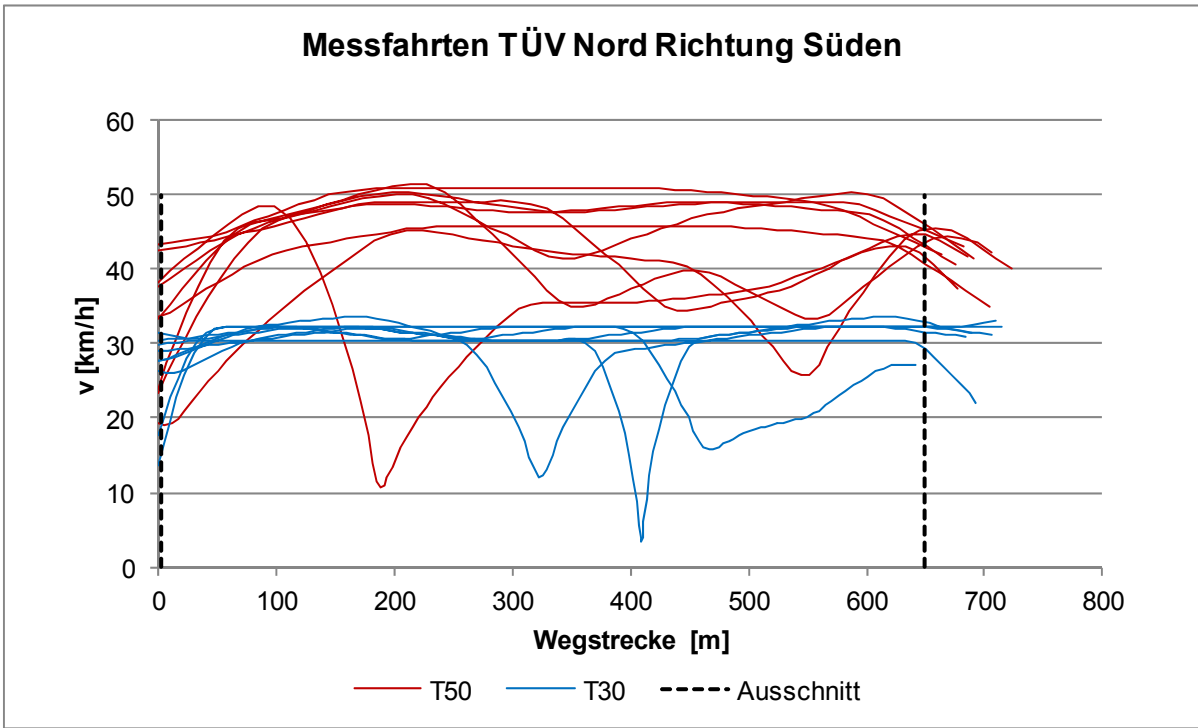


Abbildung A-4: Fahrprofile der Messfahrten in Freiberg in Fahrtrichtung Süden: T50-Normalfahrt (rote Linien) und T30-fiktiv (blaue Linien), oben: TÜV Nord, unten: AVISO

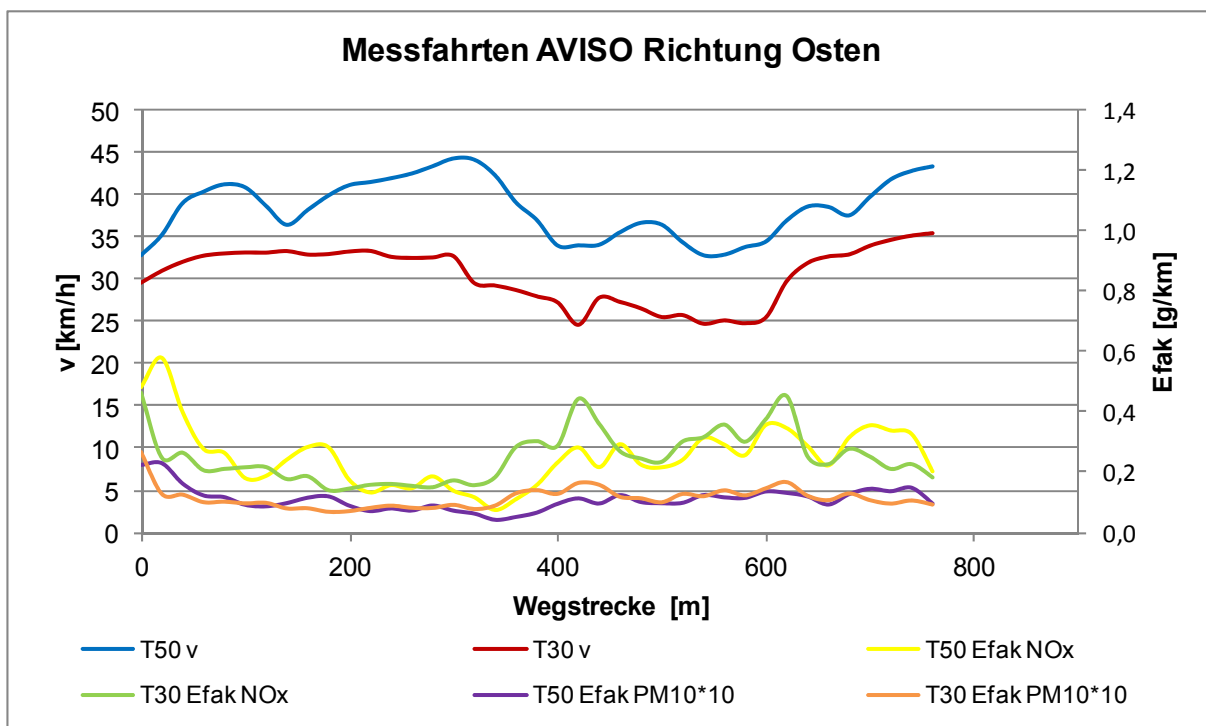
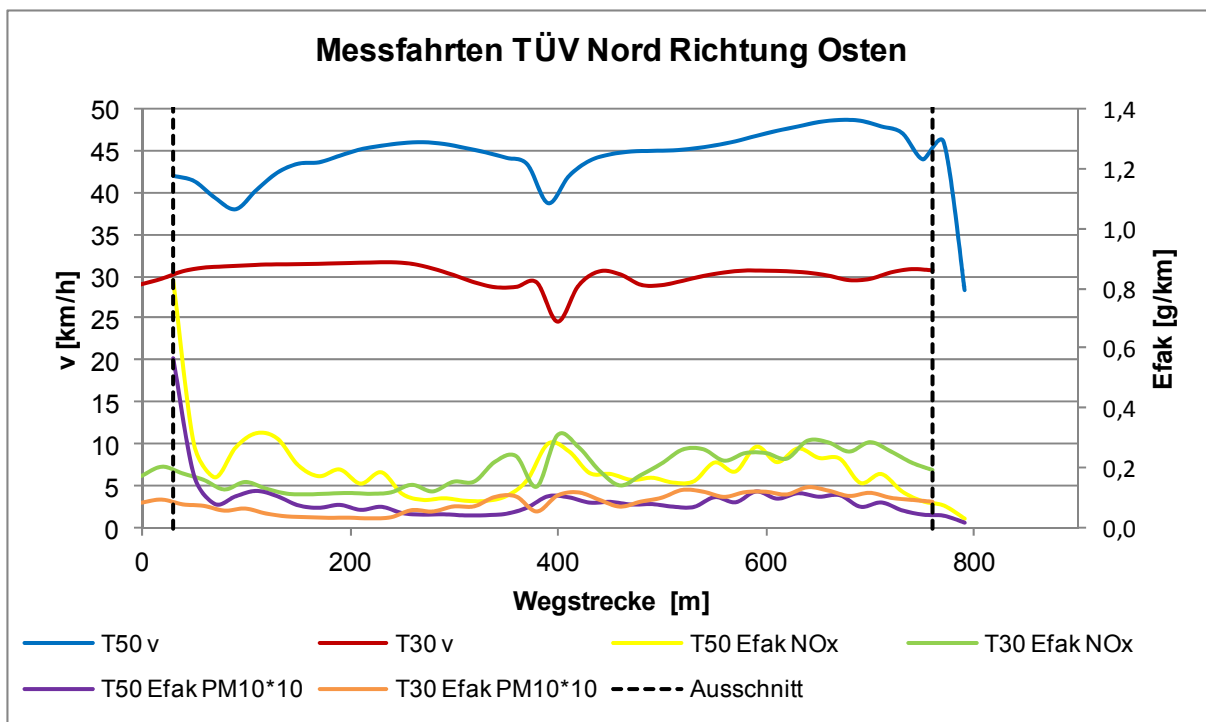


Abbildung A-5: Mittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-Fiktivfahrten für Pkw in Freiberg in Richtung Osten; die PM₁₀-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht; oben: TÜV Nord, unten: AVISO

