

ifeu -  
Institut für Energie-  
und Umweltforschung  
Heidelberg GmbH



## Weiterentwicklung der Emissionsfaktoren für das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA)

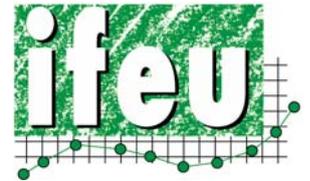
FKZ 370 952 142

**Endbericht**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

31. August 2011





ifeu -  
Institut für Energie-  
und Umweltforschung  
Heidelberg GmbH



## Weiterentwicklung der Emissionsfaktoren für das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA)

FKZ 370 952 142

### Endbericht

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Wolfram Knörr (IFEU)

Stefan Hausberger (TU Graz)

Hinrich Helms (IFEU)

Udo Lambrecht (IFEU)

Mario Keller (INFRAS)

Heinz Steven (HS - Datenanalysen und Gutachten)

31. August 2011



## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>Summary .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>14</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Vorhabens .....	14
1.2 Erkenntnisstand .....	14
<b>2 Aktualisierung des repräsentativen Fahrverhaltens (1a).....</b>	<b>16</b>
2.1 Aufgabenstellung .....	16
2.2 Überprüfung der Geschwindigkeitsdaten des Verkehrssituationsschemas des Handbuchs .....	17
2.2.1 Vergleich mit Fahrverhaltensdaten aus der Schweiz .....	17
2.2.2 Vergleich der Geschwindigkeitsdaten des Handbuchs mit Geschwindigkeitsdaten aus Schweden .....	24
2.2.3 Vergleich mit Fundamentaldiagrammen .....	32
2.3 Überprüfung des Zyklenschemas anhand der CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	33
2.3.1 Vorbemerkungen .....	33
2.3.2 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge .....	38
2.3.3 Schwere Nutzfahrzeuge .....	48
2.3.4 Reisebusse und Linienbusse .....	55
2.3.5 Motorräder .....	57
<b>3 Überprüfung des Emissionsverhaltens konventioneller Fahrzeuge (1b) .....</b>	<b>61</b>
3.1 Aufgabenstellung .....	61
3.2 Datenbeschaffung .....	61
3.3 Integration der Daten in die sog. A300DB .....	64
3.4 Ergebnisse .....	64
3.4.1 Emissionen Pkw Euro 4 (Benzin) .....	65
3.4.2 Emissionen Pkw Euro 4 (Diesel) .....	65
3.4.3 Emissionen Pkw Benzin – Euro 5 im Vergleich zu Euro 4 .....	70
3.4.4 Emissionen Pkw Diesel – Euro 5 im Vergleich zu Euro 4 .....	70
<b>4 NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (1c) .....</b>	<b>73</b>
<b>5 Emissionsfaktoren bestimmter Verkehrssituationen (1d) .....</b>	<b>78</b>
5.1 Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen .....	78
5.2 Fahrzyklen für Pkw und Motorräder für höhere Autobahngeschwindigkeiten .....	80
<b>6 Alternative Fahrzeugkonzepte / unkonventionelle Kraftstoffe (1e).....</b>	<b>82</b>
6.1 Aufgabenstellung .....	82
6.2 Ergebnisse .....	83
6.2.1 Emissionen von CNG-Fahrzeugen .....	83
6.2.2 Emissionen von FFV-Fahrzeugen (flexible fuel vehicles, Euro-4).....	86
6.2.3 Einfluss von Biodiesel .....	87
6.2.4 Hybrid-Fahrzeuge .....	87

---

<b>7</b>	<b>Bestandsaufnahme und Aktualisierung von Dieselfahrzeugen mit Minderungstechniken (2a)</b> .....	<b>89</b>
7.1	Übersicht.....	89
7.2	Abschätzung der Neuzulassungsanteile von EGR- und SCR-Fahrzeugen.....	89
<b>8</b>	<b>Einfluss von Nebenverbrauchern (2b)</b> .....	<b>92</b>
<b>8.1</b>	<b>Aufgabenstellung und Hintergrund</b> .....	<b>92</b>
<b>8.2</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>92</b>
<b>8.3</b>	<b>Pkw und leichte Nutzfahrzeuge</b> .....	<b>93</b>
8.3.1	Leistungsbedarf der Nebenverbraucher.....	93
8.3.2	Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch.....	95
<b>8.4</b>	<b>Schwere Nutzfahrzeuge und Busse</b> .....	<b>98</b>
8.5	Fazit.....	99
<b>9</b>	<b>Erarbeitung eines neuen Real-World Testzyklus für Pkw</b> .....	<b>100</b>
9.1	Aufgabenstellung.....	100
9.2	Zyklusentwicklung.....	100
9.3	Zyklusvalidierung.....	111
9.4	Überprüfung des Zyklus auf dem Rollenprüfstand.....	113
<b>10</b>	<b>Messdaten des ADAC</b> .....	<b>119</b>
<b>11</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>120</b>
<b>12</b>	<b>Abkürzungen und Begriffe</b> .....	<b>122</b>
<b>13</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>124</b>
<b>14</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>130</b>

## Zusammenfassung

Zu den Aufgaben des Umweltbundesamtes gehört die Erfassung, Berechnung und Dokumentation von umweltrelevanten Daten wie Luftschadstoffe und Klimagase. Für den Verkehrsbereich hat das Umweltbundesamt dazu das Computerprogramm TREMOD (Transport Emission Model) im Rahmen von Forschungsvorhaben entwickeln lassen. Eine wichtige Datenquelle für TREMOD ist das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), das ebenfalls mit Unterstützung des Umweltbundesamtes und der Umweltämter anderer europäischer Länder entwickelt und in den vergangenen Jahren fortgeschrieben wurde. Die Version 3.1 des HBEFA liegt seit Februar 2010 vor.

Mit dem HBEFA 3.1 fand eine umfangreiche Aktualisierung der Emissionsfaktorendatenbasis für den Straßenverkehr statt. Dennoch konnten im HBEFA 3.1 viele neue Erfordernisse nicht oder nur ansatzweise oder ohne breit abgestützte Validierung berücksichtigt werden. Im Rahmen des Vorhabens wurden daher die folgenden ausgewählten Bereiche vertieft und z.T. aktualisiert:

AP	Thema des Arbeitspakets
1a	Aktualisierung des repräsentativen Fahrverhaltens
1b	Überprüfung des Emissionsverhaltens konventioneller Fahrzeuge
1c	NO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren
1d	Emissionsfaktoren bestimmter Verkehrssituationen
1e	Alternative Fahrzeugkonzepte / unkonventionelle Kraftstoffe
2a	Bestandsaufnahme Dieselfahrzeuge mit Minderungstechniken
2b	Einfluss von Nebenverbrauchern
2c	Erarbeitung Real World Testzyklus

### 1a Aktualisierung des repräsentativen Fahrverhaltens

In das HBEFA 3.1 wurde das im EU-Projekt ARTEMIS entwickelte Verkehrssituationschema übernommen. Allerdings stellte sich heraus, dass die entsprechenden Fahrzyklen im ARTEMIS-Modell zwischen den diversen Fahrzeugkategorien inkonsistent sind. Beispielsweise kommt es vor, dass Pkw für dieselbe Verkehrssituation niedrigere Geschwindigkeiten aufweisen als schwere Nutzfahrzeuge. Infolge der Entwicklung des HBEFA 3.1 wurde das Fahrzyklenschema für alle Fahrzeugkategorien überarbeitet und ist nun in sich und zwischen den Fahrzeugkategorien konsistent. Allerdings war es nicht mehr möglich Validierungsschritte vorzunehmen. Dies sollte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nachgeholt werden.

Für die Validierung standen folgende Daten zur Verfügung

- Fahrverhaltensdaten für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge aus der Schweiz, die nach dem Straßentypenschema des Handbuchs klassifiziert werden konnten.
- Geschwindigkeitskennwerte aus Schweden für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge, die aus Verkehrszählungen und/oder dem Verkehrsmodell KANN/EVA stammen und unmittelbar auf die Systematik des Handbuchs abgestimmt sind.
- Fundamentaldiagramme aus Deutschland und Geschwindigkeitskennwerte aus dem Handbuch für die Bemessung von Straßen.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die aus der Schweiz erhaltenen Fahrverhaltensdaten aufbereitet und einer ersten Auswertung im Hinblick auf Schlussfolgerungen für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs unterzogen. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Für Autobahnen sind die Handbuch-Werte für frei fließenden Verkehr und gesättigten Verkehr eher zu niedrig, für Innerortsstraßen eher zu hoch.

Auf Autobahnen erstreckt sich der Streubereich der stündlichen Geschwindigkeitswerte bis über das Tempolimit hinaus, und zwar umso stärker, je niedriger das Tempolimit ist. Auf Außerortsstraßen sind die Überschreitungen weniger stark ausgeprägt, auf Innerortsstraßen sind praktisch keine Überschreitungen festzustellen, die stündlichen Geschwindigkeitswerte können aber bis dicht an das Tempolimit heranreichen. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Handbuch-Fahrzyklen für frei fließenden Verkehr entsprechen im allgemeinen diesen Trends.

Ein Vergleich der schwedischen Geschwindigkeitskennwerte mit den Handbuch-Kennwerten ergab sowohl Abweichungen zu niedrigeren Werten als auch zu höheren Werten, wobei die Unterschiede bei den schweren Nutzfahrzeugen teilweise deutlich höher waren als bei den Pkw, vor allem bei gesättigtem Verkehr.

Ein Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten des Handbuchs mit Ergebnissen aus Fundamentaldiagrammen und den Daten aus dem HBS ergab teilweise eine Tendenz zu leicht höheren Werten für starken und gesättigten Verkehr, häufig stimmen jedoch die Handbuchwerte und die Messergebnisse bzw. die Werte aus dem HBS ganz gut überein.

Fasst man die dargestellten Vergleiche zusammen, so kommt man zu folgenden Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse sind zu uneinheitlich, um umfassende Änderungen der bestehenden Systematik erforderlich zu machen. Allerdings sollten die Geschwindigkeiten für Semi-Motorway an das schwedische Schema angepasst werden, da diese Straßentypen dort von großer Bedeutung sind. Im Übrigen sollte die Validierung fortgesetzt werden, möglichst unter Einbeziehung von Daten aus weiteren Ländern (Frankreich, Großbritannien, Niederlande u.a.).

Bei der Erarbeitung der Fahrzyklen für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs wurde nicht nur die Durchschnittsgeschwindigkeit als Parameter betrachtet, sondern auch die Stillstandsanteile und die Dynamik des Zyklus. Beide sollten von frei fließendem Verkehr zu starkem und gesättigtem Verkehr zunehmen.

Als Leitgröße für die Dynamik wurde die relative mittlere positive Beschleunigung (RPA) verwendet. Dieser Parameter hatte sich auch bei Sensitivitätsrechnungen mit dem PHEM-Modell als bedeutsam erwiesen, da durch ihn bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. dem Kraftstoffverbrauch und den NO<sub>x</sub>-Emissionen 75% bis 80% der Streuungen bei gegebener Geschwindigkeit erklärt werden können.

Daher wurde das Zykelschema auch im Hinblick auf die Plausibilität der CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht. Das Ergebnis lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Bei einigen Straßentypen des Verkehrssituationsschemas des Handbuchs zeigt sich für starken und gesättigten Verkehr nicht immer der erwartete Trend (Zunahme der Emission mit zunehmender Verkehrsbelastung). Derartige Unplausibilitäten sind bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen häufiger als bei den übrigen Fahrzeugkategorien, und sind bei den Pkw bei den jüngeren Fahrzeugschichten weniger ausgeprägt als bei den älteren Fahrzeugschichten.

Sie sind zum Teil dadurch zu erklären, dass die RPA-Werte nicht immer mit zunehmender Verkehrsstärke zunehmen. Folgende Sachverhalte sprechen jedoch gegen vorschnelle Änderungen: Zum einen zeigen die Daten aus dem WLTP-Projekt, dass zunehmende Geschwindigkeitseinbrüche nicht zwingend mit steigenden RPA-Werten einhergehen müssen, zum anderen sollte zukünftig neben dem RPA auch der Mittelwert des Produkts aus Geschwindigkeit und Beschleunigung für positive Beschleunigungen als weiterer Dynamikparameter berücksichtigt werden. Dieser Parameter ist der spezifischen Beschleunigungsleistung (je kg Fahrzeugmasse) direkt proportional und nur mäßig mit dem RPA korreliert.

Bevor in größerem Umfang Korrekturen vorgenommen werden, sollten diese Zusammenhänge sowie die schichtspezifischen Unterschiede bei gleichem Fahrzyklus eingehender geklärt werden.

### **1b Überprüfung des Emissionsverhaltens konventioneller Fahrzeuge**

Seit der Veröffentlichung des HBEFA 3.1 wurden weitere Fahrzeuge bei verschiedenen Labors, die dem ERMES-Netzwerk angehören, gemessen. Die Daten wurden im Rahmen einer gemeinsamen Umfrage mit JRC beschafft. Insgesamt kamen Messwerte für 160 Fahrzeuge mit verschiedenen Antriebstechnologien (neben Otto und Diesel auch CNG, Bifuel und Hybridfahrzeuge) und Eurostufen (v.a. Euro 4, wenige Euro-5-Fahrzeuge) zusammen, die in die A300 Datenbank, welche seit dem ARTEMIS-Projekt die Basis der HBEFA-Werte ist, aufgenommen werden konnten.

Wichtige Erkenntnisse aus den neuen Daten sind, dass sie das Emissionsniveau für Euro-4-Pkw weitgehend bestätigen. Für Euro-5-Fahrzeuge geben die Daten erste Hinweise auf eine mögliche Erhöhung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen bei Diesel-Pkw, allerdings sind die Samples noch zu klein für belastbare Aussagen.

### **1c $\text{NO}_2$ -Emissionsfaktoren**

In das HBEFA 3.1 wurden erstmalig Emissionsfaktoren für  $\text{NO}_2$  aufgenommen. Diese Emissionsfaktoren basieren auf einer umfangreichen Sammlung und Überprüfung von  $\text{NO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Daten von Diesel- und Benzin-Pkw, welche von EMPA, IFEU, INFRAS und TUG für die Entwicklung des HBEFA 3.1 durchgeführt wurden. Als Ergebnis der Messungen wurden für das HBEFA 3.1 Anteilswerte abgeleitet, die für jede Fahrzeugschicht das Verhältnis  $\text{NO}_2$  zu  $\text{NO}_x$  angeben. Die Ergebnisse werden hier zusammengefasst.

Neue Messergebnisse des ADAC, die erst nach der Veröffentlichung des HBEFA 3.1 zur Verfügung standen, zeigen den Einfluss von Betriebszuständen außerhalb des Standard-Messverfahrens (d.h. mit Klimaanlage). Erste Datenauswertungen zeigten u.a. ein höheres  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis für Euro-6-Pkw, als bisher erwartet. Zusätzliche Messungen sind erforderlich. Insbesondere sollte auch in den Real-World-Fahrzyklen gemessen werden, um belastbare Emissionsfaktoren zu erhalten.

### **1d Emissionsfaktoren bestimmter Verkehrssituationen**

Für das Arbeitspaket 1d hat die Leistungsbeschreibung des UBA folgende Verkehrssituationen vorgeschrieben:

1. Innerortsfahrten auf Hauptverkehrsstraßen mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h,

2. Autobahnfahrten mit Geschwindigkeiten von 70 km/h und 90 km/h,
3. zusätzlich für Pkw und Motorräder Autobahnfahrten mit Geschwindigkeiten von 110 km/h bis 190 km/h in Schritten von 10 km/h.

Zu den Punkten 1 und 2 werden die Geschwindigkeitsangaben bis zu 130 km/h als zulässige Höchstgeschwindigkeiten interpretiert, zu Punkt 3 als mittlere Geschwindigkeiten.

Innerortsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h sind im HBEFA 3.1 bereits als Zufahrts- und Wohnstraßen (auch Nebenstraßen in Ballungsgebieten) berücksichtigt. Allerdings kommt seitens der Anwender aus Deutschland die Forderung nach Emissionsfaktoren für Hauptverkehrsstraßen mit Tempo 30. Diese konnten für das HBEFA 3.1 nicht berücksichtigt werden, weil keine entsprechenden Fahrverläufe vorlagen.

Von der TU Dresden sind in der Zwischenzeit entsprechende Daten für Pkw aus vorher/nachher Untersuchungen in Halle (Saale) zur Verfügung gestellt worden. Die Ergebnisse legen jedoch den Schluss nahe, dass die Zielsetzung eines niedrigeren Geschwindigkeitsniveaus mit höheren Konstantfahrtanteilen und möglichst verringerten Stillstandsanteilen verbunden mit geringeren Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht erreicht wurde.

Allerdings wurden im Auftrag des Landesumweltamtes Baden Württemberg Ende letzten Jahres in Stuttgart mit drei Fahrzeugen (zwei Pkw und einem leichten Nutzfahrzeug) Fahrversuche auf Hauptverkehrsstraßen durchgeführt worden sind, bei denen neben Tempo 50 auch Tempo 40 und Tempo 30 simuliert wurde, indem die jeweiligen Zielgeschwindigkeiten auf drei verschiedenen Rundkursen nicht oder nur unwesentlich überschritten wurden.

Die Ergebnisse können für die hier anstehende Fragestellung genutzt werden. Deshalb wird vorgeschlagen, neue Fahrzyklen auf der Basis dieser Ergebnisse zu generieren. Da das Vorhaben aber noch nicht abgeschlossen ist, können für diesen Abschlussbericht noch keine konkreten Zyklen angegeben werden.

Autobahnen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h sind im Zyklenschema des HBEFA 3.1 bereits vollumfänglich berücksichtigt. Für Autobahnen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h sind ebenfalls bereits Emissionsfaktoren enthalten, allerdings nur für stadtnahe Autobahnen.

Zu Punkt 3 ist folgendes zu sagen: Für Motorräder stehen aus der WMTC-Datenbank die erforderlichen Fahrzyklen zur Verfügung, für Pkw war dies bisher nur bis 150 km/h der Fall. Allerdings stehen dem Auftragnehmer aus einem anderen, laufenden Vorhaben Fahrzyklen für Pkw mit den geforderten Geschwindigkeiten zur Verfügung.

Die Emissionsfaktoren für Geschwindigkeiten von 110 km/h bis 140 km/h sind bereits im HBEFA 3.1 enthalten, wenn auch um 2 km/h erhöht.

Für die übrigen Geschwindigkeiten wurden aus dem vorhandenen Datenpool Fahrtabschnitte mit quasi konstanten Geschwindigkeiten ausgewählt, die Zeitdauern von mindestens drei Minuten oder mehr aufwiesen. Für Tempo 150 enthält die Datenbank fünf verschiedene Zyklen mit unterschiedlichem Schwankungsgrad, bei Tempo 160 und 170 jeweils zwei verschiedene Zyklen, während bei Tempo 180 und 190 jeweils nur ein längerer Abschnitt in der Datenbank enthalten ist.

Diese Zyklen können als Grundlage für die Bestimmung zugehöriger Emissionsfaktoren verwendet werden.

## **1e Alternative Fahrzeugkonzepte / unkonventionelle Kraftstoffe**

Zukünftig soll das HBEFA mit Emissionsfaktoren von Fahrzeugen mit alternativen bzw. unkonventionellen Kraftstoffen erweitert werden. Während der Arbeiten für diese Studie konnten Emissionsdaten für 45 weitere Fahrzeuge beschafft werden, die noch nicht im HBEFA 3.1 berücksichtigt wurden. Allerdings wird diese Anzahl durch den Umstand reduziert, dass die Gruppe in viele Subgruppen aufzuteilen ist. Außerdem wurden die Messungen bei diesen Fahrzeugen nicht immer mit den gleichen Fahrzyklen durchgeführt.

Bei den Fahrzeugen handelt es sich überwiegend um verschiedene Euro-4-Pkw sowie jeweils einen CNG- und einen Hybrid-Benzin-Pkw mit Euro-5. Unter den Euro-4-Pkw sind 17 mit Bifuel-Antrieb CNG-Benzin, 17 mit Bifuel-Antrieb (E85/Benzin), 4 CNG und 5 Hybrid (Benzin/Elektrisch). Die vorliegenden Messergebnisse dieser Fahrzeuge werden hier dargestellt.

Für die Ableitung von Emissionsfaktoren für das HBEFA ist die Datenbasis weiterhin beschränkt. Unter diesen Aspekten ist für eine künftige HBEFA-Version die Beschaffung zusätzlicher Daten notwendig.

## **2a Bestandsaufnahme Dieselfahrzeuge mit Minderungstechniken**

Dieselfahrzeuge mit verschiedenen Minderungstechniken unterscheiden sich in ihrem Emissionsverhalten. Daher erfolgte im HBEFA 3.1 bei den schweren Nutzfahrzeugen der Stufen Euro IV und Euro V eine Unterscheidung der Emissionsfaktoren für Fahrzeuge mit EGR und SCR.

Über die Bestands- und Zulassungsstatistiken ist die Unterscheidung nicht verfügbar. Es bleibt nur die Möglichkeit, aus den verschiedenen Strategien, die die Hersteller gewählt haben, mögliche Anteile der Technologien an den Neuzulassungen abzuschätzen. Für das HBEFA 3.1 wurde eine Abschätzung der TU Graz für Österreich zugrunde gelegt. Danach sind rund 25% der schweren Nutzfahrzeuge mit Euro IV und Euro V mit EGR und 75% mit SCR ausgerüstet.

Die Aufgabe dieses Arbeitspaktes ist es, genauere Informationen zum Anteil der schweren Nutzfahrzeuge mit den Minderungstechnologien EGR und SCR in Deutschland zu erhalten. Mit Hilfe der KBA-Statistiken der jährlichen Neuzulassungen nach ausgewählten Herstellern wurde eine Abschätzung Fahrzeugbestandes nach EGR und SCR durchgeführt. Die Analyse bestätigt im Wesentlichen die Annahmen des HBEFA 3.1. Es deutet zwar einiges darauf hin, dass der EGR-Anteil bei kleineren Fahrzeugen höher ist, allerdings konnte dies nicht durch die Statistik belegt werden, da die Zulassungsstatistik nach Herstellern keine Unterscheidung nach Größenklassen enthält.

## **2b Einfluss von Nebenverbrauchern**

Es ist bekannt, dass der Einfluss von Nebenverbrauchern (z.B. Klimaanlage, Scheinwerfer, etc.) auf den Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen nicht zu vernachlässigen ist. Derzeit ist im HBEFA 3.1 lediglich der Einfluss von Klimaanlagen auf den Kraftstoffverbrauch von Pkw in Form eines Modells auf Basis von Messungen der EMPA integriert.

Einige Abschätzungen zum Einfluss der übrigen Nebenverbraucher auf den Kraftstoffverbrauch bei Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen zeigen jedoch die Bedeutung dieser Thematik. Erste Auswertungen zeigten, dass die übrigen Nebenver-

braucher bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen den Kraftstoffverbrauch bis um einen Liter pro 100km oder sogar mehr erhöhen können. Auch bei Bussen und schweren Nutzfahrzeugen ist der Einfluss der Nebenverbraucher auf den Kraftstoffverbrauch nicht zu vernachlässigen. Eine ausführlichere Berücksichtigung der Nebenverbraucher im HBEFA ist also dringend nötig.

## **2c Erarbeitung eines Real-World Testzyklus**

Bisher wurden aus Messungen im CADC (Common Artemis Driving Cycle) die Emissionskennfelder für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge erstellt. Aus diesen Emissionskennfeldern wurden mit dem Modell PHEM die Emissionsfaktoren für die Verkehrssituationen des HBEFA berechnet. Durch die Entwicklungen der letzten 10 Jahre ergibt sich inzwischen aber ein dringender Bedarf diesen Zyklus mit einem kürzeren Test zu ergänzen. Folgende Verbesserungspotenziale bestehen:

- Der CADC braucht eine relativ lange Rollenmesszeit von 3x20 Minuten.
- Der CADC beinhaltet keinen Fahrzyklus des HBEFA, eine direkte Ableitung von Emissionsfaktoren für das HBEFA ist also unmöglich.
- Der CADC deckt das relevante Motorkennfeld gut, aber nicht perfekt ab.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde daher ein Testzyklus mit folgenden Eigenschaften entwickelt:

- Maximale Testdauer von 1x22 Minuten (deutliche Reduktion der Kosten je Pkw für zukünftige Messprogramme),
- Direkte Abbildung der wesentlichsten Zyklen des HBEFA (Unsicherheiten durch Simulation von Emissionsfaktoren werden reduziert) und
- Bessere Abbildung des Volllastbereichs der Motorkennfelder als der CADC.

Der Zyklus wurde auf Fahrbarkeit hin überprüft und validiert und den Messlabors in der ERMES-Gruppe zur Kommentierung übergeben. Damit sind die Arbeiten im Rahmen dieses Vorhabens abgeschlossen.

Als weitere Schritte zur Fertigstellung des Zyklus müssen die Kommentare berücksichtigt werden. Anschließend muss der Zyklus von den Labors getestet werden. Die Erkenntnisse werden dann zur endgültigen Festlegung des Zyklus verwendet.

## Summary

The responsibilities of the Federal Environment Agency are the collection, analysis and documentation of environmental data such as air pollutants and greenhouse gases. For the transport sector, the Federal Environment Agency has had developed the computer program TREMOD (Transport Emission Model) as part of research projects. An important data source for TREMOD is the "Handbook of Emission Factors for Road Transport" (HBEFA), which was also developed with the support of the Federal Environmental Agency and the environmental agencies of other European countries and updated in recent years. The version 3.1 of the HBEFA has been available since February 2010.

With the HBEFA 3.1 an extensive update of emission factors for road transport took place. However, in HBEFA 3.1 many new requirements could only partially or not be considered without a broad-based validation. Within the project, therefore, the following selected areas were engrossed, and updated in some cases:

WP	theme of the work package
1a	Update of the representative driving behavior
1b	Review of the emissions performance of conventional vehicles
1c	NO <sub>2</sub> emission factors
1d	Emission factors in certain traffic situations
1e	Alternative vehicle concepts / unconventional fuels
2a	Inventory of reduction techniques with diesel vehicles
2b	Influence of secondary consumers
2c	Development Real World Test cycle

### 1a Update of the representative driving behavior

Within the development work of HBEFA 3.1 the cycles assigned to the traffic situation schema were reviewed and updated for all vehicle categories in order to make it more consistent. But it was not possible to verify or validate the updated cycles. This was the reason for the implementation of this issue into the research project.

The following data could be used for the verification/validation:

- In-use driving behaviour data from Switzerland for M1 and N1 vehicles (18 000 km) that could be classified according to the TS schema of HBEFA 3.1
- Specific vehicle speed values for light and heavy duty vehicles from Sweden adapted to the TS schema, coming from traffic surveys and/or the national traffic calculation model KANN/EVA.
- Fundamental diagrams and specific vehicle speed values from different German institutions and from the German Handbook for the dimensioning/designing of roads.

The analysis of the in-use driving behaviour data from Switzerland and the comparison with specific vehicle speed values of the TS cycles can be summarised as follows:

An analysis of the diurnal variations of average speed values showed a transgression of the speed limit for motorways. The transgression increases with decreasing speed limit. The transgressions are less pronounced for rural roads and rarely occur on urban streets.

But the average speeds can be close to the speed limit for free flowing traffic in case of urban streets.

In general the average speeds for the HBEFA cycles for free flowing traffic mirror these trends. But for motorways the HBEFA cycle speed values for free flowing and saturated traffic are rather too low, for urban streets rather too high.

The comparison of the specific speed values from Sweden with the corresponding HBEFA cycle values resulted in partly significant differences to higher values as well as to lower values depending on the TS. The differences were more pronounced for heavy duty vehicles than for light duty vehicles, especially for saturated traffic.

The comparison of average speeds of the HBEFA cycles with results from fundamental diagrams and the Handbook for the dimensioning/designing of roads showed in general a good coincidence. But in some cases the HBEFA cycle values were lower for heavy and saturated traffic.

Summarising the results the following conclusions can be drawn:

Altogether the results are not uniform enough in order to justify immediate and extensive modifications of the existing TS cycle schema. An exception might be the semi-motorway cycles. They should be adjusted to be in line with the Swedish key values, since this road category is of more importance in Sweden than in other regions.

But the results suggest also a continuation of the validation. Data from further countries (France, UK, Netherlands and others) should be included, if possible. The use of the WLTP database for the further work would be of great advantage, because it would allow to develop more appropriate cycle combinations for the different level of service.

The development of the TS cycles was not only based on the average speeds but also on stop percentages and a parameter for the cycle dynamics. Both should increase from free flowing to heavy and saturated traffic. The relative positive acceleration (RPA) was used as key parameter for the cycle dynamics. Within sensitivity calculations with the PHEM model RPA could explain 75% to 80% of the variances in CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions for given average speed values.

Therefore the TS cycle schema was in addition analysed with respect to the plausibility of the CO<sub>2</sub> emissions. The result can be summarised as follows:

There are some cases in the TS cycle schema where the CO<sub>2</sub> emissions don't show the expected trend (increase of the emission with increasing traffic load). These implausibilities are more frequent for cars and light duty vehicles than for the other vehicle categories. They are less pronounced for the current and future emission stages than for old ones. They are partly related to corresponding implausibilities in the RPA values.

The following facts suggest further investigations instead of immediate modifications:

Firstly, the WLTP in-use data show that increasing drops in the vehicle speed time pattern not necessarily lead to increasing RPA values.

Secondly,  $v^*a_{pos}$  should be considered as additional dynamic parameter in future. This parameter is proportional to the specific acceleration power per kg vehicle mass and is only moderately correlated with RPA.

The characterisation of cycle dynamics by acceleration parameters as well as the differences between different emission stages should be analysed in more detail, before modifications are performed to a large extend.

### **1b Review of the emissions performance of conventional vehicles**

Since the publication of HBEFA 3.1 additional vehicles at different laboratories, which belong to theERMES network, were measured. The data were obtained during a joint survey with the JRC. Totally, values were taken for 160 vehicles with different propulsion technologies (in addition to gasoline and diesel, CNG, bifuel and hybrid vehicles) and Euro levels (mainly Euro 4, a few Euro 5 vehicles), which could be incorporated in the A300 data base, which is the base of the HBEFA values since the ARTEMIS project.

Key findings from the new data are that they confirm the emission levels for Euro-4-car largely. For Euro 5 vehicles, the data hint a possible increase in NO<sub>x</sub> emissions from diesel cars, but the samples are still too small for reliable conclusions.

### **1c NO<sub>2</sub> emission factors**

In the HBEFA 3.1 emission factors for NO<sub>2</sub> were incorporated for the first time. These emission factors are based on an extensive collection and review of NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> data from diesel and gasoline cars, which were carried out by EMPA, IFEU, Infrac and TUG for the development of HBEFA 3.1. As a result of the measurements equity values were derived for the HBEFA 3.1, which indicate the NO<sub>2</sub> to NO<sub>x</sub> ratio for each vehicle layer. The results are summarized here.

New results of the ADAC, which were only available after the publication of HBEFA 3.1, show the influence of operating conditions outside the standard measurement method (i.e. air conditioning). Initial data analysis showed among other things a higher NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-ratio for Euro 6 cars than previously expected. Additional measurements are required. In particular, it the real-world driving cycles should be measured to obtain reliable emission factors.

### **1d Emission factors of certain traffic situations**

As part of the project additional emission factors for the following traffic situations should be derived.

- Urban trips on main roads with a speed of 30 km/h,
- motorway driving at speeds of 70 km/h and 90 km/h, additionally for cars and motorcycles highway drivings at speeds of 110 km/h to 190 km/h in steps of 10 km /h

It is proposed to generate the new driving cycles for 30 km / h on the basis of the results of driving tests of the Environmental Agency of Baden Wuerttemberg. Since this project is not yet completed, there are no concrete results presented at the moment.

Furthermore, traffic situations for highway driving at speeds of 70 km/h and 90 km/h should also be included in the HBEFA. Additionally, for cars and motorcycles highway driving at speeds of 110 km/h to 190 km/h in steps of 10 km/h should be added.

The traffic situations for motorways with the permissible maximum speed of 90 km / h in HBEFA 3.1 are already considered extensively. Similarly, for highways with a speed of 70 km / h emission factors are included, but only for suburban highways. For the expansion of HBEFA of the highway trips of 110km / h to 190 km / h, on the one hand data from the WMTC database can be accessed and on the other hand driving cycles for passenger cars with the required speeds are available from other, ongoing projects. However, it must be checked whether this can ever be used.

### **1e Alternative vehicle concepts / unconventional fuels**

In future, the HBEFA shall be expanded by emission factors of vehicles with alternative or unconventional fuels. During the processing of this study, emissions data for 45 additional vehicles could be procured, which were not included in HBEFA 3.1. However, this number is reduced by the fact that the group is to be split into many subgroups. In addition, the measurements were not always performed with the same driving cycles on these vehicles.

The vehicles are mainly various Euro-4-cars as well as CNG and gasoline-hybrid cars with Euro-5. Among the Euro-4-cars there are 17 cars with bifuel CNG-gasoline propulsion, 17 bifuel drive (E85/petrol), 4 CNG and 5 hybrid (petrol/electric). The present results of these vehicles are shown here.

For the derivation of emission factors for the HBEFA the database is still limited. Among these aspects it is necessary to obtain additional data for a future version of HBEFA.

### **2a Appraisal of diesel vehicles with reduction technologies**

Diesel vehicles with various reduction techniques differ in their emission behavior. Therefore, within HBEFA 3.1, there is a distinguishing for heavy commercial vehicles of Euro V and Euro VI levels between the emission factors for vehicles with EGR and SCR.

On the inventory and sales statistics the distinction is not available. There remains only the possibility to estimate the possible component technologies in new registrations by using the various strategies that manufacturers have chosen. For HBEFA 3.1 an estimate from the TU Graz in Austria was used. Accordingly about 25% of heavy goods vehicles with Euro IV and Euro V are equipped with EGR and 75% with SCR.

The task of this work package is to obtain more detailed information on the proportion of heavy commercial vehicles with SCR and EGR reduction technologies in Germany. With the help of the KBA's annual statistics of registrations by selected manufacturers an estimate of vehicle inventory by EGR and SCR was performed. The analysis essentially confirms the assumptions of HBEFA 3.1. Although there is some evidence to indicate that the EGR percentage is higher in smaller vehicles, but this could not be confirmed by the statistics, because registration statistics contain no distinction according to manufacturers by size class.

### **2b Influence of secondary consumers**

It is known that the influence of secondary consumers (eg, air conditioning, headlights, etc.) on the fuel consumption of vehicles is not negligible. In HBEFA 3.1 currently only the influence of air conditioning on fuel consumption of cars is integrated in the form of a model based on measurements of the EMPA.

Some estimates of the influence of the other secondary consumers on fuel efficiency in cars, light and heavy commercial vehicles and buses, however, show the importance of this issue. Initial evaluations showed that the remaining auxiliary equipment for passenger and light commercial vehicles can increase up to one liter of fuel per 100km or possibly even more. Also in buses and heavy commercial vehicles, the influence of the secondary consumers on fuel consumption is not negligible. A more detailed account of the consumers in addition to HBEFA is therefore urgently needed.

## 2c Development of a Real-World Test cycle

Previously, the engine maps for cars and light trucks were produced from measurements in the CADC (Common Artemis Driving Cycle). From these engine maps, emission factors for traffic situations within HBEFA were calculated with the model PHEM. Due to the developments of the last 10 years, there is an urgent need to add a shorter test supplement to this cycle in the meantime. The following potential improvements are:

- The CADC needs a relatively long measurement time of 3x20 minutes.
- The CADC contains no cycle of HBEFA, a direct derivation of emission factors for the HBEFA is therefore impossible. The CADC covers the relevant engine map well but not perfectly.

As part of this project, a test cycle with the following characteristics was therefore developed:

- Maximum test duration of 1x22 minutes (reduces the cost of future measurement programs per car significantly)
- Direct mapping of the most essential cycles of HBEFA (uncertainties by simulation of emission factors are reduced) and
- Better representation of the full load range of engine maps than the CADC. The cycle was checked on drivability and validated and passed the test labs in the ERMES Group for commenting. Therewith, the work within this project is complete.

As further steps to complete the cycle, the comments must be considered. In the following, the cycle must be tested by the laboratories. The findings are then used for the final definition of the cycle.

# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Vorhabens

Zu den Aufgaben des Umweltbundesamtes gehören Erfassung, Berechnung und Dokumentation von umweltrelevanten Daten wie Luftschadstoffen und Klimagasen. Für den Verkehrsbereich hat das Umweltbundesamt dazu das Computerprogramm TREMOD (Transport Emission Model) im Rahmen von Forschungsvorhaben entwickeln lassen. Eine wichtige Datenquelle für TREMOD ist das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), das ebenfalls mit Unterstützung des Umweltbundesamtes und der Umweltämter anderer europäischer Länder entwickelt und in den vergangenen Jahren fortgeschrieben wurde. Die Version 3.1 des HBEFA liegt seit Februar 2010 vor.

Das Umweltbundesamt beabsichtigt die Weiterentwicklung und Ergänzung von Emissionsfaktoren für das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA). Dieses Forschungsvorhaben soll dazu dienen, wichtige Informationsdefizite und Lücken, die nach Fertigstellung des HBEFA 3.1 bestehen, zu schließen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts sind die ermittelten Emissionsfaktoren so aufzubereiten, dass sie in das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) und anschließend in TREMOD aufgenommen werden können. Die Integration der Ergebnisse in eine aktualisierte Version (z.B. HBEFA 3.2) ist nicht Gegenstand dieses Vorhabens.

## 1.2 Erkenntnisstand

In den letzten Jahren seit der Veröffentlichung der Version 2.1 des HBEFA im Jahr 2004, hat sich der Wissenstand zu den Emissionsfaktoren (EFA) des Straßenverkehrs deutlich weiterentwickelt. Im Rahmen von europaweiten wissenschaftlichen Kooperationen, z.B. im ARTEMIS-Projekt und aktuell in der ERMES-Gruppe, wurden die Emissionsmessungen der beteiligten Messinstitute aus verschiedenen europäischen Ländern gesammelt und nach einheitlichen Kriterien ausgewertet und zusammengefasst. Die Methoden zur Ableitung repräsentativer Emissionsfaktoren wurden überarbeitet und abgestimmt.

Von Seiten des Gesetzgebers wurden die Emissionsgrenzwerte fortgeschrieben (neue Emissionsstufen Euro 5 und 6, die in HBEFA 2.1 noch nicht berücksichtigt waren) und neue Regelungen eingeführt, etwa zur Einführung von Biokraftstoffen, zur Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Pkw oder zur Verbesserung der Luftqualität in den Städten. Dies hat zur Folge, dass die Industrie neue Fahrzeugkonzepte und Kraftstoffe auf den Markt bringen muss.

Mit dem HBEFA 3.1 findet daher eine umfangreiche Aktualisierung der Emissionsfaktorendatenbasis für den Straßenverkehr statt. Wesentliche Neuerungen sind:

- Update der EFA für Euro 3 und 4,

- Neue EFA für Euro 5 und 6

- Neue Methodik zur Berechnung der EFA aus Fahrzyklen,

- Neue Verkehrssituationen (ARTEMIS TS Schema) und zugehörige Fahrzyklen,

- Neue Komponenten (PN, NO<sub>2</sub>)

- Anpassungen der Berechnungen von Kaltstart, Klimaanlagen, einzelnen nicht-reglementierten Komponenten wie N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> etc..

Dennoch konnten im HBEFA 3.1 viele neue Erfordernisse nicht oder nur ansatzweise oder ohne breit abgestützte Validierung berücksichtigt werden. Einige dieser Erfordernisse sollen durch dieses Vorhaben abgedeckt werden.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Arbeitspakete in diesem Vorhaben.

**Tabelle 1: Übersicht über die Arbeitspakete und Kapitel in diesem Bericht**

AP	Kapitel	Thema des Arbeitspakets	Bearbeiter
1a	2	Aktualisierung des repräsentativen Fahrverhaltens	HS
1b	3	Überprüfung des Emissionsverhaltens konventioneller Fahrzeuge	INFRAS
1c	4	NO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	IFEU
1d	5	Emissionsfaktoren bestimmter Verkehrssituationen	HS
1e	6	Alternative Fahrzeugkonzepte / unkonventionelle Kraftstoffe	INFRAS
2a	7	Bestandsaufnahme Dieselfahrzeuge mit Minderungstechniken	IFEU
2b	8	Einfluss von Nebenverbrauchern	IFEU
2c	9	Erarbeitung Real World Testzyklus	TU Graz, HS
	10	Messergebnisse des ADAC	

## 2 Aktualisierung des repräsentativen Fahrverhaltens (1a)

### 2.1 Aufgabenstellung

Für das HBEFA 3.1 wurde das im EU-Projekt ARTEMIS entwickelte Verkehrssituationschema übernommen (siehe Tabelle 2). Die dazugehörigen Fahrzyklen im ARTEMIS-Modell sind jedoch zwischen den verschiedenen Fahrzeugkategorien inkonsistent. Beispielsweise kommt es vor, dass Pkw für dieselbe Verkehrssituation niedrigere Geschwindigkeiten haben als schwere Nutzfahrzeuge.

Um diese Inkonsistenzen und weitere Inkonsistenzen innerhalb der Fahrzeugkategorien zu beseitigen, wurde für HBEFA 3.1 das den Verkehrssituationen zugeordnete Fahrzyklenschema für Pkw, schwere Nutzfahrzeuge, Busse und Motorräder komplett überarbeitet. Das so entstandene Schema ist nunmehr in sich und zwischen den Fahrzeugkategorien konsistent. Es war aber im Rahmen der Entwicklung des HBEFA 3.1 nicht möglich, Validierungsschritte vorzunehmen.

**Tabelle 2: ARTEMIS-Verkehrssituationsschema; die 4 Level of Service (Verkehrsbelastungszustände) sind: frei fließender Verkehr, starker Verkehr, gebundener Verkehr, stop & go**

area	road category	level of service	Speed limit in km/h												
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	no limit	
rural	Motorway	4						X	X	X	X	X	X	X	
	Semi-Motorway	4						X		X					
	TrunkRoad	4				X	X	X	X	X	X				
	Distributor-DistrictConnection	4			X	X	X	X	X	X					
	Distributor-DistrictConnection(withCurves)	4			X	X	X	X	X	X					
	LocalCollector	4			X	X	X	X							
	LocalCollector(withCurves)	4			X	X	X	X							
	Access-residential	4	X	X	X										
urban	Nat-Motorway(ThrougTraffic)	4						X	X	X	X	X	X		
	City-Motorway	4				X	X	X	X	X	X				
	Main(TrunkRoad)	4				X	X	X	X	X					
	City-TrunkRoad	4			X	X	X	X	X						
	Distributor-DistrictConnection	4			X	X	X	X							
	LocalCollector	4			X	X									
	Access-residential	4	X	X	X										

Dies sollte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nachgeholt werden. Die Validierung erfolgt für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge im Hinblick auf folgende Punkte:

- Überprüfung der Durchschnittsgeschwindigkeiten für die verschiedenen Straßentypen bei frei fließendem Verkehr,
- Überprüfung der Durchschnittsgeschwindigkeiten für die drei zusätzlichen Level of Service (starker Verkehr, gebundener Verkehr und stop & go) innerhalb eines Straßentyps,
- Überprüfung des Dynamikparameters RPA

RPA ist die relative positive Beschleunigung und wird wie folgt berechnet

$$RPA = \text{Summe}(v \cdot a_{\text{pos}} \cdot dt) / \text{Wegstrecke}$$

dt ist das Zeitintervall aufeinanderfolgender Zykluswerte, v ist die momentane Geschwindigkeit, a die momentane Beschleunigung, wobei nur positive Beschleunigungen berücksichtigt werden. RPA repräsentiert auch die mittlere spezifische Beschleunigungsarbeit je kg Fahrzeugmasse und je Kilometer.

Zu den Punkten 1 und 2 wurden Geschwindigkeitsdaten aus Querschnittsmessungen, Angaben aus dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (im folgenden HBS genannt, siehe Literatur Kapitel 2[1]) sowie neuere Fahrzyklendaten aus der Schweiz herangezogen, bei denen eine eindeutige Zuordnung zum Straßentyp möglich ist.

Zu Punkt 2 wurden sogenannte Fundamentaldiagramme (Geschwindigkeits-Verkehrsfluss-Beziehungen) gesammelt und deren Kenndaten für die vier Level of Service des Handbuchs (mittlere Geschwindigkeiten mit den entsprechenden Zykluswerten des HBEFA 3.1) verglichen. In analoger Weise wurde mit den Angaben aus dem HBS verfahren.

Zu Punkt 3 wurden schwerpunktmäßig die Fahrzyklendaten aus der Schweiz herangezogen.

Darüber hinaus wurden in diesem Arbeitsschritt Kommentare von Anwendern und Entwicklungspartnern berücksichtigt. Derartige Kommentare für den Außerortsbereich liegen aus Schweden (von VTI) bereits vor.

Da die Ergebnisse später auch in der DACH/ERMES-Gruppe diskutiert werden sollen, sind die im Folgenden gezeigten Bilder in englischer Sprache beschriftet.

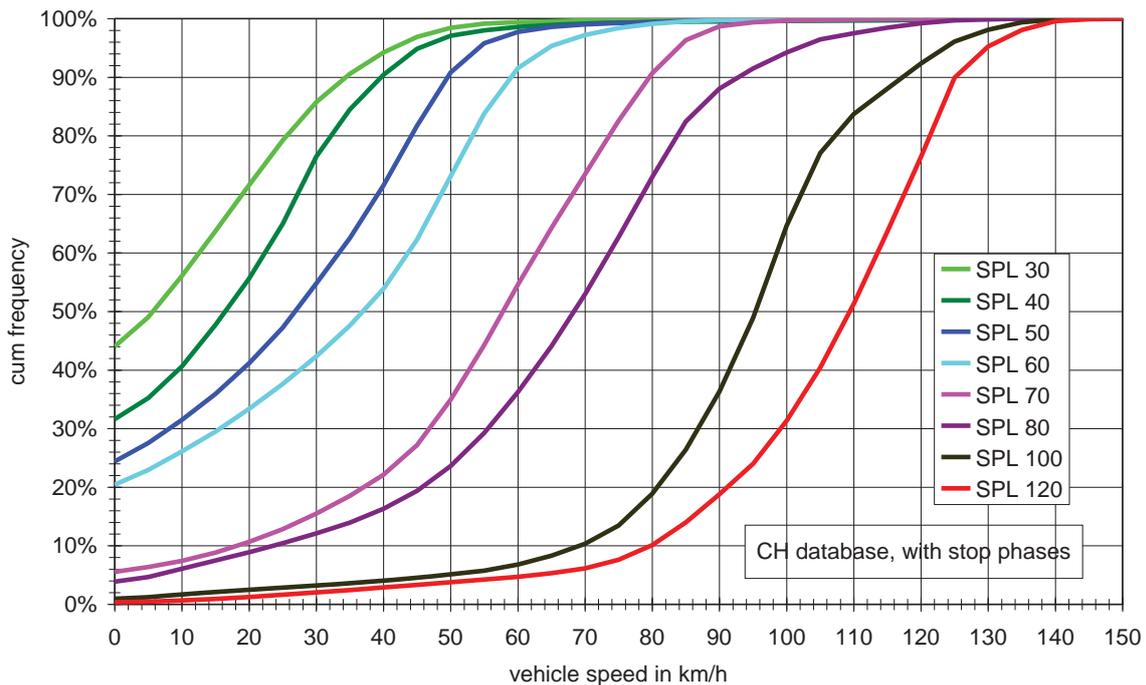
## **2.2 Überprüfung der Geschwindigkeitsdaten des Verkehrssituationsschemas des Handbuchs**

### **2.2.1 Vergleich mit Fahrverhaltensdaten aus der Schweiz**

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die aus der Schweiz erhaltenen Fahrverhaltensdaten aufbereitet und einer ersten Auswertung im Hinblick auf Schlussfolgerungen für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs unterzogen. Nach Abzug fehlerhafter oder unplausibler Teile verbleiben insgesamt Daten im Umfang von 28 000 km oder 612 Stunden, die sich auf 45 Kombinationen von Straßentypen und Tempolimits, allerdings mit unterschiedlichen Häufigkeiten verteilen. Untersucht wurden nur Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.

In Bild 1 sind die Geschwindigkeitsverteilungen nach Tempolimit separiert dargestellt. Bild 2 zeigt die Verteilungen ohne Stillstandszeiten.

Der Einfluss des Tempolimits ist offensichtlich. Es wird auch deutlich, dass das Tempolimit zwischen 10% und 30% der Fahrzeit überschritten wird. Die höchsten Überschreitungen findet man bei Tempo 30 und Tempolimits ab 70 km/h aufwärts, die niedrigsten für Tempo 40 bis Tempo 60.



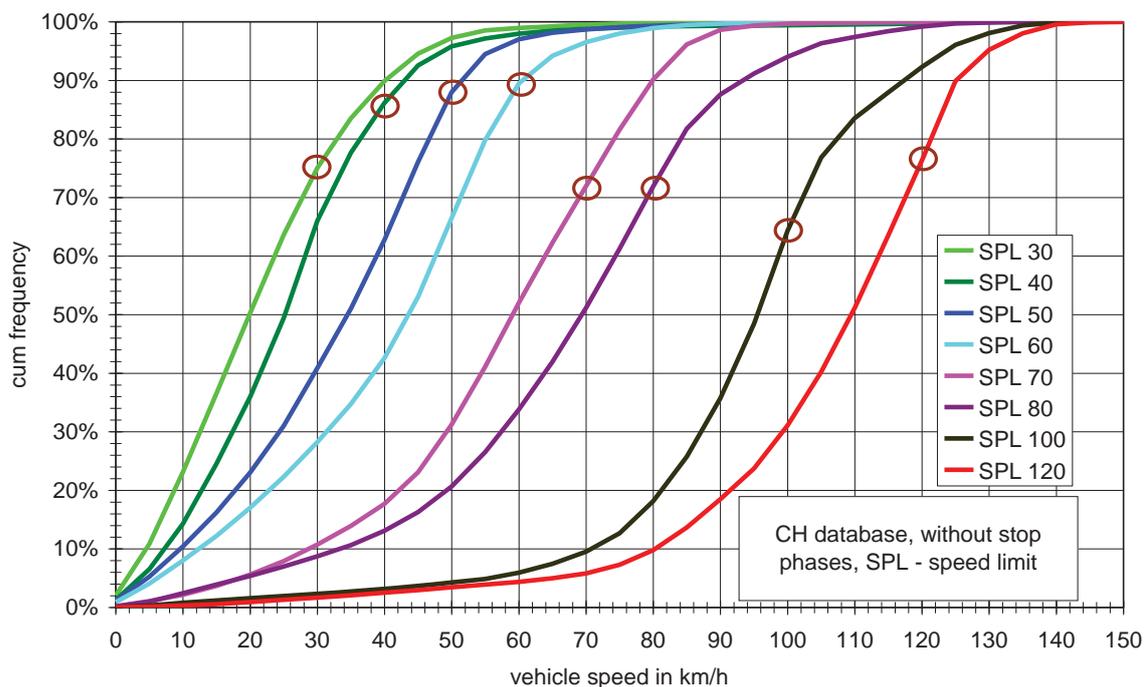
**Bild 1: Häufigkeitssummenkurven aus den Schweizer Fahrverhaltensdaten für unterschiedliche Tempolimits einschließlich Stillstandsanteile**

Den Daten wurden bereits von INFRAS die Straßentypen des Verkehrssituationsschemas aus Tabelle 2 zugeordnet. Für 17 Straßentypen war das Datenmaterial umfangreich genug, um mit Hilfe der Uhrzeiten Tagesganglinien der mittleren Geschwindigkeiten zu bilden. Diese sind in Bild 3 bis Bild 8 dargestellt, wobei die Ganglinien nicht immer vollständig sind. Zum Vergleich sind bei Stunde 25 die mittleren Geschwindigkeiten der zugehörigen Handbuch-Zyklen für die Verkehrssituationen „frei“, „starker Verkehr“ und „gesättigter Verkehr“ mit eingetragen.

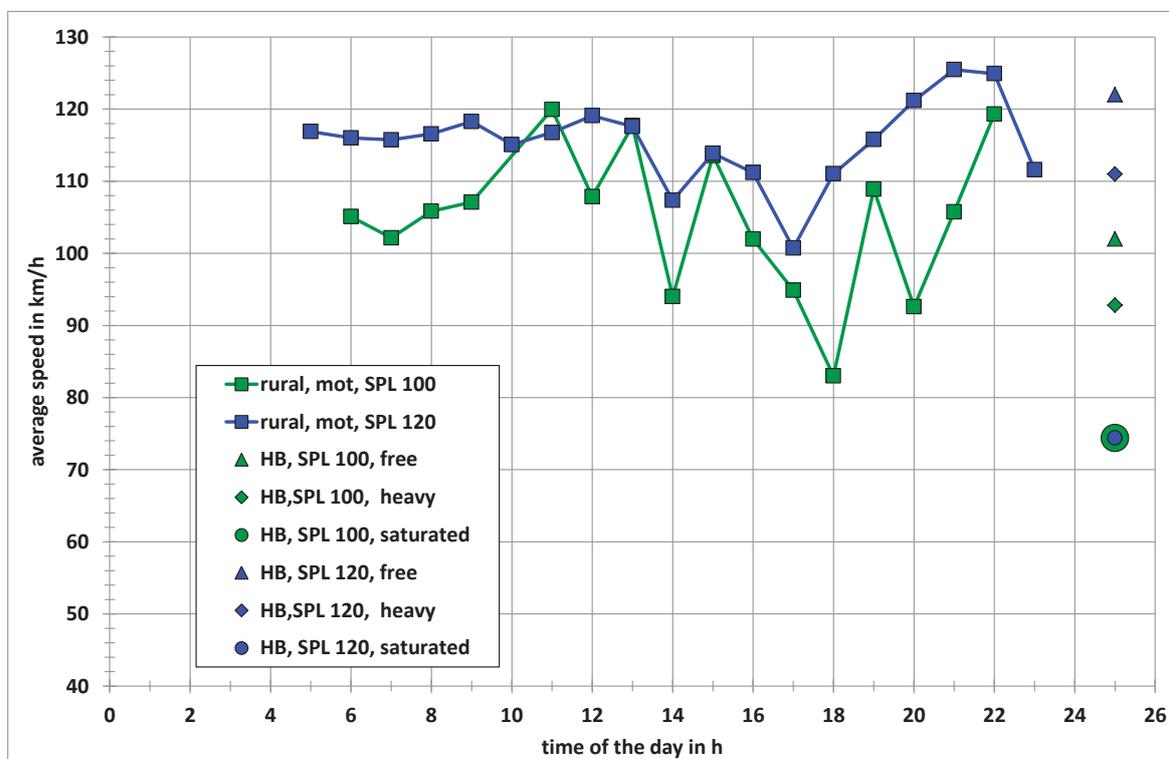
Die Tagesganglinien für Autobahnen weisen die charakteristischen Einbrüche der Geschwindigkeiten zu den Verkehrs-Spitzenstunden auf (Bild 3 und Bild 4), so dass ein guter Vergleich mit den Handbuch-Geschwindigkeitskennwerten möglich ist. Für Autobahnen sind die Handbuch-Werte für frei fließenden Verkehr und gesättigten Verkehr eher zu niedrig. Für die sonstigen Außerorts- und Innerortsstraßen schwanken die Durchschnittsgeschwindigkeiten zumeist zwischen frei fließendem und starkem Verkehr. Einbrüche bei Verkehrsspitzenstunden sind kaum auszumachen. Die Geschwindigkeitskennwerte der zugehörigen Handbuch-Zyklen sind bis auf zwei Ausnahmen eher zu hoch.

Um die tageszeitlichen Schwankungen der mittleren Geschwindigkeiten besser zu den Tempolimits in Beziehung zu setzen, sind in Bild 9 bis Bild 11 die stündlichen mittleren Geschwindigkeiten für unterschiedliche Straßentypen über dem Tempolimit aufgetragen. Auf Autobahnen erstreckt sich der Streubereich der stündlichen Geschwindigkeitswerte bis über das Tempolimit hinaus, und zwar umso stärker, je niedriger das Tempolimit ist.

Auf Außerortsstraßen sind die Überschreitungen weniger stark ausgeprägt, auf Innerortsstraßen sind praktisch keine Überschreitungen festzustellen, die stündlichen Geschwindigkeitswerte können aber bis dicht an das Tempolimit heranreichen. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Handbuch-Fahrzyklen für frei fließenden Verkehr entsprechen im allgemeinen diesen Trends.



