



Ersteinschätzung der Wirkungsrichtung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen auf die NO_x-Emissionen

Kolloquium Luftqualität an Straßen 2013

bast

20. März 2013
Bergisch Gladbach

Dr. rer. nat. Nicola Toenges-Schuller
Dr.-Ing. Christiane Schneider
Dipl.-Ing. Arnold Niederau

AVISO GmbH

Dr. Werner Scholz

LUBW

- Untersuchungsgebiete, Datenbasis
- NO_x Emissionsfaktoren für Konstantfahrt, Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen bei T50 und T30
- Wirkung von T30 auf den Anteil an Konstantfahrt, Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen
- Ersteinschätzungsschema:
Wirkungsrichtung von T30 auf die NO_x Emissionen für eine Gesamtstrecke
- Kraftstoffverbrauch und Feinstaub
- Eingangsdaten
- Vergleich Einzelauswertung Messfahrten - Ersteinschätzungsschema
- Anwendung und Beispiele

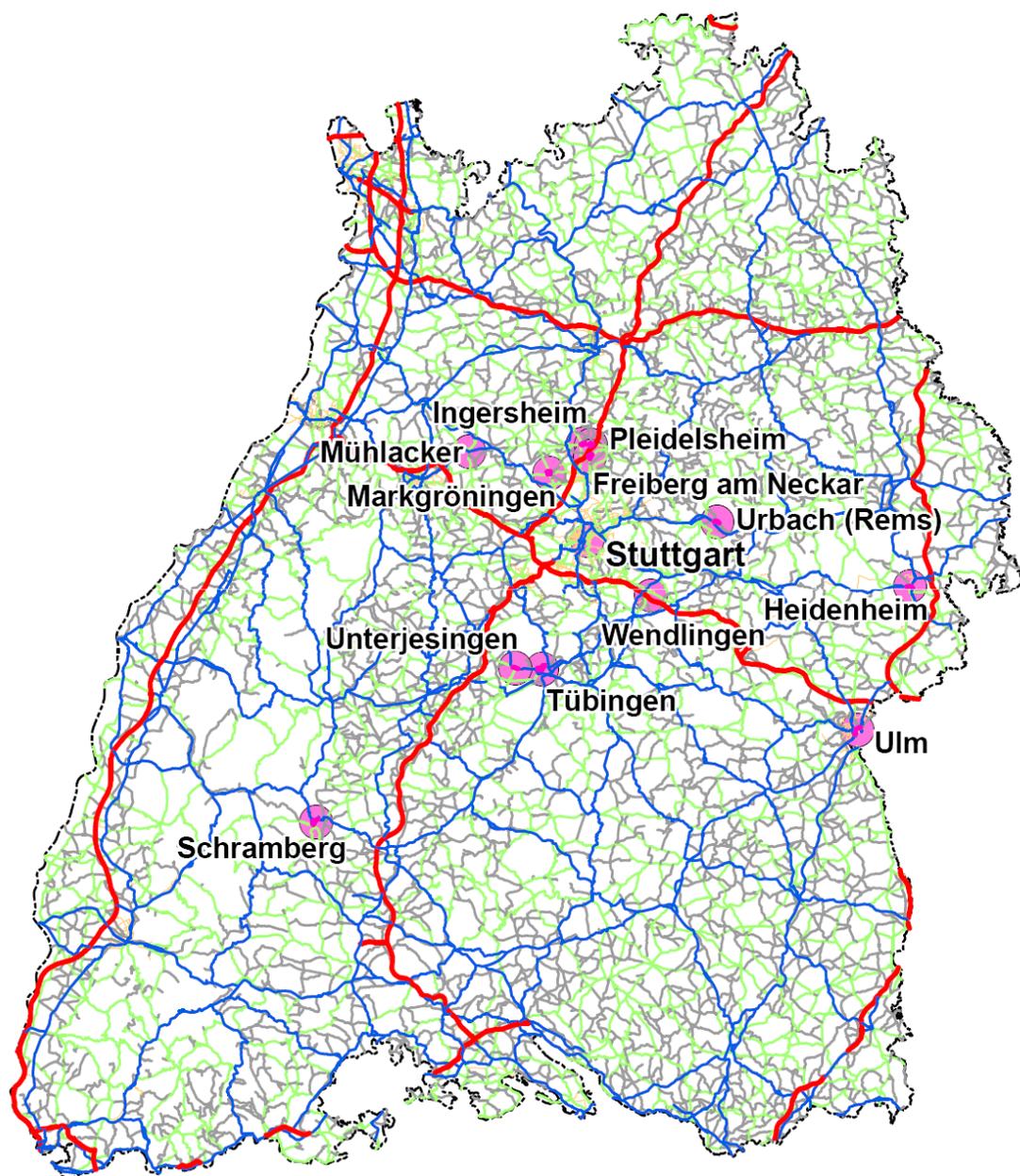
Ziel: Gesamtauswertung von Messfahrten in dreizehn Städten Baden-Württembergs hinsichtlich der Auswirkung von T30 auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen auf die NO_x- und Feinstaub-Emissionen zur Ableitung eines Ersteinschätzungsschemas

dazu: Entwicklung eines Schemas zur Einschätzung der Wirkungsrichtung von T30 in Abhängigkeit von

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

bereits vor einer Durchführung von Messfahrten

Untersuchungsgebiete



- Mühlacker (Juli 2010)
- Urbach (September 2010)
- Freiberg a. N. (September 2010, AVISO)
- Freiberg a. N. (Oktober 2010, TÜV Nord)
- Pleidelsheim (September 2010)
- Ingersheim (September 2010)
- Markgröningen (September 2010)
- Stuttgart (Oktober 2010, TÜV Nord)
- Unterjesingen (November 2010)
- Heidenheim (Dezember 2010)
- Ulm (Dezember 2010)
- Tübingen (Mai 2011)
- Schramberg (Januar 2011)
- Wendlingen (März 2012)

