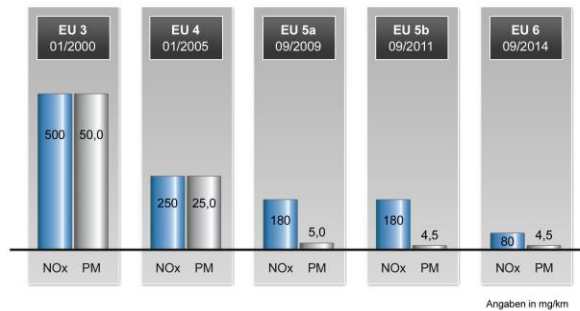


Dieselmotor und Luftqualität

Eine kritische Bewertung der Situation

Berlin, den 8. September 2016

INSTITUT FÜR KOLBENMASCHINEN | Leiter Prof. Dr. sc. techn. Thomas Koch



FEINSTAUB-ALARM!

Luft in Stuttgart wird immer schlechter



Neuer Abgastest
Die dreckige Wahrheit über Dieselaautos

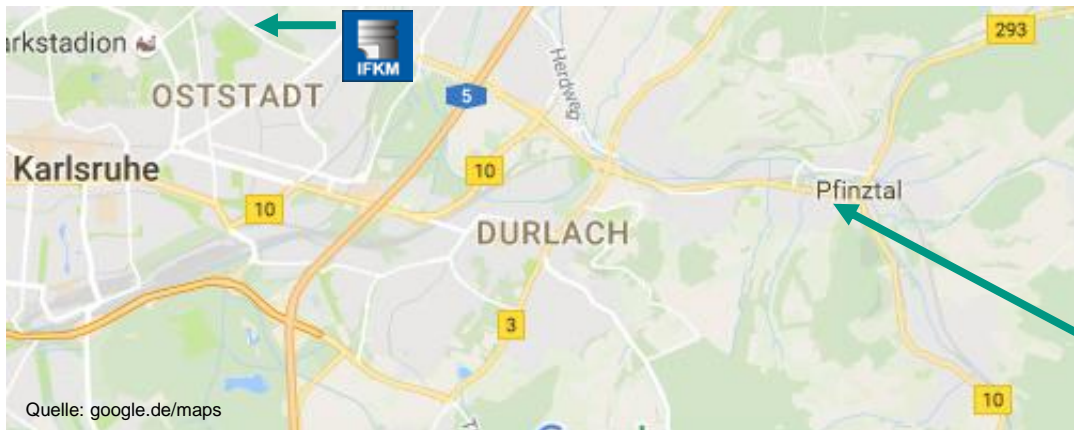


Die Abgastests für Autos gelten als realitätsfern. Ein neues Verfahren soll für ehrlichere Werte sorgen. Forscher haben 32 Dieselfahrzeuge jetzt auf diese Weise untersucht. Das Ergebnis ist für viele Hersteller blamabel. mehr... [Forum]

Thermodynamik Nutzfahrzeugentwicklung, Daimler AG



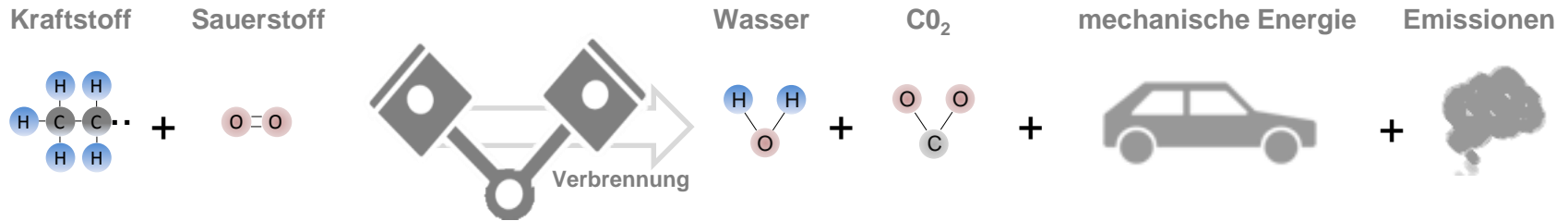
KIT



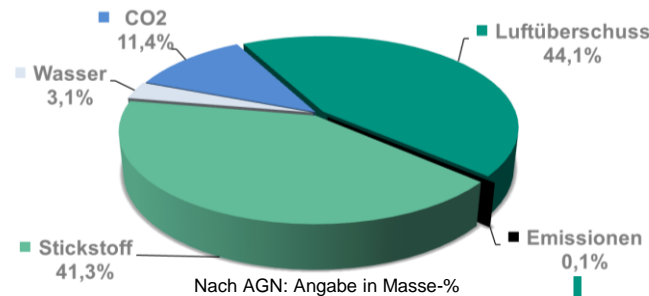
**Ca. 25.000 Fahrzeuge pro Tag fahren in Pfinztal durch den Ort.
Eine Umweltmessstation wurde eingerichtet.**

Funktionsprinzip und Emissionen eines Verbrennungsmotors

Verbrennung




Beispielhafte Abgaszusammensetzung eines modernen EU6 Dieselmotors

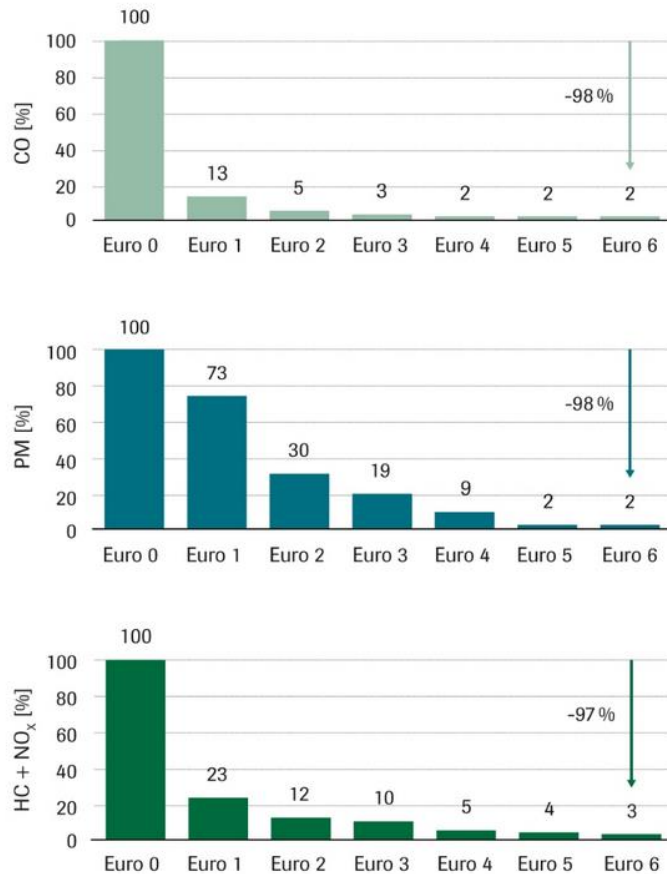


Unerwünschte Emissionen

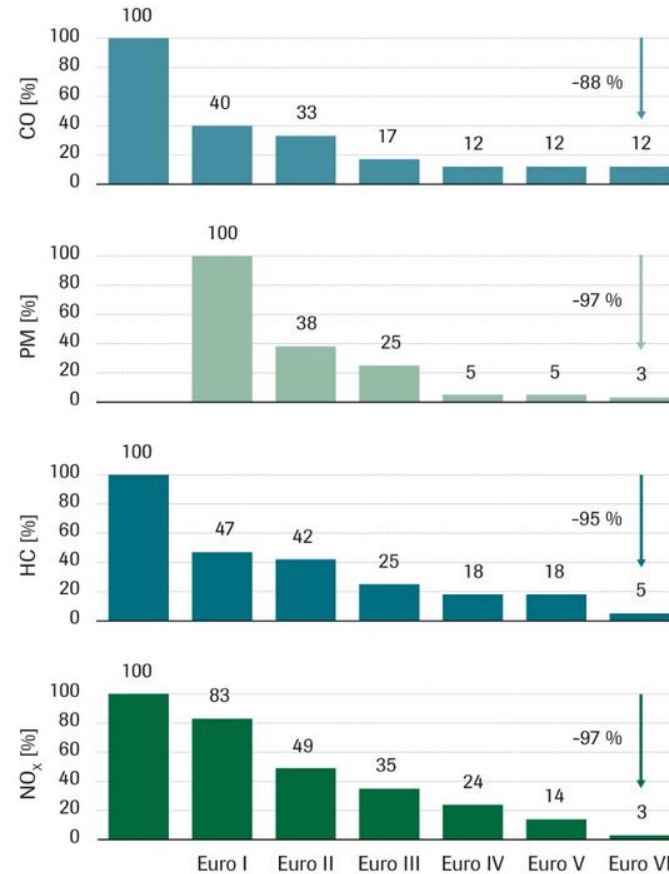
Kohlenmonoxid	CO	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Kohlenwasserstoff	HC	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Schwefeloxide	SO _x	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Partikel	PM	Feinstaub	?
Stickstoffoxide	NO _x	Stickoxide	?

Entwicklung der Emissionsgesetzgebung in Europa

Entwicklung der Abgasstufen von Diesel-Pkw 



Senkung der Abgasemissionen schwerer Lkw 

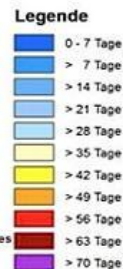
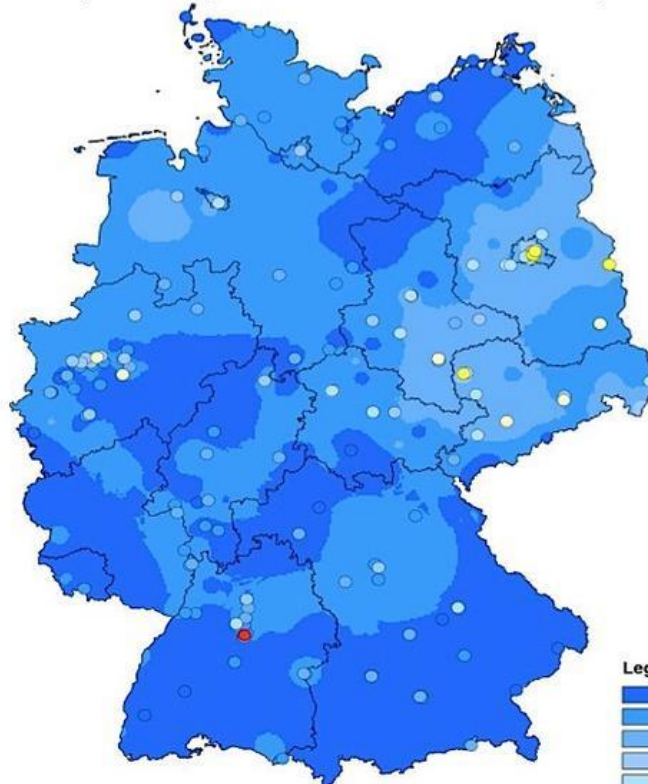


Agenda

- 1 Feinstaub und Partikelemissionen von Dieselmotoren
- 2 Allgemeine Informationen zur NO_x und NO_2 Situation
- 3 Was ist bei EURO4/5 passiert?
- 4 Was ist bei EURO6a/b passiert?
- 5 Wer wusste von höheren Emissionen im Realbetrieb?
- 6 Zusammenfassung

Feinstaub: Wie schlimm ist die Situation wirklich?

