

# ÖVG Forum: Dieselmotor – Gibt es Alternativen?

04. April 2018,  
Wirtschaftskammer Wien

## Hat der Dieselmotor Zukunft?



Institut für Fahrzeugantriebe  
& Automobiltechnik

**Univ. Prof. Dr. Bernhard Geringer**

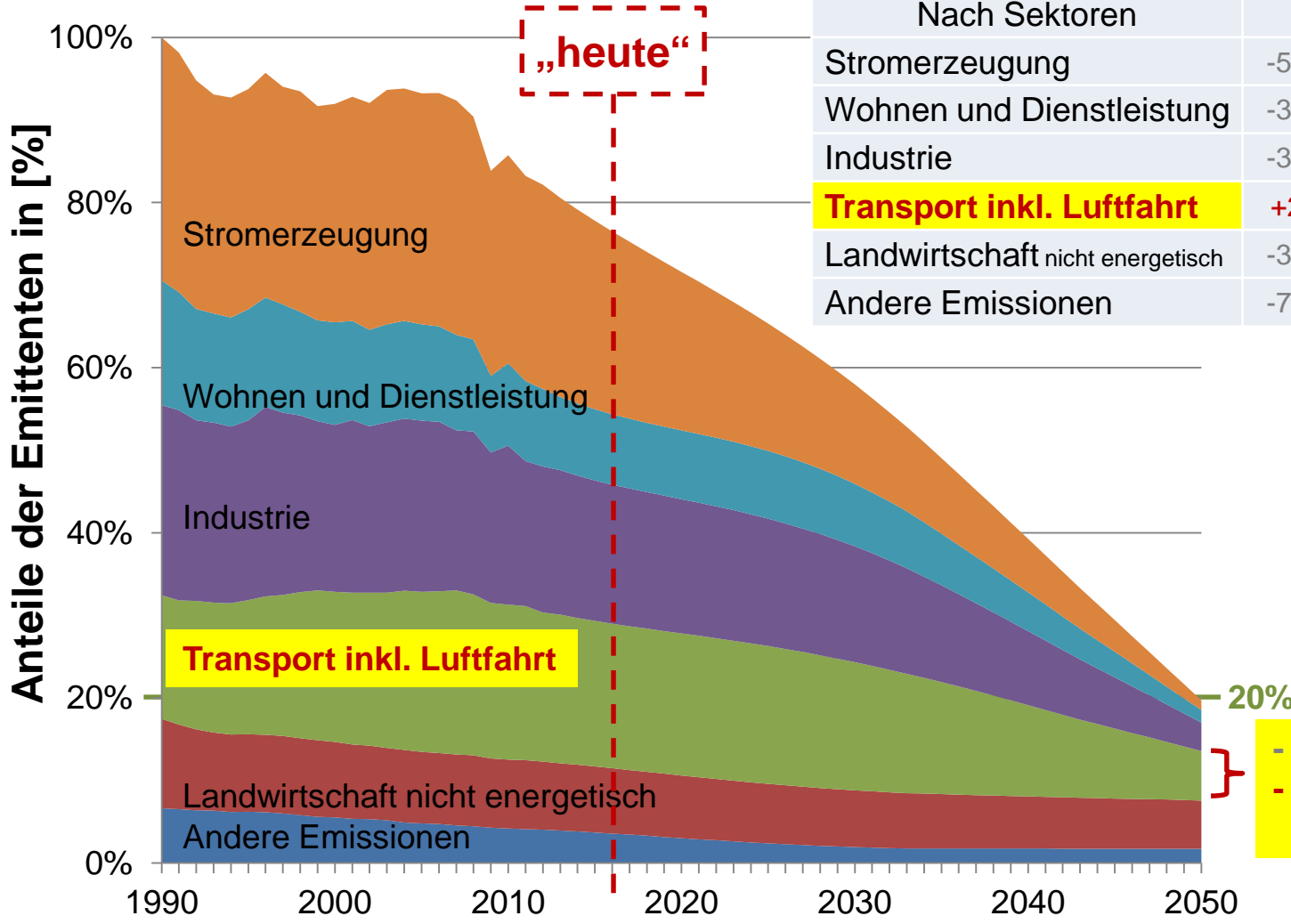


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Gliederung

- **CO<sub>2</sub>- und Emissions-Gesetzgebung in der EU**
- Emissionsvorgaben und Realemissionen
- Immissionssituation und Dieseleinfluss
- Technische Lösung des NO<sub>x</sub>-Problems bei Diesel
- Zeitliche Umsetzung der Diesel Abgasnachbehandlung
- Zusammenfassung

# EU-Roadmap zur Treibhausgasreduktion bis 2050 um 80 % zur Basis 1990



| THG – Ziel Basis 1990            | 2030                | 2050                 |
|----------------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Insgesamt</b>                 | -40 bis -44 %       | <b>-79 bis -82 %</b> |
| Nach Sektoren                    |                     |                      |
| Stromerzeugung                   | -54 bis -68 %       | -93 bis -99 %        |
| Wohnen und Dienstleistung        | -37 bis -53 %       | -88 bis -91 %        |
| Industrie                        | -34 bis -40 %       | -83 bis -87 %        |
| <b>Transport inkl. Luftfahrt</b> | <b>+20 bis -9 %</b> | <b>-54 bis -67 %</b> |
| Landwirtschaft nicht energetisch | -36 bis -37 %       | -42 bis -49 %        |
| Andere Emissionen                | -72 bis -73 %       | -70 bis -78 %        |

**- 60% von 1990**  
**- 66% von „heute“ –für gesamten Transport**

Quelle: EUROPÄISCHE KOMMISSION und © 2014 United Nations Framework Convention on Climate Change

