

Bestimmung von Nutzfahrzeug- emissionsfaktoren

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 58

bast

Bestimmung von Nutzfahrzeug- emissionsfaktoren

von

Heinz Steven
Martin Kleinebrahm

RWTÜV Fahrzeug GmbH
Institut für Fahrzeugtechnik
Essen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 58

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M- Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 89.133/2003:
Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren

Projektbetreuung:
Bernd Bugsel
Jost Gail

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 3-86509-454-6

Bergisch Gladbach, April 2006

Kurzfassung – Abstract

Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren

Für schwere Nutzfahrzeuge der Abgasstufe Euro 3 mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 12 t liegen zurzeit nur wenige belastbare Emissionsfaktoren (E-Faktoren) vor. Bislang sind nur vereinzelt entsprechende Motoren auf Prüfständen vermessen worden. Über das Emissionsverhalten solcher Antriebe im realen Fahrbetrieb liegen so gut wie keine Erkenntnisse vor.

Ziele des Vorhabens waren: 1. die Aufstockung der E-Faktoren-Datenbasis durch Vermessung von Fahrzeugen im Straßenbetrieb, 2. der Vergleich von Realmessungen mit Werten aus dem E-Faktoren-Handbuch und 3. die Validierung moderner On-board-Messverfahren.

Für die Messungen wurden drei schwere Sattelzugmaschinen mit Auflieger sowie ein Fahrzeug aus dem Verteilerverkehr ausgewählt. Es wurden Messfahrten mit voller und halber Beladung durchgeführt. Die verwendete On-board-Messtechnik erfasste hierbei zeitaufgelöst die gasförmigen Emissionen sowie den Abgasmassenstrom. Zusätzlich wurden Leistungs- und Geschwindigkeitsdaten erfasst. Für die Auswertung der Daten mussten die Fahrmuster, wie sie im E-Faktoren-Handbuch beschrieben sind, aus den Fahrprofilen der Messfahrten isoliert werden. Für geeignete Fahrmuster wurden E-Faktoren in g/km ermittelt und denen des E-Faktoren-Handbuches gegenübergestellt.

Zur Bewertung der benutzten On-board-Messtechnik wurden auf dem Motorprüfstand Vergleichsmessungen in den europäischen stationären und dynamischen Typprüfzyklen ESC und ETC durchgeführt. Bei diesen Vergleichen zeigte sich die Analysetechnik sehr gut geeignet für mobile Messungen. Abweichungen zu den Laborergebnissen traten im Wesentlichen durch Unterschiede in der Abgasmassenstrommessung auf.

Der Vergleich der Handbuch-E-Faktoren mit den in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnissen auf der Basis von Durchschnittsgeschwindigkeit und mittlerer positiver Leistung ergab bei den Sattelzügen keine gravierenden Unterschiede bei HC, NO_x und CO₂ für den Mittelwert über alle 3 Fahrzeuge. Bei CO wies ein Fahrzeug bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich höhere Emissionen und größere

Varianzen auf, sodass dort die Kurve der Mittelwerte deutlich über der Trendkurve des Handbuchs liegt.

Für eine leistungsspezifische Darstellung der Messwerte wurden in unterschiedlichen Leistungs- und Drehzahlfenstern quasistationäre Betriebsbedingungen gesucht und die Ergebnisse als gemittelte Emissionswerte dargestellt. Für ein Fahrzeug wurden exemplarisch die Prüfpunkte des ESC in diese Darstellung eingefügt. Bei Betrachtung der Betriebsweise auf der Straße und Vergleich mit der Wichtung der jeweiligen ESC-Prüfpunkte ist erkennbar, dass für dieses Fahrzeug die Wichtung des ESC nur sehr bedingt die Betriebsweise auf der Straße widerspiegelt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass, von Entwicklungsbedarf bei der Abgasmassenstrommessung abgesehen, Messtechnik zur Verfügung steht, um Realemissionen von Fahrzeugen im Straßenbetrieb für die Komponenten CO, HC, NO_x und CO₂ zu ermitteln. Die ermittelten E-Faktoren sind geeignet, die Daten des E-Faktoren-Handbuches zu validieren. Eine Erweiterung des Handbuches mit den ermittelten Ergebnissen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenstruktur nicht möglich. Dies ist aber auch nicht notwendig, da zwischen den Ergebnissen des Handbuches und den Ergebnissen der mobilen Straßenmessung eine gute Übereinstimmung besteht.

Der Originalbericht enthält als Anhänge grafische Darstellungen der Geschwindigkeitsprofile der untersuchten Fahrten getrennt nach Automatik und Handschaltung bei unterschiedlichen Nutzlasten (Anhang A) sowie der E-Faktoren der Fahrtabschnitte im Vergleich zum Handbuch (Anhang B). Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge wurden zur Information des Lesers im Berichtstext beibehalten.

Determining emission factors in utility vehicles

At present, there are only a few resilient emission factors (E-factors) for heavy utility vehicles of the exhaust gas level Euro 3 with a permissible total weight of over 12t. Corresponding engines have

only been measured on test stations individually till now. There is practically no knowledge of the emission behavior of such propulsions in real driving operations.

The objectives of the research were: 1. increasing the E-factor database by measuring vehicles in road operations, 2. the comparison of real measurements with values from the E-factor manual and 3. the validation of modern on-board measurement procedures.

Three heavy tractors with trailers were selected for the measurements as well as a vehicle from distributing traffic. Measurement inspections with a full and a half load were carried out. The on-board measurement technology compiled the gaseous emissions as well as the mass flow of exhaust without taking time into consideration in the process. In addition to this performance and speed data were compiled. The driving patterns as described in the E-factor manual had to be isolated from the driving profiles of the measurement inspections for the evaluation of the data. E-factors were determined in g/km for suitable driving patterns and they were compared with those in the E-factor manual.

Comparative measurements were carried out in the European stationary and dynamic type test cycles ESC (Electronic Speed Control) and ETC (Electronic Traction Control) for evaluating the on-board measurement technology. Analysis technology proved to be very well suited for mobile measurements according to these comparisons. Deviations from the laboratory results essentially occurred due to differences in the measurement of the mass flow of exhaust.

The comparison of the E-factors in the manual with the results obtained in this research on the basis of average speed and average positive performance did not show any serious differences in HC, NO_x and CO₂ in the tractor-trailers for the mean value covering all 3 vehicles. In the case of CO one vehicle clearly showed higher emissions at lower speeds and large variations so that there the curve of mean values clearly lies above the trend curve in the manual.

Almost stationary operational conditions were looked for in different performance windows and windows on the number of revolutions for a performance specific representation of the measurement values and the results were shown

as averaged emission values. As an example for a vehicle, the testing points of the ESC were inserted into this representation. When observing the mode of operation on the road and comparing it with the weighting of the respective ESC testing points, it can be recognized that the weighting of ESC for this vehicle only reflects the mode of operation on the road conditionally.

Finally it can be determined that apart from the need for development in the measurement of mass flow of exhaust, there is measurement technology available to determine real emissions of vehicles in road operations for the components CO, HC, NO_x and CO₂. The E-factors found are suitable for validating the data of the E-factor manual. An extension of the manual with the results found is not possible due to the very different data structure. However, this is also not necessary since there is a good correlation between the results of the manual and the results of the mobile road measurement.

The original report contains graphic representations of speed profiles of the inspections examined as appendices, separated according to automatic mode and manual gear shift at different load capacities (Appendix A) as well as E-factors of the driving sections compared to the manual (Appendix B). The reproduction of these appendices was rejected in the present publication. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the appendices were maintained in the report for the information of the reader.

Inhalt

1	Projektdarstellung	7	4.2.3.2 Emissionen in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Fahrzustand und Motorbelastung	30	
2	Vorbereitende Arbeiten	7	4.2.3.3 Ergebnisse für längere Fahrt- abschnitte	48	
2.1	Möglichkeiten der Fahrzeug- beschaffung	8	4.3 Vergleich mit Emissionsfaktoren des Handbuches	57	
2.1.1	Fahrzeugauswahl	8	4.4 Fazit	65	
2.2	Projektpartner	9	4.5 Leistungsbezogene Massen- emissionen	65	
2.3	Messstrecken	9	4.6 Betrachtung der Straßenbetriebs- weise im Vergleich zu den Prüf- punkten des ESC	72	
2.3.1	Messstrecke für die schwere Fahrzeugklasse	9	5	Schlussbetrachtung	73
2.3.2	Messstrecke für die leichte Fahrzeugklasse	9	6	Literatur	75
2.3.3	Fahrzeugbelastung	11			
3	Messtechnik	12			
3.1	Messung der gasförmigen Abgaskomponenten	13			
3.2	Messung des Abgasmassen- stromes	15			
3.3	Messung der Umgebungsdaten	16			
3.4	Messung der geodätischen Daten	16			
3.5	Drehmomentmessung	17			
3.6	Geschwindigkeitsmessung	17			
3.7	Motordrehzahlmessung	17			
3.8	Energieversorgung der Messtechnik	17			
3.9	Darstellung der Auswertungs- berechnungen	18			
4	Ergebnisse	19			
4.1	Validierung der Messtechnik	19			
4.1.1	Stationäre Messungen	19			
4.1.2	Dynamische Messungen	22			
4.1.3	Schlussfolgerung	26			
4.2	Ermittlung von Emissionsfaktoren	26			
4.2.1	Technische Daten der Versuchs- fahrzeuge	26			
4.2.2	Darstellungen für die Gesamt- fahrstrecke	27			
4.2.3	Betrachtung isolierter Fahr- situationen	29			
4.2.3.1	Vorgehensweise	29			

1 Projektdarstellung

Für schwere Nutzfahrzeuge der Abgasstufe Euro 3 (Zeile A, 1999/96/EG i. d. F. 2001/27/EG) [1] mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 12 Tonnen liegen zurzeit nur wenige belastbare Emissionsfaktoren vor. Bislang sind nur vereinzelt entsprechende Antriebe auf Motorenprüfständen vermessen worden. Über das tatsächliche Emissionsverhalten solcher Motoren im realen Fahrbetrieb liegen so gut wie keine Erkenntnisse vor. Aus diesem Grunde ist es notwendig, die vorhandene E-Faktorenbasis um Daten entsprechender Antriebe (Euro 3) zu ergänzen. Darüber hinaus scheint die Überprüfung des tatsächlichen, im realen Fahrbetrieb vorliegenden Emissionsniveaus dazu geeignet zu sein, weitere Erkenntnisse im Hinblick auf die Anwendbarkeit der vorliegenden E-Faktoren zu gewinnen. Einer der Gründe für die wenig repräsentative, reale Fahrzeugstände berücksichtigende, Datenbasis ist sicherlich das für Nutzfahrzeugmotoren heranzuziehende Prüfverfahren auf dem Motorenprüfstand. Um trotzdem verwendbare Daten zu generieren, sollten im Vorhaben Messungen im realen Fahrbetrieb auf der Straße durchgeführt werden. Solche Messungen sind bislang ebenfalls nur in geringem Maße durchgeführt worden, bieten jedoch die Möglichkeit, das tatsächliche Emissionsniveau im Straßenbetrieb zu untersuchen.

Das Vorhaben diene somit mehreren Zielen. Zum einen der Aufstockung der E-Faktoren-Datenbasis, zum anderen dem Vergleich von Emissionsfaktoren, die mit den Berechnungsalgorithmen des Emissionsfaktoren-Handbuches [2] bestimmt worden sind mit Ergebnissen aus Realmessungen und nicht zuletzt der Validierung moderner On-board-Messverfahren.

2 Vorbereitende Arbeiten

Zur Erreichung der Projektziele sollten insgesamt vier Fahrzeuge vermessen werden. Ursprünglich war vorgesehen, verschiedene Fahrzeugkonfigurationen (Anzahl der Achsen, Getriebeausführung etc.) bei der Auswahl zu berücksichtigen. Aus Gründen, die in den anschließenden Kapiteln noch beschrieben werden, wurde hiervon jedoch abgesehen. Die Wahl der Fahrzeuge sollte sich dabei weitestgehend auf die tatsächliche Verteilung im Feld stützen und vorzugsweise Lkw über 12 t zul. Gesamtgewicht und entsprechende Hubraum- und Leistungsklassen berücksichtigen. Hierbei sollten KBA- und OICA/ACEA-Statistiken als Grundlage

Bestand an Personenkraftwagen, Kraftomnibussen, Lastkraftwagen und Zugmaschinen am 1. Januar 2004 nach zulässigem Gesamtgewicht und Fahrzeugarten				
Zulässiges Gesamtgewicht in kg	Personenkraftwagen	Kraftomnibusse	Lastkraftwagen	Zugmaschinen
bis 1.000	346.510	-	703	19.856
1.001 bis 1.400	8.994.312	-	42.679	46.284
1.401 bis 1.700	17.257.728	-	233.021	89.517
1.701 bis 2.000	12.332.918	4	152.230	136.157
2.001 bis 2.500	5.632.705	85	975.563	236.157
2.501 bis 3.500	466.609	2.010	470.897	325.592
3.501 bis 5.000	2.144	3.618	76.777	455.455
5.001 bis 6.000	-	548	47.200	179.243
6.001 bis 7.500	-	2.689	256.756	208.046
7.501 bis 12.000	-	2.164	61.307	65.798
12.001 bis 18.000	-	61.157	128.486	177.908
18.001 bis 24.000	-	6.918	18.516	2.326
24.001 bis 30.000	-	7.287	102.645	9.464
30.001 und mehr	-	-	19.549	324
Zusammen	45.022.926		2.586.329	1.952.298

Tab. 1: Kraftfahrzeugbestand

dienen. Einige der Statistiken sind in den nachfolgenden Bildern dargestellt. Tabelle 1 [3] zeigt den Bestand an Kraftfahrzeugen nach Fahrzeugarten und Gewicht unterteilt.

Betrachtet man die Bestandszahlen für Lastkraftwagen größer 7.500 kg zulässigem Gesamtgewicht, so ist zu erkennen, dass in der Klasse von 12.000 bis 18.000 kg große Mengen von Lastkraftwagen und auch Zugmaschinen vertreten sind. Die Lastkraftwagen sind hierbei als Solofahrzeuge zu deuten, die der mittelschweren Klassen angehören. In den Zahlen der Zugmaschinen sind auch die Sattelzugmaschinen erfasst, die mit den entsprechenden Aufliegern mit Gesamtzuggewichten von 40.000 kg betrieben werden. Diese Fahrzeuge sind entsprechend stark motorisiert. Die Solofahrzeuge ähnlicher Motorisierung finden sich in der Klasse von 24.000 bis 30.000 kg.

Von den vier zu vermessenden Fahrzeugen sollten drei in ihrer Motorisierung in die schwere Klasse fallen und ein Fahrzeug in die Klasse von 12.000 bis 18.000 kg.

Um eine möglichst große Repräsentativität zu erreichen, sollten in den jeweiligen Fahrzeugklassen Fahrzeuge der Hersteller gewählt werden, die mit großen Stückzahlen auf der Straße vertreten sind. Tabelle 2 [4] zeigt die Verteilung des Sattelzugmaschinenbestandes auf die einzelnen Hersteller.

In Anlehnung an die dargestellte Bestandsverteilung wurden die drei Fahrzeuge der schweren Klasse ausgewählt.

Hersteller	1. Januar 2004		1. Januar 2003		Veränderung
	Anzahl	%	Anzahl	%	%
	1	2	3	4	5
DAF Trucks (NL)	13.069	7,3	12.115	6,8	+7,9
DaimlerChrysler (D)	70.011	39,1	70.227	39,4	-0,3
Iveco (I)	794	0,4	1.050	0,6	-24,4
Iveco Magirus	9.155	5,1	8.743	4,9	+4,7
MAN Nutzfahrzeuge	45.375	25,3	44.929	25,2	+1,0
Renault-VI (F)	4.722	2,6	4.662	2,6	+1,3
Saab, Scania (F/S)	16.315	9,1	16.274	9,1	+0,3
Scania Nederland (NL)	1.815	1	2.393	1,3	-24,2
Volvo (B/GB/S)	17.020	9,5	16.716	9,4	+1,8
Sonstige Hersteller	943	0,5	1.005	0,6	-6,2
Zusammen	179.219	100	178.114	100	+0,6
r. berichtigte Zahl					

Tab. 2: Bestand an Sattelzugmaschinen nach ausgewählten Herstellern (einschließlich der vorübergehend stillgelegten Fahrzeuge)

2.1 Möglichkeiten der Fahrzeugbeschaffung

Grundsätzlich gab es unterschiedliche Wege der Fahrzeugbeschaffung. Die erste Möglichkeit wäre die Bitte an die Fahrzeughersteller um Mithilfe in dem geplanten Projekt gewesen. Für den Fall, dass ein Fahrzeughersteller seine Mithilfe angeboten hätte, wäre wahrscheinlich zu sehr günstigen Konditionen ein Fahrzeug zur Verfügung gestellt worden. Da bei dieser Konstellation auch Herstellerinteressen zum Tragen gekommen wären, ist davon auszugehen, dass die zur Verfügung gestellten Fahrzeuge in einem neuwertigen, optimal vorbereiteten Zustand zur Vermessung gekommen wären. Da das Grundanliegen des Projektes die Erfassung der Realemissionen im Feld war, sollten eben auch Fahrzeuge aus dem Feldbetrieb vermessen werden, sodass die direkte Beteiligung der Hersteller als Fahrzeuglieferant nicht unbedingt erwünscht war.

Die nächste Möglichkeit der Fahrzeugbeschaffung wäre die Anmietung bei Fahrzeugverleihern gewesen. Diese Variante hätte jedoch sehr hohe Kosten bedingt. Darüber hinaus gilt auch für die Leihfahrzeuge, dass es sich meistens um neuwertige Fahrzeuge handelt.

Die dritte Möglichkeit war das Ausleihen von Fahrzeugen von Fahrzeugbetreibern. Diese Variante traf den Projektgedanken der Erfassung der realen Feldemissionen am besten, beinhaltete aber auch mehrere Schwierigkeiten.

Es gibt eigentlich keinen Betreiber von Nutzfahrzeugen, der für den Zeitraum der Messungen auf ein Fahrzeug verzichten kann. Voraussetzung für eine Zusammenarbeit war deshalb in jedem Fall die

Bereitstellung eines Ersatzfahrzeuges. Dieses Ersatzfahrzeug musste die Anforderungen des Betreibers erfüllen und zeitgenau zur Verfügung stehen.

Nur wenige Fuhrparkbetreiber durchmischen ihren Fuhrpark mit Fahrzeugen unterschiedlichster Hersteller, sodass bei Beteiligung mehrerer Projektpartner die individuellen Detailprobleme jedes Mal neu gelöst werden müssen. Dies wäre ein sehr großer organisatorischer und logistischer Aufwand gewesen. Trotz all dieser Schwierigkeiten lag die Präferenz eindeutig auf der letzten beschriebenen Beschaffungsmöglichkeit.

2.1.1 Fahrzeugauswahl

Um die vielen beschriebenen Schwierigkeiten bei der Fahrzeugbeschaffung zu bewältigen, wurden einige Vereinfachungen gewählt, um die Zahl der in Frage kommenden Projektpartner zu vergrößern. Die erste Maßnahme war die Einschränkung der variablen Fahrzeugparameter. Die Vielfalt in den Bauformen von schweren Nutzfahrzeugen ist sehr groß, sodass die Berücksichtigung unterschiedlicher Bauformen (unterschiedliche Achszahlen, Getriebeausführungen usw.) bei der Auswahl der Fahrzeuge verworfen wurde. Diese Entscheidung war in sofern sinnvoll, als dass bei Betrieb auf einer ausgewählten Messstrecke auch nur bestimmte Fahrzeuggattungen für diesen Betrieb repräsentativ sind. Als repräsentative Fahrzeuggattung wurden Sattelzugmaschinen ausgewählt, die im Fernverkehr in sehr großer Zahl betrieben werden. Diese Wahl vergrößerte die Wahrscheinlichkeit mit einem Ersatzfahrzeug unterschiedliche Versuchsfahrzeuge ersetzen zu können. Da auch im Verteilerverkehr, aus dem eins der vier zu untersuchenden Fahrzeuge kommen sollte, Sattelzugmaschinen mit entsprechend geringerer Leistung eingesetzt werden, bestand sogar die Möglichkeit, die Betreiber aller vier Fahrzeugtypen mit einem Ersatzfahrzeug bedienen zu können.

Ein weiterer großer Vorteil beim Betrieb von Sattelzugmaschine mit Sattelaufleger war, dass unterschiedliche Zugmaschinen mit demselben Sattelaufleger kombiniert werden konnten. Dies bedeutete, dass die gesamte Messtechnik und die jeweilige Beladung mit den dazu gehörenden Ladungssicherungsmaßnahmen auf dem Sattelaufleger verbleiben konnten. Aus diesen Gründen wurden für die Messungen die in Tabelle 3 aufgeführten Fahrzeuge ausgewählt.

Fahrzeug	P_{\max} [kW]/ MQ_{\max} [Nm]	Hubraum- Klasse	Baujahr	km- Stand	Fahrzeugart
Fahrz. 1	316/1.900	10 Liter	2003	116.600	Sattelzug/ Fernverkehr
Fahrz. 2	320/2.100	12 Liter	2003	129.700	Sattelzug/ Fernverkehr
Fahrz. 3	309/2.100	12 Liter	2002	306.500	Sattelzug/ Fernverkehr
Fahrz. 4	162/850	7 Liter	2004	1.500	Pritschen- fahrzeug/ Verteilerver- kehr

Tab. 3: Fahrzeugauswahl

Für das Fahrzeug des Verteilerverkehrs war ebenfalls eine Sattelzugmaschine vorgesehen. Da der vorgesehene Projektpartner zum notwendigen Zeitpunkt leider kein Fahrzeug zur Verfügung stellen konnte, musste kurzfristig eine Alternativlösung gefunden werden. Als Fahrzeug 4 wurde von einem Hersteller ein Serienfahrzeug zur Verfügung gestellt. Abweichend von den anderen Versuchsfahrzeugen war dies ein Pritschenfahrzeug.

2.2 Projektpartner

Wie aus den vorherigen Kapiteln ersichtlich, waren bei der Wahl der Projektpartner viele Randbedingungen zu beachten. Die Suche nach geeigneten Partnern gestaltete sich deshalb sehr aufwändig. Es wurden zuerst Firmen gesucht, deren Fuhrpark die Anforderungen des Projektes erfüllten. In den Gesprächen mit den potenziellen Firmen wurde geklärt, ob eine grundsätzliche Bereitschaft zur Mitarbeit vorhanden war, um dann in eine eventuelle Detailplanung einsteigen zu können.

Auf der Suche nach geeigneten Partnern kristallisierte sich die Firma Bofrost in Straelen an der niederländischen Grenze heraus. Für die hervorragende Zusammenarbeit in diesem Projekt sei an dieser Stelle der Firma Bofrost herzlich gedankt.

2.3 Messstrecken

2.3.1 Messstrecke für die schwere Fahrzeugklasse

Als Messstrecke wurde folgender Rundkurs ausgewählt:

Ausgehend von Essen-Kray führt die Strecke über die A 40 bis ABK DU-Kaiserberg, dann über die A 3 bis ABK Köln-Ost und anschließend über die A 4 bis ABK Olpe-Süd. Von dort geht es weiter über

die Landstrasse B 54 bis Lüdenscheid-Süd, über die A 45 bis ABK Dortmund-West und dann wieder über die A 40 bis Essen-Kray. Dieser Kurs setzt sich aus Autobahnstücken unterschiedlicher Prägung zusammen. Die A 40 durch das Ruhrgebiet ist eine der meist befahrenen Autobahnstrecken mit hohem Staupotenzial. Eine Fahrt auf dieser Strecke ist oft geprägt durch viele Lastwechsel und wechselnde Geschwindigkeiten. Die Autobahn A 3 gehört zu den gut ausgebauten Strecken mit mäßigen Höhendifferenzen. Die weitere Streckenführung über die A 4 ist von häufigen Steigungen und Gefällen geprägt, die an einigen Stellen über längere Strecken nahezu konstant sind und somit bei den Fahrzeugen quasistationäre Lastzustände erwarten lassen. Der Abschnitt über die B 54 entspricht einer typischen Landstraßenfahrt mit vielen Ortsdurchfahrten, kurvigen Teilstücken und unterschiedlichen Steigungen. Der Streckenteil über die A 45 bis Dortmund beinhaltet die Abfahrt von den Höhen des Sauerlandes hinab in das Ruhrgebiet. Dieser Bereich ist geprägt durch schnell wechselnde Steigungen und Gefällestrrecken mit unterschiedlichen Ausprägungen. Die Gesamtlänge der Messstrecke beträgt ca. 275 km.

Bild 1 zeigt den Streckenverlauf für die schwere Fahrzeugklasse.

Das Höhenprofil dieser Strecke ist in Bild 2 dargestellt.

2.3.2 Messstrecke für die leichte Fahrzeugklasse

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist das vierte Fahrzeug der Versuchsreihe für den Verteilerverkehr vorgesehen. Die für die schweren Fahrzeuge genutzte Messstrecke wäre für Fahrzeug 4 nicht repräsentativ gewesen. Aus diesem Grunde musste eine zweite Messstrecke definiert werden, die dem Einsatzprofil eines Verteilerfahrzeuges angepasst war.

Gewählt wurde eine Streckenführung, die der Auslieferungsfahrt einer Restaurantkette entnommen war.

Die gewählte Strecke hat eine Länge von ca. 240 km und beinhaltet Stadtfahrten, Landstraßenabschnitte und Autobahnanteile (s. Bild 3).

Bild 4 zeigt den Höhenverlauf der gewählten Strecke.

Der Betrieb des Fahrzeuges auf dieser Strecke ist geprägt durch sehr dynamische Anteile bei Stadtfahrten und ausgedehnte Leerlaufphasen. Der Ein-

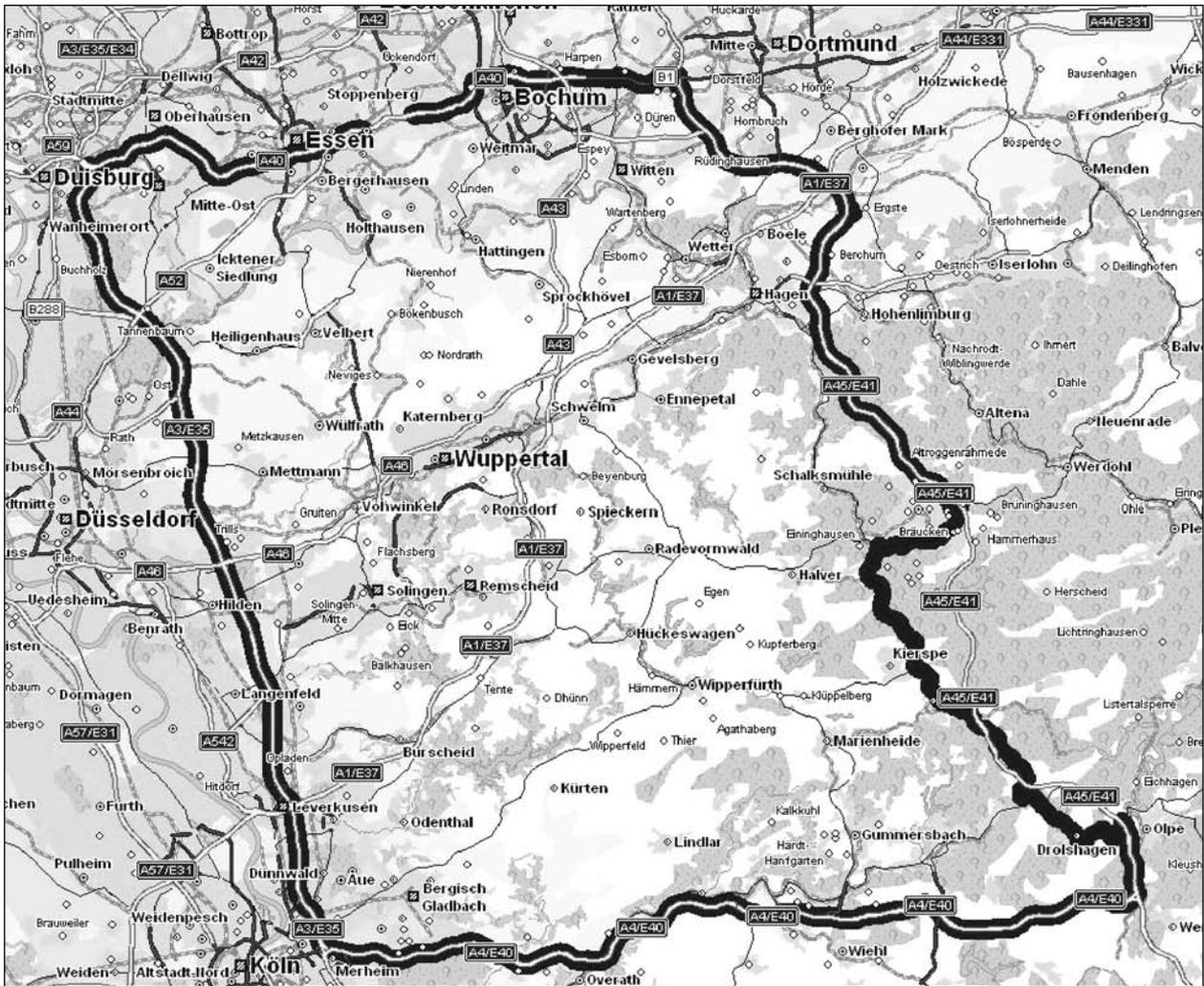


Bild 1: Messstrecke für die schwere Fahrzeugklasse

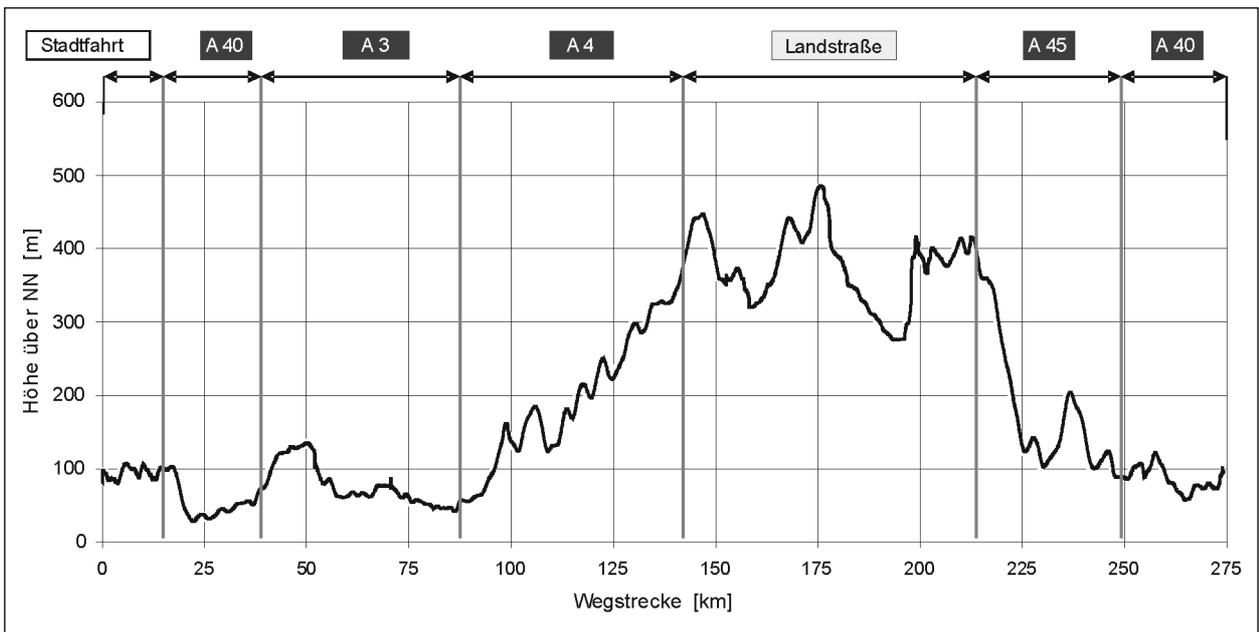


Bild 2: Höhenprofil der Messstrecke für schwere Fahrzeuge

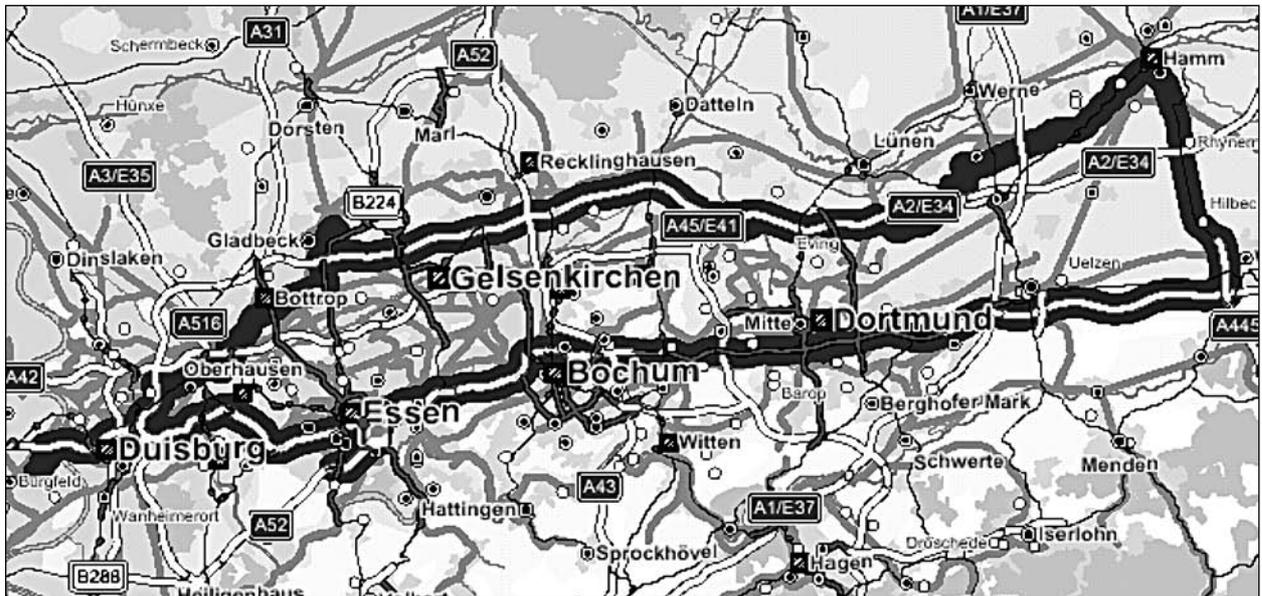


Bild 3: Messstrecke für das Verteilerfahrzeug

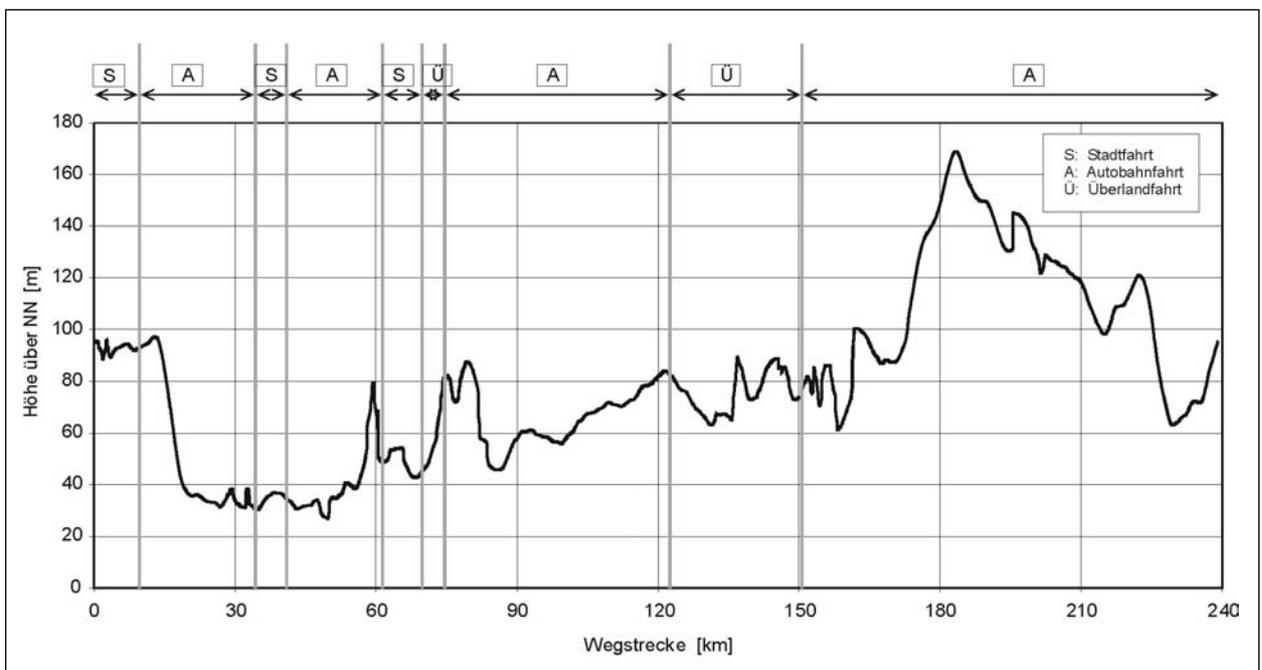


Bild 4: Höhenprofil der Messstrecke für leichte Fahrzeuge

fluss der Höhenunterschiede auf dieser Messstrecke ist von untergeordneter Bedeutung, da der Gesamthöhenunterschied deutlich geringer ausfällt als bei der Strecke für schwere Fahrzeuge. Darüber hinaus fallen die Steigungs- und Gefällestrrecken größtenteils in die sehr dynamisch gefahrenen Streckenabschnitte innerhalb geschlossener Ortschaften, sodass die Isolierung der Fahrsituationen wesentlich schwieriger ist als bei Fahrten auf Autobahnen.

2.3.3 Fahrzeugbeladung

Für die Untersuchungen sollten verschiedene Beladungszustände der Fahrzeuge realisiert werden. Hierfür wurden Betongewichte zur Verfügung gestellt, die es zulassen, unterschiedlichste Beladungszustände darzustellen. In Absprache mit dem Auftraggeber wurden zwei Beladungszustände festgelegt. Die Fahrzeuge wurden zum einen mit maximaler Auslastung gefahren, zum anderen mit ca. 50 % Nutzlast.

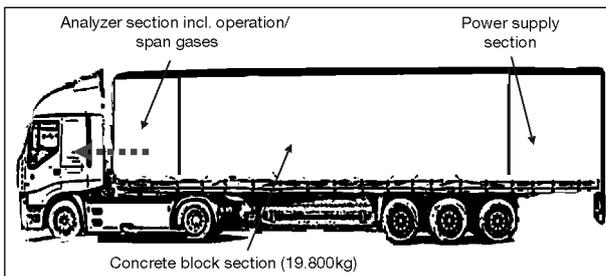


Bild 5: Beladungsplan des Versuchsfahrzeugs



Bild 6: Maßnahmen zur Ladungssicherung



Bild 7: Raum für Messtechnik und Formschlussverlagerung



Bild 8: Maximal beladener Trailer

Neben der reinen Darstellung der beiden Beladungszustände musste noch die Unterbringung der Messtechnik mit Zubehör sowie einer Einheit zur Energieversorgung sichergestellt werden. Diese Gesamtanordnung erforderte umfangreiche Maßnahmen zur Ladungssicherung, da z. B. die Unterbringung der Messtechnik im vorderen Teil des Aufhängers zwingend war und auch die Gewichtsverteilung auf dem Anhänger gleichmäßig sein sollte.

Bild 5 zeigt den prinzipiellen Beladungsplan des Fahrzeuges, Bilder 6 bis 8 zeigen Details der Ladungssicherung.

Um den notwendigen Formschluss der Ladung nach vorne auch bei unterschiedlichen Beladungen zu gewährleisten, wurden Ladefächer vorgesehen, die die freie Positionierung auch einzelner Betongewichte auf der Ladefläche ermöglichten.

Bild 7 zeigt die Verlagerung des Formschlusses hinter die Messtechnik.

In Bild 8 ist der Messtrailer im vollen Beladungsstand gezeigt.

3 Messtechnik

Schon lange gibt es den Wunsch, Realemissionen von Fahrzeugen im Fahrbetrieb messtechnisch zu erfassen. Durch die speziellen Verhältnisse bei Betrieb in Fahrzeugen verbieten sich herkömmliche Messsysteme, wie sie in Laboren benutzt werden. Um aber den vollen Nutzen aus Straßemessungen ziehen zu können, ist die Vergleichbarkeit mit Labormessungen erforderlich.

Ziel bei der Entwicklung von mobilen Messsystemen musste also sein, neben der Eignung für den Einsatz in Fahrzeugen auch Vergleiche mit üblicherweise verwendeten Labortechniken möglich zu machen.

Für gasförmige Emissionen gibt es derzeit Systeme auf dem Markt, die zeitaufgelöste Messungen der limitierten Schadstoffe und zusätzlicher Stoffe wie CO_2 und O_2 möglich machen. Hierbei werden bei den limitierten Schadstoffen mit Ausnahme der Stickoxidmessung die gleichen Messprinzipien angewandt, die auch in den Vorschriften zur Abgasemissionsvermessungen von Fahrzeugen beschrieben sind.

Für die Bestimmung der Partikelemissionen aus Dieselmotoren besteht nicht die Möglichkeit, die

gleichen Messprinzipien zu verwenden, wie sie bei Zertifizierungsmessungen angewandt werden. Das hierbei verwendete gravimetrische Messverfahren eignet sich nicht für zeitaufgelöste Messungen.

Prinzipiell ist es möglich, andere Messsysteme zur Partikelcharakterisierung zu verwenden. Die Marktverfügbarkeit dieser Systeme war für dieses Projekt noch nicht gegeben. Darüber hinaus sind keine direkten Vergleiche mit Messergebnissen von Zertifizierungsmessungen möglich. Aus diesen Gründen wurde auf eine Messung der Partikelemissionen verzichtet.

3.1 Messung der gasförmigen Abgas-komponenten

Für die Messung der gasförmigen Komponenten wurde das SEMTECH-D der Firma Sensors benutzt. Mit Ausnahme des NO_x -Analysators ist der prinzipielle Aufbau des Systems ähnlich der Messtechnik, die in den Regelwerken der EG zur Mes-

sung von Dieselmotoren im unverdünnten Abgas beschrieben ist. Hierbei gibt es einen beheizten Teil, der die Entnahmeleitung von der Messgassonde, ein beheiztes Filter und den FID (Flammen-Ionisations-Detektor) zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe beinhaltet. Die Beheizung auf mindestens $180\text{ }^\circ\text{C}$ ist notwendig, um Kondensation von Kohlenwasserstoffen zu verhindern. Ein Teilstrom des Messgases wird zur Trocknung über einen Kühler geführt und dann dem NDIR-Analysator (Nicht-Dispersiver-Infrarot-Analysator) zur Bestimmung der CO - und CO_2 -Konzentration, dem elektrochemischen O_2 -Analysator und der NDUV-Messbank (Nicht-Dispersive-Ultraviolett-Messbank) zur Bestimmung von NO und NO_2 zugeführt. Die Trocknung ist notwendig, da diese Messgeräte nicht mit feuchtem Abgas betrieben werden können. Ein im Messsystem angeordneter Rechner verwaltet das Gesamtsystem und führt die Daten aus den unterschiedlichen Quellen zusammen. Neben dem eigentlichen Analysesystem können ebenfalls Daten aus einem GPS-System, einem Abgasmassensensor und diversen analogen und digitalen Eingängen gesammelt werden. Angeschlossen sind auch Sensoren zur Erfassung der atmosphärischen Daten. Zur Bedienung des Systems wird ein externer Rechner mit der entsprechenden Software über ein Wireless LAN angebunden. Bild 9 zeigt das im 19"-Format aufgebaute Messsystem und den prinzipiellen Systemaufbau.

Die zum Betrieb des Messsystems notwendigen Gase wurden auf dem Trailer mitgeführt. Da der Gasverbrauch sehr gering ist, können grundsätzlich sehr kleine Druckgasflaschen benutzt werden, die teilweise auch im SEMTECH-D-Gehäuse untergebracht werden können. Für die umfangreichen Messungen dieses Projektes war es jedoch sinnvoll, größere Flaschen zu verwenden.

Da der gesamte Gasentnahmeweg sowie ein Teil des Messsystems auf $190\text{ }^\circ\text{C}$ beheizt werden, ist vom Zeitpunkt des Einschaltens des Gerätes bis zur Betriebsbereitschaft mit mindestens einer Stunde Aufwärm- und Vorbereitungszeit zu rechnen. Am Ende dieser Vorbereitung steht die Kalibrierung des Systems. Dies wurde bei den Messungen dieses Projektes vor jeder Messfahrt durchgeführt und bei Zwischenstopps während der Fahrt nochmals überprüft.

In den Tabellen 4 bis 7 sind die Spezifikationen der in dem Messsystem benutzten Analysatoren aufgeführt.

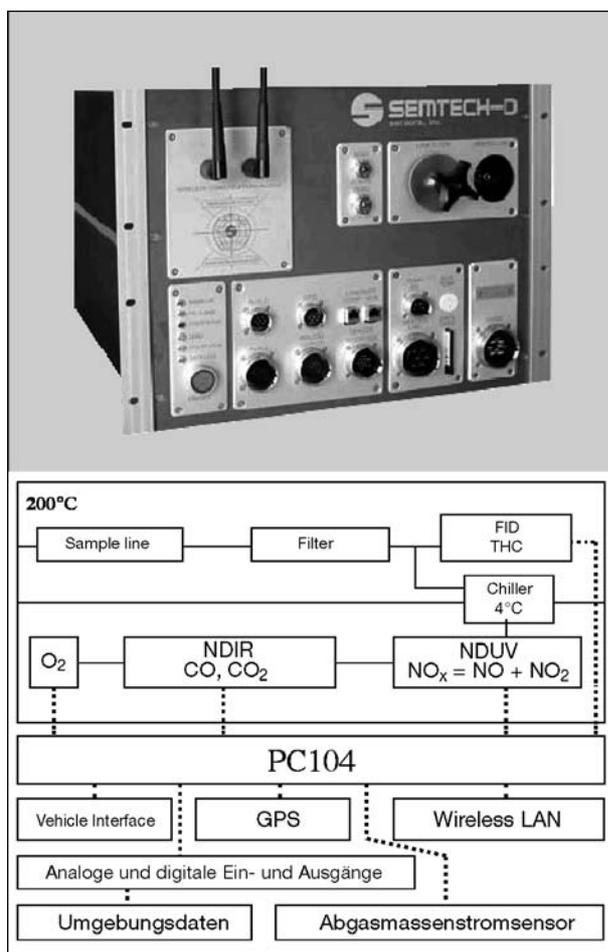


Bild 9: SEMTECH-D

Range of Measurement	0–100, 0–1,000, and 0–10,000 PPMC User Selectable	
	0–100 PPM Range	0–10,000 PPM Range
Accuracy	±1.0% of reading or ±5 PPM whichever is greater	±1.0% of reading or ±25 PPM whichever is greater
Resolution	0.1 PPM	1.0 PPM
Linearity	±0.5% of reading or ±3 PPM whichever is greater	±0.5% of reading or ±10 PPM whichever is greater
Repeatability	±0.5% of reading or ±2 PPM whichever is greater	±0.5% of reading or ±10 PPM whichever is greater
Noise	±2 PPM	±10 PPM
Span drift	±0.5% of reading or ±3 PPM whichever is greater over 8hrs	±0.5% of reading or ±15 PPM whichever is greater over 8hrs
Warm up time	60 minutes	60 minutes
Response time	T90 ≤2 seconds	T90 ≤2 seconds
Flow rate	2 LPM	2 LPM
Data rate	Up to 4Hz, configurable	Up to 4Hz, configurable
Operating temperature	191°C	191°C

Tab. 4: Beheizter FID (Kohlenwasserstoffmessung)

	NO	NO ₂
Range of Measurement	0 to 5,000 PPM,	0 to 500 PPM
Accuracy	±3% of reading or 15 PPM, whichever is greater	±3% of reading or 10 PPM, whichever is greater
Resolution	1 PPM	1 PPM
Linearity	±1% of reading or 5 PPM, whichever is greater	±1% of reading or 5 PPM, whichever is greater
Repeatability	±1% of reading or 5 PPM, whichever is greater	±1% of reading or 5 PPM, whichever is greater
Noise	±2 PPM	±10 PPM
Span drift	±1% of reading or 20 PPM, whichever is greater over 8hrs	±10 PPM over 8 hrs
Warm up time	45 minutes	45 minutes
Response time	T90 ≤2 seconds	T90 ≤2 seconds
Data rate	Up to 2Hz, configurable	Up to 2Hz, configurable
Flow rate	3 LPM	3 LPM
Operating temperature	5 to 50°C	5 to 50°C

Tab. 6: NDUV-Analysator (NO und NO₂)

Gas	CO Low Range	CO High Rangae	CO ₂
Range of Measurement	0–5,000 PPM	.0–8%	0–20%
Accuracy	±3% of reading or 50 PPM, whichever is greater	±3% of reading or ±0.02%, whichever is greater	±3% of reading or ±0.1%, whichever is greater
Resolution	1 PPM	.001 PPM	.01%
Linearity	±1% of reading or 20 PPM, whichever is greater	±1% of reading or ±0.01%, whichever is greater	±1% of reading, or ±0.05% whichever is greater
Repeatability	±1% of r whichever is greater reading or 20 PPM	±1% of reading or ±0.01%, whichever is greater	±1% of reading or ±0.05%, whichever is greater
Noise	±20 PPM	±20 PPM	±0.02%
Span drift	±0.5% of reading or 20 PPM, whichever is greater over 8hrs	±0.5% of reading or ±0.01%, whichever is greater over 8hrs	±2% of reading over 8hrs
Warm up time	45 minutes	45 minutes	45 minutes
Response time	T90 ≤3 seconds	T90 ≤3 seconds	T90 ≤3 seconds
Flow rate	2 LPM	2 LPM	2 LPM
Data rate	0.83Hz	0.83Hz	0.83Hz
Operating temperature	5 to 50°C	5 to 50°C	5 to 50°C

Tab. 5: NDIR-Analysator (CO und CO₂)

Range of Measurement	0 to 25%
Accuracy	±3% of reading or ±1% oxygen whichever is greater
Resolution	0.1%
Linearity	±0.5% of reading or ±0.5% whichever is greater
Repeatability	±0.25% of reading or ±0.3% oxygen whichever is greater
Noise	0.1% Oxygen
Span drift	1% of reading or ±0.5% Oxygen whichever is greater
Warm up time	5 minutes
Response time	T90 <6 seconds
Flow rate	0.5 to 3 LPM
Operating temperature	5 to 50 °C

Tab. 7: Elektrochemischer O₂-Analysator

In Bild 10 ist das Flussschema des Analysesystems zu sehen, wobei der „Exhaust Manifold“ die Abgasleitung des Messsystems darstellt und nicht das Abgassystem des zu vermessenden Fahrzeuges. Entnommen ist dieses Bild der Bedienoberfläche des SEMTECH-D.

Die Verarbeitung der einzelnen Messwerte wird im Kapitel 3.9 beschrieben.

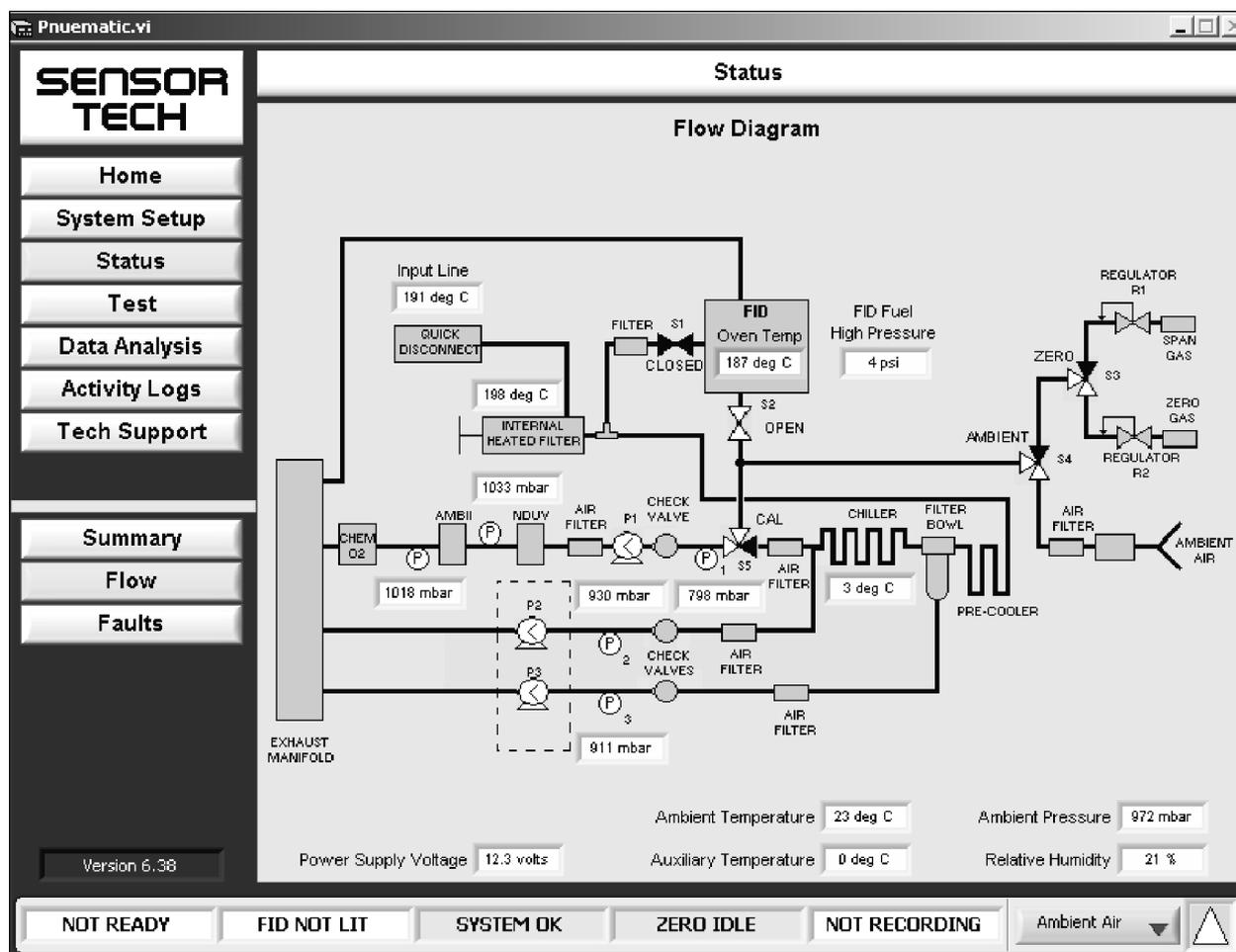


Bild 10: Flussdiagramm auf der Benutzeroberfläche

3.2 Messung des Abgasmassenstromes

Zur Bestimmung der emittierten Schadstoffmassen war die zeitaufgelöste Kenntnis des Abgasmassenstromes des Fahrzeugmotors notwendig. Die Messung dieser Größe gehört durchaus zu den anspruchsvollen Messaufgaben. Auf Motorenprüfständen werden hierzu üblicherweise die Masse der Ansaugluft des Motors und der Kraftstoffverbrauch gemessen. Diese beiden Größen sind mit der entsprechenden Messtechnik zuverlässig zu erfassen und können dann unter Anwendung der Massenerhaltung zum Abgasmassenstrom zusammengeführt werden. Die Applikation einer solchen Labormesstechnik an ein auf der Straße betriebenes Fahrzeug ist nur unter sehr großem Aufwand möglich und verändert in jedem Fall den Fahrzeugserienzustand. Aus diesen Gründen schloss sich diese Möglichkeit der Abgasmassenstrombestimmung aus.