PM₁₀ - Tagesmittelwerte
Zahl der Überschreitungen von 50 µg/m³
Jahr 2014
 (vorläufige Daten Stand 21.01.2015)



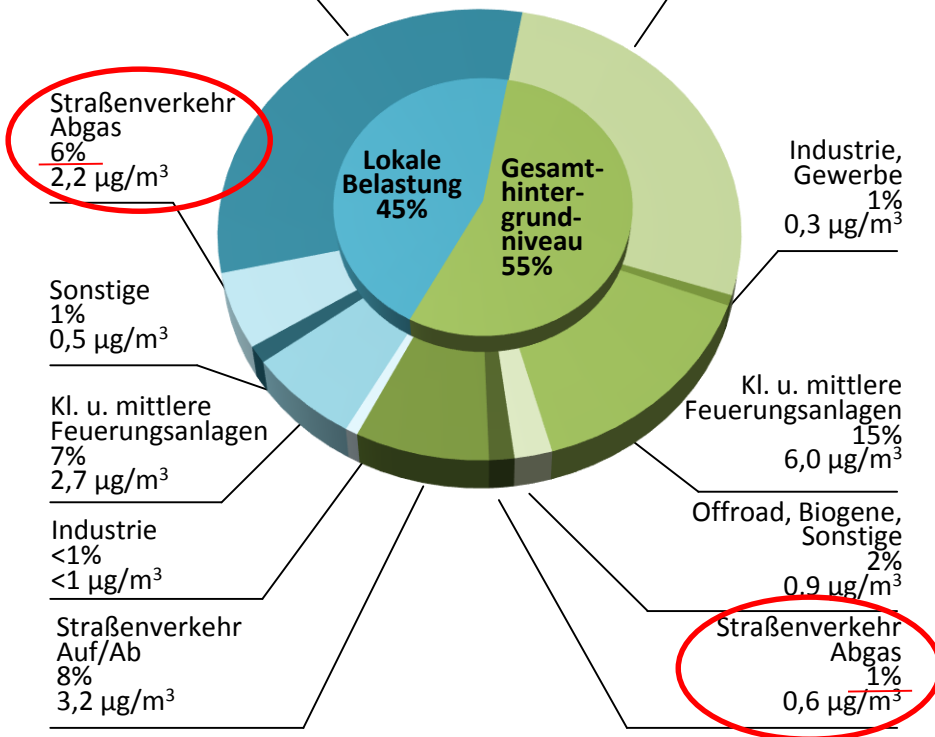
Punktuell hohe Belastungen, die bezüglich des gewählten Kartenmaßstabes nicht flächenrepräsentativ sind, wurden zusätzlich eingefügt und durch Farbkreise gekennzeichnet ("Spot"-Darstellung)



Straßenverkehr Auf/Ab 31%
12,6 µg/m³

Großräumiger Hintergrund 28%
11,0 µg/m³

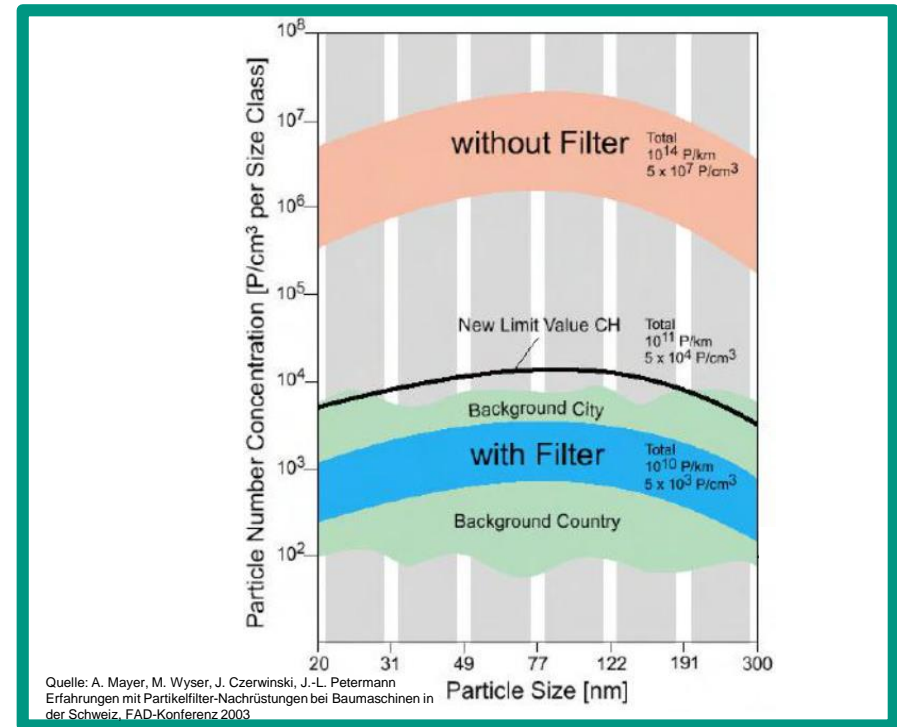
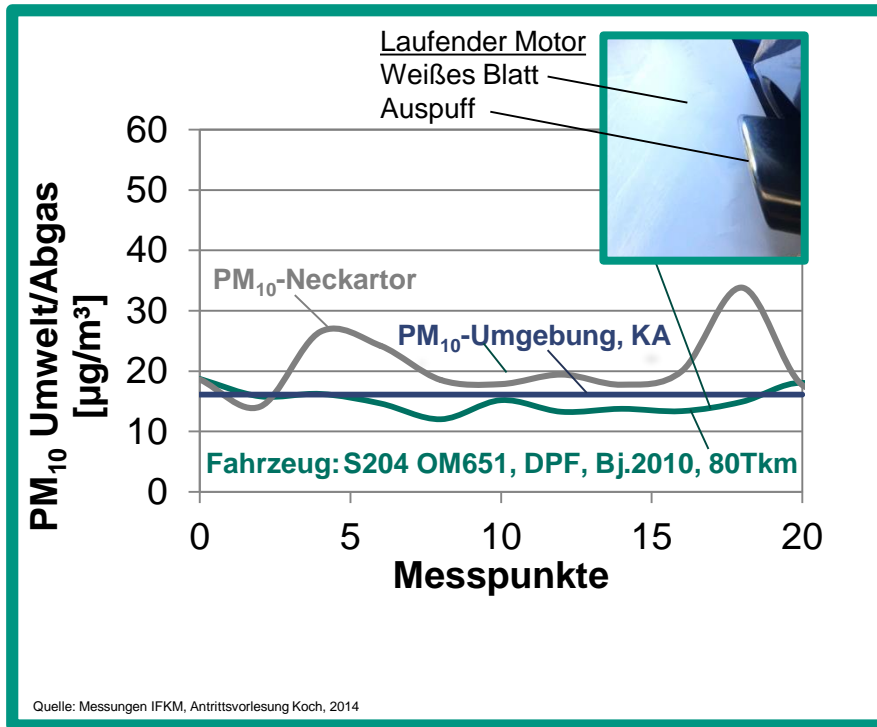
PM10



Quelle: Christoph Erdmenger; Ministerium für Transport und Infrastruktur Baden Württemberg; IFKM/KIT – NO_x Conference, Heidelberg, 01.2016

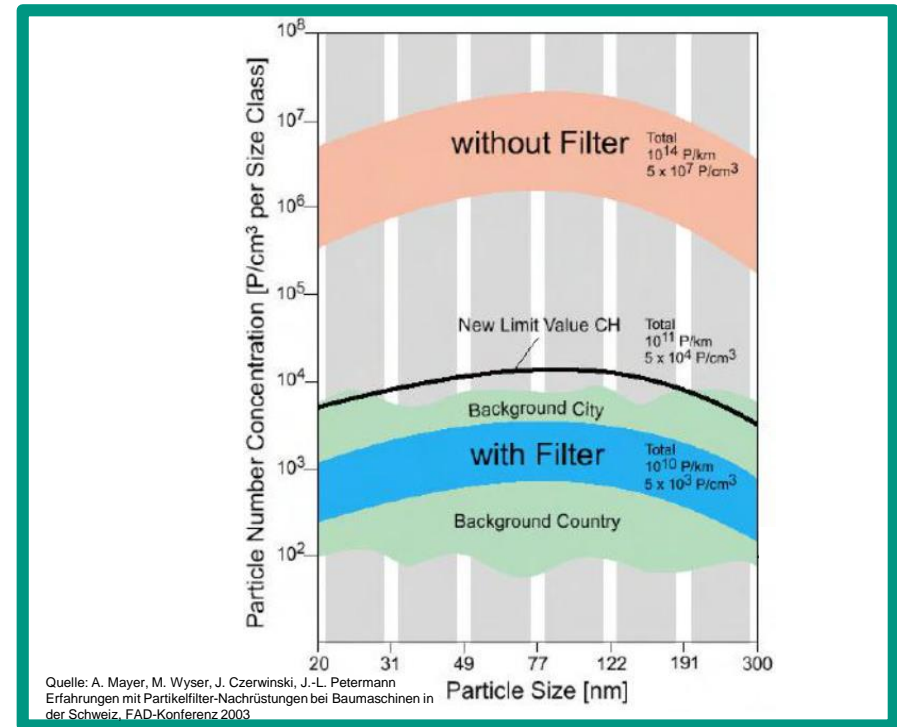
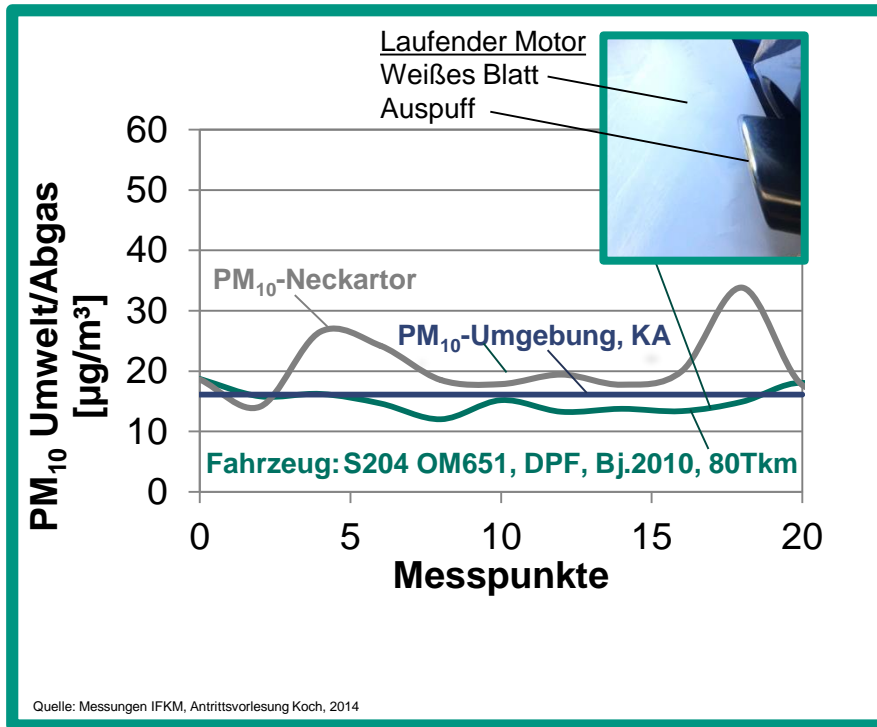


Wirkung des Dieselpartikelfilters



Die Partikelbelastung des Abgases von Dieselfahrzeugen ist geringer als die Partikelbelastung der Stadtluft und des städtischen Hintergrunds!

