

Von der Emissionsmessung am Einzelfahrzeug zum Emissionsverhalten für Fahrzeugflotten

Stefan Hausberger,
Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik

SSM - Veranstaltung
**„35 Jahre Schadstoffreduktion bei Fahrzeugen:
eine Erfolgsgeschichte“**
Campus Sursee, 22. September 2010

Inhalt

- Einleitung
- Von der Messung zum Emissionsmodell
- Vom Emissionsmodell zum Emissionsfaktor
- Unsicherheiten
- Beispiel für Ergebnisse
- Zusammenfassung

Einleitung

- **Der Verkehr hat einen hohen Nutzen für Gesellschaft und für Einzelne → wachsende Verkehrsnachfrage.**
- **Verkehrswachstum bringt auch Probleme (CO₂, Schadstoffe, Lärm).**
- **Luftgütemessungen zeigen: Maßnahmen zur Senkung der Umwelteinflüsse greifen merklich.**
- **Bei CO₂ und NO_x aber (noch) deutliche Zielabweichungen in EU.**
- **Emissions-, Verkehrs- und Luftgütemodelle helfen:**
 - * **die relevanten Quellen zu identifizieren,**
 - * **die Zusammenhänge besser zu verstehen,**
 - * **die zukünftige Entwicklung abzuschätzen,**
 - * **vernünftige Maßnahmen abzuleiten und zu optimieren.**

Dafür müssen die Modelle die Realität ausreichend genau abbilden.

