

Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 45

bast

Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten

von

Heinz Steven

RWTÜV Fahrzeug GmbH
Würselen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 45

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 89.106/2001
Validierung zum WMTC

Projektbetreuung
Bernd Bugsel

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: <http://www.nw-verlag.de>

ISSN 0943-9307
ISBN 3-86509-090-7

Bergisch Gladbach, Januar 2004

Kurzfassung – Abstract

Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten

Unter der Leitung der Working Party 29 beauftragte die UN ECE Group of Experts on Pollution and Energy (GRPE) die ad-hoc Arbeitsgruppe WMTC mit der Entwicklung eines „World-wide Harmonised Motorcycle Emissions Test ProCedure“. Das Ziel dieses Forschungsprogramms ist es, einen weltweit harmonisierten Prüfzyklus für die Messung der Schadstoffemissionen motorisierter Zweiräder zu entwickeln, der den Fahrzyklus und den dazugehörigen Schaltalgorithmus für die Prüfstandmessungen und die Beschreibung der Einstellungen der Prüfstände abdeckt. Die Emissionsvalidierungen im Rahmen des Validierungsprogramms Teil 2 wurden einestteils von der Industrie (IMMA) und andernteils von nationalen Regierungseinrichtungen in verschiedenen Ländern der Welt finanziert. Für Deutschland ließ die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Validierungstests für 8 Motorräder bei der RWTÜV Fahrzeug GmbH in Essen durchführen. Die Ergebnisse sind im ersten Teil des Berichts (Langfassung) dokumentiert.

Mit dem Vorhaben sollte darüber hinaus aber noch das Ziel verfolgt werden, einen Vorschlag für die Erfassung von off-cycle Emissionen zu erarbeiten. Der Begriff „off-cycle Emissionen“ umfasst diejenigen Emissionen eines Motorrads, die im realen Betrieb bei Fahrzuständen auftreten, die durch den Prüfzyklus nicht erfasst werden. Insofern sind off-cycle Emissionen ein grundsätzliches Problem, selbst bei einem repräsentativen Messzyklus. Beispielsweise werden Emissionen, die bei hochtourigen Fahrweisen mit starken Beschleunigungen auftreten, im WMTC nicht berücksichtigt.

Um eine geeignete Lösung für die Erfassung von off-cycle Emissionen zu finden, wurden die im Rahmen der WMTC-Arbeiten zur Verfügung stehenden in-use Daten zum Fahrverhalten von Motorrädern noch einmal auf ihre Varianzen hin ausgewertet, um Motordrehzahlen und Fahrzeugbeschleunigungen zu bestimmen, die für off-cycle Emissionen zu berücksichtigen sind. Es wurden 3 verschiedene Methoden zur Erfassung der off-cycle Emissionen untersucht, und zwar WMTC mit erhöhten Schaltdrehzahlen, Load Response Test und Stationäre Ge-

schwindigkeits-/Drehzahlkombinationen. Aus den Ergebnissen zu den off-cycle emissions kann insgesamt folgendes Fazit gezogen werden:

Stationäre Drehzahlen sind für die Emissionsbestimmung im off-cycle Bereich ungeeignet. Die Anwendung des Ansatzes „erhöhte Schaltdrehzahlen“ auf den WMTC-Geschwindigkeitsverlauf ist ein Schritt in die richtige Richtung, aber er berücksichtigt nicht die größeren Beschleunigungen bei „sportlicher“ Fahrweise. Der load response Test ist ein geeigneter Ansatz für die Überprüfung von off-cycle Emissionen. Allerdings muss man für die praktische Anwendung noch Schaltdrehzahlen verbindlich festlegen und Vorkehrungen treffen, um die Gefahr von Reifenschlupf zu verringern und somit die Wiederholbarkeit zu verbessern. Die Konstantfahrphasen sollten dazu genutzt werden, das Emissionsverhalten bei höheren Drehzahlen als den normalen Schaltdrehzahlen des WMTC zu erfassen. Auch die Frage der Bewertung der Ergebnisse konnte im Rahmen dieses Vorhabens noch nicht abschließend geklärt werden. Um cycle bypass Maßnahmen zu erschweren, sollten die Start- und Zielgeschwindigkeiten darüber hinaus randomisiert werden. Wichtig im Zusammenhang mit der Bewertung von off-cycle emission provisions sind außerdem die Diskussion und Festlegung von Grenzwerten für den off-cycle Bereich.