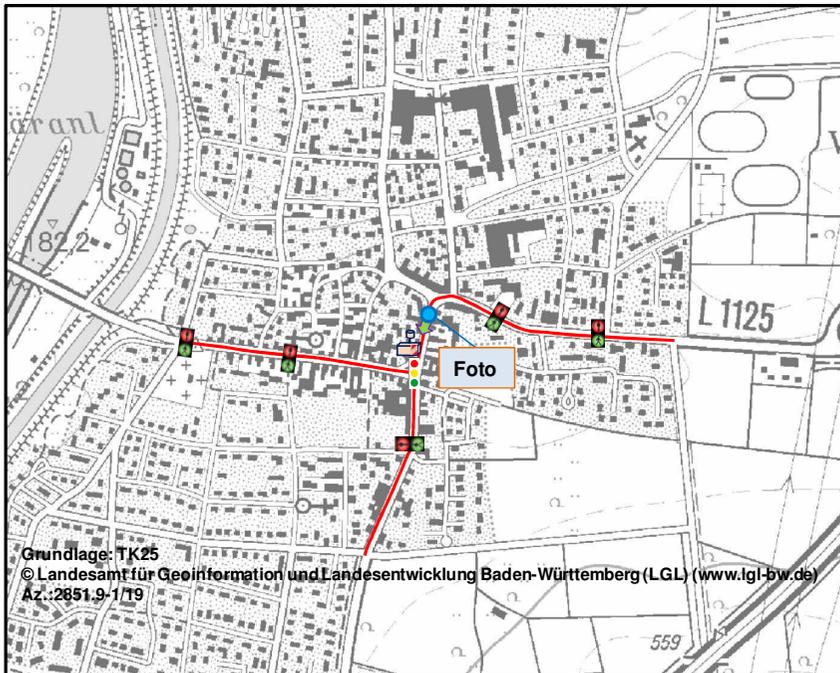
Im Auftrag von

RP Stuttgart, RP Tübingen, RP Karlsruhe, RB
Freiburg und der LUBW

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	-	Ortdurchfahrt, 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 m	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 Hauptverkehrsstraße im Zentrum, Einbahnstraße
Ulm B	ca. 450 m	überwiegend eben	3	ja	-	-	
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			-	
Stuttgart 3	ca. 2.200 m	eben bis zu 6% Neigung	ca. 4		ca. 4	-	
Wendlingen	ca. 500 m	überwiegend eben	2	nein	1	-	Teil der Ortsdurchfahrt, LSA voll verkehrsabhängig gesteuert

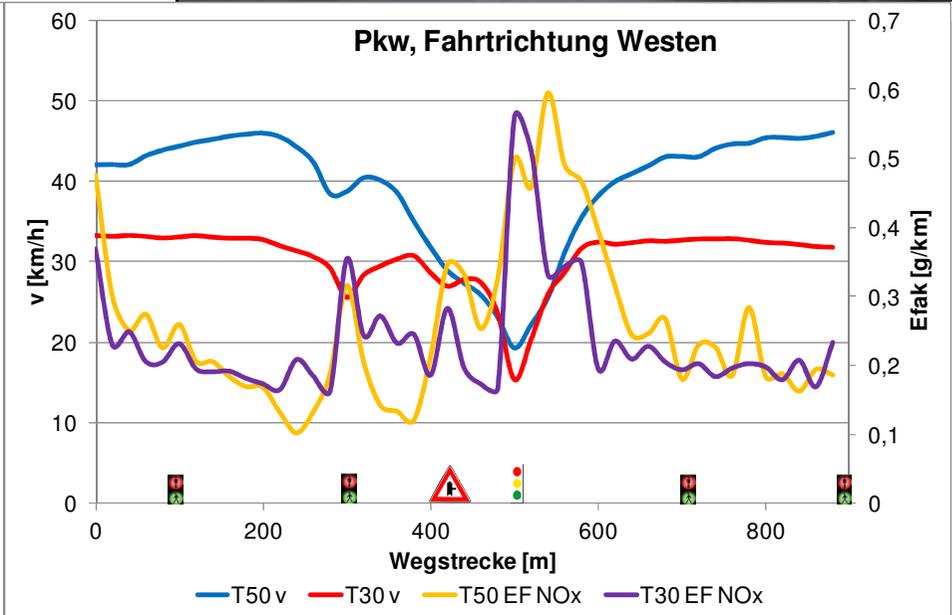
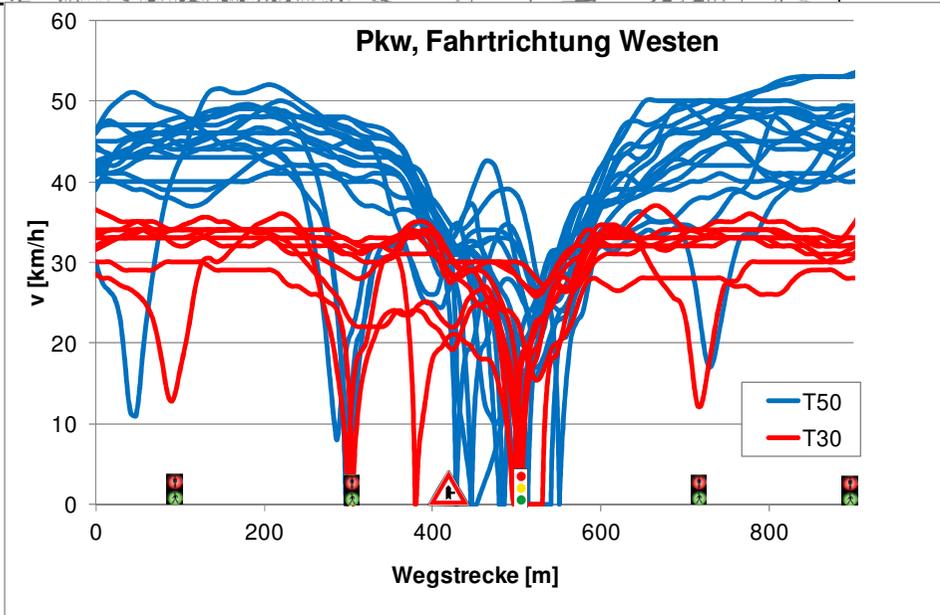
Beispiel: Pleidelsheim Richtung West



Pleidelsheim T30

Lage der Messstrecken

- Messpunkt LUBW DEBW121
- vollverkehrsabhängig gesteuerte Lichtsignalanlage
- Fußgängerampel



Fahrparameter:

- > **1.000 Testfahrten**
- sekundliche Aufnahme von Geschwindigkeit, GPS-Koordinaten
→ **rund 225.000 Messpunkte**

Emissionen:

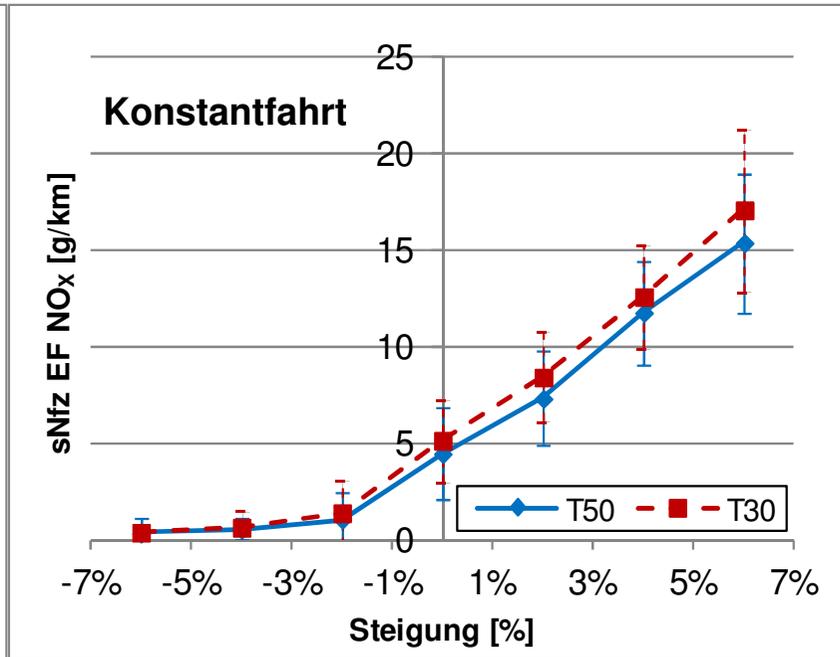
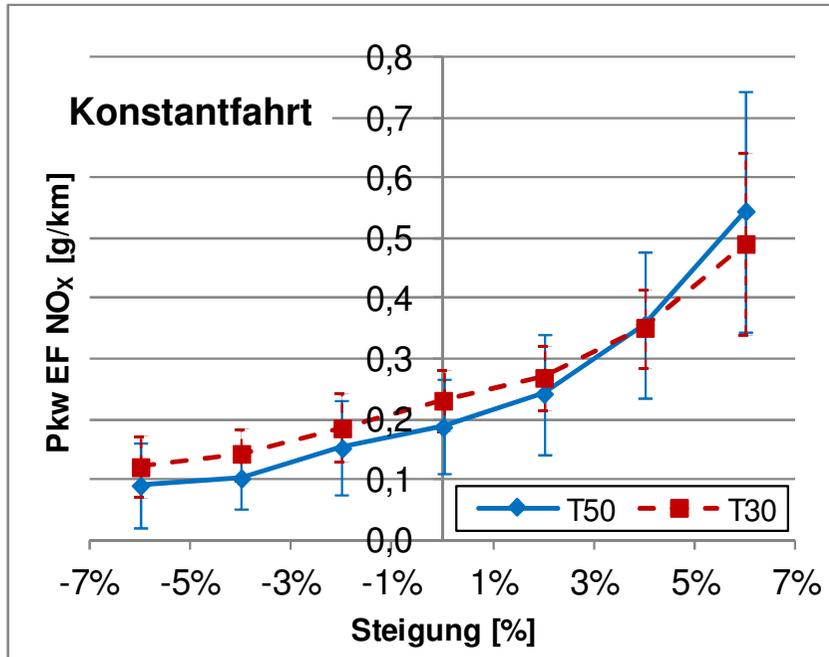
- NO_x, PM10, Kraftstoffverbrauch
- berechnet mit PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model, TU Graz)
- alle Fahrzeug-Schichten (Pkw, INfz, sNfz):
→ **>15 Mio. Datensätze**
- Schichten gewichtet gemittelt: Flottenzusammensetzung Baden-Württemberg

Gruppierung nach

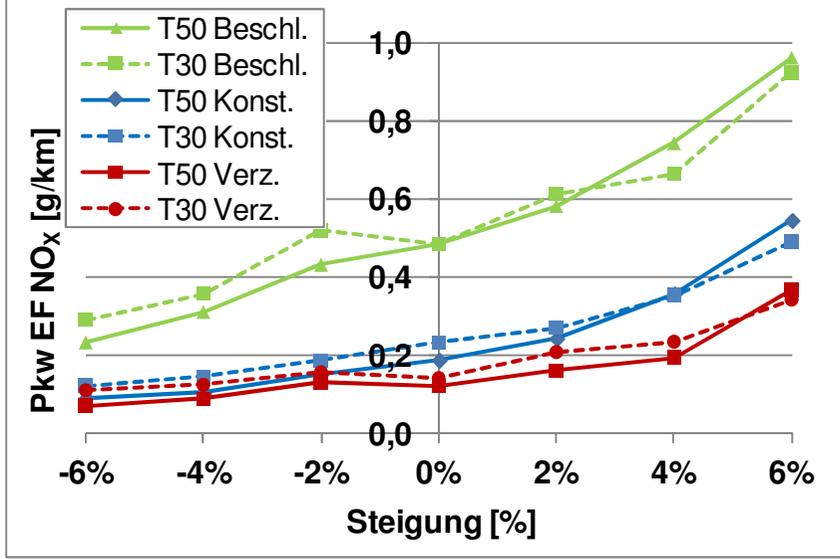
- Beschleunigung: $a > 0,125 \text{ m/s}^2$
- Verzögerung: $a < -0,125 \text{ m/s}^2$
- Stillstand: $v < 0,5 \text{ m/s}$
- Konstantfahrt: sonst

sowie nach Steigungsklassen

Emissionsfaktoren NO_x



- EF nehmen mit zunehmender Steigung zu
- Konstantfahrt:
 - Pkw: EF T30 > T50 für s < 4%
 - EF T30 < T50 für s > 4%
 - sNfz: EF T30 > T50
- EF beschl. > EF konst. > EF verz.
- $\frac{1}{2}$ (EF beschl. + EF verz.) > EF konst.



Anteil Konstantfahrt-, Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen

Getrennte Auswertung EF Konstantfahrt, Beschl., Verz.:

EF T30 > EF T50

Aber: Auswertungen der Gesamtstrecken:

EF T30 < EF T50

→ T30 führt zu zwei gegenläufigen Effekten:

Effekt 1:

EF für Konstantfahrt, Beschl. und Verz. sind in weiten Parameterbereichen
bei T30 höher als bei T50

Ursachen:

- Bei T30 wird oft in einem niedrigeren Gang gefahren (höhere Drehzahl).
- Bei gleichem Gang wird für die gleiche Strecke bei T30 eine längere Zeit benötigt.
- Der Luftwiderstand spielt bei T30/T50 noch keine Rolle.