Messmethoden



**Rollen-
prüfstand**

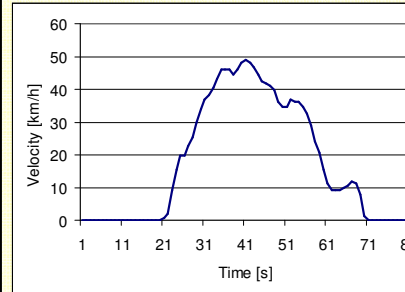


**Motor-
prüfstand**

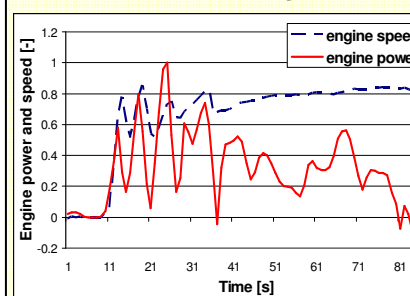


**PEMS
Portable
Emission
Measurement
System**

Kfz, Testzyklen



Motor, Testzyklen

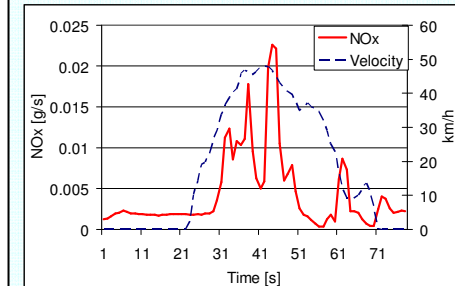


Kfz, Route

INPUT

**Verbrauch,
Emissionen
Leistung,
Drehzahl,.....**

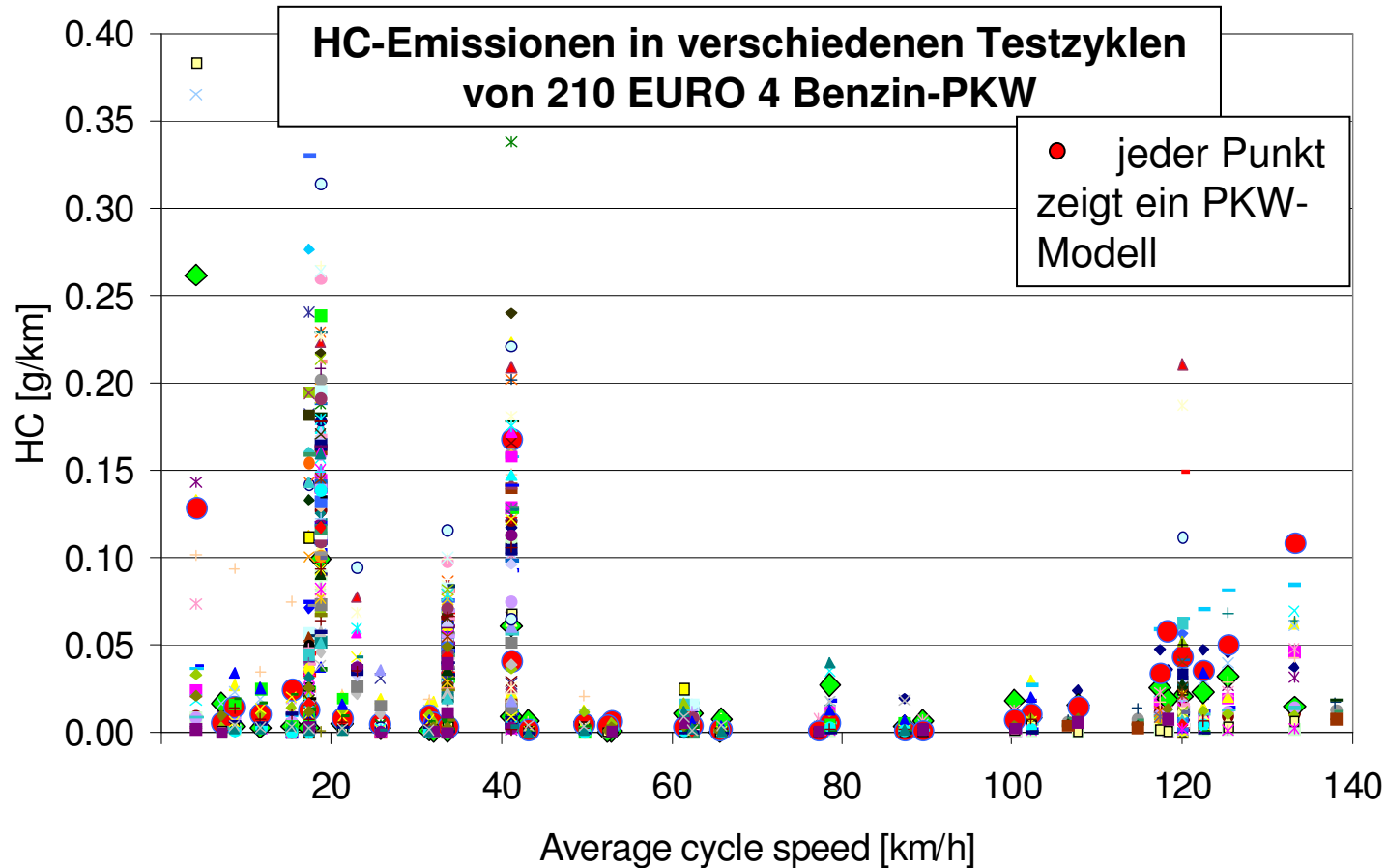
**Mittelwert/Zyklus
&
zeitaufgelöst**



OUTPUT

Beispiel Messergebnisse

Emissionsverhalten ist stark von der Bedatung der Steuer- und Regelelektronik abhängig → starke Streuungen.



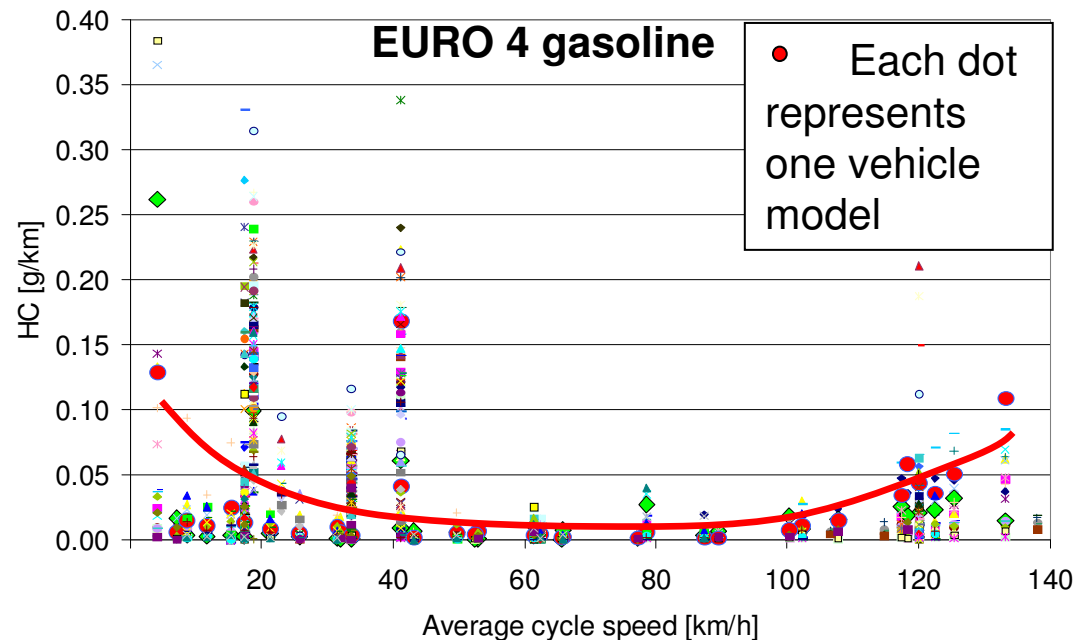
→ Ein Emissionsmodell braucht viele gemessene KFZ bzw. Motoren

Von der Messung zum Emissionsmodell

Einfachster Ansatz: “**Average Speed**” Modelle (e.g. COPERT)

Regressionsgleichung durch die Messwerte bei verschiedenen Zyklen

$$\text{Emission [g/km]} = A + B * v + C * v^2$$



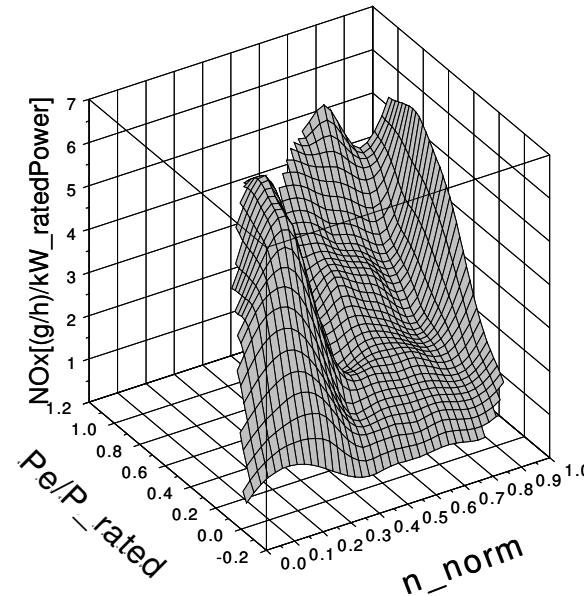
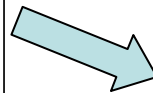
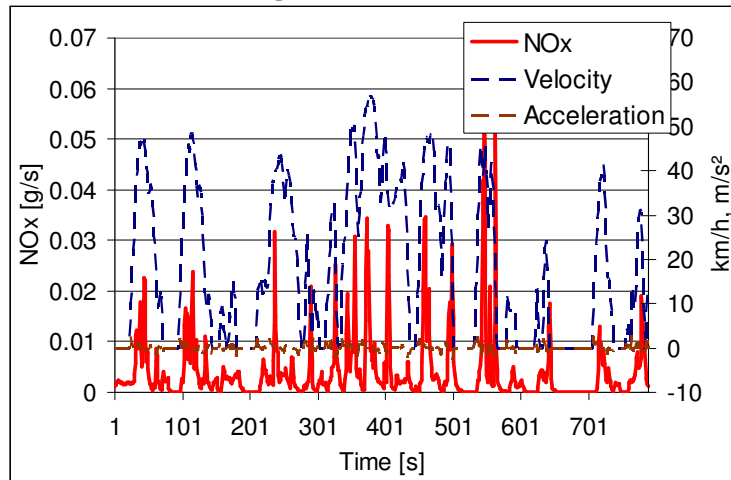
Modell entnimmt dann Emissionsfaktor [g/km] gemäß aktueller Geschwindigkeit.