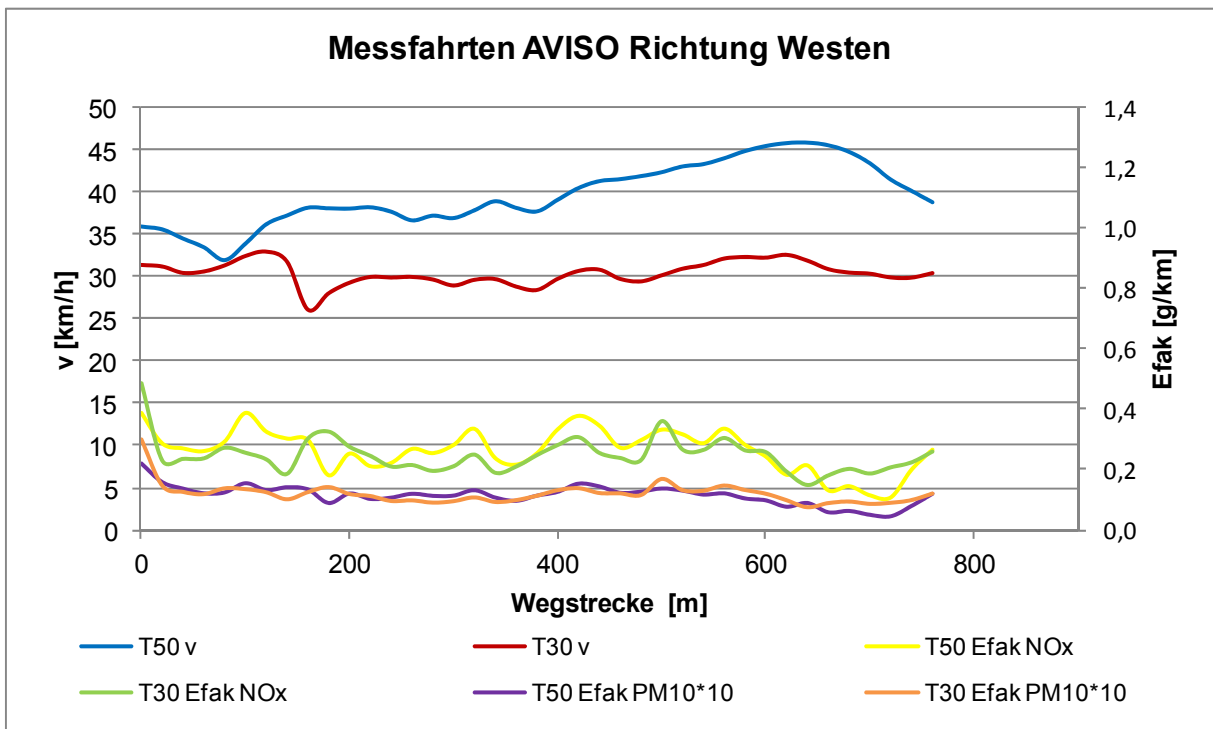
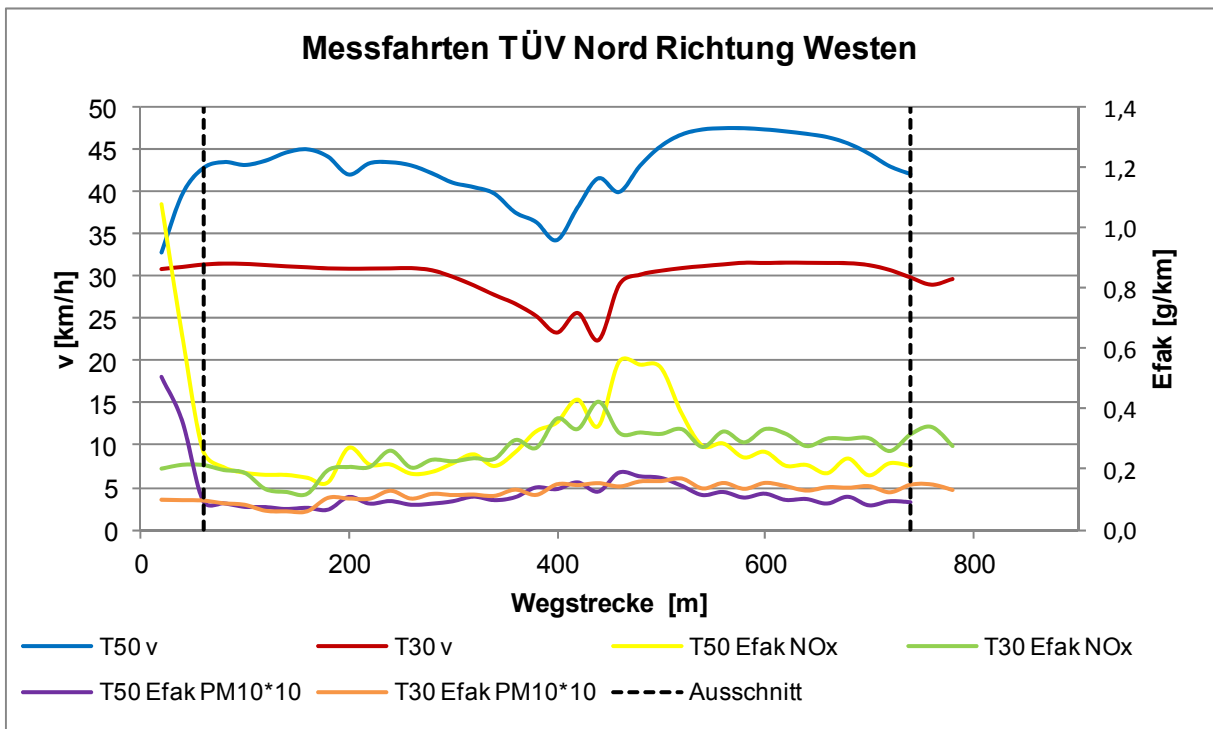


Abbildung A-6: Mittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-Fiktivfahrten) für Pkw in Freiberg in Richtung Westen; die PM₁₀-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht; oben: TÜV Nord, unten: AVISO

