

# Überwachung der Kfz-Emissionen im realen Verkehr, Methoden und Ergebnisse

## Monitoring of Real Driving Vehicle Emissions, Methods and Results



Prof. Dr. Stefan Hausberger

Leitung Forschungsbereich Emissionen  
TU Graz, IVT

Co-Autoren  
Co-Authors

Dr. Jens Borken-Kleefeld

Senior Research Scholar  
IIASA

MS. Claus Matzer

Researcher  
TU Graz, IVT

MS. Silke Lipp

Researcher  
TU Graz, IVT

## Abstract

Systematic monitoring of real driving emissions from vehicles started in the 1990'ies with measurements for the Handbook on Emission factors (HBEFA, <http://www.hbefa.net/e/index.html>). From 2000 to 2005, a European consortium improved the methods for vehicle testing and evaluation in the EU FP7 Project ARTEMIS. Results from this project are e.g. the ARTEMIS driving cycle (CADC), frequently used for real world LDVs chassis dyno tests, and the ERMES data base, where test results from independent European labs are brought together. Based on the ARTEMIS core consortium, the ERMES group was established (<http://www.ermes-group.eu/web/>). The ERMES group consists of laboratories, funding organisations and researchers dealing with emission testing with PEMS and on the dynamometer, with remote sensing measurement and with corresponding analysis of measures and technologies to reduce emissions and energy consumption of road vehicles and mobile machines.

While the ERMES database on real world tests had only a limited number of cars until HBEFA version 3.1 (e.g. 24 different EURO 5 diesel cars measured), the available data significantly increased during the last 3 years (e.g. covering today 101 EURO 5 and 85 EURO 6 diesel cars).

Also for HDVs and 2-wheelers the number of measured vehicles increased significantly after the recent discussions on real world NO<sub>x</sub> emissions from diesel LDVs. Parallel to the conventional vehicle tests also remote sensing has been systematically developed for vehicle emission monitoring. Remote sensing measures the incremental concentration of gases in the exhaust plume of passing vehicles and thus provides mass emissions per mass of CO<sub>2</sub>. The number plate is used to identify make and model, engine type, year of registration and emission standard. This information is then associated with the measured instantaneous emissions. Since remote sensing measures thousands of vehicles per day, the data is very useful for the analysis of trends, which need a high number of vehicles to be representative. E.g., Remote Sensing can monitor aging and temperature influences and emission levels per EURO class, brand and possibly vehicle model also as basis for the selection of vehicles for more detailed instrumented tests.

The paper describes the methods developed for the monitoring and evaluation and shows actual trends in vehicle emissions.

## Einleitung

Seit den frühen 90er Jahren finden in EU Mitgliedsstaaten systematische Überwachungen von Kfz in realen Fahrsituationen statt. Eine EU-weite Harmonisierung der Aktivitäten begann mit dem EU Framework Program 5 Projekt „ARTEMIS“ im Jahr 2000. Ergebnisse des Projektes waren u.a. einheitliche Real World Testverfahren, wie z.B. der Common ARTEMIS Driving Cycle (CADC) als PKW Testzyklus für Rollenprüfstände.

Seit dem Ende des ARTEMIS Projektes wird die Kooperation in der ERMES Gruppe weiter gepflegt (<http://www.ermes-group.eu/web/>). In der ERMES Gruppe werden Testaktivitäten koordiniert, Messdaten EU weit gesammelt und analysiert und damit u.a. Emissionsmodelle erstellt. Diese Modelle geben Verbrauchs- und Emissionsverhalten von Kfz-Kategorien in realen Verkehrssituationen wieder. Ein Beispiel dafür ist das Emissionsmodell PHEM, mit dem Emissionsdaten für das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA) berechnet werden, z.B. [1], [2]. Die Problematik, dass Emissionen im realen Betrieb nicht denen im Typprüfzyklus entsprechen, wurde schon im Rahmen des ARTEMIS Projektes festgestellt. Dass speziell für NO<sub>x</sub>-Emissionen von Dieselmotoren ein Offset besteht, war schon vor über 10 Jahren bekannt, z.B. (Abbildung 1). Damals wurde bereits das unzureichende Typprüfverfahren als Ursache identifiziert. Allerdings hat es mehr als 10 Jahre gedauert, bis mit einem neuen Zyklus und Testverfahren (WLTP und RDE) eine vermutliche deutlich bessere Regulierung in Kraft trat.

Inzwischen sind die Realemissionen speziell von Diesel-Pkw und damit zusammenhängend die Überschreitungen von Luftqualitätsstandards nicht nur in Deutschland ein wichtiges Thema. Daher ist auch die Überwachung der RDE Emissionen deutlich wichtiger geworden.

Das Paper beschreibt die aktuellen Möglichkeiten und Methoden sowie neuere Ergebnisse zu Messungen und Analysen von Kfz-Emissionen.

## Laufende Aktivitäten PKW

Während zu Beginn der ERMES Aktivitäten die Messungen von Verbrauch und Emissionen vorwiegend auf Rollenprüfständen, bzw. bei Nutzfahrzeugen auch am Motorprüfstand erfolgten, sind inzwischen weitere Datenquellen relevant:

- PEMS: Portable Emission Measurement Systems zur Messung On-Board im realen Verkehr.
- Remote Sensing: Messung der Schadstoffkonzentrationen im Abgas vorbeifahrender Kfz.
- Nutzerinformationen: Erfassung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs von Kfz durch Angaben von Kfz-Nutzern (z.B. [spritmonitor.de](http://spritmonitor.de))

TU Graz versucht Messaktivitäten und Auswertungen von Kfz-Messungen in der ERMES Gruppe zu koordinieren. Die europaweiten Remote Sensing Aktivitäten werden seit 2016 im Rahmen eines Projektes (CONOX) von IVL Schweden koordiniert.

