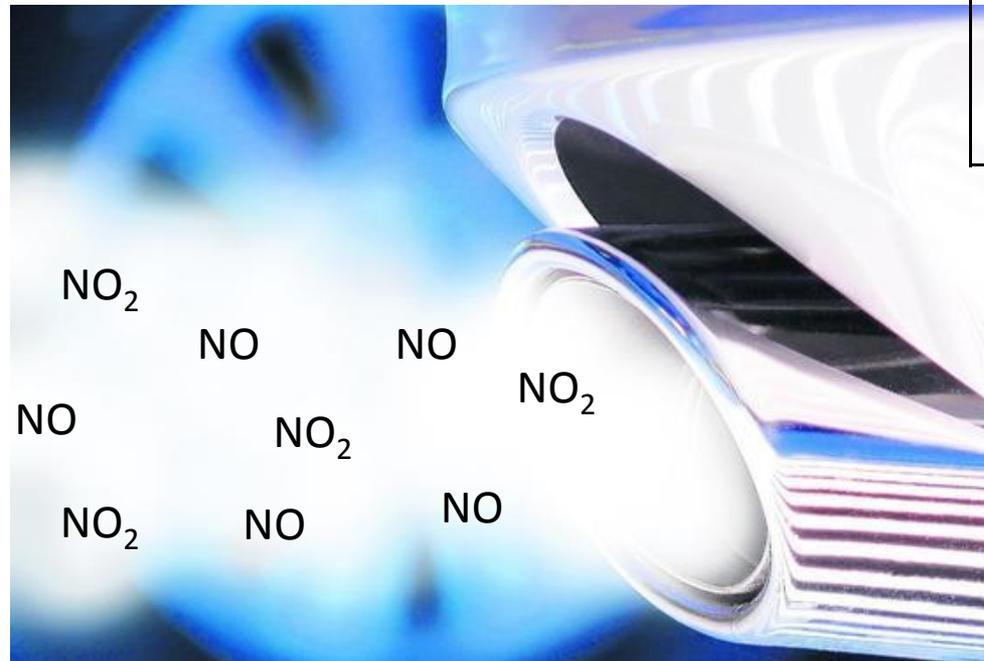




# Langjährige Hinweise für zu hohe Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ) Fahrzeugemissionen (unter realen Fahrbedingungen)

Deutscher Bundestag  
5. Untersuchungsausschuss  
der 18. Wahlperiode  
Ausschussdrucksache  
18(31)40a



Bildquelle:

**VDI nachrichten**  
TECHNIK WIRTSCHAFT GESELLSCHAFT

2.10.2015 Ausgabe 40  
Dicke Luft  
+ eigene NO,  $\text{NO}_2$  Beschriftung

Dr. Denis Pöhler

*Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg*



# Stickoxide



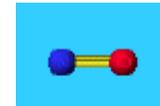
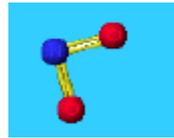
Stickoxide  
 $\text{NO}_x$

=  
=

Stickstoffdioxid  
 $\text{NO}_2$

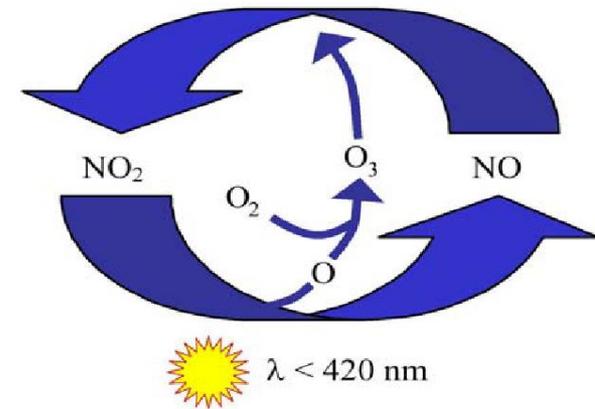
+  
+

Stickstoffmonoxid  
 $\text{NO}$



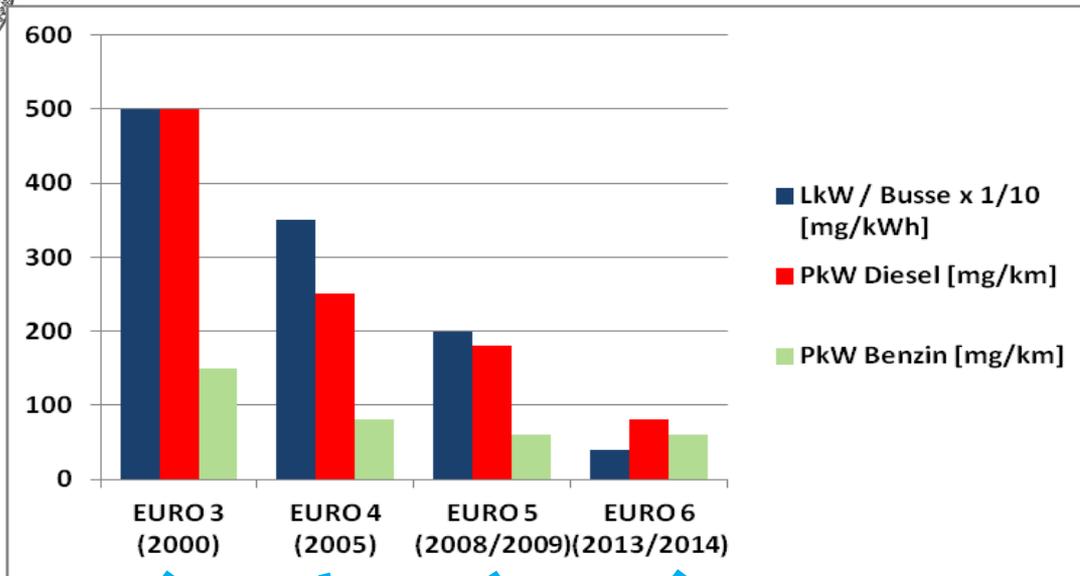
**- Stark toxisch**  
**- Luftschadstoff Nr. 1 in Deutschland**

- Photochemisches Fließgleichgewicht mit Ozon
- Gesamtbetrachtung der Gase nötig



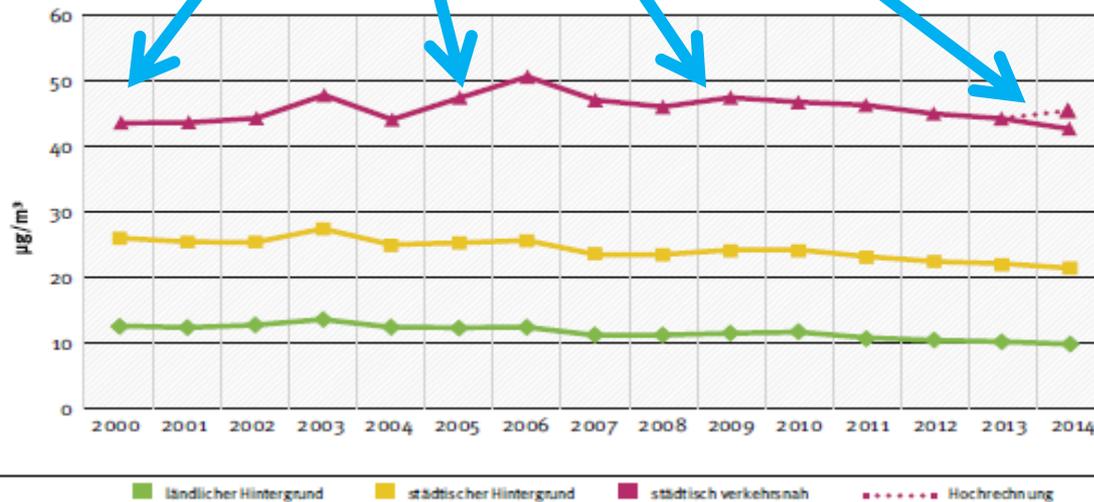


# NO<sub>x</sub> Emissionsgrenzwerte, NO<sub>2</sub> Immissionen



→ deutlich strengere Emissionsgrenzwert

Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Mittel über alle Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000–2014.

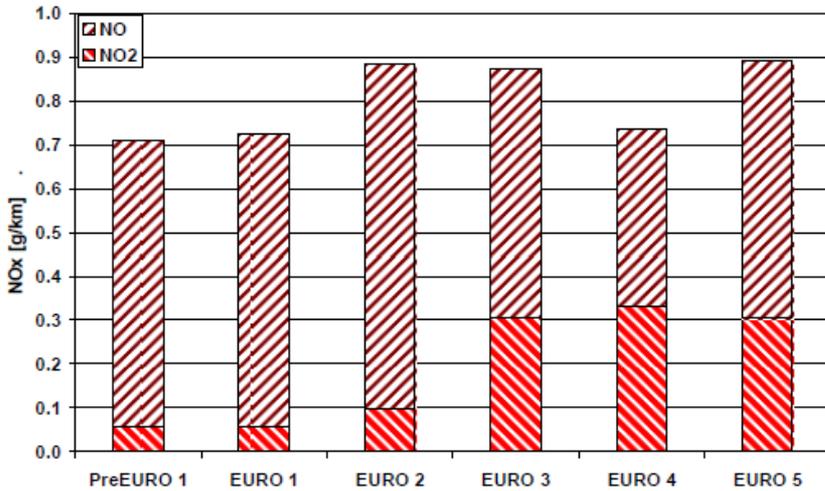


→ zeigen keine Verbesserung  
→ Belastung seit Jahren gleich hoch

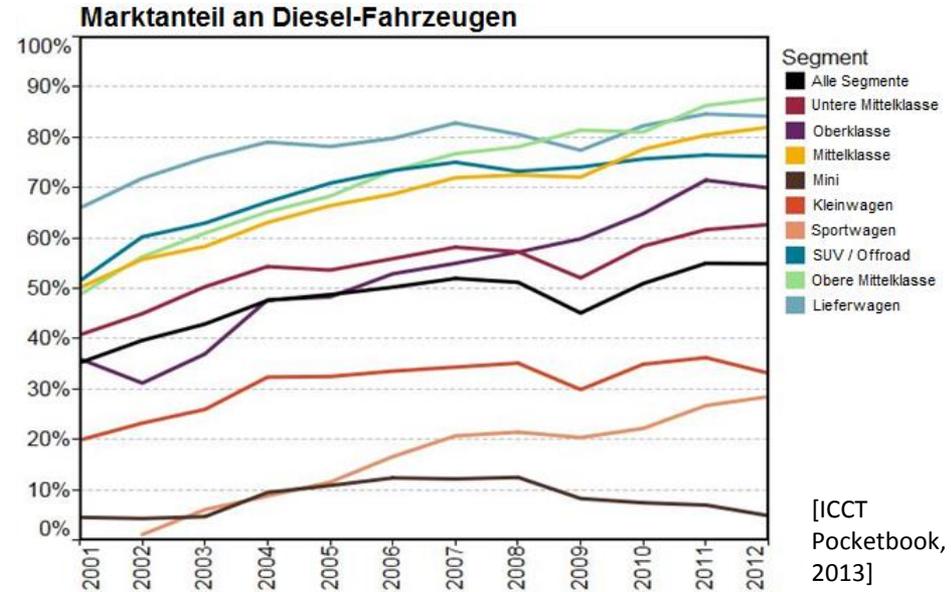
[Umweltbundesamt, Dessau 2015  
Luftqualität 2014, Vorläufige Auswertung]



# Veränderung Deselemission / Marktanteil



NO<sub>x</sub> Emissions von Diesel PKW (CADC 1/3 Mix)  
[Hausberger, 2010]



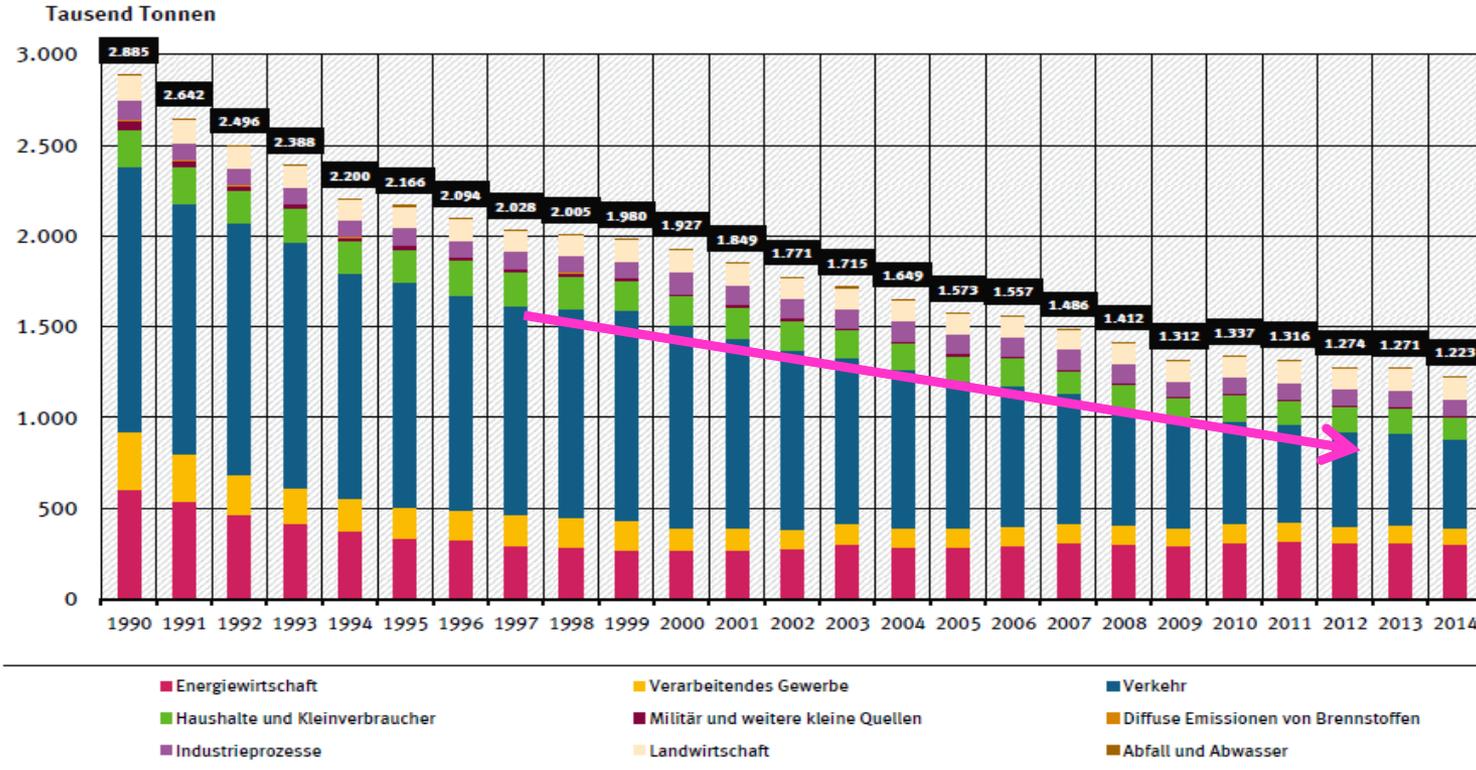
[ICCT  
Pocketbook,  
2013]



# Statistische (berechnete) Gesamtemission



Stickstoffdioxid (NO<sub>x</sub>, gerechnet als NO<sub>2</sub>) -Emissionen nach Quellkategorien