**Bild 2:** Häufigkeitssummenkurven aus den Schweizer Fahrverhaltensdaten für unterschiedliche Tempolimits ohne Stillstandsanteile



**Bild 3:** Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Autobahnen mit Tempolimit 100 und 120 km/h



Bild 4: Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für stadtnahe Autobahnen

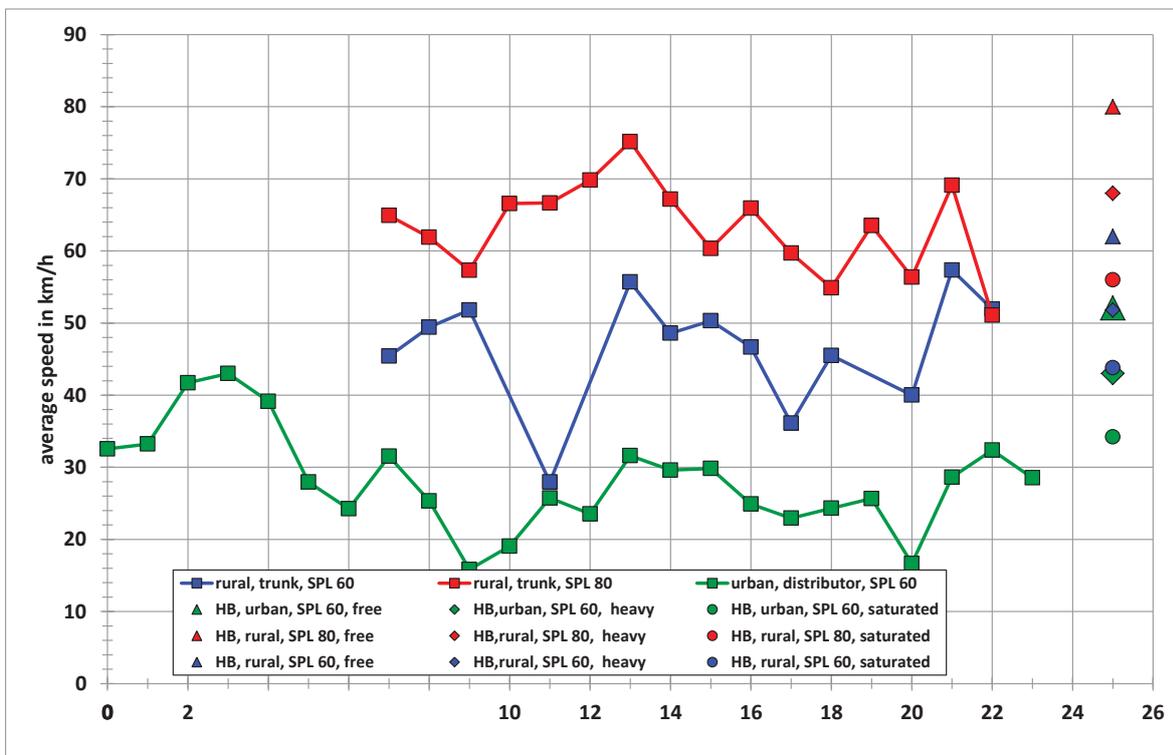


Bild 5: Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für weitere Straßentypen

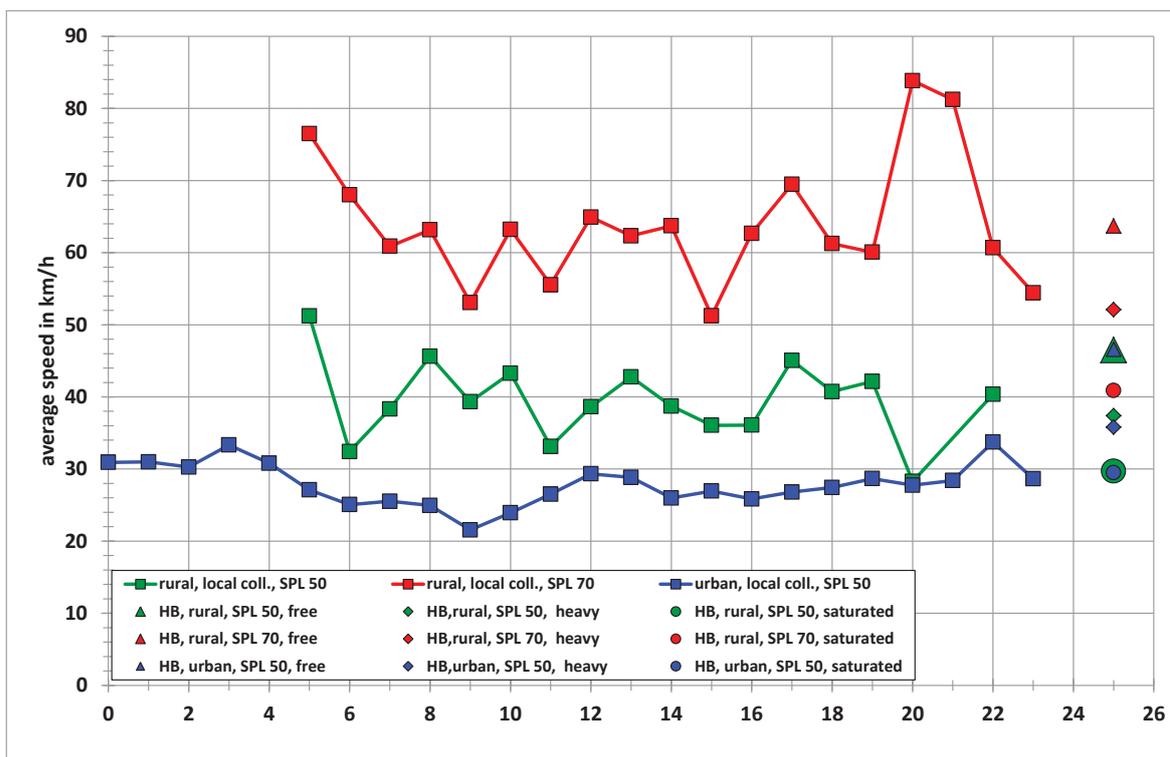


Bild 6: Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für weitere Straßentypen

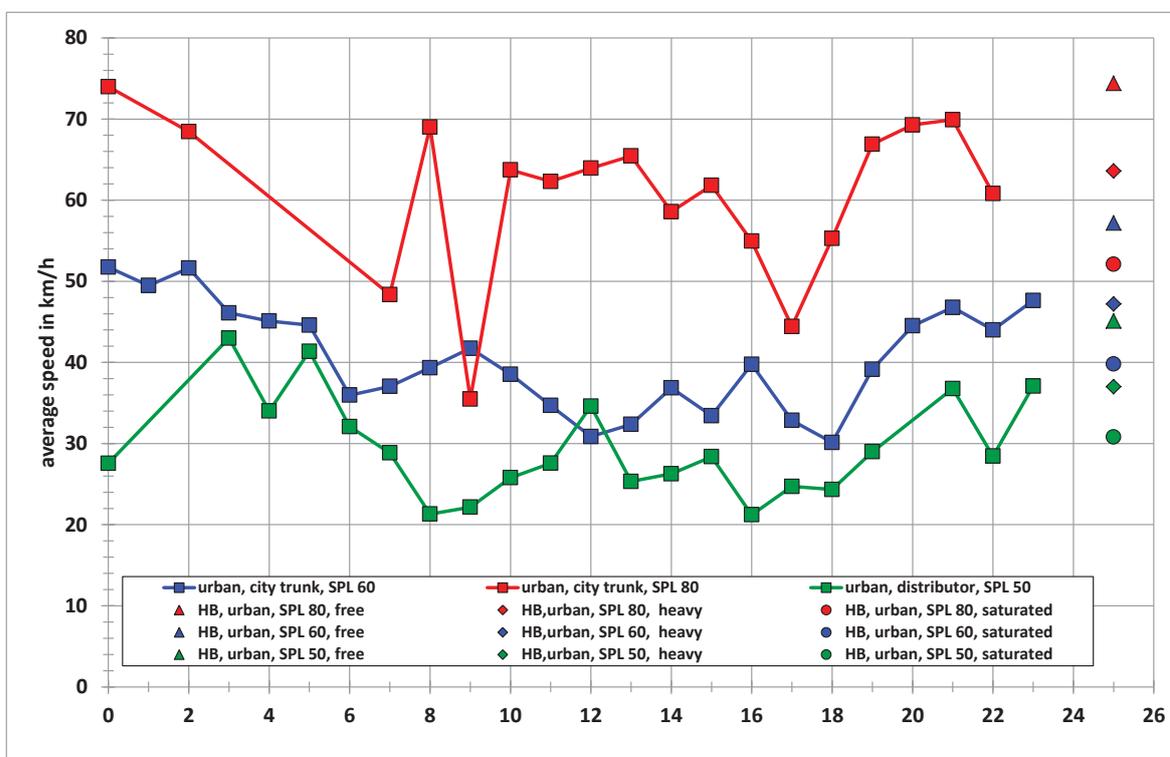


Bild 7: Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Innerorts-Straßentypen

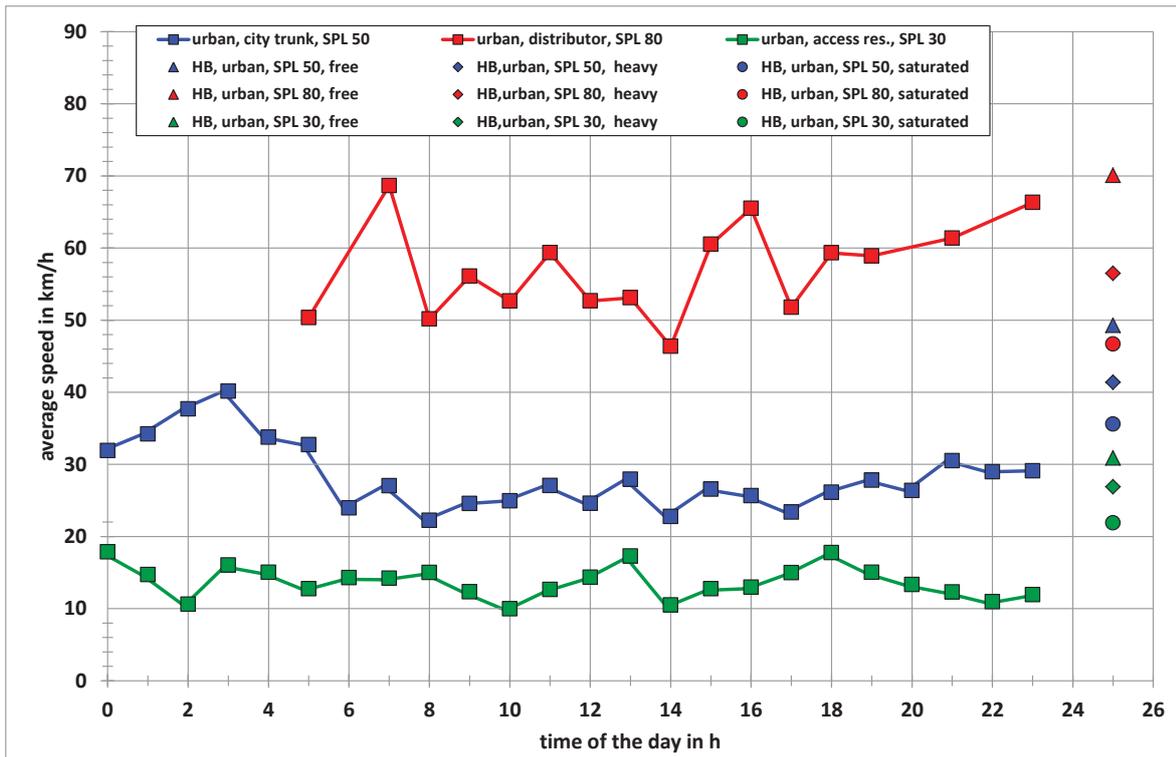


Bild 8: Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Innerorts-Straßentypen

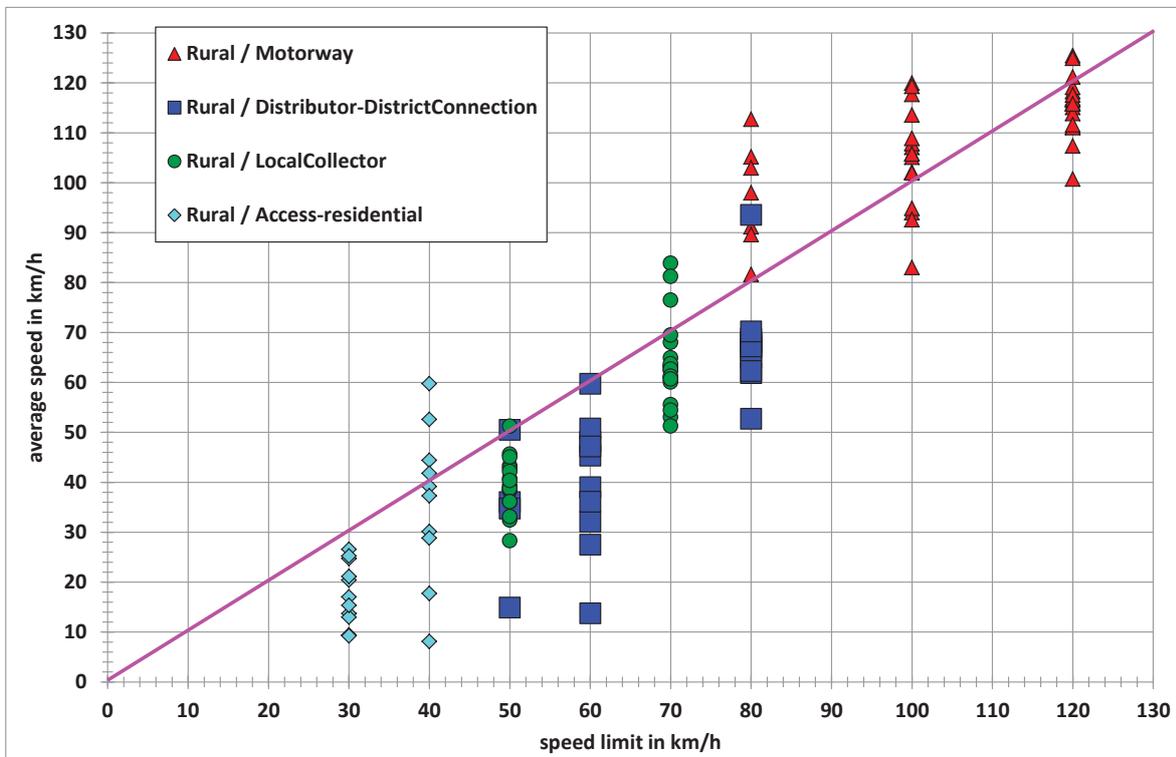
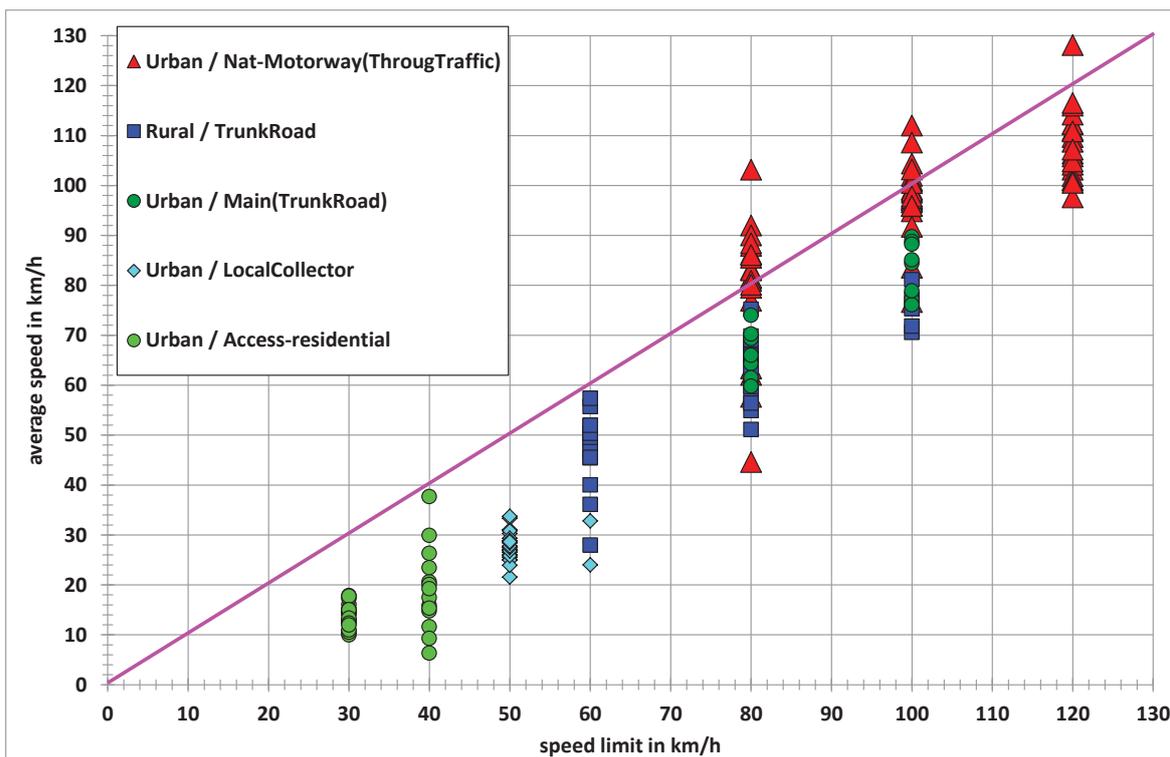
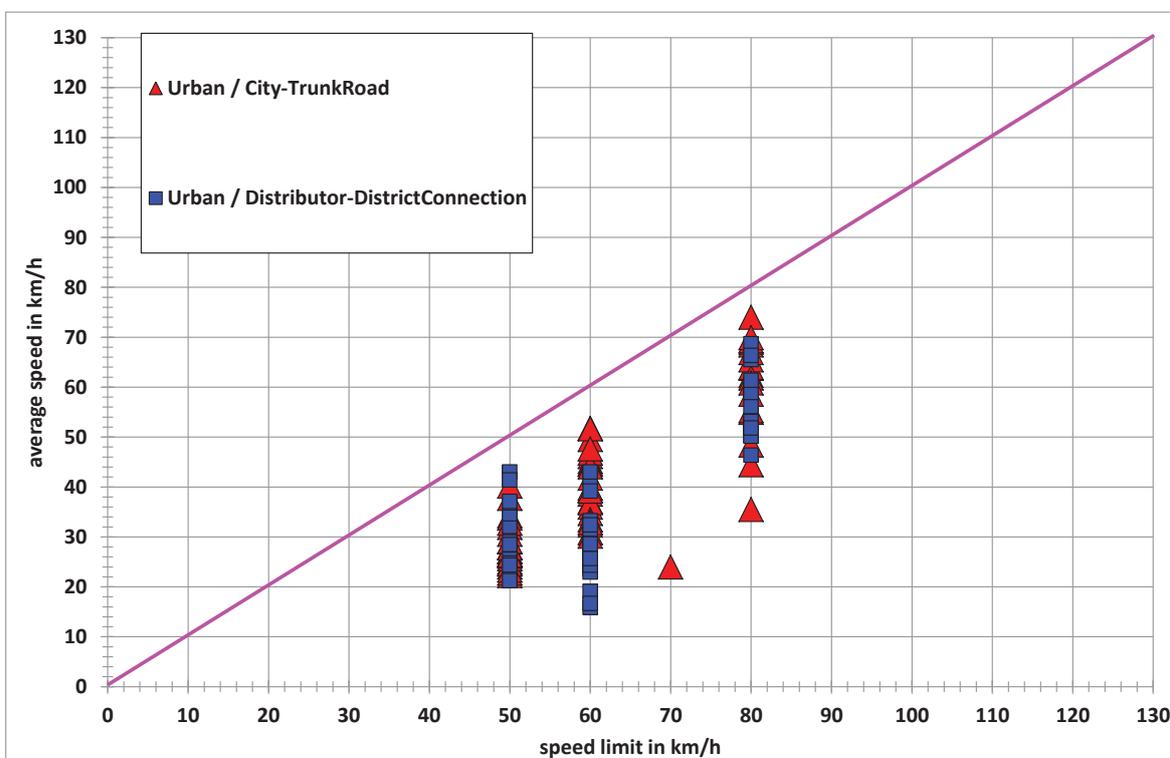


Bild 9: Stündliche Durchschnittsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Straßentyp und Tempolimit



**Bild 10: Stündliche Durchschnittsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Straßentyp und Tempolimit**



**Bild 11: Stündliche Durchschnittsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Straßentyp und Tempolimit**

### 2.2.2 Vergleich der Geschwindigkeitsdaten des Handbuchs mit Geschwindigkeitsdaten aus Schweden

Die schwedischen Kollegen hatten bereits kurz nach Erscheinen des Handbuchs 3.1 Geschwindigkeitsdaten zum Vergleich zur Verfügung gestellt, die aus Verkehrszählungen und dem schwedischen Verkehrsmodell KANN/EVA stammen und unmittelbar auf die Systematik des Handbuchs abgestimmt sind. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten aus Schweden sind in Tabelle 3 bis Tabelle 5 sowie Bild 12 den entsprechenden Geschwindigkeiten des Handbuchs für Pkw gegenübergestellt.

Die Unterschiede reichen von +65% (Schweden gegenüber Handbuch) bis minus 29%. Bei frei fließendem Verkehr sind die Durchschnittsgeschwindigkeiten aus Schweden für etwa die Hälfte der Straßentypen im Bereich von +/- 5% der Durchschnittsgeschwindigkeiten des Handbuchs, für 36% der Straßentypen hat das schwedische Schema mehr als 5% höhere Werte (insbesondere bei den kurvigen Straßen), für 14% der Straßentypen hat das schwedische Schema mehr als 5% niedrigere Werte (insbesondere im Bereich der nachgeordneten Straßen).

Größere Unterschiede ergeben sich für starken Verkehr. Hier sind die schwedischen Geschwindigkeiten überwiegend höher (bei 78% der Straßentypen um mehr als 5%), vor allem bei den kurvigen Straßen. Im Bereich von +/- 5% der Durchschnittsgeschwindigkeiten des Handbuchs liegen nur 20% der Straßentypen, in nur einem Fall ist die Geschwindigkeit des schwedischen Schemas um mehr als 5% niedriger als die Geschwindigkeit des Handbuch-Zyklus.

Für gesättigten Verkehr ergibt sich wiederum ein anderes Bild. Für 58% der Straßentypen sind die schwedischen Werte mehr als 5% niedriger, für 33% der Fälle sind die schwedischen Werte niedriger und für nur 9% der Fälle sind die Unterschiede im Bereich von +/- 5%. Für den städtischen Bereich liegen die schwedischen Geschwindigkeiten sämtlich unter denjenigen des Handbuchs. Für den Außerortsbereich gibt es sowohl höhere als auch niedrigere Werte, wobei wiederum die größten Abweichungen zu höheren Werten bei den kurvigen Straßen auftreten.

Bei Stop & Go sind die schwedischen Werte stärker differenziert als die Werte des Handbuchs, schwanken aber um die 1:1 Gerade (siehe Bild 12).

**Tabelle 3: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für frei fließenden Verkehr für Pkw**

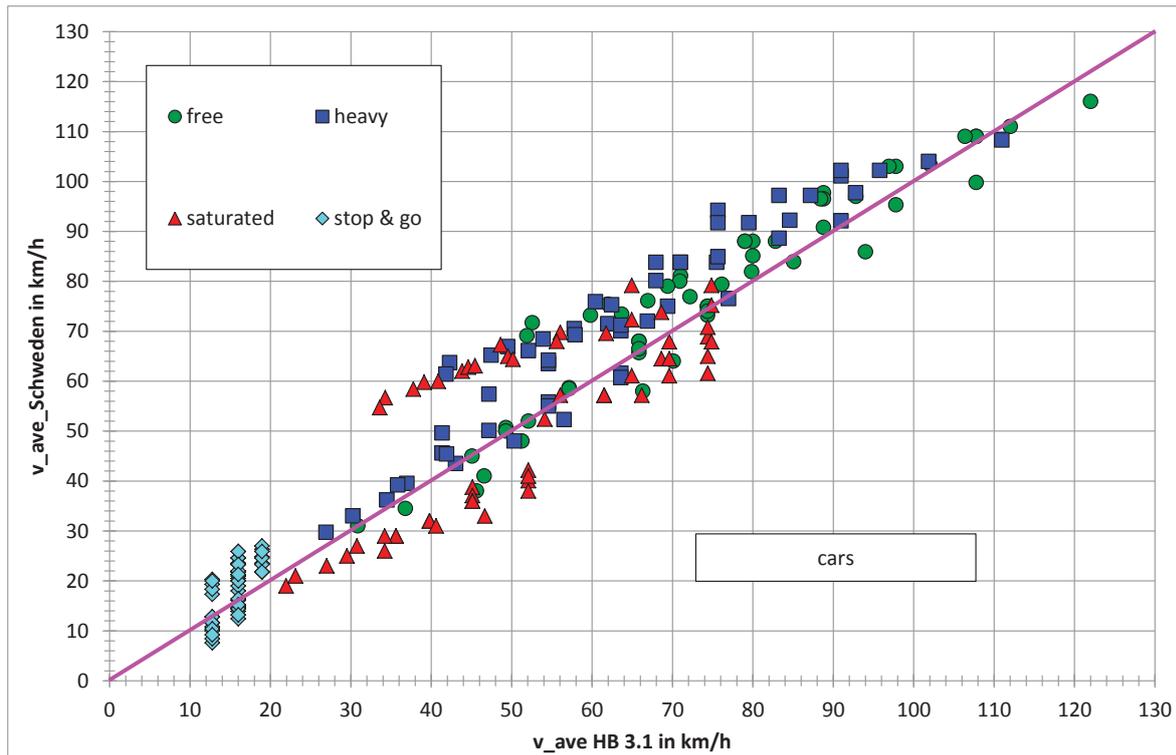
IDTS	Traffic situation	free			road width m
		v_car_HB3	v_car_SE	v_SE/v_HB	
		km/h	km/h		
110081	RUR/MW/80/Freeflow	82.8	88.0	106.2%	
110091	RUR/MW/90/Freeflow	92.8	97.0	104.5%	
110101	RUR/MW/100/Freeflow	102.0	103.5	101.4%	
110111	RUR/MW/110/Freeflow	112.0	111.0	99.1%	
110121	RUR/MW/120/Freeflow	122.0	116.0	95.1%	
112091	RUR/Semi-MW/90/Freeflow	88.8	97.7	110.0%	
112111	RUR/Semi-MW/110/Freeflow	107.8	109.0	101.1%	
120071	RUR/Trunk/70/Freeflow	71.0	81.1	114.2%	
120081	RUR/Trunk/80/Freeflow	80.0	88.0	110.0%	16,5 m
120081	RUR/Trunk/80/Freeflow	80.0	85.1	106.4%	13 m
120091	RUR/Trunk/90/Freeflow	88.8	96.5	108.7%	18,5 m
120091	RUR/Trunk/90/Freeflow	88.8	90.8	102.3%	13 m
120101	RUR/Trunk/100/Freeflow	97.8	103.0	105.3%	18,5 m
120101	RUR/Trunk/100/Freeflow	97.8	95.3	97.4%	13 m
120111	RUR/Trunk/110/Freeflow	107.8	109.0	101.1%	18,5 m
120111	RUR/Trunk/110/Freeflow	107.8	99.8	92.6%	13 m
130071	RUR/Distr/70/Freeflow	67.0	76.1	113.7%	
130081	RUR/Distr/80/Freeflow	76.1	79.4	104.3%	
130091	RUR/Distr/90/Freeflow	85.1	83.9	98.6%	
130101	RUR/Distr/100/Freeflow	94.0	85.9	91.4%	
131071	RUR/Distr-sin./70/Freeflow	52.6	71.7	136.4%	
131081	RUR/Distr-sin./80/Freeflow	62.0	75.4	121.6%	
131091	RUR/Distr-sin./90/Freeflow	70.9	80.0	112.8%	
131101	RUR/Distr-sin./100/Freeflow	79.9	81.9	102.5%	
140071	RUR/Local/70/Freeflow	63.7	73.4	115.2%	
140081	RUR/Local/80/Freeflow	72.2	76.9	106.5%	
141071	RUR/Local-sin./70/Freeflow	51.9	69.1	133.1%	
141081	RUR/Local-sin./80/Freeflow	59.8	73.2	122.4%	
210081	URB/MW-Nat./80/Freeflow	79.0	88.0	111.4%	
210091	URB/MW-Nat./90/Freeflow	88.4	96.5	109.1%	
210101	URB/MW-Nat./100/Freeflow	96.9	103.0	106.3%	
210111	URB/MW-Nat./110/Freeflow	106.4	109.0	102.4%	
211071	URB/MW-City/70/Freeflow	69.4	79.0	113.8%	
211081	URB/MW-City/80/Freeflow	79.0	88.0	111.4%	
220071	URB/Trunk-Nat./70/Freeflow	65.9	68.0	103.3%	
220071	URB/Trunk-Nat./70/Freeflow	65.9	68.0	103.3%	
220081	URB/Trunk-Nat./80/Freeflow	74.4	75.0	100.8%	
220081	URB/Trunk-Nat./80/Freeflow	74.4	75.0	100.8%	
221051	URB/Trunk-City/50/Freeflow	49.3	50.7	102.9%	
221051	URB/Trunk-City/50/Freeflow	49.3	50.0	101.4%	
221061	URB/Trunk-City/60/Freeflow	57.2	58.7	102.7%	
221061	URB/Trunk-City/60/Freeflow	57.2	58.5	102.3%	
221071	URB/Trunk-City/70/Freeflow	65.9	65.7	99.8%	
221071	URB/Trunk-City/70/Freeflow	65.9	66.5	101.0%	
221081	URB/Trunk-City/80/Freeflow	74.4	73.2	98.4%	
221081	URB/Trunk-City/80/Freeflow	74.4	74.0	99.5%	
230051	URB/Distr/50/Freeflow	45.1	45.0	99.8%	
230061	URB/Distr/60/Freeflow	52.1	52.0	99.8%	
230071	URB/Distr/70/Freeflow	66.3	58.0	87.5%	
230081	URB/Distr/80/Freeflow	70.1	64.0	91.3%	
240051	URB/Local/50/Freeflow	46.6	41.0	88.0%	
240061	URB/Local/60/Freeflow	51.3	48.0	93.6%	
250031	URB/Access/30/Freeflow	30.9	31.0	100.4%	
250041	URB/Access/40/Freeflow	36.8	34.5	93.8%	
250051	URB/Access/50/Freeflow	45.6	38.0	83.3%	

**Tabelle 4: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für starken Verkehr für Pkw**

IDTS	Traffic situation	heavy			road width m
		v_car_HB3	v_car_SE	v_SE/v_HB	
		km/h	km/h		
110082	RUR/MW/80/Heavy	75.5	83.8	111.0%	
110092	RUR/MW/90/Heavy	84.6	92.2	109.0%	
110102	RUR/MW/100/Heavy	92.8	97.7	105.3%	
110112	RUR/MW/110/Heavy	101.9	104.0	102.1%	
110122	RUR/MW/120/Heavy	111.0	108.3	97.6%	
112092	RUR/Semi-MW/90/Heavy	75.7	94.2	124.5%	
112112	RUR/Semi-MW/110/Heavy	91.0	101.1	111.1%	
120072	RUR/Trunk/70/Heavy	60.4	75.9	125.6%	
120082	RUR/Trunk/80/Heavy	68.0	83.8	123.3%	16,5 m
120082	RUR/Trunk/80/Heavy	68.0	80.1	117.8%	13 m
120092	RUR/Trunk/90/Heavy	75.7	91.7	121.2%	18,5 m
120092	RUR/Trunk/90/Heavy	75.7	84.9	112.2%	13 m
120102	RUR/Trunk/100/Heavy	83.3	97.2	116.7%	18,5 m
120102	RUR/Trunk/100/Heavy	83.3	88.6	106.4%	13 m
120112	RUR/Trunk/110/Heavy	91.0	102.2	112.3%	18,5 m
120112	RUR/Trunk/110/Heavy	91.0	92.1	101.2%	13 m
130072	RUR/Distr/70/Heavy	53.9	68.4	126.8%	
130082	RUR/Distr/80/Heavy	62.0	71.5	115.3%	
130092	RUR/Distr/90/Heavy	69.4	75.0	108.0%	
130102	RUR/Distr/100/Heavy	77.0	76.5	99.4%	
131072	RUR/Distr-sin./70/Heavy	42.3	63.7	150.6%	
131082	RUR/Distr-sin./80/Heavy	49.5	66.9	135.1%	
131092	RUR/Distr-sin./90/Heavy	57.8	70.5	122.0%	
131102	RUR/Distr-sin./100/Heavy	66.9	72.0	107.6%	
140072	RUR/Local/70/Heavy	52.1	66.1	126.9%	
140082	RUR/Local/80/Heavy	57.9	69.3	119.7%	
141072	RUR/Local-sin./70/Heavy	41.9	61.4	146.7%	
141082	RUR/Local-sin./80/Heavy	47.5	65.2	137.4%	
210082	URB/MW-Nat./80/Heavy	71.0	83.8	118.0%	
210092	URB/MW-Nat./90/Heavy	79.5	91.7	115.3%	
210102	URB/MW-Nat./100/Heavy	87.2	97.2	111.5%	
210112	URB/MW-Nat./110/Heavy	95.8	102.2	106.7%	
211072	URB/MW-City/70/Heavy	62.5	75.3	120.6%	
211082	URB/MW-City/80/Heavy	71.0	83.8	118.0%	
220072	URB/Trunk-Nat./70/Heavy	54.6	63.5	116.3%	
220072	URB/Trunk-Nat./70/Heavy	54.6	55.8	102.2%	
220082	URB/Trunk-Nat./80/Heavy	63.6	70.1	110.2%	
220082	URB/Trunk-Nat./80/Heavy	63.6	61.6	96.9%	
221052	URB/Trunk-City/50/Heavy	41.4	49.6	119.9%	
221052	URB/Trunk-City/50/Heavy	41.4	45.6	110.3%	
221062	URB/Trunk-City/60/Heavy	47.2	57.4	121.6%	
221062	URB/Trunk-City/60/Heavy	47.2	50.1	106.1%	
221072	URB/Trunk-City/70/Heavy	54.6	64.2	117.6%	
221072	URB/Trunk-City/70/Heavy	54.6	55.0	100.7%	
221082	URB/Trunk-City/80/Heavy	63.6	71.2	112.0%	
221082	URB/Trunk-City/80/Heavy	63.6	60.7	95.5%	
230052	URB/Distr/50/Heavy	37.0	39.5	106.8%	
230062	URB/Distr/60/Heavy	43.0	43.5	101.1%	
230072	URB/Distr/70/Heavy	50.3	48.0	95.4%	
230082	URB/Distr/80/Heavy	56.5	52.3	92.5%	
240052	URB/Local/50/Heavy	35.8	39.2	109.4%	
240062	URB/Local/60/Heavy	41.9	45.4	108.3%	
250032	URB/Access/30/Heavy	26.9	29.7	110.3%	
250042	URB/Access/40/Heavy	30.3	33.0	109.1%	
250052	URB/Access/50/Heavy	34.5	36.2	104.9%	

**Tabelle 5: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für gesättigten Verkehr für Pkw**

IDTS	Traffic situation	saturated			road width m
		v_car_HB3 km/h	v_car_SE km/h	v_SE/v_HB	
110083	RUR/MW/80/Satur.	66.2	57.2	86.4%	
110093	RUR/MW/90/Satur.	74.4	61.6	82.8%	
110103	RUR/MW/100/Satur.	74.4	65.0	87.4%	
110113	RUR/MW/110/Satur.	74.4	68.9	92.6%	
110123	RUR/MW/120/Satur.	74.4	70.8	95.2%	
112093	RUR/Semi-MW/90/Satur.	64.9	79.2	122.0%	
112113	RUR/Semi-MW/110/Satur.	74.9	79.2	105.8%	
120073	RUR/Trunk/70/Satur.	48.6	67.3	138.4%	
120083	RUR/Trunk/80/Satur.	56.1	57.2	102.1%	16,5 m
120083	RUR/Trunk/80/Satur.	56.1	69.8	124.5%	13 m
120093	RUR/Trunk/90/Satur.	64.9	61.1	94.1%	18,5 m
120093	RUR/Trunk/90/Satur.	64.9	72.3	111.4%	13 m
120103	RUR/Trunk/100/Satur.	68.6	64.5	94.0%	18,5 m
120103	RUR/Trunk/100/Satur.	68.6	73.8	107.5%	13 m
120113	RUR/Trunk/110/Satur.	74.9	67.9	90.7%	18,5 m
120113	RUR/Trunk/110/Satur.	74.9	75.2	100.5%	13 m
130073	RUR/Distr/70/Satur.	43.9	62.0	141.4%	
130083	RUR/Distr/80/Satur.	49.6	65.0	131.2%	
130093	RUR/Distr/90/Satur.	55.6	68.0	122.3%	
130103	RUR/Distr/100/Satur.	61.8	69.6	112.7%	
131073	RUR/Distr-sin./70/Satur.	34.3	56.7	165.4%	
131083	RUR/Distr-sin./80/Satur.	39.1	59.8	152.9%	
131093	RUR/Distr-sin./90/Satur.	44.6	62.8	140.8%	
131103	RUR/Distr-sin./100/Satur.	50.2	64.4	128.4%	
140073	RUR/Local/70/Satur.	40.9	60.0	146.8%	
140083	RUR/Local/80/Satur.	45.5	63.1	138.8%	
141073	RUR/Local-sin./70/Satur.	33.6	54.7	162.8%	
141083	RUR/Local-sin./80/Satur.	37.8	58.4	154.5%	
210083	URB/MW-Nat./80/Satur.	61.5	57.2	93.0%	
210093	URB/MW-Nat./90/Satur.	69.6	61.1	87.8%	
210103	URB/MW-Nat./100/Satur.	69.6	64.5	92.6%	
210113	URB/MW-Nat./110/Satur.	69.6	67.9	97.5%	
211073	URB/MW-City/70/Satur.	54.1	52.4	96.8%	
211083	URB/MW-City/80/Satur.	61.5	57.2	93.0%	
220073	URB/Trunk-Nat./70/Satur.	45.1	38.8	86.0%	
220073	URB/Trunk-Nat./70/Satur.	45.1	37.1	82.2%	
220083	URB/Trunk-Nat./80/Satur.	52.1	42.2	81.0%	
220083	URB/Trunk-Nat./80/Satur.	52.1	40.1	77.0%	
221053	URB/Trunk-City/50/Satur.	35.6	29.0	81.4%	
221053	URB/Trunk-City/50/Satur.	35.6	29.0	81.4%	
221063	URB/Trunk-City/60/Satur.	39.8	32.0	80.4%	
221063	URB/Trunk-City/60/Satur.	39.8	32.0	80.4%	
221073	URB/Trunk-City/70/Satur.	45.1	36.0	79.8%	
221073	URB/Trunk-City/70/Satur.	45.1	36.0	79.8%	
221083	URB/Trunk-City/80/Satur.	52.1	41.0	78.7%	
221083	URB/Trunk-City/80/Satur.	52.1	38.0	73.0%	
230053	URB/Distr/50/Satur.	30.8	27.0	87.7%	
230063	URB/Distr/60/Satur.	34.2	29.0	84.8%	
230073	URB/Distr/70/Satur.	40.6	31.0	76.3%	
230083	URB/Distr/80/Satur.	46.7	33.0	70.7%	
240053	URB/Local/50/Satur.	29.5	25.0	84.7%	
240063	URB/Local/60/Satur.	34.2	26.0	76.0%	
250033	URB/Access/30/Satur.	21.9	19.0	86.6%	
250043	URB/Access/40/Satur.	23.1	21.0	90.8%	
250053	URB/Access/50/Satur.	27.0	23.0	85.2%	



**Bild 12:** Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrssituationen für das Handbuch und die entsprechenden Daten aus Schweden für Pkw

Die Durchschnittsgeschwindigkeiten aus Schweden für schwere Nutzfahrzeuge sind in Tabelle 6 bis Tabelle 8 und Bild 13 den entsprechenden Geschwindigkeiten des Handbuchs gegenübergestellt.

Es ergeben sich ähnliche Tendenzen wie bei den Pkw, allerdings bei teilweise deutlich höheren Unterschieden, vor allem bei gesättigtem Verkehr.

**Tabelle 6: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für frei fließenden Verkehr für schwere Nutzfahrzeuge**

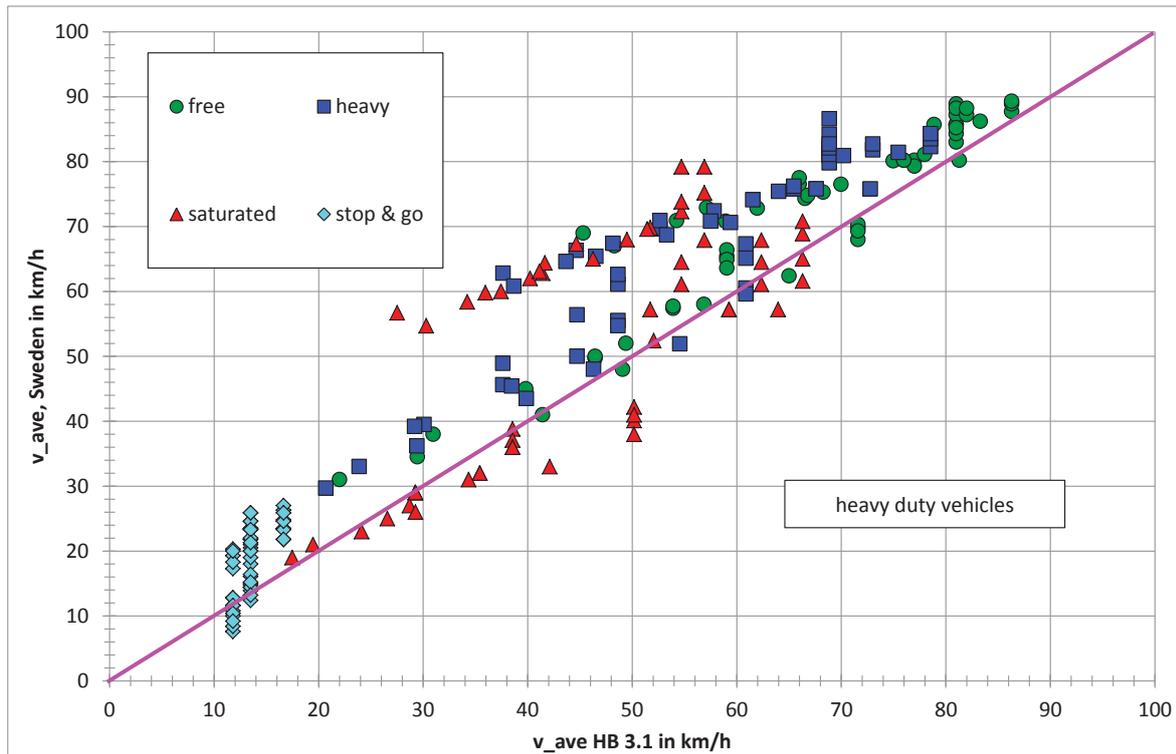
IDTS	Traffic situation	free		v_SE/v_HB	road width m
		v_car_HB3	v_car_SE		
		km/h	km/h		
110081	RUR/MW/80/Freeflow	81.3	80.2	98.6%	
110091	RUR/MW/90/Freeflow	83.3	86.2	103.5%	
110101	RUR/MW/100/Freeflow	86.3	87.7	101.6%	
110111	RUR/MW/110/Freeflow	86.3	88.9	103.0%	
110121	RUR/MW/120/Freeflow	86.3	89.3	103.5%	
112091	RUR/Semi-MW/90/Freeflow	81.0	85.7	105.8%	
112111	RUR/Semi-MW/110/Freeflow	81.0	88.9	109.8%	
120071	RUR/Trunk/70/Freeflow	68.3	75.3	110.3%	
120081	RUR/Trunk/80/Freeflow	77.0	80.2	104.2%	16,5 m
120081	RUR/Trunk/80/Freeflow	77.0	79.3	103.0%	13 m
120091	RUR/Trunk/90/Freeflow	81.0	85.7	105.8%	18,5 m
120091	RUR/Trunk/90/Freeflow	81.0	83.0	102.5%	13 m
120101	RUR/Trunk/100/Freeflow	81.0	87.2	107.7%	18,5 m
120101	RUR/Trunk/100/Freeflow	81.0	84.3	104.1%	13 m
120111	RUR/Trunk/110/Freeflow	81.0	85.2	105.2%	18,5 m
120111	RUR/Trunk/110/Freeflow	81.0	88.2	108.9%	13 m
130071	RUR/Distr/70/Freeflow	62.0	72.8	117.5%	
130081	RUR/Distr/80/Freeflow	70.0	76.5	109.3%	
130091	RUR/Distr/90/Freeflow	75.0	80.1	106.8%	
130101	RUR/Distr/100/Freeflow	78.0	81.1	104.0%	
131071	RUR/Distr-sin./70/Freeflow	45.3	69.0	152.3%	
131081	RUR/Distr-sin./80/Freeflow	57.1	72.9	127.6%	
131091	RUR/Distr-sin./90/Freeflow	66.0	76.5	115.9%	
131101	RUR/Distr-sin./100/Freeflow	66.0	77.5	117.4%	
140071	RUR/Local/70/Freeflow	58.9	70.8	120.1%	
140081	RUR/Local/80/Freeflow	66.5	74.3	111.7%	
141071	RUR/Local-sin./70/Freeflow	48.3	67.0	138.7%	
141081	RUR/Local-sin./80/Freeflow	54.2	70.9	130.7%	
210081	URB/MW-Nat./80/Freeflow	76.0	80.2	105.5%	
210091	URB/MW-Nat./90/Freeflow	78.9	85.7	108.6%	
210101	URB/MW-Nat./100/Freeflow	82.0	87.2	106.4%	
210111	URB/MW-Nat./110/Freeflow	82.0	88.2	107.6%	
211071	URB/MW-City/70/Freeflow	66.8	74.8	112.0%	
211081	URB/MW-City/80/Freeflow	76.0	80.2	105.5%	
220071	URB/Trunk-Nat./70/Freeflow	59.1	65.4	110.8%	
220071	URB/Trunk-Nat./70/Freeflow	59.1	66.4	112.4%	
220081	URB/Trunk-Nat./80/Freeflow	71.6	69.8	97.5%	
220081	URB/Trunk-Nat./80/Freeflow	71.6	70.3	98.2%	
221051	URB/Trunk-City/50/Freeflow	46.5	49.7	107.0%	
221051	URB/Trunk-City/50/Freeflow	46.5	50.0	107.6%	
221061	URB/Trunk-City/60/Freeflow	53.9	57.4	106.5%	
221061	URB/Trunk-City/60/Freeflow	53.9	57.7	107.0%	
221071	URB/Trunk-City/70/Freeflow	59.1	64.9	109.9%	
221071	URB/Trunk-City/70/Freeflow	59.1	63.6	107.7%	
221081	URB/Trunk-City/80/Freeflow	71.6	68.0	95.0%	
221081	URB/Trunk-City/80/Freeflow	71.6	69.3	96.8%	
230051	URB/Distr/50/Freeflow	39.8	45.0	113.0%	
230061	URB/Distr/60/Freeflow	49.4	52.0	105.2%	
230071	URB/Distr/70/Freeflow	56.9	58.0	102.0%	
230081	URB/Distr/80/Freeflow	65.0	62.4	96.0%	
240051	URB/Local/50/Freeflow	41.4	41.0	99.0%	
240061	URB/Local/60/Freeflow	49.1	48.0	97.8%	
250031	URB/Access/30/Freeflow	22.0	31.0	140.8%	
250041	URB/Access/40/Freeflow	29.5	34.5	117.1%	
250051	URB/Access/50/Freeflow	31.0	38.0	122.8%	

**Tabelle 7: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für starken Verkehr für schwere Nutzfahrzeuge**

IDTS	Traffic situation	heavy		v_SE/v_HB	road width m
		v_car_HB3 km/h	v_car_SE km/h		
110082	RUR/MW/80/Heavy	72.8	75.8	104.1%	
110092	RUR/MW/90/Heavy	75.5	81.4	107.8%	
110102	RUR/MW/100/Heavy	78.6	82.3	104.8%	
110112	RUR/MW/110/Heavy	78.6	83.5	106.3%	
110122	RUR/MW/120/Heavy	78.6	84.3	107.3%	
112092	RUR/Semi-MW/90/Heavy	68.9	84.2	122.3%	
112112	RUR/Semi-MW/110/Heavy	68.9	86.6	125.8%	
120072	RUR/Trunk/70/Heavy	57.8	72.4	125.2%	
120082	RUR/Trunk/80/Heavy	65.5	75.8	115.8%	16,5 m
120082	RUR/Trunk/80/Heavy	65.5	76.2	116.4%	13 m
120092	RUR/Trunk/90/Heavy	68.9	80.9	117.5%	18,5 m
120092	RUR/Trunk/90/Heavy	68.9	79.8	115.9%	13 m
120102	RUR/Trunk/100/Heavy	68.9	81.8	118.8%	18,5 m
120102	RUR/Trunk/100/Heavy	68.9	81.1	117.8%	13 m
120112	RUR/Trunk/110/Heavy	68.9	82.1	119.2%	18,5 m
120112	RUR/Trunk/110/Heavy	68.9	82.7	120.1%	13 m
130072	RUR/Distr/70/Heavy	48.2	67.4	139.9%	
130082	RUR/Distr/80/Heavy	57.5	70.8	123.1%	
130092	RUR/Distr/90/Heavy	61.6	74.1	120.4%	
130102	RUR/Distr/100/Heavy	64.0	75.4	117.8%	
131072	RUR/Distr-sin./70/Heavy	37.6	62.8	166.8%	
131082	RUR/Distr-sin./80/Heavy	44.6	66.3	148.5%	
131092	RUR/Distr-sin./90/Heavy	52.7	69.6	132.1%	
131102	RUR/Distr-sin./100/Heavy	52.7	70.9	134.6%	
140072	RUR/Local/70/Heavy	46.5	65.4	140.6%	
140082	RUR/Local/80/Heavy	53.3	68.7	128.9%	
141072	RUR/Local-sin./70/Heavy	38.7	60.8	157.2%	
141082	RUR/Local-sin./80/Heavy	43.7	64.6	147.9%	
210082	URB/MW-Nat./80/Heavy	67.6	75.8	112.1%	
210092	URB/MW-Nat./90/Heavy	70.2	80.9	115.2%	
210102	URB/MW-Nat./100/Heavy	73.0	81.8	112.0%	
210112	URB/MW-Nat./110/Heavy	73.0	82.7	113.3%	
211072	URB/MW-City/70/Heavy	59.4	70.6	118.9%	
211082	URB/MW-City/80/Heavy	67.6	75.8	112.1%	
220072	URB/Trunk-Nat./70/Heavy	48.6	61.1	125.6%	
220072	URB/Trunk-Nat./70/Heavy	48.6	55.5	114.1%	
220082	URB/Trunk-Nat./80/Heavy	60.9	65.1	106.9%	
220082	URB/Trunk-Nat./80/Heavy	60.9	60.5	99.4%	
221052	URB/Trunk-City/50/Heavy	37.6	48.9	129.9%	
221052	URB/Trunk-City/50/Heavy	37.6	45.6	121.2%	
221062	URB/Trunk-City/60/Heavy	44.7	56.4	126.1%	
221062	URB/Trunk-City/60/Heavy	44.7	50.0	111.8%	
221072	URB/Trunk-City/70/Heavy	48.6	54.7	112.5%	
221072	URB/Trunk-City/70/Heavy	48.6	62.6	128.7%	
221082	URB/Trunk-City/80/Heavy	60.9	67.3	110.5%	
221082	URB/Trunk-City/80/Heavy	60.9	59.6	97.9%	
230052	URB/Distr/50/Heavy	30.1	39.5	131.3%	
230062	URB/Distr/60/Heavy	39.9	43.5	109.1%	
230072	URB/Distr/70/Heavy	46.3	48.0	103.6%	
230082	URB/Distr/80/Heavy	54.6	51.9	95.1%	
240052	URB/Local/50/Heavy	29.2	39.2	134.3%	
240062	URB/Local/60/Heavy	38.5	45.4	118.0%	
250032	URB/Access/30/Heavy	20.7	29.7	143.5%	
250042	URB/Access/40/Heavy	23.9	33.0	138.1%	
250052	URB/Access/50/Heavy	29.4	36.2	123.0%	

**Tabelle 8: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für gesättigten Verkehr für schwere Nutzfahrzeuge**

IDTS	Traffic situation	saturated			road width m
		v_car_HB3	v_car_SE	v_SE/v_HB	
		km/h	km/h		
110083	RUR/MW/80/Satur.	64.0	57.2	89.4%	
110093	RUR/MW/90/Satur.	66.3	61.6	92.9%	
110103	RUR/MW/100/Satur.	66.3	65.0	98.1%	
110113	RUR/MW/110/Satur.	66.3	68.9	103.9%	
110123	RUR/MW/120/Satur.	66.3	70.8	106.8%	
112093	RUR/Semi-MW/90/Satur.	54.7	79.2	144.8%	
112113	RUR/Semi-MW/110/Satur.	56.9	79.2	139.2%	
120073	RUR/Trunk/70/Satur.	44.6	67.3	150.8%	
120083	RUR/Trunk/80/Satur.	51.7	57.2	110.6%	16,5 m
120083	RUR/Trunk/80/Satur.	51.7	69.8	135.0%	13 m
120093	RUR/Trunk/90/Satur.	54.7	61.1	111.7%	18,5 m
120093	RUR/Trunk/90/Satur.	54.7	72.3	132.2%	13 m
120103	RUR/Trunk/100/Satur.	54.7	64.5	117.9%	18,5 m
120103	RUR/Trunk/100/Satur.	54.7	73.8	134.9%	13 m
120113	RUR/Trunk/110/Satur.	56.9	75.2	132.2%	18,5 m
120113	RUR/Trunk/110/Satur.	56.9	67.9	119.3%	13 m
130073	RUR/Distr/70/Satur.	40.2	62.0	154.2%	
130083	RUR/Distr/80/Satur.	46.3	65.0	140.5%	
130093	RUR/Distr/90/Satur.	49.5	68.0	137.4%	
130103	RUR/Distr/100/Satur.	51.4	69.6	135.3%	
131073	RUR/Distr-sin./70/Satur.	27.5	56.7	206.0%	
131083	RUR/Distr-sin./80/Satur.	36.0	59.8	166.3%	
131093	RUR/Distr-sin./90/Satur.	41.4	62.8	151.6%	
131103	RUR/Distr-sin./100/Satur.	41.6	64.4	154.7%	
140073	RUR/Local/70/Satur.	37.5	60.0	160.2%	
140083	RUR/Local/80/Satur.	41.1	63.1	153.4%	
141073	RUR/Local-sin./70/Satur.	30.3	54.7	180.6%	
141083	RUR/Local-sin./80/Satur.	34.2	58.4	170.7%	
210083	URB/MW-Nat./80/Satur.	59.3	57.2	96.5%	
210093	URB/MW-Nat./90/Satur.	62.4	61.1	98.0%	
210103	URB/MW-Nat./100/Satur.	62.4	64.5	103.4%	
210113	URB/MW-Nat./110/Satur.	62.4	67.9	108.9%	
211073	URB/MW-City/70/Satur.	52.1	52.4	100.7%	
211083	URB/MW-City/80/Satur.	59.3	57.2	96.5%	
220073	URB/Trunk-Nat./70/Satur.	38.6	38.8	100.6%	
220073	URB/Trunk-Nat./70/Satur.	38.6	37.1	96.2%	
220083	URB/Trunk-Nat./80/Satur.	50.2	42.2	84.1%	
220083	URB/Trunk-Nat./80/Satur.	50.2	40.1	79.9%	
221053	URB/Trunk-City/50/Satur.	29.2	29.0	99.2%	
221053	URB/Trunk-City/50/Satur.	29.2	29.0	99.2%	
221063	URB/Trunk-City/60/Satur.	35.4	32.0	90.4%	
221063	URB/Trunk-City/60/Satur.	35.4	32.0	90.4%	
221073	URB/Trunk-City/70/Satur.	38.6	36.0	93.4%	
221073	URB/Trunk-City/70/Satur.	38.6	36.0	93.4%	
221083	URB/Trunk-City/80/Satur.	50.2	41.0	81.7%	
221083	URB/Trunk-City/80/Satur.	50.2	38.0	75.7%	
230053	URB/Distr/50/Satur.	28.7	27.0	94.1%	
230063	URB/Distr/60/Satur.	29.3	29.0	99.1%	
230073	URB/Distr/70/Satur.	34.3	31.0	90.3%	
230083	URB/Distr/80/Satur.	42.1	33.0	78.4%	
240053	URB/Local/50/Satur.	26.6	25.0	94.1%	
240063	URB/Local/60/Satur.	29.3	26.0	88.9%	
250033	URB/Access/30/Satur.	17.5	19.0	108.8%	
250043	URB/Access/40/Satur.	19.5	21.0	107.9%	
250053	URB/Access/50/Satur.	24.1	23.0	95.4%	



**Bild 13:** Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrssituationen für das Handbuch und die entsprechenden Daten aus Schweden für schwere Nutzfahrzeuge

### 2.2.3 Vergleich mit Fundamentaldiagrammen

Für die Validierung wurden zusätzlich auch Fundamentaldiagramme, also Diagramme, die den Zusammenhang zwischen der Verkehrsbelastung in Fahrzeugen/h und der Durchschnittsgeschwindigkeit aufzeigen.

Folgende Daten standen für die Auswertung zur Verfügung:

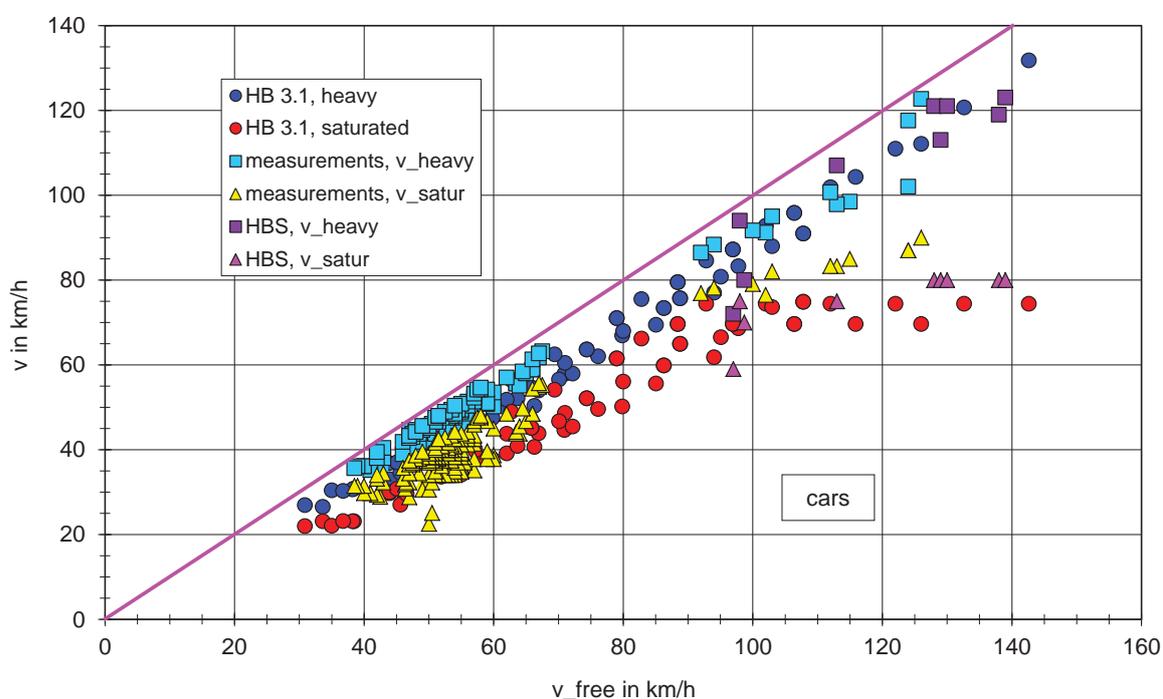
- Stadt Berlin, 37 verschiedene Querschnitte von 4-streifigen Hauptverkehrsstraßen,
- Landesumweltamt NRW,
- Landesumweltamt BW,
- Bundesanstalt für Straßenwesen.

Das HBS enthält darüber hinaus detaillierte Angaben zu Fundamentaldiagrammen und Level of Service für Autobahnen und Außerortsstraßen, die ebenfalls für die Auswertung herangezogen wurden.

Im HBS sind für Außerortsstraßen mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke, dem Lkw-Anteil und der Kurvigkeit in gon/km angegeben (siehe Kapitel 2[1], Seite 5-13). Die dort angegebenen Werte stimmen recht gut mit den entsprechenden Werten des Handbuchs überein.

Ein Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten des Handbuchs mit Ergebnissen aus Fundamentaldiagrammen und den Daten aus dem HBS ist in Bild 14 zusammengefasst. Teilweise ergibt sich eine Tendenz zu leicht höheren Werten für starken und gesättigten Verkehr, häufig stimmen jedoch die Handbuchwerte und die Messergebnisse bzw. die Werte aus dem HBS ganz gut überein.

Fasst man die in den vorherigen Abschnitten dargestellten Vergleiche zusammen, so kommt man zu folgenden Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse sind zu uneinheitlich, um umfassende Änderungen der bestehenden Systematik erforderlich zu machen. Allerdings sollten die Geschwindigkeiten für Semi-Motorway an das schwedische Schema angepasst werden, da diese Straßentypen dort von großer Bedeutung sind. Im Übrigen sollte die Validierung fortgesetzt werden, möglichst unter Einbeziehung von Daten aus weiteren Ländern (Frankreich, Großbritannien, Niederlande u.a.).



**Bild 14: Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten des Handbuchs mit den Ergebnissen aus Fundamentaldiagrammen und dem HBS**

## 2.3 Überprüfung des Zyklenschemas anhand der CO<sub>2</sub>-Emissionen

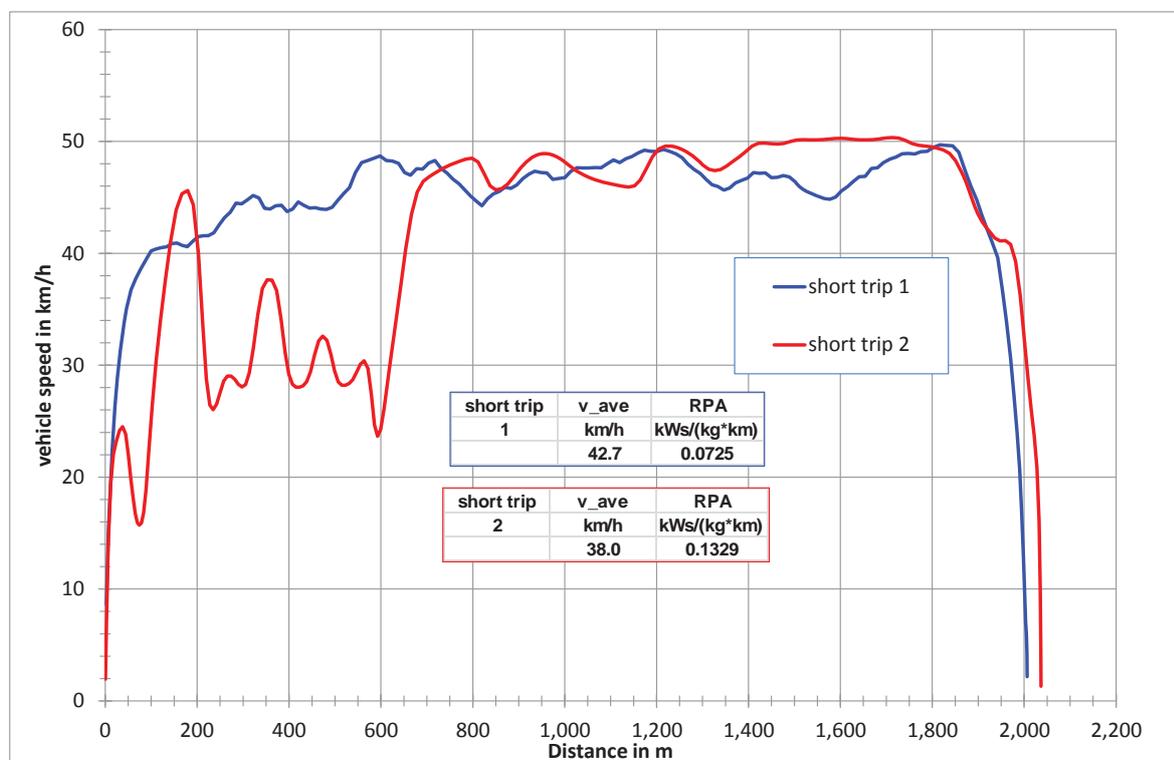
### 2.3.1 Vorbemerkungen

Bei der Erarbeitung der Fahrzyklen für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs wurde nicht nur die Durchschnittsgeschwindigkeit als Parameter betrachtet, sondern auch die Stillstandsanteile und die Dynamik des Zyklus. Beide sollten von frei fließendem Verkehr zu starkem und gesättigtem Verkehr zunehmen.

