

HBEFA

HBEFA Version 3.3

Hintergrundbericht
Bern, 25. April 2017

Mario Keller (MK Consulting GmbH)
Stefan Hausberger, Claus Matzer (IVT / TU Graz)
Philipp Wüthrich, Benedikt Notter (INFRAS)

MKC Consulting GmbH, Distelweg 5, CH-3012 Bern/Schweiz

IVT Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz, Inffeldgasse 19, A-8010 Graz/Austria

INFRAS, Sennweg 2, CH-3012 Bern/Schweiz

Inhalt

Inhalt	2
Zusammenfassung	3
1. Kontext und Zielsetzung	6
2. "Basis-Emissionsfaktoren"	9
2.1. Ansatz: Das PHEM-Modell	9
2.2. Emissionsfaktoren von Euro-6-PKW	9
2.3. Emissionsfaktoren von Euro-4- und Euro-5-PKW	13
2.4. Auswirkungen auf die Flottenzusammensetzung	13
3. Einfluss der Umgebungstemperatur	15
3.1. Umgebungstemperatur und NO _x -Emissionen	15
3.2. Korrekturfaktoren	18
3.3. Umgebungstemperaturen und ihre Auswirkung	19
4. Resultate	22
4.1. Die neuen Emissionsfaktoren: Vergleich mit HBEFA 3.2	22
4.2. Vergleich mit Messungen auf der Straße	24
4.3. Auswirkung auf die Entwicklung der Emissionsfaktoren 2000-2030 (Deutschland)	24
5. Zusätzliche Kommentare	26
5.1. Eine Anmerkung zu den Kaltstartzuschlägen	26
5.2. Aktualisierungen von Länderdaten	27
Annex 28	
Annex A: Gemeinsame, im Kontext der HBEFA-Entwicklung verwendete Fahrzyklen	28
Annex B: NO_x-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW in HBEFA 3.3 vs. 3.2	29
Abkürzungen	31
Literatur	33

Zusammenfassung

HBEFA 3.3 ist ein "rasches Update" von HBEFA 3.2, welches auf die NO_x-Emissionen neuerer Diesel-PKW fokussiert. Alle übrigen Teile von HBEFA 3.2 bleiben unverändert. Eine vollständige Überarbeitung von HBEFA ist für das Jahr 2018 geplant. In der Version 3.3 wurden die folgenden Elemente angepasst:

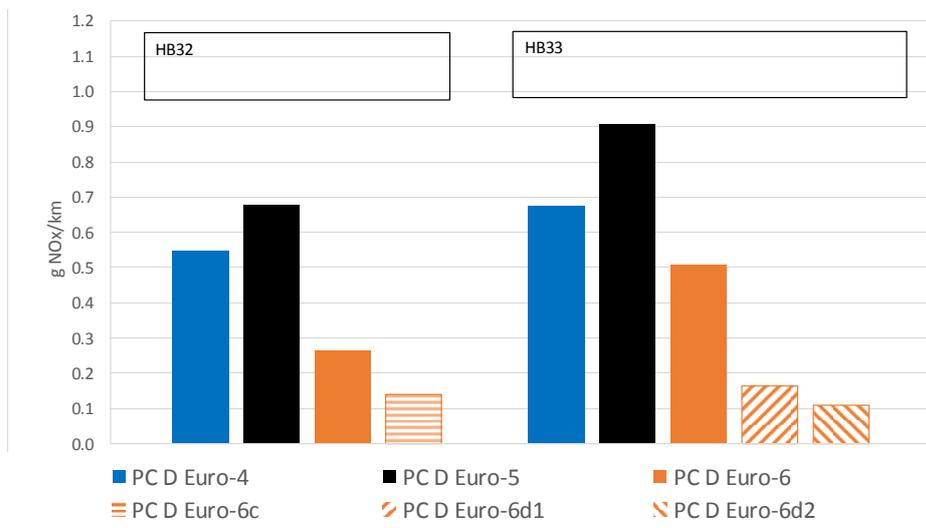
- Die betriebswarmen NO_x-Emissionsfaktoren (EF) von Diesel-PKW der Emissionskonzepte Euro-4, Euro-5 und Euro-6 wurden unter Berücksichtigung neuer Messungen verschiedener Quellen aktualisiert (Labormessungen, PEMS-Messdaten aus dem realen Betrieb auf der Straße sowie Remote Sensing-Daten).
- Als neues Element wurde der Einfluss von Umgebungstemperaturen auf die warmen NO_x-EF von Diesel-PKW (Euro-4, Euro-5 und Euro-6) eingeführt. Dieser Einfluss wird mittels Korrekturfaktoren berücksichtigt. Sie werden auf die «Basis-Emissionsfaktoren» angewendet, welche wie in früheren HBEFA-Versionen aus dem PHEM-Modell der TU Graz stammen. Sie berücksichtigen, dass die meisten Emissionstests im Labor bei Temperaturen zwischen 20°C und 30°C durchgeführt werden, während die realen Umgebungstemperaturen durchschnittlich klar tiefer liegen. Die Korrekturfaktoren wurden hauptsächlich von Remote Sensing-Daten (aus Schweden und der Schweiz) hergeleitet. Die empirische Basis des Temperatureinflusses ist limitiert, daher werden die Korrekturfaktoren als indikativ betrachtet und erfordern weitere Untersuchungen.
- Mit der Version HBEFA 3.2 (2014) wurde eine neue Emissionsstufe 'Euro-6c' eingeführt (zusätzlich zu Euro-6). In der neuen Version HBEFA 3.3 wird diese durch zwei Stufen ersetzt: 'Euro-6d1' (=Stufe 1) und 'Euro-6d2' (=Stufe 2). Dabei wird von einer schrittweise verbesserten Effizienz durch zusätzliche Zulassungsverfahren ausgegangen, insbesondere durch die RDE-Gesetzgebung («Real-Driving Emissions»-Tests mit PEMS), woraus tiefere Emissionen resultieren. Diese Stufen werden zu einem späteren Zeitpunkt eingeführt als ursprünglich angenommen. Als Konsequenz musste die Flottenzusammensetzung der Diesel-PKW angepasst werden. Die Flottenzusammensetzung aller anderen Fahrzeugkategorien und Technologien (z. B. Benzin-PKW) bleibt unverändert.
- Die «Basis-EF» von Euro-4-Diesel-PKW wurden im Jahr 2010 aktualisiert. Neuere Messungen sprachen für eine Anpassung für die Straßenkategorie Autobahn; diese wurde für HBEFA 3.3 vorgenommen. Die Euro-5-«Basis-EF» wurden 2014 aktualisiert (HBEFA 3.2) und blieben daher unverändert. Die «Basis-EF» für Euro-6 wiederum wurden für HBEFA 3.3 aktualisiert. Allerdings basieren sie immer noch auf einer limitierten Anzahl Messungen und besitzen daher indikativen Charakter. Da die vorhandenen Messungen von einer Stichprobe relativ neuer Fahrzeuge stammen, wird eine leichte Verschlechterung (mit zunehmendem Alter und Kilometerleistung) erwartet. PKW der Konzepte Euro-6d1 und Euro-6d2 zirkulieren noch nicht auf der Straße, daher beruht ihr EF auf Erwartungswerten bezüglich des Effekts der zugehörigen Regulationen (insbesondere RDE).

- Kaltstart-Emissionszuschläge: Die neuen Messungen der Kaltstart-NO_x-Emissionen bei Diesel-PKW bestätigten größtenteils die Werte und Trends, welche in der früheren HBEFA Version 3.2 angenommen wurden. Daher bleiben diese Werte in der Version 3.3 unverändert.

Resultate

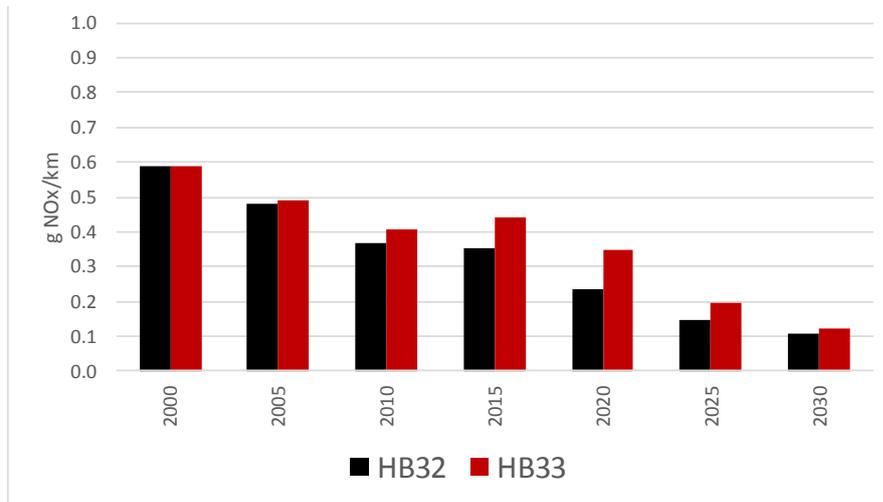
Die folgenden zwei Grafiken zeigen die resultierenden Emissionsfaktoren: die warmen EF liegen insbesondere für Euro-5 und Euro-6 höher als in den früheren Versionen, hauptsächlich wegen des Einflusses der neu eingeführten Korrektur aufgrund der Umgebungstemperatur. Die neueren RDE-Konzepte Euro-6d1 und Euro-6d2 bleiben auf einem ähnlichen Niveau wie bereits in HBEFA 3.2 unterstellt (Abbildung Z1). Die Abbildung Z2 zeigt den Einfluss auf die spezifischen Emissionen (in g NO_x/km) der gesamten PKW-Flotte (Benziner inbegriffen): Der Emissionsfaktor im Jahr 2015 liegt 25% höher als in der vorherigen Version angenommen. Der Unterschied nimmt bis auf 47% im Jahr 2020 zu und nimmt dann wieder kontinuierlich ab, so dass sich die Werte im 2030 wieder mehr oder weniger auf dem gleichen Niveau befinden, wie in Version 3.2 erwartet wurde.

Abbildung Z1: NO_x-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW Euro-4/-5/-6 in HBEFA 3.2 und HBEFA 3.3.



Grafik INFRAS. Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung Z2: Durchschnittliche gewichtete NO_x-Emissionsfaktoren für die gesamte deutsche PKW-Flotte in HBEFA 3.3 gegenüber 3.2.



1. Kontext und Zielsetzung

Kontext

Das Handbuch Emissionsfaktoren für Straßenverkehr (HBEFA) stellt Emissionsfaktoren für alle bestehenden Fahrzeugkategorien (PKW, Leichte Nutzfahrzeuge, Schwere Güterfahrzeuge, Stadtbusse, Reisebusse und Motorräder, alle wiederum in verschiedene Subkategorien unterteilt) für eine große Bandbreite von Verkehrssituationen zur Verfügung. Emissionsfaktoren für alle regulierten, für die wichtigsten nicht-regulierten Luftschadstoffe, sowie wie für den Treibstoffverbrauch und CO₂ sind verfügbar. Die erste Version von HBEFA (HBEFA 1.1) wurde im Dezember 1995 publiziert. Seither wurden alle 4 bis 5 Jahre Updates bereitgestellt, welche jeweils die neusten technologischen Entwicklungen des Emissionsverhaltens von Fahrzeugen, neue oder angepasste Gesetzgebung, neue Methoden der Emissionsmessungen und -modellierung, sowie Veränderungen bezüglich der Flottenzusammensetzungen und Fahrverhalten usw. berücksichtigen. Die letzte Version (HBEFA 3.2) wurde 2014 publiziert. Ende 2016 wurde eine neue Version durch die Umweltämter der sechs an der Entwicklung von HBEFA beteiligten Länder lanciert (Österreich, Frankreich, Deutschland, Norwegen, Schweden und Schweiz). Der Arbeitstitel für die neue Version ist «HBEFA 4.1». Ihre Publikation ist für 2018 geplant. Die Schlagzeilen zum Versagen der Emissionskontrollen bei Diesel-PKW und die Diskussionen zu Zykluserkennung und Abschaltvorrichtungen haben Bedenken hinsichtlich der Repräsentativität der EF leichter Dieselfahrzeuge aufkommen lassen. Daher ist dieser Aspekt einer der Hauptgegenstände der Aktualisierung. Außerdem sind der Treibstoffverbrauch und die zunehmende Relevanz der CO₂-Emissionen von Fahrzeugen weitere wichtige Aspekte, da der Unterschied zwischen Testresultaten und realem Treibstoffverbrauch bzw. CO₂-Emissionen kontinuierlich grösser wird. Zusätzlich werden weitere Elemente aktualisiert; es sind dies beispielsweise die absehbaren technologischen Entwicklungen (Elektromobilität) und dahingehend angepasste Flottenzusammensetzungen in der nahen Zukunft.