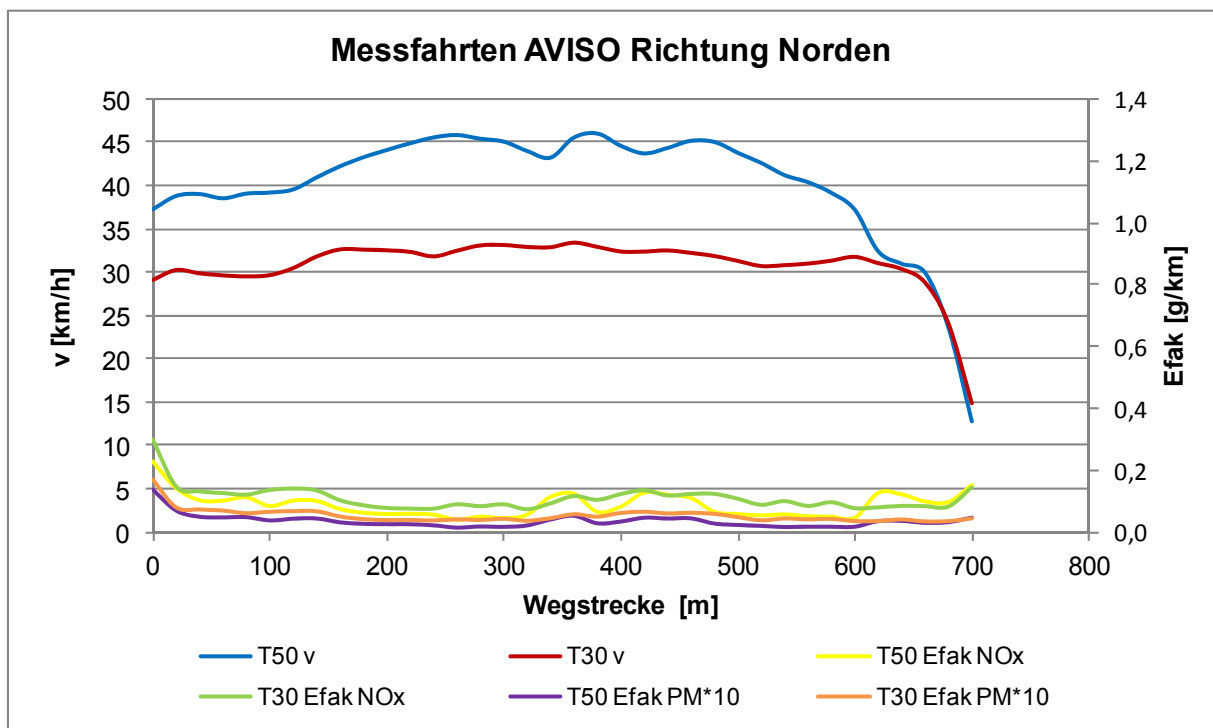
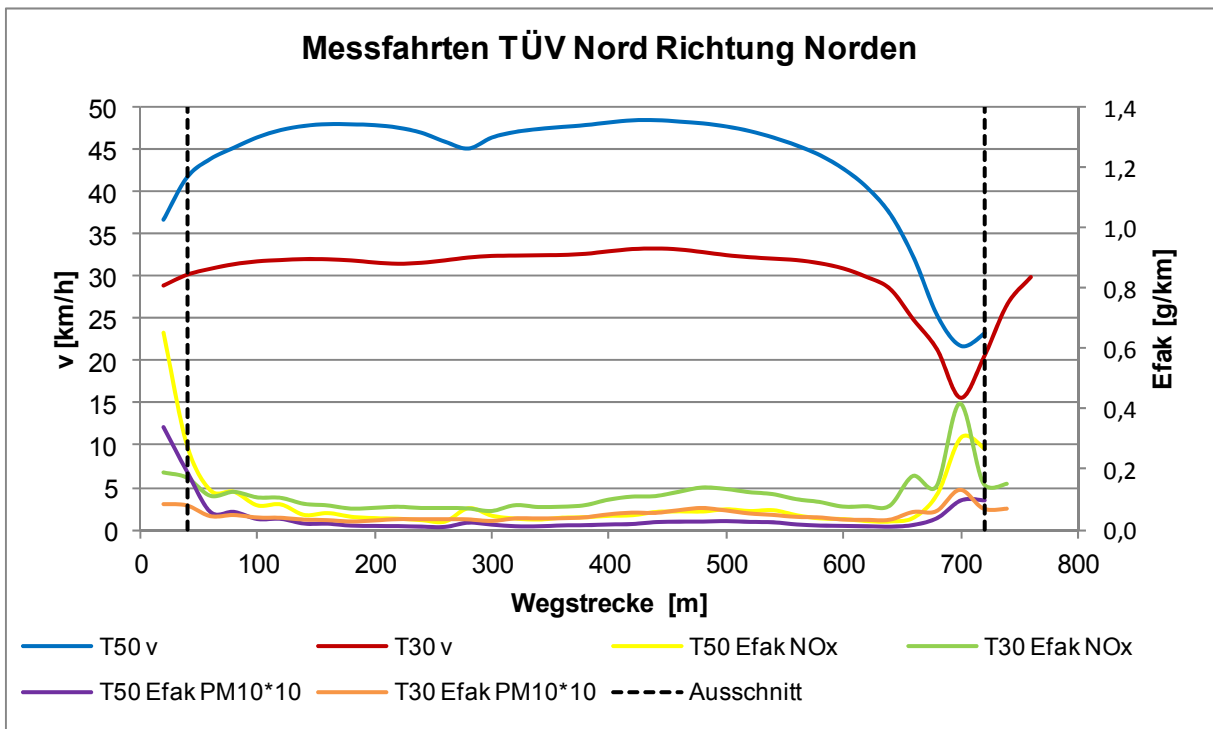


Abbildung A-7: Mittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-Fiktivfahrten) für Pkw in Freiberg in Richtung Norden; die PM₁₀-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht; oben: TÜV Nord, unten: AVISO

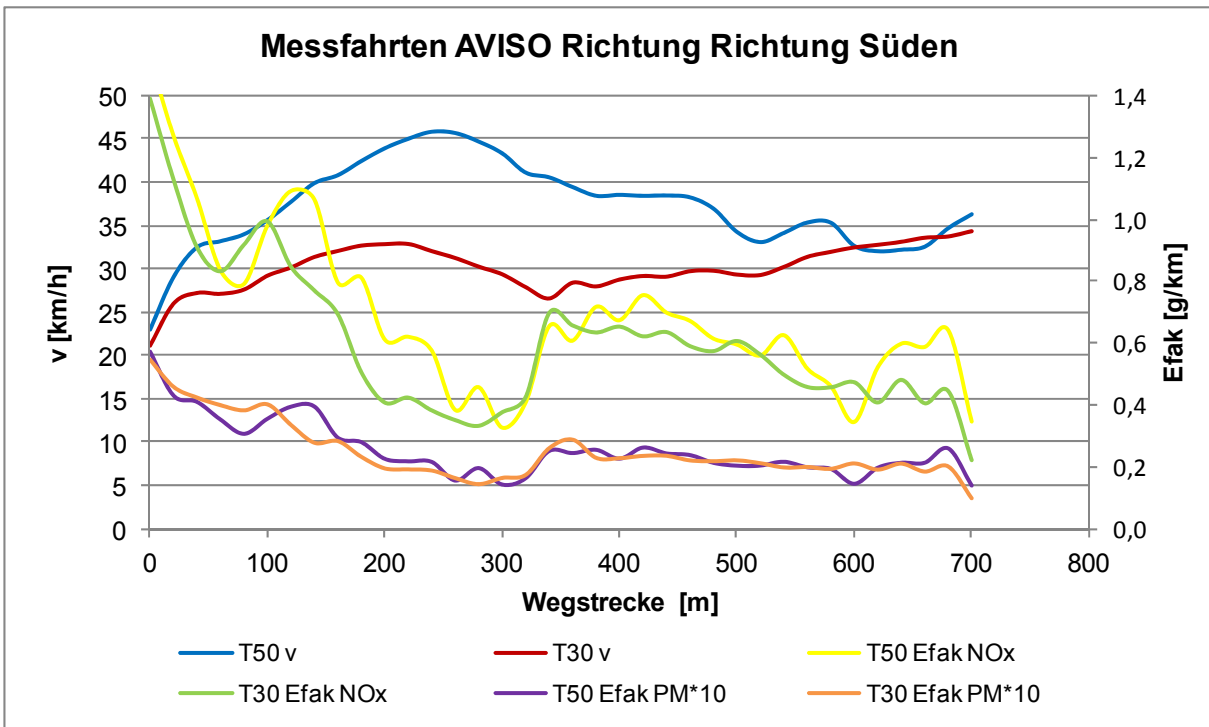
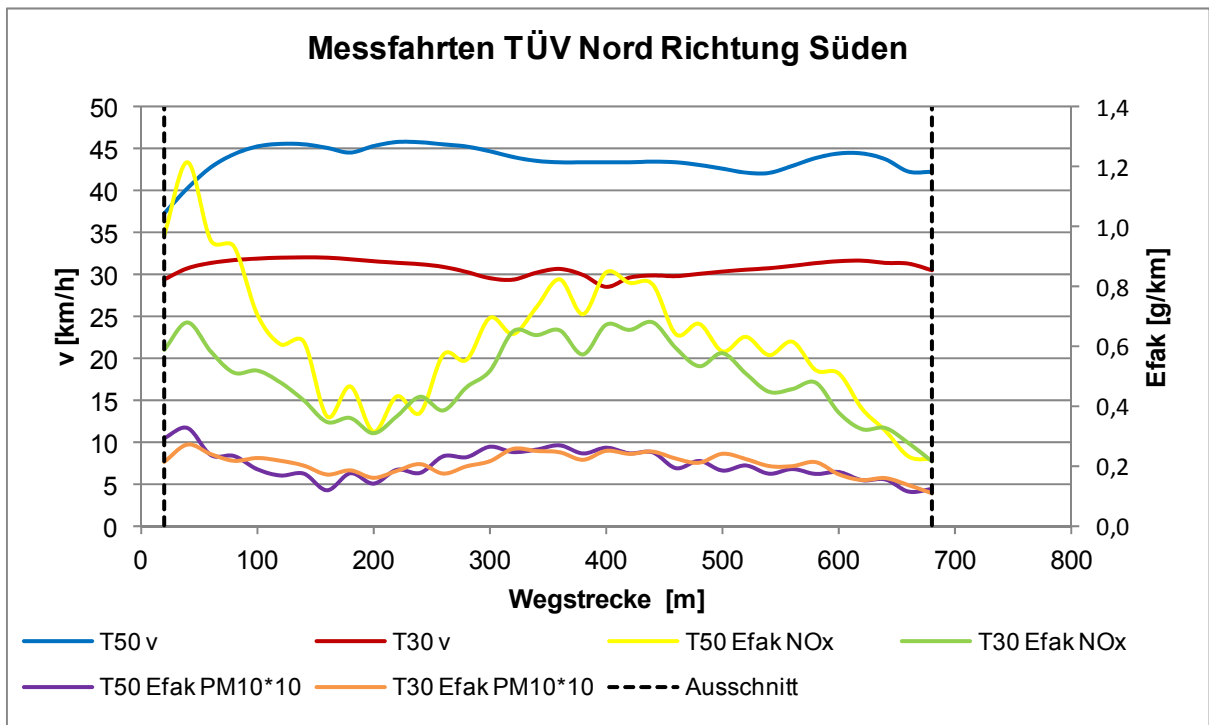