Wirkung des Dieselpartikelfilters



Unerwünschte Emissionen des Dieselmotors

Kohlenmonoxid	CO	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Kohlenwasserstoff	HC	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Schwefeloxide	SO _x	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Partikel	PM	Feinstaubalarm, PM-Immissionsbelastung	✓
Stickstoffoxide	NO _x	NO ₂ -Immissionsbelastung	?

Agenda

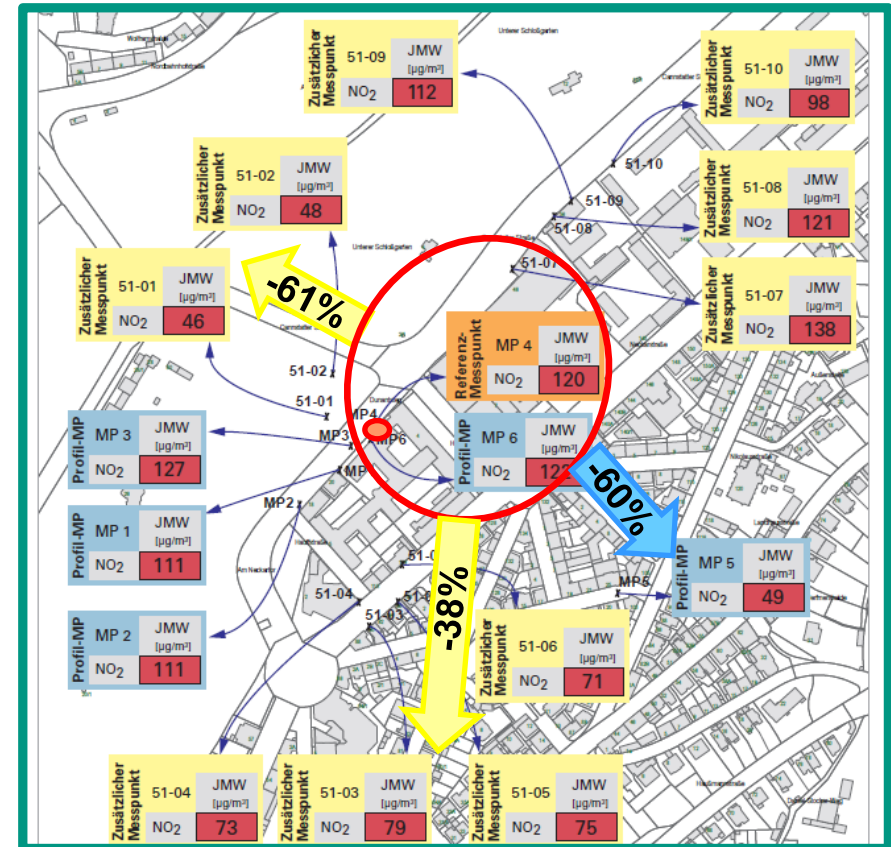
- 1 Feinstaub und Partikelemissionen von Dieselmotoren
- 2 Allgemeine Informationen zur NO_x und NO_2 Situation
- 3 Was ist bei EURO4/5 passiert?
- 4 Was ist bei EURO6a/b passiert?
- 5 Wer wusste von höheren Emissionen im Realbetrieb?
- 6 Zusammenfassung

Immissionssituation NO₂ am Beispiel „Stuttgart Neckartor“



Tägliches Verkehrsvolumen in Stuttgart am Neckartor in 2012

65.980 PKW
 2.200 Infz
 2.000 sNfz
 70.300 gesamt (71.100 in 2013)



Quelle: Verkehrsstärken an ausgewählten Verkehrs- und Spotmessstellen; LUBW 2012

Das Neckartor ist die Messstelle mit den höchsten NO₂-Werten, welche in Deutschland gefunden wurden. Es ist eine Hot-Spot Messung!

Immissionssituation NO₂ am Beispiel „Stuttgart Neckartor“



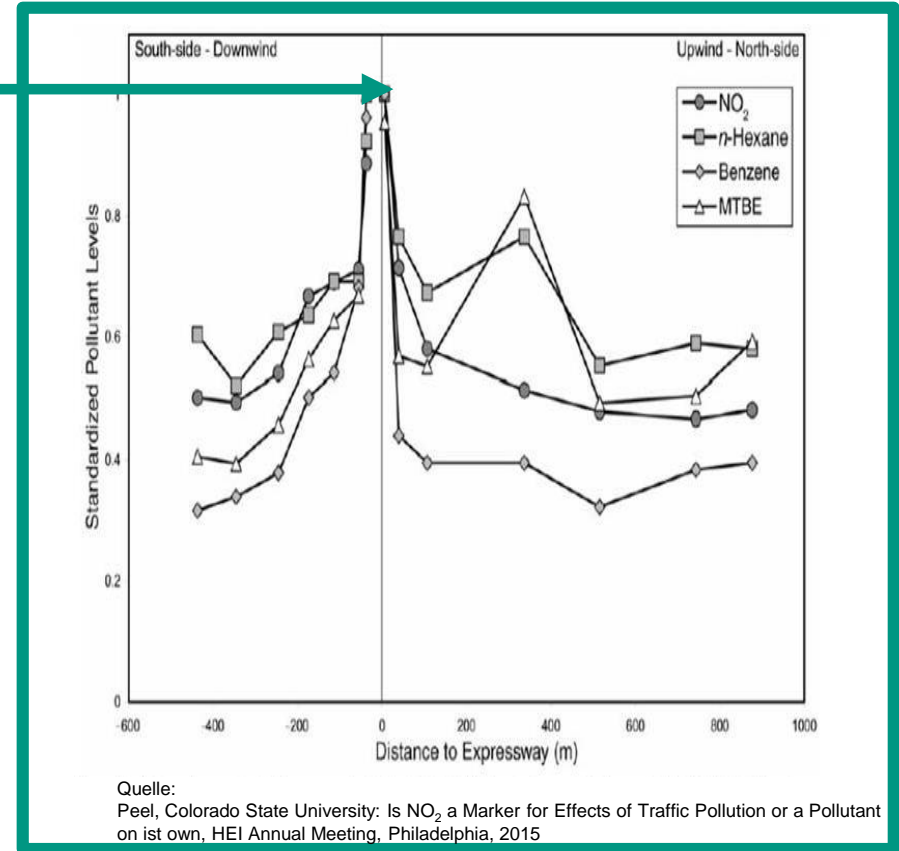
**Tägliches Verkehrsvolumen
in Stuttgart am Neckartor in 2012**

65.980 PKW

2.200 Infz

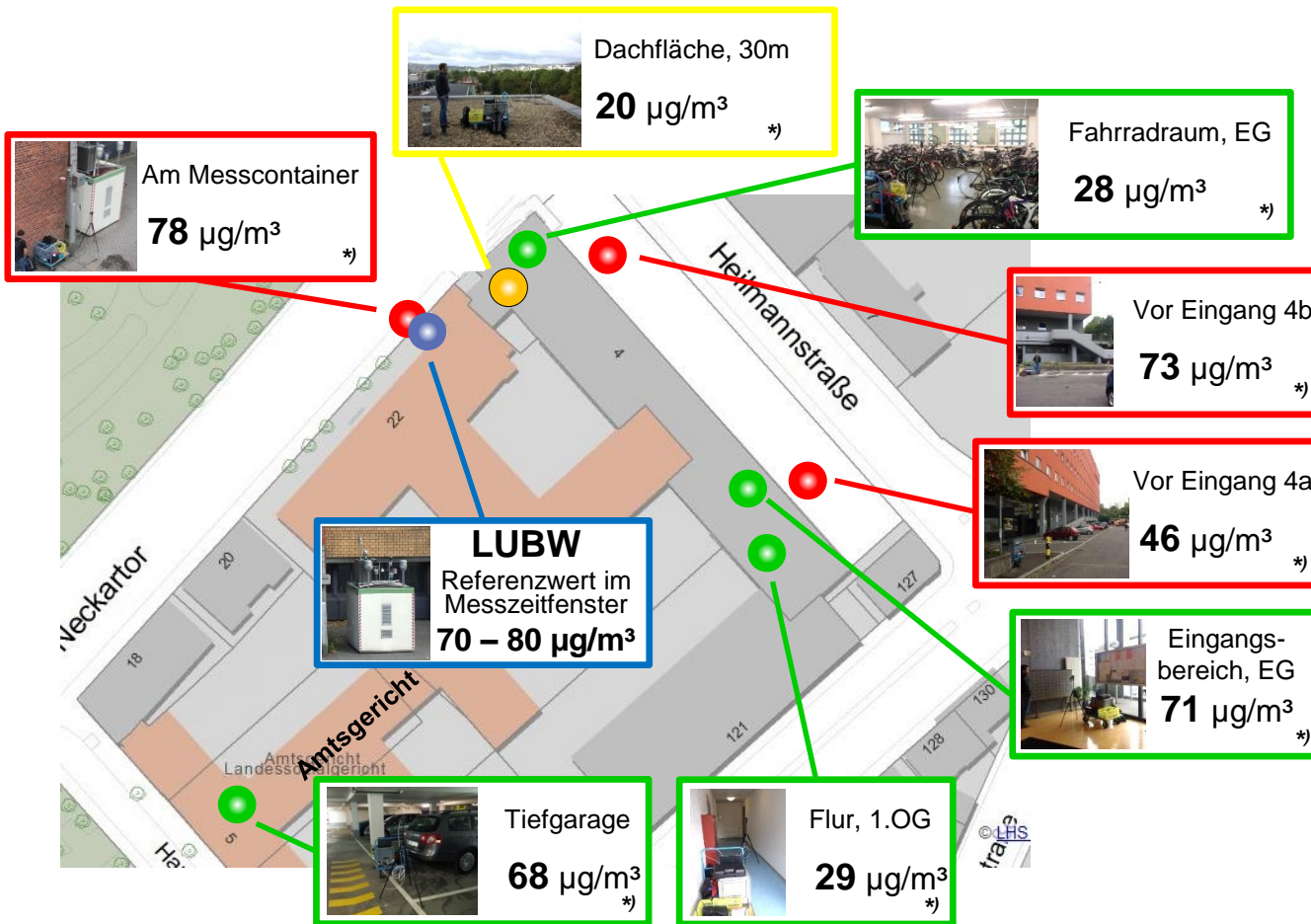
2.000 sNfz

70.300 gesamt (71.100 in 2013)



Das Neckartor ist die Messstelle mit den höchsten NO₂-Werten, welche in Deutschland gefunden wurden. Es ist eine Hot-Spot Messung!