Effekt 2:

Für eine gleiche Anzahl an Störungen bei T50 und T30:
Durch T30 werden ggü. T50 Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen vermindert,
Konstantfahrtphasen erhöht.

→ Eine Verminderung der Beschleunigungsphasen **vermindert Emissionen**, da die kombinierten EF für Beschleunigung und Verzögerung höher sind als die für Konstantfahrt.

Anteil Konstantfahrt-, Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen

In Abhängigkeit von den vorherrschenden **lokalen Gegebenheiten** kann T30 je nach Dominanz von

- Effekt 1: Erhöhung der Einzel-EF oder
- Effekt 2: Erhöhung des Konstantfahrtanteils bei gleichem Verkehrsablauf

zu einer Erhöhung oder Minderung der NO_x-Emissionen auf der Gesamtstrecke führen.

Daher:

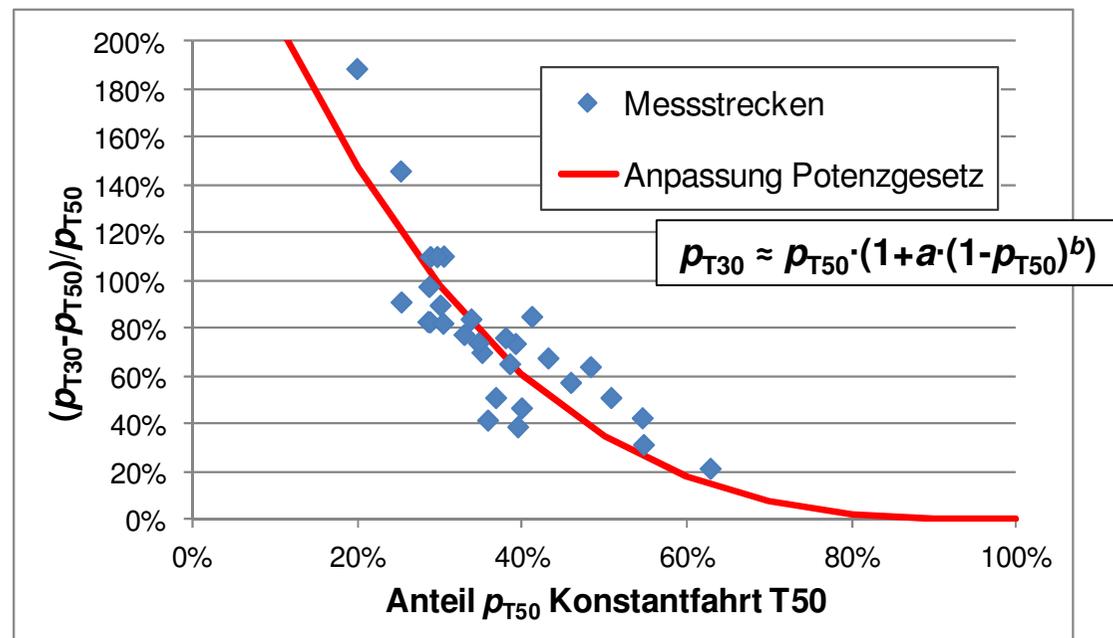
Abschätzung der **Änderung des Konstantfahrtanteils durch T30** aus Messfahrten:

Annahme:

Verkehrsablauf bleibt durch die Einführung von T30 gleich

→ für jede Messstrecke:

Auswahl von Messfahrten mit gleicher Art und Anzahl an Störungen bei T50 und T30



➤ Konstantfahrtanteil T30 lässt sich als Funktion des Konstantfahrtanteils bei T50 annähern

Mittlerer Emissionsfaktor für Gesamtstrecke T50 / T30

$$EF_{T50/T30} = p_{T50/T30}^k \cdot EF_{T50/T30}^k + p_{T50/T30}^b \cdot EF_{T50/T30}^b + p_{T50/T30}^v \cdot EF_{T50/T30}^v$$

$EF_{T50/T30}$: mittlerer Emissionsfaktor bei T50/T30 für eine reale Strecke

$p_{T50/T30}^{k,b,v}$: Anteil Konstantfahrt (k), Beschleunigung (b) bzw. Verzögerung (v) auf dieser Strecke

$EF_{T50/T30}^{k,b,v}$: mittlerer Emissionsfaktor bei T50/T30 für Konst. (k), Beschl. (b) bzw. Verz. (v)

mit

- $p^k + p^b + p^v = 1$ (stillstandsbereinigt)
- $p^b / p^v \approx 1,16$ (abgeleitet aus Messfahrten)