Abbildung A-8: Mittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x- und PM10-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-Fiktivfahrten) für Pkw in Freiberg in Richtung Süden; die PM10-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht; oben: TÜV Nord, unten: AVISO

B Anhang Auswertungen Stuttgart (TÜV Nord)

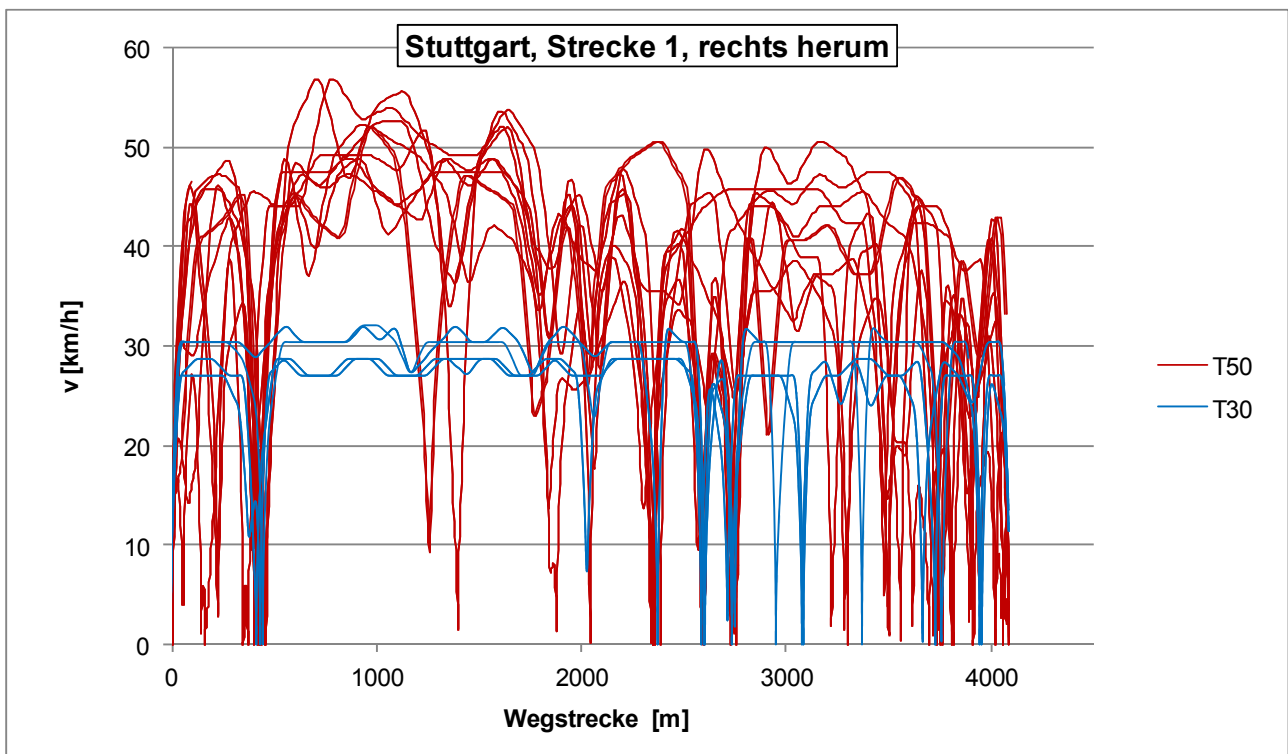
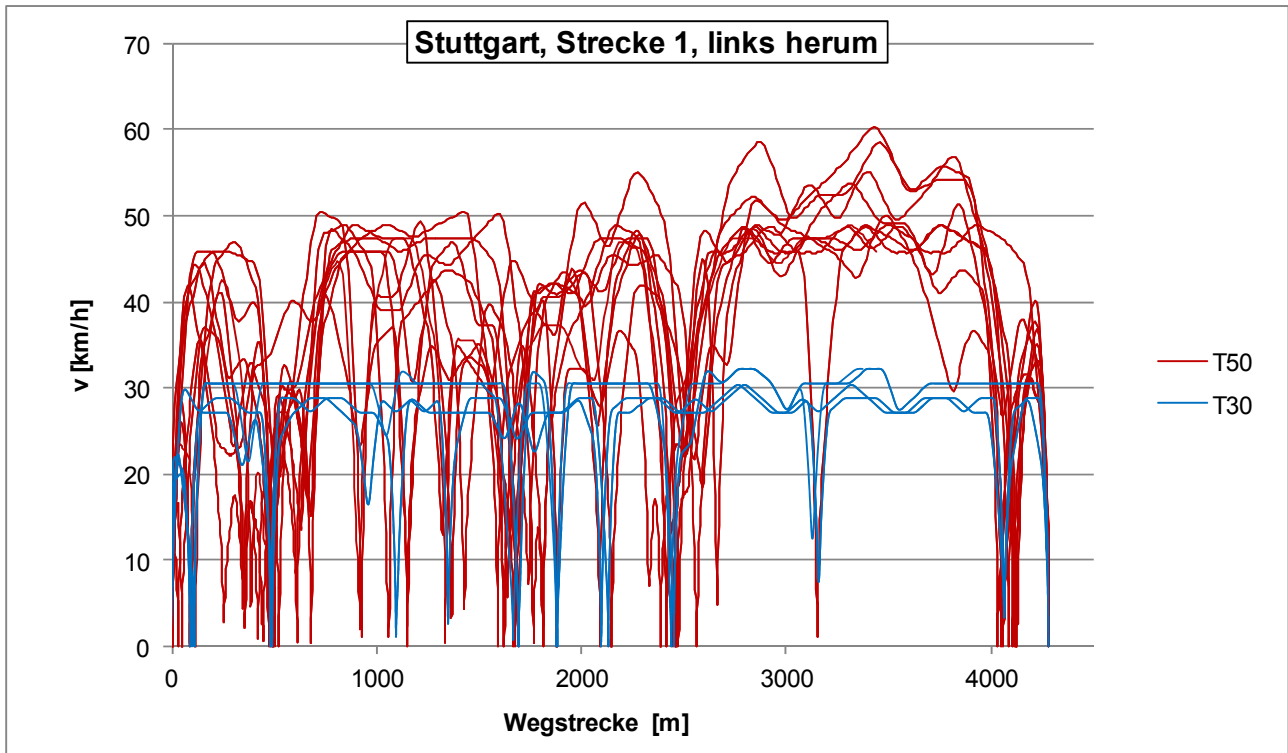


Abbildung B-1: Fahrprofile TÜV Nord der Messfahrten Stuttgart: T50-Normalfahrt (rote Linien) und T30-fiktiv (blaue Linien), oben: Strecke 1, links herum, unten: Strecke 1, rechts herum