Immissionssituation NO₂ am Beispiel „Stuttgart Neckartor“



Messungen mit Unterstützung und Messtechnik vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung IMK, KIT

Herzlichen Dank an
 Dr. Claudia Mohr
 Dr. Harald Saathoff
 Prof. Dr. Thomas Leisner

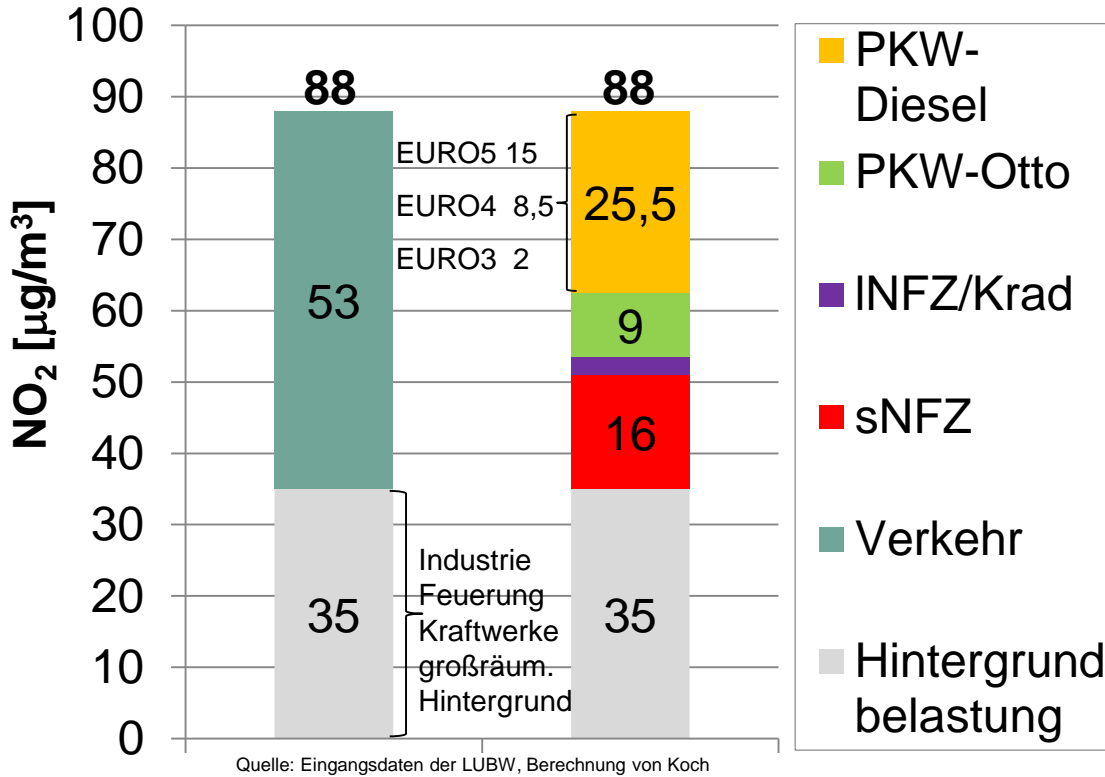
- Außenmessungen (3 Orte)
- Innenmessungen (4 Orte)
- Höhenmessungen (1 Ort)
- Referenzmesstelle der LUBW

*) Werte gemessen am 05.09.2016 durch IFKM / KIT

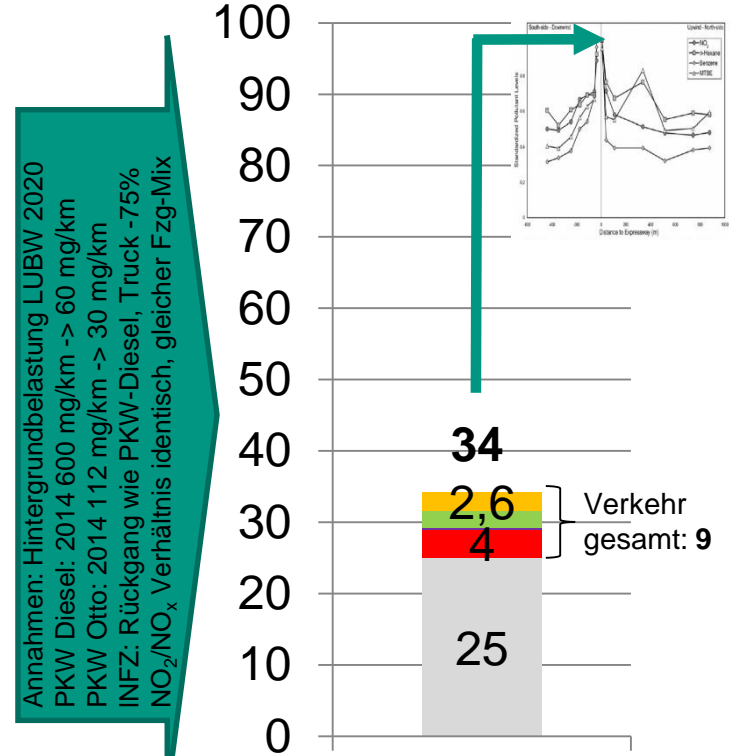
Im und auf dem Gebäude unmittelbar am Hot-Spot Neckartor (Amtsgericht) liegen die NO₂-Werte mit Ausnahme des Eingangsbereichs unter 30 µg/m³ !

Potentialanalyse: Ersatz der heutigen Fahrzeugflotte durch heutige verfügbare Besttechnologie

Potential der Immissionsentwicklung in Stuttgart am Neckartor 2016 mit Hintergrund 2020



2014



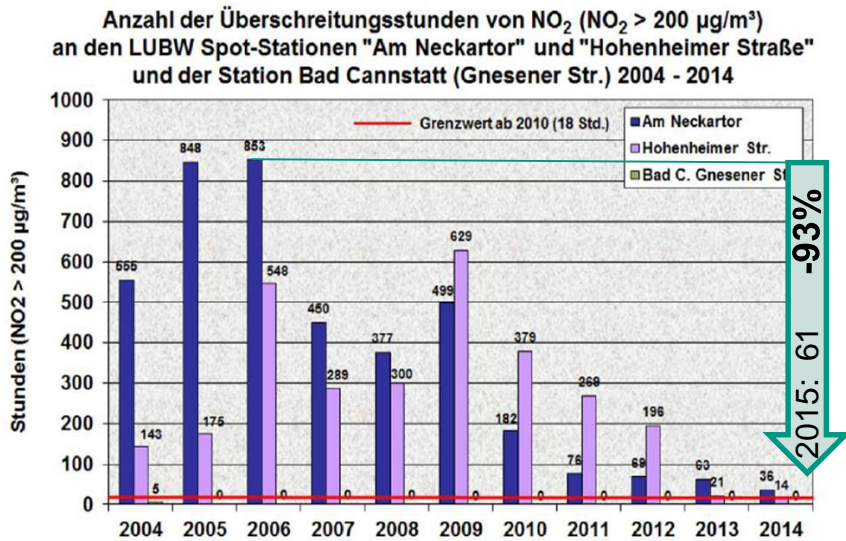
Technologiepotential 2016

Annahmen: Hintergrundbelastung LUBW 2020
 PKW Diesel: 2014 600 mg/km -> 60 mg/km
 PKW Otto: 2014 112 mg/km -> 30 mg/km
 INFZ: Rückgang wie PKW-Diesel, Truck -75%
 NO₂/NO_x Verhältnis identisch, gleicher Fzg-Mix

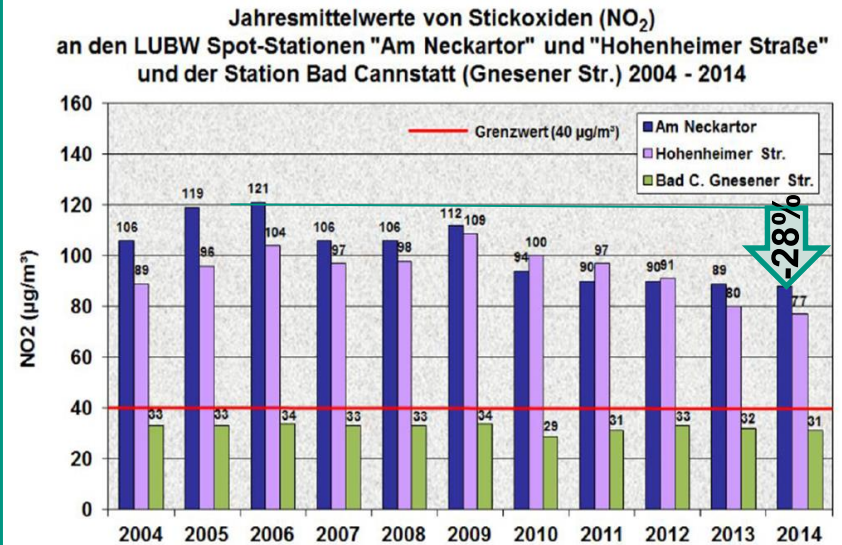
Technologisch ist die Stickoxidthematik in der Zwischenzeit gelöst!

Zeitliche Entwicklung der Immissionssituation NO₂ am Beispiel „Stuttgart Neckartor“

Überschreitungsstunden



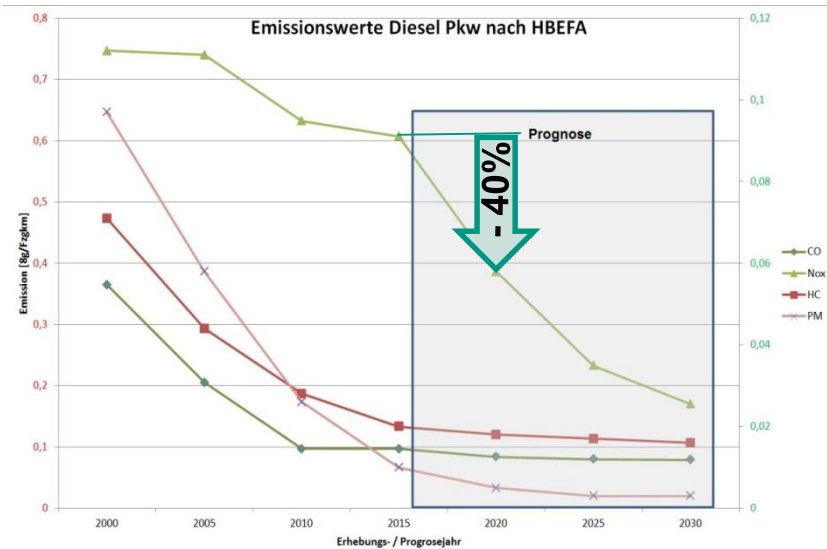
Jahresmittelwerte



Die Immissionswerte werden kontinuierlich besser. Diese Entwicklung ist zwischenzeitlich etwas abgeflacht! Das Niveau am Hotspot ist noch zu hoch.