[Umweltbundesamt, 2016]

- deutliche Abnahme der Immission erwartet [z.B. IFEU, 2007]
- widerspricht Messungen

→ Reale Emissionen (RDE) nehmen mit neuen EURO Norm kaum ab



**EU Kommission** – Mitteilung an das Parlament Dez. **2013**, The Clean Air Policy Package Summary Report (Document 52013SC0532):

*“Dieselemissionen sind hauptverantwortlich für die Überschreitung der  $\text{NO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Grenzwerte. **Obgleich die  $\text{NO}_x$ -Emissionsgrenzwerte für Diesel-PKWs zwischen 1993 und 2009 (Übergang von Euro 1 zu Euro 5) um das Vierfache verschärft wurden, haben nach Schätzungen die durchschnittlichen  $\text{NO}_x$ -Emissionen unter realen Fahrbedingungen leicht zugenommen.“***

**Ministerium für Verkehr und Infrastruktur BW**, Hintergrundinformation **Luftqualität 2014, 2015:**

*„Ein wesentlicher Grund für die nur geringe Abnahme der  $\text{NO}_2$ -Belastung an den städtischen Spottmessstellen liegt darin, dass **die  $\text{NO}_x$ -Emissionsminderungen bei Kraftfahrzeugen deutlich schwächer ausfallen, als dies die Kfz-Euro-Normen erwarten lassen.** Die Abgasgrenzwerte von neuen Fahrzeugen wurden zwar Schritt für Schritt abgesenkt. Jedoch sind **die Prüfzyklen**, mit denen die Einhaltung der Grenzwerte bei der Zulassung der Kraftfahrzeugtypen überprüft wird, **nicht repräsentativ für die innerstädtisch auftretenden Fahrzustände.“***

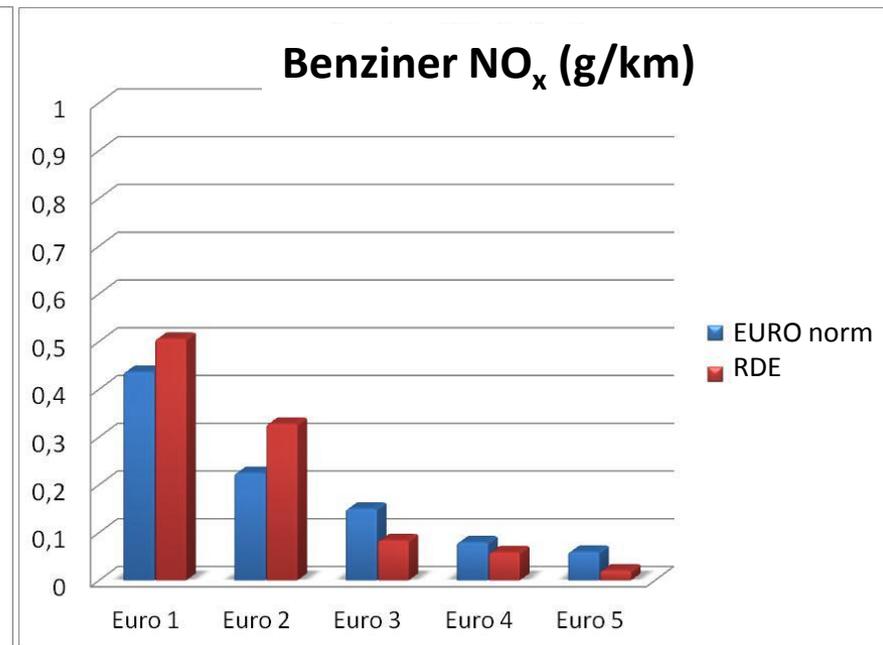
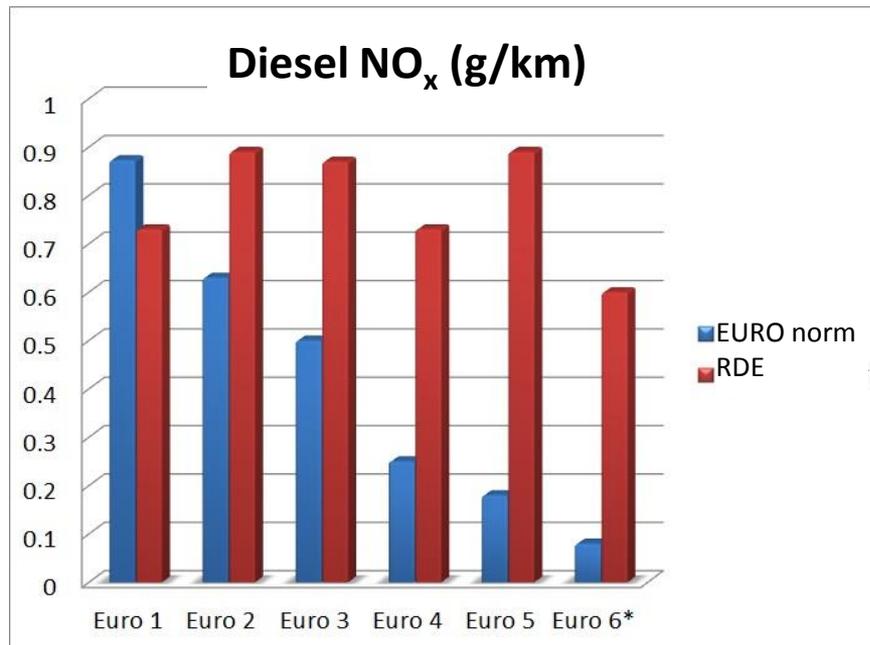


# Publikationen zu "realen NO<sub>x</sub> Emissionen" (RDE)



- 2006 Hausberger : keine RDE Minderung durch EURO 5 erwartet
- 2009 HBEFA 3.1: EURO 5 RDE gleich zu EURO 4
- 2010 Hausberger:

**Emissionen für Prüfzyklus bereits optimiert, „Eine Verbesserung bedarf also insbesondere einer Adaption des Typprüfzyklus.“**



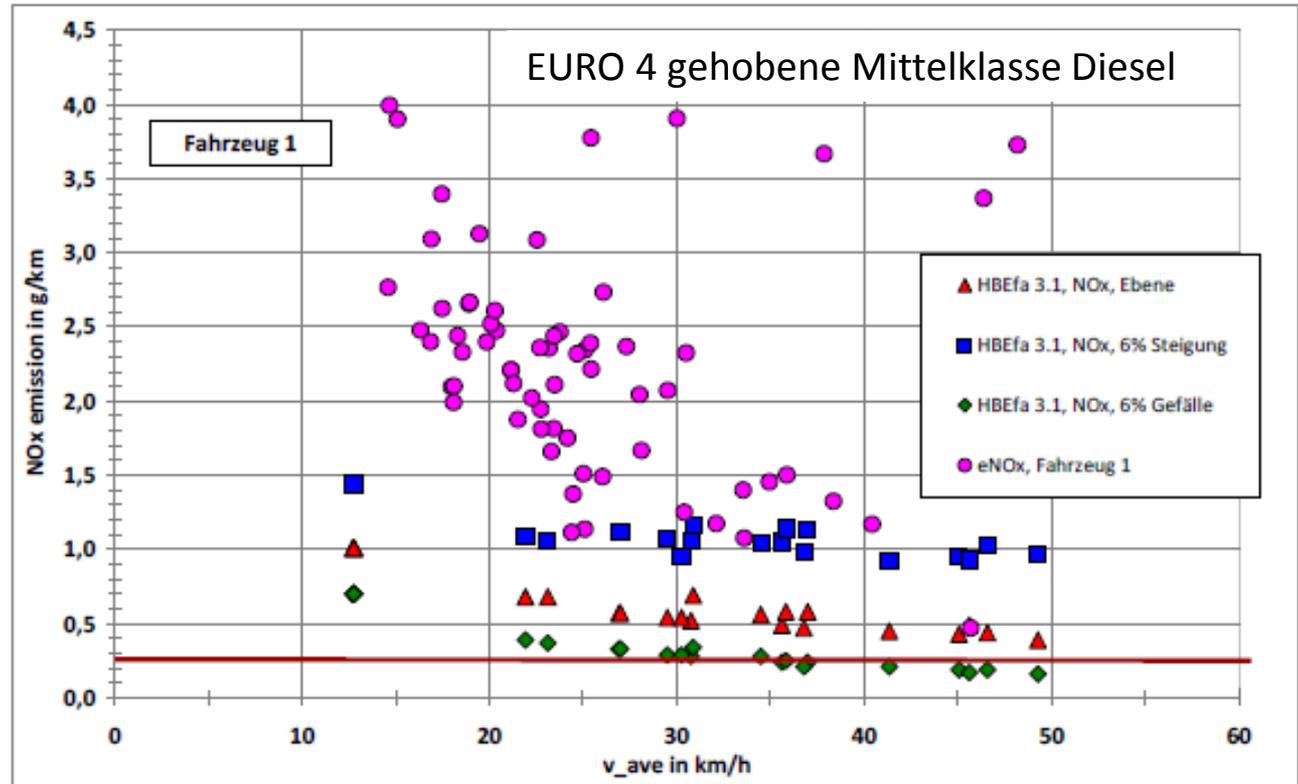
Hausberger, 2010; \*Franco et al., 2014



# Publikationen zu "realen NO<sub>x</sub> Emissionen" (RDE)



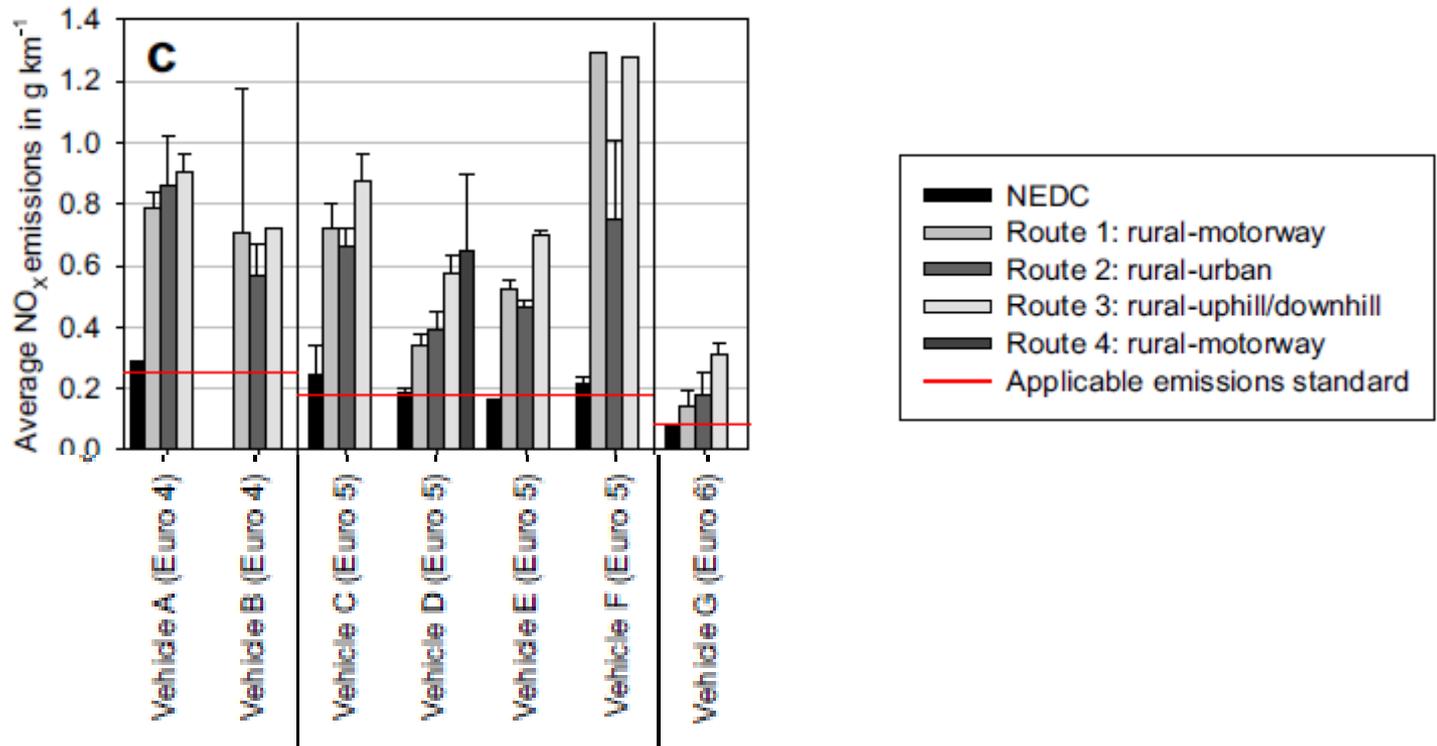
- 2011 LUBW:  
EURO 4 NO<sub>x</sub> RDE liegen bis 10x über Grenzwert und deutlich über HBEFA 3.1 Emissionen



reale EURO 6 Emissionsminderung bleibt nachzuprüfen



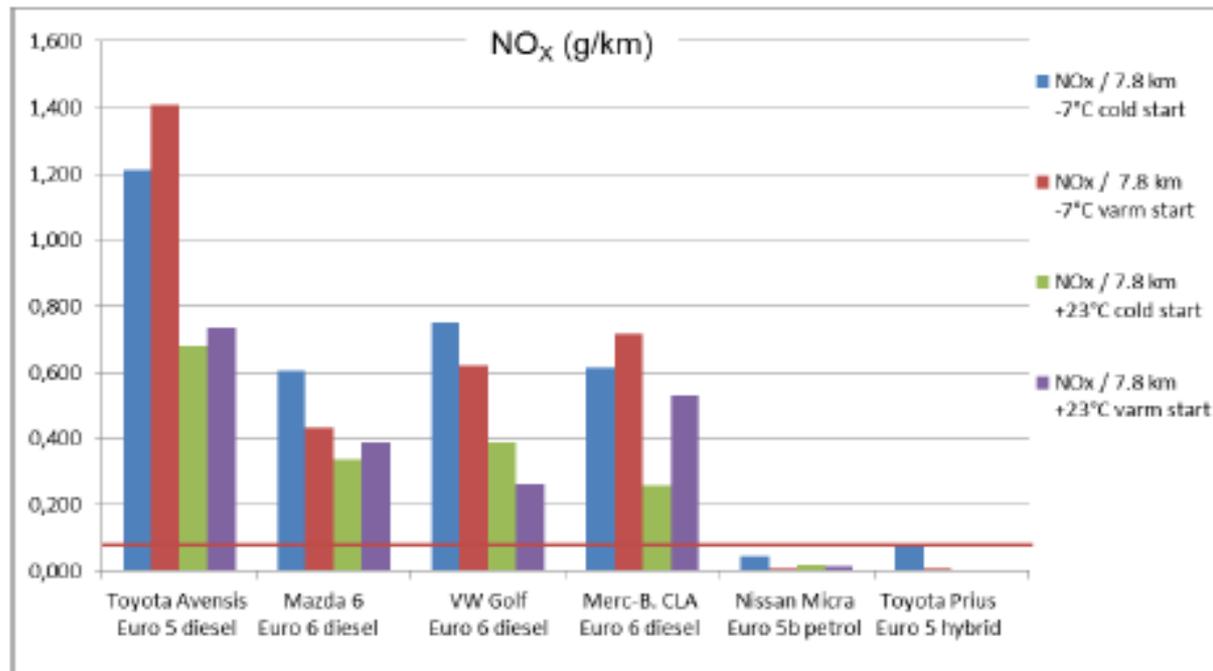
- 2012 Weiss et al., Europäische Kommission:  
**NO<sub>x</sub> RDE (Diesel) bis EURO 5 steigt eher an**