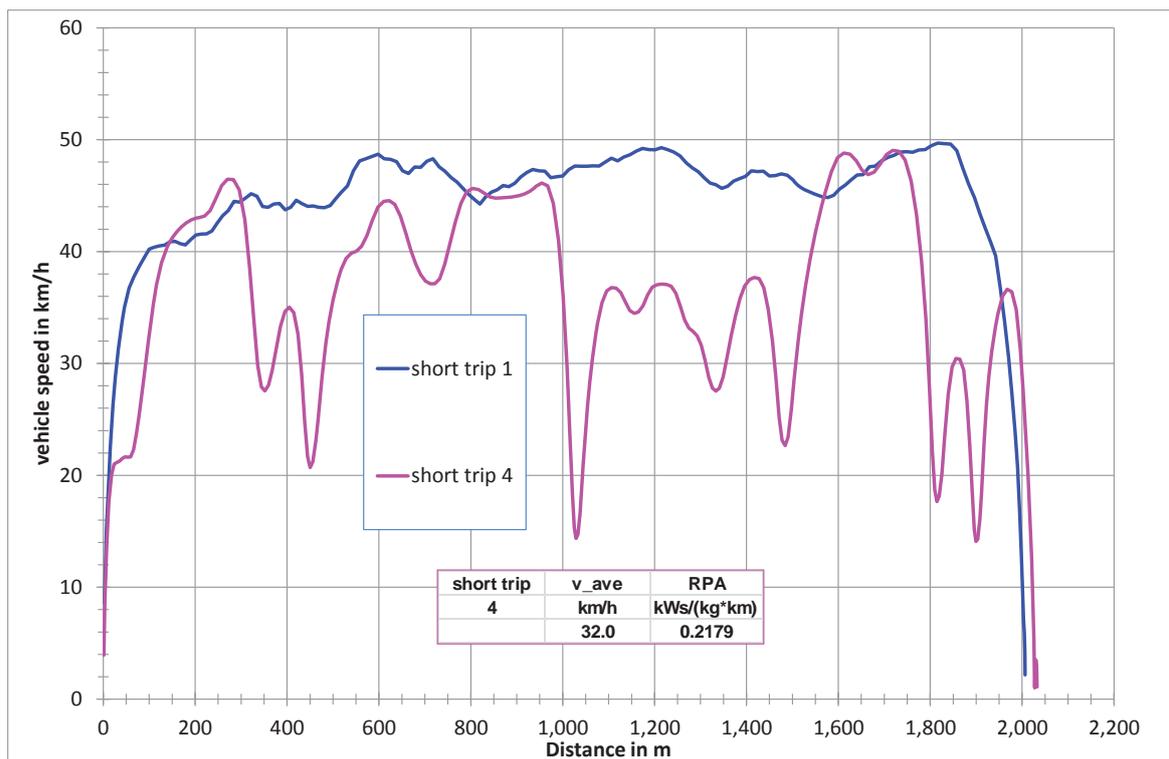
Idealerweise würde man bei der Zyklenentwicklung im Innerortsbereich so vorgehen, dass für die Strecke zwischen zwei Stopps ein für die betrachtete Straßenkategorie repräsentativer Wert zusammen mit der maximalen Geschwindigkeit (Wunschgeschwindigkeit) fest-

gelegt wird. Der Geschwindigkeitsverlauf bei frei fließendem Verkehr orientiert sich dann an der Wunschgeschwindigkeit, mit zunehmender Verkehrsstärke nehmen dann die Störungen und damit Einbrüche im Geschwindigkeitsverlauf zu, wie dies beispielhaft in Bild 15 bis Bild 17 dargestellt ist.

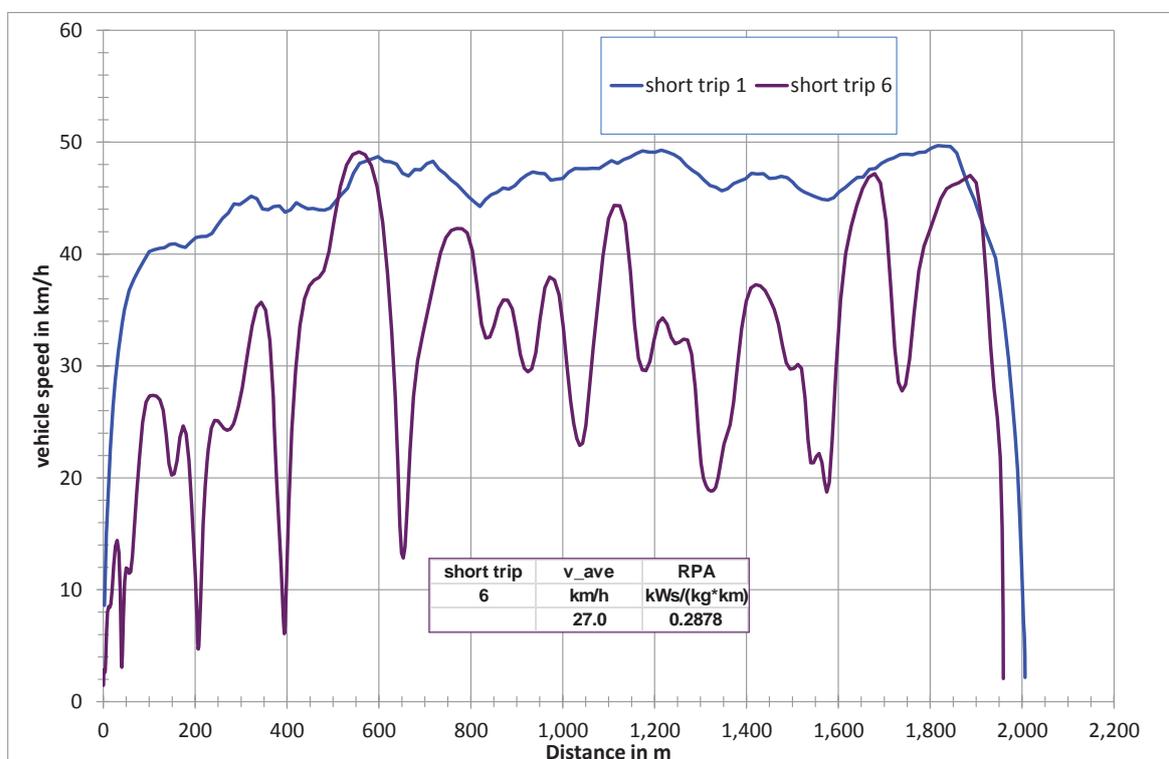
Die Geschwindigkeitsverläufe können dann so gewählt werden, dass sie den gewünschten Level of Service entsprechen. Diese Vorgehensweise setzt aber einen erheblich höheren Umfang an in-use Daten voraus als er bei der Erstellung der Zyklen verfügbar war. Im Rahmen des WLTP-Projektes (Entwicklung einer weltweit harmonisierten Testprozedur für die Messung der Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen im Rahmen der Typprüfung) wurde aber zwischenzeitlich derart umfangreiches Datenmaterial erhoben, so dass diese Methode für die zukünftige Weiterentwicklung des Handbuchs angewendet werden kann. Die dazu notwendigen Berechnungstools stehen bereits zur Verfügung.



**Bild 15:** Geschwindigkeitsverlauf bei Tempo 50 für frei fließenden Verkehr und geringe Störungen



**Bild 16:** Geschwindigkeitsverlauf bei Tempo 50 für frei fließenden Verkehr und mittlere Störungen



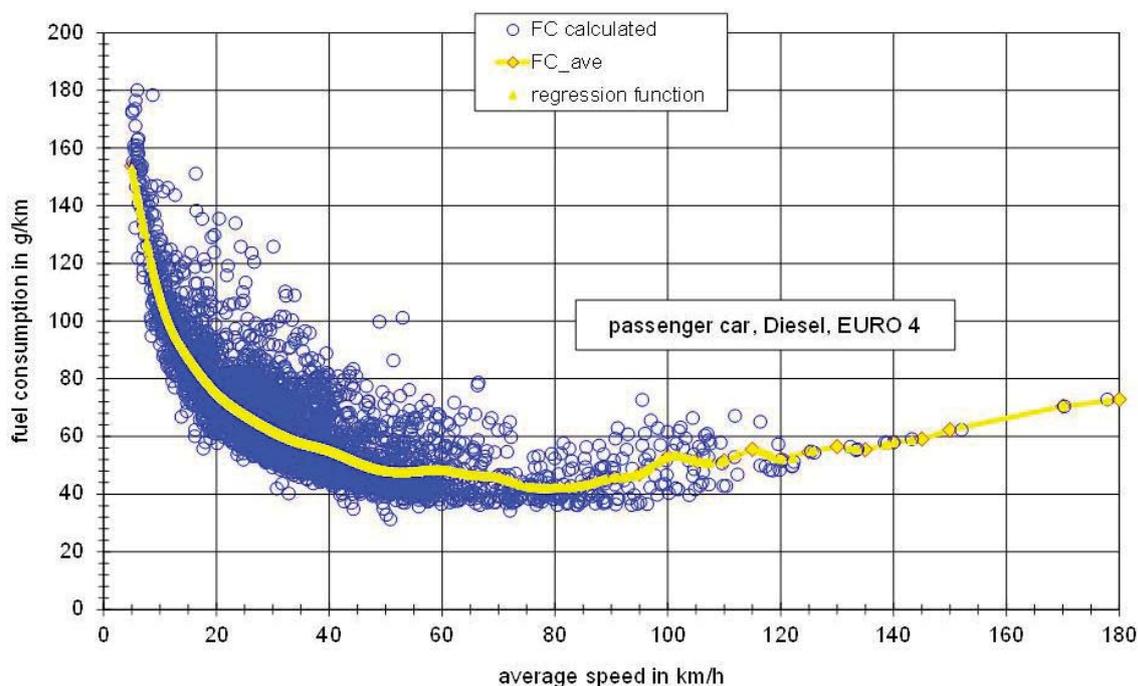
**Bild 17:** Geschwindigkeitsverlauf bei Tempo 50 für frei fließenden Verkehr und starke Störungen

Wie schon erwähnt wurde als Leitgröße für die Dynamik die relative mittlere positive Beschleunigung (RPA) verwendet. Dieser Parameter hatte sich auch bei Sensitivitätsrechnungen mit dem PHEM-Modell als bedeutsam erwiesen, da durch ihn bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. dem Kraftstoffverbrauch und den NO<sub>x</sub>-Emissionen 75% bis 80% der Streuungen bei gegebener Geschwindigkeit erklärt werden können.

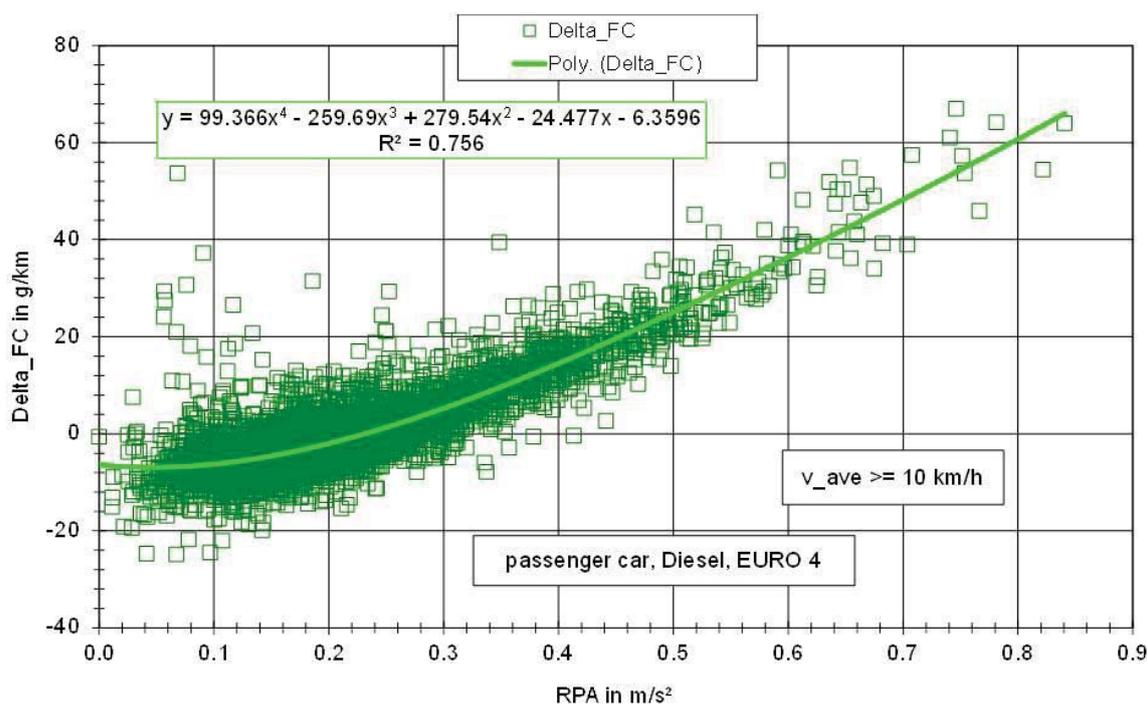
Um dies zu zeigen, sind in Bild 18 die spezifischen Kraftstoffverbrauchswerte in g/km für eine Vielzahl von Fahrzyklen über der Durchschnittsgeschwindigkeit des Fahrzyklus dargestellt. Jeder Punkt repräsentiert einen Fahrzyklus. Es zeigt sich, dass die Verbrauchswerte bei gegebener Durchschnittsgeschwindigkeit erheblich streuen können. Um die Abhängigkeit dieser Streuungen weiter analysieren zu können, wurde die in Bild 18 gelb eingezeichnete Mittelwertlinie bestimmt. Diese hat ihr Minimum zwischen 60 und 90 km/h.

In einem weiteren Schritt wurden dann für jeden Fahrzyklus die Abweichung des individuellen Verbrauchswerts von dieser Mittelwertlinie bestimmt. Diese Abweichungen sind in Bild 19 in Abhängigkeit vom RPA-Wert des jeweiligen Zyklus dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass die Differenzen zur Mittelwertlinie gut mit den RPA-Werten korrelieren. Berücksichtigt sind nur Zyklen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten ab 10 km/h. Unterhalb dieser Durchschnittsgeschwindigkeit wird die Korrelation mit den RPA-Werten zunehmend schlechter.

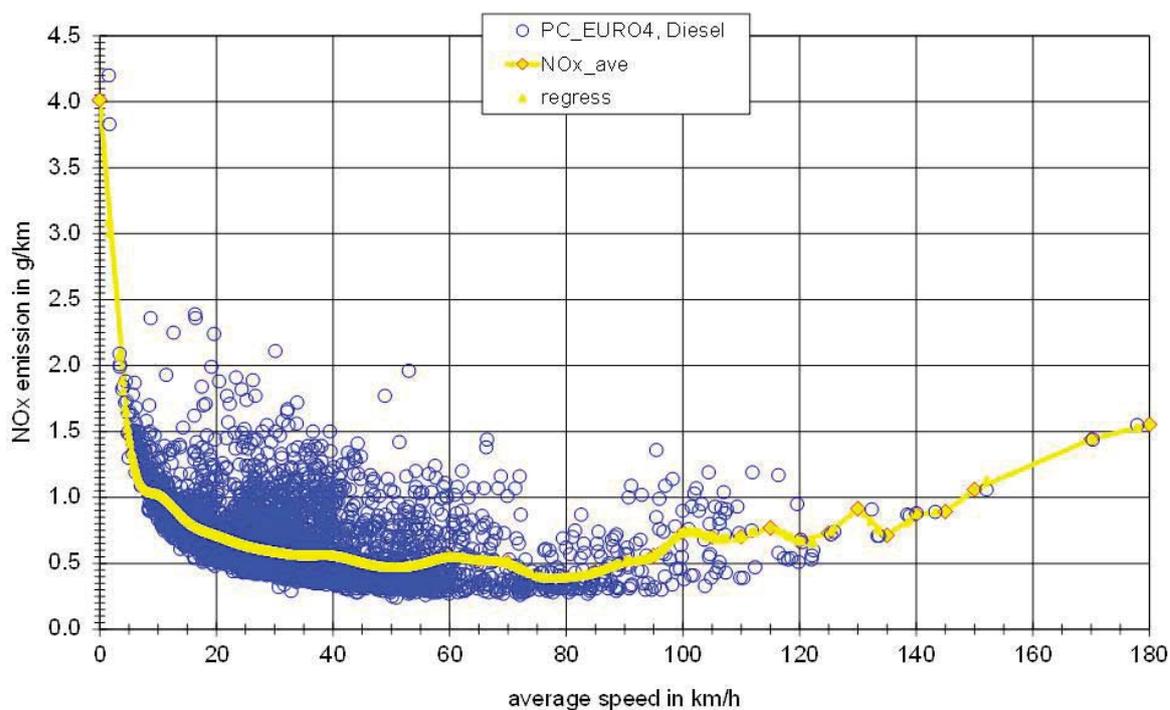
Ähnliche Zusammenhänge ergeben sich auch für die NO<sub>x</sub>-Emissionen (siehe Bild 20 und Bild 21).



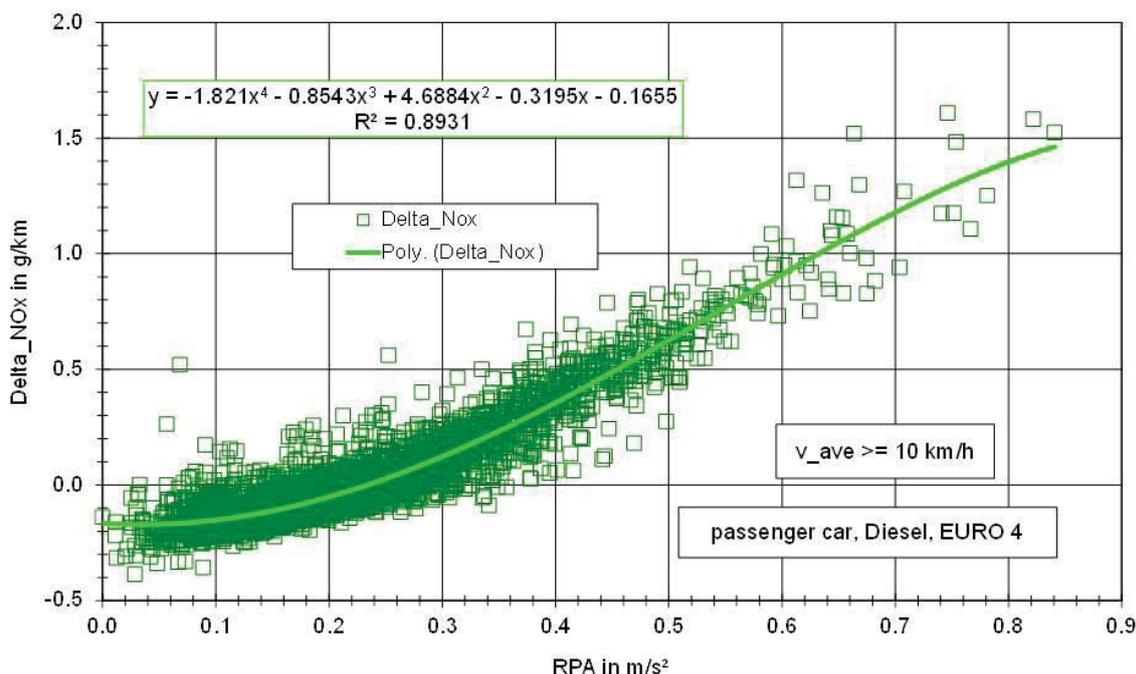
**Bild 18:** Kraftstoffverbrauchsfaktoren einer Vielzahl von Fahrzyklen in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit



**Bild 19:** Abweichungen der Kraftstoffverbrauchsfaktoren von der Mittelwertskurve des vorherigen Bildes in Abhängigkeit von der relativen positiven Beschleunigung



**Bild 20:** NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren einer Vielzahl von Fahrzyklen in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit



**Bild 21:** Abweichungen der NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren von der Mittelwertskurve des vorherigen Bildes in Abhängigkeit von der relativen positiven Beschleunigung

### 2.3.2 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

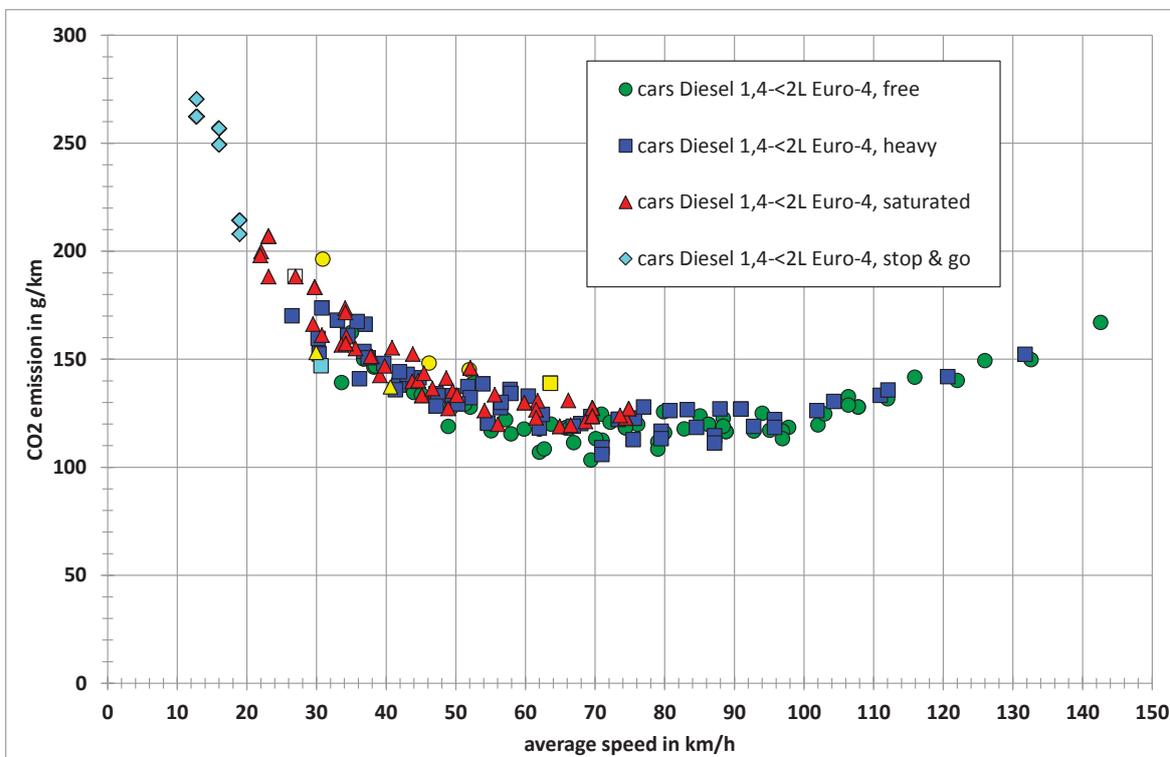
Zur Überprüfung des Zyklenschemas wurden je Fahrzeugkategorie die CO<sub>2</sub>-Emissionen für verschiedene Fahrzeugschichten über den Durchschnittsgeschwindigkeiten dargestellt. In die Analysen wurden Pkw und leichte Nutzfahrzeuge der Eurostufen 2 bis 5 einbezogen, wobei bei den leichten Nutzfahrzeugen nur Dieselmotoren berücksichtigt wurden.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von Pkw sind für alle Verkehrssituationen des Handbuchs in Bild 22 bis Bild 24 beispielhaft in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit der zugrundeliegenden Zyklen getrennt nach Verkehrsbelastungskategorie für drei verschiedene Fahrzeugschichten dargestellt. Erwartungsgemäß zeigt sich derselbe Trend wie in Bild 18, allerdings bei geringerer Streubreite. In Tabelle 9 sind Geschwindigkeiten und Emissionen für eine dieser Fahrzeugschichten auch zahlenmäßig dargestellt.

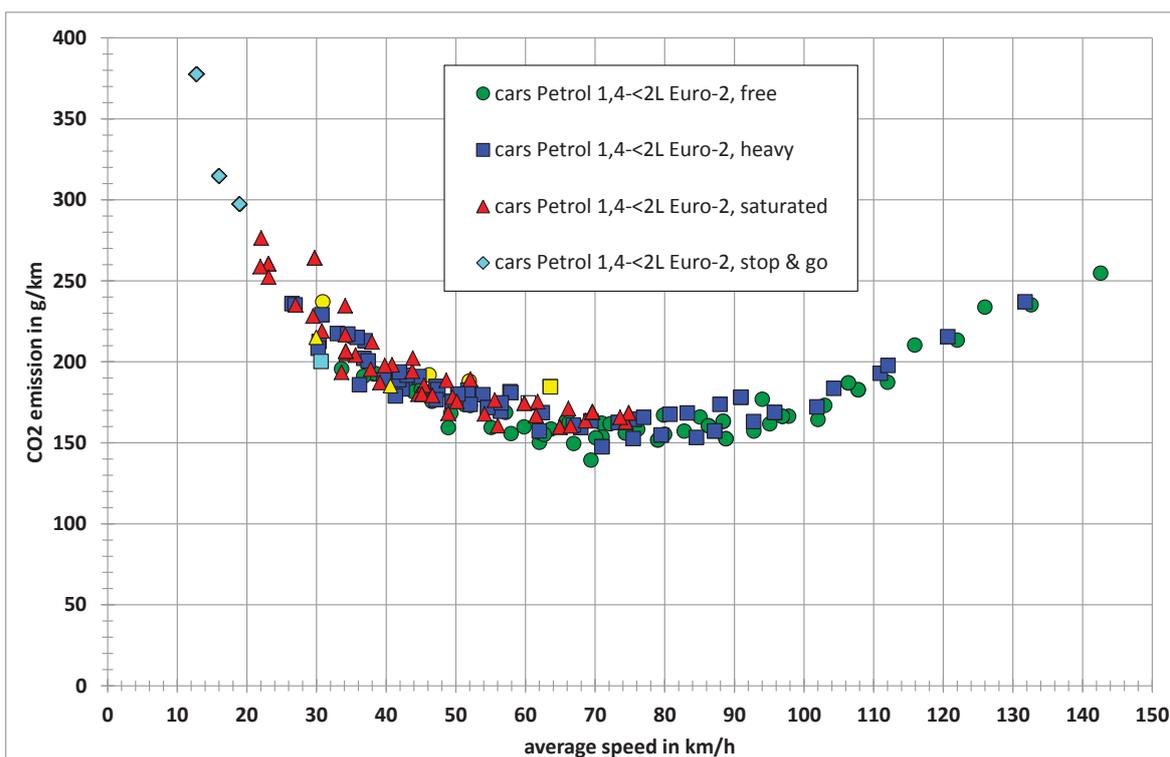
Man würde zunächst erwarten, dass die Faktoren für frei fließenden Verkehr immer am unteren Rand des Streubandes liegen und diejenigen für gesättigten Verkehr immer am oberen Rand des Streubandes. In den Bildern ist unschwer zu erkennen, dass dies nicht immer der Fall ist. Das muss auch nicht zwangsläufig so sein, denn der Verkehrsverlauf auf Autobahnen entspricht sicher nicht dem Verkehrsverlauf auf städtischen Hauptverkehrsstraßen, auch wenn Durchschnittsgeschwindigkeiten ähnlich sein können.

Was aber allen Bildern gemeinsam ist, ist die Tatsache, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Geschwindigkeitsbereich von 60 km/h bis 90 km/h am geringsten sind und mit abnehmender Geschwindigkeit unterhalb dieses Bereichs und zunehmender Geschwindigkeit oberhalb

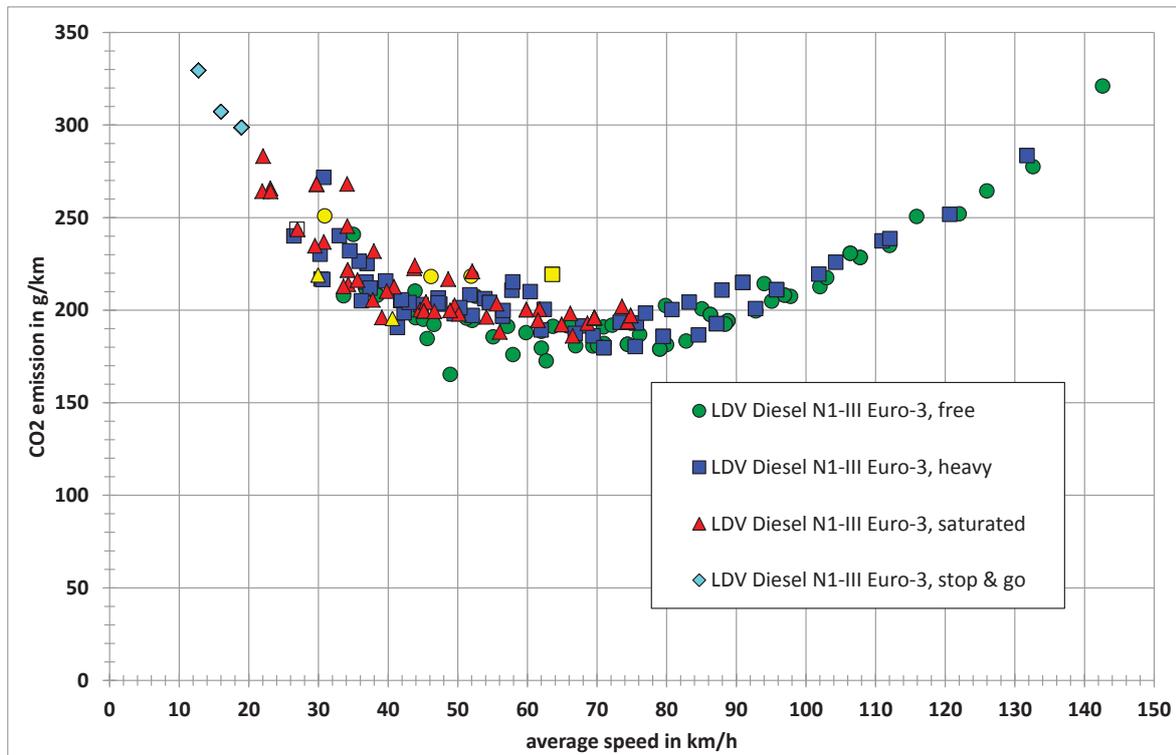
dieses Bereichs zunehmen. In einem weiteren Schritt wurde daher geprüft, ob die Abhängigkeit der Emissionsfaktoren bei gegebener Straßenkategorie und Verkehrsbelastung in Abhängigkeit vom Tempolimit diese Tendenzen plausibel wiedergeben.



**Bild 22:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw Euro 4 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



**Bild 23:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Otto-Pkw Euro 2 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



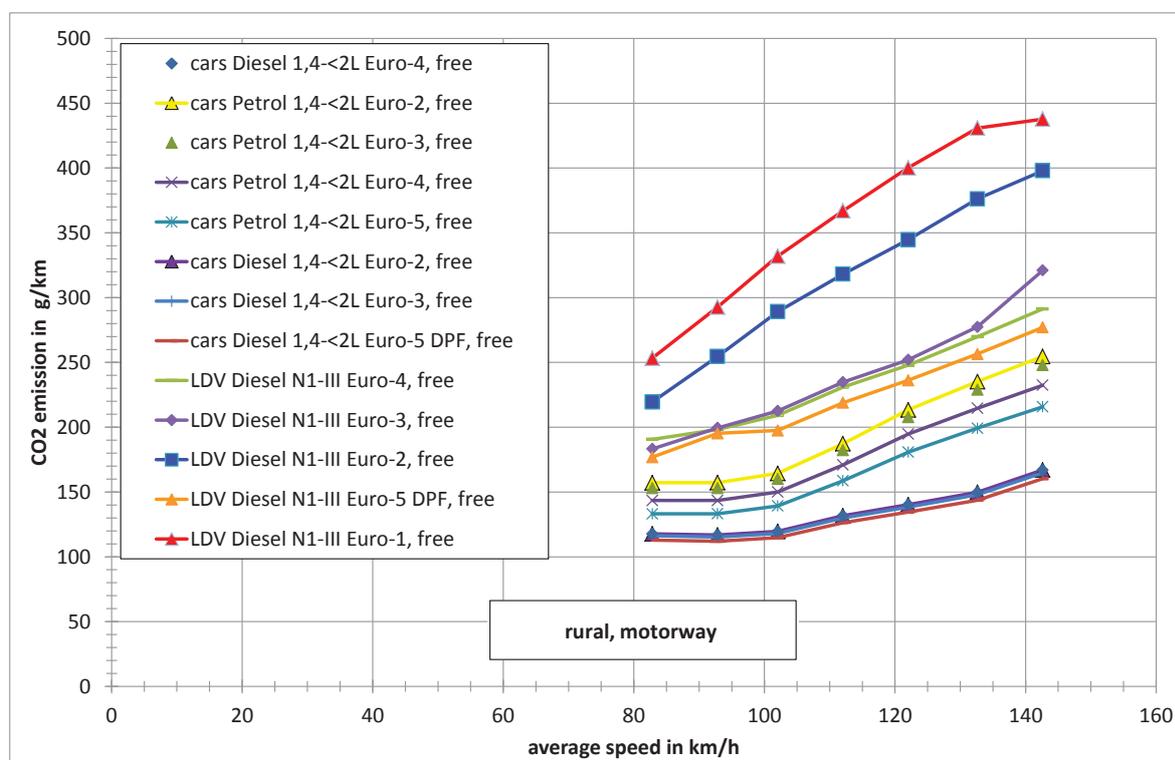
**Bild 24:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für leichte Nutzfahrzeuge N1-III mit Dieselmotor Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung

**Tabelle 9: Durchschnittsgeschwindigkeiten und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Diesel Pkw 1,4 – 2 l Euro 4 für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs**

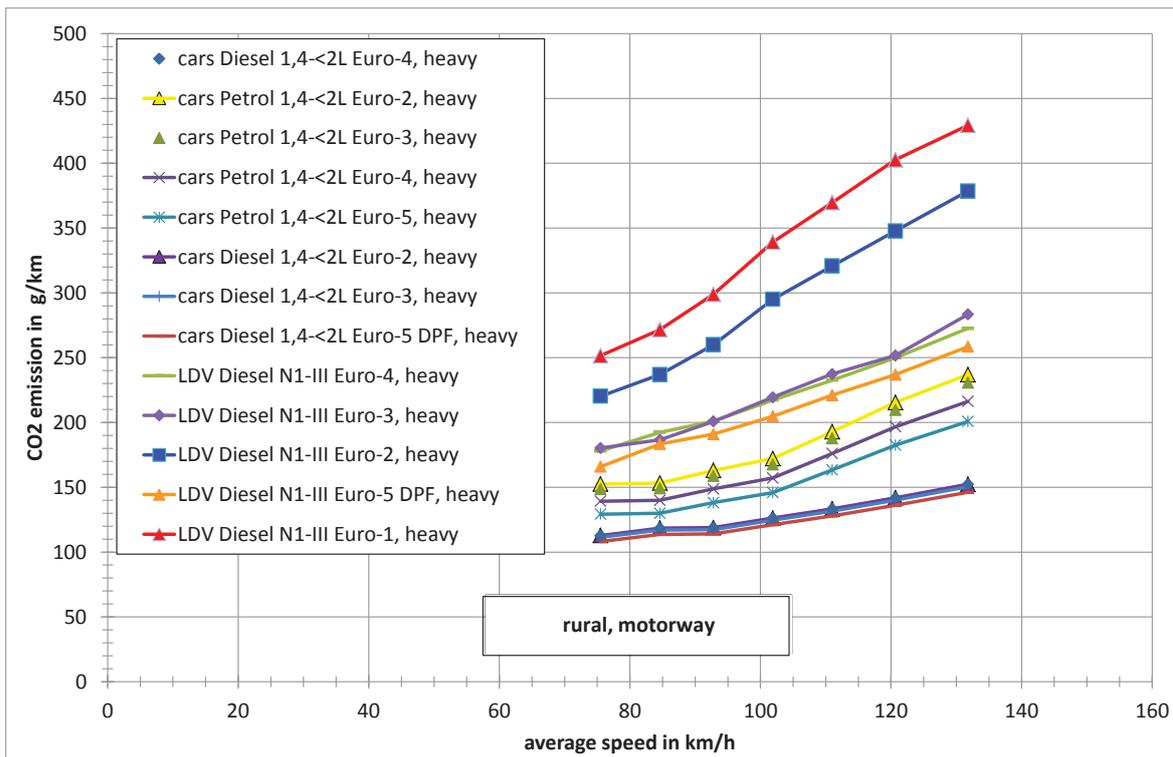
Road category	v_ave in km/h				CO <sub>2</sub> -Emission in g/km			
	free	heavy	saturated	stop & go	free	heavy	saturated	stop & go
RUR/MW/80	82.8	75.5	66.2	19.0	117.7	112.7	130.9	214.3
RUR/MW/90	92.8	84.6	74.4	19.0	116.7	118.4	122.8	214.3
RUR/MW/100	102.0	92.8	74.4	19.0	119.6	118.8	122.8	214.3
RUR/MW/110	112.0	101.9	74.4	19.0	131.6	126.2	122.8	214.3
RUR/MW/120	122.0	111.0	74.4	19.0	140.1	133.2	122.8	214.3
RUR/MW/130	132.6	120.7	74.4	19.0	149.7	141.9	122.8	214.3
RUR/MW/>130	142.6	131.8	74.4	19.0	167.0	152.2	122.8	214.3
RUR/Semi-MW/90	88.8	75.7	64.9	16.0	116.4	122.7	118.9	256.9
RUR/Semi-MW/110	107.8	91.0	74.9	16.0	127.9	126.8	127.2	256.9
RUR/Trunk/60	62.0	51.8	43.8	16.0	106.9	137.3	139.7	249.2
RUR/Trunk/70	71.0	60.4	48.6	16.0	112.4	132.8	141.2	256.9
RUR/Trunk/80	80.0	68.0	56.0	16.0	115.9	120.1	119.8	256.9
RUR/Trunk/90	88.8	75.7	64.9	16.0	116.4	122.6	118.9	256.9
RUR/Trunk/100	97.8	83.3	68.6	16.0	118.4	126.6	121.2	256.9
RUR/Trunk/110	107.8	91.0	74.9	16.0	127.8	126.8	127.1	256.9
RUR/Distr/50	49.0	39.7	34.1	16.0	118.8	148.0	173.7	249.2
RUR/Distr/60	58.0	47.2	38.0	16.0	115.4	134.0	151.3	249.2
RUR/Distr/70	67.0	53.9	43.8	16.0	111.3	138.5	152.3	256.9
RUR/Distr/80	76.1	62.0	49.6	16.0	119.8	118.1	135.3	256.9
RUR/Distr/90	85.1	69.4	55.6	16.0	123.6	123.4	133.6	256.9
RUR/Distr/100	94.0	77.0	61.8	16.0	124.9	127.8	130.7	256.9
RUR/Distr-sin./50	35.0	30.4	22.0	16.0	162.3	152.4	199.9	249.2
RUR/Distr-sin./60	43.9	36.8	29.9	16.0	136.7	153.6	153.2	249.2
RUR/Distr-sin./70	52.6	42.3	34.3	16.0	139.1	140.7	160.5	256.9
RUR/Distr-sin./80	62.0	49.5	39.1	16.0	117.6	133.1	142.5	256.9
RUR/Distr-sin./90	70.9	57.8	44.6	16.0	124.4	136.0	140.1	256.9
RUR/Distr-sin./100	79.9	66.9	50.2	16.0	125.6	118.9	133.3	256.9
RUR/Local/50	46.5	37.4	29.7	12.8	134.3	150.6	183.3	262.4
RUR/Local/60	55.1	44.7	34.2	12.8	116.8	141.3	171.6	262.4
RUR/Local/70	63.7	52.1	40.9	12.8	119.8	132.2	155.3	270.4
RUR/Local/80	72.2	57.9	45.4	12.8	120.7	134.1	143.5	270.4
RUR/Local-sin./50	38.2	30.6	23.1	12.8	146.3	147.0	207.0	262.4
RUR/Local-sin./60	46.2	36.2	29.7	12.8	148.2	140.9	183.3	262.4
RUR/Local-sin./70	51.9	41.8	33.6	12.8	145.1	138.0	156.6	270.4
RUR/Local-sin./80	59.8	47.5	37.8	12.8	117.6	133.0	151.3	270.4
RUR/Access/30	33.6	26.5	23.1	12.8	139.1	170.0	207.0	262.4
RUR/Access/40	38.4	30.8	23.1	12.8	146.8	173.6	207.0	262.4
RUR/Access/50	44.0	33.0	29.7	12.8	134.5	168.0	183.3	262.4
URB/MW-Nat./80	79.0	71.0	61.5	19.0	111.7	109.1	126.6	214.3
URB/MW-Nat./90	88.4	79.5	69.6	19.0	122.5	116.6	127.4	214.3
URB/MW-Nat./100	96.9	87.2	69.6	19.0	116.7	114.5	127.4	214.3
URB/MW-Nat./110	106.4	95.8	69.6	19.0	132.6	122.0	127.4	214.3
URB/MW-Nat./120	115.9	104.3	69.6	19.0	141.6	130.4	127.4	214.3
URB/MW-Nat./130	126.0	112.1	69.6	19.0	149.3	135.7	127.4	214.3
URB/MW-City/60	62.7	56.4	48.9	12.8	108.4	127.5	127.3	262.4
URB/MW-City/70	69.4	62.4	54.1	12.8	103.3	124.4	126.2	262.4
URB/MW-City/80	79.0	71.0	61.5	19.0	108.3	105.8	122.8	207.9
URB/MW-City/90	88.4	79.5	69.6	19.0	118.9	113.2	123.6	207.9
URB/MW-City/100	96.9	87.2	69.6	19.0	113.2	111.1	123.6	207.9
URB/MW-City/110	106.4	95.8	69.6	19.0	128.7	118.4	123.6	207.9
URB/Trunk-Nat./70	65.9	54.6	45.1	16.0	118.2	120.3	133.2	249.2
URB/Trunk-Nat./80	74.4	63.6	52.1	16.0	118.2	138.9	145.9	256.9
URB/Trunk-Nat./90	86.3	73.4	59.8	16.0	119.8	122.1	129.8	256.9
URB/Trunk-Nat./100	95.1	80.8	66.5	16.0	117.1	126.1	119.4	256.9
URB/Trunk-Nat./110	103.0	88.0	73.6	16.0	124.7	127.0	123.9	256.9
URB/Trunk-City/50	49.3	41.4	35.6	12.8	127.3	135.8	154.9	262.4
URB/Trunk-City/60	57.2	47.2	39.8	12.8	121.9	128.2	146.9	262.4
URB/Trunk-City/70	65.9	54.6	45.1	16.0	118.2	120.3	133.2	249.2
URB/Trunk-City/80	74.4	63.6	52.1	16.0	118.2	138.9	145.9	256.9
URB/Trunk-City/90	86.3	73.4	59.8	16.0	119.8	122.1	129.8	256.9
URB/Distr/50	45.1	37.0	30.8	12.8	133.6	166.1	161.1	262.4
URB/Distr/60	52.1	43.0	34.2	12.8	127.7	142.9	157.3	262.4
URB/Distr/70	66.3	50.3	40.6	16.0	117.9	129.3	137.2	249.2
URB/Distr/80	70.1	56.5	46.7	16.0	113.1	129.9	136.4	256.9
URB/Local/50	46.6	35.8	29.5	12.8	134.8	167.4	166.2	262.4
URB/Local/60	51.3	41.9	34.2	12.8	129.0	144.1	157.3	262.4
URB/Access/30	30.9	26.9	21.9	12.8	196.4	188.2	198.0	262.4
URB/Access/40	36.8	30.3	23.1	12.8	150.0	159.5	188.3	262.4
URB/Access/50	45.6	34.5	27.0	12.8	135.0	161.0	188.2	262.4

Dazu sind in Bild 25 die Emissionsfaktoren für die Straßenkategorien Autobahn außerorts jeweils für unterschiedliche Tempolimits und frei fließendem Verkehr und alle in die Analyse einbezogenen Fahrzeugschichten dargestellt. Bild 26 zeigt entsprechende Ergebnisse für die Verkehrsbelastungsklasse „starker Verkehr“, Bild 27 für die Verkehrsbelastungsklasse „gesättigter Verkehr“. In Bild 28 bis Bild 36 sind vergleichbare Ergebnisse für die Straßentypen Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion, kurvigen, regionalen Außerortsstraßen und innerörtlichen Durchgangsstraßen.

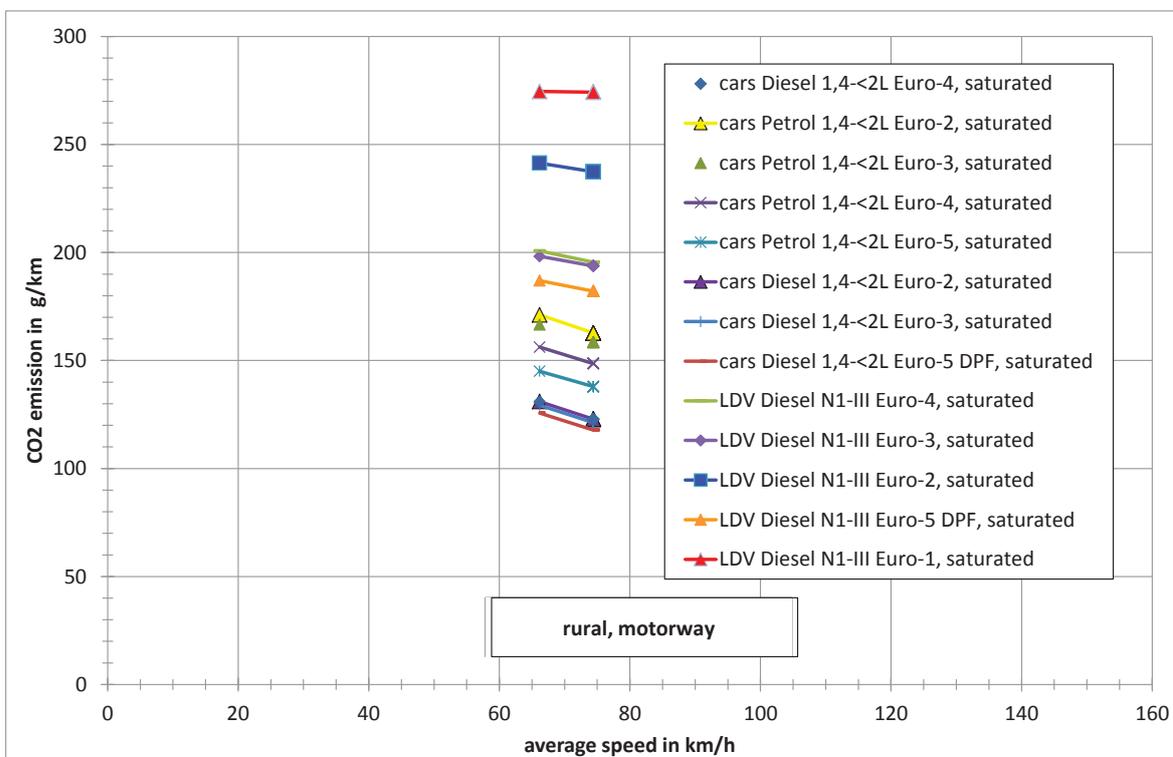
Für die beiden letztgenannten Straßenkategorien zeigen sich für starken und gesättigten Verkehr Verläufe, die nicht immer dem erwarteten Trend entsprechen, allerdings weniger ausgeprägt bei den jüngeren Fahrzeugschichten. Diese sind zum Teil dadurch zu erklären, dass die RPA-Werte nicht immer mit zunehmender Verkehrsstärke zunehmen.



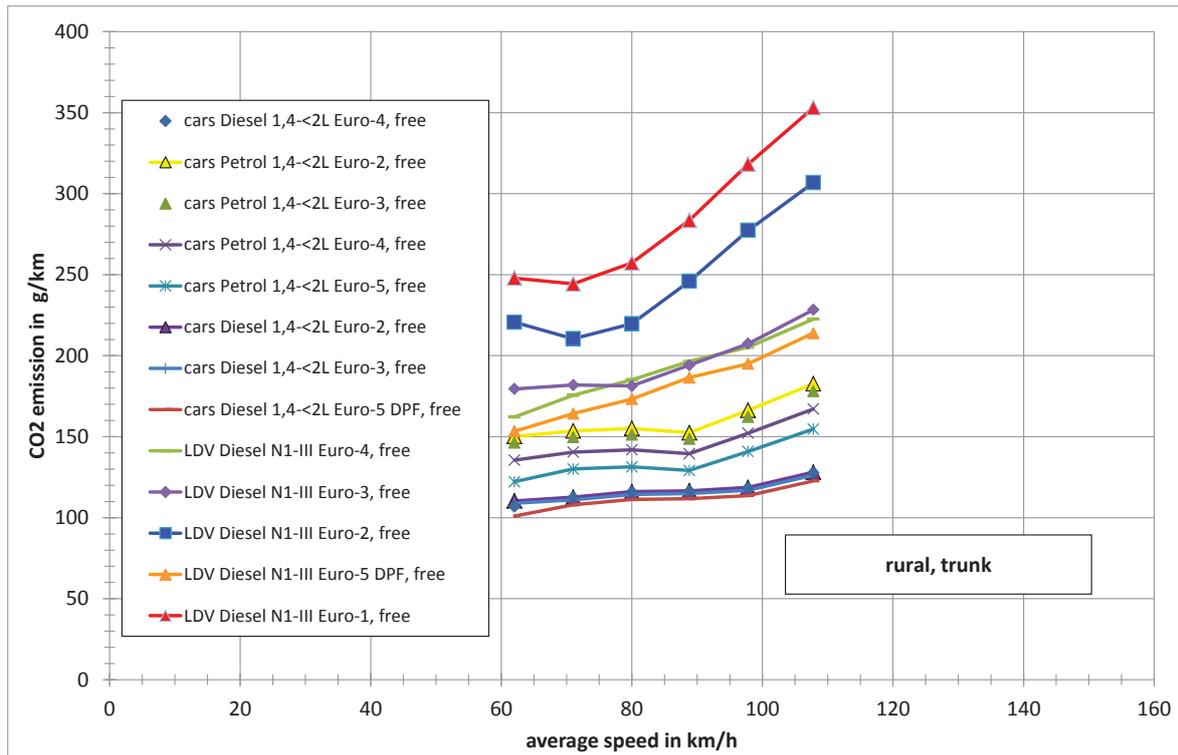
**Bild 25:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Autobahnen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



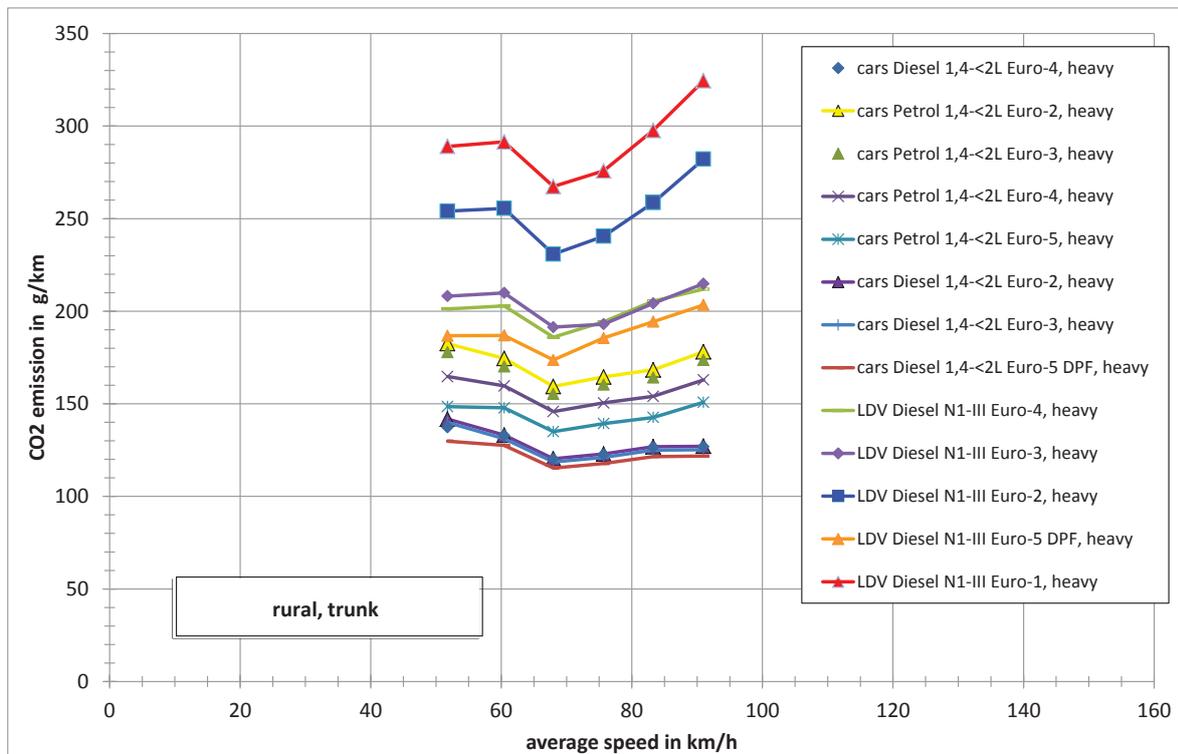
**Bild 26:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Autobahnen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



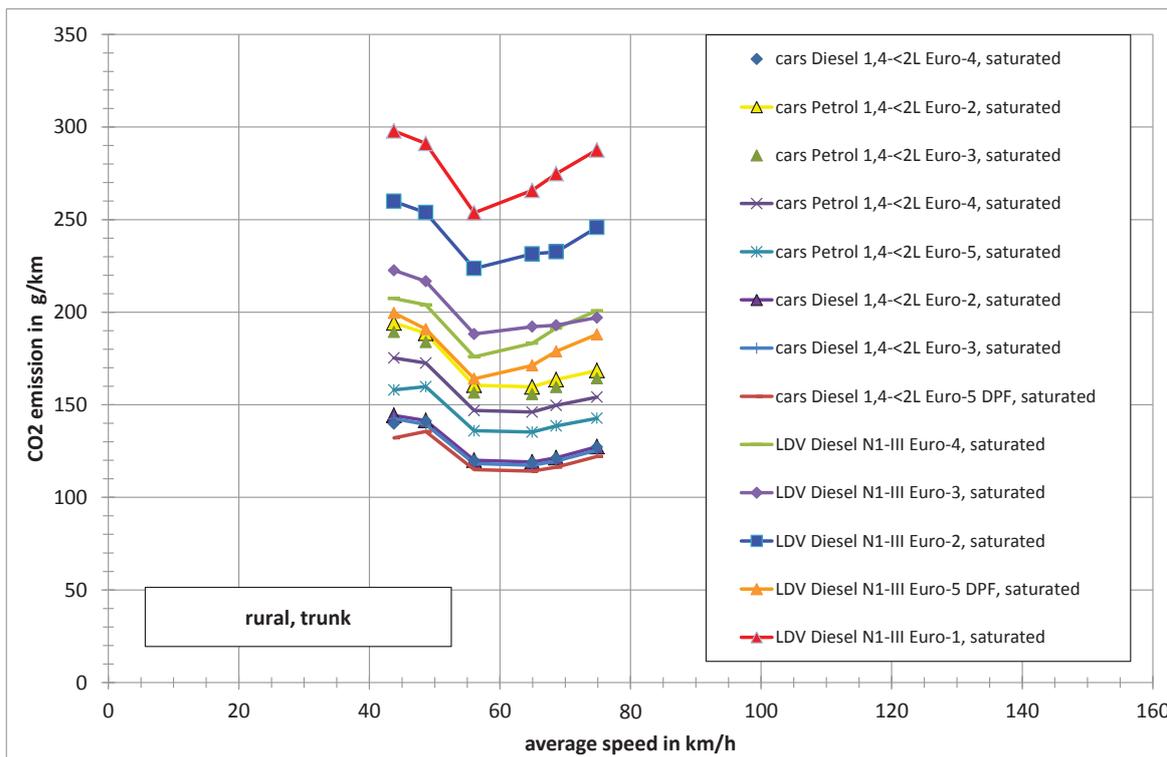
**Bild 27:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Autobahnen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



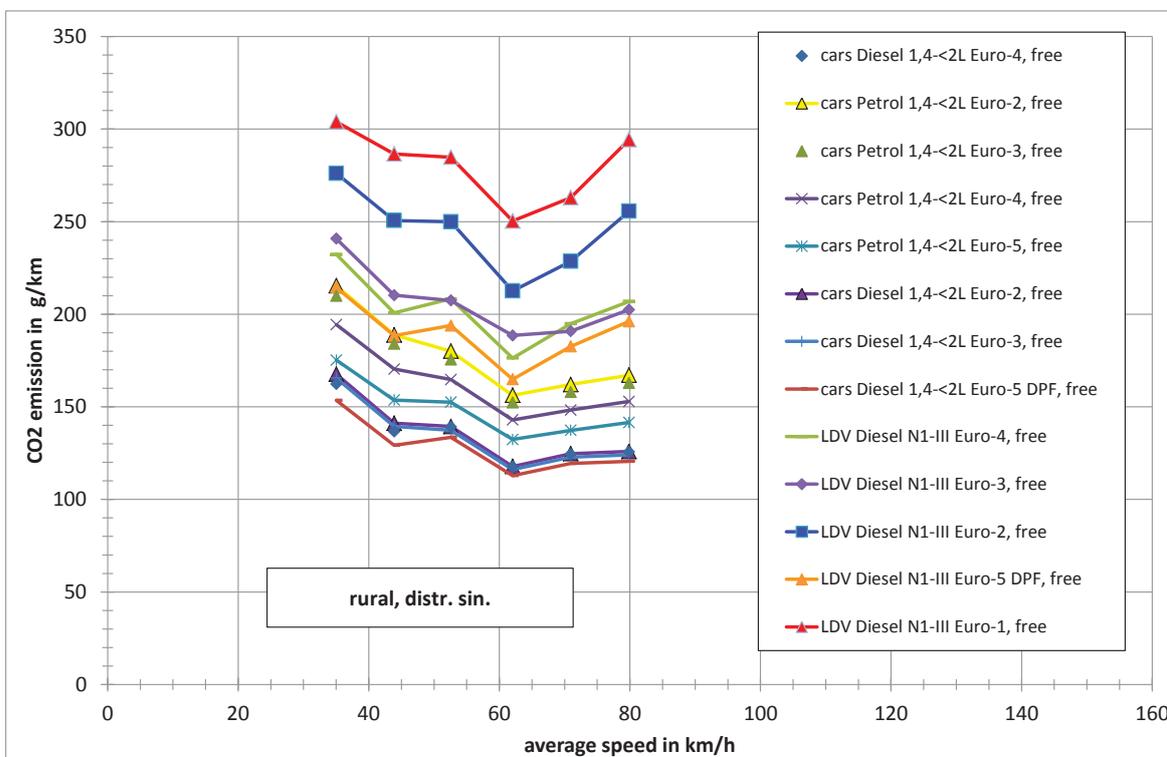
**Bild 28:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