Zielsetzung

Aufgrund kurzfristiger Notwendigkeit beauftragte das deutsche Umweltbundesamt das HBEFA-Konsortium, ein «rasches Update» zu produzieren, welches insbesondere auf die NO_x-Emissionsfaktoren der jüngsten Diesel-PKW fokussiert. In diesem Zusammenhang wurde entschieden, eine vorläufige Version «HBEFA 3.3» zu entwickeln, mit dem Ziel, die NO_x-Emissionsfaktoren der Diesel-PKW anzupassen. Alle anderen Elemente bleiben im Vergleich zu «HBEFA 3.2» unverändert.

Arbeitsprozess

Ursprünglich lag der Fokus auf der jüngsten Emissionsstufe Euro-6. Die Arbeit wurde unter der Annahme gestartet, dass die Emissionsfaktoren bis Euro-5 nicht angepasst werden müssen, da die Emissionsfaktoren von HBEFA schon seit jeher auf Emissionsmessungen über „Real World“- (d.h. nicht legislative) Fahrzyklen, welche reales Fahrverhalten reflektieren, basieren. Infolgedessen lag der Euro 5 Diesel-PKW-EF bereits signifikant höher als der Emissionsgrenzwert (0.18 g/km): Der

Wert in der Version HBEFA 3.2 – durchschnittliche Verkehrssituationen beispielweise für Deutschland – liegt bei nahezu 0.7 g/km, also viermal höher als der Grenzwert. Nachdem das Versagen der Emissionskontrollen der Diesel-PKW publik wurde, wurden verschiedene Untersuchungen und Messprogramme in verschiedenen Ländern durchgeführt (BMVI/KBA 2016, MEEM 2016, CTA 2016, DfT 2016). Die Resultate deuten darauf hin, dass auch andere Faktoren das Emissionsverhalten von Fahrzeugen beeinflussen. Einer davon ist die Umgebungstemperatur. Folglich wird dieser Einfluss nicht nur für Euro-6 berücksichtigt, sondern auch für frühere Emissionskonzepte.

Die Emissionsfaktoren von früheren HBEFA-Versionen stützten sich fast ausschließlich auf Emissionsmessungen auf klassischen Rollenprüfständen in herstellerunabhängigen Labors (wie ADAC, EMPA, JRC, LAT, TNO, TRL, TUG etc.). Im Allgemeinen wurden standardisierte reale Fahrzyklen verwendet, um vergleichbare Daten von unterschiedlichen Labors zu erhalten. Diese Emissionsmessungen (Sekunde für Sekunde gemessen) stellen die Basis für die Herleitung des Motorkennfeldes dar, aus welchem das PHEM-Modell (Passenger car and Heavy duty Emission Model) der TU Graz schließlich die Emissionsfaktoren (in g Schadstoff/km) für die verschiedenen Verkehrssituationen und Fahrzeugkonzepte, welche in HBEFA integriert sind, berechnet. Dieser Ansatz wird auch für die Version HBEFA 3.3 angewendet. Allerdings ist so der Einfluss der Umgebungstemperatur (noch) nicht berücksichtigt. Daher wurden zusätzliche Datenquellen analysiert.

Die Aktivitäten im Umfeld von HBEFA sowie die damit verbundenen Messprogramme haben immer versucht, das reale Verhalten der Fahrzeuge zu erfassen. Die oben erwähnten Untersuchungen fokussierten darauf, ob das Manipulieren der Tests allgemeine Praxis oder herstellerepezifisches Fehlverhalten war und ob der offizielle Testzyklus (NEFZ) von den Fahrzeugen erkannt werden kann. Die entsprechenden Messprogramme variierten deshalb den NEFZ, schlossen aber auch zusätzliche Tests auf den Straßen mit neuen Messtechniken, im Speziellen PEMS (Portable Emission Measurement Systems), mit ein. Die HBEFA-Gruppe sammelte und integrierte die Resultate dieser Emissionsmessungen in der sogenannten «ERMES LDV Bag Database». Diese Datenbank hat ihren Ursprung im ARTEMIS Projekt des 4. EU Rahmenprogramms (ARTEMIS 2007, André JM 2005) und wurde seither regelmäßig durch die HBEFA-Gruppe aktualisiert, um eine robuste und vollständige empirische Basis für ein kontinuierliches HBEFA zu entwickeln. Diese erweiterten Datensätze werden für die Validierung der modellierten Emissionsfaktoren verwendet und sie geben auch Hinweise bezüglich der einwirkenden Faktoren, wie beispielsweise die Umgebungstemperatur.

Messungen auf der Straße werden künftig an Bedeutung gewinnen, insbesondere aufgrund der RDE-Gesetzgebung, welche gemäß den Erwartungen die Effektivität der Emissionskontrollen steigern wird. PEMS-Messkampagnen wurden auch durch unabhängige Drittparteien gestartet, um das Emissionsverhalten von Fahrzeugen zu überwachen. Solche Daten werden auch für künftige HBEFA-Versionen gesammelt und analysiert werden.

Eine zusätzliche Messmethode für die Überwachung der Luftqualität ist das Remote Sensing (RS). Diese Methode misst die Emissionen auf der Straße, indem die Konzentration verschiedener Schadstoffe in den Abgasfahnen vorbeifahrender Fahrzeuge an bestimmten Standorten erfasst wird. Die

aus der Konzentration hergeleiteten Emissionen können dabei individuellen Fahrzeugen zugeordnet werden¹. Während Rollenprüfstandstests und Messungen auf der Straße mittels PEMS Emissionsdaten einzelner Fahrzeuge zur Verfügung stellen, liefert RS Informationen über eine viel größere Anzahl Fahrzeuge respektive die gesamte Flotte, welche einen bestimmten Messstandort passiert. RS kann daher als komplementärer Ansatz zu den klassischen Messtechniken verstanden werden. Es ist besonders wertvoll, um den Einfluss von Faktoren zu identifizieren, welche schwierig bei einzelnen Fahrzeugen festzustellen sind, wie z.B. die Verschlechterung mit zunehmender zurückgelegter Kilometerleistung oder den Einfluss der Umgebungstemperatur.

Wie die Bezeichnung «rasches Update» andeutet, musste die Entwicklung von HBEFA 3.3 in beschränkter Zeit erfolgen. Daher sind die Resultate als indikativ zu verstehen. Zusätzliche Messresultate werden ausgewertet werden müssen, um die Resultate für die Anschlussversion 4.1 zu bestätigen, deren Publikation 2018 geplant ist.

Struktur dieses Dokuments

Dieser Bericht erläutert die empirische Basis der angepassten Emissionsfaktoren und illustriert ihren Einfluss durch einen Vergleich der NO_x-Emissionsfaktoren der HBEFA-Version 3.3 mit denjenigen der Version 3.2. Er ist wie folgt strukturiert:

Kapitel 2 beschreibt die Arbeiten zu den «Basis-Emissionsfaktoren» inklusive ihrem Einfluss auf die Flottenzusammensetzung. Kapitel 3 diskutiert den Einfluss der Umgebungstemperatur. Kapitel 4 präsentiert die resultierenden Emissionsfaktoren der HBEFA-Version 3.3 und vergleicht sie mit denjenigen der Version 3.2. Kapitel 5 enthält einige Kommentare zu den Kaltstartzuschlägen und weiteren Anpassungen aufgrund länderspezifischen Inputs.

¹ Siehe z.B. AWEL 2015, Borken-Kleefeld 2013, Chen et. al. 2016 zu weiterführenden Informationen zu Remote-Sensing-Daten.

2. “Basis-Emissionsfaktoren”

2.1. Ansatz: Das PHEM-Modell

Die “Basis-Emissionsfaktoren” (d.h. die g Schadstoff/km, differenziert nach Verkehrssituation und Fahrzeugtyp) stammen aus dem PHEM-Modell (Passenger car and Heavy duty Emission Model) der TU Graz. Die Bezeichnung «Basis-Emissionsfaktor» drückt aus, dass einige Einflussfaktoren (wie z.B. die altersabhängige Verschlechterung oder die Umgebungstemperatur) dabei noch nicht berücksichtigt sind.

Details zu diesem Ansatz sind in einem separaten Bericht der TU Graz beschrieben (TUG 2017). Kurz zusammengefasst: PHEM berechnet Kraftstoffverbrauch und Emissionen von Fahrzeugen basierend auf der Längsdynamik der Fahrzeuge und den Emissionskennfeldern ihrer Motoren. Für jede Sekunde berechnet PHEM die benötigte Motorleistung, um die Fahrwiderstände und die Verluste im Antriebsstrang zu überwinden. Ein Fahrermodell simuliert das korrespondierende Schaltverhalten, um die Motordrehzahl zu berechnen. Sind Leistung und Drehzahl bekannt, können die Emissionen aus den Emissionskennfeldern des entsprechenden Motors übernommen werden. Ein Modul für den transienten Betrieb passt die Emissionswerte an die Übergänge zwischen den verschiedenen Zuständen gemäß dem Fahrzyklus an. Zusätzliche Module berücksichtigen das Verhalten spezifischer Technologien. Aus dem Modell resultieren Leistung, Drehzahl, Kraftstoffverbrauch und Emissionen verschiedener Schadstoffe in 1 Hz Auflösung für jeden Zyklus und Fahrzeugtyp, d.h. für jedes HBEFA-Subsegment und jede Verkehrssituation, welche in HBEFA definiert ist. Diese Werte stellen die Grundlage für die von HBEFA ausgegebenen Emissionsfaktoren (in g/km) dar.

2.2. Emissionsfaktoren von Euro-6-PKW

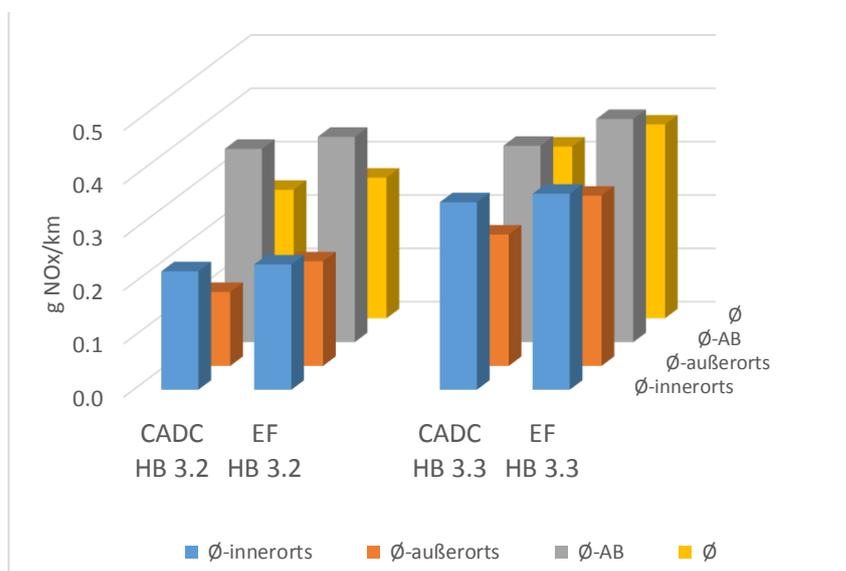
Messungen und Emissionsfaktoren in HBEFA

Zum Zeitpunkt der Entwicklung von HBEFA 3.2 (2013/14) waren Modelmessungen von nur 5 Euro-6-PKW als Grundlage für PHEM verfügbar (TUG 2013, Kapitel 3.1.3). Zusätzliche Unsicherheit bescherte die Tatsache, dass die entsprechenden Fahrzeuge der Premium-Klasse angehörten und daher nicht repräsentativ für die Flotte waren. Darüber hinaus waren die Anteile der verschiedenen NO_x-Abgaskontrolltechnologien im Bestand nicht bekannt. Zusätzliche Messungen von 12 Fahrzeugen als «Bag-Werte» (d.h. nicht in sekundlicher Auflösung) waren vorhanden, um die Emissionstotalen zu kalibrieren. Einzelheiten zu den im Kontext von HBEFA verwendeten gemeinsamen Fahrzyklen sind in Annex A verfügbar.

Für HBEFA 3.3 konnte die Zahl der verfügbaren Euro-6-Fahrzeuge resp. Messungen mit vergleichbaren Real-World-Zyklen auf 25 erhöht werden. Dies ist immer noch eine beschränkte Stichprobe, trägt aber trotzdem dazu bei, die Unsicherheit zu verringern.