Vorteil: einfach, viele verschiedene Messdaten integrierbar.

Nachteil: einfach. Gibt Trend gemäß verwendeter Messdaten. Änderungen in Zyklusdynamik, Fahrerverhalten, Längsneigung, Beladung, etc. sind nicht abbildbar.

Komplexer Ansatz: Längsdynamik + Motor-Emissionskennfeld (z.B. PHEM)

Sekündliche Messwerte werden nach Motorleistung (P_e) und Drehzahl (n) in Kennfeld eingerastert.



Modell berechnet P_e und n Verlauf und interpoliert zugehörige Emissionen aus Kennfeld.

Vorteil: Kann alle Kfz und Fahrzustände abbilden (Fahrbahnsteigung, Beladung, Gangschaltverhalten, Kaltstart, Hybridfahrzeuge,...)

Nachteil: Aufwändig zu bedaten.

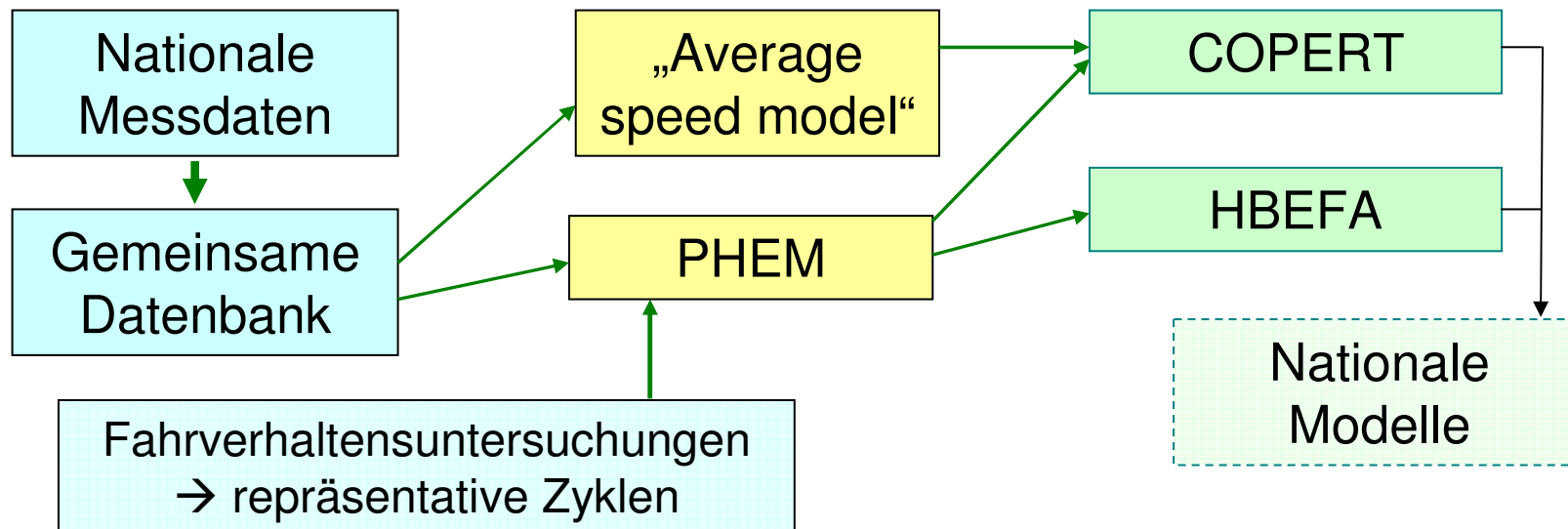
Derzeitige Situation in der EU

Seit ca. 10 Jahren EU-weite Harmonisierung der Messungen und Modelle in Arbeit.

ERMES (European Research Group on Mobile Emission Sources) als Vereinigung der Geldgeber und Bearbeiter seit Anfang 2010.

