

A white sports car is positioned on a test rig in a laboratory setting. The car is viewed from the rear three-quarter angle. It is connected to various hoses and sensors, indicating it is part of an emissions or performance test. The background shows industrial equipment and a large window.

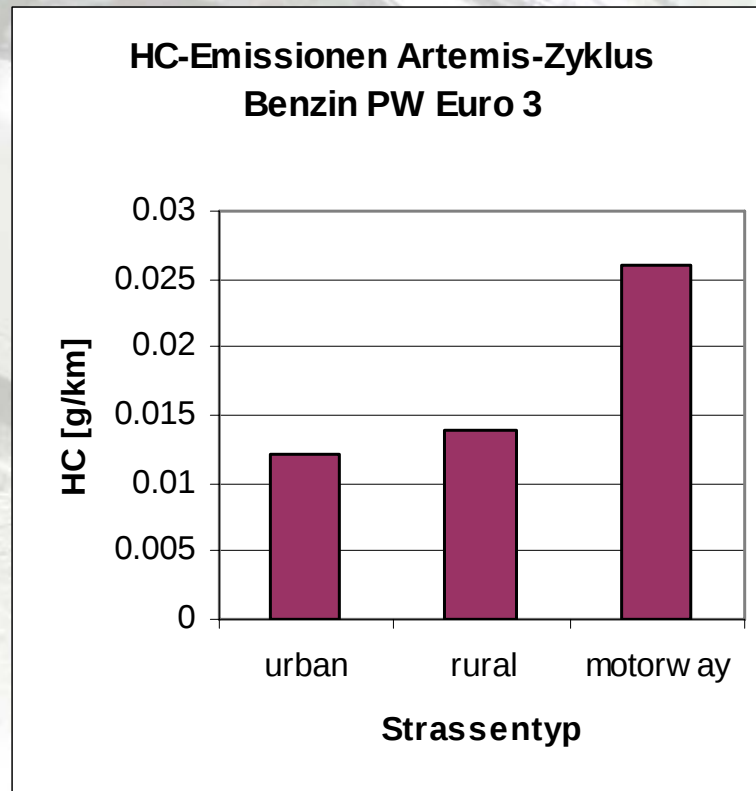
Quantifizierung der Fahrzeugemissionen – Messen, Modellieren oder beides?

Martin Weilenmann

SATG Fachtagung 3. Oktober 2006

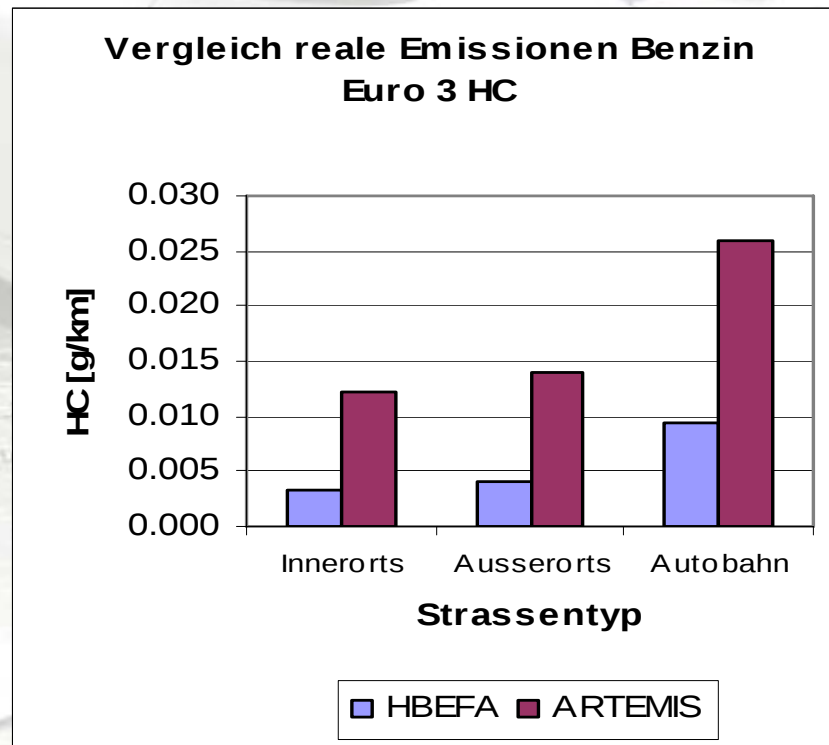
Was kann daran so schwierig sein?

- Mittelwerte einer Flotte sehen “vernünftig” aus.



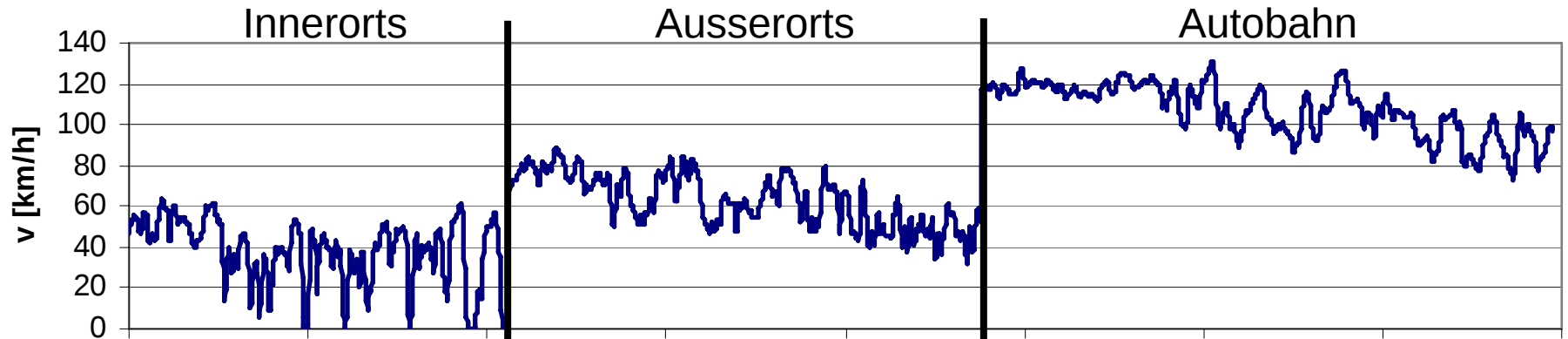
Was kann daran so schwierig sein(2)?

- Mittelwerte einer Flotte sehen “vernünftig” aus.
- ...Hängen aber vom Zyklus ab!

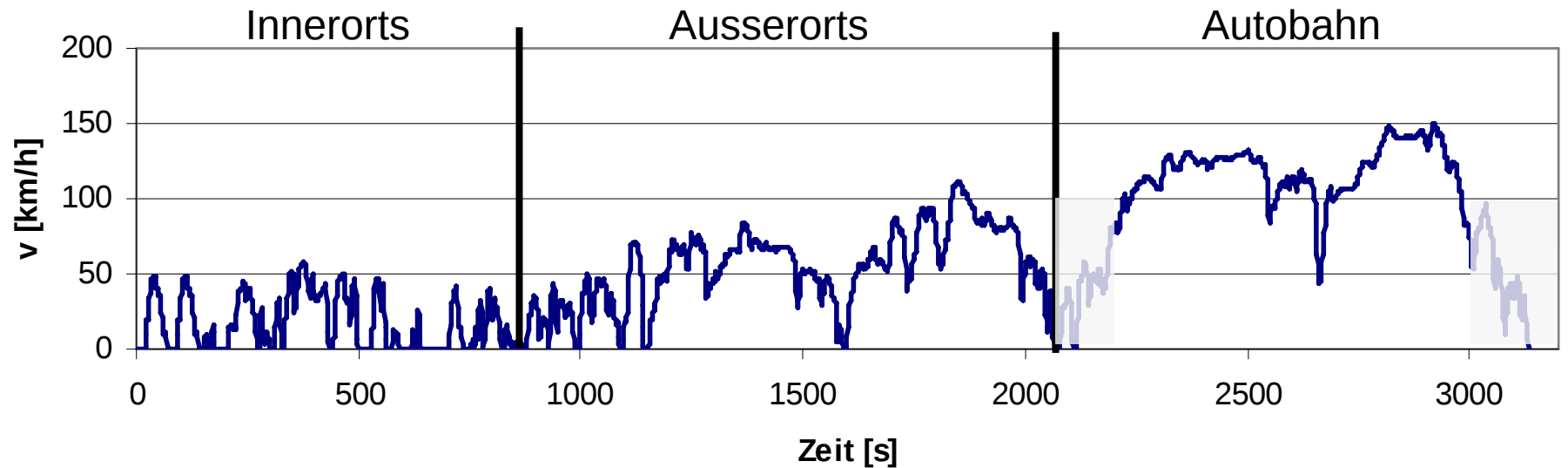


Welt der Zyklen

Handbuchzyklen (DACH) [km/h]