Bei Fahrzeugen, die mit einem 3-Wege-Katalysator mit Lambdasondenregelung ausgerüstet sind, bietet die Erfassung der Lambdasondenspannung ein ergänzendes Hilfsmittel, um die Funktion der Regelung des Katalysators zu überprüfen. Sie sollte nicht nur im off-cycle Bereich, sondern ebenfalls im normalen WMTC angewendet werden.

Investigations into motorcycle exhaust emissions carried out as part of WMTC activities

Under the direction of Working Party 29, the UN ECE Group of Experts on Pollution and Energy (GRPE) commissioned the WMTC ad-hoc working group to develop a „World-wide Harmonised Motorcycle Emissions Test ProCedure“. The aim of this research programme is to develop a world-wide harmonised series of tests for measuring harmful substances emitted by motorised two-wheelers; these tests should cover the driving

cycle and the relevant transmission algorithm for the test facility measurements, and describe the settings of the test facilities. The validation of the emissions in part 2 of the validation programme was funded partly by the industrial sector (IMMA) and partly by the national governmental institutions in different countries. For Germany, the Federal Highway Research Institute (Bundesanstalt für Straßenwesen - BAST) conducted this research project, which included having validation tests carried out on 8 motorcycles at RWTÜV Fahrzeug GmbH in Essen. The results are documented in the first part of the report (the long version).

Another aim of the project was to draw up a proposal for recording off-cycle emissions. The term „off-cycle emissions“ is used to describe the emissions from a motorcycle which occur during real operation in driving circumstances which are not covered by the series of tests. In this regard, off-cycle emissions constitute a fundamental problem, even with a representative series of measurements. For example, emissions which occur as a result of free revving and rapid acceleration are not covered in the WMTC.

To find a suitable solution for recording off-cycle emissions, the in-use data on motorcycle driving performance which were available during the WMTC work were evaluated once more to assess the variances which existed and to consequently determine the engine speeds and vehicle accelerations which should be taken into account for off-cycle emissions. Three different methods for recording off-cycle emissions were investigated, WMTC with increased transmission speeds, the Load Response Test and stationary speed/engine speed combinations. The following overall conclusion can be drawn from the off-cycle emission results:

Stationary engine speeds are unsuitable for determining off-cycle emissions. Applying the „increased transmission speeds“ approach to the WMTC speed sequence is a step in the right direction, but it does not take into account the more rapid accelerations which occur as a result of „sporty“ driving. The load response test is a suitable approach for testing off-cycle emissions. However, to use it in practice binding transmission speeds must be laid down and provisions made to reduce the danger of tyre slip and consequently improve repeatability. The constant driving phases should be used to record emission behaviour at higher engine speeds than the normal WMTC transmission speeds. It

was also not possible in this project to conclusively clarify how the results should be evaluated. The start and finish speeds should be randomised to make cycle bypass measures more difficult. Discussing and laying down off-cycle limit values are important issues regarding the evaluation of off-cycle emission provisions.