Abbildung 1 zeigt auf einer Seite die NO_x-Emissionen als empirische Basis aus Rollenprüfstands-tests (CADC-Zyklus) in typischen Fahrmustern (innerorts, außerorts, Autobahn und ein Durchschnittswert über alle Straßenkategorien²), welche für HBEFA 3.2 und 3.3 verfügbar waren, und auf der anderen Seite die mittels PHEM hergeleiteten Emissionsfaktoren für vergleichbare durchschnittliche Fahrmuster, wie sie HBEFA für Deutschland zur Verfügung stellt, d.h. fahrleistungsgewichtete Durchschnitte für innerorts-, außerorts- und Autobahn-Verkehrssituationen. Es sollte beachtet werden, dass diese beiden Datensätze nicht direkt vergleichbar sind, da das dahinterstehende Fahrverhalten nicht das gleiche ist. Die Abbildung illustriert jedoch, wie die empirische Basis die Emissionsfaktoren in HBEFA beeinflusst: Die neuen Messungen (CADC) deuten darauf hin, dass die frühere Stichprobe (Basis für HBEFA 3.2) tatsächlich nicht repräsentativ war und die durchschnittlichen Emissionen signifikant unterschätzte, besonders innerorts und außerorts (z.B. ca. 0.2 anstatt 0.35 g NO_x/km innerorts). Diese Unterschätzung wurde auf die HBEFA-Emissionsfaktoren übertragen. Der neue Wert von 0.35 g NO_x/km entspricht ungefähr dem resultierenden Emissionsfaktor gemäß HBEFA 3.3. Dies bedeutet, dass der neue „Basis-Emissionsfaktor“ von Euro-6-Diesel-PKW ca. 4-5 mal höher liegt als der Grenzwert für Euro-6 (0.08 g/km).

Abbildung 1: Vergleich zwischen den NO_x-Emissionen von Euro-6-Fahrzeugen gemäss den verfügbaren Messungen (CADC-Zyklus) und den von PHEM im Kontext von HBEFA 3.2 und 3.3 modellierten NO_x-Emissionsfaktoren.



Die hier gezeigten Emissionsfaktoren für HBEFA 3.3 sind «Basis-Emissionsfaktoren» basierend auf PHEM und berücksichtigen weitere Korrekturen, wie z.B. die in Kapitel 3 erläuterte Korrektur aufgrund der Umgebungstemperatur, noch nicht.

² Der hier gezeigte Durchschnittswert entspricht einem gleichmäßig gewichteten Mix von innerorts, außerorts und Autobahn.

Verschiedene Euro-6-Stufen

Die vorherige Version HBEFA 3.2 unterschied zwischen einer ersten Generation von Euro-6-Fahrzeugen (bezeichnet als „Euro-6“, wobei die Messungen von 6b-Fahrzeugen stammten) und Fahrzeugen, welche ab 2017/18 erwartungsgemäß unter einer strikteren Emissionsgesetzgebung auf den Markt kommen (bezeichnet als „Euro-6c“).

Die aktuelle Version HBEFA 3.3 passt die Unterteilung der Euro-6-Fahrzeuge an die angepasste Gesetzgebung an, welche Emissionstest auf der Straße mittels PEMS vorsieht (RDE-Tests)³. Diese wird in zwei Stufen eingeführt, wobei wie üblich neue Typenprüfungen und neue Inverkehrsetzungen unterschieden werden. Zusätzlich werden die „Conformity Factors“⁴ für NO_x von 2.1 (in der ersten Stufe) auf 1.5 (in der zweiten Stufe) verschärft, und die Untergrenze des relevanten Temperaturbereich wird von 3°C (in der ersten Stufe) auf 0°C (in der zweiten Stufe) gesenkt. Die beiden Stufen werden wie folgt eingeführt:

	Neue Typenzulassungen	Neue Inverkehrsetzungen
Stufe d1 (bzw. 'EU6d-Temp/RDE')	Sept. 2017	Sept. 2019
Stufe d2 (bzw. 'EU6d/RDE')	Jan. 2020	Jan. 2021

Aufgrund dieser neuen gesetzlichen RDE-Rahmenbedingungen wird das frühere Konzept aus HBEFA 3.2, welches zwischen den Stufen Euro-6 und Euro-6c unterschied, in HBEFA 3.3 mit den Stufen Euro-6, Euro-6d1 und Euro-6d2 ersetzt. Da noch keine Fahrzeuge, welche Euro-6d1 und Euro-6d2 entsprechen, auf dem Markt sind, werden die neuen Standards (Grenzwerte und „Conformity Factors“) als Annahmen für die entsprechenden Emissionswerte verwendet. Da einige der getesteten Fahrzeuge bereits heute solch niedrige Emissionswerte erreichen, kann angenommen werden, dass diese in Zukunft auch für alle Neuzulassungen erreichbar sind.

Die Neudefinition der Euro-6-Stufen hat Auswirkungen auf die PKW-Flottenzusammensetzung; dies ist in Kapitel 2.4 erläutert.

Verschlechterungseffekte

Die Emissionswerte hinter den neuen Emissionsfaktoren für Euro-6 stammen von relativ neuen Fahrzeugen. Eine gewisse Verschlechterung über die Lebensdauer resp. die Kilometerleistung der Fahrzeuge ist möglich. Empirische Information zu solchen Effekten ist schwierig zu erhalten, da dasselbe Fahrzeug regelmäßig über eine lange Periode gemessen werden müsste (z.B. alle 30'000 km). Re-

³ Tests auf der Straße müssen bestimmte Bedingungen erfüllen, um als RDE-Test zu gelten – z.B. müssen sie gewisse Anteile innerorts, außerorts und Autobahn mit bestimmten Geschwindigkeitslimiten, Stopp-Zeiten, Gesamtdistanz, Höhenunterschied etc. aufweisen.

⁴ „Conformity Factors“ bedeuten faktisch höhere Grenzwerte, da der offizielle Grenzwert mit diesen Faktoren multipliziert werden kann. In absoluten Werten bedeutet dies Grenzwerte von 0.168 g/km in Stufe 1 und 0.12 g/km in Stufe 2.

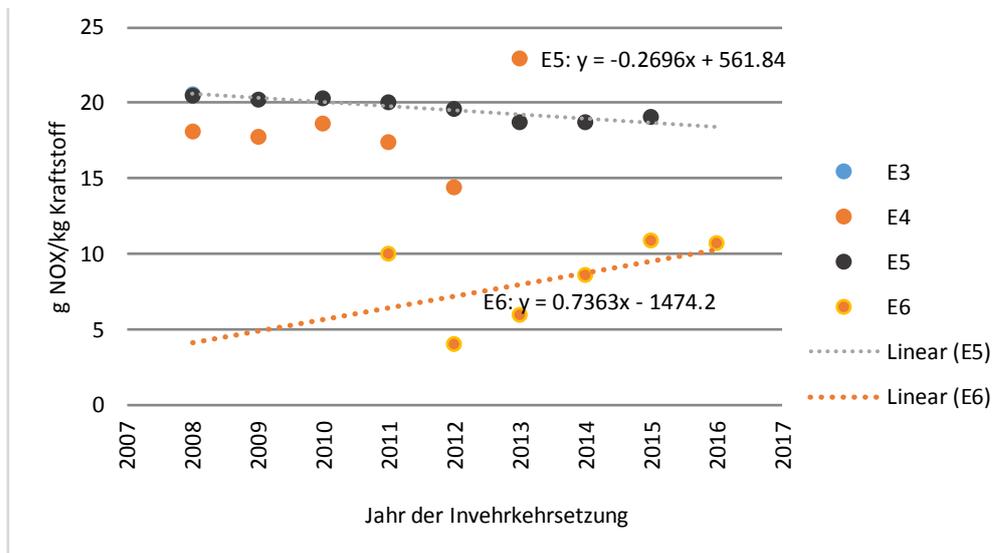
remote-Sensing-Daten haben das Potenzial, diese Effekte zu isolieren, da die Emissionswerte respektive die dazugehörigen Fahrzeuge nach Inverkehrsetzungsjahr ausgewertet werden können und somit Information zu einer potentiellen Verschlechterung liefern.

Abbildung 2 zeigt die Emissionswerte (in g NO_x pro kg Kraftstoff) aus einer Remote-Sensing-Kampagne in Zürich im Jahr 2016 (AWEL 2015⁵) als Funktion des Fahrzeugalters (als Proxy für die Kilometerleistung). Für die Euro-6-Fahrzeuge zeigt die Abbildung keine Verschlechterung, sondern eher eine Verbesserung. Dies passt zu den in Abbildung 1 gezeigten Messresultaten, bei welchen die frühesten (das heißt heute die ältesten) Euro-6-Fahrzeuge sehr niedrige Emissionen aufwiesen, weil es sich um Premium-Fahrzeuge handelte, während die heutigen Neuzulassungen im Durchschnitt höhere Emissionen verursachen. Für Euro-5 kann ein derartiger Stichprobeneffekt ausgeschlossen werden. Der „Basis-Emissionsfaktor“ der Euro-5-Fahrzeuge wurde nicht von neuen Fahrzeugen hergeleitet, sondern von einer Stichprobe, welche eine repräsentative Altersverteilung aufweist. Daher ist die Verschlechterung darin bereits enthalten und muss nicht zusätzlich berücksichtigt werden. Bei den Euro-6-Fahrzeugen ist die Lage anders: Auch die neuen „Basis-Emissionsfaktoren“ stammen aus einer Stichprobe relativ neuer Fahrzeuge. Daher kann eine Verschlechterung sehr wohl vorkommen. Wir nehmen an, dass ein ähnlicher Effekt wie bei Euro-5-Fahrzeugen (in Abbildung 2) auch bei den Euro-6-Fahrzeugen unterstellt werden kann. Der Effekt ist moderat und entspricht einer linearen Zunahme des Basis-Emissionsfaktors um bis 20% bei einer Kilometerleistung von 150'000 km (wenn eine jährliche Fahrleistung von 15'000 km über 10 Jahre unterstellt wird). Für die Stufen Euro-6d1 und Euro-6d2 sind keine empirischen Daten verfügbar, daher wird angenommen, dass die Korrekturfaktoren leicht abnehmen (um 25% verglichen mit Euro-6), was in einer Zunahme der NO_x-Emissionen um 15% mit einer Kilometerleistung von 150'000 km resultiert.

Es gibt Hinweise, dass Verschlechterungseffekte auch bei früheren Emissionskonzepten (\leq Euro-4) eine Rolle spielen (Chen et. al. 2016). Für den Moment (d.h. HBEFA-Version 3.3) werden aber keine Verschlechterungseffekte für die früheren Emissionskonzepte unterstellt.

⁵ Der Bericht (AWEL 2015) bezieht sich auf die Kampagne im Jahr 2015. Die Daten in Abbildung 2 stammen jedoch aus dem Jahr 2016, mit einem höheren Anteil Euro-6-Fahrzeugen. Der Bericht zur 2016-Kampagne ist gegenwärtig noch nicht verfügbar.

Abbildung 2: NO_x-Emissionswerte von Euro-5 und Euro-6-Diesel-PKW, gemessen 2016 in Zürich, in Abhängigkeit ihres Alters.



2.3. Emissionsfaktoren von Euro-4- und Euro-5-PKW

Die empirische Basis für die „Basis-Emissionsfaktoren“ der Konzepte Euro-4 und Euro-5 hat nicht signifikant geändert, trotz der höheren Anzahl an Messungen. Die Durchschnittswerte im CADZ-Zyklus sind ungefähr gleich. Daher bleiben die „Basis-Emissionsfaktoren“ für Euro-5 in HBEFA 3.3 gleich wie in HBEFA 3.2. Auch für Euro-4 ist die empirische Basis grundsätzlich unverändert. Allerdings wurden die Euro-4-Emissionsfaktoren bereits für HBEFA 3.1 (2009/2010) hergeleitet. Seither wurde das Berechnungsmodell PHEM aktualisiert. Aus Konsistenzgründen wurden deswegen die NO_x-Emissionsfaktoren für Euro-4 neu berechnet (TUG 2017). Die Auswirkungen sind aber nicht weitreichend: Nur die Autobahn-Emissionsfaktoren sind höher, die inner- und außerorts-Verkehrssituationen bleiben etwa auf dem gleichen Niveau.