## Fahrzeugmessungen

Seit dem Jahr 2015 nimmt der Anteil von On-Board Tests (PEMS) an den gesammelten Messdaten stark zu. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die derzeit für EURO 5 und 6 PKW vorhandenen Daten. Waren bei EURO 5 erst 4% der PKW mit PEMS gemessen, sind es bei EURO 6 schon 40%. Die intensiven Messaktivitäten, die mit „Dieselgate“ in der EU gestartet wurden, sind allerdings nicht optimal koordiniert. So sind in der ERMES Datenbank derzeit z.B. 20 EURO 6 PKW aus dem Hause Volkswagen aber keiner von Fiat.

Weitere Daten werden für das nächste Update des HBEFA (Version 4.1) noch erwartet. Diese werden fast ausschließlich PEMS Messungen sein. Neue Messkampagnen sollten – zumindest in der ERMES Gruppe – bei der Fahrzeugauswahl möglichst die schon durchgeführten Tests berücksichtigen. PEMS Messungen aus den RDE Typprüfungen sind in der ERMES Datenbank bisher nicht inkludiert. Inwieweit diese Daten repräsentative Emissionsniveaus liefern, muss noch untersucht werden.

Bei LKW ist der Trend ähnlich während bei 2-Rädern erst wenige PEMS Messdaten vorliegen. Die On-Board Messgeräte müssten für eine einfache Verwendung auf Mofas und Motorrädern noch deutlich kompakter gestaltet werden.

Die Welle an PEMS Messungen ist einerseits erfreulich, da eine breite Datenbasis zum realen Emissionsverhalten vorliegt, andererseits haben PEMS Messdaten auch erhebliche Nachteile:

- a) Wegen des Einflusses von Fahrer, Route, Verkehr und Wetterbedingungen (Wind, Temperatur) sind PEMS Messwerte nicht einfach vergleichbar.
- b) Gezielte Wiederholungen von Tests mit Variation einzelner Parameter, um z.B. Temperatureinflüsse oder Kraftstoffeffekte zu bestimmen, sind nicht möglich.
- c) Es werden nur  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , PN, CO sowie bei LKW auch HC gemessen. Für viele Komponenten, wie z.B. Partikelmasse,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ , stehen aus PEMS Messungen also keine Informationen zur Verfügung.
- d) Die Messgenauigkeit ist im Allgemeinen geringer als bei den Laborgeräten am Rollenprüfstand.
- e) Die Motorleistung bei der Fahrt wird im Allgemeinen bei unabhängigen PEMS Tests nicht erfasst.

Um die Emissionsniveaus von PEMS Messungen vergleichbar zu machen, wurden am Institut neue Methoden zur Auswertung und Nutzung von PEMS Daten erarbeitet. Dies umfasst u.a.:

- Die Motorleistung kann zeitaufgelöst aus gemessener Drehzahl und dem  $\text{CO}_2$ -Massenstrom berechnet werden
- Die zeitaufgelösten Emissionssignale werden variabel zur Drehzahl zeitverschoben, um die unterschiedliche Gaslaufzeit bei verschiedenen Motorbetriebspunkten zu korrigieren
- Die zeitaufgelösten Messdaten werden zur Erstellung von Motor-Emissionskennfeldern verwendet.

Weitere Details zu den Methoden sind z.B. in [4] und [5] beschrieben. Damit können PEMS Messdaten auch in Motorkennfelder übergeführt und im Modell PHEM genutzt werden (Abbildung 3). Die erzeugten Kennfelder werden noch nach Umgebungstemperaturklassen eingeteilt, um die Temperatureffekte getrennt abzubilden. Das Modell PHEM berechnet aus den Fahrzeugdaten mittels Fahrzeuglängsdynamik in 1Hz Motorleistung und Drehzahl und damit Emissionen und Verbrauch aus den Motorkennfeldern. Dabei werden je nach Kfz-Kategorie Rohemissionen aus den Kennfeldern berechnet und die Konvertierungen durch Abgasnachbehandlung dazu simuliert oder direkt die Emissionen am Auspuff aus den Kennfeldern bestimmt.

Somit können aus allen Kfz-Messdaten die PHEM Eingabedaten erstellt und die Emissionen in beliebigen Zyklen berechnet werden. Der Vorteil der Methode ist, dass aus einer Messung die Emissionsniveaus aus beliebigen anderen Fahrsituationen berechnet werden können. Für spezielle Fahrsituationen, wie etwa Staufahrten, die zum Auskühlen des Abgasnachbehandlungssystems führen können, muss die o.a. detailliertere Simulation der Abgasnachbehandlung verwendet werden, da rein kennfeldbasiert keine brauchbare Genauigkeit für solche Fahrzustände erreichbar ist.

Abbildung 4 zeigt die Anwendung der Methode zur Bestimmung der  $\text{NO}_x$ -Emissionsfaktoren moderner Diesel-PKW für das HBEFA 3.3. In HBEFA 3.2 basierten die EURO 6 Diesel-PKW noch auf sehr wenigen gemessenen PKW, für HBEFA 3.3 standen schon Messdaten von 26 Diesel-PKW zur Verfügung. Diese zeigten ein etwas höheres  $\text{NO}_x$ -Niveau als noch in HBEFA 3.2 angenommen. Allerdings dürften die Emissionsniveaus der RDE-typisierten Kfz (EURO 6d-temp und EURO 6d) deutlich unter EURO 6 Niveau liegen.

Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die  $\text{NO}_x$ -Emissionen konnte aus Kennfeldern aus PEMS und Rollen-Tests bei verschiedenen Temperaturen abgeschätzt werden. Dafür wurde mit den Kennfeldern jeweils der gleiche Zyklus (CADC) simuliert und die Ergebnisse über der Umgebungstemperatur der Messung aufgetragen (Abbildung 5). Damit sind Fahrer und Routeneinflüsse weitgehend eliminiert

und der Temperatureinfluss bleibt als maßgebliche Variable. Da für EURO 4 und 5 Diesel-PKW keine Kfz-Messungen unter 20°C verfügbar waren, wurden diese aus Remote-Sensing Messungen in Göteborg und Zürich abgeleitet, (EU4 RS bis EU6 RS). Für EURO 6 zeigen Kfz-Tests und Remote Sensing Ergebnisse eine gute Übereinstimmung.