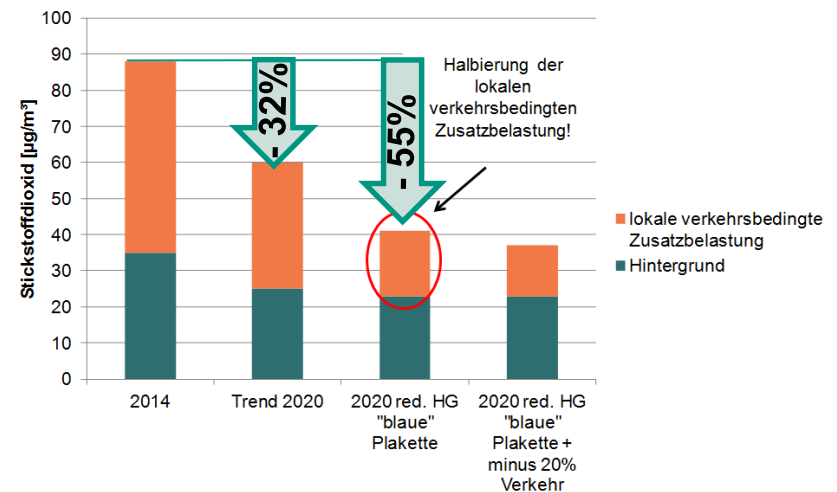
Zeitliche Entwicklung der Immissionssituation NO₂ am Beispiel „Stuttgart Neckartor“

Entwicklung der Emissionen



Quelle: INFRAS, [Online]. Available: <http://www.hbefa.net/Tools/DE/MainSite.asp>. [Zugriff am 08 2016]

Immissionsentwicklung am Hotspot in Stuttgart - Neckartor



Quelle: Christoph Erdmenger; Ministerium für Transport und Infrastruktur Baden Württemberg; IFKM/KIT – NO_x Conference, Heidelberg, 01.2016

Neue Fahrzeuge werden die Emissions- und Immissionssituation in den nächsten Jahren deutlich verbessern. 40 µg/m³ sind am Hotspot in S-Neckartor mit zusätzlichen Maßnahmen in Reichweite!

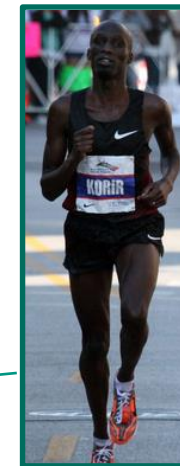
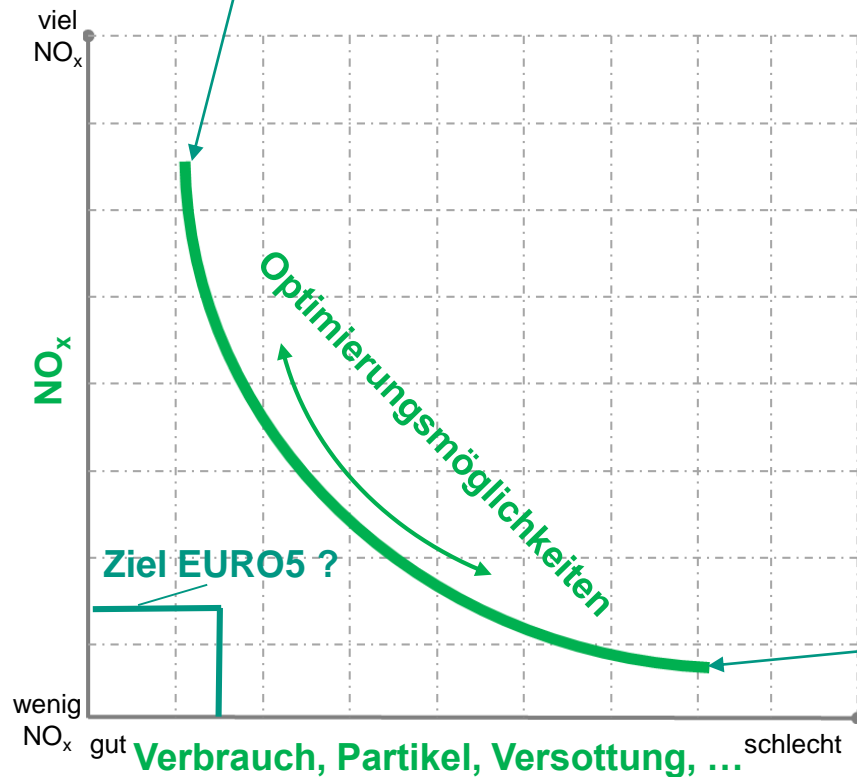
Agenda

- 1 Feinstaub und Partikelemissionen von Dieselmotoren
- 2 Allgemeine Informationen zur NO_x und NO_2 Situation
- 3 Was ist bei EURO4/5 passiert?
- 4 Was ist bei EURO6a/b passiert?
- 5 Wer wusste von höheren Emissionen im Realbetrieb?
- 6 Zusammenfassung

Konflikt beispielsweise bei EURO5 in 09/2009



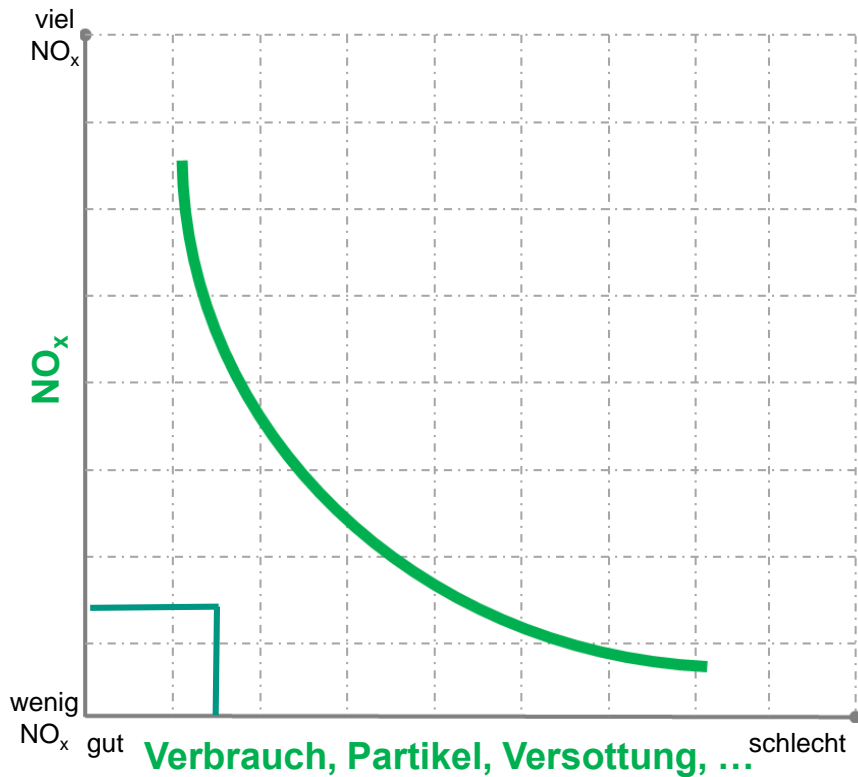
Entweder sehr stark (keine Partikel).....



...oder sehr ausdauernd (kein NO_x) ...

Quelle: <http://images.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.hwrn.de%2Fkorir-chicago-ca30km-2011.jpg>

Technischer Ansatz am Beispiel EURO5



Umsetzung
EURO5
aller
Hersteller

NEFZ

Regelung über Kennfelder
und benötigte Abschalt-
bedingungen

Illegales Vorgehen:
Zykluserkennung

Realbetrieb

Quelle: <http://images.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.hwrn.de%2Fkorir-chicago-ca30km-2011.jpg>

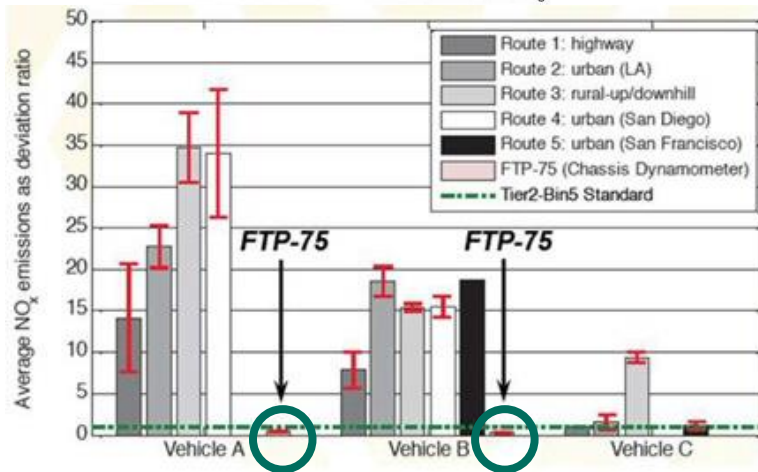
Die EURO5 Entwicklung hatte keine andere Möglichkeit, als nur im NEFZ-nahen Bereich die NO_x-Werte zu erfüllen. Sicherlich wären teilweise bessere NO_x-Emissionen im Realbetrieb möglich gewesen, 180 mg/km jedoch nicht!