Der zweite Weg der direkten Massenbestimmung durch Messung im Abgasstrom stellt eine weit schwierigere Möglichkeit dar, da die Temperaturen im Abgas über einen weiten Bereich schwanken und das Abgas nicht frei von verschmutzenden Stoffen ist. In jüngerer Vergangenheit etablieren sich Messsysteme auf dem Markt, die unterschiedliche Prinzipien benutzen. Das in diesem Projekt verwandte System ist ein Hitzdrahtsystem, wobei der benötigte Strom zur Aufrechterhaltung der Temperatur eines beheizten Drahtes proportional zur Masse des vorbeiströmenden Gases ist, welches den Draht abkühlt. Durch die Abgastemperatur, die über weite Bereiche schwankt, und durch die drohende Verschmutzung des Messelementes wird die Messaufgabe zusätzlich erschwert. Konstruktive Maßnahmen zur Verschmutzungsreduktion, sowie die Messung der Abgastemperatur an der Sonde lassen über die Korrektur des Messsignals eine direkte Bestimmung der Abgasmasse zu.

Bild 11 zeigt die am Fahrzeug montierte Abgasmessstrecke mit der Entnahmestelle für das Analy-

segerät und dem nachgeschalteten Massenstromsensor mit Temperaturerfassung. Die Größe der Gesamtmessstrecke ist notwendig, um hinreichend lange Ein- und Auslaufstrecken für den Massenstromsensor sicherzustellen. Dies ist notwendig, um eine unbeeinflusste Strömung sicherzustellen. Die Applikation dieser Messtechnik an die einzelnen Prüffahrzeuge war jeweils mit den fahrzeugspezifischen Besonderheiten neu zu lösen.

Das eingesetzte System besitzt einen Messbereich bis 2.400 kg/h. Es kann kurzzeitig mit maximal 450 °C betrieben werden. Für die Messungen mit schweren Nutzfahrzeugen in diesem Projekt, bei der durch die Messstrecke gegebenen Topografie, war diese Temperaturgrenze gerade ausreichend. Die erlaubten Höchsttemperaturen wurden nur sehr kurzfristig erreicht.

In Bild 12 ist exemplarisch der Temperaturverlauf am Massenstromsensor während einer Messfahrt im maximal beladenen Zustand für eins der schweren Fahrzeuge dargestellt.

Da die direkte Abgasmassenstrommessung eine schwierige Aufgabe darstellt, sollte das benutzte

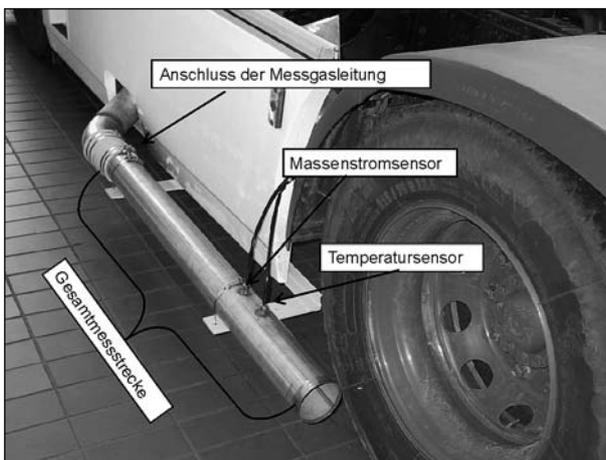


Bild 11: Fahrzeugapplikation Abgasmessstrecke

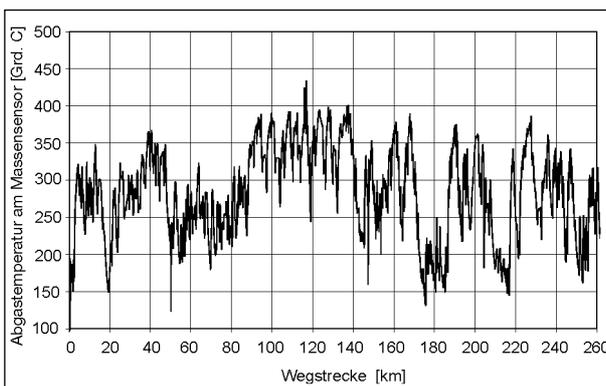


Bild 12: Abgastemperaturverlauf am Massensensor

System, welches im neuen, kalibrierten Zustand zum Einsatz kam, nach Abschluss der Messungen auf einem Motorprüfstand mit der dort eingesetzten Labormesstechnik korreliert werden. Erfahrungen zeigen, dass hier durchaus mit relevanten Abweichungen gerechnet werden muss. Im Kapitel der Messtechnikvalidierung (4.1) wird dies näher behandelt.

3.3 Messung der Umgebungsdaten

Zur Bestimmung der Korrekturfaktoren bei der Auswertung der Messungen war die Kenntnis der Umgebungsdaten von großer Wichtigkeit. Temperatur und Barometerstand sowie die relative Feuchte wurden durch geeignete Sensoren erfasst. Die Anordnung der Temperatur- und Feuchtemessstelle war hierbei so gewählt, dass sie nahe an der Ansaugung der Motorverbrennungsluft lag. Es wurde ein handelsüblicher kombinierter Sensor zur Erfassung der Lufttemperatur und der relativen Feuchte benutzt und die Signale über die analogen Eingänge in das SEMTECH-D eingeschleust.

3.4 Messung der geodätischen Daten

Zur Messung der geodätischen Größen wurde ein GPS-System benutzt. Neben den Längen- und Breitengraden wurden die Geschwindigkeit über Grund sowie die Höhe über NN mitprotokolliert. Bild 13 zeigt die Anordnung der GPS-Antenne. Das GPS ist integraler Bestandteil des Messsystems.

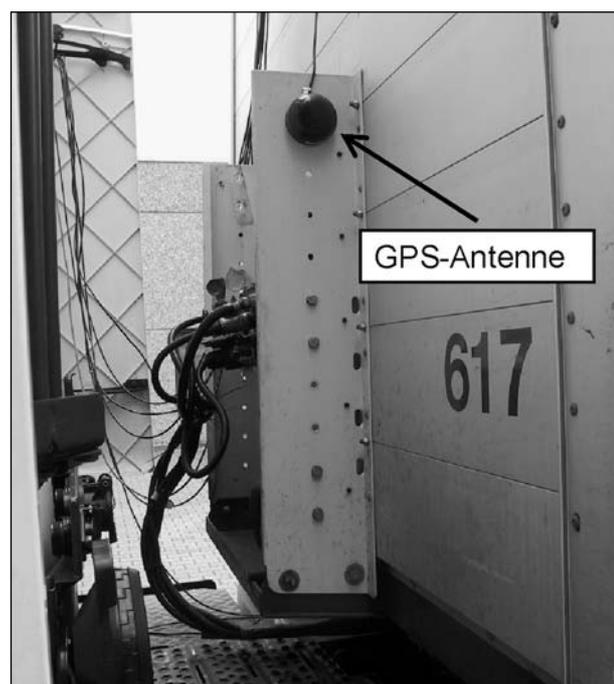


Bild 13: GPS-Antenne am Messaufleger

3.5 Drehmomentmessung

Um die Möglichkeit zu besitzen, leistungsbezogene Emissionsdaten zu ermitteln, bedurfte es der zeit- aufgelösten Ermittlung eines Drehmomentes im Antriebsstrang. Die Applikation einer Drehmomentmessung an ein Serienfahrzeug ohne eine Änderung des Serienzustandes lässt nicht viele Möglichkeiten zu. In diesem Projekt wurde die Messung über Anbringung von Dehnmessstreifen (DMS) auf der Kardanwelle realisiert.

Die Anbringung der DMS ist ein sehr zeitaufwändiger Vorgang, der äußerster Sorgfalt und Sachkenntnis verlangt. In Bild 14 ist ein solcher aufgeklebter DMS im Rohzustand zu sehen. Vier solcher Streifen wurden um jeweils 90° versetzt auf der Welle angeordnet. Die anschließende elektrische Verschaltung zu einer wheatstonschen Brücke, die Anbringung der Antenne und die Energieversorgung des Messsystems vervollständigen die Messanordnung. Das



Bild 14: Auf der Kardanwelle montierter Dehnmessstreifen im Rohzustand



Bild 15: Geschwindigkeitsmesssystem DATRON am Fahrzeug

so applizierte System wird zum Schluss mit einem an der Welle angesetzten Hebelarm und Kalibriergewichten kalibriert. Die Messdaten wurden dem SEMTECH-D als Analogwert zur Verfügung gestellt.

3.6 Geschwindigkeitsmessung

Zur Bestimmung der Leistung musste neben dem Drehmoment auch die Drehzahl der Kardanwelle bekannt sein. Diese Drehzahl wurde nicht direkt gemessen, sondern aus einem Geschwindigkeitswert errechnet.

Zur Ermittlung dieser Geschwindigkeit wurde ein optisches Messsystem der Firma Datron, Typ DLS 1, eingesetzt.

Bild 15 zeigt die Anordnung des Messsystems am Fahrzeug.

Das Signal des Systems wurde verarbeitet und über einen Analogeingang dem SEMTECH-D zugeführt. Mit der Kenntnis der Achsübersetzung und den Reifendaten wurde dann die Kardanwellendrehzahl bestimmt.

3.7 Motordrehzahlmessung

Um die ermittelten Massenemissionsergebnisse in einem motorischen Kennfeld einordnen zu können, bedurfte es noch der Messung der Motordrehzahl. Hierzu konnte keine einheitliche Messtechnik benutzt werden, da die Möglichkeiten des messtechnischen Abgriffes der Drehzahl für jedes Fahrzeug unterschiedlich waren. Das jeweils am Fahrzeug gefundene Drehzahlsignal wurde mit einer geeigneten Messdatenverarbeitung in ein Analogsignal umgeformt und an das SEMTECH-D weitergegeben.

3.8 Energieversorgung der Messtechnik

Aufgrund der notwendigen Beheizung einiger Teile des Messsystems war der Energiebedarf der gesamten Messtechnik nicht unerheblich. Um keinerlei Einfluss auf den Motorbetrieb des Fahrzeuges zu haben, war es nicht gewünscht, den Energiebedarf der Messtechnik aus der Fahrzeugelektrik zu decken. Aus dieser Entscheidung resultiert die Notwendigkeit, eine autarke Energieversorgung der Messtechnik zu konzeptionieren.



Bild 16: SEMTECH-D mit Energieversorgung

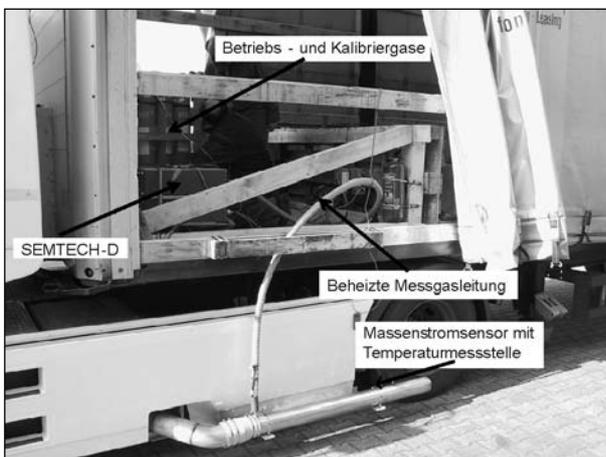


Bild 17: Versuchsfahrzeug mit installierter Messtechnik

Dies wurde über ein speziell vorbereitetes Notstromaggregat realisiert. Hierbei waren als Randbedingungen zu beachten, dass die Zuführung der Verbrennungs- und Kühlluft sowie die Ableitung der Abgase in geeigneter Form realisiert wurden. Darüber hinaus musste sichergestellt werden, dass eventuelle Hintergrundemissionen des Aggregates keinen Einfluss auf die Messungen am Fahrzeug haben konnten. Die Möglichkeit des SEMTECH-D, den Nullabgleich mit Umgebungsluft durchzuführen, wurde aus diesem Grunde nicht genutzt.

Die so aufgebaute Energieversorgung lieferte Wechselstrom. Für den Betrieb des SEMTECH-D musste dieser noch auf 12-V-Gleichstrom transformiert werden, da das SEMTECH-D zum Betrieb in Fahrzeugen mit 12 V Spannung versorgt werden muss.

Zur Erfüllung aller Forderungen wurde das modifizierte Aggregat im hinteren Teil des Trailers unter-

gebracht. Das Bild 16 zeigt die Versorgungseinheit im Probelauf mit dem SEMTECH-D.

Bild 17 zeigt noch einmal ein aufgerüstetes Versuchsfahrzeug.

3.9 Darstellung der Auswertungs-berechnungen

Im Folgenden werden die Verknüpfungen der Rohmesswerte erläutert. Grundsätzlich sollten die Berechnungswege, wie sie in den europäischen Richtlinien zur Abgasemissionsmessung von Nutzfahrzeugmotoren beschrieben sind, benutzt werden. Für den hier vorliegenden Fall der mobilen Messung auf der Straße mussten teilweise Anpassungen bzw. Vereinfachungen vorgenommen werden.

Um eine Massenemission komponentenaufgeschlüsselt bestimmen zu können, bedarf es der Kenntnis der Konzentration der einzelnen Komponenten sowie des Abgasmassenstromes. Bei zeit aufgelöster Betrachtung ist noch die Synchronisation der Daten zu beachten.

Durch die benutzten Analysemethoden ergab sich noch die Notwendigkeit unterschiedlicher Korrekturen. Zuerst müssen bei trocken gemessenen Abgaskomponenten Korrekturen auf den feuchten Bezugzustand vorgenommen werden. Dies gilt beim SEMTECH-D für alle Abgaskomponenten außer den Kohlenwasserstoffverbindungen. Beim Durchlaufen des Abgaskühlers (siehe Bild 10) wird dem Messgas die Feuchtigkeit entzogen. Hierdurch verändert sich auch das Bezugsvolumen bei der Messung. Dieser Fehler wird durch den Korrekturfaktor K_w eliminiert.

$$K_w = \left(1 - F_{FH} * \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} \right) - K_{w2}$$

$$F_{FH} = \frac{1,969}{\left(1 + \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRW}} \right)}$$

$$K_{w2} = \frac{1,608 * H_a}{1000 + (1,608 * H_a)}$$

$$H_a = \frac{6,220 * R_a * P_a}{P_B - P_a * R_a * 10^{-2}}$$

$$G_{EXH} = G_{AIRW} + G_{FUEL}$$

Hierin bedeuten:

G_{AIRW} :	feuchter Ansaugluftmassenstrom [kg/h]
G_{AIRD} :	trockener Ansaugluftmassenstrom [kg/h]
G_{FUEL} :	Kraftstoffmassenstrom [kg/h]
G_{EXH} :	Abgasmassenstrom [kg/h]
H_a :	absolute Feuchte [g H ₂ O/kg tr. Luft]
R_a :	relative Feuchte [%]
P_a :	Sättigungsdruck [kPa]
P_B :	barometrischer Druck [kPa]

Der Luft- und Kraftstoffmassenstrom wurden messtechnisch nicht ermittelt. Mit der Erfassung des Abgasmassenstromes stand allerdings die Summe der beiden Ströme zur Verfügung. Das SEMTECH-D stellt in seinen Ergebnissen ein aus den Abgaskomponenten gerechnetes λ (Luftverhältnis) bereit. Mit diesen Werten konnten die Luft- und Kraftstoffmassenströme errechnet werden.

Neben dieser Korrektur, begründet durch messtechnische Besonderheiten, musste noch der Einfluss der atmosphärischen Bedingungen auf die Stickoxidbildung im motorischen Prozess berücksichtigt werden. Dies wird durch den Faktor K_H erreicht.

$$K_H = \frac{1}{1 + A * (H_a - 10,71) + B * (T_a - 298)}$$

$$A = 0,309 * \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} - 0,0266$$

$$B = -0,209 * \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} + 0,00954$$

Mit T_a : Ansauglufttemperatur

Mit den so korrigierten Konzentrationen und dem Abgasmassenstrom konnten dann die Schadstoffmassenströme bestimmt werden.

$$NO_{x\ mass} = 0,001587 * NO_{x\ conc} * K_w * K_H * G_{EXH}$$

$$CO_{mass} = 0,000966 * CO_{conc} * K_w * G_{EXH}$$

$$HC_{mass} = 0,000479 * HC * G_{EXH}$$

In dynamischen Messvorgängen muss sichergestellt sein, dass die Responsezeiten des Analyzesystems berücksichtigt werden. D. h., dass die Verzögerung in der Konzentrationsmessung durch Gastransportzeit und Analysatorreaktionszeit bekannt sind und die Messwerte bei der zeitlichen Synchronisation um die entsprechenden Zeiten

verschoben werden. Das SEMTECH-D erledigt diese Verschiebung bei der Postprocess-Datennachbearbeitung. Gleichzeitig werden alle im System gesammelten Daten auf eine 1-Hz-Taktung synchronisiert. Dies ist notwendig, da die verschiedenen Analysegeräte mit unterschiedlichen Datenerfassungsraten arbeiten. Die so ermittelten Massenemissionen können dann zeit-, strecken- oder leistungsspezifisch dargestellt werden.

4 Ergebnisse

4.1 Validierung der Messtechnik

Um eine Vergleichbarkeit der auf der Straße ermittelten Messergebnisse mit Laborergebnissen möglich zu machen, war es notwendig, eine Korrelation zwischen der mobilen Messtechnik und der Labor Messtechnik auf einem Motorprüfstand darzustellen. Für diese Messungen wurden Prüfzyklen aus der Typprüfungsprozedur herangezogen. Dies war zum Ersten der stationäre ESC (European Stationary Cycle) und zum Zweiten der dynamisch gefahrene ETC (European Transient Cycle).

Für diese Messungen wurde die SEMTECH-Messtechnik auf dem Prüfstand so wie im Fahrzeug installiert. Das Massenstrommesssystem mit der Gasentnahmestelle war hierbei direkt hinter der Gasentnahmestelle für die Labor Messtechnik angeordnet. Zur Ermittlung der Abgasmasse wurden auf dem Motorprüfstand ein Luftmassenmesssystem Sensyflow P mit einem Messbereich von 2.400 kg/h und ein Kraftstoffverbrauchsmessgerät von Pierburg PLU 401/121 benutzt. Bild 18 zeigt schematisch den Prüfstands Aufbau.

4.1.1 Stationäre Messungen

Bei der Betrachtung der Auswertungen mit den unterschiedlichen Messwerten ergaben sich Unterschiede, deren Herkunft nicht sofort erkennbar ist. Als Vergleichskomponente wurde hierfür die Stickoxidemission NO_x betrachtet. Die Komponenten HC und CO wurden aus folgenden Gründen nicht weiter untersucht: Der auf dem Prüfstand befindliche Motor war mit einem auch oxidationskatalytisch wirkenden Abgasnachbehandlungssystem ausgerüstet, sodass die HC- und CO-Emissionen auf niedrigstem Niveau gemessen wurden und somit auch die Streuungen größer ausfielen. Dies betraf insbesondere die CO-Werte. Grund hierfür ist die CO-Messtechnik des SEMTECH-D, die in

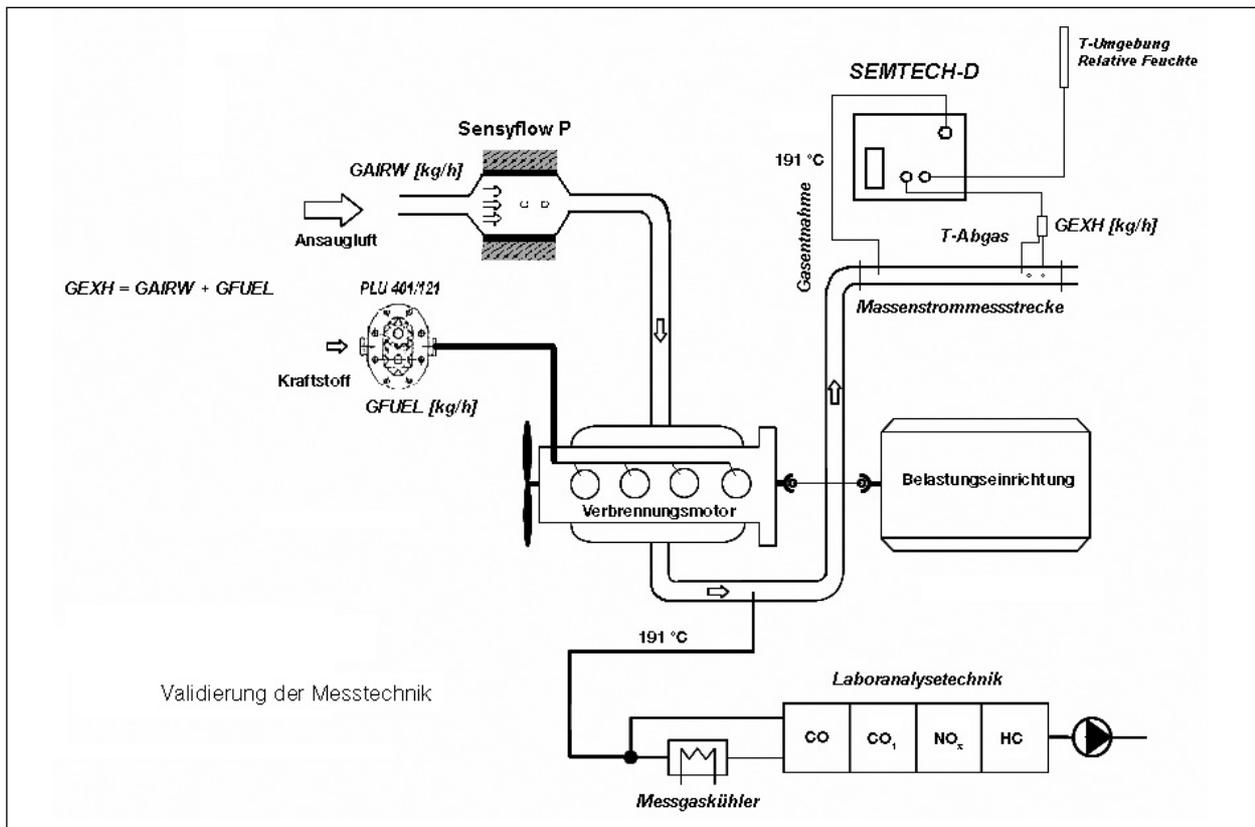


Bild 18: Prüfstands Aufbau

Nr.	Auswertung	NO _x [g/kWh]	Abw. zu 1 [%]
1	Prüfstand	3,24	-
2	Prüfstand + SEMTECH	3,28	1,364
3	SEMTECH	3,32	2,595

Tab. 8: Ergebnisse im ESC

gleicher Ausführung für Ottomotoren verwendet wird und einen für Dieselmotoren deutlich zu großen Messbereich aufweist.

Die Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse in [g/kWh] im ESC. Hierbei bedeutet „Prüfstand“ die vorschriftenkonforme Auswertung der Messwerte der Labormesstechnik, völlig unabhängig vom SEMTECH-System. D. h., alle notwendigen Größen wie Abgasmassenstrom, Korrekturfaktoren und Gaskonzentrationen werden aus den Labormesswerten ermittelt.

„Prüfstand + SEMTECH“ benennt die Auswertung mit Prüfstandsmesswerten außer der Verwendung der mit dem SEMTECH gemessenen Größen Abgaskonzentrationen und Abgasmassenstrom.

Die Bezeichnung „SEMTECH“ übernimmt die im SEMTECH bestimmten Massenemissionen in g/h.

D. h., dass alle Werte aus den Messdaten des SEMTECH bestimmt werden.

Die ermittelten Abweichungen bis 2,6 % im Gesamtergebnis für einen ESC sind relativ gering, lassen aber keine ausreichende Beurteilung zu. Erst die Betrachtung der einzelnen Prüfpunkte zeigt Näheres über das Verhalten des SEMTECH-D im Vergleich zur Labormesstechnik. Hierbei sind in den einzelnen Messpunkten durchaus deutliche Abweichungen in beide Richtungen erkennbar, die sich bei der Summierung zum Endergebnis teilweise wieder ausgleichen. Für diese Abweichungen kann es grundsätzlich drei Gründe geben:

1. Die gemessene Konzentration entspricht nicht der der Labormessung,
2. die durchgeführten Korrekturen sind nicht korrekt oder
3. der zugrunde gelegte Abgasmassenstrom ist nicht richtig.

Die weiter gehende Analyse der Messergebnisse zeigt sehr schnell, dass die Ursache für die Abweichungen bei den Stickoxidemissionen eindeutig in der Abgasmassenstrommessung des SEMTECH-D liegt. In Bild 19 sind die gemessenen Abgasmas-

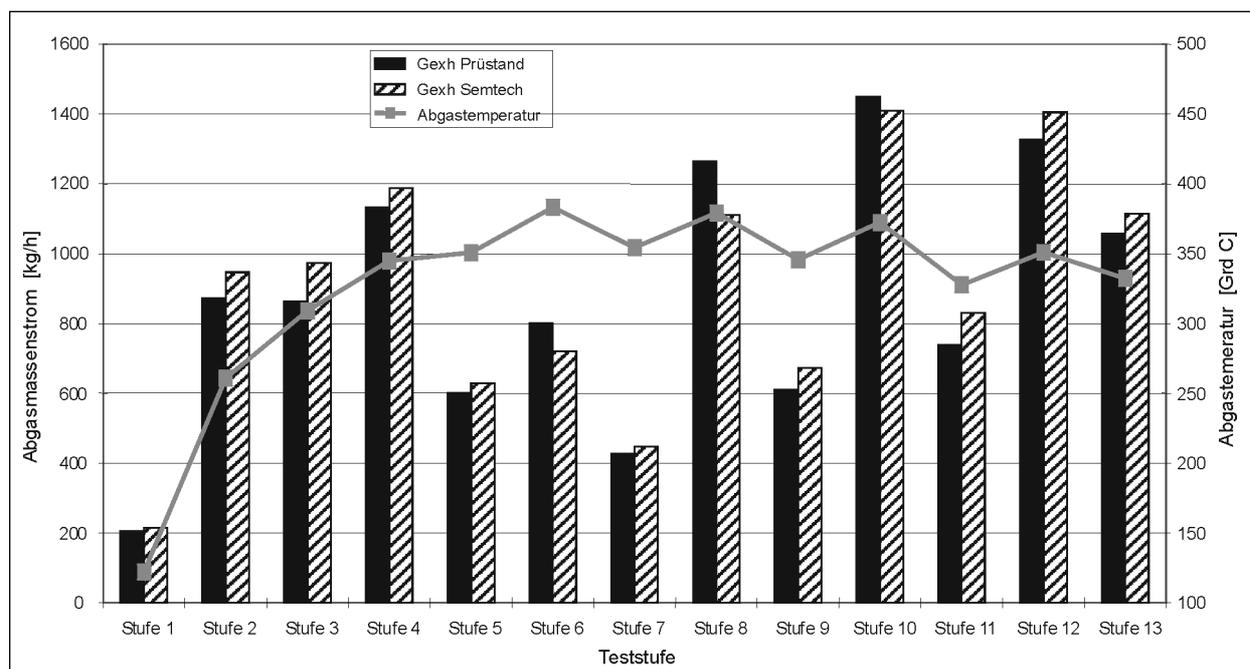


Bild 19: Abgasmassenströme und Abgastemperatur im ESC

senströme des SEMTECH-D und die vom Laborsystem ermittelten Massenströme für die einzelnen Teststufen dargestellt. Zusätzlich ist noch die Abgastemperatur am Massenströmsensor des SEMTECH-D aufgetragen. Zu erkennen ist, dass das Vorzeichen der Abweichung bei Erreichen einer Grenztemperatur oberhalb von 350 °C wechselt.

Neben der Temperatur gibt es offensichtlich noch andere Einflussfaktoren, die die Höhe der Abweichung beeinflussen. Diese können Größen wie die Strömungsgeschwindigkeit, der Druck an der Messstelle oder die Zusammensetzung des Abgases sein. Diese Parameter können das Abkühlungsverhalten des Hitzdrahtsystems verändern und somit den Messwert verfälschen. Um diese Einflussgrößen zu quantifizieren, reichen die Ergebnisse der Vergleichsmessungen auf dem Motorprüfstand nicht aus.

Am Beispiel des Messpunktes 8 (Stufe 8), Vollast bei mittlerer Prüfdrehzahl, soll gezeigt werden, dass die Abgasmassenströme der führende Grund für die Abweichungen der Emissionsmassenströme sind.

Tabelle 9 zeigt hierzu, ausgehend von den gemessenen Stickoxidkonzentrationen, die unterschiedlichen Rechenschritte bis zur Ermittlung der Massenemission in g/h. Die Bezeichnungen der unterschiedlichen Auswertungen entsprechen denen der Tabelle 8. Die primär auffallenden Unter-

Nr.	1	2	3
Auswertung	Prüfstand	Prüfstand + SEMTECH	SEMTECH
NO _x [ppm]	496,99	550,25	550,25
k _H	0,9724	0,9724	0,9580
k _W	-	0,8984	0,9111
NO _x kor _r [ppm]	483,29	480,70	480,25
Abweichung zu 1	-	-0,54 %	-0,63 %
Gexh [kg/h]	1.265	1.111	1.111
NO _x -Massenstrom [g/h]	970,5	847,5	852,4
Abweichung zu 1	-	-12,67 %	-12,17 %

Tab. 9: Vergleich Messpunkt 8

schiede in den gemessenen Rohkonzentrationen sind darin begründet, dass das NO-Messgerät des SEMTECH-D trockenes Probengas analysiert. Der Bezug auf das feuchte Abgas wird durch den Korrekturfaktor k_W hergestellt. Für die Labormesstechnik ist dieser Schritt nicht notwendig, da feuchtes Probengas analysiert wird. Unterschiede zwischen den Korrekturfaktoren der Labormessung und der SEMTECH-D-Messung erklären sich durch die unterschiedliche Lage der Sensoren zur Erfassung von Barometerstand, Luftfeuchte und Lufttemperatur. Die geringen Abweichungen bei den korrigierten Konzentrationen und die großen Abweichungen bei den Massenemissionen, lassen den Schluss zu, dass die resultierenden Abweichungen der Ergebnisse zum allergrößten Teil in den Fehlern der Abgasmassenstrommessung begründet sind.

Eine weitere kleine Abweichung entsteht dadurch, dass die Rechenalgorithmen des SEMTECH-D den entsprechenden Koeffizienten, der in der EG-Richtlinie zu 0,001587 festgelegt ist, nicht verwenden, sondern diesen in Abhängigkeit der Abgaszusammensetzung selbst ermitteln. Rechnet man unter Verwendung der EG-Formeln mit den Protokollwerten des SEMTECH-D, ergibt sich eine Abweichung im NO_x-Massenstrom von -0,66 % zum protokollierten Wert des SEMTECH-D (846,8 g/h zu 852,4 g/h).

Um den Betrieb auf der Straße besser beurteilen zu können, war es sinnvoll, einen zusätzlichen Prüfzyklus zu wählen, der den tatsächlichen Straßenbetrieb besser simuliert. Hierzu wurde der ETC gewählt.

4.1.2 Dynamische Messungen

Mit den Erkenntnissen aus den stationären Untersuchungen wurden weiter gehend der Abgasmassenstromverlauf und die NO_x-Konzentration im ETC betrachtet. Erwartungsgemäß lag das Gesamtergebnis mit den Messwerten des SEMTECH-D (4,01 g/kWh NO_x) über dem der Labormesstechnik (3,57 g/kWh NO_x). Der Unterschied zwischen den Gesamtergebnissen war aber mit 12,5 % deutlich höher als im ESC. Für die Erklärung dieses Effektes

mussten die Massenstromverläufe und die NO_x-Konzentrationsverläufe betrachtet werden. Während des ETC erreichte die Abgastemperatur niemals die kritische Grenze von 350 °C, bei der im ESC der Wechsel des Vorzeichens in der Abweichung der Massenströme zu beobachten war. Als Folge war zu erwarten, dass die gemessenen Abgasmassenströme des SEMTECH im gesamten Test oberhalb der Messwerte des Prüfstandes liegen würden, was in Bild 20 zu erkennen ist. Für Temperaturen kleiner als 220 °C fallen die Unterschiede sehr gering aus.

Bei der Betrachtung von Teilbereichen des ETC, die bestimmten Fahrmustern angelehnt sind, konnten die Unterschiede in den Ergebnissen etwas detaillierter beurteilt werden. Tabelle 10 zeigt die spezifischen Stickoxidemissionen in drei unterschiedlichen Abschnitten des ETC, einmal mit Aus-

Abschnitt [s]	Prüfstand NO _x [g/kWh]	SEMTECH NO _x [g/kWh]	Abweichung SEMTECH / Prüfstand [%]
1-600	4,02	4,65	15,9
601-1.200	3,45	3,86	11,8
1.201-1.800	3,22	3,50	8,7
Gesamt	3,57	4,01	≈12,5

Tab. 10: NO_x-Emissionen im ETC

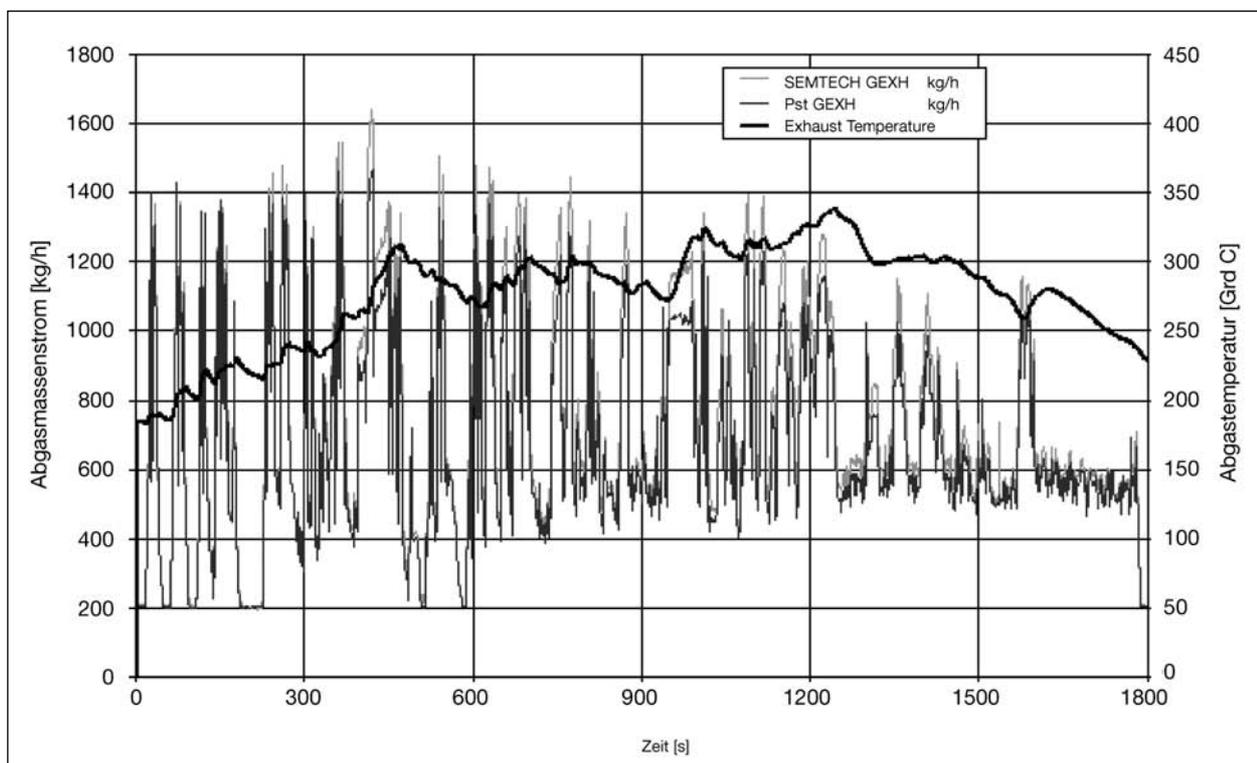


Bild 20: Vergleich Abgasmassenstromverläufe Prüfstand/SEMTECH-D

wertung der Labormesswerte („Prüfstand“) und zum Zweiten mit den Messwerten des SEMTECH-D („SEMTECH“). Die ersten 600 Sekunden des ETC sind an eine Stadtfahrt angelehnt und zeichnen sich durch sehr hohe Drehzahl- und Lastdynamik aus. Die zweiten 600 Sekunden sind an das Fahrmuster bei Überlandfahrt angelehnt, während die letzten 600 Sekunden einer Autobahnfahrt entsprechen. Die Überlandfahrt zeigt schon deutlich geringere Drehzahldynamik, besitzt aber noch eine durchaus ausgeprägte Lastdynamik. Die abschließende Autobahnfahrt hat nur noch eine sehr geringe Drehzahlschwankung und mäßige Lastwechsel.

Es ist erkennbar, dass die Betriebsweise des Fahrzeugs einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Abgasmessung hat. Eine hohe Dynamik führt zu größeren Abweichungen. Der Schluss, dass diese Abweichungen allein durch die Abgasmassenstrommessung verursacht sind, ist nicht zulässig. Bild 21 zeigt hierzu die Korrelation der Abgasmassenströme der Labormesstechnik und des SEMTECH-D für einen ETC. Für den optimalen Fall würde sich die Steigung 1 für die Korrelationsgerade ergeben. Für die Gesamtbetrachtung des ETC liegt die Abweichung in der Nähe des zu erwartenden Fehlers von ca. 10-13 %. Unstimmig-

keiten treten bei der Betrachtung der einzelnen Abschnitte des ETC auf. Auffällig ist, dass zu hohen Massenströmen hin die Verteilungswolke einige Punkte deutlich unterhalb der Korrelationsgeraden aufweist. Bildet man die Produkte aus Abgasmassenstrom (G_{EXH}) und korrigierter NO_x -Konzentration und korreliert diese mit einem Polynom zweiten Grades abschnittsweise für den ETC, ergeben sich die Bilder 22 bis 24. Man erkennt, dass die Abweichung von einer linearen Korrelation für den Abschnitt größter Dynamik (0-600 Sekunden) am größten ist und mit sinkender Dynamik abfällt. Die Steigung im linearen Anteil entspricht in etwa den Unterschieden im Emissionsendergebnis der einzelnen Abschnitte. In Bild 25 sind die korrigierten NO_x -Konzentrationen des SEMTECH-D und der Labormesstechnik nach der Totzeitverschiebung für einen kleinen Ausschnitt des ersten ETC-Abschnittes dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei insgesamt sehr guter Übereinstimmung der zeitlichen Synchronisation der Messverläufe die Konzentrationsspitzen beim SEMTECH-D geringer ausfallen. Dass trotz dieses Effektes höhere Massenemissionsergebnisse für das SEMTECH-D ermittelt werden, kann nur durch das Zusammentreffen hoher Konzentrationswerte mit Abgasmassenstromwerten oberhalb der Korrelationskurve erklärt werden.

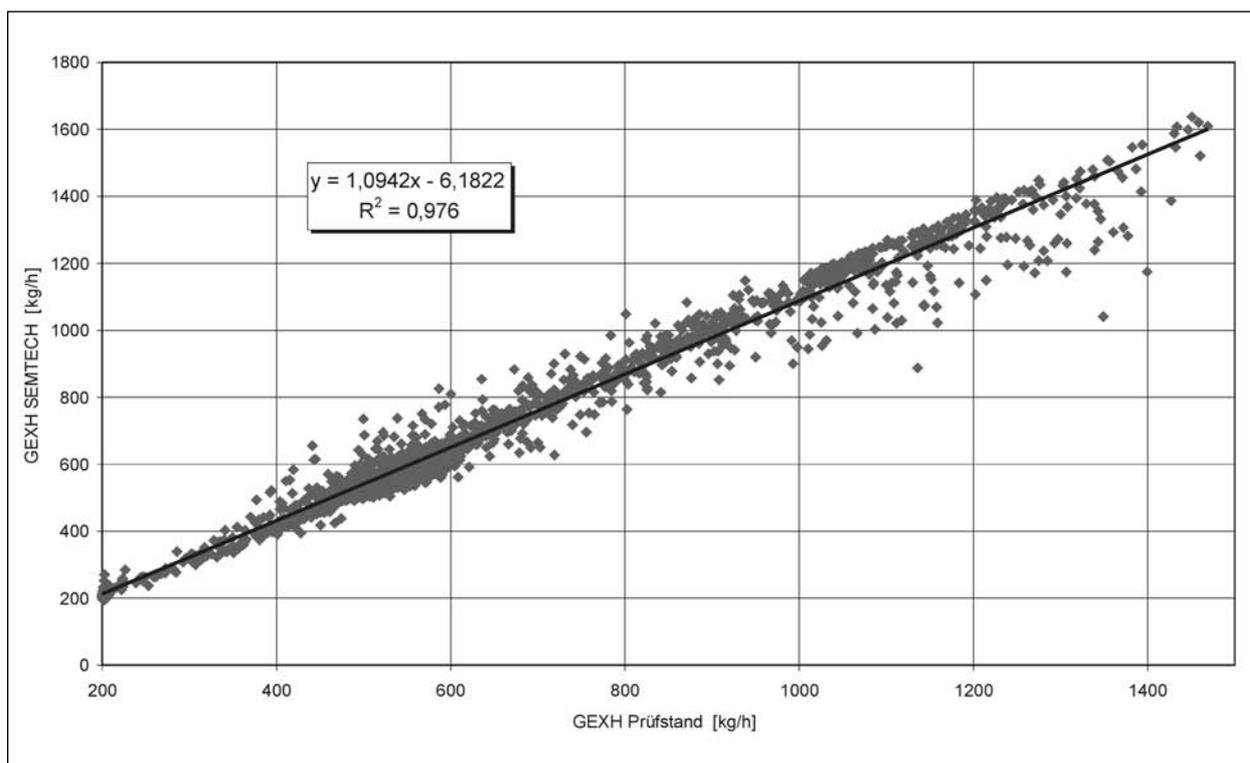


Bild 21: Massenstrom-Korrelation zwischen Prüfstand und SEMTECH-D im ETC

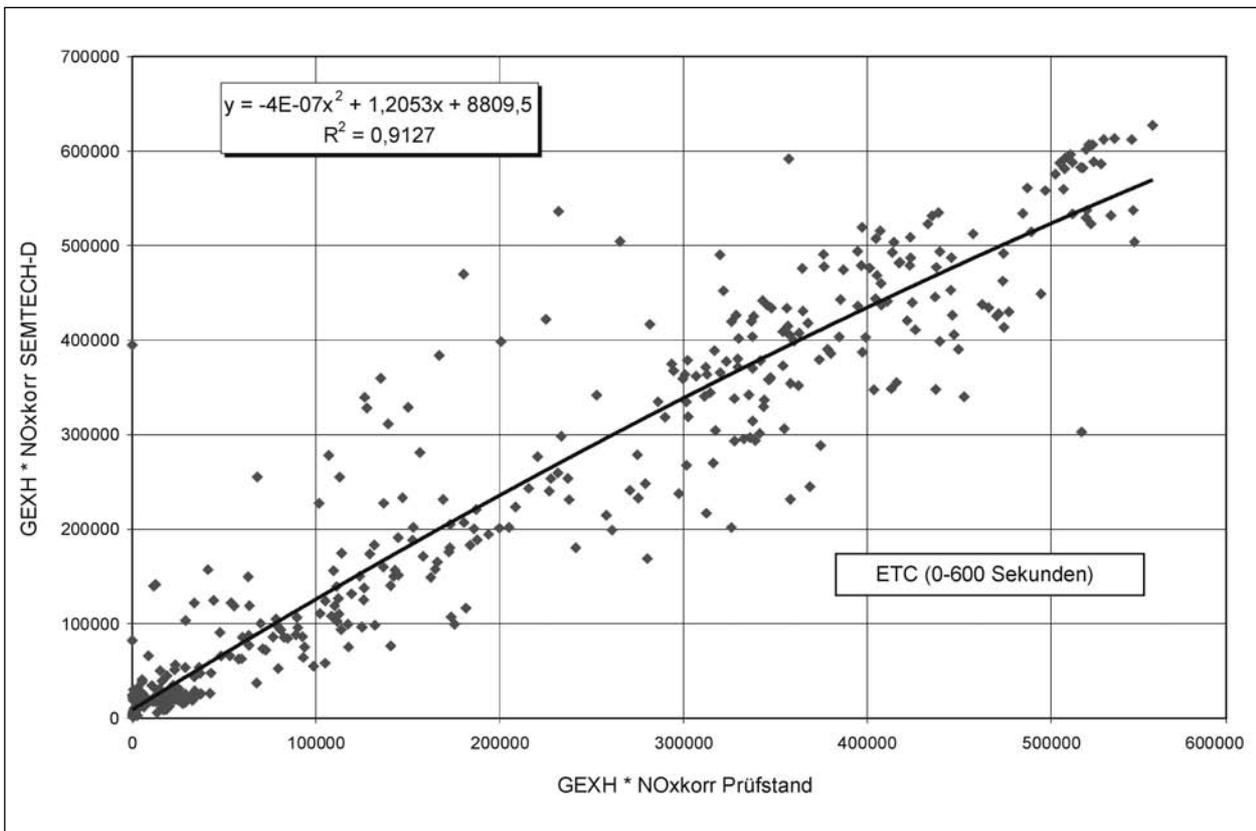


Bild 22: Massen*Konzentrationskorrelation im ersten ETC-Abschnitt (0-600 Sekunden)

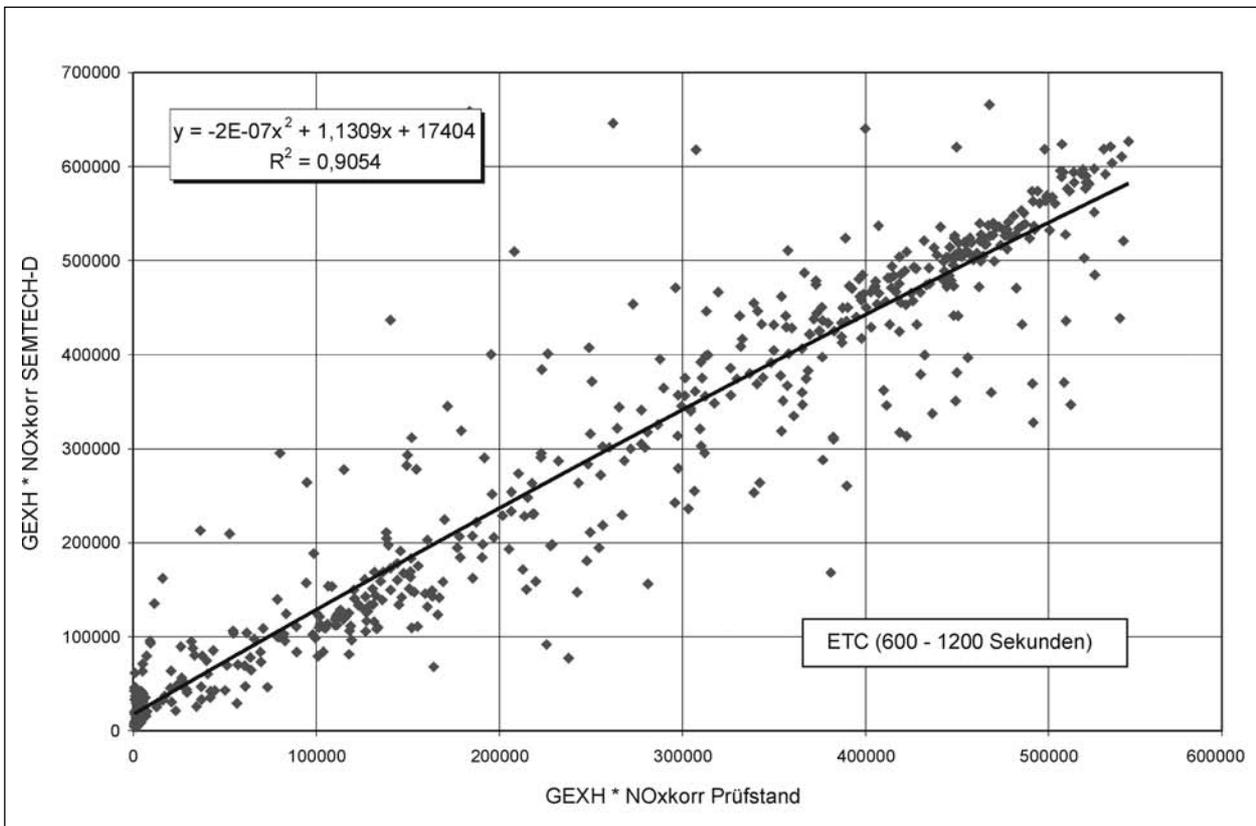


Bild 23: Massen*Konzentrationskorrelation im zweiten ETC-Abschnitt (600-1.200 Sekunden)

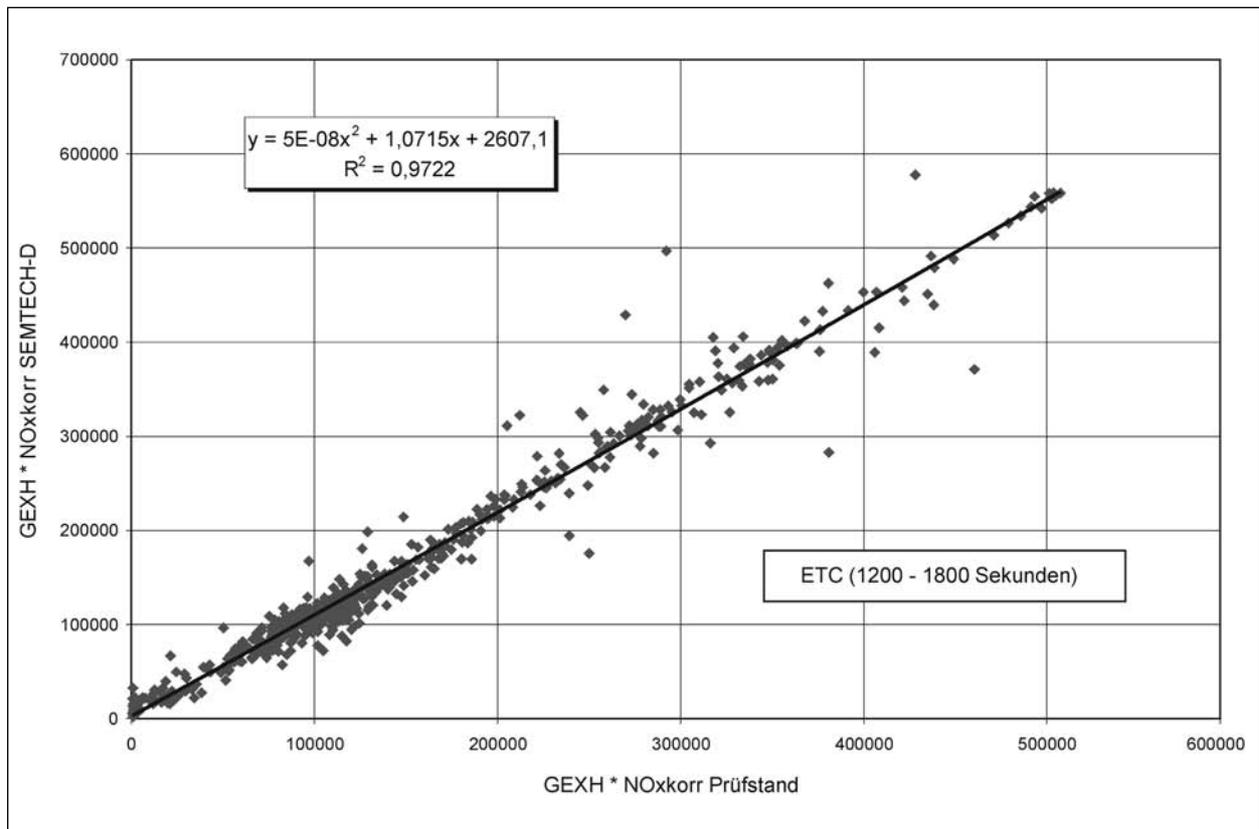


Bild 24: Massen*Konzentrationskorrelation im dritten ETC-Abschnitt (1.200-1.800 Sekunden)

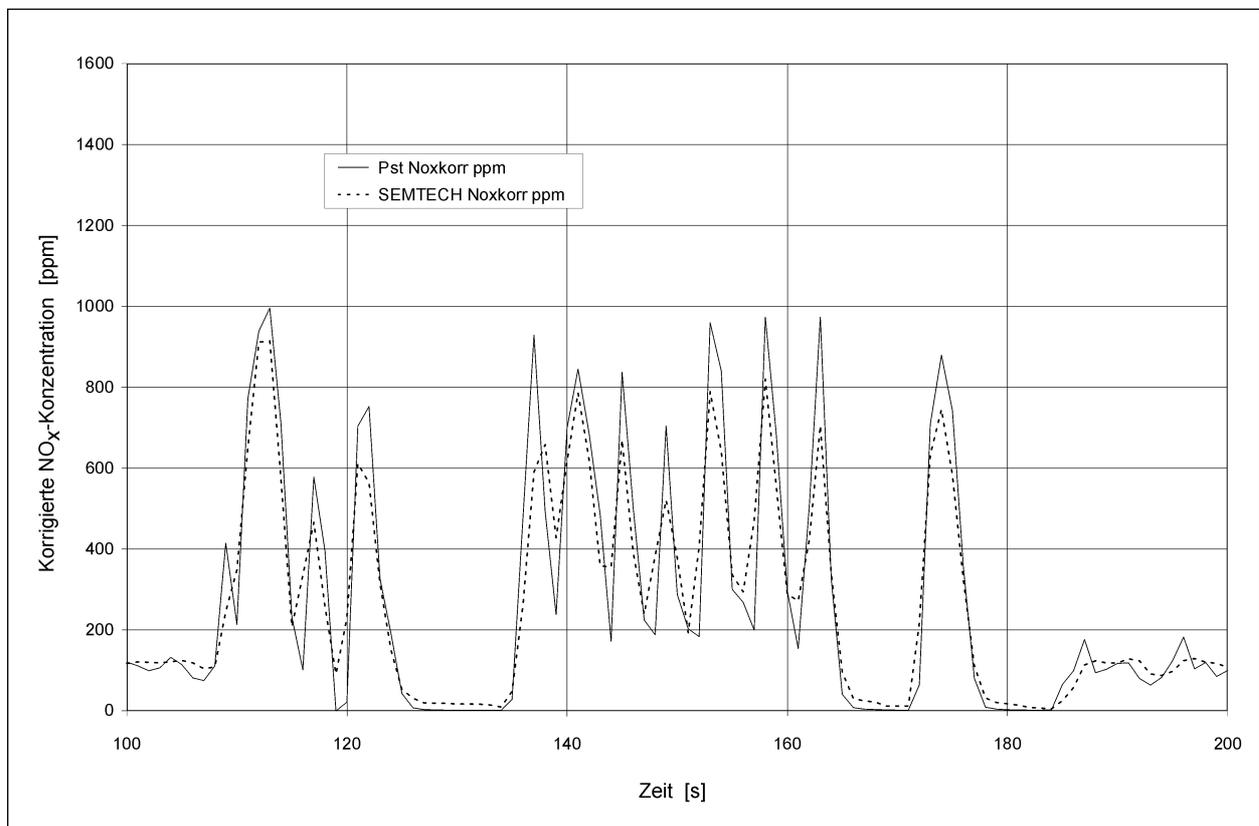


Bild 25: Korrigierte NO_x-Konzentrationsverläufe Prüfstand/SEMTECH-D

4.1.3 Schlussfolgerung

Zur abschließenden Beurteilung der verwendeten Messtechnik empfiehlt es sich, getrennte Betrachtungen der Analysetechnik und des „Postprocessing“ sowie der Massenstromermittlung durchzuführen.