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

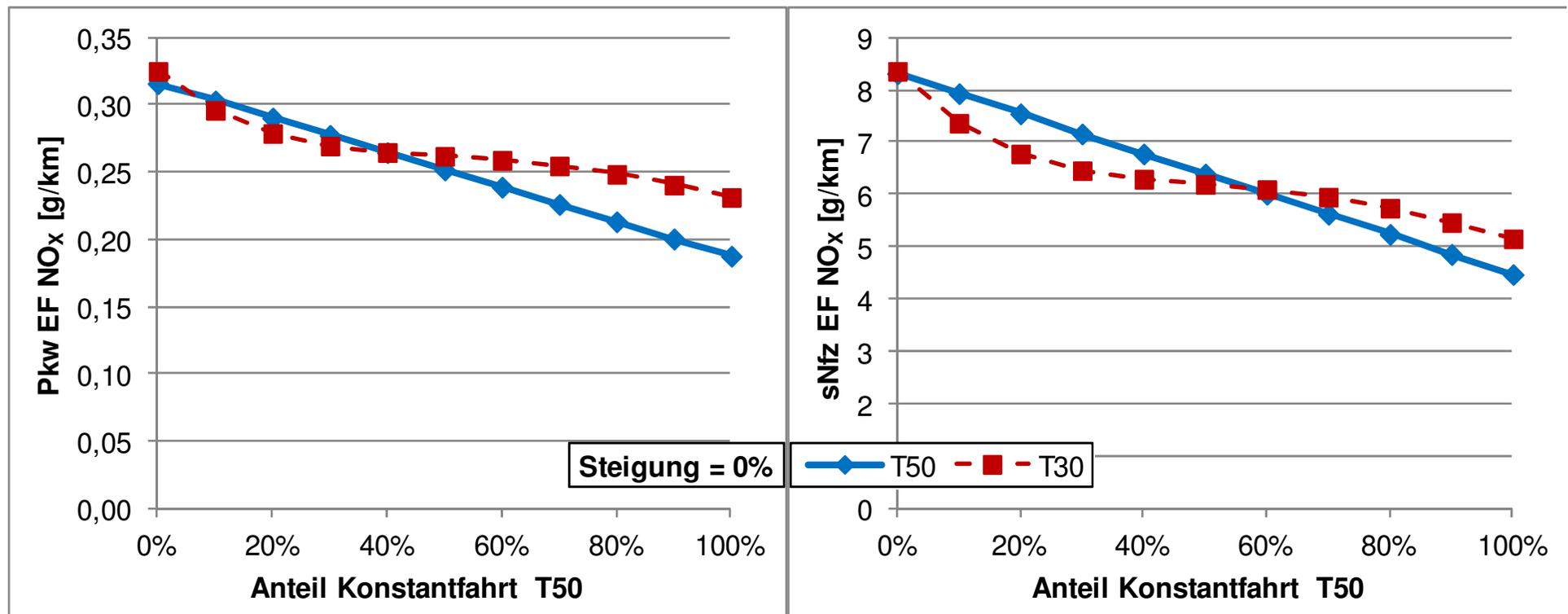
mit

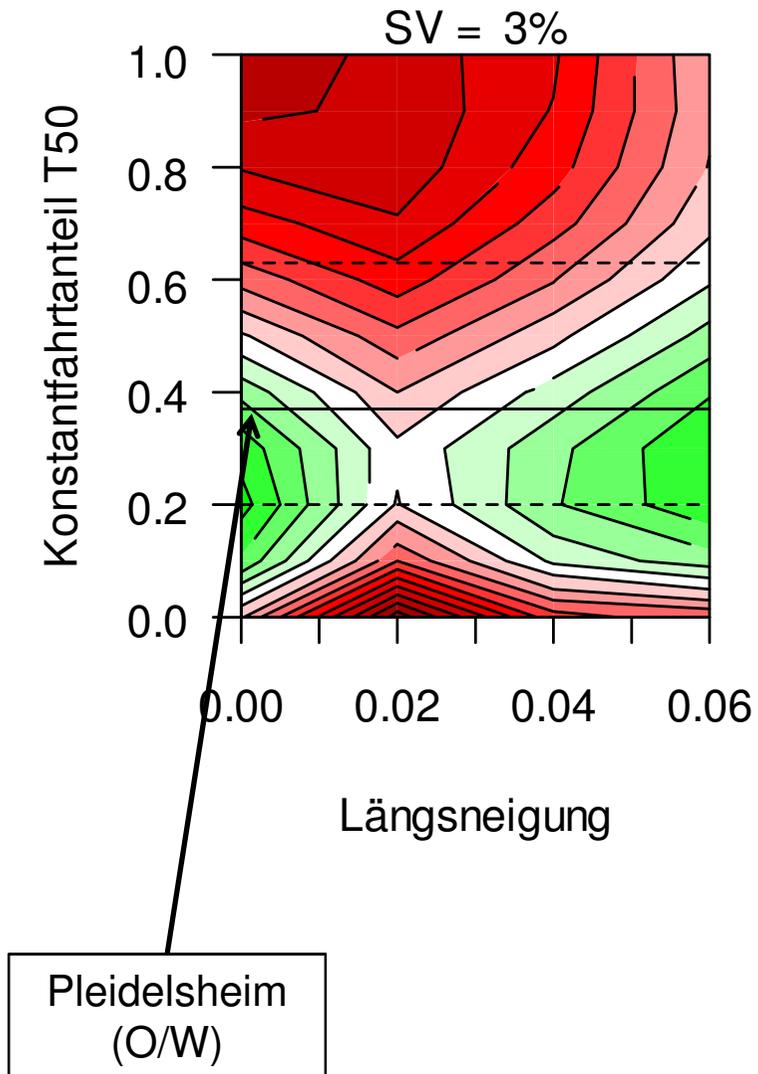
- $p_{T30} \approx p_{T50} \cdot (1 + a \cdot (1 - p_{T50})^b)$

- Für eine gegebene Steigung lassen sich EF T50 und T30 für eine Gesamtstrecke als Funktion des Konstantfahrtanteils bei T50 annähern

Mittlerer Emissionsfaktor für Gesamtstrecke T50 / T30

EF T50 und T30 für eine Gesamtstrecke als Funktion des **Konstantfahrtanteils** bei **T50** für ebene Strecken





Wirkungsrichtung T30 für Gesamtstrecke

abhängig von

- mittlerer Längsneigung der Strecke
- Konstantfahrtanteil bei T50
- Schwerververkehrsanteil (SV)