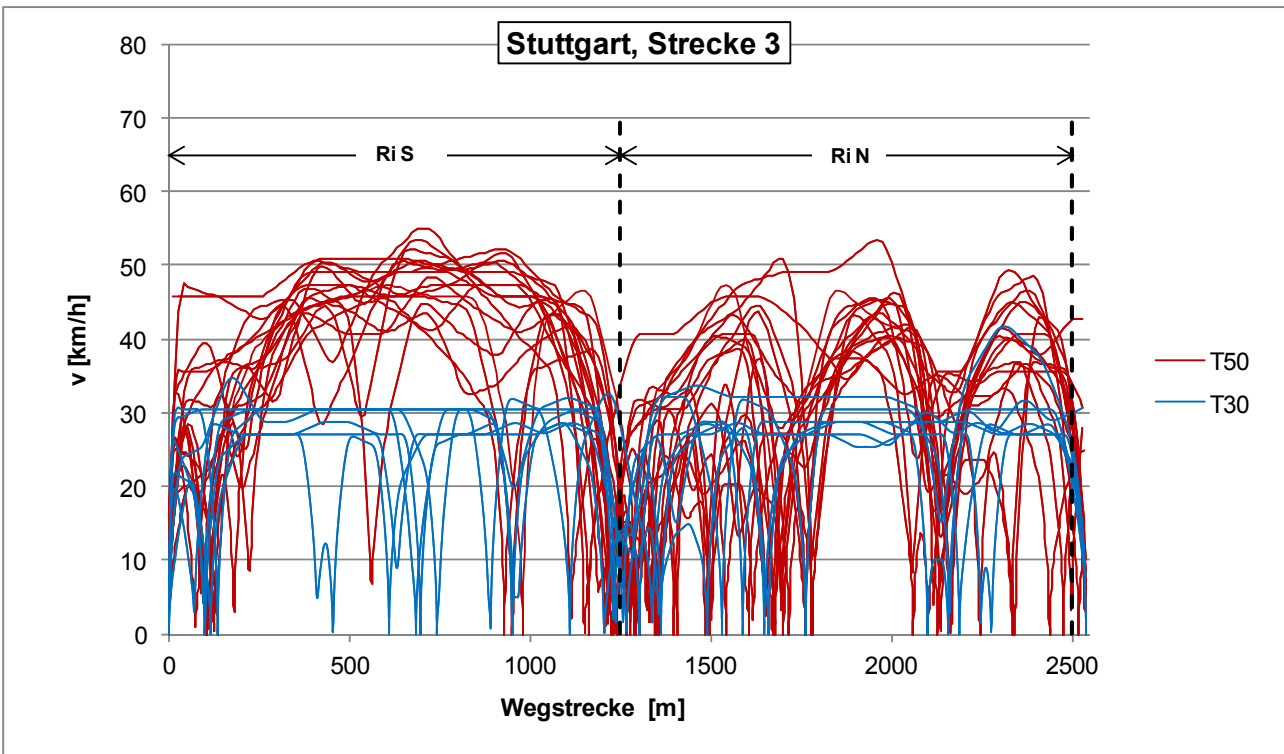
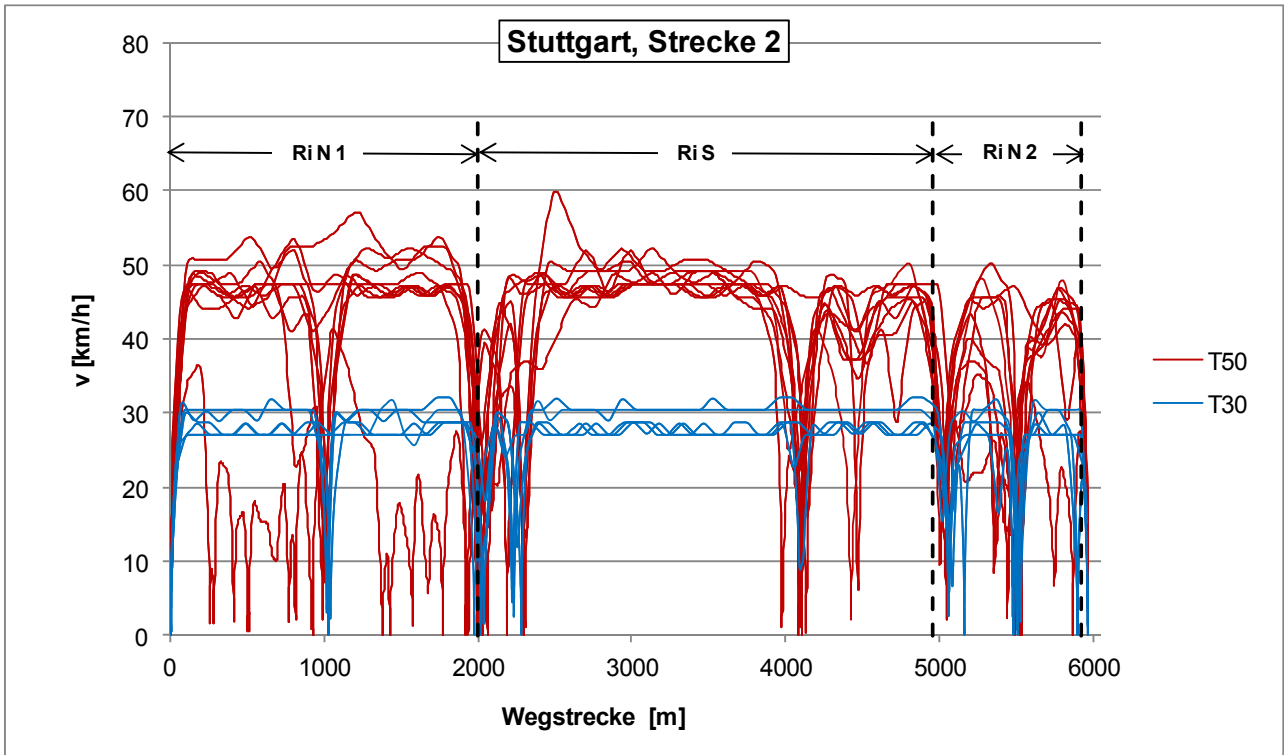


Abbildung B-2: Fahrprofile TÜV Nord der Messfahrten Stuttgart, T50-Normalfahrt (rote Linien) und T30-fiktiv (blaue Linien), oben: Strecke 2, unten: Strecke 3

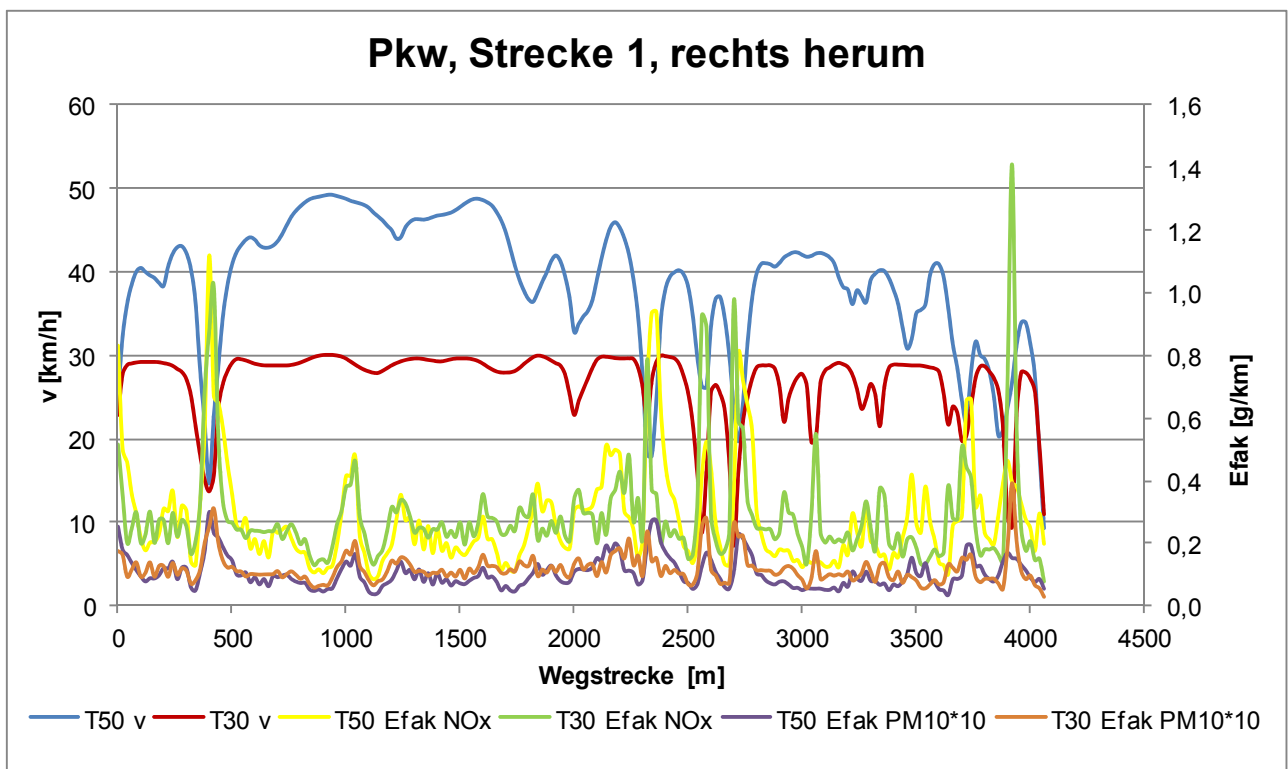
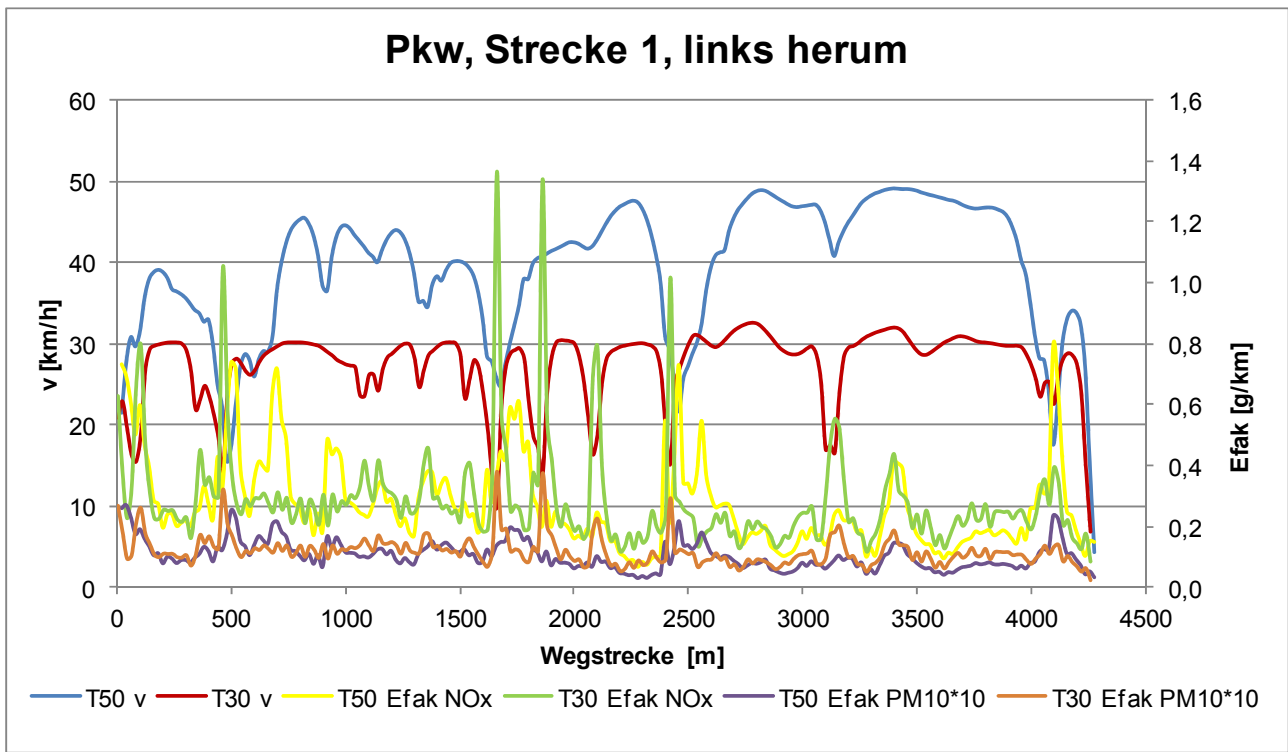