Alternativen bei der Entwicklung z.B. auch EURO4/5 zum Schutz von Zuverlässigkeit, Worst-Case DPF-Durchbrand, Verbrauch

Illegal: Defeat Device



**Verboten nach Art. 3 Nr. 10 EG 715/2007
CAA 42 U.S.C. Sec. 7522(a)(3)(b)**



„Abgasmessungen von drei Fahrzeugen“, ICCT, 2015

Unbefriedigend: grenzwertige Gesetzesauslegung

- Niederlastiger Zyklus
- Laborzyklus
- Grauzonen
- Bauteilschutz
- „Thermofenster“

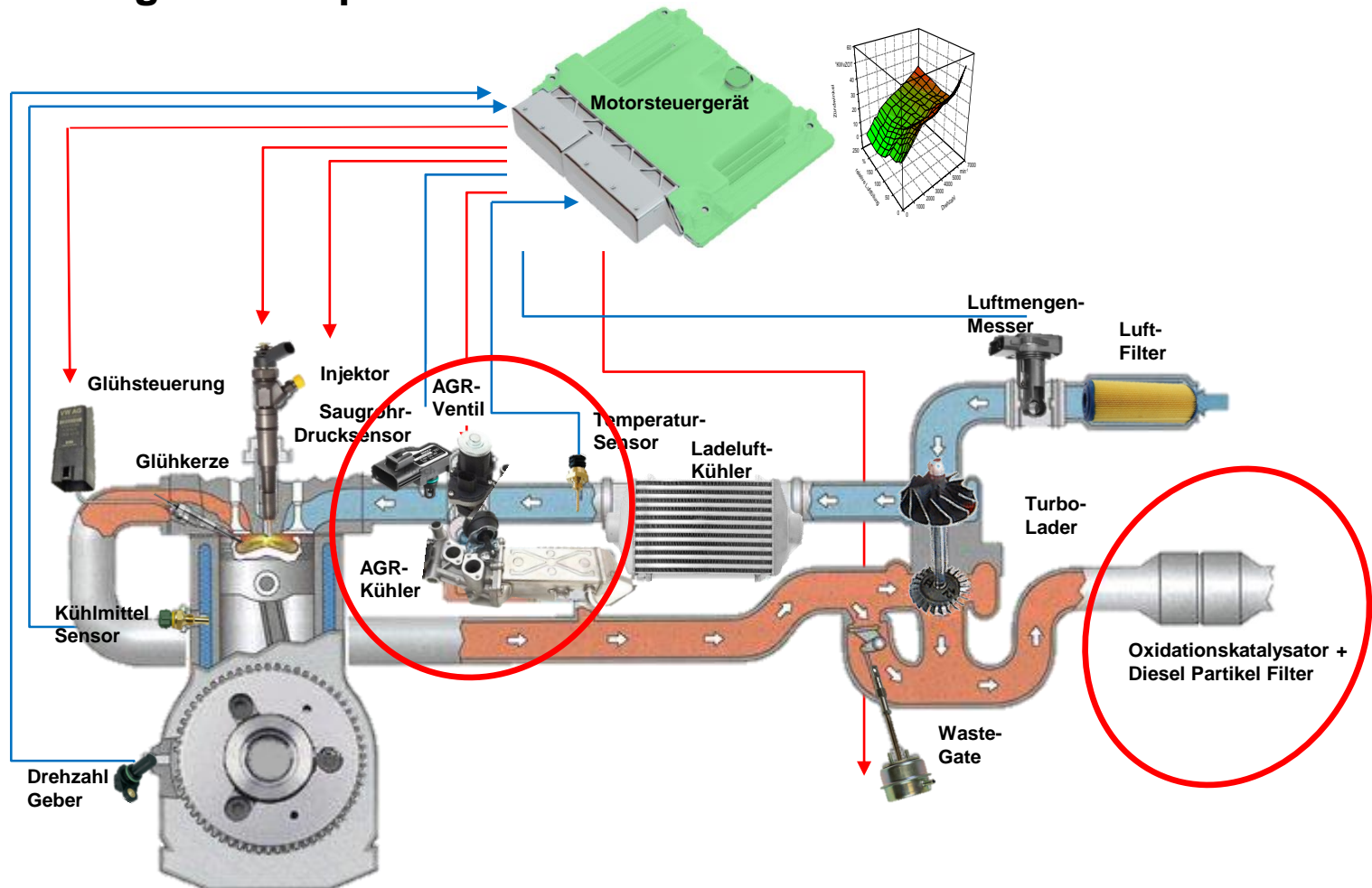
■ Versottung des AGR-Pfades



■ Ablagerungen im Abgasnachbehandlungssystem



Bauteilerläuterung am Beispiel EURO5



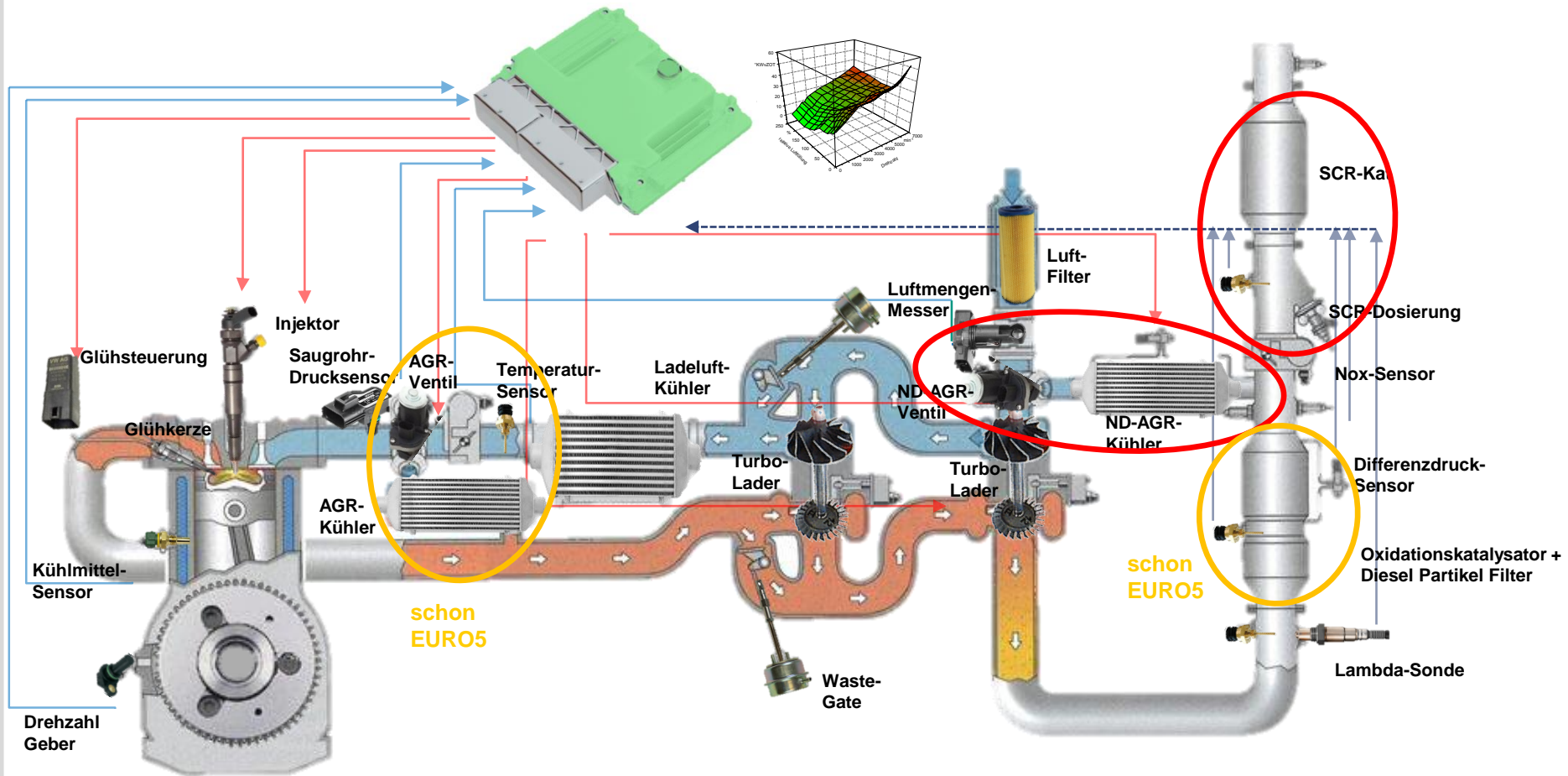
Grafik erweitert aus Zimmermann et.al., *Komplexitätsbeherrschung von Motorsteuergeräte-Funktionalitäten*, MTZ 01 2015

Wesentliche Technologiebausteine für EURO5 waren Abgasrückführung zur NO_x-Reduzierung und DOC+DPF zur Partikelreduzierung!

Agenda

- Feinstaub und Partikelemissionen von Dieselmotoren
- Allgemeine Informationen zur NO_x und NO_2 Situation
- Was ist bei EURO4/5 passiert?
- Was ist bei EURO6a/b passiert?
- Wer wusste von über Grenzwertüberschreitungen im Realbetrieb?
- Zusammenfassung

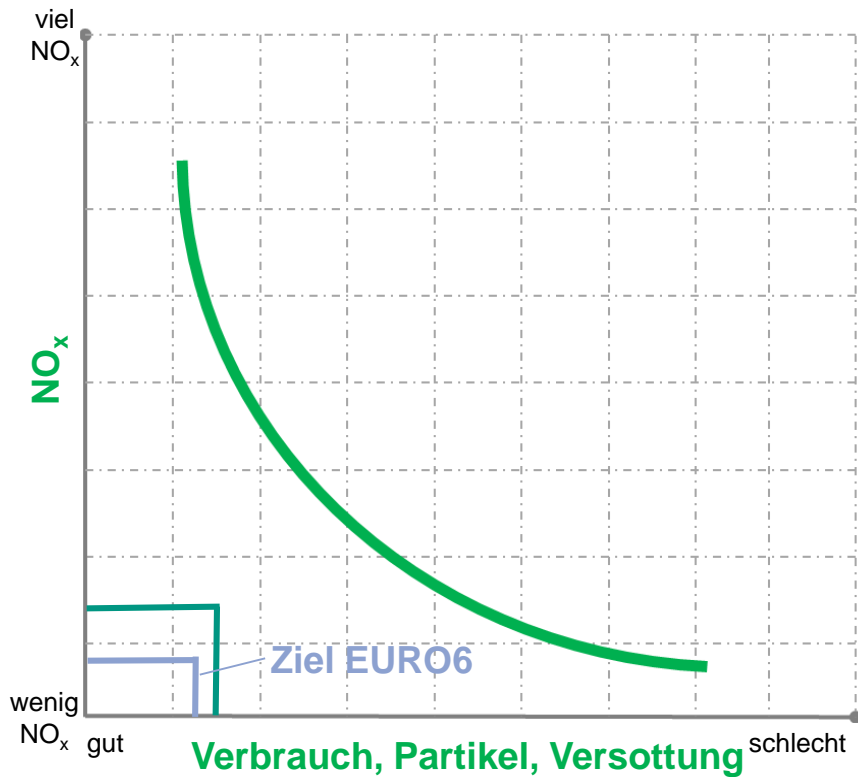
Bauteilerläuterung am Beispiel von EURO6 mit SCR in 09/2014



Grafik erweitert aus Zimmermann et al., Komplexitätsbeherrschung von Motorsteuergeräte-Funktionalitäten, MTZ 01 2015

Wesentliche neue Technologiebausteine für EURO6 waren Niederdruck-AGR (ND-AGR) und erstmalig SCR bei zahlreichen Fahrzeugen!