# Emissionsgrenzwerte für Pkw

## Dieselmotor (Angaben in mg/km, bei PN in 1/km)

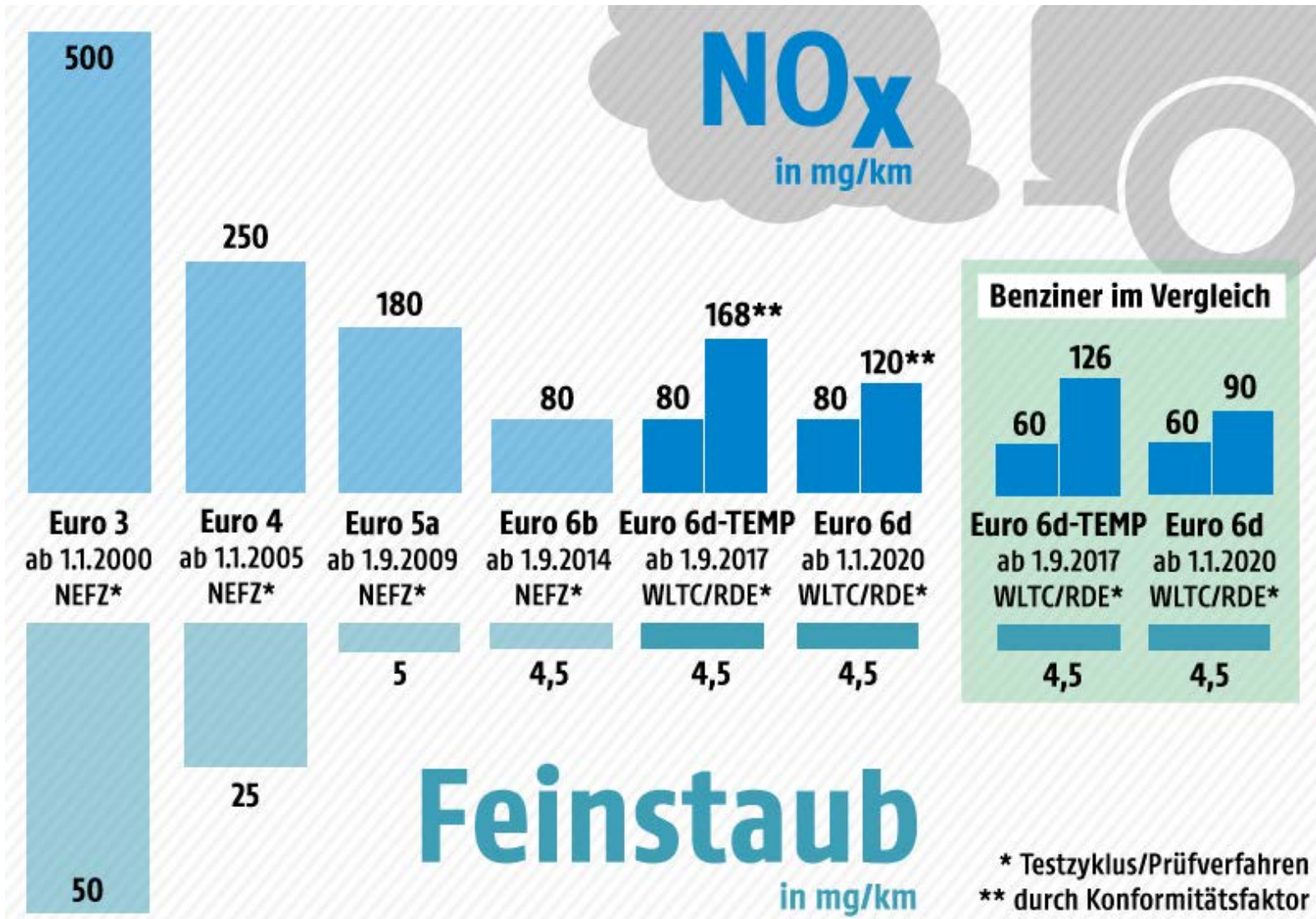
| Norm                              | Euro 3       | Euro 4       | Euro 5a      | Euro 5b            | Euro 6b      | Euro 6c                                 | Euro 6d-TEMP | Euro 6d      |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|---|--------------|--------------|
| Typgenehmigung neue Fahrzeugtypen | 1. Jan. 2000 | 1. Jan. 2005 | 1. Sep. 2009 | 1. Sep. 2011       | 1. Sep. 2014 | 1. Sep. 2017                            |              | 1. Jan. 2020 |
| Typgenehmigung neue Fahrzeuge     | 1. Jan. 2001 | 1. Jan. 2006 | 1. Jan. 2011 | 1. Jan. 2013       | 1. Sep. 2015 | 1. Sep. 2018                            | 1. Sep. 2019 | 1. Jan. 2021 |
| Testzyklus/Prüfverfahren          | NEFZ         |              |              |                    |              | WLTC                                    | WLTC / RDE   |              |
| NOx                               | 500          | 250          | 180          |                    | 80           |   | 80 / 168     | 80 / 120     |
| PM                                | 50           | 25           | 5            | 4,5                |              | 4,5 / –                                 |              |              |
| PN                                | -            |              |              | 6·10 <sup>11</sup> |              | 6·10 <sup>11</sup> / 9·10 <sup>11</sup> |              |              |

## Ottomotor (Angaben in mg/km, bei PN in 1/km)

| Norm                              | Euro 3       | Euro 4       | Euro 5a      | Euro 6b              | Euro 6c              | Euro 6d-TEMP                                | Euro 6d      |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|---|--------------|
| Typgenehmigung neue Fahrzeugtypen | 1. Jan. 2000 | 1. Jan. 2005 | 1. Sep. 2009 | 1. Sep. 2014         | 1. Sep. 2017         |   | 1. Jan. 2020 |
| Typgenehmigung neue Fahrzeuge     | 1. Jan. 2001 | 1. Jan. 2006 | 1. Jan. 2011 | 1. Sep. 2015         | 1. Sep. 2018         | 1. Sep. 2019                                | 1. Jan. 2021 |
| Testzyklus/Prüfverfahren          | NEFZ         |              |              |                      | WLTC                 | WLTC / RDE                                  |              |
| NOx                               | 150          | 80           | 60           |                      | 60 / 126             |   | 60 / 90      |
| PM                                | -            |              | 5 *          | 4,5 *                |                      | 4,5 * / –                                   |              |
| PN                                | -            |              |              | 6·10 <sup>12</sup> * | 6·10 <sup>11</sup> * | 6·10 <sup>11</sup> * / 9·10 <sup>11</sup> * |              |

\*... gilt nur für Ottomotoren mit Direkteinspritzung

# NOx und PM -Grenzwerte für Diesel-Pkw



Quelle: GSV - Presspiegel 8/2018

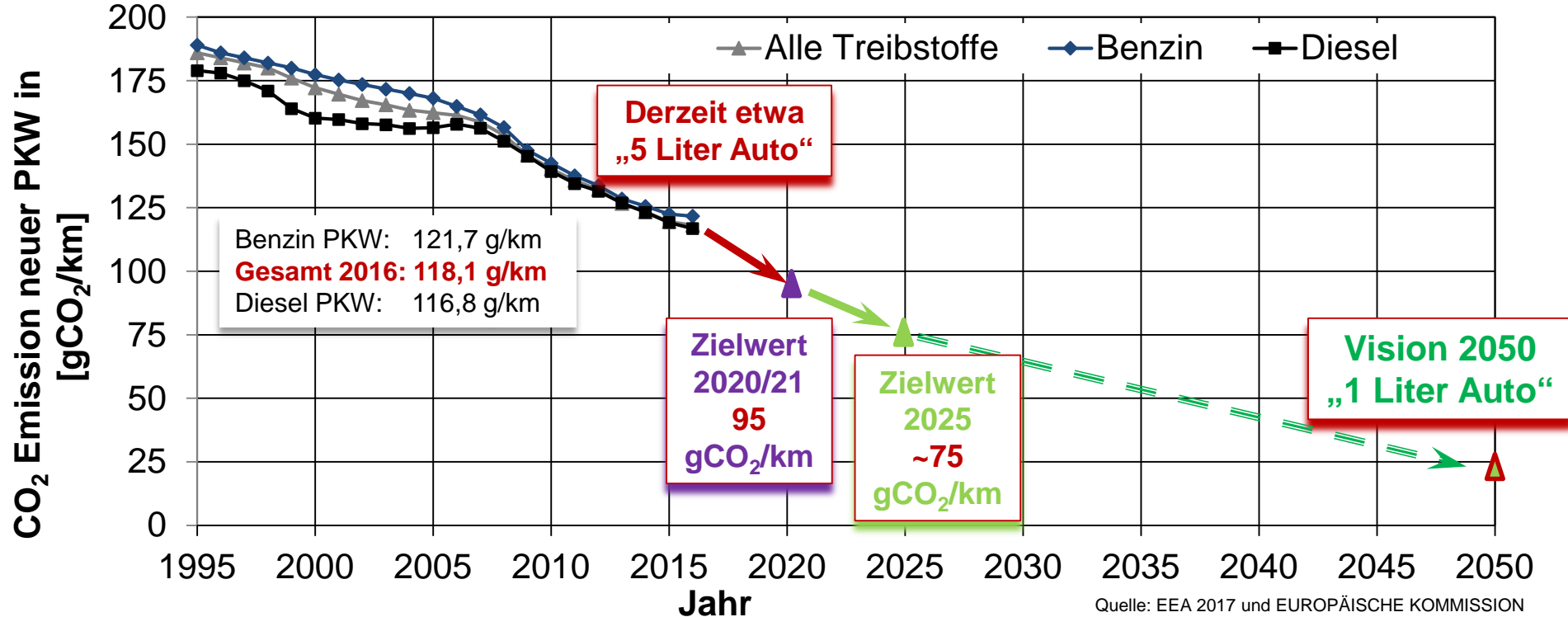
# Gliederung

- CO<sub>2</sub>- und Emissions-Gesetzgebung in der EU
- **Emissionsvorgaben und Realemissionen**
- Immissionssituation und Dieseleinfluss
- Technische Lösung des NO<sub>x</sub>-Problems bei Diesel
- Zeitliche Umsetzung der Diesel Abgasnachbehandlung
- Zusammenfassung

# Vom 5 Liter-Auto zum „1 Liter-Auto“

Durchschnittliche Treibhausgas-Minderung für Transportwesen etwa 2/3:

- Flugverkehr aber auch Gütertransport werden neben technischen Grenzen auch eher wirtschaftliche Grenzen des Machbaren erreichen daher →
- **Individualverkehr wird wahrscheinlich die relativ größte Reduktion erreichen müssen → etwa 80%**
- **Lösung nur mit regenerativen Energieformen**