2.4. Auswirkungen auf die Flottenzusammensetzung

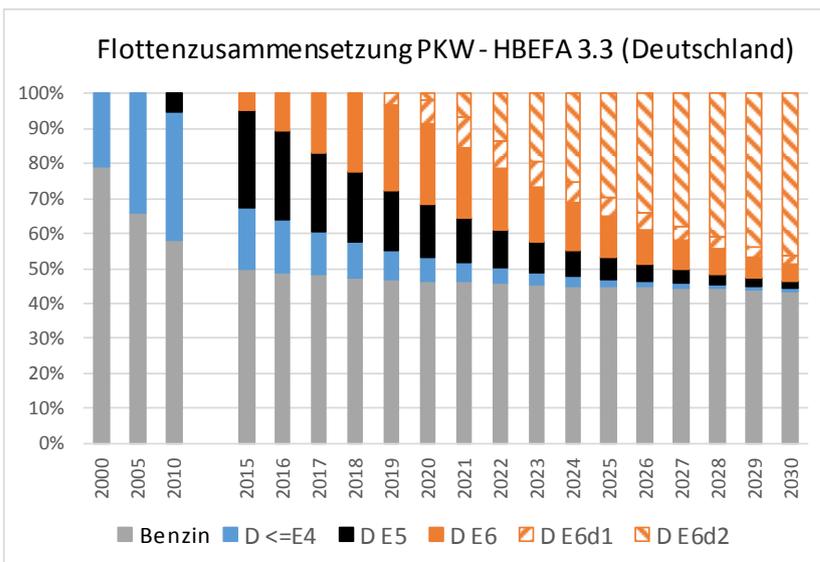
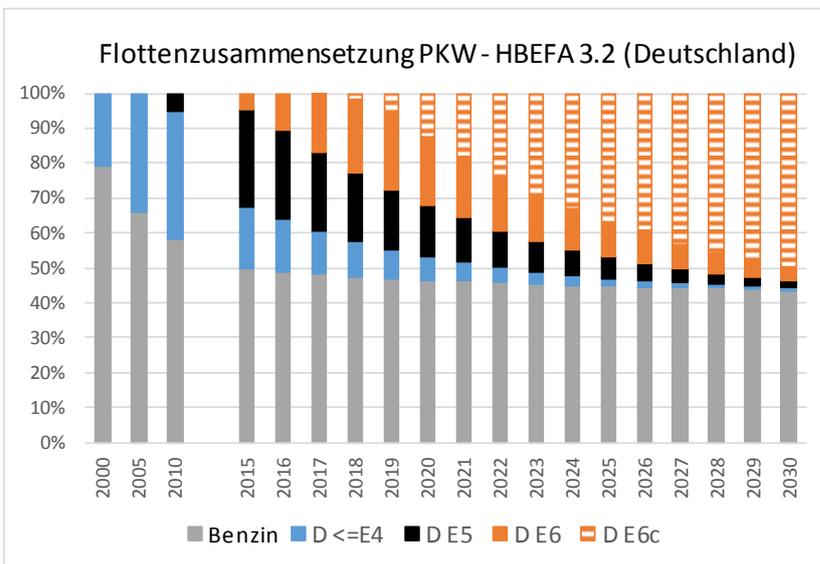
Aufgrund der Neudefinition der Emissionsstufen in HBEFA (Euro-6/6d1/6d2 ersetzen Euro-6/6c) und einem neuen Zeitplan für die Einführung der Stufen d1 und d2 musste die Flottenzusammensetzung angepasst werden. Tabelle 1 zeigt die neuen Annahmen zu den Anteilen der Neuzulassungen, verglichen mit denjenigen von HBEFA 3.2. Änderungen treten gemäß den Annahmen nicht vor 2017 auf. Die Hauptauswirkung ist eine Verspätung der Einführung der mit der RDE-Gesetzgebung konformen Fahrzeuge.

Tabelle 1: Einführung der verschiedenen Euro-6-Stufen im Markt wie für HBEFA-Versionen 3.2 resp. 3.3 unterstellt.

HB32			HB33			
	EURO-5	EURO-6	EURO-5	EURO-6	EURO-6 d1	EURO-6 d2
2013	95%	5%	95%	5%		
2014	75%	25%	75%	25%		
2015	25%	75%	25%	75%		
2016		100%		100%		
2017		90%		100%		
2018		75%		95%	5%	
2019				25%	75%	
2020					50%	50%
2021ff		100%				100%

Tabelle INFRAS. Quelle: HBEFA 3.2/3.3

Abbildung 3: PKW-Flottenzusammensetzungen in HBEFA 3.2 vs. 3.3 – Beispiel Deutschland.



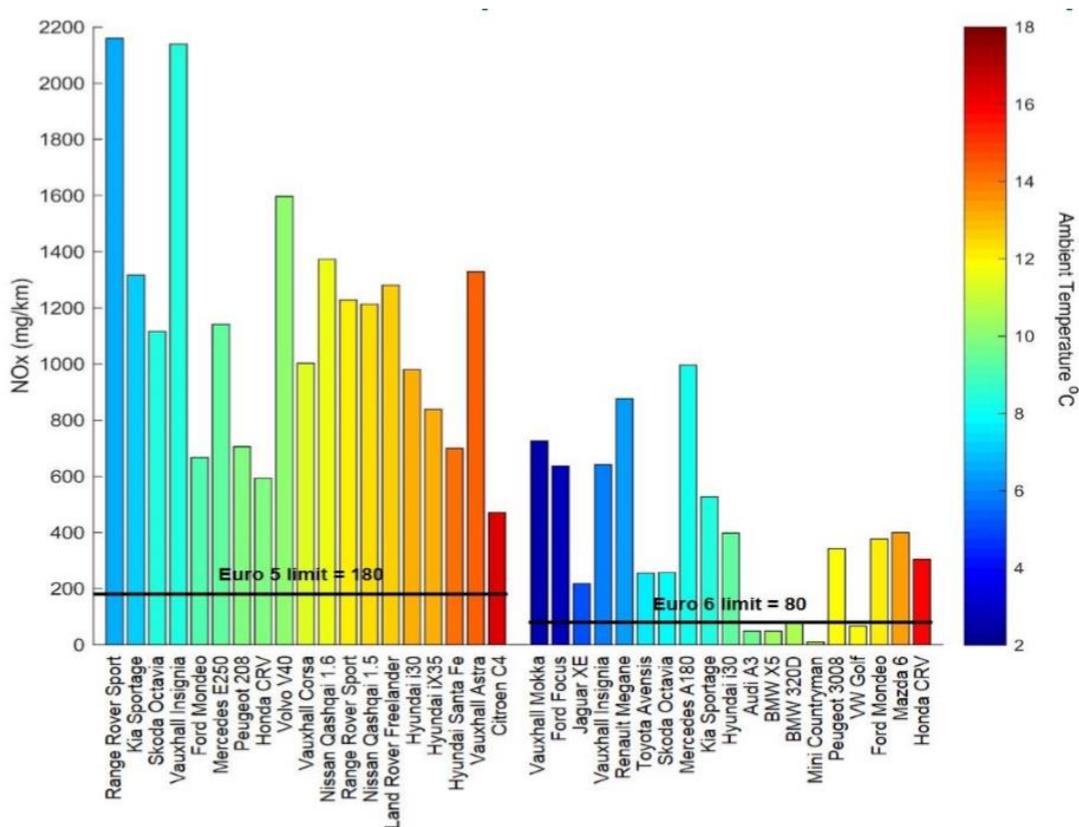
Diese fahrleistungsgewichteten Flottenzusammensetzungen schließen auch alle Benzin-PKW sowie die Diesel-PKW vor Euro-4 ein.

Einfluss der Umgebungstemperatur

3.1. Umgebungstemperatur und NO_x-Emissionen

Die Resultate mehrerer Messkampagnen deuten darauf hin, dass die Umgebungstemperatur einen signifikanten Einflussfaktor auf die NO_x-Emissionen darstellt. Abbildung 4 zeigt die Resultate von NO_x-Straßentests einer Untersuchung in Großbritannien (DfT 2016): Fahrzeuge, welche bei niedrigeren Umgebungstemperaturen getestet wurden, wiesen tendenziell höhere NO_x-Emissionen auf als diejenigen, die bei höheren Temperaturen getestet wurden. Es ist jedoch schwierig, daraus einen direkten Schluss zu ziehen, da ein potentieller Temperatureffekt von einem echten Unterschied zwischen den Fahrzeugen maskiert werden kann. Außerdem haben bei Straßentests der Fahrstil und die Verkehrsbedingungen wahrscheinlich einen stärkeren Einfluss als die Temperatur.

Abbildung 4: Straßentestresultate nach absteigender Umgebungstemperatur angeordnet.

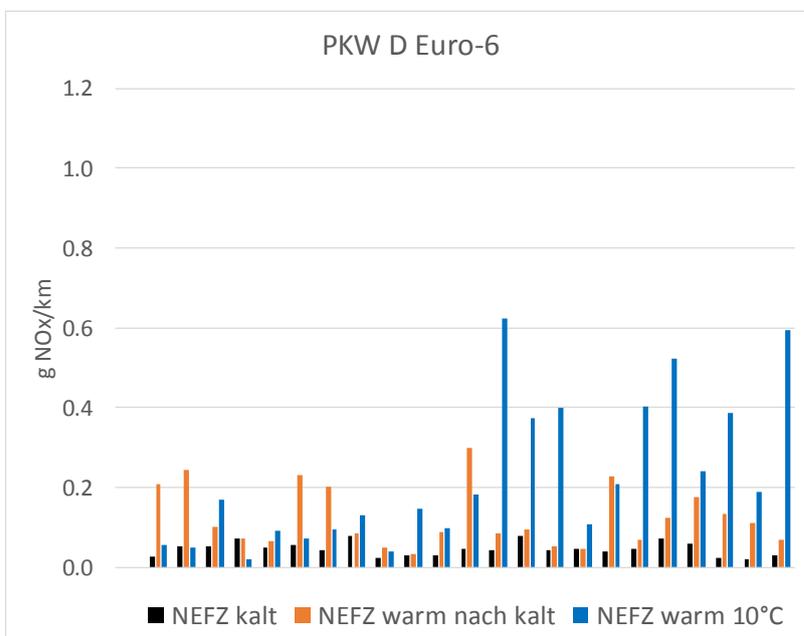
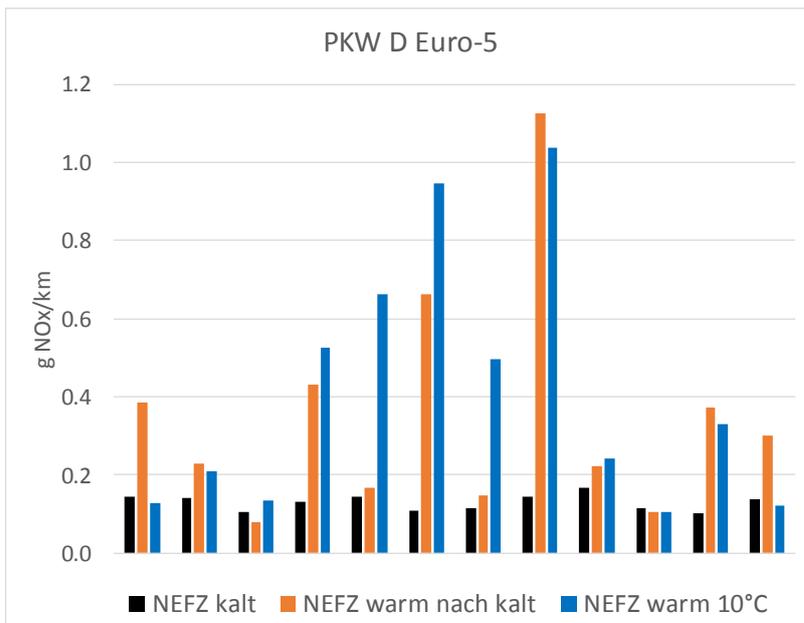


Quelle: DfT 2016

Im deutschen Ermittlungsprojekt (BMVI/KBA 2016) wurden mehrere Fahrzeuge bei 10°C gemessen, zusätzlich zur normalen Testtemperatur von ca. 20 – 25°C. Auch diese Messungen deuten auf einen signifikanten Einfluss der Umgebungstemperatur hin. Die Diagramme der Messungen (Abbildung 5) offenbaren jedoch große Heterogenität – bei einigen Fahrzeugen zeigt sich kaum ein Unterschied zwischen den Umgebungstemperaturen, bei anderen ist eine wesentliche Zunahme der Emissionen mit der Temperatur feststellbar. Im Durchschnitt beträgt die Zunahme ungefähr 15-20% für die

Euro-5- und ca. 80% für die Euro-6-Fahrzeuge (wenn man den „warmen NEFZ bei 10°C“ mit dem „warmen NEFZ nach dem kalten“ vergleicht). Diese Werte hängen jedoch sehr stark von der Stichprobe ab, welche nicht repräsentativ für die Flotte ist; außerdem ist der NEFZ-Zyklus nicht repräsentativ fürs reale Fahren.

Abbildung 5: Resultate von NEFZ-Tests bei verschiedenen Umgebungstemperaturen.