For vehicles which are equipped with a 3-way catalytic converter with lambda sensor control, the recording of the lambda sensor voltage offers additional assistance in testing the control of the catalytic converter. It should be used in the normal WMTC as well as for off-cycle tests.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Aufgabenstellung und Zielsetzung ...	7
3	Ergebnisse	8
3.1	Messzyklus und Fahrzeugklasse	8
3.2	Messungen im Rahmen des Validierungsprogramms	9
3.3	Erfassung von Off-Cycle Emissions	13
3.3.1	Begründung der Notwendigkeit von Off-Cycle Emission Provisions	13
3.3.2	Vorgehensweise und getestete Methoden zur Erfassung von Off-Cycle Emissionen	15
3.3.3	Bestimmung des für Off-Cycle Emissions zu berücksichtigenden Motordrehzahlbereichs	17
3.3.4	Emissionsergebnisse für den WMTC mit erhöhten Schalt- drehzahlen	19
3.3.5	Load Response Test	24
3.3.6	Vorgegebene Geschwindigkeits-/ Drehzahlkombinationen (Stationärkennfeld)	27
3.3.7	Erfassung der Lambda- sondenspannung	30
3.3.8	Vergleich der Gesamtergebnisse	35
4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	41
5	Literatur	43

1 Einleitung

Am Anfang (1999) war das Projekt zur weltweiten Harmonisierung der Zertifizierung von Motorrädern im Hinblick auf die Abgasemissionen im Rahmen der Typprüfung zwischen dem Niederländischen Umweltministerium, TNO Automotive und der International Motorcycle Manufacturer Association (IMMA) dreigeteilt. VROM kümmerte sich in diesem Projekt um die politischen Aspekte bei der Erarbeitung eines weltweiten Testzyklus. TNO Automotive, finanziert durch VROM, übernahm die Entwicklungsarbeit und das technische Management des Projekts. IMMA beteiligte sich mit der Erhebung von Fahrverhaltensdaten im praktischen Betrieb (in-use Fahrverhaltensdaten) in verschiedenen Regionen der Welt.

Zu einem späteren Zeitpunkt (Mai 2000) wurde das Projekt unter die Schirmherrschaft der ECE-Working Party 29 gestellt. Unter der Leitung der Working Party 29 beauftragte die UN-ECE-Experten-Gruppe für Umweltverschmutzung und Energie (GRPE) die ad-hoc-Arbeitsgruppe „WMTC“ mit der Entwicklung eines neuen, weltweit harmonisierten Prüfzyklus für die Messung der Schadstoffemissionen motorisierter Zweiräder im Rahmen der Typprüfung. Im Oktober 2000 hat sich die RWTÜV Fahrzeug GmbH der WMTC-Arbeitsgruppe angeschlossen. RWTÜV Fahrzeug GmbH entwickelte einen Schaltalgorithmus, der eng mit dem Testzyklus verbunden ist. Diese Arbeit wurde von der

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) finanziert. Seit Mai 2001 war die RWTÜV Fahrzeug GmbH für die Zyklusentwicklung, die Entwicklung des Testprotokolls und für die Koordination des vom Niederländischen Umweltministeriums (VROM) beauftragten Validierungsprogramms verantwortlich.

Das Ziel der WMTC Aktivitäten ist es, einen weltweit harmonisierten Prüfzyklus für die Messung der Schadstoffemissionen motorisierter Zweiräder zu entwickeln, der den Fahrzyklus und den dazugehörigen Schaltalgorithmus für die Prüfstandmessungen abdeckt und die Beschreibung der Einstellungen der Prüfstände wie die Definition der Fahrwiderstände wie Trägheitsmasse, Anforderungen an die Kühlung, Verfahren zur Abgasprobenahme und andere Prüfstandspezifikationen. Die Entwicklung des Zyklus und des Schaltalgorithmus betrifft die Aufgaben der WMTC-Arbeitsgruppe, die Vorschrift für die Prüfstandeinstellungen ist momentan in Entwicklung bei der Arbeitsgruppe 17 der ISO TC 22 in enger Zusammenarbeit mit der WMTC-Arbeitsgruppe. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Aufgaben des gesamten Projektes.