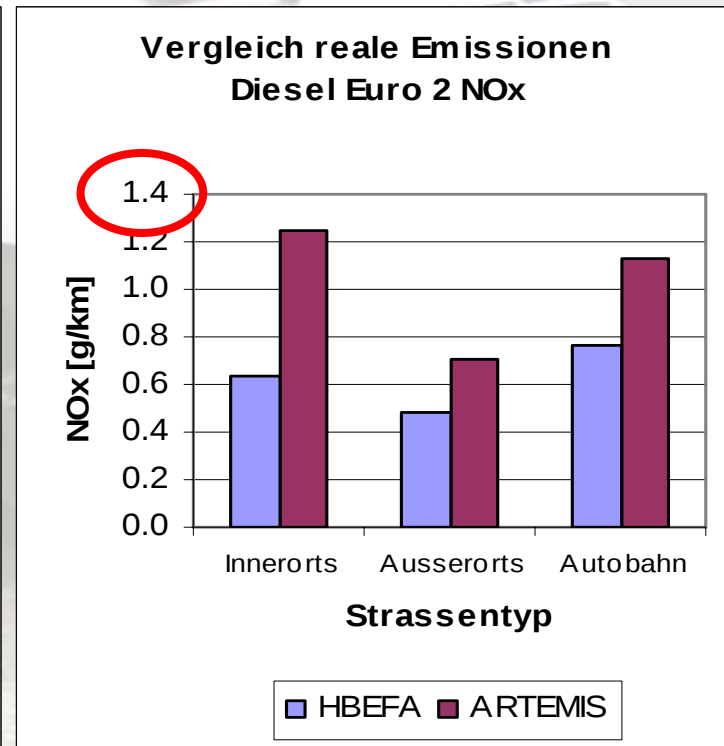
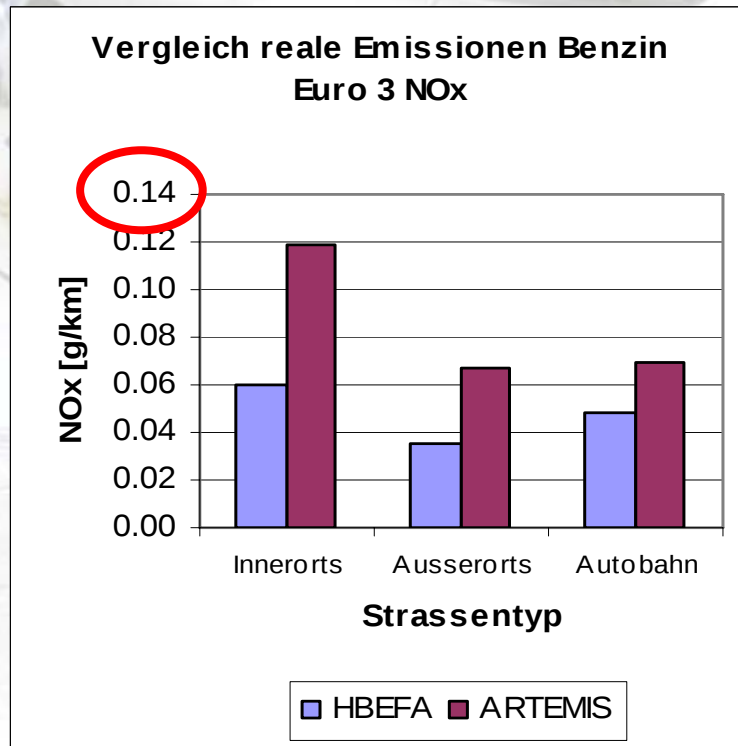


Artemis-Zyklus [km/h]

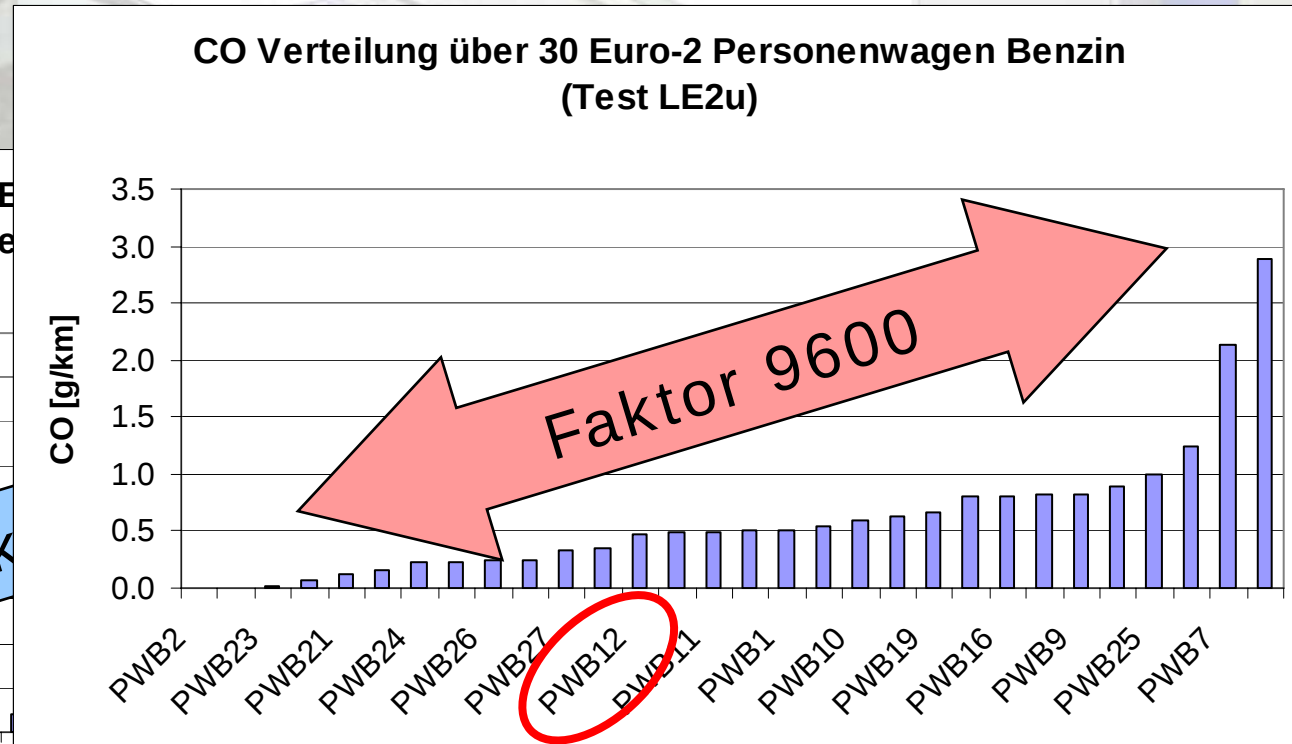
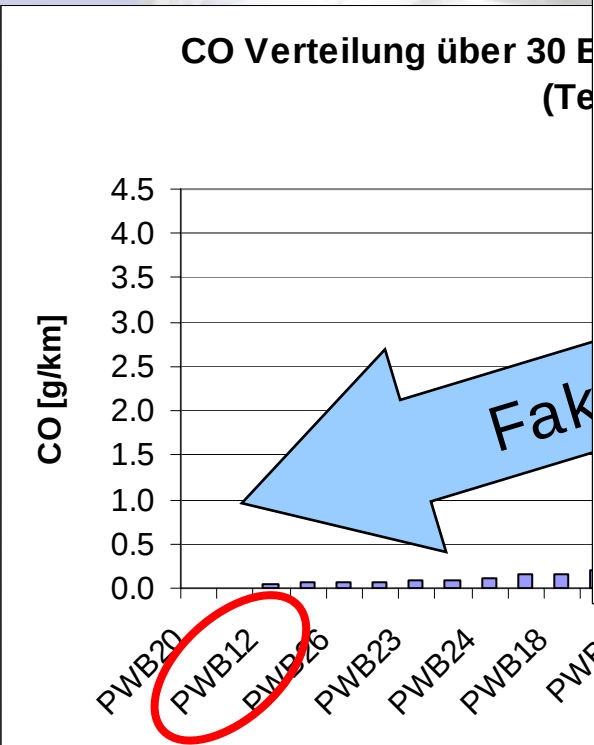


Was kann daran so schwierig sein(3)?

- Mittelwerte einer Flotte sehen “vernünftig” aus.
- ...Hängen aber vom Zyklus ab!