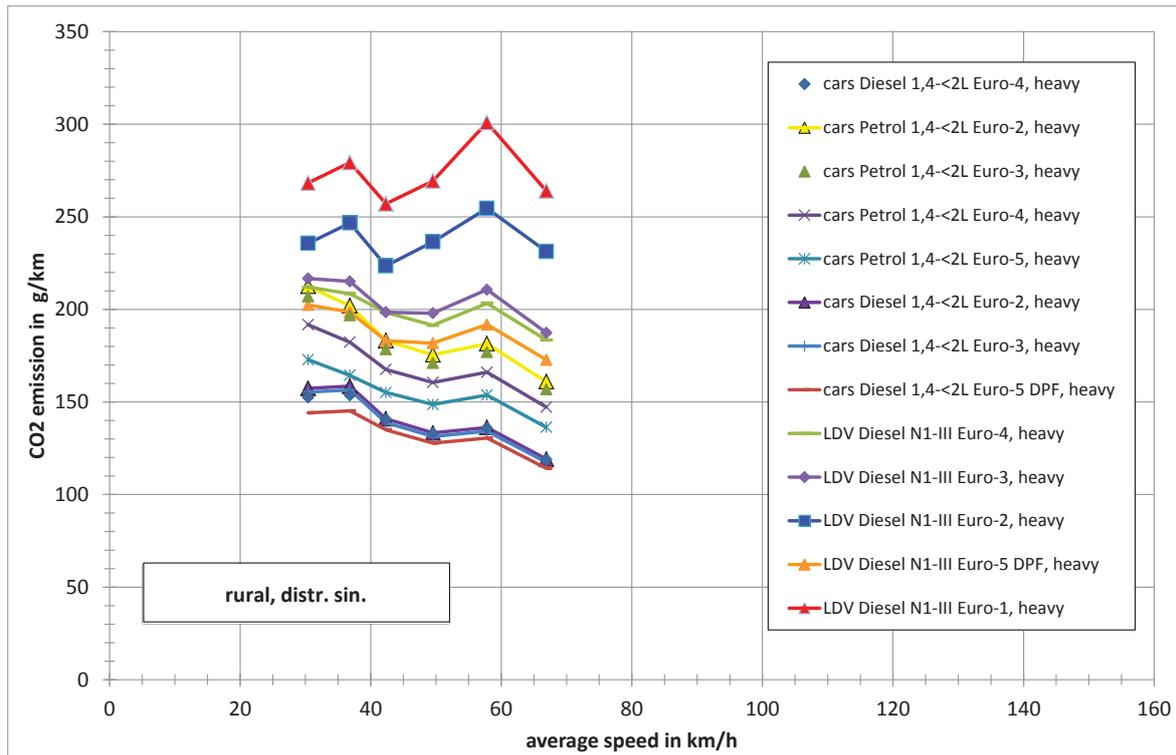
**Bild 29:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



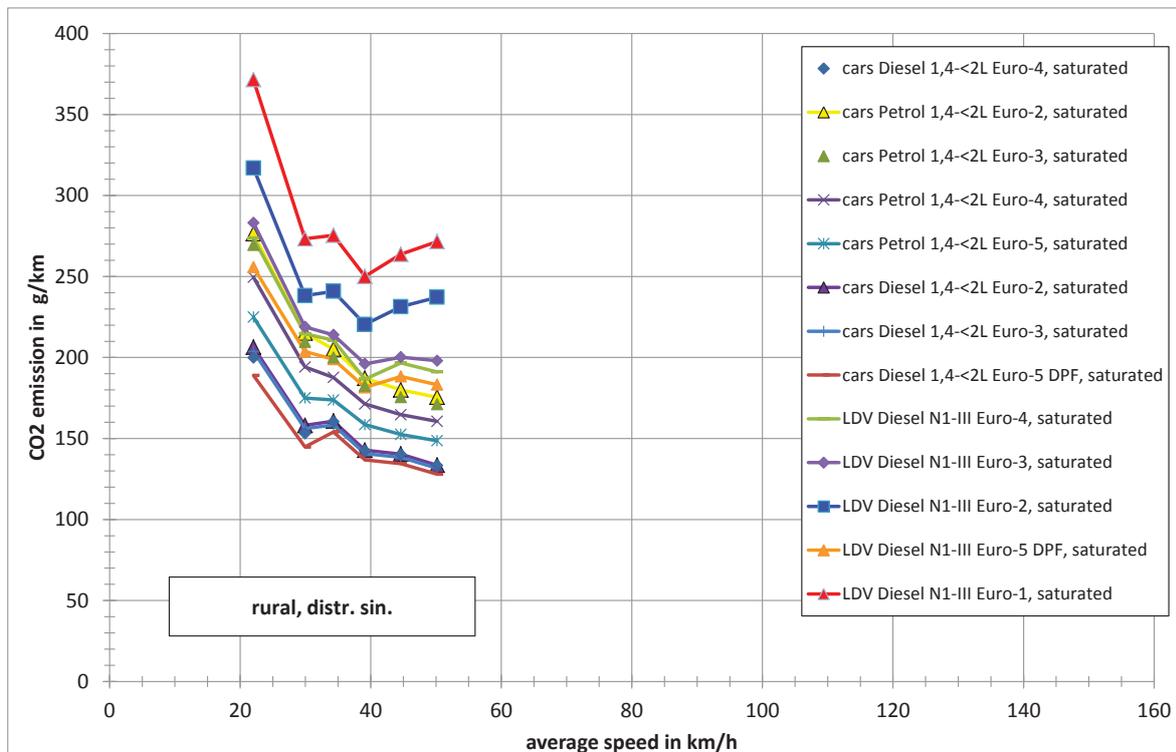
**Bild 30:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



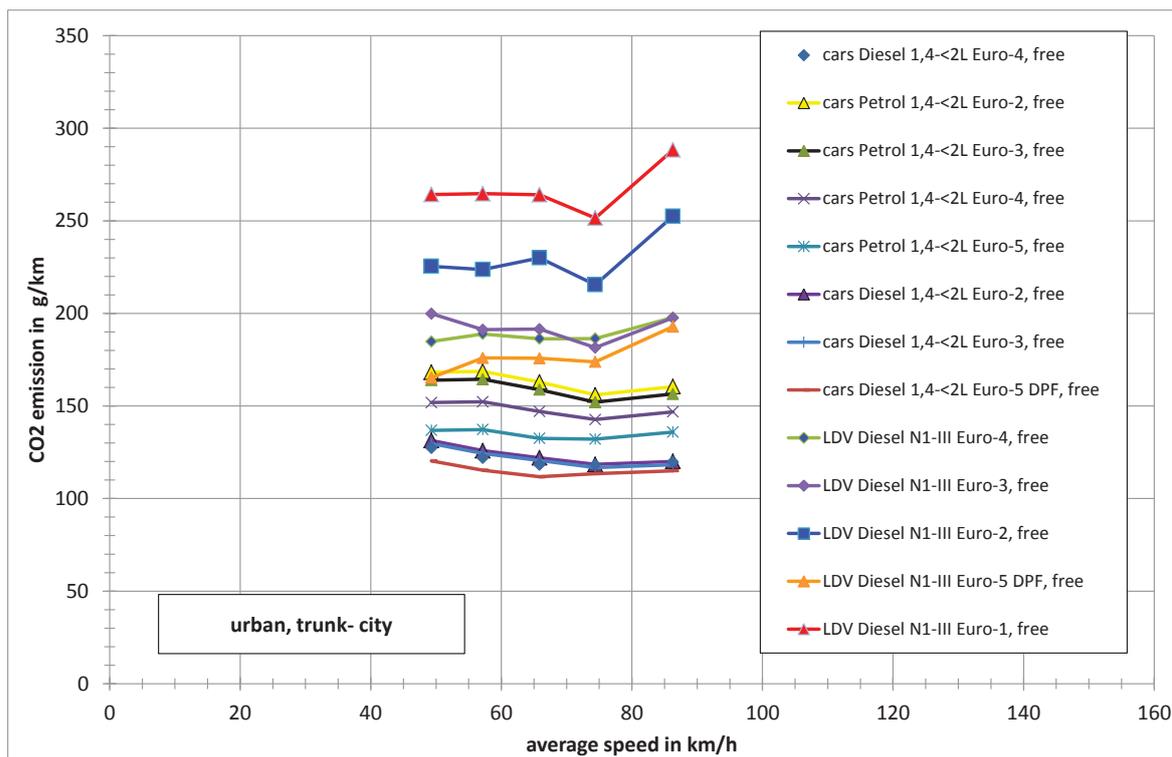
**Bild 31:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf kurvigen, regionalen Außerortsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



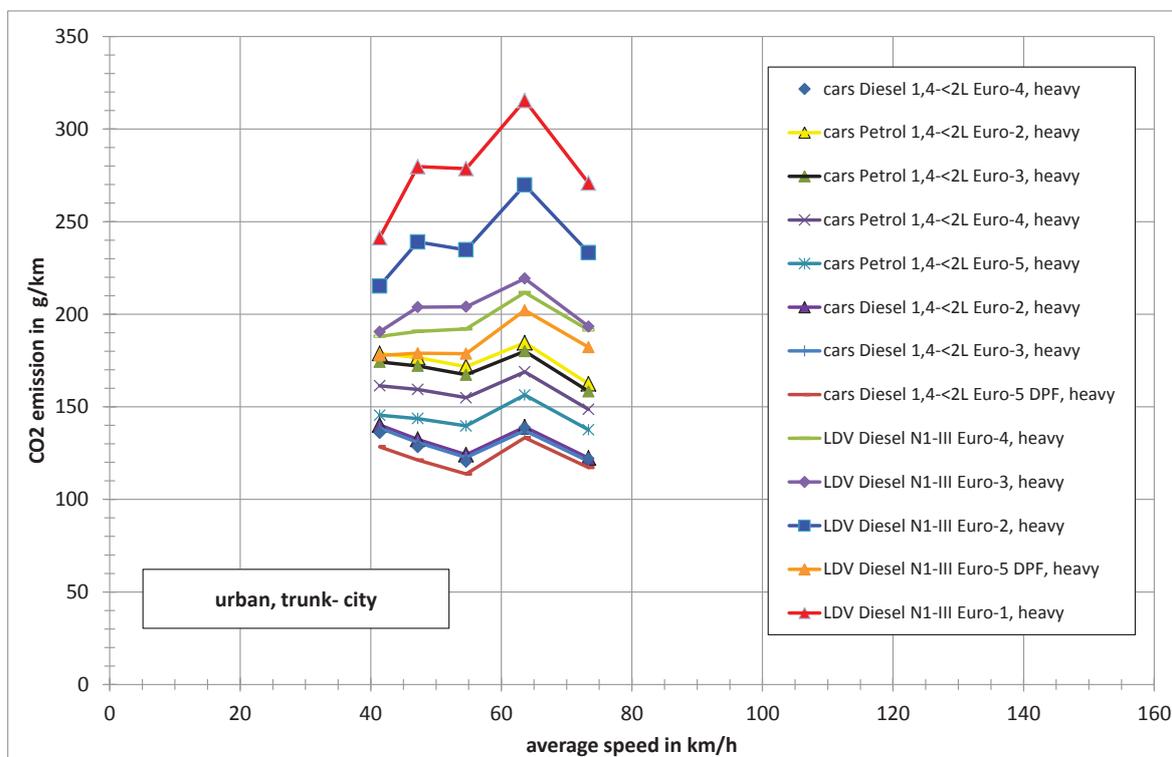
**Bild 32:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf kurvigen, regionalen Außerortsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



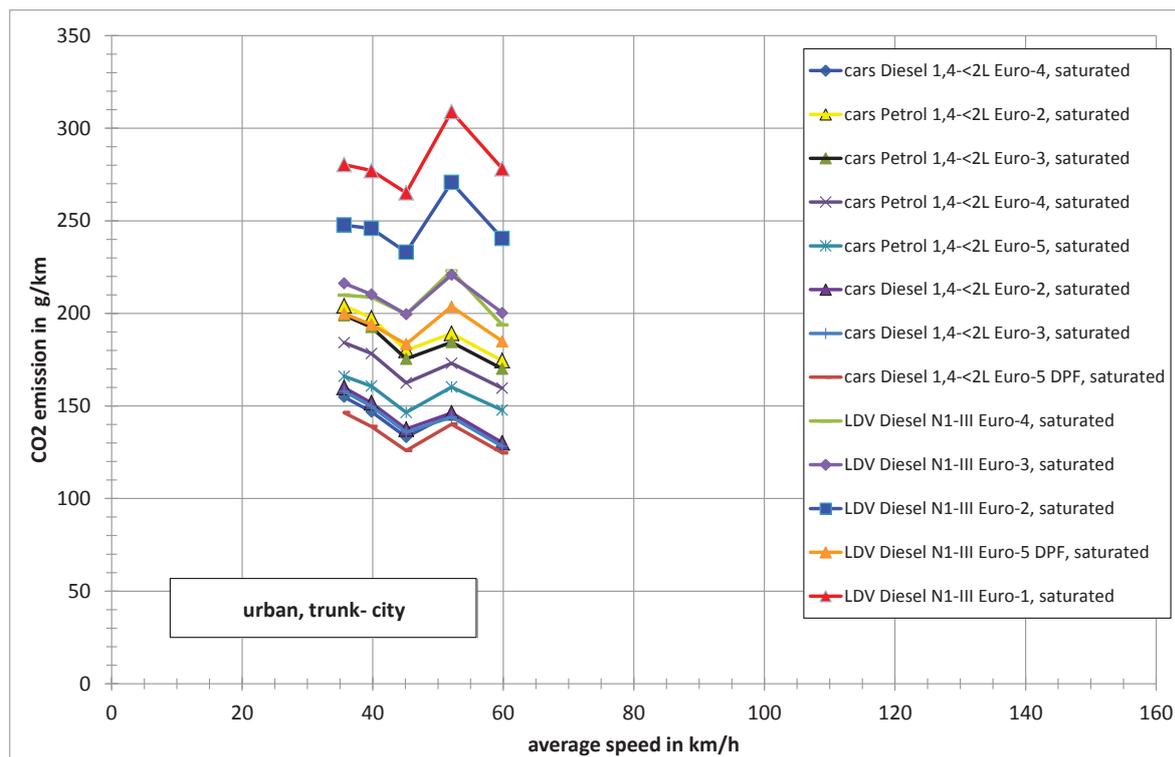
**Bild 33:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf kurvigen, regionalen Außerortsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



**Bild 34:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



**Bild 35:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



**Bild 36:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit

### 2.3.3 Schwere Nutzfahrzeuge

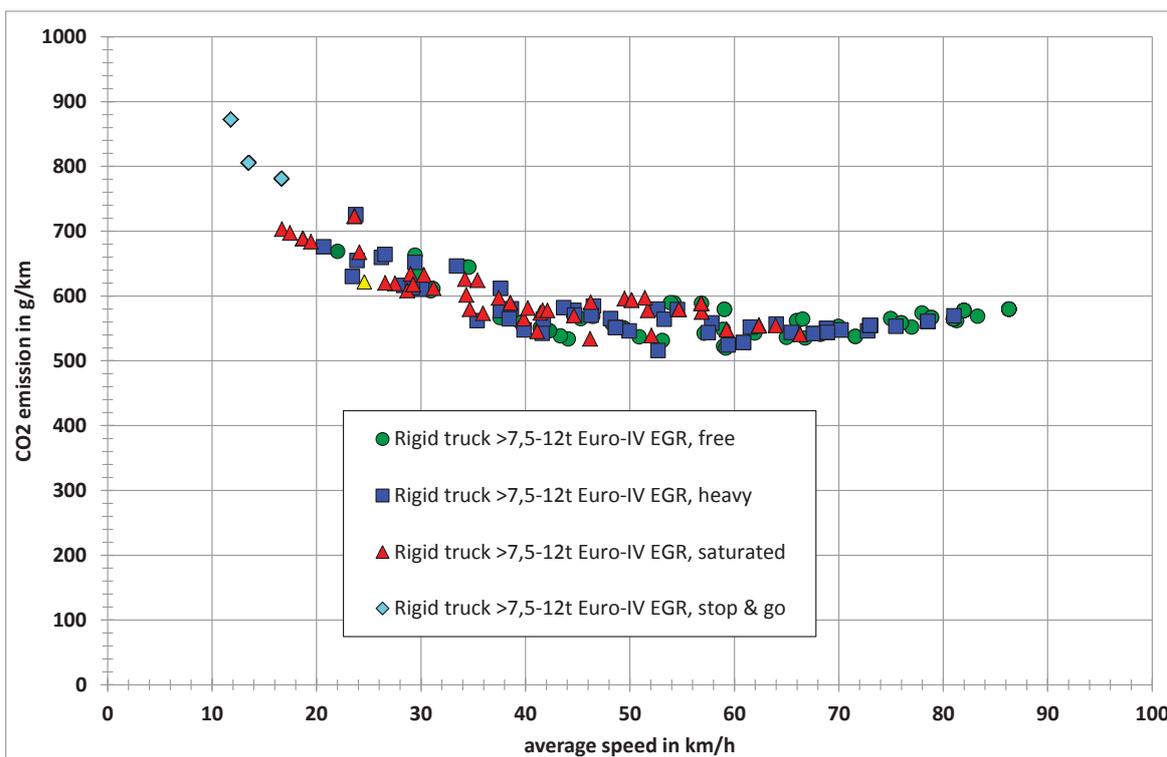
In analoger Weise wie bei den Pkw und leichten Nutzfahrzeugen wurde auch bei den übrigen Fahrzeugkategorien verfahren. Dieser Abschnitt zeigt die Ergebnisse für schwere Nutzfahrzeuge. Die Analyse wurde für Lkw mit zul. Gesamtmasse von 12 000 kg und Last- und Sattelzügen mit zul. Gesamtmasse bis 40 000 kg durchgeführt.

Die Emissionsfaktoren für alle Verkehrssituationen sind in Bild 37 bis Bild 39 beispielhaft für drei verschiedene Fahrzeugschichten dargestellt. Zahlenwerte für das erste Fahrzeug finden sich in Tabelle 10.

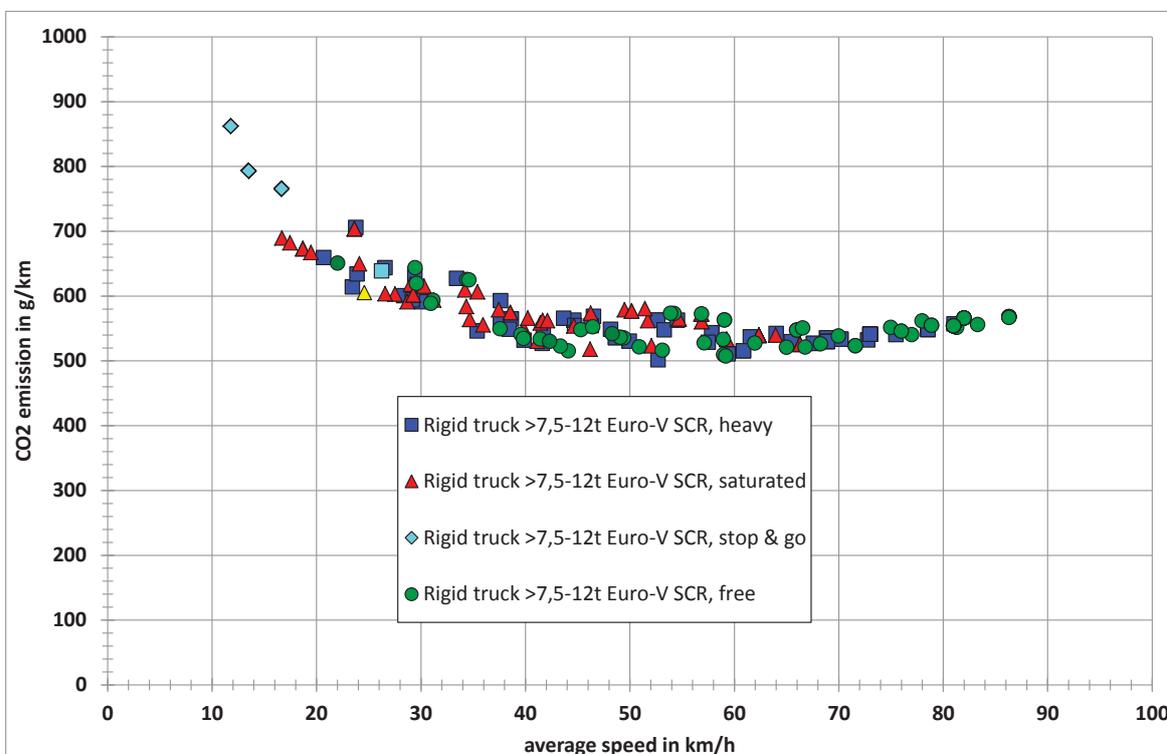
Die beiden kleineren Fahrzeuge haben ihre minimalen Emissionen im Bereich von 50 bis 60 km/h. Außerhalb dieses Bereichs steigen die Emissionen mit abnehmender (unterhalb) bzw. zunehmender (oberhalb) Geschwindigkeit an, wobei der Anstieg zu höheren Geschwindigkeiten hin deutlich geringer ist als zu niedrigen Geschwindigkeiten. Das 40000 kg Fahrzeug weist oberhalb dieses Geschwindigkeitsbereiches keinen weiteren Anstieg auf, die Emissionen sind bis zur Höchstgeschwindigkeit quasi konstant.

In Bild 40 bis Bild 45 sind die Emissionsfaktoren für die Straßenkategorien kurvige, regionale Außerortsstraßen und innerörtlichen Durchgangsstraßen jeweils für frei fließenden, starken und gesättigten Verkehr und alle in die Analyse einbezogenen Fahrzeugschichten dargestellt.

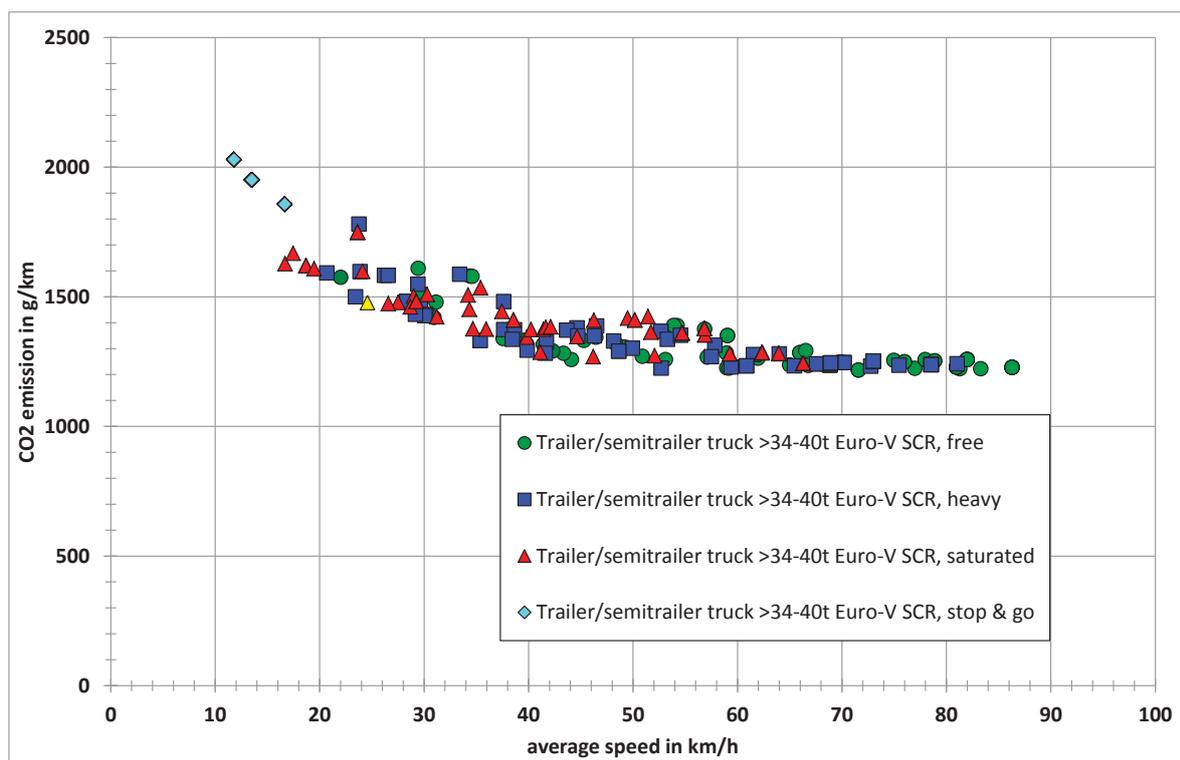
Die Abweichungen vom erwarteten Trend sind geringer als bei den Pkw.



**Bild 37:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 12 000 kg Gesamtmasse, Euro IV EGR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



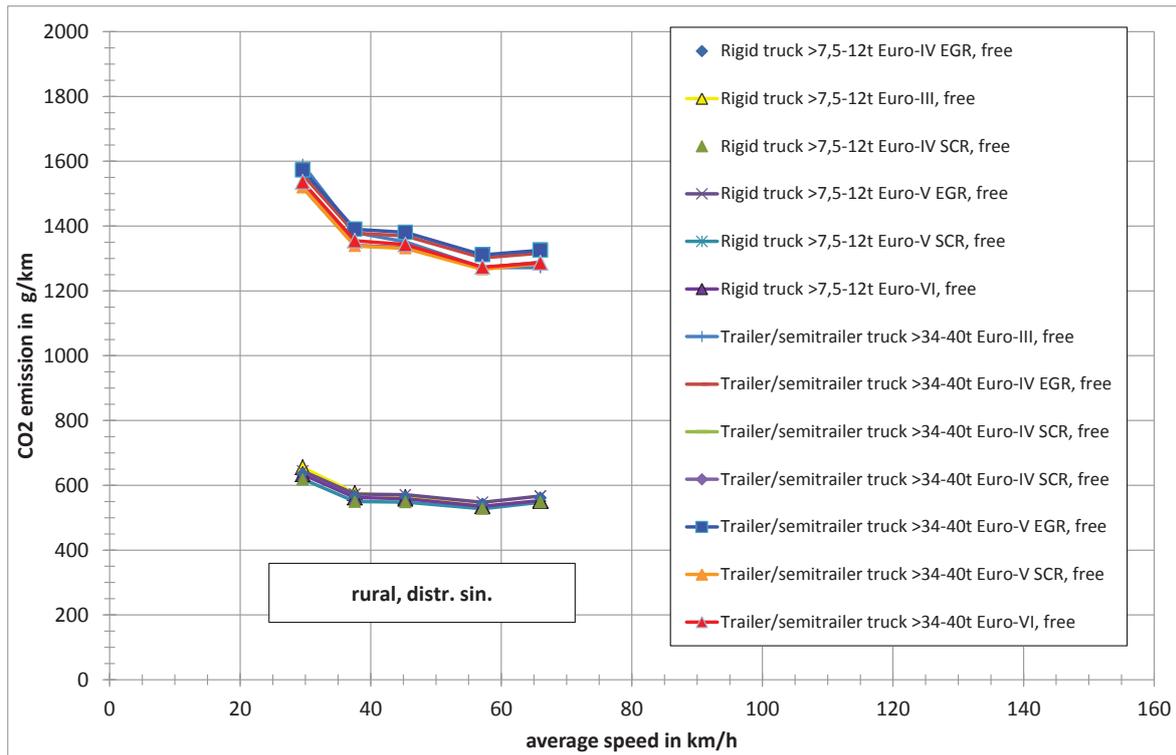
**Bild 38:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 12 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



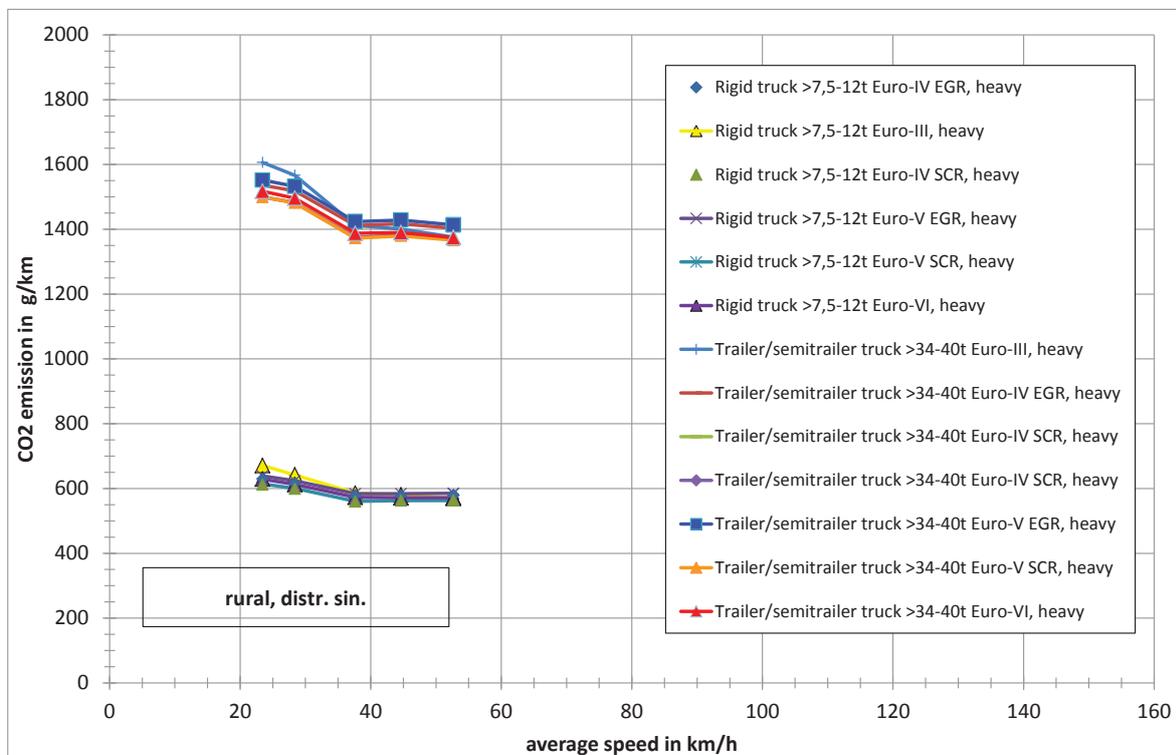
**Bild 39:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 40 000 kg Gesamtmasse (Last- und Sattelzüge), Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung

**Tabelle 10: Durchschnittsgeschwindigkeiten und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 12 000 kg zul. Gesamtmasse, Euro IV EGR für das Verkehrssituationschema des Handbuchs**

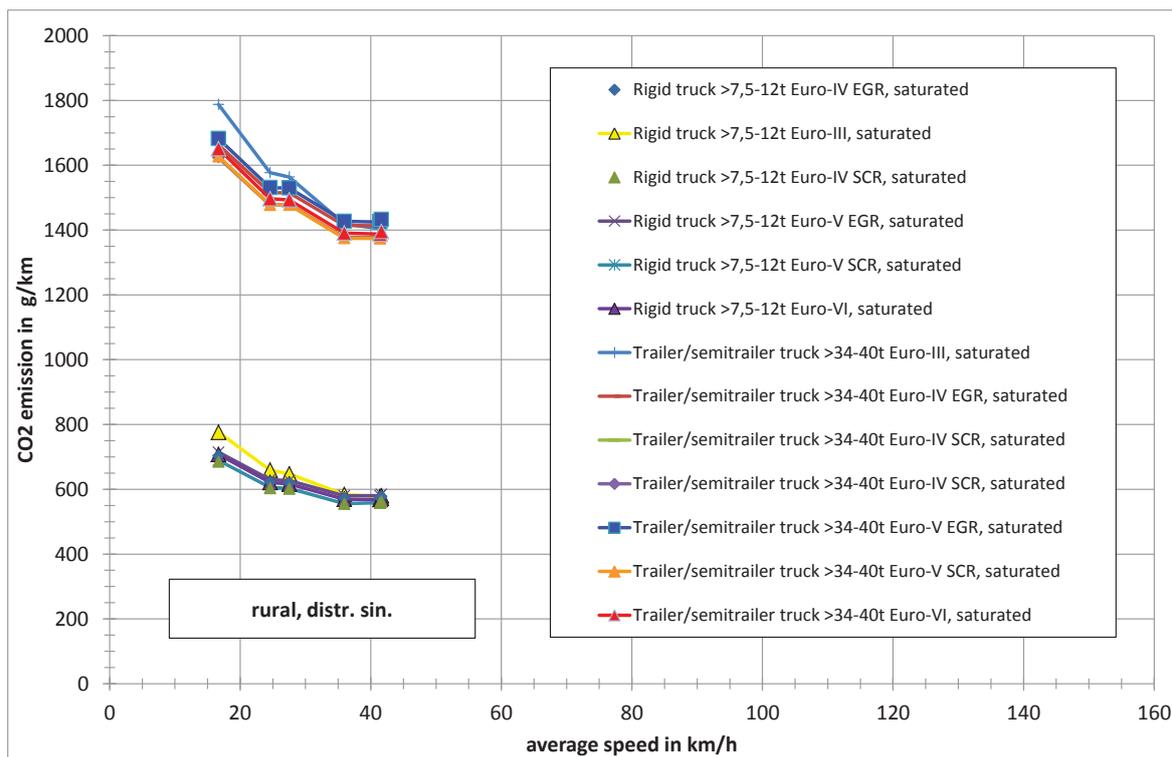
Road category	v <sub>ave</sub> in km/h				CO <sub>2</sub> -Emission in g/km			
	free	heavy	saturated	stop & go	free	heavy	saturated	stop & go
RUR/MW/80	81.3	72.8	64.0	16.7	561.9	545.8	554.3	781.0
RUR/MW/90	83.3	75.5	66.3	16.7	568.7	553.1	540.7	781.0
RUR/MW/100	86.3	78.5	66.3	16.7	579.5	560.7	540.7	781.0
RUR/MW/110	86.3	78.5	66.3	16.7	579.5	560.7	540.7	781.0
RUR/MW/120	86.3	78.5	66.3	16.7	579.5	560.7	540.7	781.0
RUR/MW/130	86.3	78.5	66.3	16.7	579.5	560.7	540.7	781.0
RUR/MW/>130	86.3	81.0	66.3	16.7	579.5	569.2	540.7	781.0
RUR/Semi-MW/90	81.0	68.9	54.7	13.5	564.4	549.6	579.0	805.5
RUR/Semi-MW/110	81.0	68.9	56.9	13.5	564.4	549.6	575.3	805.5
RUR/Trunk/60	59.0	50.0	39.8	13.5	522.3	546.0	564.8	805.5
RUR/Trunk/70	68.3	57.8	44.6	13.5	540.7	558.4	569.9	805.5
RUR/Trunk/80	77.0	65.5	51.7	13.5	551.9	543.6	577.7	805.5
RUR/Trunk/90	81.0	68.9	54.7	13.5	564.4	549.6	579.0	805.5
RUR/Trunk/100	81.0	68.9	54.7	13.5	564.4	549.6	579.0	805.5
RUR/Trunk/110	81.0	68.9	56.9	13.5	564.4	549.6	575.3	805.5
RUR/Trunk/120	81.0	68.9	56.9	13.5	564.4	549.6	575.3	805.5
RUR/Distr/50	44.1	35.4	29.0	13.5	533.4	561.7	634.0	805.5
RUR/Distr/60	53.1	41.7	34.7	13.5	531.2	563.9	579.5	805.5
RUR/Distr/70	62.0	48.2	40.2	13.5	542.6	565.0	581.3	805.5
RUR/Distr/80	70.0	57.5	46.2	13.5	553.1	543.4	590.3	805.5
RUR/Distr/90	75.0	61.5	49.5	13.5	565.0	551.7	595.9	805.5
RUR/Distr/100	78.0	64.0	51.4	13.5	573.7	556.5	597.3	805.5
RUR/Distr-sin./50	29.6	23.4	16.7	13.5	636.3	629.7	703.2	805.5
RUR/Distr-sin./60	37.6	28.4	24.6	13.5	566.4	616.1	621.8	805.5
RUR/Distr-sin./70	45.3	37.6	27.5	13.5	564.7	577.2	619.1	805.5
RUR/Distr-sin./80	57.1	44.6	35.9	13.5	542.5	577.8	573.3	805.5
RUR/Distr-sin./90	66.0	52.7	41.4	13.5	561.4	579.4	573.9	805.5
RUR/Distr-sin./100	66.0	52.7	41.6	13.5	561.4	579.4	577.6	805.5
RUR/Local/50	43.4	33.4	23.6	11.8	538.4	646.0	723.0	872.4
RUR/Local/60	50.9	41.6	31.2	11.8	536.7	542.1	612.2	872.4
RUR/Local/70	58.9	46.5	37.5	11.8	548.2	584.0	597.0	872.4
RUR/Local/80	66.5	53.3	41.1	11.8	564.3	564.0	545.4	872.4
RUR/Local-sin./50	34.4	26.2	18.7	11.8	644.5	659.1	688.8	872.4
RUR/Local-sin./60	42.3	29.7	23.6	11.8	546.5	615.5	723.0	872.4
RUR/Local-sin./70	48.3	38.7	30.3	11.8	557.4	580.1	632.3	872.4
RUR/Local-sin./80	54.2	43.7	34.2	11.8	589.1	581.8	626.1	872.4
RUR/Access/30	31.2	23.8	18.7	11.8	611.3	725.3	688.8	872.4
RUR/Access/40	34.6	26.6	18.7	11.8	644.1	663.9	688.8	872.4
RUR/Access/50	39.6	30.2	23.6	11.8	558.5	617.0	723.0	872.4
URB/MW-Nat./80	76.0	67.6	59.3	16.7	558.3	541.7	548.0	781.0
URB/MW-Nat./90	78.9	70.2	62.4	16.7	566.6	547.2	554.2	781.0
URB/MW-Nat./100	82.0	73.0	62.4	16.7	577.3	554.3	554.2	781.0
URB/MW-Nat./110	82.0	73.0	62.4	16.7	577.3	554.3	554.2	781.0
URB/MW-Nat./120	82.0	73.0	62.4	16.7	577.3	554.3	554.2	781.0
URB/MW-Nat./130	82.0	73.0	62.4	16.7	577.3	554.3	554.2	781.0
URB/MW-City/60	59.2	52.7	46.2	11.8	519.3	515.7	533.8	872.4
URB/MW-City/70	66.8	59.4	52.1	11.8	535.1	524.1	538.7	872.4
URB/MW-City/80	76.0	67.6	59.3	16.7	558.3	541.7	548.0	781.0
URB/MW-City/90	78.9	70.2	62.4	16.7	566.6	547.2	554.2	781.0
URB/MW-City/100	82.0	73.0	62.4	16.7	577.3	554.3	554.2	781.0
URB/MW-City/110	82.0	73.0	62.4	16.7	577.3	554.3	554.2	781.0
URB/Trunk-Nat./70	59.1	48.6	38.6	13.5	579.0	550.8	589.1	805.5
URB/Trunk-Nat./80	71.6	60.9	50.2	13.5	537.4	528.1	593.7	805.5
URB/Trunk-Nat./90	81.0	68.9	56.8	13.5	564.4	544.0	588.5	805.5
URB/Trunk-Nat./100	81.0	68.9	56.8	13.5	564.4	544.0	588.5	805.5
URB/Trunk-Nat./110	81.0	68.9	56.8	13.5	564.4	544.0	588.5	805.5
URB/Trunk-City/50	46.4	37.6	29.2	11.8	568.4	611.7	618.3	872.4
URB/Trunk-City/60	53.9	44.7	35.4	11.8	589.4	570.5	624.3	872.4
URB/Trunk-City/70	59.1	48.6	38.6	13.5	579.0	550.8	589.1	805.5
URB/Trunk-City/80	71.6	60.9	50.2	13.5	537.4	528.1	593.7	805.5
URB/Trunk-City/90	81.0	68.9	56.8	13.5	564.4	544.0	588.5	805.5
URB/Distr/50	39.8	30.1	28.7	11.8	552.4	610.1	608.2	872.4
URB/Distr/60	49.4	39.9	29.3	11.8	550.7	547.4	617.9	872.4
URB/Distr/70	56.9	46.3	34.3	13.5	588.6	570.1	601.5	805.5
URB/Distr/80	65.0	54.6	42.1	13.5	536.0	578.7	577.7	805.5
URB/Local/50	41.4	29.2	26.6	11.8	550.8	612.6	620.1	872.4
URB/Local/60	49.1	38.5	29.3	11.8	551.3	564.5	617.9	872.4
URB/Access/30	22.0	20.7	17.5	11.8	668.9	675.7	697.2	872.4
URB/Access/40	29.4	23.9	19.5	11.8	662.6	654.5	683.5	872.4
URB/Access/50	31.0	29.4	24.1	11.8	607.8	651.5	667.4	872.4



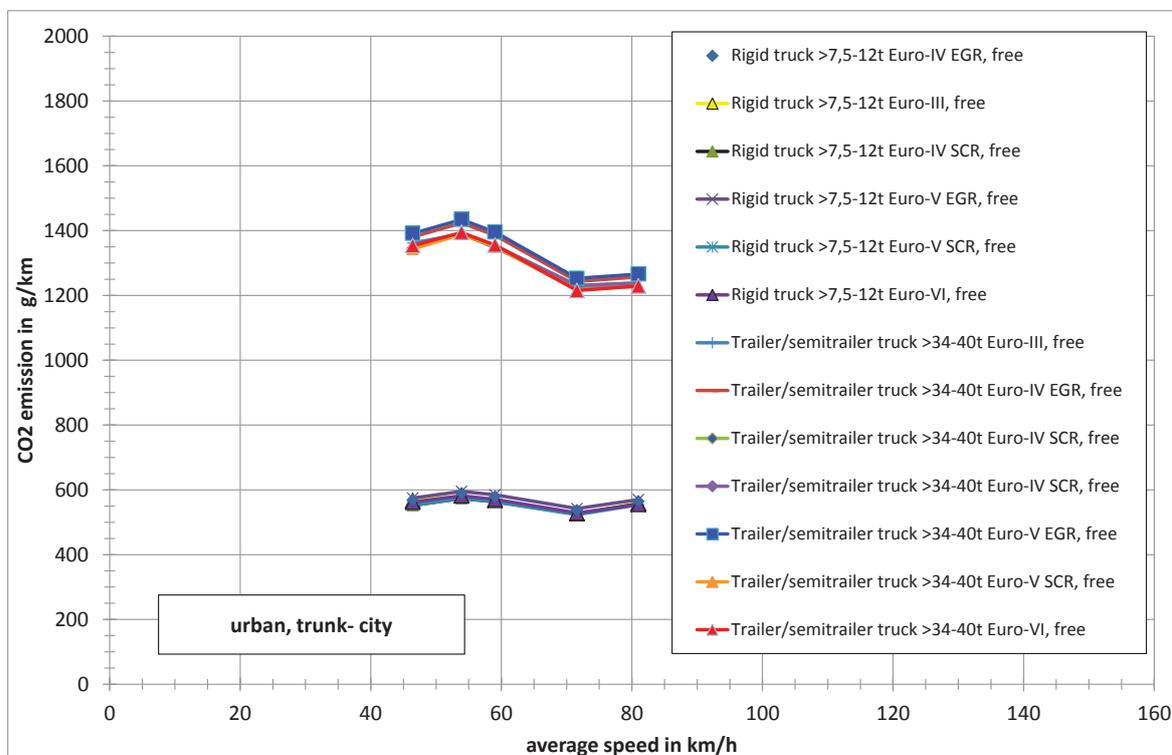
**Bild 40:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf regionalen, kurvig-igen Außerortsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



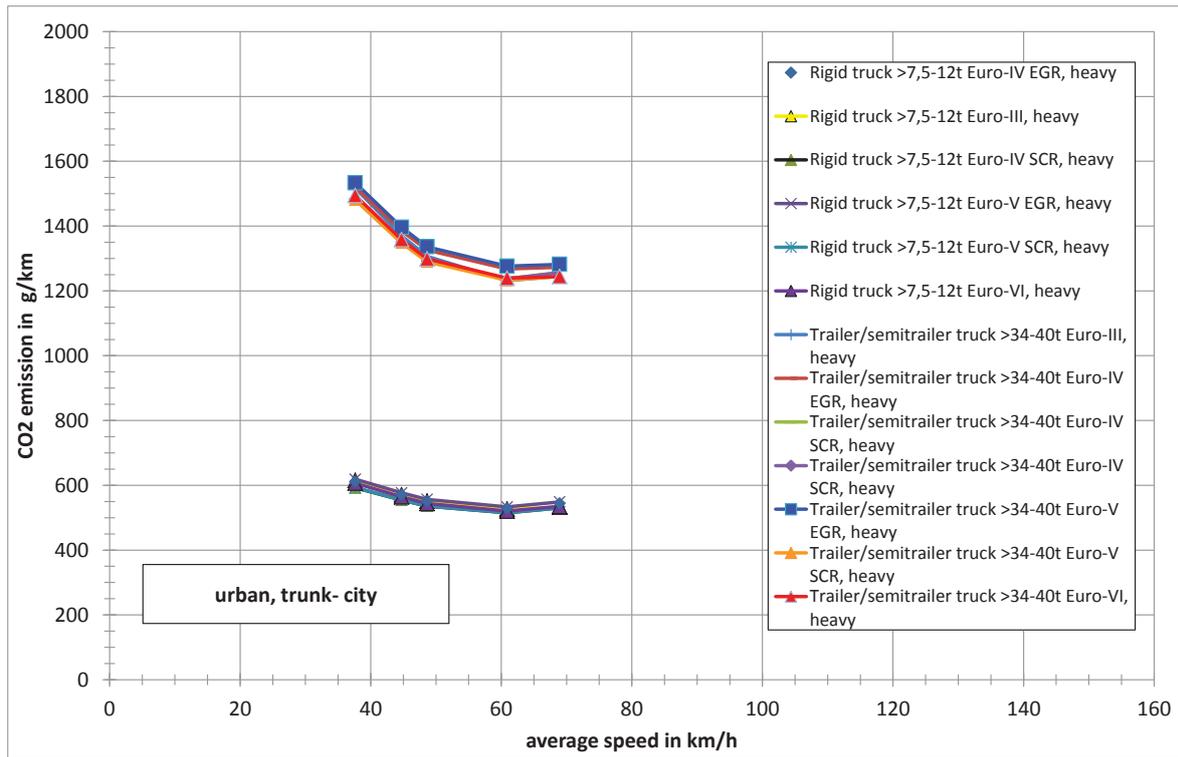
**Bild 41:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf regionalen, kurvig-igen Außerortsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



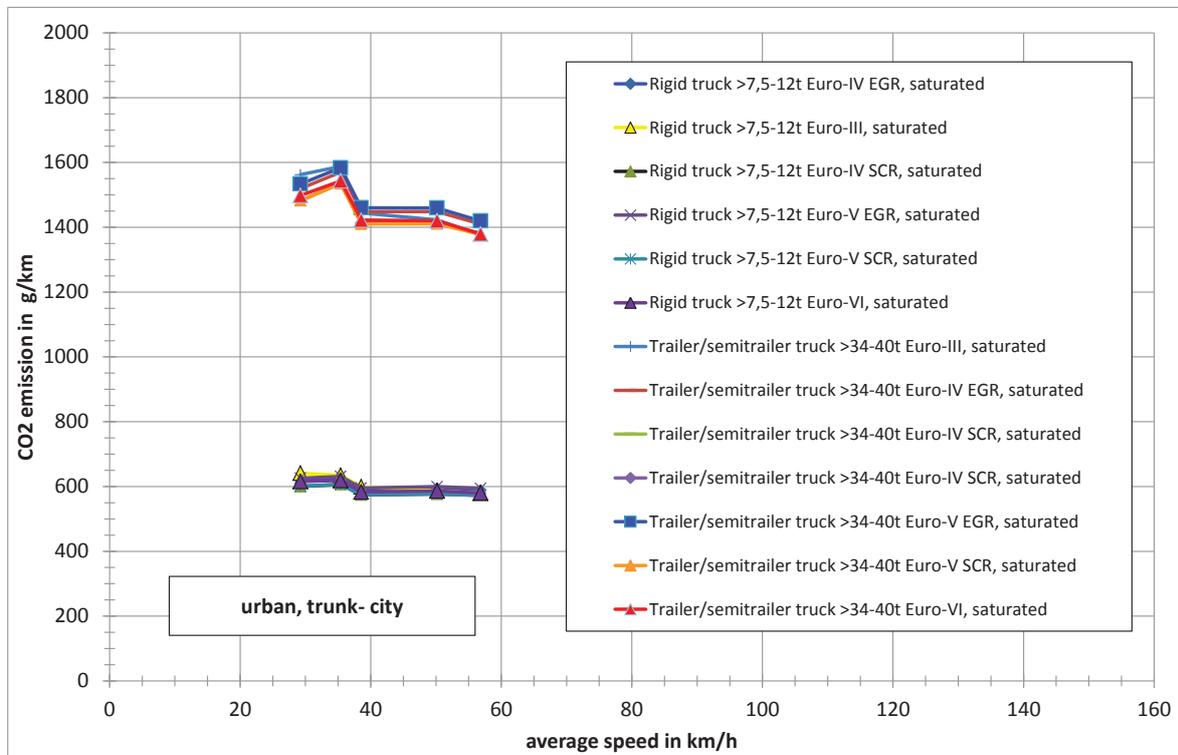
**Bild 42:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf regionalen, kurvig- Außerortsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



**Bild 43:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



**Bild 44:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit



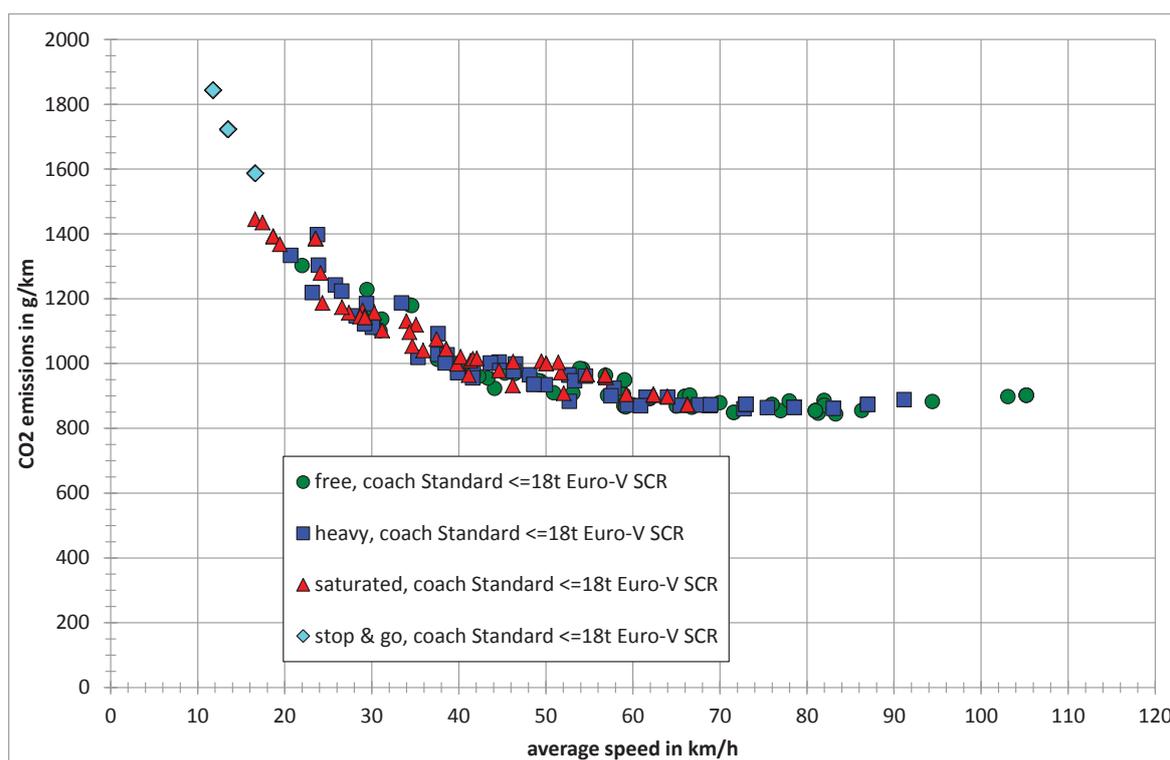
**Bild 45:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit

### 2.3.4 Reisebusse und Linienbusse

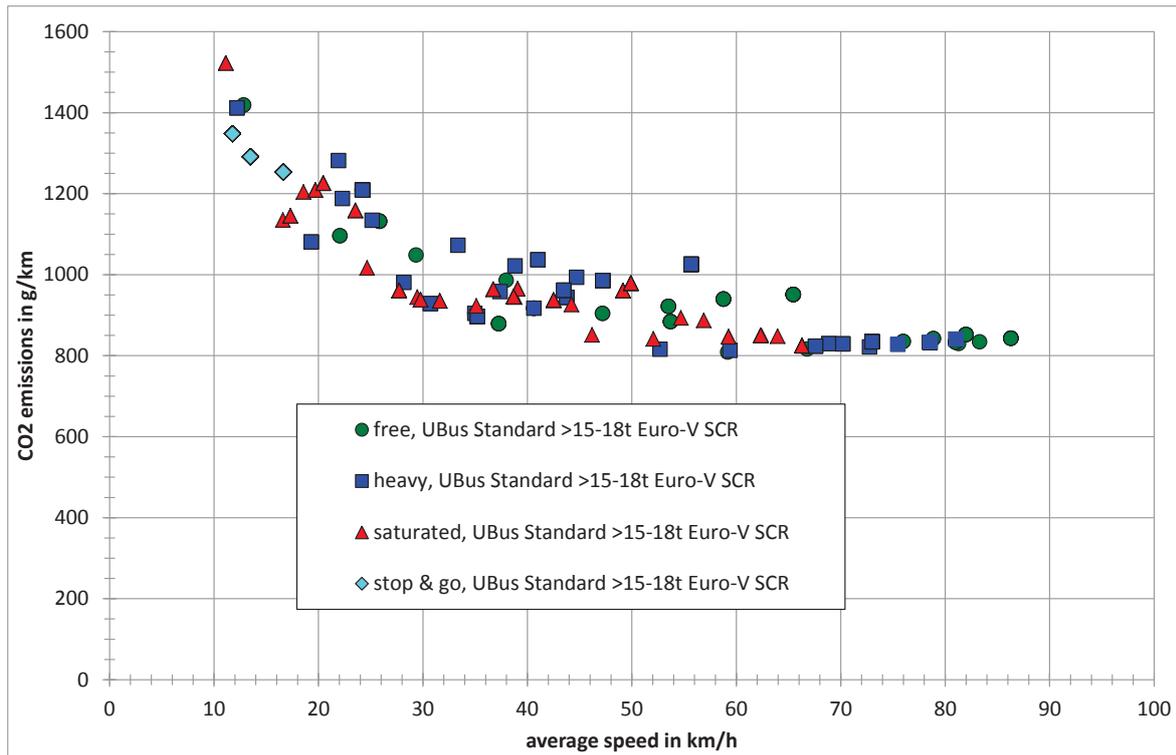
Auch bei Reisebussen und Linienbussen wurde in analoger Weise verfahren wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben. Reisebusse unterscheiden sich von den schweren Nutzfahrzeugen lediglich dadurch, dass sie auf Autobahnen eine höhere zul. Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h aufweisen, so dass sich die entsprechenden Zyklen von denen der schweren Nutzfahrzeuge unterscheiden. Auf den übrigen Straßen wurden dieselben Zyklen verwendet wie bei den schweren Nutzfahrzeugen.

Daher wird hier auch auf eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse verzichtet. In Bild 46 sind lediglich die bestehenden und korrigierten Emissionsfaktoren für alle Verkehrssituationen über der Durchschnittsgeschwindigkeit dargestellt.

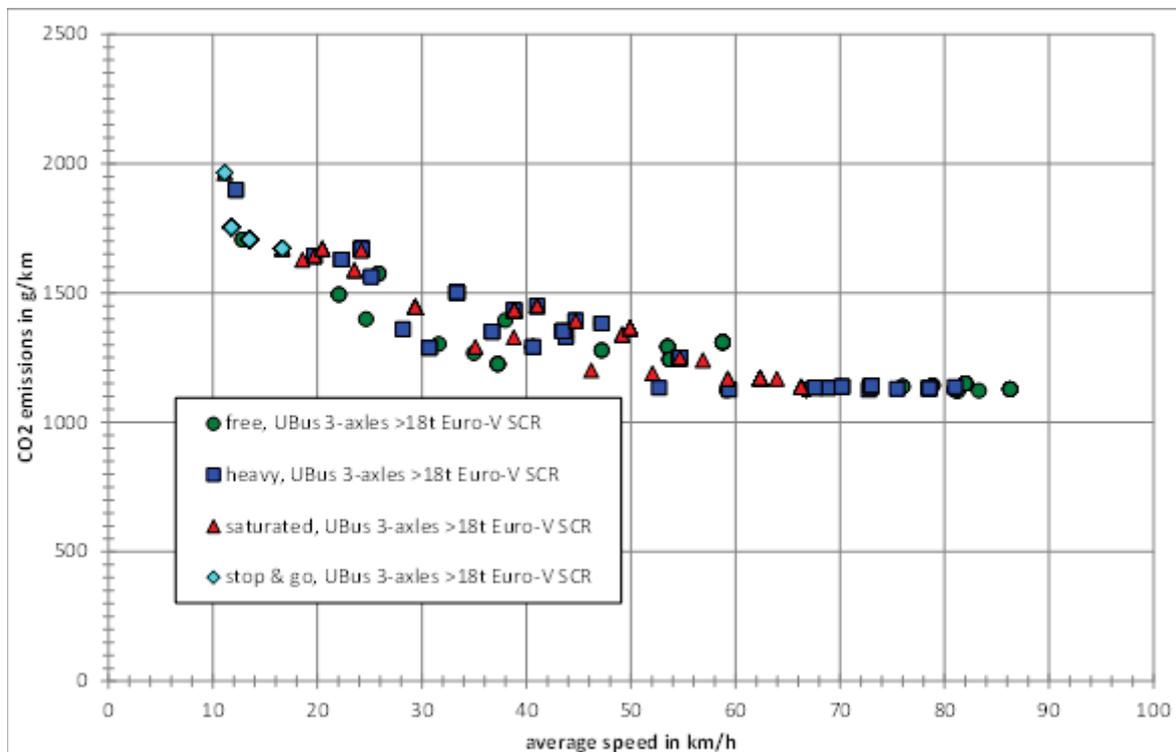
Analoge Ergebnisse für Linienbusse finden sich in Bild 47 und Bild 48. Bei den Linienbussen ist noch anzumerken, dass sich die Zyklen insofern von denjenigen der schweren Nutzfahrzeuge unterscheiden, als dass Stopps an Haltestellen mitberücksichtigt sind. Hier besteht eine Unplausibilität darin, dass für Wohngebietsstraßen mit Tempo 30 die Geschwindigkeiten bei starkem und gesättigtem Verkehr niedriger sind als bei stop & go. Diese Unplausibilität sollte zukünftig beseitigt werden, akuter Handlungsbedarf besteht aber nicht, weil starker und gesättigter Verkehr auf Wohngebietsstraßen praktisch nicht vorkommen.