Technischer Ansatz am Beispiel EURO6 mit SCR



Quelle: <http://images.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.hwrn.de%2Fkorir-chicago-ca30km-2011.jpg>



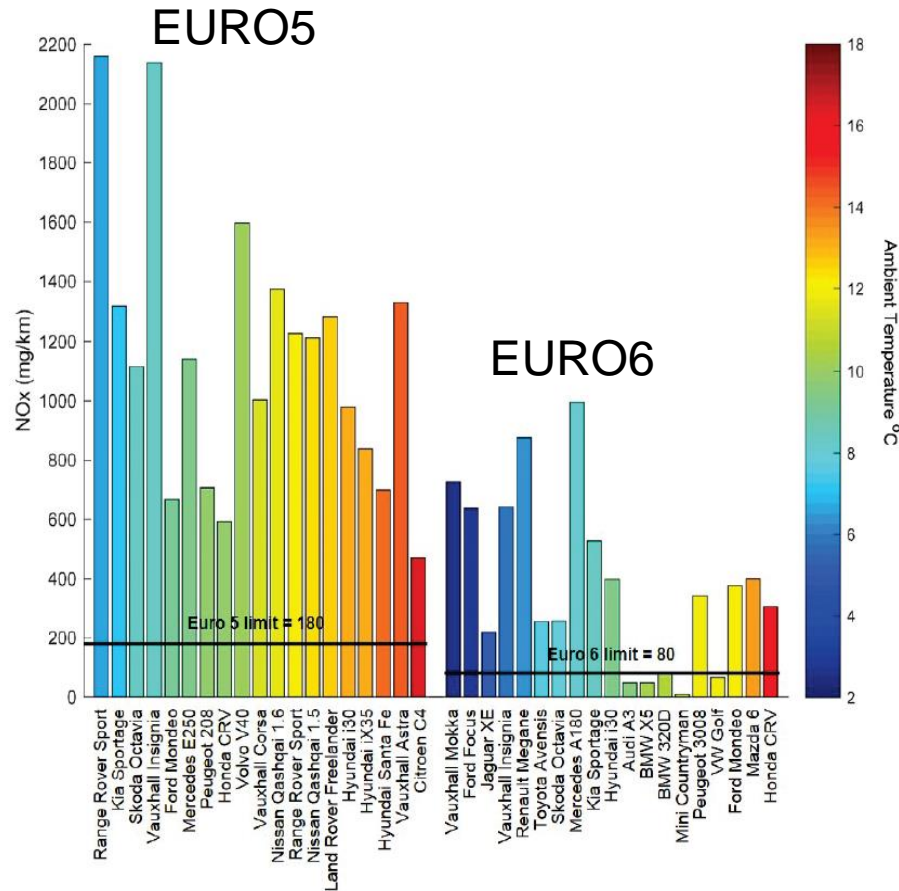
NEFZ

Realbetrieb
(stark vereinfachte Darstellung)

Regelung über Kennfelder und benötigte Abschaltbedingungen

Bei der EURO6 Entwicklung ist eine deutliche NO_x-Verbesserung im Vergleich mit EURO5 erzielt worden. Trotzdem wäre bei einigen Applikationen niedrigere NO_x-Werte erreichbar gewesen.

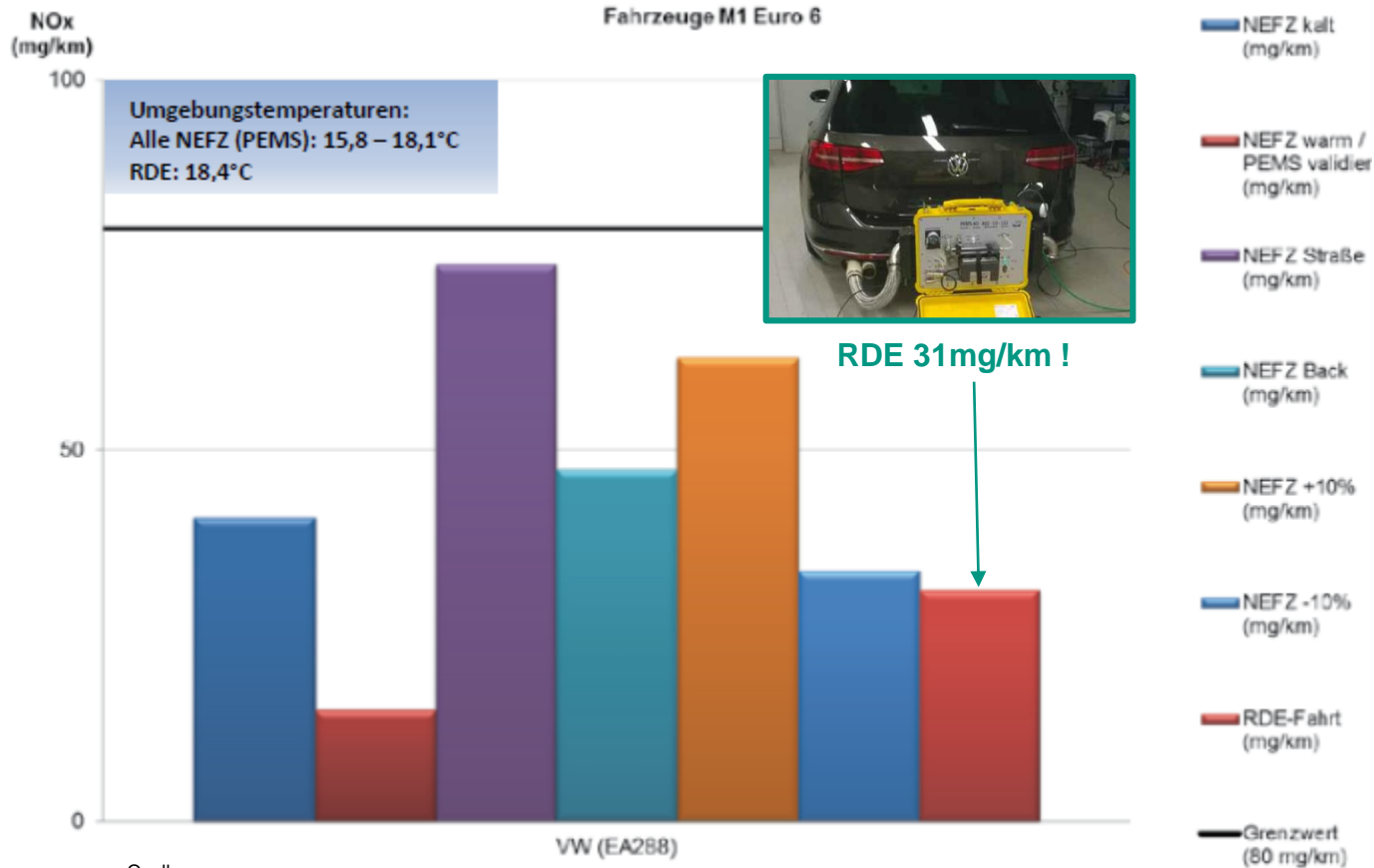
Einführung von EURO6 in 09/2014, Bericht von DfT GB



„Vehicle Emissions Testing“, Department for Transport GB, 2016

Leider gibt es teilweise sogar EURO6 Ausreißer mit über 2000 mg_NO_x/km im Stadtbetrieb!

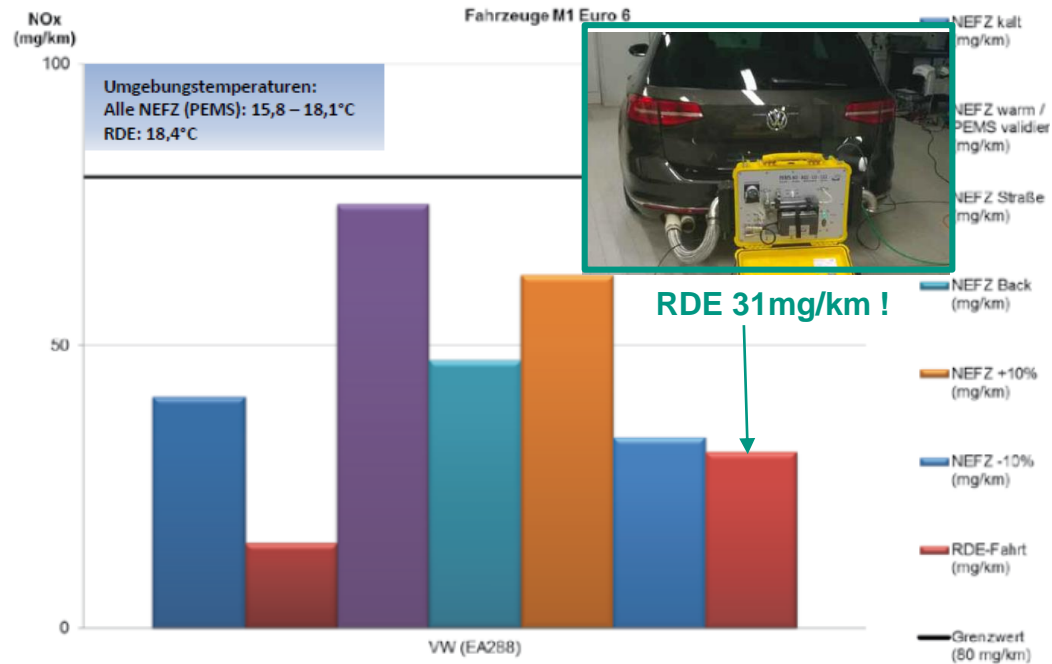
Einführung von EURO6dtemp (RDE-Gesetzgebung) in 09/2017



Quelle:
bericht-untersuchungskommission-volkswagen.pdf, 2016

Die heutigen NO_x-Realemissionen modernster Motoren sind im Zielwertbereich angekommen! Deren Entwicklung startete um 2010 und lange vor der heutigen Diskussion. Technische Aufgabe bleibt die weitere Verfeinerung des Systems!

Einführung von EURO6dtemp (RDE-Gesetzgebung) in 09/2017



Quelle:
bericht-untersuchungskommission-volkswagen.pdf, 2016

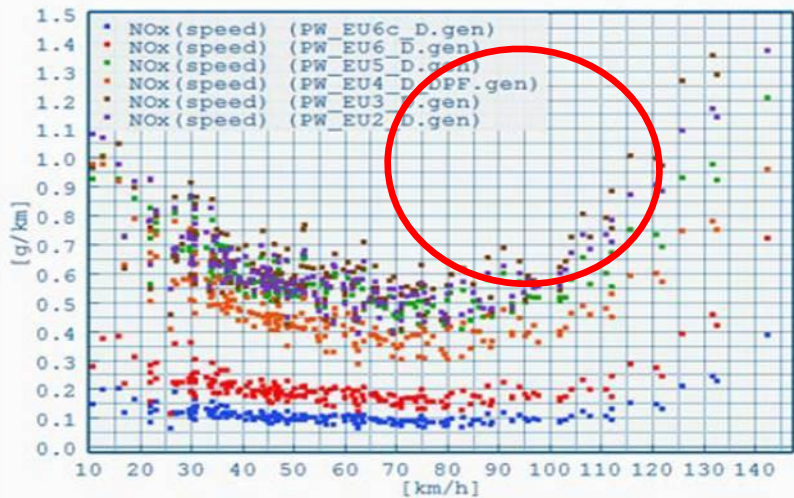
Unerwünschte Emissionen des Dieselmotors