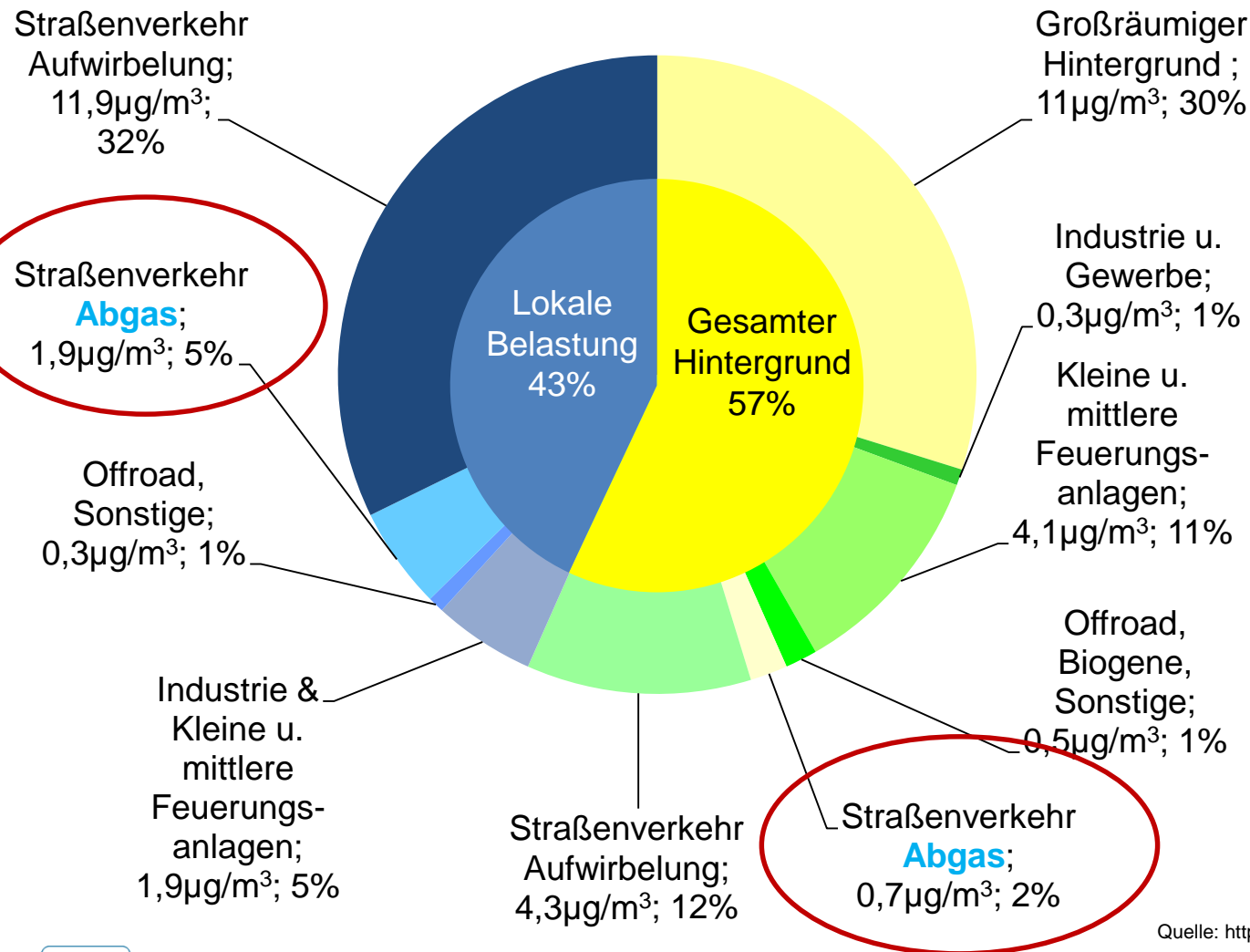
# Gliederung

- CO<sub>2</sub>- und Emissions-Gesetzgebung in der EU
- Emissionsvorgaben und Realemissionen
- **Immissionssituation und Deseleinfluss**
- Technische Lösung des NO<sub>x</sub>-Problems bei Diesel
- Zeitliche Umsetzung der Diesel Abgasnachbehandlung
- Zusammenfassung



# PM<sub>10</sub>-Immission nach Verursachern: Stuttgart Am Neckartor 2015

## Partikel aus Fahrzeug- Abgasen gelten durch den Partikelfilter als gelöst

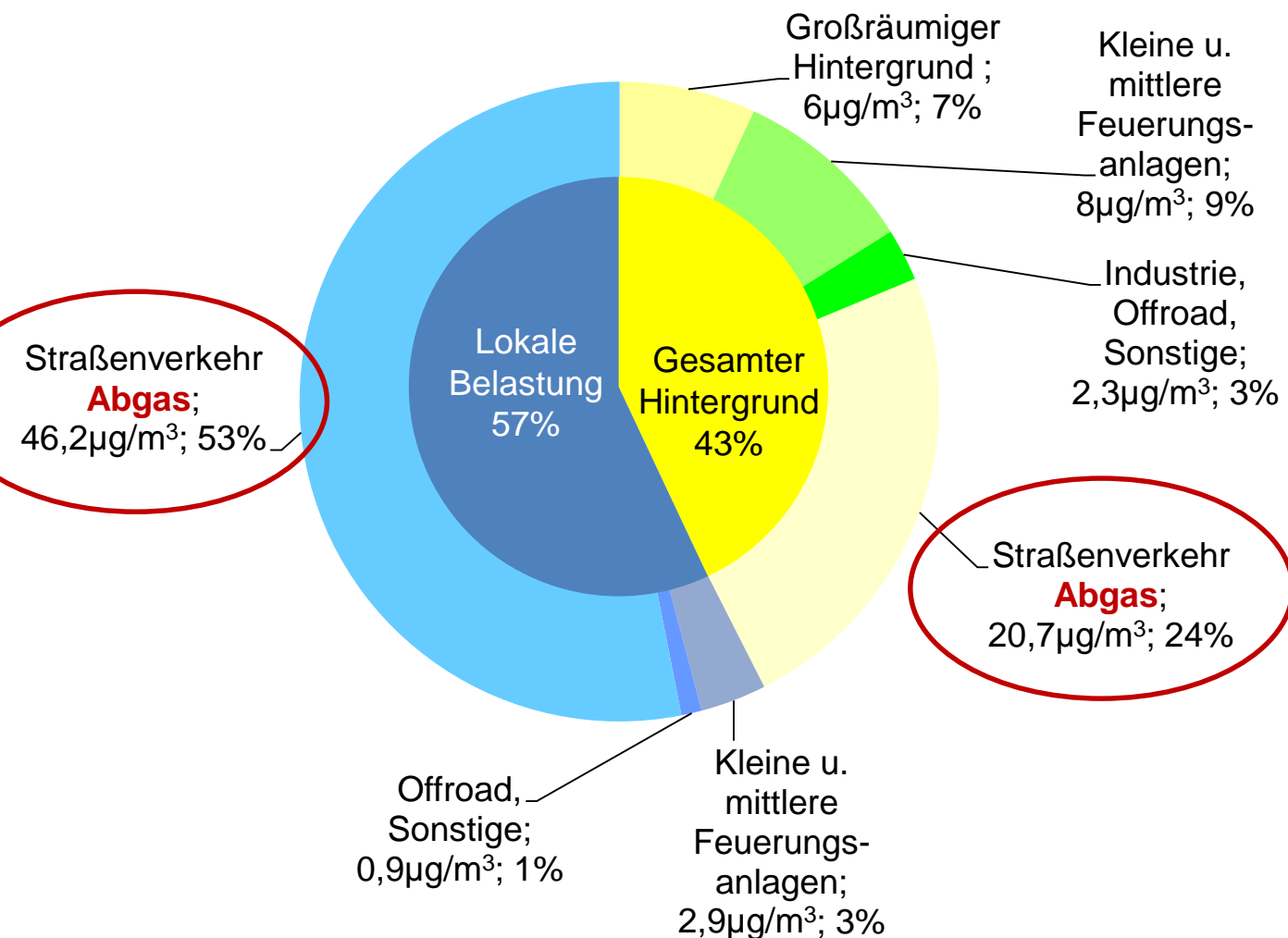


- **5% kommen von VKM Emissionen (7% inkl. Hintergrund)**
  - 32% stammen aus indirektem Verkehrsstaub wie Reifen, Bremsen, Aufwirbelung, ... (44% inkl. Hintergrund)
- **PM10 nur geringfügig von VKM-Emissionen beeinflusst**
- Verbannung alle VKM aus der Stadt gibt nur geringfügige Entspannung
- Nur das Verbot aller Verkehrsmittel (inkl. BEV) kann helfen