**Bild 46:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Reisebusse bis 18 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



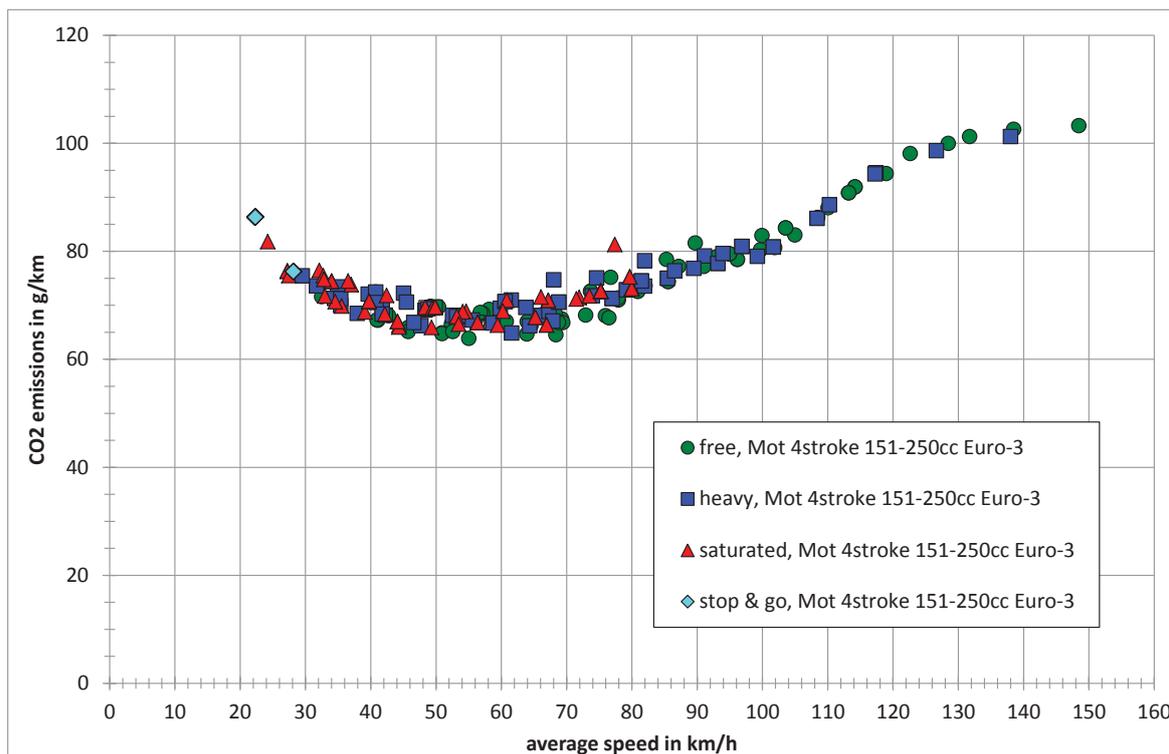
**Bild 47:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Linienbusse bis 18 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



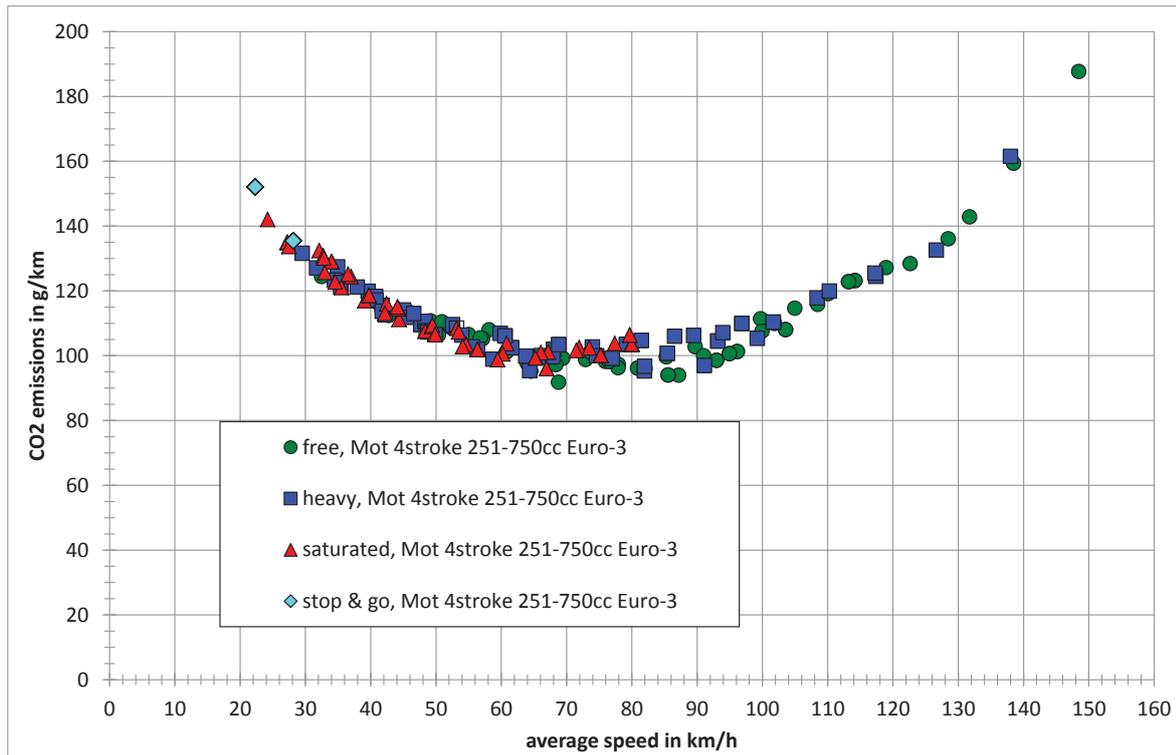
**Bild 48:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Linienbusse über 18 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung

### 2.3.5 Motorräder

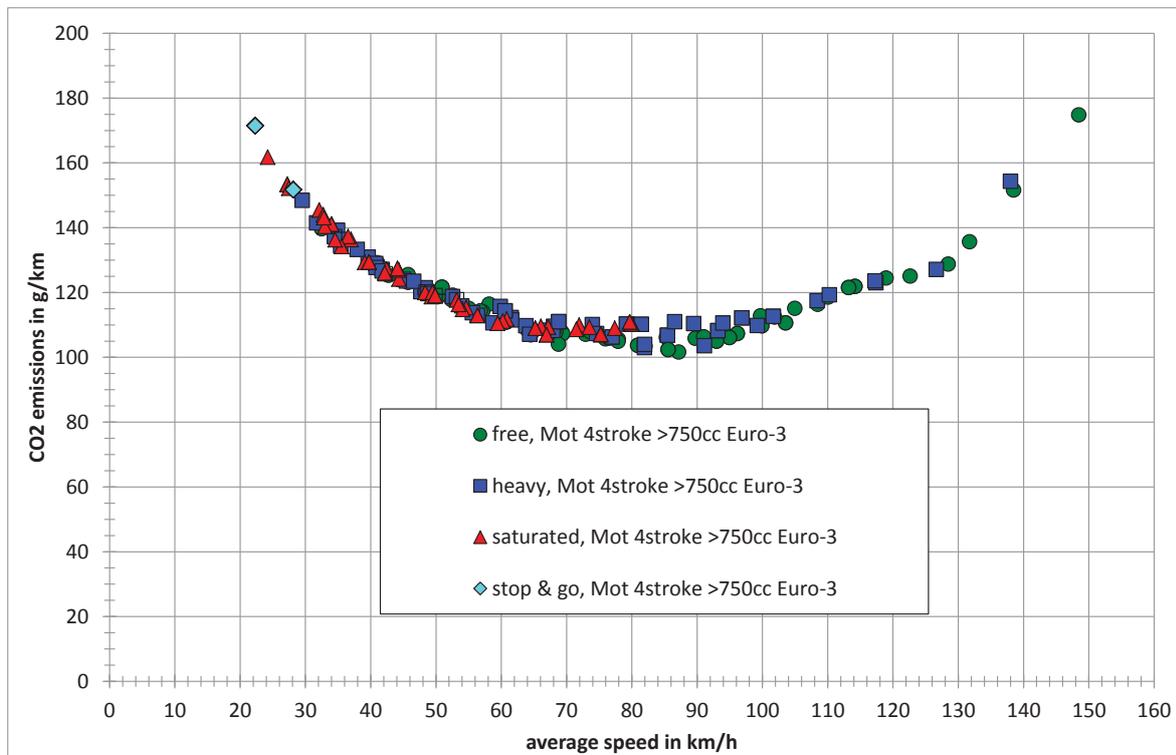
Bei den Motorrädern wurde nur eine einzige Unplausibilität gefunden (Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion und Tempo 60). Hier ist die Emission bei frei fließendem Verkehr geringfügig höher als bei starkem Verkehr. Beispielhaft sind in den folgenden Bildern die CO<sub>2</sub>-Emissionen über den Durchschnittsgeschwindigkeiten dargestellt. Die Fahrzeuge mit kleineren Hubräumen haben ihre minimalen Emissionen im Bereich von 50 km/h bis 70 km/h, bei den hubraumstärkeren Fahrzeugen verschiebt sich dieser Bereich zu 70 km/h bis 90 km/h.



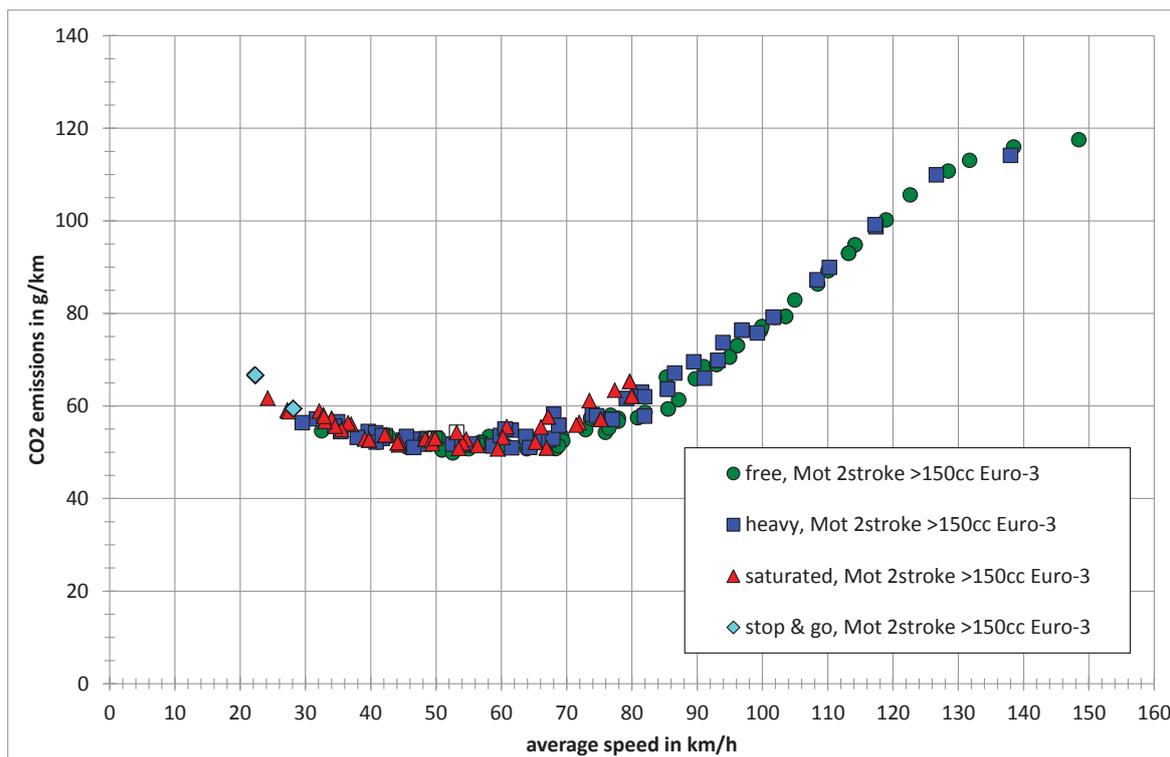
**Bild 49: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Motorräder 151 cm<sup>3</sup> bis 250 cm<sup>3</sup>, 4-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung**



**Bild 50:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Motorräder 251 cm<sup>3</sup> bis 750 cm<sup>3</sup>, 4-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



**Bild 51:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Motorräder > 750 cm<sup>3</sup>, 4-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung



**Bild 52:** CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Motorräder > 150 cm<sup>3</sup>, 2-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung

Die Überprüfung des Zyklenschemas anhand der CO<sub>2</sub>-Emissionen lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Bei einigen Straßentypen des Verkehrssituationsschemas des Handbuchs zeigt sich für starken und gesättigten Verkehr nicht immer der erwartete Trend (Zunahme der Emission mit zunehmender Verkehrsbelastung). Derartige Unplausibilitäten sind bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen häufiger als bei den übrigen Fahrzeugkategorien, und sind bei den Pkw bei den jüngeren Fahrzeugschichten weniger ausgeprägt als bei den älteren Fahrzeugschichten.

Sie sind zum Teil dadurch zu erklären, dass die RPA-Werte nicht immer mit zunehmender Verkehrsstärke zunehmen. Folgende Sachverhalte sprechen jedoch gegen vorschnelle Änderungen: Zum einen zeigen die Daten aus dem WLTP-Projekt, dass zunehmende Geschwindigkeitseinbrüche nicht zwingend mit steigenden RPA-Werten einhergehen müssen, zum anderen sollte zukünftig neben dem RPA auch der Mittelwert des Produkts aus Geschwindigkeit und Beschleunigung für positive Beschleunigungen als weiterer Dynamikparameter berücksichtigt werden. Dieser Parameter ist der spezifischen Beschleunigungsleistung (je kg Fahrzeugmasse) direkt proportional und nur mäßig mit dem RPA korreliert. Dies geht aus Bild 53 hervor, in dem die beiden Dynamikparameter für den europäischen Teil der WLTP-Datenbasis gegenübergestellt sind.

Bevor in größerem Umfang Korrekturen vorgenommen werden, sollten diese Zusammenhänge sowie die schichtspezifischen Unterschiede bei gleichem Fahrzyklus eingehender geklärt werden.

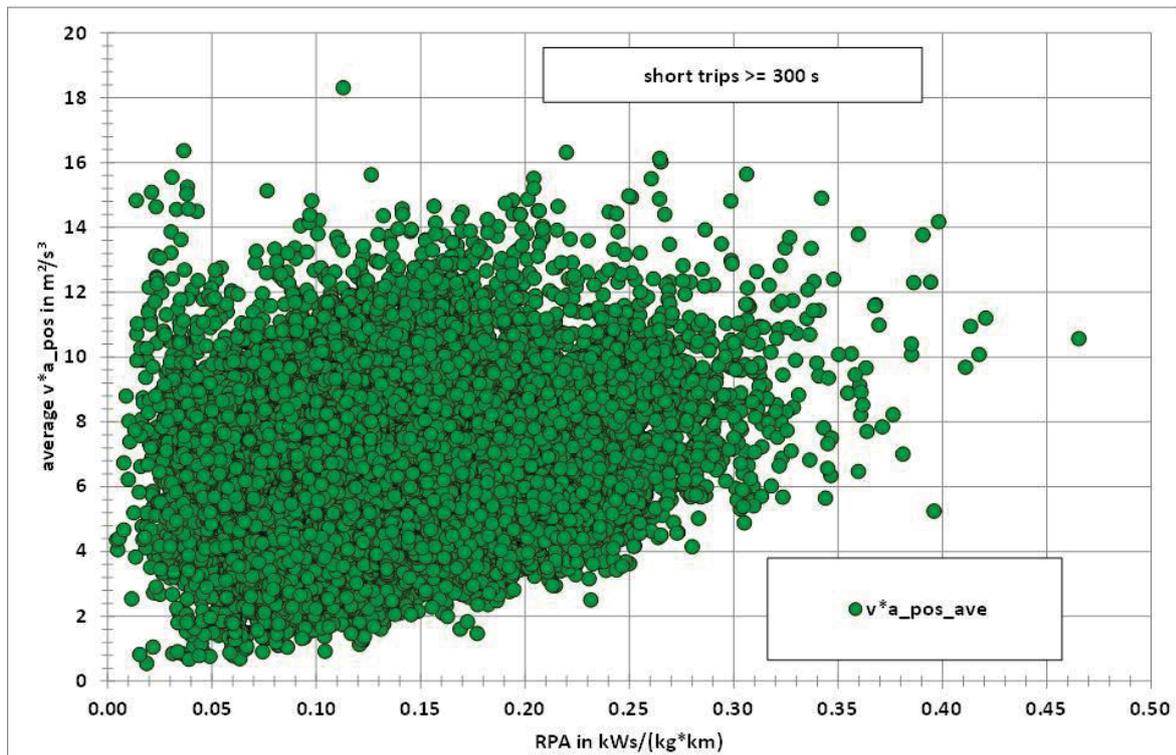


Bild 53: Gegenüberstellung der beiden Dynamikparameter RPA und  $v^*a_{pos}$

## 3 Überprüfung des Emissionsverhaltens konventioneller Fahrzeuge (1b)

### 3.1 Aufgabenstellung

Gemäß Leistungsbeschreibung des UBA sollen die Emissionsfaktoren für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (Otto und Diesel) sowie von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen der Schadstoffklasse Euro 5/V aktualisiert werden. Zudem sollen auch alle E-Faktoren der Schadstoffklasse 6/VI prognostiziert werden (einschließlich Euro 4/5 bei Krafträdern).

Die Beantwortung dieser Fragen setzt voraus, dass neuere Erkenntnisse – sprich neuere Messungen bzw. technologische Einschätzungen – vorliegen. Dieses Arbeitspaket besteht deshalb aus folgenden Teilschritten:

- Datenbeschaffung: Zusammentragen neuester Daten (Messungen) zu Euro 5/V bzw. zu Euro 6/VI
- Integration der Daten in die Messwerte-Datenbank
- Auswertung der Messwerte-Datenbank (mit entsprechender Anpassung der Auswertungsroutinen)
- Folgerungen: Würdigung der bisher in HBEFA 3.1 getroffenen Annahmen, ggf. Vorschläge für Anpassungen machen

### 3.2 Datenbeschaffung

Es hat sich gezeigt, dass die Datenbeschaffung im Rahmen dieses Projektes zweckmäßigerweise eingebettet wird in das internationale Netzwerk, das letztlich Träger des HBEFA ist. Ursprünglich (seit 1995) war dies die sog. D-A-CH-Gruppe, welche nach und nach auf andere Länder ausgeweitet wurde und schließlich unter dem Titel D-A-CH-NL-S-Gruppe figurierte. Diese Gruppe ist im Jahr 2010 im Netzwerk ERMES (European Research Group on Mobile Emission Sources) aufgegangen, in dem inzwischen weitere Träger-schaften, namentlich JRC, Einsitz genommen haben. Mittlerweile hat sich herausgestellt, dass die Datenbeschaffung in Abstimmung mit ERMES zweckmäßigerweise getrennt nach leichten und schweren Motorwagen erfolgt. INFRAS hat es (im Rahmen dieses Projektes) übernommen, bei verschiedenen Labors um Daten von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen sowie von Motorrädern nachzufragen. Daten von schweren Motorwagen (Lkw und Busse) werden im Rahmen von ERMES durch die TU Graz (und unabhängig von diesem Projekt) beschafft.

Eine erste Umfrage wurde am 9. Feb. 2010 gemeinsam mit JRC durchgeführt mit der Bitte, neueste Emissionsdaten von Pkw und LNF zur Verfügung zu stellen. Dazu wurde von INFRAS ein überarbeitetes (und gegenüber ARTEMIS vereinfachtes) Template zur Verfügung gestellt, das den Labors einen einfacheren Datentransfer ermöglichen sollte. Die Umfrage wurde bewusst offen gehalten und auch ausgedehnt auf neue Konzepte bzw. alternative Kraftstoffe [vgl. Kap. 6] (“... request on new data which would be used for the purposes of emission models .... We would like to update the A300DB, with preference to new vehicle types (hybrids, alternative fuels, new aftertreatment, new combustion concepts – DISI/FSI), and LDVs ...”)

Adressaten waren folgende Institutionen:

- IVL Schweden (Ake Sjodin)

- TNO Holland (Henk Dekker)
- INRETS (Michel André) bzw. ADEME Frankreich (Laurent Gagnepain)
- AVL / MTC Schweden (Lennart Erlandsson)
- EMPA Schweiz (Martin Weilenmann)
- LAT Griechenland (Leonidas Ntziachristos)
- TU Graz Oesterreich (Stefan Hausberger)
- TRL UK (Paul Boulter)
- Ricardo UK (Jon Andersson, Nick Owen)
- KTI Ungarn (Tamas Meretei)
- VTT Finnland (Nils-Olof Nylund)
- Istituto Motori (Maria Prati)
- TueV Nord Deutschland (Erik Schulte)
- JRC Ispra (Panagiota Dilara)

In dieser ersten Umfrage wurde ein Eingabetermin „Ende März 2010“ angeführt. Bis zu diesem Zeitpunkt sind dann lediglich drei Reaktionen eingegangen (EMPA, AVL MTC und der Hinweis des UBA auf die laufenden Feldüberwachungsprogramme 7 und 8 beim TÜV Nord). Deshalb wurde die Umfrage auf bilateraler Ebene durch direkte Kontaktaufnahme mit den Labors im Verlauf des Jahres 2010 erneuert. Im weiteren Projektverlauf konnten dann bis Ende Februar 2011 folgende Datensätze beschafft werden:

**Tabelle 11: Übersicht über den Umfang der Fahrzeuge, deren Emissionsmesswerte nach der Veröffentlichung von HBEFA Version 3.1 (Feb. 2010) neu beschafft werden konnten.**

		Euro-3	Euro-4	Euro-5	Total
pass. car	bifuel CNG/petrol		17		17
pass. car	bifuel E85/petrol		17		17
pass. car	CNG		4	1	5
pass. car	diesel	3	56	7	66
pass. car	Hybrid petrol/electric		5	1	6
pass. car	petrol		43	6	49
Total		3	142	15	160

**Tabelle 12: Übersicht der neuen Messwerte: Anzahl gemessene Fahrzeuge nach Emissionskonzept und Labor**

VehCat	veh_group_agg	Fuel	Em-conc.	AVLMTC	EMPA	LAT	TÜV Nord	TUG	Sum
pass. car	PC_FFV_E4	bifuel E85/petrol	EURO-4	17					17
pass. car	PCCNG_E4	bifuel CNG/petrol	EURO-4	6	8		3		17
pass. car	PCCNG_E4	CNG	EURO-4		4				4
pass. car	PCCNG_E5	CNG	EURO-5		1				1
pass. car	PCD_E3	diesel	EURO-3				3		3
pass. car	PCD_E4	diesel	EURO-4	41			15		56
pass. car	PCD_E5	diesel	EURO-5					7	7
pass. car	PCG_E4	petrol	EURO-4	20	6	2	15		43
pass. car	PCG_E4_hybrid	Hybrid petrol/electric	EURO-4		2		3		5
pass. car	PCG_E5	petrol	EURO-5		4			2	6
pass. car	PCG_E5_hybrid	Hybrid petrol/electric	EURO-5		1				1
Total				84	26	2	39	9	160

Legende Fahrzeuggruppen: PC=Pass. Car, D: Diesel bzw. G: Gasoline, E: Euro-Stufe, FFV: Flexible Fuel Vehicles

**Tabelle 13: Gesamtheit der nach der Aktualisierung in der A300DB verfügbaren Fahrzeuge mit Emissionsmesswerten**

		Pre-Euro	Euro-1	Euro-2	Euro-3	Euro-4	Euro-5	Euro-6	Total
pass. car	bifuel CNG/petrol				1	23			24
pass. car	bifuel E85/petrol					17			17
pass. car	CNG					4	1		5
pass. car	diesel	207	48	54	142	177	13	5	646
pass. car	Hybrid petrol/electric					10	1		11
pass. car	LPG		7	3	2				12
pass. car	petrol	878	1191	164	157	260	9		2659
LCV	diesel	24	20	30	5	7			86
LCV	petrol	23	36	5					64
Total		1'132	1'302	256	307	498	24	5	3'524

Tabelle 11 zeigt, dass Messwerte von 160 Fahrzeugen beschafft werden konnten. Dadurch steigt die Anzahl der Fahrzeuge, die in der Emissionsmessdatenbank vorhanden sind, auf über 3500 an. Allerdings konnte das ursprüngliche Ziel, nämlich Messwerte von neueren Emissionskonzepten (Euro-5 bzw. Euro-6-Fahrzeuge) zu erhalten, um die im HBEFA 3.1 getroffenen Annahmen zu verifizieren, nur beschränkt erreicht werden. So konnten lediglich Messungen von 15 Euro-5 Fahrzeugen beschafft werden, und zu Euro-6 Fahrzeugen konnten keine Messwerte ermittelt werden. Ebenso fehlen in den ermittelten Datenpaketen jegliche Angaben zu leichten Nutzfahrzeugen wie auch zu Krafträdern. Erschwerend für die Vergleichbarkeit ist, dass eine gewisse Zyklenvielfalt besteht, vgl. nachstehende Tabelle.

**Tabelle 14: Übersicht, in welchen Zyklen die Fahrzeuge (nach Emissionskonzept) gemessen wurden**

veh_group_agg	CADC_(Bag)	HBEFA_BAB	HBEFA_RaRb	Inrets_IUFC_(Aggr-hot)	Legislative-FTP	Legislative-NEDC	TUG_2008
PC_FFV_E4	11					17	
PCCNG_E4	19	12	12	12	15	21	
PCCNG_E5	1	1	1	1	1	1	
PCD_E3	3				3	3	
PCD_E4	40				15	56	
PCD_E5	7					7	7
PCG_E4	35	6	6	6	21	43	
PCG_E4_hybrid	5	2	2	2	5	5	
PCG_E5	6	4		4		6	2
PCG_E5_hybrid	1	1	1	1	1	1	

Legende Fahrzeuggruppen: PC=Pass. Car, D: Diesel bzw. G: Gasoline, E: Euro-Stufe, FFV: Flexible Fuel Vehicles

### 3.3 Integration der Daten in die sog. A300DB

Die Daten wurden in die sog. A300DB eingepflegt. Die A300DB ist eine MS-Access-Datenbank, welche ursprünglich im Rahmen des Projekts ARTEMIS erstellt wurde. Mit Blick auf die Version HBEFA 3.1 wurden bereits zwischenzeitlich von verschiedenen Labors produzierte Messdaten von INFRAS in diese Datenbank übertragen. Inzwischen liegen zwei Templates (Excel-Musterdateien) vor, um den Datentransfer effizient zu gestalten. Dazu wurden auch entsprechende Lese-Routinen geschrieben, um eine möglichst fehlerfreie Übernahme der Daten aus den Excel-Dateien der Labors in die Datenbank zu gewährleisten. Leider hat sich dieser vereinheitlichte Datentransfer noch nicht voll etabliert, d.h. die Labors verwenden teilweise noch ihre eigenen Konventionen, zum Teil sind noch Datenlücken vorhanden, welche eine aufwändige manuelle Harmonisierung und Rückfragen nötig machen. Im Rahmen von ERMES ist angedacht, diesen Datentransfer weiter zu standardisieren.

### 3.4 Ergebnisse

Angesichts der oben erläuterten Datenlage interessieren mit Blick auf das HBEFA im Wesentlichen zwei Fragen:

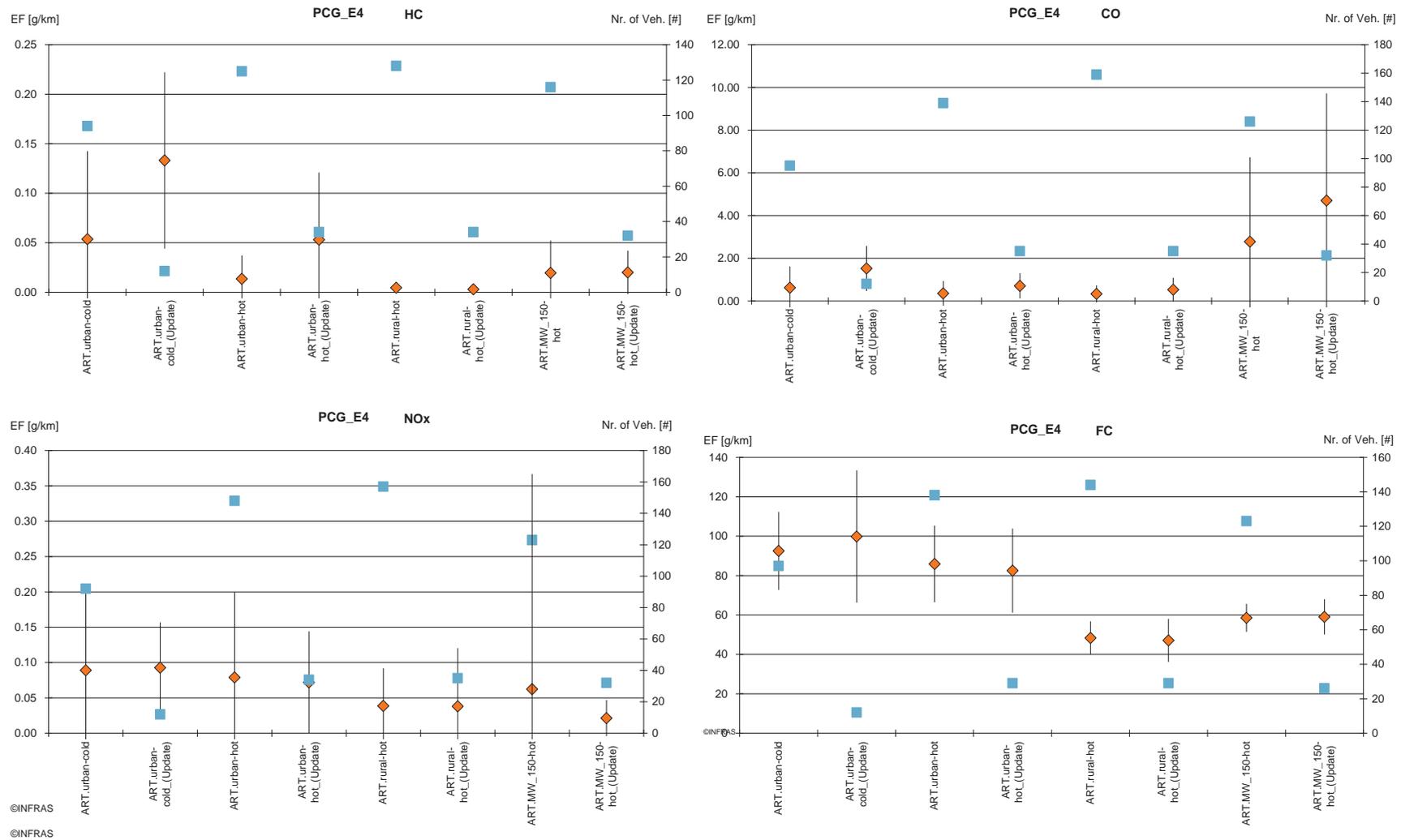
1. Wie weit deckt sich das Emissionsniveau der neuen Euro-4-Messwerte mit den bisherigen Angaben, welche dem HBEFA zugrunde lagen?
2. Wie weit bestätigen die (wenigen) neuen Euro-5-Messwerte die im HBEFA für diese Konzepte getroffenen Annahmen?

### 3.4.1 Emissionen Pkw Euro 4 (Benzin)

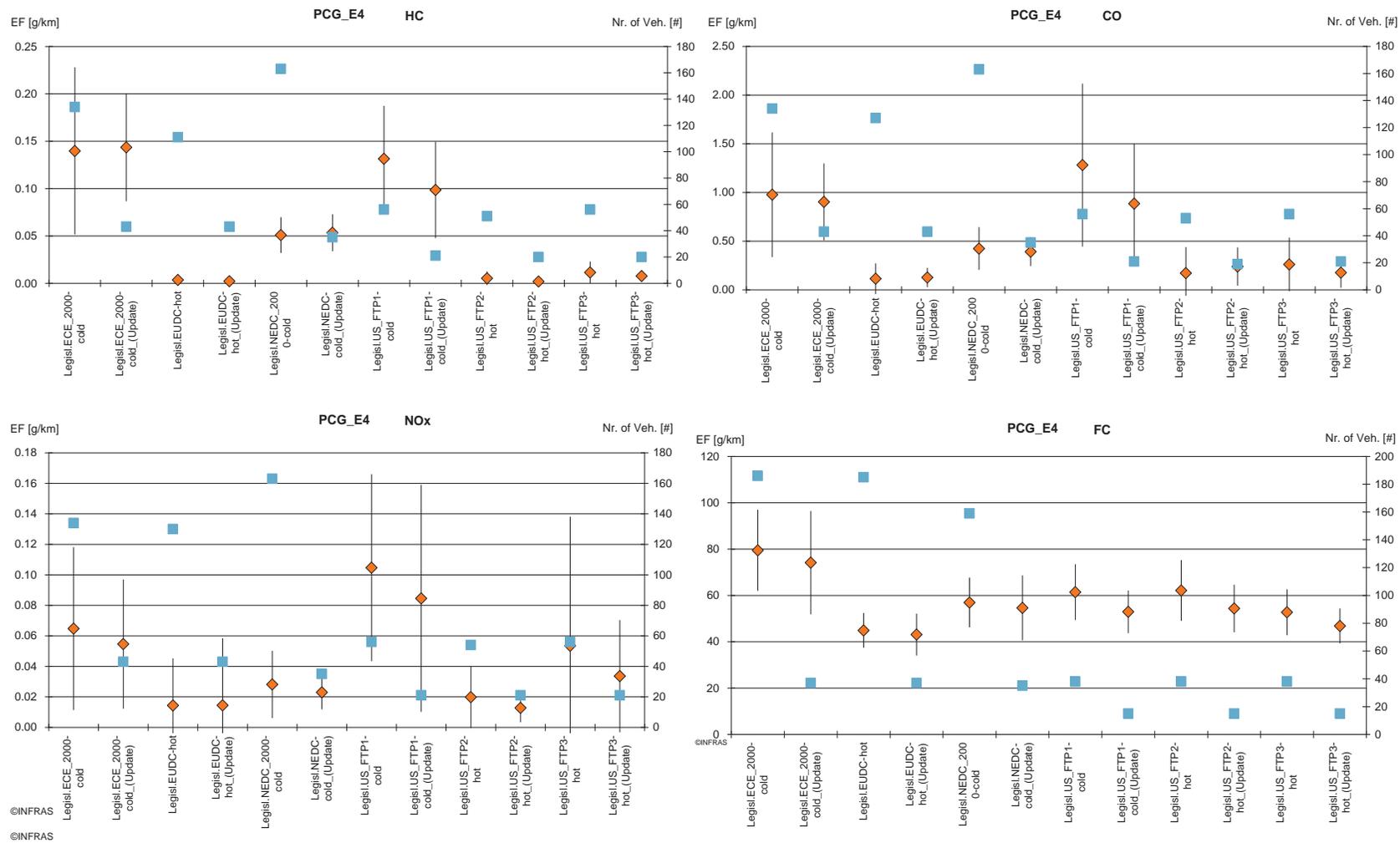
Die beiden nachstehenden Bilder zeigen die Emissionsfaktoren der Benzin-Pkw Euro 4 in den ARTEMIS-Zyklen bzw. in den legislativen Zyklen (NEDC und US-FTP) jeweils als paarweisen Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (bei letzteren ist der Zyklusname jeweils mit dem Appendix „update“ versehen). Die Bilder zeigen, dass das neue Sample das Emissionsniveau der bisherigen Fahrzeuggruppe weitgehend bestätigt. Wo Diskrepanzen bestehen ist das Emissionsniveau in der Regel tief und / oder die Streuungen sind vergleichsweise groß. Deshalb drängt sich eine Anpassung des Emissionsniveaus aus dieser Makrosicht nicht auf.

### 3.4.2 Emissionen Pkw Euro 4 (Diesel)

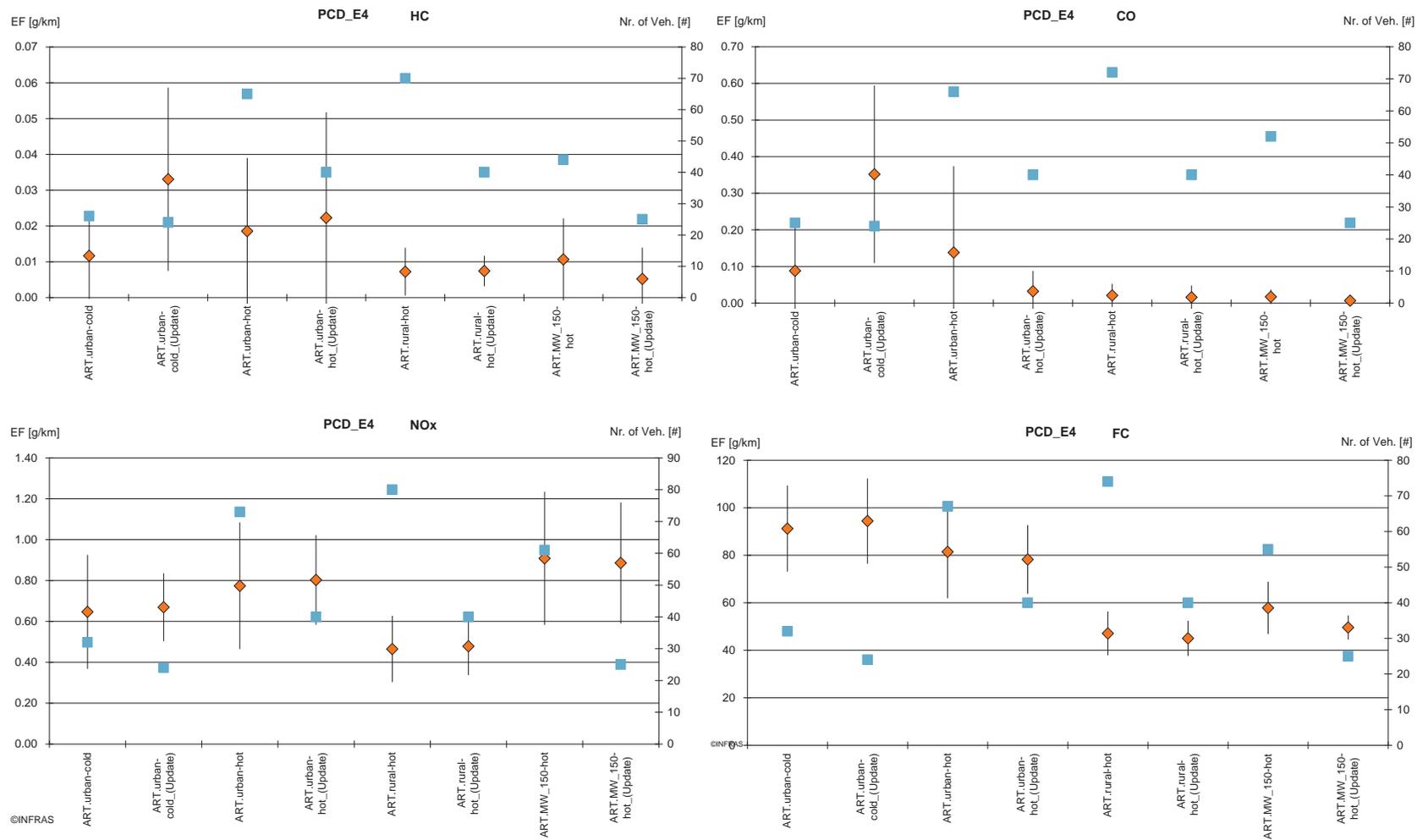
Bei den Diesel-Pkw mit Euro 4 stellt sich die analoge Frage, ob das neue Sample das bisherige Emissionsniveau bestätigt. Das Ergebnis ist ähnlich wie bei den Benzin-Fahrzeugen, d.h. das Emissionsniveau trifft im Wesentlichen zu. Das gilt namentlich für die besonders interessierenden  $\text{NO}_x$ -Emissionen. Bei CO und HC kann allenfalls argumentiert werden, dass die „kalten“ Zyklen leicht höher ausfallen, allerdings ist das Emissionsniveau dieser Fahrzeuggruppe im Vergleich zu den Benzin-Pkw deutlich geringer, mithin also eine Anpassung ohne große Relevanz.



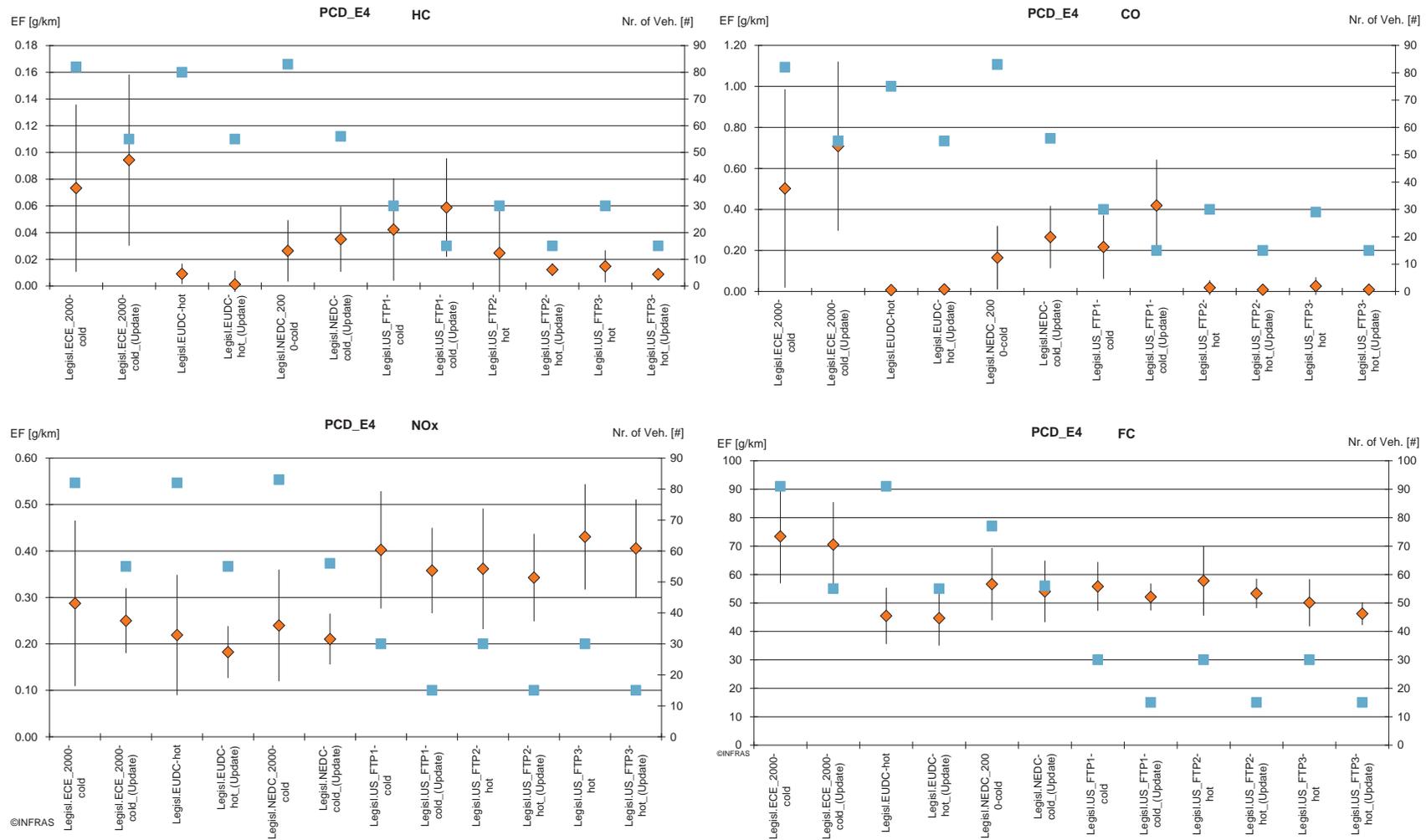
**Bild 54:** Emissionsmessdaten von Benzin-Pkw Euro 4 in den ARTEMIS-Zyklen: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/-Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge



**Bild 55:** Emissionsmessdaten von Benzin-Pkw Euro 4 in den legislativen Zyklen NEDC und FTP: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/-Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge



**Bild 56:** Emissionsmessdaten von Diesel-Pkw Euro 4 in den ARTEMIS Zyklen: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/-Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge



**Bild 57:** Emissionsmessdaten von Diesel-Pkw Euro 4 in den legislativen Zyklen NEDC und FTP: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/-Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge

### 3.4.3 Emissionen Pkw Benzin – Euro 5 im Vergleich zu Euro 4

Im HBEFA 3.1 wird von der Hypothese ausgegangen, dass nach Euro 4 bei den „hot emissions“ nunmehr marginale Absenkungen stattfinden, da die Grenzwerte kaum mehr sinken bzw. der Hauptabsenkung bei den „Cold starts“ stattfinden dürften. Die Anzahl der neuen Messungen von Benzin-Fahrzeugen Euro 5 ist zu beschränkt (6), als dass bereits schlüssige Folgerungen für eine nächste Version getroffen werden können.

Bild 58 zeigt Vergleiche von Messdaten von Euro 4 (bisherige und neu beschaffte) mit den neuen Euro 5 Fahrzeugen gemäß A300DB für verschiedene Zyklen. Gleichzeitig sind auch Daten von (einigen wenigen) Fahrzeugen aufgeführt, die der VDA im Vorfeld des HBEFA 3.1 zur Verfügung gestellt hat; diese wurden zum Teil im FTP-72 und nur vereinzelt im ARTEMIS-Zyklus gemessen, so dass die Vergleichbarkeit per se schwierig ist. Bei diesem Vergleich ist zudem zu beachten, dass die Sample-Größe stark variiert (namentlich bei Euro-5 handelt es sich um sehr kleine Samples von max. sechs Fahrzeugen).

Bezüglich CO<sub>2</sub> sind die Euro 4 bzw. die Euro-5-Samples jedenfalls vergleichbar, auch die relative Absenkung ist praktisch deckungsgleich. Bei den Schadstoffen kann aus Gründen der Sample-Größe lediglich der NEDC verglichen werden; hier sind die VDA-Fahrzeuge leicht tiefer, aber – wie erwähnt – auch die neu von Labors beschafften Messdaten zeigen ein sehr tiefes Emissionsniveau.

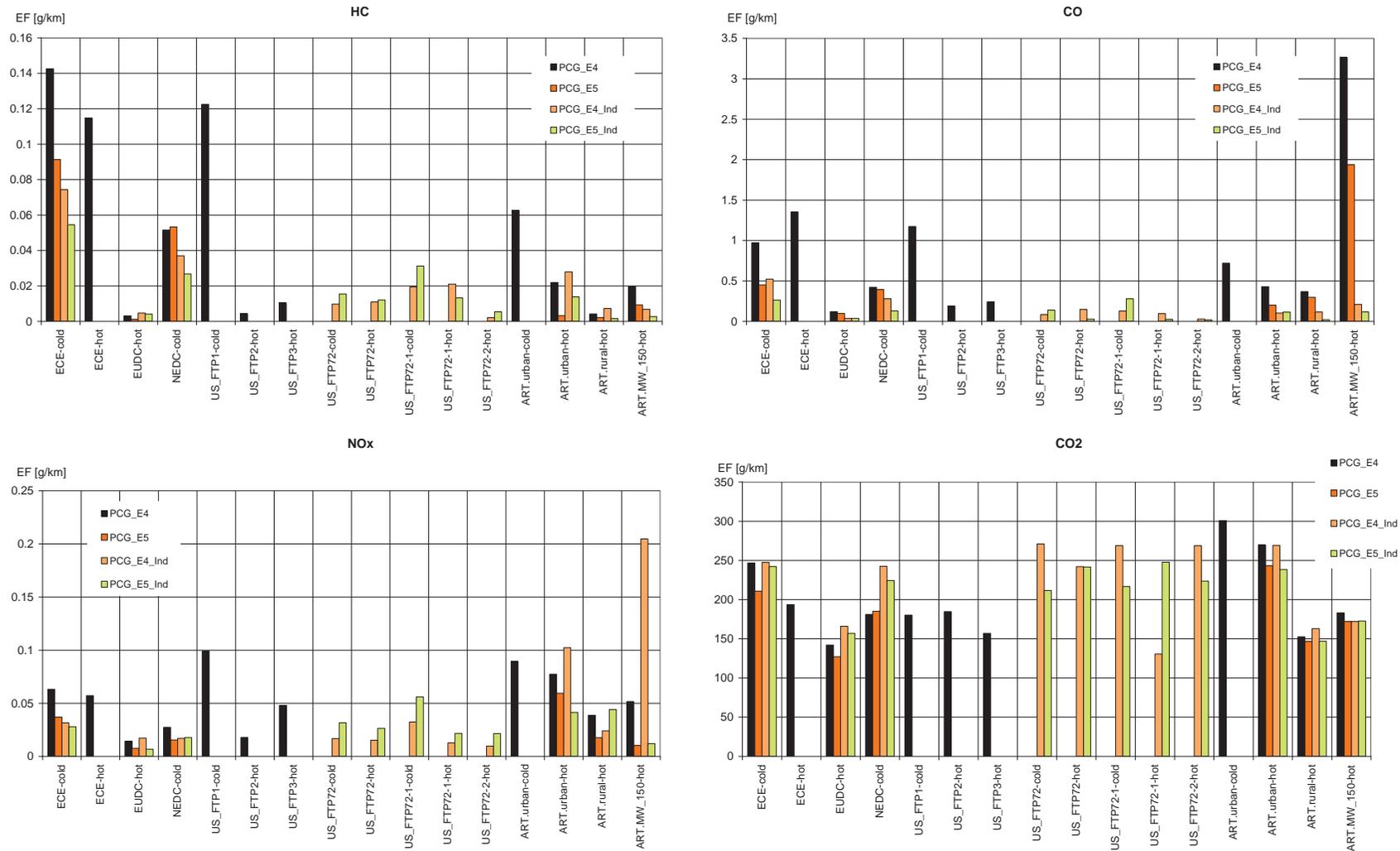
Die Darstellung bestätigt, dass die Emissionen der Benzin-Fahrzeuge praktisch nur mehr durch die Kaltstart-Emissionen bestimmt werden. Das gilt primär für CO und HC. Bei NO<sub>x</sub> ist das Emissionsniveau in den „Real-World“-Zyklen höher als in den legislativen Zyklen, doch ist das absolute Niveau etwa im Vergleich zu Diesel-Pkw sehr tief (<0,05 g/km).

### 3.4.4 Emissionen Pkw Diesel – Euro 5 im Vergleich zu Euro 4

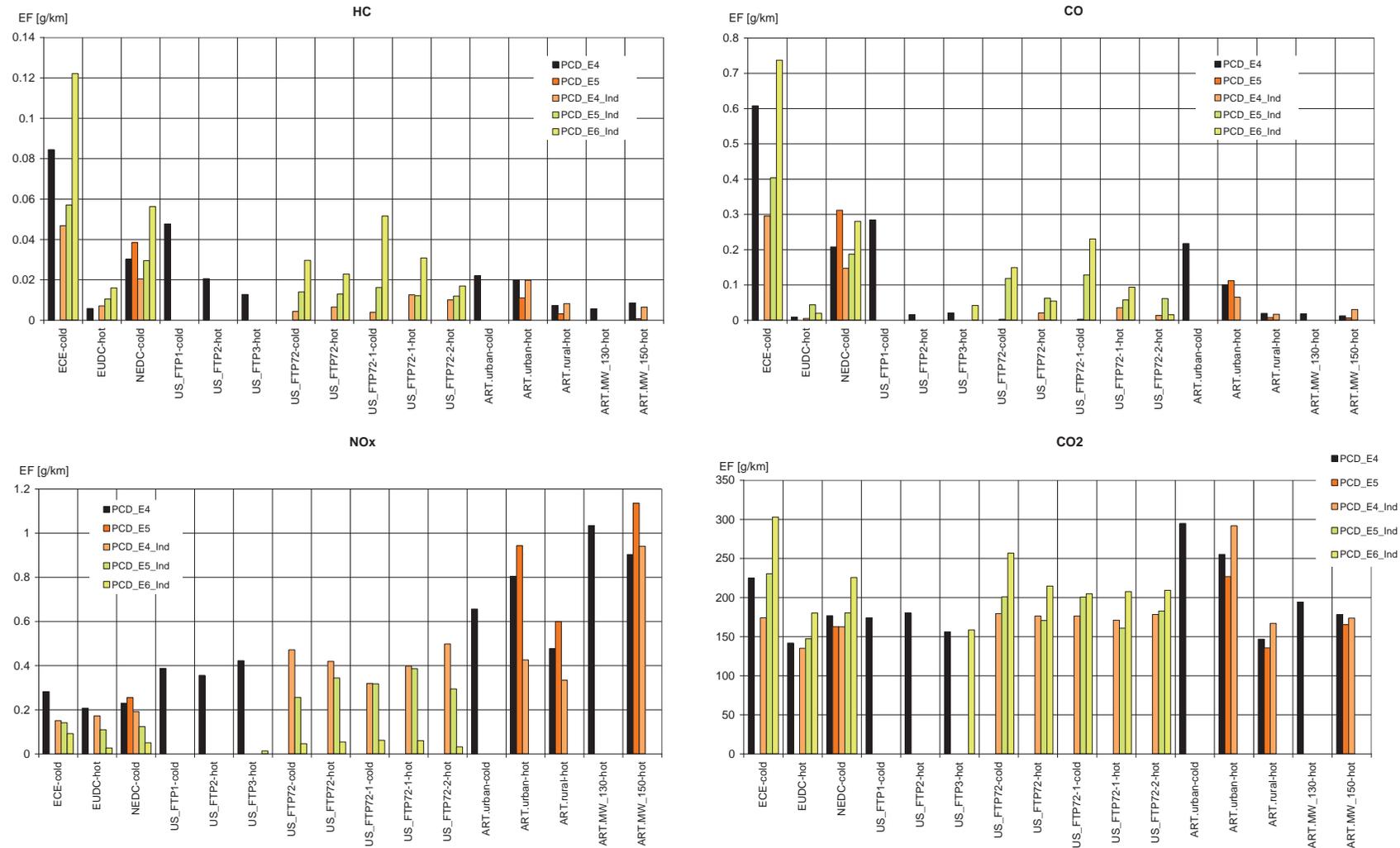
Hier interessiert vor allem das Verhalten der Euro-5 Fahrzeuge im Vergleich zu Euro-4 bei NO<sub>x</sub>. Im HBEFA 3.1 wurden die Euro-5-Fahrzeuge den Euro-4-Fahrzeugen gleichgestellt; erst für Euro 6 wurde eine Absenkung um 65% unterstellt. Die VDA-Messungen veranschlagten bereits für Euro 5 eine Reduktion um 35% (im NEDC) bzw. 54% (im FTP-72). Die neu beschafften Messwerte weisen demgegenüber sogar eine Zunahme von Euro-5 gegenüber Euro 4 aus (im NEDC um +11%), im gewichteten ARTEMIS-Zyklus (gewichtet mit je 1/3 urban (innerorts), rural (außerorts) und motorway (Autobahn)) um 23%. Bemerkenswert ist auch die Diskrepanz zwischen den (allerdings sehr kleinen) Samples zwischen VDA und den neuen Messungen: im gemittelten ARTEMIS Zyklus beträgt das Niveau 0,89 g NO<sub>x</sub>/km, im FTP-72 der VDA-Fahrzeuge 0,34 g NO<sub>x</sub>/km.

Die Samples sind allerdings zu klein, als dass daraus bereits belastbare Anpassungen gemacht werden können, zumal der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des neuen Euro-5-Samples im ARTEMIS-Zyklus (175 g/km) deutlich kleiner ist als jener des Euro-4-Samples (217 g/km).

Die TU Graz hat zudem einen „TU Graz Real-World“-Zyklus gemessen (allerdings in kleinen Samples: zwei Fahrzeuge mit Euro 4, sieben Fahrzeuge mit Euro 5). Diese deuten ebenfalls darauf hin, dass das NO<sub>x</sub>-Emissionsniveau eher zu- denn abgenommen hat.



**Bild 58:** Emissionsmessdaten von Benzin-Pkw Euro 4 / Euro 5 in verschiedenen Zyklen: Dargestellt sind einerseits Messdaten gemäß A300DB (PCG\_E4 und PCG\_E5) und andererseits Messdaten der Industrie (PCG\_E4\_Ind und PCG\_E5\_Ind).  
 Sample-Größe (variable je nach Zyklus): PCG\_E4: 165-195, PCG\_E5: 4-6; PCG\_E4\_Ind: 3-5; PCG\_E5\_Ind: 1-3.



**Bild 59:** Emissionsmessdaten von Diesel-Pkw Euro 4 / Euro 5 / Euro 6 in verschiedenen Zyklen: Dargestellt sind einerseits Messdaten gemäß A300DB (PCD\_E4 und PCD\_E5) und andererseits Messdaten der Industrie (PCD\_E4\_Ind, PCD\_E5\_Ind, PCD\_E6\_Ind).  
 Sample-Größe (variable je nach Zyklus): PCD\_E4: 100-130, PCD\_E5: 7; PCD\_E4\_Ind: 4-6; PCD\_E5\_Ind: 4-6, PCD\_E6\_Ind: 3-5

## 4 NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (1c)

In der aktuellen Version des Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1) wurden erstmalig NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren aufgenommen. Diese Faktoren basieren auf einer Auswertung von Literaturwerten und zahlreichen neuen Messdaten – insbesondere bei Personenkraftwagen. Es wurde – je Fahrzeugkategorie und Emissionsstufe – ein Anteilfaktor von NO<sub>2</sub> am Gesamt-NO<sub>x</sub> festgelegt.

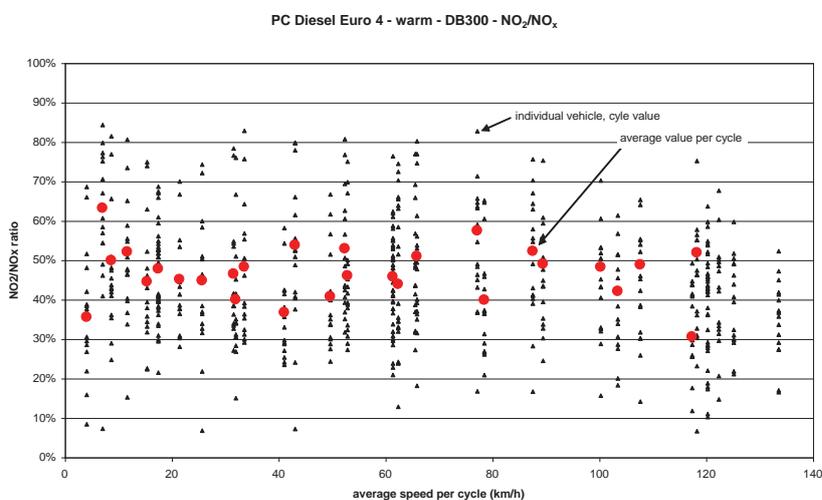
Dieses Kapitel dokumentiert die für das HBEFA 3.1 vorliegenden Daten und die daraus abgeleiteten Emissionsfaktoren. Außerdem werden aktuelle Messdaten vorgestellt (siehe auch [Lambrecht 2010]).

### 4.1 HBEFA 3.1 – Datensammlung

Für das HBEFA 3.1 wurden zahlreiche NO<sub>2</sub>-Emissionsdaten von EMPA, IFEU, INFRAS und TUG zusammengestellt. Die folgenden Abschnitte beschreiben die Datenquellen.

#### Handbuch Datenbank A300

Zur Ableitung von NO<sub>2</sub>-Emissionfaktoren wurde die von INFRAS betreute "A300 DB" verwendet. Die Daten weisen sehr unterschiedliche NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisse, abhängig von Labor, Fahrzeug und Zyklus, auf. In vielen Fällen sind nur wenige oder keine Informationen zur Messmethode verfügbar, denn es gab bisher für NO<sub>2</sub> kein standardisiertes Messverfahren. Bild 60 zeigt die Bandbreite der verfügbaren Daten (Auswahl für Messungen mit Warmstart) mit einem Durchschnittswert über alle Messungen von 50%.



**Bild 60:** NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> – Verhältnis für Euro 4 Diesel-Pkw – Daten aus A300 (Version 03/2009)

#### IFEU Analyse für Euro 4 – neun Fahrzeuge

Von IFEU wurden Messungen des ADAC für neun Euro-4-Pkw (drei Typen) analysiert. Die Messmethode war bei allen Fahrzeugen identisch. Dennoch gibt es eine große Bandbreite im Emissionsniveau abhängig vom Fahrzeugtyp (sowohl für NO<sub>x</sub> als auch für NO<sub>2</sub> Emissionen). Das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis für diesen Datensatz variiert zwischen 10% und 70% für den NEDC. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei CADC und FTP75.

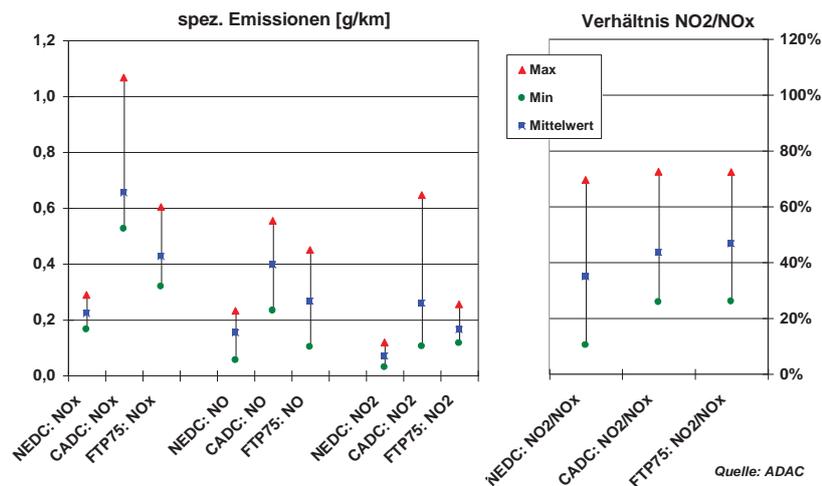


Bild 61:  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis für neun Euro 4 Pkw (drei Typen)

### Neue Fahrzeugtechnologien (Euro 5/6)

Vor der Veröffentlichung des HBEFA3.1 gab es nur wenige Fahrzeuge, die die Normen Euro 5/Euro 6 erfüllten. Der VDA lieferte der HBEFA-Gruppe erste Messergebnisse, die von Heinz Steven bezüglich des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses analysiert wurden. Die Daten zeigen eine Abnahme des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses von Euro 4 nach Euro 5/6 (Euro 4 ungefähr 50%, Euro 5/6 etwa 35%).