Abbildung B-3: Mittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-Fiktivfahrten) für Pkw in Stuttgart; die PM₁₀-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht; oben: Strecke 1, links herum, unten: Strecke 1, rechts herum

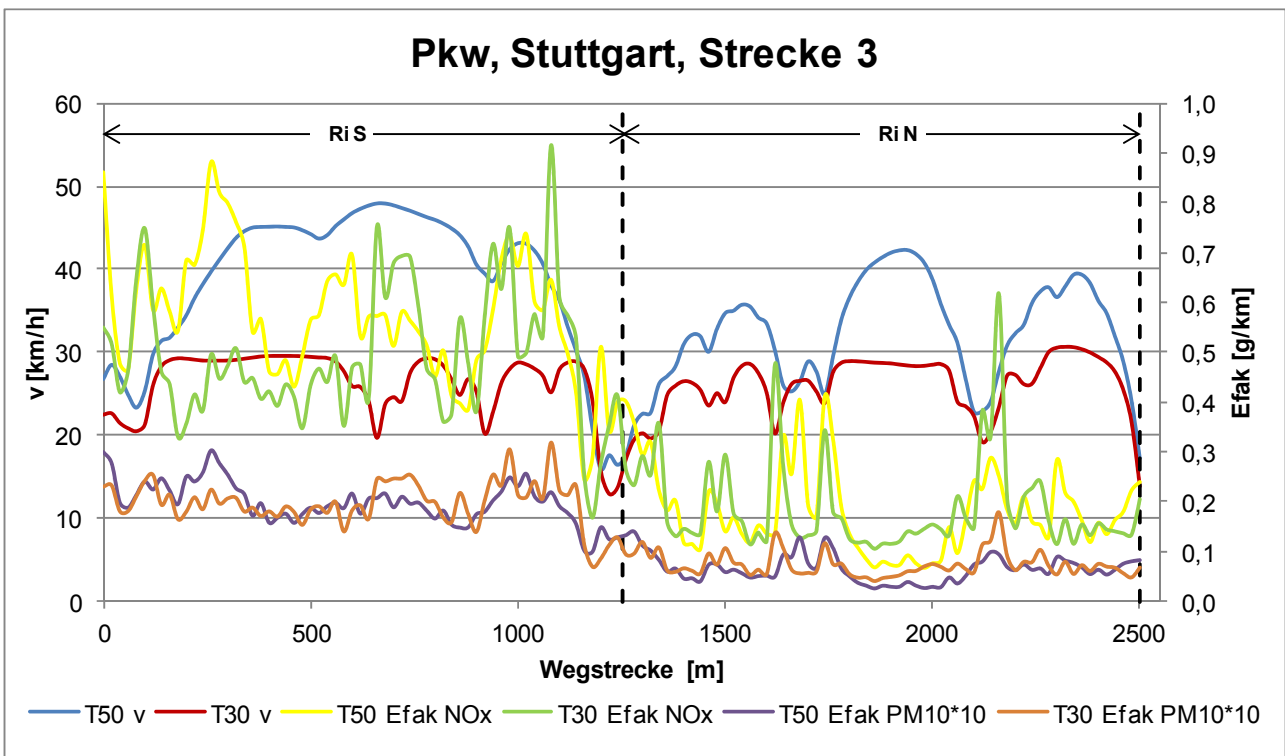
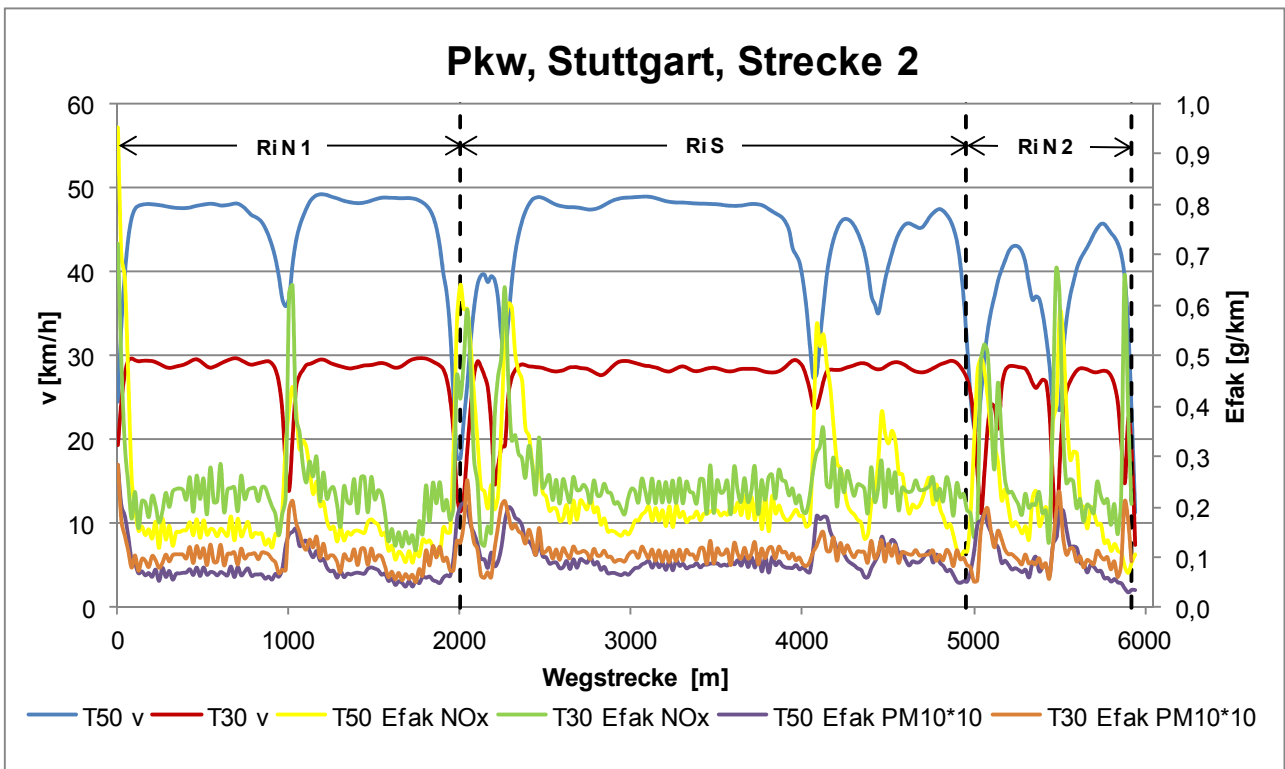


Abbildung B-4: Mittlere Profile der Fahrgeschwindigkeit sowie der NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren (Abgas) für T50-Normalfahrten und T30-Fiktivfahrten) für Pkw in Stuttgart; die PM₁₀-Emissionsfaktoren sind aus Darstellungsgründen um den Faktor 10 überhöht; oben: Strecke 2, unten: Strecke 3