- 2013 Carslaw und Rhys-Tyler:  
**konstant hohe RDE neuer EURO 3 – Euro 5 Diesel-PKW**

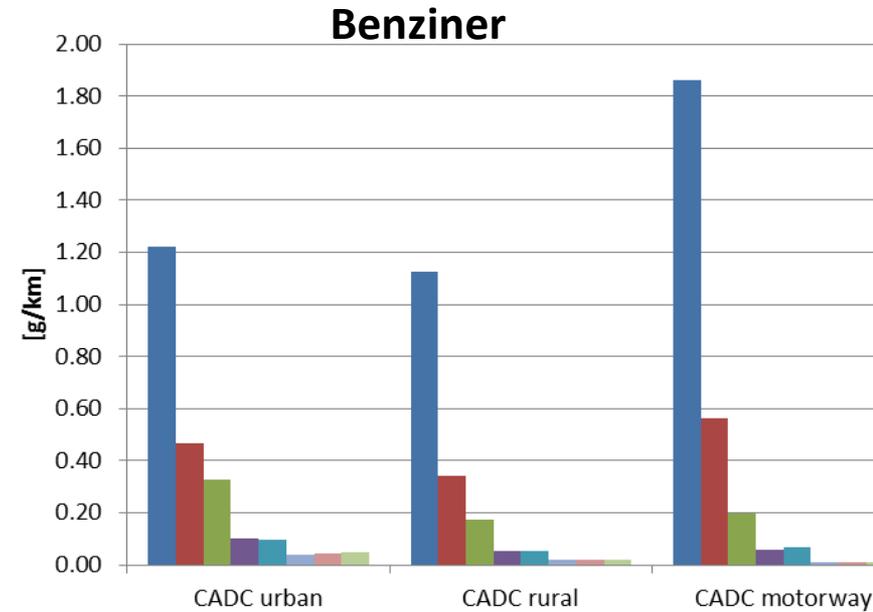
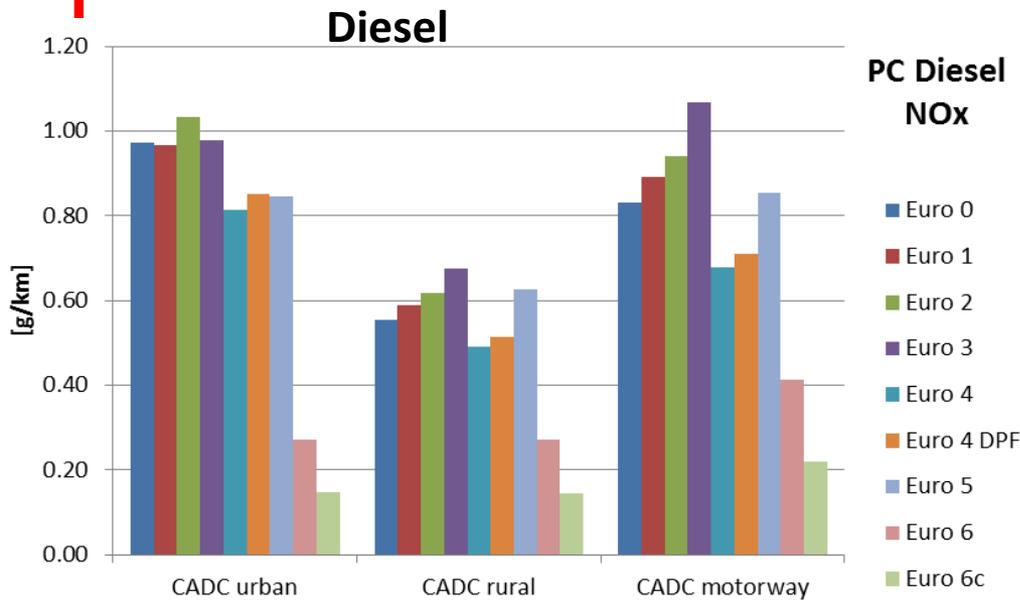


- 2013 Hogman und Amundsen, TOI Report:  
**EURO 5 und 6 Diesel PKW RDE bis ca. 10 Mal über der EURO Norm.**





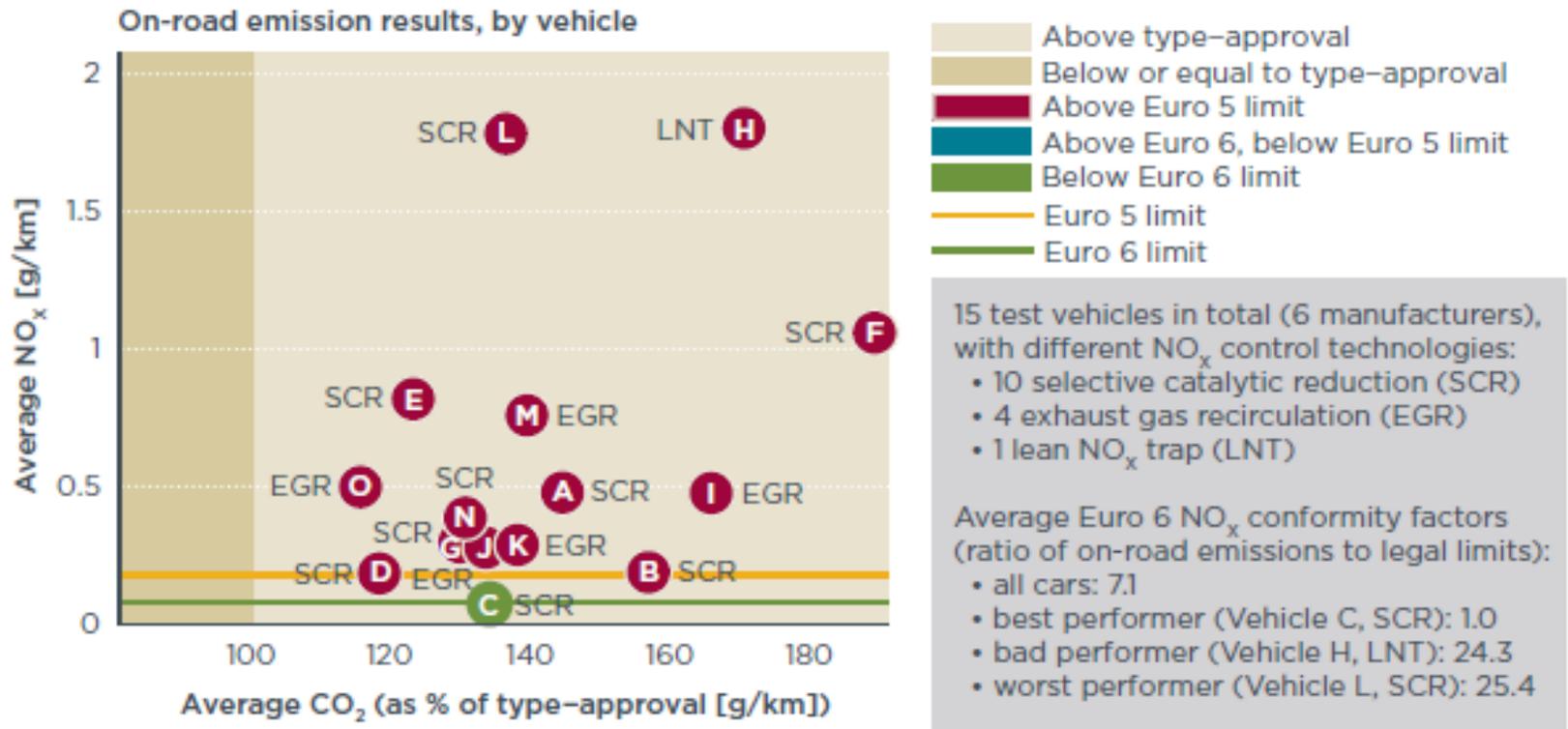
- 2013 Rexeis et al., HBEFA Version 3.2:  
**Zusammenfassung: RDE von Dieselfahrzeugen liegen vielfaches über den EURO Normen.**



- 2014 Chen und Borken-Kleefeld:  
**starker Anstieg der NO<sub>x</sub>-RDE (Diesel) 1995 bis 2000 und danach konstant hoch**



- 2014 Franco et al.:  
**moderne Dieselfahrzeuge im RDE eine vielfache Überschreitung der EURO Norm**





- 2014 Kanatschnig et al.:  
**Mobile Emissionsmessungen bestätigen hohe Diesel RDE  
starke Variation der Emissionen für verschiedene Fahrzeuge**
- 2015 TNO:  
**NO<sub>x</sub>-RDE bei EURO 4 – EURO 6 Fahrzeugen deutlich über  
Typzulassung**
- 2015 LUBW:  
**EURO 6 RDE (VW Passat CC) 10-fach über der EURO Prüfazulassung**
- und viele weitere





- **Spätestens seit 2010 erhöhte RDE Emissionen bekannt**
- **DUH [2011] informiert Bundesverkehrsministerium** auf mögliche Abschaltvorrichtungen  
→ **Das BMVBS erklärt, das Problem zu kennen.**
- DUH [2011] präsentiert explodierende RDE NOx Emissionen eines BMW  
→ Bundesregierung zum Handeln aufgefordert  
→ keine Reaktion von Ministerium bzw. Kraftfahrtbundesamt
- DUH [2014] Kontakt mit Bundesumweltministerium  
→ Antwort: die „**Emissionsminderungen ... hinter den Erwartungen zurückblieben**“.  
*„Nach hiesigem Kenntnisstand **erfüllen die Hersteller jedoch dessen ungeachtet die Anforderungen der EU-Abgasvorschriften, so dass keine rechtliche Handhabe besteht, um technische Verbesserungen am Fahrzeug zu ‘verlangen’.**“*



- hohe RDE Emissionen und Ursachen der ungeeigneten Typrüfverfahren seit vielen Jahren bekannt
- illegale Abschaltvorrichtungen? → keine Informationen
- Fahrzeughersteller nutz(t)en im Wesentlichen gesetzlichen Spielraum aus
- aus den Erkenntnissen erfolgte geringes politisches Handeln
- Evtl. nicht genügend Druck von Behörden & Institutionen auf die Politik



## Reichen die neuen RDE Messungen aus?

→ NEIN

### Problematisch:

- hohe Geschwindigkeiten / Lasten
- unterschiedliche Umgebungsbedingungen
- verschleiß / alternde Fahrzeuge
- Variationen innerhalb eines Fahrzeugtyps
- umgerüstete Fahrzeuge
- nachträgliche „Manipulationen“
- andere Fahrzeugtypen: Zweiräder, Busse, LKW, ...



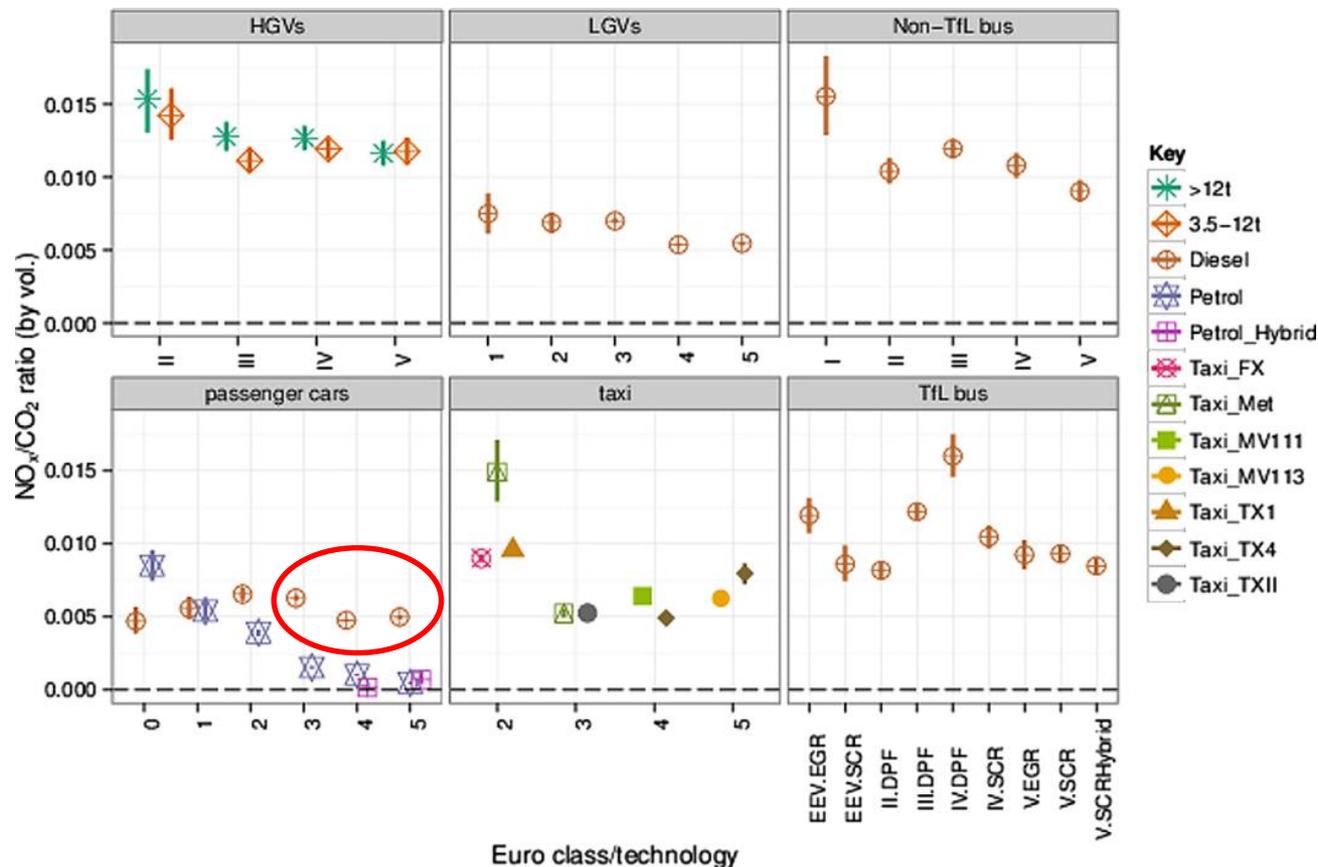
**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit**

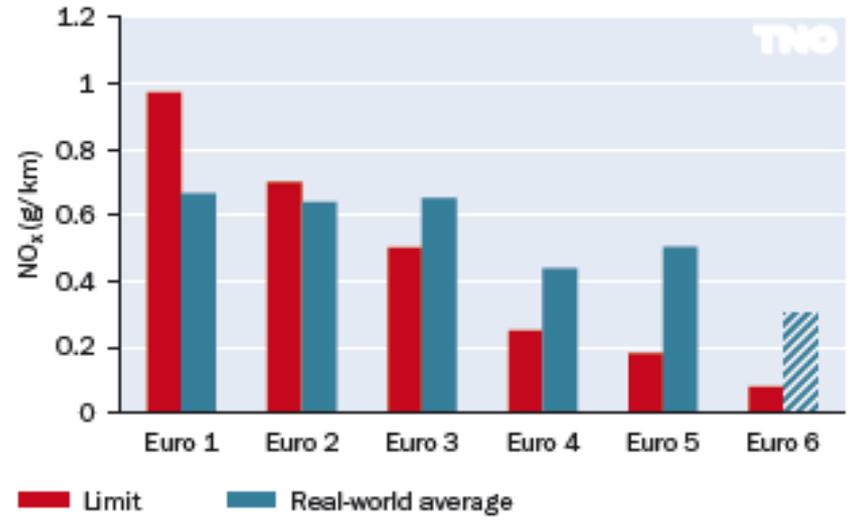


# Zusatzfolien



- Carslaw und Rhys-Tyler 2013: “The main finding from this work is that there is little evidence of Nox emissions reduction from all types of diesel vehicles over the past 15 to 20 years. It is only petrol passenger cars (including hybrids) where strong evidence exists for effective Nox control. The lack of Nox reduction in diesels is also apparent for vehicles with after-treatment specifically designed to reduce Nox.”