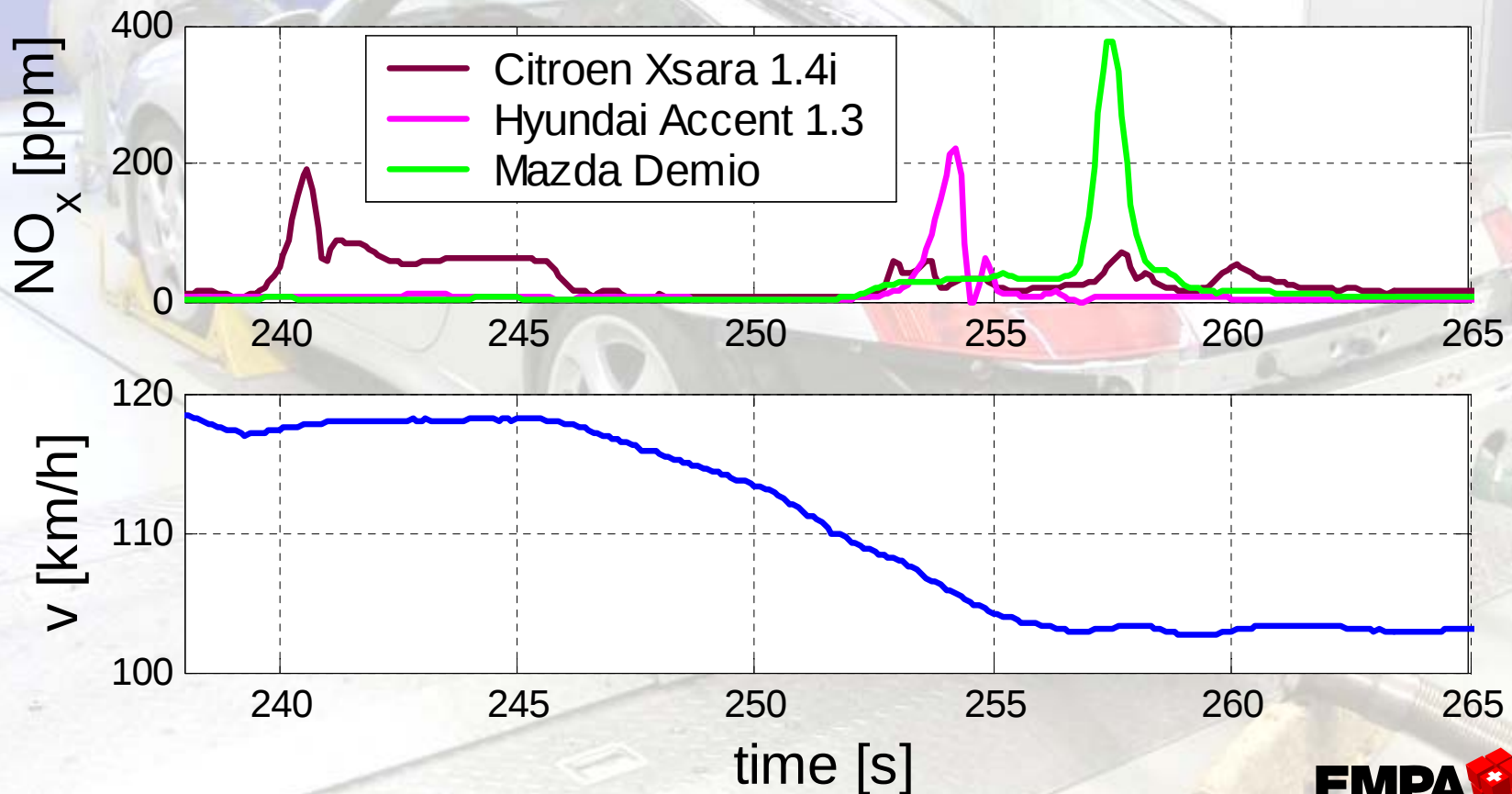


Wie sieht es mit der Fahrzeugstreuung aus?



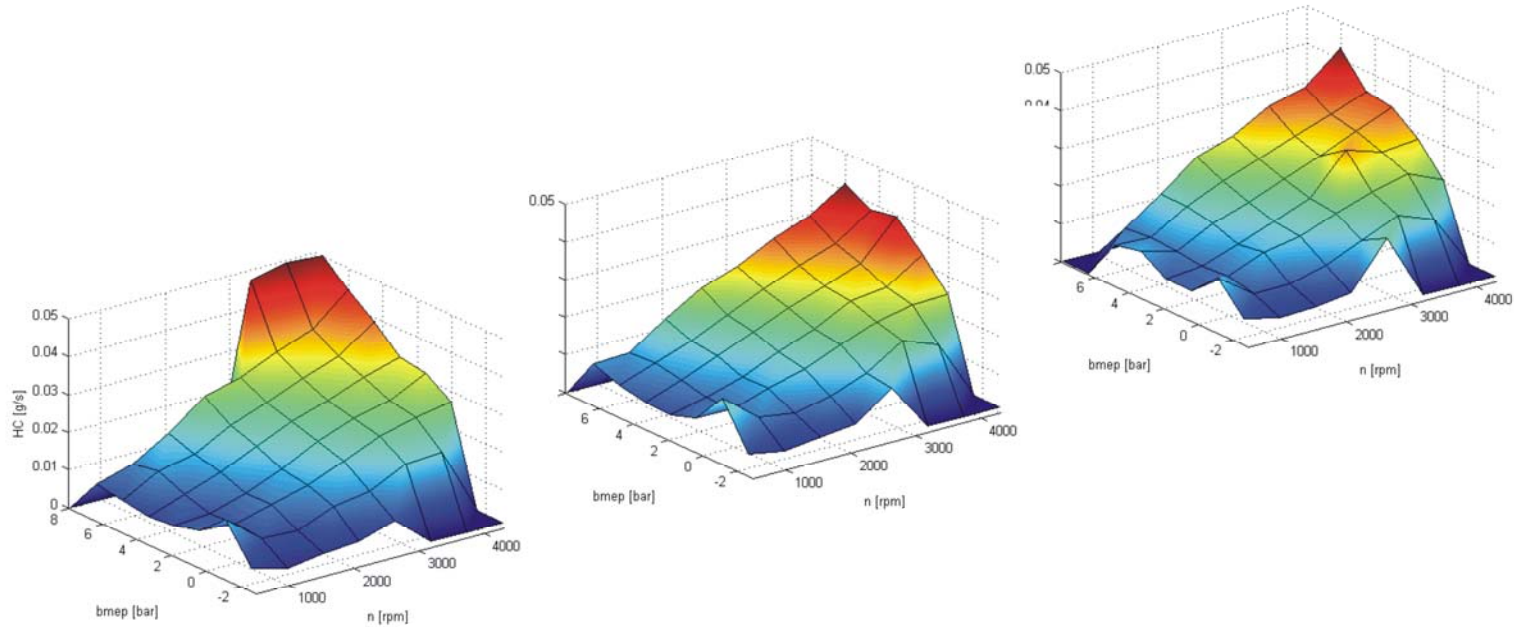
Wieso diese Unterschiede?

■ Jedes Auto macht was völlig anderes



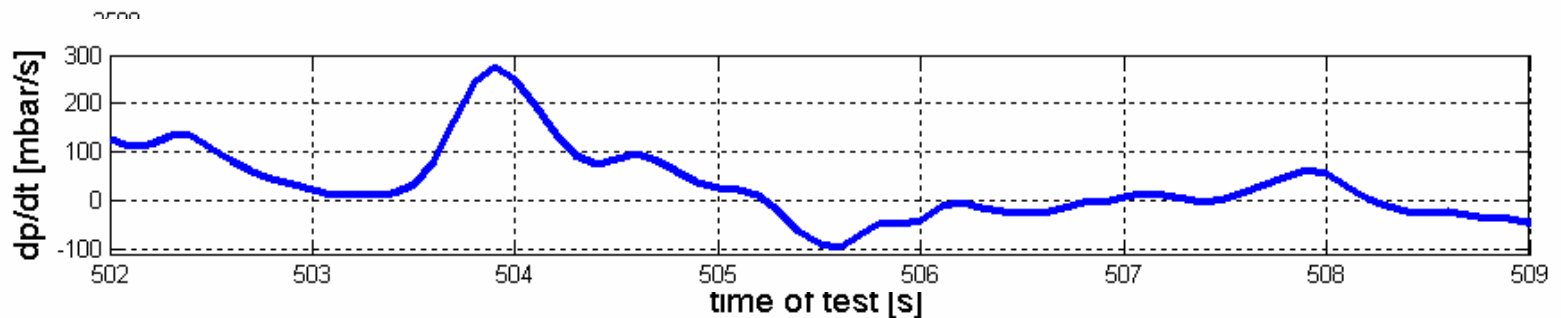
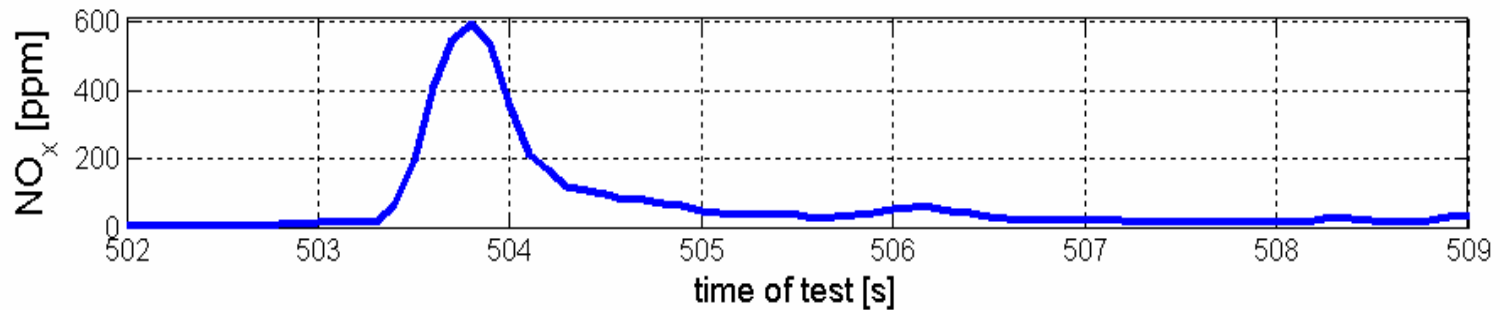
Wieso diese Unterschiede (2)?

- Kennfelder sind irreführend!



Wieso diese Unterschiede (3)?

- Schadstoffe „entstehen“ transient!



Zwischenbilanz

- Jedes Fahrzeug benimmt sich zu jedem Zeitpunkt individuell
- Die Schadstoffe sind zyklusabhängig im Grossen (innerorts $\leftrightarrow$ Autobahn)
- Die Schadstoffe sind zyklusabhängig im Kleinen
- Die Schadstoffe entstehen schwergewichtig transient
- Wie stellt der Praktiker die Fragen?