Die Analysetechnik im Zusammenhang mit der Messgasaufbereitung liefert gut übereinstimmende Ergebnisse mit der Labormesstechnik, wie sie in den einschlägigen Abgasemissionsvorschriften beschrieben ist. Dies wurde anhand der Komponente NO_x nachgewiesen und ist grundsätzlich auf die anderen Komponenten, mit Ausnahme der CO-Messung, übertragbar. Die Abweichungen beim NDIR-Gerät (CO) fallen größer aus, da hier keine konsequente Anpassung an den Betrieb mit Dieselmotoren durchgeführt wurde. Die Messküvette des Gerätes ist so ausgelegt, dass auch Messungen an Ottomotoren im Rohabgas vor Katalysator möglich sind. Die Folge ist eine schlechtere Auflösung für die sehr kleinen CO-Emissionen eines Dieselmotors. Der Messgerätehersteller vertritt hierbei die Ansicht, dass diese universelle Verwendung eines Messgerätes vertretbar ist, da Dieselmotoren üblicherweise mit ihren CO-Emissionen sehr weit unterhalb der Grenzwerte liegen. Für eine breite Anwendung der „On-board-Messtechnik“ z. B. im Bereich der „In-use-compliance“ wäre eine entsprechende Anpassung des Messbereiches notwendig.

Im praktischen Betrieb arbeitete die Analysetechnik unkompliziert und zuverlässig. Das Zusammenspiel mit dem der Messung nachgeschalteten „Postprocessing“, in dem auch die zeitliche Synchronisation der Messwerte durchgeführt wird, führt zu sehr gut mit der Labormesstechnik übereinstimmenden Werten.

Bei der Betrachtung der Abgasmassenstromermittlung zeigten sich Abweichungen in der Größenordnung von 10-13 % im Vergleich zu der eingesetzten Labormesstechnik. Zwei wichtige Einflussfaktoren für diese Abweichungen sind die Abgastemperatur sowie das dynamische Verhalten des Massenstromsensors. Da sich das Zusammenspiel dieser Einflussfaktoren äußerst komplex darstellt, waren die durchgeführten Vergleichsmessungen nicht geeignet, einen entsprechenden Korrekturalgorithmus zu entwickeln. Alle dokumentierten Ergebnisse sind mit dem Fehler, der durch die Abgasmassenstrommessung verursacht ist, behaftet. Es besteht der dringende Bedarf an einer Weiterentwicklung der Massenstrommesstechnik.

Der Messgerätehersteller verwendet inzwischen einen neuen Sensor, dem ein anderes Messprinzip zugrunde liegt. Anstelle der bisherigen Verwendung eines Hitzdrahtanemometers wird nun ein Sensor verwendet, der auf dem Prinzip des Pitotrohres basiert. Es sollen mit diesem neuen Sensor wesentlich bessere Genauigkeiten erreicht werden. Eine entsprechende Validierung müsste in einem späteren Vorhaben durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit Ausnahme der Abgasmassenstrommessung das SEMTECH-D sehr gut für mobile Messungen im Fahrzeug geeignet ist. Sollte der neue Abgasmassenstromsensor die in Aussicht gestellten Verbesserungen erreichen, wären gute Vergleichbarkeiten mit Ergebnissen aus Labormessungen zu erwarten.

Der identifizierte Fehler tritt auch bei der folgenden Bestimmung der Emissionsfaktoren auf. In allen Darstellungen wurden keine Korrekturen vorgenommen.

4.2 Ermittlung von Emissionsfaktoren

4.2.1 Technische Daten der Versuchsfahrzeuge

Die Tabellen 11 bis 14 zeigen die technischen Daten der Versuchsfahrzeuge.

Es handelt sich um Euro-3-Fahrzeuge (Zeile A, 1999/96/EG) ohne Abgasnachbehandlung.

In Tabelle 15 sind die Versuchsfahrten mit den einzelnen Fahrzeugen und die jeweiligen Betriebszustände aufgelistet.

Zul. Gesamtgewicht SZM	18.000 kg
Zul. Zuggesamtgewicht	40.000 kg
Zylinderzahl	6 in Reihe stehend
Hubraum	10-Liter-Klasse
Max. Leistung	316 kW
Max. Drehmoment	1.900 Nm
Aufladung	ATL mit variabler Geometrie (VTG) Ladeluftkühlung
Einspritzung	Pumpe-Düse, elektronisch geregelt
Getriebe	12-Gang-Automatik-Schaltgetriebe, anwählbarer Handschaltmodus
Hinterachse	Einfach übersetzte Hypoidachse
Übersetzung	3,08 : 1
Zuggesamtgewicht	Halb: 24,7 t Voll: 39 t
Bereifung	315/70 R22,5

Tab. 11: Technische Daten Fahrzeug 1

Zul. Gesamtgewicht SZM	18.000 kg
Zul. Zuggesamtgewicht	40.000 kg
Zylinderzahl	6 in Reihe stehend
Hubraum	12-Liter-Klasse
Max. Leistung	320 kW
Max. Drehmoment	2.100 Nm
Aufladung	ATL-Ladeluftkühlung
Einspritzung	Pumpe-Leitung-Düse, elektronisch geregelt
Getriebe	16-Gang-Automatik-Schaltgetriebe
Hinterachse	Einfach übersetzte Hypoidachse
Übersetzung	3,077 : 1
Zuggesamtgewicht	Halb: 24,55 t Voll: 38,85 t
Bereifung	315/70 R22,5

Tab. 12: Technische Daten Fahrzeug 2

Zul. Gesamtgewicht SZM	18.000 kg
Zul. Zuggesamtgewicht	40.000 kg
Zylinderzahl	6 in Reihe stehend
Hubraum	12-Liter-Klasse
Max. Leistung	309 kW
Max. Drehmoment	2.100 Nm
Aufladung	ATL-Ladeluftkühlung
Einspritzung	Hochdruck-Direkteinspritzung, elektronisch geregelt
Getriebe	12-Gang-Schaltgetriebe
Hinterachse	Einfach übersetzte Hypoidachse
Übersetzung	3,27 : 1
Zuggesamtgewicht	Halb: 24,6 t Voll: 38,9 t
Bereifung	315/70 R22,5

Tab. 13: Technische Daten Fahrzeug 3

Zul. Gesamtgewicht	12.000 kg
Zylinderzahl	6 in Reihe stehend
Hubraum	7-Liter-Klasse
Max. Leistung	162 kW
Max. Drehmoment	850 Nm
Aufladung	AT- Ladeluftkühlung
Einspritzung	Verteilerpumpe, elektronisch geregelt
Getriebe	6-Gang-Schaltgetriebe
Hinterachse	Einfach übersetzte Hypoidachse
Übersetzung	3,7 : 1
Zuggesamtgewicht	Halb: 9,68 t Voll: 12,00 t
Bereifung	225/70 R17,5

Tab. 14: Technische Daten Fahrzeug 4

Fahrzeug	Fahrt	Beladung	Getriebe
Fhz. 1	1	voll	auto
	2	voll	manuell
	3	halb	auto
	4	halb	manuell
Fhz. 2	1	halb	auto
	2	voll	auto
Fhz. 3	1	voll	manuell
	2	halb	manuell
Fhz. 4	1	halb	manuell
	2	voll	manuell

Tab. 15: Auflistung der Versuchsfahrten

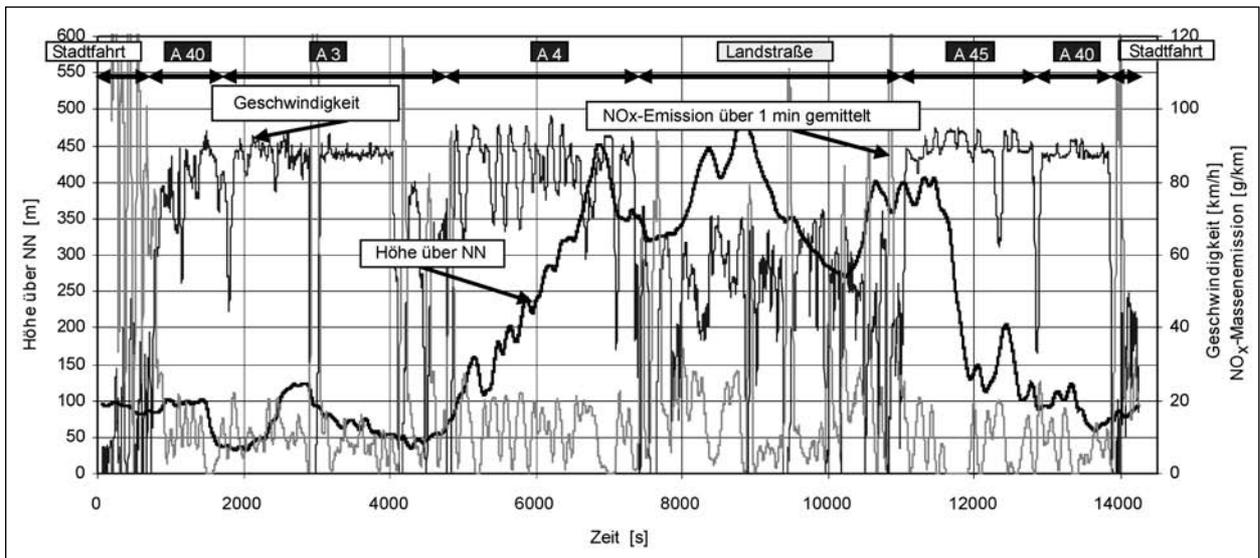


Bild 26: NO_x-Emission in g/km für eine Messfahrt

4.2.2 Darstellung für die Gesamtfahrstrecke

Die Bilder 26 bis 28 zeigen exemplarisch die Emissionen in g/km einer gesamten Versuchsfahrt aufgetragen über der Zeit. Zur Orientierung sind noch

die Geschwindigkeit und der Höhenverlauf der Messstrecke sowie die Benennung der einzelnen Streckenabschnitte dargestellt.

Die Bilder zeigen eine Fahrt des Fahrzeuges 1 in vollem Beladungszustand bei automatisch betätigtem Getriebe.

Bedingt durch die Darstellungsform streben die Emissionen bei kleiner werdenden Geschwindigkeiten theoretisch zu unendlichen Höhen. Die gleitende Mittelwertbildung über 60 Werte des 1-Hz-Datensatzes relativiert diesen Effekt. In den Bildern wird die steigende Umgebungsbelastung bei geringen Durchschnittsgeschwindigkeiten, wie sie bei Stadtfahrt, Stop-and-Go-Verkehr bzw. langsamer Landstraßenfahrt auftreten, erkennbar.

Die Bilder 26 bis 28 verdeutlichen beispielhaft den Verlauf der verschiedenen Schadstoffkomponenten. Die CO- und HC-Emissionen haben eine eher

untergeordnete Bedeutung. Üblicherweise befinden sich bei Typprüfmessungen diese Komponenten weit unterhalb der erlaubten Grenzwerte. Auch die Verläufe der Massenemissionen zeigen, dass die heutigen weit entwickelten Brennverfahren nur geringe Schadstoffentstehungspotenziale für CO und HC besitzen, die auch bei unterschiedlichen Betriebsweisen geringe Niveaus beibehalten.

Anders stellt sich hier die Stickoxidemission dar. Deutlich ist hier die direkte Abhängigkeit der Emissionen von der Motorbetriebsweise zu erkennen. Lastabhängigkeiten und Auswirkungen des dynamischen Motorbetriebs lassen die Emissionsniveaus stark schwanken. Da die Stickoxidbildung im motorischen Prozess direkt von der Verbren-

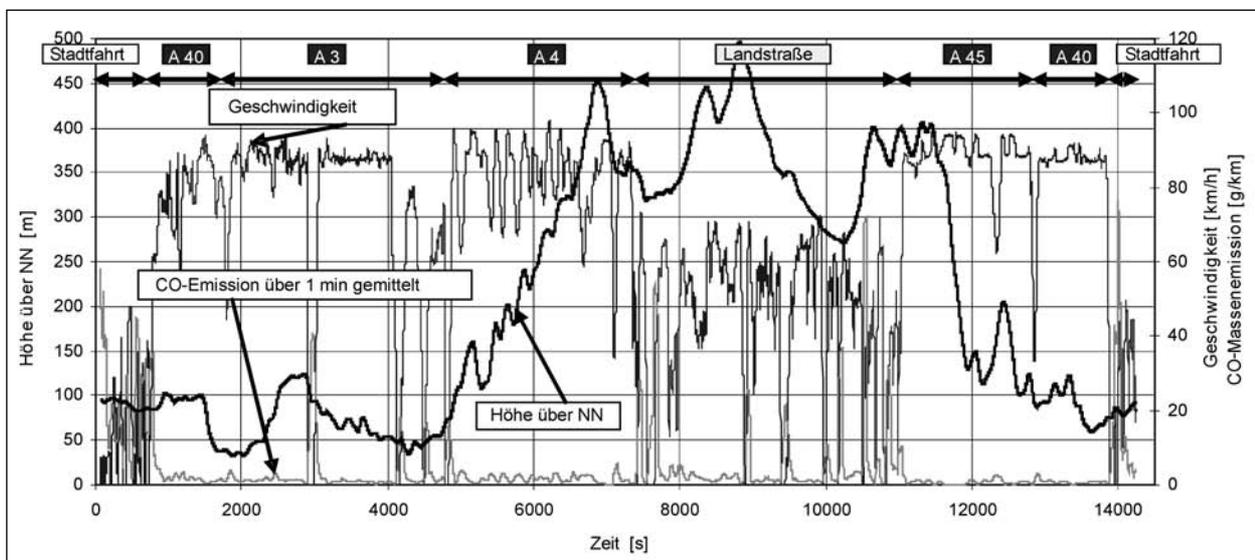


Bild 27: CO-Emission in g/km für eine Messfahrt

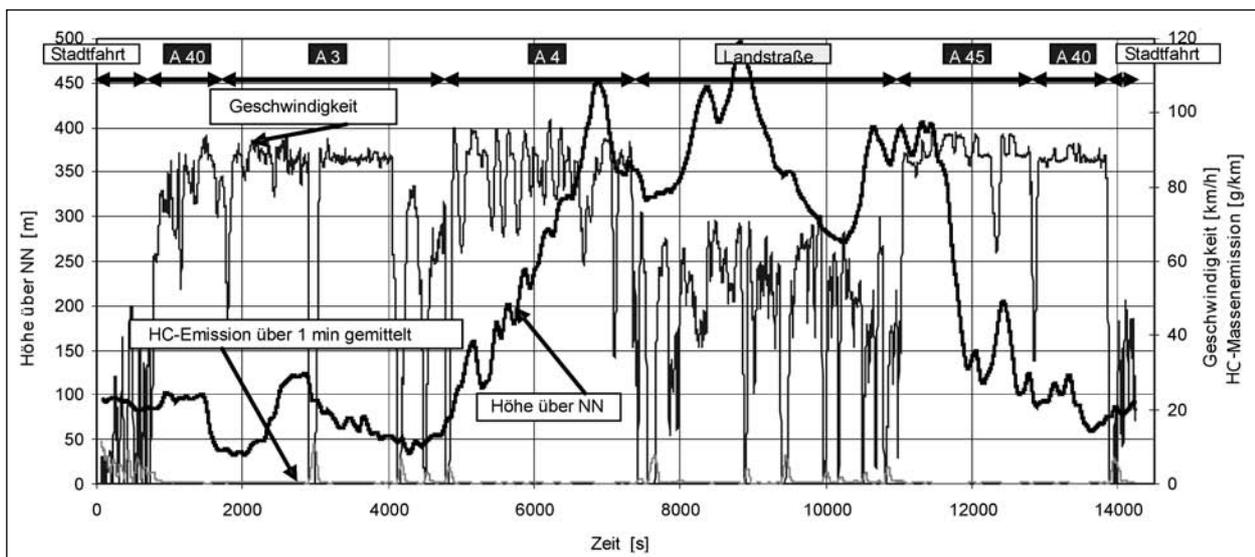


Bild 28: HC-Emission in g/km für eine Messfahrt

nungsführung abhängt, zeigen sich hier deutlichere Einflüsse durch die herstellereigenspezifische Verbrennungsauslegung.

4.2.3 Betrachtung isolierter Fahrsituationen

4.2.3.1 Vorgehensweise

Die sekundlichen Werte der Schadstoffemissionen sind um die Zeitspanne zwischen Probenahme und Analyse gegenüber den sekundlichen Werten der Geschwindigkeit und des Betriebszustands (Motordrehzahl und Motorbelastung) verschoben. In einem ersten Auswerteschritt wurde diese Zeitverschiebung für jede Fahrt und jeden Schadstoff bestimmt und die Emissionswerte entsprechend auf der Zeitachse verschoben, um die Zeitverschiebung zu korrigieren. Als Kriterium wurden der Anstieg der Emissionen bei Beschleunigungsvorgängen aus dem Stillstand und der Rückgang der Emissionen bei Verzögerungen bis zum Stillstand verwendet.

Das vom GPS erhaltene Höhensignal konnte nicht unmittelbar zur Bestimmung der Längsneigung herangezogen werden, da es zu starke Schwankungen, zum Teil auch Sprünge aufwies (siehe alt in Bild 29). Zur Bestimmung der Längsneigung wurde dann wie folgt vorgegangen:

Sprünge wurden beseitigt und für Stillstandsphasen wurde das Höhensignal gemittelt (alt_korr in Bild 29). Das so korrigierte Höhenprofil wurde dann mit einem gleitenden Mittelwert über 40 Samples (40-Sekunden-Abschnitte) geglättet. Das geglättete Profil ist ebenfalls in Bild 29 als alt_korr_g dargestellt. In einem weiteren Schritt wurden für Wegabschnitte von 20 m die Mittelwerte des geglätteten Höhenprofils gebildet und aus diesen die Längsneigung aufeinander folgender 20-m-Abschnitte bestimmt. Selbst dieses Signal wies noch starke Sprünge von deutlich mehr als $\pm 10\%$ auf. Daher wurden die Sprünge in einem weiteren Schritt auf $\pm 8\%$ begrenzt und das Längsneigungssignal über 20 Samples (20-m-Abschnitte) mittels gleitendem Mittelwert geglättet (grad_g in Bild 29). Bild 30 zeigt die ersten 50 km der gesamten Fahrstrecke. Das Ergebnis ist eine geglättete Längsneigungskurve, die für die Bestimmung der Emissionsfaktoren herangezogen werden konnte.

Die Registrierung des Höhenprofils der Fahrstrecken aus GPS-Daten ist hilfreich für die spätere Analyse und Interpretation. Die Ableitung der Längsneigung aus dem Höhenprofil ist jedoch sehr aufwändig und z. T. auch ungenau.

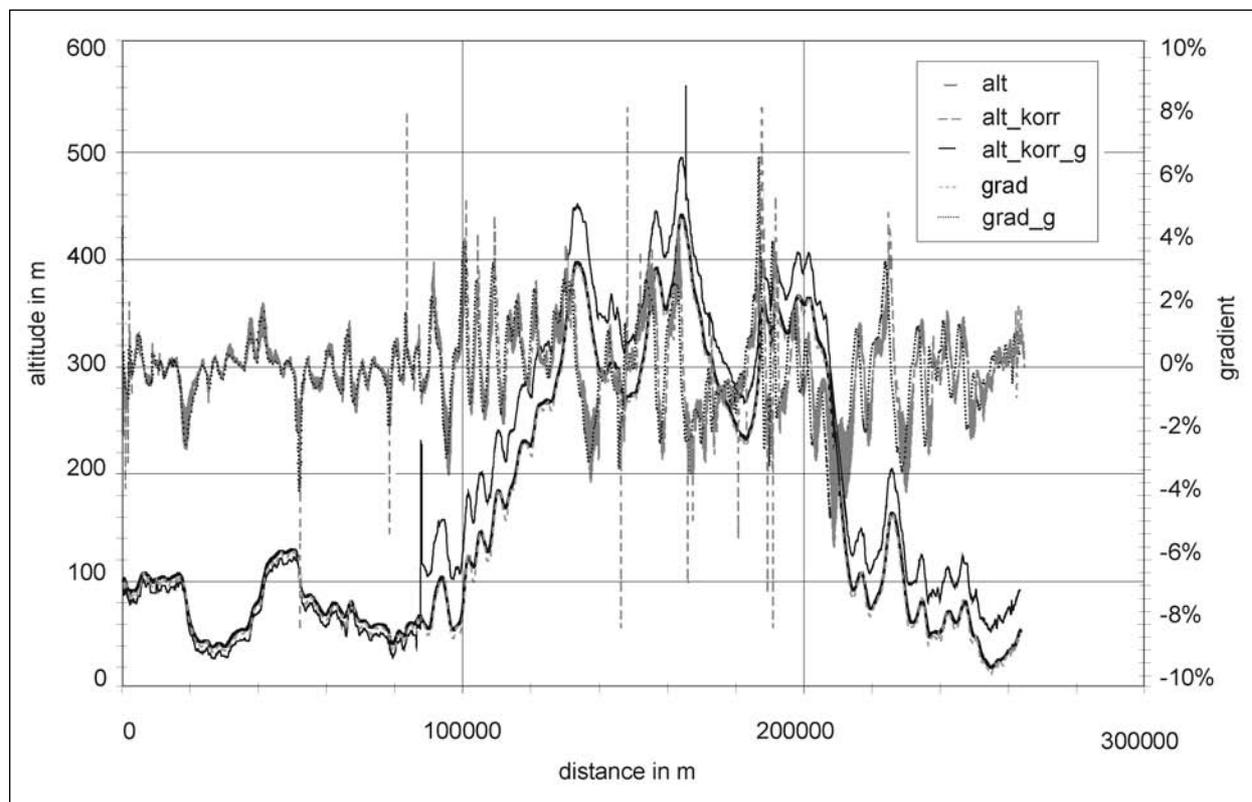


Bild 29: Höhenprofil und daraus abgeleitete Längsneigung für die Fahrstrecke der Fahrzeuge 1 bis 3

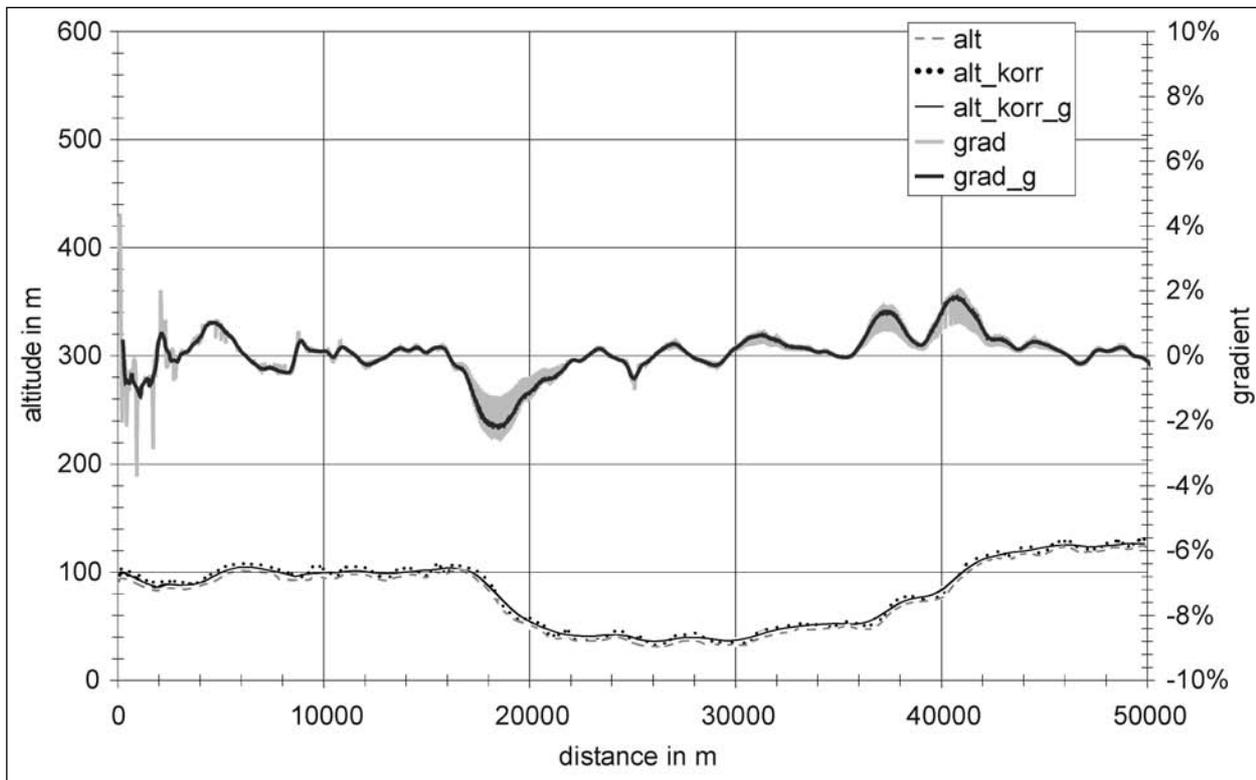


Bild 30: Die ersten 50 km von Bild 29

4.2.3.2 Emissionen in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Fahrzustand und Motorbelastung

In einem weiteren Analyseschritt sollten die wesentlichen Einflussfaktoren für die Emissionen bestimmt werden. Dazu wurden zunächst Beschleunigungsphasen ($a > 0.1 \text{ m/s}^2$), Verzögerungsphasen ($a < -0.1 \text{ m/s}^2$) und Konstantfahrphasen ($-0.1 \text{ m/s}^2 \leq a \leq 0.1 \text{ m/s}^2$) indiziert und nummeriert. Für diese Phasen wurden dann die Durchschnittswerte der Geschwindigkeit, der Beschleunigung, der Motorbelastung (Motorleistung bezogen auf die bei der jeweiligen Drehzahl verfügbare Vollleistung) und die Emissionen in g/km bestimmt.

Für alle untersuchten Fahrzeuge ergaben sich für die NO_x -Emissionen und die CO_2 -Emissionen die Fahrzeuggeschwindigkeit und die Motorbelastung als die bedeutsamsten Einflussparameter. Für die CO_2 -Emissionen wurde das gesamte CO_2 zugrunde gelegt, das sich aus HC, CO und dem gemessenen CO_2 nach folgender Gleichung errechnet:

Gleichung 1

$$\text{CO}_2_{\text{gesamt}} = 3,1575 \cdot \text{HC} + 1,5714 \cdot \text{CO} + \text{CO}_2_{\text{gemessen}}$$

Dieses gesamte CO_2 repräsentiert auch den Kraftstoffverbrauch.

Die Ergebnisse dieser Analyse für alle Phasen ab 10 Sekunden Länge sind in Bild 31 bis Bild 38 dargestellt. Bei den Beschleunigungsphasen schwankten die mittleren Beschleunigungen zwischen $0,15 \text{ m/s}^2$ und $0,35 \text{ m/s}^2$.

Für HC und CO ergaben sich nicht so eindeutige Zusammenhänge. Zumindest sind die Emissionen nicht so eindeutig mit der Motorbelastung korreliert, wie NO_x und CO_2 (siehe Bild 39). Die mittlere Beschleunigung ist da schon eher von Bedeutung, aber auch sie korreliert eher schlecht mit den Emissionen (CO: Bild 40 bis Bild 43, für HC ergibt sich ein ähnliches Bild).

Um den Einfluss der Motorbelastung für CO_2 und NO_x noch besser herausarbeiten zu können, wurden die sekundlichen Daten zu Abschnitten von 2 Minuten zusammengefasst und für folgende Parameter jeweils das Minimum, der Mittelwert, das Maximum und die Standardabweichung bestimmt:

- Geschwindigkeit,
- Beschleunigung,
- Produkt aus Beschleunigung und Geschwindigkeit (als Maß für die Beschleunigungsleistung),
- Motorleistung bezogen auf die Nennleistung,

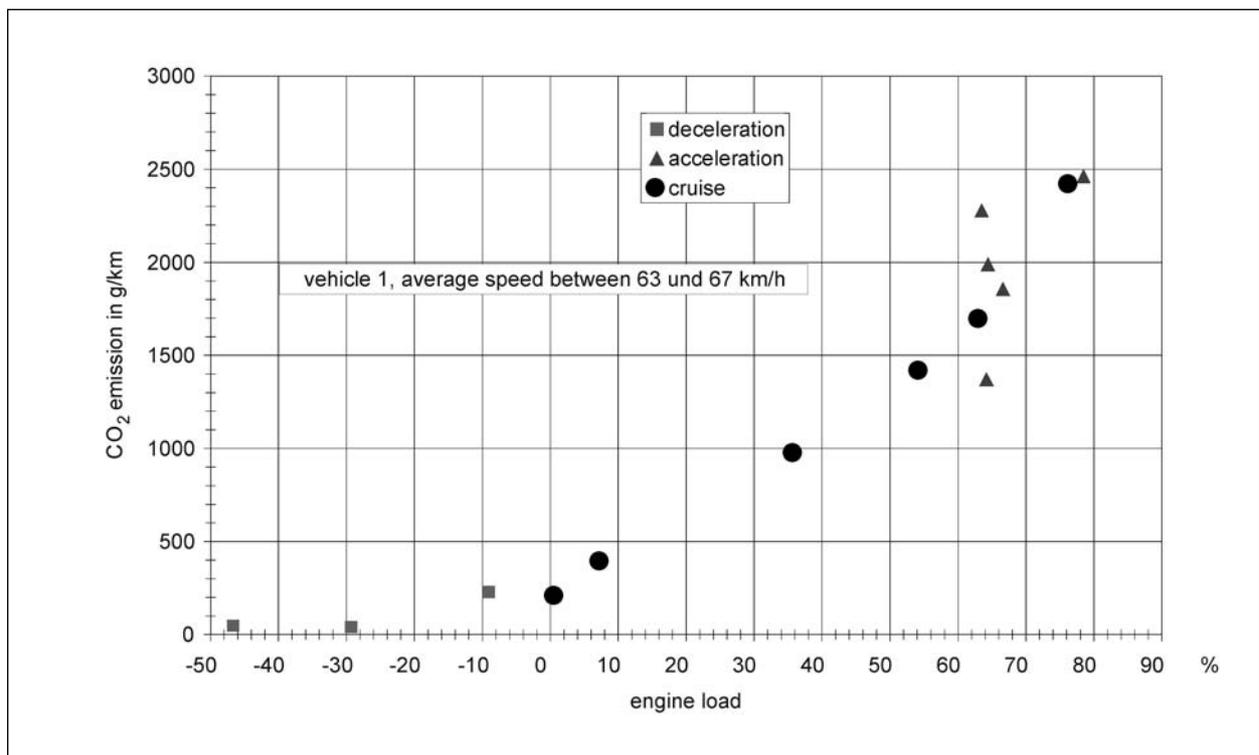


Bild 31: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

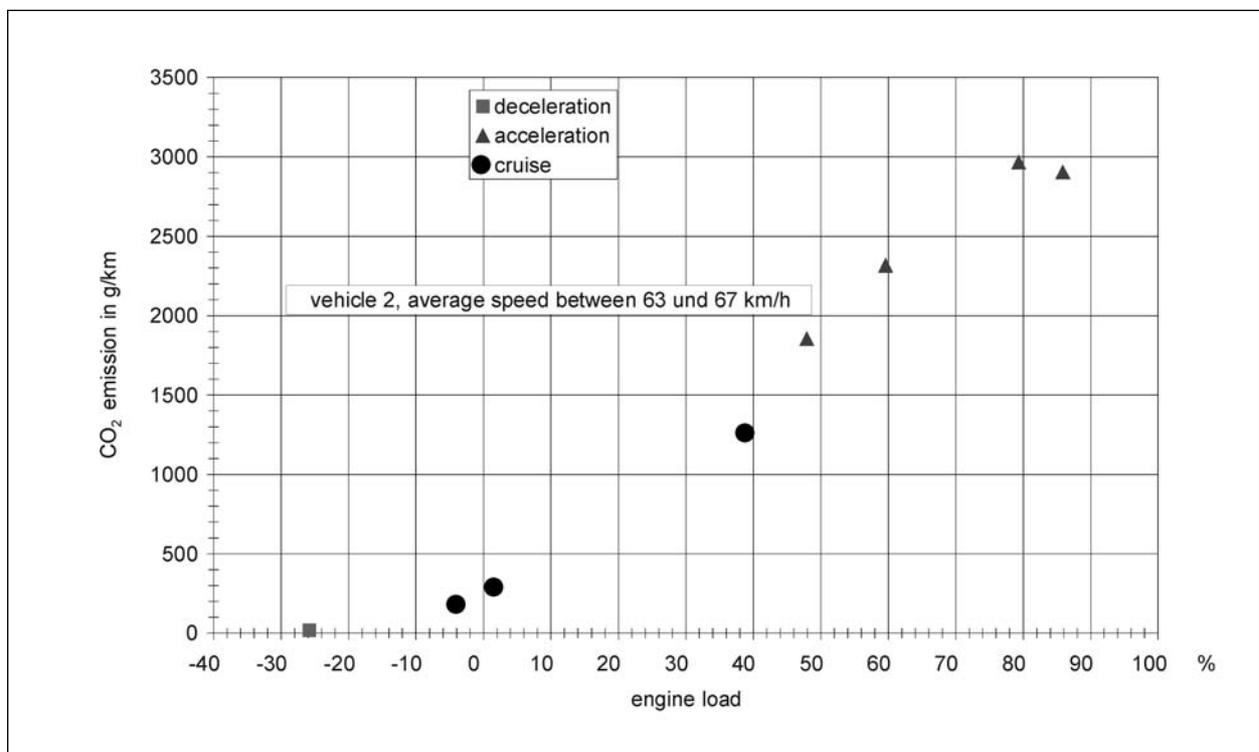


Bild 32: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

- Motorbelastung (Motorleistung bezogen auf die bei der jeweiligen Drehzahl verfügbare Vollleistung),
 - Fahrbahnlängsneigung.
- Für die so erhaltenen Zeitabschnitte wurden dann aus den sekundlichen Emissionen und dem

zurückgelegten Weg die spezifischen Emissionen in g/km für die Komponenten HC, CO, NO_x und CO₂ (gesamte Emission) bestimmt. Die Ergebnisse

für NO_x sind in den Bildern 44 bis 47 zusammengestellt. Die Emissionen sind, wie auch in den folgenden Bildern, über der klassierten Durch-

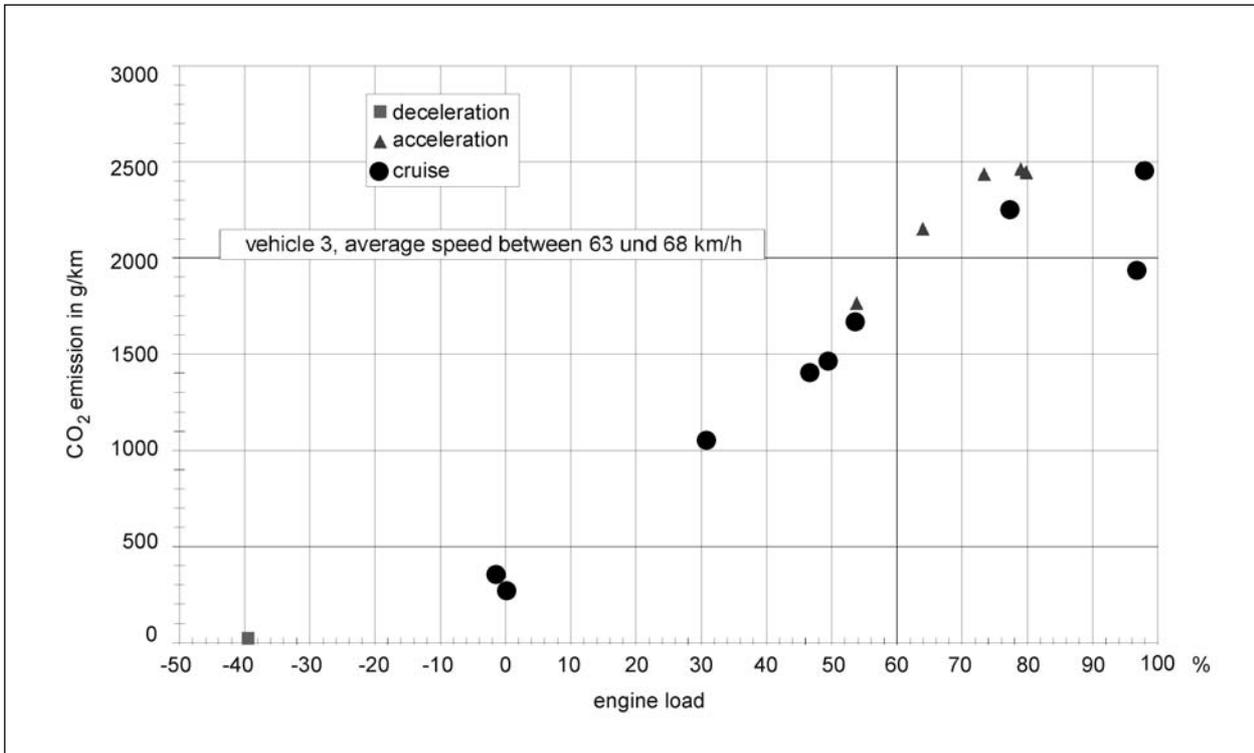


Bild 33: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

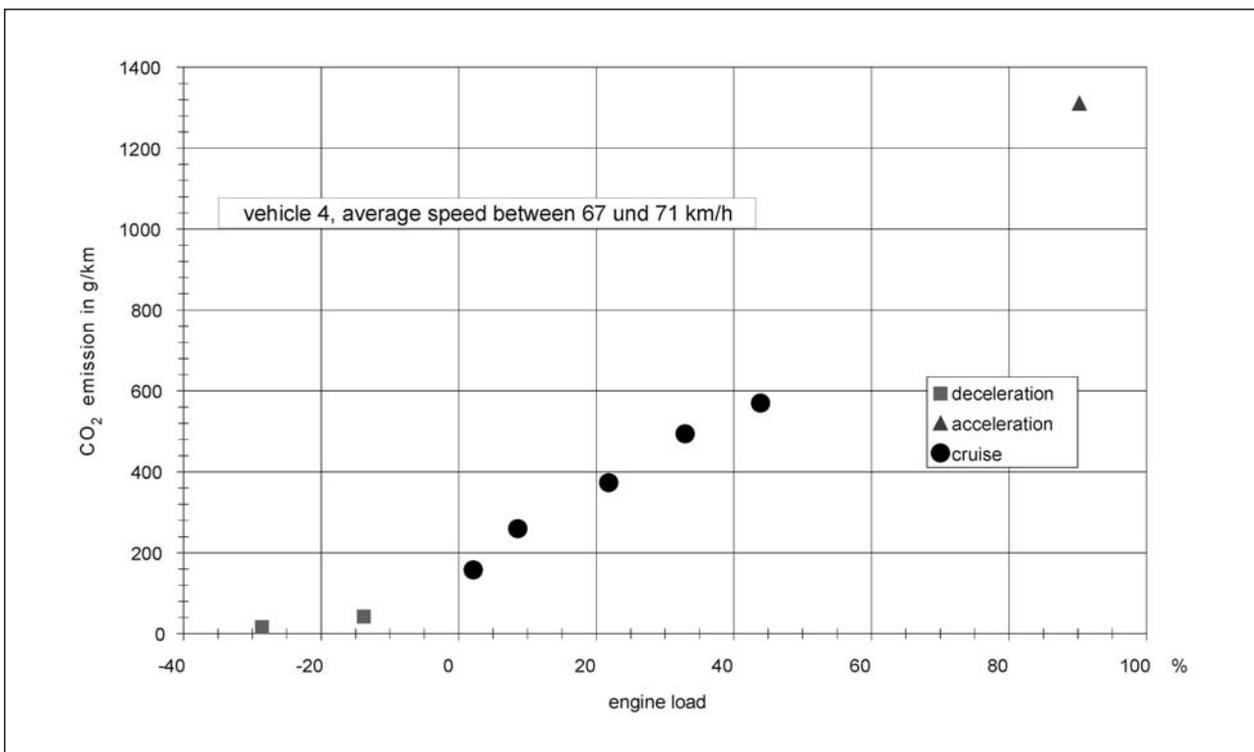


Bild 34: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

schnittsgeschwindigkeit dargestellt. Durch die Motorbelastung sind andere Parameter wie Längsneigung und Beladung bereits implizit miterfasst,

denn Änderungen beider Parameter führen zu entsprechenden Änderungen der Motorbelastung.

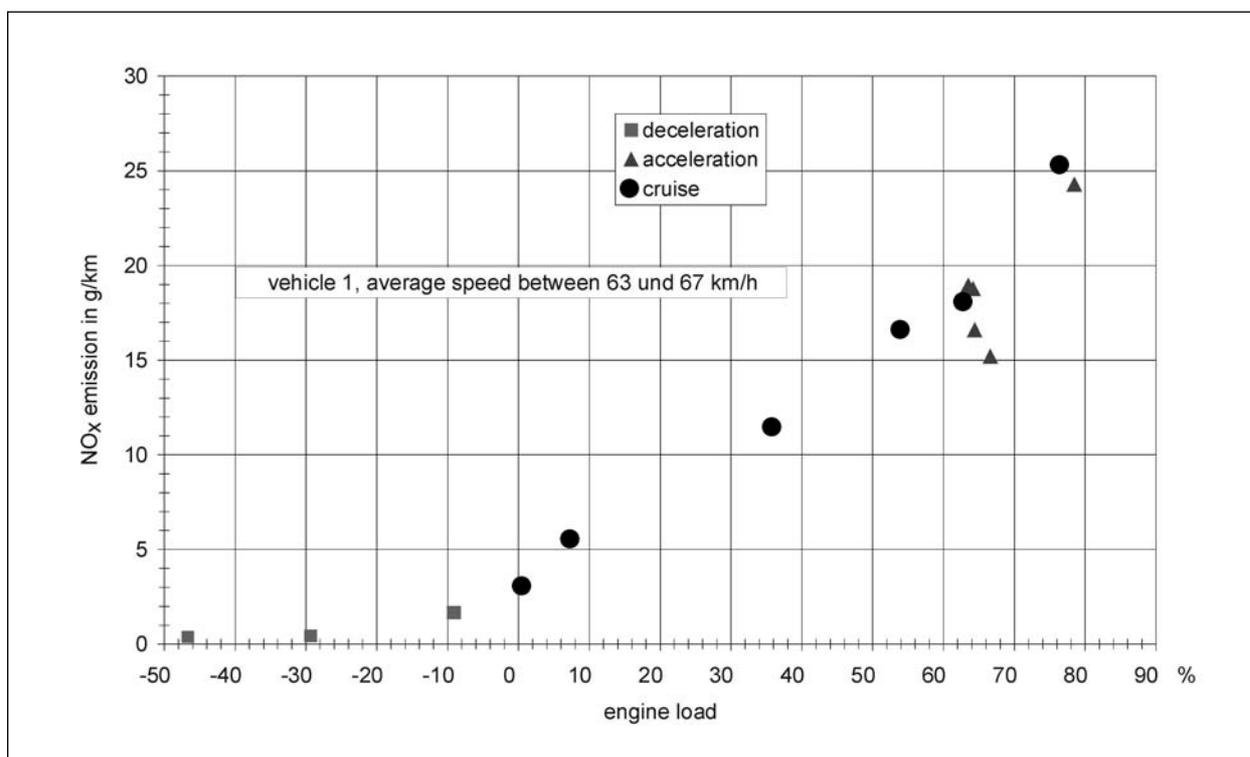


Bild 35: NO_x-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

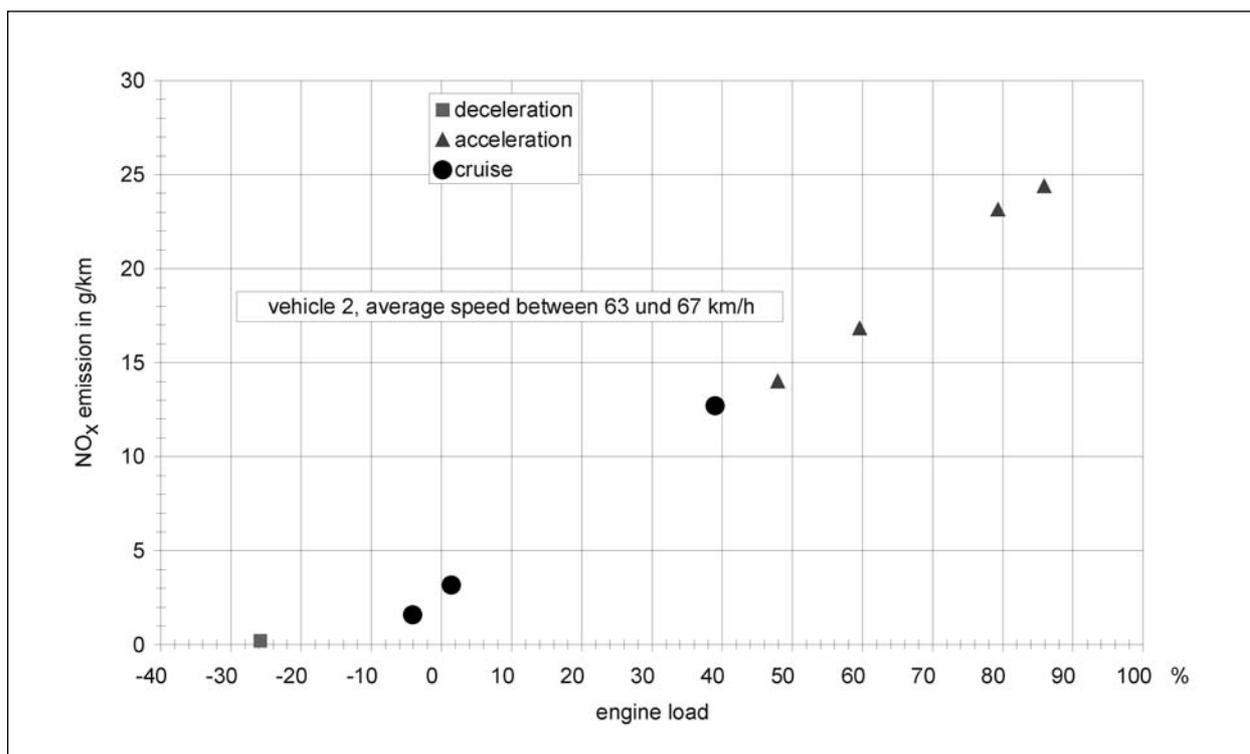


Bild 36: NO_x-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

Alle Motoren sind so ausgelegt, dass die niedrigsten spezifischen NO_x -Emissionen bei geringer bis mittlerer Motorbelastung zwischen 80 und 90 km/h

auftreten. Bei hoher Motorbelastung verschiebt sich das Minimum zu niedrigeren Geschwindigkeiten. Im Schubbetrieb treten nur sehr geringe

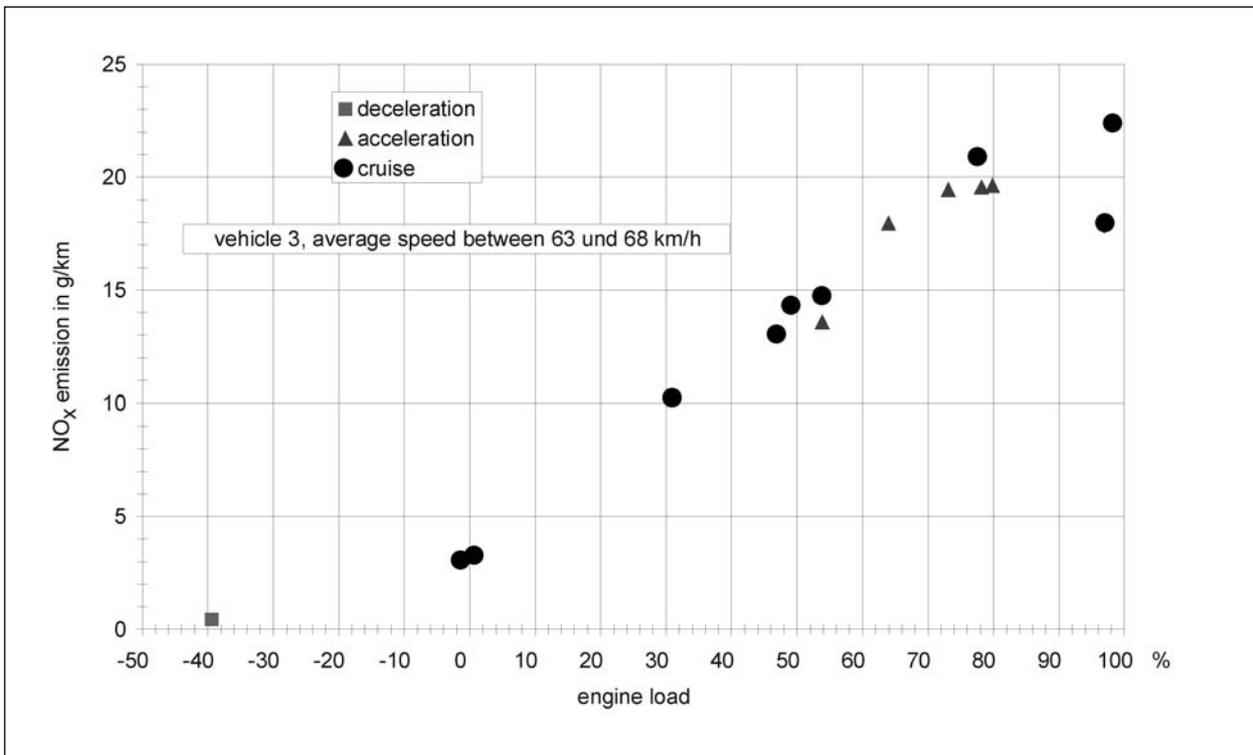


Bild 37: NO_x -Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

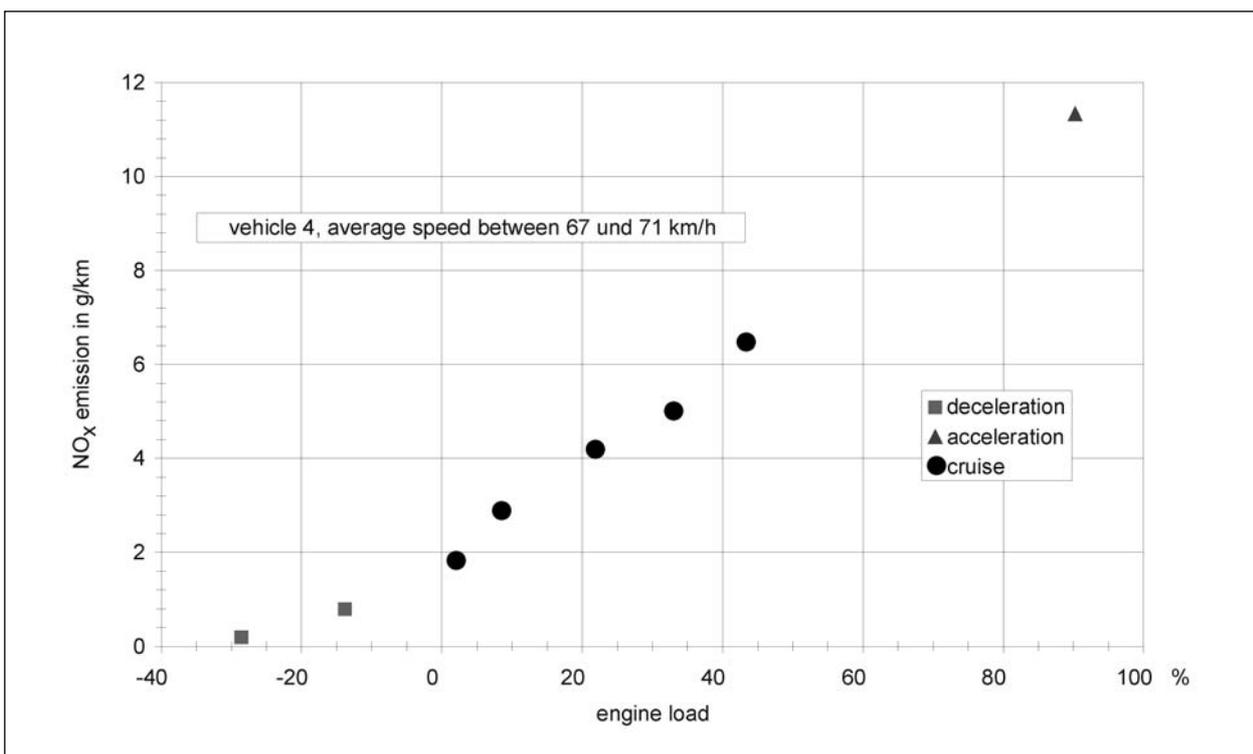


Bild 38: NO_x -Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

NO_x-Emissionen auf. Bei 50 % Motorbelastung sind die NO_x-Emissionen etwa 2- bis 4-mal höher als bei 0 % Motorbelastung, bei 90 % Motorbelastung kann der Faktor auf bis zu 7-mal ansteigen.