TNO 2015, Kradijk et al., Emissions of Nitrogen Oxides And Particulates of Diesel vehicles

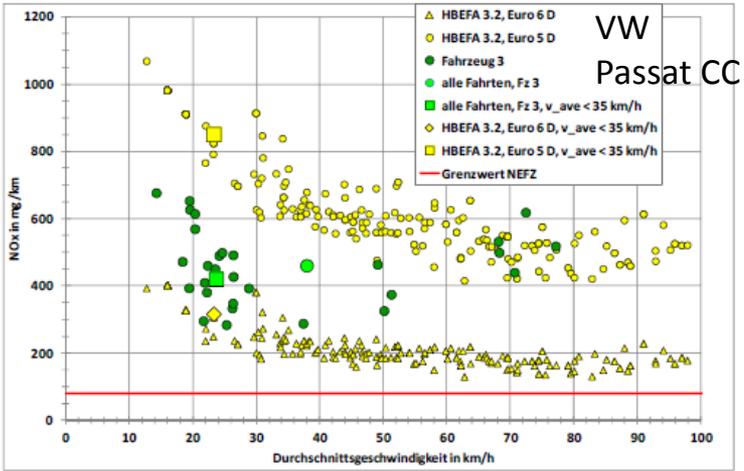


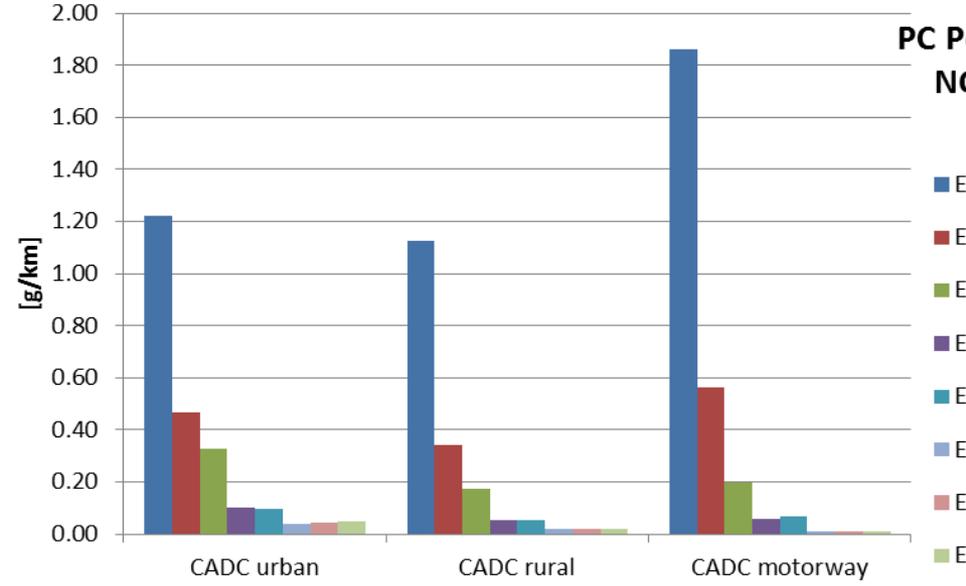
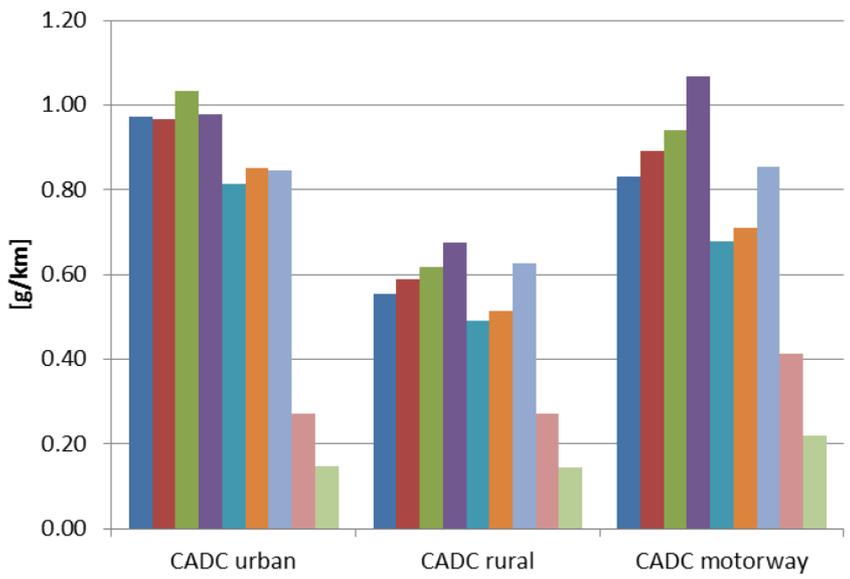
Abbildung 6-24: NO<sub>x</sub>-Emissionen der verschiedenen Fahrten für Fahrzeug 3 im Vergleich zu den Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.2

LUBW 2015, PEMS-Messungen an drei Euro 6-Diesel-Pkw auf Streckenführungen in Stuttgart und München sowie auf Außerortsstrecken

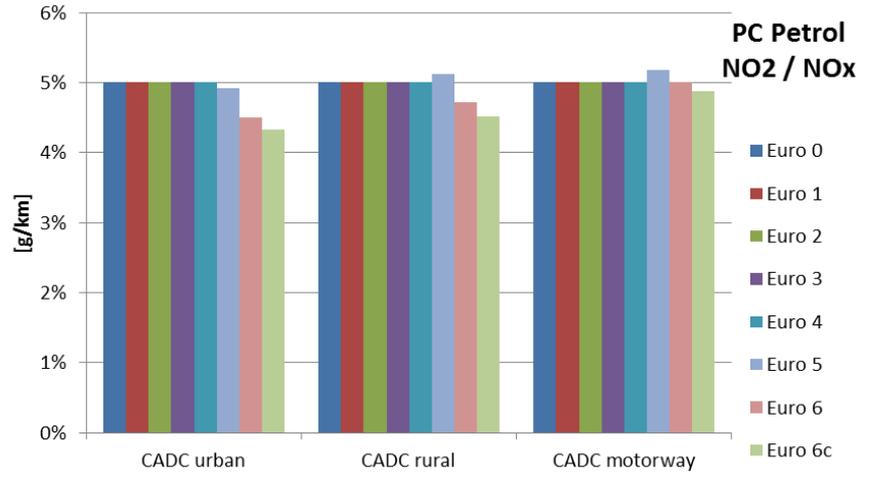
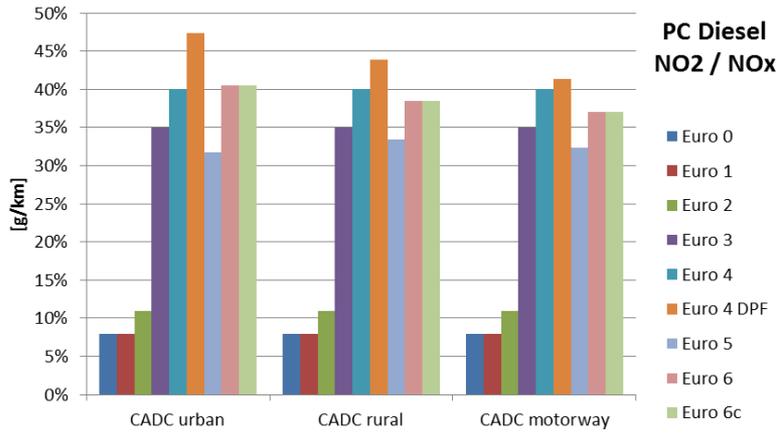
weise für zu hohe Stickoxid (NO<sub>x</sub>) Fahrzeugemissionen

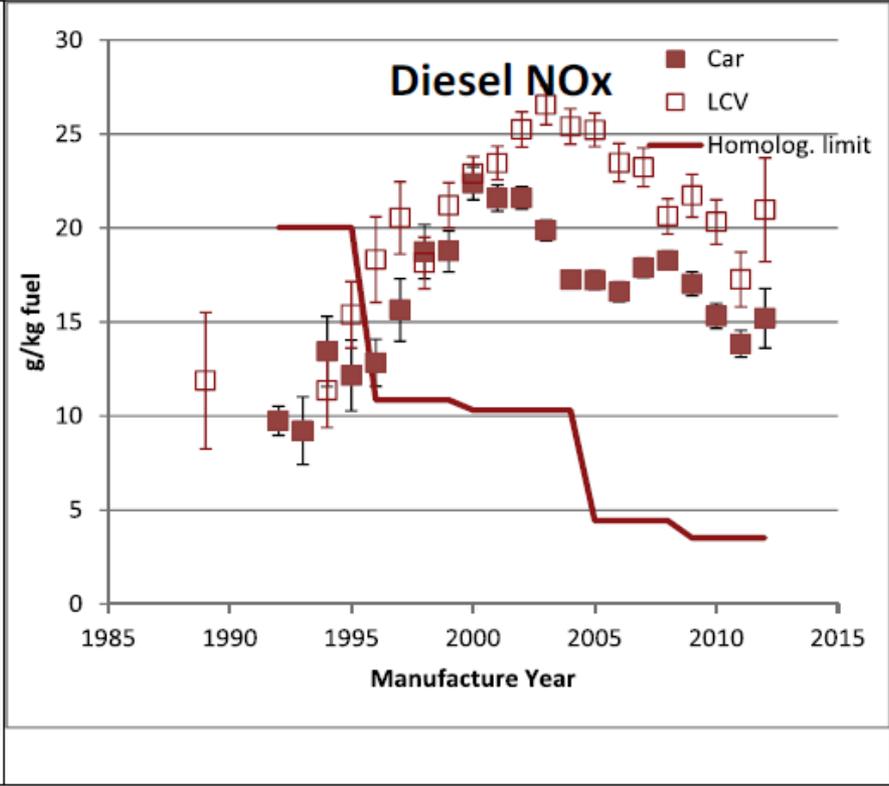
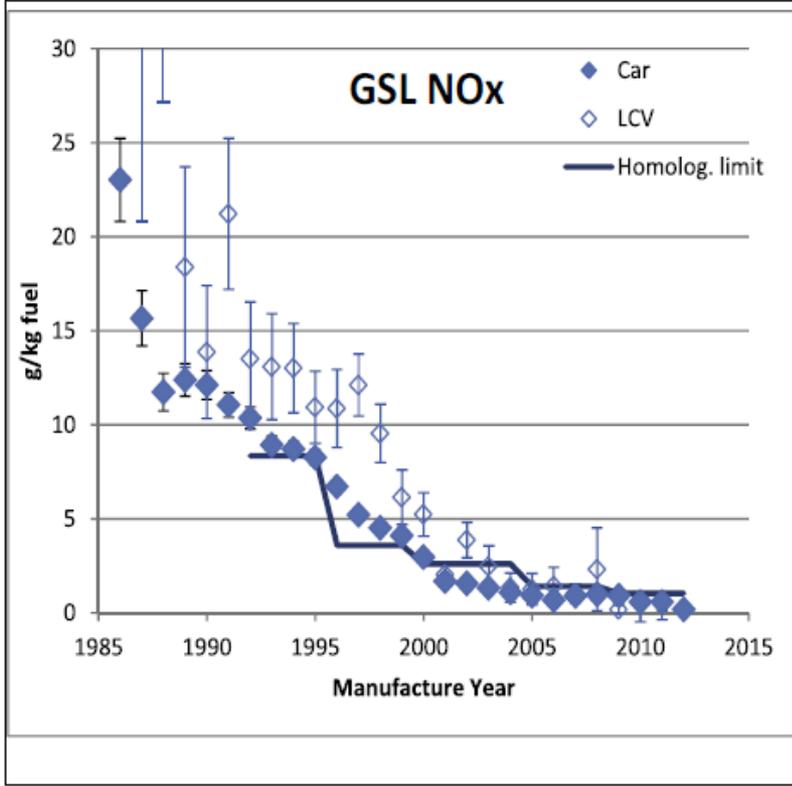


# Rexeis et al. 2013: Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.2



## Nox emission factors of the HBEFA3.2 average diesel cars in the CADC (diesel / gasoline)



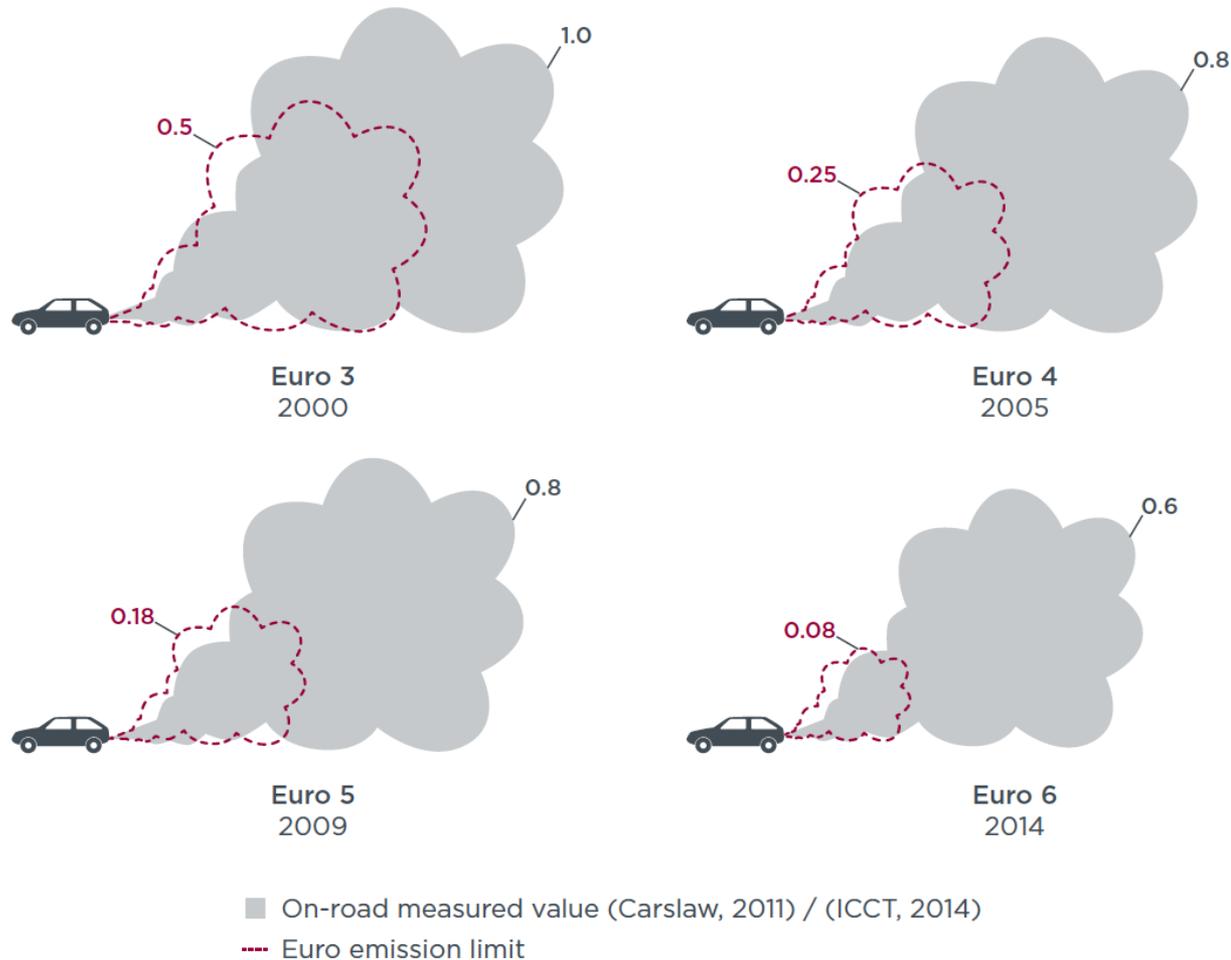


- Der Unterschied zwischen Testzyklus und RDE ist am ehesten durch einen unterschiedlichen Motorzustand in den jeweiligen Test zu erklären.
- Andere Emissionen sind davon nicht betroffen