Quelle: <https://www.stuttgart.de/img/mdb/item/584405/123425.pdf>

# NO<sub>2</sub>-Immission nach Verursachern: Stuttgart Am Neckartor 2015

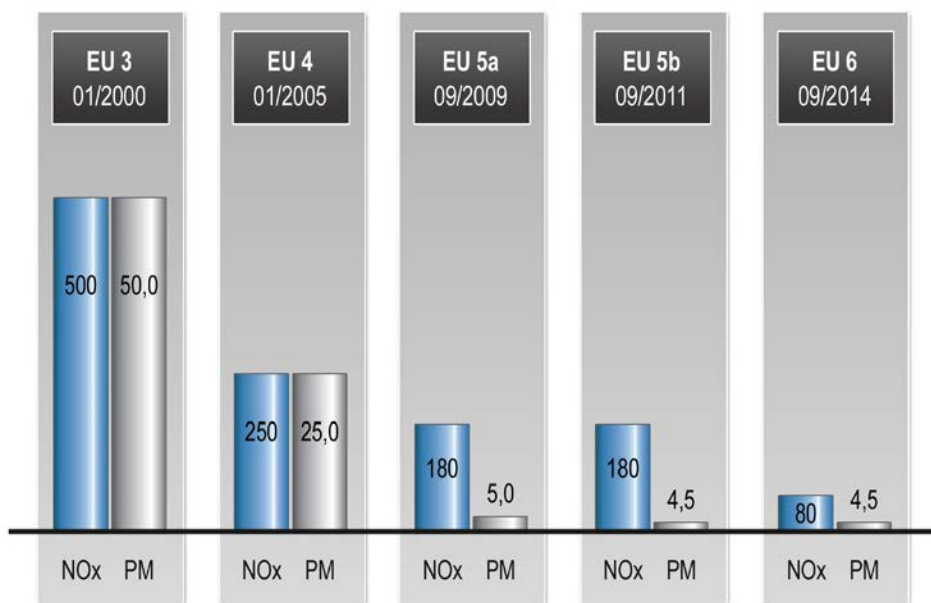
Stickoxide aus Diesel- Abgasen müssen „runter“



- 53% kommen von VKM Emissionen (77% inkl. Hintergrund)
- **VKM Emissionen als lokale Hauptquelle**
- **Generiert hauptsächlich von Diesel Fahrzeugen**
- **Technische Lösungen verfügbar**

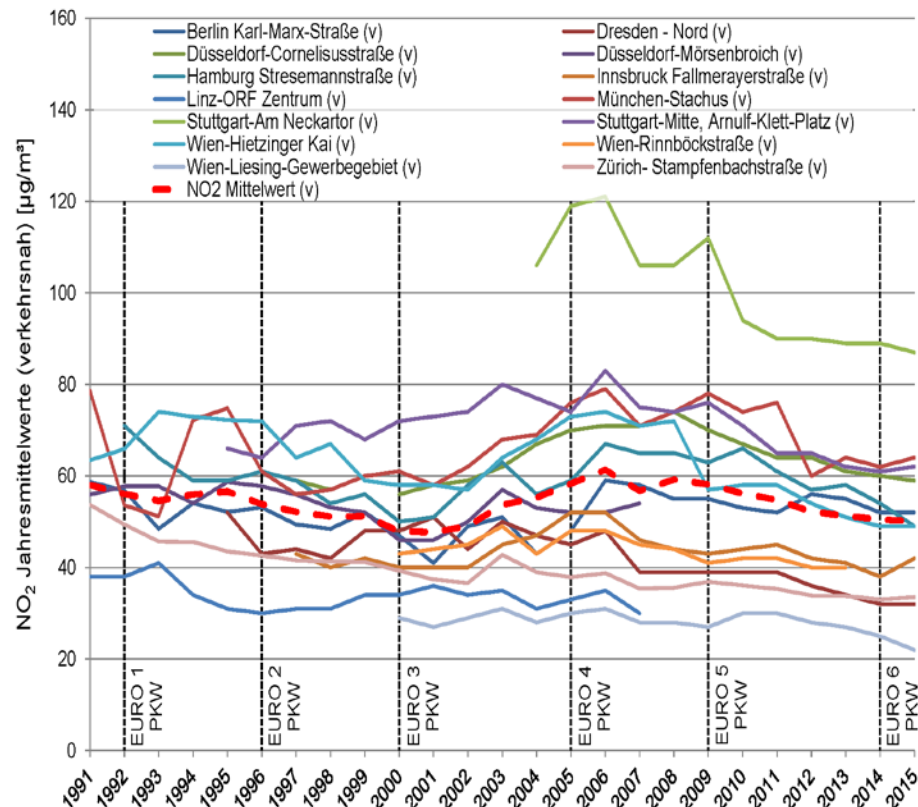
# Immissionssituation bei Stickoxiden

- Emissionsgrenzwerte für  $\text{NO}_x$  in NEFZ wurden regelmäßig verschärft
- **Luftqualität bei  $\text{NO}_2$  wurde nicht in vergleichbarer Weise besser**



Grenzwerte für PKW-Dieselmotoren in EU

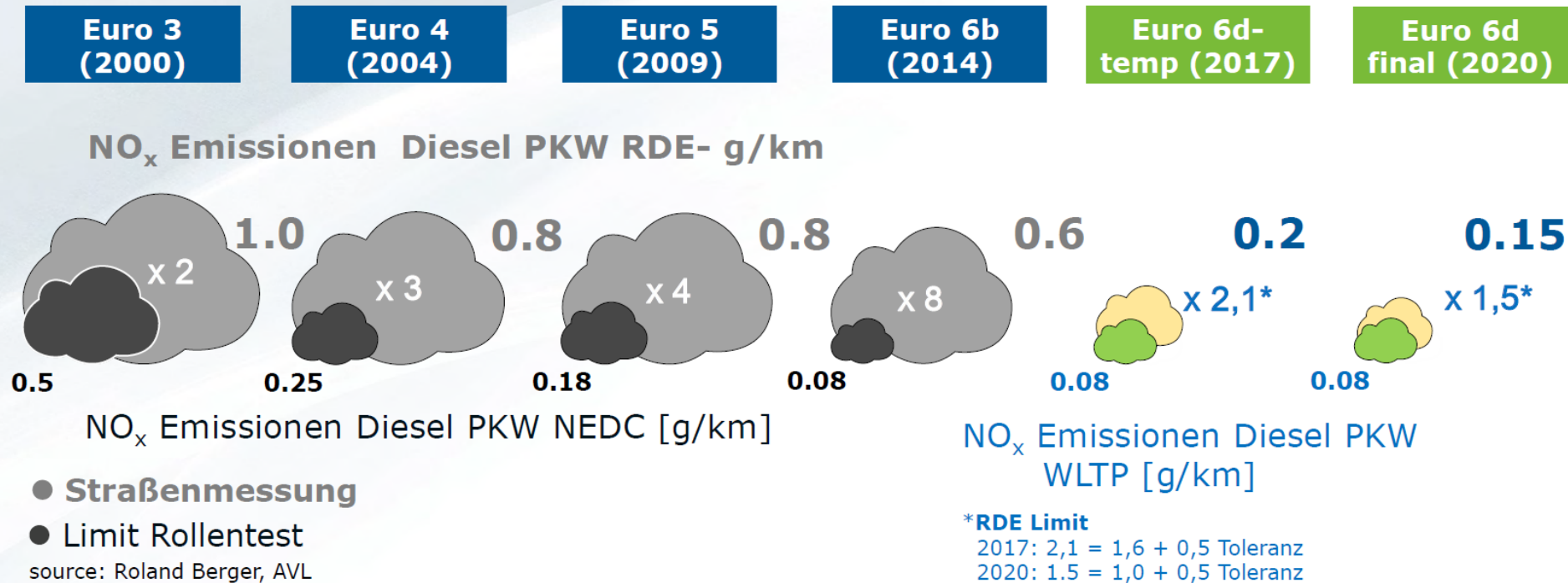
Angaben in mg/km



Quelle: Peter Lückert, Daimler AG

# NO<sub>x</sub>-Messergebnisse abhängig vom Messverfahren

- **Idealisiertes Verfahren: NEDC bisher in Anwendung**
- **Realemissionen (RDE): WLTP seit 09/2017 in Anwendung**