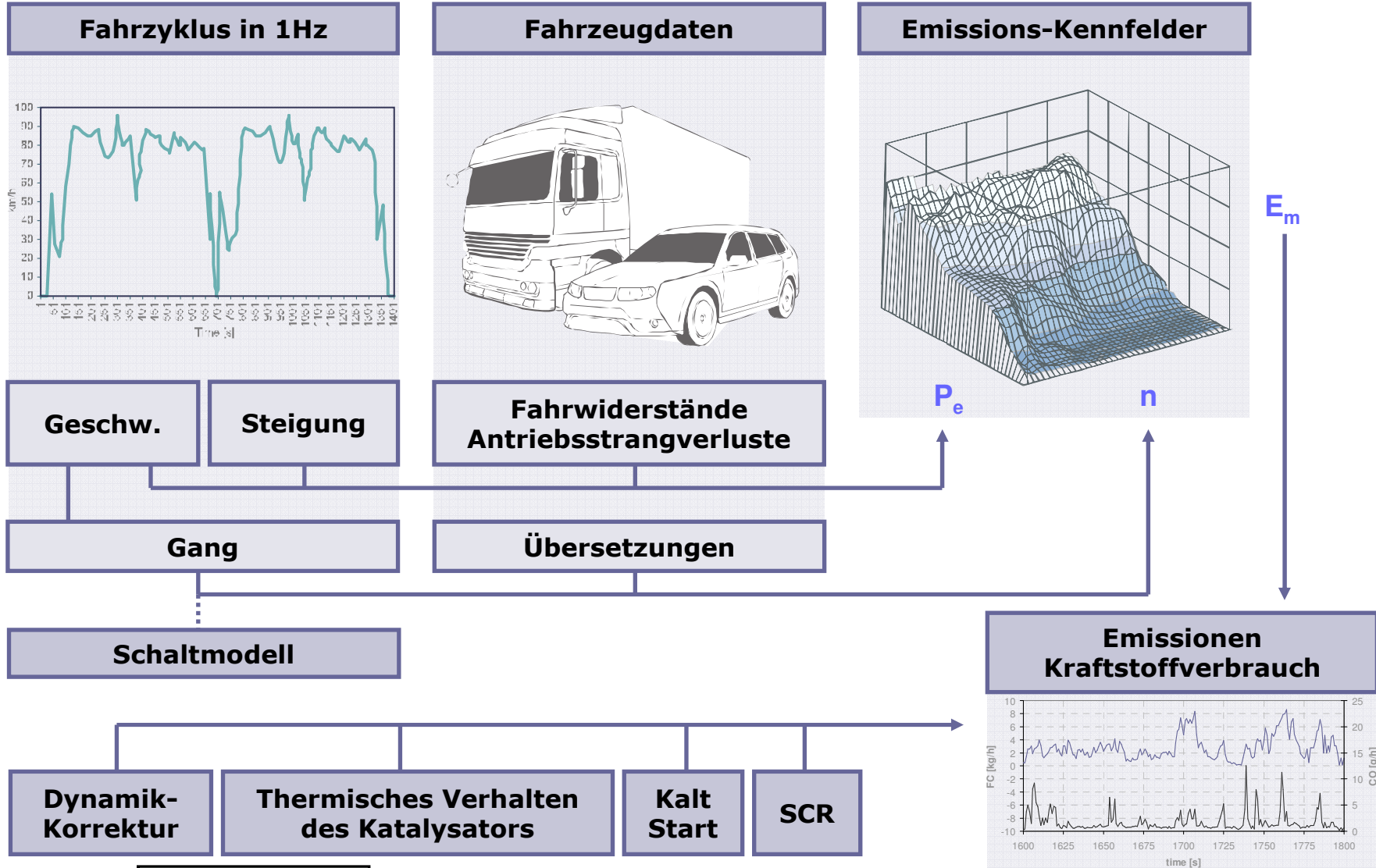
JRC + Infras + TUG + LAT + DAC als Koordinatoren

Datenfluss:



PHEM

Passenger car and Heavy duty Emission Model



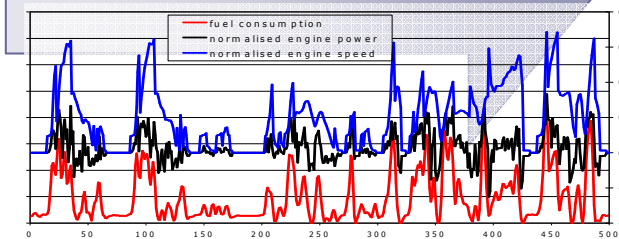


Kennfelderstellung

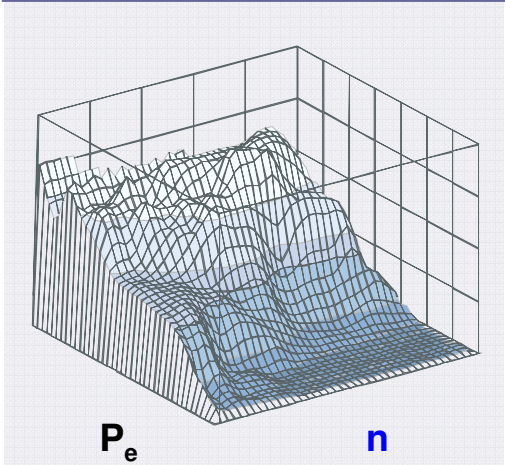
Motorleistung

Motordrehzahl

Emissionen



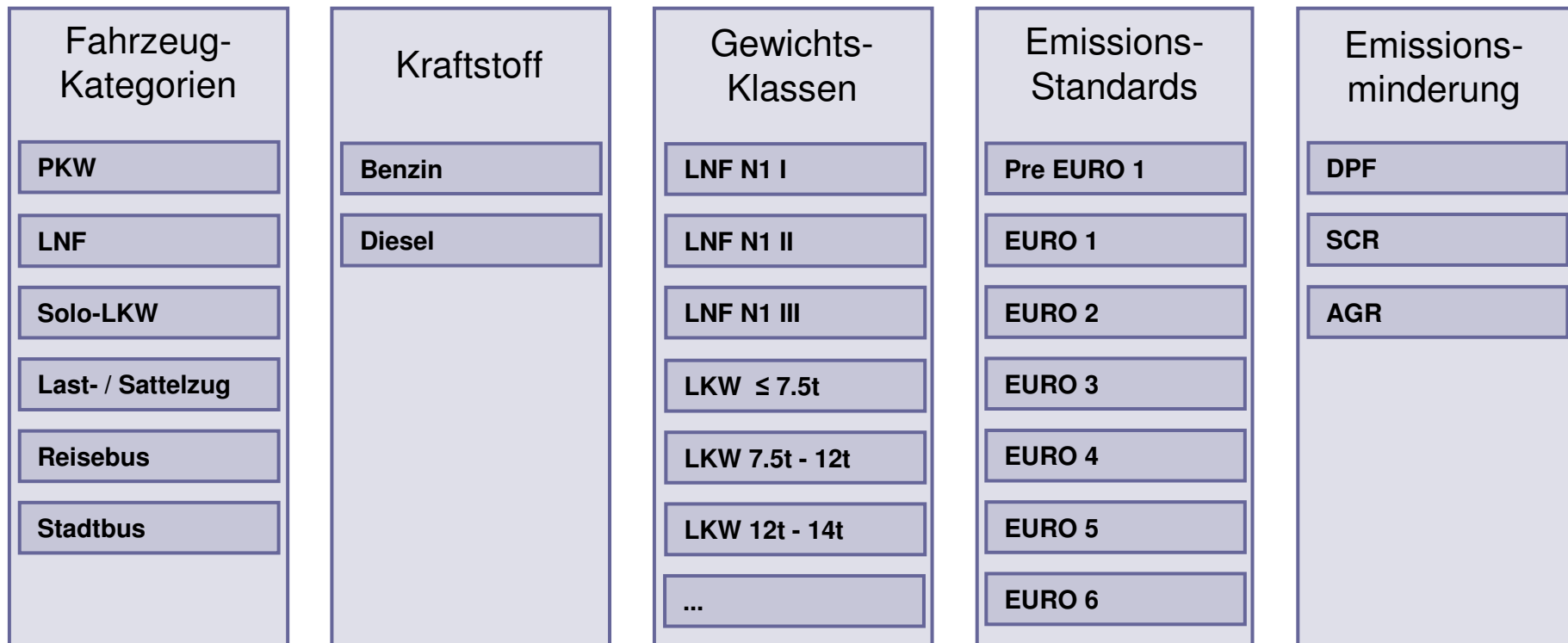
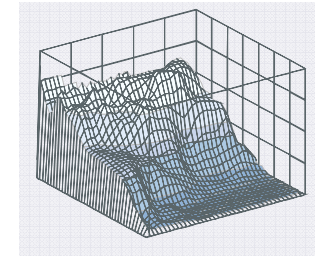
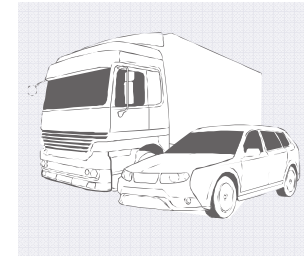
Emissions-Kennfelder



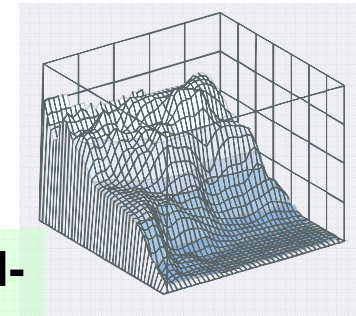
- Zur Erstellung der Emissions-Kennfelder werden heute aus Kostengründen meist instationäre Messung verwendet (≥ 1 Hz)
- Prüfstandspezifische Korrektur der Gaslaufzeit und von Mischungseffekten notwendig (zeitliche Zuordnung Emissionsmesswert zu P_e und n).
- Kennfeldbelegung mit Beutelwerten ist nicht möglich

PHEM Fahrzeugdaten erstellt für HBEFA

Kategorien



PHEM Emissionskennfelder erstellt für HBEFA



PKW

Kennfelderstellung aus transienten Messungen von TUG und EMPA

	Benzin	Diesel
EURO 0	2	0*
EURO 1	3*	0*
EURO 2	4*	4
EURO 3	9	8
EURO 4	23	24
EURO 5	0*	1*
Summe	41	37

Kalibrierung mit Beutelwerten aus der ARTEMIS 300 DB

	Benzin	Diesel
EURO 0	878	207
EURO 1	1191	48
EURO 2	164	54
EURO 3	156	135
EURO 4	208	99
EURO 5	0	0
Summe	2597	543

PHEM Emissionskennfelder erstellt für HBEFA

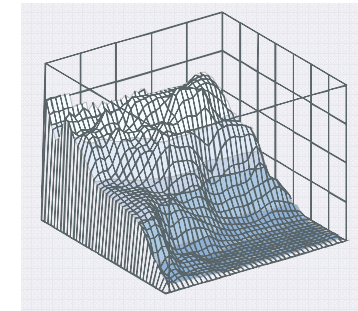
LKW

Messdaten-Basis für LKW-Kennfelder

	Motorpr.	Rollenpr.	On-Board
Pre EURO	40 (2)	0	0
EURO I	13 (2)	0	0
EURO II	21 (10)	1	0
EURO III	27 (13)	0	0
EURO IV	2 (2)	1	5
EURO V	0	4	2
EURO VI	1	0	0
Summe	104 (29)	6	7