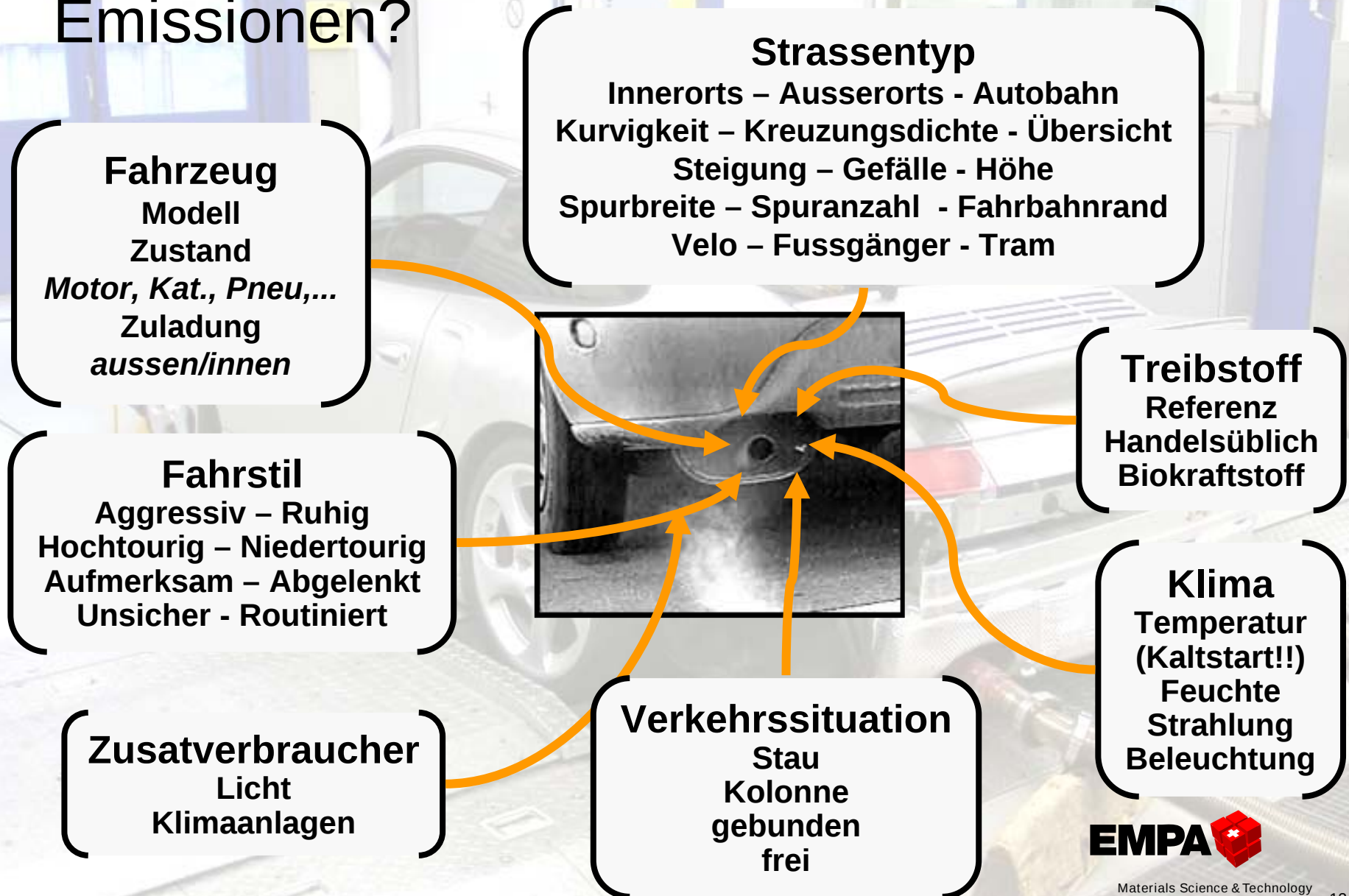
Grundfragen?

- Welche Mengen Schadstoffe in t/a produziert der Verkehr?
- Welche Mengen jede Fahrzeugklasse?
- Werden die Vorschriften eingehalten?

Zusatzfragen?

- Welche Fahrzustände verursachen welche Emissionen?
- Welche Massnahmen bringen wie viel?
 - Kreisel – Lichtsignal
 - EcoDrive®
 - Feinstaub
 - Ethanol

Welche Fahrzustände verursachen welche Emissionen?



Wie kann man dies alles beantworten?

■ Messen

- Genügend Fahrzeuge im Standardfall
- Genügend Fahrzeuge in jedem Sonderfall
- Wie ist es mit Kombinationen von Sonderfällen?

■ Modellieren

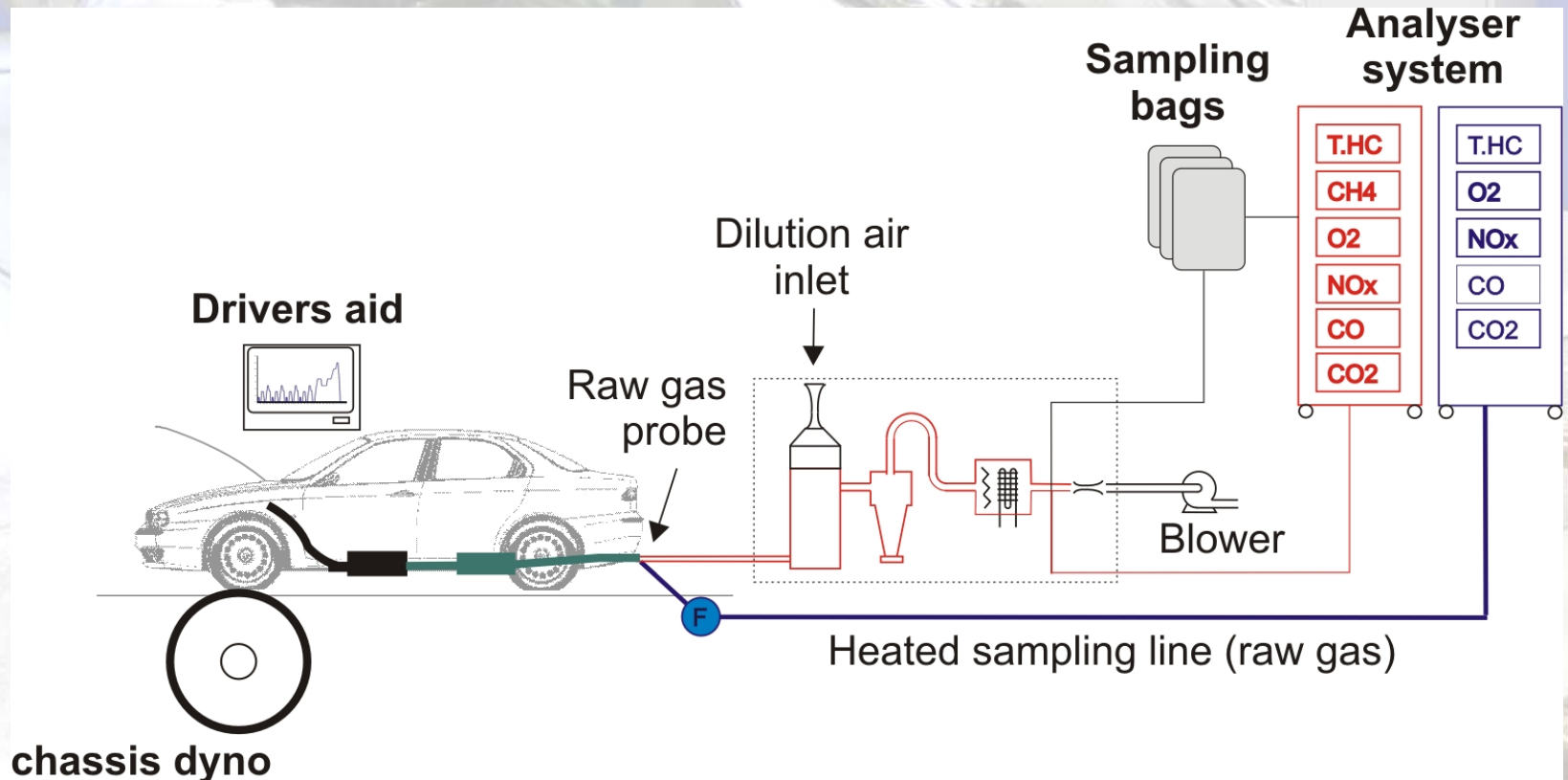
- Genügend Fahrzeuge im Standardfall
- Können Daten auf andere Fälle umgerechnet werden?

Modellieren – zwei Wege

- Welche Daten sind verfügbar und was kann ich daraus machen?
- Welche Qualität ist nötig und was muss ich tun um sie zu erreichen?

Modellieren – zwei Wege (2)

- Schadstoffmessungen in Beutel (Bags)
- Schadstoffmessungen online: 10 Hz



Beutel basierte Modelle

■ Modellansatz 1:

- Aus mehreren (z.B. 12) Zyklen den Gesamtverkehr kombinieren ($T_{\text{tot}} = 0.1A + 0.06B + 0.14C + \dots$)
- Korrekturwerte für gewisse Einflussgrößen, z.B. Abblendlicht: +1.5% CO₂, + 10 % HC,...
- → Grundfragen werden befriedigt
- → Zusatzfragen bedingen Zusatzmessungen
- → Fragen nach Massnahmen (-Wirksamkeit) ebenfalls

Beutel basierte Modelle (2)

■ Inputgrössen:

- Bagwerte von vielen Autos,

- „Kinematik“ des Zyklen:

- $v(t)$

- v_{avg}

- $a(t)$

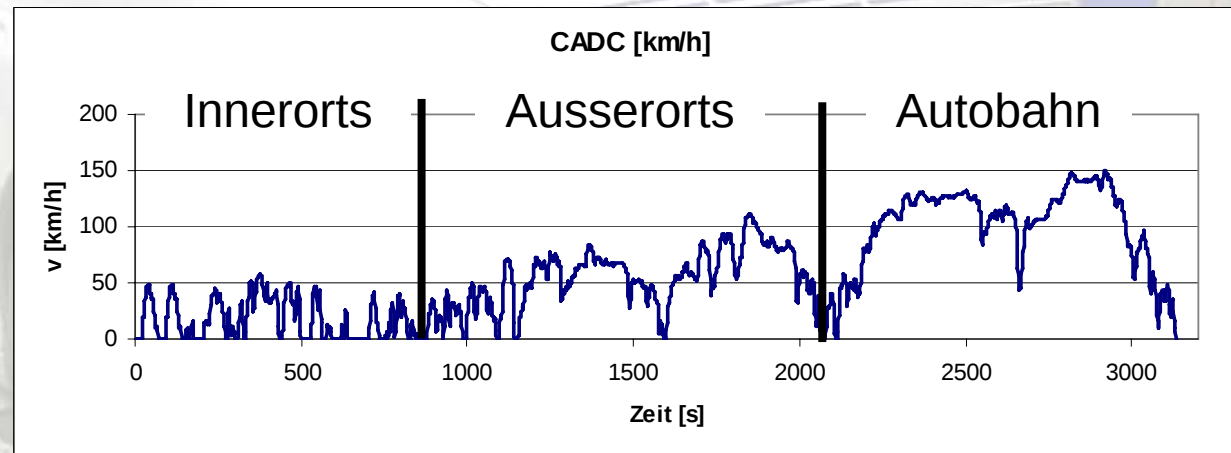
- a_{max}

- a^+_{avg}

- Stoptime

- No_{load_chang}

- ...