Analog kann natürlich auch nach einzelnen Kfz ausgewertet und simuliert werden. Die Arbeiten umfassen neben Diesel-PKW auch Kfz mit Ottomotoren und Hybridantrieben sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Zweiräder und Baumaschinen. Remote Sensing Messungen

Die ERMES Gruppe bearbeitet im Projekt „CONOX“ die systematische Analyse von Daten aus Remote Sensing Messungen in EU. Die Messung liefert die momentanen Konzentrationen im Abgas sowie Geschwindigkeit und Beschleunigung vorbei fahrender Kfz, für den Zustand, in dem die Abgaswolke den Remote-Sensing Messpfad durchquert (Abbildung 6).

Mit dem Kennzeichen können Marke, Type, Antriebsart, Baujahr und Abgasnorm bestimmt werden, so dass die Messwerte sowohl nach Kfz-Klassen als auch nach Marken und Typen ausgewertet werden können.

Für jedes einzelne Kfz ergibt sich nur eine Momentaufnahme, aus Messdaten an zig-tausend Kfz, die die Messstelle passieren, ergeben sich aber repräsentative Werte für den mittleren Fahrzustand an der Messstelle.

Werden Messdaten an unterschiedlichen Messstellen gesammelt, erweitert sich die Repräsentativität der Remote-Sensing Daten um mehr Fahrzeuge und möglicherweise andere Fahrzustände. Die Messdaten können beispielsweise auch weiter in Leistungsklassen eingeteilt werden, indem die instantane Motorleistung aus Geschwindigkeit und Beschleunigung der einzelnen Kfz berechnet wird. Damit können Emissionskennlinien je Kfz bestimmt werden, wie sie in Abbildung 3 zu Remote Sensing dargestellt sind. Aus den Kennlinien können, ähnlich wie mit den Emissionskennfeldern, Emissionen für andere Lastprofile berechnet, und die Ergebnisse so besser vergleichbar gemacht werden.

Remote Sensing in dieser Anwendung kann folgenden Beitrag zur Überwachung von Kfz-Emissionen leisten:

- Übersicht, welche Kfz-Kategorien relevante Emissionsbeiträge leisten;
- Mittlere Emissionsniveaus nach Kfz-Klassen (z.B. PKW Diesel EU6) und ihre zeitliche Entwicklung, z.B. nach Interventionen;
- Übersicht, welche Marken und (bei hinreichend grosser Stichprobe) welche Modelle hohe Emissionen haben (z.B. als Trigger für RDE Tests);
- Überwachung von Alterungseffekten auf die Emissionen der Flotte, einzelner Kfz-Klassen, Baujahre, je nach Schadstoff;
- Einfluss der Umgebungstemperatur auf Flottenmissionen, etc.

Damit können die teureren Tests an Einzelfahrzeugen (sei es mit PEMS oder auf der Rolle) gezielter eingesetzt werden, um Kfz Kategorien oder Marken mit auffällig hohen Emissionen detaillierter zu untersuchen.

Remote Sensing kann auch verwendet werden, um einzelne, hochemittierende Kfz zu identifizieren. Dafür sind mehrere Remote-Sensing Messungen in kurzer Zeit oberhalb einer „Erheblichkeitsschwelle“ nötig, da auch intakte Kfz gelegentlich Emissionspeaks haben aber nur defekte Kfz mit einiger Wahrscheinlichkeit bei allen Messstellen hohe Emissionen haben werden.

Als Beispiel zeigen Abbildung 7 und Abbildung 8 die durchschnittlichen NO<sub>x</sub> Emissionen von Diesel PKW EURO 5 und 6 nach Marken, die in mit Remote Sensing Instrumenten gemessen wurden.

Die Daten stammen aus Messungen in London, Zürich, Göteborg und Spanien, und stellen die Ergebnisse in g/kg Kraftstoff dar. Es sind Mittelwerte über 30 bis 9000 Messpunkte innerhalb eines Leistungsspektrums [0 bis 30 kW/t VSP].

Die Reihung und die Emissionsniveaus aus CONOX sind vergleichbar zu den Ergebnissen der Rollen-

und PEMS-Tests. Wegen der viel geringeren Anzahl an Kfz-Tests können aus diesen einige Marken nicht oder nur sehr unsicher bewertet werden.

Aus den Daten sieht man u.a., dass:

- Einige Marken bei EURO 5 und 6 zu der Liste mit den niedrigsten  $\text{NO}_x$  Niveaus gehören
- Die VW-Gruppe das  $\text{NO}_x$ -Thema bei ihren EURO 6 Kfz schon gelöst hatte, und das offensichtlich schon bevor die EURO 5 Thematik aufkam
- Viele Marken bei EURO 6 Diesel schon sehr sauber sind und weit unter dem EURO 5 Durchschnitt liegen
- Einige Marken bei EURO 6 aber auch auf gleichem oder sogar höherem  $\text{NO}_x$  Niveau als EURO 5 liegen.

Weitere Ergebnisse sind im Endbericht zu dem Projekt CONOX zu finden, der ca. März 2018 verfügbar sein sollte.

Analoge Auswertungen für Kfz, die nach EURO 6d-temp oder EURO 6d zugelassen sind, können vermutlich erst 2019 erfolgen. Aus heutiger Sicht ist zu erwarten, dass deren  $\text{NO}_x$ -Emissionen noch deutlich unter der niedrigsten EURO 6 Fahrzeugen liegen werden.