rot = Zunahme

grün = Abnahme

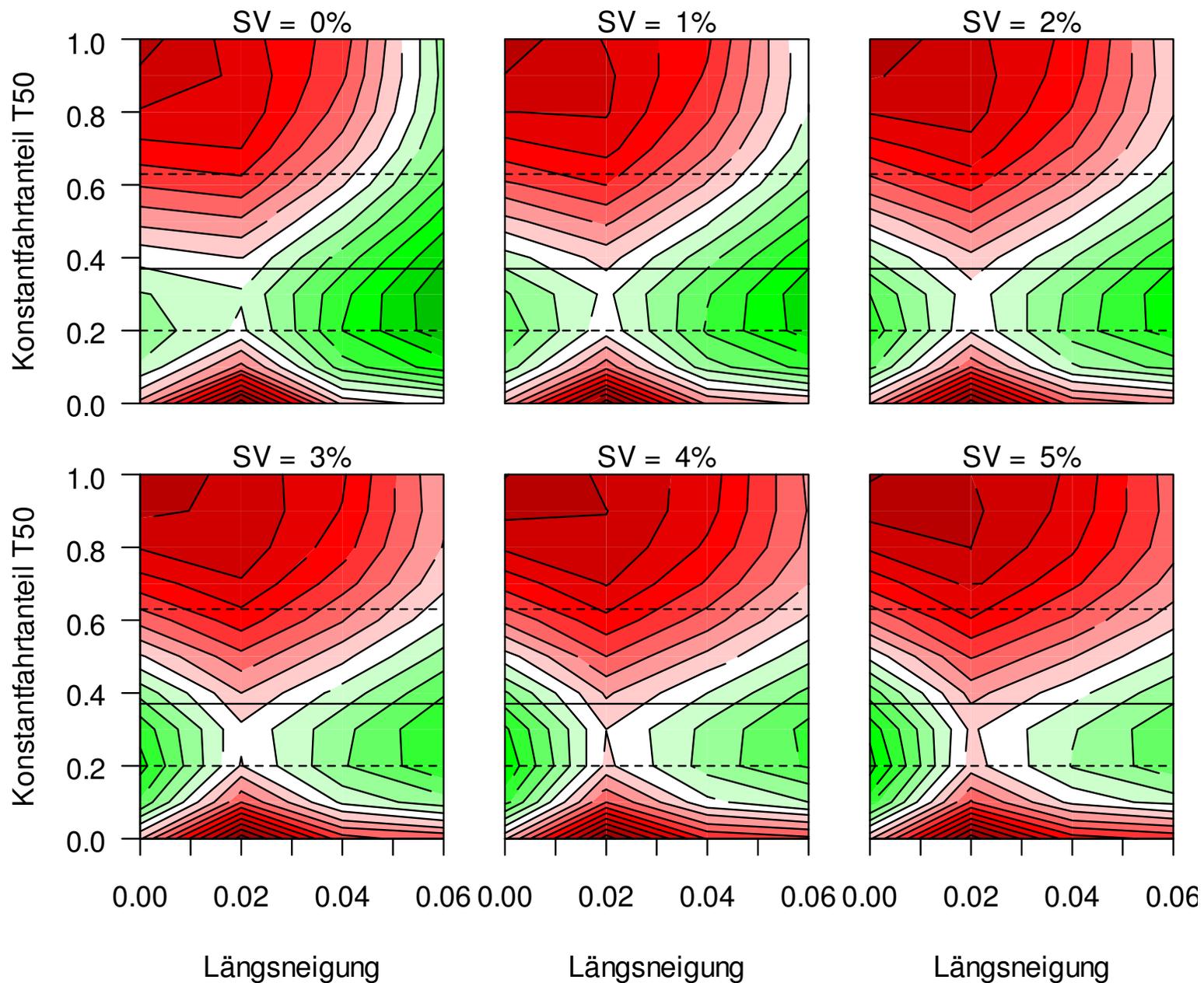
durchgezogene Linie:

mittlerer Konstantfahrtanteil T50
auf allen Messstrecken,

gestrichelte Linien:

Spannbreite der mittleren Konstantfahrtanteile T50
auf den einzelnen Messstrecken

Ersteinschätzungsschema NO_x



Abgasbedingte PM10-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

- **Wirkung in nahezu allen Situationen negativ**

PM10 (gesamt) = PM10 (Abgas) + PM10 (Aufwirbelung) + PM10 (Abrieb)

- **PM10 (Abgas):**
Bestimmung durch Messfahrten: nahezu überall Zunahmen durch T30
- **PM10 (Aufwirbelung) + PM10 (Abrieb):**
BASt 2010^(*): Abnahmen bis zu 10% durch T30

Aufwirbelung und Abrieb tragen i.d.R. deutlich stärker zu PM10 (gesamt) bei als das Abgas, daher:

- **Positive Auswirkungen von T30 auf die Feinstaub-Gesamtemissionen sind möglich**

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

Erforderliche **Eingangsdaten** bei Anwendung des Ersteinschätzungsschemas auf neuen Strecken

1. mittlerer Anteil Schwerverkehr
2. mittlere Längsneigung
3. mittlerer Anteil Konstantfahrt bei T50

Punkt 1 und 2: einfach zu ermitteln

Abschätzung des **mittleren Konstantfahrtanteils bei T50**

Optimal: Messfahrten,

ansonsten zwei Verfahren zur Abschätzung

Fall 1: Störungen sind überwiegend „**intern**“,
d. h. durch die Fahrzeuge selbst, bedingt:
→ Bestimmung über **Proportionalität zu DTV**

Fall 2: Störungen sind überwiegend durch „**externe**“ Hindernisse bedingt:
→ Bestimmung über **Gewichtung von Störstellen**

Abschätzung Konstantfahrtanteil

Bei überwiegend „intern“ (durch die Fahrzeuge selbst) bedingten Störungen des Verkehrsflusses:

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

mit:

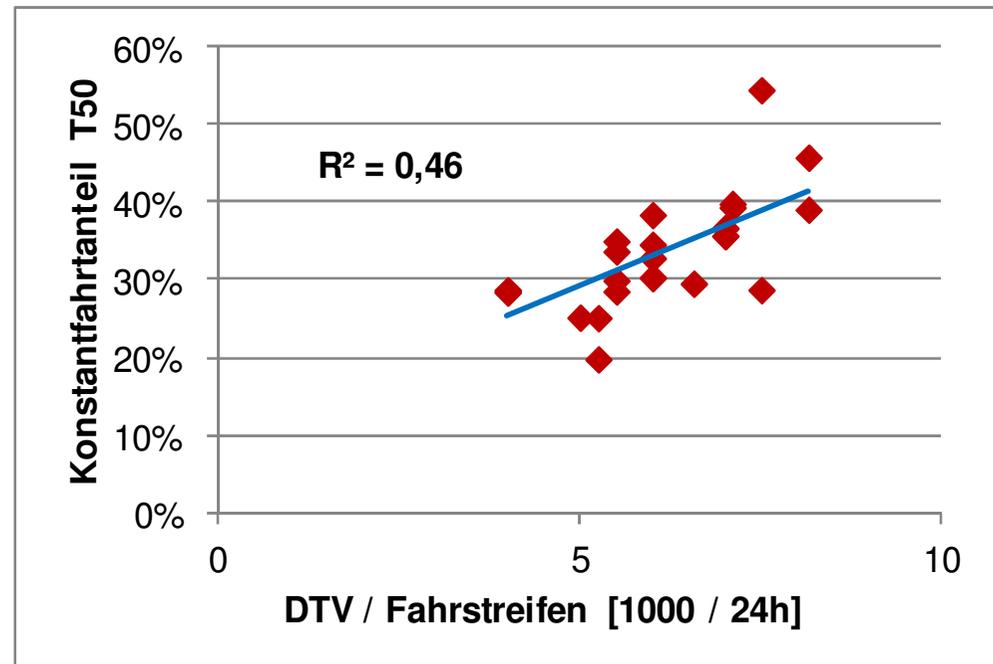
DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge [Kfz/24h],

FS = Anzahl Fahrstreifen im Querschnitt

Datenbasis:

Werte zwischen $DTV = 4.000 \text{ Kfz}/24\text{h}/FS$ und $DTV = 8.000 \text{ Kfz}/24\text{h}/FS$

(„gebundener Verkehr“)



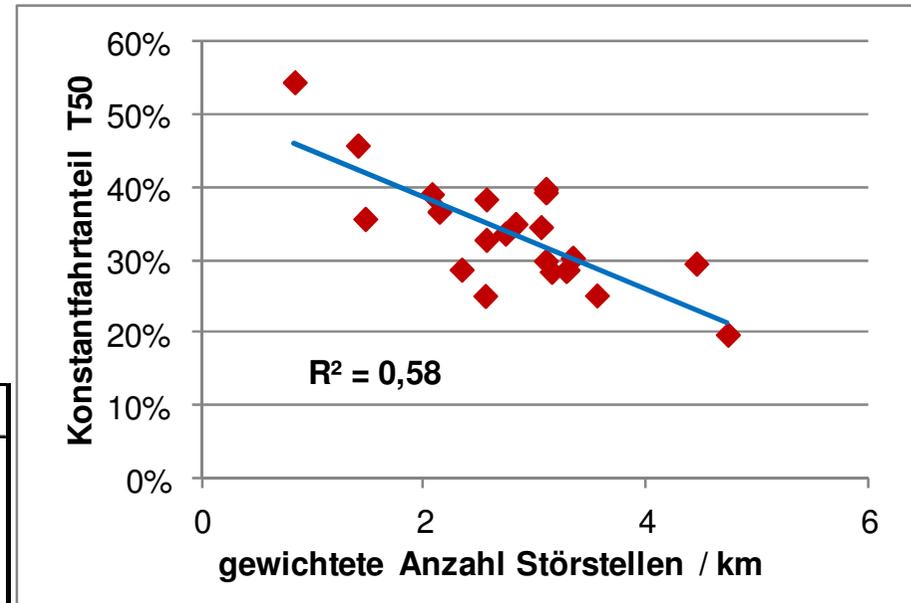
Abschätzung Konstantfahrtanteil

Bei überwiegend „extern“ (LSA, Kreisverkehr, starke Richtungsänderung, eingeschränkter Begegnungsverkehr, Linksabbieger) bedingten Störungen des Verkehrsflusses :

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

mit gAS = mit Wirkungsintensität gewichtete Anzahl der Störstellen pro Kilometer

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



Vorgehen:

- 1.) Erfassung aller relevanten Störstellen / km
- 2.) Einschätzung der Wirkungsintensität pro Störstelle (groß, mittel, klein)
- 3.) Gewichtung gemäß der Wirkungsintensität:
groß (100%), mittel (50%), klein (10%)

Vergleich Testfahrten – Ersteinschätzung

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

Auf den meisten Strecken:
gute Übereinstimmung
von Messfahrt und
Ersteinschätzung

Urbach:
zwei KVP, T50 stärker
beeinflusst als T30

Schramberg:
hohe Steigung (bis 10%)
hoher SV-Anteil (8%)
→ beide vorgestellten
Methoden unterschätzen
Konstantfahrtanteil T50

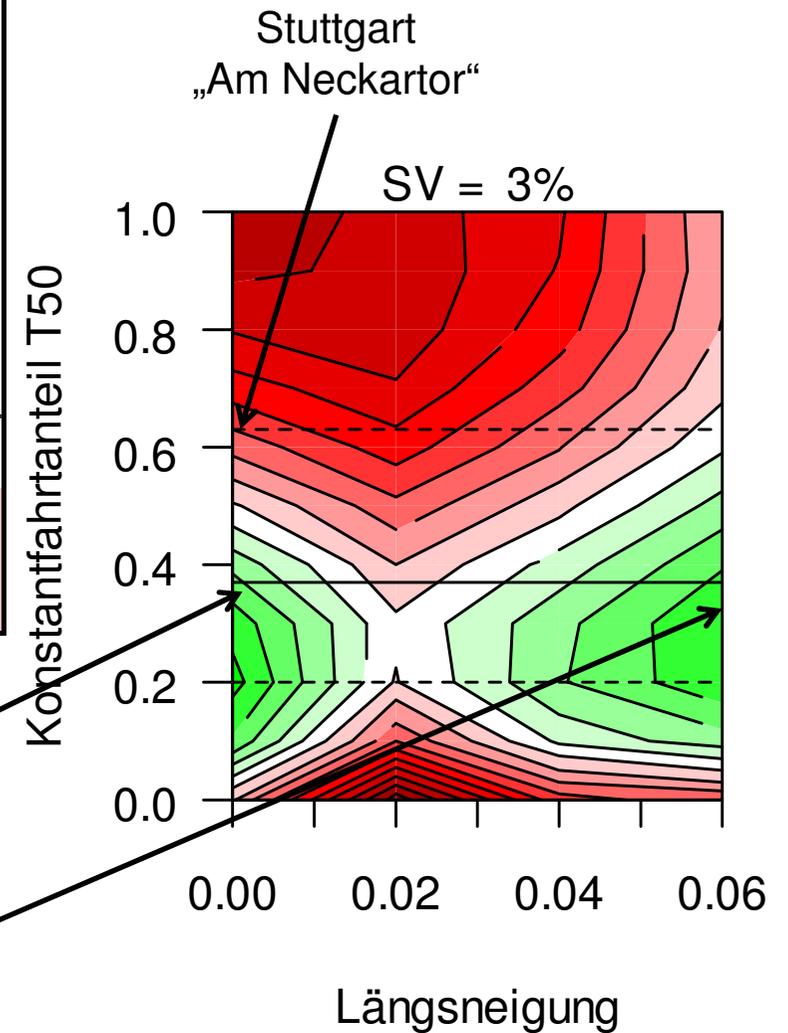
Unterjesingen:
Konstantfahrtanteil so
hoch, dass kleine
Änderungen der
Eingangsdaten die
Wirkungsrichtung
„drehen“ können

AVISO-Teststrecken: Änderungen der NO_x Emissionen durch T50 → T30: -1% bis -10%

1. Anwendungsbereich: Wertebereich der Eingangsdaten
 - Streckenlänge > 450 m:
Ausgleich von Ausroll- und Beschleunigungsphasen vor und nach Störung
 - DTV zwischen 4.000 und 8.000 Kfz pro Fahrstreifen und Tag
 - Verkehrsablauf bleibt durch T30 zumindest gleich (Anpassung Koordinierungen etc.)
2. Wenn Bedingungen erfüllt: Bestimmung von
 - mittlerer Längsneigung
 - Anteil Schwerverkehr
 - Anteil Konstantfahrt T50
3. Ersteinschätzung Wirkungsrichtung NO_x aus Diagramm ablesen
4. Bei Hinweisen auf positive Wirkung bei NO_x
 - Durchführung von Messfahrten zur Quantifizierung der zu erwartenden NO_x -Reduktion