2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Emissionsvalidierungen im Rahmen des Validierungsprogramms Teil 2 wurden einestils von der Industrie (IMMA) und andernteils von nationa-

Step	Description	Step	Task	Responsibility
1	Databases	1a	collection of statistics about stock and v ehicle use	WMTC Subgroup FE
		1b	in-use driving behaviour data	
2	Development of test procedure	2a	cycle development	
		2b	gearshift procedure	
		2c	test protocol, add. specifications	
3	validation programme step 1	3a	driveability	
	validation programme step 2	3b	update of test procedure	
		3c	emissions verification	
	Update of test procedure	3d	analysis of results	
		3e	vehicle classification	
		3f	wighting factors for cycle parts	
4	Update of test conditions	4a	road load resistance	
		4b	def. of inertia mass	
		4c	cooling requirements	
		4d	exhaust gas sampling procedure	
5	of cycle emissions	5	off cycle emissions provisions	WMTC Subgroup FE
6	certification proc	6	certification procedure	
7	Comparability check	7a	round robin test	
		7b	analysis of results	

Tab. 1: Die Struktur des WMTC-Projektes, Stand Dezember 2002

len Regierungseinrichtungen in verschiedenen Ländern der Welt finanziert. Für Deutschland ließ die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Validierungstests für 8 Motorräder bei der RWTÜV Fahrzeug GmbH in Essen durchführen.

Der Beitrag des Vorhabens zur Validierung der Emissionsmessungen umfasste folgende Prüfzyklen:

- WMTC,
- ECE R 40 (derzeitiger Zertifizierungszyklus),
- NEDC (Zyklus zur Zertifizierung von Pkw, der in der EU ab 2006 auch für die Messung von Motorrädern vorgeschlagen ist).

Prüfstandseinstellungen und Randbedingungen sollten den jeweiligen Prüfvorschriften entsprechend gewählt werden. Für den WMTC wurde im Rahmen des von VROM beauftragten Koordinierungsvorhabens ein Prüfprotokoll erarbeitet, das sich weitgehend an die Vorschriften des US-Zertifizierungszyklus (FTP) anlehnt, da dies der bisher einzige „real world“ Zyklus war (s. [1]).

WMTC und NEDC beginnen mit einem Kaltstart, ECE R 40 wird im betriebswarmen Zustand begonnen.

Mit dem Projekt sollte darüber hinaus aber noch ein weiteres Ziel verfolgt werden, dessen Notwendigkeit sich bereits aus der Tatsache ergibt, dass der WMTC und die zugehörigen Schaltanweisungen zwar wesentlich realitätsnäher sind als die bestehenden Testzyklen, er aber dennoch die im praktischen Betrieb in Europa auftretenden Drehzahl- und Beschleunigungsbereiche nur unzureichend abdeckt, da er einen Kompromiss zwischen den Regionen Europa, Japan und USA repräsentiert und in Japan deutlich niedrigere Drehzahlen gefahren werden als in Europa. Einen Kompromiss stellt auch die Dynamik des WMTC dar, die durch Fahrbarkeit für leistungsschwache Fahrzeuge und Einschränkungen durch den Rollenprüfstand (z. B. tyre slip) begrenzt ist. Dadurch besteht die Gefahr, dass im realen Betrieb bei Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Drehzahlen, die durch den WMTC nicht erfasst sind, höhere Emissionen auftreten als im WMTC. Daher sollten in einem zweiten Arbeitsschritt an einigen Fahrzeugen des Validierungsprogramms (s. Tabelle 4) „off-cycle emissions provisions“ vorgeschlagen und begleitende Methoden zur Kontrolle entwickelt und getestet werden.

Der Begriff „off-cycle emissions“ umfasst diejenigen Emissionen eines Motorrades, die im realen Betrieb bei Fahrzuständen auftreten, die durch den Prüfzyklus nicht erfasst werden. Insofern sind „off-cycle“ Emissionen ein grundsätzliches Problem, selbst bei einem repräsentativen Messzyklus. „Off-cycle emission provisions“ sind Kriterien, die sicherstellen sollen, dass das Emissionsverhalten des Fahrzeugs bei Fahrzuständen, die im praktischen Betrieb auftreten, aber nicht vom Prüfzyklus erfasst werden, nicht wesentlich höher sind als im Prüfzyklus. Diese Kriterien sind auch ein Schutz vor „cycle bypass“ Maßnahmen und vor der Anwendung von „defeat devices“, durch die zwar im Test niedrige Emissionen erreicht werden, nicht aber im praktischen Betrieb.