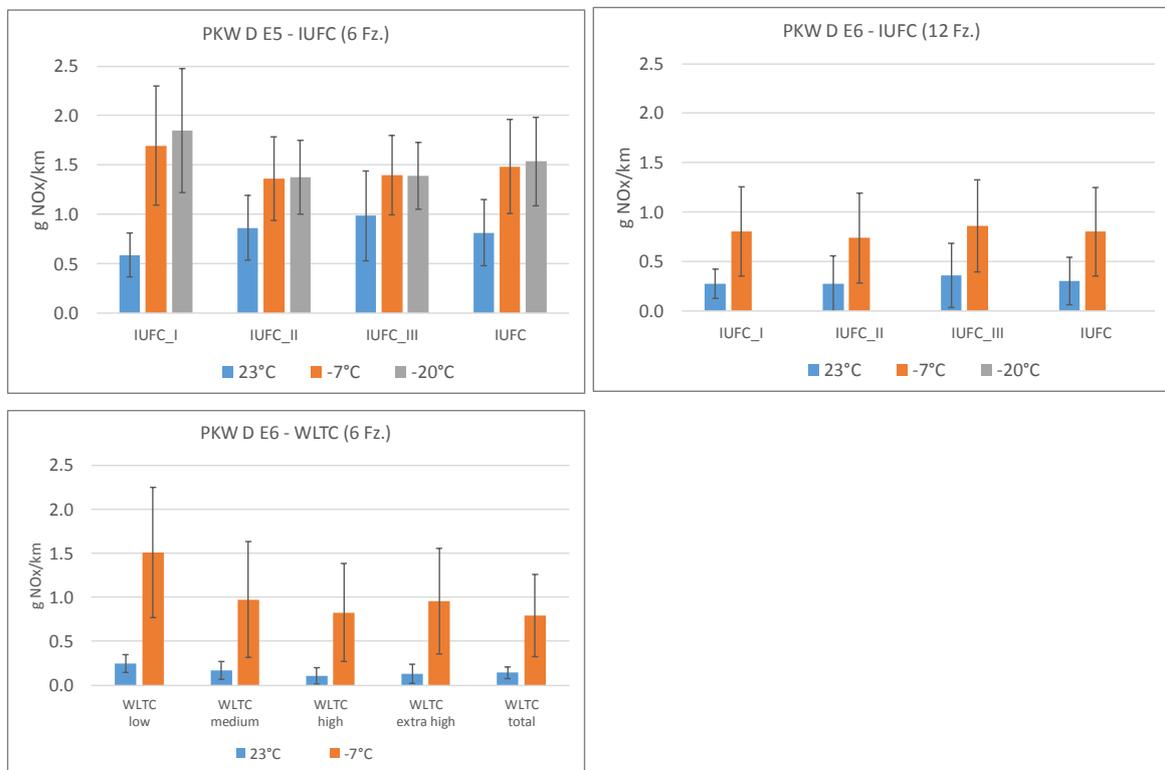


Die Diagramme zeigen die Emissionsresultate von 12 Euro-5- resp. 24 Euro-6-Diesel-PKW gemessen in 3 NEFZ-Zyklen (1. Standard-NEFZ mit Kaltstart, 2. „Warmer NEFZ“ gefahren nach dem NEFZ mit Kaltstart, und 3. „Warmer NEFZ“ bei 10°C).

Quelle: BMVI/KBA 2016

Im Rahmen der regulären, vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) beauftragten Schweizer Messprogrammen für die HBEFA-Aktualisierungen hat die EMPA diverse Diesel-PKW in verschiedenen Zyklen (IUFC und WLTC) und bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Abbildung 6 zeigt für Euro-5-Fahrzeuge eine Zunahme der NO_x -Emissionen um den Faktor 2, wenn die Umgebungstemperatur von der normalen Testtemperatur von ca. 23°C auf -7°C abnimmt (von ca. 0.8 g NO_x /km auf 1.5 g/km). Die relative Zunahme bei den Euro-6-Fahrzeugen ist mit einem Faktor 2.5 sogar noch höher, was einer absoluten Zunahme von ca. 0.3 g/km auf 0.75 g/km entspricht. Beachtenswert ist die Tatsache, dass ein weiterer Temperaturrückgang unter -7°C bei den Euro-5-Fahrzeugen die Emissionen nicht weiter erhöht.

Abbildung 6: Resultate von IUFC- und WLTC-Tests bei verschiedenen Umgebungstemperaturen.



Quelle: EMPA-Messprogramme.

6 Euro-5-Fahrzeuge wurden im IUFC-Zyklus (s. Annex A) bei 3 Temperaturen (23°C, -7°C und -20°C) gemessen, und 12 Euro-6-Fahrzeuge im selben IUFC-Zyklus bei 2 Temperaturen. Sechs der 12 Euro-6-Fahrzeuge wurden auch im WLTC-Zyklus bei 2 Temperaturen (23°C, -7°C) gemessen.

Diese Messungen deuten auf einen signifikanten Einfluss der Umgebungstemperatur auf die NO_x -Emissionen hin. Dies hat einen technischen Hintergrund (s. z.B. BMVI/KBA 2016, DfT 2016): Eine weitverbreitete Technologie für die Kontrolle der NO_x -Emissionen beim Verbrennungsprozess ist die Abgasrückführung (AGR, oder Exhaust Gas Recirculation, EGR). Diese Technologie reduziert die Spitzentemperaturen bei der Verbrennung und verringert die Bildung von NO_x . Der Umfang, in dem EGR eingesetzt wird, ist abhängig von der Umgebungstemperatur. Bei niedrigen Temperaturen kann Kon-

densation von Feuchtigkeit zu Ablagerungen führen, welche wiederum das EGR-System beeinträchtigen können und – gemäß Herstellern – auch den ordnungsgemäßen Betrieb der Fahrzeuge beeinflussen. Stand der Technik bei der NO_x-Kontrolle von Euro-5-Dieselfahrzeugen ist eine Kombination von EGR mit der Kontrolle des Zeitpunktes der Kraftstoffeinspritzung, um den Verbrennungsprozess zu optimieren. Bei Euro-6-Fahrzeugen wird zusätzliche Nachbehandlung eingesetzt, entweder eine „Lean NO_x Trap“ (LNT) oder Selektive Katalytische Reduktion (SCR). Die Umgebungstemperatur beeinflusst die Temperatur dieser Nachbehandlungssysteme und dadurch deren Effizienz. Beide Technologien weisen optimale Temperaturbereiche für den effektiven Betrieb auf und wandeln NO_x unterhalb ca. 200°C nicht um.

3.2. Korrekturfaktoren

Für HBEFA ist die Frage, wie dieser Einfluss der Umgebungstemperatur abgebildet werden kann. Da Einzelmessungen keine ideale Basis sind, um einen angemessenen Durchschnitt herzuleiten, bietet sich wiederum die Remote-Sensing-Methode an. Messkampagnen in Schweden (Göteborg, Sjödin et al. 2017) und in der Schweiz (Zürich/Gockhausen) im Jahr 2016 erfassten nicht nur Konzentrationen und die entsprechenden Fahrzeugtypen, sondern auch die Umgebungstemperatur. Auch wenn die Messungen nur ein beschränktes Temperaturfenster zwischen 10 und 20°C abdecken, so erlauben sie dennoch, eine quantitative Beziehung herzuleiten.

Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Analyse: Die Emissionen bei Temperaturen unterhalb 20°C wurden zum Durchschnitt der bei über 20°C gemessenen Emissionen an der RS-Messstation in Beziehung gesetzt. Letzteres entspricht den normalen Temperaturen bei den Labormessungen, von denen die „Basis-Emissionsfaktoren“ hergeleitet werden. Die resultierenden Beziehungen wurden in den in Abbildung 8 gezeigten Funktionen ausgedrückt. Verhältnisse unter 100% wurden dafür auf 100% beschränkt, da es unwahrscheinlich ist, dass zwischen rund 18°C und 20°C niedrigere Emissionen auftreten als bei über 20°C. Die Funktionen in Abbildung 8 werden in HBEFA 3.3 für die Berechnung der Temperatur-Korrekturfaktoren angewendet. Für 0°C bedeutet dies beispielsweise eine Erhöhung der NO_x-Emissionen um 41% für Euro-4-Diesel-PKW, um 78% für Euro-5-Diesel-PKW und um 92% für Euro-6-Fahrzeuge. Unterhalb 0°C wird keine weitere Reduktion unterstellt, entsprechend den in Abbildung 6 dargestellten Messungen.

Abbildung 7: Einfluss der Umgebungstemperatur auf die NO_x-Emissionen, verglichen mit den Emissionen bei ≥20°C.

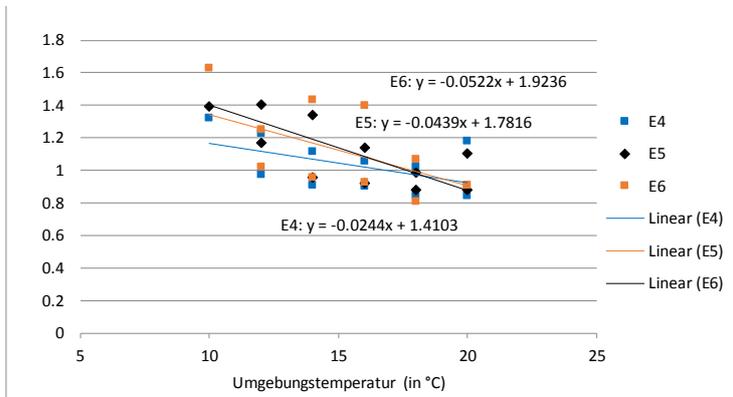
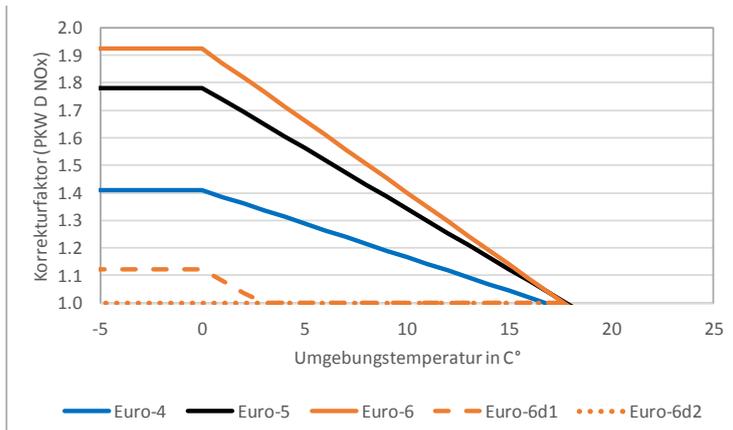


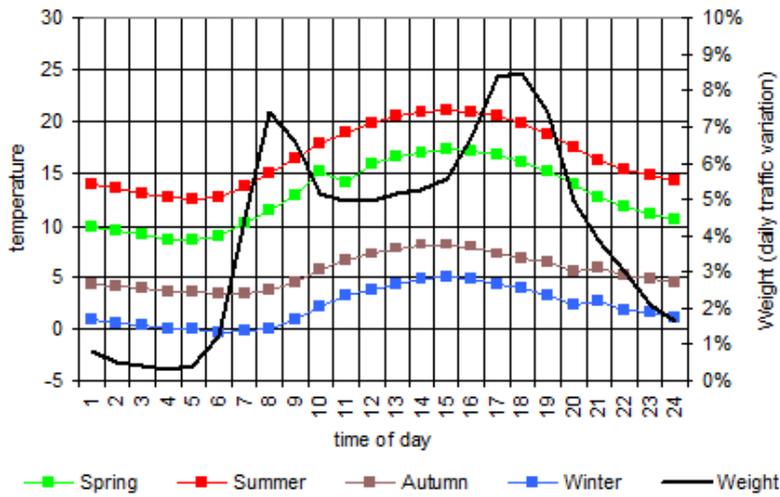
Abbildung 8: Korrekturfunktionen für Umgebungstemperaturen <20°C für warme NO_x-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW in HBEFA 3.3.