Die Unterschiede in den NO_x-Emissionen zwischen den drei Lastzügen sind ab 50 km/h deutlich geringer als bei niedrigen Geschwindigkeiten, bei denen

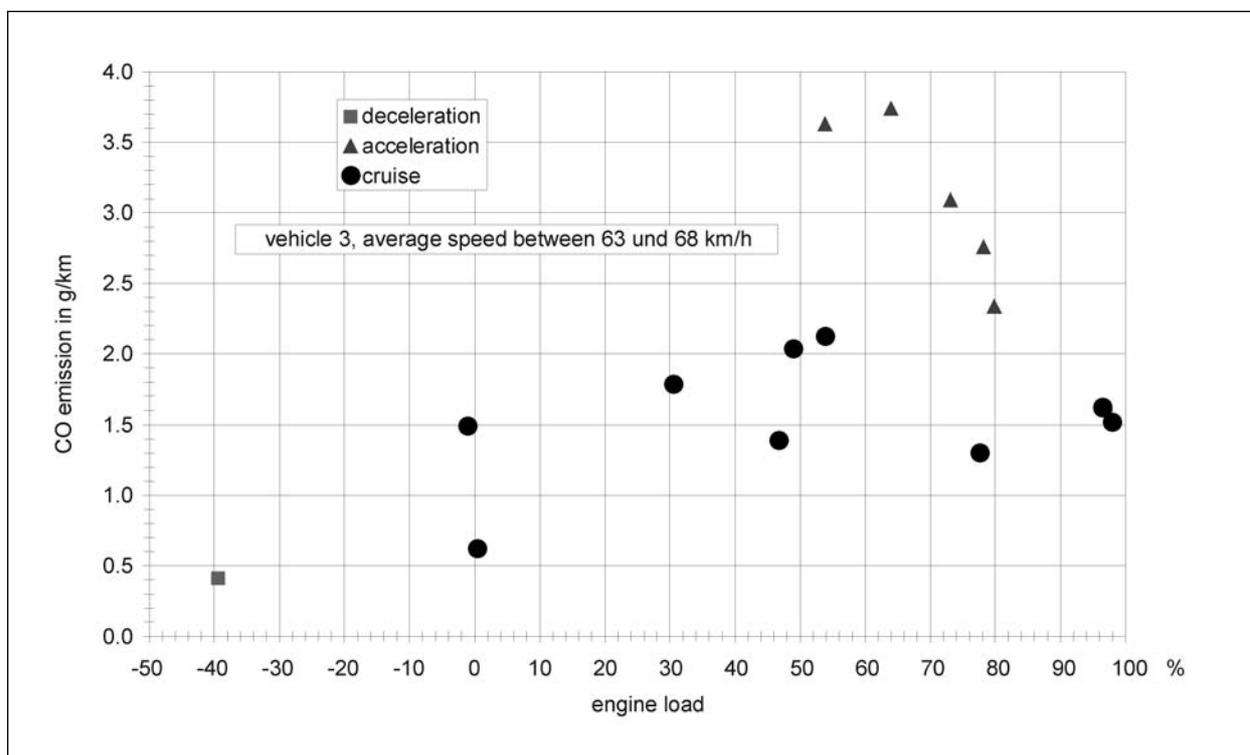


Bild 39: CO-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von der Motorbelastung

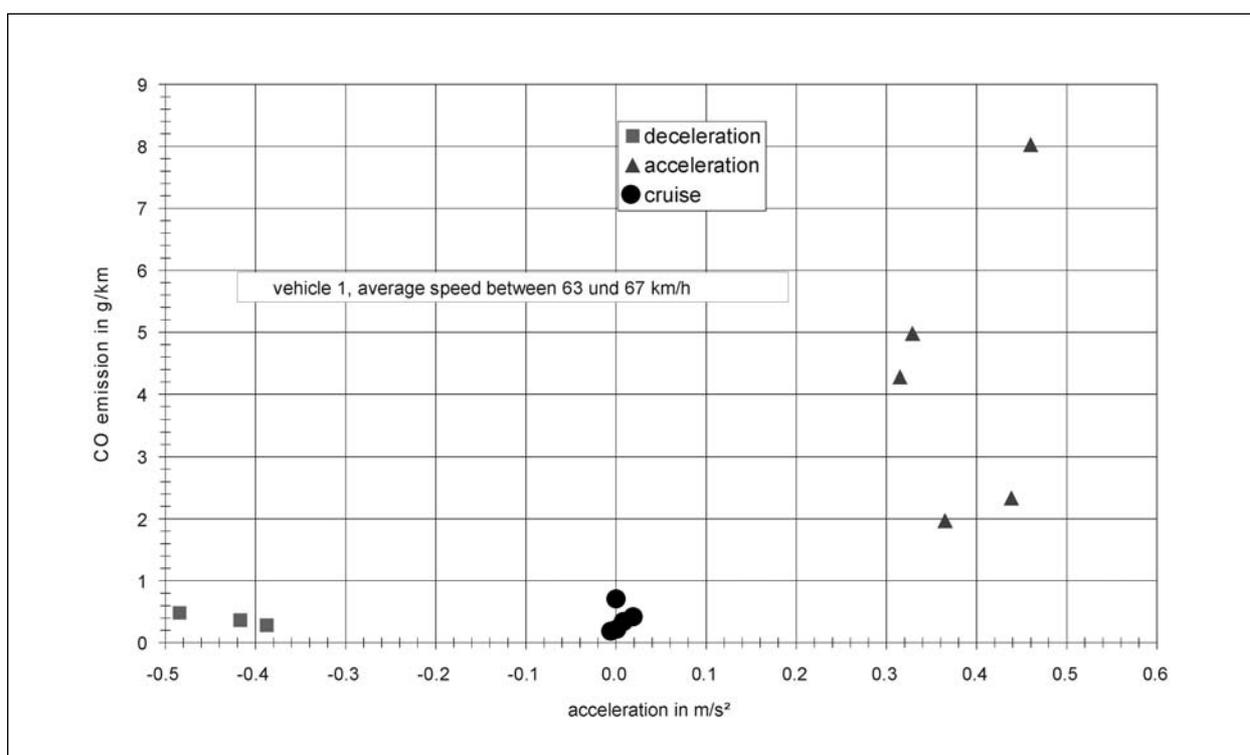


Bild 40: CO-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von der Beschleunigung

das Fahrzeug 1 die höchsten NO_x-Emissionen aufweist. Das Verteiler-Fahrzeug hat erwartungs- gemäß deutlich geringere NO_x-Emissionen als die Lastzüge.

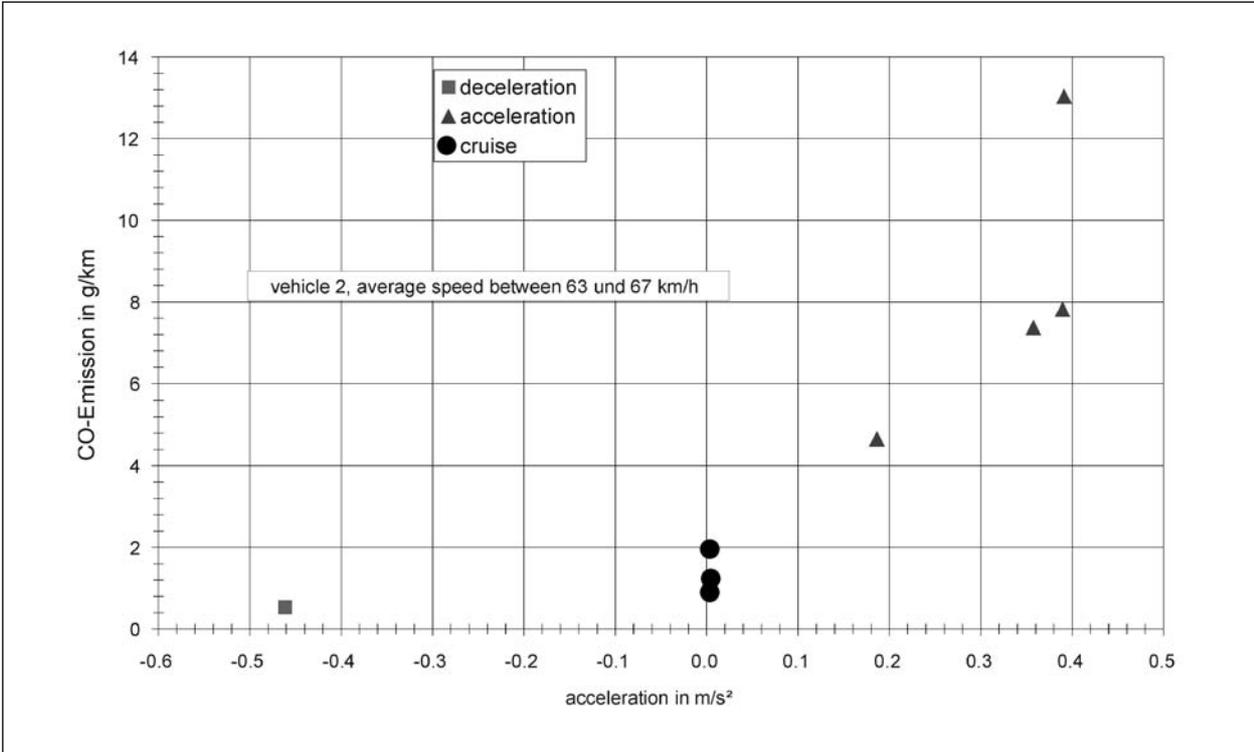


Bild 41: CO-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von der Beschleunigung

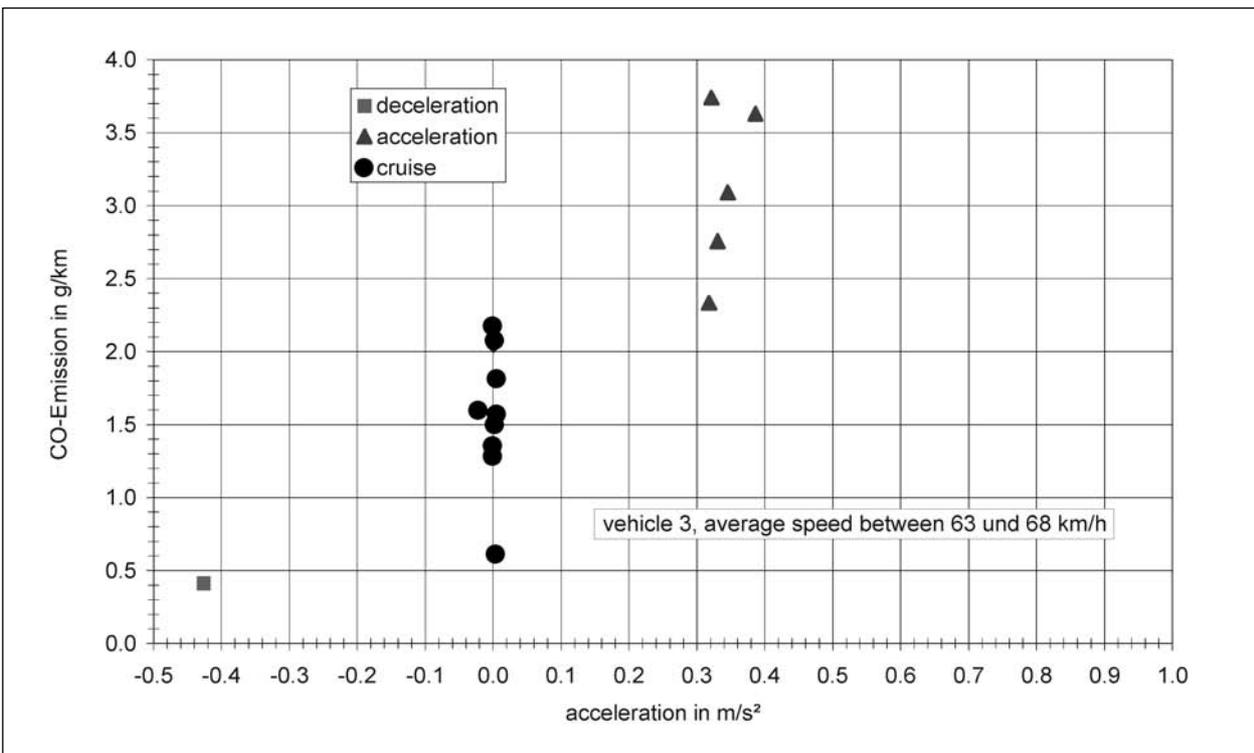


Bild 42: CO-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von der Beschleunigung

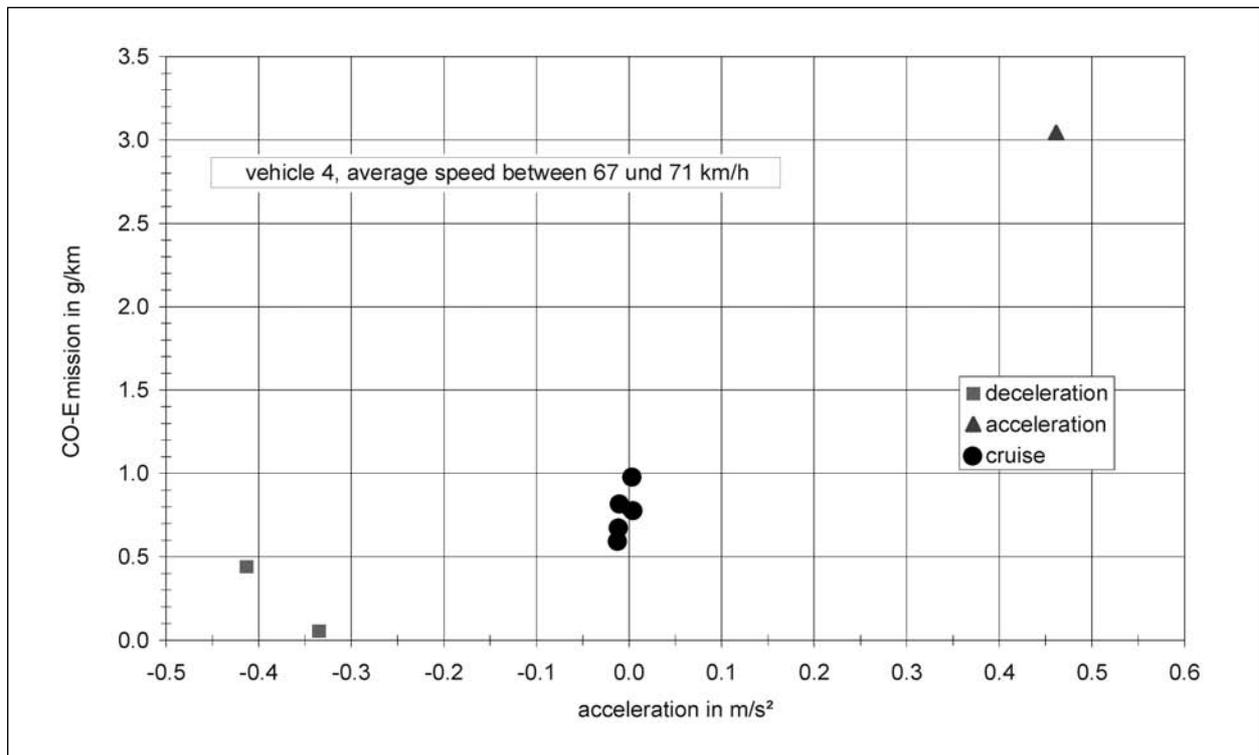


Bild 43: CO-Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von der Beschleunigung

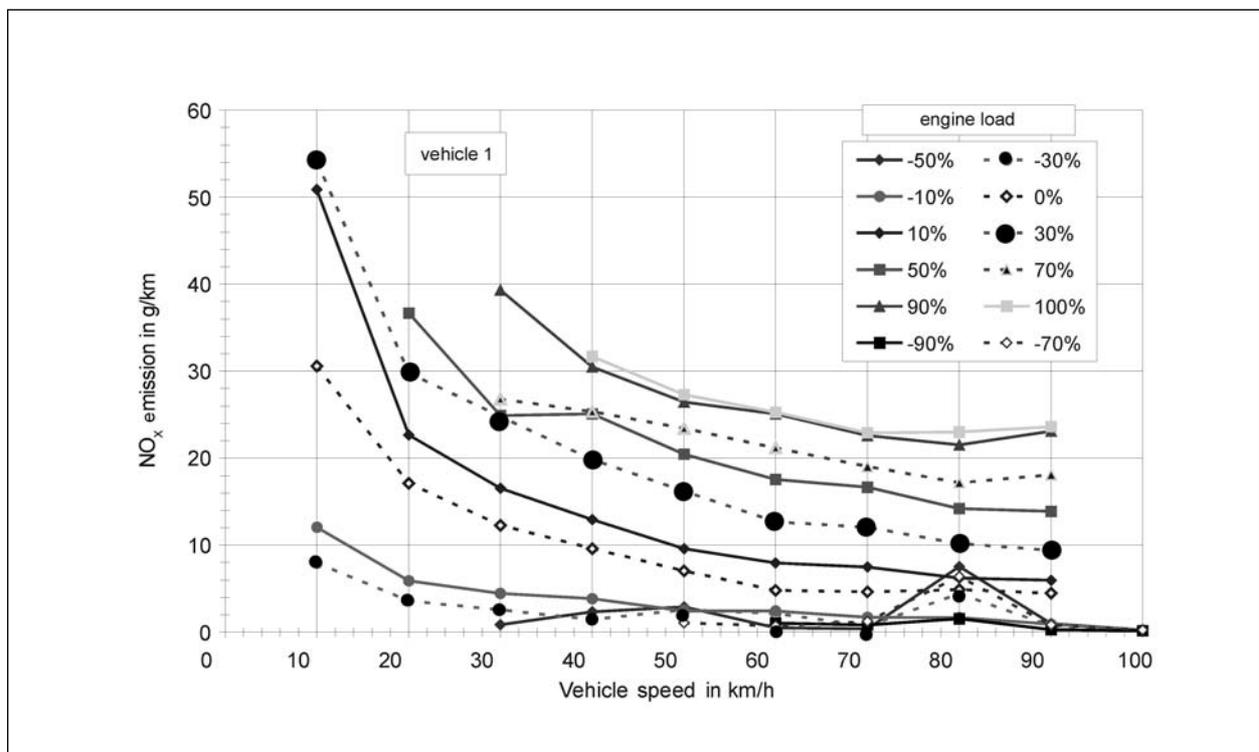


Bild 44: NO_x-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

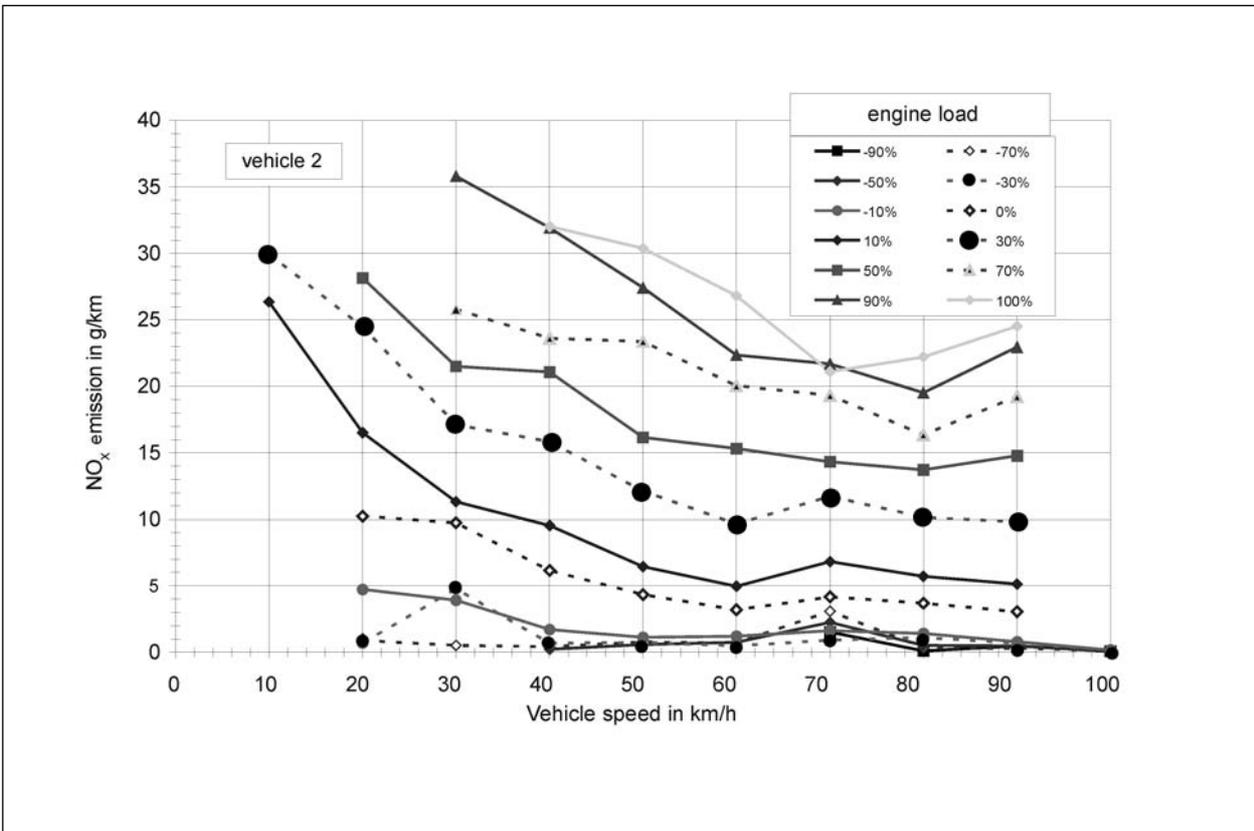


Bild 45: NO_x-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

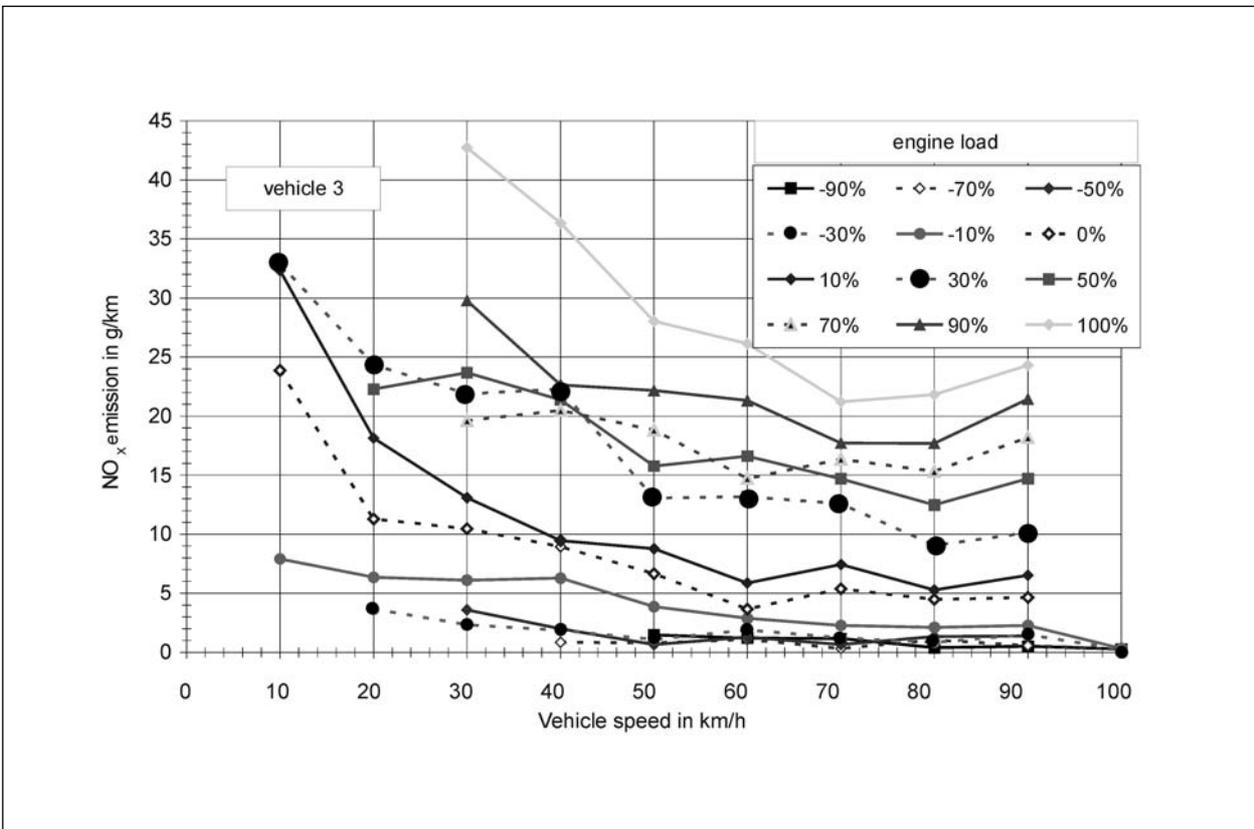


Bild 46: NO_x-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

Die Ergebnisse für das gesamte CO_2 sind in den Bildern 48 bis 51 zusammengestellt. Es ergibt sich ein ähnlicher Trend wie bei den NO_x -Emissionen.

Die CO_2 -Emissionen und somit auch der Kraftstoffverbrauch der drei Lastzüge sind bei 80 km/h etwa doppelt so hoch wie die des Verteiler-Fahrzeugs.

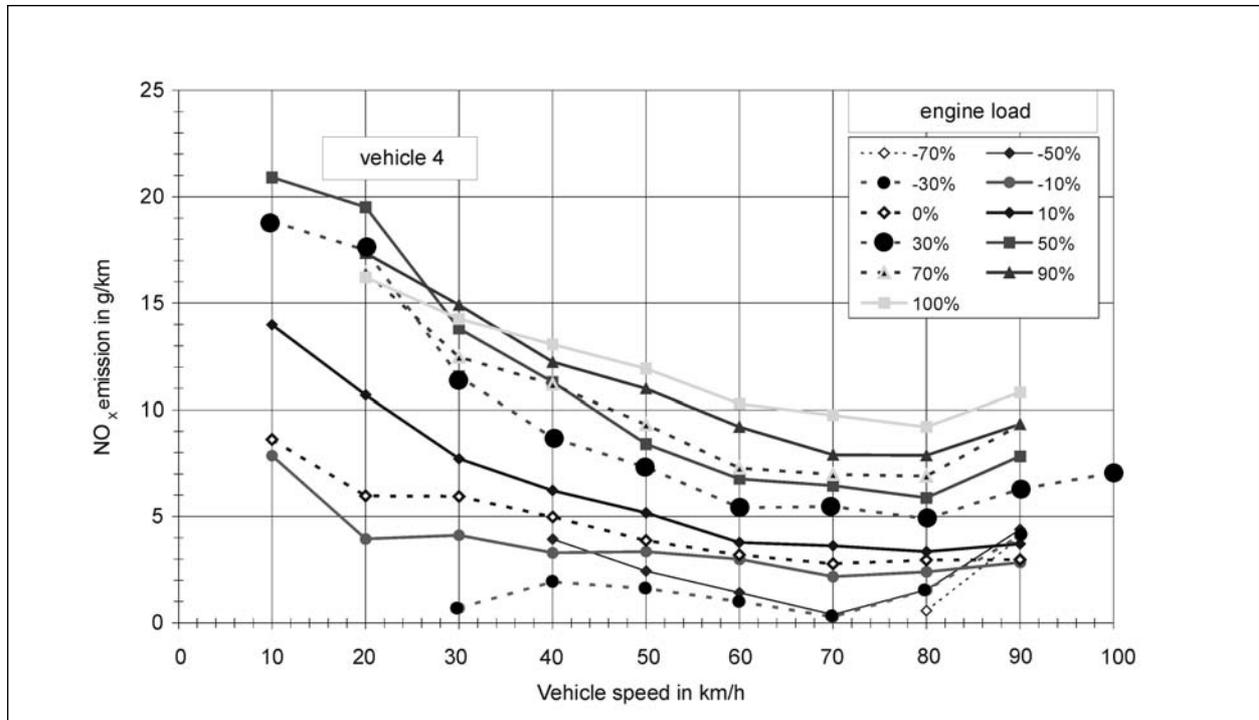


Bild 47: NO_x -Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

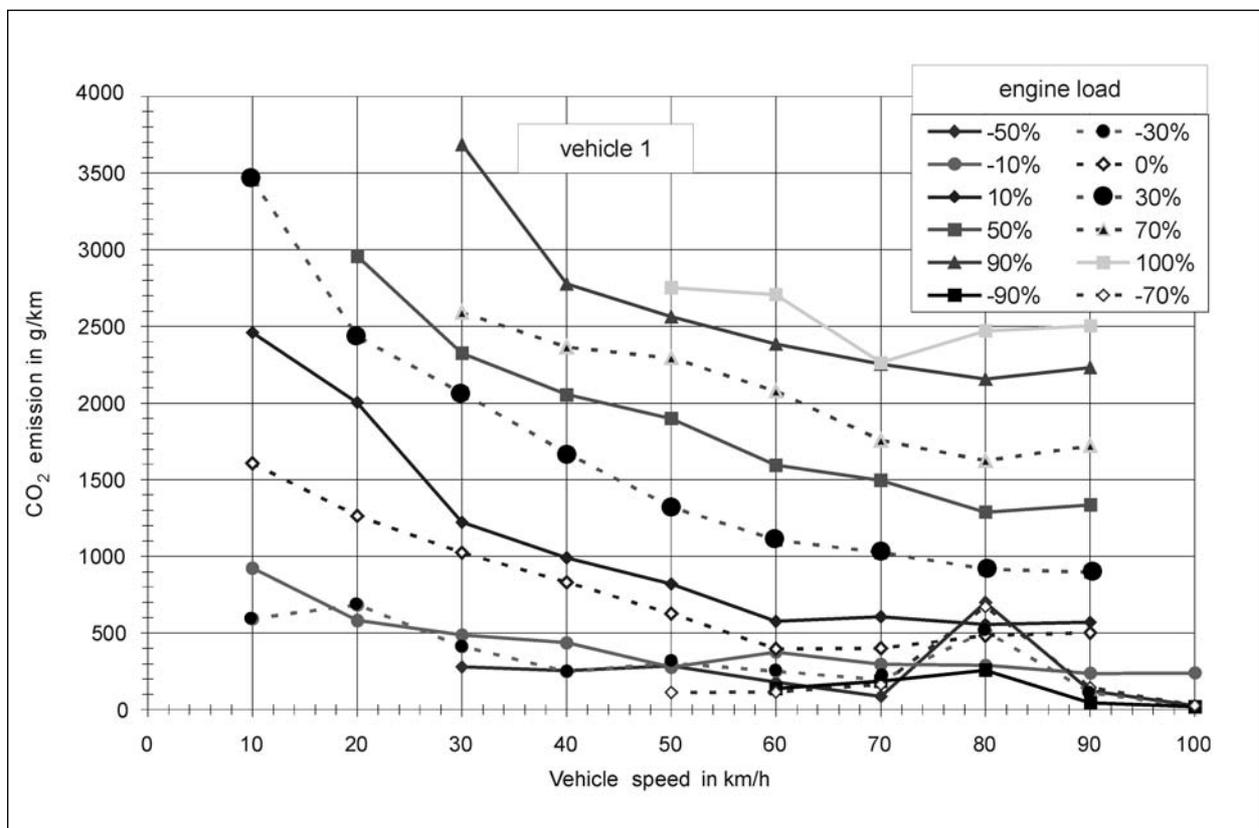


Bild 48: CO_2 -Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

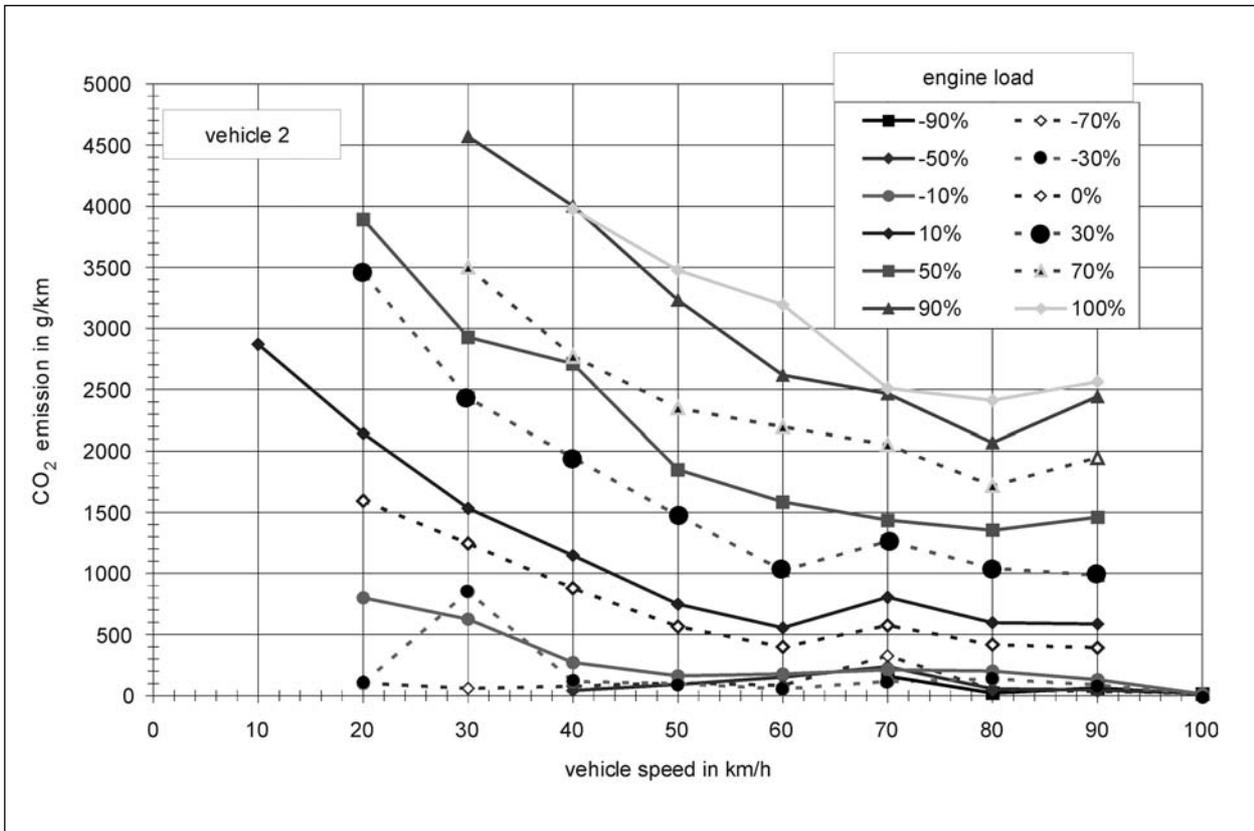


Bild 49: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

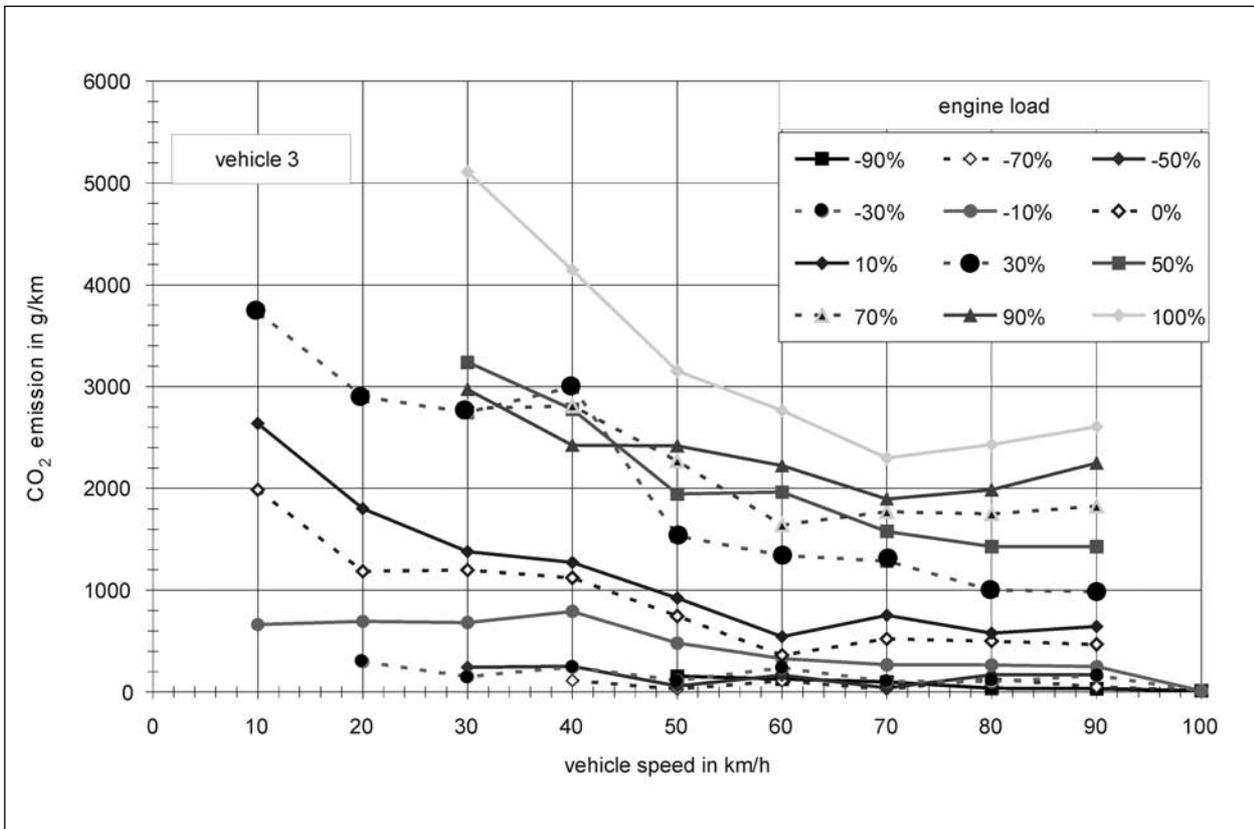


Bild 50: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

Eine entsprechende Analyse für Wegabschnitte von 2 km Länge führte zu gleichen Ergebnissen (Beispiel NO_x , siehe Bild 52).

Die Ergebnisse für HC und CO zeigen keinen so ausgeprägten Lasteinfluss wie NO_x und CO_2 , insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten. Die HC-

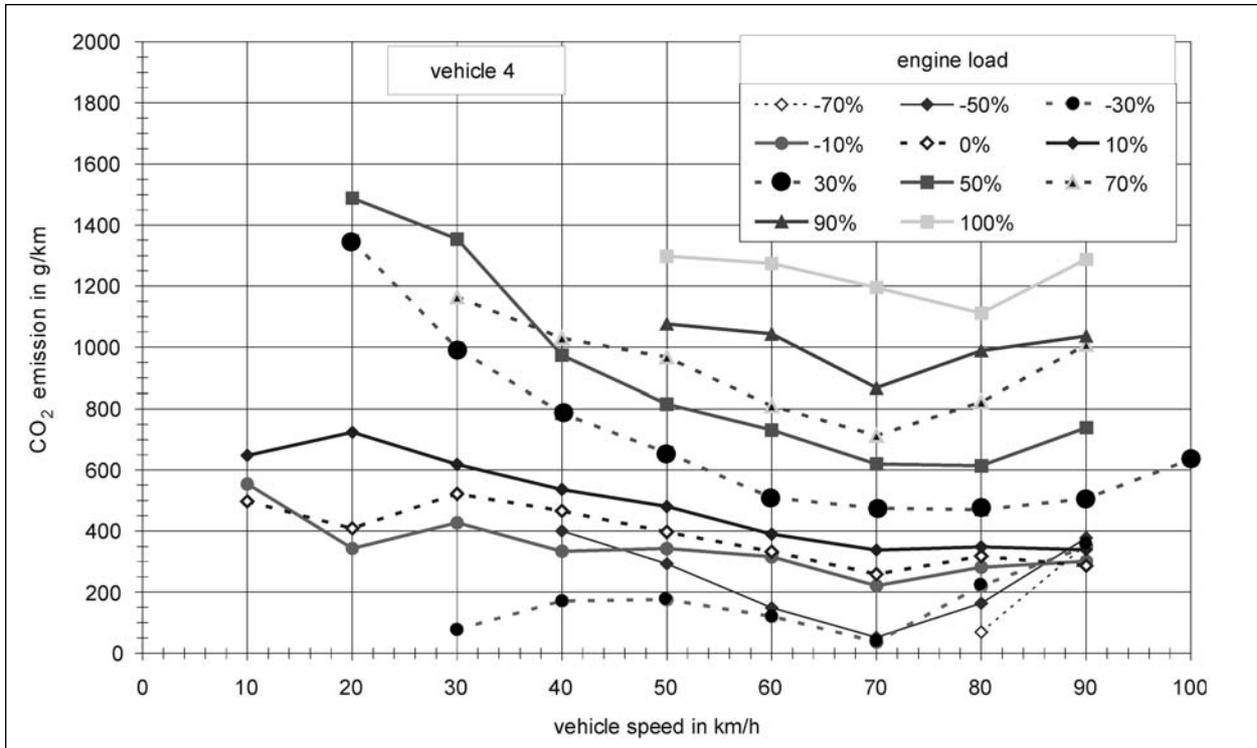


Bild 51: CO₂-Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

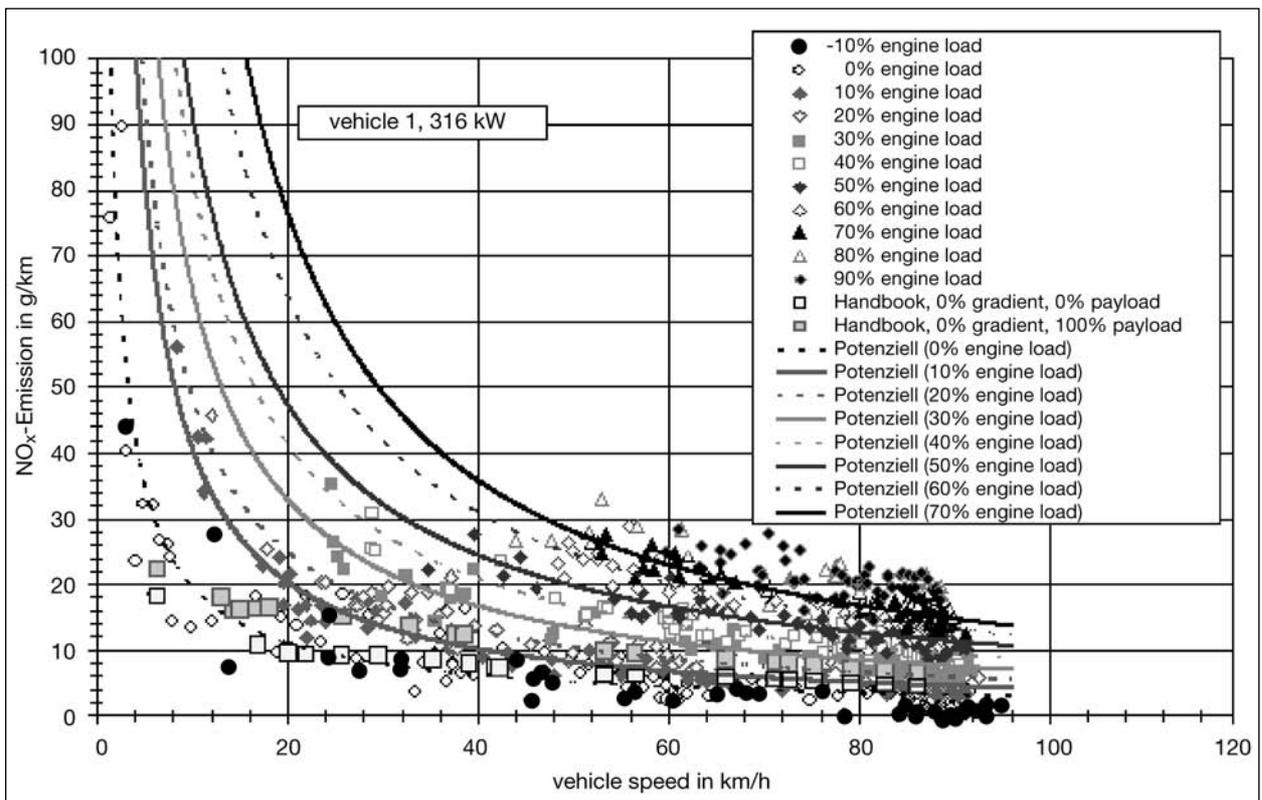


Bild 52: NO_x-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung (aus Wegabschnitten von 2 km Länge bestimmt)

Emissionen in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Motorbelastung sind in den Bildern 53 bis 56 zusammengestellt, die CO-Emissionen in den Bildern 57 bis 60.

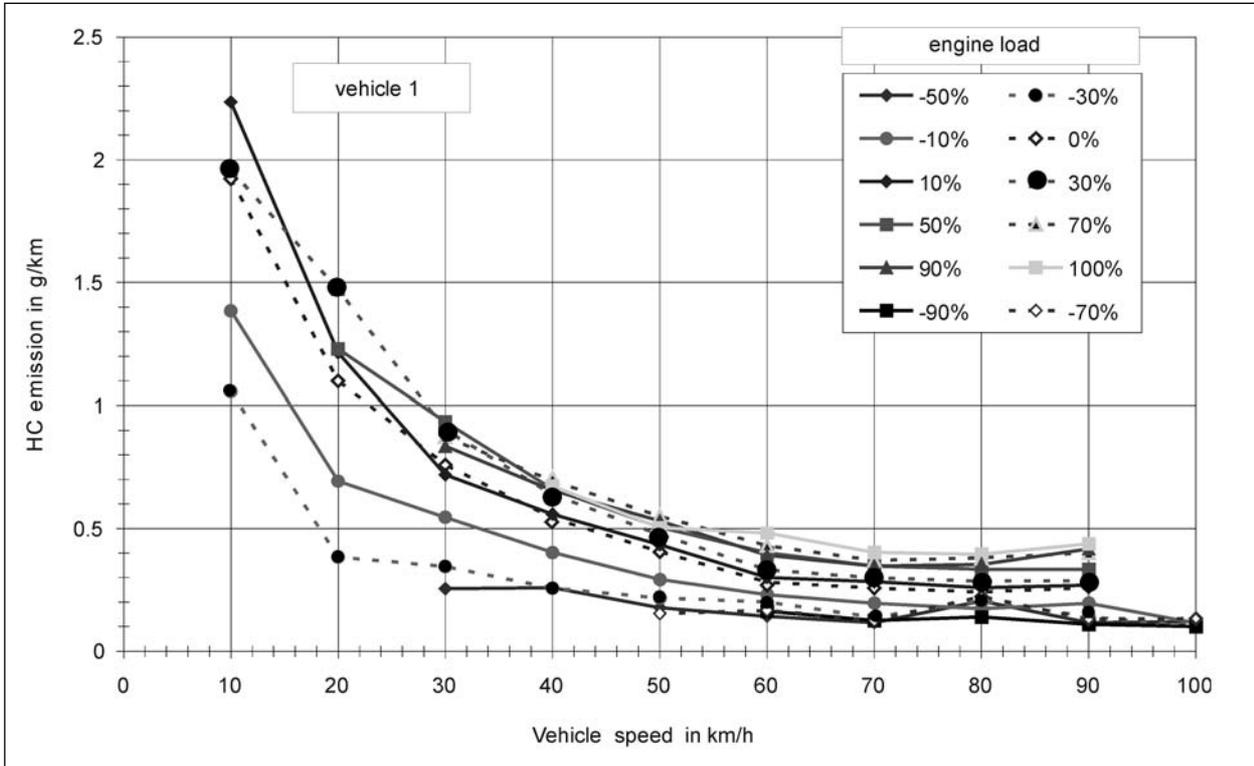


Bild 53: HC-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

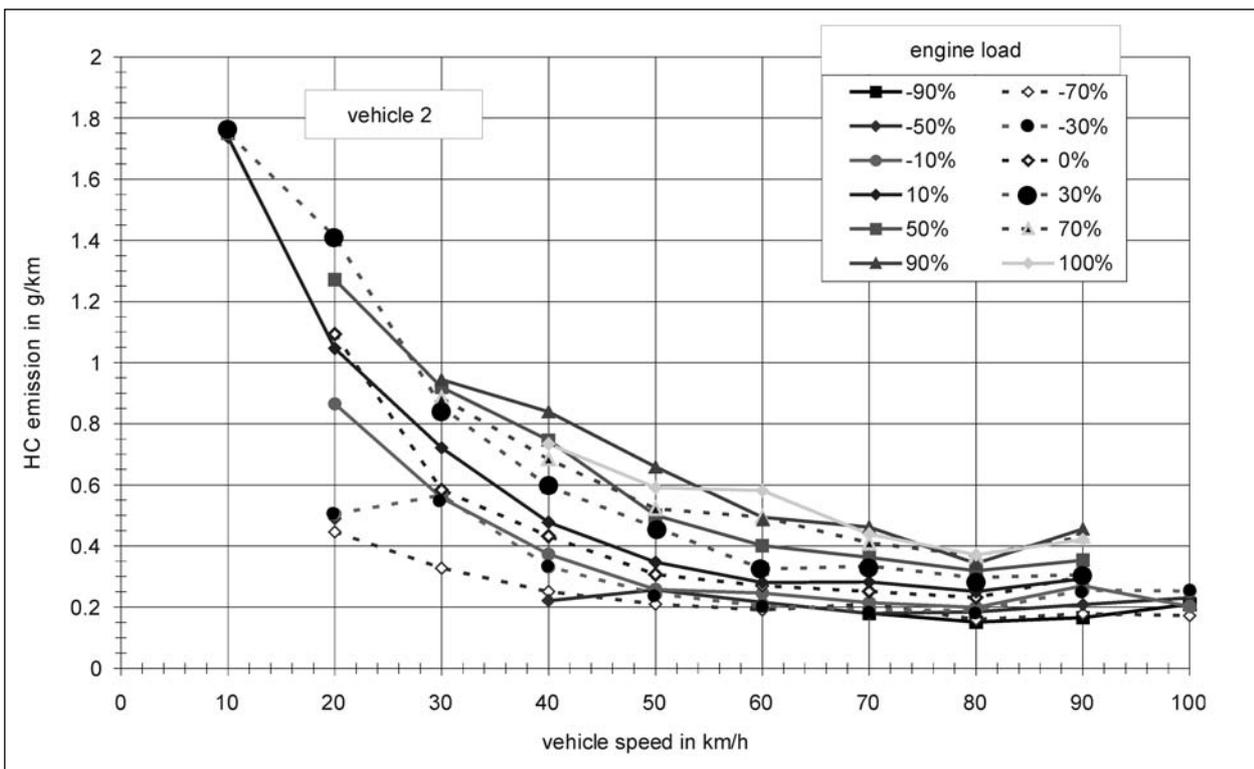


Bild 54: HC-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

Die Motoren der 3 Lastzüge mit 40 t zulässiger Gesamtmasse weisen ähnliche HC-Emissionen auf, die bei niedrigen Geschwindigkeiten bis zu 2 g/km

oder sogar noch darüber reichen. Das Verteilerfahrzeug hat mit bis zu 0,45 g/km deutlich niedrigere HC-Emissionen.