Werte in Klammern: Messungen auch in transienten Fahrzyklen

Bisher kein (zusätzlicher) umfangreicher Datensatz für Kalibrierung vorhanden



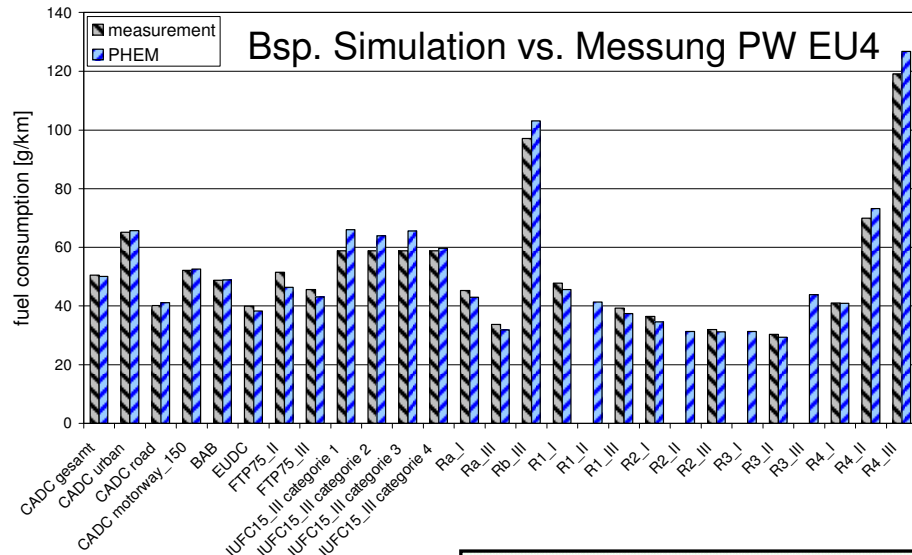
Unsicherheiten in den Ergebnissen

1. Limitierte Anzahl an getesteten Kfz
2. Nicht perfektes Modell
3. Fehler in den Messdaten

Erstmals grobe Unsicherheitsanalyse für HBEFA 3.1

→ Größenordnung von 1. und 2. ähnlich; von 3. unbekannt

Gesamtunsicherheit lokaler Emissionswert:



Verbrauch ca. +/-5%

NOx ca. +/-20%

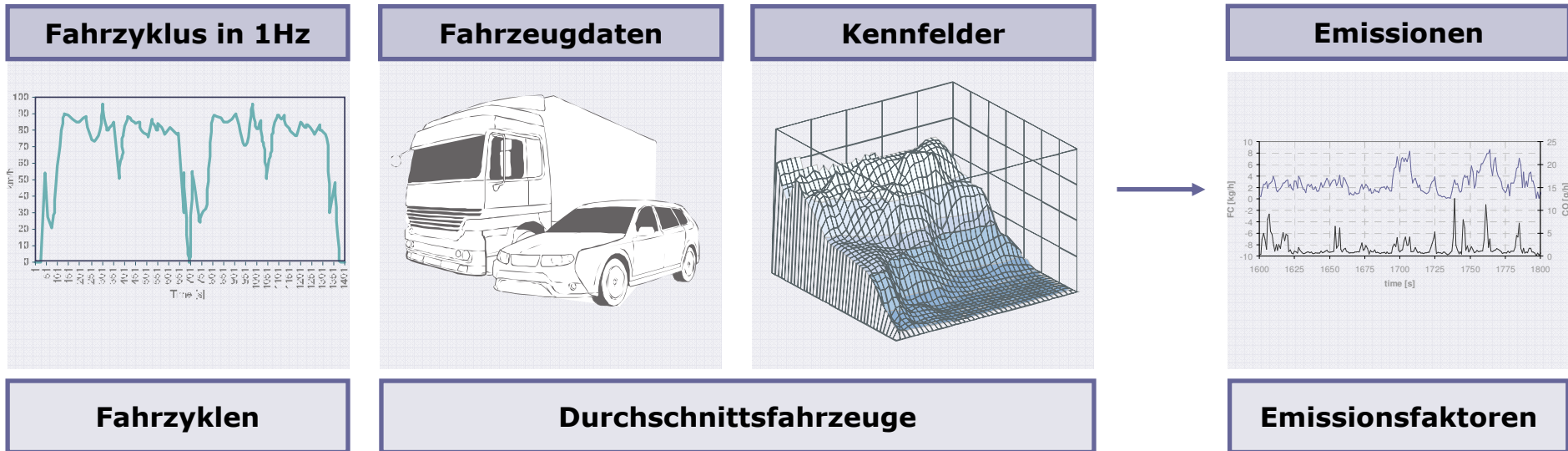
PM, HC ca. +/-30%

CO > 40%

Stichprobenanzahl und daher Unsicherheit schwankt stark je Kfz Schicht !