Beutel basierte Modelle (3)

■ Modellansatz 2:

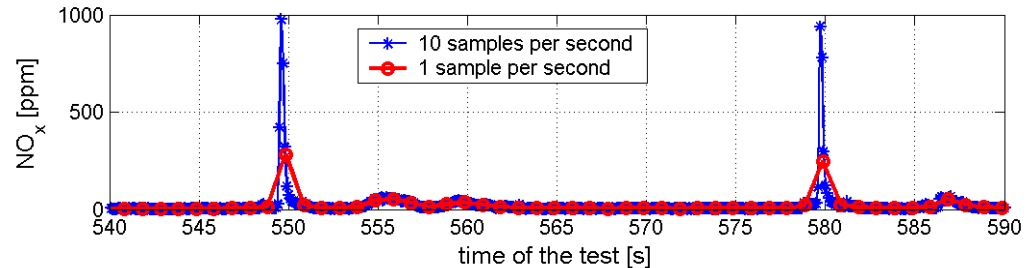
- Versuche statistische Zusammenhänge zwischen den „Einflussgrößen“ = Kinematikparameter und den Schadstoffemissionen zu finden.
- → Aussagen nur bei „einfachen“ Schadstoffen und bei „einfachen“ Fahrzeugen möglich, z.B. „Verbrauch nimmt mit Belastung zu“ oder „bei Dieseln (ohne Nachbehandlung) steigt das NO_x mit der Last“
- Kann Einfluss von Schaltstrategie, Belastung, etc. nicht bestimmen.

Modelle basierend auf online-Messungen

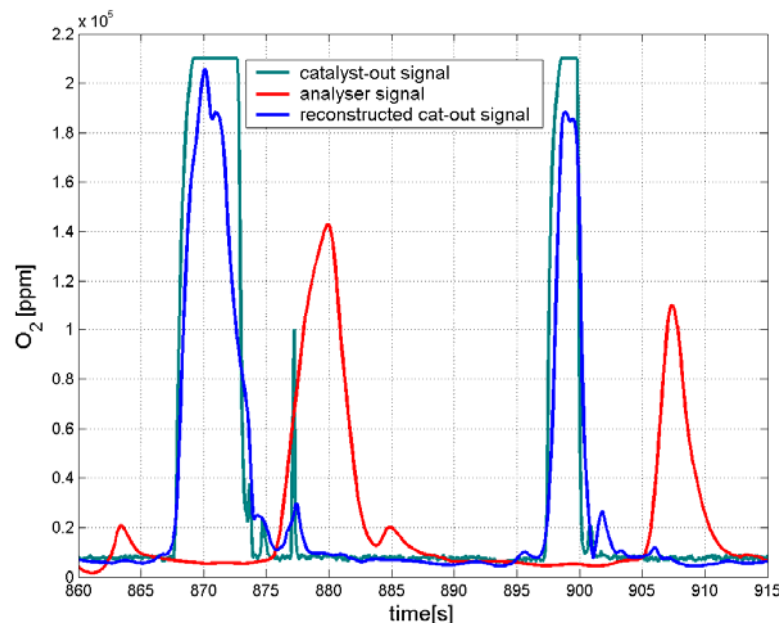
DIVEM (Dynamic Instantaneous Vehicle Emission Model)

Voraussetzungen:

- 1 Hertz genügt nicht

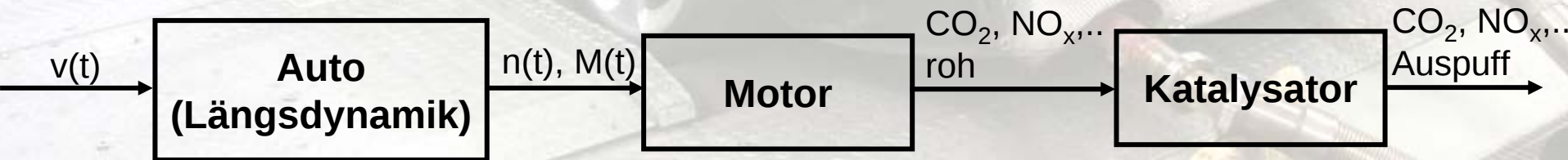


- Die Transportverzögerung muss kompensiert werden

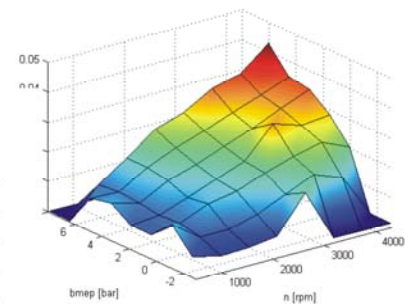
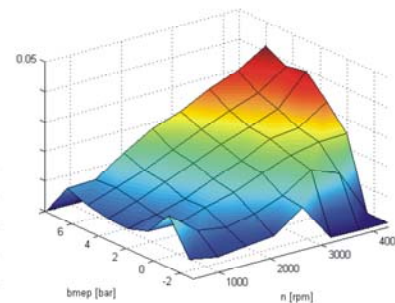
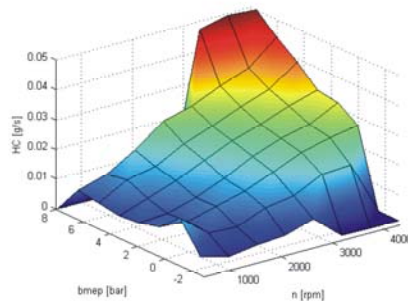
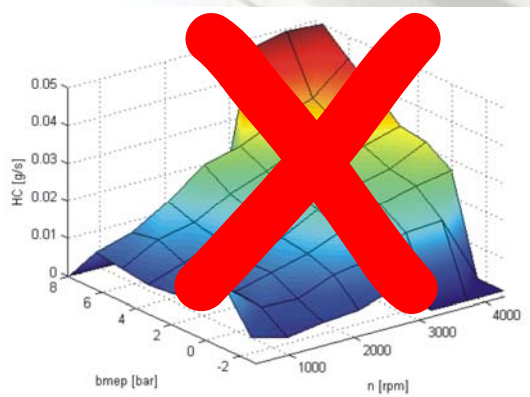
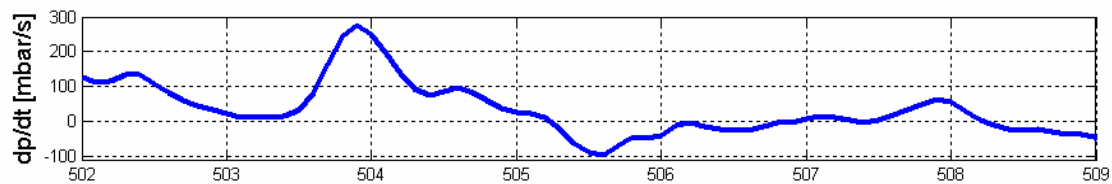
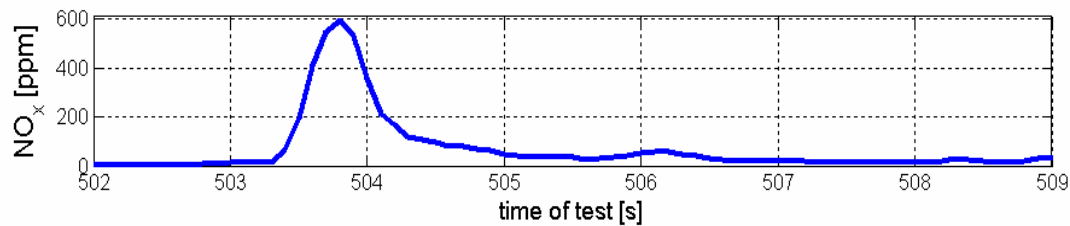


DIVEM (2) Modellstruktur

- Eingangsgrößen:
 - Kinematik: $v(t)$,...
 - Dynamikparameter: Masse, Übersetzungen, Widerstände..
- Grobstruktur
 - Fahrzeugdynamik → Motorbelastung n , M , dM/dt
 - Motormodell → Rohemissionen
 - Katalysatormodell → Auspuffemissionen