Neben den Schadstoffemissionen wird die Analyse des realen Energieverbrauches von Kfz zunehmend relevant werden. Mit strenger werdenden  $\text{CO}_2$ -Grenzwerten werden die Antriebssysteme vielfältiger und komplexer und Abweichungen vom Typprüfniveau im realen Betrieb können auch im WLTP nicht dauerhaft ausgeschlossen werden. Die Analyse sollte neben durchschnittlichen Verbrauchswerten auch das Verbrauchsverhalten in unterschiedlichen Nutzerprofilen abbilden können, da unterschiedliche Antriebssysteme unterschiedliche Stärken und Schwächen haben. Abbildung 9 zeigt beispielhaft den derzeitigen Datenstand für PKW mit Benzin-, Diesel- und Plug-In Hybridantrieb (PHEV) für relevante Verkehrssituationen des HBEFA. Die Antriebe wurden jeweils in die gleichen Fahrzeugmodelle (Mittelklasse-PKW) in PHEM implementiert und

dabei neben den Antrieben nur die Fahrzeugmassen geändert, so dass die Ergebnisse direkt vergleichbar sein sollten. Die Motordaten für Otto- und Dieselmotor wurden aus den Fahrzeugmessungen gewonnen. Die Eigenschaften der Hybridkomponenten entsprechen einem zulassungsgewichteten Mittelwert von 6 am Markt befindlichen PHEVs (hier 8,8 kWh Batteriekapazität mit 80 kW E-Motor). Die Hybridstrategie ist eine generische Strategie in PHEM. Die Stärken von PHEVs sind demnach Innerortsfahrten sowie generell kürzere Strecken, wo der Anteil elektrischen Fahrens und die rekuperierbare Bremsenergie hoch sind. Auf Langstrecken, die in Abbildung 9 auch mehr Autobahnanteile haben sind PHEVs wegen des Mehrgewichts weniger attraktiv. Hier hat der Dieselantrieb in der Well-to-Wheel Betrachtung, je nach hinterlegtem Kraftwerksmix Vorteile.

## Laufende Aktivitäten Nutzfahrzeuge

Die Aktivitäten bei schweren Nutzfahrzeugen sind analog zu den zuvor bei PKW geschilderten Arbeiten. In Remote Sensing Kampagnen werden schwere Nutzfahrzeuge aber weniger erfasst, hier müsste die Messeinrichtung für die unterschiedliche Höhe der Abgasanlage anders aufgestellt werden und könnte dann PKW und LNF nicht ordentlich erfassen. Daher ist die wesentliche Datenquelle Rollen- und PEMS Tests. Abbildung 10 zeigt den derzeitigen Stand der Arbeiten für Emissionsfaktoren von Sattelzugmaschinen für HBEFA 4.1. Die bisher ausgewerteten Messdaten an 8 EURO VI LKW zeigen fast durchgängig niedrigere Emissionen an  $\text{NO}_x$ , PM, PN, CO und HC. Lediglich bei längeren Stauzyklen steigen die  $\text{NO}_x$ -Emissionen wegen auskühlender Abgasnachbehandlung teilweise an. Wenn allerdings Abgasrückführung und SCR-Katalysator z.B. durch Softwareeingriffe deaktiviert werden, sind die  $\text{NO}_x$ -Emissionen über den von typischen EURO III Fahrzeugen. Für die Identifizierung von Fahrzeugen mit unerlaubten Eingriffen an der Abgasreinigung könnte Remote Sensing in Zukunft doch relevant werden, allerdings müssen die Methoden angepasst werden. Entweder durch Verfolgung von Fahrzeugen oder durch mehrere Remote Sen-

sing Aufnahmen hintereinander kann ein verlässlicheres Bild vom Fahrzeugzustand gewonnen werden als mit den derzeit üblichen Verfahren.

## Zusammenfassung

Überwachung und Analyse der Kfz-Emissionen im realen Betrieb wird seit den 90er Jahren durchgeführt. „Dieselgate“ hat das dafür verfügbare Budget in der EU deutlich erhöht, damit sind aber teilweise sehr ähnliche Messungen durchgeführt worden. Die ERMES Gruppe versucht, die Messumfänge und Fahrzeugauswahl in den Messaktivitäten in den unabhängigen Labors in Europa zu koordinieren, so dass Doppel- und Dreifachmessungen vermieden werden. In die koordinativen Arbeit werden zunehmend auch Remote-Sensing Daten eingebunden. Diese Datenquelle ist wegen der vielen erfassten Kfz eine sehr nützliche Ergänzung zu Messungen an Kfz.

Der zunehmende Fokus auf On-Board Emissionsmessungen, und dabei speziell auf NO<sub>x</sub> Emissionen von Dieselfahrzeugen, lässt befürchten, dass andere relevante Themen stark vernachlässigt werden. Nicht limitierte Abgaskomponenten, wie etwa N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub>, können mit komplexeren Abgasnachbehandlungssystemen Relevanz gewinnen, können On-Board aber derzeit nicht erfasst werden. Zudem sind Ergebnisse von PEMS Messungen unterschiedlicher Fahrer auf unterschiedlichen Routen nicht ohne weiteres vergleichbar und sollten nicht einfach als typische Emissionsniveaus für andere Fahrzustände interpretiert werden. Am Institut wurden für eine bessere Nutzung der PEMS Daten neue Verfahren entwickelt, mit denen alle Messdaten in Motorkennfelder übergeführt werden können. Mit diesen kann dann das Emissionsverhalten in vordefinierten Verkehrszuständen berechnet werden.

Die aktuellen Analysen zeigen, dass heutige schwere Nutzfahrzeuge in normalen Fahrzuständen schon sehr niedere Emissionen an NO<sub>x</sub>, PM, PN, und HC haben. Weitere Überwachungsaktivitäten sollten sich daher vermehrt auf die Identifikation von Kfz mit unerlaubten Eingriffen in die Abgaskontrolle konzentrieren, um das niedere Emissionsniveau im Echtbetrieb dauerhaft zu erhalten.

Viele aktuelle PKW zeigen bereits, dass auch im realen Verkehr sehr niedere Schadstoffemissionen einhaltbar sind. Allerdings scheinen das noch nicht alle Hersteller in der Neuwagenflotte umgesetzt zu haben. Mit der aktuellen RDE Regulierung sollten sich niedrige Realemissionen bei den Neuwagen aber sehr bald durchsetzen.