Im Rahmen des Vorhabens sollten Vorschläge für die zu erfassenden Betriebsbereiche für off-cycle emissions erarbeitet und Verfahren zur Kontrolle der dort auftretenden Emissionen vorgeschlagen und messtechnisch erprobt werden.

3 Ergebnisse

3.1 Messzyklus und Fahrzeugklasse

Der WMTC Zyklus besteht aus drei Teilzyklen, die das Fahrverhalten auf Innerortsstraßen (Teil 1), auf Landstraßen (Teil 2) und auf schnell befahrenen Außerortsstraßen und Autobahnen (Teil 3) repräsentieren sollen. In den Bildern 1 bis 3 sind die Geschwindigkeitsverläufe für die endgültige Version (Version 8) dargestellt. Um den Zyklus auf dem Abgasrollenprüfstand fahren zu können, müssen zugehörige Schaltalgorithmen angewendet werden, die vom RWTÜV im Auftrag der BASt entwickelt wurden und die ebenfalls endgültigen Charakter haben. Nähere Einzelheiten zu den Schaltalgorithmen findet man in [2].

Die Höchstgeschwindigkeit von Teil 1 beträgt 60 km/h, die von Teil 2 95 km/h und die von Teil 3 125 km/h.

Die Kategorie der Motorräder reicht von kleinen Fahrzeugen mit Nennleistungen unter 5 kW und Höchstgeschwindigkeiten unter 100 km/h bis zu Hochleistungsfahrzeugen mit Nennleistungen über 130 kW und Höchstgeschwindigkeiten bis zu 300 km/h. Es ist offensichtlich, dass leistungsschwache Fahrzeuge mit Höchstgeschwindigkeiten unter 100 km/h dem Geschwindigkeitsverlauf von Teil 3 in großen Bereichen nicht mehr folgen können.

Daher wurde schon früh der Ansatz einer Unterteilung der Motorräder in drei Klassen verfolgt, nach der Fahrzeuge der Klasse 1 nur Teil 1 fahren, Fahrzeuge der Klasse 2 Teil 1 und 2 und Fahrzeuge der Klasse 3 alle Teile. Der erste Vorschlag einer Klasseneinteilung basierte auf dem Hubraum als Abgrenzungskriterium, erwies sich jedoch nicht als zielführend und konsensfähig. Weitergehende Vorschläge beinhalten Hubraum und Höchstgeschwindigkeit als Abgrenzungskriterien, wobei strittig ist, ob kurzzeitiges „nicht folgen Können“ (Zyklus-Höchstgeschwindigkeit größer als Fahrzeughöchstgeschwindigkeit) akzeptiert werden