Berechnung der Basisemissionsfaktoren

PHEM



- 15 PKW
- 45 LNF
- 513 LKW

- CO₂, FC
- NO_x, NO₂
- HC
- CO
- PM, PN

- 140 000 PKW Em-F
- 430 000 LNF Em-F
- 7 800 000 LKW Em-F

1400 Fahrzyklen

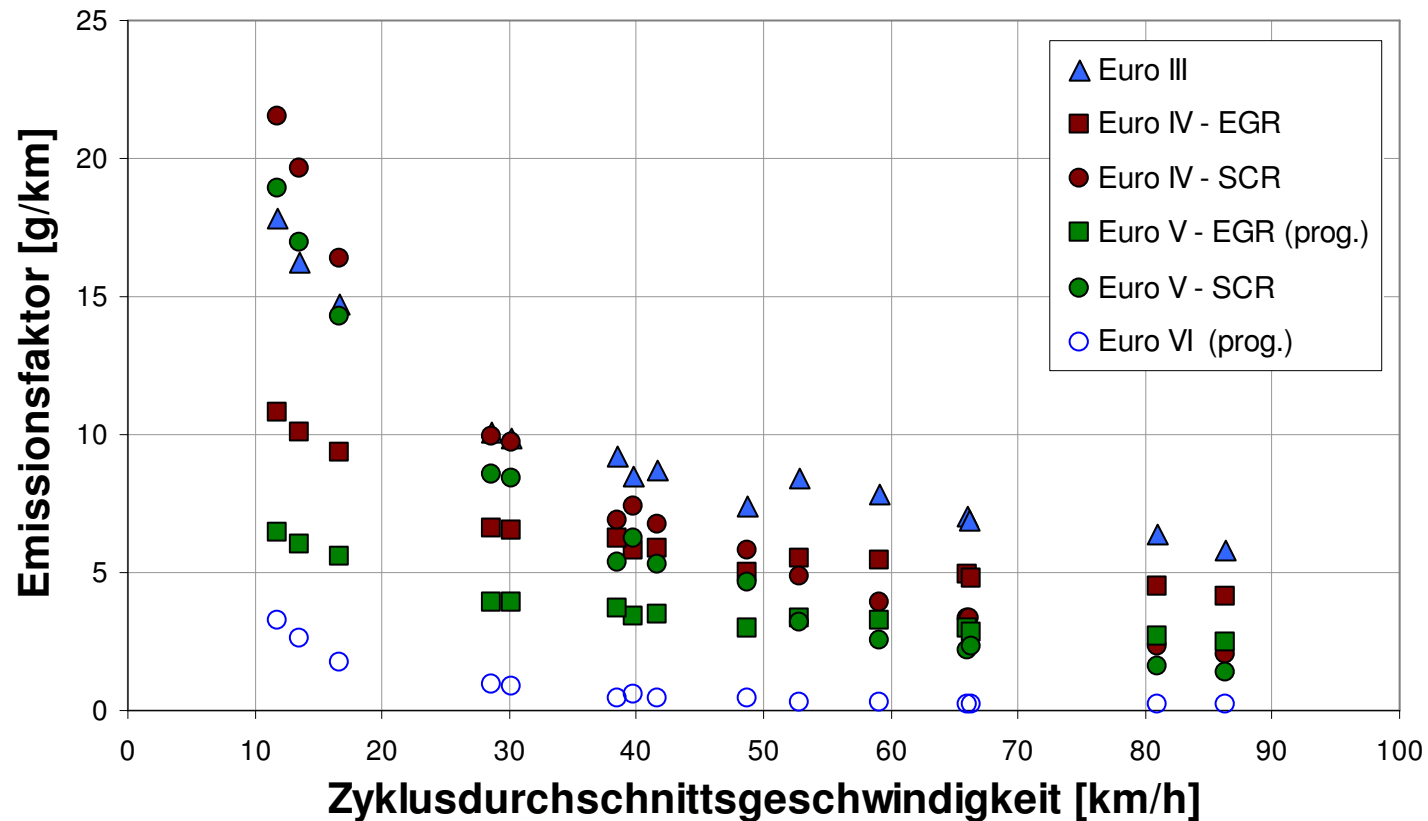
573 Fahrzeuge

8 Komponenten

8.4 Mio.Em-Faktoren

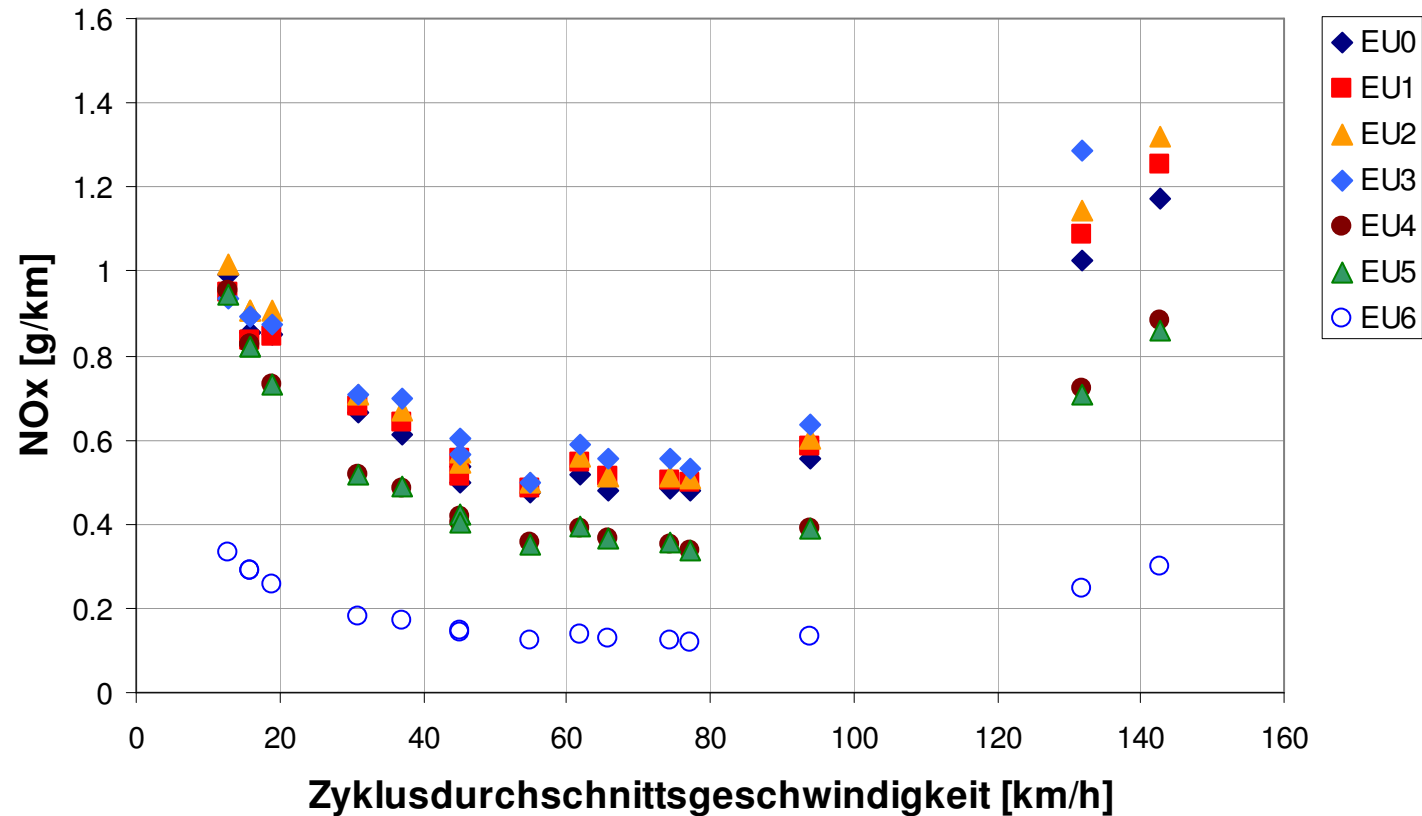
HBEFA Basis - Emissionsfaktoren

Beispiel: NO_x Last- / Sattelzug | 34t - 40t GVW | 50% Ladung



HBEFA Basis - Emissionsfaktoren

Beispiel: NOx Diesel PKW

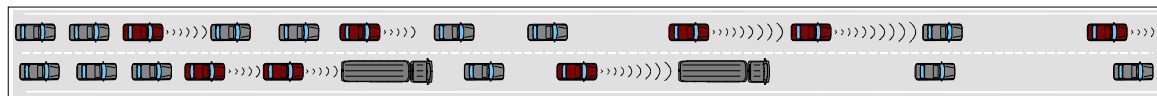


Sonstige Anwendungen von PHEM

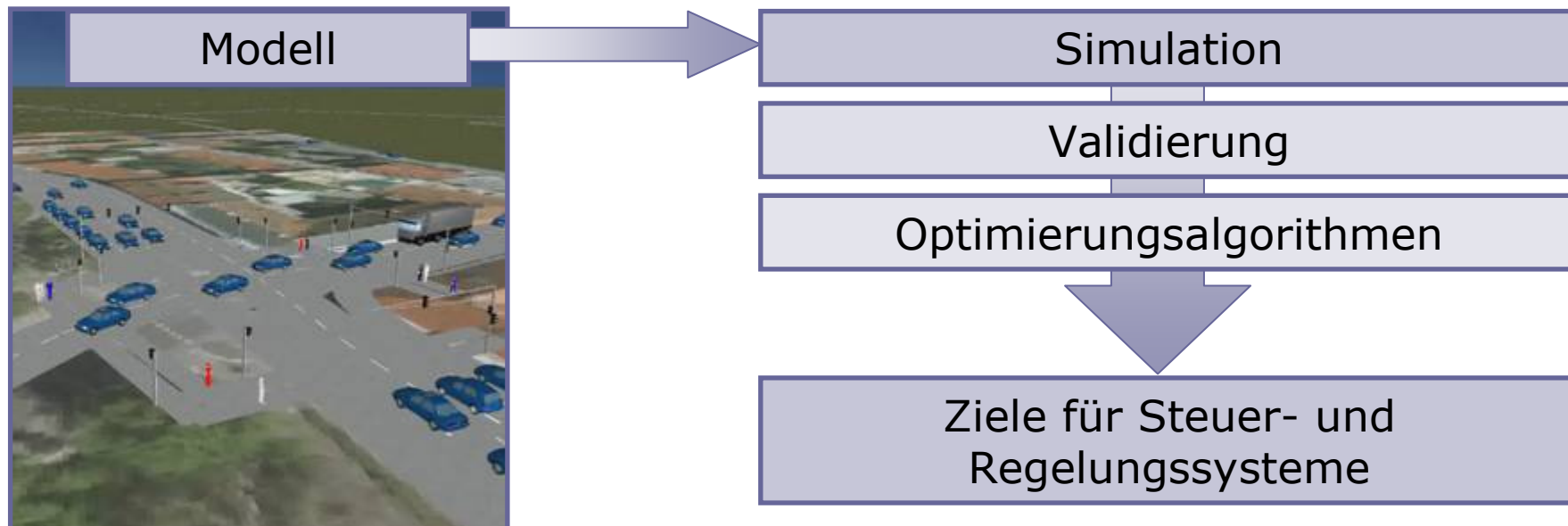
Ziel: Unterstützung der Optimierbarkeit des Gesamtsystems aus Motor, Kfz, Infrastruktur (LSA, VBA,..) und Fahrer bezüglich Effizienz und Emissionen.

Komplexitäten und Regelmöglichkeiten werden steigen (Elektrifizierung Antriebstrang, geregelte LSA, C2X-Kommunikation,..)

Gemeinsame Betrachtungen zur Optimierung werden wertvoller



$$E = \sum_{veh=1}^n \sum_{s=1}^m e_{veh,s} = Min.$$



Zusammenfassung

- **Emissionsfaktoren für Fahrzeugflotten brauchen viele Messwerte.**
- **Dazu werden EU-weit Messdaten gesammelt** (über 1200 verschiedene Typen in „Real World“ Zyklen bisher, Koordination dazu in „Optimierungsphase“)
- **Durchschnittliches Fahrverhalten in der EU noch nicht ausreichend bekannt** → „repräsentative Fahrzyklen“ noch nicht endgültig.
- **Simulation mit PHEM erlaubt nachträgliche Änderung der Fahrzyklen und des Schaltverhaltens und erlaubt so einfache Updates.**
- **Geschachtelter Modellansatz PHEM→HBEFA→COPERT bisher erfolgreich.**
- **Emissionsfaktoren sinken insgesamt deutlich. Problematisch ist neben CO₂ aber noch NO_x (für Nutzfahrzeuge noch Innerorts, bei Diesel-PKW insgesamt und speziell Autobahn).**
- **Das Emissionsverhalten von EURO 6 im realen Verkehr wird für die Zielereichung der NO₂-Luftgütegrenzwerte wesentlich sein.**
- **Die Optimierung des Zusammenspiels von FahrerInnen, Kfz und Verkehrsinfrastruktur bietet auch kurzfristig Potenzial**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Rollenprüfstand für Schwere Nutzfahrzeuge der TU-Graz