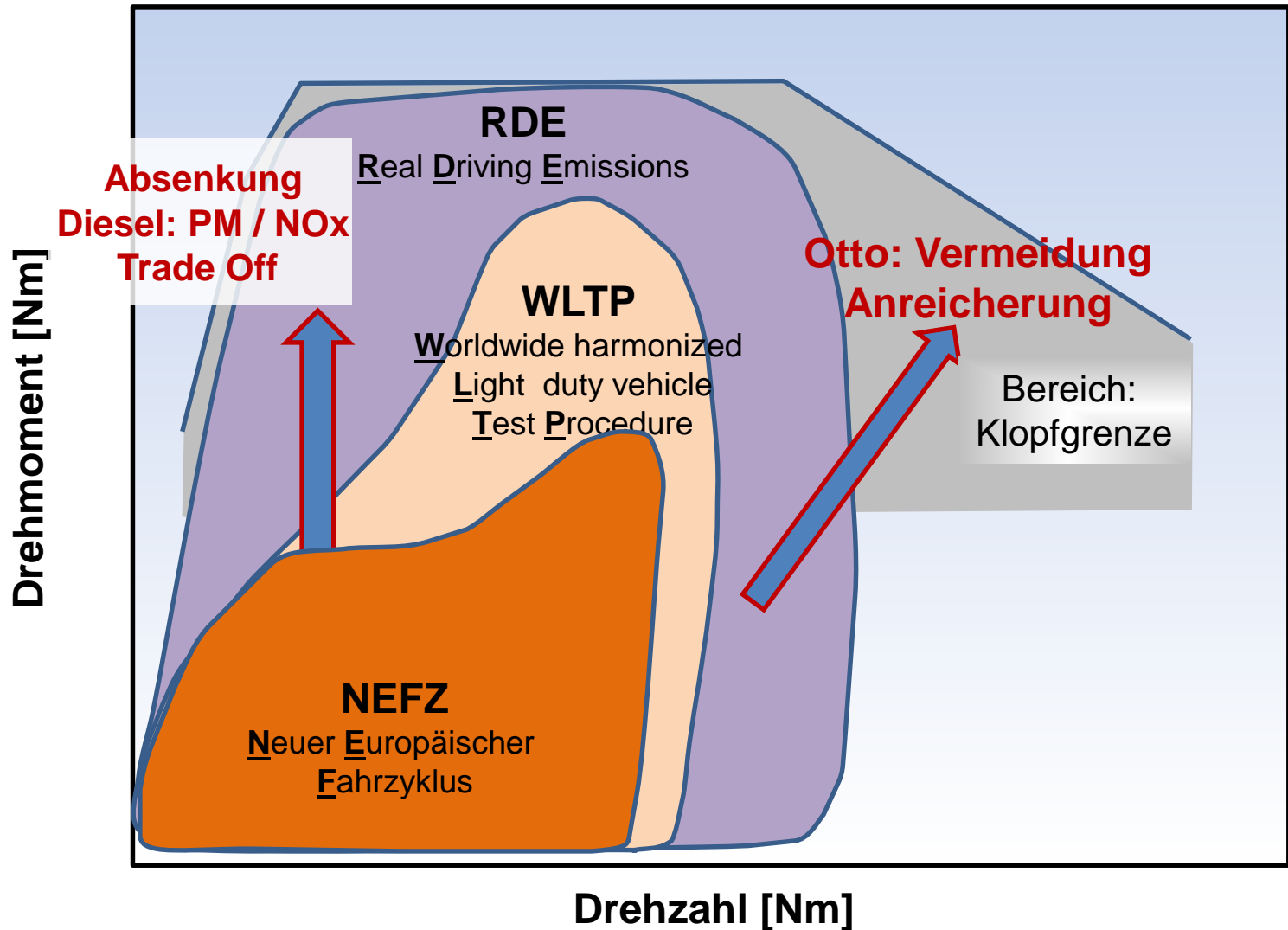


NEDC = NEFZ – Neuer Europäischer Fahrzyklus

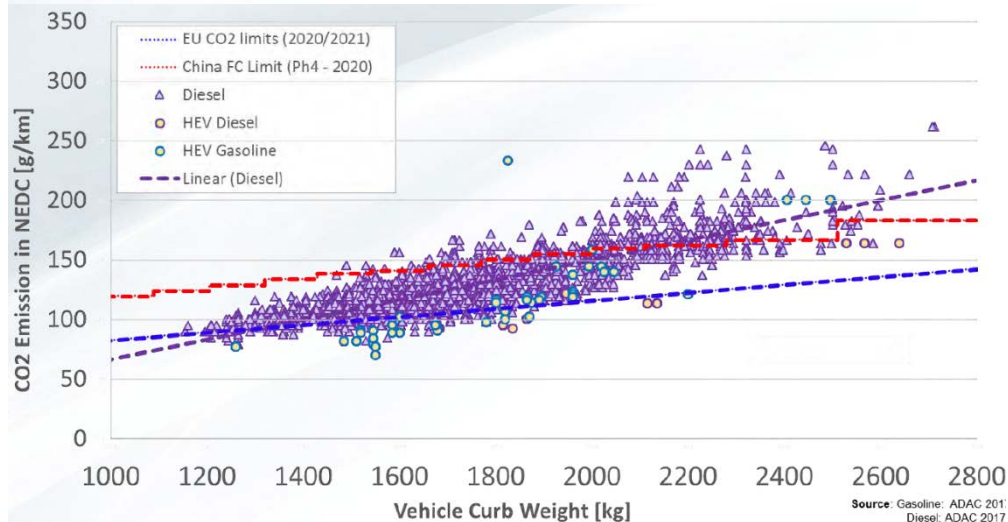
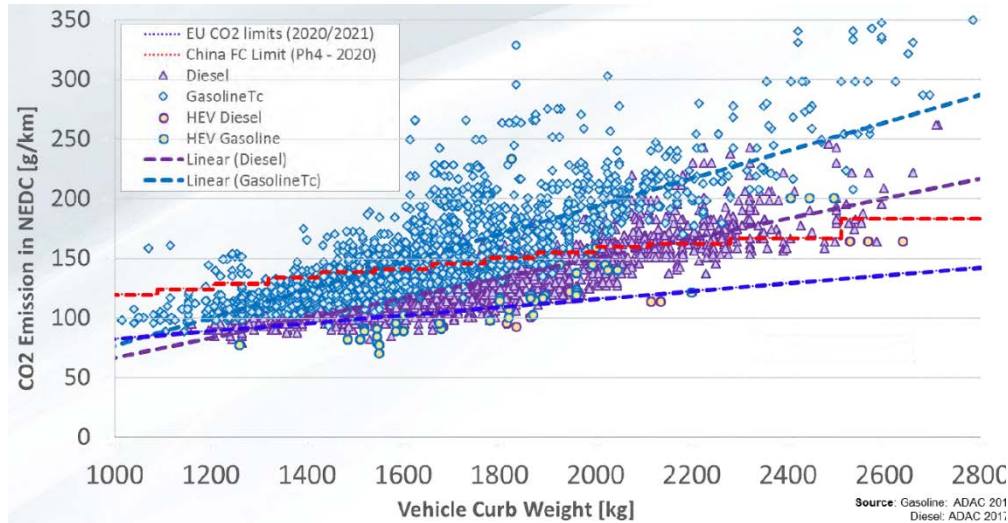
RDE – Real Driving Emissions