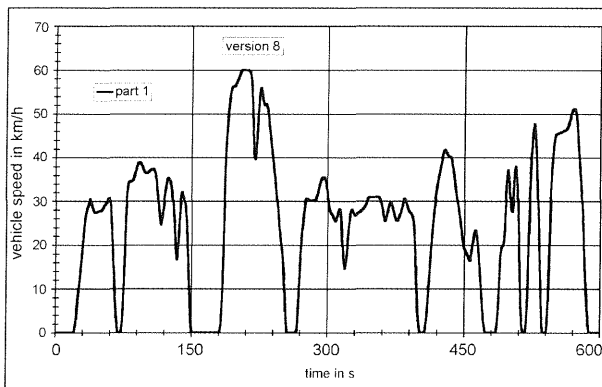


Bild 1: WMTC, Teil 1

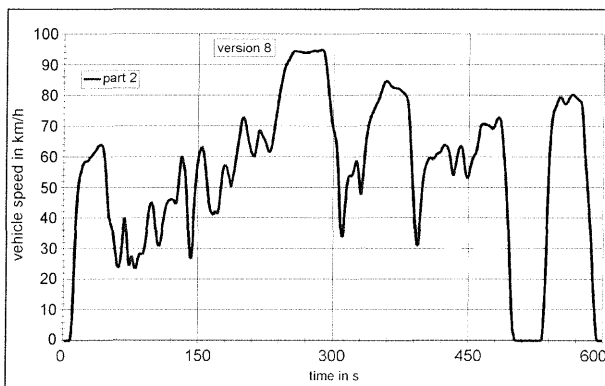


Bild 2: WMTC, Teil 2

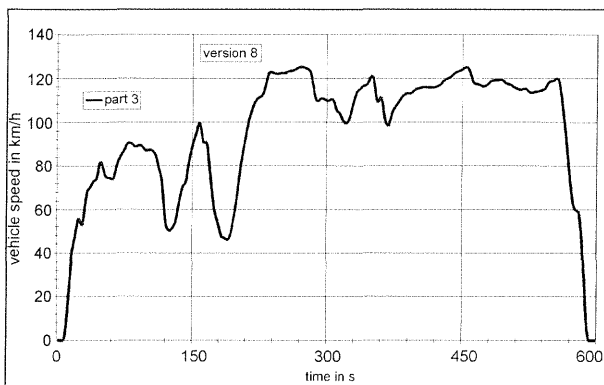


Bild 3: WMTC, Teil 3

kann oder ob man sogar einen „Sicherheitszuschlag“ (Zyklus-Höchstgeschwindigkeit kleiner als Fahrzeughöchstgeschwindigkeit) machen muss, um die Fahrbarkeit zu gewährleisten.

Obwohl die Frage der Fahrzeugklassen immer noch nicht abschließend gelöst worden ist, sei nachstehend diejenige Klasseneinteilung wiedergegeben, die Grundlage der derzeitigen Diskussionen ist:

Klasse 1: Fahrzeuge mit Hubvolumen $< 150 \text{ cm}^3$ und Höchstgeschwindigkeiten $< 100 \text{ km/h}$,

Klasse 2: Fahrzeuge mit Hubvolumen $< 150 \text{ cm}^3$ und Höchstgeschwindigkeiten ab 100 km/h , aber $< 130 \text{ km/h}$,

Fahrzeuge mit Hubvolumen $\geq 150 \text{ cm}^3$ und Höchstgeschwindigkeiten $< 130 \text{ km/h}$,

Klasse 3: Fahrzeuge mit Höchstgeschwindigkeiten $\geq 130 \text{ km/h}$.

3.2 Messungen im Rahmen des Validierungsprogramms

Die technischen Daten der 8 im Rahmen des WMTC-Validierungsprogramms untersuchten Fahrzeuge sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Zwei Fahrzeuge gehörten zur Klasse 2, die restlichen zur Klasse 3. Bei Klasse 1 wird nur der erste Teil des WMTC gefahren, bei Klasse 2 die Teile eins und zwei, bei Klasse 3 alle drei Teile gefahren. Die Klasseneinteilung entsprach dem für die Validierung von der WMTC-Gruppe akzeptierten, von der o. g. Einteilung abweichenden Vorschlag, der die Höchstgeschwindigkeit als Abgrenzungskriterium enthielt. (Unter 80 km/h nur Teil 1, ab 80 km/h bis 119 km/h Teile 1 und 2 und ab 120 km/h alle 3 Teile).

Die Fahrzeuge sollten möglichst fortschrittliche Schadstoffminderungstechnik und/oder Grenzbereiche der Fahrzeugklassierung repräsentieren. Die Emissionen wurden zusammen mit der Geschwindigkeit auch modal (sekundlich) erfasst, bei Fahrzeugen mit Automatikgetriebe wurde zusätzlich die Motordrehzahl gemessen. Der WMTC wurde 3-mal gemessen, die übrigen Zyklen 2-mal.