Kohlenmonoxid	CO	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Kohlenwasserstoff	HC	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Schwefeloxide	SO _x	von Umweltmessstationen typischerweise nicht mehr aufgezeichnet	✓
Partikel	PM	Feinstaubalarm, PM-Immissionsbelastung	✓
Stickstoffoxide	NO _x	NO ₂ -Immissionsbelastung	✓

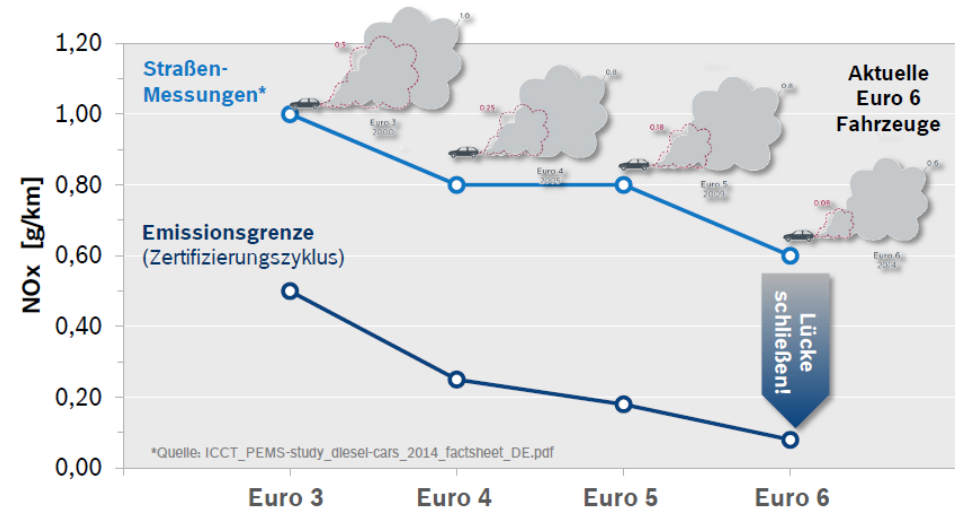
Agenda

- 1 Feinstaub und Partikelemissionen von Dieselmotoren
- 2 Allgemeine Informationen zur NO_x und NO_2 Situation
- 3 Was ist bei EURO4/5 passiert?
- 4 Was ist bei EURO6a/b passiert?
- 5 Wer wusste von höheren Emissionen im Realbetrieb?
- 6 Zusammenfassung

Emissionen im Realbetrieb



Quelle: INFRAS, [Online]. Available: <http://www.hbefa.net/Tools/DE/MainSite.asp>
 Beispielhafte Emissionsdarstellung



Quelle: ICCT_PEMS-study_diesel-cars_2014_factsheet_DE.pdf

Es kann aus meiner Sicht (leider) nie bis EURO6b gefordert gewesen sein, im gesamten realen Betrieb die Grenzwerte einhalten zu müssen. Schon in den 1990er Jahren gab es erste Aufzeichnungen, dass die NO_x-Realemissionen auch erhöht sind (HBEFA, INFRAS)!

Agenda

- 1 Feinstaub und Partikelemissionen von Dieselmotoren
- 2 Allgemeine Informationen zur NO_x und NO_2 Situation
- 3 Was ist bei EURO4/5 passiert?
- 4 Was ist bei EURO6a/b passiert?
- 5 Wer wusste von höheren Emissionen im Realbetrieb?
- 6 Zusammenfassung

Reaktion auf meinen FAZ-Artikel vom 01.07.2016

Reaktion eines Lesers an mich vom 15.07.2016

Sehr geehrter Herr Koch,

mit Erschrecken habe ich Ihren Artikel in der FAZ gelesen.

Unfassbar, wie Sie - als Leiter eines wichtigen Bereiches des KIT - das Thema "Dieselmotor" abhandeln

"Der Dieselmotor ist ein hervorragender Antrieb für eine emissionsarme Zukunft"

Absurd, einfach unfassbar wie SIE in dieser Position so etwas publizieren können.

Die darauffolgende zweite Antwort dieses Lesers an mich am 26.07.2016

Diese (Ingenieure) vollbringen durch konsequente Weiterentwicklung und Disziplin kleine technische Wunder.

Wird es nicht so sein, dass der "Dieselmotor" als Sündenbock genommen wird (wie auch von mir selbst bisher als richtig eingestuft..),

Mit großem Respekt werde ich bei Fragen zum Thema "Emission von Verbrennungsmotoren" auf Sie als - bisher einzigen mir bekannten - Spezialist verweisen. Ihre Erklärungen haben mich sehr gefreut und beeindruckt.

Daher, nochmals herzlichen Dank.

Schlußfolgerungen und Empfehlungen (1/2)

- **Die Partikelthematik der Dieselmotoren ist gelöst!**
- **Die NO₂-Immissionsbelastung sinkt und wird zeitnah noch deutlicher sinken.**
- **Die Grenzwertüberschreitungen müssen reduziert/eliminiert werden. Der Fahrzeugbeitrag mit der modernsten EURO6 Fahrzeugflotte würde in S-Neckartor nur noch 9 µg/m³ vom Grenzwert 40 µg/m³.**
- **EURO4 und EURO5 waren nie im Realbetrieb mit der damals vorliegenden Technologie einzuhalten. Eine minimalistische NEFZ-NO_x-Applikation ist die unbefriedigende, jedoch nachvollziehbare Konsequenz. Die Abschaltvorrichtungen/Teststrategie waren prinzipiell leider notwendig. Kritik verdienen die rigorose Testauslegung mit einer geringen NO_x-Gewichtung.**
- **EURO6a/b Fahrzeuge emittieren zwar deutlich weniger NO_x als EURO5, gleichwohl sind einige Lösungen sehr unbefriedigend!**

Schlußfolgerungen und Empfehlungen (2/2)

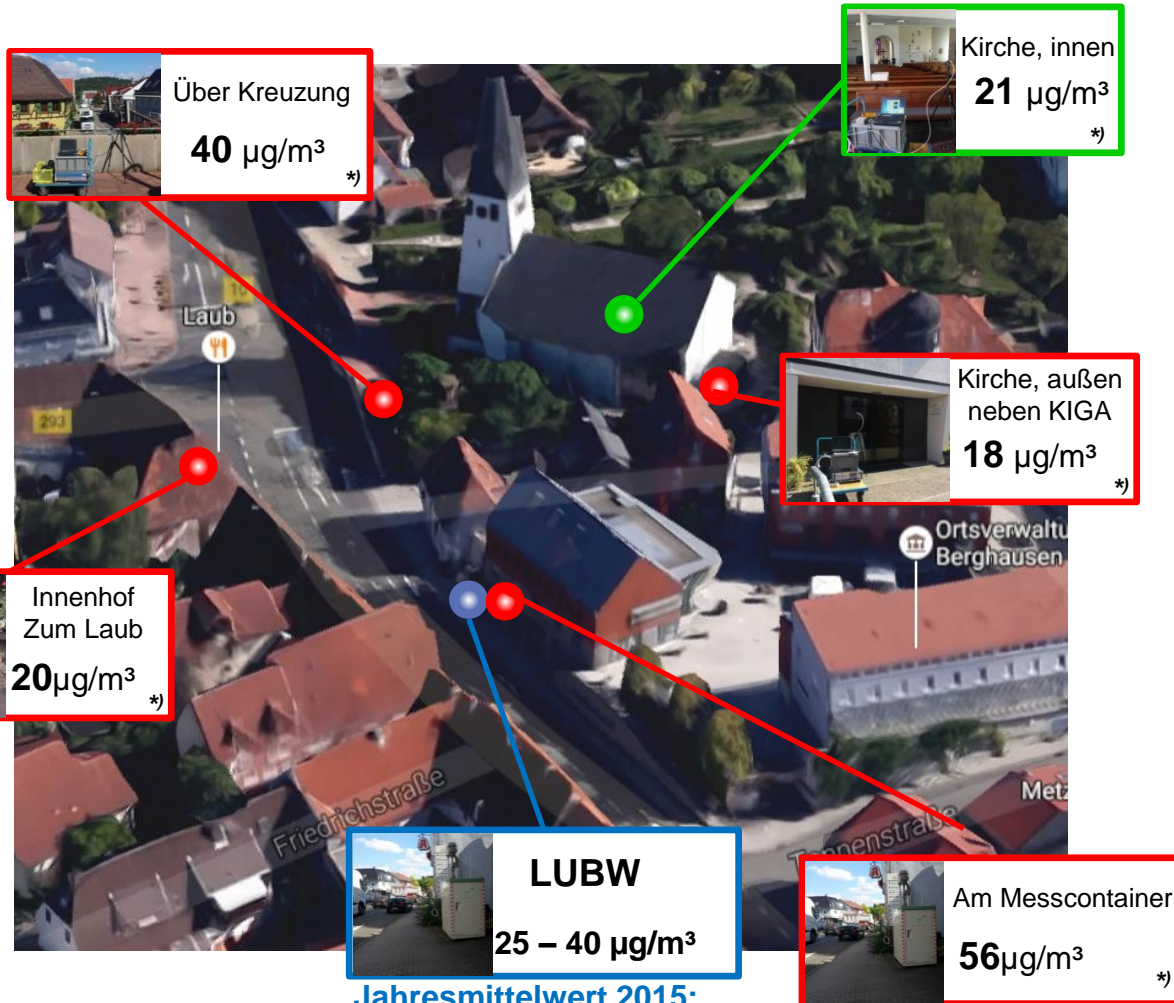
- **Generelle Empfehlungen sind aus meiner Sicht:**
 - **Zügige Umsetzung des RDE Pakets EURO6dTemp**
 - **Neutrale technische Dienste mit unabhängiger Finanzierung**
 - **Transparente ISC für RDE Fahrzeuge (Entwicklungsansporn)**
 - **Mit Augenmaß Überprüfung der EURO6 Fahrzeuge**

- **Skeptisch und zurückhaltend bin ich bei:**
 - **ausgedehnten COP Überprüfungen (kein Mehrwert / eher Aufwand)**
 - **ausgeweiteter Offenlegung der Emissionsstrategie (Kein Bedarf bei ISC, kaum Expertise in den Behörden, keine europaweite Einheitlichkeit, viel Aufwand/geringer Nutzen/keine Notwendigkeit bei ISC)**
 - **Neubedatung der EURO5 Fahrzeuge (Herausforderungen sind gleich)**

- **Alle Beteiligten (Industrie, Politik, Presse, Öffentlichkeit) sind gut beraten, das angekratzte Vertrauen und den nachfolgend fahrlässig beschädigten Ruf des Diesels wieder herzustellen.**

- **Der Diesel ist der umweltfreundlichste Antrieb und wird es noch lange bleiben!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Messungen mit Unterstützung und Messtechnik vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung IMK, KIT

Herzlichen Dank an
 Dr. Claudia Mohr
 Dr. Harald Saathoff
 Prof. Dr. Thomas Leisner



Unser Garten
 10 µg/m³

- Außenmessungen (5 Orte)
- Innenmessungen (1 Ort)
- Referenzmessstelle der LUBW

*) Werte gemessen am 06.09.2016 durch IFKM/KIT