3.3. Umgebungstemperaturen und ihre Auswirkung

Die Berücksichtigung der Umgebungstemperatur als Einflussfaktor ist neu bei den betriebswarmen Emissionen – im Gegensatz zu den Kaltstart- und Verdampfungsemissionen. Daher enthält HBEFA bereits länderspezifische Verteilungen der Umgebungstemperatur. Für Deutschland beispielsweise unterstellt HBEFA die in Abbildung 9 dargestellten Temperaturverteilungen für vier typische Tage pro Jahreszeit. Die schwarze Kurve entspricht einer durchschnittlichen Tagesganglinie der Verkehrsbelastung, welche als Gewichtungsfaktor verwendet wird. Basierend auf diesen Annahmen können die kumulativen Temperaturverteilungen der verschiedenen HBEFA-Länder berechnet werden, so wie sie in Abbildung 10 dargestellt sind. Basierend darauf können mittels der Korrekturfunktionen aus Abbildung 8 die durchschnittlichen Korrekturfaktoren für diese Länder hergeleitet werden (Abbildung 11). Die Korrekturen für die Stufen Euro-6d1 und Euro-6d2 sind minimal oder gar Null, da unterstellt wird, dass die RDE-Gesetzgebung auch in Hinsicht auf die Umgebungstemperatur effektiv ist.

Abbildung 9: Temperaturverteilungen für 4 typische Tage in jeder Jahreszeit und eine typische Tagesganglinie der Verkehrsbelastung: Beispiel Deutschland.



Die schwarze Kurve (Tagesganglinie der Verkehrsbelastung) wird verwendet, um die Häufigkeit der verschiedenen Temperaturen zu gewichten.

Abbildung 10: Von HBEFA für verschiedene Länder unterstellte kumulative Temperaturverteilungen.

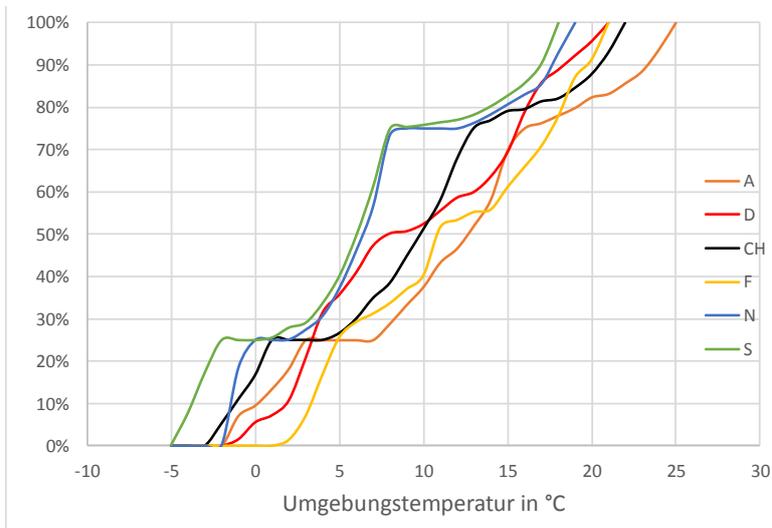
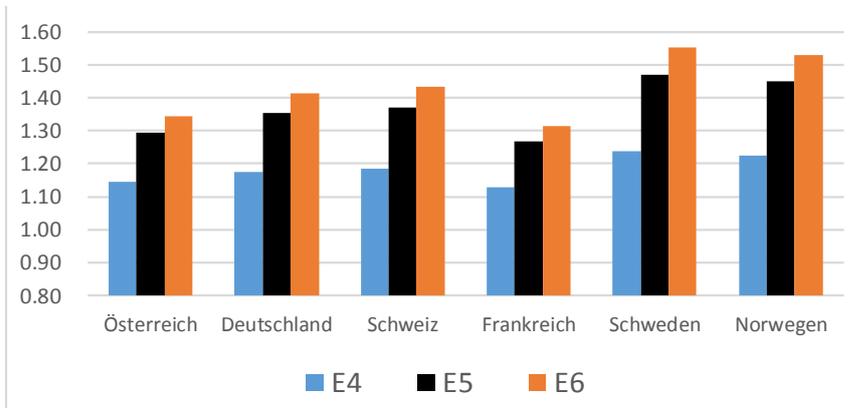


Abbildung 11: Durchschnittliche Umgebungstemperatur-Korrekturfaktoren für die NO_x-Emissionen von Diesel-PKW in verschiedenen Ländern.



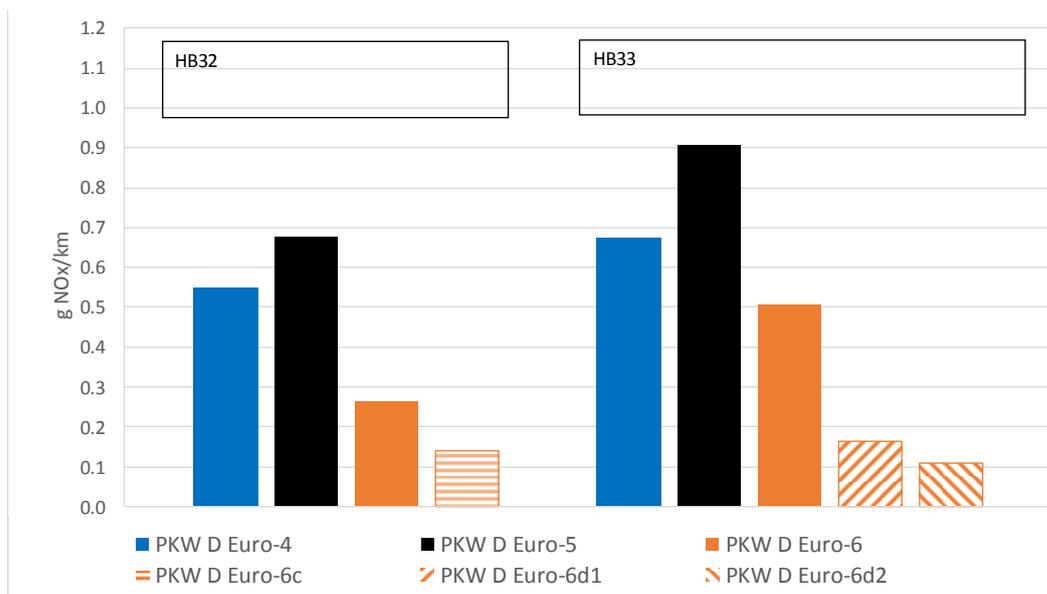
4. Resultate

4.1. Die neuen Emissionsfaktoren: Vergleich mit HBEFA 3.2

Abbildung 12 stellt die neuen durchschnittlichen NO_x-Emissionsfaktoren für Diesel-PKW der verschiedenen Emissionsstufen dar und vergleicht sie mit den Werten aus HBEFA-Version 3.2. Alle Werte beziehen sich auf die durchschnittlichen Fahrmuster über alle Straßenkategorien (gewichtet für Deutschland). Da HBEFA 3.3 eine leichte Verschlechterung mit der Kilometerleistung beinhaltet, gelten die gezeigten Werte für Fahrzeuge mit einer kumulativen Fahrleistung von 50'000 km. Die neuen Werte resultieren in einer Zunahme um 24% für Euro-4, 34% für Euro-5 und 92% für Euro-6. Die neueren Stufen, welche der zukünftigen RDE-Gesetzgebung entsprechen, verbleiben auf ähnlichen Werten wie in HBEFA 3.2, d.h. nahe den Grenzwerten (unter Einbezug der „Conformity Factors“).

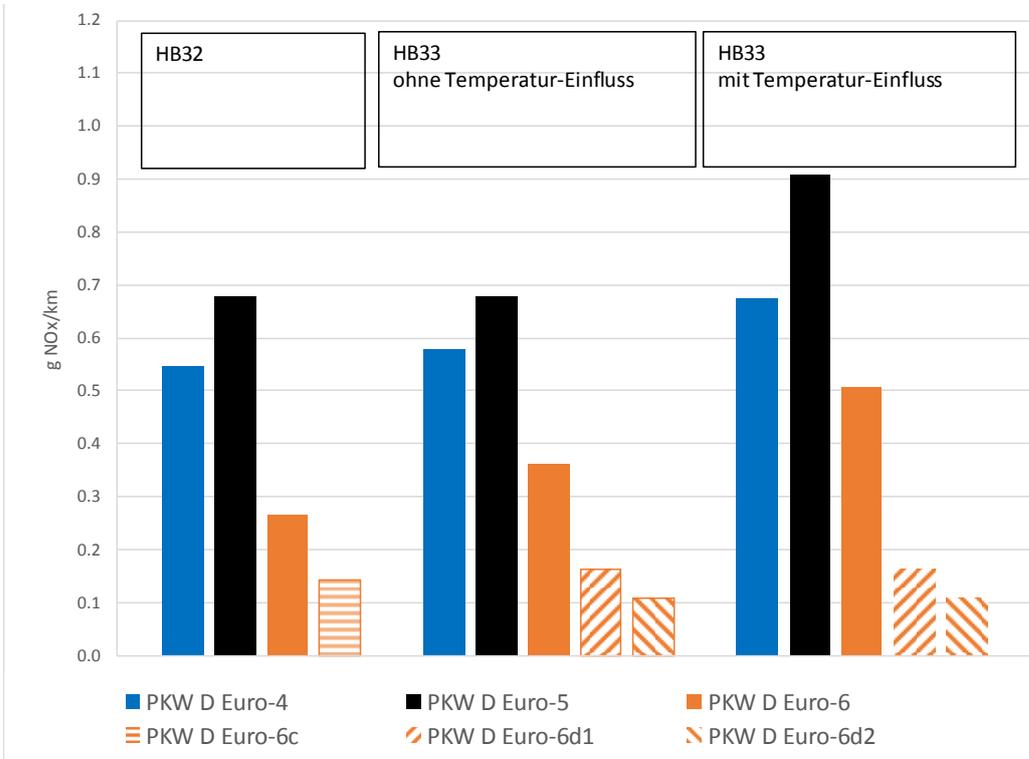
Abbildung 13 enthält differenzierte Werte nach Straßenkategorien und zeigt den Einfluss der neuen Umgebungstemperaturkorrektur für die verschiedenen Emissionskonzepte.

Abbildung 12: NO_x-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW der Emissionsstandards Euro-4/5/6 in HBEFA 3.2 und 3.3.

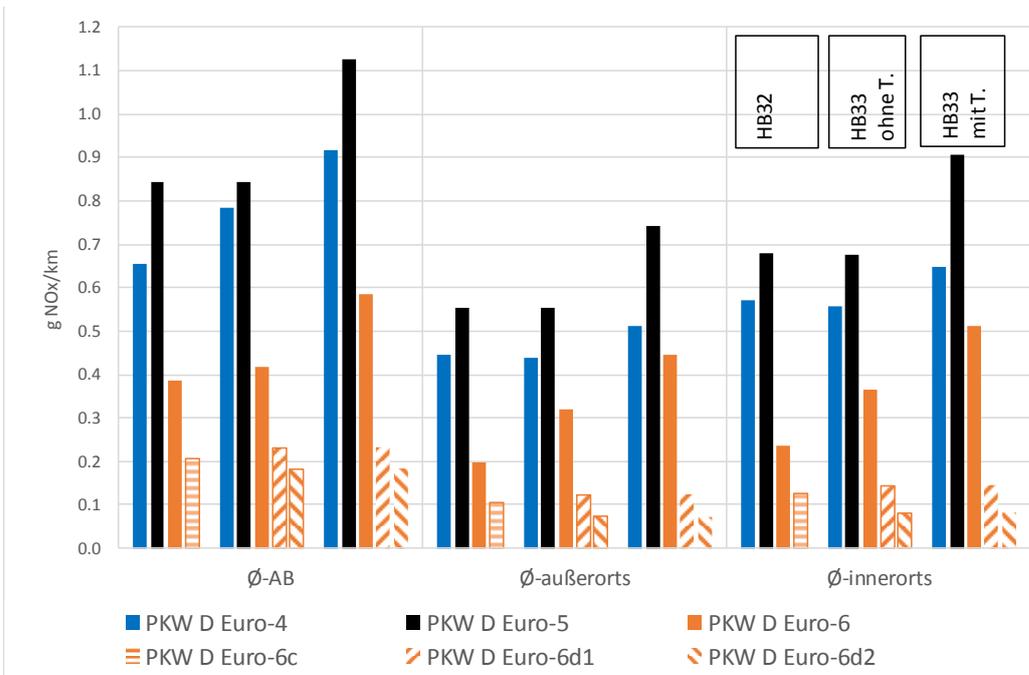


Details sind in Annex B verfügbar.