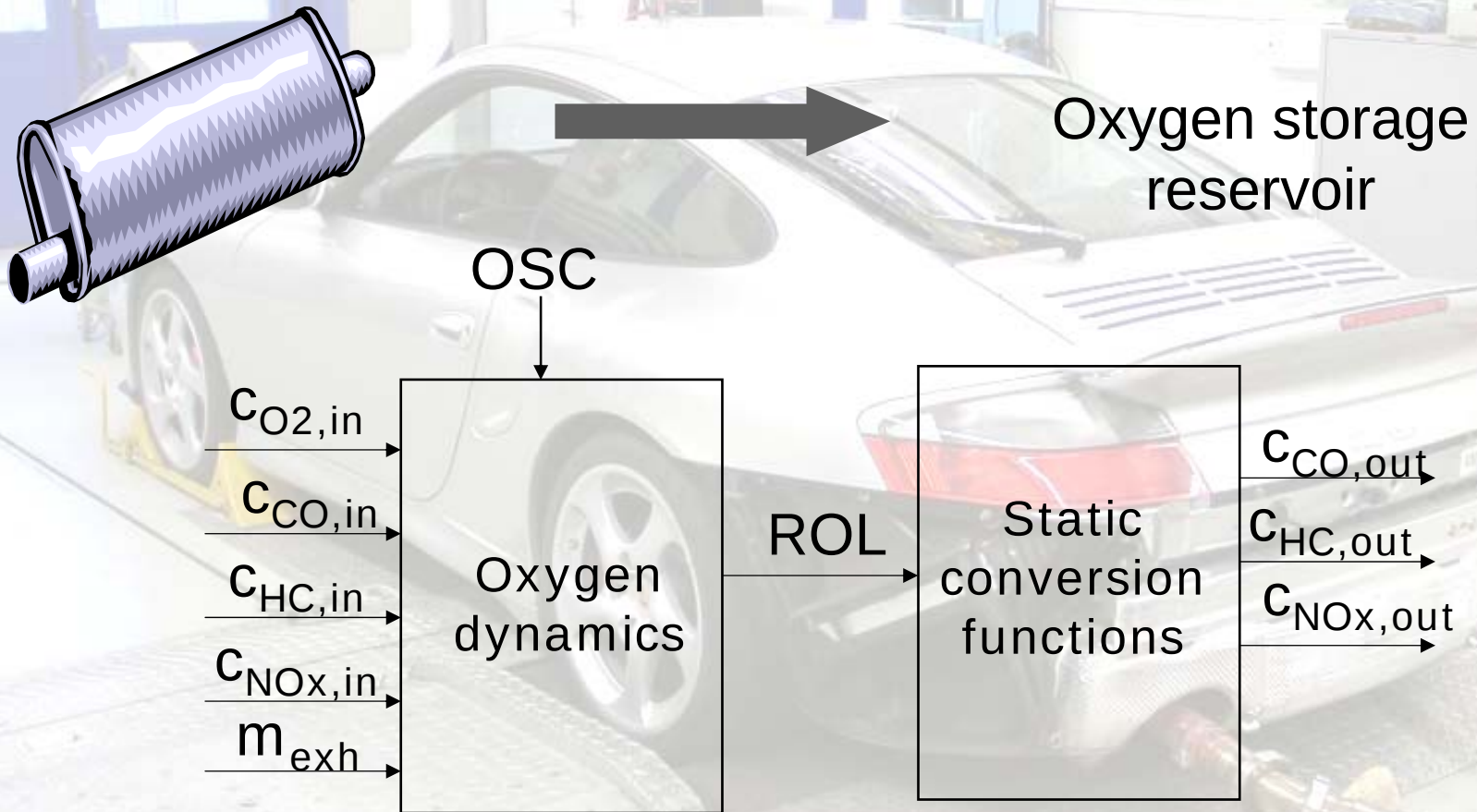


DIVEM (3) Motormodell

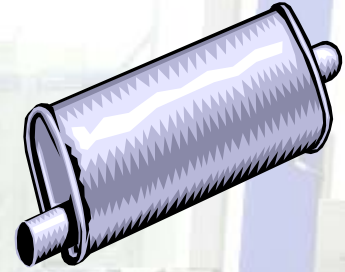


Laständerung dM/dt

DIVEM (4) Katalysatormodell



DIVEM (5) Katalysatormodell



■ Ein Haufen Formeln:

- Reaction rates: $r_1 = A_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot T}} \cdot c_{oxid} \cdot (1 - \theta)$

$$r_2 = A_2 \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T}} \cdot c_{red} \cdot \theta$$

■ Dynamics of TWC:

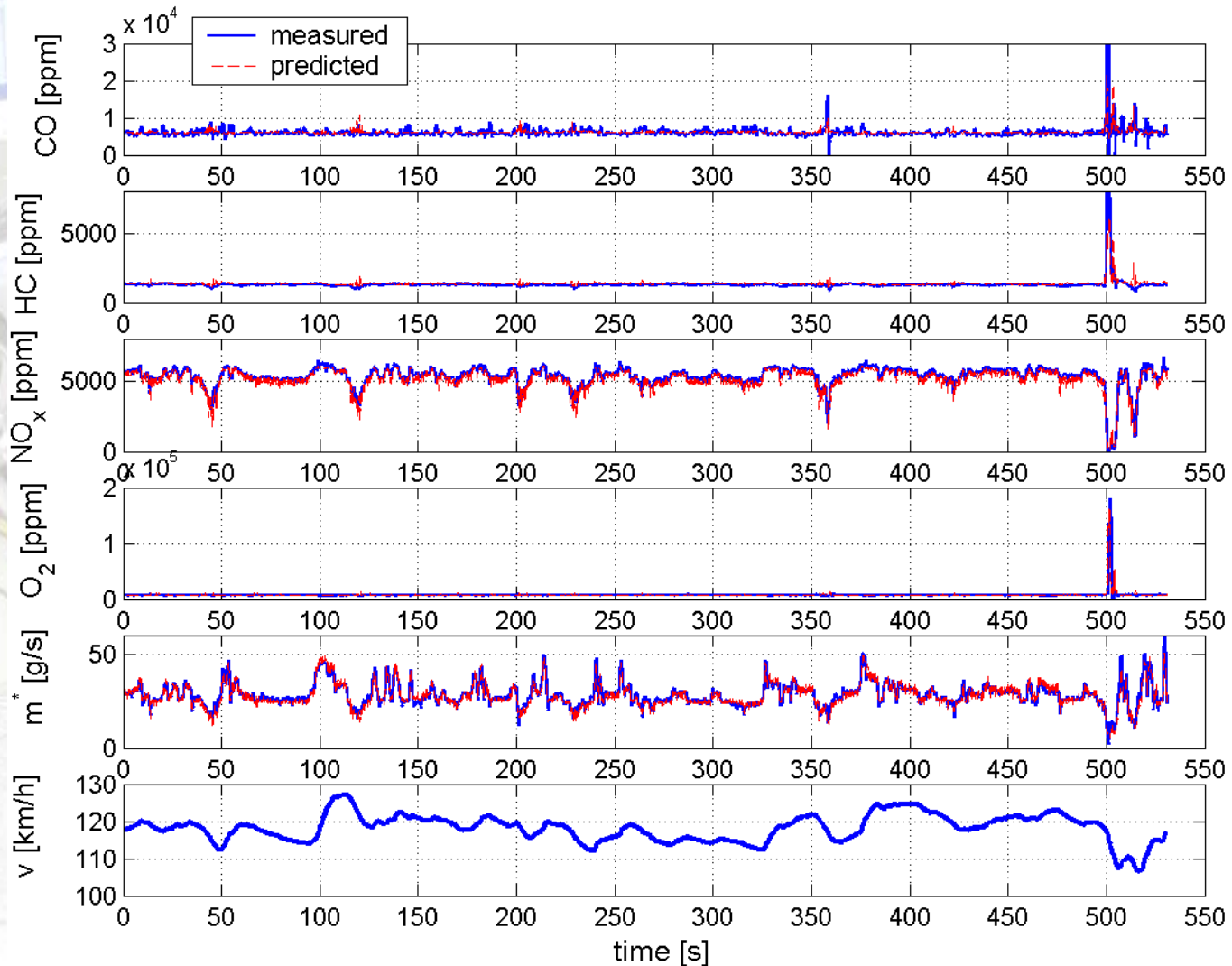
$$-\frac{\dot{V}}{\varepsilon \cdot V_{cat}} \cdot (c_{red}^* - c_{red}^{in}) + (-r_2) \cdot OSC = 0$$

$$-\frac{\dot{V}}{\varepsilon \cdot V_{cat}} \cdot (c_{oxid}^* - c_{oxid}^{in}) + \left(-\frac{1}{2} r_1\right) \cdot OSC = 0$$

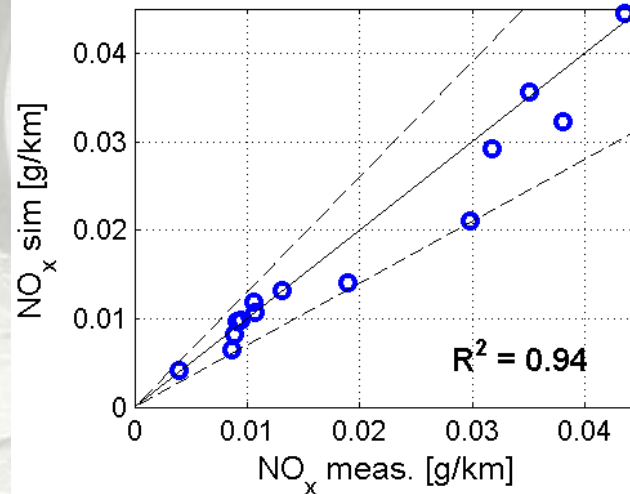
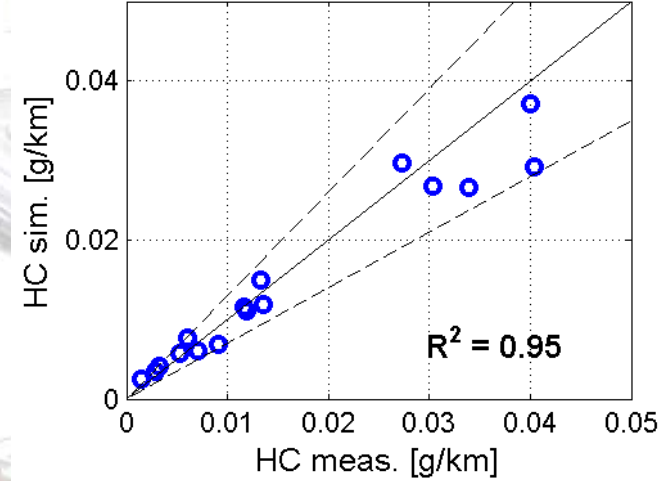
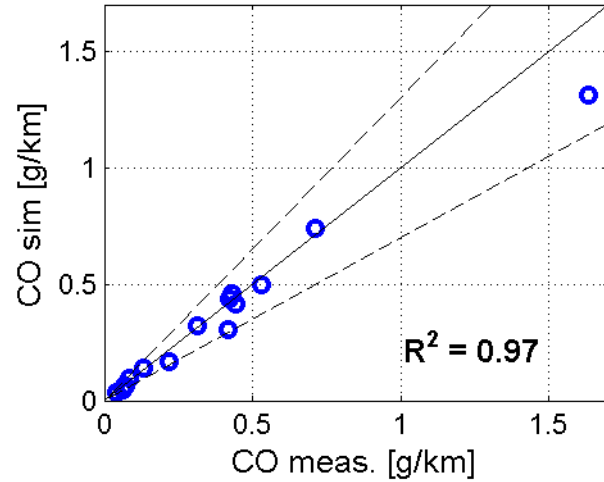