Chen and Borken-Kleefeld, 2014, Real-driving emissions from cars and light commercial vehicles – Results from 13 years remote sensing at Zurich/CH, Atmosph. Environ. 88, -1.5



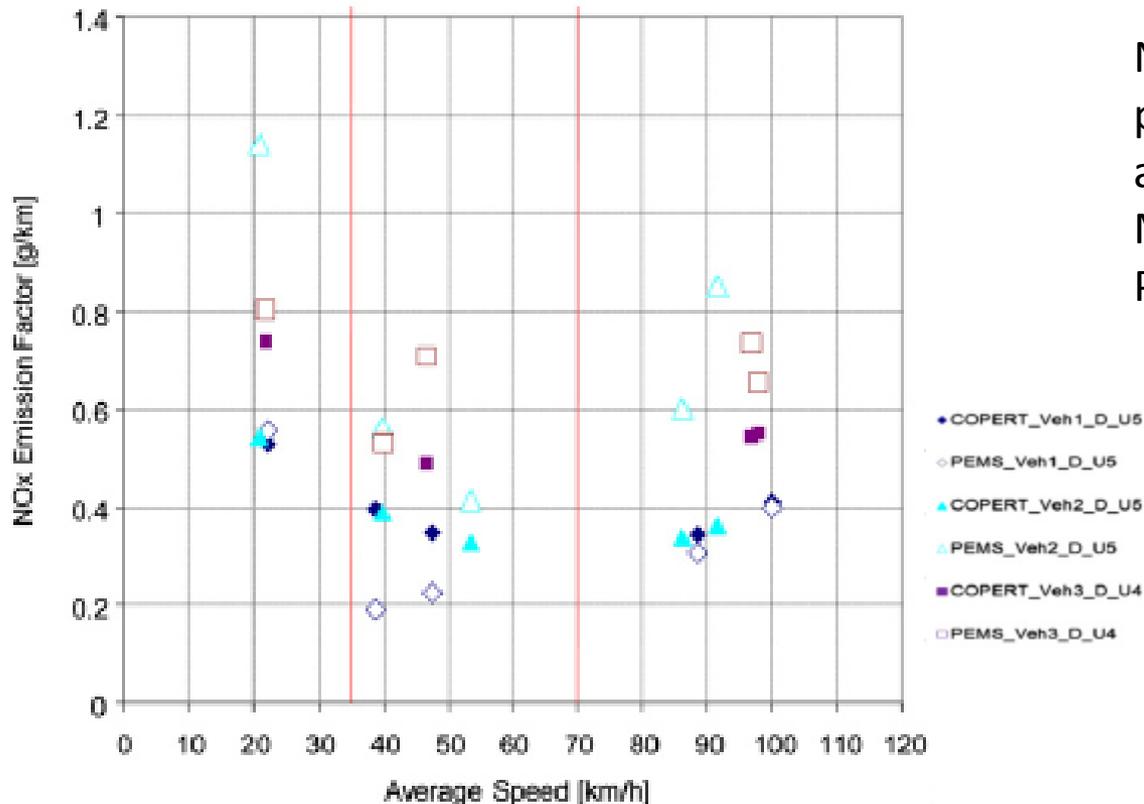
## Diesel cars: Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) emissions (in g/km)



Franco and Mock 2015, ICCT, RDE-LDV process. ICCT's view and presentation of PEMS meat-study results, AECC Technical Seminar on Real-Driving Emissions (RDE), Brussel, April 2015.



## Koasoulidou et al. 2013, Use of portable emission measurement systems (PEMS) for the development and validation of passenger car emission factors



Nox Emissions of Euro 5 Diesel passenger cars derived with PEMS and Model COPERT  
Model can not reproduce the high PEMS emissions



- 10. Februar 2011: In einem Gespräch im Bundesverkehrsministerium spricht die DUH gemeinsam mit Axel Friedrich die zu starke Beeinflussung des Messzyklus bei der Typzulassung, die Zykluskennung (=Abschalteinrichtung) an. Das BMVBS erklärt, das Problem zu kennen. Die DUH fordert erneut (erfolglos) die Kontrolle der von den Herstellern ermittelten Werte durch die Prüfbehörde (KBA). Erstmals spricht die DUH Probleme von Volkswagen mit zu hohen NOx-Emissionen an. Am Beispiel des Passat Euro 6 werden konkret „die hohen NOx-Emissionen, die über den Werten für Euro 5 liegen“ genannt. Diese „*sind nach Resch und Friedrich rechtswidrig*“, so das Gesprächsprotokoll.
- 19. Juli 2011: Die DUH stellt in einer Presseerklärung fest, dass die derzeitige Durchführung der Abgastests „*nicht geeignet ist, Belastungen von Luft und Klima zu verringern*“. In einem von der DUH beim ADAC Prüfzentrum in Auftrag gegebenen Test an einem BMW 116i hielt das Fahrzeug im Prüfzyklus die NOx-Grenzwerte ein. Als allerdings auf dem Rollenprüfstand ein leicht abweichender Prüfzyklus (ADAC Autobahntest) mit 130 statt 120 km/h Höchstgeschwindigkeit gefahren wurde, explodierten regelrecht die NOx-Emissionen um das 30-fache des gesetzlichen Grenzwerts. Die DUH kritisiert in der Pressemitteilung, dass das „*Problem der hohen Emissionen außerhalb des Prüfzyklus seit Jahren bekannt sei*“ und forderte erneut die Bundesregierung zum Handeln („*Messung außerhalb des Prüfzyklus*“) auf. Trotz intensiver Medienberichterstattung gab es aber weiterhin keinerlei Reaktion des Ministeriums bzw. des Kraftfahrtbundesamtes.



- 19. März 2014: In einem Gespräch mit der Bundesumweltministerin Hendricks weist die DUH auf hohe Stickoxidemissionen bei Stadtbussen insbesondere der Marke EvoBus (Daimler) hin. Die DUH fordert die Ministerin auf, bei den Herstellern auf eine Nachbesserung der knapp 10.000 betroffenen Fahrzeuge zu drängen, so dass diese im realen Busbetrieb funktionieren. Zur Vorbereitung einer solchen Initiative übersandte die DUH wie gewünscht die entsprechenden Belege und vermerkte im Begleitschreiben vom 4.4.2014: *„Wir begrüßen daher sehr die Ankündigung von Bundesumweltministerin Hendricks, anlässlich unseres Gesprächs, den Vorstand von EvoBus zu einer Ertüchtigung der Abgasreinigungsanlagen aller bisher in Deutschland verkauften Euro-IV/V/EEV-Busse aufzufordern. Dies kann geschehen durch eine technische Nachjustierung oder durch die Nachrüstung einer Komponente zur bedarfsgerechten Erhöhung der Abgastemperatur. ... Besonders problematisch ist in diesem Zusammenhang, dass vergleichsweise neue Busse der Abgasstandards Euro IV und Euro V sowie EEV im innerstädtischen Betrieb nachgewiesenermaßen häufig deutlich erhöhte Stickoxidemissionen aufweisen (ICCT 2012, LANUV NRW 2009b, TNO 2010, 2012, TÜV Nord Mobilität 2011). Dieses Problem ist in erster Linie auf eine mangelhafte Funktionalität von Serien-SCR-Katalysatoren zurückzuführen, wie sie auch der deutsche Hersteller und Marktführer EvoBus in seinen Bussen der genannten Abgasstandards verbaut bzw. verbaut hat.“*
- Herbst 2014: Die Thematik wird in einem Fachgespräch am 5.11.2014 mit der zuständigen Abteilungsleiterin im BMUB sowie weiteren leitenden Mitarbeitern des BMUB vertieft. Man lässt auf Seiten des Ministeriums keinerlei Bereitschaft erkennen, in dieser Sache aktiv zu werden.



Daraufhin wendet sich die DUH mit Schreiben vom 9.12.2014 erneut an Ministerin Hendricks und erinnert daran, dass diese angekündigt habe, den Vorstand von EvoBus zu einer Ertüchtigung der Abgasreinigungsanlagen aller bisher in Deutschland verkauften Busse aufzufordern. *„Fakt ist, dass die Fahrzeuge in dem für sie von Anfang an bestimmten Einsatzmodus – dem städtischen Verkehr – nicht die Abgaswerte einhalten, die sie laut Zulassung einhalten müssen. Das führt zur massiven Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Emissionen in hoch belasteten Innenstadtbereichen.“*

19. März 2015 erhält die DUH ein undatiertes Antwortschreiben der Ministerin, erstellt durch die zuständige Abteilungsleiterin im BMUB. Nach nunmehr zwölf Monaten Gespräche und Schriftwechsel besteht im BMUB offensichtlich kein Zweifel, dass die *„Emissionsminderungen ... insgesamt jedoch hinter den Erwartungen zurückblieben“*. Gleichwohl sagt die Ministerin jegliche Initiative mit der bezeichnenden Formulierung ab: *„Nach hiesigem Kenntnisstand erfüllen die Hersteller jedoch dessen ungeachtet die Anforderungen der EU-Abgasvorschriften, so dass keine rechtliche Handhabe besteht, um technische Verbesserungen am Fahrzeug zu ‘verlangen’.“*
17. September 2015: Exakt acht Jahre nach Start verschärft die DUH ihre Kampagne unter dem neuen Motto „Diesel-Abgase töten“ parallel zur Eröffnung der IAA in Frankfurt. Keinerlei Reaktion der Politik auf die Veröffentlichung von durchschnittlichen Abweichungen der NO<sub>2</sub>-Emissionen moderner Euro 6 Diesel deutscher Hersteller um das 7,1-fache des Grenzwertes im realen Fahrbetrieb und dadurch verursachte viele zehntausende Todesfälle allein in Deutschland.
18. September 2015: Der Betrugsskandal in den USA wird bekannt. Bundeskanzlerin, Bundesverkehrsminister und die Bundesumweltministerin sind überrascht, sie erklären, jetzt erstmals vom Problem zu hören.

# Erhöhung NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Verh. bei Bussen

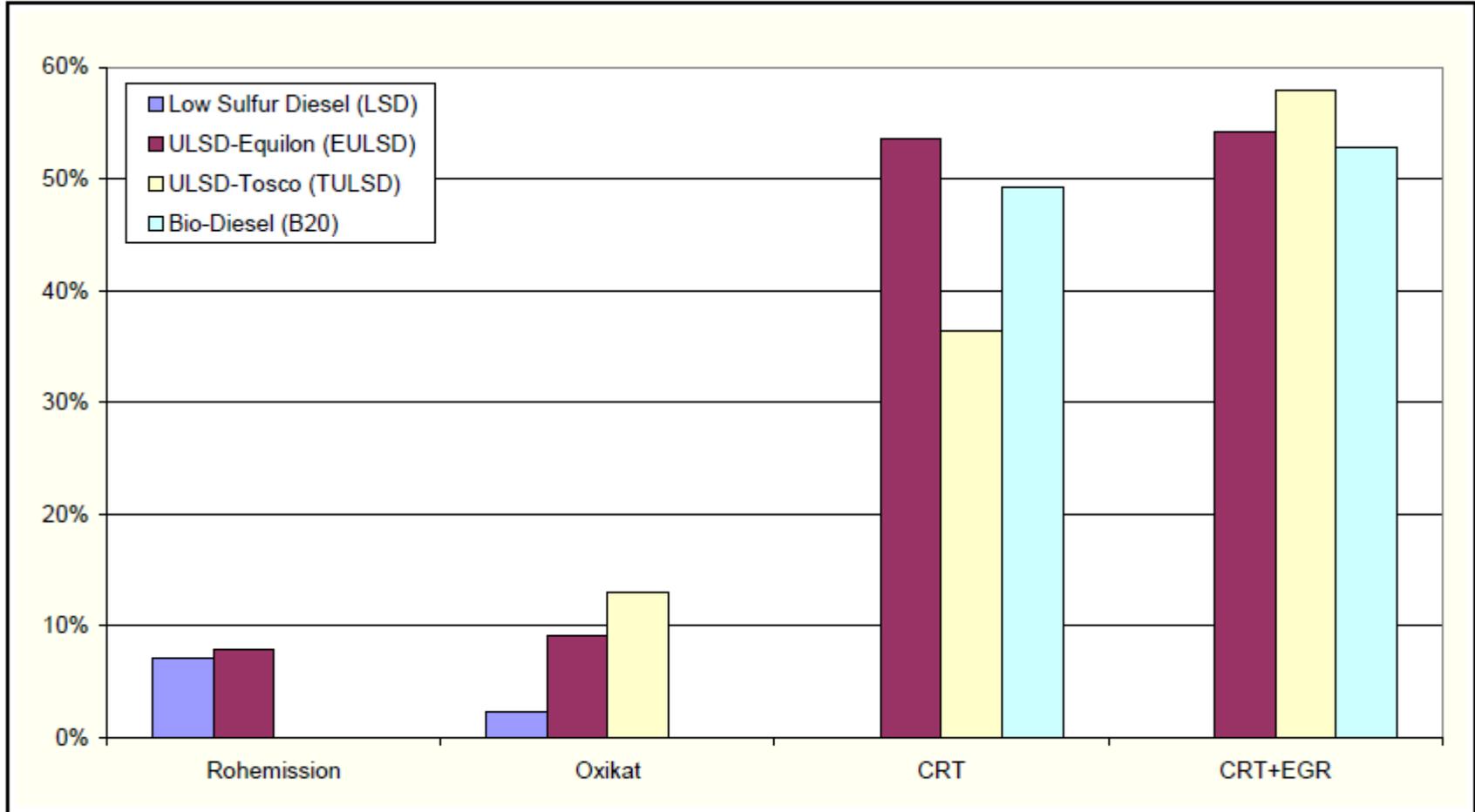
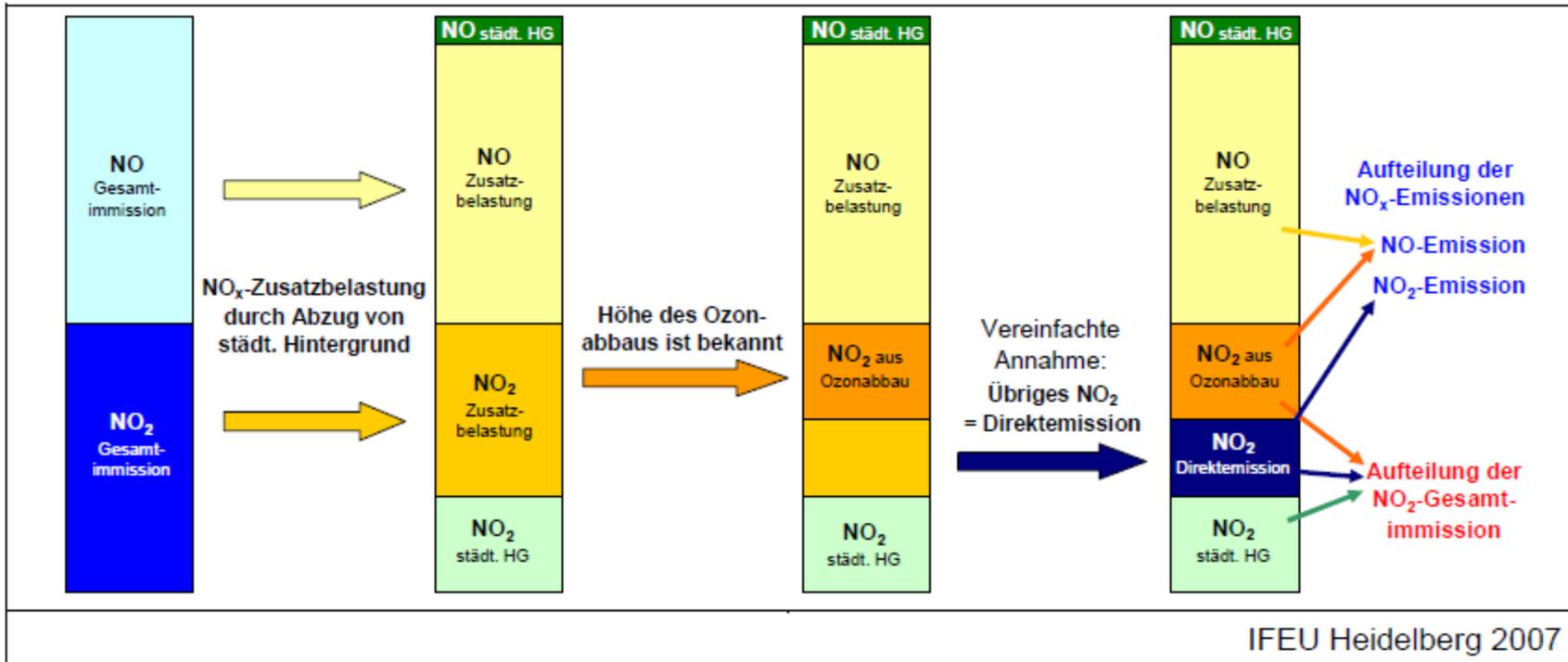