Eine wesentliche Aufgabe zukünftiger Aktivitäten wird wohl die Messung und Analyse des realen Energieverbrauchs von Kfz mit unterschiedlichen Antriebskonzepten sein.

## Literaturverzeichnis

- [1.] Matzer C., Hausberger S., Rexeis M., Opetnik M., Ramsauer M., Mogg O., Weger F.: Update of Emission Factors for EURO 6 Diesel Passenger Cars for the HBEFA. 22nd International Transport and Air Pollution Conference, Zürich, 15th and 16th November 2017
- [2.] Weller K., Rexeis M.: Erstellung der Emissionsfaktoren für Schwere Nutzfahrzeuge für das HBEFA Version 4. Erstellt im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH. Bericht FVT-137/17 Wel Em 2015/29/6790 vom 30.11.2017
- [3.] Hausberger S.: Emissionsverhalten von Kfz im realen Betrieb; Vortrag Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz; Graz, 2016
- [4.] Weller K., Rexeis M., Hausberger S., Zach B.: A comprehensive evaluation method for instantaneous emission measurements; 21st International Transport and Air Pollution Conference; 24th – 26th May 2016; Lyon
- [5.] Matzer C., Hausberger S., Lipp S., Rexeis M.: A new approach for systematic use of PEMS data in emission simulation; 21st International Transport and Air Pollution Conference; 24th – 26th May 2016; Lyon

# Picture Annex

Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics

## Inhalt

- Einleitung
- Laufende Aktivitäten
  - Messungen an Kfz
  - Remote Sensing Messungen
- Methodische Zusammenführung der verschiedenen Datenquellen
- Beispiele zu Ergebnissen
- Zusammenfassung

S. Hausberger
Berlin, Februar 2018

All information contained in this document is the property of IVT

2

Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics

## Einleitung

- Systematische Erfassung von Real World Emissionen und Verbrauch von Kfz seit den 90er Jahren
- Beginn EU-weite Harmonisierung mit FP5 Projekt ARTEMIS zwischen 2000 und 2005 (z.B. Common ARTEMIS Driving Cycle, CADC, als PKW Testzyklus)
- Weiterführende Kooperation der unabhängigen Labore und Fördergeber in ERMES Gruppe (European Research on Mobile Emission Sources)
- RDE Problematik ist kein neues Thema (siehe Folie aus 2006)
- Aktuelle Gesetzgebung mit RDE Tests wird Problem bei PKW und LNF weitgehend lösen
- SNF haben seit 2013 verbesserte Typprüfverfahren
- Thema ist in Medien aber präsent wie nie zuvor
- Bewirkt damit auch intensive politische Aktivitäten

**Vortragsfolie aus 2006**

Trade-Off Verbrauch und NO<sub>x</sub> -> in Typprüfzyklus auf niedere NO<sub>x</sub> optimiert in anderen Fahrzuständen aber oft auf niederen Verbrauch

Beispiel: 104 Diesel-PKW gemessen in Typprüfung (NEDC) und in einem im realen Verkehr aufgenommenen Zyklus (CADC)

EURO	NEDC (g NO <sub>x</sub> /km)	CADC (g NO <sub>x</sub> /km)
EURO 1	~0.6	~0.8
EURO 2	~0.6	~0.9
EURO 3	~0.4	~0.8
EURO 4	~0.3	~0.7

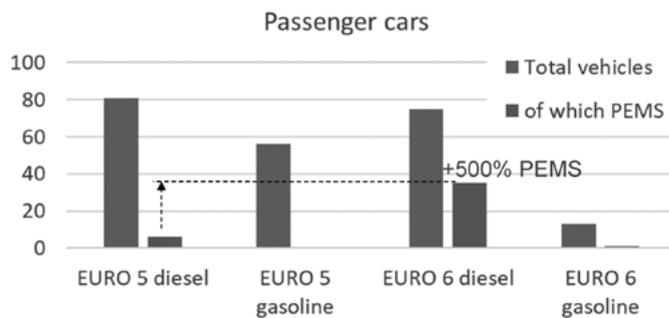
S. Hausberger
Berlin, Februar 2018

All information contained in this document is the property of IVT

3

## Laufende Aktivitäten zu Fahrzeugtests

- TUG versucht Messaktivitäten und Auswertungen in ERMES Gruppe zu koordinieren
- Ursprünglich vorwiegend Rollentests, seit ~ 2015 starke Zunahme von On-Board Tests (PEMS). Beispiel PKW Messdaten für EURO Klassen 5 und 6 in ERMES Datenbank:



Derzeit starker Fokus auf PEMS Tests bei Diesel  
 Viele parallele, unkoordinierte Aktivitäten in EU  
 → Abdeckung der Flotte könnte besser sein

ERMES tests EU6 diesel cars:

16xBMW 14xVW  
 8x Mazda  
 7xPeugeot  
 6xRenault  
 5xDaimler

**0x:**

Chevrolet, Chrysler, Fiat,  
 Honda, Hyundai, JLR,  
 Mitsubishi, Seat, Skoda,  
 Subaru, Suzuki, Volvo

Derzeit Aktivitäten  
 zur Lückenschließung

## Laufende Aktivitäten zu Remote Sensing

Messung Konzentrationen NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> im Abgas  
 sowie v und a vorbei fahrender Kfz

Aus Nummerntafel → Marke, Type, Baujahr

Nur Momentaufnahme je Kfz

Aus Messdaten an zig-tausend Kfz ergeben  
 sich aber repräsentative Mittelwerte.



Was Remote Sensing kann:

- + Datenquelle, welche Kfz-Kategorien relevante Emissionsbeiträge leisten
- + Mittlere Emissionsniveaus nach Kfz-Klassen (z.B. PKW Diesel EU 0 bis EU6)
- + Indikator, welche Marken hohe Emissionen haben (z.B. Trigger für ISC Tests)
- + Einfluss Alterungseffekte auf Flottenemissionen
- + Einfluss Umgebungstemperatur auf Flottenemissionen, etc.