$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = r_1 - r_2$$

DIVEM (6) Resultate

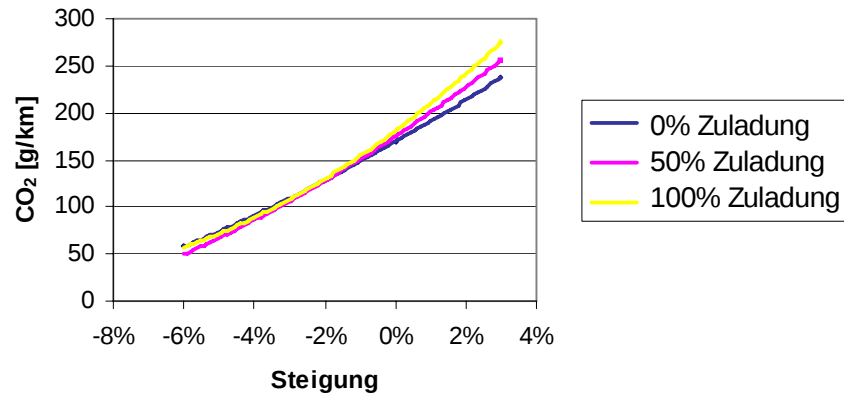


DIVEM (7) Resultate - Validierung

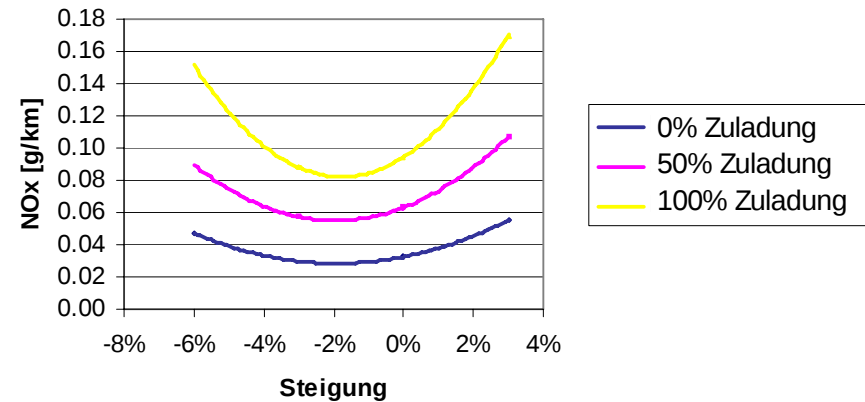


DIVEM (8) Resultate - Steigung

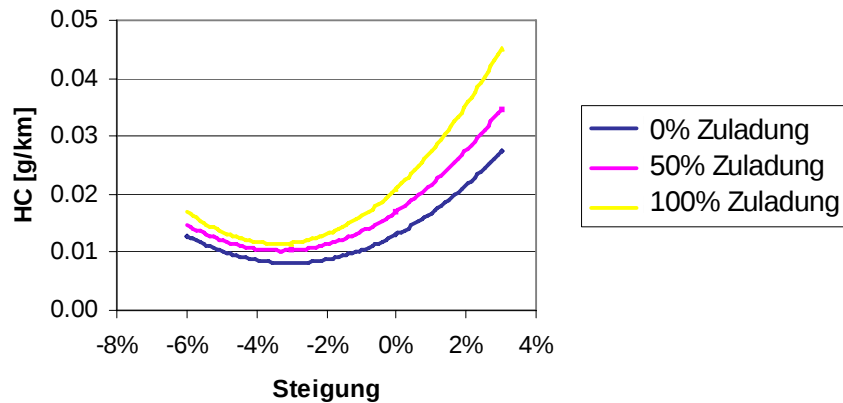
CO₂ Ausserorts



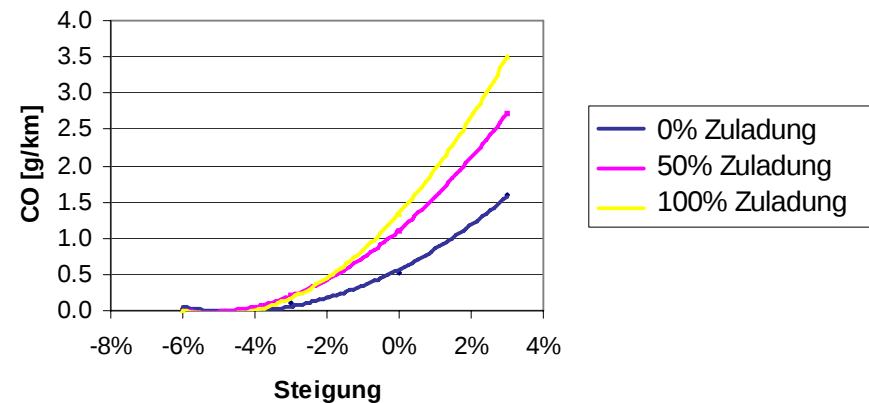
NO_x Ausserorts



HC Ausserorts



CO Ausserorts



Das Modell kann...

Fahrzeug

Modell

Zustand ✓

Motor, Kat., Pneu,...

Zuladung ✓

aussen/innen

Strassentyp

Innerorts – Ausserorts – Autobahn
Kurvigkeit – Kreuzungsdichte – Übersicht
Steigung – Gefälle – Höhe
Spurbreite – Spurenzahl – Fahrbahnrand
Velo – Fussgänger – Tram

Fahrstil

Aggressiv – Ruhig ✓

Hochtourig – Niedertourig ✓

Aufmerksam – Abgelenkt

Unsicher – Routiniert

Zusatzverbraucher

Light ✓

Klimaanlagen

Verkehrssituation

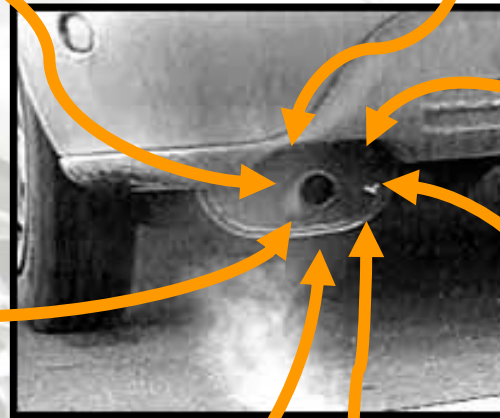
Stau ✓
Kleiner
geleiteter
frei

Treibstoff

Referenz ✓
Handelüblich
Biokraftstoff

Klima

Temperatur ✓
(Kaltstart!!)
Niederschlag
Sonneneinstrahlung
Beleuchtung

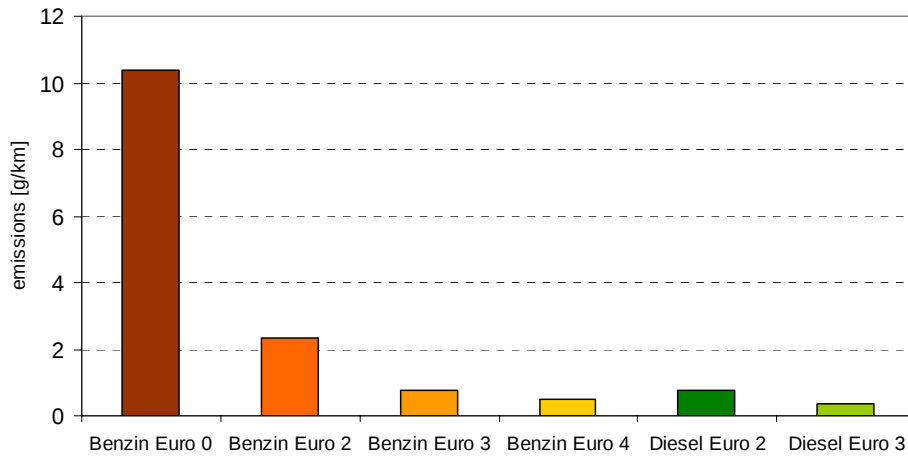


Das Modell braucht noch...