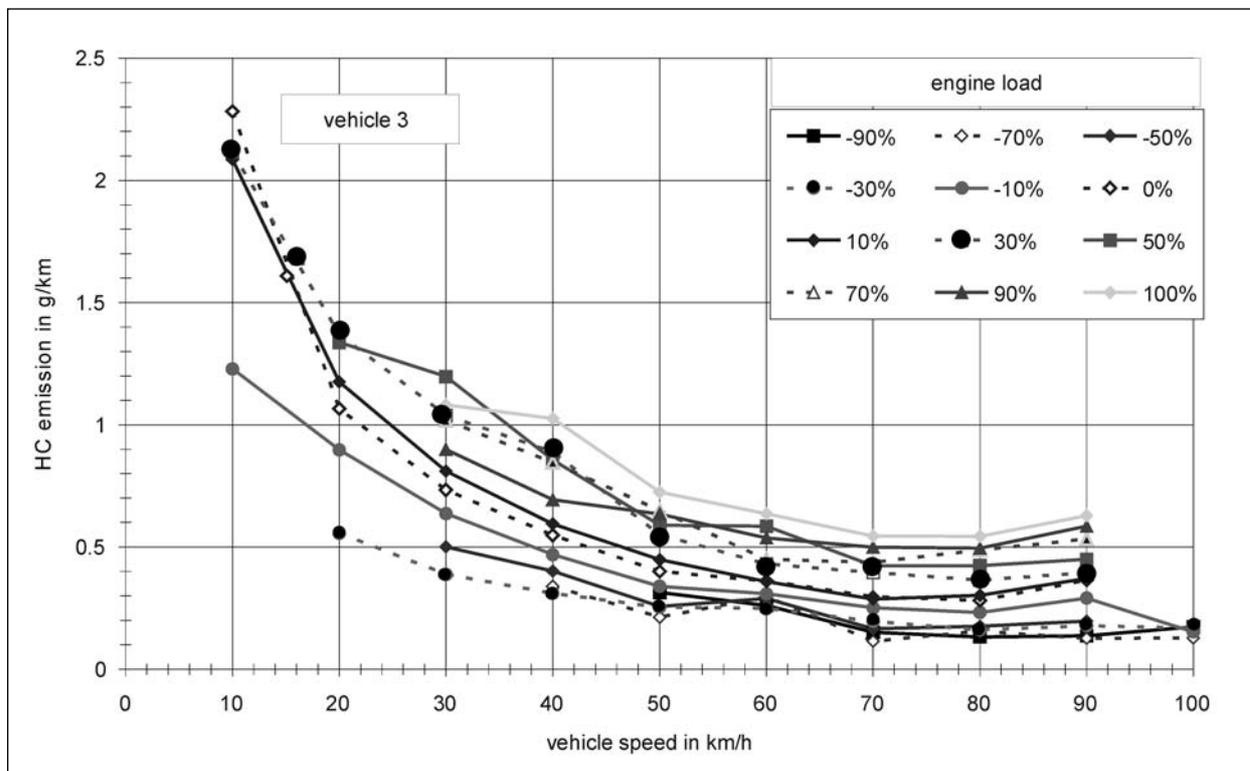


Bild 55: HC-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

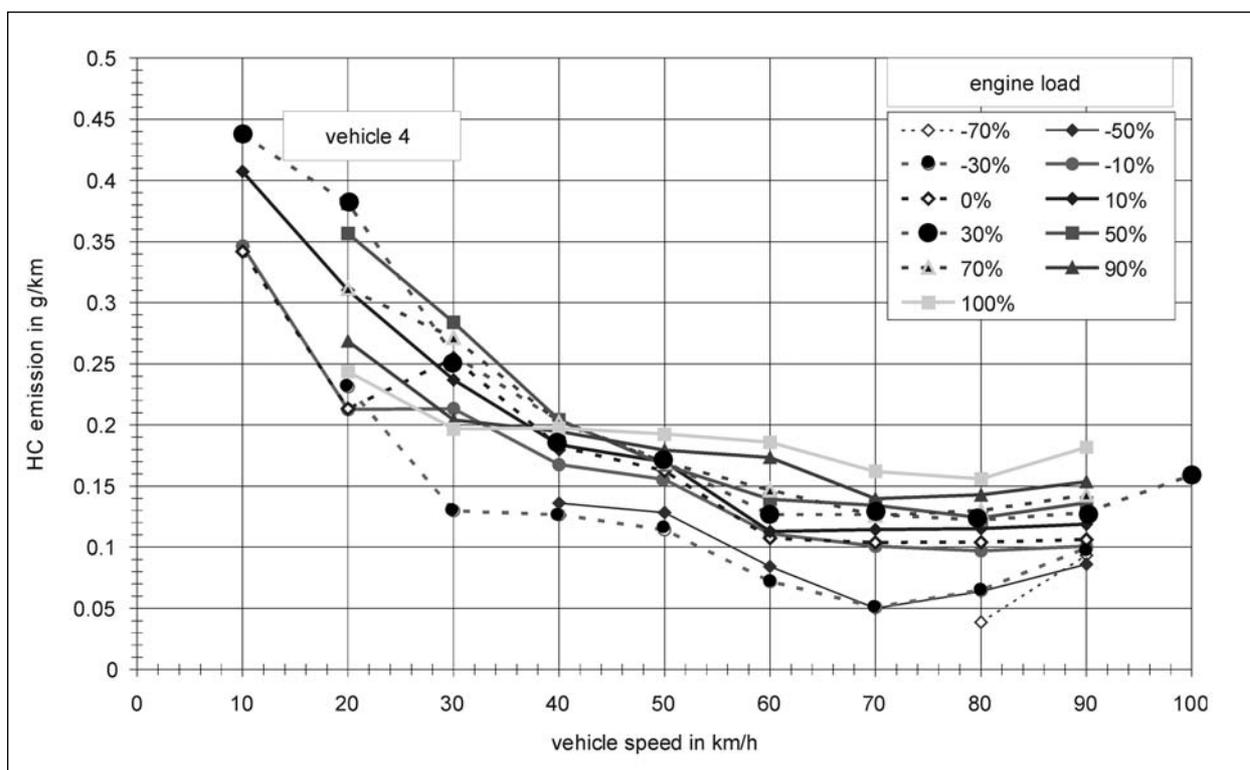


Bild 56: HC-Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

Bei den CO-Emissionen ergeben sich deutlichere Unterschiede zwischen den Fahrzeugen bzw. Motoren. Fahrzeug 2 zeigt deutlich höhere CO-Emissionen als die übrigen Fahrzeuge, der Unterschied

zwischen dem Verteiler-Fahrzeug und den beiden anderen Lastzügen ist dagegen vergleichsweise gering.

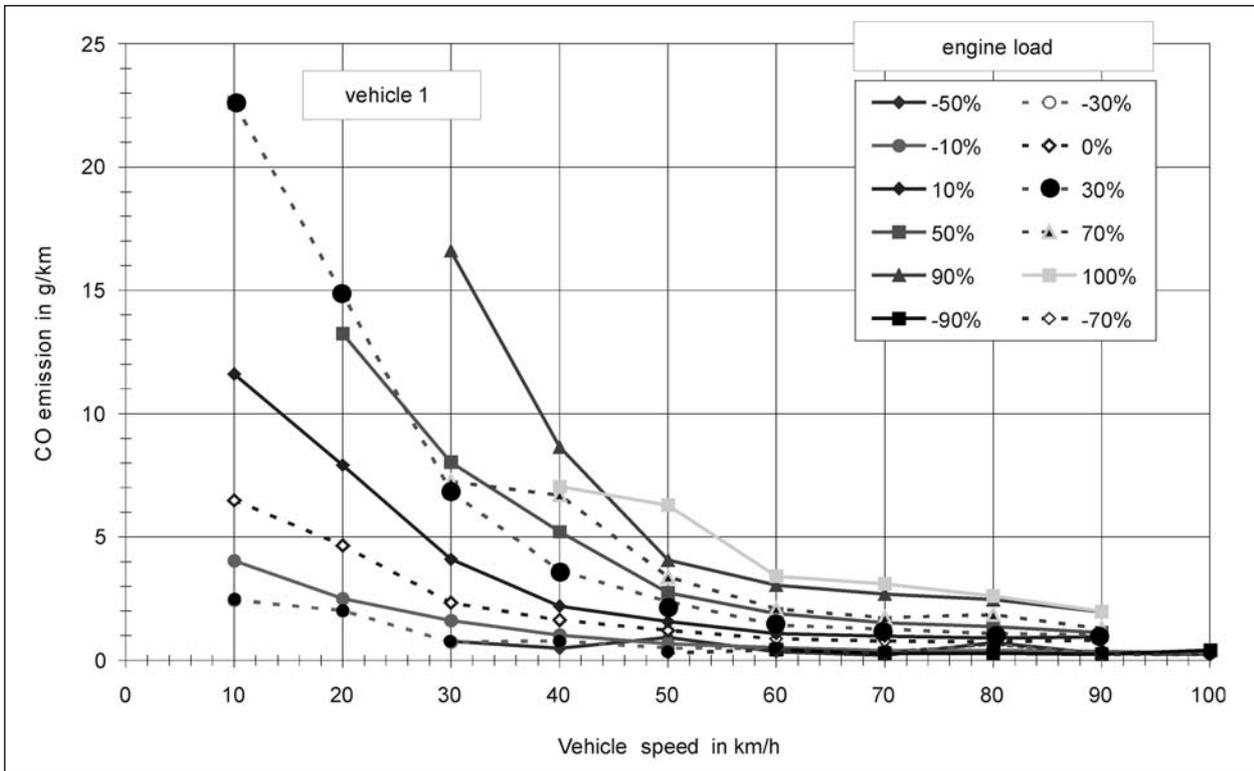


Bild 57: CO-Emissionen des Fahrzeuges 1 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

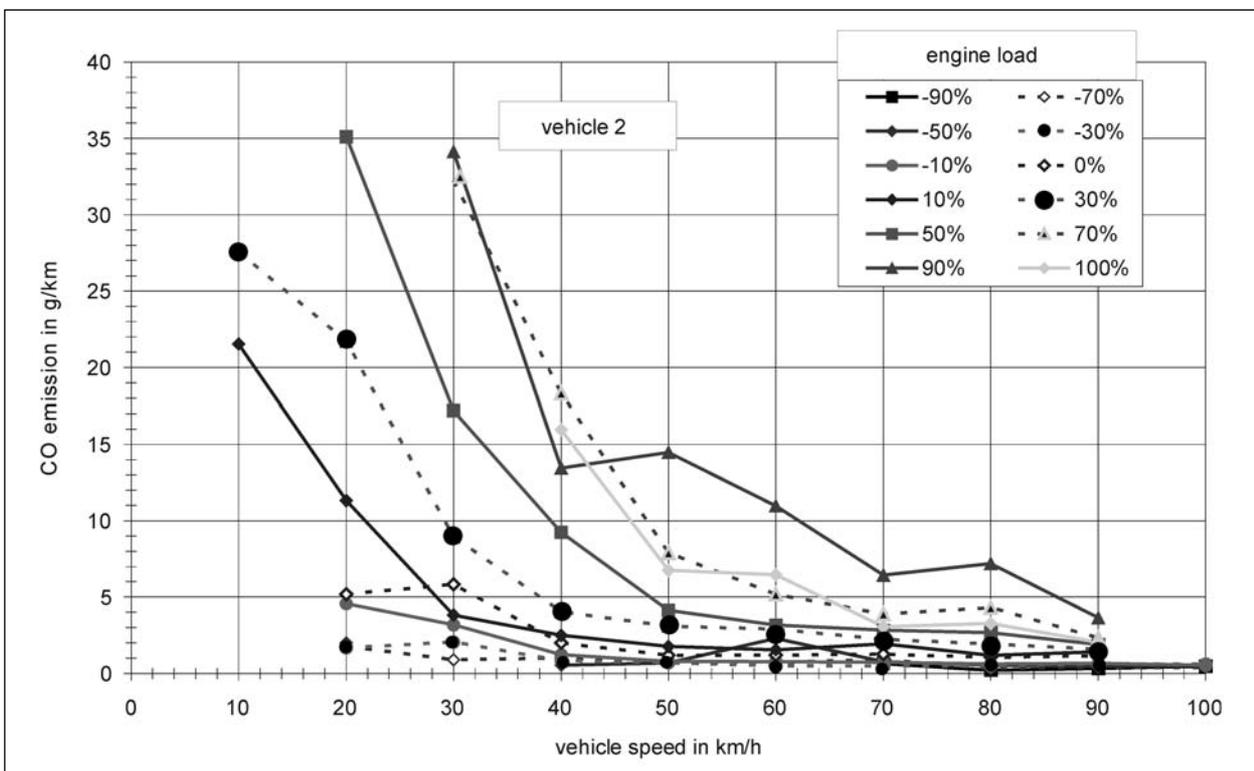


Bild 58: CO-Emissionen des Fahrzeuges 2 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

Um den Einfluss der Beschleunigung auf HC- und CO-Emissionen darstellen zu können, wurden Phasen für Verzögerungsvorgänge, gleichförmige Geschwindigkeit und Beschleunigungsvorgänge für

alle Fahrzeuge separat für die beiden Beladungszustände im Geschwindigkeitsbereich zwischen 30 und 60 km/h und für Längsneigungen zwischen +/- 1 % so ausgewählt, dass die Durchschnittsge-

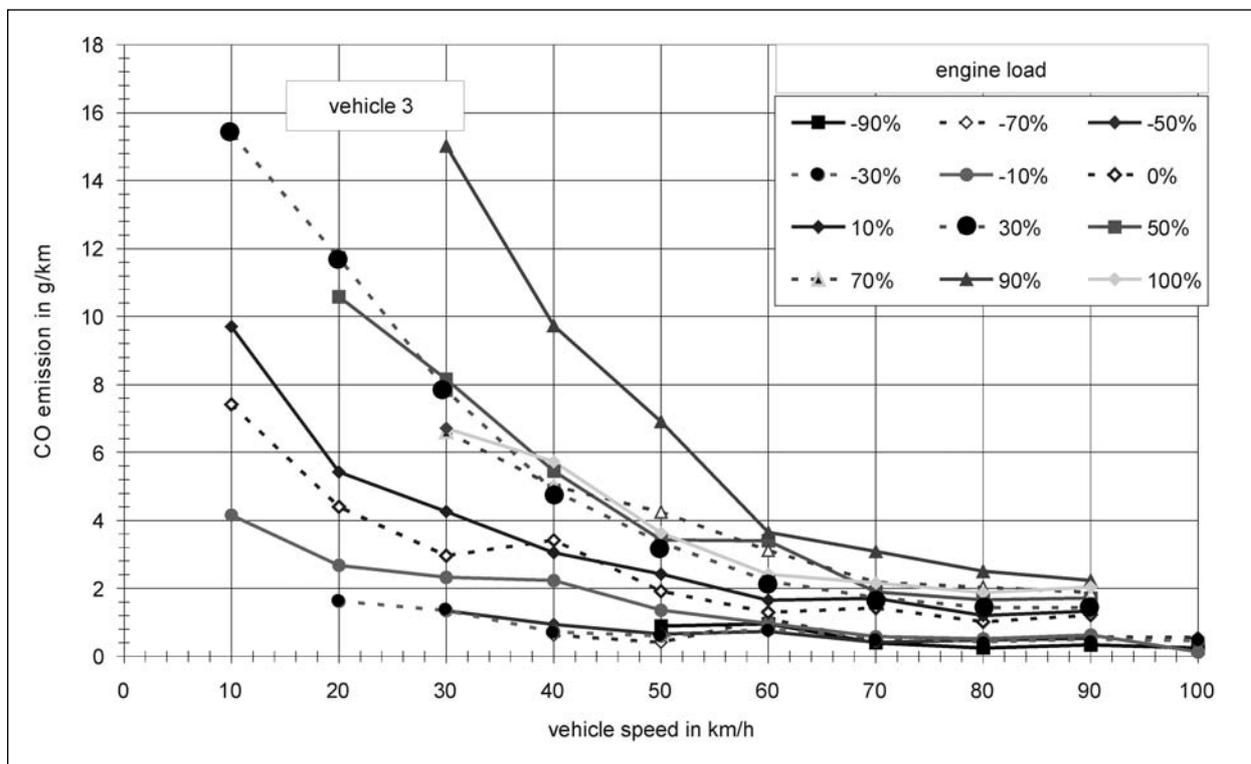


Bild 59: CO-Emissionen des Fahrzeuges 3 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

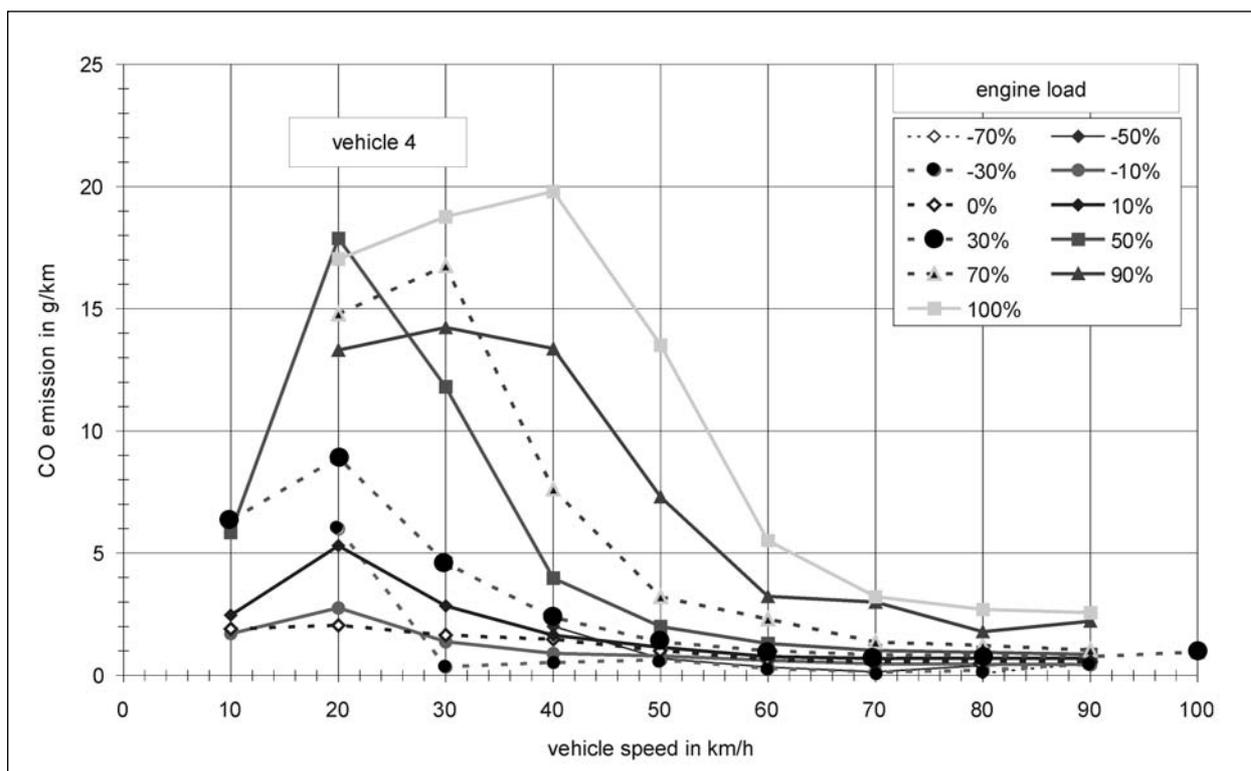


Bild 60: CO-Emissionen des Fahrzeuges 4 in Abhängigkeit von Durchschnittsgeschwindigkeit und Motorbelastung

schwindigkeiten möglichst wenig Varianz aufweisen. Für diese wurden dann die Emissionsfaktoren bestimmt. Eine zusätzliche Unterscheidung beim Fahrzeug 1 nach Getriebeart (manuell oder automatisch) konnte entfallen, weil vorherige Analysen

gezeigt haben, dass dieser Parameter keinen signifikanten Einfluss auf das Emissionsverhalten hatte.

Die wie oben beschrieben ermittelten Emissionsfaktoren sind in den Bildern 61 bis 64 zusammen-

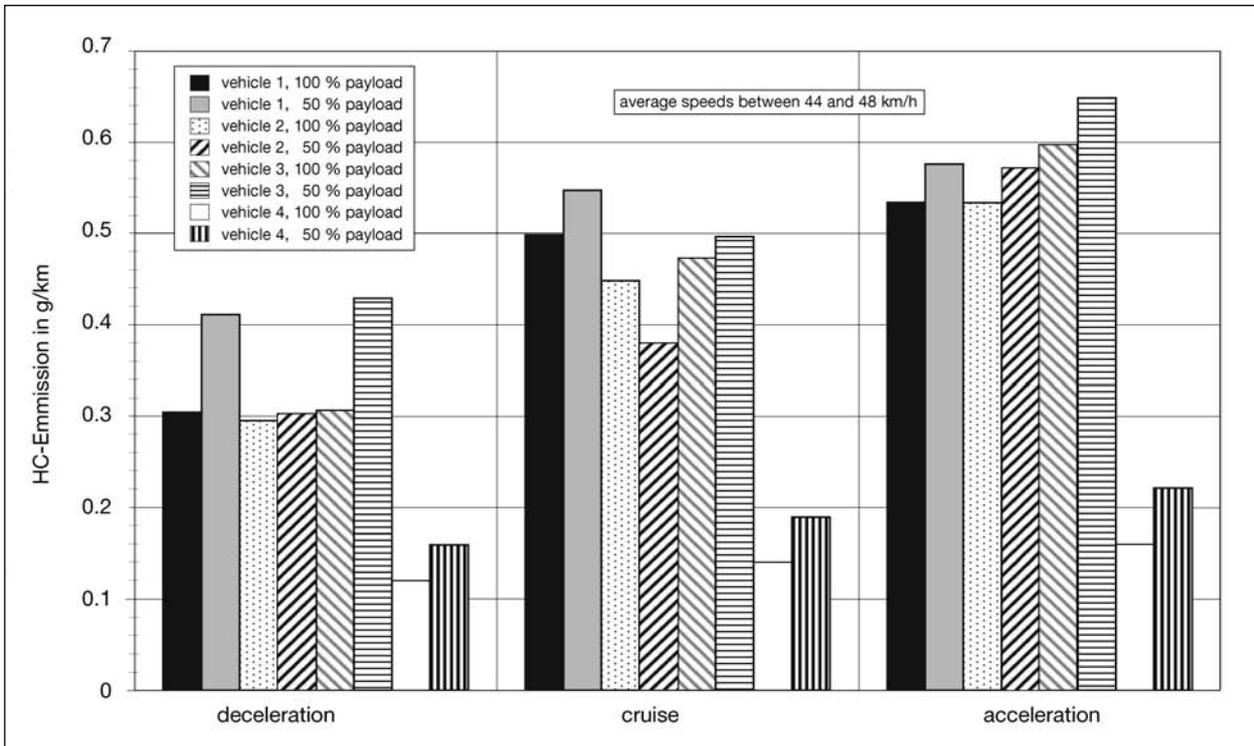


Bild 61: HC-Emissionen für Verzögerungs-, Konstantfahrt- und Beschleunigungsphasen

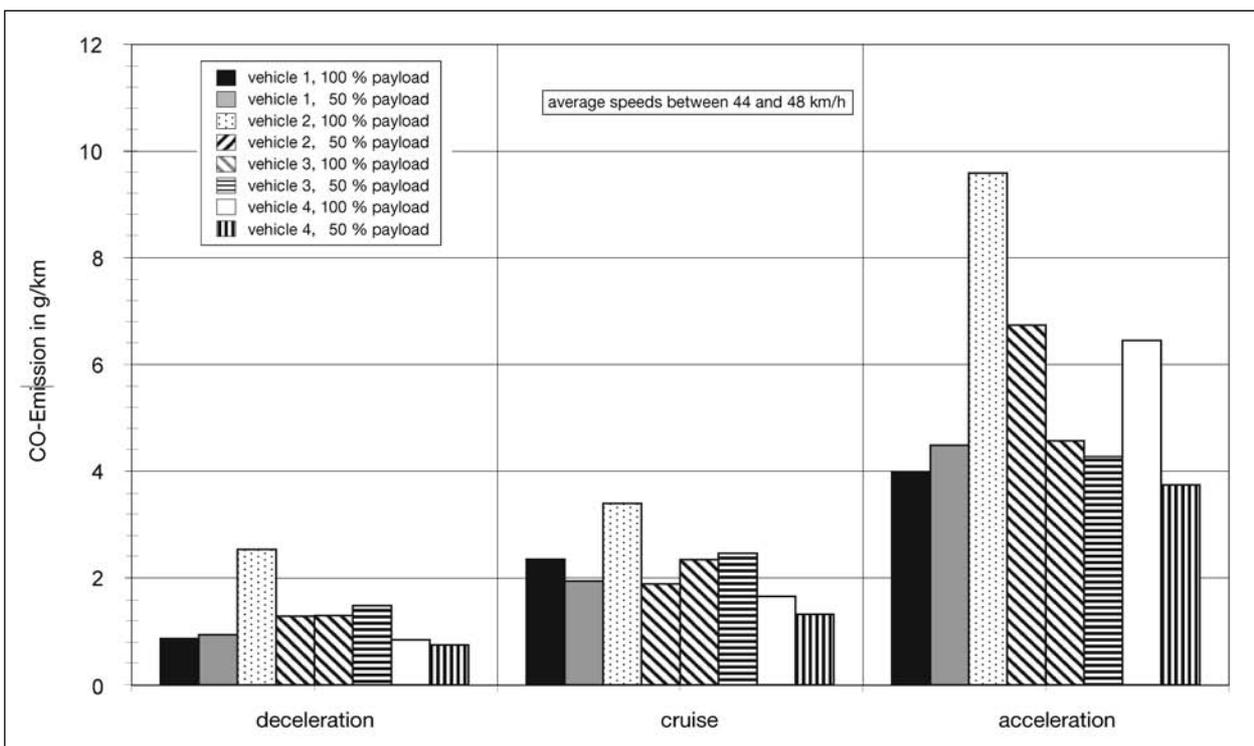


Bild 62: CO-Emissionen für Verzögerungs-, Konstantfahrt- und Beschleunigungsphasen

gestellt. NO_x und CO_2 sind der Vollständigkeit halber auch mit angegeben.

Die Rangfolge ist für alle Fahrzeuge, Beladungszustände und Schadstoffkomponenten eindeutig:

Verzögerungsphasen weisen die niedrigsten Emissionen auf, Beschleunigungsphasen die höchsten.

Hinsichtlich des Beladungszustandes ergeben sich nur bei NO_x und CO_2 eindeutige Trends: Bei voller Zuladung sind die Emissionen bis auf eine

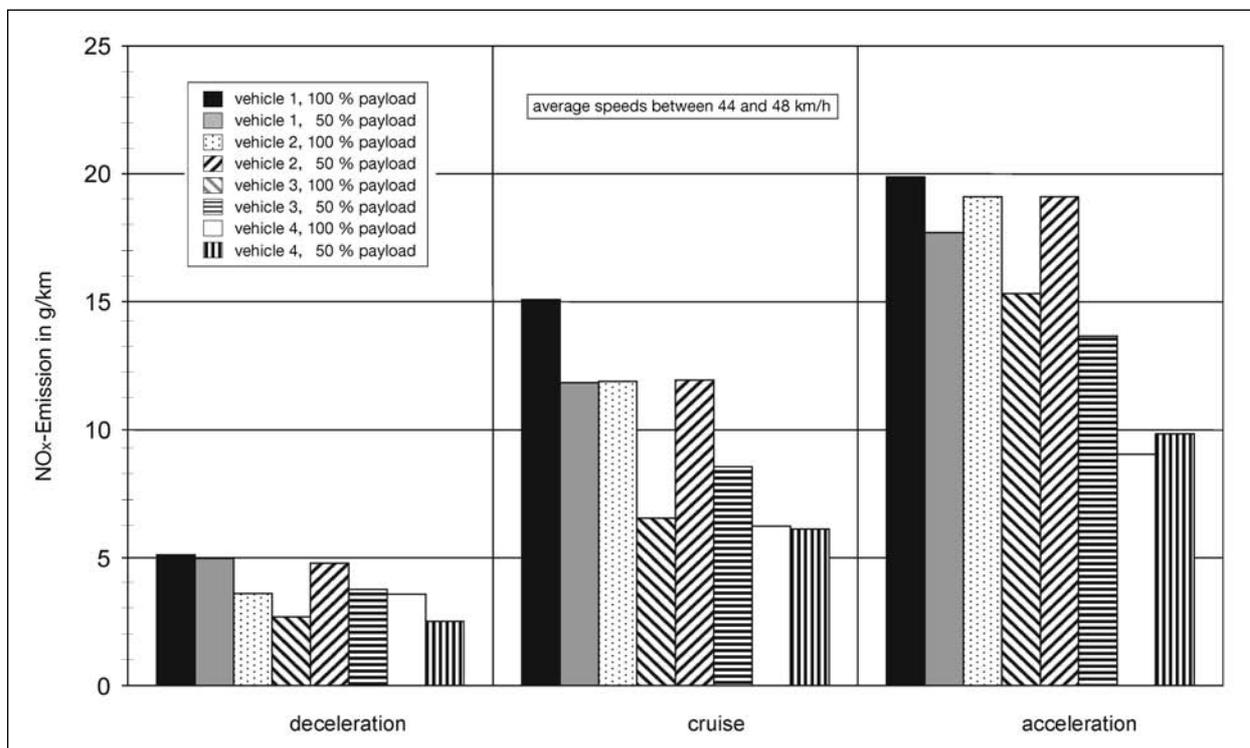


Bild 63: NO_x -Emissionen für Verzögerungs-, Konstantfahrt- und Beschleunigungsphasen

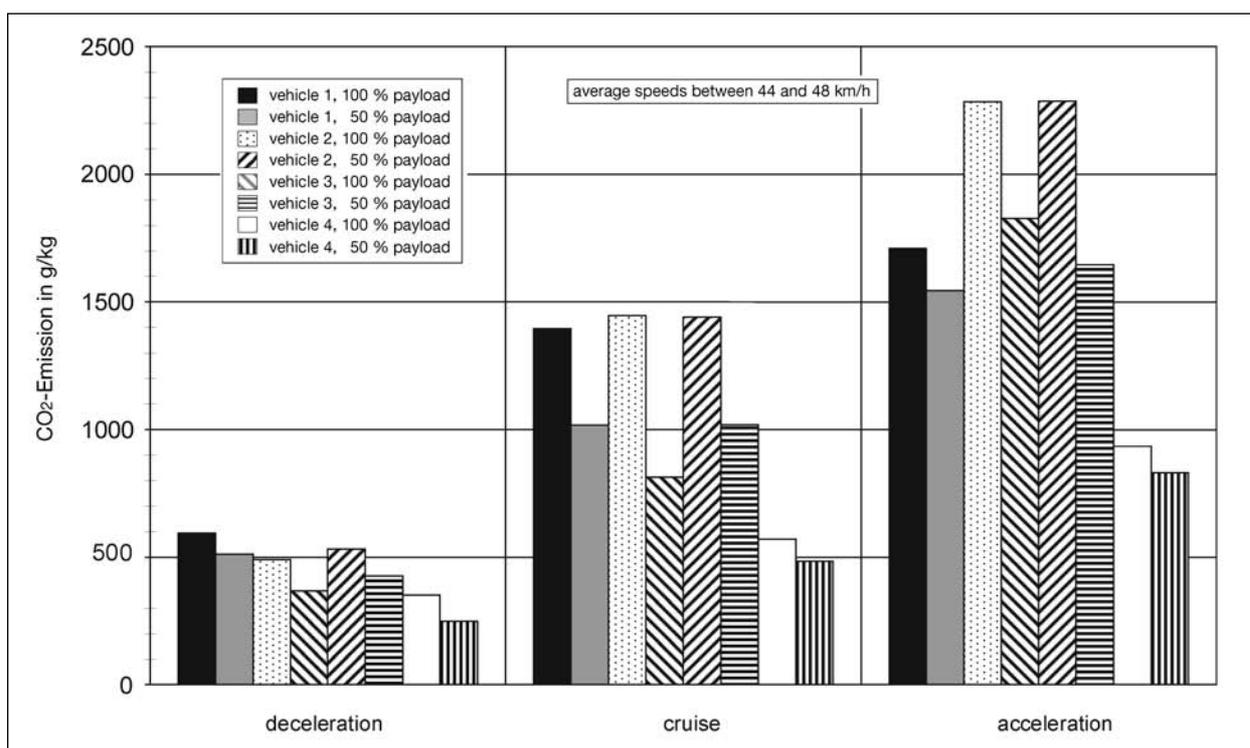


Bild 64: CO_2 -Emissionen für Verzögerungs-, Konstantfahrt- und Beschleunigungsphasen

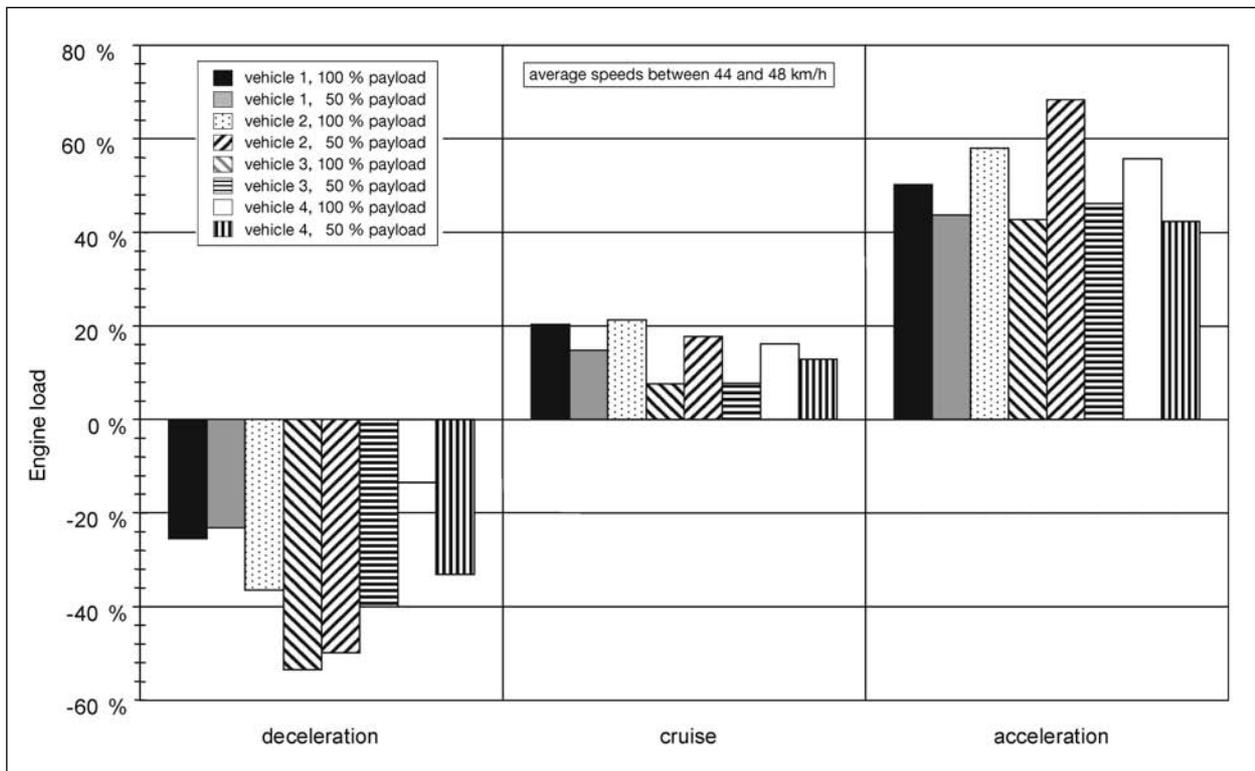


Bild 65: Mittlere Motorbelastungen für Verzögerungs-, Konstantfahrt- und Beschleunigungsphasen

Ausnahme (NO_x bei Fahrzeug 4) deutlich höher als bei halber Zuladung, was aber mit den Unterschieden in der Motorbelastung korreliert (siehe Bild 65). Bei HC sind die Emissionen für halbe Zuladung bei Beschleunigungsvorgängen und überwiegend auch für Konstantfahrten höher als bei voller Zuladung. Bei CO ist dies eher umgekehrt, wobei die Emissionen insgesamt bei Konstantfahrten dicht an den Werten für Verzögerungsphasen liegen und bei Beschleunigungsphasen deutlich höher ausfallen.

4.2.3.3 Ergebnisse für längere Fahrtabschnitte

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden aus den in Anhang A dargestellten Zeitverläufen Fahrtabschnitte für verschiedene Straßentypen/Verkehrssituationen neu ausgewählt, bei denen die Längsneigung nahezu konstant war oder zumindest einen eindeutigen Trend (bergauf, bergab) aufwies.

Aus den Werten für HC, CO und CO₂ wurde der Kraftstoffverbrauch in l/100 km nach folgender Gleichung (gemäß EU-Richtlinie 70/220/EWG) ermittelt:

$$FC = \frac{0.1160}{D} \times (0.862 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2)$$

Gleichung 2

Es bedeuten:

FC Kraftstoffverbrauch in Liter/100 km

HC spez. HC-Emission in g/km

CO spez. CO-Emission in g/km

CO₂ spez. CO₂-Emission in g/km

D ist die Kraftstoffdichte in kg/Liter. Für die Berechnung wurde eine Kraftstoffdichte von 0,832 kg/Liter herangezogen.

Da das Handbuch für Emissionsfaktoren den Kraftstoffverbrauch in g/km angibt, wurde auch dieser Wert bestimmt. Die Ergebnisse für die vier gemessenen Fahrzeuge sind in den Tabellen 16 bis 21 zusammengestellt. „flat“ bedeutet mittlere Längsneigungen zwischen -0,5 % und +0,5 %. „ascend“ kennzeichnet mittlere Längsneigungen über 0,5 %, „descend“ mittlere Längsneigungen unter -0,5 %. eCO₂g bezeichnet den Emissionsfaktor für das nach Gleichung 1 (siehe Kapitel 4.2.3.2) bestimmte gesamte CO₂.

Die entsprechenden Handbuch-Emissionsfaktoren (für 0 % Längsneigung) sind in den Tabellen 22 bis 25 zusammengestellt. Es muss erwähnt werden, dass die im Handbuch verfügbaren Emissionsfaktoren für verschiedene Verkehrssituationen aus

Fahrzeug	Getriebe	Nutzlast in %	Nummer	Beschreibung	ta in s	te in s	Dauer in s	mittl. Längs- neigung in %	Standard- abweichung in %	Weg in m	v_min in km/h	v_ave in km/h	v_max in km/h	durchschn. Motor- belastung in %	durchschnittl. pos. Leistung in %	eHC in g/km	eCO in g/km	eNO _x in g/km	eCO ₂ in g/km	eCO ₂ g in g/km	Kraftstoffverbrauch in g/km	Kraftstoffverbrauch in l/100 km
1	automatic	100	1	urban	214	756	543	-0.4	0.6	2617	0.0	17.3	48.1	8.5	16.4	1.3288	6.01	24.59	1600.3	1613.9	511.1	61.4
1	automatic	100	2	mot, flat	893	1449	545	0.0	0.3	11791	52.1	77.9	90.9	30.8	40.3	0.3280	1.75	10.92	1035.2	1039.0	329.0	39.5
1	automatic	100	3	mot, descend	1450	1621	168	-1.4	0.6	4142	84.0	88.8	94.0	-14.4	10.4	0.2324	0.68	1.16	108.4	110.2	34.9	4.2
1	automatic	100	4	mot, flat, transition	1622	2052	431	0.0	0.3	9438	44.7	78.8	92.1	34.1	35.4	0.3309	1.46	10.50	1029.4	1032.8	327.1	39.3
1	automatic	100	5	mot, ascend	2053	2573	521	0.7	0.5	12800	77.3	88.4	92.7	47.1	42.4	0.3565	1.47	11.58	1199.2	1202.7	380.9	45.8
1	automatic	100	6	mot, flat	2574	2898	317	-0.2	0.8	7658	80.8	87.0	94.2	29.0	40.3	0.2904	1.08	8.97	895.7	898.3	284.5	34.2
1	automatic	100	7	mot, hilly	3066	3662	597	-0.1	0.5	14549	85.5	87.7	93.0	30.0	39.9	0.2634	1.01	8.42	857.9	860.3	272.4	32.7
1	automatic	100	8	mot, flat	3741	4039	299	-0.1	0.2	7297	84.9	87.9	89.9	22.6	35.1	0.2244	0.69	6.87	710.6	712.4	225.6	27.1
1	automatic	100	9	rural, slight ascend	4246	4753	498	0.5	0.6	8042	0.0	58.1	80.4	24.2	33.6	0.3562	1.38	11.79	1123.9	1127.2	357.0	42.9
1	automatic	100	10	mot, mountain, ascend	5346	6801	1436	1.1	1.2	32721	58.6	82.0	98.2	56.5	68.4	0.2226	1.79	13.31	1441.0	1444.5	457.5	55.0
1	automatic	100	11	rural, ascend	7844	8342	497	1.8	0.7	6043	13.1	43.8	63.6	41.4	41.1	0.5202	2.57	21.27	2123.8	2129.4	674.4	81.1
1	automatic	100	12	rural, descend	8343	8493	140	-1.5	0.6	2368	40.3	60.9	70.6	-0.1	13.2	0.2436	1.07	4.26	390.8	393.2	124.5	15.0
1	automatic	100	13	rural, ascend	8547	8806	258	2.0	1.2	4134	48.2	57.7	69.6	54.6	53.1	0.4664	2.14	21.31	2200.0	2204.9	698.2	83.9
1	automatic	100	14	rural, descend	8811	9306	481	-1.9	0.6	6550	0.0	49.0	70.9	-7.7	22.2	0.2044	1.25	4.87	429.1	431.7	136.7	16.4
1	automatic	100	15	rural, descend	9626	10332	691	-0.8	0.4	10040	0.0	52.3	72.5	14.1	21.6	0.3646	1.56	9.23	771.0	774.6	245.3	29.5
1	automatic	100	16	rural, ascend	10367	10749	381	2.9	2.0	4646	0.0	43.9	66.4	52.3	59.3	0.5541	3.30	20.67	2426.5	2433.4	770.6	92.6
1	automatic	100	17	rural, descend	10756	10919	152	-1.8	0.7	1944	0.0	46.0	72.2	-6.4	23.7	0.2361	1.10	5.71	532.9	535.3	169.5	20.4
1	automatic	100	18	mot, descend	11555	12046	429	-2.2	1.1	10958	87.4	92.0	94.8	-36.1	41.8	0.0878	0.22	1.34	153.6	154.2	48.8	5.9
1	automatic	100	19	mot, hilly	12047	12385	332	0.2	1.1	8211	85.3	89.0	94.5	39.3	52.6	0.2481	0.83	10.68	1183.2	1185.3	375.4	45.1
1	automatic	100	20	mot, ascend	12387	12537	151	2.0	1.2	3136	62.1	74.8	94.3	72.0	76.7	0.2857	1.89	15.62	1752.1	1755.9	556.1	66.8
1	automatic	100	21	mot, descend	12538	12726	171	-2.2	0.7	4335	87.9	91.3	94.4	-33.5	11.1	0.1110	0.31	1.03	106.5	107.3	34.0	4.1
1	automatic	100	22	mot, hilly, transition	12729	13483	749	0.0	1.0	17417	33.1	83.7	91.5	31.3	44.3	0.2578	0.82	9.12	1011.6	1013.7	321.0	38.6
1	automatic	100	23	mot, flat	13595	13967	373	0.0	0.5	9058	82.3	87.4	91.1	29.5	38.6	0.2221	0.70	7.45	826.6	828.4	262.3	31.5
1	manual	100	1	urban, flat	15	612	594	-0.3	1.2	2490	0.0	15.1	47.5	13.8	14.7	1.2473	8.42	35.53	1777.8	1795.0	568.4	68.3
1	manual	100	2	mot, flat	2083	2482	392	-0.2	0.5	8833	69.0	81.1	89.1	33.6	38.8	0.2880	1.44	9.74	928.2	931.3	294.9	35.4
1	manual	100	3	mot, descend	2489	2683	193	-1.1	0.5	4822	84.9	89.9	93.8	-6.5	28.8	0.1420	0.70	2.97	308.2	309.7	98.1	11.8
1	manual	100	4	mot, flat, transition	2728	3278	545	0.1	0.4	12239	43.8	80.8	89.9	35.6	39.1	0.2719	1.33	9.52	981.4	984.4	311.7	37.5
1	manual	100	5	mot, descend	3439	4008	569	0.7	0.7	13308	73.8	84.2	91.2	50.4	48.6	0.2806	1.47	12.57	1240.0	1243.2	393.7	47.3
1	manual	100	6	mot, hilly	4249	4676	428	0.0	0.7	10310	84.5	86.7	92.0	25.1	39.4	0.2044	0.80	7.42	660.4	662.3	209.7	25.2
1	manual	100	7	mot, flat	4677	4986	310	-0.1	0.3	7443	84.9	86.4	89.6	32.3	33.4	0.2490	0.81	8.46	803.5	805.6	255.1	30.7
1	manual	100	8	mot, slight descend	4987	5301	315	-0.2	0.5	7595	84.1	86.8	89.2	19.1	35.1	0.1968	0.58	5.75	505.6	507.2	160.6	19.3
1	manual	100	9	rural, hilly	5376	5742	367	-0.1	0.3	5382	20.4	52.8	83.4	20.7	30.2	0.3390	1.59	10.59	937.2	940.7	297.9	35.8
1	manual	100	10	mot, flat	5888	6094	207	0.0	0.2	5045	87.0	87.7	89.5	39.7	39.1	0.2954	0.86	10.30	1015.0	1017.2	322.1	38.7
1	manual	100	11	mot, ascend	6144	6328	185	2.1	0.6	4078	61.6	79.4	87.7	83.3	65.8	0.3175	1.49	18.62	1770.6	1773.9	561.8	67.5
1	manual	100	12	mot, mountain	6376	7494	1093	0.5	1.5	24267	55.7	79.9	94.3	39.7	60.3	0.1869	1.13	12.86	1180.8	1183.2	374.7	45.0
1	manual	100	13	mot, ascend	7495	8573	1079	1.3	0.9	20574	0.0	68.6	93.2	53.4	55.7	0.2538	1.65	17.01	1557.3	1560.7	494.2	59.4
1	manual	100	15	rural, flat	9271	9387	117	-0.2	0.3	1931	56.1	59.4	61.9	30.2	28.0	0.2571	1.22	11.32	818.5	821.3	260.1	31.3
1	manual	100	16	rural, ascend	9652	9973	311	1.7	0.7	4881	45.1	56.5	72.2	61.7	54.2	0.3221	2.58	22.11	2029.6	2034.7	644.3	77.4
1	manual	100	17	rural, descend	9978	10110	127	-1.2	0.5	2152	49.1	61.0	67.7	-4.7	11.2	0.2150	0.83	3.87	202.6	204.6	64.8	7.8
1	manual	100	18	rural, ascend	10156	10400	245	2.0	0.9	3960	48.6	58.2	72.5	66.6	51.9	0.3641	2.35	25.23	2300.4	2305.3	730.0	87.7
1	manual	100	19	rural, descend	10537	11537	968	-1.3	0.8	14055	0.0	52.3	71.5	1.5	18.8	0.3755	1.70	5.44	495.1	499.0	158.0	19.0
1	manual	100	20	rural, flat	11538	11938	400	0.1	0.5	5322	0.0	47.9	70.4	31.9	42.5	0.5673	2.92	15.85	1553.2	1559.6	493.9	59.4
1	manual	100	21	rural, hilly	12394	12780	373	0.7	1.6	4040	0.0	39.0	89.0	23.9	43.9	0.5672	4.14	16.81	1755.8	1764.1	558.7	67.1
1	manual	100	22	mot, descend	13227	13599	303	-2.1	0.7	7709	86.2	91.6	94.8	-33.0	44.2	0.0917	0.23	1.66	143.7	144.3	45.7	5.5
1	manual	100	23	mot, ascend	14207	14371	165	1.7	0.7	3212	56.6	70.1	96.6	75.2	66.3	0.2765	2.08	18.89	1924.4	1928.5	610.7	73.4
1	manual	100	24	mot, flat.	14868	15125	258	0.2	0.4	6355	86.2	88.7	92.5	32.5	38.5	0.2599	0.90	8.72	812.1	814.3	257.9	31.0
1	manual	100	25	mot, flat, transition	15396	15863	468	0.0	0.3	9580	20.2	73.7	96.3	24.7	39.7	0.2411	1.17	8.46	817.9	820.5	259.8	31.2
1	manual	100	26	urban, flat	15950	16330	376	0.9	0.6	2604	0.0	24.9	51.3	21.0	28.9	0.7000	8.32	23.42	1712.9	1728.2	547.3	65.8

Tab. 16: Fahrabschnitte und zugehörige spez. Emissionen für Fahrzeug 1 bei 100 % Zuladung

Fahrzeug	Getriebe	Nutzlast in %	Nrnummer	Beschreibung	ta in s	te in s	Dauer in s	mittl. Längs- neigung in %	Standardab- weichung in %	Weg in m	v _{min} in km/h	v _{ave} in km/h	v _{max} in km/h	durchschn. Motor- belastung in %	durchschnittl. pos. Leistung in %	eHC in g/km	eCO in g/km	eNO _x in g/km	eCO ₂ in g/km	eCO _{2g} in g/km	Kraftstoffverbrauch in g/km	Kraftstoffverbrauch in l/100 km
1	automatic	50	1	urban, flat	188	565	375	-0.2	0.8	2169	0.0	20.8	48.3	11.2	19.8	0.9400	5.79	22.27	1378.6	1390.6	440.4	52.9
1	automatic	50	2	mot, flat	721	1225	505	0.0	0.3	11348	60.3	80.9	89.8	34.2	32.3	0.2787	1.00	8.68	744.8	747.3	236.6	28.4
1	automatic	50	3	stop+go	1373	1781	409	-1.7	2.2	541	0.0	4.8	13.8	-4.0	2.2	2.4809	6.89	22.99	1214.1	1232.7	390.4	46.9
1	automatic	50	4	mot, flat	2284	2516	233	0.1	0.2	5768	88.2	89.1	89.9	32.3	27.6	0.2665	1.02	7.23	712.0	714.4	226.3	27.2
1	automatic	50	5	mot, ascend	2703	3226	524	0.6	0.5	12884	81.7	88.5	94.6	45.7	43.6	0.2955	1.18	10.07	1043.6	1046.4	331.4	39.8
1	automatic	50	6	mot, hilly	3546	4458	913	-0.2	0.4	22417	84.4	88.4	95.8	26.1	30.1	0.2632	0.71	6.50	630.8	632.7	200.4	24.1
1	automatic	50	7	mot, flat	4488	4957	470	0.0	0.3	10434	70.3	79.9	86.7	24.9	25.9	0.2390	0.71	7.40	583.0	584.9	185.2	22.3
1	automatic	50	8	mot, mountain	5400	5935	536	2.8	1.0	3100	0.0	20.8	89.8	18.5	51.8	0.6262	2.62	19.37	1901.2	1907.3	604.0	72.6
1	automatic	50	9	mot, ascend, hilly	5936	6726	789	0.4	1.7	18877	71.1	86.1	92.1	31.9	55.1	0.2088	0.93	9.59	978.8	980.9	310.6	37.3
1	automatic	50	10	mot, ascend	6730	7006	277	1.2	1.7	6432	72.3	83.5	89.3	46.5	60.6	0.2311	1.27	11.82	1301.8	1304.5	413.1	49.7
1	automatic	50	11	mot, ascend	7257	7465	209	1.1	0.5	5045	85.5	86.9	90.9	43.1	50.6	0.2312	0.79	10.92	1087.1	1089.1	344.9	41.5
1	automatic	50	12	mot, descend	7573	7707	135	0.2	0.7	3251	85.7	86.7	88.0	36.1	39.3	0.2222	0.77	8.66	790.4	792.3	250.9	30.2
1	automatic	50	13	rural, ascend	8628	8897	264	-0.4	1.0	3740	0.0	51.0	69.9	19.8	34.9	0.2633	2.71	10.41	785.3	790.4	250.3	30.1
1	automatic	50	14	rural, descend	8898	9045	146	0.5	0.2	1817	4.2	44.8	65.5	17.4	21.1	0.3132	3.42	11.12	915.6	921.9	292.0	35.1
1	automatic	50	15	rural, ascend	9092	9311	220	1.9	0.4	3119	13.2	51.0	62.9	51.1	43.9	0.3853	3.02	22.00	1679.9	1685.9	533.9	64.2
1	automatic	50	16	rural, descend	9506	10375	852	-0.9	2.3	11622	0.0	49.1	70.9	16.1	32.1	0.2920	1.42	10.99	870.7	873.9	276.7	33.3
1	automatic	50	17	rural, flat	10473	10850	378	-0.7	0.4	6440	46.2	61.3	67.6	9.6	14.0	0.2886	0.99	6.90	396.0	398.4	126.2	15.2
1	automatic	50	18	urban, descend	11040	11573	530	2.2	3.0	6860	0.0	46.6	68.2	40.9	42.0	0.4437	2.21	18.75	1592.9	1597.7	506.0	60.8
1	automatic	50	19	mot, descend	12221	12529	309	0.3	0.9	7623	86.5	88.8	94.1	38.3	40.8	0.2596	0.84	9.52	776.8	778.9	246.7	29.6
1	automatic	50	20	mot, ascend	12877	13003	127	-2.7	0.2	3215	87.5	91.1	93.4	-33.4	4.2	0.0973	0.18	0.41	35.8	36.4	11.5	1.4
1	automatic	50	21	mot, descend	13016	13212	197	-0.6	1.1	4699	84.1	85.9	90.1	14.6	37.8	0.1861	0.47	6.08	435.1	436.4	138.2	16.6
1	automatic	50	22	mot, flat	13592	13801	210	-1.7	1.1	5104	85.1	87.5	91.3	-8.5	18.4	0.1356	0.43	3.03	108.1	109.3	34.6	4.2
1	automatic	50	23	mot, flat	14466	14624	159	-0.5	0.8	3706	63.4	83.9	88.8	6.2	29.8	0.1508	0.77	3.45	581.6	583.2	184.7	22.2
1	automatic	50	24	urban	14716	15015	297	-0.2	0.6	5122	25.4	62.1	82.9	22.6	34.1	0.2348	1.66	9.88	639.2	642.5	203.5	24.5
1	manual	50	1	urban, flat	33	940	903	-0.1	1.7	5352	0.0	21.3	60.8	13.9	20.8	1.5432	4.21	22.33	1528.7	1540.2	487.7	58.6
1	manual	50	2	urban, descend	994	1432	439	-1.0	0.9	3680	0.0	30.2	61.1	14.1	23.3	0.8595	2.62	12.60	1108.8	1115.6	353.3	42.5
1	manual	50	3	urban, flat	1432	1746	315	-0.3	0.4	3861	0.0	44.1	59.0	16.3	21.4	0.5452	2.13	8.99	800.8	805.9	255.2	30.7
1	manual	50	4	urban, flat	2549	3204	656	0.1	0.6	4936	0.0	27.1	73.5	13.7	23.0	0.9477	4.80	13.22	1379.3	1389.9	440.1	52.9
1	manual	50	5	urban, ascend	3205	3790	586	1.3	0.5	4899	0.0	30.1	55.6	23.0	37.5	0.9103	4.13	16.80	1916.4	1925.8	609.9	73.3
1	manual	50	6	mot, flat	3878	4264	387	-0.2	0.6	8242	66.1	76.7	87.0	31.0	37.3	0.2970	0.88	8.23	821.2	823.5	260.8	31.3
1	manual	50	7	mot, descend, transition	4146	4545	400	-0.8	0.4	9151	40.4	82.4	92.1	24.7	36.6	0.2449	0.71	6.69	648.6	650.5	206.0	24.8
1	manual	50	8	mot, flat	4545	5212	668	0.0	0.3	16081	61.0	86.7	91.5	36.0	33.5	0.2687	0.78	8.15	789.9	792.0	250.8	30.1
1	manual	50	9	mot, ascend	5216	5400	185	1.3	0.4	4594	87.0	89.4	91.5	52.6	44.1	0.3255	0.89	11.25	1136.6	1139.0	360.7	43.4
1	manual	50	10	mot, flat	5400	5792	393	0.1	0.6	9937	87.3	91.0	94.7	32.1	39.7	0.2344	0.64	7.35	748.4	750.1	237.5	28.6
1	manual	50	11	mot, hilly	6695	7477	783	-0.1	0.6	19406	87.1	89.2	92.3	27.1	29.8	0.2625	0.68	6.71	614.8	616.7	195.3	23.5
1	manual	50	12	mot, flat	7479	8286	808	0.0	0.3	18927	64.2	84.3	93.4	28.6	30.2	0.2739	0.76	7.40	695.0	697.1	220.8	26.5
1	manual	50	13	mot, ascend	8287	8579	293	1.5	0.7	7232	86.8	88.9	90.9	63.3	56.2	0.3230	0.85	13.13	1317.5	1319.9	418.0	50.2
1	manual	50	14	mot, descend	8580	8680	101	-1.4	0.8	2573	86.4	91.7	94.4	-20.7	54.9	0.1192	0.22	2.20	215.9	216.7	68.6	8.2
1	manual	50	15	mot, ascend	8681	8855	175	1.3	0.9	4103	72.8	84.4	91.3	63.5	56.6	0.2551	1.10	13.61	1403.6	1406.1	445.3	53.5
1	manual	50	16	mot, ascend, hilly	8976	10160	1185	0.8	1.2	29324	73.6	89.1	95.4	46.5	56.2	0.2162	0.78	10.35	1067.4	1069.3	338.6	40.7
1	manual	50	17	mot, ascend	10162	10480	319	1.8	0.6	7147	53.6	80.7	90.7	65.7	56.5	0.2555	1.17	14.59	1493.1	1495.7	473.7	56.9
1	manual	50	18	mot, descend	10555	10706	152	-1.8	0.5	3832	83.5	90.8	93.1	-14.2	12.1	0.1677	0.25	1.13	89.2	90.2	28.6	3.4
1	manual	50	19	rural, hilly	11441	12068	621	0.4	2.1	6388	0.0	37.0	69.9	16.8	29.1	0.3816	2.14	12.65	1138.3	1142.8	361.9	43.5
1	manual	50	20	rural, ascend	12127	12352	226	2.1	0.7	3811	51.2	60.7	66.9	54.8	46.5	0.3589	1.37	17.23	1659.7	1663.0	526.6	63.3
1	manual	50	21	rural, ascend	12569	12778	210	2.2	0.8	3583	50.6	61.4	66.2	57.7	47.7	0.3529	1.28	18.21	1740.2	1743.3	552.1	66.4
1	manual	50	22	rural, descend	12940	13916	969	-1.3	1.0	14257	0.0	53.0	71.2	5.7	13.0	0.2947	1.68	6.32	453.9	457.5	144.9	17.4
1	manual	50	23	rural, descend	13505	13917	413	-0.9	0.3	7061	46.9	61.5	64.4	8.6	10.3	0.2933	1.39	5.89	387.1	390.2	123.6	14.9
1	manual	50	24	rural, descend	14549	14842	280	-1.0	2.0	2442	0.0	31.4	69.1	2.9	30.6	0.4691	2.27	8.48	852.3	857.3	271.5	32.6
1	manual	50	25	mot, descend	16603	16946	275	-2.5	1.3	6904	87.0	90.4	94.3	-38.7	29.6	0.1833	0.51	2.54	213.0	214.4	67.9	8.2
1	manual	50	26	stop+go	18114	18957	844	-0.2	1.7	1592	0.0	6.8	32.4	-1.0	3.2	2.0228	6.28	27.38	1493.8	1510.0	478.2	57.5
1	manual	50	27	mot-rural, hilly, descend	19899	21066	1031	-0.3	1.1	17479	0.0	61.0	91.2	-24.5	19.3	0.3193	1.40	9.12	842.4	845.6	267.8	32.2
1	manual	50	28	urban	21081	21406	313	0.1	1.4	2534	0.0	29.2	52.2	-12.3	13.2	0.5432	6.24	17.58	1571.4	1582.9	501.3	60.3