**Abbildung 13: NO_x-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW der Emissionsstandards Euro-4/5/6 in HBEFA 3.2 und 3.3 mit und ohne Berücksichtigung des Einflusses der Umgebungstemperatur:
- Ø aller Straßenkategorien:**



- differenziert nach den durchschnittlichen Fahrmustern der drei Straßenkategorien (Ø innerorts, Ø außerorts, Ø Autobahn):

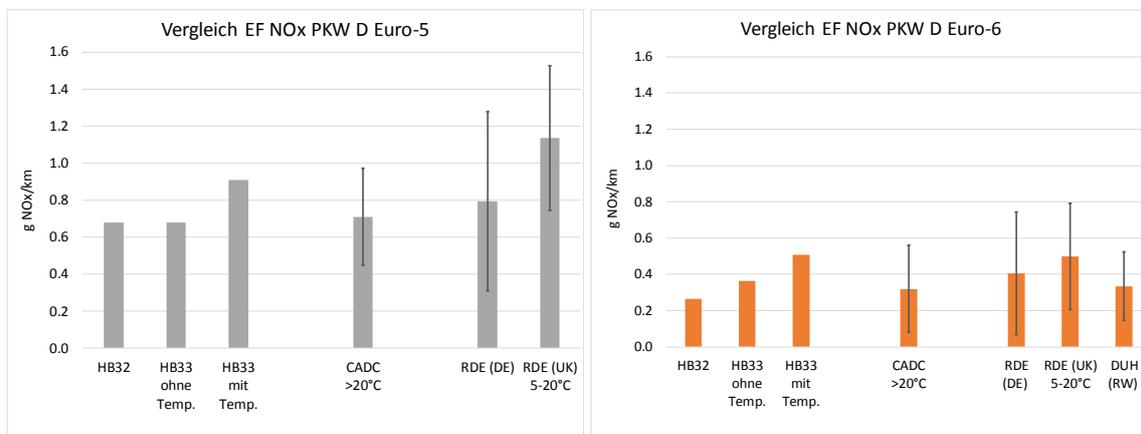


Details sind in Annex B verfügbar.

4.2. Vergleich mit Messungen auf der Straße

Im Sinne einer Validierung können die alten und neuen Emissionsfaktoren mit Messungen auf der Straße verglichen werden (RDE-Werte aus verschiedenen Quellen: BMVI/KBA 2016, DfT 2016, DUH/EKI 2016). Einige dieser Messungen enthalten keine Information zu den entsprechenden Umgebungstemperaturen; einige Tests wurden in den Sommermonaten gefahren und geben daher nicht unbedingt die repräsentative Temperaturverteilung wieder. Die Variation der Messresultate zwischen Fahrzeugen in derselben Messkampagne ist bemerkenswert hoch und lässt daher eine beachtliche Bandbreite der Unsicherheit offen. Insgesamt kann jedoch geschlossen werden, dass die neuen Emissionsfaktoren besser zu den Real-World-Messungen als die alten.

Abbildung 14: Vergleich der HBEFA-Emissionsfaktoren (Diesel-PKW, Euro-5 und -6) mit Messungen auf der Straße.



Durchschnittswerte +/- Standardabweichung (pro Messkampagne).

4.3. Auswirkung auf die Entwicklung der Emissionsfaktoren 2000-2030 (Deutschland)

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die flottengewichteten Emissionsfaktoren für die Jahre 2000 bis 2030, einmal nur für die Diesel-PKW-Flotte (Abbildung 15) und einmal für die gesamte PKW-Flotte (Abbildung 16). Die Abbildungen zeigen Durchschnittswerte für alle Straßenkategorien. Der durchschnittliche Emissionsfaktor im Jahr 2015 liegt 25% über demjenigen der Vorversion von HBEFA; die Differenz weitet sich auf 47% im Jahr 2020 aus und verringert sich anschließend wieder, so dass die Werte für 2030 fast auf dem in HBEFA 3.2 erwarteten Niveau liegen. Die Emissionsfaktoren für innerorts-Straßen sind den Durchschnittswerten über alle Straßenkategorien sehr ähnlich. Jährliche Werte sind in Annex B verfügbar.

Abbildung 15: Gewichtete NO_x-Emissionsfaktoren für die deutsche Diesel-PKW-Flotte in HBEFA 3.3 vs. 3.2, 2000-2030.

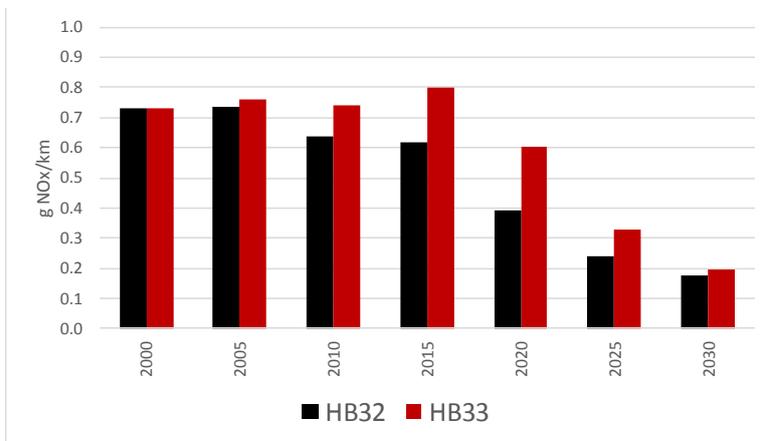
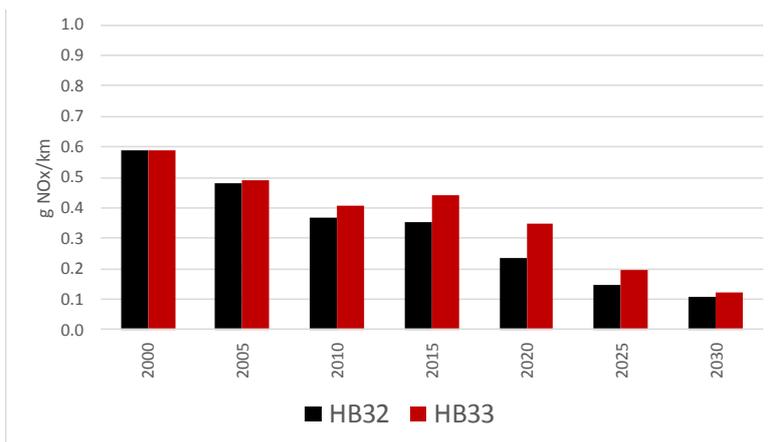


Abbildung 16: Gewichtete NO_x-Emissionsfaktoren für die gesamte deutsche PKW-Flotte in HBEFA 3.3 vs. 3.2, 2000-2030.



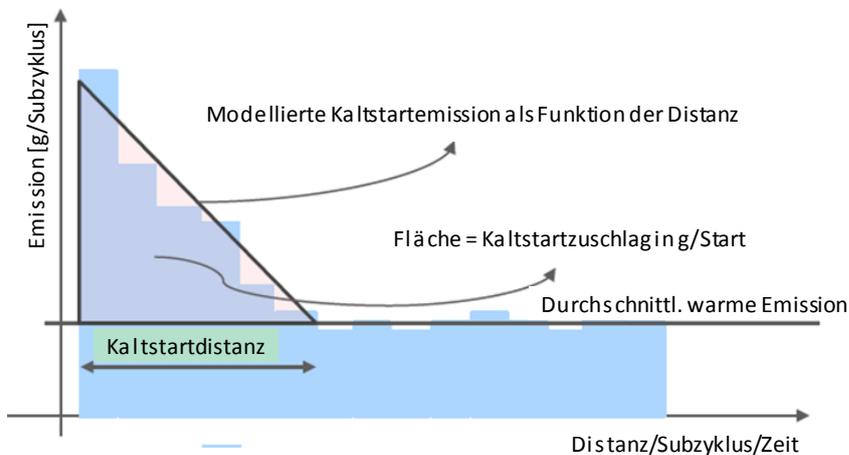
Jährliche Werte sind in Annex B verfügbar.

5. Zusätzliche Kommentare

5.1. Eine Anmerkung zu den Kaltstartzuschlägen

HBEFA modelliert Kaltstart-Emissionen als Kaltstart-Zuschläge in g/Start, d.h. komplementär zu den warmen Emissionen. Abbildung 17 illustriert das Prinzip. Grundsätzlich stoßen Motoren, wenn sie bei Umgebungstemperaturen von 20°C bis 25°C starten (wie es bei Labormessungen der Fall ist), höhere Emissionen als voll aufgewärmte Motoren aus, da die Motor- resp. Katalysatortemperatur die Effektivität des Motorbetriebs beeinflusst.

Abbildung 17: Kaltstartemissionen werden in HBEFA als Emissionszuschläge in g/Start modelliert, d.h. zusätzlich zu den warmen Emissionsfaktoren.



NO_x-Emissionen entstehen hingegen durch hohe Spitzentemperaturen und -drücke während dem Verbrennungsprozess des Motors. Man könnte deshalb annehmen, dass ein „kalt“ startender Motor weniger NO_x-Emissionen generiert als ein betriebswarmer Motor (wobei „kalt“ und „warm“ sich auf die Motor- und nicht die Umgebungstemperatur beziehen). Daher sind – wie HBEFA-Nutzern aufgefallen sein dürfte – die NO_x-Kaltstart-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW im Allgemeinen negativ, was kein Fehler des Programms ist. Die Werte nehmen von Euro-3 (-0.2 g/Start) bis Euro-5 (-1.3 g/Start) ab und nehmen für Euro-6-Diesel-PKW auf wieder -0.5 g/Start zu. Bei sehr kalten Umgebungstemperaturen kann aber die ausgestoßene Menge NO_x beim Start höher sein als bei warmem Motor, daher werden die Kaltstartzuschläge positiv. Sowohl diese Trends also auch die absoluten Werte, welche in früheren HBEFA-Versionen unterstellt wurden, werden von den neuen Messungen größtenteils bestätigt. Daher bestand keine Notwendigkeit, die Werte abzuändern.

Es sollte auch beachtet werden, dass die Relevanz der Kaltstartzuschläge bei NO_x sehr viel hoch ist als bei anderen Schadstoffen.

5.2. Aktualisierungen von Länderdaten

Das im vorliegenden Bericht beschriebene "rasche Update" von HBEFA wurde als Gelegenheit verwendet, um einige länderspezifischen Inputdaten zu aktualisieren, welche sich als fehlerhaft oder überholt herausgestellt hatten. Dies war v.a. für Frankreich der Fall; hier wurden die folgenden Elemente angepasst:

- **Kraftstoffverbrauch von PKW und leichten Nutzfahrzeugen:** In HBEFA 3.2 wurde für Frankreich keine Effizienzverbesserung unterstellt. In HBEFA 3.3 wurde dies angepasst; jetzt werden die Trends aus dem CO₂-Monitoring der Neuzulassungen verwendet. Parallel dazu wurde die Flottenzusammensetzung aktualisiert. Die resultierenden Emissionsfaktoren sind repräsentativ für die Flotte OHNE Berücksichtigung der Elektromobilität. Daher beziehen sich die EF auf die Flotte mit Verbrennungsmotoren, welche als 100% angenommen wird. Erwartete Anteile Elektromobilität sollten daher separat berücksichtigt werden⁶. Letztgenannter Kommentar gilt für alle Länder.
- **Verkehrssituationen:** Ein neuer Datensatz von „aggregierten Verkehrssituationen“ (d.h. fahrleistungsgewichteten Durchschnitts einzelner Verkehrssituationen) wurde für Frankreich entwickelt.

⁶ Die nächste HBEFA-Version (Publikation für 2018 geplant) wird elektrische Fahrzeuge berücksichtigen.

Annex

Annex A: Gemeinsame, im Kontext der HBEFA-Entwicklung verwendete Fahrzyklen

Zyklus	Typ L: Legislativ RW: RealWorld	Subzyklus	Kommentar	Dauer		Distanz dist (km)	Ø Geschw. v (km/h)	Startbed. (default)
				t (sec)	t (min)			
NEDC (NEFZ)	L	ECE		781	13	4.058	18.7	kalt
		EUDC		401	7	6.955	62.4	warm
		NEDC		1'181	20	11.013	33.6	kalt
FTP	L	FTP1		506	8	5.779	41.1	kalt
		FTP2		871	15	6.211	25.7	warm
		FTP3		506	8	5.779	41.1	warm
		FTP (total)		1'376	23	17.769	31.4	kalt
WLTC	L	WLTC Low		589	10	3.095	18.9	kalt
		WLTC Medium		433	7	4.756	39.5	warm
		WLTC High		455	8	7.158	56.6	warm
		WLTC Extra high		323	5	8.254	92.0	warm
		WLTC (total)		1'800	30	23.263	46.5	kalt
CADC	RW	CADC urban		922	15	4.472	17.5	warm
		CADC rural		863	14	14.724	61.4	warm
		CADC MW130	v max 130 km/h	737	12	23.822	116.4	warm
		CADC MW150	v max 150 km/h	737	12	24.632	120.3	warm
		CADC URM130 (total)		3'144	52	50.878	58.3	warm
		CADC URM150 (total)		3'144	52	51.687	59.2	warm
ERMES	RW	ERMES urban		418	7	3.674	32.6	warm
		ERMES rural		305	5	6.764	79.3	warm
		ERMES MW		384	6	11.530	107.8	warm
		ERMES (total)		1'107	18	21.969	72.0	warm
IUFC	RW	IUFC_I	Inrets urbain fluide court	945	16	4.997	18.9	kalt
		IUFC_II		945	16	4.997	18.9	intermediär
		IUFC_III		945	16	4.997	18.9	warm
		IUFC (total)		2'835	47	14.991	18.9	kalt
BAB	RW	-	Bundesautobahn (DE)	1'001	17	32.646	117.4	warm

Annex B: NO_x-Emissionsfaktoren von Diesel-PKW in HBEFA 3.3 vs. 3.2

NO_x-Emissionsfaktoren von Euro-4-/5-/6-Diesel-PKW in HBEFA 3.3 vs. 3.2 für Deutschland.