WLTP – Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

# Drehzahl / Drehmoment Charakteristik verschiedener Fahrzyklen



# Marktbetrachtungen: CO<sub>2</sub> Technologievergleich im NEFZ mit und ohne konventionelle Benzinfahrzeuge



Gasoline TC

Diesel

HEV - Gasoline, Diesel

CN CO<sub>2</sub> Limit (Ph4 2020)

EU CO<sub>2</sub> Limit (2020/21)

- ..... EU CO<sub>2</sub> limits (2020/2021)
- ..... China FC Limit (Ph4 - 2020)
- ▲ Diesel
- ◇ GasolineTc
- HEV Diesel
- HEV Gasoline
- Linear (Diesel)
- Linear (GasolineTc)

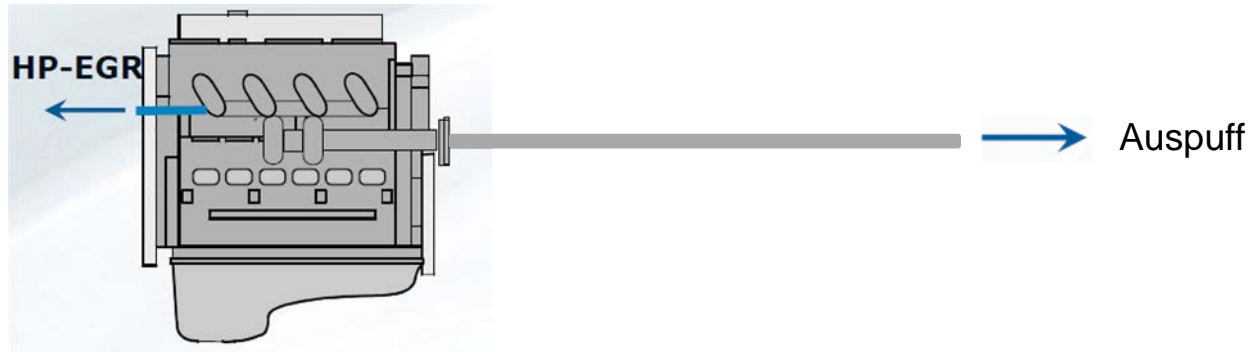
→ Diesel als Rückgrat für kosteneffiziente Flotten CO<sub>2</sub>

# Gliederung

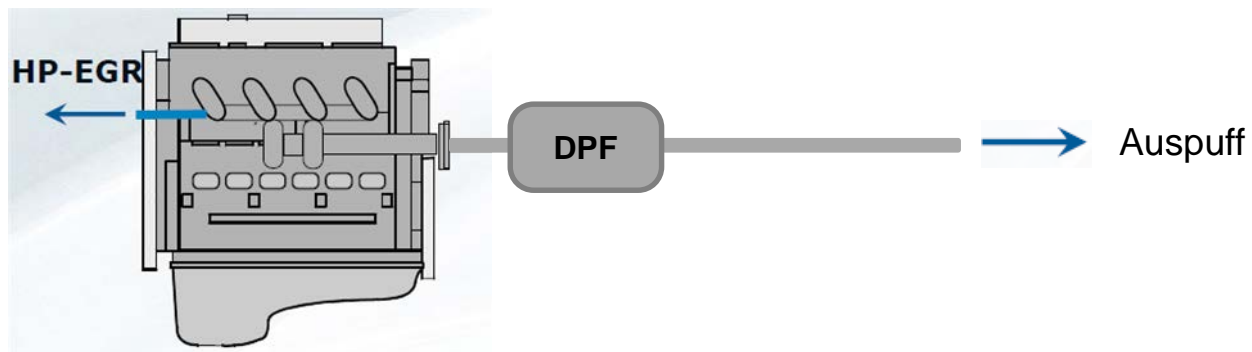
- CO<sub>2</sub>- und Emissions-Gesetzgebung in der EU
- Emissionsvorgaben und Realemissionen
- Immissionssituation und Dieseleinfluss
- **Technische Lösung des NOx-Problems bei Diesel**
- Zeitliche Umsetzung der Diesel Abgasnachbehandlung
- Zusammenfassung

# Technische Maßnahmen zur NOx- und Partikel-Reduktion **bisher**:

- Maßnahmen zur Erfüllung von **Euro 3 und Euro 4**:  
innermotorisch: Hochdruckeinspritzung (HP) und AGR (EGR)



- Maßnahmen zur Erfüllung von **Euro 5**:  
zusätzlich Dieselpartikelfilter (DPF - Diesel Particulate Filter)





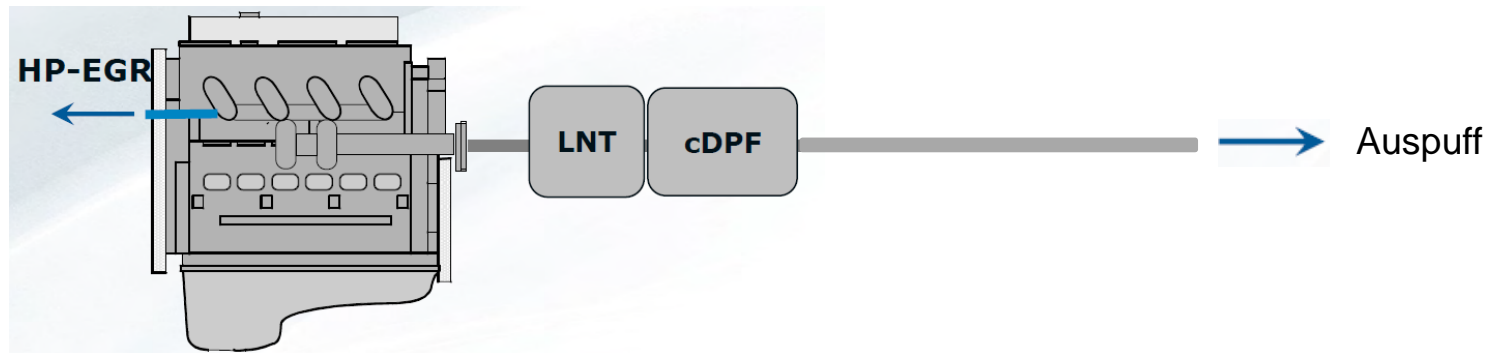
# Technische Maßnahmen zur NOx- und Partikel-Reduktion:

- Maßnahmen zur Erfüllung von **Euro 6 b und c**:

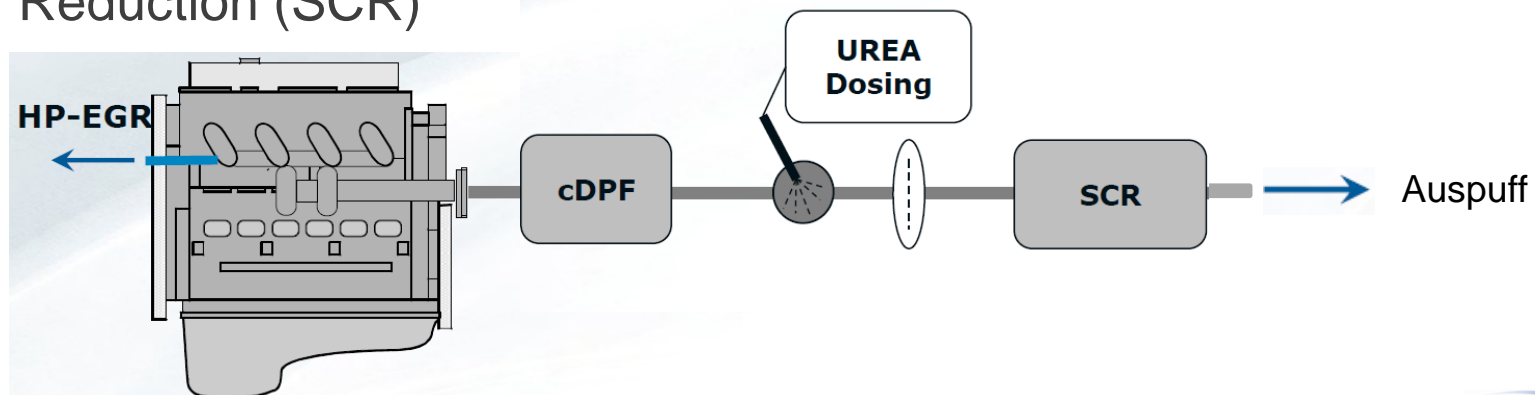
AGR (EGR) und Hochdruckeinspritzung (HP)