Beispiele

	Pleidelsheim (O/W) (AVISO)	Freiberg (N/S) (AVISO)	Stuttgart "Am Neckartor" (TÜV Nord)
Eingangsdaten			
Streckenlänge	900 m	700 m	4.000 m
Verkehrsstärke	12.000 Kfz/Tag	8.000 Kfz/Tag	70.000 Kfz/Tag
mittlere Längsneigung	0%	8%	0%
Anteil SV	3%	3%	3%
Konstantfahrtanteil T50	35%	29%	62%
Wirkung auf NO_x			
Ersteinschätzung	Abnahme	Abnahme	Zunahme
Testfahrten	-3,5%	-4,2%	Zunahme



Pleidelsheim
(OW)

Freiberg
(N/S)

Datenbasis:

> 1.000 Testfahrten, etwa 225.000 sekundliche Messwerte, $>15 \times 10^6$ Datensätze

Zwei Effekte durch T50 → T30 auf NO_x Emissionen:

1. Erhöhung der EF für Konstantfahrt, Beschleunigung und Verzögerung
2. Verringerung der Beschleunigungsphasen (i.d.R. emissionsmindernd)

In Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten kann Effekt 1 oder Effekt 2 dominieren.

AVISO-Testfahrten:

Änderung der NO_x Emissionen zwischen -1% und -10%

Ersteinschätzungsschema T50 → T30 für neue Teststrecken:

Annahme: Gleiche Art und Anzahl an Störungen bei T50 und T30,
Wirkung auf NO_x Emissionen hängt ab von

- Längsneigung der Strecke
- Konstantfahrtanteil bei T50
- Anteil Schwerverkehr

PM10 (Abgas) und Kraftstoffverbrauch:

- In nahezu allen Situationen Zunahmen durch T30
- PM10 gesamt: Abnahmen aufgrund reduzierter Aufwirbelung/Abrieb möglich

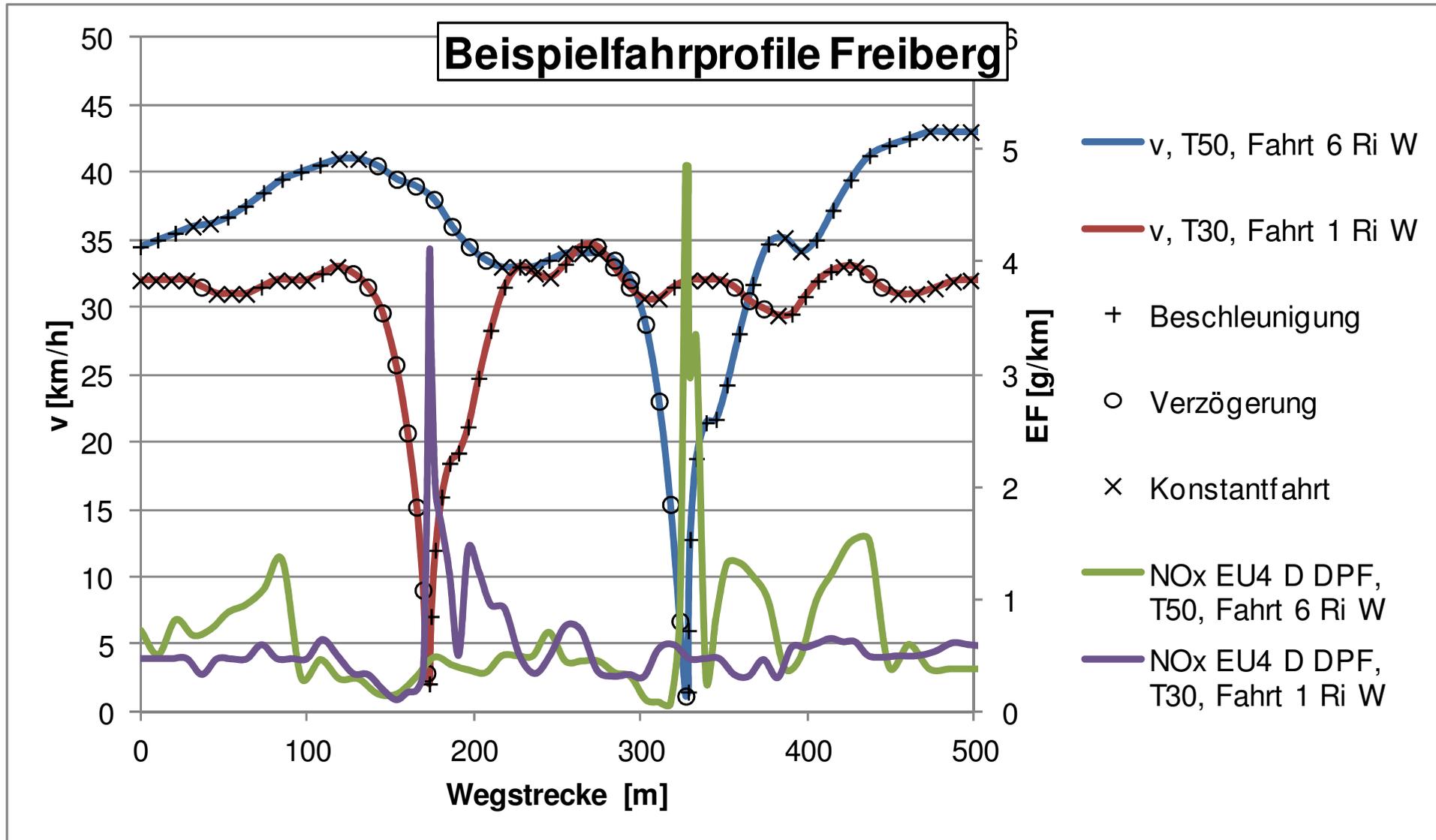
Quantitative Bestimmung der Emissionsänderungen:

- nur durch Testfahrten möglich



Vielen Dank!

Beispiel: Konstantfahrtanteile T50 / T30



Konstantfahrtanteil bei T50