Was Remote Sensing nicht kann:

- Verlässliche Detektierung einzelner hochemittierender Kfz (auch intakte Kfz haben gelegentlich Emissionspeaks), dazu wäre RS Kaskade nötig

## Methodische Zusammenführung der Datenquellen

Die Datenquellen haben sehr unterschiedliche Qualitäten:

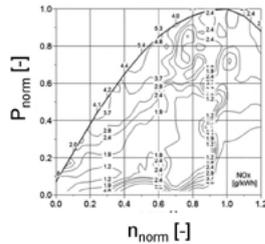
Rollenprüfstand: alle Abgaskomponenten, Zyklen und Fahrwiderstände bekannt.

PEMS: nur  $\text{NO}_x$ , CO, PN,  $\text{CO}_2$ ; Fahrwiderstände und Steigung im Zyklus schlecht erfasst, i.A. Motor-Drehmoment nicht erfasst.

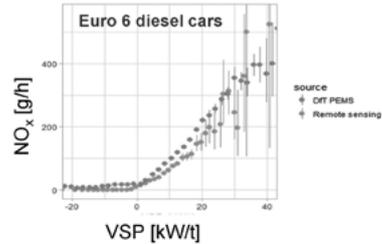
Remote Sensing: Steigung, Geschw. und Beschl. erfasst; Fahrwiderstände und Beladung nicht bekannt, Ergebnisse in  $\text{g/g}_{\text{CO}_2}$

Nutzerdaten, z.B. Spritmonitor: nur  $\text{l}/100\text{km}$

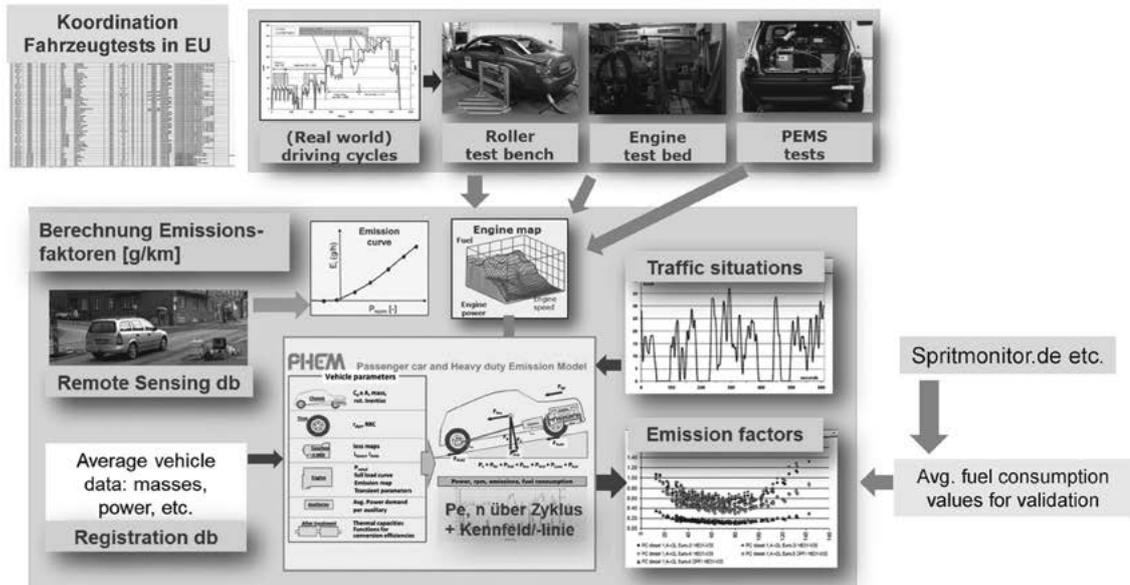
Sekündliche Emissionsdaten von Rollentests und PEMS werden in Emissionskennfelder konvertiert



Emissionsdaten von RS werden dzt. zur Validierung genutzt und in Emissionskennlinien konvertiert

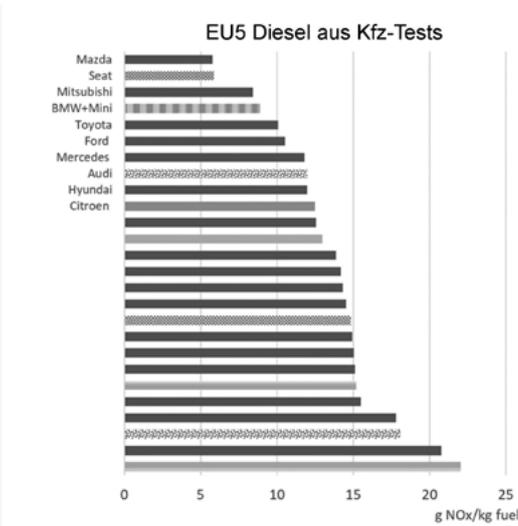
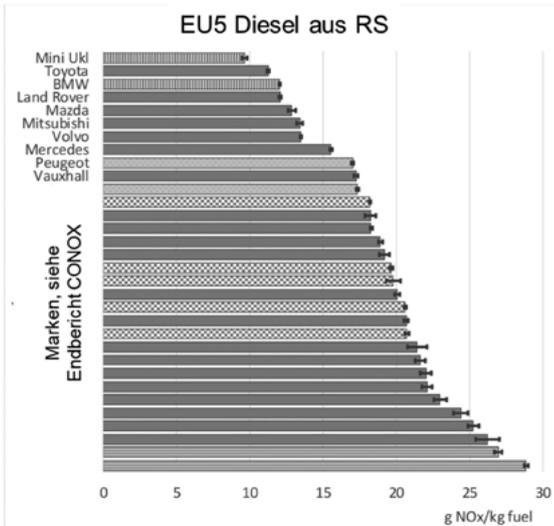


## Zusammenführung von Messdaten für HBEFA



### Beispiele zu Ergebnissen

Analyse nach Marken mit Vorsicht zu interpretieren da teilweise geringe Anzahl an gemessenen Kfz sowohl je Marke. Bei Kfz-Tests teils unterschiedliche Zyklen und Temperaturen. Bild ist insgesamt aber stimmig.