Dieselpartikelfilter (cDPF - catalysed Diesel Particulate Filter)

**Variante a:** DE-NOx Katalysator (LNT - Lean NOx Trap )



**Variante b:** Harnstoffeinspritzung (Urea Dosing) + Selective Catalytic Reduction (SCR)

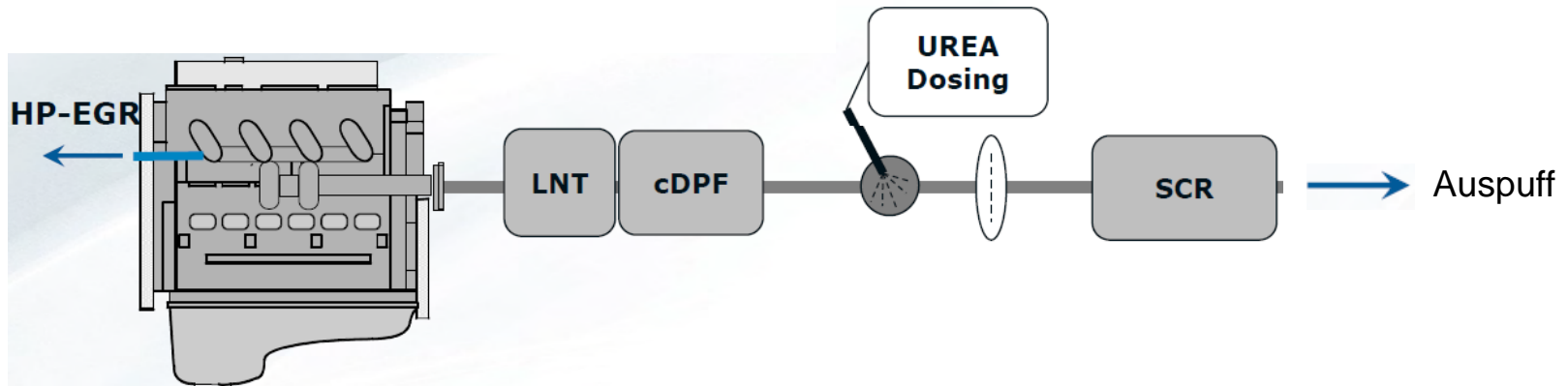


# Aktuelle technische Maßnahmen zur NOx- und Partikel-Reduktion:

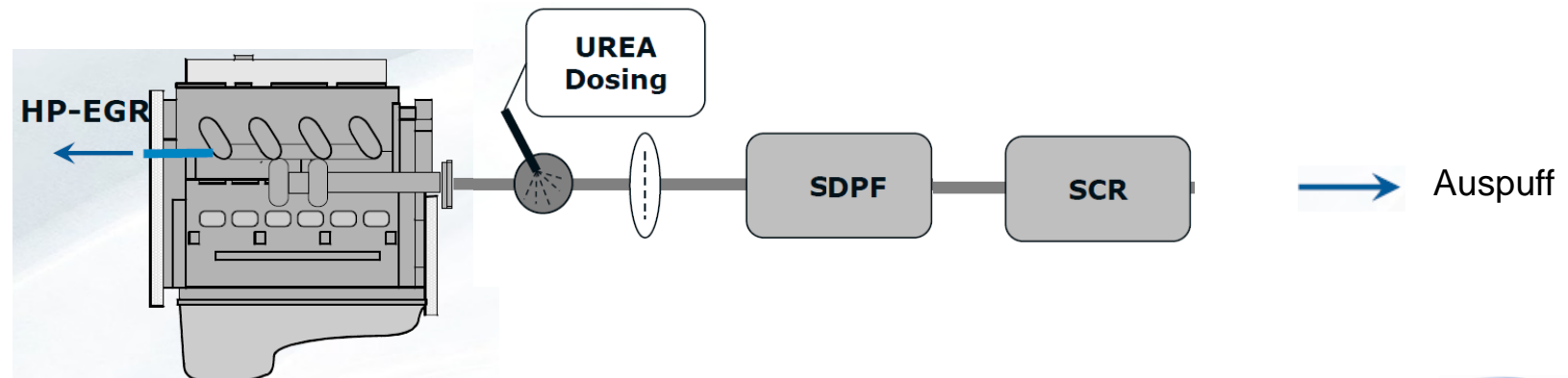
- Maßnahmen zur Erfüllung von **Euro 6d temp** und **Euro 6d**:

AGR (EGR) und Hochdruckeinspritzung (HP)

**Variante a:** LNT (Lean NOx Trap) + cDPF (catalysed Diesel Particulate Filter)  
Harnstoffeinspritzung (Urea Dosing) + SCR (Selective Catalytic Reduction)



**Variante b:** Statt LNT+ cDPF → SDPF (SCR-Catalysed Diesel Particulate Filter)



# Zukünftige technische Maßnahmen zur NOx-Reduktion unter 30 mg/km:

## □ Maßnahmen zur Erfüllung:

Innermotorisch: AGR (EGR) und Hochdruckeinspritzung (HP)

Motornaher, elektrischer Katalysator (E-CAT) - optional

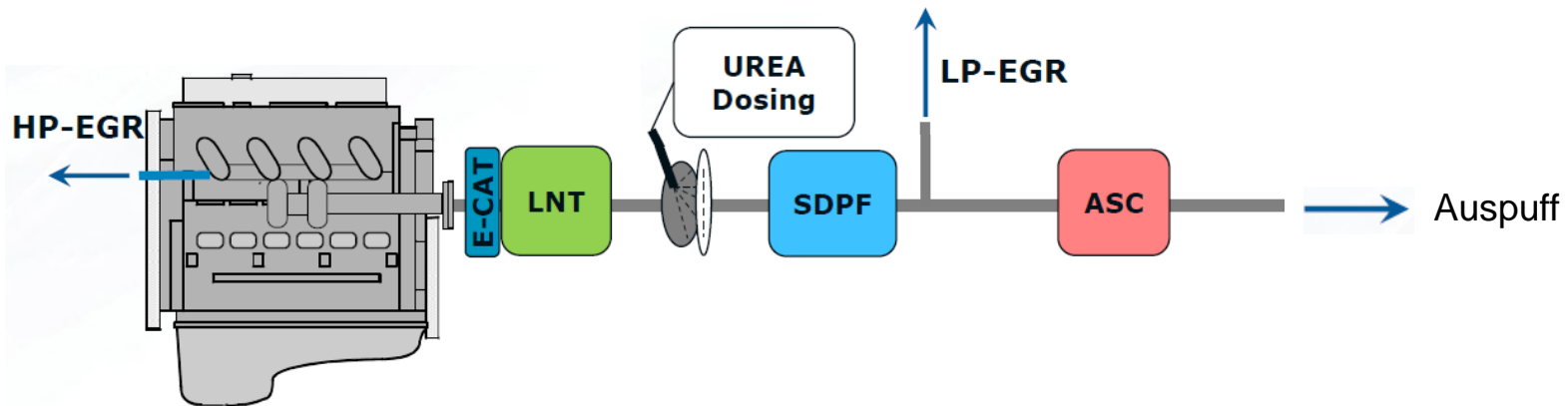
DE-NOx Katalysator (LNT - Lean NOx Trap )

Harnstoffeinspritzung mit Mixer (Urea Dosing)

Kombinierter Dieselpartikelfilter mit Selective Catalytic Reduction (SDPF - SCR-Catalysed Diesel Particulate Filter )

Niederdruck – Abgasrückführung (LP-EGR)