C Anhang Gesamtauswertung Messfahrten

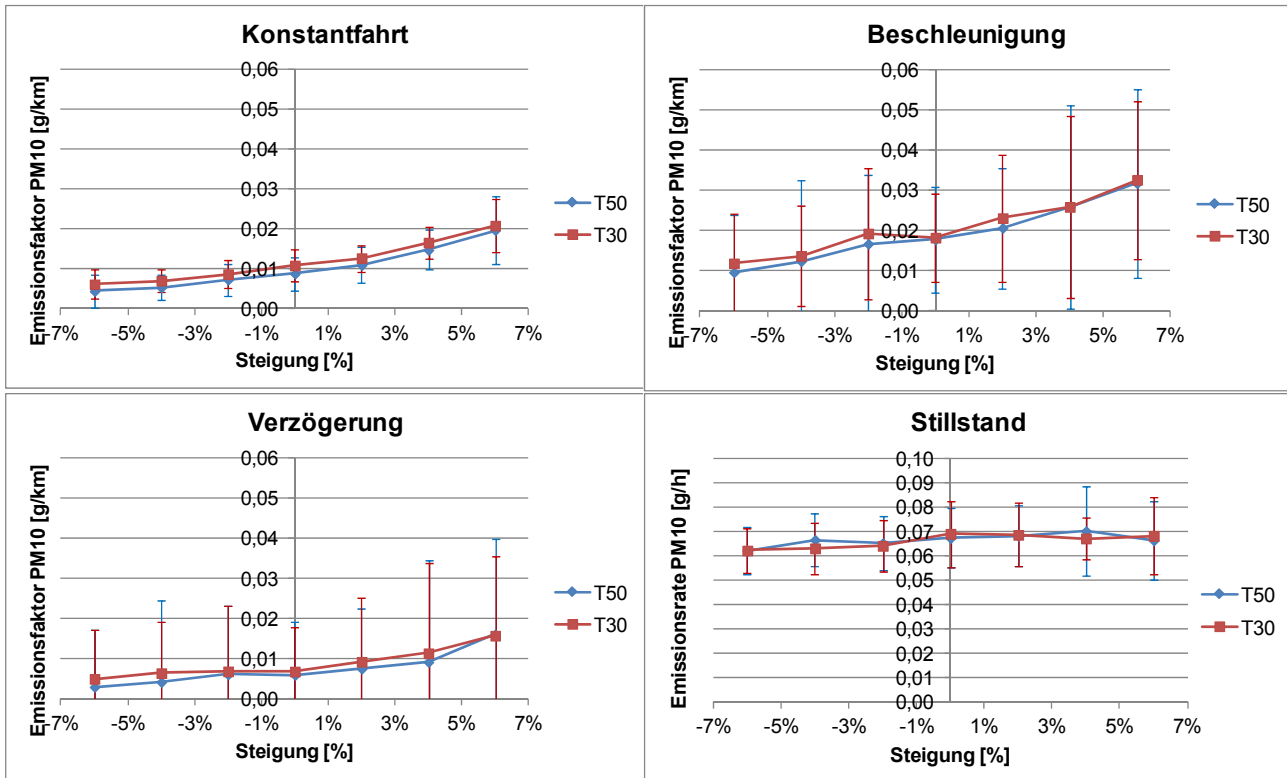


Abbildung C-1: Pkw-Emissionsfaktoren (Flottenmix Baden-Württemberg 2010) PM10 (Abgas) für Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung und Stillstand (dort: Emissionsraten) nach Steigungsklassen jeweils im Vergleich T50 und T30

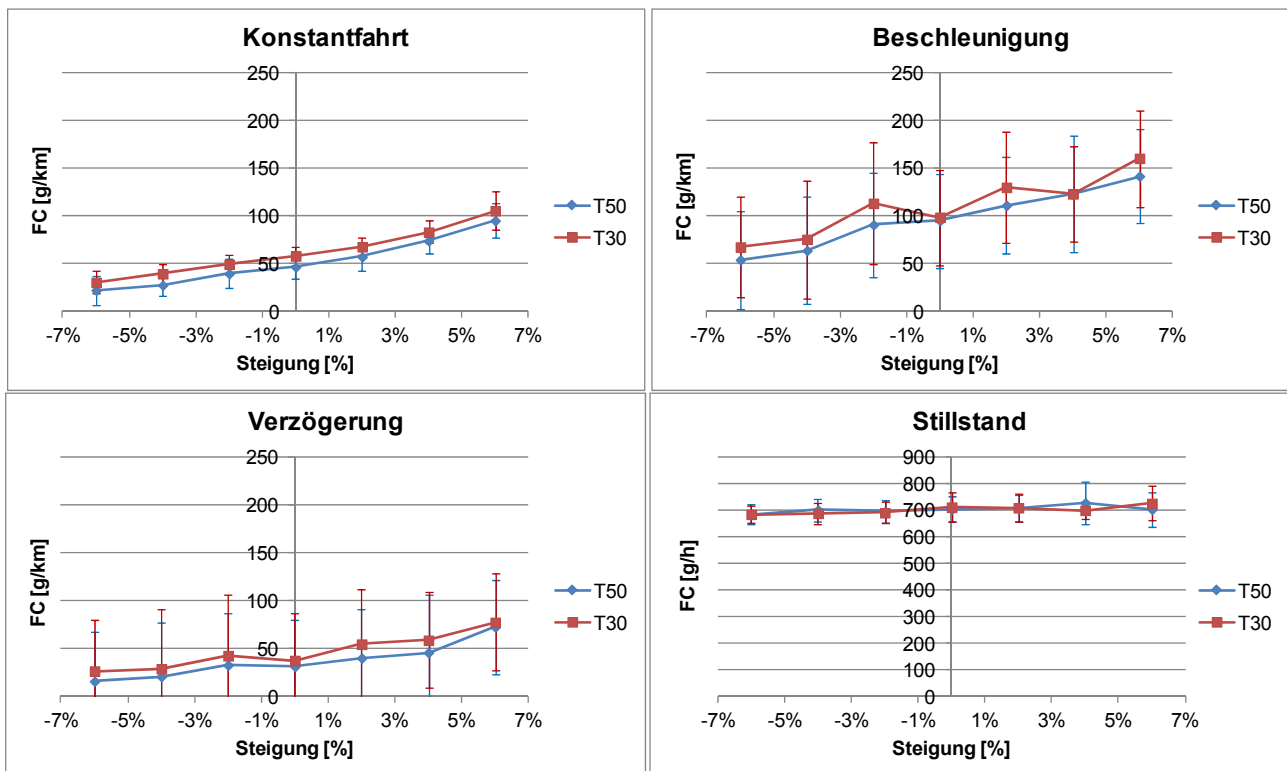


Abbildung C-2: Pkw-Kraftstoffverbrauch (Flottenmix Baden-Württemberg 2010) für Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung und Stillstand (dort: Verbrauchsraten) nach Steigungsklassen jeweils im Vergleich T50 und T30

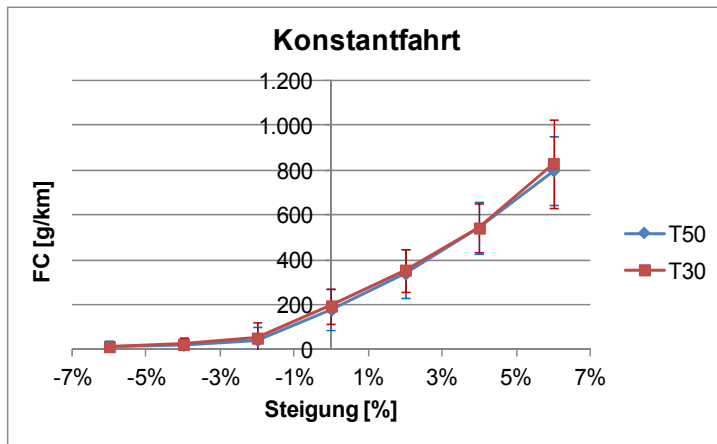
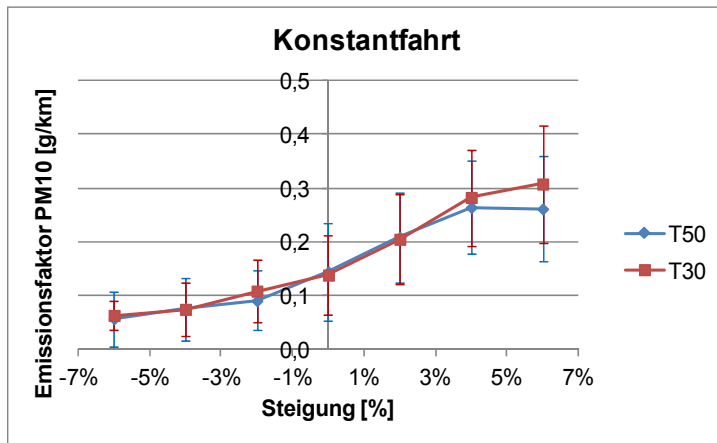
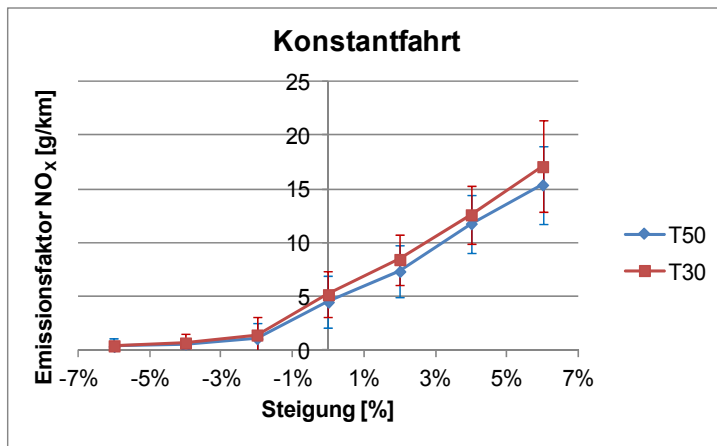