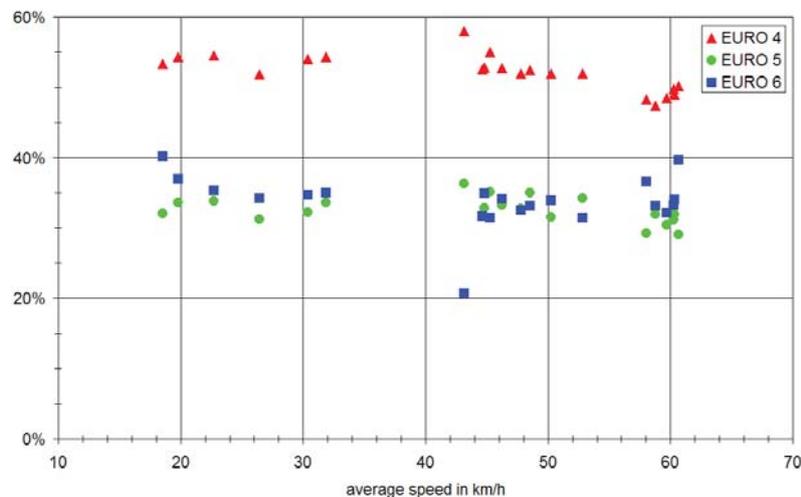


Bild 62:  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis – VDA-Datensatz nach Analysen von Heinz Steven

Für einige Fahrzeuge waren Daten für den FTP Teil 1 und FTP Part 2 verfügbar. Auch diese Daten zeigten eine Abnahme des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses von Euro 4 nach Euro 6.

Tabelle 15:  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis nach VDA (FTP72–Zyklus) - Analysen von Heinz Steven

	FTP 72 – Teil 1	FTP – Teil 2
Euro 4	44,3%	58,8%
Euro 5	33,4%	38,1%
Euro 6	22,4%	28,8%

### **Einfluss von Nachrüstungsmaßnahmen**

Nach einem ADAC-Test [ADAC 2008], der mit Nachrüstsyste men der Firmen HJS, Twin-Tec, Remus und Volkswagen durchgeführt wurde, reduzieren die Diesel-Partikelfilter (DPF), die im Jahr 2008 erhältlich waren, Feinstaub in Dieselabgasen um fast die Hälfte. Die durchschnittliche Minderung von Diesel-Partikeln lag im ADAC-Test bei etwa 45%. Nachgerüstete DPF reduzieren auch Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)-Emissionen um 30%, da NO<sub>2</sub> während der Regeneration verbraucht wird.

### **Remote Sensing**

Eine große On-Road Remote Sensing Emissionsmesskampagne wurde im Jahr 2007 in Göteborg, Schweden, durchgeführt, um On-Road Daten für eine Evaluierung der drei großen Straßenverkehr Emissions-Modelle in Europa zu erhalten: das COPERT 4 Modell, das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA 2.1), und das neu entwickelte ARTEMIS Road Modell [IVL 2008].

Das neueste Remote-Sensing Messgerät der Universität Denver, das auch für die Messung von Konzentrationen von NO und NO<sub>2</sub> geeignet ist, wurde an vier verschiedenen Stellen eingesetzt. Insgesamt wurden mehr als 15.000 Fahrzeuge gemessen. Dank einer Kennzeichenerfassung konnten die Remote-Sensing Daten einzelnen Fahrzeugen zugeordnet und damit nach Alter, Euro-Klasse, Größe, Art des Brennstoffs, Leistung, etc. klassifiziert werden. Für jeden Messort wurden die durchschnittlichen On-Road-Emissionsfaktoren, ausgedrückt in Gramm Schadstoff pro Liter Kraftstoff, nach Fahrzeugklassen (Pkw, LNF, Lkw und Busse), Technologie und Kraftstoff (z. B. Benzin, Diesel) und Euro-Klasse, mit den entsprechenden Ergebnissen aus den drei Emissionsmodellen verglichen. Die Ergebnisse für Pkw sind in Tabelle 16 dargestellt.

### **Übersicht über alle Daten**

Eine Sammlung und Überprüfung von NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> Daten von Diesel- und Benzin-Pkw wurden von EMPA, IFEU, INFRAS und TUG für die Entwicklung des HBEFA 3.1 durchgeführt. Basierend auf diesen Literatur- und Messdaten schlugen die Institutionen Werte für das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis von Euro 0 - Euro 6 Pkw vor. Die Ergebnisse weichen nicht stark voneinander ab. Ein Grund dafür ist, dass ein Teil der Datenbasis in der A300-Datenbank verwendet wird: Die A300-Datenbank bildet die Datenbasis für die TUG, die EMPA verwendete eigene Daten, die auch Teil der A300-Datenbank sind. Der IFEU-Vorschlag basiert auf der A300-Datenbank und weiteren Daten aus der Literatur und einzelnen Messungen. Die IVL Remote Sensing-Daten zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Daten aus Emissionsmessungen.

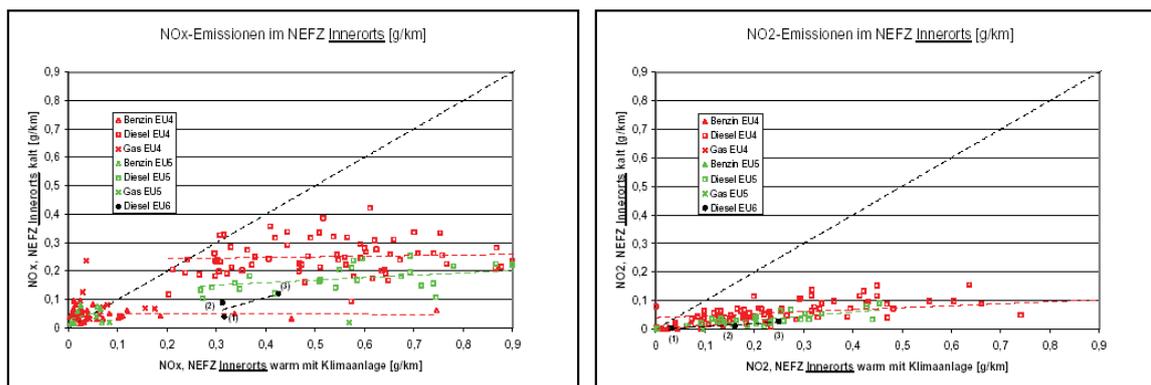
Tabelle 16: Schätzung des NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses von verschiedenen Institutionen für Pkw

	TUG	IFEU	INFRAS	EMPA	IVL*	HBEFA 3.1
<b>Diesel-Pkw</b>						
Euro 1	7%	10%			10%	<b>8%</b>
Euro 2	11%				14%	<b>11%</b>
EU3 + DOC	37%	35%	40%	29%	47%	<b>35%</b>
EU4 + DOC	37%	43%	45%	38%	55%	<b>40%</b>
EU4 + DPF	51%	48%	50%	64%	55%	<b>50%</b>
EU 5	35%	35%	30%			35%
EU 6	28%	30%				30%
<b>Otto-Pkw</b>						
ohne Katalysator	7.0%	5%	7.0%		2.9%	<b>5%</b>
EU 1	4.0%	5%	7.0%		1.9%	<b>5%</b>
EU 2	4.0%	5%	7.0%		2.3%	<b>5%</b>
EU 3	4.0%	5%	7.0%		5.3%	<b>5%</b>
EU 4	4.0%	5%	7.0%		5.5%	<b>5%</b>
EU 5	4.0%	5%	7.0%			5%
EU 6	4.0%	5%	7.0%			5%
*IVL: Remote Sensing						

#### 4.2 Neue Daten zu Euro 6-Fahrzeugen

Der Allgemeine Deutsche Automobil Club (ADAC) informiert Verbraucher über die Umwelteigenschaften von Pkw (EcoTest). Daten für den EcoTest basieren auf Messungen verschiedener Fahrzyklen auf einem Rollenprüfstand.

Gemessen wurden der NEFZ (Stadtfahrzyklus) für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub>. Dabei werden zusätzlich zu dem EU-Messverfahren auch Messungen durchgeführt, bei denen die Klimaanlage angeschaltet ist. Ergebnisse wurden nach der Veröffentlichung des HBEFA 3.1 auf dem Heidelberger NO<sub>2</sub> Workshop präsentiert [ADAC 2010]. Der Einfluss von Betriebszuständen außerhalb des Standard-Meßverfahrens (d.h. mit eingeschalteter Klimaanlage) für NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub> ist in Abbildung 9 für den NEFZ (Stadtfahrzyklus) dargestellt. Es zeigt sich, dass sowohl die NO<sub>x</sub>- als auch die NO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Betriebszustand höher liegen als im standardisierten Verfahren.



**Bild 63:** NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> Messdaten– x: NEFZ, warm, mit eingeschaltener Klimaanlage; y: NEFZ, kalt, Standardverfahren ohne eingeschaltene Klimaanlage

Das mittlere NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis ist bei Euro-4-Fahrzeugen geringer als bei Euro-5-Fahrzeugen (siehe nächste Tabelle). Es wurden die Messungen von drei Euro-6-Fahrzeugen analysiert. Das mittlere NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis für den innerstädtischen Teil des NEFZ kalt hat ein Verhältnis von 17%, für den NEFZ warm 42%.

Diese ersten - vorläufigen - Daten zeigen höhere Anteile für Euro-6-Fahrzeuge als von den HBEFA-Experten erwartet. Weitere Messungen sind notwendig. Besonders sollten Emissionsfaktoren in Real World-Fahrzyklen gemessen werden.

**Tabelle 17: Übersicht – Messdaten von Euro-5- und Euro-6-Fahrzeugen – ADAC Messungen**

			NO <sub>x</sub> (average) in g/km	NO <sub>2</sub> (average) in g/km	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>
NEDC (urban part) w/o Air Condition	cold	Diesel Euro 4	0,253	0,06	24%
		Euro 5	0,178	0,036	20%
		Euro 6	0,083	0,014	17%
NEDC (urban part) with Air Condition	warm	Diesel Euro 4	0,63	0,286	45%
		Euro 5	0,611	0,226	37%
		Euro 6	0,351	0,147	42%

Source: [ADAC 2010]

## 5 Emissionsfaktoren bestimmter Verkehrssituationen (1d)

Für das Arbeitspaket 1d hat die Leistungsbeschreibung des UBA folgende Verkehrssituationen vorgeschrieben:

1. Innerortsfahrten auf Hauptverkehrsstraßen mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h,
2. Autobahnfahrten mit Geschwindigkeiten von 70 km/h und 90 km/h,
3. zusätzlich für Pkw und Motorräder Autobahnfahrten mit Geschwindigkeiten von 110 km/h bis 190 km/h in Schritten von 10 km/h.

Zu den Punkten 1 und 2 werden die Geschwindigkeitsangaben bis zu 130 km/h als zulässige Höchstgeschwindigkeiten interpretiert, zu Punkt 3 als mittlere Geschwindigkeiten.

Innerortsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h sind im HBEFA 3.1 bereits als Zufahrts- und Wohnstraßen (auch Nebenstraßen in Ballungsgebieten) berücksichtigt. Allerdings kommt seitens der Anwender aus Deutschland die Forderung nach Emissionsfaktoren für Hauptverkehrsstraßen mit Tempo 30. Diese konnten für das HBEFA 3.1 nicht berücksichtigt werden, weil keine entsprechenden Fahrverläufe vorlagen.

### 5.1 Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen

Von der TU Dresden sind in der Zwischenzeit entsprechende Daten für Pkw aus vorher/nachher Untersuchungen in Halle (Saale) zur Verfügung gestellt worden. Die Ergebnisse legen jedoch den Schluss nahe, dass die Zielsetzung eines niedrigeren Geschwindigkeitsniveaus mit höheren Konstantfahrtanteilen und möglichst verringerten Stillstandsanteilen verbunden mit geringeren Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht erreicht wurde.

Die Geschwindigkeitsverteilungen für Tempo 30 und Tempo 50 der Daten aus Halle sind in Bild 64 dargestellt. Rund 35% der Zeit liegen die Geschwindigkeiten bei Tempo 30 über 30 km/h. Die Unterschiede in der Geschwindigkeit betragen beim Durchschnitt nur 2,5 km/h, in den Spitzen nur 5 km/h. Eine Geschwindigkeitsverteilung, mit der die Zielsetzung erreicht werden könnte ist als „target distribution“ zusätzlich eingezeichnet.

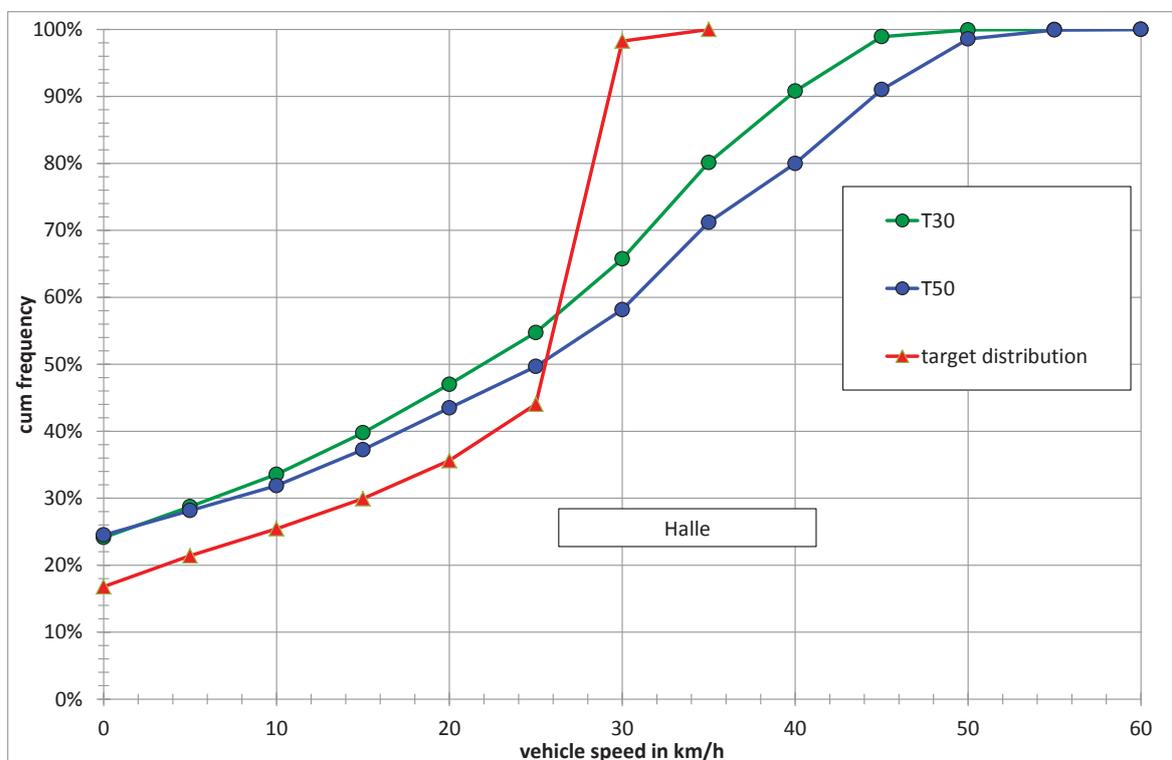
Für eine vertiefende Analyse werden die Daten in Stillstandsphasen und Fahrtphasen (short trips) aufgeteilt und getrennt analysiert. Für die Fahrtphasen werden dann Parameter wie Zeitdauer, zurückgelegte Wegstrecke, maximale und durchschnittliche Geschwindigkeiten ( $v_{\max}$ ,  $v_{\text{ave}}$ ), positive Beschleunigungen, RPA u.ä. berechnet.

Ein Vergleich von  $v_{\max}$  über  $v_{\text{ave}}$  bei Tempo 30 und 50 ist in Bild 65 dargestellt. Bild 66 zeigt die RPA-Werte über  $v_{\text{ave}}$ . Auch hier ist unschwer zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen Tempo 30 und Tempo 50 zu gering sind und dass die Zielwerte für geringere Emissionen (target T 30) völlig andere Bereiche abdecken.

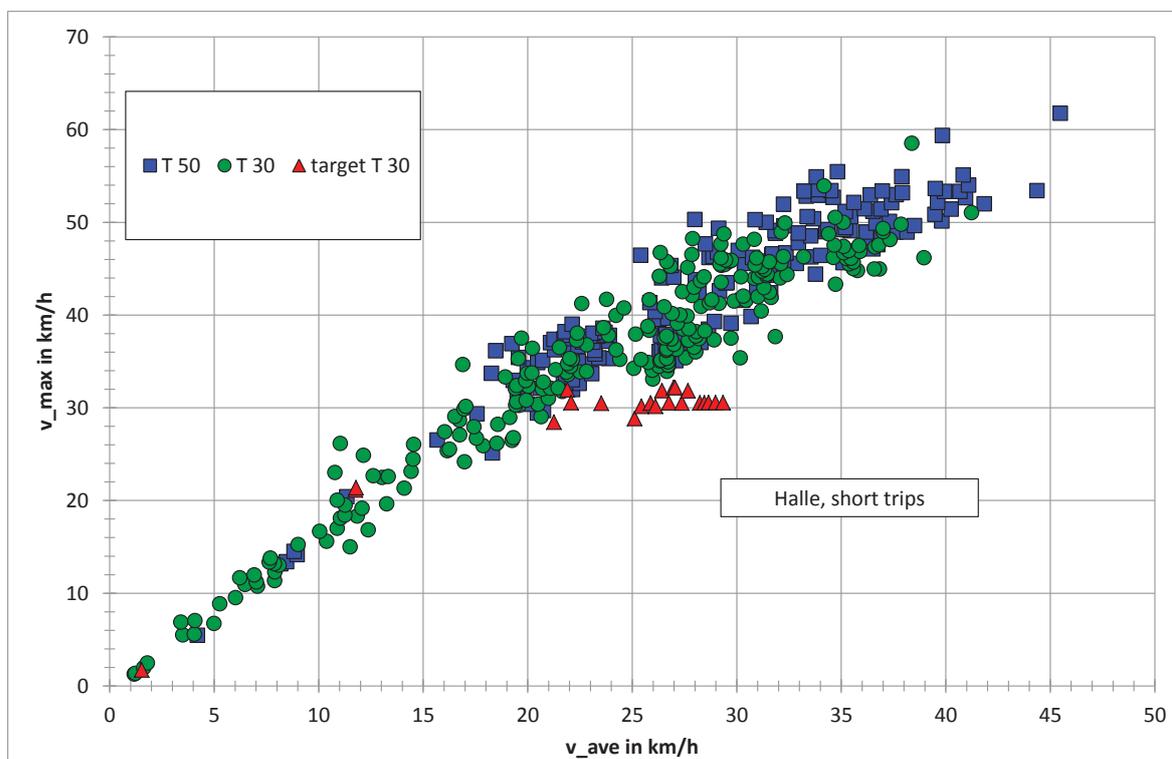
In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass im Auftrag des Landesumweltamtes Baden Württemberg Ende letzten Jahres in Stuttgart mit drei Fahrzeugen (zwei Pkw und einem leichten Nutzfahrzeug) Fahrversuche auf Hauptverkehrsstraßen durchgeführt worden sind, bei denen neben Tempo 50 auch Tempo 40 und Tempo 30 simuliert wurde, indem die jeweiligen Zielgeschwindigkeiten auf drei verschiedenen Rundkursen nicht oder nur unwesentlich überschritten wurden. Aus dieser Untersuchung stammen die „target“-Werte in Bild 64 bis Bild 66.

Man kann davon ausgehen, dass die Ergebnisse für die hier anstehende Fragestellung genutzt werden können. Deshalb wird vorgeschlagen, neue Fahrzyklen auf der Basis die-

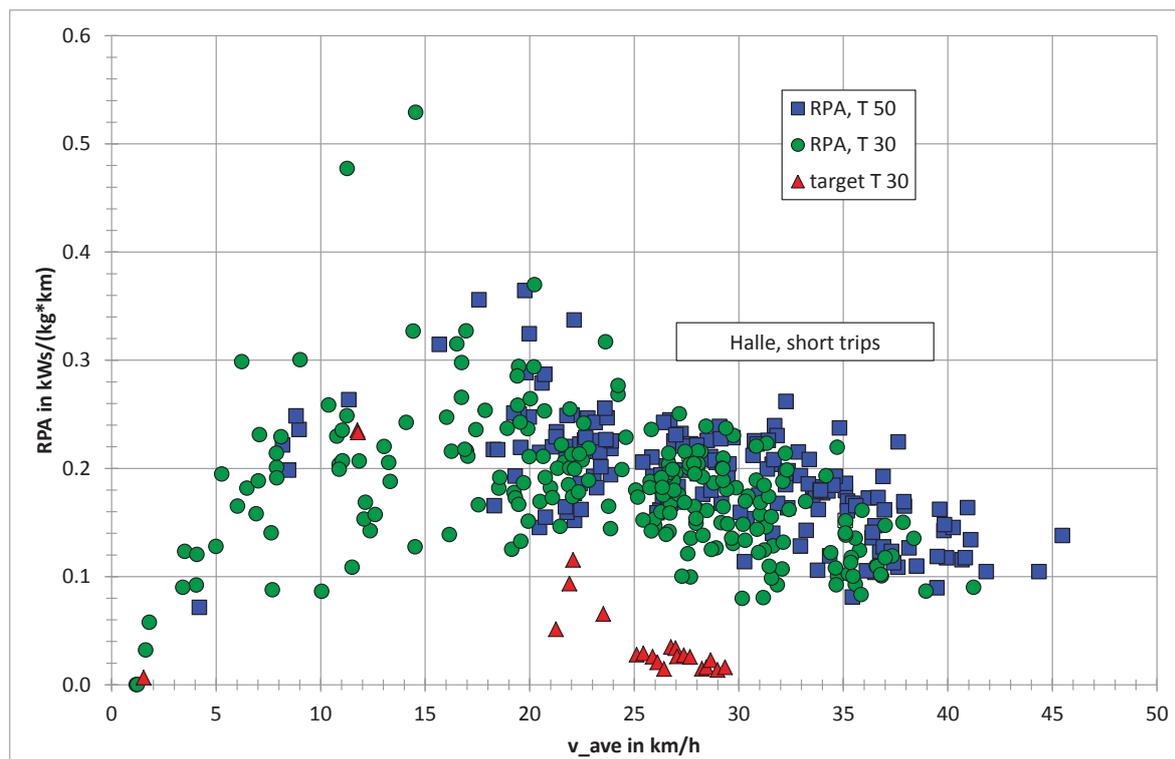
ser Ergebnisse zu generieren. Da das Vorhaben aber noch nicht abgeschlossen ist, können für diesen Abschlussbericht noch keine konkreten Zyklen angegeben werden.



**Bild 64:** Häufigkeitssummen der Geschwindigkeitsverteilungen im Tempo 30 Untersuchungsgebiet in Halle



**Bild 65:** Zusammenhang von maximaler und durchschnittlicher Geschwindigkeit bei Tempo 30 und Tempo 50 im Untersuchungsgebiet in Halle (short trips)



**Bild 66:** Zusammenhang von relative positive Beschleunigung und durchschnittlicher Geschwindigkeit bei Tempo 30 und Tempo 50 im Untersuchungsgebiet in Halle (short trips)

## 5.2 Fahrzyklen für Pkw und Motorräder für höhere Autobahngeschwindigkeiten

Autobahnen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h sind im Zyklschema des HBEFA 3.1 bereits vollumfänglich berücksichtigt. Für Autobahnen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h sind ebenfalls bereits Emissionsfaktoren enthalten, allerdings nur für stadtnahe Autobahnen.

Zu Punkt 3 ist folgendes zu sagen: Für Motorräder stehen aus der WMTC-Datenbank die erforderlichen Fahrzyklen zur Verfügung, für Pkw war dies bisher nur bis 150 km/h der Fall. Allerdings stehen HS aus einem anderen, laufenden Vorhaben Fahrzyklen für Pkw mit den geforderten Geschwindigkeiten zur Verfügung.

Die Emissionsfaktoren für Geschwindigkeiten von 110 km/h bis 140 km/h sind bereits im HBEFA 3.1 enthalten, wenn auch um 2 km/h erhöht.

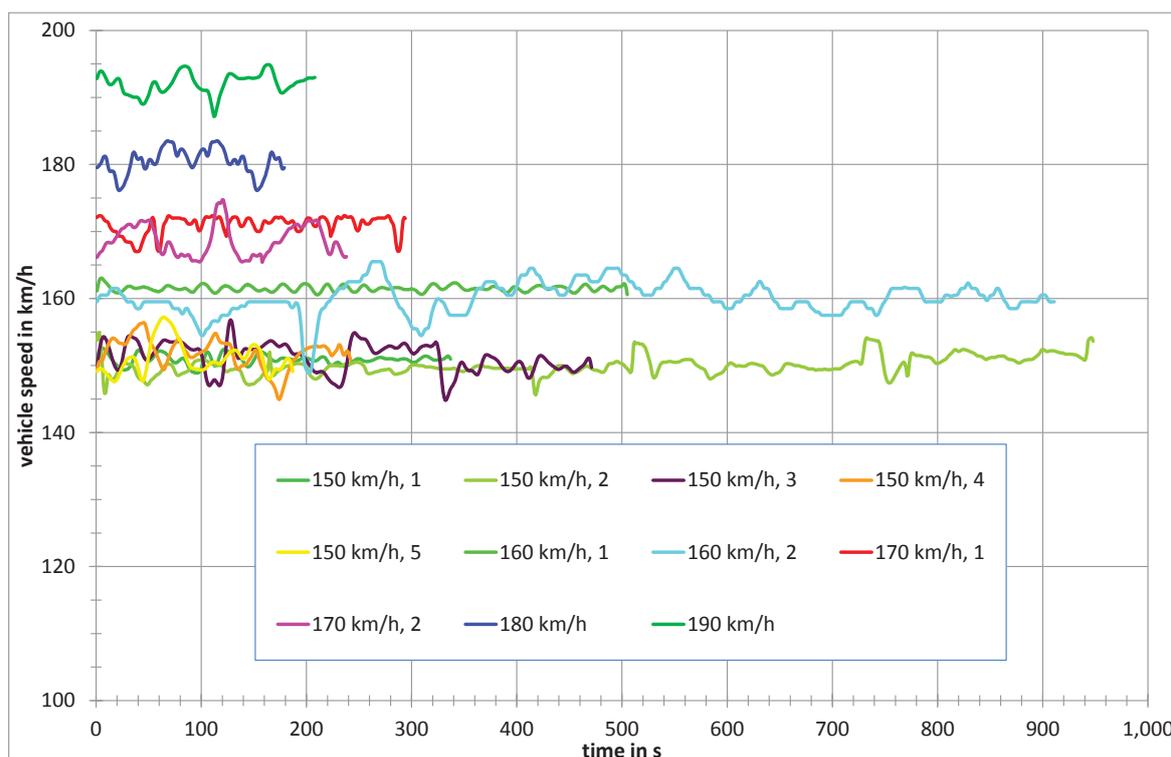
Wir möchten jedoch darauf hinweisen, dass die Emissionsfaktoren für Geschwindigkeiten oberhalb von 130 km/h bis 150 km/h je nach Fahrzeugschicht und zugrunde liegenden Messzyklen, z.B. WMTC ( $v_{\max} = 130$  km/h) oder CADC ( $v_{\max} = 150$  km/h) extrapoliert werden müssen, weil die Messzyklen diese hohen Geschwindigkeiten nicht abdecken.

Es sollte mit dem Auftraggeber und den anderen Forschungsnehmern diskutiert werden, inwieweit diese Extrapolation belastbare Ergebnisse liefert.

Aus dem vorhandenen Datenpool wurden dennoch Fahrtabschnitte mit quasi konstanten Geschwindigkeiten ausgewählt, die Zeitdauern von mindestens drei Minuten oder mehr

aufwiesen (siehe Bild 67). Es ist unschwer zu erkennen, dass konstante Geschwindigkeitsverläufe praktisch kaum vorkommen, sondern dass die Geschwindigkeitsverläufe stets leichte Schwankungen aufweisen. Für Tempo 150 enthält die Datenbank fünf verschiedene Zyklen mit unterschiedlichem Schwankungsgrad, bei Tempo 160 und 170 jeweils zwei verschiedene Zyklen, während bei Tempo 180 und 190 jeweils nur ein längerer Abschnitt in der Datenbank enthalten ist.

Diese Zyklen können als Grundlage für die Bestimmung zugehöriger Emissionsfaktoren verwendet werden.



**Bild 67:** Quasi konstante Geschwindigkeitsverläufe auf Autobahnen bei unterschiedlichen mittleren Geschwindigkeiten

## 6 Alternative Fahrzeugkonzepte / unkonventionelle Kraftstoffe (1e)

### 6.1 Aufgabenstellung

In diesem Arbeitspaket sind Emissionsfaktoren für eine ganze Reihe von alternativen Fahrzeugkonzepten bzw. unkonventionellen Kraftstoffen zu bestimmen. Die Erfahrung im Kontext HBEFA 3.1 hat allerdings gezeigt, dass diesem Vorhaben Grenzen gesetzt sind. So hat der mit dieser Thematik beauftragte Partner (AVL/MTC) damals gefolgert, dass die Datenlage bei den „Alternativen“ so begrenzt sei, dass keine belastbaren Daten ins HBEFA 3.1 integriert werden können bzw. sollen. Gleichwohl wurde gefordert, solche Werte – wenn auch provisorischer Art – aufzunehmen.

Vor diesem Hintergrund wurde ein erneuter Versuch unternommen werden, um Daten in diesem Bereich zu beschaffen. Wie in Kapitel 3 erläutert, ist der Rücklauf nach wie vor beschränkt. Die nachstehende Tabelle rekapituliert die Anzahl der Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen, für die neue Messwerte beschafft werden konnten.

**Tabelle 18: Übersicht über den Umfang der Fahrzeuge mit alternativen Konzepten oder Kraftstoffen, deren Emissionsmesswerte nach der Veröffentlichung von HBEFA Version 3.1 (Feb. 2010) neu beschafft werden konnten.**

		Euro-4	Euro-5	Total
pass. car	bifuel CNG/petrol	17		17
pass. car	bifuel E85/petrol	17		17
pass. car	CNG	4	1	5
pass. car	Hybrid petrol/electric	5	1	6
Total		43	2	45

Auch wenn die Anzahl der Fahrzeuge mit 45 scheinbar groß ist, wird die Anzahl der möglichen Auswertungen durch den Umstand reduziert, dass die Gruppe in viele Subgruppen aufzuteilen ist; zudem wurden diese Fahrzeuge nicht immer im gleichen Standardprogramm gemessen, vielmehr variiert die Zahl und Art der Tests je nach Fahrzeug (z.B. zuweilen mit, aber oft ohne Vergleichskraftstoff Benzin bei bi-fuel-Fahrzeugen, häufig nur einzelne ausgewählte Fahrzyklen etc.). Es ist denn auch eine Herausforderung, die heterogenen Daten in systematischer Weise in die Datenbank aufzunehmen um sie Auswertungen zugänglich zu machen.

Die nachstehenden Grafiken sind deshalb selektive und „maßgeschneiderte“ Auswertungen, die stark durch die Datenverfügbarkeit geprägt sind. Für die Herleitung von Emissionsfaktoren für eine künftige HBEFA-Version ist die Datenbasis nach wie vor beschränkt. Die Beschaffung weiterer Daten (z.B. angedacht im Rahmen ERMES) ist deshalb unumgänglich.

## **6.2 Ergebnisse**

### **6.2.1 Emissionen von CNG-Fahrzeugen**

Verfügbar sind Angaben von 22 Fahrzeugen, zum Teil sind es Bifuel-Fahrzeuge, zum Teil reine CNG-Fahrzeuge; 21 der 22 Fahrzeuge sind Euro-4-Konzepte. Die nachstehende Abbildung zeigt das Emissionsniveau dieser Fahrzeuge im Vergleich zu Benzin-Pkw-Euro-4. Generell kann man daraus folgern, dass das Emissionsniveau bei CO und CO<sub>2</sub> tiefer, bei HC und NO<sub>x</sub> höher ist (wobei bei HC differenziert werden muss zwischen Methan und Nicht-Methan). Zu unterscheiden ist auch zwischen Kaltstart-Zyklen bzw. mit warmem Motor gefahrenen Zyklen.

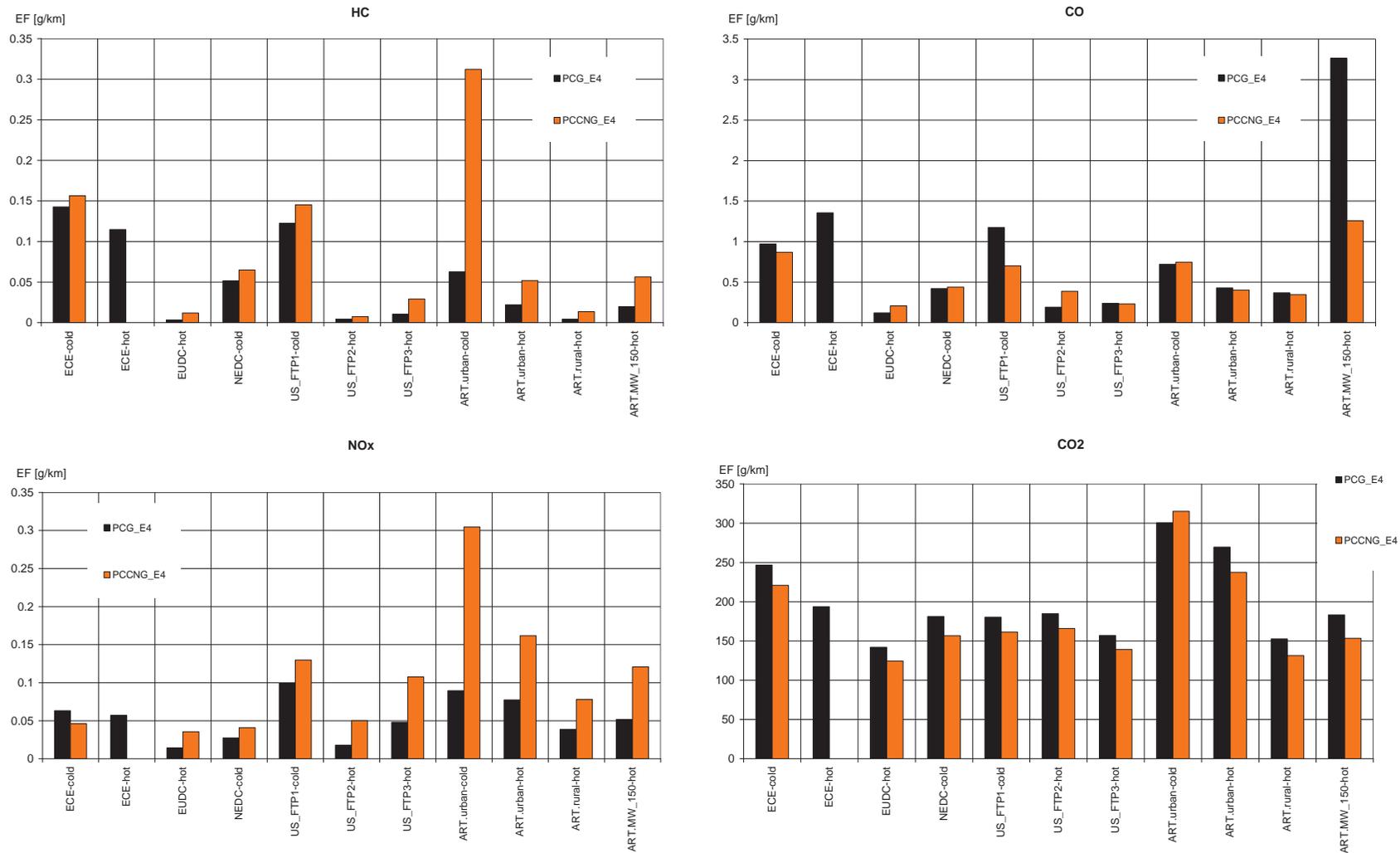
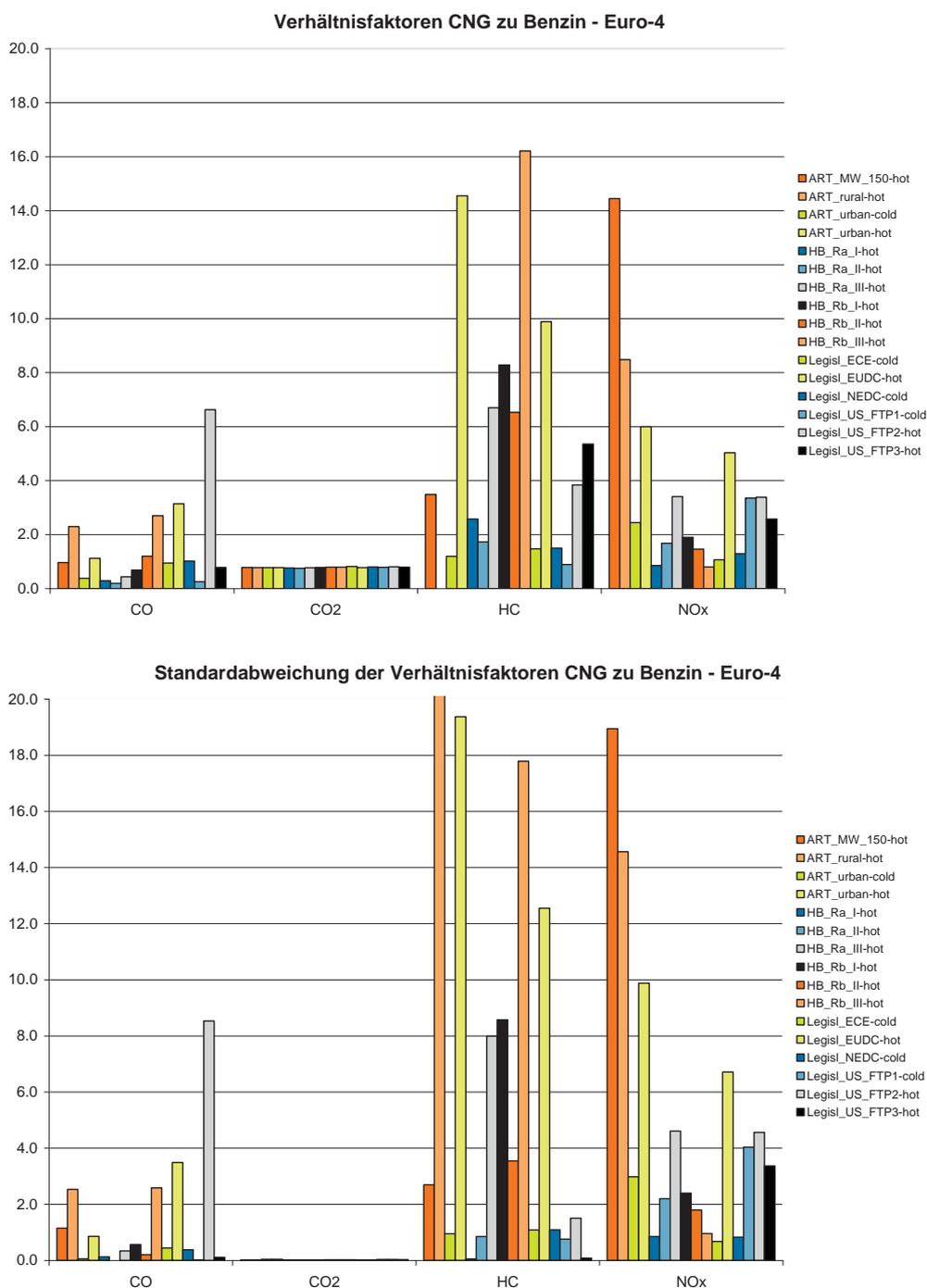


Bild 68: Emissionsmessdaten von CNG-Fahrzeugen (Euro 4) im Vergleich zu Benzin-Pkw Euro 4 in verschiedenen Fahrzyklen

Analysiert man lediglich die Fahrzeuge, die sowohl mit Benzin wie auch mit CNG gefahren werden und leitet daraus Verhältnissfaktoren ab, so reduziert sich zum einen das Sample stark (auf lediglich rund 8 Fahrzeuge), zum andern streuen diese Faktoren sehr stark von Fahrzeug zu Fahrzeug, was sich in der teilweise sehr großen Standardabweichung äußert. Eine finale Entscheidung, welche Faktoren letztlich verwendet werden, bedarf zweckmäßigerweise einer breiteren Datenbasis und einer vertiefteren Analyse der einzelnen Datensätze.



**Bild 69:** Verhältnissfaktoren und Standardabweichung der Emissionen von Bifuel-Fahrzeugen (CNG/Benzin), die einmal mit CNG, dann mit Benzin betrieben wurden.

## 6.2.2 Emissionen von FFV-Fahrzeugen (flexible fuel vehicles, Euro-4)

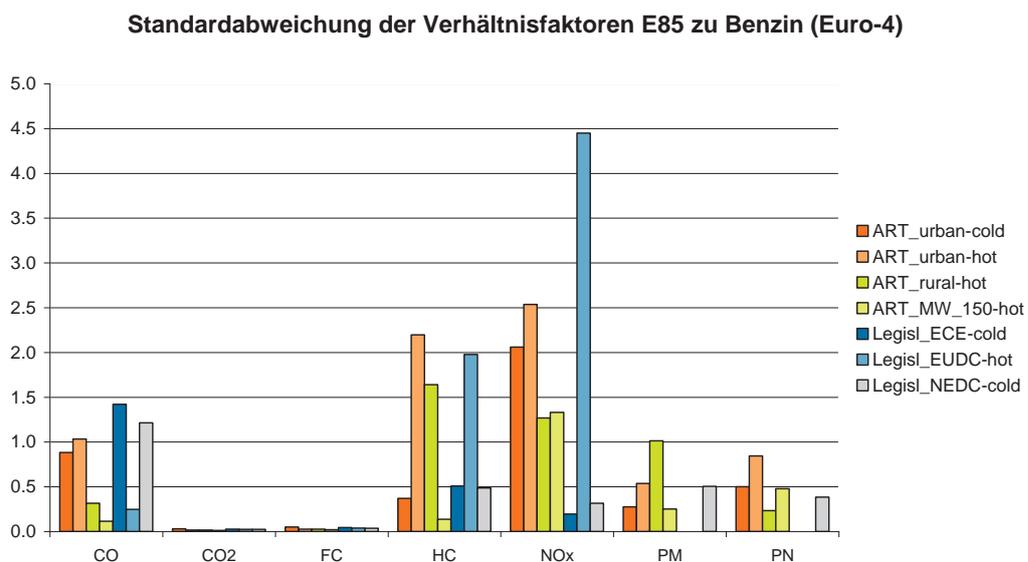
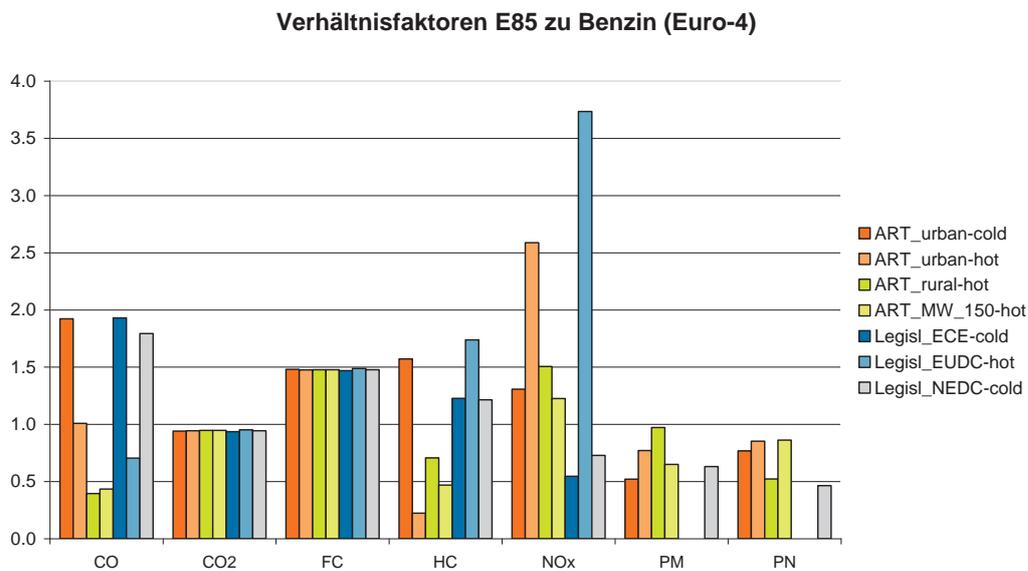
Für die Herleitung von Verhältnisfaktoren konnten letztlich Datensätze von 12 Euro-4-FFV herangezogen werden. Die nachstehende Darstellung zeigt:

Einheitlich höherer Kraftstoffverbrauch bei geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen (worin sich die unterschiedlichen Energieinhalte von Benzin bzw. Ethanol zeigen),

Höhere Kaltstartemissionen bei CO und HC bei gleichzeitig geringeren Emissionen in den warmen Zyklen,

Höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen,

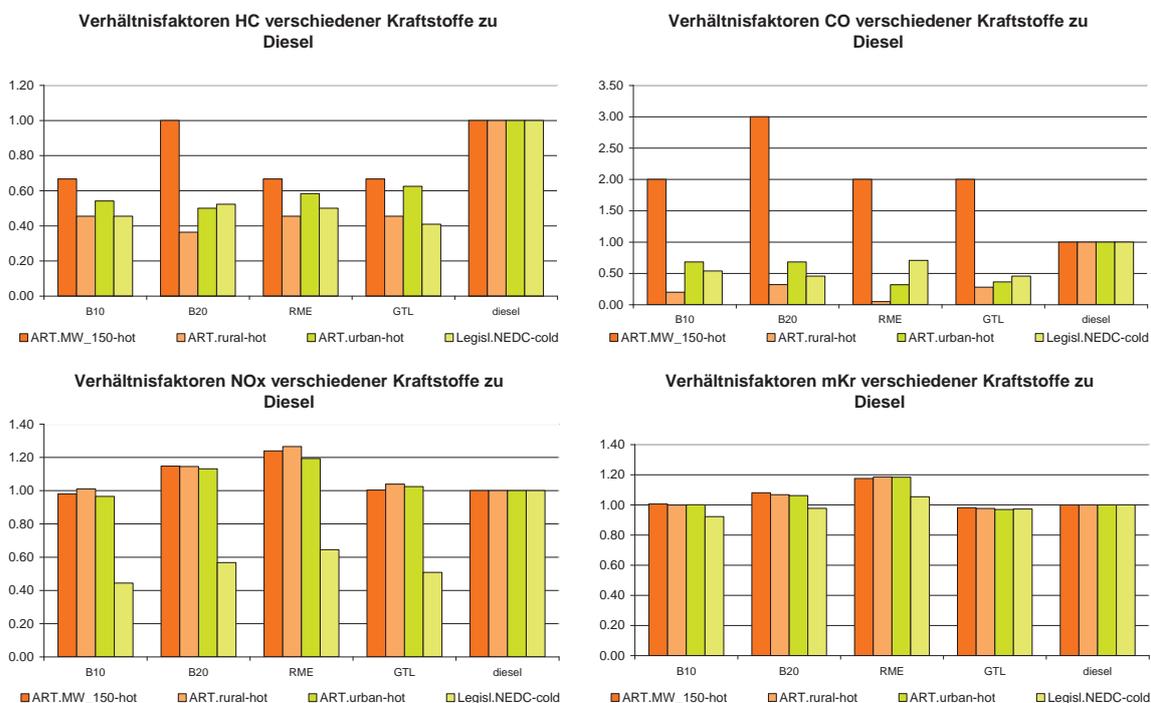
Geringere- PM und PN-Emissionen.



**Bild 70:** Verhältnisfaktoren und Standardabweichung der Emissionen von FFV-Fahrzeugen (flexible fuel vehicles), die einmal mit E85 und einmal mit Benzin betrieben wurden.

### 6.2.3 Einfluss von Biodiesel

Der nachstehenden Abbildung unterliegen die Messwerte von lediglich einem Fahrzeug. Hier wurden die gleichen Zyklen für verschiedene Biodiesel-Typen (B10, B20, RME und GTL) gefahren. Demnach ergeben sich tendenziell höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen, geringere CO und HC-Emissionen (ausgenommen CO im Autobahnzyklus).

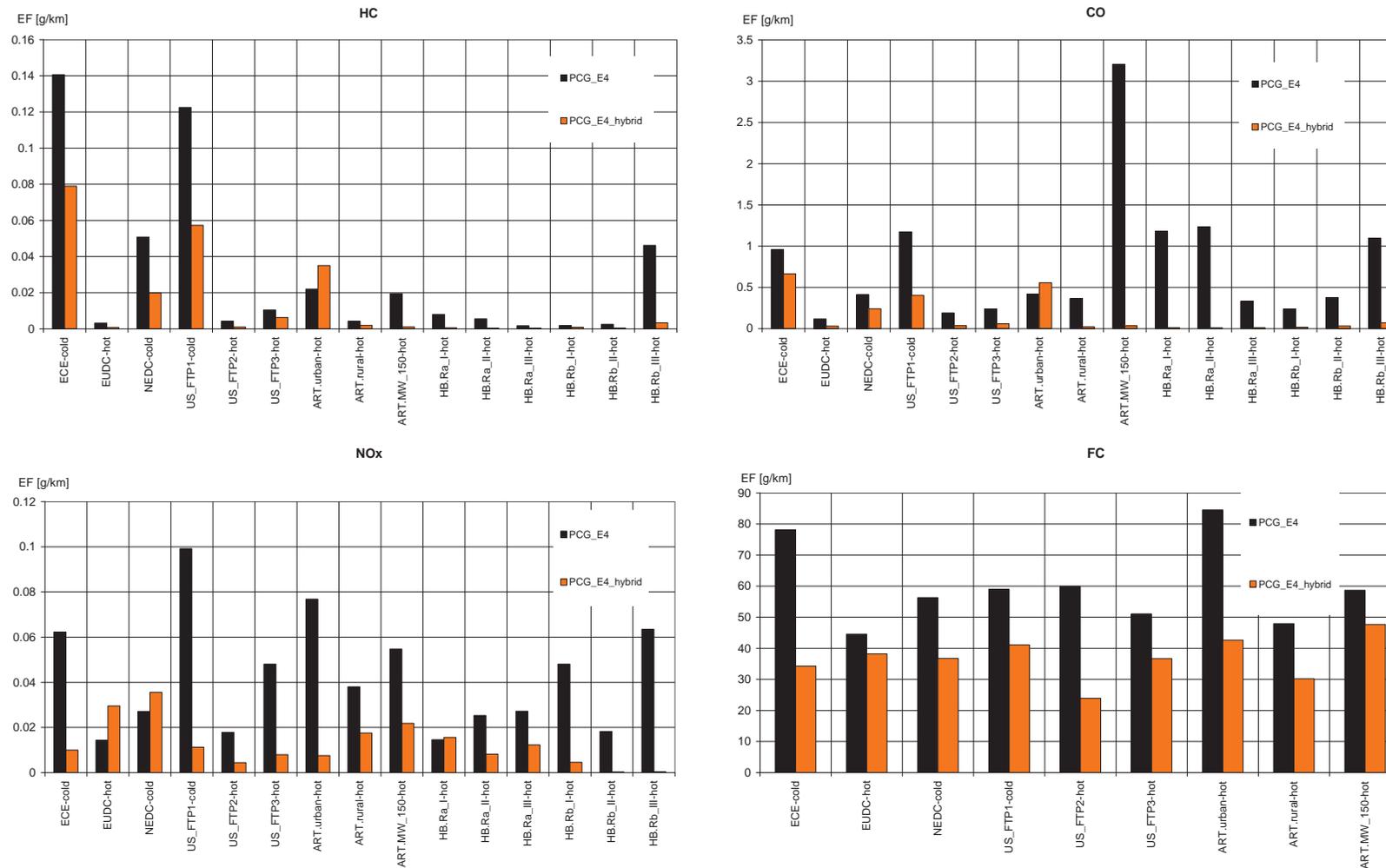


**Bild 71:** Verhältnissfaktoren der Emissionen beim Betrieb mit unterschiedlichen Kraftstoffen (Vorbehalt: Daten von lediglich einem Fahrzeug).

### 6.2.4 Hybrid-Fahrzeuge

Schließlich konnten Emissionsmessdaten von Hybrid-Fahrzeugen (5 Euro-4, 1 Euro-5) beschafft werden. Die nachstehende Darstellung zeigt die Ergebnisse der Euro-4-Hybride im Vergleich zu konventionellen Benzin-Fahrzeugen (Euro 4). Über die Art und Weise der Messungen (z.B. Ladungsgrad der Batterien beim Start der Messung) liegen allerdings keine präzisen Angaben vor. Eine Absprache zwischen den Labors über eine Vereinheitlichung des Messprotokolls ist angezeigt. Eine Diskussion dazu ist im Rahmen von ER-MES vorgesehen.

Die Grafik zeigt jedenfalls in aller Regel tiefere Emissionen für die Hybrid-Fahrzeuge, wobei das kleine und inhomogene Sample (vier der fünf Fahrzeuge sind Toyota Prius II) zu beachten ist.



**Bild 72:** Emissionsmessdaten von Benzin-Hybrid-Fahrzeugen (Euro 4) im Vergleich zu konventionellen Benzin-Fahrzeugen (Euro 4). Sample-Grösse (variabel je nach Zyklus): PCG\_E4: 165-195, Hybrid-Fahrzeuge: 5.

## 7 Bestandsaufnahme und Aktualisierung von Dieselfahrzeugen mit Minderungstechniken (2a)

### 7.1 Übersicht

Bei den Dieselfahrzeugen werden zur Abgasminderung unterschiedliche Technologien eingesetzt, die sich im Emissionsverhalten unterscheiden. Besonders relevant sind Dieselfahrzeuge aller Fahrzeugkategorien (Pkw, LNF, Lkw, Busse), die serienmäßig oder nachgerüstet mit SCR-Katalysatoren, NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatoren, Oxidationskatalysatoren und Partikelfiltern ausgestattet sind.

Das Kraftfahrt-Bundesamt liefert mit der Bestandsstatistik keine Informationen über die Ausstattung der Fahrzeuge nach Technologien. Mit den Emissionsschlüsselnummern ist lediglich die Zuordnung zu einer bestimmten Grenzwertstufe möglich. Informationen lassen sich daher nur über verschiedene Quellen gewinnen, die allerdings keine exakte Bestimmung der Fahrzeuganzahl erlauben sondern lediglich Abschätzungen sein können.

Mögliche Quellen für die Abschätzung sind z.B.

- Neuzulassungsstatistik nach Herstellern
- Abgasminderungsstrategien der Hersteller
- Statistiken des Finanzministeriums über Fördergelder (Nachrüstungen)
- Informationen des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) über Beschaffung und Nachrüstung von Linienbussen

Die Recherche sollte auf die im HBEFA 3.1 hinterlegten bzw. für die kommende Version bereits absehbare Differenzierung der Emissionsfaktoren abgestimmt sein, damit gewährleistet ist, dass die Ergebnisse des Arbeitspakets für die Ableitung von Emissionsfaktoren verwendbar ist (siehe auch AP 1b, Kap. 3). Grundsätzlich kommen die in der folgenden Tabelle dargestellten Fahrzeug-Technologie-Kombinationen in Betracht:

**Tabelle 19: Übersicht über die relevanten Minderungstechniken bei Dieselfahrzeugen**

Technologie		Oxikat	SCR-Kat	offener Filter	geschl. Filter	SCRT-Filter
Pkw	S	x		x	x	
	N	x		x		
LNF	S	x		x	x	
	N	x		x		
Lkw	S		x	x	x	
	N			x	x	
Busse	S		x	x	x	
	N			x	x	x

S= serienmäßig                      N= nachgerüstet

Im Rahmen dieses Vorhabens werden Informationen zum Anteil der schweren Nutzfahrzeuge mit SCR zusammengestellt. Die Analysen für die sonstigen Technologien sollen zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen werden.

### 7.2 Abschätzung der Neuzulassungsanteile von EGR- und SCR-Fahrzeugen

Zur Einhaltung der Abgasnormen Euro IV und Euro V kommen bei den schweren Nutzfahrzeugen verschiedene Technologien zum Einsatz. Hersteller wie MAN und Scania verwenden zum Teil weiterhin das bis zur Euro-III-Norm übliche EGR-System (Abgasrück-

führung), während die meisten anderen wichtigen Hersteller SCR-Systeme (selective katalytische Reduktion) in die Fahrzeuge einbauen.

Da sich die Fahrzeuge mit EGR- bzw. SCR-System in ihrem Emissionsverhalten unterscheiden, erfolgte im HBEFA 3.1 eine Differenzierung der Emissionsfaktoren. Demzufolge ist auch eine Unterteilung des Fahrzeugbestandes nach EGR- und SCR-Fahrzeugen notwendig.

Eine Abschätzung der EGR- und SCR-Anteile für Österreich wurde im Rahmen der Arbeiten für das HBEFA vorgenommen [Hausberger 2009]. Basierend auf den Zulassungen nach Herstellern wurden die Anteile abgeschätzt. Daraus ergibt sich, dass die Euro-IV-Fahrzeuge überwiegend mit EGR ausgestattet wurden, wogegen bei Euro-V-Fahrzeugen die Ausstattung mit SCR überwiegt. Deren Anteil wird z.B. für das Jahr 2009 mit 76% angegeben.

Da bis zur Fertigstellung des HBEFA 3.1 keine weiteren Erkenntnisse zur Bestandszusammensetzung nach EGR und SCR für andere Länder vorlag, wurde pauschal eine Aufteilung von 25% EGR zu 75% SCR sowohl bei Euro-IV als auch bei Euro-V-Fahrzeugen unterstellt.

Beim Kraftfahrtbundesamt (KBA) liegen bezüglich der Ausstattung mit Abgasnachbehandlungssystemen bei Lkw keinerlei Informationen vor. Es ist daher nur möglich, analog dem Vorgehen in Österreich, die Neuzulassungsstatistik nach Herstellern auszuwerten.

Für eine verlässliche Zuordnung wäre eine Aufteilung der Neuzulassungen nach Herstellern, Eurostufen und Größenklassen wünschenswert. Das KBA publiziert jedoch nur Zulassungszahlen für die Fahrzeugklassen Lkw und Sattelzugmaschinen nach Herstellern ohne weitere Differenzierung [KBA 2006-2010]. Eine Auswertung des KBA in der gewünschten Aufteilung wäre möglich, ist aber mit relativ hohen Kosten verbunden, die im Rahmen dieses Vorhabens nicht zur Verfügung stehen.

Da die Statistik der Lkw auch die leichten Nutzfahrzeuge unter 3,5t zulässiges Gesamtgewicht enthält, die wiederum etwa  $\frac{3}{4}$  der Lkw-Zulassungen ausmachen, ist eine einigermaßen verlässliche Abschätzung der EGR- und SCR-Anteile nur für die Sattelzugmaschinen möglich.

Mit Hilfe der KBA-Statistiken der jährlichen Neuzulassungen der Sattelzugmaschinen nach ausgewählten Herstellern ist eine Abschätzung und Unterteilung des Fahrzeugbestandes nach EGR und SCR möglich. Unter der Annahme, dass alle Fahrzeuge von MAN und Scania mit EGR und alle anderen mit SCR ausgerüstet wurden, ergeben sich die in Tabelle 20 dargestellten Anteile für die Jahre 2006-2009. Eine weitere Differenzierung nach Euro IV- und Euro V-Fahrzeugen wie in Österreich ist mit diesen Zahlen nicht möglich.

**Tabelle 20: Neuzulassungsanteile der Sattelzugmaschinen 2006-2009 nach Eurostufen sowie EGR- und SCR**

Jahr	Euro III	Euro IV	Euro V	EGR	SCR
2006	52%	8%	40%	68%	32%
2007		20%	80%	30%	70%
2008		13%	87%	32%	68%
2009		0%	100%	32%	68%

Annahme: MAN- und SCANIA-Fahrzeuge der Stufe Euro IV und V sind zu 100% mit EGR ausgestattet  
Quelle: KBA. Eigene Berechnungen

Nach dieser Abschätzung sind knapp 70% der Sattelzugmaschinen der Stufe Euro IV und -V mit SCR-Technologie ausgestattet. Da bei den Herstellern MAN und Scania zunehmend auch Fahrzeuge mit SCR-Technologie angeboten werden, ist der tatsächliche Anteil eher als höher anzusehen [MAN 2011], [Scania 2011]. Der Pauschalwert von 75% SCR-Anteil im HBEFA 3.1 erscheint angesichts dieser Entwicklung plausibel zu sein.

Zwar deuten die Zahlen in Österreich und die Herstellerprospekte darauf hin, dass der EGR-Anteil bei Euro-IV-Fahrzeugen und auch bei kleineren Euro-V-Fahrzeugen eher geringer ist als bei großen Lkw im Fernverkehr, doch lässt sich diese Annahme für Deutschland im Rahmen dieser Untersuchung nicht quantifizieren.