S. Hausberger

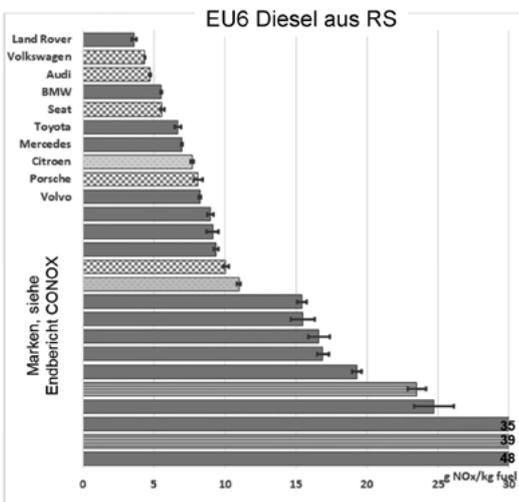
Berlin, Februar 2018

All information contained in this document is the property of IVT

### Beispiele zu Ergebnissen

EU6 Diesel haben zum Teil andere Reihung im NO<sub>x</sub>-Niveau

Kein Vergleich mit Kfz-Tests möglich da ungenügende Anzahl Messungen bei vielen Marken



#### Trends zu NO<sub>x</sub> Diesel-PKW

- Einige Hersteller erreichen im Mittel mit EU6b schon EU6d-temp Niveaus
- Neuere EU6 Zulassungen haben im Mittel niedrigere NO<sub>x</sub> als frühe EU6 Fahrzeuge (ca. -50% vs BJ 2014)
- Einzelne Hersteller haben bei EU6 höhere NO<sub>x</sub> als bei EURO 5

S. Hausberger

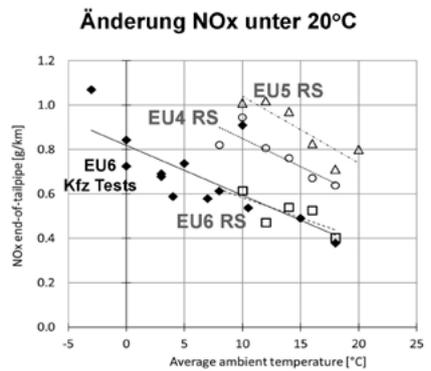
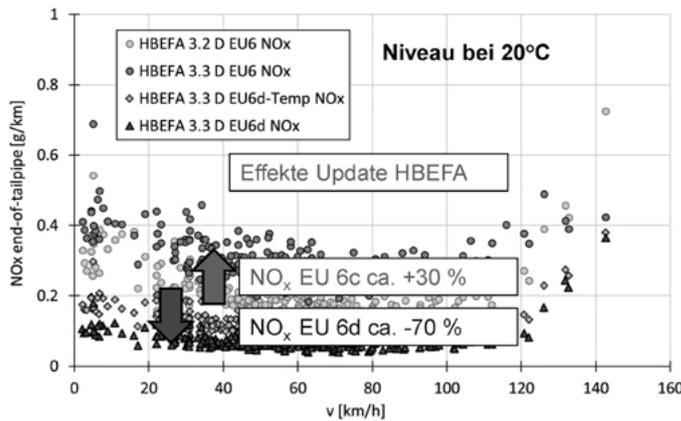
Berlin, Februar 2018

All information contained in this document is the property of IVT

### Beispiele zu Ergebnissen

HBEFA 3.3 als "Quick-Update" für PKW-Diesel vor HBEFA 4.1.

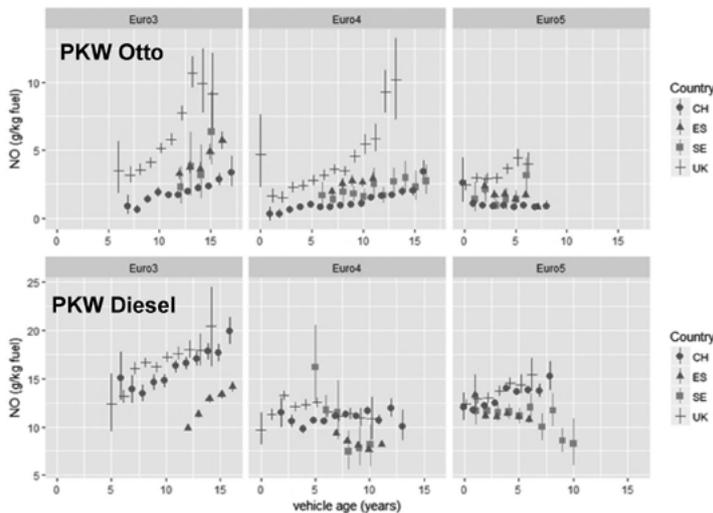
HBEFA 3.2 hatte nur wenige, vorwiegend frühe "Premium EU6" PKW als Basis.



EU6d-Temp und EU6d werden auch deutlich geringeren Temperatureinfluss haben.

### Beispiele zu Ergebnissen

Repräsentative Alterungseinflüsse mit Kfz-Tests kaum zu generieren (Messung gleicher Kfz über Jahre nötig). Mit Remote Sensing möglich (RS über Jahre jeweils gleich positioniert).