Die Messergebnisse (Mittelwerte der Wiederholungsmessungen) sind in den Bildern 4 bis 7 grafisch und in Tabelle 3 zahlenmäßig zusammengestellt.

no	class	vehicle	engine type	reduction system	transmission	no gear	cap cm ³	Pn kW	s min-1	n idle min-1	v max km/h
34	2	Suzuki UE 125	4-str	oxidation catalyst	automatic		124	8	7.500	1.500	90
35	2	Suzuki GZ 250	4-str	no	manual	5	249	15	8.000	1.200	115
36	3	Yamaha YP 250 Majesty	4-str	oxidation catalyst	automatic		250	15,5	7.500	1.500	123
38	3	BMW R 1200 C	4-str	3 way catalyst	manual	5	1.170	45	5.000	820	168
39	3	Honda CBR600FS	4-str	3 way catalyst + Air injection	manual	6	599	80	12.500	1.000	252
40	3	Yamaha FJR 1300	4-str	3 way catalyst	manual	5	1.298	105,5	8.000	1.000	250
68	3	Moto Guzzi	4-str	3 way catalyst	manual	6	1.064	67	7.800	1.300	220
137	3	BMW F 650 GS	4-str	3 way catalyst	manual	5	652	25	6.000	1.500	145

Tab. 2: Technische Daten der mit dem WMTC-Validierungsprogramm untersuchten Fahrzeuge

veh_no	Capacity in cm ³	Pn in kW	reduction system	cycle	Emissions in g/km			
					HC	CO	NOx	CO ₂
34	124	8	oxidation catalyst	NEDC	0,5361	11,07	0,1589	45,1
				ECE R40	0,4770	3,17	0,1318	51,4
				WMTC 1, cold	0,7954	5,32	0,1853	47,7
				WMTC 2	0,5937	11,22	0,1489	37,9
				WMTC 1, hot	0,5142	5,43	0,1110	42,1
35	249	15	no	NEDC	0,8713	8,88	0,3819	62,5
				ECE R40	1,2813	7,15	0,1464	66,5
				WMTC 1, cold	1,0041	7,24	0,2211	61,0
				WMTC 2	0,7632	6,11	0,4827	52,1
				WMTC 1, hot	1,0688	9,88	0,1260	45,3
36	250	15,5	oxidation catalyst	NEDC	0,5341	16,14	0,2127	56,3
				ECE R40	0,5935	15,63	0,0796	67,8
				WMTC 1, cold	0,7149	15,62	0,1496	62,9
				WMTC 2	0,5204	13,32	0,2048	43,1
				WMTC 3	0,4659	13,47	0,6647	60,3
39	599	80	3 way catalyst + Air injection	NEDC	0,4708	3,83	0,0837	131,8
				ECE R40	0,3666	0,49	0,0456	164,8
				WMTC 1, cold	1,0030	6,21	0,0418	157,2
				WMTC 2	0,4132	3,58	0,0530	101,6
				WMTC3	0,6894	10,27	0,1733	103,5
137	652	25	3 way catalyst	NEDC	0,1626	2,40	0,1706	86,1
				ECE R40	0,1146	1,83	0,0673	118,6
				WMTC 1, cold	0,8997	21,45	0,1208	88,4
				WMTC 2	0,4026	8,11	0,1809	59,4
				WMTC 3	0,1666	2,41	0,4161	74,0
68	1.064	67	3 way catalyst	NEDC	0,0806	0,39	0,0160	143,3
				ECE R40	0,0285	0,17	0,0224	210,8
				WMTC 1, cold	0,2034	0,84	0,0628	190,5
				WMTC 2	0,0185	0,08	0,0305	110,6
				WMTC 3	0,0292	0,19	0,0486	110,3
38	1.170	45	3 way catalyst	NEDC	0,4537	7,80	0,1123	120,3
				ECE R40	0,1696	3,91	0,0488	173,8
				WMTC 1, cold	1,5324	20,34	0,1085	142,8
				WMTC 2	0,1605	2,67	0,1346	94,9
				WMTC 3	0,0440	1,97	0,2625	98,8
40	1.298	150,5	3 way catalyst	NEDC	0,3877	1,36	0,1943	142,8
				ECE R40	0,2825	1,17	0,0587	200,1
				WMTC 1, cold	0,4560	2,58	0,0868	181,3
				WMTC 2	0,2324	0,86	0,1098	110,5
				WMTC 3	0,2257	0,56	0,6884	113,8
				WMTC 1, hot	0,5014	1,19	0,0885	159,8