## 8 Einfluss von Nebenverbrauchern (2b)

### 8.1 Aufgabenstellung und Hintergrund

Nebenverbraucher wie Klimaanlage, Scheinwerfer etc. haben einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen. Dabei gehören zahlreiche Nebenaggregate, wie z.B. Motorelektronik, Scheinwerfer und Scheibenwischer, zur Grundausstattung jedes Fahrzeugs und sind für den sicheren Betrieb unerlässlich. Gestiegene Komfortansprüche und weiter steigende Sicherheitsanforderungen haben in den letzten Jahren aber auch zur weiten Verbreitung verschiedener anderer Nebenverbrauchern geführt. Hierzu gehören Klimaanlage, Navigationsgeräte, Sitzheizungen, Musikanlagen etc.

Insbesondere Klimaanlage, die immer häufiger zur Pkw-Ausstattung gehören, können zu einer deutlichen Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs führen. Ihr Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch von Pkw ist im HBEFA ([HBEFA 2010]) derzeit in Form eines Modells auf Basis von Messungen der EMPA integriert. Das Modell bestimmt dabei die zusätzlichen Emissionen in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte und beruht dabei auf Messungen an Euro 3 und Euro 4-Pkw. Aufgrund des bereits hoch differenzierten Ansatzes auf Basis primärer Messdaten bei Klimaanlage von Pkw soll hier der Fokus auf den übrigen Nebenverbrauchern bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen und einer ersten Einordnung der Nebenverbraucher bei schweren Nutzfahrzeugen und Bussen liegen. Dabei werden zu Vergleichszwecken auch Verbrauchsfaktoren für Klimaanlage in Pkw abgeleitet.

### 8.2 Methodik

Im vorgesehenen Projektrahmen können keine eigenen Messungen zum Einfluss der Nebenverbraucher auf den Kraftstoffverbrauch durchgeführt werden. Der Einfluss der Nebenverbraucher auf den Kraftstoffverbrauch soll daher auf Basis von Literaturangaben abgeschätzt werden.

Bei den Pkw und leichten Nutzfahrzeugen erfolgt dies über eine differenzierte Betrachtung der Nebenverbraucher. Grundlagen hierfür sind der

- durchschnittliche Leistungsbedarf und
- die durchschnittliche Einsatzdauer

der verschiedenen Nebenverbraucher. Insbesondere die Einsatzdauer ist bei temporären Verbrauchern wie Klimaanlage von entscheidender Bedeutung bei der Ermittlung des mittleren Einflusses auf den Kraftstoffverbrauch.

Zur Ermittlung von kilometerbezogenen Faktoren für den Einfluss auf den gesamten Kraftstoffverbrauch werden für die verschiedenen Straßenkategorien (Innerortsstraßen; Außerortsstraßen, d.h. Land-, Kreis und Bundesstraßen; Autobahnen) die Durchschnittsgeschwindigkeit des Fahrzeugs und der entsprechende mittlere Wirkungsgrad von Lichtmaschine und Motor auf den zeitabhängigen Energieverbrauch angewendet.



## 8.3 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

### 8.3.1 Leistungsbedarf der Nebenverbraucher

Als Grundlage für die Abschätzung des Einflusses der Nebenverbraucher auf den Kraftstoffverbrauch wird der durchschnittliche Leistungsbedarf auf Basis der verfügbaren Literatur ermittelt. Wichtige Parameter sind dabei der Leistungsbedarf der Aggregate im Betrieb und die durchschnittliche Einsatzdauer der einzelnen Verbraucher.

Für Pkw wird der Leistungsbedarf von relevanten Nebenverbrauchern aufgrund der relativ guten Datenlage differenziert nach einzelnen Aggregaten ermittelt. Leichte Nutzfahrzeuge werden dabei als den Pkw in ihrer Größe und Ausstattung (Lichtanlage, Klimaanlage, Motortechnik etc.) recht ähnlich angesehen. Dieses Vorgehen erlaubt auch eine Gegenüberstellung mit den derzeitigen Werten für Klimaanlage.

Die berücksichtigten Nebenverbraucher für Pkw (und leichte Nutzfahrzeuge) sind in Tabelle 21 aufgeführt und können folgenden Kategorien zugeordnet werden:

- Grundlast: Als Grundlast werden Steuergeräte und Motorelektronik sowie Kraftstoff- und Einspritzpumpe und ein Radio berücksichtigt.
- Temporäre Zusatzverbraucher: Als temporäre Nebenverbraucher kommen Scheibenwischer, Lichter (Fahrlicht, Blinker, Nebelscheinwerfer), die Klimaanlage, Navigationsgerät, Lüftermotor und eine Heckscheibenheizung hinzu. Beim Anfahren wird kurzzeitig auch eine sekundäre Luftpumpe und ein Motorkühlgebläse eingesetzt.
- Zusatzverbraucher im Komfort- bzw. Luxusbereich werden hier nicht betrachtet.

Der durchschnittliche Leistungsbedarf der Nebenaggregate wurde auf Basis von Literaturwerte ermittelt (siehe Auswertung in Tabelle 21). Die Klimaanlage wird zunächst elektrisch angenommen, da solche Klimaanlagen immer größere Verbreitung finden (siehe z.B. [Wallentowitz 2006]). Im Bestand sind derzeit aber auch noch viele Klimaanlagenkompressoren, die mit dem Verbrennungsmotor direkt verbunden sind.

Zukünftig können noch weitere Verbraucher hinzukommen, wie z.B. elektrische bzw. elektromechanische Bremsen, eine elektromagnetische bzw. elektrohydraulische Ventilsteuerung und eine elektrische Benzinpumpe. Auch die Lenkung könnte zukünftig auf elektrischen Betrieb umgestellt werden. Als weitere Verbraucher sind außerdem ein aktives Fahrwerk und Wankstabilisatoren zu erwarten. [Wallentowitz 2006] macht dabei Angaben zu den maximalen und teilweise zu den durchschnittlichen Leistungen.

**Tabelle 21: Durchschnittlicher Leistungsbedarf der Nebenaggregate**

	<b>Verbraucher</b>	<b>Bandbreite Leistung in W</b>	<b>Durchschnittliche Leistung in W</b>
Grundlast	Motorelektronik	150-180 (1, 4)	180 (4)
	Radio mit CD-Wechsler		60 (4)
	Kraftstoffpumpe	50-80 (1,2,4)	60 (4)
	Einspritzung	60-70 (2, 4)	60 (4)
Temporäre Verbraucher	Scheibenwischer vorne	60-80 (1,2,4)	80 (4)
	Scheibenwischer hinten		50 (4)
	Fahrlichter (Abblendlichter)	150-160 (2,4)	150 (4)
	Blink-/Bremslichter	40 (2,4)	40
	Nebelschlussleuchte	40-42 (1,2,4)	40 (4)
	Elektr. Klimaanlage		1000 (3)
	sekundäre Luftpumpe		490 (5)
	Motorkühlgebläse		200 (2)
	Heizung (Lüftermotor)	50-120 (1,2,3,4)	80 (4)
	Heckscheibenheizung	120-150 (1,2,4)	120 (4)
	Fensterheber/Schiebedach	100-150 (1,2)	150 (2)
	Navigationsgerät		15 (6)

Quellen: (1): [SPIEGEL 2000], (2): [EMPA 2001], (3): [Wallentowitz 2006], (4): [ADAC 2009], (5): [Fabis 2006], (6): [ATZonline 2009]

Die Ausstattung von Neufahrzeugen ist in den letzten Jahren stetig gestiegen und damit auch deren Verbrauch. Vor dem Hintergrund der wachsenden Sensibilität gegenüber der Energieeffizienz von Fahrzeugen (z.B. im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Vorgaben der EU-Kommission) rückt jedoch auch die Energieeffizienz der Nebenverbraucher stärker in den Fokus. Ein Verzicht auf einige der Verbraucher erscheint dagegen unwahrscheinlich und wird nur für Elektro-Pkw erwogen, da hier jeder zusätzliche Verbraucher die Reichweite reduziert. So könnten für das Kühlen und Heizen im Elektroauto bis zu 50 % der Batteriekapazität im Elektroauto verwendet werden [ATZonline 2009].

**Tabelle 22: Nutzung der Nebenaggregate nach Jahreszeit**

Konventionell	Sommer	Winter
Steuergeräte, Motorelektronik	100%	100%
Kraftstoffpumpe	100%	100%
Telematik (Radio)	90%	90%
Einspritzung	100%	100%
Elektrohydraul. Servolenkung	20%	20%
Scheibenwischer vorne	1%	1%
Scheibenwischer hinten	1%	1%
Licht (Fahrlicht)	60%	80%
Blinker	2%	2%
Nebelschlussleuchte	1%	1%
elektrische Klimaanlage	42%	0%
sekundäre Luftpumpe	5%	5%
Motorkühlgebläse	33%	0%
Heizung (Lüftermotor)	0%	42%
Heckscheibenheizung	0%	33%
Fensterheber/Schiebedach	1%	0%
Navigationsgerät	30%	30%

Bei den temporären Verbrauchern muss zudem die Nutzungsintensität ermittelt werden. Diese konnte für einen Großteil der Verbraucher nur abgeschätzt werden (siehe Tabelle 22), da keine Durchschnittswerte vorliegen. Nicht alle können als allgemeine Anteile des Fahrbetriebs angesehen werden; einige treten nur am Beginn einer Fahrt auf. Die Anteile sind in solchen Fällen bezogen auf den NEFZ mit einer Dauer von 20 Minuten und einer Fahrweite von gut 10km.

Die Unterscheidung Winter/Sommer geht im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Temperaturverhältnisse zurück. Beim Licht wurde außerdem die Tageslichtlänge berücksichtigt, weshalb der Laufzeitanteil im Winter 20% höher angesetzt wurde als im Sommer. Im Sommer wurden Heizungskomponenten mit 0 Laufzeit belegt, entsprechend wurde die elektrische Klimaanlage im Winter mit 0 angesetzt. Diesem Schema folgend wurde die Motorkühlung im Verbrennungsmotor im Winter auf 0 festgesetzt. Die Fensterheber bzw. das Schiebedach werden laut Annahme im Winter nicht betätigt.

**Führt man die Leistung der Nebenaggregate im Betrieb und die abgeschätzte Einsatzdauer zusammen, dann liegt die durchschnittliche Leistungsaufnahme der Nebenverbraucher beim Betrieb von Pkw bei gut 800 W. Davon entfällt etwa ein Viertel auf die elektrische Klimaanlage.**

### 8.3.2 Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch

Der Verbrauch eines Großteils der Nebenaggregate hängt von der Einsatzdauer und nicht – wie beim Kraftstoffverbrauch für den Antrieb – von der gefahrenen Strecke ab. Zur Ermittlung von kilometerbezogenen Verbrauchsfaktoren für Nebenaggregate muss daher zusätzlich zum Leistungsbedarf auch noch die durchschnittliche Geschwindigkeit heran-

gezogen werden. Überdies erfolgt die Energieerzeugung der Nebenverbraucher im Verbrennungs-Pkw über eine so genannte Lichtmaschine. Zur Ermittlung des zusätzlichen Kraftstoffverbrauchs am Tank muss daher auch der Wirkungsgrad des Energiewandlers - also des Motors berücksichtigt werden.

Sowohl die durchschnittliche Geschwindigkeit als auch der Motorwirkungsgrad unterscheiden sich je nach Einsatzgebiet und Verkehrssituation: So werden im zählflüssigen Innerortsverkehr nur wenige Kilometer pro Stunde zurückgelegt und aufgrund des Teillastbetriebs ist der Motorwirkungsgrad niedrig; der kilometerbezogene Verbrauch der Nebenaggregate ist daher besonders hoch. Umgekehrt wird auf der Autobahn häufig mit sehr hohen Geschwindigkeiten gefahren und der Motorwirkungsgrad liegt deutlich höher; der kilometerbezogene Verbrauch der Nebenaggregate ist daher relativ niedrig.

Aufgrund dieser Unterschiede soll der Einfluss der Nebenverbraucher auf den Kraftstoffverbrauch für drei verschiedene Straßenkategorien ermittelt werden:

- Innerortsstraßen
- Außerortsstraßen
- Autobahnen

Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit für diese Kategorien in Deutschland wird auf Basis der Verkehrssituationen des Handbuchs Emissionsfaktoren ermittelt. Die Fahrprofile wurden im realen Verkehr im Rahmen umfangreicher Messprogramme aufgezeichnet. Durch ihre Verwendung ist – im Gegensatz zu standardisierten Zyklen wie dem NEFZ - die Abbildung eines weitgehend realistischen Fahrverhaltens gewährleistet. Die verschiedenen Verkehrssituationen wurden dabei entsprechend des durchschnittlichen Verkehrs in Deutschland im Innerorts- und Außerortsbereich sowie auf der Autobahn nach TREMOD [TREMODO 2009] gewichtet. Der Motorwirkungsgrad für die verschiedenen Verkehrssituationen beruht auf dem PHEM-Modell. Dabei wurden die einzelnen Verkehrssituationen entsprechend ihrer Fahrleistungsanteile an den Straßenkategorien nach TREMOD gewichtet. Zusätzlich wurde für die Lichtmaschine ein pauschaler Wirkungsgrad von 90% angenommen.

Als zusätzlicher Kraftstoffbedarf der Nebenverbraucher ergeben sich auf dieser Basis – je nach Straßenkategorie und Antriebskonzept – 0,3 bis 1,5 l/100km. Betrachtet man allein die Klimaanlage mit einem geschätzten durchschnittlichen Leistungsbedarf von 200 W, liegt hier der durchschnittliche zusätzliche Kraftstoffverbrauch im Bereich von 0,1-0,4 l/100km. Diese Werte berücksichtigen jedoch, dass Klimaanlagen ausschließlich im Sommer - und auch dann nur temporär - betrieben werden. Im Betrieb an warmen Sommertagen muss dagegen von einem Leistungsbedarf der Klimaanlagen in Höhe des hier abgeschätzten durchschnittlichen Leistungsbedarfs aller Nebenverbraucher oder sogar noch höher ausgegangen werden. Damit liegt beim Betrieb an warmen Sommertagen auch der zusätzliche Kraftstoffverbrauch durch Klimaanlagen eher im Bereich wie in Tabelle 23 angegeben. In Tabelle 24 ist zusätzlich der Kraftstoffverbrauch durch Klimaanlagen nach dem HBEFA 3.1 aufgeführt. Die Werte liegen durchweg in einer ähnlichen Größenordnung.

**Tabelle 23: Durchschnittlicher zusätzlicher Kraftstoffverbrauch der Nebenaggregate**

	Straßenkategorie	Geschwindigkeit	Wirkungsgrad*	Leistungsbedarf	Kraftstoffverbrauch in l/100km
Otto	Innerortsstraßen	35 km/h	17,7%	800 W	1,3
	Außerortsstraßen	78 km/h	22,0%	800 W	0,5
	Autobahnen	106 km/h	24,6%	800 W	0,3
Diesel	Innerortsstraßen	35 km/h	21,7%	800 W	1,1
	Außerortsstraßen	78 km/h	25,7%	800 W	0,4
	Autobahnen	106 km/h	29,7%	800 W	0,3

\* Inklusive Lichtmaschine

**Tabelle 24: Durchschnittlicher zusätzlicher Kraftstoffverbrauch von Klimaanlage.**

	Straßenkategorie	Geschwindigkeit	Wirkungsgrad*	Leistungsbedarf	Kraftstoffverbrauch in l/100km	HBEFA in l/100km
Otto	Innerortsstraßen	35 km/h	17,7%	200 W	0,36	0,43
	Außerortsstraßen	78 km/h	22,0%	200 W	0,13	0,09
	Autobahnen	106 km/h	24,6%	200 W	0,09	0,11
Diesel	Innerortsstraßen	35 km/h	21,7%	200 W	0,27	0,26
	Außerortsstraßen	78 km/h	25,7%	200 W	0,10	0,09
	Autobahnen	106 km/h	29,7%	200 W	0,06	0,09

\* Inklusive Lichtmaschine

## 8.4 Schwere Nutzfahrzeuge und Busse

Die Datenlage zum Einfluss der Nebenverbraucher in schweren Nutzfahrzeugen und Bussen auf den Kraftstoffverbrauch ist deutlich schlechter als bei Pkw. Bisher sind hierfür im HBEFA auch noch keine Klimaanlage und andere Nebenverbraucher berücksichtigt worden. Eine differenzierte Ermittlung, wie bei den Pkw, ist im Projektrahmen nicht möglich. Hier erfolgt daher eine erste semi-quantitative Diskussion des Kraftstoffverbrauchs. So kann die Relevanz des Themas aufgezeigt werden.

### Schwere Nutzfahrzeuge

Bei schweren Nutzfahrzeugen spielen sowohl Klimaanlage als auch weitere Zusatzaggregate eine Rolle<sup>1</sup>. Nach [LOGISTIK inside 2009] liegt der Zusatzverbrauch bei Lkw durch eine Klimaanlage bei 3 l/100km. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Klimaanlage wahrscheinlich nur temporär eingesetzt wird. Bei weiteren elektrischen Zusatzgeräten wird von einem zusätzlichen Verbrauch in Höhe von 0,6 l/100km pro kW Leistung ausgegangen. Relativ gesehen spielen die Nebenverbraucher bei Lkw daher wahrscheinlich eine geringere Rolle als bei Pkw. Zudem werden schwere Nutzfahrzeuge überwiegend im Fernverkehr, also auf Autobahnen eingesetzt. Aufgrund der höheren durchschnittlichen Geschwindigkeit wird der streckenbezogene Zusatzverbrauch (pro 100km) eher begrenzt ausfallen.

### Busse

Bei Bussen spielen insbesondere Klimaanlage eine relevante Rolle. Der Kühlbedarf ist aufgrund des großen Innenraums sehr groß und erhöht sich zusätzlich durch häufiges Öffnen der Türen an den Haltestellen. Stadtbusse haben zu dem eine geringe durchschnittliche Geschwindigkeit, so dass der streckenbezogene Zusatzverbrauch durch Klimaanlage deutlich höher als bei Lkw liegen dürfte. Die Kühlleistung von Klimaanlage für Busse kann heute leicht bis 40kW betragen (siehe Tabelle 25). Auch wenn man berücksichtigt, dass die Klimaanlage wohl nur sehr selten ihre volle Leistung abrufen, kann von einem durchschnittlichen Leistungsbedarf in Höhe von mehreren kW ausgegangen werden. So wurde für einen Oberleitungsbus in der Schweiz aufgrund der großzügigen Klimatisierung ein Energieverbrauch von über einer Kilowattstunde pro Kilometer gemessen [Gisler 2006].

**Tabelle 25: Übersicht über die Leistung verschiedener Busklimaanlagen (Beispiele)**

Quelle	Klimaanlage	Leistung/Verbrauch	Bemerkung
[Carrier 2011]	AC 313	24kW	Kühlleistung
		35kW	Heizleistung
	AC 355	32kW	Kühlleistung
		40kW	Heizleistung
[Powerworld 2010]	AC 520	15-30kW	Kühlleistung (für Midi-Busse)
[Gisler 2006]	alle Zusatzverbraucher	1,23 kWh/km	Oberleitungsbus

<sup>1</sup> Nicht betrachtet sind hier Spezialanwendungen wie Kühltransporte

## 8.5 Fazit

Im begrenzten Projektrahmen konnte nur eine Abschätzung des zusätzlichen Kraftstoffverbrauchs durch Nebenverbraucher durchgeführt werden. Diese Abschätzung zeigt jedoch die Bedeutung des Themas. So können Nebenverbraucher bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen den Kraftstoffverbrauch leicht um einen Liter pro 100km oder sogar noch mehr erhöhen. Auch bei Bussen kann der zusätzliche Kraftstoffverbrauch durch Nebenverbraucher (insbesondere Klimaanlage) als erheblich eingeschätzt werden. Eine Berücksichtigung der Nebenverbraucher im Handbuch Emissionsfaktoren, über die Klimaanlage bei Pkw hinaus, ist also dringend geboten.

Für eine methodisch konsistente Integration in das Handbuch Emissionsfaktoren wird eine Abschätzung wie hier durchgeführt jedoch nicht ausreichen. Konsistenter wäre die Integration des zusätzlichen Leistungsbedarfs durch Nebenverbraucher in das PHEM-Modell.

## 9 Erarbeitung eines neuen Real-World Testzyklus für Pkw

### 9.1 Aufgabenstellung

Bisher wurden aus Messungen im CADC (Common Artemis Driving Cycle) die Emissionskennfelder für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge erstellt. Aus diesen Emissionskennfeldern wurden mit dem Modell PHEM die Emissionsfaktoren für die Verkehrssituationen des HBEFA berechnet.

Der CADC war der erste Ansatz eines europäisch einheitlichen Real-World Testzyklus. Durch die Entwicklungen der letzten 10 Jahre ergibt sich inzwischen aber ein dringender Bedarf diesen Zyklus mit einem kürzeren Test zu ergänzen. Folgende Verbesserungspotenziale bestehen:

Der CADC braucht eine relativ lange Rollenmesszeit von 3x20 Minuten.

Der CADC beinhaltet keinen Fahrzyklus des HBEFA, eine direkte Ableitung von Emissionsfaktoren für das HBEFA ist also unmöglich.

Der CADC deckt das relevante Motorkennfeld gut, aber nicht perfekt ab.

Der neu zu entwickelnde Testzyklus soll

- eine maximale Testdauer von 1x22 Minuten haben (deutliche Reduktion der Kosten je Pkw für zukünftige Messprogramme),
- die wesentlichsten Zyklen des HBEFA direkt abbilden (Unsicherheiten durch Simulation von Emissionsfaktoren werden reduziert) und
- den Volllastbereich der Motorkennfelder besser abdecken als der CADC.

Der neue Testzyklus soll damit speziell alle Anforderungen eines kompakten „Real World“ Zyklus abdecken, der in Standard-Testprogrammen, wie etwa Feldüberwachungsprogrammen oder regelmäßigen ADAC Fahrzeugtests, kostengünstig eingebunden werden kann. Damit kann erwartet werden, dass die Anzahl an, für das HBEFA nutzbar, vermessenen Pkw und LNF deutlich steigt. In speziell für Emissionsfaktoren angelegten Testprogrammen wird natürlich weiterhin Bedarf an zusätzlichen Zyklen bestehen (CADC, Kaltstarttests, Hochgeschwindigkeitszyklen, etc.), da in 25 Minuten Testzeit natürlich nicht alle Fahrzustände integriert werden können.

In Zusammenarbeit zwischen der TUG Graz und Heinz Steven sollte ein "vorläufiger ERMES-Zyklus" entwickelt und an einem Pkw erprobt werden, der dann von anderen Labors getestet und kommentiert werden kann (ERMES: European Research Group on Mobile Emission Sources). Nachfolgend beschriebene Arbeiten wurden dafür durchgeführt.

### 9.2 Zyklusentwicklung

Folgender Ansatz wurde gewählt

- Auswahl der relevantesten Verkehrssituationen gemäß HBEFA V3.1 (Zyklen mit hohen Fahrleistungsanteilen in der D/CH/A/S-Version).
- Auswahl von repräsentativen Teilstücken a ca. 30 bis 120 Sekunden mit PHEM. Die Teilstücke werden so ausgesucht, dass sie jeweils möglichst genau den Mittelwert des gesamten Zyklus bezüglich Verbrauch, Emissionen, Geschwindigkeit und anderer relevanter Zykluskenndaten wiedergeben. Zudem müssen Anfangs- und Endgeschwindigkeit der Teilstücke möglichst gleich sein, da keine beschleunigenden oder verzögernden Verkehrssituationen abgebildet werden sollten. Des

Weiteren wurde die Länge der Teilstücke wenn möglich so angepasst, dass die Teilstücke untereinander etwa die Fahrleistungsanteile der zugrunde liegenden Verkehrssituation wiedergeben.

- Zusammenführen der Einzel-Kurzzyklen zu einem Gesamtzyklus mit einer Länge von bis zu ca. 1300 Sekunden.
- Ergänzungen für fahrbare Übergänge zwischen den Teilstücken und zur Abdeckung von Lücken im Motorkennfeld
- Erarbeitung der Schaltstrategien.

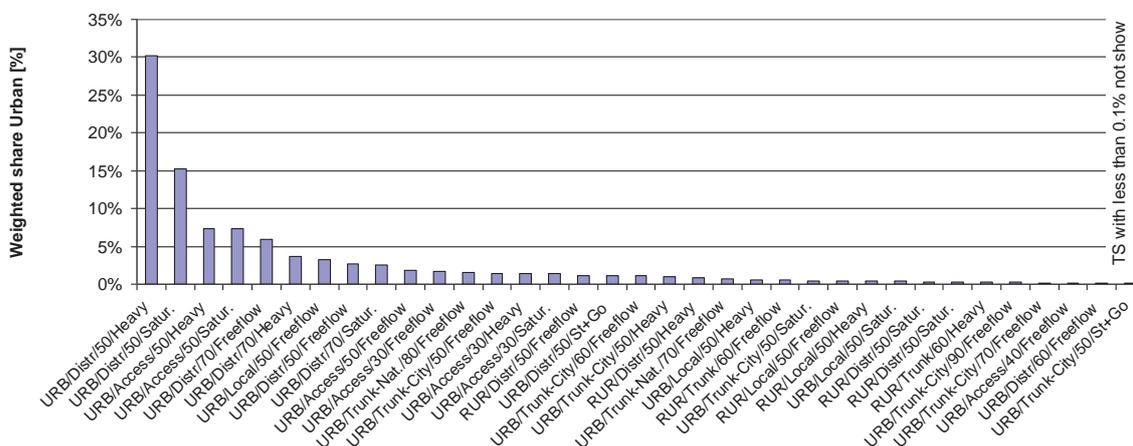
Damit sollte jedes Teilstück ähnliche Emissionen wie die zugehörige Verkehrssituation liefern und es soll insgesamt eine gute Kennfeldabdeckung erreicht werden um später Emissionen und Verbrauch für beliebige andere Fahrsituationen berechnen zu können.

Auswahl HBEFA Verkehrssituationen und Zyklen

Für alle Zyklen, die im HBEFA V3.1 implementiert sind, wurden die Fahrleistungsanteile als gewichtete Mittelwerte der Fahrleistungsanteile von Deutschland (gewichtet mit 71%), der Schweiz, Schweden, Norwegen und Österreich (gewichtet mit je 7%) ermittelt. Die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Staaten sollen die unterschiedlichen Anteile ihrer Verkehrsaufkommen am EU-Durchschnitt wiedergeben. Der ERMES Testzyklus soll ja möglichst für Europa repräsentativ sein, um verbreitet Anwendung zu finden.

Um insgesamt eine Zyklusdauer von etwa 1200 Sekunden zu erreichen, konnten für „Stadt“, „Außerorts“ und „Autobahn“ jeweils fünf bis sechs Zyklen ausgesucht werden, die im ERMES-Testzyklus dann durch repräsentative Teilstücke vertreten sind.

Bild 73 zeigt das Ergebnis für den **Innerortsverkehr**, gereiht nach den Fahrleistungsanteilen.



**Bild 73:** Reihung der Innerorts-Verkehrssituationen nach dem gewichteten Fahrleistungsanteil über alle im HBEFA erfassten Länder

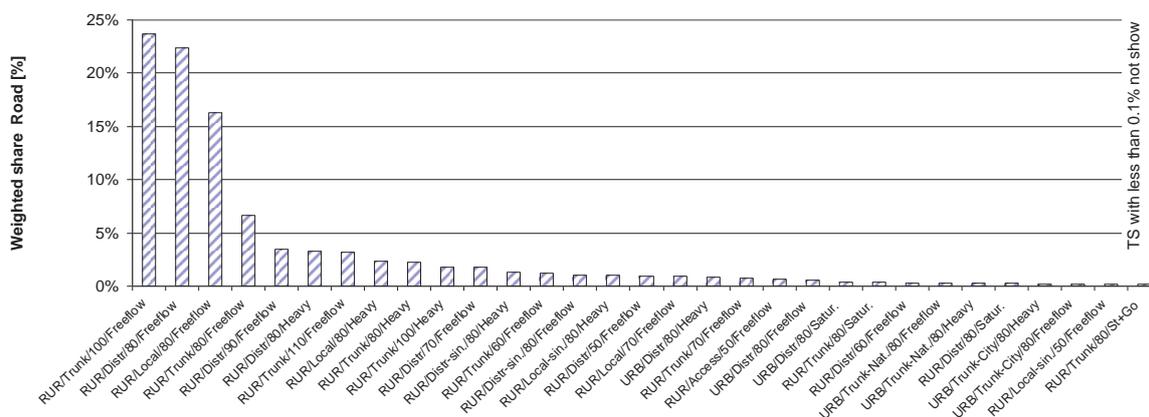
Die Auswahl der „Innerorts“-Zyklen erfolgte nach folgenden Kriterien:

**Tabelle 26: Übersicht über die Fahrleistungsanteile einzelner Innerorts-Teilzyklen**

Zyklus	Id	Begründung	in % an Innerorts
URB/Distr/50/Heavy	6064	Größter Fahrleistungsanteil	30,2%
URB/Distr/50/Satur.	6036	zweitgrößter Fahrleistungsanteil	15,2%
URB/Distr/50/Freeflow	6110	Um zu den o.a. Zyklen auch „Freeflow“ zu inkludieren	2,7%
URB/Access/30/Freeflow	6037	T30 Zyklus mit höchstem Fahrleistungsanteil	1,7%
URB/Access/50/Freeflow	6098	Um T 50 Vergleichszyklus zu o.a. T30 Zyklus zu inkludieren	1,8%
URB/Distr/50/St+Go	6421	Stop&Go Zyklus mit höchstem Fahrleistungsanteil	1,7%
<b>Auswahl Stadt</b>		<b>Anteil an allen Stadt-Zyklen</b>	<b>52,7%</b>

Würde eine größere Zykluslänge in Kauf genommen, so wären die höchstgereihten T70 Zyklen noch einzubeziehen. Die abschließende Analyse der ERMES-Subzyklen bezüglich der Abdeckung aller HBEFA-Zyklen hinsichtlich der Antriebsleistung im Zyklus, Verbrauch und Emissionsfaktoren (Bild 78, Bild 79 und Bild 80) legt allerdings nahe, dass die getroffene Auswahl die Trends insgesamt bereits gut beschreibt. Daher wurde der kompakten Zykluslänge der Vorzug gegeben.

Bild 74 zeigt das Ergebnis für den **Außerortsverkehr**, gereiht nach den Fahrleistungsanteilen.



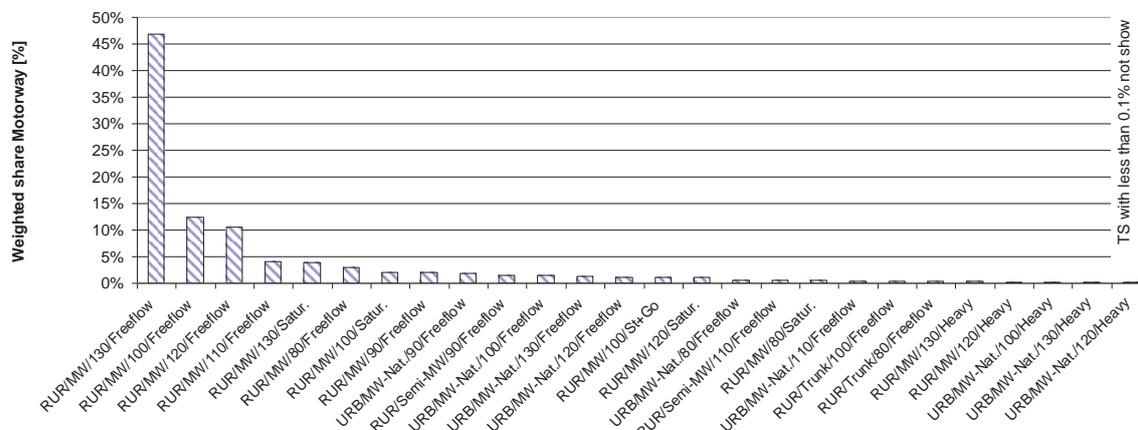
**Bild 74: Reihung der Außerorts-Verkehrssituationen nach dem gewichteten Fahrleistungsanteil über alle im HBEFA erfassten Länder**

Die Auswahl der „Außerorts“-Zyklen erfolgte nach folgenden Kriterien:

**Tabelle 27: Übersicht über die Fahrleistungsanteile einzelner Außerorts-Teilzyklen**

Zyklus	Id	Begründung	in % an Innerorts
RUR/Trunk/100/Freeflow	6384	Größter Fahrleistungsanteil	23.7%
RUR/Distr/80/Freeflow	6323	zweitgrößter Fahrleistungsanteil	22.4%
RUR/Local/80/Freeflow	6300	drittgrößter Fahrleistungsanteil	16.3%
RUR/Distr/80/Heavy	6237	„Heavy Traffic“ Zyklus mit höchstem Anteil	3.2%
RUR/Trunk/60/Freeflow	6232	„T-60“ Zyklus mit höchstem Anteil	1.2%
<b>Auswahl Außerorts</b>		<b>Anteil an allen Außerorts-Zyklen</b>	<b>66.8%</b>

Bild 75 zeigt das Ergebnis für den **Autobahnverkehr**, gereiht nach den Fahrleistungsanteilen.



**Bild 75:** Reihung der Autobahn-Verkehrssituationen nach dem gewichteten Fahrleistungsanteil über alle im HBEFA erfassten Länder

Die Auswahl der „Autobahn“-Zyklen erfolgte nach folgenden Kriterien:

**Tabelle 28:** Übersicht über die Fahrleistungsanteile einzelner Autobahn-Teilzyklen

Zyklus	Id	Begründung	in % an Innerorts
RUR/MW/130/Freeflow	6418	Größter Fahrleistungsanteil	46.8%
RUR/MW/120/Freeflow	6412	drittgrößter Fahrleistungsanteil	10.6%
RUR/MW/110/Freeflow	6403	viertgrößter Fahrleistungsanteil	4.1%
RUR/MW/130/Satur.	6312	fünftgrößter Fahrleistungsanteil	7.0%
URB/MW-Nat./100/Freeflow	6383	Um „Urban Motorway“ abzudecken	1.4%
RUR/MW/100/St+Go	6008	Um „Motorway Stop&Go“ abzudecken	1.6%
URB/MW-Nat./80/Freeflow	6334	Zum Vergleich mit T100	0.6%
RUR/MW/120/Heavy	6402	„Heavy Traffic“ Zyklus mit höchstem Anteil	0.3%
<b>Auswahl Autobahn</b>		<b>Anteil an allen Autobahn -Zyklen</b>	<b>72.4%</b>

Damit waren die Verkehrssituationen und die zugehörigen Fahrzyklen festgelegt. Um aus diesen Zyklen einen kurzen Testzyklus für den Rollenprüfstand zu erzeugen, wurde aus jedem einzelnen Fahrzyklus ein repräsentatives Teilstück extrahiert und die einzelnen Teilstücke dann zum ERMES Testzyklus zusammengeführt.

Auswahl der Teilzyklen aus den HBEFA-Zyklen

Für die Auswahl der Teilzyklen wurden für jeden Zyklus des HBEFA V3.1 mit dem Modell PHEM Verbrauch und Emissionen sowie zugehörige Motorleistungen und –drehzahlen sowie die Dynamikparameter sekundlich berechnet. Danach wurden jeweils für alle Teilzyklen aus jedem HBEFA-Zyklus die Abweichungen dieser Parameter zu den Werten des Gesamtzyklus berechnet. Aus diesen Abweichungen der einzelnen Parameter wurde eine gewichtete absolute Abweichung aller Parameter bestimmt. Die Soll-Teilzykluslänge ergibt sich aus den zuvor bestimmten Anteilen der zugehörigen Verkehrssituationen an der Fahrleistung von Urban (innerorts), Extra Urban (außerorts) und Motorway (Autobahn). Allerdings wurde die Länge der Teilzyklen jeweils mit mindestens 30 und maximal

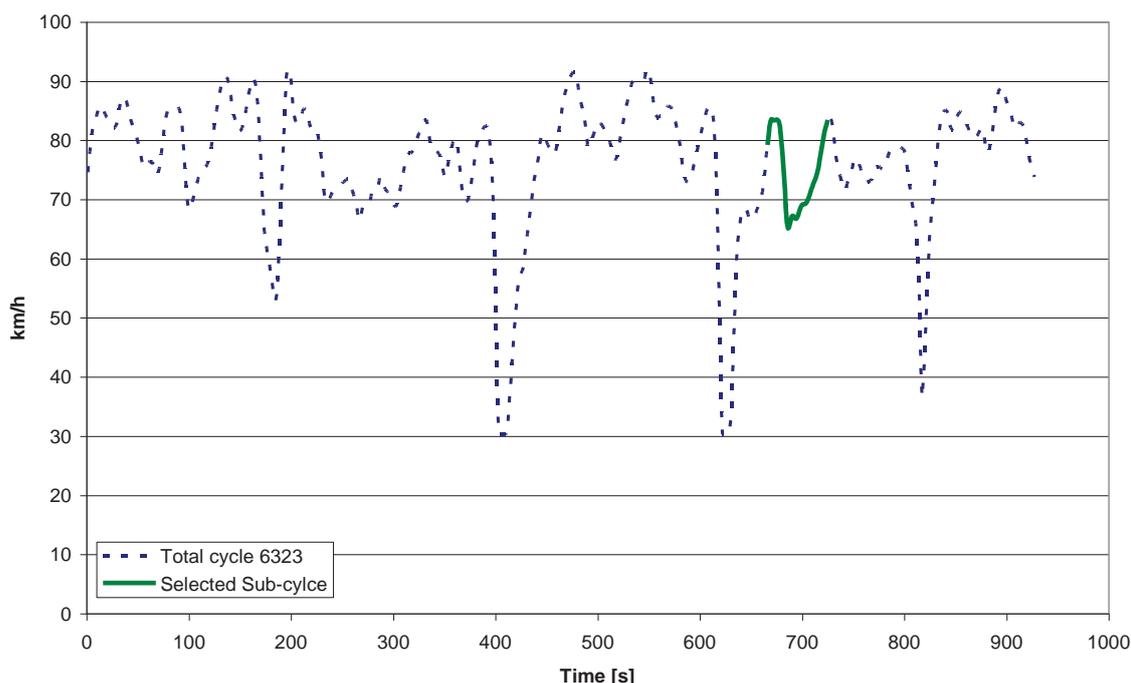
70 Sekunden vorgegeben. Die Minimallänge ist für eine sinnvolle modale Messdauer erforderlich um aus den sekundlichen Messwerten die Emissionswerte der Teilzyklen zu generieren. Die Limitierung der Maximallänge war für die Zielsetzung, den ERMES Test nur etwa 1300 Sekunden lang werden zu lassen, nötig, da eine Mindestdauer von 30 Sekunden bei Zyklen mit geringen Fahrleistungsanteilen bei Zyklen mit hohen HBEFA Fahrleistungsanteilen sehr lange Testzeiten erfordern würden, wenn die Subzykluszeiten den HBEFA Fahrleistungsanteilen entsprechen sollten. Die Teilzyklen wurden automatisiert aus den Gesamt-Zyklen erstellt. Dazu wurden jeweils ab Sekunde 1 an in 1-Sekunden-Schritten Teilzyklen mit der definierten Länge durchlaufen: bei 60 Sekunden Länge ist der erste potenzielle Teilzyklus von Sekunde 1 bis 60, der zweite potenzielle Teilzyklus von Sekunde 2 bis 61, dann von 3 bis 62 usw.

Von dieser Maximalanzahl an durchgehenden Teilzyklen je Zyklus wurde dann derjenige ausgewählt, der die geringste gewichtete absolute Abweichung aller Parameter gegenüber dem Gesamt-Zyklus aufweist. Zusätzlich wurde für die Geschwindigkeit, die Motorleistung sowie den Verbrauchswert jeweils eine maximale Abweichung von 5% zugelassen, für die übrigen Parameter eine maximale Abweichung von 15% gegenüber dem Zyklusmittelwert. Die verwendeten Parameter und deren Gewichtungsfaktoren sind in Tabelle 29 dargestellt. Die Namensgebung folgt dabei der Nomenklatur aus der Beschreibung zur Berechnung der Emissionsfaktoren im HBEFA V3.1 [Hausberger 2009]. Die Methode der Zyklenauswahl ist schon in [Zallinger, 2010] beschrieben.

**Tabelle 29: Gewichtungsfaktoren der berechneten Parameter für die Auswahl der Teilzyklen**

m/h	P <sub>norm</sub>	n <sub>norm</sub>	FC	NO <sub>x</sub>	CO	HC	PM	PN	dP <sub>2s</sub>	dyn_Pp <sub>os3s</sub>	Ampl <sub>3s</sub>	LW3p <sub>3s</sub>	P <sub>brake/Prated</sub>
0.115	0.115	0.103	0.115	0.115	0.023	0.023	0.080	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.023

Bild 76 zeigt am Beispiel der Verkehrssituation RUR/Distr/80/Freeflow den ausgewählten Teilzyklus und den Gesamt-Zyklus. Grundsätzlich war bei allen Zyklen festzustellen, dass kein Teilzyklus allen Forderungen exakt gerecht wurde. Es wurde daher bei Bedarf die Länge der Teilzyklen variiert (also nicht exakt dem Anteil der Verkehrssituation entsprechende Längen) und auch das Ziel, genau gleiche Anfangs- und Endgeschwindigkeit zu erhalten, wurde bei Bedarf gelockert. Die Schwierigkeit, alle Vorgaben zu erfüllen, liegt wahrscheinlich auch daran, dass die Gesamt-Zyklen ja gemäß ihrer Herleitung für das HBEFA V3.1 bereits stark verdichtete Repräsentanten aus einem großen Pool an Messfahrten darstellen.



**Bild 76: Beispiel für einen Gesamt-Zyklus und den ausgewählten Teilzyklus (RUR/Distr/80/Freeflow mit Zyklus-Id 6323)**

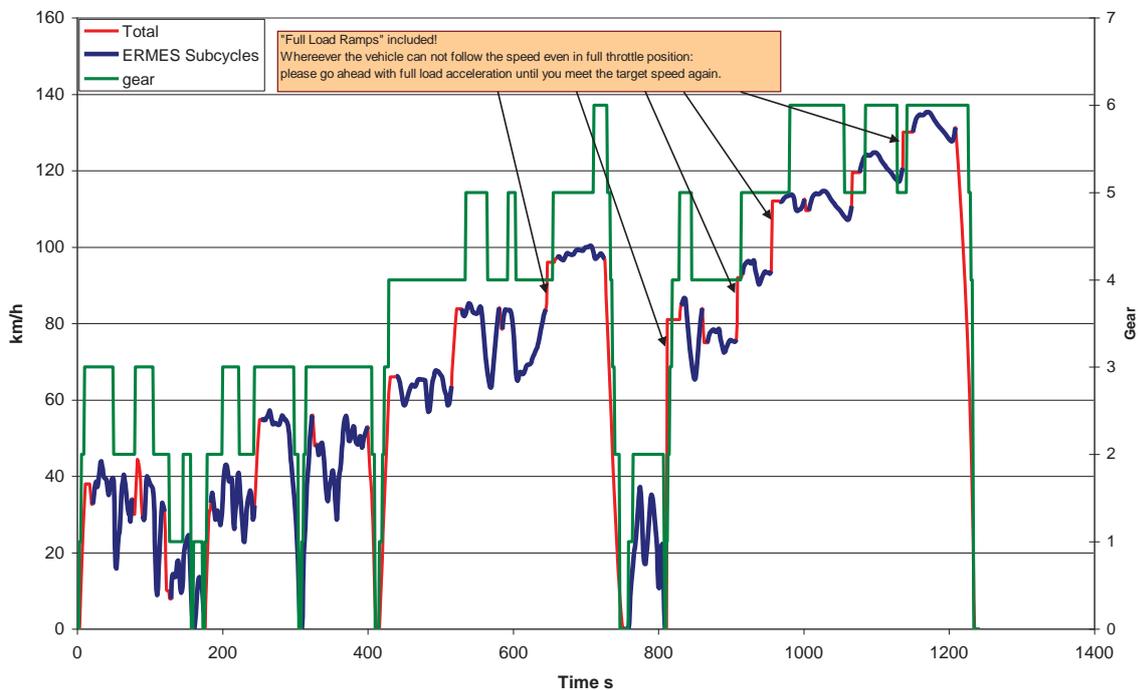
Tabelle 30 zeigt die für den ERMES-Test ausgewählten Verkehrssituationen sowie deren Fahrleistungsanteile im HBEFA (gemäß den zuvor abgeleiteten gewichteten Fahrleistungsanteilen) und deren Streckenanteil im ERMES-Testzyklus. Die Teilzyklen wurden dann jeweils zu Kombi-Zyklen für Urban, Extra Urban und Motorway verbunden. Durch die einigermaßen repräsentative Gewichtung der Teilzyklen sollten auch die entstehenden Kombi-Zyklen für Urban, Extra Urban und Motorway, die jeweils in einem Beutel am Rollenprüfstand gesammelt werden können, eine Aussagekraft für das reale Emissionsniveau des getesteten Pkw haben. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Teilzyklen durch Verbindungsstücke zu einem fahrbaren Gesamtzyklus kombiniert werden. Die Rampen wurden bewusst auch dazu genutzt, Volllastanteile in den ERMES-Testzyklus zu integrieren, da diese Lastpunkte für spätere Simulationen von Bergauffahrten sehr wichtige Kennfeldpunkte darstellen. Damit sind die Motorbelastungen für den Beutelwert, der ja auch die Rampen umfasst) höher als für die einzelnen Teilzyklen.

**Tabelle 30: Ausgewählte Basis-Verkehrssituationen und zugehörige Zyklen für die Erstellung des ERMES-Testzyklus sowie deren Anteil im HBEFA und deren Streckenanteil im ERMES-Testzyklus**

Traffic Situation	Zyklus Id	Share HBEFA	Share ERMES Test
		in%	
<b>URBAN</b>			
URB/Distr/50/Heavy	6064	30,2%	56,8%
URB/Distr/50/Satur.	6036	15,2%	28,5%
URB/Distr/50/Freeflow	6110	2,7%	5,0%
URB/Access/50/Freeflow	6098	1,8%	3,4%
URB/Access/30/Freeflow	6037	1,7%	3,2%
URB/Distr/50/St+Go	6421	1,7%	3,1%
<b>Total Urban</b>		<b>53,3%</b>	<b>100,0%</b>

<b>EXTRA URBAN</b>			
RUR/Trunk/100/Freeflow	6384	23,7%	35,4%
RUR/Distr/80/Freeflow	6323	22,4%	33,5%
RUR/Local/80/Freeflow	6300	16,3%	24,4%
RUR/Distr/80/Heavy	6237	3,2%	4,8%
RUR/Trunk/60/Freeflow	6232	1,2%	1,8%
<b>Total Außerorts</b>		<b>66,8%</b>	<b>100,0%</b>
<b>Motorway</b>			
RUR/MW/130/Freeflow	6418	46,8%	64,7%
RUR/MW/120/Freeflow	6412	10,6%	14,7%
RUR/MW/110/Freeflow	6403	4,1%	5,6%
RUR/MW/130/Satur.	6312	7,0%	9,7%
URB/MW-Nat./100/Freeflow	6383	1,4%	1,9%
RUR/MW/100/St+Go	6008	1,6%	2,2%
URB/MW-Nat./80/Freeflow	6334	0,6%	0,8%
RUR/MW/120/Heavy	6402	0,3%	0,4%
<b>Total Autobahn</b>		<b>72,4%</b>	<b>100,0%</b>

Bild 77 zeigt den ERMES-Testzyklus (Version 5.0) mit Schaltpunkten für Diesel-Pkw mit 6-Ganggetriebe. Die Schaltpunkte werden jeweils mit dem Modell PHEM berechnet, und sind somit kompatibel mit dem HBEFA V3.1. Es wird vorgeschlagen, jeweils für dieselben Pkw-Klassen wie im CADC die Schaltpunkte vorzudefinieren, da in der praktischen Anwendung ja nicht für jedes Pkw-Modell ein eigener Schaltzyklus erstellt werden kann.



**Bild 77: Der ERMES Testzyklus (Version 5.0) mit Schaltpunkten für Diesel-Pkw mit 6-Ganggetriebe**

Der Zyklus enthält

- eine Vorkonditionierphase vor jedem Kombi-Zyklus und wo nötig auch vor Teilzyklen (wenn der vorangegangene Teilzyklus nicht als typisch vorausgehender Fahrzustand interpretiert werden kann)
- Rampen, um Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Teilzyklen auszugleichen. Diese wurden, wo in der zeitlichen Anordnung sinnvoll, als Vollastrampen ausgeführt, um so gleich das Motorkennfeld besser abzudecken. In den Vollastrampen steigt die Geschwindigkeit sprunghaft auf eine Zielgeschwindigkeit an („Target Speed“) und der Fahrer versucht diese Zielgeschwindigkeit mittels Vollastbeschleunigung zu erreichen. Schaltpunkte sind dabei frei zu wählen.

Tabelle 31 zeigt Abfolge und Zeiten der Teilzyklen, Kombi-Zyklen und Konditionierphasen sowie Vollastrampen im ERMES Testzyklus. Damit können die Emissionen der Kombi-Zyklen aus den Beutelmessungen bestimmt werden. Die Teilzyklen müssen, wie schon beim CADC, aus den modalen Messdaten ausgewertet werden. Beim Auswerten der Modaldaten ist wegen der Kürze der Teilzyklen auf eine saubere zeitliche Zuordnung der Emissionsaufzeichnung zur Fahrzeuggeschwindigkeit zu achten.

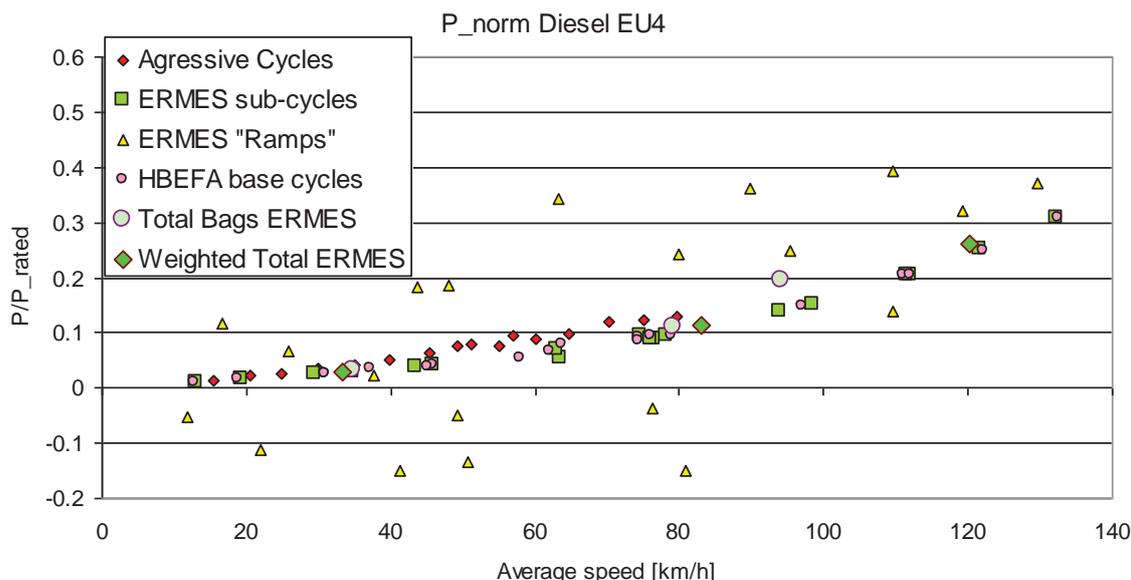
**Tabelle 31: Abfolge, Zeiten und mittlere Geschwindigkeiten der Teilzyklen, Kombi-Zyklen und Konditionierphasen sowie Vollastrampen im ERMES Testzyklus V5.0**

<b>Urban</b>	<b>Weighting factor</b>	<b>Start</b>	<b>End</b>	<b>Duration</b>	<b>Velocity</b>
	<b>in % from Urban</b>	<b>in s</b>			<b>in km/h</b>
Preconditioning Urban	0	1	19	19	25,8
URB/Distr/50/Heavy	56,8%	21	75	55	34,7
ramp+precon 1	0,0%	77	88	12	37,7
URB/Distr/50/Satur.	28,5%	90	119	30	29,5
ramp+precond 2	0,0%	121	127	7	11,8
URB/Distr/50/St+Go	3,1%	129	173	45	13,1
ramp+precond 3	0,0%	175	182	8	16,8
URB/Access/30/Freeflow	3,2%	184	243	60	33,4
ramp+precond 4	0,0%	245	252	8	48,1
URB/Access/50/Freeflow	3,4%	254	323	70	43,5
ramp+precond 5	0,0%	325	328	4	49,1
URB/Distr/50/Freeflow	5,0%	330	399	70	45,8
end urban	0%	401	413	13	21,9

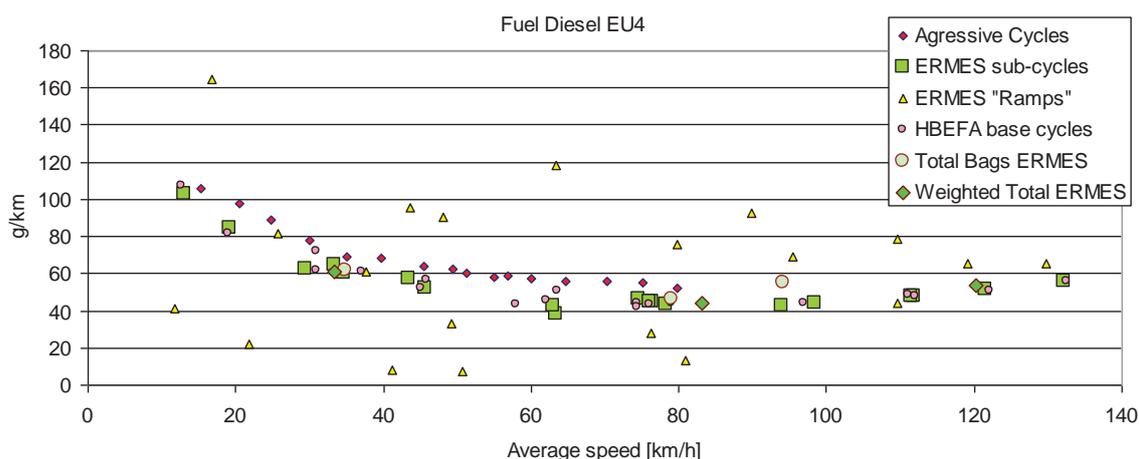
<b>Extra Urban</b>	<b>Weighting factor</b>	<b>Start</b>	<b>End</b>	<b>Duration</b>	<b>Velocity</b>
	<b>in % from Rural</b>	<b>in s</b>			<b>in km/h</b>
Rural Start, preconditioning	0.0%	415	437	23	43,7
RUR/Trunk/60/Freeflow	1,8%	439	479	41	63,4
RUR/Distr/80/Heavy	4,8%	481	514	34	63,1
ramp+precond 6	0.0%	516	527	12	79,8
RUR/Local/80/Freeflow	24,4%	529	580	52	78,3
ramp+precond 7	0.0%	582	583	2	80,9
RUR/Distr/80/Freeflow	33,5%	585	644	60	74,5
full load ramp + precon 1	0,0%	646	659	14	95,5
RUR/Trunk/100/Freeflow	35,4%	661	725	65	98,4
slow down 1	0,0%	727	749	23	41,4

<b>Motorway</b>	<b>Weighting factor</b>	<b>Start</b>	<b>End</b>	<b>Duration</b>	<b>Velocity</b>
	<b>in % from Motorway</b>	<b>in s</b>			<b>in km/h</b>
RUR/MW/80/St+Go	2,2%	751	808	58	19,2
full load ramp + precon 2	0,0%	810	829	20	63,3
RUR/MW/130/Saturated	9,7%	831	859	29	76,5
ramp + precon 9	0,0%	861	865	5	76,2
URB/MW-Nat./80/Freeflow	0,8%	867	906	40	76,0
full load ramp + precon 3	0,0%	908	913	6	89,9
URB/MW-Nat./100/Freeflow	1,9%	915	954	40	93,9
full load ramp + precon 4	0,0%	956	965	10	109,7
RUR/MW/120/Heavy	0,4%	967	1000	34	111,9
ramp + precon 10	0,0%	1002	1005	4	109,7
RUR/MW/110/Freeflow	5,6%	1007	1065	59	111,6
full load ramp + precon 5	0,0%	1067	1075	9	119,1
RUR/MW/120/Freeflow	14,7%	1077	1135	59	121,6
full load ramp + precon 6	0,0%	1137	1148	12	129,7
RUR/MW/130/Freeflow	64,7%	1150	1208	59	132,2
end, slow down	0,0%	1210	1249	40	50,7

Als erste Überprüfung wurden die Teilzyklen der ERMES Tests jeweils mit PHEM für EU-RO 4 Diesel-Pkw simuliert und die Ergebnisse mit Simulationen anderer Zyklusdaten verglichen<sup>2</sup>. Bild 78 bis Bild 80 zeigen die Motorleistung, Verbrauchswerte und NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die Teilzyklen des ERMES Tests treffen die Basiszyklen des HBEFA jeweils gut. Die Werte für Zyklen mit Eigenschaft aggressiver Fahrweise liegen höher, die Rampen und Konditionierteile des ERMES Tests umhüllen aber auch diese Fahrweise. Damit sollte mit dem ERMES Test ein guter Kompromiss aus kurzer Testdauer, einer Abbildung der relevantesten Fahrsituationen und gleichzeitig einer umfassende Abdeckung aller Betriebszustände gelungen sein.

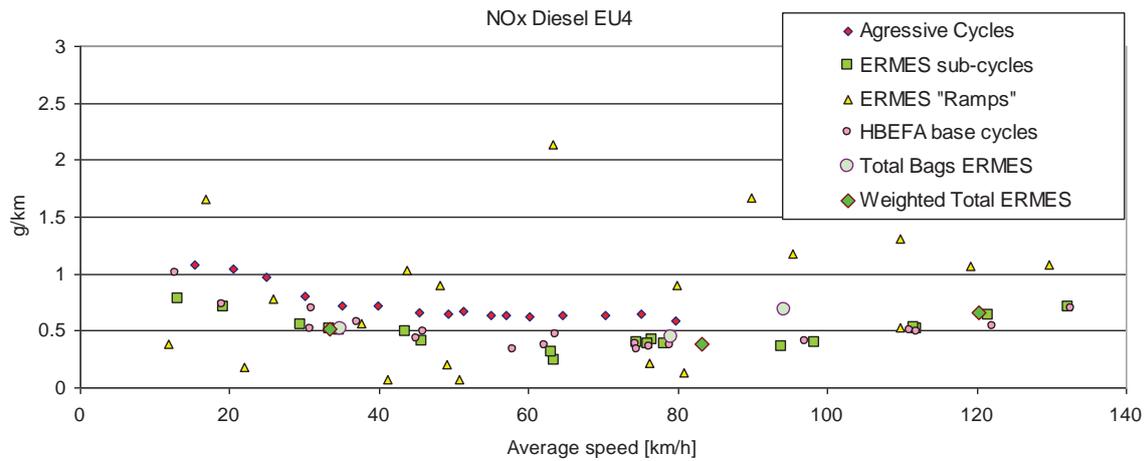


**Bild 78:** Vergleich der mit PHEM berechneten Motorleistung (Verhältnis zur Motornennleistung) in den Teilzyklen des ERMES Tests, in HBEFA V3.1 Zyklen und in einem Satz Zyklen aggressiver Fahrer



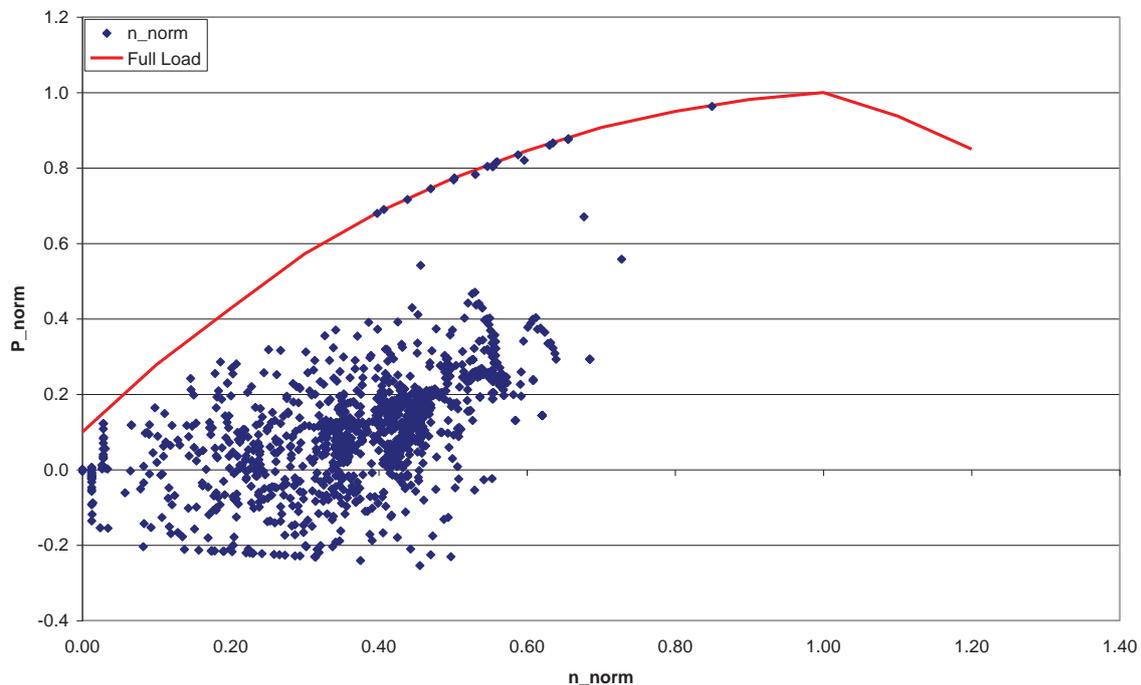
**Bild 79:** Vergleich der mit PHEM berechneten Verbrauchswerte in den Teilzyklen des ERMES Tests, in HBEFA V3.1 Zyklen, in einem Satz Zyklen aggressiver Fahrer

<sup>2</sup> Aus den Fahrverhaltensdaten wurden auch Zyklen ausgewählt, die bezüglich RPA jeweils beim 95-Perzentilwert aller Fahr-Daten lagen (Quelle: Heinz Steven) und als „Aggressive Cycles“ in den Vergleich mit einbezogen.