Tab. 17: Fahrtabschnitte und zugehörige spez. Emissionen für Fahrzeug 1 bei 50 % Zuladung

Fahrzeug	Getriebe	Nutzlast in %	Nnummer	Beschreibung	ta in s	te in s	Dauer in s	mittl. Längs- neigung in %	Standard- abweichung in %	Weg in m	v_min in km/h	v_ave in km/h	v_max in km/h	durchschn. Motor- belastung in %	durchschnittl. pos. Leistung in %	eHC in g/km	eCO in g/km	eNO _x in g/km	eCO ₂ in g/km	eCO _{2g} in g/km	Kraftstoffverbrauch in g/km	Kraftstoffverbrauch in l/100 km
2	automatic	100	1	urban	316	811	493	-0.8	0.9	2619	0.0	19.1	52.6	14.3	21.9	0.8300	7.91	14.47	1612.9	1628.0	515.5	62.0
2	automatic	100	2	mot, flat	1028	1423	395	-0.1	0.5	8917	72.6	81.3	87.6	36.9	49.2	0.2243	1.49	8.65	882.7	885.7	280.5	33.7
2	automatic	100	4	mot, flat, transition	1759	1917	155	0.0	0.3	3245	48.7	75.4	91.0	41.2	48.5	0.2809	1.55	9.79	1158.2	1161.5	367.8	44.2
2	automatic	100	5	mot, flat	1919	2311	393	0.2	0.3	9882	88.6	90.5	92.3	32.6	33.2	0.2403	0.94	7.63	787.3	789.5	250.0	30.1
2	automatic	100	6	mot, ascend	2429	2634	206	0.9	0.7	4649	72.9	81.2	90.5	62.1	52.3	0.2273	1.57	13.34	1275.3	1278.5	404.9	48.7
2	automatic	100	7	mot, flat/hilly	2645	2934	290	-0.2	0.8	7265	85.8	90.2	95.8	27.3	48.2	0.2322	0.98	7.85	814.9	817.1	258.8	31.1
2	automatic	100	8	mot, flat/hilly	3687	4904	1218	0.0	0.4	29865	70.1	88.3	94.9	24.5	36.8	0.2424	1.42	6.30	713.9	716.9	227.0	27.3
2	automatic	100	9	mot, flat	4523	4717	195	-0.1	0.2	4834	88.3	89.2	92.3	21.6	26.0	0.2285	1.05	5.55	607.8	610.1	193.2	23.2
2	automatic	100	10	mot, ascend	5065	5376	312	1.5	0.6	7030	68.8	81.1	87.8	76.0	69.2	0.2810	2.57	16.08	1685.4	1690.3	535.3	64.3
2	automatic	100	11	mot, ascend, hilly	5785	7003	1205	0.9	1.3	28671	64.6	85.7	97.6	50.8	68.9	0.2859	2.07	11.53	1286.6	1290.8	408.8	49.1
2	automatic	100	12	mot, ascend	7044	7289	246	2.2	0.7	5540	71.1	81.1	91.1	83.2	77.4	0.3070	2.47	16.49	1803.7	1808.6	572.7	68.8
2	automatic	100	13	mot, descend	7376	7575	179	-2.1	0.5	4416	77.9	88.8	97.4	-26.3	44.9	0.1428	1.37	1.25	151.7	154.3	48.9	5.9
2	automatic	100	14	high dynamics, flat	8101	8379	267	-0.3	1.2	4196	0.0	56.6	96.7	25.6	63.3	0.4508	4.02	12.72	1543.1	1550.9	491.1	59.0
2	automatic	100	15	rural, descend	9001	9207	207	2.1	0.5	3326	45.9	57.8	64.3	66.7	67.4	0.5230	3.60	21.80	2400.5	2407.8	762.5	91.6
2	automatic	100	16	rural, ascend	9434	9696	263	2.2	0.8	3726	21.1	51.0	64.5	64.8	63.4	0.5242	6.87	23.07	2581.4	2593.9	821.4	98.7
2	automatic	100	17	rural, descend	9968	10645	664	-1.1	0.7	9201	0.0	49.9	65.1	0.6	16.9	0.2851	1.59	3.76	415.1	418.5	132.5	15.9
2	automatic	100	18	urban	11511	11990	461	0.3	1.9	3829	0.0	29.9	65.4	17.2	44.1	0.7230	11.96	15.11	2163.6	2184.7	691.8	83.2
2	automatic	100	19	mot, descend	12835	13192	343	-2.5	1.0	8673	85.4	91.0	97.1	-35.3	46.7	0.1536	0.41	1.70	177.4	178.5	56.5	6.8
2	automatic	100	20	rural, flat	13501	13822	311	-0.1	1.3	5480	35.7	63.4	87.2	27.4	54.1	0.2879	2.82	11.95	1337.4	1342.8	425.2	51.1
2	automatic	100	21	mot, ascend	13931	14058	128	2.0	1.3	2698	67.7	75.9	89.5	89.1	86.0	0.3619	2.43	19.35	2218.6	2223.5	704.1	84.6
2	automatic	100	22	mot, congested, flat	14552	15068	503	-0.1	0.9	6829	13.2	48.9	87.5	20.3	32.5	0.3467	3.57	10.52	1143.6	1150.3	364.3	43.8
2	automatic	100	23	rural, flat	15489	15898	371	0.1	0.4	6901	38.3	67.0	81.6	3.9	44.2	0.2762	2.26	9.55	1100.9	1105.3	350.0	42.1
2	automatic	100	24	stop+go	15987	16183	197	-0.2	0.8	460	0.0	8.4	22.3	5.4	12.9	1.5470	18.51	17.69	2608.0	2641.9	836.6	100.6
2	automatic	100	25	urban	16253	16543	285	0.9	0.8	1848	0.0	23.3	53.2	10.1	28.8	0.8488	16.41	18.93	2510.1	2538.6	803.9	96.9
2	automatic	50	1	urban	233	667	421	-0.6	0.9	2495	0.0	21.3	55.3	1.6	14.6	0.7717	6.01	12.72	1363.9	1375.7	435.7	52.4
2	automatic	50	2	mot, flat	919	1300	372	0.2	0.6	8482	57.7	82.1	94.5	29.8	36.6	0.2955	1.91	9.02	890.7	894.6	283.3	34.1
2	automatic	50	3	mot, descend	1327	1507	181	-1.4	0.7	4527	84.8	90.0	96.9	-8.1	16.4	0.1731	0.64	1.47	166.5	168.0	53.2	6.4
2	automatic	50	4	mot, flat, transition	1463	2079	612	0.0	0.5	14353	54.1	84.4	91.0	29.2	30.4	0.2842	1.49	7.39	748.4	751.6	238.0	28.6
2	automatic	50	5	mot, ascend	2152	2519	368	0.8	0.6	8761	78.7	85.7	91.5	45.3	40.8	0.3151	1.33	11.06	1073.7	1076.8	341.0	41.0
2	automatic	50	6	mot, flat/hilly	3502	4003	502	0.0	0.4	12503	86.7	89.7	92.6	23.9	29.3	0.2886	1.20	6.39	682.6	685.4	217.1	26.1
2	automatic	50	7	mot, flat	4040	4413	374	-0.1	0.3	9076	84.0	87.4	89.4	21.4	25.4	0.2750	1.18	6.23	633.4	636.1	201.4	24.2
2	automatic	50	8	mot, flat, congested	4417	4806	365	-0.2	0.7	4272	0.5	42.1	77.5	14.0	28.3	0.4914	2.73	9.82	1148.9	1154.7	365.7	44.0
2	automatic	50	9	mot, ascend	5011	5310	300	1.4	0.7	7542	88.7	90.5	95.7	58.1	56.7	0.3550	1.39	13.58	1341.8	1345.1	426.0	51.2
2	automatic	50	10	mot, hilly, ascend	5687	6920	1227	0.8	1.4	28792	59.4	84.5	96.2	40.6	50.4	0.2773	2.04	10.86	1108.2	1112.3	352.2	42.3
2	automatic	50	11	mot, ascend	6986	7253	264	2.4	1.0	5148	30.1	70.2	91.4	55.0	53.2	0.3718	2.95	16.00	1681.1	1686.9	534.2	64.2
2	automatic	50	12	mot, descend	7336	7522	183	-2.1	0.5	4369	54.4	86.0	96.5	-15.4	37.4	0.1843	1.15	2.23	248.3	250.7	79.4	9.5
2	automatic	50	13	rural, hilly	8355	8901	525	0.7	1.7	5061	0.0	34.7	75.8	15.7	30.7	0.5110	6.51	10.72	1251.5	1263.4	400.1	48.1
2	automatic	50	14	rural, ascend	9022	9256	235	2.1	0.7	3881	46.0	59.5	69.8	52.7	44.1	0.4211	3.63	16.85	1668.7	1675.7	530.7	63.8
2	automatic	50	15	rural, ascend	9416	9706	290	1.6	0.8	5118	51.8	63.5	74.9	44.3	44.3	0.3913	2.56	15.52	1514.9	1520.2	481.4	57.9
2	automatic	50	16	rural, descend	9730	10786	1017	-1.4	0.9	15812	0.0	56.0	75.6	0.6	16.2	0.2685	1.63	3.70	403.3	406.7	128.8	15.5
2	automatic	50	17	rural, ascend	10886	11191	306	2.1	1.7	4648	43.7	54.7	67.0	53.9	51.1	0.5661	4.00	18.63	2147.5	2155.6	682.6	82.0
2	automatic	50	18	mot, flat	11775	12100	324	0.2	1.0	8129	84.6	90.3	95.1	29.6	41.8	0.3065	1.40	8.86	895.3	898.5	284.5	34.2
2	automatic	50	19	mot, descend	13913	14401	486	-2.3	1.0	12230	82.8	90.6	95.7	-29.7	25.1	0.2173	0.60	1.21	124.2	125.8	39.9	4.8
2	automatic	50	20	mot, hilly	14610	15874	1245	0.0	1.3	27686	36.2	80.1	97.4	20.0	39.4	0.2737	1.75	8.63	896.8	900.4	285.1	34.3
2	automatic	50	21	mot, flat, with transitions	15317	15693	365	0.0	0.5	7136	36.2	70.4	92.2	13.6	28.4	0.2957	1.80	7.82	850.6	854.3	270.6	32.5
2	automatic	50	22	urban	16467	16815	320	0.8	0.6	2323	0.0	26.1	45.7	16.0	23.4	0.8035	10.08	14.49	1833.8	1852.1	586.5	70.5

Tab. 18: Fahrabschnitte und zugehörige spez. Emissionen für Fahrzeug 2

Fahrzeug	Getriebe	Nutzlast in %	Nnummer	Beschreibung	ta in s	te in s	Dauer in s	mittl. Längs- neigung in %	Standardab- weichung in %	Weg in m	v _{min} in km/h	v _{ave} in km/h	v _{max} in km/h	durchschn. Motor- belastung in %	durchschnittl. pos. Leistung in %	eHC in g/km	eCO in g/km	eNO _x in g/km	eCO ₂ in g/km	eCO _{2g} in g/km	Kraftstoffver- brauch in g/km	Kraftstoffver- brauch in l/100 km
3	automatic	100	1	rural	239	676	431	-1.0	1.0	2444	0.0	20.4	48.5	80.5	21.2	1.1715	7.70	15.11	1705.5	1721.3	545.1	65.5
3	automatic	100	2	mot, flat	958	1282	324	0.1	0.4	7581	77.9	84.2	91.5	34.0	45.7	0.3631	0.99	8.79	998.3	1001.0	317.0	38.1
3	automatic	100	3	mot, descend	1348	1507	147	-1.5	0.5	3565	81.0	87.3	98.0	-18.5	21.4	0.1509	0.32	1.19	134.2	135.2	42.8	5.1
3	automatic	100	4	mot, flat	1788	1973	186	0.1	0.2	4682	89.6	90.6	91.4	30.6	35.5	0.3611	0.84	7.57	850.8	853.2	270.2	32.5
3	automatic	100	5	mot, flat	3972	4693	722	-0.1	0.3	17828	80.8	88.9	93.3	24.2	42.0	0.3073	0.88	7.12	757.2	759.6	240.5	28.9
3	automatic	100	6	mot, flat	4696	4911	216	-0.2	0.2	5235	85.3	87.2	90.0	23.3	28.9	0.2915	0.87	6.25	689.9	692.2	219.2	26.3
3	automatic	100	7	stop+go	5317	5585	269	0.6	1.4	883	4.6	11.8	24.3	18.9	8.8	1.7044	5.26	24.34	2144.5	2158.2	683.4	82.1
3	automatic	100	8	mot, hilly, ascend	5921	7677	1660	0.7	1.5	36595	46.4	79.4	99.2	45.8	67.4	0.3326	1.25	11.84	1267.0	1270.0	402.2	48.3
3	automatic	100	9	mot, ascend	7680	8095	407	2.0	0.7	7047	9.2	62.3	88.0	69.2	71.6	0.4935	1.79	18.19	1977.9	1982.3	627.7	75.5
3	automatic	100	10	high dyn	8731	9016	266	-0.4	1.2	4132	0.0	55.9	100.2	27.9	60.9	0.5201	1.94	12.58	1585.1	1589.8	503.5	60.5
3	automatic	100	11	rural, flat	9220	9588	363	0.6	0.7	4405	2.1	43.7	67.7	31.9	41.0	0.5469	3.47	15.54	1759.8	1766.9	559.6	67.3
3	automatic	100	12	rural, ascend	9664	9892	229	2.1	0.4	3787	52.7	59.5	66.9	70.0	69.0	0.5306	1.85	20.00	2059.3	2063.9	653.6	78.6
3	automatic	100	13	rural, ascend	10157	10305	148	2.2	0.7	2434	49.4	59.2	65.7	74.5	69.4	0.4976	2.03	20.94	2168.6	2173.3	688.3	82.7
3	automatic	100	14	rural, descend with stops	10358	10699	300	-3.0	0.8	2631	0.0	31.6	73.4	-3.3	29.7	0.4163	2.73	6.73	783.4	789.0	249.9	30.0
3	automatic	100	15	rural, descend	10806	11299	474	-0.9	0.3	7947	43.9	60.4	66.5	2.5	22.3	0.2317	1.17	3.79	384.3	386.9	122.5	14.7
3	automatic	100	16	rural, flat	11406	11696	278	0.2	0.5	4257	25.8	55.1	68.8	37.0	48.3	0.4313	2.46	12.88	1445.1	1450.3	459.3	55.2
3	automatic	100	17	rural, flat	12161	12602	420	-0.7	2.3	3748	0.0	32.1	70.1	15.9	49.0	0.7034	4.66	16.31	2017.5	2027.1	641.9	77.2
3	automatic	100	18	mot, descend	13347	13835	375	-2.2	0.9	8986	70.6	86.3	95.9	-20.8	43.6	0.1225	0.23	1.86	173.2	173.9	55.1	6.6
3	automatic	100	19	mot, hilly	13837	14195	336	0.1	0.9	7998	79.1	85.7	91.4	44.4	56.2	0.2971	0.86	10.95	1160.6	1162.9	368.3	44.3
3	automatic	100	20	mot, ascend	14196	14342	147	2.2	1.3	2716	55.7	66.5	87.0	94.4	79.3	0.4632	1.64	21.13	2115.6	2119.6	671.2	80.7
3	automatic	100	21	mot, hilly	14559	14694	136	0.5	0.5	3407	89.8	90.2	90.7	60.6	56.6	0.3309	0.90	13.07	1393.8	1396.2	442.2	53.1
3	automatic	100	22	mot, flat	14842	14938	97	0.0	0.1	2309	84.9	85.7	86.5	36.7	35.5	0.3164	0.86	8.25	914.6	916.9	290.4	34.9
3	automatic	100	23	rural, flat	15697	16170	455	0.1	0.4	8553	45.7	67.7	83.2	30.6	42.6	0.2660	1.80	10.53	990.6	994.3	314.9	37.8
3	automatic	100	24	urban	16223	16706	484	0.6	1.2	2536	0.0	18.9	54.4	19.2	31.9	0.9934	7.15	21.75	2530.9	2545.2	806.0	96.9
3	automatic	50	1	urban	176	547	371	-0.5	0.4	2587	0.0	25.1	55.0	4.1	20.0	0.7808	4.41	13.10	1296.5	1305.9	413.6	49.7
3	automatic	50	2	mot, flat, dyn	566	988	412	0.1	0.8	8390	16.9	73.3	87.9	24.2	43.9	0.3494	1.86	9.22	987.2	991.2	313.9	37.7
3	automatic	50	3	mot, congested	1005	1331	326	0.0	1.0	2077	6.2	22.9	48.0	12.1	20.5	0.7426	4.22	12.19	1225.7	1234.7	391.0	47.0
3	automatic	50	4	urban, flat	1914	2160	247	0.3	0.3	6161	89.1	89.8	90.5	27.2	28.2	0.3439	1.15	7.83	733.1	736.0	233.1	28.0
3	automatic	50	5	urban, ascend	2341	2585	245	1.1	0.4	5991	78.0	88.0	91.5	47.1	47.1	0.4108	1.30	12.33	1181.6	1184.9	375.2	45.1
3	automatic	50	6	mot, flat	2735	2947	213	-0.2	0.5	5230	83.1	88.4	90.0	21.5	37.3	0.3285	1.05	8.08	678.0	680.7	215.6	25.9
3	automatic	50	7	mot, flat, transition	3897	4448	547	0.1	0.4	13441	60.2	88.5	91.4	25.1	32.5	0.3274	1.29	7.23	712.5	715.6	226.6	27.2
3	automatic	50	8	mot, flat	5610	6259	649	0.1	0.3	15930	75.5	88.4	94.2	24.0	30.1	0.3436	1.26	6.50	704.0	707.1	223.9	26.9
3	automatic	50	9	mot, ascend	6308	6493	186	1.7	0.4	4642	88.7	89.8	90.6	69.5	64.8	0.4665	1.62	16.73	1514.3	1518.3	480.8	57.8
3	automatic	50	10	mot, congested	6530	6772	239	-1.6	1.5	1752	9.5	26.4	59.4	-9.3	17.9	0.6320	2.98	4.96	580.7	587.4	186.0	22.4
3	automatic	50	11	mot, hilly, ascend	7206	7788	569	0.8	1.4	13927	75.4	88.1	102.2	45.4	70.5	0.4061	1.44	11.65	1204.9	1208.4	382.7	46.0
3	automatic	50	12	mot, ascend	7834	8061	224	1.3	0.9	4313	51.1	69.3	85.7	32.8	40.1	0.4278	1.81	10.50	1210.8	1215.0	384.8	46.2
3	automatic	50	13	mot, ascend	8443	8621	179	2.4	0.5	4387	81.9	88.2	90.8	79.6	73.1	0.4311	1.54	17.08	1647.8	1651.6	523.0	62.9
3	automatic	50	14	mot, flat	8251	8416	166	0.2	0.4	4165	89.5	90.3	91.6	39.4	47.0	0.3597	1.40	9.60	1056.8	1060.2	335.7	40.4
3	automatic	50	15	high dyn, slightly descend	9279	9664	380	-0.8	1.4	5431	0.0	51.4	93.5	7.3	46.6	0.4094	2.22	8.51	1013.9	1018.7	322.6	38.8
3	automatic	50	16	mot, ascend	10150	10358	209	2.2	0.8	3556	51.0	61.2	67.3	53.1	49.4	0.4986	2.40	15.69	1636.7	1642.1	520.0	62.5
3	automatic	50	17	mot, ascend	10658	10801	144	2.3	1.3	2315	46.3	57.9	65.6	42.4	47.5	0.5625	2.68	15.21	1712.5	1718.5	544.2	65.4
3	automatic	50	18	rural, descend	10922	11364	429	-2.2	1.5	5416	0.0	45.4	67.9	-9.8	22.0	0.4032	2.21	4.18	480.9	485.7	153.8	18.5
3	automatic	50	19	rural, descend, no dyn	11558	11901	344	-0.8	0.2	5897	44.4	61.7	64.4	-1.0	12.3	0.4369	1.50	3.44	337.4	341.1	108.0	13.0
3	automatic	50	20	rural, flat	12014	12198	184	0.0	0.2	2894	28.5	56.6	65.9	29.6	36.1	0.6363	2.82	11.99	1310.2	1316.6	417.0	50.1
3	automatic	50	21	rural, hilly	12409	12837	411	0.9	2.9	3009	0.0	26.4	68.7	8.0	34.8	0.9119	4.45	13.22	1582.4	1592.3	504.2	60.6
3	automatic	50	22	mot, hilly	13114	13370	257	0.2	1.0	6518	89.9	91.3	101.2	25.5	41.5	0.3856	1.50	8.47	822.0	825.6	261.4	31.4
3	automatic	50	23	mot, descend	14256	14539	273	-3.0	0.7	6811	82.0	89.8	97.7	-45.8	6.1	0.1026	0.55	0.52	35.1	36.3	11.5	1.4
3	automatic	50	24	mot, ascend	14912	15021	110	2.4	1.1	2337	68.2	76.5	87.7	75.1	72.8	0.5663	2.08	18.30	1976.2	1981.3	627.4	75.4
3	automatic	50	25	mot, descend	15038	15234	197	-2.1	0.8	5000	87.7	91.4	97.9	-30.4	8.1	0.1730	0.57	1.31	113.8	115.2	36.5	4.4
3	automatic	50	26	mot, flat	15537	15660	124	0.3	0.5	3046	87.9	88.4	89.0	35.8	34.8	0.3590	1.25	11.38	950.7	953.8	302.0	36.3
3	automatic	50	27	mot, flat, congested	15701	15855	148	-0.4	0.9	2063	27.8	50.2	60.7	1.3	20.1	0.3796	1.80	5.62	603.1	607.1	192.3	23.1
3	automatic	50	28	mot, hilly, transition	16173	16669	483	0.0	0.6	10106	32.3	75.3	88.2	17.0	30.9	0.2998	1.31	6.91	726.3	729.3	231.0	27.8
3	automatic	50	29	urban	16709	17079	371	0.7	0.8	2545	0.0	24.7	49.3	13.1	26.1	0.9365	4.77	14.39	1688.1	1698.6	537.9	64.7

Tab. 19: Fahrtabschnitte und zugehörige spez. Emissionen für Fahrzeug 3

Fahrzeug	Getriebe	Nutzlast in %	Nummer	Beschreibung	ta in s	te in s	Dauer in s	mittl. Längs- neigung in %	Standardab- weichung in %	Weg in m	v _{min} in km/h	v _{ave} in km/h	v _{max} in km/h	durchschn. Motor- belastung in %	durchschnittl. pos. Leistung in %	eHC in g/km	eCO in g/km	eNO _x in g/km	eCO ₂ in g/km	eCO _{2g} in g/km	Kraftstoffver- brauch in g/km	Kraftstoffver- brauch in l/100 km
4	manual	100	1	urban	74	840	749	0.1	2.1	3462	0.0	16.6	56.0	6.7	19.3	0.2875	7.02	10.06	907.0	919.0	291.0	35.0
4	manual	100	2	mot, flat	981	1153	173	0.0	0.4	4106	81.0	85.4	91.9	42.7	41.8	0.1140	0.68	5.18	575.8	577.2	182.8	22.0
4	manual	100	3	mot, flat	1480	1872	391	0.1	0.3	9353	72.0	86.1	94.1	41.3	37.7	0.0902	0.61	5.35	543.1	544.4	172.4	20.7
4	manual	100	4	rural, flat	1909	2248	340	-0.5	0.7	4009	6.9	42.5	71.2	30.4	24.6	0.1242	3.59	7.02	595.0	601.0	190.3	22.9
4	manual	100	5	urban, low	2328	2520	193	-0.1	1.3	701	0.0	13.1	37.5	16.2	16.1	0.3282	7.28	14.20	1013.7	1026.1	325.0	39.1
4	manual	100	6	mot, dyn, hilly	2682	3246	552	0.0	0.4	12572	39.0	82.0	95.1	26.0	35.6	0.1003	0.78	4.56	477.8	479.3	1051.8	18.2
4	manual	100	7	rural/urban	3284	3722	439	0.5	0.8	4008	0.0	32.9	65.2	22.0	24.4	0.1628	5.27	6.78	686.1	694.9	220.1	26.4
4	manual	100	8	urban, T60	3754	3985	232	-0.2	0.5	2843	0.0	44.1	65.6	22.2	25.4	0.1489	2.99	5.40	539.5	544.7	172.5	20.7
4	manual	100	9	urban	3986	4469	484	0.9	0.7	3860	0.0	28.7	50.5	25.2	24.9	0.2077	3.53	8.93	737.5	743.7	235.5	28.3
4	manual	100	10	urban, dyn	4493	4967	475	-0.7	0.7	2111	0.0	16.0	40.9	18.1	18.4	0.3157	5.54	13.03	917.0	926.7	293.5	35.3
4	manual	100	11	urban	4968	5396	384	0.2	1.1	3286	0.0	30.8	60.2	17.2	20.2	0.2306	4.09	8.35	641.2	648.3	205.3	24.7
4	manual	100	12	rural, with disturbtion, hilly	5397	5886	486	0.3	0.9	6262	0.0	46.4	85.8	28.3	33.7	0.1571	3.38	6.86	681.4	687.2	217.6	26.2
4	manual	100	13	urban	5897	6490	566	0.0	0.7	5245	0.0	33.4	62.3	21.1	29.3	0.1619	4.25	7.80	821.7	828.9	262.5	31.5
4	manual	100	14	rural, dym	6491	6668	178	-0.8	0.3	2781	0.0	56.3	88.0	12.8	34.6	0.0818	1.44	4.21	447.2	449.7	142.4	17.1
4	manual	100	15	urban	6767	6942	176	-0.2	0.5	1746	0.0	35.7	60.2	9.9	19.6	0.1752	2.28	5.27	536.8	540.9	171.3	20.6
4	manual	100	16	mot, flat	7013	7158	146	0.1	0.2	3605	83.8	88.9	91.8	23.8	27.0	0.0893	0.50	4.35	400.7	401.8	127.2	15.3
4	manual	100	17	mot, congested	7197	7544	348	0.2	0.6	5838	45.3	60.4	67.9	24.8	23.8	0.0946	1.44	4.31	419.1	421.6	133.5	16.0
4	manual	100	18	mot, flat	7778	8268	491	-0.2	0.5	12495	83.6	91.6	94.8	29.5	31.5	0.0816	0.47	4.47	431.1	432.1	136.8	16.4
4	manual	100	19	mot, descend	8268	8765	498	0.2	0.5	9567	35.5	69.2	95.0	28.0	33.2	0.0789	0.74	4.37	484.9	486.2	154.0	18.5
4	manual	100	20	urban, T60	9205	9432	228	-0.4	0.3	2506	0.0	39.6	61.5	31.5	30.3	0.1081	3.24	7.06	725.3	730.7	231.4	27.8
4	manual	100	21	urban, T35	9449	9753	305	0.7	1.1	2028	0.0	23.9	39.3	21.1	19.1	0.2012	3.60	9.91	798.4	804.6	254.8	30.6
4	manual	100	22	urban	9763	10162	400	0.1	0.5	4039	0.0	36.3	60.7	24.9	25.7	0.1490	1.89	7.25	673.0	676.4	214.2	25.7
4	manual	100	23	urban, T70	10167	10480	314	-0.2	0.3	4510	0.0	51.7	70.6	28.9	24.8	0.1364	3.81	5.27	514.3	520.7	164.9	19.8
4	manual	100	24	urban	10500	11373	874	0.1	0.4	6812	0.0	28.1	60.3	19.4	23.0	0.2086	4.14	7.16	642.5	649.7	205.7	24.7
4	manual	100	25	urban, dyn	11383	12148	766	0.1	0.4	6806	0.0	32.0	52.5	22.6	25.0	0.2079	5.21	7.24	724.7	733.5	232.3	27.9
4	manual	100	26	urban/rural	12149	12869	721	0.2	0.9	9773	0.0	48.8	76.0	26.9	34.1	0.1243	2.03	5.45	573.2	576.7	182.6	22.0
4	manual	100	27	mot, hilly	13131	13736	606	-0.1	0.7	14595	65.1	86.7	91.9	39.7	35.8	0.0767	0.61	5.27	513.0	514.2	162.8	19.6
4	manual	100	28	mot, hilly, with transition	13772	14169	398	0.4	1.0	8345	0.0	75.5	94.6	38.0	40.7	0.0763	0.90	5.34	563.9	565.5	179.1	21.5
4	manual	100	29	stop+go	14389	15099	711	0.0	1.1	1853	0.0	9.4	35.0	11.1	6.4	0.3554	4.63	16.50	865.9	874.3	276.9	33.3
4	manual	100	30	rural/mot/rural, hilly	15169	15968	800	-0.2	0.7	14112	15.6	63.5	94.1	28.6	28.9	0.1104	1.73	5.21	513.7	516.8	163.7	19.7
4	manual	100	31	rural	16608	16823	216	0.1	0.2	4952	76.0	82.5	89.7	29.2	31.6	0.0650	0.54	4.06	459.9	460.9	146.0	17.5
4	manual	100	32	rural, dyn	16344	16583	239	0.4	0.8	3399	7.9	51.2	78.1	31.8	31.3	0.0778	1.80	6.05	558.3	561.3	177.8	21.4
4	manual	100	33	urban, dyn	17211	17359	149	0.6	0.6	1357	10.3	32.8	52.8	23.5	22.0	0.1058	4.40	7.12	608.5	615.7	195.0	23.4

Tab. 20: Fahrtabschnitte und zugehörige spez. Emissionen für Fahrzeug 4 bei 100 % Zuladung

Fahrzeug	Getriebe	Nutzlast in %	Nummer	Beschreibung	ta in s	te in s	Dauer in s	mittl. Länge- neigung in %	Standardab- weichung in %	Weg in m	v_min in km/h	v_ave in km/h	v_max in km/h	durchschn. Motor- belastung in %	durchschnittl. pos. Leistung in %	eHC in g/km	eCO in g/km	eNO _x in g/km	eCO ₂ in g/km	eCO _{2g} in g/km	Kraftstoffverbrauch in g/km	Kraftstoffverbrauch in l/100 km
4	manual	50	1	urban	47	901	855	-0.5	1.5	3614	0.0	15.2	52.6	6.5	13.8	0.4051	2.99	10.62	726.1	732.1	231.8	27.9
4	manual	50	2	mot, flat	979	1378	400	-0.3	0.8	9277	75.2	83.5	93.2	24.9	27.7	0.1308	0.82	3.92	368.3	370.0	117.2	14.1
4	manual	50	3	mot, flat	1478	1943	466	0.1	0.3	11145	76.7	86.1	92.9	36.3	31.4	0.1317	0.75	5.22	453.1	454.7	144.0	17.3
4	manual	50	4	urban	2067	2492	426	0.0	0.5	3434	0.0	29.0	67.4	19.3	21.2	0.2428	2.31	8.47	619.2	623.6	197.5	23.7
4	manual	50	5	urban	2616	2974	359	0.0	0.5	2300	0.0	23.1	67.0	16.8	26.7	0.3108	4.05	8.66	779.8	787.1	249.3	30.0
4	manual	50	6	mot, flat, transition	3083	8566	5344	-0.4	1.3	51295	0.0	34.6	93.2	15.3	24.1	0.1924	1.88	6.72	528.5	532.1	168.5	20.3
4	manual	50	7	urban	3627	4298	669	0.2	0.6	6790	0.0	36.5	56.9	17.9	20.2	0.1793	2.53	7.09	507.9	512.4	162.3	19.5
4	manual	50	8	urban	4299	5102	798	-0.3	1.9	5327	0.0	24.0	54.9	13.1	21.2	0.2583	2.62	9.79	649.1	654.0	207.1	24.9
4	manual	50	9	urban	5866	6090	225	-0.1	0.8	2386	7.0	38.2	49.3	18.9	17.1	0.1939	2.30	5.93	456.7	460.9	146.0	17.5
4	manual	50	10	urban, low	6091	6270	180	0.1	0.1	499	0.0	10.0	31.7	14.9	10.1	0.5165	3.86	18.86	964.4	972.1	307.8	37.0
4	manual	50	11	urban	6267	6562	296	-0.4	0.5	2632	0.0	32.0	56.7	25.1	17.8	0.2450	2.63	8.03	534.6	539.5	170.9	20.5
4	manual	50	12	rural, flat	6579	7056	450	0.4	0.5	6633	0.0	53.1	77.9	27.2	30.4	0.1802	1.59	5.94	542.9	546.0	172.9	20.8
4	manual	50	13	urban	7164	7790	568	0.1	0.9	3902	0.0	24.7	55.2	9.6	20.9	0.2908	2.69	8.88	688.3	693.5	219.6	26.4
4	manual	50	14	rural, descend slightly	7790	8004	198	-0.8	0.4	3267	3.3	59.4	83.6	16.6	23.4	0.1274	1.33	4.40	384.9	387.3	122.7	14.7
4	manual	50	15	urban	8049	8285	224	-0.8	0.5	1639	0.0	26.3	62.9	6.8	15.6	0.2683	2.36	6.11	484.8	489.4	155.0	18.6
4	manual	50	16	mot, flat	8410	8554	145	0.2	0.2	3664	90.4	91.0	92.1	30.9	29.7	0.1319	0.79	5.30	419.3	420.9	133.3	16.0
4	manual	50	17	T70, flat	8588	8887	300	0.0	0.3	5511	57.7	66.1	70.2	23.5	24.3	0.1499	0.95	4.45	399.7	401.6	127.2	15.3
4	manual	50	18	mot, flat	9341	9645	305	0.1	0.2	7864	91.9	92.8	93.5	36.5	34.8	0.1263	0.73	5.31	452.4	454.0	143.8	17.3
4	manual	50	19	mot, flat, congested	9680	10033	354	0.0	0.4	7041	51.8	71.6	90.7	25.0	26.3	0.1144	0.79	3.96	352.9	354.5	112.3	13.5
4	manual	50	20	mot, flat	10294	10405	112	0.2	0.1	2810	89.5	90.3	91.1	37.9	34.4	0.1183	0.65	5.73	450.8	452.2	143.2	17.2
4	manual	50	21	urban, T60	10470	10708	239	-0.2	0.5	2489	0.0	37.5	59.1	26.0	28.3	0.1903	3.16	7.03	641.1	646.7	204.8	24.6
4	manual	50	22	urban, T30	10709	11016	308	1.3	2.2	1965	0.1	23.0	34.6	18.6	14.9	0.3101	2.10	10.72	688.9	693.2	219.5	26.4
4	manual	50	23	urban	11017	11502	486	0.1	1.6	4523	0.0	33.5	67.1	20.5	23.2	0.2155	1.73	7.62	575.0	578.4	183.2	22.0
4	manual	50	24	rural, T70	12228	12556	329	-0.1	1.4	4501	0.0	49.3	76.2	21.1	23.6	0.1683	1.21	5.25	453.5	456.0	144.4	17.4
4	manual	50	25	urban	12623	13409	787	0.0	1.2	6815	0.0	31.2	68.3	18.7	22.8	0.2403	2.45	7.27	561.9	566.6	179.4	21.6
4	manual	50	26	urban, T40	13526	13879	354	0.0	2.2	1939	0.0	19.7	38.7	14.9	19.1	0.3663	4.83	10.09	762.2	770.9	244.1	29.3
4	manual	50	27	urban, T50	13906	14457	552	-0.4	1.3	4387	0.0	28.6	56.6	16.0	24.9	0.2740	3.71	7.19	639.6	646.3	204.7	24.6
4	manual	50	28	rural, T70	14458	14615	158	1.2	0.4	2079	0.0	47.4	74.5	32.3	36.4	0.1972	2.80	7.07	671.5	676.6	214.3	25.8
4	manual	50	29	stop+go	14616	14920	305	1.6	0.7	437	0.0	5.2	35.9	5.9	15.2	0.9028	9.30	22.24	1426.7	1444.2	457.3	55.0
4	manual	50	30	mot, congested	14954	15345	392	-0.2	0.4	7254	29.5	66.6	84.5	29.8	30.7	0.1411	1.10	5.07	427.7	429.9	136.1	16.4
4	manual	50	31	mot, flat/hilly	16141	16364	224	-0.2	0.7	5590	89.3	89.8	90.3	39.5	35.6	0.1202	0.66	5.80	454.6	456.0	144.4	17.4
4	manual	50	32	mot, congested	16967	17254	288	0.5	0.9	1214	0.0	15.2	43.0	12.8	12.2	0.3087	4.19	11.32	649.6	657.2	208.1	25.0
4	manual	50	33	mot, hilly	17640	17814	175	0.1	0.7	4454	90.9	91.6	92.3	45.4	42.4	0.1190	0.78	6.12	525.7	527.3	167.0	20.1
4	manual	50	34	mot, congested	17909	18026	118	0.0	0.5	1554	37.0	47.4	54.8	20.5	24.1	0.1426	1.41	5.38	453.1	455.8	144.3	17.3
4	manual	50	35	mot, flat, dyn	18326	18702	377	0.0	0.5	8635	62.9	82.5	92.0	37.2	35.6	0.1058	0.84	4.76	433.4	435.0	137.8	16.6

Tab. 21: Fahrtabschnitte und zugehörige spez. Emissionen für Fahrzeug 4 bei 50 % Zuladung

Linearkombinationen der Emissionsfaktoren für Lkw-typische Basisfahrzyklen bestimmt wurden. Letztere sind in den Tabellen 22 bis 25 enthalten und wurden für den Vergleich herangezogen, um einen direkten Bezug zu einem Geschwindigkeitsverlauf (nämlich dem des zugrunde liegenden Fahrzyklus) zu ermöglichen (siehe Zyklusnummern in den Tabellen 22 bis 25). Dennoch wird ein unmittelbarer Vergleich dadurch erschwert, dass das Berechnungsprogramm PHEM (Passenger car and Heavy duty vehicle Emission Model) der TU Graz,

mit dem die Emissionsfaktoren berechnet werden, mit den Ergebnissen neben der Durchschnittsgeschwindigkeit nur noch die durchschnittliche positive Leistung bezogen auf die Nennleistung (in den Tabellen mit P_pos gekennzeichnet) als kennzeichnende Zyklusparameter ausgibt, nicht aber die durchschnittliche Motorbelastung. In den Tabellen 22 bis 25 sind auch deshalb nur die Emissionsfaktoren der Lkw-typischen Basisfahrzyklen angegeben, weil nur für sie die mittlere positive Leistung verfügbar ist.

Zyklus	Fahrzeugschicht	Emissionsstandard	Zuladung	Länge in km	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	Längsneigung	Kraftstoffverbrauch in g/km	No _x in g/km	HC in g/km	CO in g/km	CO ₂ in g/km	P_pos
13023	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	4.973	6.34162	0 %	871.3	32.891	3.1091	10.13	2751.4	7.0 %
13022	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	2.241	10.53071	0 %	898.3	29.464	1.8716	8.58	2836.6	13.5 %
6030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	10.438	14.35821	0 %	656.3	21.144	1.4308	4.91	2072.3	13.7 %
9040	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	5.157	15.52227	0 %	845.6	25.127	1.3144	5.59	2670.3	19.6 %
5030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	6.978	18.70623	0 %	700.4	21.454	1.1406	4.91	2211.8	19.6 %
14022	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	7.531	18.81522	0 %	563.0	19.938	1.3493	5.68	1777.8	14.4 %
6010	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	11.280	20.03419	0 %	680.4	20.539	1.0814	4.26	2148.5	20.4 %
10040	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	16.019	21.17105	0 %	750.8	22.112	1.0509	4.40	2370.9	24.0 %
5010	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	6.388	30.90935	0 %	719.0	20.796	0.7979	4.48	2270.4	34.3 %
12030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	3.479	34.78674	0 %	543.9	16.489	0.7474	3.30	1717.4	28.9 %
11040	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	23.661	39.01921	0 %	521.1	15.390	0.6345	3.02	1645.5	31.1 %
12010	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	9.128	40.87311	0 %	548.3	15.816	0.6421	3.04	1731.4	34.4 %
4020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	26.239	46.97248	0 %	448.9	13.667	0.5838	2.58	1417.7	32.3 %
3020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	37.533	65.94319	0 %	397.7	11.918	0.4401	2.15	1255.8	40.6 %
14021	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	21.342	73.03437	0 %	410.5	11.961	0.4240	2.38	1296.4	46.4 %
2020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	50.432	79.17857	0 %	363.3	10.639	0.4023	1.74	1147.2	44.9 %
1020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	31.779	86.21282	0 %	358.9	9.812	0.3921	1.45	1133.4	47.9 %
8030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	38.464	98.06684	0 %	354.8	9.004	0.4021	1.30	1120.2	52.5 %
7030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	100 %	21.864	102.88831	0 %	334.3	8.176	0.4174	1.25	1055.6	50.8 %

Tab. 22: Handbuch-Emissionsfaktoren für Fahrzeuge 1 bis 3 bei 100 % Zuladung

Zyklus	Fahrzeugschicht	Emissionsstandard	Zuladung	Länge in km	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	Längsneigung	Kraftstoffverbrauch in g/km	No _x in g/km	HC in g/km	CO in g/km	CO ₂ in g/km	P_pos
13023	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	4.973	6.3	0 %	754.5	28.521	3.140	10.28	2382.5	5.5 %
13022	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	2.242	10.5	0 %	704.3	23.707	1.885	7.19	2223.9	10.0 %
6030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	10.445	14.4	0 %	510.0	17.032	1.445	4.69	1610.5	10.1 %
9040	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	5.192	15.6	0 %	635.6	19.373	1.281	4.65	2007.2	14.3 %
5030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	6.982	18.7	0 %	523.1	16.691	1.140	4.18	1651.9	14.2 %
14022	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	7.532	18.8	0 %	447.8	16.275	1.359	5.10	1414.2	10.5 %
6010	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	11.312	20.1	0 %	506.3	16.007	1.061	3.78	1598.9	14.7 %
10040	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	16.196	21.4	0 %	555.3	16.813	1.000	3.66	1753.4	17.4 %
5010	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	6.457	31.2	0 %	527.4	15.869	0.740	3.67	1665.5	24.9 %
12030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	3.481	34.8	0 %	399.1	12.873	0.725	2.89	1260.4	20.5 %
11040	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	23.813	39.3	0 %	380.7	11.891	0.599	2.54	1202.0	22.3 %
12010	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	9.189	41.1	0 %	397.9	12.019	0.612	2.52	1256.3	24.6 %
4020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	26.267	47.0	0 %	331.8	10.551	0.576	2.22	1047.6	23.2 %
3020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	37.606	66.1	0 %	298.3	9.351	0.423	1.84	941.8	30.0 %
14021	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	21.446	73.4	0 %	313.2	9.606	0.394	2.12	989.1	35.2 %
2020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	50.479	79.3	0 %	284.7	8.624	0.388	1.55	899.0	34.7 %
1020	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	31.779	86.2	0 %	289.7	7.952	0.385	1.18	914.8	38.0 %
8030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	38.535	98.2	0 %	299.9	7.286	0.406	1.18	947.1	43.5 %
7030	LZ_SZ_34_40t_EU3	EU3	50 %	21.883	103.0	0 %	292.5	6.797	0.423	1.11	923.5	43.4 %

Tab. 23: Handbuch-Emissionsfaktoren für Fahrzeuge 1 bis 3 bei 50 % Zuladung

In den Ergebnistabellen für die Fahrtabschnitte ist dieser Parameter auch mit aufgeführt (siehe Tabellen 26 bis 29). Nur in wenigen Fällen findet man Abschnitte, die hinsichtlich der Durchschnittsgeschwindigkeit und der durchschnittlichen positiven

Leistung mit Handbuch-Zyklen übereinstimmen oder ihnen nahe kommen. Deshalb ergeben sich z. T. auch große Abweichungen vom Trend der Handbuch-Emissionsfaktoren.

Zyklus	Fahrzeugschicht	Emissionsstandard	Zuladung	Länge in km	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	Längsneigung	Kraftstoffverbrauch in g/km	No _x in g/km	HC in g/km	CO in g/km	CO ₂ in g/km	P_pos
13023	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	4.973	6.3	0 %	299.1	12.897	1.310	4.10	944.4	5.4 %
13022	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	2.241	10.5	0 %	297.5	10.592	0.818	3.09	939.3	9.7 %
6030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	10.444	14.4	0 %	230.6	7.724	0.682	2.12	728.3	10.2 %
9040	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	5.192	15.6	0 %	277.8	8.581	0.599	2.23	877.2	13.9 %
5030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	6.982	18.7	0 %	238.9	7.419	0.547	1.87	754.4	14.2 %
14022	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	7.532	18.8	0 %	212.4	7.142	0.713	2.48	670.9	10.8 %
6010	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	11.305	20.1	0 %	232.9	7.086	0.521	1.69	735.6	14.7 %
10040	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	16.188	21.4	0 %	249.8	7.696	0.468	1.77	788.9	17.2 %
5010	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	6.456	31.2	0 %	243.2	7.115	0.367	1.67	768.0	24.9 %
12030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	3.481	34.8	0 %	193.7	5.813	0.374	1.38	611.7	21.3 %
11040	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	23.811	39.3	0 %	186.0	5.557	0.306	1.24	587.2	23.7 %
12010	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	9.187	41.1	0 %	192.0	5.593	0.305	1.17	606.1	25.6 %
4020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	26.265	47.0	0 %	165.4	5.084	0.284	1.06	522.4	25.3 %
3020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	37.605	66.1	0 %	160.3	4.853	0.211	0.90	506.2	35.3 %
14021	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	21.442	73.4	0 %	172.6	5.030	0.202	0.98	544.9	42.4 %
2020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	50.476	79.2	0 %	169.7	4.591	0.195	0.72	535.8	45.2 %
1020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	31.779	86.2	0 %	179.7	4.475	0.190	0.54	567.5	51.7 %
8030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	38.502	98.2	0 %	197.7	4.708	0.203	0.54	624.3	63.1 %
7030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	100 %	21.871	102.9	0 %	199.3	4.685	0.204	0.51	629.2	66.2 %

Tab. 24: Handbuch-Emissionsfaktoren für Fahrzeug 4 bei 100 % Zuladung

Zyklus	Fahrzeugschicht	Emissionsstandard	Zuladung	Länge in km	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	Längsneigung	Kraftstoffverbrauch in g/km	No _x in g/km	HC in g/km	CO in g/km	CO ₂ in g/km	P_pos
13023	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	4.973	6.3	0 %	267.9	11.493	1.305	4.12	845.9	4.5 %
13022	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	2.242	10.5	0 %	246.8	8.872	0.833	3.75	779.2	7.6 %
6030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	10.448	14.4	0 %	193.4	6.554	0.707	2.18	610.6	8.1 %
9040	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	5.194	15.6	0 %	222.8	6.985	0.610	1.99	703.5	10.6 %
5030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	6.982	18.7	0 %	194.0	6.167	0.566	1.72	612.7	11.0 %
14022	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	7.533	18.8	0 %	183.6	6.202	0.733	2.44	579.8	8.5 %
6010	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	11.315	20.1	0 %	187.7	5.818	0.541	1.65	592.7	11.3 %
10040	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	16.208	21.4	0 %	197.7	6.268	0.474	1.60	624.3	13.2 %
5010	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	6.467	31.3	0 %	191.1	5.678	0.370	1.44	603.5	19.0 %
12030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	3.481	34.8	0 %	156.9	4.884	0.388	1.32	495.4	16.4 %
11040	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	23.814	39.3	0 %	150.5	4.659	0.312	1.11	475.3	18.6 %
12010	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	9.190	41.1	0 %	152.5	4.601	0.313	1.07	481.7	19.8 %
4020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	26.268	47.0	0 %	135.4	4.282	0.294	0.99	427.6	20.1 %
3020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	37.611	66.1	0 %	135.3	4.227	0.214	0.81	427.2	29.4 %
14021	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	21.465	73.5	0 %	146.7	4.345	0.200	0.83	463.1	35.8 %
2020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	50.488	79.3	0 %	149.0	4.040	0.191	0.68	470.6	39.3 %
1020	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	31.779	86.2	0 %	160.6	3.926	0.185	0.50	507.1	45.9 %
8030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	38.543	98.3	0 %	184.8	4.238	0.200	0.50	583.6	58.2 %
7030	Solo_Lkw_7_5_12t_EU3	EU3	50 %	21.884	103.0	0 %	189.6	4.307	0.200	0.46	598.6	62.4 %

Tab. 25: Handbuch-Emissionsfaktoren für Fahrzeug 4 bei 50 % Zuladung

In Anhang B sind die Emissionsfaktoren für die Fahrabschnitte der Tabellen 26 bis 29 in Abhängigkeit von der mittleren Geschwindigkeit grafisch dargestellt. Handbuch-Emissionsfaktoren für 40-t-Lastzüge EURO3 und einen 12-t-Solo-Lkw EURO3 sind jeweils auch mit eingetragen.

Für den Vergleich der in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse mit den Emissionsfaktoren des Handbuchs wurde aber eine andere Vorgehensweise angewendet, die im Kapitel 4.3 beschrieben ist.

Aus der Analyse der Ergebnisse für die Fahrabschnitte (siehe Tabellen 26 bis 29) ergibt sich folgendes Bild:

Bei Fahrzeug 1 zeigen die HC- und CO-Emissionen oberhalb von 40 km/h nur geringen Einfluss des Fahrzustands. Für HC liegen die Emissionsfaktoren unter 0,5 g/km, für CO unter 4 g/km. Zu niedrigeren Geschwindigkeiten hin sind die Streuungen erwartungsgemäß größer. Bei NO_x und CO₂ ist jedoch ein großer Einfluss des Fahrzustandes gegeben. Bei Autobahnfahrt variieren die NO_x-Emissionen zwischen 1 g/km (bergab) und 13 g/km (bergauf), bei 60 km/h sogar zwischen 4 g/km und 25 g/km. Entsprechende Unterschiede zeigen sich auch bei den CO₂-Emissionen und damit beim Kraftstoffverbrauch.

Fahrzeug 2 zeigt bei HC ähnliches Emissionsverhalten wie Fahrzeug 1, hat aber unterhalb von 40 km/h deutlich höhere CO-Emissionen, insbesondere bei voller Zuladung (bis über 16 g/km). Das Emissionsverhalten für NO_x ist oberhalb von 50 km/h ähnlich wie bei Fahrzeug 1, unterhalb liegen

die Emissionsfaktoren deutlich niedriger als bei Fahrzeug 1.

Das Emissionsverhalten von Fahrzeug 3 ist für HC ähnlich wie das der übrigen Fahrzeuge, für CO aber bei niedrigen Geschwindigkeiten bei geringerer fahrzustandsbedingter Varianz (Emissionsunterschiede bei gleicher Geschwindigkeit, die auf unterschiedliche Lastzustände zurückzuführen sind) deutlich günstiger. Das Emissionsverhalten für NO_x ist unterhalb von 50 km/h ähnlich wie bei Fahrzeug 2 und oberhalb etwas niedriger als bei den beiden anderen Lastzügen.

Das Emissionsverhalten von Fahrzeug 4 lässt sich wie folgt zusammenfassen: Die HC-Emissionen sind insgesamt sehr niedrig (oberhalb von 20 km/h unter 0,4 g/km). Sie sind bei halber Zuladung höher als bei voller Zuladung. Umgekehrtes gilt für CO, bei dem die Emissionswerte insgesamt bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h deutlich über den Emissionsfaktoren des Handbuchs liegen. Die NO_x- und CO₂-Emissionen zeigen deutlich geringere fahrzustandsbedingte Varianz als bei den anderen Fahrzeugen, was allerdings auf die wesentlich geringeren Höhenunterschiede der Fahrstrecke zurückzuführen ist.