Abb. 10 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisse bei Dieselbussen in /Frank 2004/

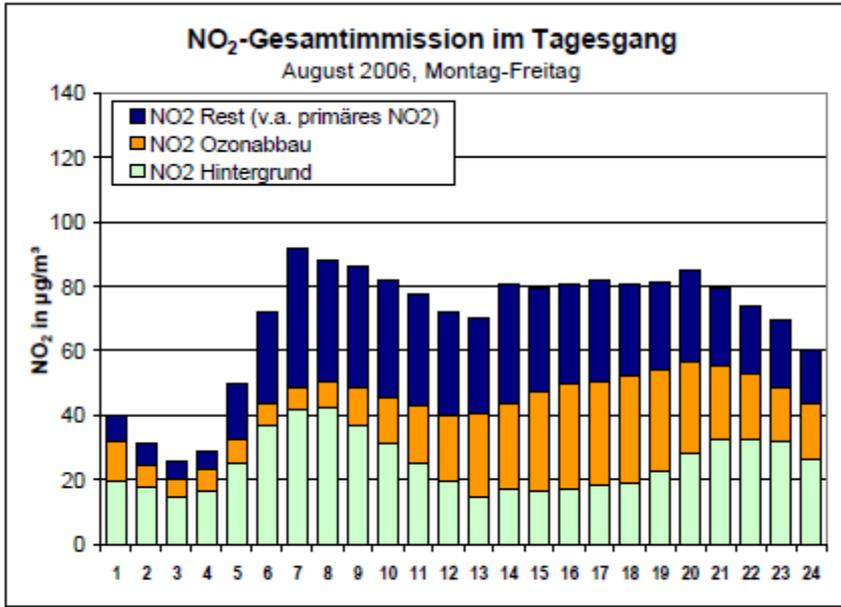
Aus IFEU 2004, Screening aktueller Kfz-Abgasmessungen in Hinblick auf den Anteil von NO<sub>2</sub> an den Nox-Emissionen



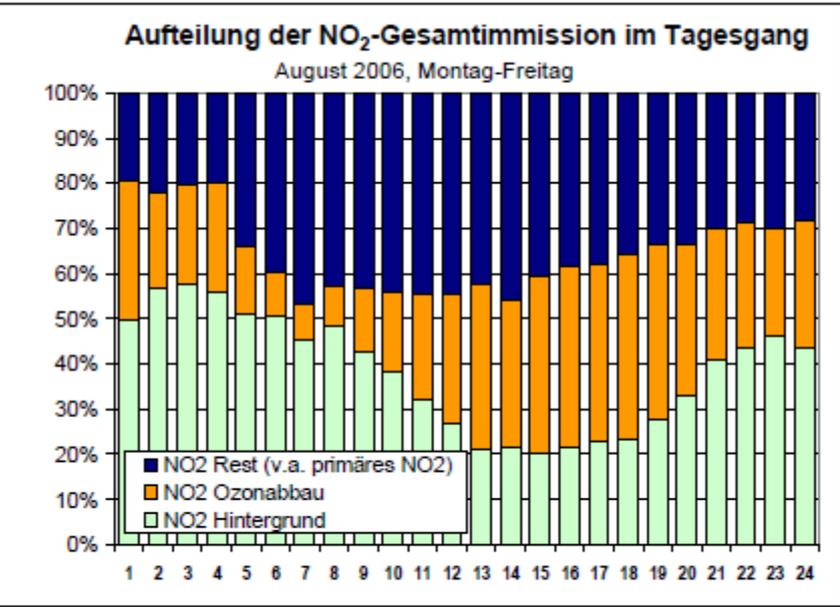
# Schema der NO, NO<sub>2</sub> Immissionsbestandteile



IFEU Heidelberg, 2007, Zukünftige Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs und deren Auswirkung auf die NO<sub>2</sub>-Luftbelastung in Städten in Baden Württemberg



Daten: LUBW Baden-Württemberg

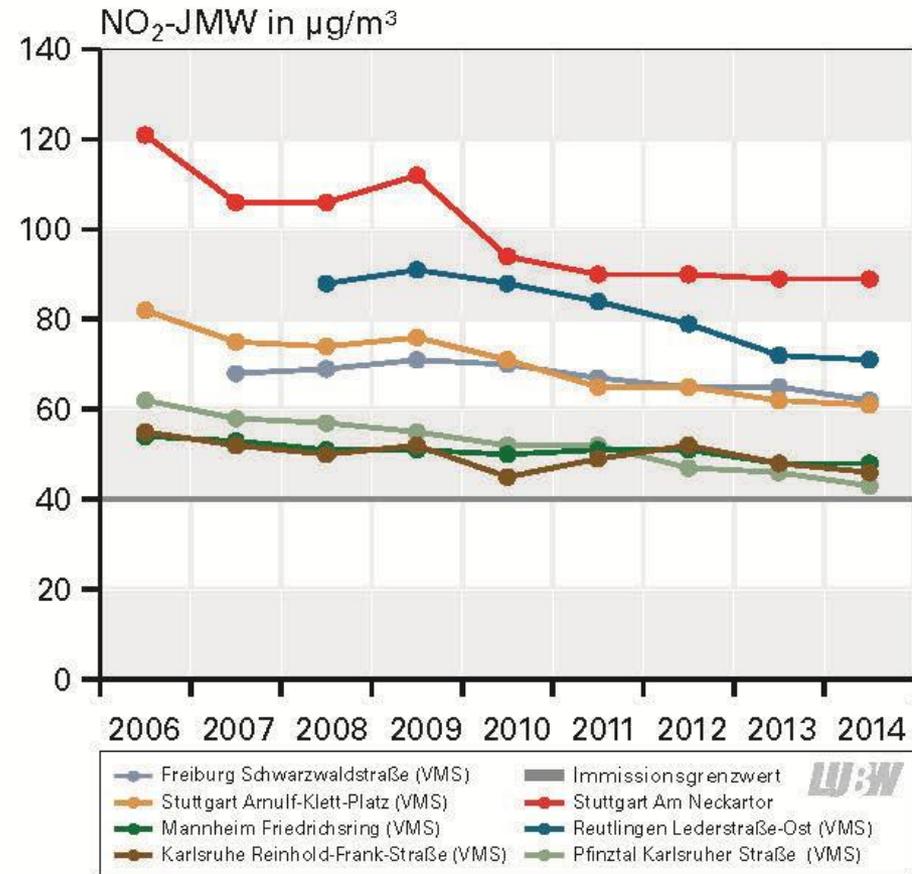
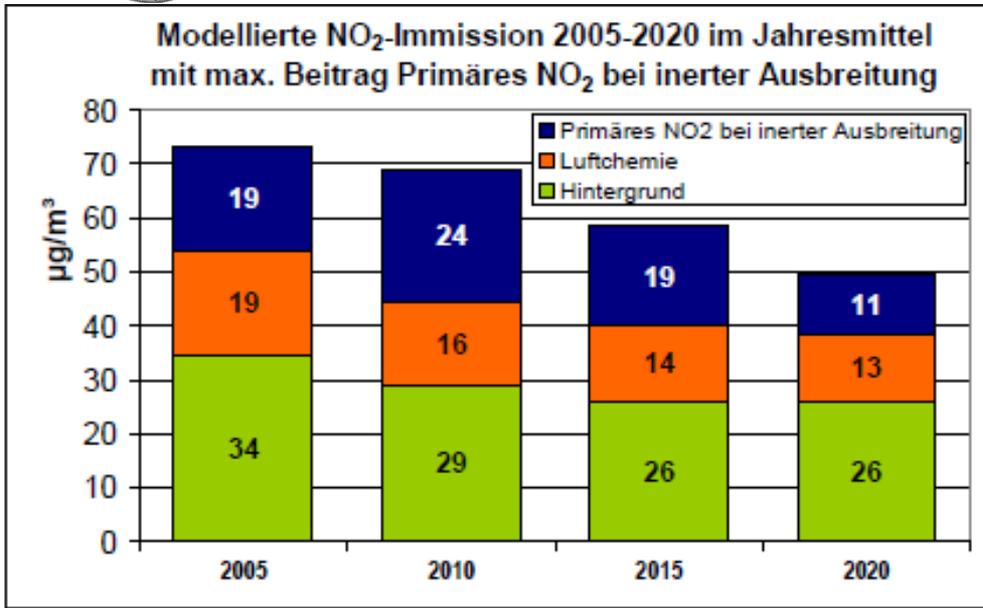


IFEU Heidelberg 2007

IFEU Heidelberg, 2007, Zukünftige Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs und deren Auswirkung auf die NO<sub>2</sub>-Luftbelastung in Städten in Baden Württemberg



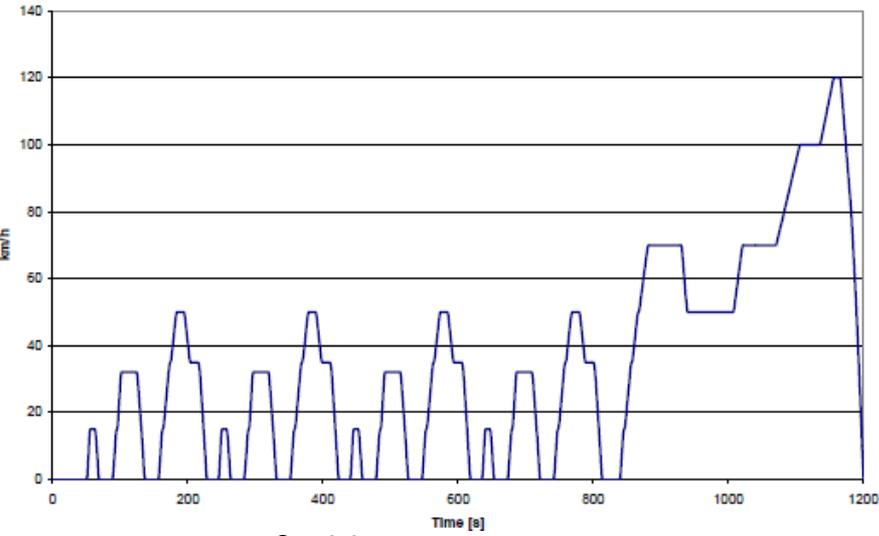
# Immisionsentwicklung NO2 BW



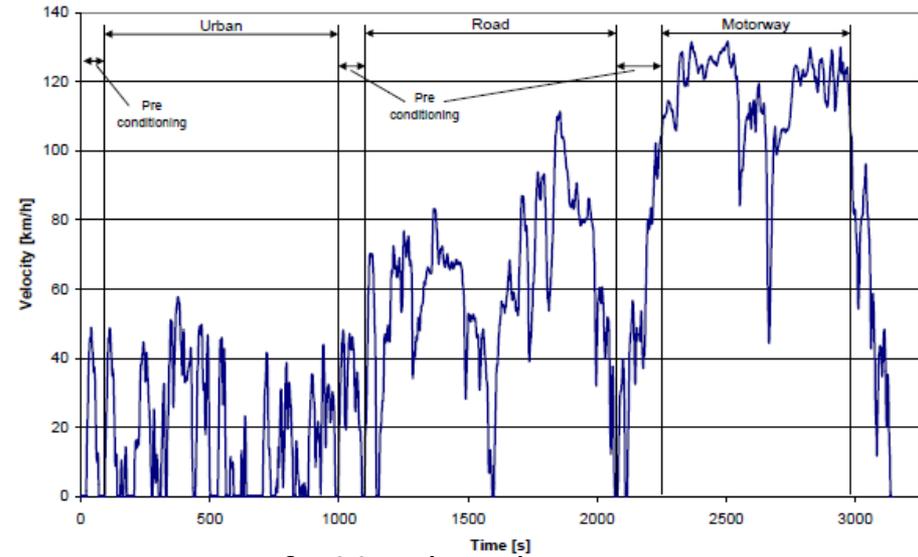
[IFEU Heidelberg, 2007] für Stuttgart – Mitte (ohne Verkehrsmaßnahmen)

Incl. Verkehrstechnischer Maßnahmen

LUBW, Hintergrundinformation Luftqualität 2014, Ministerium Für Verkehr und Infrastruktur, 2015:



NDEC Prüfzyklus



CADC Prüfzyklus (RDE)