**Bild 80:** Vergleich der mit PHEM berechneten  $\text{NO}_x$ -Emissionen in den Teilzyklen des ERMES Tests, in HBEFA V3.1 Zyklen, in einem Satz Zyklen aggressiver Fahrer

Bild 81 zeigt noch die Kennfeldabdeckung durch den ERMES Test V1.0. Es ist zu überlegen, ob der Drehzahlbereich über 60% Nenndrehzahl durch eine Verlängerung des Tests von 1250 Sekunden auf ca. 1300 Sekunden und entsprechender Schaltstrategie noch gefüllt werden soll. Allerdings würde damit die Aussagekraft des Beutelwertes stark geschmälert.



**Bild 81:** Abdeckung des Motorkennfeldes des durchschnittlichen EURO 4 Diesel-Pkw durch den ERMES-Test (jeder Punkt repräsentiert eine Sekunde des Tests)

### 9.3 Zyklusvalidierung

Zur Erstellung eines neuen, weltweit standardisierten Fahrzyklus für die Messung von Abgasemissionen im Rahmen der Typprüfung wurden in den zurückliegenden Jahren eine Fülle von in-use driving behaviour Daten gesammelt. Der europäische Teil dieser Daten sollte für die Validierung des ERMES-Zyklus herangezogen werden. Er umfasst über 400 000 km aus neun verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten sowie der Schweiz

Dazu wurden zunächst die Verteilungen von Geschwindigkeit und Beschleunigung für den ERMES-Zyklus und die EU in-use driving behaviour Datenbank bestimmt. Diese Verteilungen sind in Bild 82 und Bild 83 vergleichend gegenübergestellt. Wie nicht anders zu erwarten zeigen sich bei den Geschwindigkeitsverteilungen große Unterschiede. Der ERMES-Zyklus hat höhere Anteile höherer Geschwindigkeiten, deckt aber die Bandbreite der in-use Daten sehr gut ab. Außerdem ist die Verteilung linearer als die Verteilung der in-use Daten. Bei einer linearen Verteilung sind die verschiedenen Geschwindigkeiten gleichmäßiger verteilt als bei einer nicht linearen Verteilung, was für einen Prüfstandszyklus zur Modellierung von Emissionsfaktoren durchaus von Vorteil ist.

Bei den Beschleunigungen gibt es dagegen gute Übereinstimmung mit den in-use Daten.

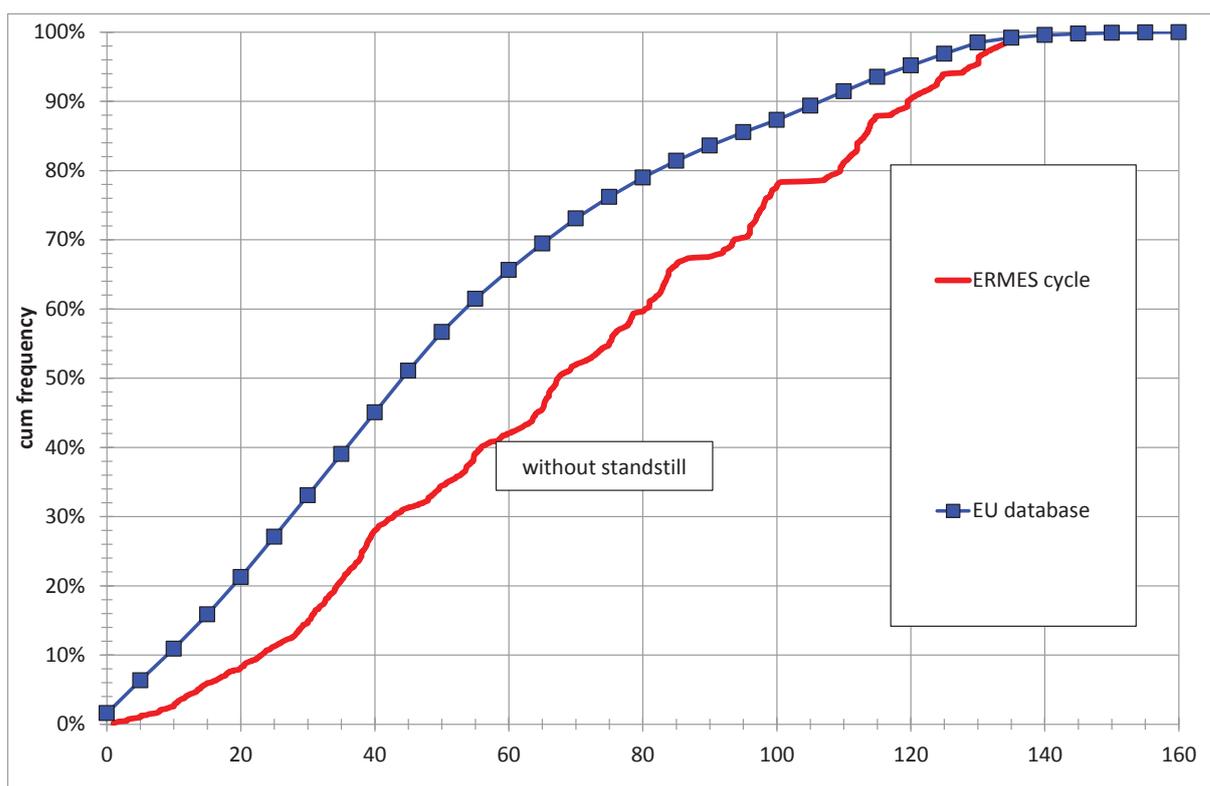
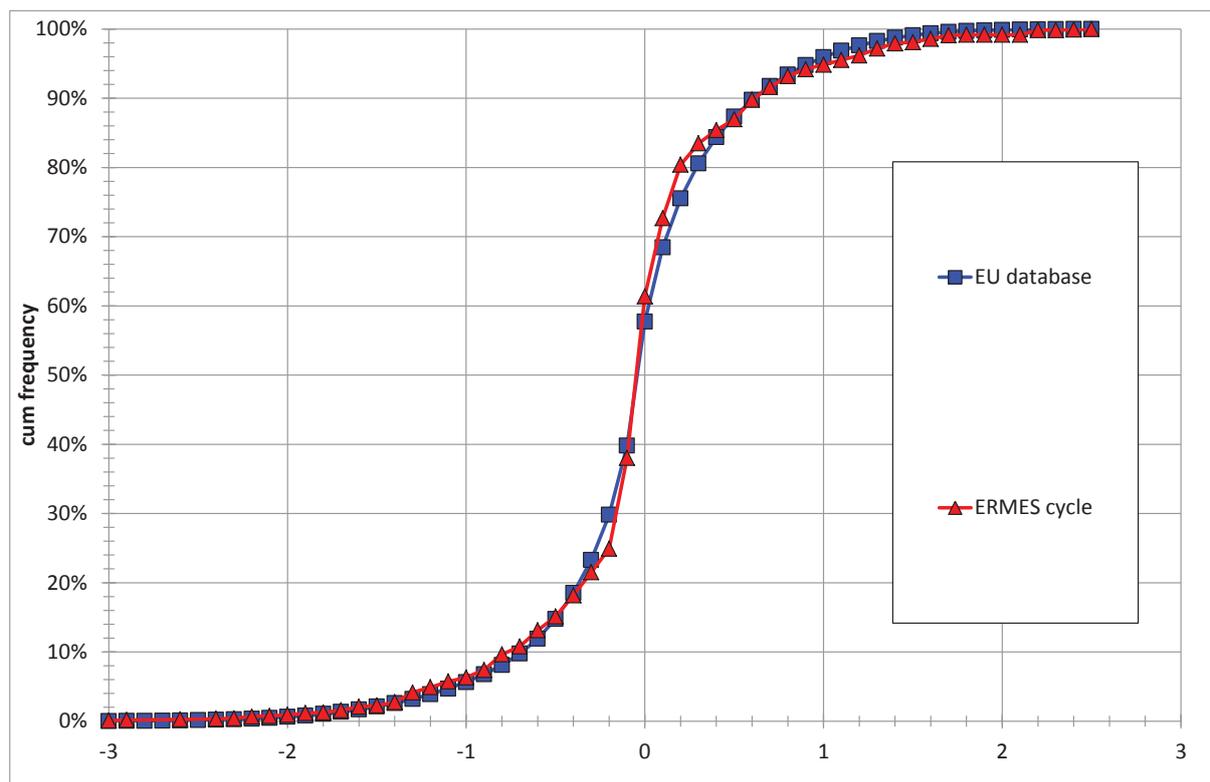


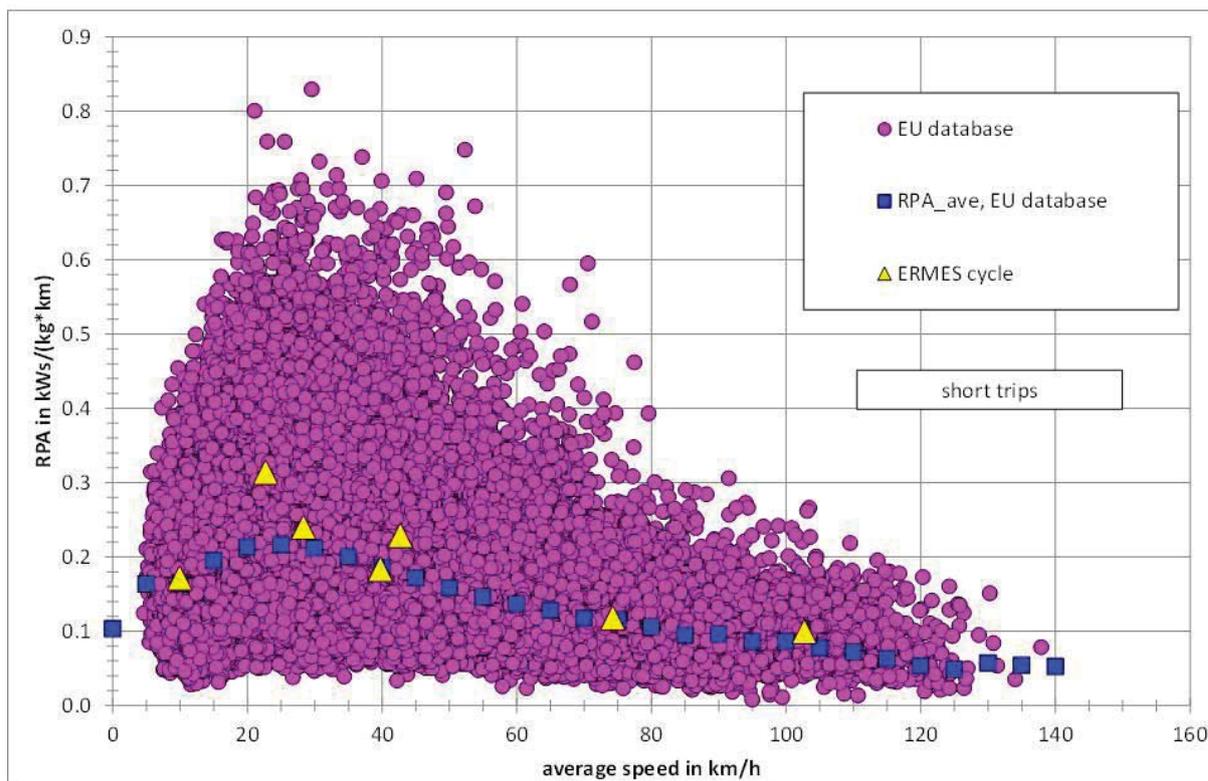
Bild 82: Geschwindigkeitsverteilungen von ERMES-Zyklus und EU-Database



**Bild 83: Beschleunigungsverteilungen von ERMES-Zyklus und EU-Databese**

Ein weiterer Parameter, der zur Einschätzung der Dynamik eines Fahrzyklus herangezogen wird, ist die relative positive Beschleunigung (RPA). Dies ist die Summe aus dem Produkt von Geschwindigkeit, Beschleunigung und dem Zeitintervall des Zyklus dividiert durch die über den Zyklus zurückgelegte Wegstrecke. Dabei werden allerdings nur positive Beschleunigungen berücksichtigt. Beim ERMES-Zyklus wie auch bei den in-use Daten beträgt das Zeitintervall 1 Sekunde und muss daher nur bei den physikalischen Einheiten berücksichtigt werden. Die physikalische Einheit des RPA ist  $\text{m/s}^2$  oder  $\text{kWs}/(\text{kg}\cdot\text{km})$ . RPA kann also als Beschleunigung, aber auch als spezifische Beschleunigungsarbeit je kg Fahrzeugmasse und je Kilometer zurückgelegter Wegstrecke interpretiert werden.

In Bild 84 sind die RPA-Werte der EU in-use Datenbank für „short trips“ über der Durchschnittsgeschwindigkeit dargestellt. Ein short trip ist ein zusammenhängender Fahrtabschnitt, der aus dem Stillstand beginnt und wieder im Stillstand endet. Der ERMES-Zyklus besteht aus 7 short trips, deren RPA-Werte ebenfalls über der Durchschnittsgeschwindigkeit dargestellt sind. Die RPA-Werte des ERMES-Zyklus decken einen großen Teil des Geschwindigkeitsbereichs ab und liegen entweder auf oder über der Mittelwertskurve der in-use Daten. Man kann also auch beim RPA folgern, dass der Zyklus seiner Aufgabenstellung gerecht wird.



**Bild 84:** Vergleich der relativen positiven Beschleunigungen von ERMES-Zyklus und EU-Database

### 9.4 Überprüfung des Zyklus auf dem Rollenprüfstand

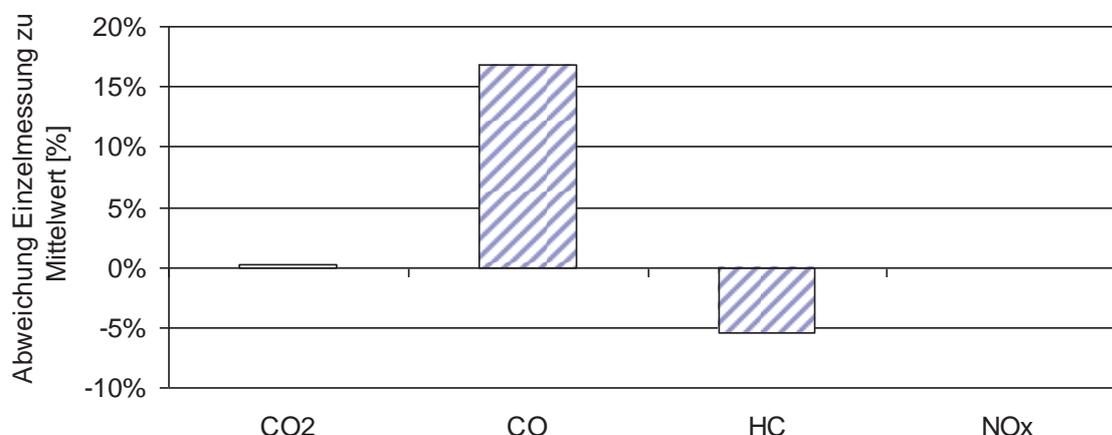
Der ERMES Zyklus in Version V4<sup>3</sup> wurde an einem Euro 5 Pkw getestet. Die ersten drei Testreihen wurden zur Überprüfung der Fahrbarkeit verwendet. Es mussten dabei nur vier kleine Anpassungen an den Rampen zwischen den Teilzyklen vorgenommen werden, ansonsten erwies sich der Zyklus als gut fahrbar. Der verwendete Pkw ist ein institutseigener Euro 5 Diesel-Pkw, der schon im CADC, IATS und NEDC gemessen wurde. Für diesen wurden Vergleichsmessungen mit dem ERMES-Zyklus vorgenommen (es wurde auch im CADC gemessen, um sicherzustellen, dass der Pkw sein Emissionsniveau nicht verändert hat). Alle Testzyklen wurden mit denselben Prüfstandseinstellungen gefahren (Fahrwiderstände und Massensatz). Die Fahrwiderstände des analysierten Pkw wurden aus Ausrollversuchen bei realen Straßenverhältnissen mit der Serienbereifung ermittelt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend zusammengefasst.

Die Wiederholbarkeit des Tests war sehr gut. Die Tests wurden dabei mit deaktivierter Start-Stop Automatik gefahren, da diese vom Kfz sonst je nach Ladezustand der Batterie während des Zyklus aktiviert oder deaktiviert wird. Die Abweichungen der Einzelmessun-

<sup>3</sup> In Version V4 waren im Rural-Teil zwei Subzyklen unterschiedlich zu der aktuell beschriebenen Version V5. Die in V5 neu eingesetzten Subzyklen haben merklich höhere ländergewichtete Fahrleistungsanteile im HBEFA als die zwei ersetzten.

gen vom Mittelwert waren beim Kraftstoffverbrauch und bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen unter 0,3%. Bei CO ist die Differenz 17%, was wegen des sehr niedrigeren CO-Emissionsniveaus dieses Kfz aber nur 5 mg entspricht.



**Bild 85:** Maximale Abweichung der Einzelmesswerte zum Mittelwert im ERMES Testzyklus am Diesel-Euro 5 Pkw

Bild 86 zeigt die Ergebnisse zum Kraftstoffverbrauch. Werden aus den einzelnen ERMES-Teilzyklen entsprechend der zuvor dargestellten Gewichtungsfaktoren die Durchschnittswerte für Urban, Extra Urban und Motorway berechnet, so liegen diese Werte unter den Beutelwerten des ERMES Tests, da im Beutelwert ja auch die Rampen mit Volllastanteilen enthalten sind. Der gesamte, gewichtete Mittelwert des ERMES Tests liegt bei 75,8 km/h. Die Gewichtung erfolgt dabei nach Streckenanteilen im HBEFA. Der gewichtete Verbrauch liegt im gesamten ERMES Zyklus bei 43,4 g/km. Zur Plausibilitätsprüfung können folgende Überlegungen zum Vergleich mit dem Typprüfwert herangezogen werden.

**Tabelle 32:** Übersicht über den spezifischen Kraftstoffverbrauch bei Diesel-Pkw unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen

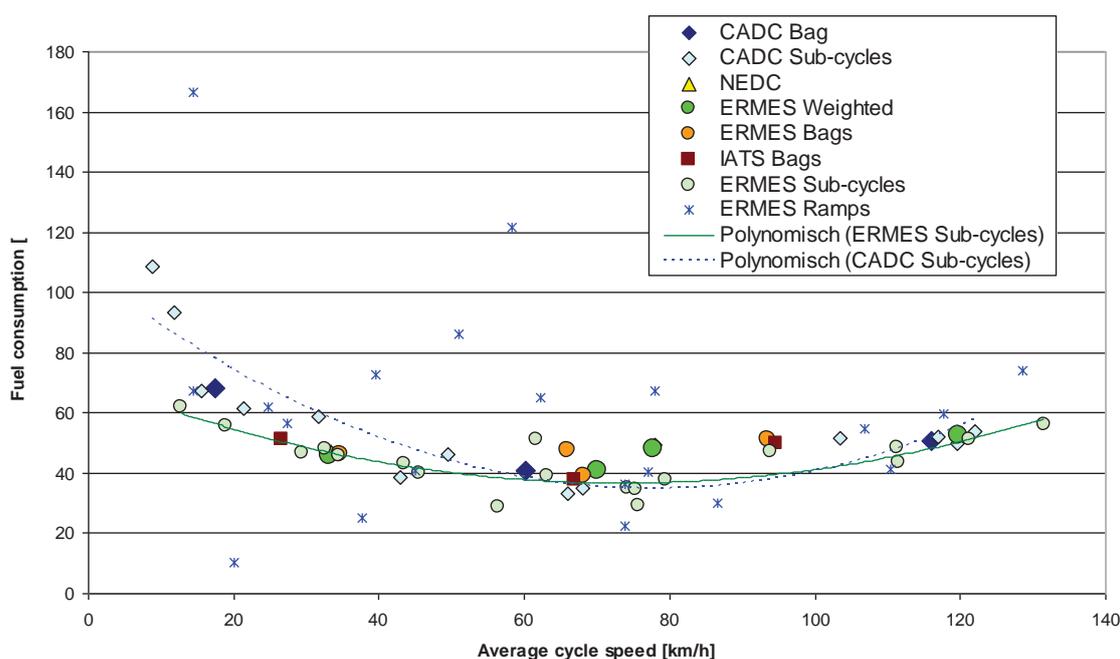
Verbrauch ERMES-Warm-gewichtet	5,20	l/100km	Ohne Kaltstarts und Nebenaggregate
Kaltstartzuschlag	5,2	%	
Verbrauch ERMES-Kalt-gewichtet	5,47	l/100km	Ohne Nebenaggregate
Zusatzverbrauch Nebenaggregate	0,25	l/100km	Klimaanlage, Radio, Licht, Gebläse, etc.
ERMES-Gesamt inkl. Nebenverbraucher	5,72	l/100km	(Verbrauch Nebenaggregate nur geschätzt)
Typprüfwert	4,8	l/100km	
Verhältnis ERMES-Ges. zu Typprüfwert	119	%	

In [Melios G. et.al., 2010] werden als typisches Verhältnis von "Real World Verbrauch" zum Typprüfwert bei Diesel-Pkw etwa 15% Mehrverbrauch angegeben. Der ERMES Test wurde mit dem Testfahrzeug hier ja mit deaktivierter Start-Stopp Automatik gefahren, was etwa 3% Verbrauchsdifferenz bedeutet. Insgesamt ist das Verbrauchsniveau des ERMES-Zyklus also plausibel.

Die Subzyklen des neuen ERMES-Tests liegen gegenüber den CADC-Subzyklen im Innerortsbereich bezüglich des Verbrauches niedriger. Der IATS, der aus österreichischen Fahrverhaltensdaten in [Zallinger, 2010] erstellt wurde, liegt für Autobahn auf einem höheren Verbrauchsniveau als der ERMES Zyklus. Die ERMES-Rampen liegen erwartungs-

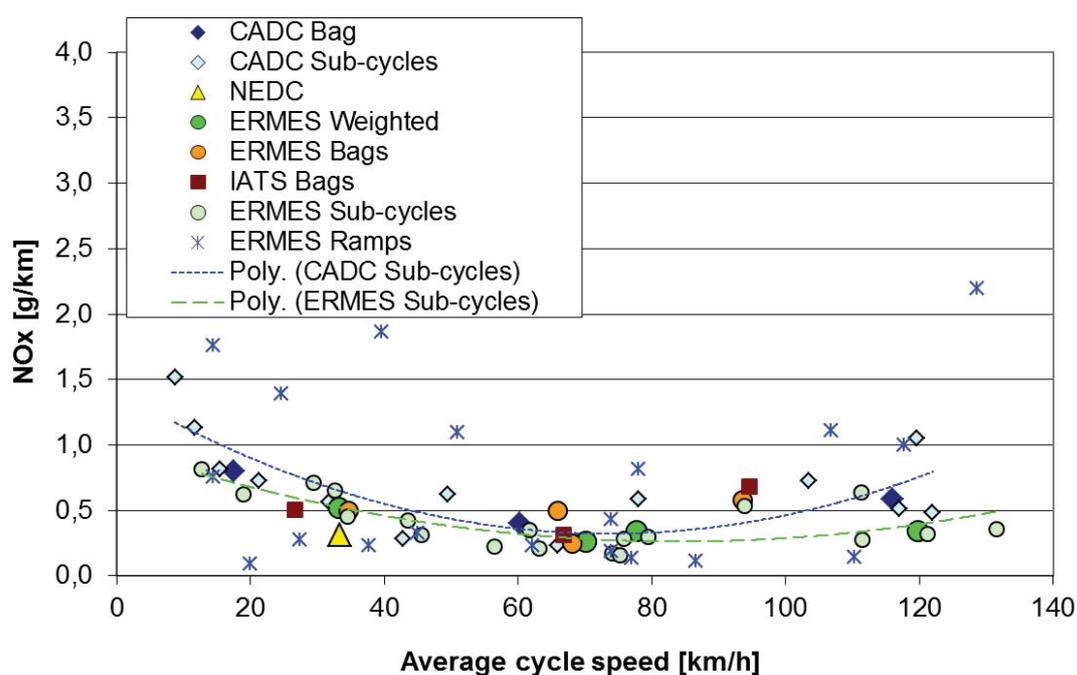
gemäß deutlich über- bzw. unter den Verbrauchswerten der regulären Teilzyklen, da die Rampen ja meist reine Beschleunigungs- oder Verzögerungsstücke sind. Die Beutelwerte des ERMES-Tests sind damit wie schon beschrieben nicht direkt repräsentativ für die HBEFA-Zyklen. Zu beachten ist, dass auch die CADC- und IATS-Beutelwerte die nicht gewichteten Summen ihrer Teilzyklen darstellen. Beim CADC sind allerdings keine Gewichtungsfaktoren bekannt, mit denen die CADC-Subzyklen zu repräsentativen Gesamtwerten kombiniert werden können.

Eine Auswertung des ERMES Tests nach modalen Messdaten sollte jedenfalls für jedes Kfz vorgesehen werden. Damit können die gewichteten Ergebnisse und alle Teilzyklen automatisiert berechnet werden.



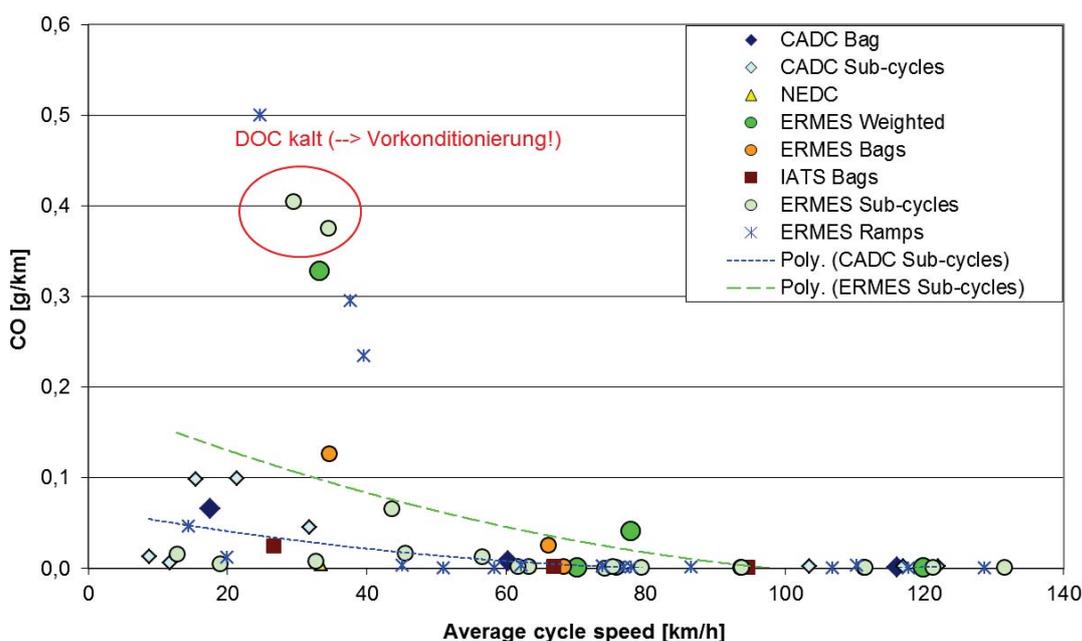
**Bild 86: Gemessener Verbrauch an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart**

Bild 87 zeigt die Ergebnisse zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen. Innerorts sind wie beim Verbrauch geringere Emissionswerte als im CADC festzustellen. Auch auf der Autobahn ergibt der ERMES-Zyklus gewichtet geringere NO<sub>x</sub>-Emissionen als der CADC und als der IATS. Ohne Gewichtung liegt das ERMES-Ergebnis für Autobahn auf gleichem Niveau wie die anderen Tests. Hier zeigt sich der Vorteil der Zuordnungsmöglichkeit von Testzyklus und Verkehrszuständen im ERMES Test, da unproportional lange bzw. kurze Testphasen mit den modalen Messwerten auf realistische Fahrleistungsanteile korrigiert werden können.



**Bild 87:** Gemessene  $\text{NO}_x$ -Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart

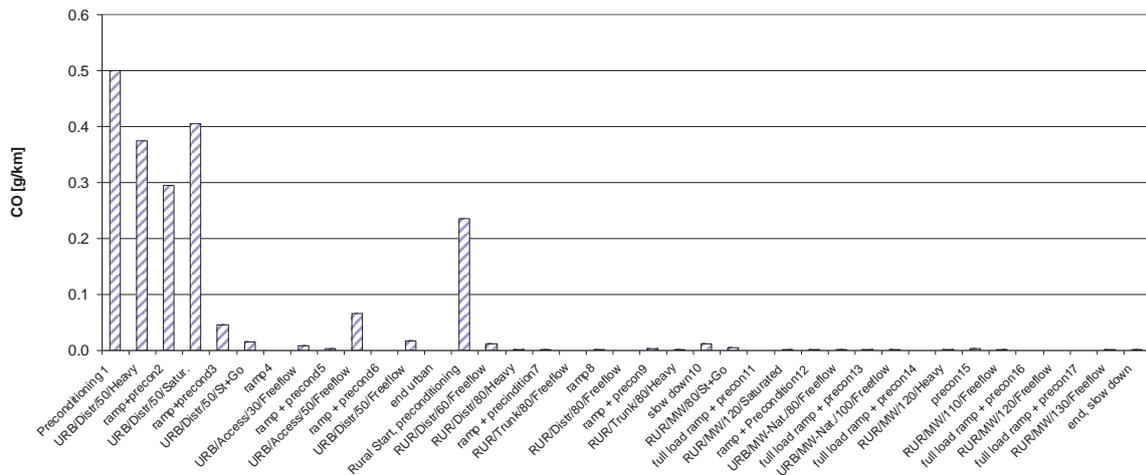
Bild 88 zeigt die Ergebnisse für die CO-Emissionen. Dabei fallen die hohen Emissionen im ERMES-Test bei zwei Innerorts-Teilzyklen auf. Diese beiden Teilzyklen stehen am Beginn des ERMES-Testablaufes und haben die höchsten Gewichtungsfaktoren. Der ERMES Test wurde mit einer kurzen Vorkonditionierung (3 Minuten bei 100 km/h) gefahren. Diese war offensichtlich zu kurz gewählt, um den Oxidationskatalysator auf die CO-Anspringtemperatur zu bringen.



**Bild 88: Gemessene CO-Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart**

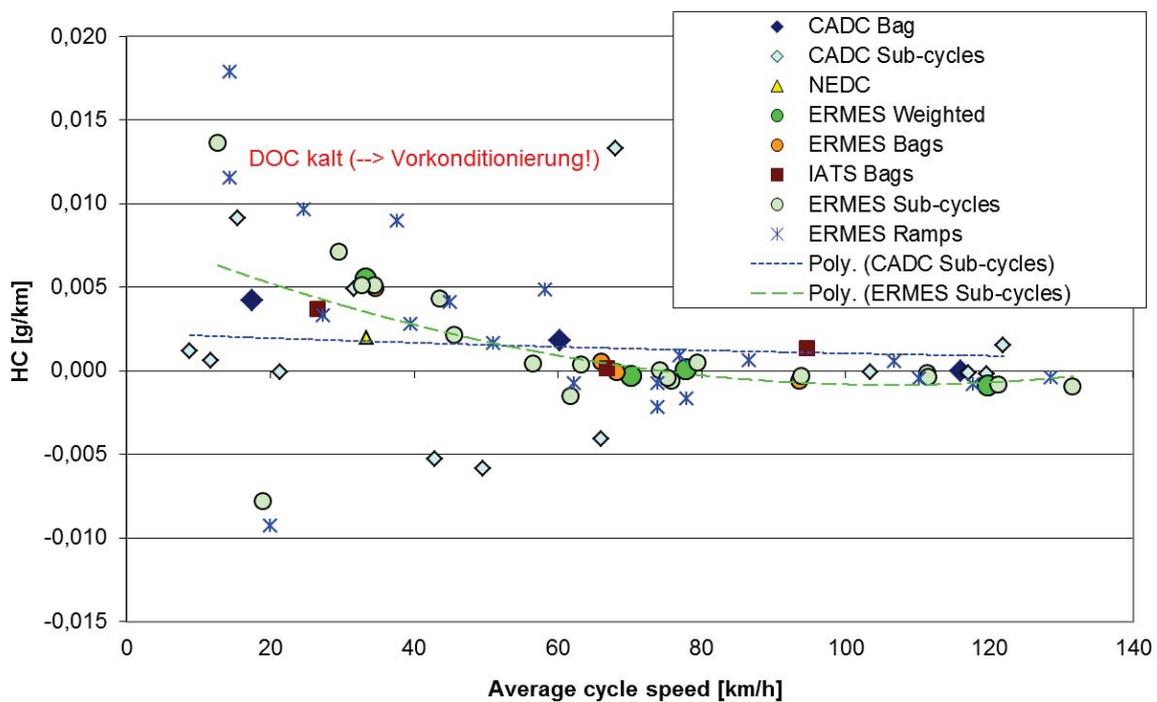
Die **Vorkonditionierung des ERMES-Tests** muss also in Zukunft verlängert und genau definiert werden. Andernfalls kann aus den Tests kein sauberes Emissionskennfeld für einen betriebswarmen Zustand erstellt werden. Bild 89 zeigt die CO-Emissionen der einzelnen Subzyklen und der Rampen zwischen den Subzyklen. Nach Rampe 3 sind die CO-Emissionen auf betriebswarmem Niveau. Dies entspricht zusätzliche 3 Minuten Fahrzeit.

Es könnte also ein eigener Konditionierzyklus vor den ERMES-Zyklus gesetzt werden. Dieser könnte der Urban- eventuell zusätzlich noch der Rural-Teil des ERMES sein (Sekunde 1 bis 750) wenn diese auch gleich als Kaltstarttest verwendet werden. Allerdings wäre der Test inklusive Vorkonditionierung dann 2000 Sekunden lang. Alternativ kann z.B. 10 Minuten 100 km/h Konstantfahrt vorgeschrieben werden. Diese Optionen sollten mit den beteiligten Labors noch diskutiert und die bevorzugte Option dann an einigen Kfz getestet werden um zu sehen, ob die neue Vorkonditionierung ausreichend ist.



**Bild 89:** Gemessene CO-Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw über die Teilzyklen des ERMES-Tests

Bild 90 zeigt die Messergebnisse für HC. Auch hier fällt die zu kurze Vorkonditionierung in den ersten beiden Teilzyklen auf. Die Ergebnisse der übrigen Tests führen zu Emissionen auf oder unter Umgebungsluftniveau.



**Bild 90:** Gemessene HC-Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart

## 10 Messdaten des ADAC

Zur Ergänzung der Datenbasis für Emissionsfaktoren wurden im Rahmen dieses Projektes vom ADAC Emissionsdaten aus aktuellen ADAC-Ecotest-Messungen für Euro-6-Pkw ausgewertet und zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um insgesamt sieben Euro-6-Diesel-Pkw, gemessen in den folgenden Zyklen:

NEFZ kalt (incl. Modaldaten)

NEFZ warm (incl. Modaldaten)

BAB-ADAC (Autobahnzyklus)

Darüber hinaus wurde ein Fahrzeug im CADC gemessen und ein weiteres Fahrzeug bei Konstantfahrt. Die gemessenen Komponenten sind CO, HC, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, Partikel und CO<sub>2</sub>/Kraftstoff.

Für alle Messungen liegen die Messprotokolle und Ergebnisse vor. Die Ergebnisse liefern erste Anhaltspunkte für das Emissionsniveau von Euro-6-Fahrzeugen. Da der ADAC bisher aus Aufwandsgründen keine systematischen CADC-Messungen macht, sind die Ergebnisse nur bedingt für eine direkte Übernahme in die HBEFA-Datenbasis geeignet. Der ADAC prüft derzeit, ob er den weniger aufwendigen ERMES-Zyklus, der im Rahmen dieses Vorhabens entwickelt wurde (siehe Kapitel 10), in das Prüfverfahren integrieren kann. Falls dies möglich ist, sind zukünftige ADAC-Messungen auch direkt für die Weiterentwicklung des HBEFA nutzbar.

## 11 Literatur

### Kapitel 2

- [1] HBS, Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2002

### Kapitel 4

- Lambrecht 2010 Emission Factors for Passenger Cars: NO<sub>2</sub>, Hydrocarbons and N<sub>2</sub>O for HBEFA Version 3.1; Expertise, Commissioned by JRC Ispra; Heidelberg, December 2010
- ADAC 2008 Kolke, R. et al: ADAC Verbraucherschutztest an Nachrüstfiltern für Pkw; 6. FAD-Konferenz 2008; 5.11.-6.11.2008 in Dresden
- ADAC 2010 Kolke, R. et al: Möglichkeiten der Stickoxidminderungen bei Fahrzeugen und notwendige Rahmenbedingungen. Conference: Herausforderungen NO<sub>2</sub>-Immissionen. Gesetzgebung, Luftbelastung, Lösungen. 3./4. March 2010 in Heidelberg
- IVL 2008 Sjödin, A. et al: Evaluation of the European Road Transport Emission Modals Against On-Road Emission Data As measured by Optical Remote Sensing - 17th International Conference 'Transport and Air Pollution' 2008, Graz

### Kapitel 8

- KBA 2006-2010 Fahrzeugneuzulassungen. Neuzulassungen Hersteller. Jahr 2006 bis 2010.
- Hausberger 2009 Hausberger, S., TU Graz: The Model Phem – Applications for HBEFA V3; Präsentation, Zürich, 23.01.2009
- MAN 2011 MAN: Produktbroschüren MAN TGS, TGL und TGM, TGX; Internetseite: [http://www.mantruckandbus.com/de/Produkte\\_und\\_Loesungen/MANLkw/MAN\\_Lkw.jsp](http://www.mantruckandbus.com/de/Produkte_und_Loesungen/MANLkw/MAN_Lkw.jsp) (Zugriff am 26.02.2011)
- Scania 2011 Scania Produktbroschüre "Fernverkehrsfahrzeuge", Internetseite: <http://www.scania.de/trucks/> (Zugriff am 26.02.2011)

### Kapitel 9

- HBEFA 2010 Handbuch Emissionsfaktoren Version 3.1, INFRAS, Zürich 2010.
- SPIEGEL 2000 Stromfresser im Auto: Internetartikel: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,105532,00.html> (Zugriff am 25.2.2011)
- EMPA 2001 Nachführung der Emissionsgrundlagen Strassenverkehr – Ergänzung der Messdaten auf das Bezugsjahr 2000. Teilbericht: Einfluss elektrischer Verbraucher auf die Emissionen. Im Auftrag des BUWAL. Dübendorf 2001.
- Wallentowitz 2006 Wallentowitz, H. & Reif K. (Hrsg.): Handbuch Kraftfahrzeugelektronik: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen. Wiesbaden 2006.

- ADAC 2009 Alles zur Autobatterie: Batterie im Winter. Internet:  
<http://www.adac.de/infotestrat/repaur-pflege-und-wartung/batterie/?tabid=tab3>  
(Zugriff am 25.2.2011)
- ATZonline 2009 Behr: Klimaanlage und Antrieb buhlen um Energie der Batterie. Internetartikel:  
<http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/9757/Behr-Klimaanlage-und-Antrieb-buhlen-um-Energie-der-Batterie> (Zugriff am 25.2.2011)
- Fabis 2006 Fabis R. M.: Beitrag zum Energiemanagement in Kfz-Bordnetzen. Dis-sertation an Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik der TU Berlin. Berlin 2006.
- Carrier 2011 Produktdatenblatt Dachklimaanlage AC313/355. Carrier Transicold Deutschland, Renningen.
- Powerworld 2010 Neuheiten bei der Busklimatisierung. Powerworld 03/04-2010. TechTex-Verlag, Budenheim.
- Gisler 2006 Gisler, H.-J.: SWISSTROLLEY 3 – Gelenktrolleybus. Schlussbericht der Carrosse-rie HESS AG im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie.
- LOGISTIK inside 2009 Auswirkung verschiedener Einflüsse auf den Dieserverbrauch eines Lkw. LOGISTIK inside 4/2009 und 5/2009. Springer Transport Media.
- TREMODO 2009 Transport Emission Model: Fortschreibung "Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1960 - 2030". Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Laufende Arbeiten im Auftrag des Umweltbundesamt seit 1993.

## Kapitel 10

- Hausberger 2009b Hausberger S., Rexeis M., Zallinger M., Luz R.: Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3. Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679 from 07.12.2009
- Zallinger 2010 Zallinger M.: Mikroskopische Simulation der Emissionen von Personenkraftfahrzeugen. Dissertation, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz, April 2010
- Melios G. et.al., 2010 Melios G., Hausberger S., Keller M., et.al.: Parameterisation of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of passenger cars and light commercial vehicles for modelling purposes; Report for European Commission - Joint Research Centre; 2010

## 12 Abkürzungen und Begriffe

Abk.	Beschreibung
A300DB	MS-Access-Datenbank, erstellt im Rahmen des Projekts ARTEMIS
ADAC	Allgemeine Deutsche Automobil-Club e.V.
ARTEMIS	Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems
BAB	Autobahn-Testzyklus des ADAC
B10	Biodieselmischung mit 10% Anteil Biodiesel
B20	Biodieselmischung mit 20% Anteil Biodiesel
CADC	Common Artemis Driving Cycle
CNG	Erdgas
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DACH-NL-S	Deutsch-Österreichisch-Schweizer u.a. Expertengruppe zur Koordination, Ermittlung und Messung repräsentativer Emissionsfaktoren für das HBEFA und andere Anwendungen; seit 2010 ERMES
DPF	Diesel-Partikelfilter
EGR	Exhaust Gas Recirculation, Abgasrückführung
EFA	Emissionsfaktor
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ERMES	European Research Group on Mobile Emission Sources
Euro 4	Europäische Abgasvorschriften für Pkw und LNF
Euro IV	Europäische Abgasvorschriften für Schwere Motorwagen
FTP72	war der offizieller amerikanische Fahrzyklus
FTP75	offizieller amerikanische Fahrzyklus und stellt eine Weiterentwicklung des FTP 72 dar
GTL	Gas-to-Liquids
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HC	Kohlenwasserstoffe
IATS	Integrated Austrian Traffic Situations
JRC	Joint Research Centre
KBA	Kraftfahrtbundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LPG	Flüssiggas
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NEDC, NEFZ	New European Driving Cycle, Neuer Europäischer Fahrzyklus
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide (Sammelbezeichnung für NO und NO <sub>2</sub> )
N <sub>2</sub> O	Lachgas

PCG	Passenger Car Gasoline
PHEM	Passenger Car and Heavy Duty Emission Model
Pkw	Personenkraftwagen
RME	Rapsmethylester, aus Rapsöl hergestellter Biodiesel
PM	Particulate Matter; Feinstaub
PN	Partikelanzahl
RPA	relative positive Beschleunigung
SCR	Selective Catalytic Reduction
TREMOD	Transport Emission Model
TUG	Technische Universität Graz
UBA	Umweltbundesamt
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VTI	Swedish National Road and Transport Research Institute
WLTP-Projekt	Entwicklung einer weltweit harmonisierten Testprozedur für die Messung der Schadstoff- und CO <sub>2</sub> -Emissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen im Rahmen der Typprüfung
WMTC	World Motorcycle Testing Cycle

## 13 Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Häufigkeitssummenkurven aus den Schweizer Fahrverhaltensdaten für unterschiedliche Tempolimits einschließlich Stillstandsanteile .....	18
Bild 2:	Häufigkeitssummenkurven aus den Schweizer Fahrverhaltensdaten für unterschiedliche Tempolimits ohne Stillstandsanteile .....	19
Bild 3:	Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Autobahnen mit Tempolimit 100 und 120 km/h .....	19
Bild 4:	Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für stadtnahe Autobahnen .....	20
Bild 5:	Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für weitere Straßentypen .....	20
Bild 6:	Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für weitere Straßentypen .....	21
Bild 7:	Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Innerorts-Straßentypen .....	21
Bild 8:	Tagesgänge der Durchschnittsgeschwindigkeiten für Innerorts-Straßentypen .....	22
Bild 9:	Stündliche Durchschnittsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Straßentyp und Tempolimit.....	22
Bild 10:	Stündliche Durchschnittsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Straßentyp und Tempolimit.....	23
Bild 11:	Stündliche Durchschnittsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Straßentyp und Tempolimit.....	23
Bild 12:	Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrssituationen für das Handbuch und die entsprechenden Daten aus Schweden für Pkw .....	28
Bild 13:	Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrssituationen für das Handbuch und die entsprechenden Daten aus Schweden für schwere Nutzfahrzeuge .....	32
Bild 14:	Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten des Handbuchs mit den Ergebnissen aus Fundamentaldiagrammen und dem HBS.....	33
Bild 15:	Geschwindigkeitsverlauf bei Tempo 50 für frei fließenden Verkehr und geringe Störungen.....	34
Bild 16:	Geschwindigkeitsverlauf bei Tempo 50 für frei fließenden Verkehr und mittlere Störungen.....	35
Bild 17:	Geschwindigkeitsverlauf bei Tempo 50 für frei fließenden Verkehr und starke Störungen.....	35
Bild 18:	Kraftstoffverbrauchsfaktoren einer Vielzahl von Fahrzyklen in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit .....	36
Bild 19:	Abweichungen der Kraftstoffverbrauchsfaktoren von der Mittelwertskurve des vorherigen Bildes in Abhängigkeit von der relativen positiven Beschleunigung .....	37
Bild 20:	NO <sub>x</sub> -Emissionsfaktoren einer Vielzahl von Fahrzyklen in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit .....	37
Bild 21:	Abweichungen der NO <sub>x</sub> -Emissionsfaktoren von der Mittelwertskurve des vorherigen Bildes in Abhängigkeit von der relativen positiven Beschleunigung .....	38

Bild 22:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw Euro 4 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	39
Bild 23:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Otto-Pkw Euro 2 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	40
Bild 24:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für leichte Nutzfahrzeuge N1-III mit Dieselmotor Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	40
Bild 25:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Autobahnen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	42
Bild 26:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Autobahnen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	43
Bild 27:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Autobahnen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	43
Bild 28:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	44
Bild 29:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	44
Bild 30:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf Außerortsstraßen mit überregionaler Funktion bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	45
Bild 31:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf kurvigen, regionalen Außerortsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	45
Bild 32:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf kurvigen, regionalen Außerortsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	46
Bild 33:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf kurvigen, regionalen Außerortsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	46
Bild 34:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	47
Bild 35:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit .....	47
Bild 36:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	48

Bild 37:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 12 000 kg Gesamtmasse, Euro IV EGR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	49
Bild 38:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 12 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	49
Bild 39:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 40 000 kg Gesamtmasse (Last- und Sattelzüge), Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	50
Bild 40:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf regionalen, kurvigen Außerortsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit .....	52
Bild 41:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf regionalen, kurvigen Außerortsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit .....	52
Bild 42:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf regionalen, kurvigen Außerortsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit .....	53
Bild 43:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei frei fließendem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit .....	53
Bild 44:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei starkem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit.....	54
Bild 45:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten auf innerörtlichen Durchgangsstraßen bei gesättigtem Verkehr und Tempolimits zwischen 60 km/h bis 130 km/h sowie ohne Tempolimit .....	54
Bild 46:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Reisebusse bis 18 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung.....	55
Bild 47:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Linienbusse bis 18 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung.....	56
Bild 48:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Linienbusse über 18 000 kg Gesamtmasse, Euro V SCR in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	56
Bild 49:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Motorräder 151 cm <sup>3</sup> bis 250 cm <sup>3</sup> , 4-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	57
Bild 50:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Motorräder 251 cm <sup>3</sup> bis 750 cm <sup>3</sup> , 4-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	58
Bild 51:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Motorräder > 750 cm <sup>3</sup> , 4-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	58
Bild 52:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Motorräder > 150 cm <sup>3</sup> , 2-takt, Euro 3 in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Verkehrsbelastung .....	59
Bild 53:	Gegenüberstellung der beiden Dynamikparameter RPA und v*a_pos.....	60

Bild 54:	Emissionsmessdaten von Benzin-Pkw Euro 4 in den ARTEMIS-Zyklen: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/- Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge .....	66
Bild 55:	Emissionsmessdaten von Benzin-Pkw Euro 4 in den legislativen Zyklen NEDC und FTP: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/-Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge.....	67
Bild 56:	Emissionsmessdaten von Diesel-Pkw Euro 4 in den ARTEMIS Zyklen: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/- Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge .....	68
Bild 57:	Emissionsmessdaten von Diesel-Pkw Euro 4 in den legislativen Zyklen NEDC und FTP: paarweiser Vergleich je Zyklus des bisherigen A300DB-Samples und den neuen Messwerten (=“update“). Orange = Mittelwert der Emissionsfaktoren, dazu +/-Standardabweichung; blau = Anzahl Fahrzeuge.....	69
Bild 58:	Emissionsmessdaten von Benzin-Pkw Euro 4 / Euro 5 in verschiedenen Zyklen: Dargestellt sind einerseits Messdaten gemäß A300DB (PCG_E4 und PCG_E5) und andererseits Messdaten der Industrie (PCG_E4_Ind und PCG_E5_Ind). Sample-Größe (variable je nach Zyklus): PCG_E4: 165-195, PCG_E5: 4-6; PCG_E4_Ind: 3-5; PCG_E5_Ind: 1-3. ....	71
Bild 59:	Emissionsmessdaten von Diesel-Pkw Euro 4 / Euro 5 / Euro 6 in verschiedenen Zyklen: Dargestellt sind einerseits Messdaten gemäß A300DB (PCD_E4 und PCD_E5) und andererseits Messdaten der Industrie (PCD_E4_Ind, PCD_E5_Ind, PCD_E6_Ind). Sample-Größe (variable je nach Zyklus): PCD_E4: 100-130, PCD_E5: 7; PCD_E4_Ind: 4-6; PCD_E5_Ind: 4-6, PCD_E6_Ind: 3-5.....	72
Bild 60:	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> – Verhältnis für Euro 4 Diesel-Pkw – Daten aus A300 (Version 03/2009) .....	73
Bild 61:	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> - Verhältnis für neun Euro 4 Pkw (drei Typen) .....	74
Bild 62:	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnis – VDA-Datensatz nach Analysen von Heinz Steven .....	74
Bild 63:	NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> Messdaten– x: NEFZ, warm, mit eingeschaltener Klimaanlage; y: NEFZ, kalt, Standardverfahren ohne eingeschaltene Klimaanlage .....	77
Bild 64:	Häufigkeitssummen der Geschwindigkeitsverteilungen im Tempo 30 Untersuchungsgebiet in Halle .....	79
Bild 65:	Zusammenhang von maximaler und durchschnittlicher Geschwindigkeit bei Tempo 30 und Tempo 50 im Untersuchungsgebiet in Halle (short trips) .....	79
Bild 66:	Zusammenhang von relative positive Beschleunigung und durchschnittlicher Geschwindigkeit bei Tempo 30 und Tempo 50 im Untersuchungsgebiet in Halle (short trips) .....	80
Bild 67:	Quasi konstante Geschwindigkeitsverläufe auf Autobahnen bei unterschiedlichen mittleren Geschwindigkeiten .....	81
Bild 68:	Emissionsmessdaten von CNG-Fahrzeugen (Euro 4) im Vergleich zu Benzin-Pkw Euro 4 in verschiedenen Fahrzyklen.....	84

Bild 69:	Verhältnissfaktoren und Standardabweichung der Emissionen von Bifuel-Fahrzeugen (CNG/Benzin), die einmal mit CNG, dann mit Benzin betrieben wurden.....	85
Bild 70:	Verhältnissfaktoren und Standardabweichung der Emissionen von FFV-Fahrzeugen (flexible fuel vehicles), die einmal mit E85 und einmal mit Benzin betrieben wurden. ....	86
Bild 71:	Verhältnissfaktoren der Emissionen beim Betrieb mit unterschiedlichen Kraftstoffen (Vorbehalt: Daten von lediglich einem Fahrzeug).....	87
Bild 72:	Emissionsmessdaten von Benzin-Hybrid-Fahrzeugen (Euro 4) im Vergleich zu konventionellen Benzin-Fahrzeugen (Euro 4). Sample-Grösse (variabel je nach Zyklus): PCG_E4: 165-195, Hybrid-Fahrzeuge: 5. ....	88
Bild 73:	Reihung der Innerorts-Verkehrssituationen nach dem gewichteten Fahrleistungsanteil über alle im HBEFA erfassten Länder .....	101
Bild 74:	Reihung der Außerorts-Verkehrssituationen nach dem gewichteten Fahrleistungsanteil über alle im HBEFA erfassten Länder .....	102
Bild 75:	Reihung der Autobahn-Verkehrssituationen nach dem gewichteten Fahrleistungsanteil über alle im HBEFA erfassten Länder .....	103
Bild 76:	Beispiel für einen Gesamt-Zyklus und den ausgewählten Teilzyklus (RUR/Distr/80/Freeflow mit Zyklus-Id 6323) .....	105
Bild 77:	Der ERMES Testzyklus (Version 5.0) mit Schaltpunkten für Diesel-Pkw mit 6-Ganggetriebe.....	106
Bild 78:	Vergleich der mit PHEM berechneten Motorleistung (Verhältnis zur Motornennleistung) in den Teilzyklen des ERMES Tests, in HBEFA V3.1 Zyklen und in einem Satz Zyklen aggressiver Fahrer .....	109
Bild 79:	Vergleich der mit PHEM berechneten Verbrauchswerte in den Teilzyklen des ERMES Tests, in HBEFA V3.1 Zyklen, in einem Satz Zyklen aggressiver Fahrer.....	109
Bild 80:	Vergleich der mit PHEM berechneten NO <sub>x</sub> -Emissionen in den Teilzyklen des ERMES Tests, in HBEFA V3.1 Zyklen, in einem Satz Zyklen aggressiver Fahrer.....	110
Bild 81:	Abdeckung des Motorkennfeldes des durchschnittlichen EURO 4 Diesel-Pkw durch den ERMES-Test (jeder Punkt repräsentiert eine Sekunde des Tests) .....	110
Bild 82:	Geschwindigkeitsverteilungen von ERMES-Zyklus und EU-Database .....	111
Bild 83:	Beschleunigungsverteilungen von ERMES-Zyklus und EU-Database .....	112
Bild 84:	Vergleich der relativen positiven Beschleunigungen von ERMES-Zyklus und EU-Database .....	113
Bild 85:	Maximale Abweichung der Einzelmesswerte zum Mittelwert im ERMES Testzyklus am Diesel-Euro 5 Pkw.....	114
Bild 86:	Gemessener Verbrauch an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart.....	115
Bild 87:	Gemessene NO <sub>x</sub> -Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart.....	116
Bild 88:	Gemessene CO-Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart.....	117

---

Bild 89: Gemessene CO-Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw über die Teilzyklen des ERMES-Tests .....	118
Bild 90: Gemessene HC-Emissionen an einem Euro 5 Diesel-Pkw in verschiedenen Testzyklen jeweils nach Warmstart.....	118

## 14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Arbeitspakete und Kapitel in diesem Bericht .....	15
Tabelle 2: ARTEMIS-Verkehrssituationsschema; die 4 Level of Service (Verkehrsbelastungszustände) sind: frei fließender Verkehr, starker Verkehr, gebundener Verkehr, stop & go .....	16
Tabelle 3: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für frei fließenden Verkehr für Pkw.....	25
Tabelle 4: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für starken Verkehr für Pkw.....	26
Tabelle 5: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für gesättigten Verkehr für Pkw.....	27
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für frei fließenden Verkehr für schwere Nutzfahrzeuge .....	29
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für starken Verkehr für schwere Nutzfahrzeuge .....	30
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Durchschnittsgeschwindigkeiten (HBEFA 3.1 und Daten aus Schweden) für gesättigten Verkehr für schwere Nutzfahrzeuge.....	31
Tabelle 9: Durchschnittsgeschwindigkeiten und CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Diesel Pkw 1,4 – 2 l Euro 4 für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs .....	41
Tabelle 10: Durchschnittsgeschwindigkeiten und CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 12 000 kg zul. Gesamtmasse, Euro IV EGR für das Verkehrssituationsschema des Handbuchs .....	51
Tabelle 11: Übersicht über den Umfang der Fahrzeuge, deren Emissionsmesswerte nach der Veröffentlichung von HBEFA Version 3.1 (Feb. 2010) neu beschafft werden konnten.....	62
Tabelle 12: Übersicht der neuen Messwerte: Anzahl gemessene Fahrzeuge nach Emissionskonzept und Labor .....	63
Tabelle 13: Gesamtheit der nach der Aktualisierung in der A300DB verfügbaren Fahrzeuge mit Emissionsmesswerten.....	63
Tabelle 14: Übersicht, in welchen Zyklen die Fahrzeuge (nach Emissionskonzept) gemessen wurden.....	64
Tabelle 15: NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnis nach VDA (FTP72–Zyklus) - Analysen von Heinz Steven.....	74
Tabelle 16: Schätzung des NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnisses von verschiedenen Institutionen für Pkw.....	76
Tabelle 17: Übersicht – Messdaten von Euro-5- und Euro-6-Fahrzeugen – ADAC Messungen.....	77
Tabelle 18: Übersicht über den Umfang der Fahrzeuge mit alternativen Konzepten oder Kraftstoffen, deren Emissionsmesswerte nach der Veröffentlichung von HBEFA Version 3.1 (Feb. 2010) neu beschafft werden konnten.....	82
Tabelle 19: Übersicht über die relevanten Minderungstechniken bei Dieselfahrzeugen .....	89
Tabelle 20: Neuzulassungsanteile der Sattelzugmaschinen 2006-2009 nach Eurostufen sowie EGR- und SCR .....	91

---

Tabelle 21: Durchschnittlicher Leistungsbedarf der Nebenaggregate .....	94
Tabelle 22: Nutzung der Nebenaggregate nach Jahreszeit.....	95
Tabelle 23: Durchschnittlicher zusätzlicher Kraftstoffverbrauch der Nebenaggregate .....	97
Tabelle 24: Durchschnittlicher zusätzlicher Kraftstoffverbrauch von Klimaanlage. ....	97
Tabelle 25: Übersicht über die Leistung verschiedener Busklimaanlagen (Beispiele) .....	98
Tabelle 26: Übersicht über die Fahrleistungsanteile einzelner Innerorts-Teilzyklen.....	102
Tabelle 27: Übersicht über die Fahrleistungsanteile einzelner Außerorts-Teilzyklen .....	102
Tabelle 28: Übersicht über die Fahrleistungsanteile einzelner Autobahn-Teilzyklen.....	103
Tabelle 29: Gewichtungsfaktoren der berechneten Parameter für die Auswahl der Teilzyklen ...	104
Tabelle 30: Ausgewählte Basis-Verkehrssituationen und zugehörige Zyklen für die Erstellung des ERMES-Testzyklus sowie deren Anteil im HBEFA und deren Streckenanteil im ERMES-Testzyklus .....	105
Tabelle 31: Abfolge, Zeiten und mittlere Geschwindigkeiten der Teilzyklen, Kombi-Zyklen und Konditionierphasen sowie Vollastrampen im ERMES Testzyklus V5.0.....	108
Tabelle 32: Übersicht über den spezifischen Kraftstoffverbrauch bei Diesel-Pkw unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen .....	114