Abbildung C-3: sNfz NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren (Abgas) sowie Kraftstoffverbrauch (Flottenmix Baden-Württemberg 2010) für Konstantfahrt nach Steigungsklassen jeweils im Vergleich T50 und T30

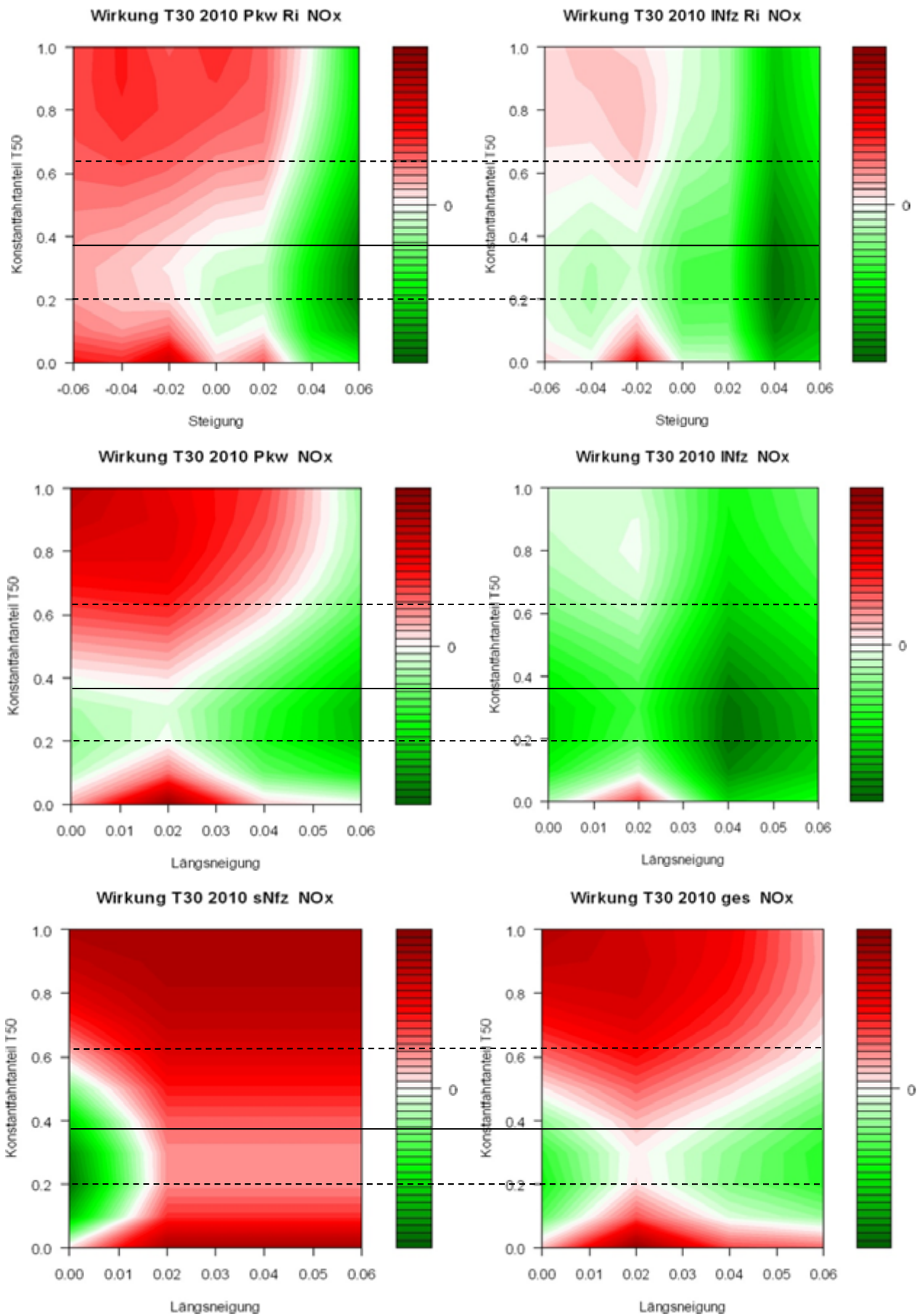


Abbildung C-4: Wirkung von T30 auf die NO_x Emissionen in Abhängigkeit von Konstantfahranteil T50 und Steigung/Längsneigung für Pkw richtungsgetreunt (oben links), INfz richtungsgetreunt (oben rechts), Pkw richtungsgemittelt (Mitte links), INfz richtungsgemittelt (Mitte links), sNfz (gemittelt über alle Längsneigungen >1%, unten links) sowie Gesamtwirkung (unten rechts, Annahme: 97% Pkw, 3% sNfz, gestrichelte Linien: Spannweite der mittleren Konstantfahranteile T50 auf den einzelnen Messstrecken

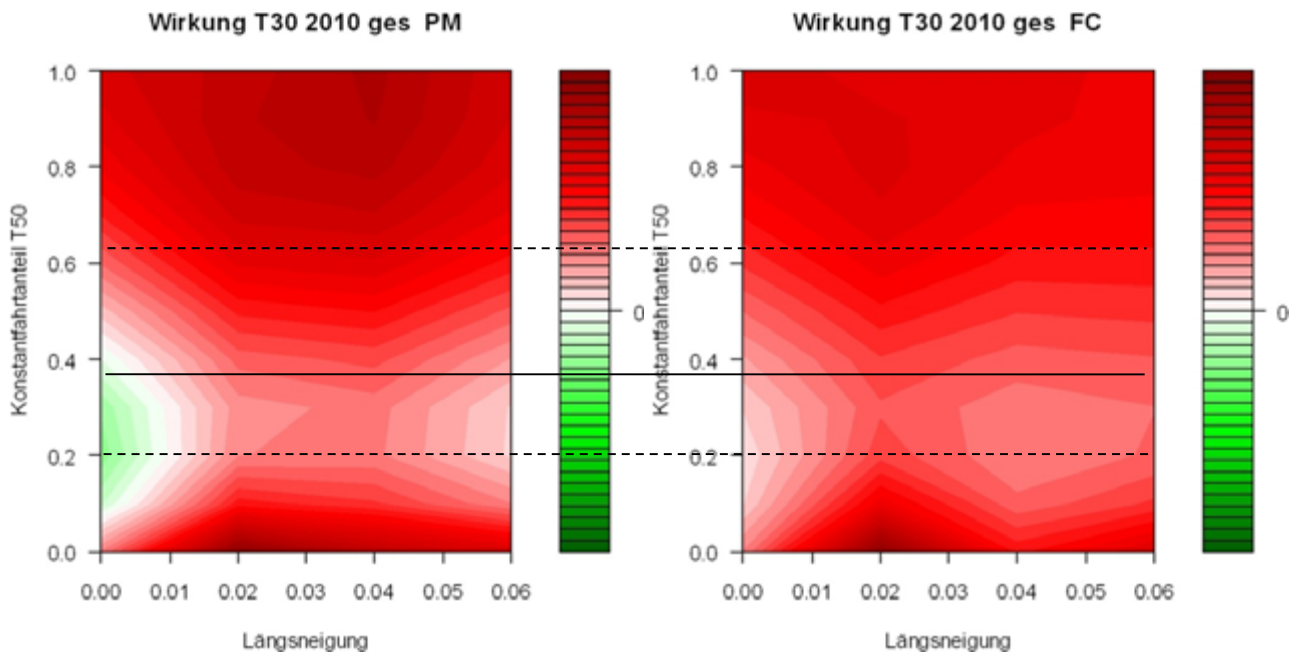


Abbildung C-5: Gesamtwirkung von T30 auf die PM10 Emissionen (Abgas, links) und den Kraftstoffverbrauch (rechts) in Abhängigkeit von Konstantfahranteil T50 und Längsneigung; Annahme: 97% Pkw, 3% sNfz, gestrichelte Linien: Spannweite der mittleren Konstantfahranteile T50 auf den einzelnen Messstrecken