4.3 Vergleich mit Emissionsfaktoren des Handbuchs

Wie bereits erwähnt, wird ein unmittelbarer Vergleich der in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse mit den entsprechenden Emissionsfaktoren des

Fahrzeug	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	mittlere Motorbelastung	mittl. norm. positive Leistung	HC in g/km	CO in g/km	NO _x in g/km	CO ₂ in g/km
1	79.3	60.6 %	46.4 %	0.3469	1.869	16.271	1425.1
1	85.8	56.1 %	47.5 %	0.3475	0.981	11.986	1318.2
1	65.7	51.2 %	41.1 %	0.3124	1.072	15.535	1411.5
1	73.6	48.5 %	40.5 %	0.3052	0.957	14.238	1256.7
1	42.4	44.2 %	35.0 %	0.5369	2.008	23.630	2258.5
1	38.8	26.9 %	27.4 %	0.4449	3.175	18.573	938.4
1	30.4	19.5 %	34.6 %	0.8036	3.769	17.007	1510.4
1	12.0	15.1 %	13.3 %	1.6320	10.929	45.696	2048.5
1	47.8	13.8 %	32.1 %	0.2563	2.936	8.524	532.5
1	10.5	10.6 %	11.1 %	2.9346	7.373	42.450	2161.6
1	22.0	8.8 %	15.9 %	1.0142	2.732	11.917	1085.1
1	20.2	6.7 %	21.5 %	0.8187	5.429	21.768	1362.1
1	6.6	2.0 %	7.5 %	1.4377	5.196	26.710	2030.3
1	23.5	0.7 %	24.9 %	0.4772	1.856	11.141	996.6
1	18.8	-0.8 %	20.9 %	0.6932	1.638	9.529	967.8
1	16.7	-1.5 %	20.3 %	0.6224	3.326	18.260	1462.6
1	34.3	-2.7 %	29.5 %	0.4817	2.102	8.100	830.7

Tab. 26: Emissionsfaktoren derjenigen 2-km-Fahrabschnitte, die bei Fahrzeug 1 für den Vergleich mit Handbuch-Emissionsfaktoren herangezogen wurden

Fahrzeug	Durchschnitts- geschwindigkeit in km/h	mittlere. Motorbelastung	mittl. norm. positive Leistung	HC in g/km	CO in g/km	NO _x in g/km	CO ₂ in g/km
2	5.4	2.4 %	7.8 %	2.1091	12.974	30.913	2722.8
2	10.2	6.2 %	15.2 %	1.4398	17.461	19.539	2706.3
2	16.8	10.6 %	22.3 %	0.8663	13.184	14.452	1880.2
2	18.1	1.6 %	17.3 %	0.8211	6.694	13.777	1571.8
2	18.0	2.3 %	26.6 %	0.7568	6.073	12.761	1384.0
2	32.5	15.8 %	33.9 %	0.7274	16.275	17.287	2446.0
2	33.7	11.9 %	26.8 %	0.4786	4.534	8.776	1060.3
2	39.6	20.9 %	28.0 %	0.3306	3.572	7.723	849.3
2	48.3	14.7 %	32.5 %	0.3887	7.335	9.641	1256.7
2	73.5	52.1 %	50.8 %	0.3130	5.025	14.813	1572.1
2	73.9	35.0 %	42.7 %	0.2697	3.646	10.642	1164.4
2	79.7	44.6 %	44.3 %	0.2569	2.685	9.221	903.0
2	86.0	50.8 %	44.1 %	0.2962	1.539	13.617	1257.7

Tab. 27: Emissionsfaktoren derjenigen 2-km-Fahrtabschnitte, die bei Fahrzeug 2 für den Vergleich mit Handbuch-Emissionsfaktoren herangezogen wurden

Fahrzeug	Durchschnitts- geschwindigkeit in km/h	mittlere. Motorbelastung	mittl. norm. positive Leistung	HC in g/km	CO in g/km	NO _x in g/km	CO ₂ in g/km
3	11.2	6.8 %	12.1 %	1.4948	7.823	33.4463	2426.1
3	20.1	8.7 %	24.7 %	0.8592	6.114	14.9375	1604.5
3	24.9	11.2 %	23.5 %	1.0199	4.709	14.9518	1744.5
3	32.8	45.9 %	33.9 %	0.7159	6.225	18.3252	2068.1
3	65.8	45.6 %	41.0 %	0.4238	1.937	14.2869	1544.9
3	74.5	62.7 %	48.2 %	0.3117	1.924	12.5830	1335.8
3	77.0	50.5 %	46.5 %	0.5027	1.938	13.8692	1427.5
3	85.9	52.1 %	48.6 %	0.4007	1.334	11.1127	1287.0

Tab. 28: Emissionsfaktoren derjenigen 2-km-Fahrtabschnitte, die bei Fahrzeug 3 für den Vergleich mit Handbuch-Emissionsfaktoren herangezogen wurden

Fahrzeug	Durchschnitts- geschwindigkeit in km/h	mittlere. Motorbelastung	mittl. norm. positive Leistung	HC in g/km	CO in g/km	NO _x in g/km	CO ₂ in g/km
4	10.2	5.9 %	8.1 %	0.5017	3.692	13.676	881.9
4	10.3	12.9 %	6.5 %	0.3185	5.444	15.850	825.3
4	14.0	1.4 %	9.5 %	0.3839	2.271	9.835	556.9
4	15.1	0.2 %	12.9 %	0.2208	7.821	10.061	932.9
4	18.1	13.6 %	15.1 %	0.3810	2.797	11.636	826.0
4	17.7	11.0 %	11.7 %	0.3022	4.457	8.677	608.8
4	18.1	10.9 %	9.2 %	0.2526	2.597	9.261	523.5
4	19.2	22.3 %	15.5 %	0.3548	3.004	13.803	853.7
4	22.4	23.7 %	18.4 %	0.2079	4.378	11.672	870.6
4	21.4	21.2 %	13.2 %	0.3487	2.166	12.533	779.6
4	31.9	37.2 %	24.5 %	0.2483	4.272	13.137	886.9
4	33.0	18.9 %	20.1 %	0.2278	2.086	7.818	590.2
4	34.0	16.9 %	22.5 %	0.1710	2.269	6.915	580.8
4	34.6	16.2 %	18.9 %	0.0886	3.050	5.295	539.2
4	40.5	23.5 %	23.0 %	0.1680	2.290	6.567	550.3
4	41.6	34.0 %	26.7 %	0.1807	1.927	7.765	633.1
4	41.9	27.0 %	18.3 %	0.1607	2.121	8.673	539.3
4	47.4	25.6 %	28.1 %	0.1401	1.595	5.859	496.2
4	47.4	12.2 %	20.5 %	0.1309	0.743	4.582	384.7
4	66.6	21.1 %	35.1 %	0.0997	0.930	3.950	495.3
4	66.1	28.1 %	28.8 %	0.1086	0.881	3.688	398.1
4	74.7	52.1 %	41.8 %	0.1337	1.259	6.037	651.3
4	73.4	47.2 %	35.0 %	0.1339	1.345	5.520	557.9
4	79.8	54.3 %	45.9 %	0.1276	1.118	6.494	630.3
4	80.3	11.3 %	37.3 %	0.0987	0.464	4.289	463.2
4	86.5	59.0 %	51.2 %	0.0759	0.810	6.538	719.0
4	86.6	52.6 %	44.5 %	0.0875	0.875	6.356	713.9

Tab. 29: Emissionsfaktoren derjenigen 2-km-Fahrtabschnitte, die bei Fahrzeug 4 für den Vergleich mit Handbuch-Emissionsfaktoren herangezogen wurden

Handbuchs dadurch erschwert, dass das Berechnungsprogramm PHEM der TU Graz, mit dem die Emissionsfaktoren berechnet werden, mit den Ergebnissen neben der Durchschnittsgeschwindigkeit nur noch die durchschnittliche positive Leistung bezogen auf die Nennleistung (in den Tabellen mit P_pos gekennzeichnet) als kennzeichnende Zyklusparameter ausgibt, nicht aber die durchschnittliche Motorbelastung. Um dennoch eine Vergleichbarkeit herstellen zu können, wurden aus den Ergebnissen der Analyse der Fahrtabschnitte von 2 km Länge (siehe auch Bild 52) diejenigen ausgewählt, die hinsichtlich Durchschnittsgeschwindigkeit und mittlerer positiver Leistung mit den entsprechenden Werten der Fahrzyklen des Handbuchs übereinstimmen oder ihnen nahe kommen. Der Vergleich wurde für die Längsneigungsklasse 0 % durchgeführt, weil hierfür die meisten Paarungen vorlagen. Die unter diesen Randbedingungen aus den Straßenmessungen ausgewählten Emissionsfaktoren sind in den Tabellen 26 bis 29 zusammengestellt.

Bei Fahrzeug 3 ergab sich mit nur 8 Faktoren die geringste Zahl vergleichbarer Werte, bei Fahrzeug 4 mit 27 die höchste, wobei erwähnt werden muss, dass der Vergleich bei den Fahrzeugen 1 bis 3 auf das voll beladene Fahrzeug und 0 % Längsneigung beschränkt wurde. Bei 50 % Beladung zeigten sich analoge Ergebnisse.

Der Fehler durch die Abgasmassenstrommessung wurde in den folgenden Bildern nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse für die Fahrzeuge 1 bis 3 und HC sind in Bild 66 dargestellt. Um einen Mittelwert für die 3 untersuchten Fahrzeuge angeben zu können, wurde für jedes Fahrzeug die Regressionsfunktion (als Potenzfunktion) bestimmt. Die daraus berechneten Werte wurden dann für vorgegebene Geschwindigkeiten gemittelt. Diese mittlere Emissionsfunktion ist als „average, veh 1-3“ ebenfalls im Bild angegeben. Die HC-Emissionen aller 3 Fahrzeuge liegen relativ dicht beieinander, die Mittelwerte liegen um 16 % bis 20 % unter der Trendlinie für die Handbuch-Emissionsfaktoren.

Entsprechende Ergebnisse für CO sind in Bild 67 dargestellt. Wie bereits erwähnt, weist Fahrzeug 2 bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich höhere Emissionen und größere Varianzen auf als die beiden übrigen Fahrzeuge, sodass die Mittelwertkurve deutlich über der Trendkurve des Handbuchs liegt.

Bei 10 km/h beträgt der Unterschied 60 %, er verringert sich allerdings mit zunehmender Geschwindigkeit auf 10 % bei 90 km/h. Würde man nur die Fahrzeuge 1 und 3 betrachten, so liegen deren Mittelwerte bis 35 km/h über der Trendkurve des

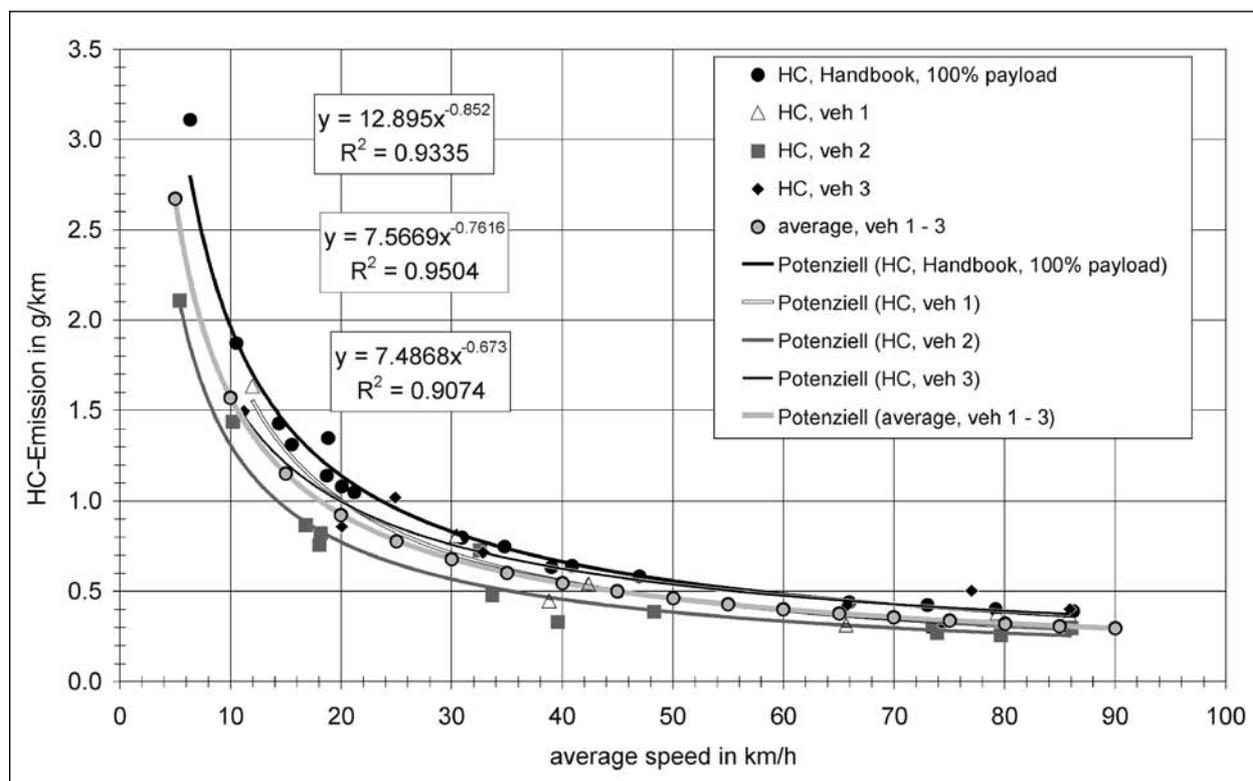


Bild 66: HC-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeuge 1 bis 3

Handbuchs, bei höheren Geschwindigkeiten allerdings zunehmend darunter (-24 % bei 90 km/h).

Die Ergebnisse für NO_x sind in Bild 68 dargestellt. Die Trendkurve für Fahrzeug 1 liegt deutlich oberhalb der Trendkurve des Handbuchs, die Trendkur-

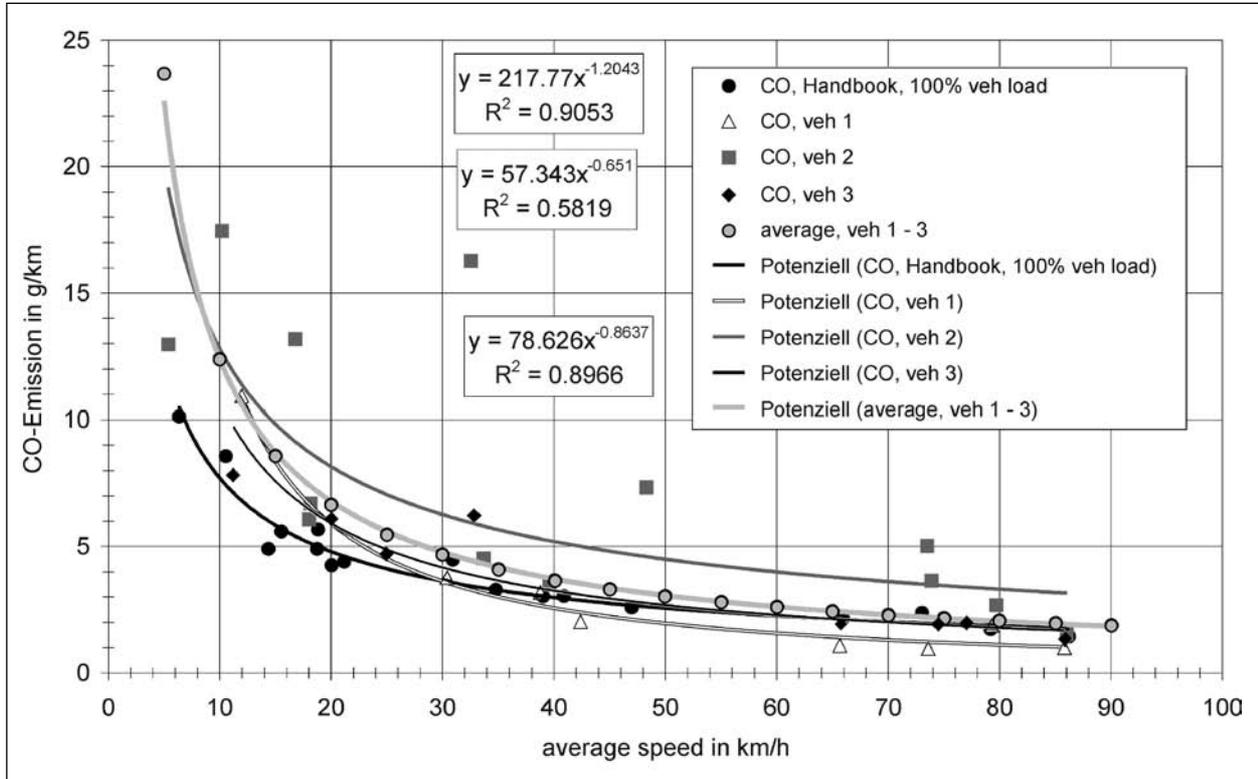


Bild 67: CO-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeuge 1 bis 3

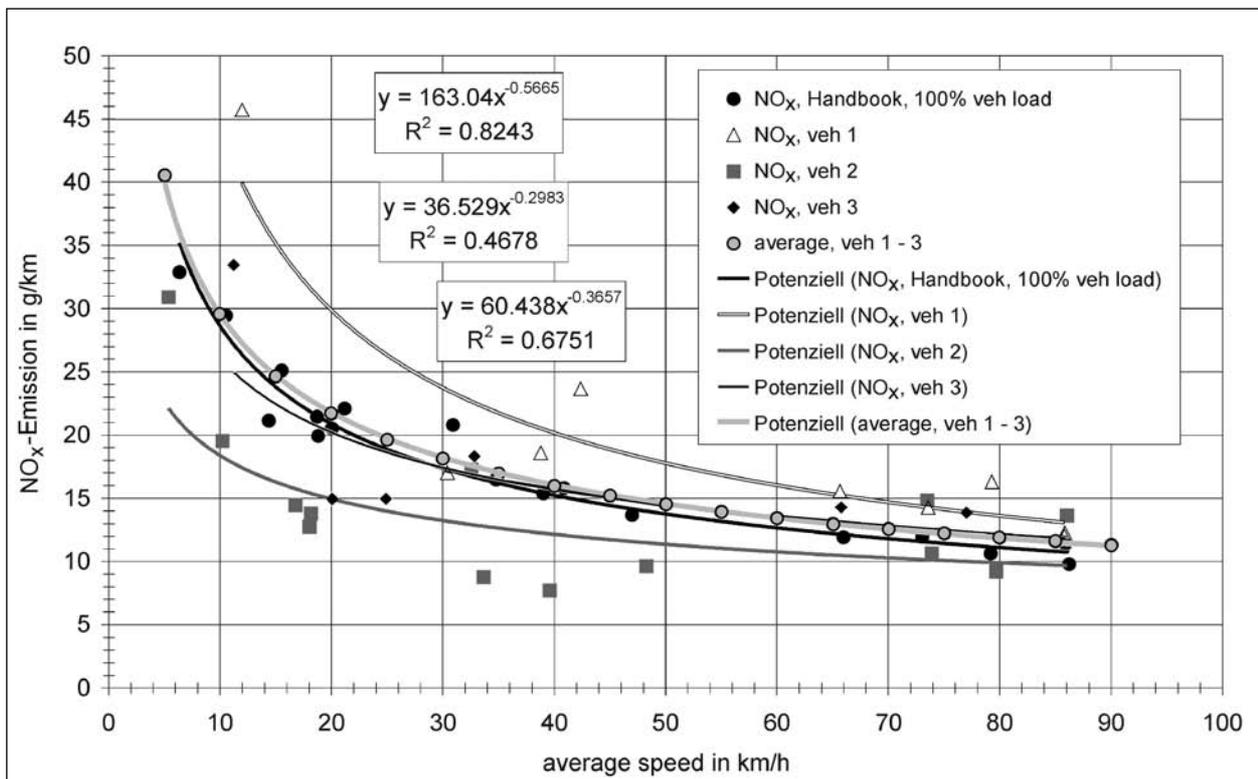


Bild 68: NO_x-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeuge 1 bis 3

ve für Fahrzeug 2 deutlich darunter, diejenige für Fahrzeug 3 ist mit der Handbuch-Kurve praktisch identisch, bei niedrigen Geschwindigkeiten liegt die Kurve für Fahrzeug 3 bis zu 10 % unter der Handbuch-Kurve, bei hohen Geschwindigkeiten bis zu 10 % darüber. Die Mittelwertskurve aller 3 Fahrzeuge liegt im ganzen Geschwindigkeitsbereich leicht über der Handbuch-Kurve, allerdings sind die Unterschiede mit 3 % bis 7 % nicht signifikant.

Bild 69 zeigt die Ergebnisse der CO₂-Emissionsfaktoren. In diesem Bild, wie auch in den entsprechenden folgenden Bildern, bezeichnet CO₂g das gesamte nach Gleichung 1 bestimmte CO₂. Die Emissionsfaktoren der 2-km-Fahrtabschnitte weisen deutlich höhere Streuungen auf als die Handbuch-Emissionsfaktoren, was sicherlich durch Unterschiede in der Motorbelastung erklärt werden könnte, wenn diese Werte auch für die Handbuch-Zyklen verfügbar wären. Bei niedrigen Geschwindigkeiten sind die Emissionen der 3 Fahrzeuge niedriger als die Handbuch-Emissionen, bei hohen Geschwindigkeiten liegen sie für die Fahrzeuge 1 und 3 tendenziell höher. Die Mittelwertkurve stimmt oberhalb von 50 km/h gut mit der Handbuch-Trendlinie überein, zu niedrigen Geschwindigkeiten hin liegt sie aber zunehmend unter der Handbuch-

Kurve (bei 15 km/h um 17 %). Für den Kraftstoffverbrauch ergeben sich analoge Aussagen (Bild 70).

Die Ergebnisse für Fahrzeug 4 sind in den Bildern 71 bis 75 dargestellt. Die HC-Emissionen von Fahrzeug 4 liegen im gesamten Geschwindigkeitsbereich ca. 50 % unter den Emissionsfaktoren des Handbuchs.

Für CO ergibt sich ein umgekehrtes Bild. Die Trendkurve von Fahrzeug 4 liegt zwischen 40 % und 80 % über derjenigen der Handbuch-Emissionsfaktoren, wobei die Unterschiede mit zunehmender Geschwindigkeit abnehmen. Die untere Grenze des Streubandes der 2-km-Fahrtabschnitte stimmt recht gut mit der Handbuch-Trendlinie überein.

Ähnliches gilt für die NO_x-Emissionsfaktoren, wobei diese für Fahrzeug 4 zu höheren Geschwindigkeiten sogar wieder zunehmen. Bei 10 km/h liegen die NO_x-Emissionen von Fahrzeug 4 ca. 50 % über denjenigen des Handbuchs, mit steigender Geschwindigkeit verringert sich der Unterschied auf 15 % bei 47 km/h. Er steigt dann allerdings wieder an und erreicht bei 86 km/h 46 %.

Bei den CO₂-Emissionen ergeben sich ähnliche Trends wie beim NO_x, wobei die Regressionskur-

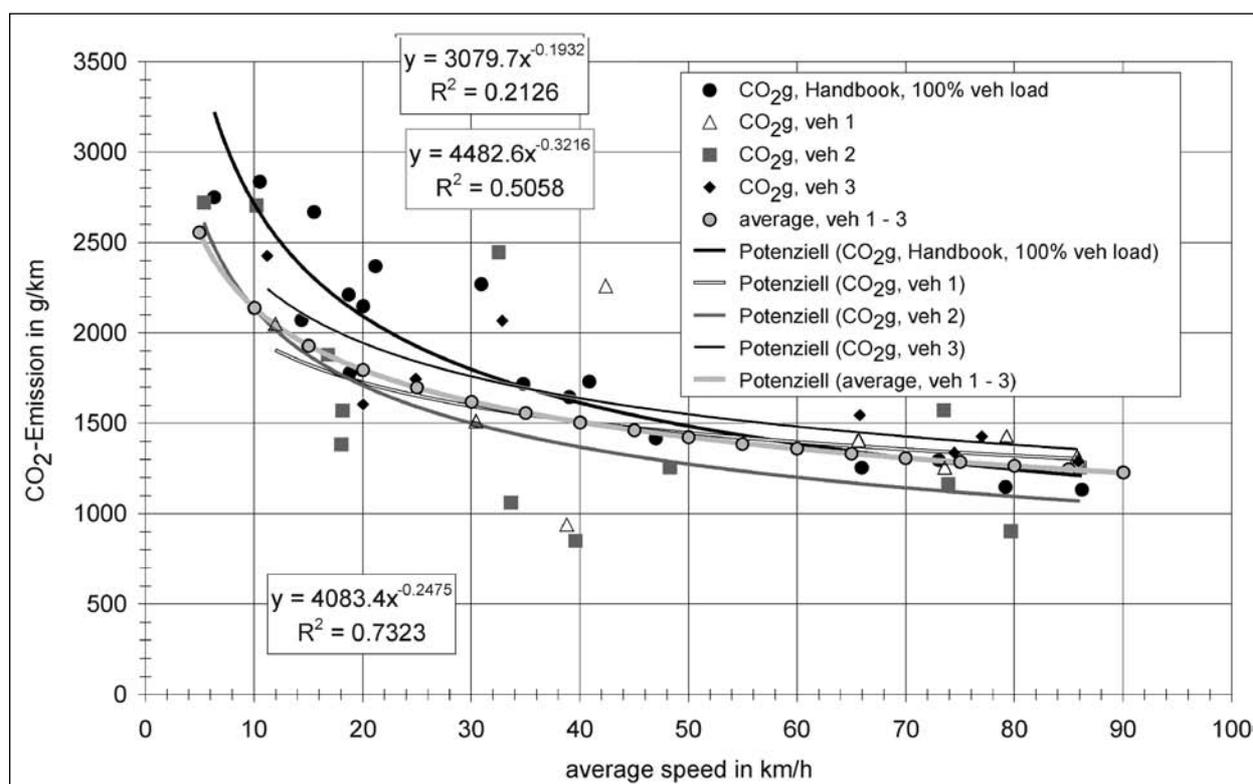


Bild 69: CO₂-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeuge 1 bis 3

ven hier bei niedrigen Geschwindigkeiten keine signifikanten, dafür aber bei höheren Geschwindigkeiten deutlichere Unterschiede aufweisen. Dasselbe gilt natürlich auch für den Kraftstoffverbrauch.

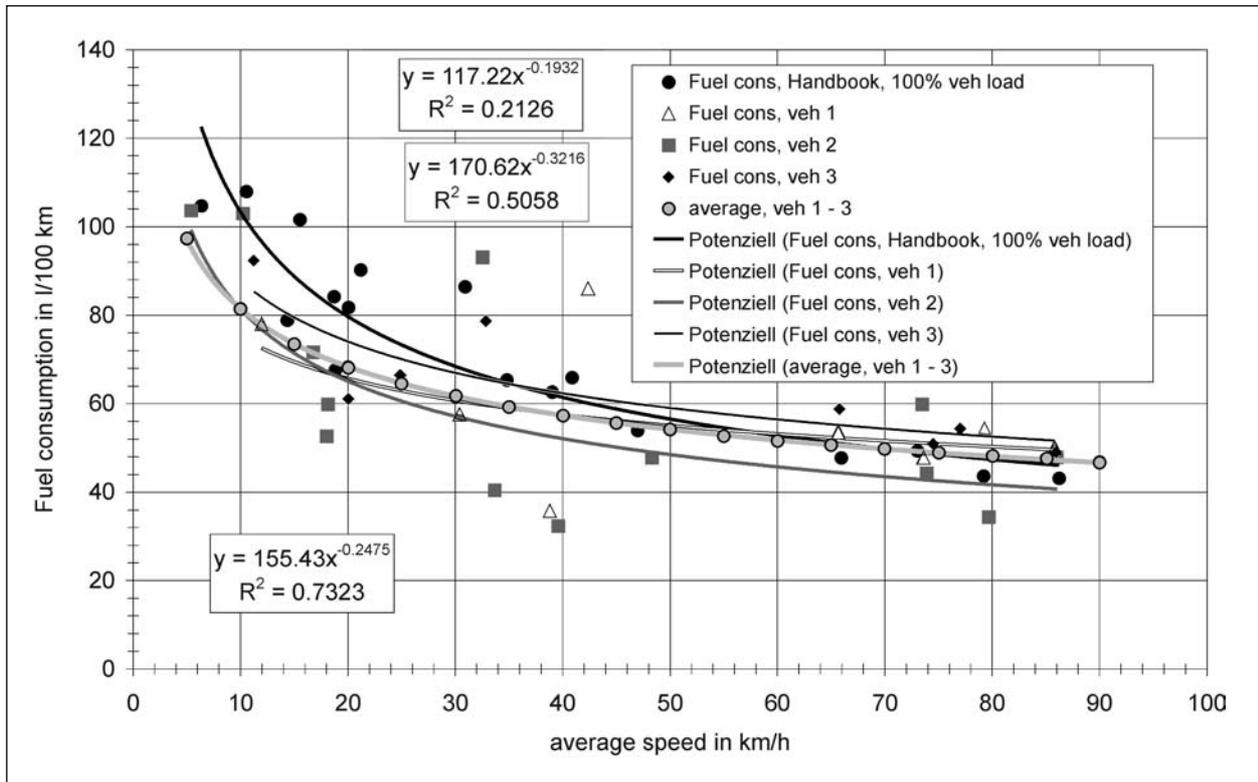


Bild 70: Kraftstoffverbräuche für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeuge 1 bis 3

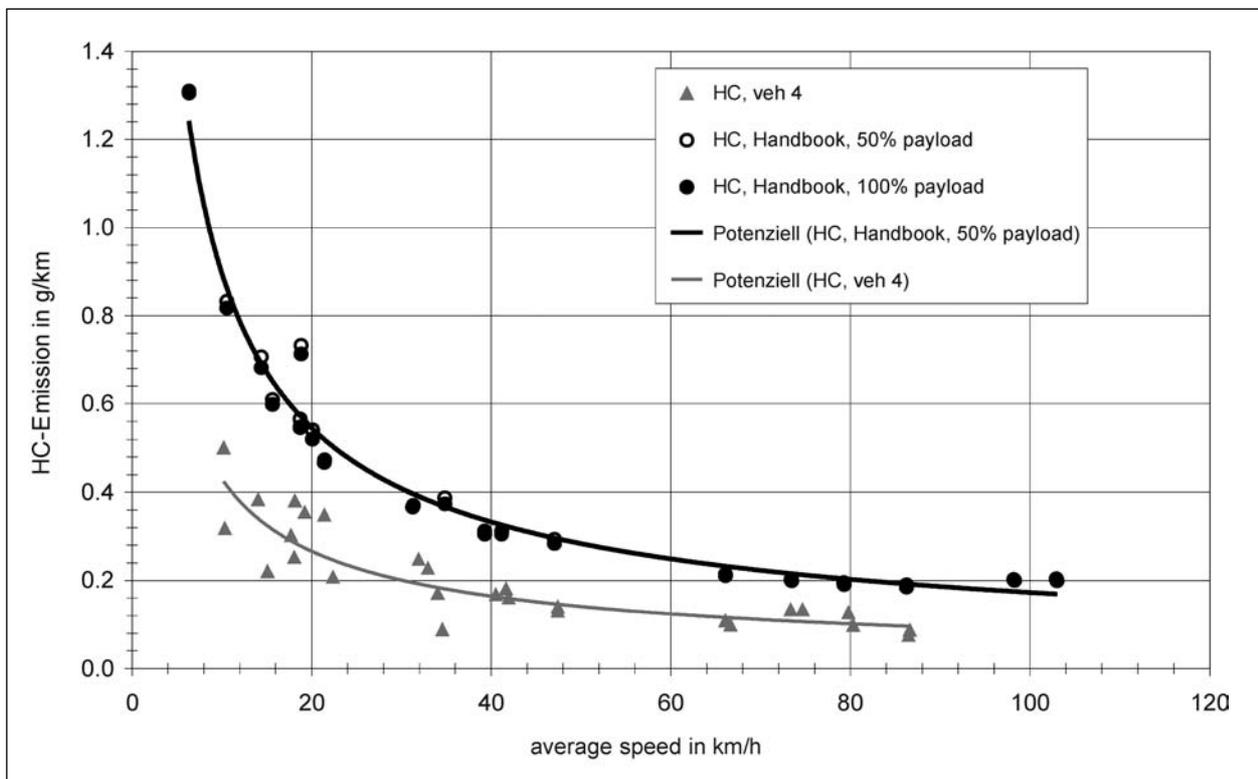


Bild 71: HC-Emissionen für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeug 4

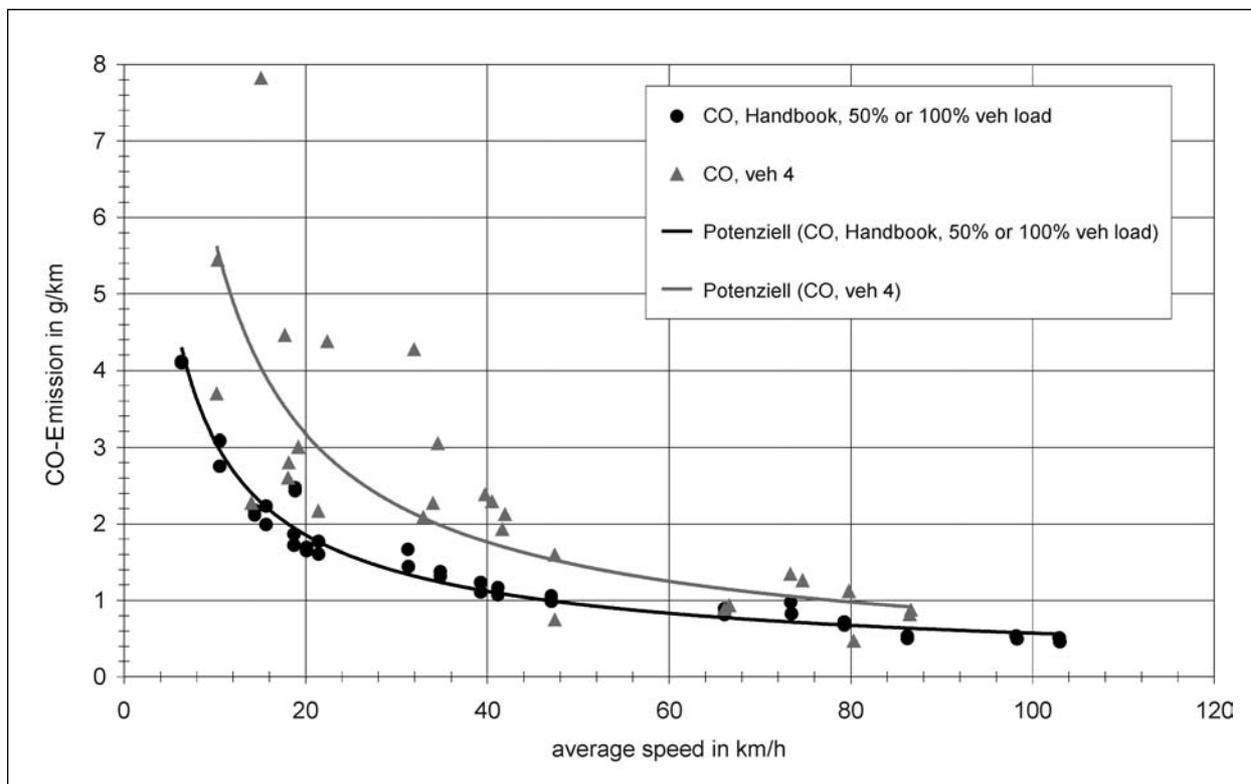


Bild 72: CO-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeug 4

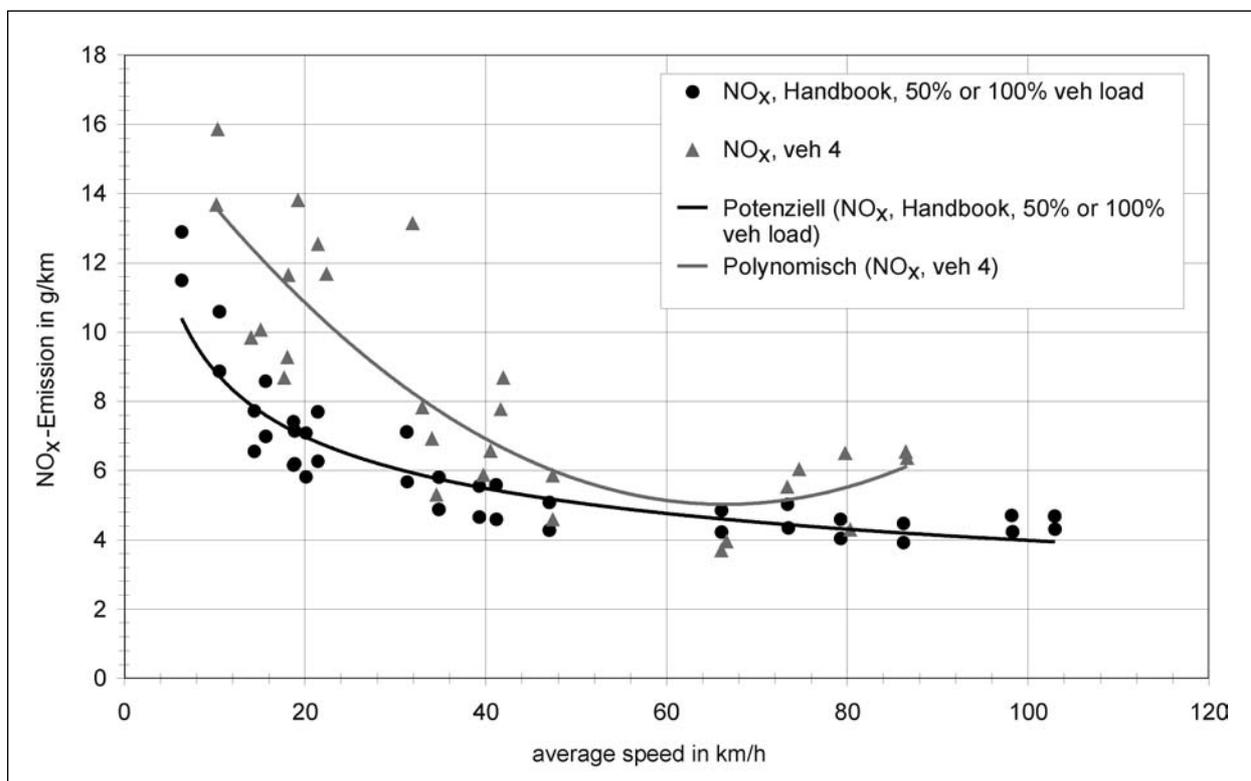


Bild 73: NO_x-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeug 4

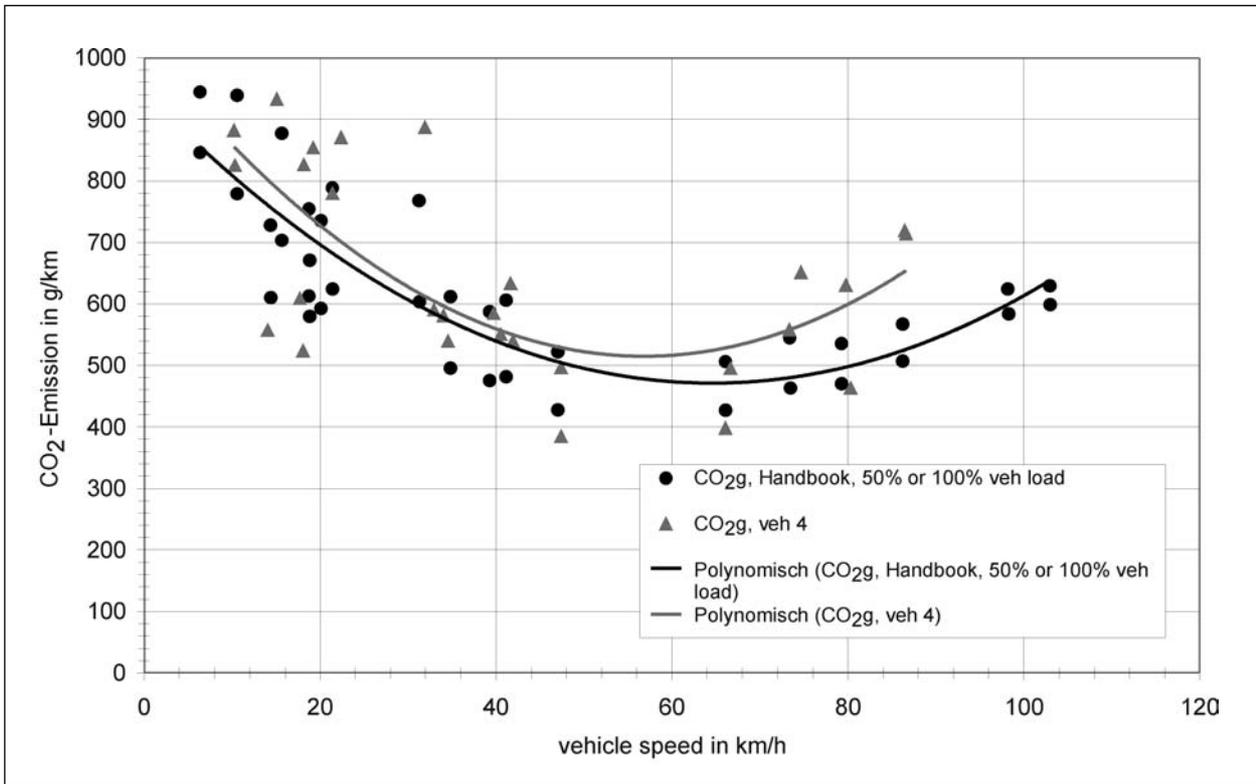


Bild 74: CO₂-Emissionsfaktoren für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeug 4

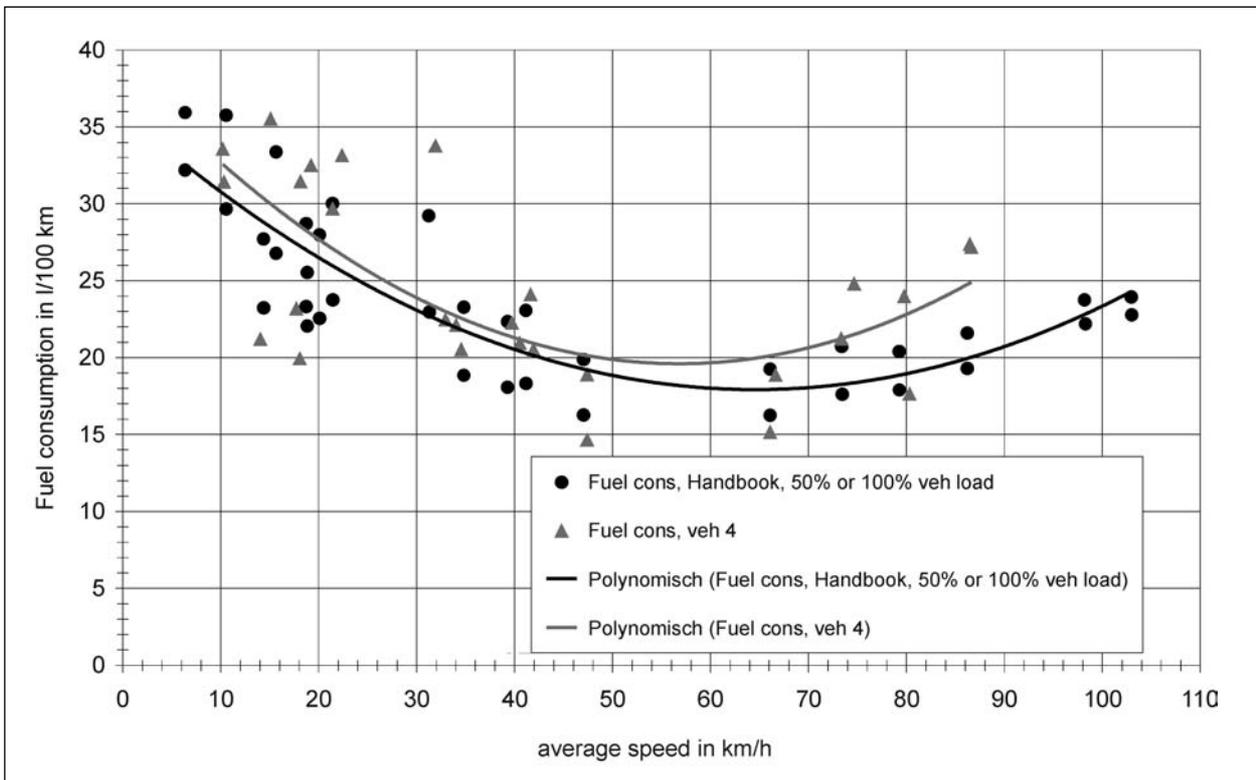


Bild 75: Kraftstoffverbräuche für Fahrtabschnitte aus dem praktischen Betrieb und aus dem Handbuch für Fahrzeug 4

4.4 Fazit

Zusammenfassend lässt sich folgendes Fazit ziehen:

Die Bestimmung der Schadstoffemissionen im realen Verkehr ist mit der angewendeten Messtechnik mit hinreichender Genauigkeit möglich.

Die sekundlichen Emissionswerte weisen gegenüber der Geschwindigkeit zeitliche Verzüge auf, die durch die Verzögerung zwischen Probenahme und Analyse verursacht wurden und zwischen 3 und 4 Sekunden betragen. Sie wurden durch entsprechende Verschiebungen zwischen den Betriebszustandsdaten und Emissionsdaten kompensiert.

Für alle untersuchten Fahrzeuge waren bei NO_x und beim CO_2 die Fahrzeuggeschwindigkeit und die mittlere Motorbelastung die wesentlichen Einflussfaktoren. Auf diese beiden ließ sich der überwiegende Teil der Streuungen der Ergebnisse zurückführen. Unterschiede in Beladung und Längsneigung führen zu Unterschieden in der Motorbelastung, die wiederum die Unterschiede in den Emissionen erklären. Die verbleibenden Streuungen um die entsprechenden Regressionskurven liegen im Bereich $\pm 10\%$. Die Unterschiede zwischen den beiden Getriebevarianten des Fahrzeugs 1 waren dagegen nicht signifikant.

Bei HC und CO war der Einfluss der Motorbelastung nicht so ausgeprägt. Hier ist eher das Beschleunigungsverhalten (bzw. Anzahl der Lastwechsel) ausschlaggebend. Zwischen den Emissionen im Schubbetrieb, bei Fahrt mit gleichförmiger Geschwindigkeit und in Beschleunigungsphasen ergaben sich signifikante Unterschiede in den Emissionen, allerdings bei erheblichen Streuungen die bis zu $\pm 50\%$ betragen können.

Ein Vergleich der Messergebnisse mit den Emissionsfaktoren des Handbuchs gestaltete sich deshalb schwierig, weil über die den Handbuch-Emissionsfaktoren zugrunde liegenden Fahrzyklen zu geringe Informationen über Dynamikparameter und Motorbelastungen vorliegen. Die Durchschnittsgeschwindigkeit und die mittlere positive Motorleistung reichen hier allein nicht aus. Zukünftig wäre es hilfreich, wenn im Rahmen der Analyse auch das PHEM-Modell (der TU Graz) zur Verfügung stünde, sodass weitere Parameter in den Vergleich mit einbezogen werden könnten.

Der Vergleich der Handbuch-Emissionsfaktoren und der in diesem Vorhaben gewonnenen Ergeb-

nisse auf der Basis von Durchschnittsgeschwindigkeit und mittlerer positiver Leistung ergab bei den Lastzügen keine gravierenden Unterschiede bei HC, NO_x und CO_2 , wenn die Mittelwerte über alle 3 Fahrzeuge herangezogen werden. Allerdings weisen die Ergebnisse für NO_x deutliche Unterschiede zwischen den Fahrzeugen auf. Die Trendkurve für Fahrzeug 1 liegt deutlich oberhalb der Trendkurve des Handbuchs, die Trendkurve für Fahrzeug 2 deutlich darunter, diejenige für Fahrzeug 3 ist mit der Handbuch-Kurve praktisch identisch, bei niedrigen Geschwindigkeiten liegt die Kurve für Fahrzeug 3 bis zu 10 % unter der Handbuch-Kurve, bei hohen Geschwindigkeiten bis zu 10 % darüber.

Bei CO ergab sich ein etwas anderes Bild, weil Fahrzeug 2 bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich höhere Emissionen und größere Varianzen aufwies als die beiden übrigen Fahrzeuge, sodass die Mittelwertkurve deutlich über der Trendkurve des Handbuchs liegt.

Auch hier wäre es für eine vertiefte Analyse wünschenswert zu wissen, wie die hier untersuchten Motoren im Verhältnis zur Datenbasis des PHEM einzuordnen wären, insbesondere beim 12-t-Verteiler-Fahrzeug (Fahrzeug 4), bei dem keine weiteren Fahrzeuge untersucht werden konnten, sodass keine Mittelwertbildung vorgenommen werden konnte, bei dem sich aber signifikante Unterschiede zum Handbuch zeigten.

Insgesamt zeigte sich, dass die Ergebnisse des für das Handbuch verwendeten Emissionsmodells PHEM recht gut mit den hier gewonnenen Ergebnissen der Straßenmessungen übereinstimmen. Dies ist ein erstaunlich gutes Ergebnis angesichts der Unwägbarkeiten in der Bestimmung der Emissionsfaktoren sowohl beim Handbuch als auch bei den Straßenmessungen.