Ammoniak Sperrkatalysator (Ammonia Slip Catalyst (ASC) - optional

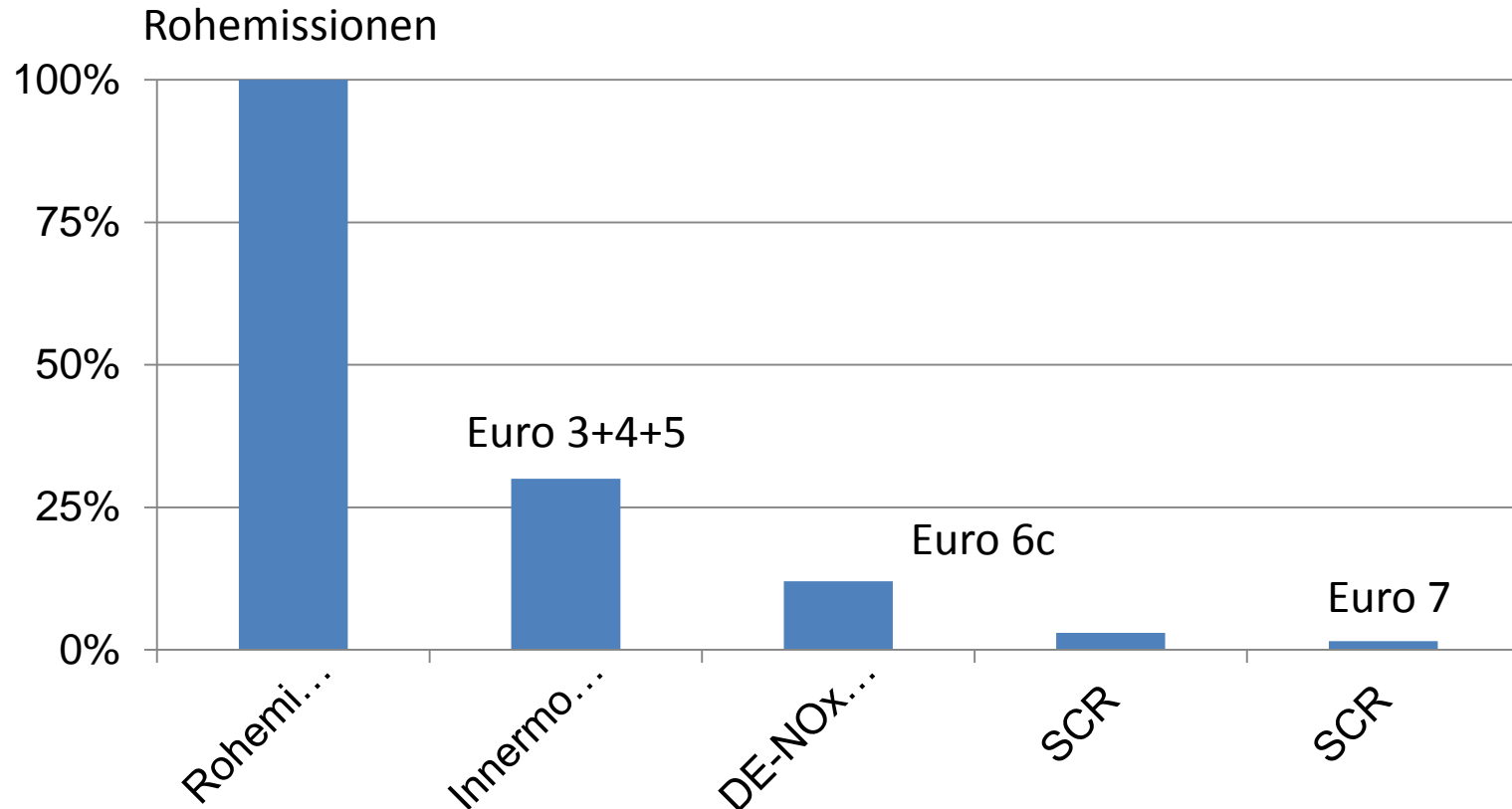


# Reduktionspotential für NOx-Emission abhängig Technologie

- Innermotorische Maßnahmen: **-70%** im Vergleich zu Rohemissionen des Motors (ohne jegliche Maßnahmen)
  
- DE-NOx Speicherkatalysatoren: weitere **-60%** Reduktion (Einsatz bis Euro 6b und c )
  
- SCR System (alternativ statt De-NOx): **-90%** Abnahme
- (Einsatz bei Euro 6b und c für alle Fahrzeuge, aufwändig)
  
- Herausforderungen für Euro 6d und zukünftige „Euro7“
  - Ausreichende LIGHT-OFF-Temperatur für Katalysatoren
  - Lösung: zusätzlich kleiner Kat motornahe, tw. beheizt, großer Kat unter Fahrzeugboden, Niederdruck-Abgasrückführung, ...

# Verbesserungspotential bei NOx von Euro 3 bis „Euro 7“

## Wirkungshöhe der Maßnahmen



# NOx- und PM-Emissionswerte moderner Benzin- und Diesel-Fahrzeuge im Vergleich

Estimated average real-world emissions for a vehicle with low mileage (1)

| Euro 6 RDE compliant models            | NOx<br>(mg/km)   |                       | Particulate number (PN)<br>(10 <sup>11</sup> # /km) |                       | Fuel Economy     |
|--|------------------|-----------------------|---|-----------------------|------------------|
|  | Protocol results | 2020 limit            | Protocol results                                    | 2020 limit            | Protocol results |
| Peugeot 208 1.2L PureTech 82 MT5       | 28               | WLTP: 60<br>RDE: 90*  | 5.5   | No legal limit        | 6.3              |
| Peugeot 308 1.2L PureTech 130 MT6      | 13               |                       | 3.5   |                       | 6.8              |
| Peugeot 308 SW 1.5L BlueHDi 130 MT6    | 52               | WLTP: 80<br>RDE: 120* | 2.0   | WLTP: 6.0<br>RDE: 9.0 | 5.7              |
| Citroën C3 1.5L BlueHDi 110 MT6        | 40               |                       | 0.8   |                       | 5.0              |
| DS 7 CROSSBACK BlueHDi 180 Automatique | 30               |                       | 3.1   |                       | 7.1              |

\* Based on current CF 1.5 tbc by E. C.

(1) Estimated average emissions based on data obtained from the test protocol, for a vehicle with a mileage between 1 000 and 20 000 km at the time of the test. These estimates are provided as a guide and for information purposes only, and are based on the assumptions and conditions of the test protocol. These estimates are entirely separate from the NOx and PN emissions stated pursuant to the framework directive 2007/46/EC (which are the only official values) and therefore have no general applicability. NOx emissions increase with mileage and fluctuate according to the usage conditions of the vehicle. The test protocol is available on the Groupe PSA's website, [www.groupe-psa.com](http://www.groupe-psa.com)

Quelle: <http://media.groupe-psa.com/en/groupe-psa-discloses-vehicle-emissions-real-driving-conditions#prettyPhoto/gallery1/1/> gesehen 26.03.2018

# Gliederung

- CO<sub>2</sub>- und Emissions-Gesetzgebung in der EU
- Emissionsvorgaben und Realemissionen
- Immissionssituation und Dieseleinfluss
- Technische Lösung des NOx-Problems bei Diesel
- **Zeitliche Umsetzung der Diesel Abgasnachbehandlung**
- Zusammenfassung

# Zeitliche Umsetzung

- NO<sub>2</sub> – Immissionsgrenzwert (bereits) 2010 35 µg/m<sup>3</sup>
- NOx – Emissionsgrenzwert 2015 Euro 6c
- NOx – Emissionsgrenzwert 2017 Euro 6d

- **Fazit:**

Fahrzeugtechnologie hat GAP von > 5 Jahren  
→ dies muss schnellstens aufgeholt werden



# Gliederung

- CO<sub>2</sub>- und Emissions-Gesetzgebung in der EU
- Emissionsvorgaben und Realemissionen
- Immissionssituation und Dieseleinfluss
- Technische Lösung des NOx-Problems bei Diesel
- Zeitliche Umsetzung der Diesel Abgasnachbehandlung
- **Zusammenfassung**

## Zusammenfassung:

- **Diesel hat ZUKUNFT:**  
Wegen teurer Abgasnachbehandlung vorrangig bei größeren Fahrzeugen und für Vielfahrer
- **Partikel - Thema ist gelöst!**
- **NOx - Thema wird mit Euro 6d (RDE) gelöst**
- **CO<sub>2</sub> – Vorteil von 10-15% durch Dieselmotor**

**Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Institut für Fahrzeugantriebe  
& Automobiltechnik