Subsegment	Ø-AB	Ø-außerorts	Ø-innerorts	Ø
PKW D Euro-4 (HB32)	0.654	0.445	0.573	0.546
PKW D Euro-5 (HB32)	0.843	0.555	0.679	0.679
PKW D Euro-6 (HB32)	0.385	0.196	0.235	0.264
PKW D Euro-6c (HB32)	0.206	0.105	0.125	0.141

Temp:

T+20°C	PKW D Euro-4 (HB33) ohne Temp.korrektur	0.784	0.440	0.556	0.577
T+20°C	PKW D Euro-5 (HB33) ohne Temp.korrektur	0.842	0.554	0.677	0.677
T+20°C	PKW D Euro-6 (HB33) ohne Temp.korrektur	0.418	0.319	0.366	0.363
T+20°C	PKW D Euro-6d1 (HB33) ohne Temp.korrektur	0.230	0.124	0.144	0.162
T+20°C	PKW D Euro-6d2 (HB33) ohne Temp.korrektur	0.182	0.073	0.082	0.108

Temp:

ØDeutschland	PKW D Euro-4 (HB33) mit Temp.korrektur	0.916	0.513	0.649	0.674
ØDeutschland	PKW D Euro-5 (HB33) mit Temp.korrektur	1.127	0.741	0.905	0.906
ØDeutschland	PKW D Euro-6 (HB33) mit Temp.korrektur	0.584	0.445	0.511	0.507
ØDeutschland	PKW D Euro-6d1 (HB33) mit Temp.korrektur	0.232	0.125	0.146	0.163
ØDeutschland	PKW D Euro-6d2 (HB33) mit Temp.korrektur	0.182	0.073	0.082	0.108

Aggregierte NO_x-Emissionsfaktoren 2000-2030 für Deutschland in HBEFA 3.3 vs. 3.2.

Flotte	HBEFA 3.2: Durchschnittlicher EF NO _x (g NO _x /km)				HBEFA 3.3: Durchschnittlicher EF NO _x (g NO _x /km)			
	PKW gesamt	Diesel-PKW	PKW gesamt	Diesel-PKW	PKW gesamt	Diesel-PKW	PKW gesamt	Diesel-PKW
Verkehrssituationen:	∅	∅	∅-innerorts	∅-innerorts	∅	∅	∅-innerorts	∅-innerorts
2000	0.59	0.73	0.50	0.68	0.59	0.73	0.50	0.68
2001	0.58	0.75	0.50	0.69	0.58	0.75	0.50	0.69
2002	0.55	0.75	0.48	0.70	0.55	0.76	0.48	0.70
2003	0.52	0.76	0.47	0.70	0.52	0.76	0.47	0.71
2004	0.50	0.75	0.46	0.70	0.51	0.76	0.46	0.71
2005	0.48	0.73	0.44	0.69	0.49	0.76	0.45	0.71
2006	0.46	0.71	0.43	0.67	0.47	0.75	0.44	0.70
2007	0.43	0.68	0.41	0.66	0.45	0.74	0.42	0.69
2008	0.40	0.66	0.38	0.64	0.42	0.73	0.40	0.69
2009	0.38	0.65	0.37	0.63	0.41	0.73	0.39	0.69
2010	0.37	0.64	0.36	0.63	0.41	0.74	0.39	0.70
2011	0.36	0.64	0.36	0.64	0.42	0.76	0.40	0.73
2012	0.36	0.65	0.36	0.64	0.43	0.79	0.41	0.76
2013	0.37	0.65	0.36	0.65	0.44	0.80	0.42	0.78
2014	0.36	0.64	0.36	0.64	0.45	0.81	0.43	0.79
2015	0.35	0.62	0.35	0.61	0.44	0.80	0.43	0.78
2016	0.33	0.58	0.33	0.57	0.43	0.77	0.42	0.76
2017	0.31	0.53	0.30	0.52	0.41	0.73	0.40	0.72
2018	0.28	0.48	0.28	0.48	0.40	0.70	0.39	0.70
2019	0.26	0.44	0.25	0.43	0.38	0.66	0.37	0.66
2020	0.24	0.39	0.23	0.39	0.35	0.60	0.34	0.60
2021	0.21	0.35	0.21	0.35	0.31	0.54	0.31	0.53
2022	0.19	0.32	0.19	0.31	0.28	0.47	0.27	0.47
2023	0.18	0.29	0.17	0.28	0.24	0.41	0.24	0.41
2024	0.16	0.26	0.16	0.25	0.22	0.37	0.22	0.36
2025	0.15	0.24	0.14	0.23	0.19	0.33	0.19	0.32
2026	0.14	0.22	0.13	0.21	0.17	0.29	0.17	0.28
2027	0.13	0.21	0.12	0.20	0.16	0.26	0.15	0.25
2028	0.12	0.19	0.11	0.18	0.14	0.23	0.14	0.22
2029	0.11	0.18	0.11	0.17	0.13	0.21	0.12	0.20
2030	0.11	0.18	0.10	0.16	0.12	0.20	0.11	0.18

Abkürzungen

ADAC:	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (Deutschland)
ARTEMIS:	Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems (EU-Projekt, 4. Rahmenprogramm)
AWEL:	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Zürich)
BAB:	Deutscher Autobahn-Fahrzyklus (Bundesautobahn)
BAFU:	Schweizer Bundesamt für Umwelt
BMVI:	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Deutschland)
CADC:	Common ARTEMIS driving cycle (Fahrzyklus)
CH:	Schweiz
CO ₂ :	Kohlenstoffdioxid
CTA:	Centre de Technologie Avancée (Wallonien)
D:	Diesel
DfT:	Department for Transport (UK)
DP:	Driving pattern (Fahrmuster)
DPF:	Diesel-Partikelfilter
ECE:	Economic Commission for Europe
EFA, E-Faktor:	Emissionsfaktor
EGR:	Exhaust Gas Recirculation (Abgasrückführung)
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungsanstalt, Dübendorf/Zürich
ERMES:	European Research for Mobile Emission Sources (Europäische Forschungsgruppe für mobile Emissionsquellen)
EURO-1, -2, -3 etc:	Europäische Emissionsstandards für PKW und leichte Nutzfahrzeuge
EURO-I, -II, -III etc:	Europäische Emissionsstandards für schwere Motorfahrzeuge
HB / HBEFA:	Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr
HGV:	Heavy Goods Vehicles (schwere Güterfahrzeuge)
IUFC:	Inrets Urbain Fluide Courte (Fahrzyklus)
JRC:	Joint Research Centre der EU
KBA:	Kraftfahrt-Bundesamt (Deutschland)
LAT:	Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristoteles-Universität Thessaloniki
LCV:	Light Commercial Vehicle <3,5t (leichte Nutzfahrzeuge)
LDV:	Light Duty Vehicle, Sammelbegriff für PKW und leichte Nutzfahrzeuge
LNT:	Lean NO _x Trap (Abgasnachbehandlungstechnologie für NO _x)

MEEM:	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (Frankreich)
NEFZ:	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NO _x :	Stickoxide
PKW:	Personenkraftwagen
PEMS:	Portable Emission Measurement System
PHEM :	Passenger car and Heavy duty Emission Model (der TU Graz)
RDE:	Real-Driving Emissions (EU-Gesetzgebung)
RPA:	Relative positive acceleration (relative positive Beschleunigung)
RS:	Remote Sensing
RWC:	Real world driving cycle
SCR:	Selective katalytische Reduktion (von Stickoxiden)
TA:	Type Approval (Typenzulassung)
TNO:	Netherlands Organisation for applied scientific research
TRL:	Transport Research Laboratory (UK)
TS:	Traffic Situation (Verkehrssituation)
TÜV (RL):	Technischer Überwachungsverein (Deutschland)
TUG:	Technische Universität Graz
UBA:	Umweltbundesamt (Deutschland, Österreich)
v:	Geschwindigkeit (in km/h)
VDA:	Verband der Automobilindustrie e.V.
WLTC:	World-wide Harmonized Light duty Test Cycle (Fahrzyklus)

Literatur

- André JM 2005:** Vehicle emissions measurement collection of the ARTEMIS database, Artemis 3312 report, Report n° LTE 0504, INRETS, Bron, France.
- André M 2004:** Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions - Part A: The ARTEMIS European driving cycles. INRETS report LTE 0411. INRETS, Bron, France.
- ARTEMIS 2007:** Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems, Final Report (DG TREN Contract No. 1999-RD.10429 Deliverable No. 15), herausgegeben von Paul Boulter und Ian McCrae, Okt. 2007.
- AWEL 2015:** Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft der Baudirektion des Kantons Zürich, Bericht und Auswertung RSD Messungen 2015, 11. Dezember 2015.
- Borken-Kleefeld 2013:** Guidance note about on-road vehicle emissions remote sensing, commissioned by ICCT, July 2013.
- BMVI/KBA 2016:** Bericht der Untersuchungskommission „Volkswagen« des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur und des Kraftfahrt-Bundesamtes, 2016.
- Chen et.al. 2016:** Yuche Chen and Jens Borken-Kleefeld: NOx Emissions from Diesel Passenger Cars Worsen with Age, Environ. Sci. Technol., 2016, 50 (7), pp 3327–3332.
- CTA 2016:** Centre de Technologie Avancée (Wallonie), Résultats de l'évaluation des rejets atmosphériques par les véhicules légers Diesel, mandaté par le le Ministre wallon de l'Environnement (Wallonie), Mons/Wallonie, Juin 2016.
- DfT 2016:** Department of Transport (UK), Vehicle Emissions Testing Programme, April 2016.
- DUH/EKI 2016:** NOx- und CO2-Messungen an Euro 6 Pkw im realen Fahrbetrieb, Hintergrundpapier, Emissions-Kontroll-Institut der Deutschen Umwelthilfe e.V., Berlin, 07. September 2016.
- EMPA 2013:** Emissionsmessungen PKW Euro-5 (internes Dokument).
- EMPA 2015:** Emissionsmessungen PKW Euro-6 (internes Dokument).
- EMPA 2016:** Pilotprojekt Vergleichsmessungen Remote Sensing - PEMS - Rollenprüfstand im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, EMPA-Bericht Nr. 5214010202.01, 28.10.2016.
- MEEM 2016:** Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (France), Rapport final de la commission indépendante mise en place par la Ministre Ségolène Royal après la révélation de l'affaire Volkswagen, Contrôle des émissions de polluants atmosphériques et de CO2 mené sur 86 véhicules, 29 juillet 2016.
- Sjödin et.al. 2017:** Sjödin, Å., Jerksjö, M., Fallgren, H., Salberg, H., Yahya, M.-R., Wisell, T., Lindén, J. (2017) Real Driving Emissions from Diesel Vehicles as Measured by Novel Remote Sensing (RSD) Technology – Implications for real driving emissions surveillance and air quality modelling. IVL Report B-XXXX, April 2017 (im Erscheinen).

TUG 2009: Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3, Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679, 07.12.2009 (www.hbefa.net).

TUG 2013: Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.2, Report No. I-31/2013/ Rex EM-I 2011/20/679, 06.12.2013 (www.hbefa.net).

TUG 2017: Update of Emission Factors for EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.3. Technische Universität Graz.

UBA 2015: IFEU, INFRAS AG, TU Graz, HS, IVU Umwelt GmbH, VMZ Berlin: Aktualisierung und Recherche zu Emissionsfaktoren von Euro 5- und Euro 6-Fahrzeugen und nachgerüsteten Kfz und Übertragung der Daten ins Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) und in TREMOD; UFOPLAN-3711 45 105, Berlin April 2015.
spezifisch AP 300: Weiterentwicklung und Validierung eines realitätsnahen und kompakten Pkw-Prüfzyklus (sog. ERMES-Zyklus) – TU Graz.