Hausberger 2010



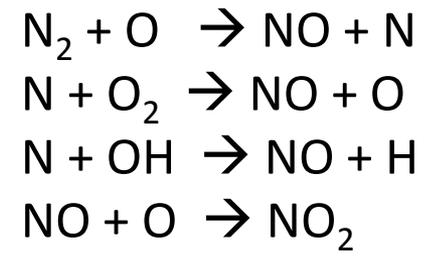
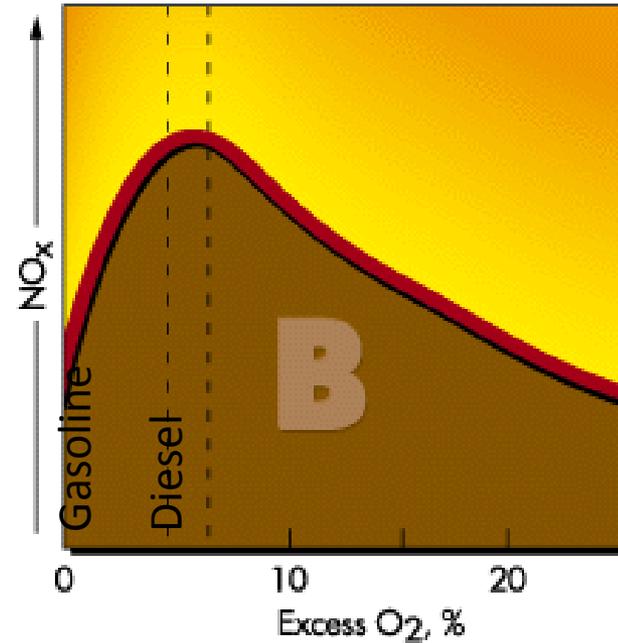
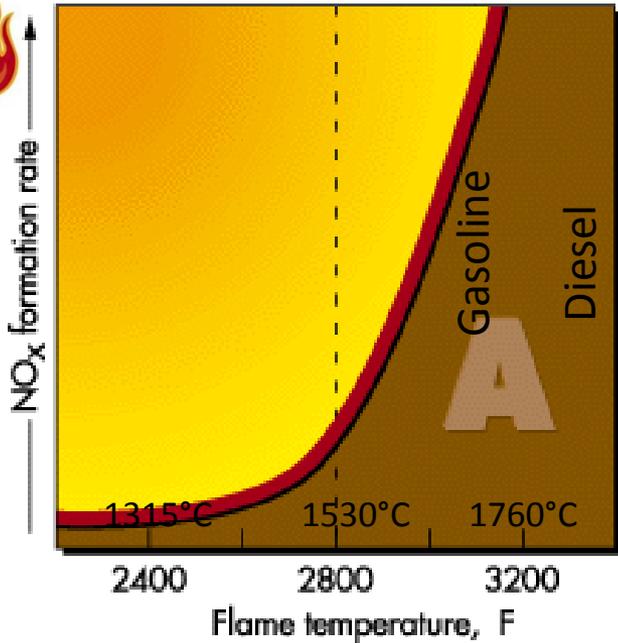
PEMS Messung am Fahrzeug ; Quelle: TÜV NORD, LUBW Bericht 2015



# Main NO<sub>x</sub> Formation



- Thermal NO<sub>x</sub>: Zeldovich Process (T > 760°C)

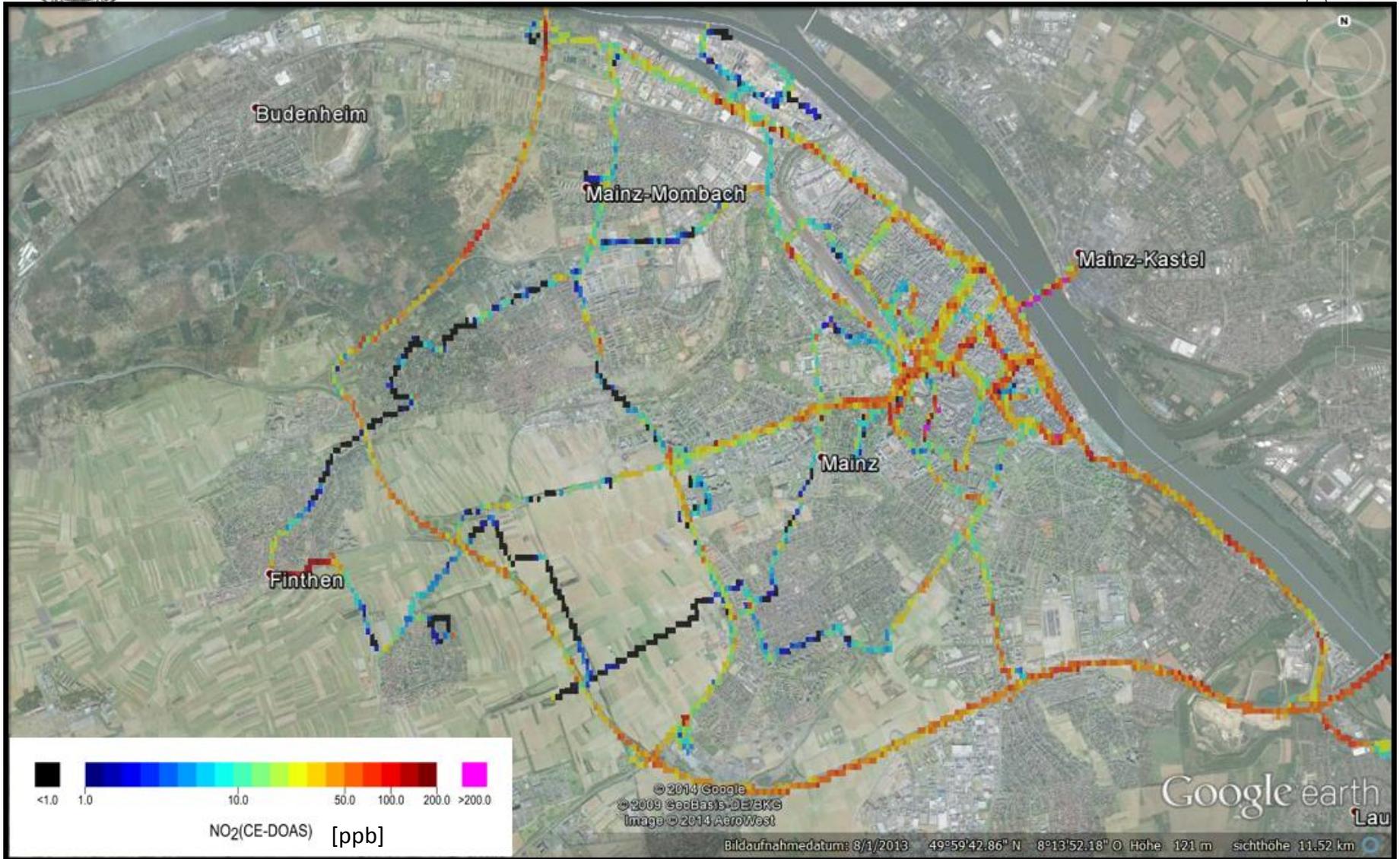


- High efficiency (low CO<sub>2</sub>) → higher NO<sub>x</sub>
- Higher performance → higher NO<sub>x</sub>

} **COMPROMISE !!!**

**Diesel:** NO<sub>2</sub> / NO ~ 40-50%  
**Gasoline:** NO<sub>2</sub> / NO ~ 10%

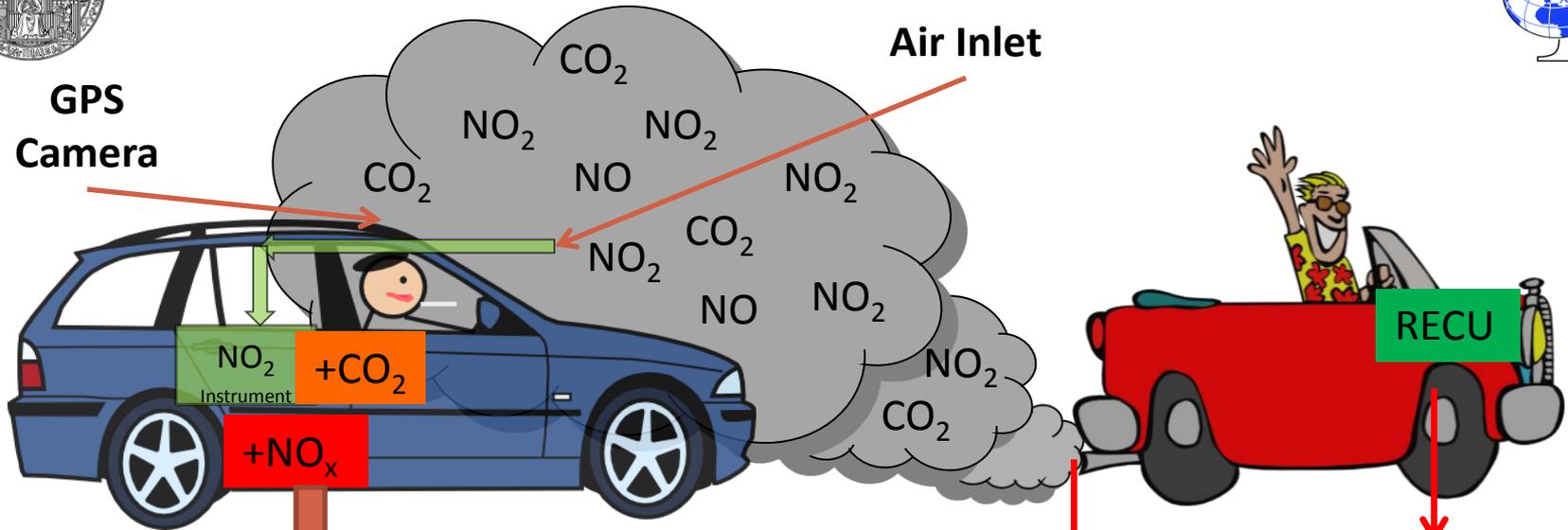
# Beispiel NO<sub>2</sub> Konzentration Mainz



Konzentration über Hintergrund



# Chasing cars – RDE principle



$$E_R \left( \frac{NO_x}{CO_2} \right) = \frac{NO_x^{meas} - NO_x^{Bg}}{CO_2^{meas} - CO_2^{Bg}}$$

$$E_{NO_x} = E_R \left( \frac{NO_x}{CO_2} \right) \times E_{CO_2}$$

← “known”

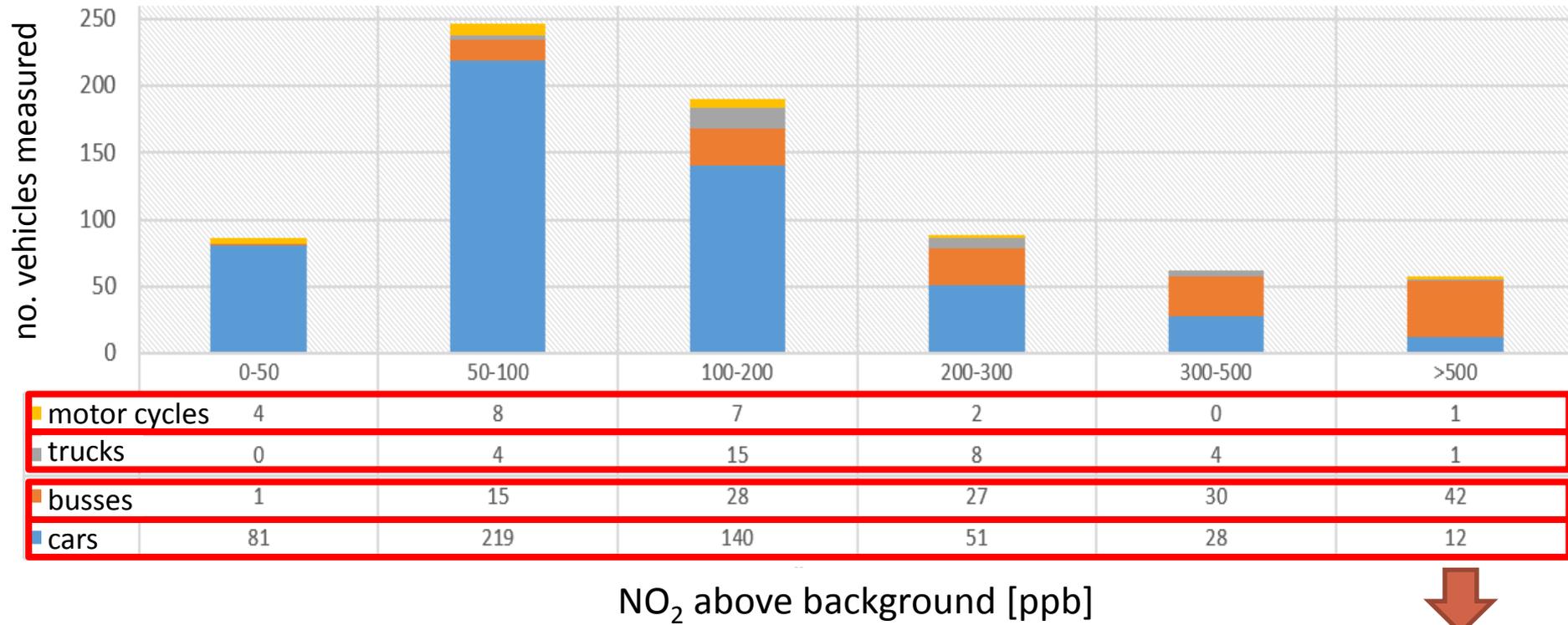
$E_{CO_2}$   
are

Readout  
Electronic  
Control  
Unit  
→  $E_{CO_2}$

- Measure  $NO_2$  ( $NO_x$ ) concentration in the emission plume of individual vehicles under RDE → Emissions
- with  $E_{CO_2}$  effects due to air dilution & driving properties cancel out



# Contribution to NO<sub>2</sub> above background



NO<sub>2</sub> above background [ppb]



7,6% of all vehicles  
~45% of total NO<sub>2</sub>  
Emissions



# Expl. Vehicles with $\text{NO}_2 > 500\text{ppb}$



6981 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



1066 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



1293 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



989 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
Gasoline!