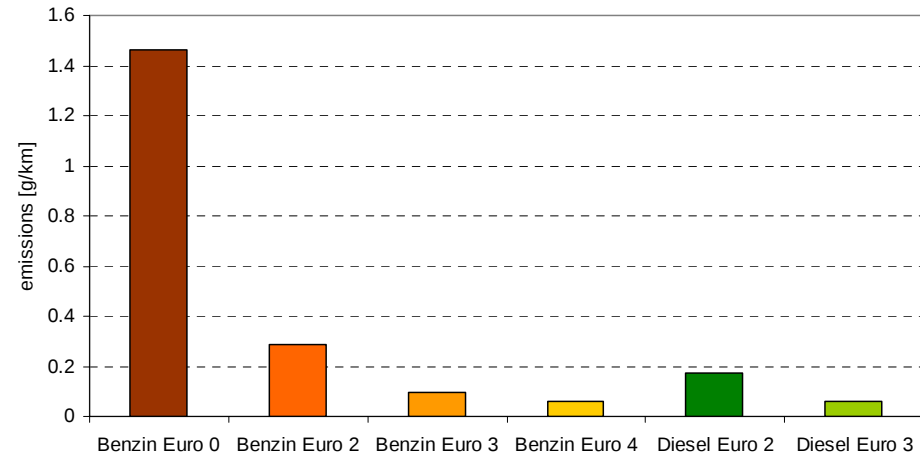
- Ausbau auf mehr Fahrzeug
- Ausbau auf mehr Fahrzeug-Kategorien
 - Motorräder
 - Lieferwagen
 - (Lastwagen)
- Ausbau auf Fahrzeuge mit Spezialsystemen
- Einbau des Kaltstarts

Resultate (Prüfzyklus)

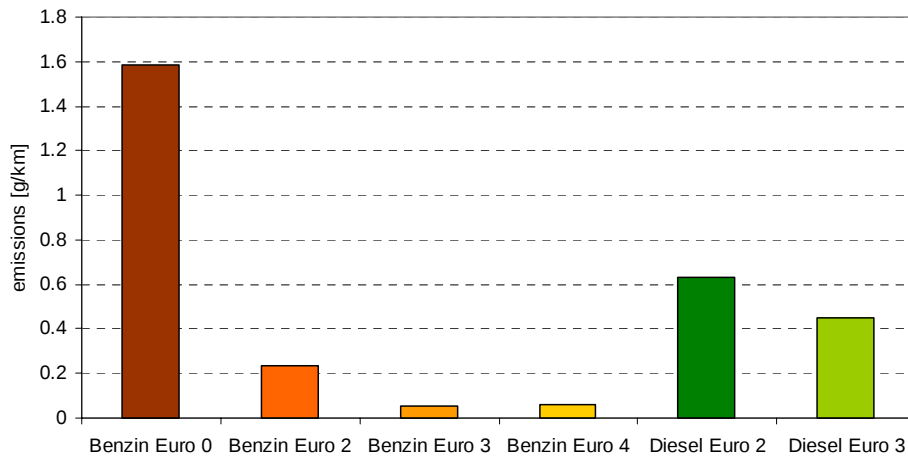
CO



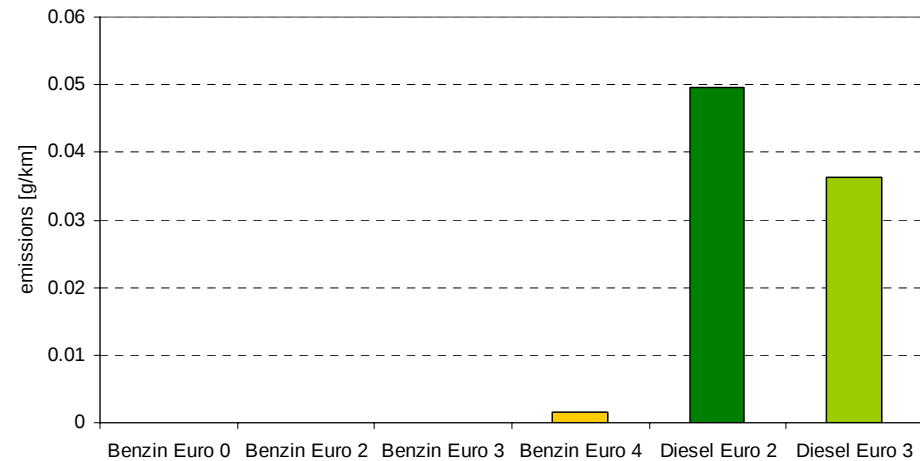
HC



NOx

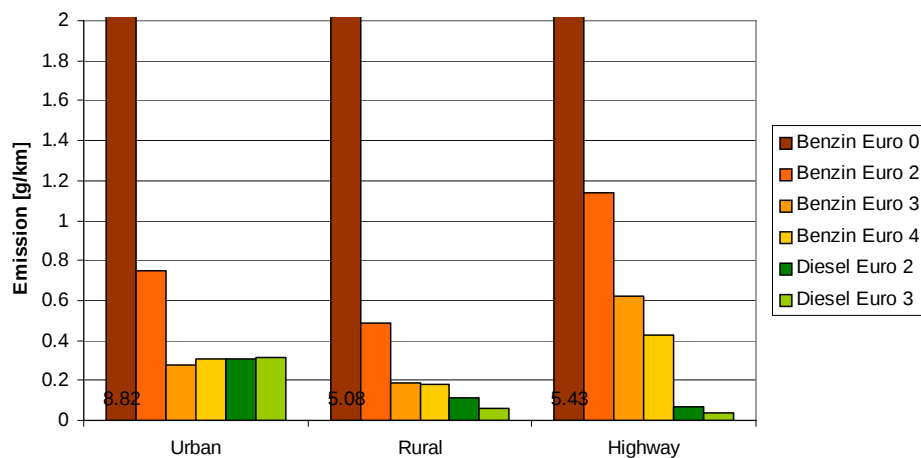


PM

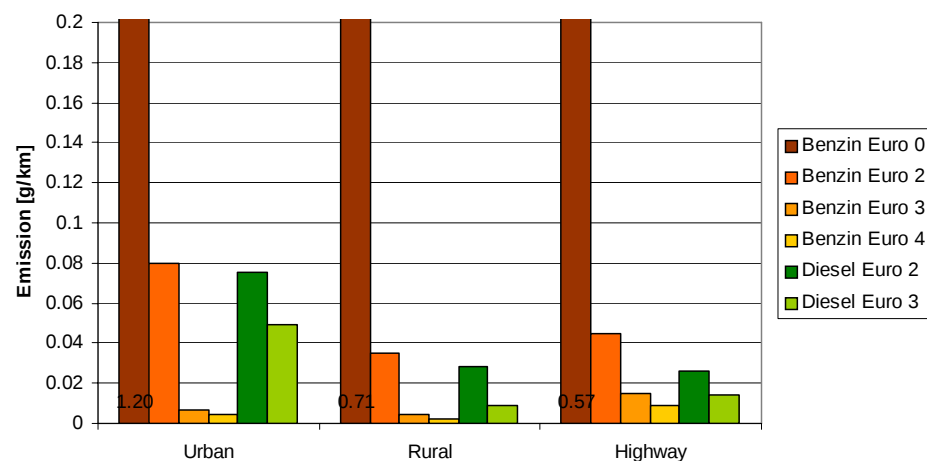


Resultate Real

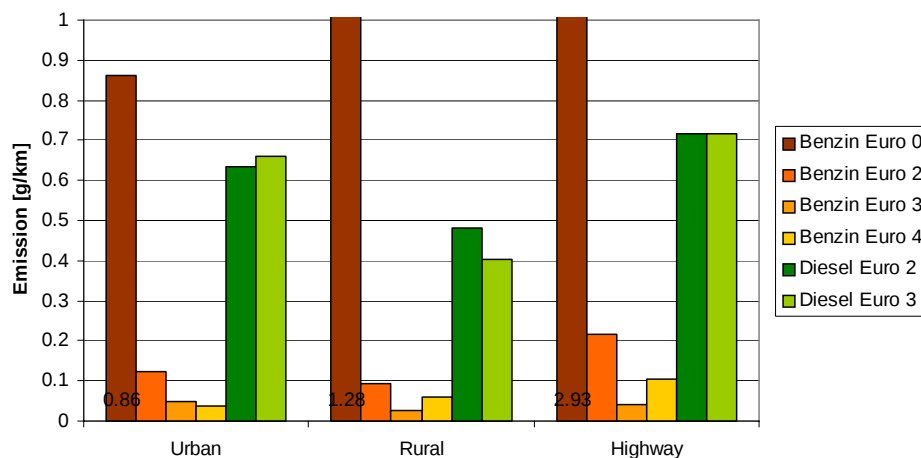
CO



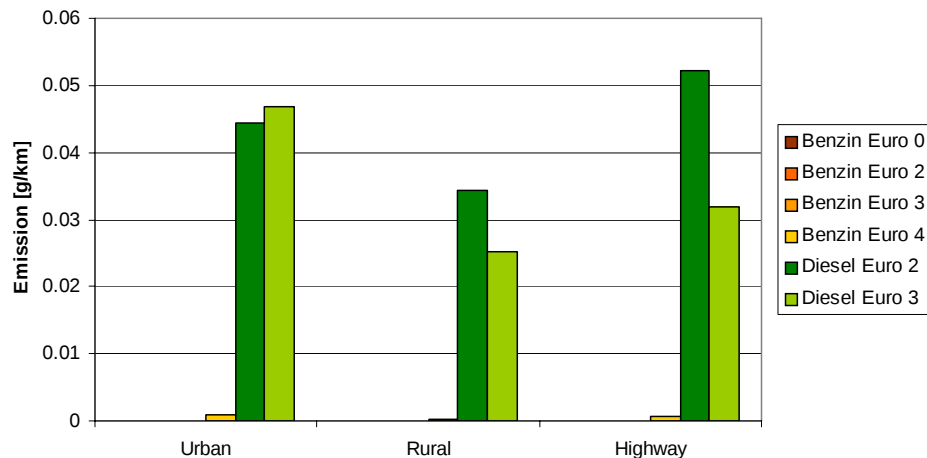
HC



NOx



PM



Fazit

- Will man Einflüsse untersuchen können, sind Modelle nötig
- Modelle sind möglich, (aber nicht fertig)
- Reale Emissionen sind von vielen Einflüssen abhängig
- Reale Emissionen benehmen sich nicht parallel zu den Prüfwerten