4.5 Leistungsbezogene Massenemissionen

Die Bilder 76 bis 87 zeigen die Schadstoffmassenemissionen bezogen auf die Leistung. Zur Erstellung dieser Bilder wurden die Daten aus den Messungen auf quasistationäre Zustände hin untersucht. Als Kriterium für die Einordnung von Lastzuständen wurde neben Drehzahl und Leistung auch der Abgasmassenstrom herangezogen. Nur wenn ähnliche Abgasmassenströme vorlagen, wurden die Lastpunkte für die Mittlung der Emissionsmas-

sen benutzt. Um eine gewisse Sicherheit zu erreichen, wurden Drehzahl und Leistungsfenster gebil-

det und alle Daten, die als verwendbar identifiziert worden sind, in diese Fenster eingruppiert. Die

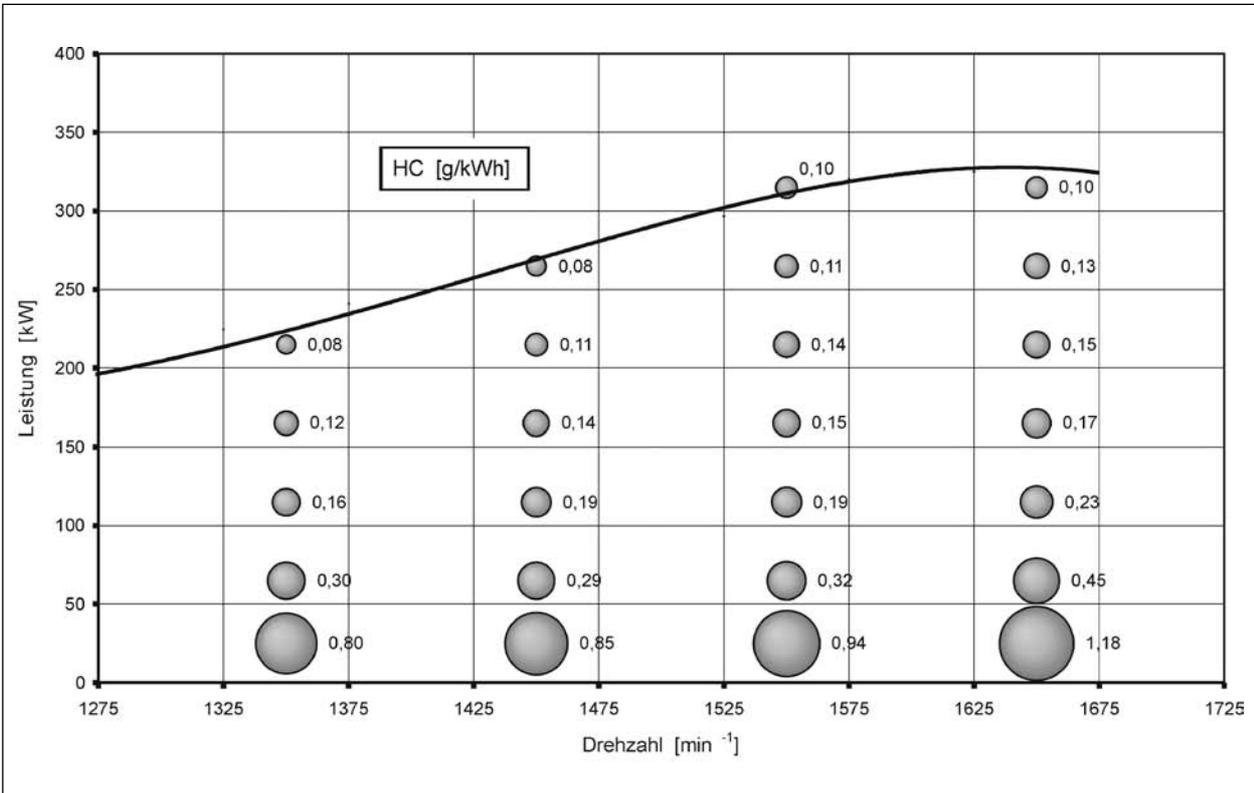


Bild 76: Leistungsspezifische HC-Massenemission; Fahrzeug 1

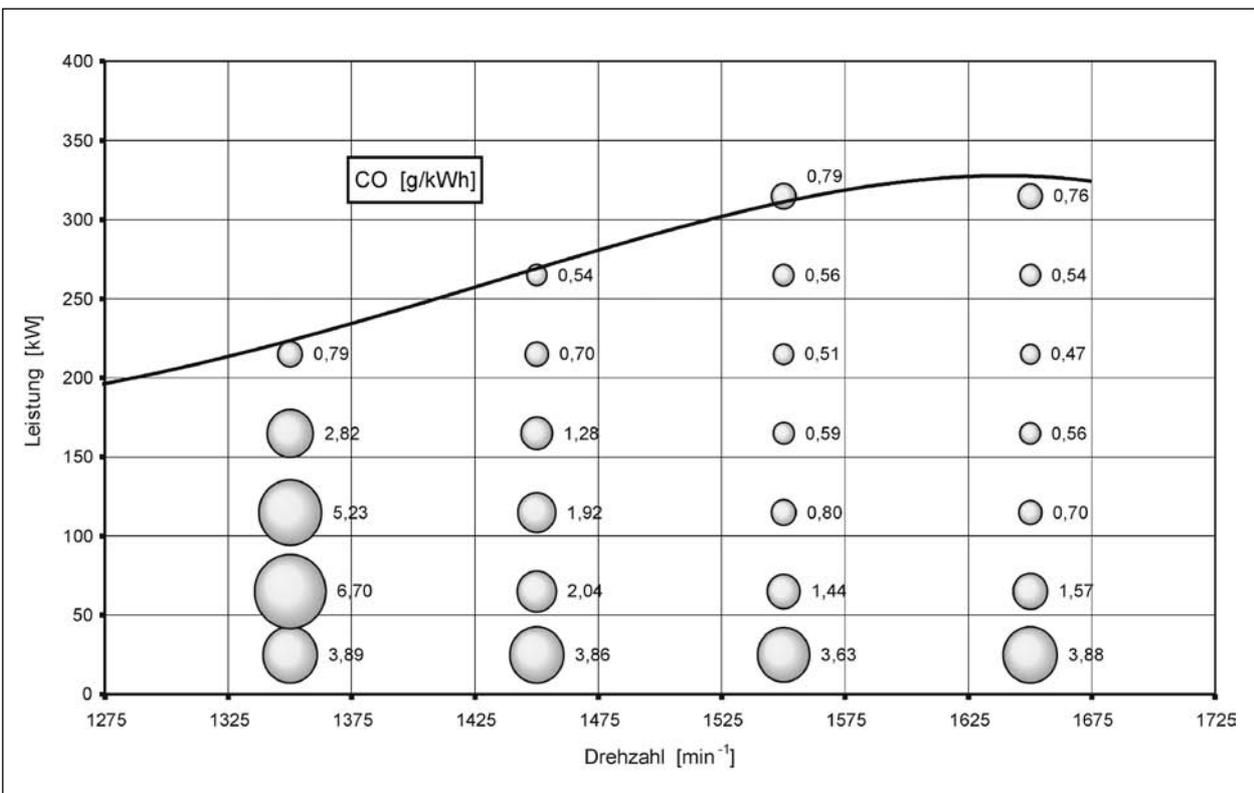


Bild 77: Leistungsspezifische CO-Massenemission; Fahrzeug 1

Darstellung zeigt die Mittelwerte in den jeweiligen Fenstern. Die Zahl der Stützstellen hängt hierbei di-

rekt von der Menge der verwendbaren Daten ab. Auffällig ist, dass bei Fahrzeug 1 die Stützstellen-

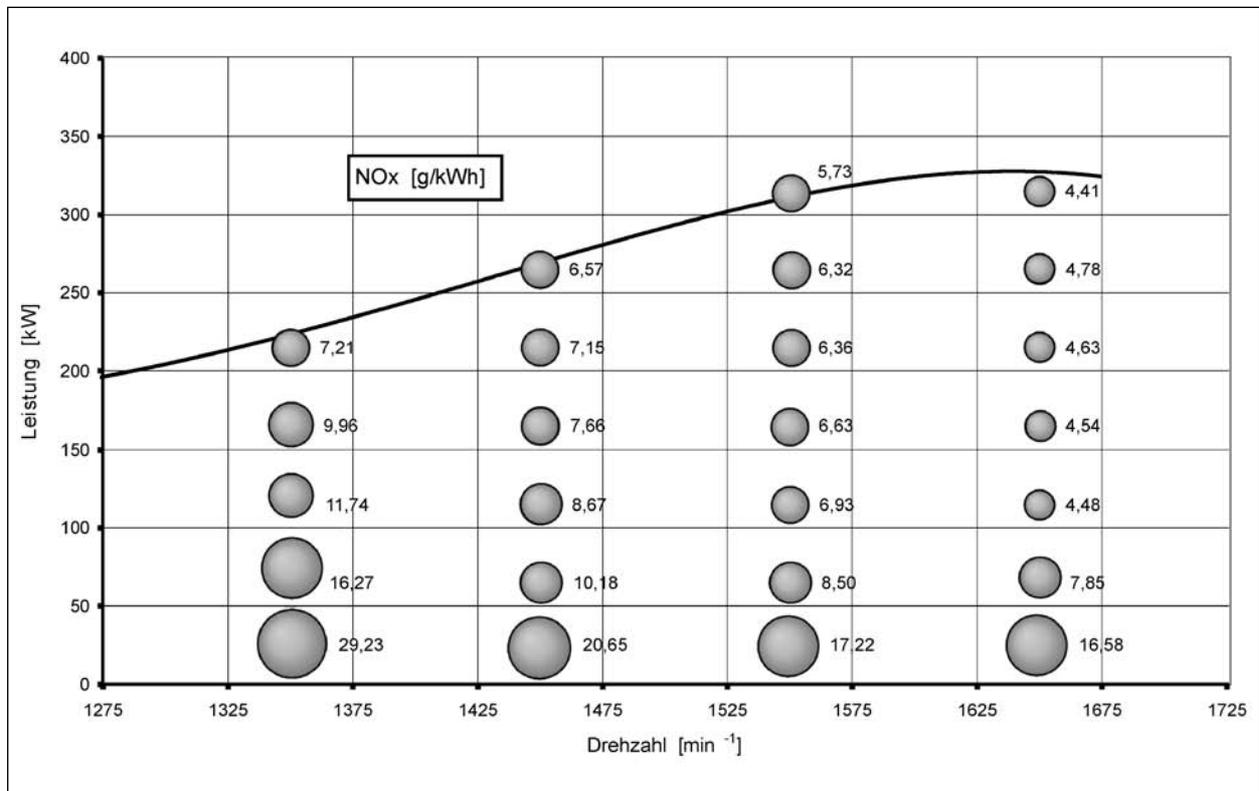


Bild 78: Leistungsspezifische NO_x-Massenemission; Fahrzeug 1

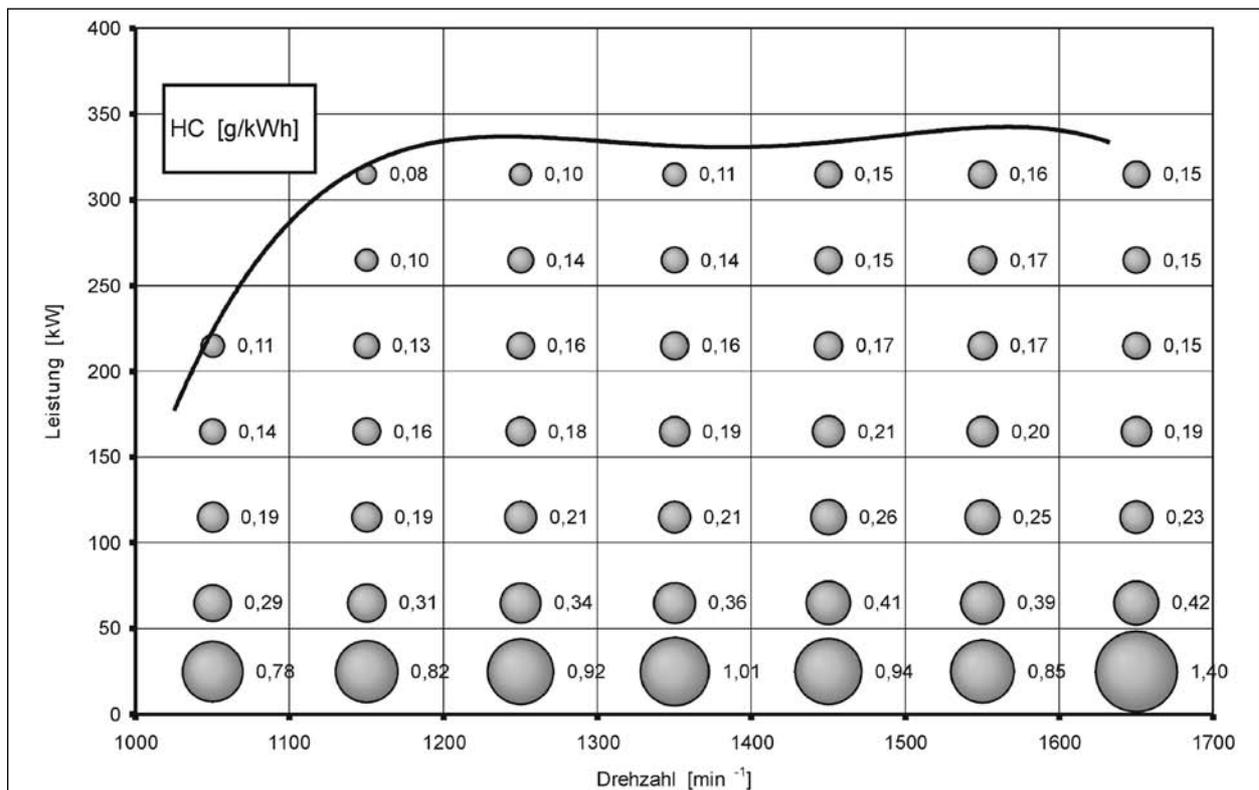


Bild 79: Leistungsspezifische HC-Massenemission; Fahrzeug 2

zahl sehr gering bleibt. Erklärt werden kann dies durch das sehr enge Drehzahlband, in dem sich

das Fahrzeug während des Betriebes aufhält. Bild 89 macht dieses anschaulich.

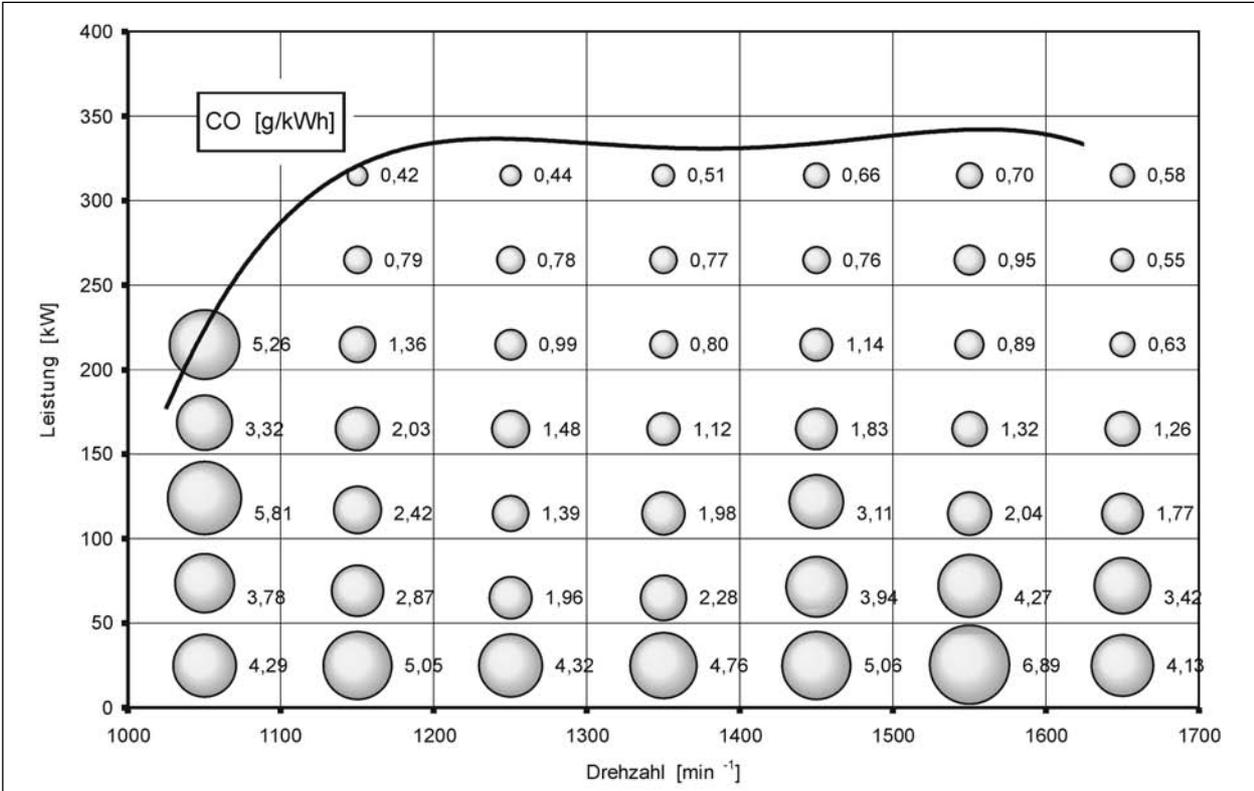


Bild 80: Leistungsspezifische CO-Massenemission; Fahrzeug 2

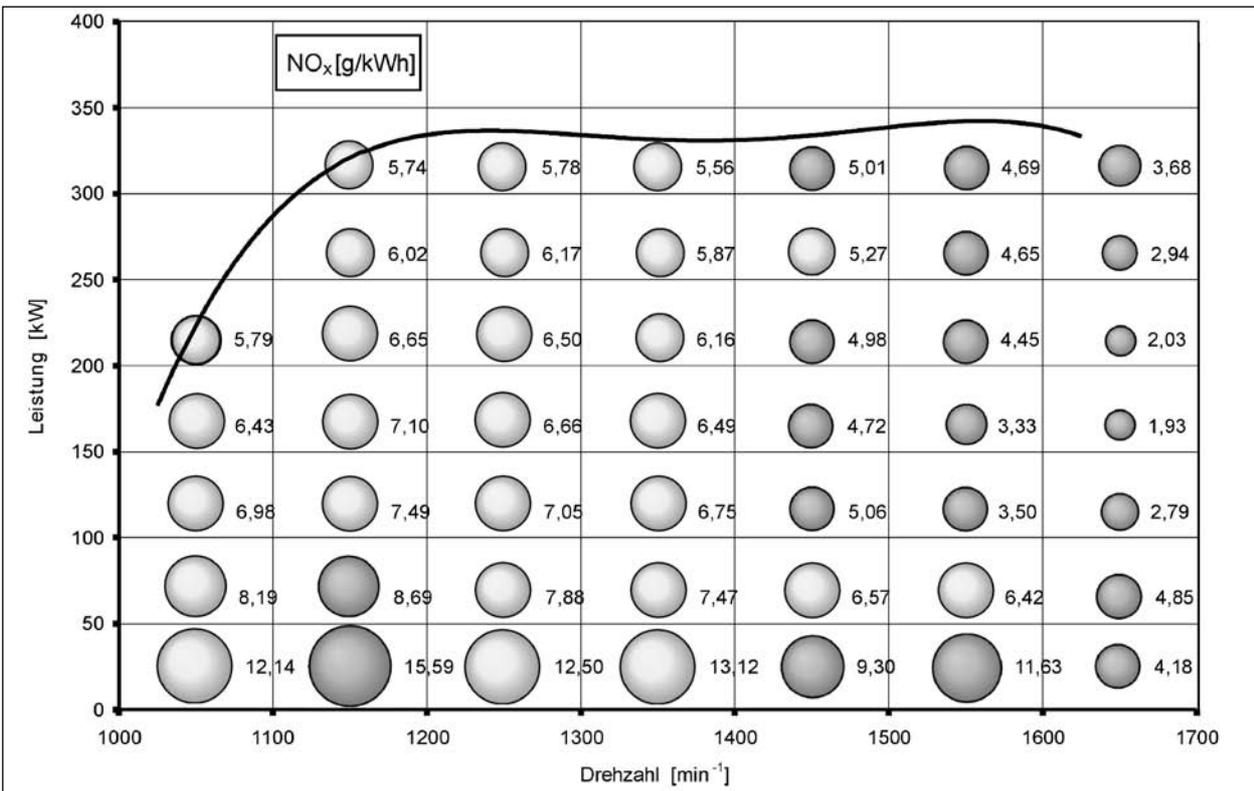


Bild 81: Leistungsspezifische NOx-Massenemission; Fahrzeug 2

Diese kennfeldähnlichen Bilder zeigen zwar grundsätzliche Motorcharakteristiken, sind jedoch nicht

mit Kennfeldern, die stationär auf einem Motorprüfstand ermittelt worden sind, zu vergleichen.

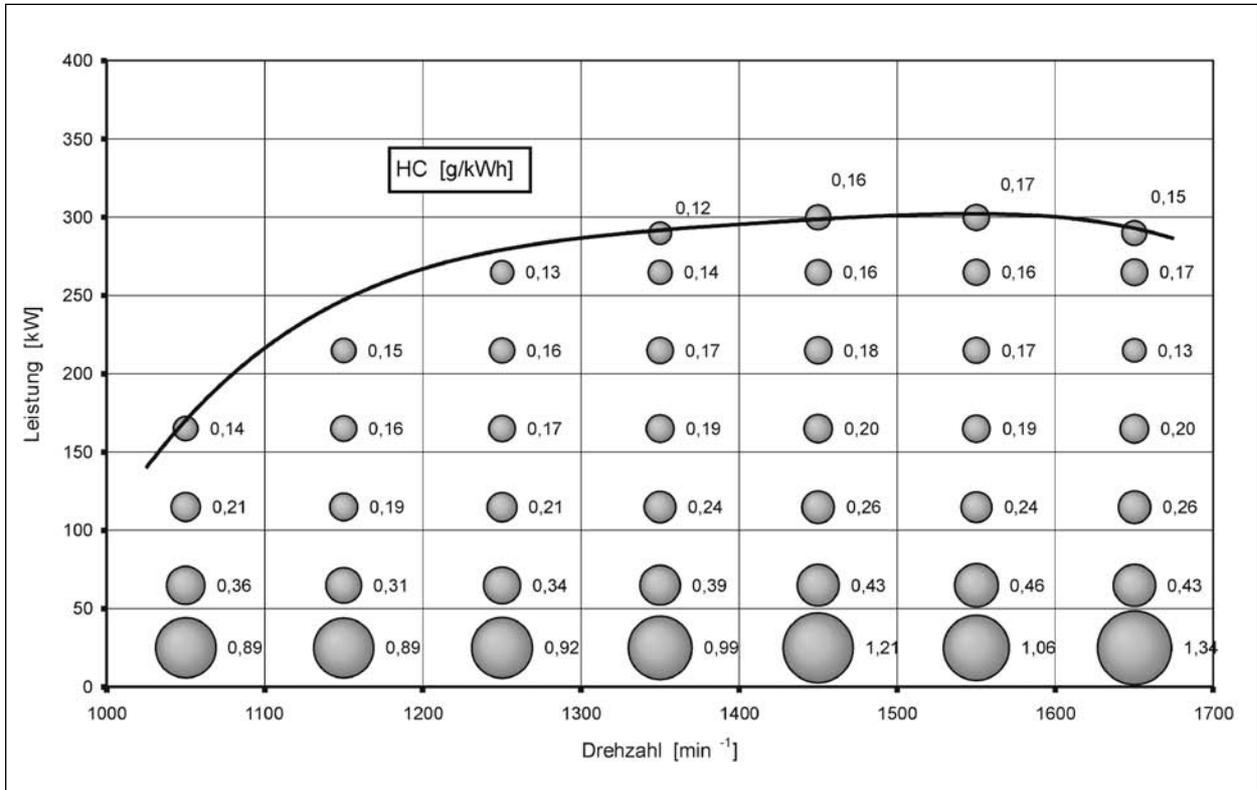


Bild 82: Leistungsspezifische HC-Massenemission; Fahrzeug 3

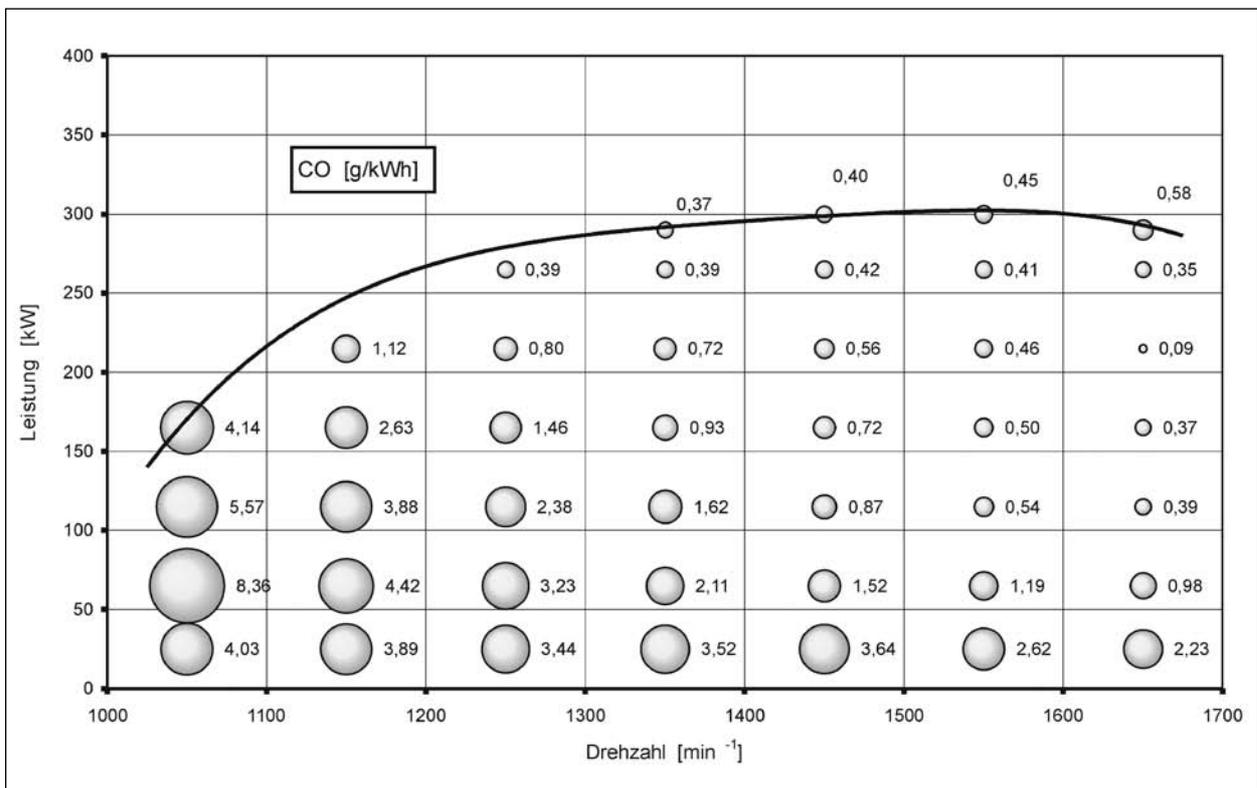


Bild 83: Leistungsspezifische CO-Massenemission; Fahrzeug 3

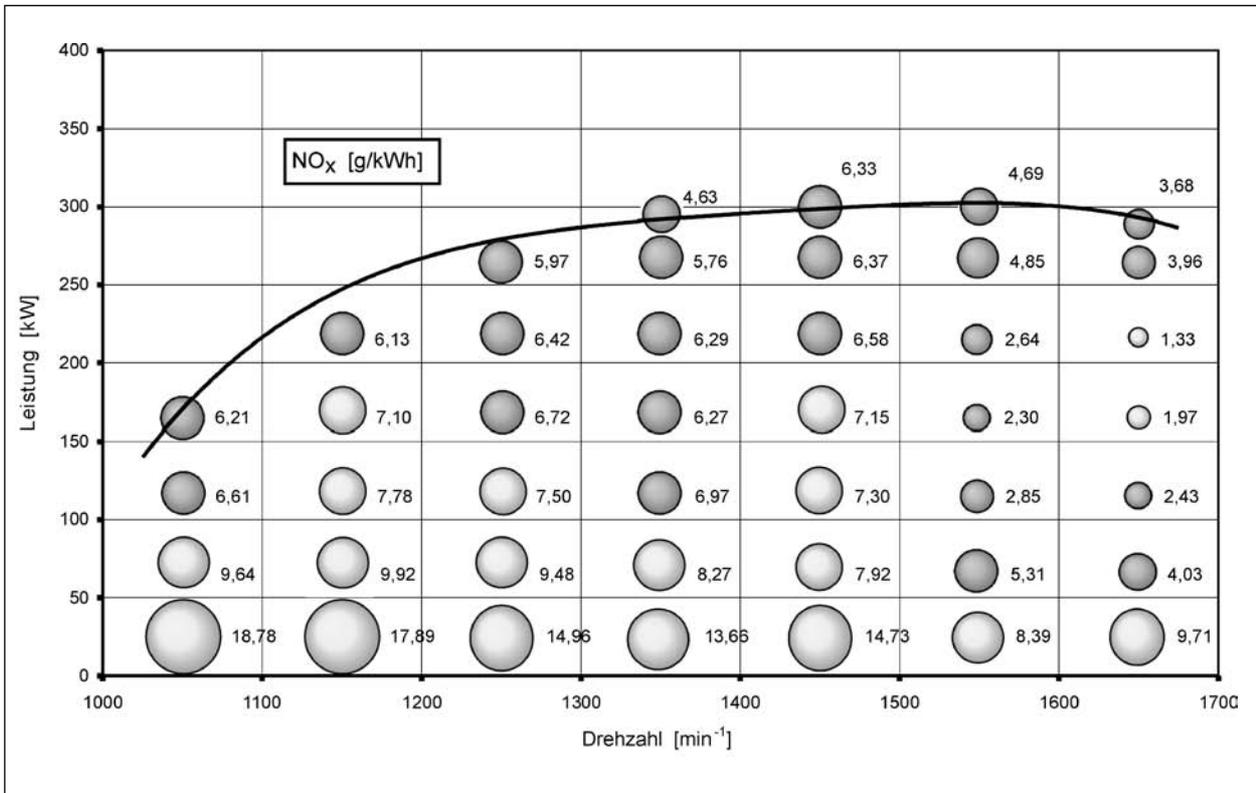


Bild 84: Leistungsspezifische NO_x-Massenemission; Fahrzeug 3

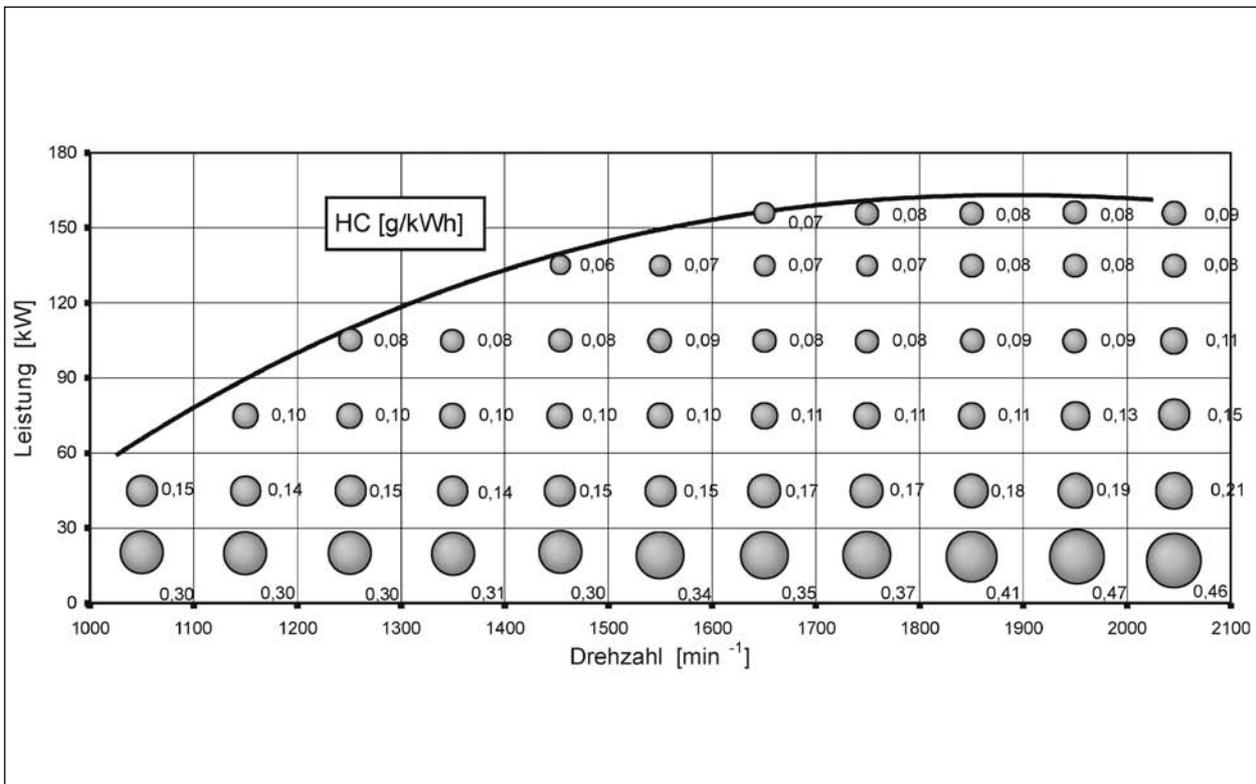


Bild 85: Leistungsspezifische HC-Massenemission; Fahrzeug 4

Die eingezeichneten Leistungsbegrenzungskurven sind aus den höchsten, bei den jeweiligen Drehzahl-

len beobachteten, Leistungen generiert. Sie stellen nicht die Vollastkurve des jeweiligen Motors dar.

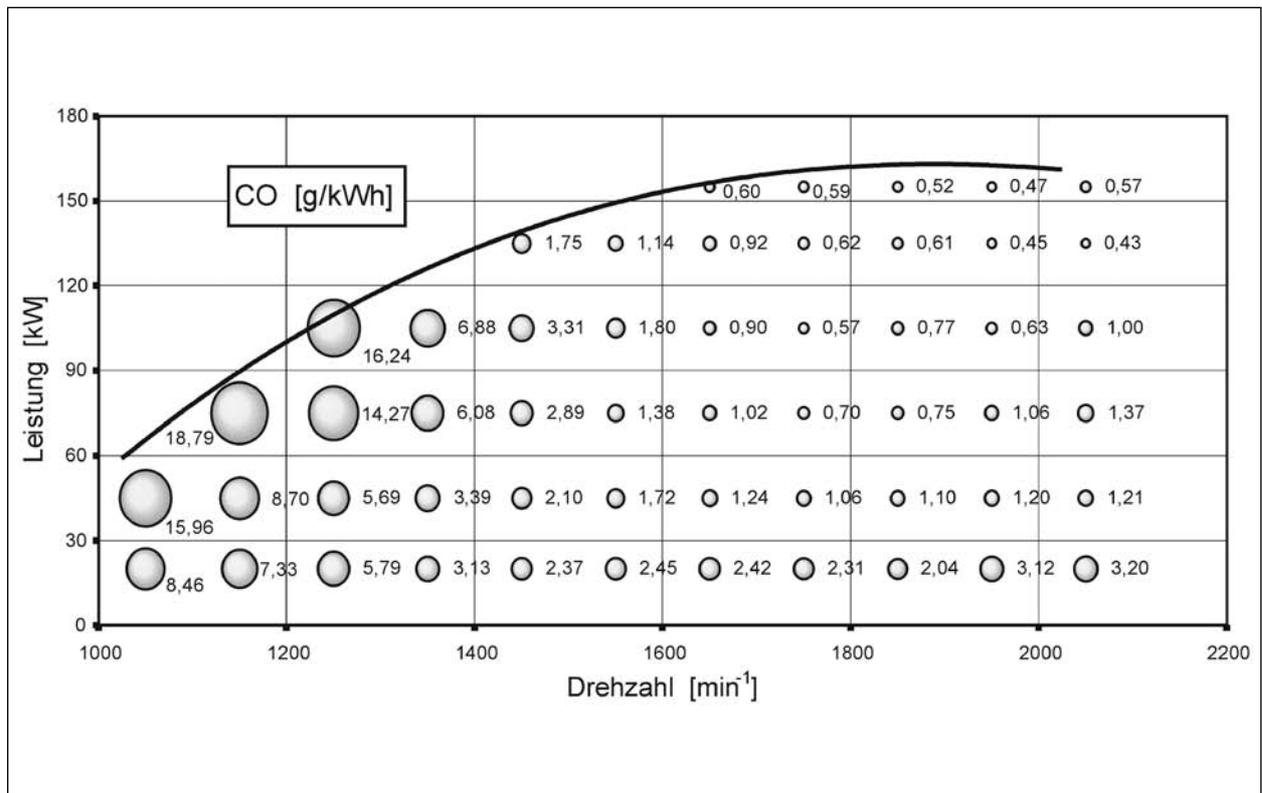
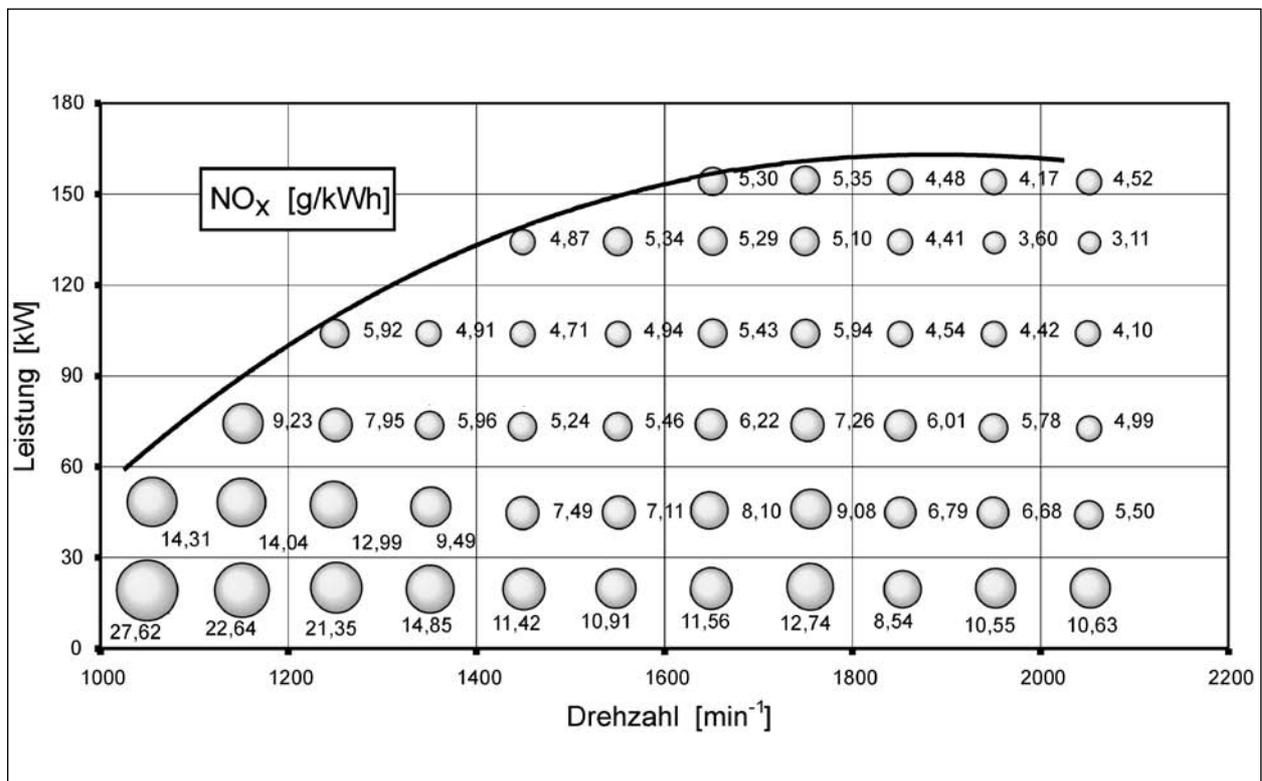


Bild 86: Leistungsspezifische CO-Massenemission; Fahrzeug 4

Bild 87: Leistungsspezifische NO_x-Massenemission; Fahrzeug 4

4.6 Betrachtung der Straßenbetriebsweise im Vergleich zu den Prüfpunkten des ESC

Die europäischen Richtlinien schreiben für Dieselmotoren der Grenzwertstufe A (Euro 3) einen stationären Prüfzyklus, den ESC, vor. Die dreizehn im Kennfeld verteilten Prüfpunkte sind mit Wichtungen beaufschlagt, um die Aufenthaltsdauer in den jeweiligen Kennfeldbereichen im realen Betrieb möglichst gut zu simulieren.

Zusätzlich zum Leerlaufpunkt sind die weiteren 12 Prüfpunkte auf drei Drehzahlschnitte (Drehzahl A, B und C) verteilt. Die Wichtungsfaktoren sind nun so verteilt, dass die Prüfpunkte auf der mittleren Drehzahl B zusammen 39 % der Wichtung ausmachen.

Bild 88 zeigt die leistungsspezifische Darstellung der NO_x -Emissionen des Fahrzeug 1 mit den zusätzlich eingetragenen Prüfpunkten und den Wichtungsfaktoren des ESC.

Die Darstellung der leistungsspezifischen Emissionen beschränkt sich auf einen relativ kleinen Bereich des nutzbaren Drehzahlbandes, da nur hier ausreichend auswertbare Daten mit quasistationären Zuständen vorlagen. Dies heißt grundsätz-

lich nicht, dass andere Kennfeldbereiche nicht genutzt werden, zeigt aber, dass diese Bereiche meistens dynamisch durchfahren werden. Zieht man nun zusätzlich Bild 89 heran, erkennt man, dass neben den dynamischen Vorgängen beim Anfahren, Verzögern und Beschleunigen, wie sie verstärkt im Stadtverkehr und Landstraßenbetrieb vorkommen, nur ein recht enges Drehzahlband genutzt wird. In der Realität sind Drehzahlen über 1.700 min^{-1} nicht aufgetreten. Dies ist auf die Schaltstrategie, die der Fahrzeughersteller im Automatikgetriebe anwendet, zurückzuführen.

Für das hier dargestellte Fahrzeug 1 kann man feststellen, dass die Wichtung des ESC nicht repräsentativ für diesen Fall ist. Während einer gesamten Versuchsfahrt wurde die Drehzahl C des ESC nicht erreicht. Auch die Messpunkte mit hoher Last bei der Drehzahl A sind nicht im Lastspektrum der für die Versuche benutzten Messstrecke enthalten.

In der Weiterentwicklung der Abgasemissionsvorschriften ist für Dieselmotoren ab dem Jahre 2005 zusätzlich ein dynamischer Test (ETC) vorgesehen, durch den insbesondere die dynamischen Vorgänge beim Anfahren und Verzögern besser abgebildet werden.

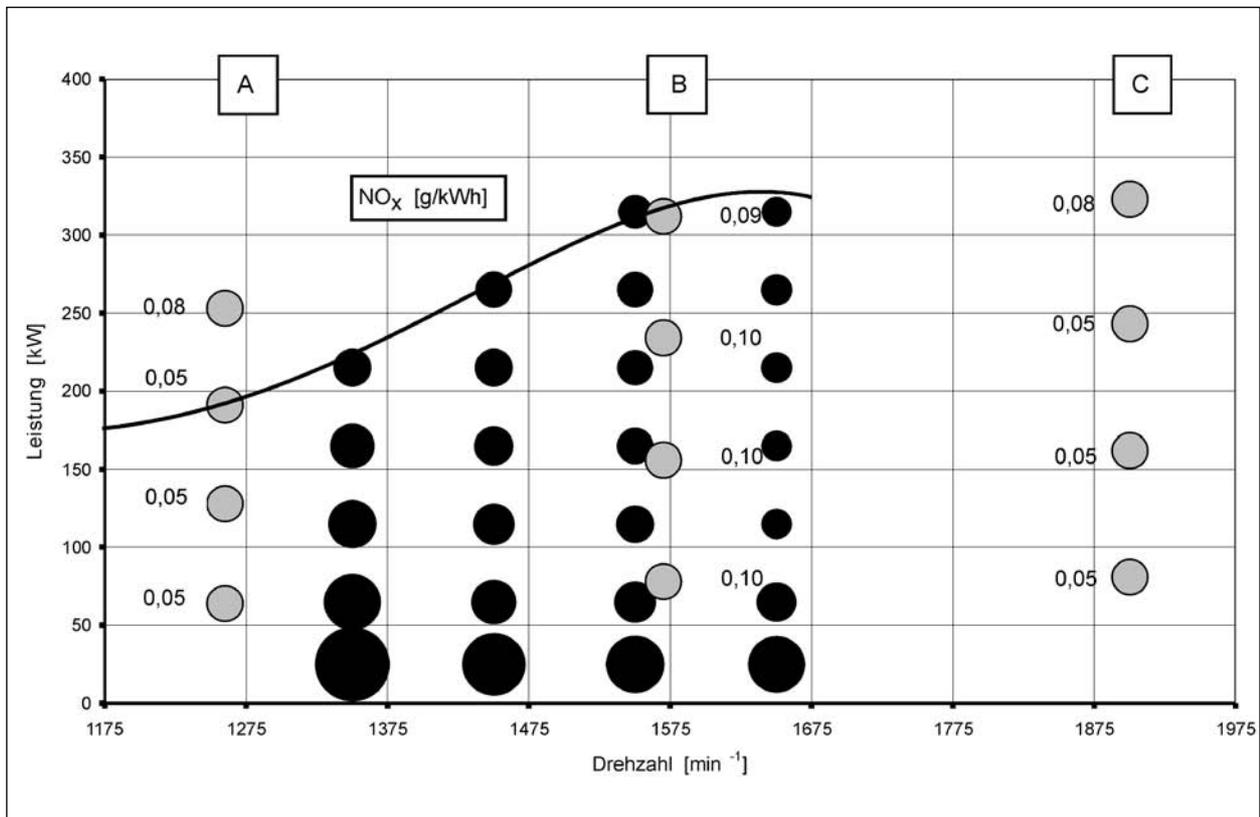


Bild 88: Leistungsspezifische NO_x -Emissionen und ESC-Punkte

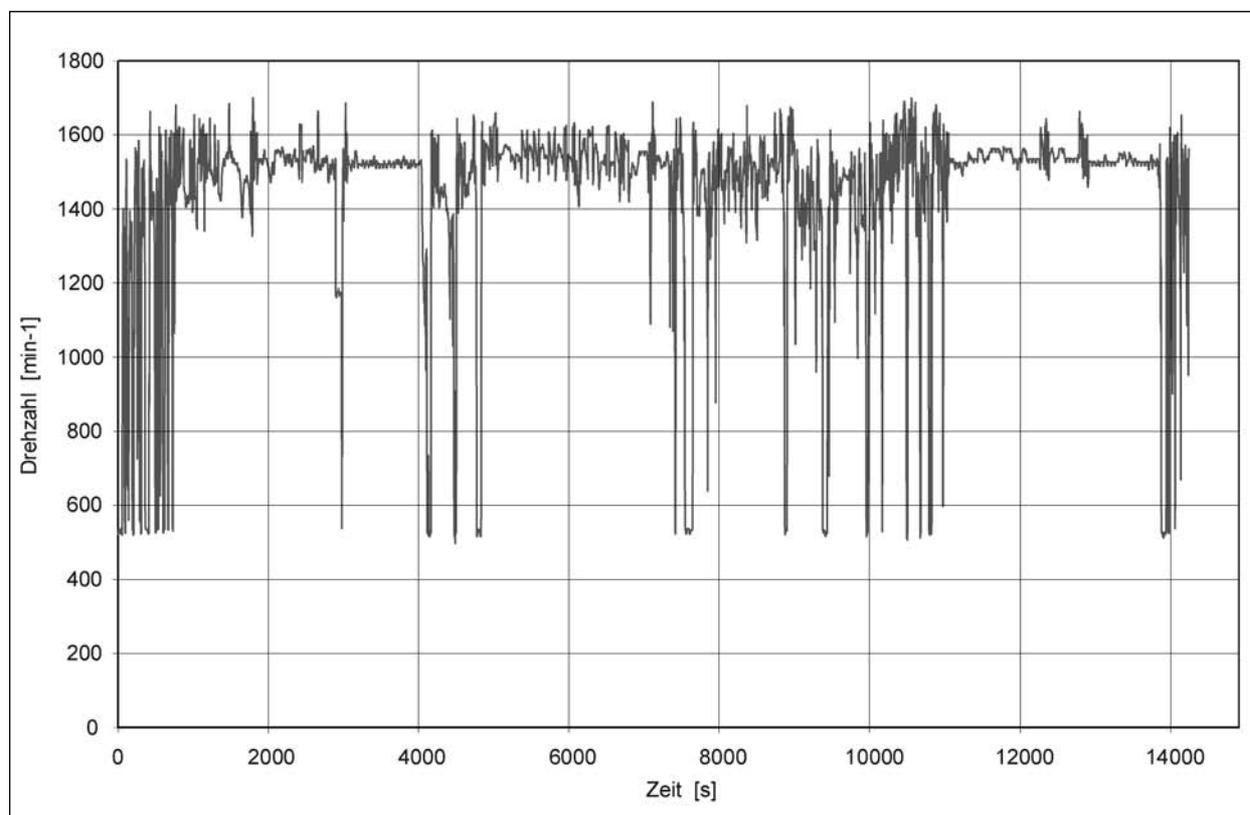


Bild 89: Drehzahlverlauf bei einer Messfahrt; Fahrzeug 1

5 Schlussbetrachtung

In dem durchgeführten Vorhaben wurden 4 schwere Nutzfahrzeuge in repräsentativem Straßenbetrieb auf ihre gasförmigen Abgasemissionen hin mit mobiler Messtechnik vermessen.

Das Vorhaben diente mehreren Zielen: zum einen der Aufstockung der E-Faktoren-Datenbasis, zum anderen dem Vergleich von Emissionsfaktoren, die mit den Berechnungsalgorithmen des Emissionsfaktoren-Handbuchs [2] bestimmt worden sind, mit Ergebnissen aus Realmessungen und nicht zuletzt der Validierung moderner On-board-Messverfahren.

Die mobile Analysetechnik liefert gut übereinstimmende Ergebnisse mit der Labormesstechnik, wie sie in den einschlägigen Abgasemissionsvorschriften beschrieben ist. Dies wurde anhand der Komponente NO_x nachgewiesen und gilt auch mit Ausnahme des NDIR-Gerätes (CO) für die anderen Komponenten. Die Abweichungen beim NDIR-Gerät fallen größer aus, da hier keine konsequente Anpassung an den Betrieb mit Dieselmotoren durchgeführt wurde. Die Messküvette des Gerätes ist so ausgelegt, dass auch Messungen an Ottomotoren im Rohabgas vor Katalysator möglich

sind. Die Folge ist eine schlechtere Auflösung für die sehr kleinen CO-Emissionen eines Dieselmotors. Für eine breite Anwendung der „On-board-Messtechnik“ z. B. im Bereich der „In-use-compliance“ wäre eine entsprechende Anpassung des Messbereiches notwendig. Im praktischen Betrieb arbeitete die Analysetechnik unkompliziert und zuverlässig. Das Zusammenspiel mit dem der Messung nachgeschalteten „Postprocessing“ führt zu sehr gut mit der Labormesstechnik übereinstimmenden Konzentrationswerten.

Bei der Betrachtung der Abgasmassenstromermittlung zeigten sich größere Abweichungen im Vergleich zu der eingesetzten Labormesstechnik. Zwei wichtige Einflussfaktoren für diese Abweichungen sind die Abgastemperatur sowie das dynamische Verhalten des Abgasmassenstromsensors. Da sich das Zusammenspiel dieser Einflussfaktoren äußerst komplex darstellt, waren die durchgeführten Vergleichsmessungen nicht geeignet, einen entsprechenden Korrekturalgorithmus zu entwickeln. Alle dokumentierten Ergebnisse sind mit dem Fehler (10-13 %), der durch die Abgasmassenstrommessung verursacht ist, behaftet. Es besteht der dringende Bedarf an einer Weiterentwicklung der Massenstrommesstechnik.

Der Messgerätehersteller verwendet inzwischen einen neuen Sensor, dem ein anderes Messprinzip zugrunde liegt. Anstelle der bisherigen Verwendung eines Hitzdrahtanemometers wird nun ein Sensor verwendet, der auf dem Prinzip des Pitotrohres basiert. Es sollen mit diesem neuen Sensor wesentlich bessere Genauigkeiten erreicht werden. Eine entsprechende Validierung müsste in einem späteren Vorhaben durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Bestimmung der Schadstoffemissionen im realen Verkehr mit der angewendeten Messtechnik gut möglich ist. Partikelemissionen wurden in diesem Vorhaben nicht betrachtet.

Bei der späteren Ermittlung der Emissionsfaktoren waren sehr aufwändige Auswertungen notwendig, um aus dem umfangreichen Datenmaterial die Emissionen in den verschiedenen Betriebszuständen zu bestimmen.

Für alle untersuchten Fahrzeuge waren bei NO_x und beim CO_2 die Fahrzeuggeschwindigkeit und die mittlere Motorbelastung die wesentlichen Einflussfaktoren. Auf diese beiden ließ sich der überwiegende Teil der Streuungen der Ergebnisse zurückführen. Unterschiede in Beladung und Längsneigung führen zu Unterschieden in der Motorbelastung, die wiederum die Unterschiede in den Emissionen erklären. Die verbleibenden Streuungen um die entsprechenden Regressionskurven liegen im Bereich $\pm 10\%$. Die Unterschiede zwischen den beiden Getriebevarianten des Fahrzeugs 1 waren dagegen nicht signifikant.

Bei HC und CO war der Einfluss der Motorbelastung nicht so ausgeprägt. Hier ist eher das Beschleunigungsverhalten (bzw. Anzahl der Lastwechsel) ausschlaggebend. Zwischen den Emissionen im Schubbetrieb, bei Fahrt mit gleichförmiger Geschwindigkeit und in Beschleunigungsphasen ergaben sich signifikante Unterschiede in den Emissionen, allerdings bei zum Teil erheblichen Streuungen, die bis zu $\pm 50\%$ betragen können.

Ein Vergleich der Messergebnisse mit den Emissionsfaktoren des Handbuchs gestaltete sich deshalb schwierig, weil über die den Handbuch-Emissionsfaktoren zugrunde liegenden Fahrzyklen zu geringe Informationen über Dynamikparameter und Motorbelastungen vorliegen. Die Durchschnittsgeschwindigkeit und die mittlere positive Motorleistung reichen hier allein nicht aus. Zukünftig wäre es hilfreich, wenn im Rahmen der Analyse auch das

PHEM-Modell (der TU Graz) zur Verfügung stünde, sodass weitere Parameter in den Vergleich mit einbezogen werden könnten.

Der Vergleich der Handbuch-Emissionsfaktoren und der in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse auf der Basis von Durchschnittsgeschwindigkeit und mittlerer positiver Leistung ergab bei den Lastzügen keine gravierenden Unterschiede bei HC, NO_x und CO_2 , wenn die Mittelwerte über alle 3 Fahrzeuge herangezogen werden. Allerdings weisen die Ergebnisse für NO_x deutliche Unterschiede zwischen den Fahrzeugen auf. Die Trendkurve für Fahrzeug 1 liegt deutlich oberhalb der Trendkurve des Handbuchs, die Trendkurve für Fahrzeug 2 deutlich darunter, diejenige für Fahrzeug 3 ist mit der Handbuch-Kurve praktisch identisch, bei niedrigen Geschwindigkeiten liegt die Kurve für Fahrzeug 3 bis zu 10 % unter der Handbuch-Kurve, bei hohen Geschwindigkeiten bis zu 10 % darüber.

Bei CO ergab sich ein etwas anderes Bild, weil Fahrzeug 2 bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich höhere Emissionen und größere Varianzen aufwies als die beiden übrigen Fahrzeuge, sodass die Mittelwertkurve deutlich über der Trendkurve des Handbuchs liegt.

Auch hier wäre es für eine vertiefte Analyse wünschenswert zu wissen, wie die hier untersuchten Motoren im Verhältnis zur Datenbasis des PHEM einzuordnen wären, insbesondere beim 12-t-Verteiler-Fahrzeug (Fahrzeug 4), bei dem keine weiteren Fahrzeuge untersucht werden konnten, sodass keine Mittelwertbildung vorgenommen werden konnte, bei dem sich aber signifikante Unterschiede zum Handbuch zeigten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die ermittelten Emissionsfaktoren geeignet sind, die Daten des Emissionsfaktoren-Handbuchs zu validieren. Eine Erweiterung des Handbuchs mit den ermittelten Ergebnissen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenstruktur nicht möglich. Dies ist aber auch nicht notwendig, da zwischen den Ergebnissen des Handbuchs und den Ergebnissen der mobilen Straßenmessung eine gute Übereinstimmung besteht.

Ziele für weitere Entwicklungen müssen Verbesserungen von Datenquellen (z. B. GPS) sowie Vereinfachungen bei der Gewinnung von Fahrzeugleistungsdaten sein. Wünschenswert wäre hier, mit Daten des Motormanagements Algorithmen zu entwickeln, die den Leistungsbezug von Messwerten hinreichend genau möglich machen würden.

Um den Aufwand bei der Auswertung zu verringern, ist zu überlegen, mit einer sehr spezifischen Streckenauswahl die einzelnen Betriebszustände eindeutiger isolierbar zu machen.

6 Literatur

- [1] Richtlinie 2001/27/EG der Kommission der Europäischen Gemeinschaft zur Anpassung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen an den technischen Fortschritt, 10. April 2001
- [2] Emissionsfaktoren-Handbuch des Umweltbundesamtes HBEFA, Version 2.1
- [3] Kraftfahrzeugstatistiken des Kraftfahrtbundesamtes, www.kba.de
- [4] Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, Reihe 2, 1. Januar 2004, Auszug aus Tabelle 27, Seite 27

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

1993

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw
Faerber, Wobben € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen
König, Werner, Schuller, Beier, Spann € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen
Zellmer € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
Richter, Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
Albus € 13,50

1994

- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz
Bamberg, Zellmer € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport
Wobben, Zahn € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe
P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe
Chmielarz, Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie
Derkum € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen
Otte, Schroeder, Eidam, Kraemer € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettlmann € 11,00

1995

- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern
Damasky € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays
Mutschler € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
Zellmer, Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
Zellmer € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen
Sander € 11,50

1996

- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens
Glaeser € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Heinrich, von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problemanalyse und Verfahrenskonzept
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS
Präckel € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung
Pullwitt € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand
Sander € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe
Fach € 14,00

1997

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase
Berg, Mayer € 19,50

1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

1999

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

2000

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Aubel € 13,00

- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BASt – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

2001

- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50
- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 STVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50

- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rücker, Mattern, Kallieris € 18,00
- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50
- F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00
- F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambios, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00
- F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2004

- F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

- F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel € 17,00
- F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels in Vorbereitung
- F 58: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel
Steven, Kleinebrahm € 15,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.