1264 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



2013 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



**Different cars and brands show high emissions. Highly variable (new & old ones)**

1064 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



1047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



1366 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

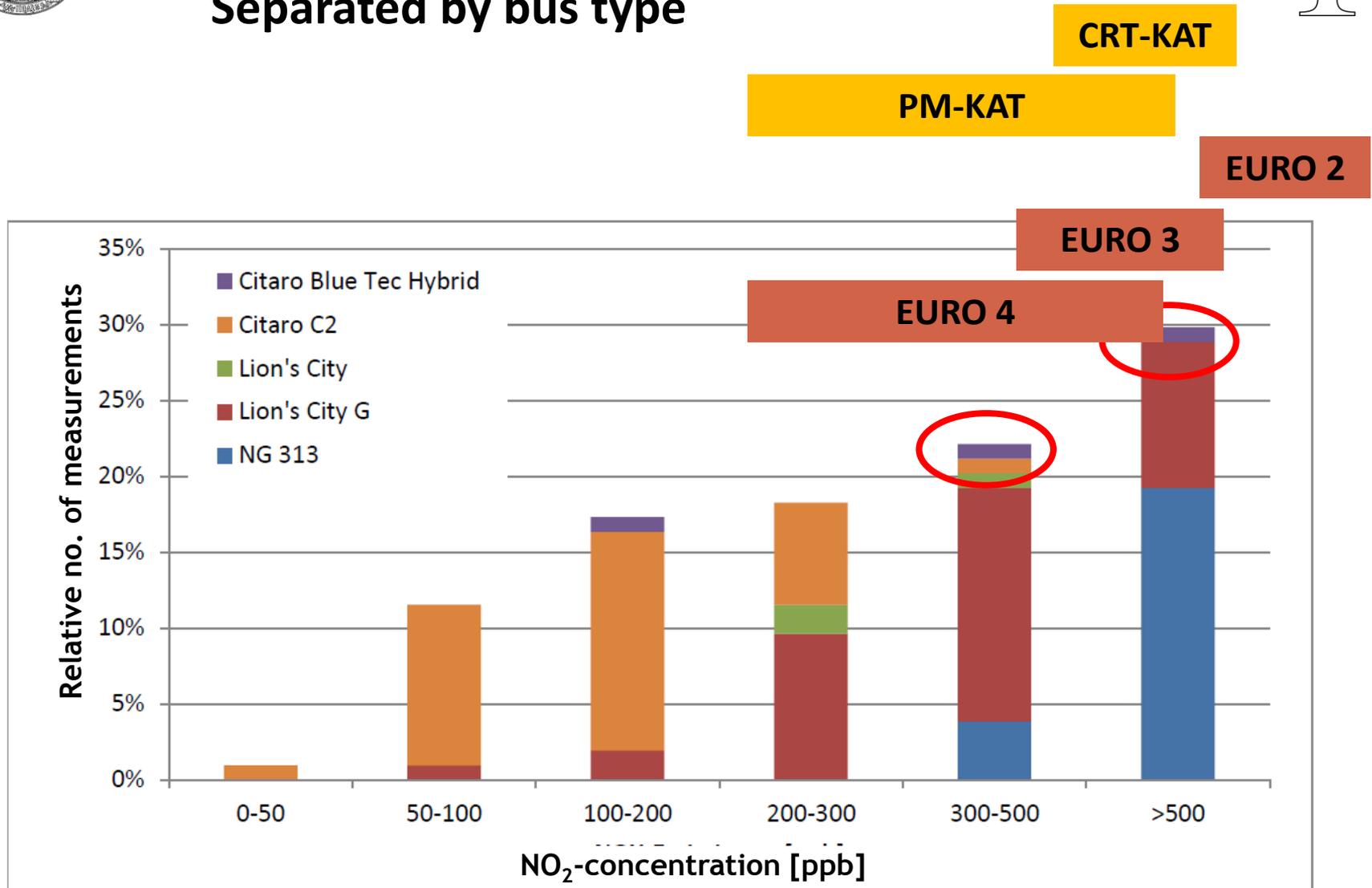




# Comparison to bus data (public transport)



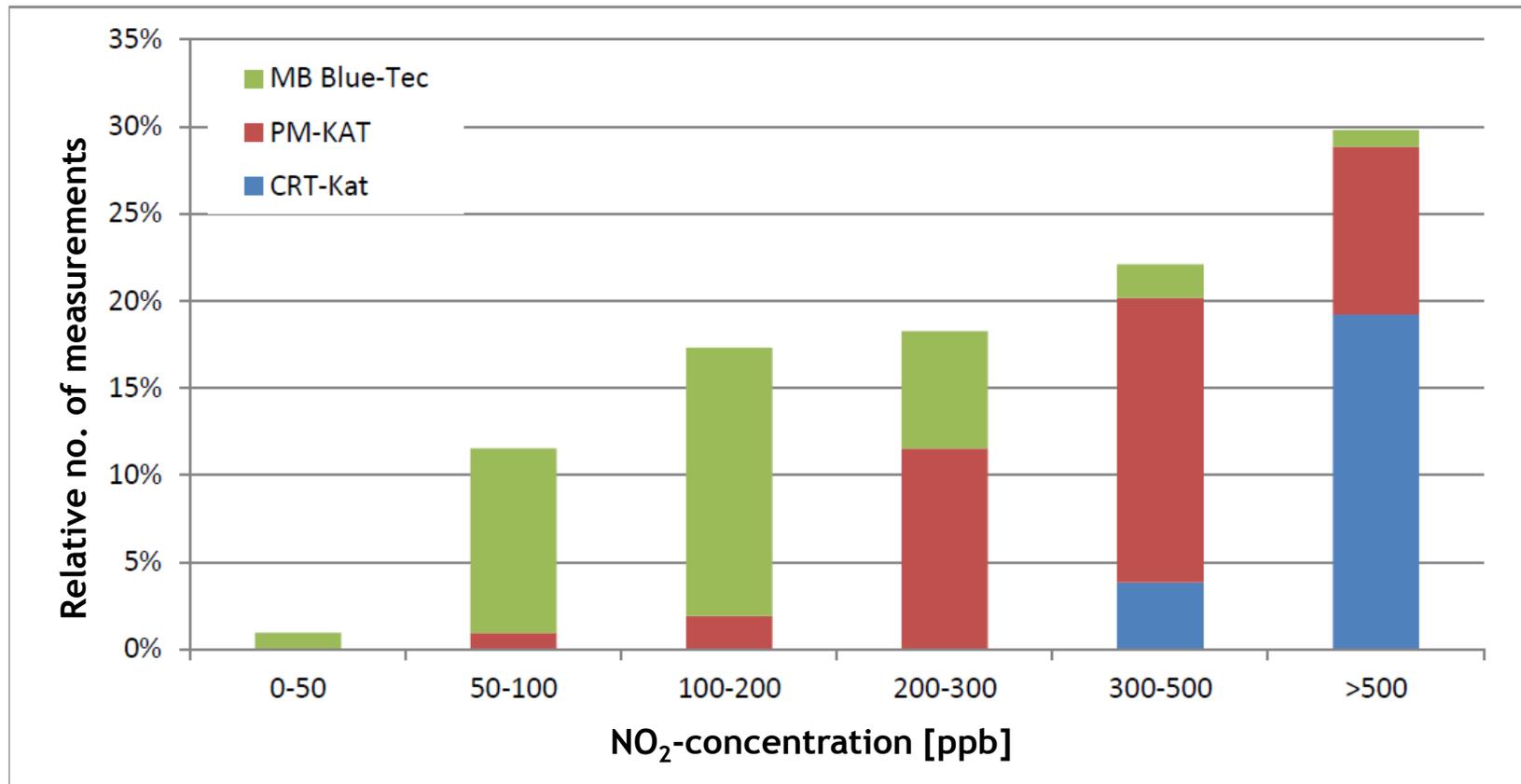
## Separated by bus type



\* Provided by Björn Kalter, MVG



## Separated by treatment of exhaust gas

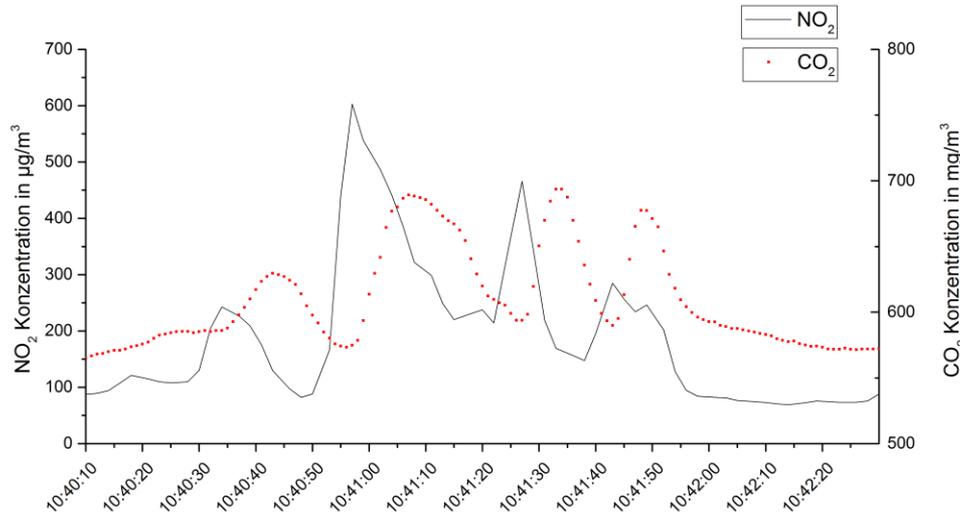


\* Provided by Björn Kalter, MVG



# NO<sub>2</sub> Emission measurements

(Berlin)



Fahrzeug	$E_R$ [%] NO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	$E_{NO_2}$ [mg/km]
PKW Seat Ibiza	1.03	154.61
PKW Transporter	0.70	105.59
PKW Renault modus	0.64	95.89
PKW VW Golf TDI	6.90	1035.62
PKW Audi A4 2,5 TDI	1.00	150.17
LKW	0.41	322.61
PKW VW Transporter	2.68	402.09
PKW Mercedes E200	0.79	118.88
PKW Seat Alhambra TDI	1.95	293.23
PKW Seat Alhambra TDI	1.79	267.78
PKW Audi TT	0.85	128.15
PKW Ford Ka	0.56	83.34
PKW VW Touran	0.87	130.17
Bus BVG 3411	0.60	636.97
PKW Fiat fiorino	1.22	183.04
PKW BMW	0.88	132.08
LKW	0.59	472.08
PKW Opel	2.12	317.41
PKW VW Bus	1.11	166.96
Bus Setra	1.15	1222.54
PKW VW Touran Polizei	0.97	145.20
Bus Sightseeing	3.58	3795.63
Bus Mercedes Citaro	0.42	449.29

→ Many, but not all diesel show to high emissions!

# NO<sub>2</sub> Emission measurements Stuttgart

(Stuttgart)



Datum	Fahrzeug	$E_R$
		NO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> [%]
07.12.2015	Bus 40	0.033
07.12.2015	Bus 40	0.120
07.12.2015	Bus 44	0.137
07.12.2015	PkW	0.155
07.12.2015	Bus 42	0.027
07.12.2015	Bus 42	0.034
07.12.2015	PkW	0.207
07.12.2015	PkW	0.040
07.12.2015	PkW	0.015
14.01.2016	Bus 42	0.011
14.01.2016	Bus 42	0.075
14.01.2016	Bus 41	



with  $E_{CO_2} = 1060g/km$   
 $\rightarrow E_{NO_2} = 1452 mg/km$



with  $E_{CO_2} \sim 150g/km$   
 $\rightarrow E_{NO_2} \sim 233mg/km$



with  $E_{CO_2} \sim 200g/km$   
 $\rightarrow E_{NO_2} \sim 414mg/km$

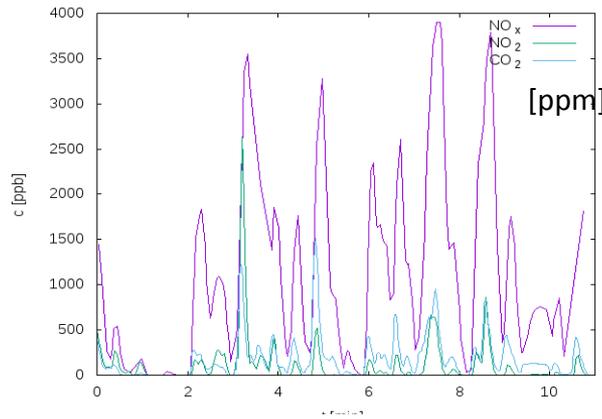


with  $E_{CO_2} = 1060g/km$   
 $\rightarrow E_{NO_2} = 116 mg/km$

Langjährige Hinweise für zu hohe Stickoxid (NO<sub>x</sub>) Fahrzeugemissionen

# NO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> Emission measurements

(Heidelberg)



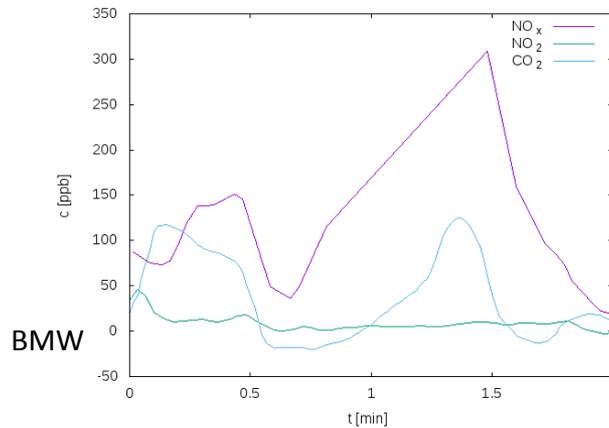
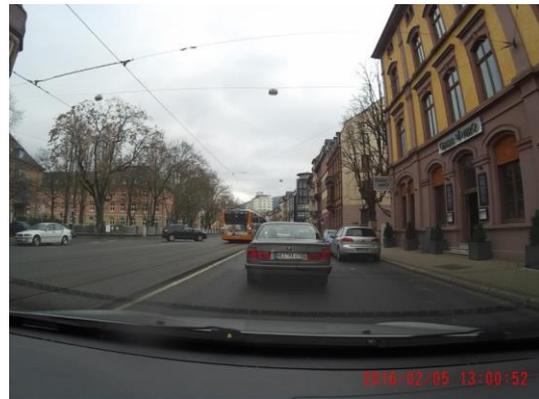
$$E_r(\text{NO}_x / \text{CO}_2) = 5,96 \%$$

$$\rightarrow E_{\text{NO}_x} = 6317 \text{ mg/km}$$

$$E_r(\text{NO}_2 / \text{CO}_2) = 0,506 \%$$

$$\rightarrow E_{\text{NO}_2} = 536 \text{ mg/km}$$

using  $E_{\text{CO}_2} = 1060 \text{ g/km}$



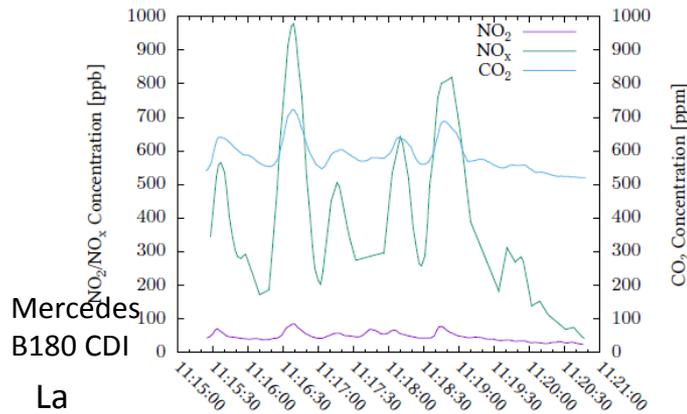
$$E_r(\text{NO}_x / \text{CO}_2) = 2,79 \%$$

$$\rightarrow E_{\text{NO}_x} = 418 \text{ mg/km}$$

$$E_r(\text{NO}_2 / \text{CO}_2) = 0,218 \%$$

$$\rightarrow E_{\text{NO}_2} = 32,7 \text{ mg/km}$$

using  $E_{\text{CO}_2} = 150 \text{ g/km}$



$$E_r(\text{NO}_x / \text{CO}_2) = 5,0 \%$$

$$\rightarrow E_{\text{NO}_x} = 750 \text{ mg/km}$$

$$E_r(\text{NO}_2 / \text{CO}_2) = 0,22 \%$$

$$\rightarrow E_{\text{NO}_2} = 33 \text{ mg/km}$$

using  $E_{\text{CO}_2} = 150 \text{ g/km}$