EU5 zeigen weniger Alterungseinfluss als EU3 und EU4

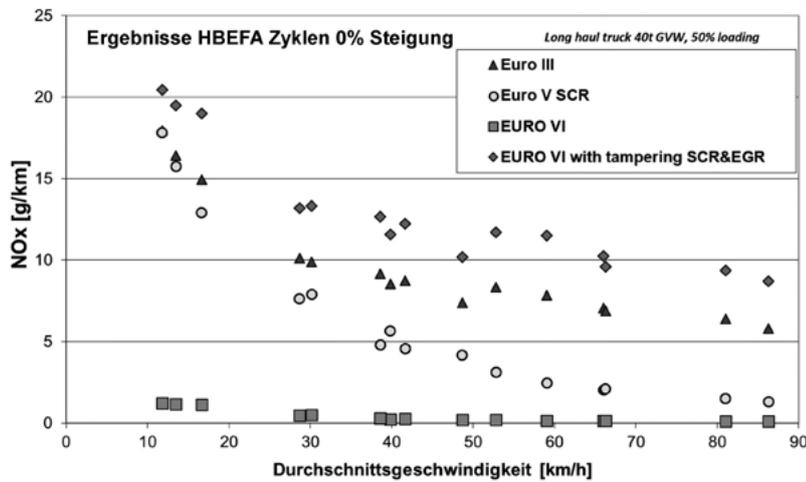
Länder-Unterschiede i.A. durch Flottenmix erklärbar

Trend EU4,5 Diesel nicht ganz stimmig

## Beispiele zu Ergebnissen schwere Nutzfahrzeuge

EURO VI Nutzfahrzeuge haben geeignetes Typprüfverfahren (WHTC inkl. Kaltstart, ISC mit On-Board Emissionsmessung) seit Ende 2013 für alle Neuzulassungen → es wirkt.

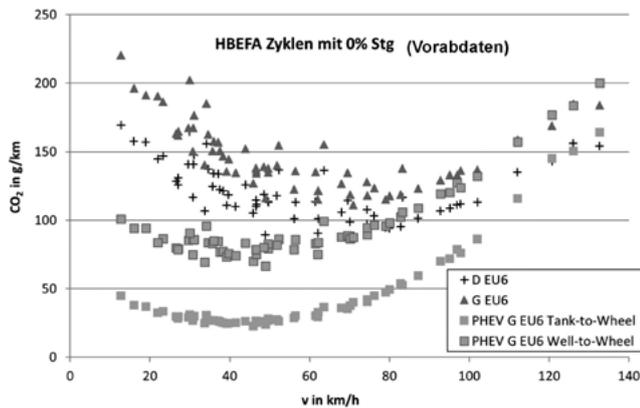
Inwieweit elektronische Manipulationen in der Flotte stattfinden ist derzeit offen.



## Was gibt es außer NOx?

- PM und PN aus Kfz-Abgas durch DPF und in Zukunft auch OPF weitgehend entschärft.
- CO, HC durchgehend auf niederem Niveau
- CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> als Klimagase zunehmend im Fokus

→ HBEFA 4.1 wird verschiedene Antriebe basierend auf detaillierter Simulation beinhalten:



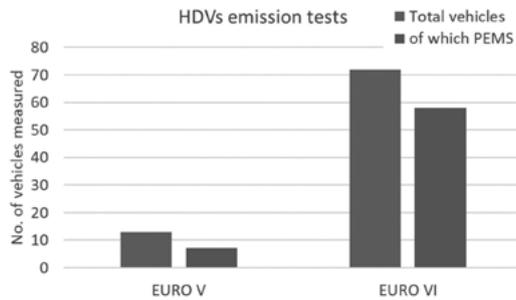
Alle Antriebe in EU6 Mittelklasse PKW  
 PHEVs mit 8,8 kWh Batteriekapazität  
 und 80kW E-Motor  
 Mittlerer Anteil elektr. Fahren  
 IO 75% bis AB 20%

480 g CO<sub>2</sub>/kWh für Strom-Mix

## Offene Aktivitäten

Für Update Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA 4.1 geplant Ende 2018) werden, soweit möglich, noch Lücken geschlossen:

- **PKW und LNF:**
  - > Messung noch nicht erfasster, relevanter Marken und Typen
  - > EU6d und 6d-Temp typisierte PKW
  - > Messungen am Rollenprüfstand (HC, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, PM, usw. mit PEMS nicht erfasst)
  
- **Schwere Nutzfahrzeuge:**
  - für EU VI fast nur PEMS Daten
  - > Rollenmessungen für nicht limitierte Abgaskomponenten
  - > Untersuchung Relevanz Kaltstart-Zusatzemissionen
  - > Einbindung VECTO Daten für Real World Verbrauch
  - > Überprüfung Effekt manipulierter Emissionsminderungssysteme



## Zusammenfassung

- Dieselsegate hat die Anzahl verfügbarer Emissionsmessungen stark erhöht, die Koordination von Messaktivitäten hätte Luft nach oben
  - Die Kombination von Rollentests, PEMS-Tests und Remote Sensing ergibt sehr guten Überblick zu Emissionsniveaus der Kfz-Flotte aber auch nach Marken, Alter usw.
  - PEMS Messungen geben zwar realistisches Bild,
    - brauchen aber intelligente Handhabung um ausreichend vergleichbar gemacht zu werden
    - geben keine Daten zu PM, N<sub>2</sub>O, und anderen relevanten Größen
  - NOx Emissionsniveaus neuer Diesel-PKW sinken, mit Gültigkeit EU6d-temp und EU6d ist weitere deutliche Reduktion zu erwarten.
  - Klimagase werden zunehmend relevant, HBEFA wird dazu erweitert.
  - Beispielhafter Vergleich von Antrieben Mittelklasse PKW:
  - Diesel hat deutliche CO<sub>2</sub>-Vorteil gegen Otto (> 15% bei Langstrecke, >20% Innerorts) NOx ab EU6d bei Diesel auch nieder; Partikel, HC und CO schon lange niedrig.
  - PHEV hat auf Langstrecke eher Nachteile (Mehrgewicht, wenig Bremsenergieerückgewinnung)
  - Heutige PHEVs haben auf kürzeren Strecken über 50% CO<sub>2</sub>-Vorteil gegen Otto wenn CO<sub>2</sub> aus Strom-Mix berücksichtigt wird (>80% CO<sub>2</sub> ohne vorgelagerte Emissionen)
- Alle Antriebe haben Stärken, auf langen Distanzen sind moderne Diesel am effizientesten