Tab. 3: Messergebnisse des Validierungsprogramms (Mittelwerte der Wiederholungsmessungen)

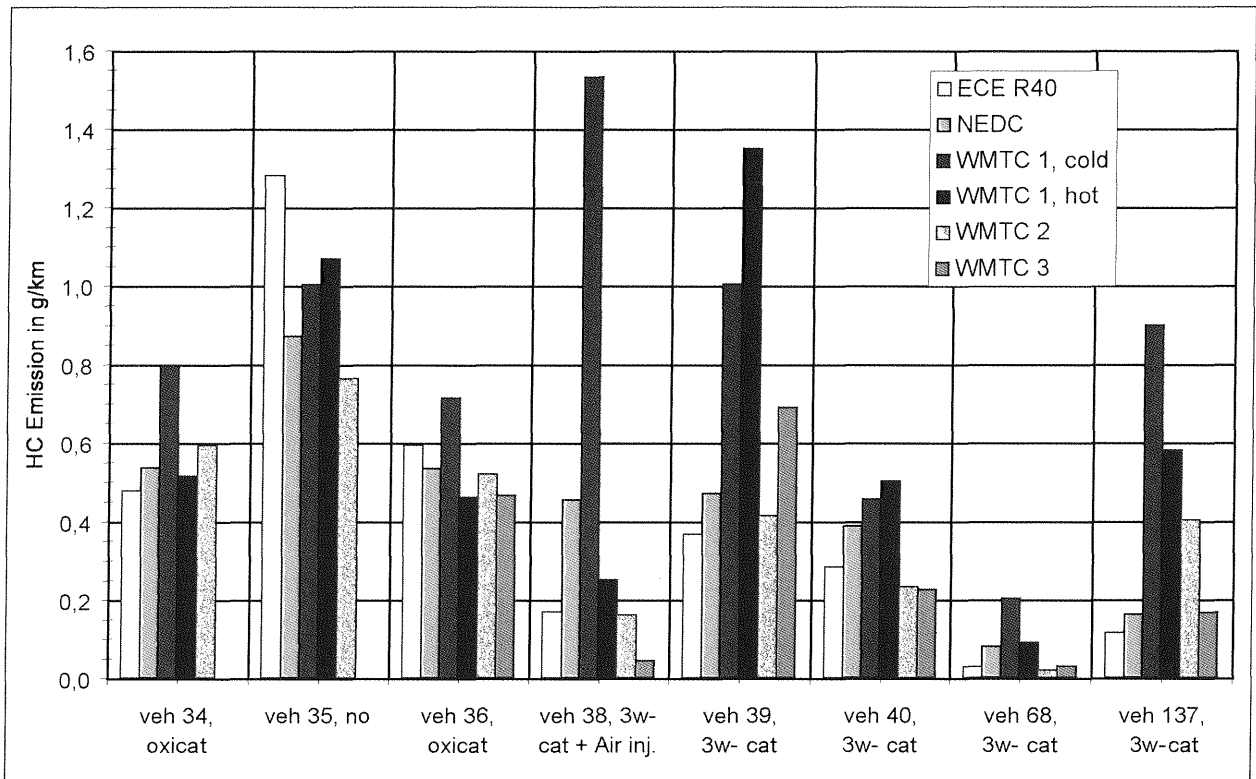


Bild 4: Ergebnisse des Validierungsprogramms für HC

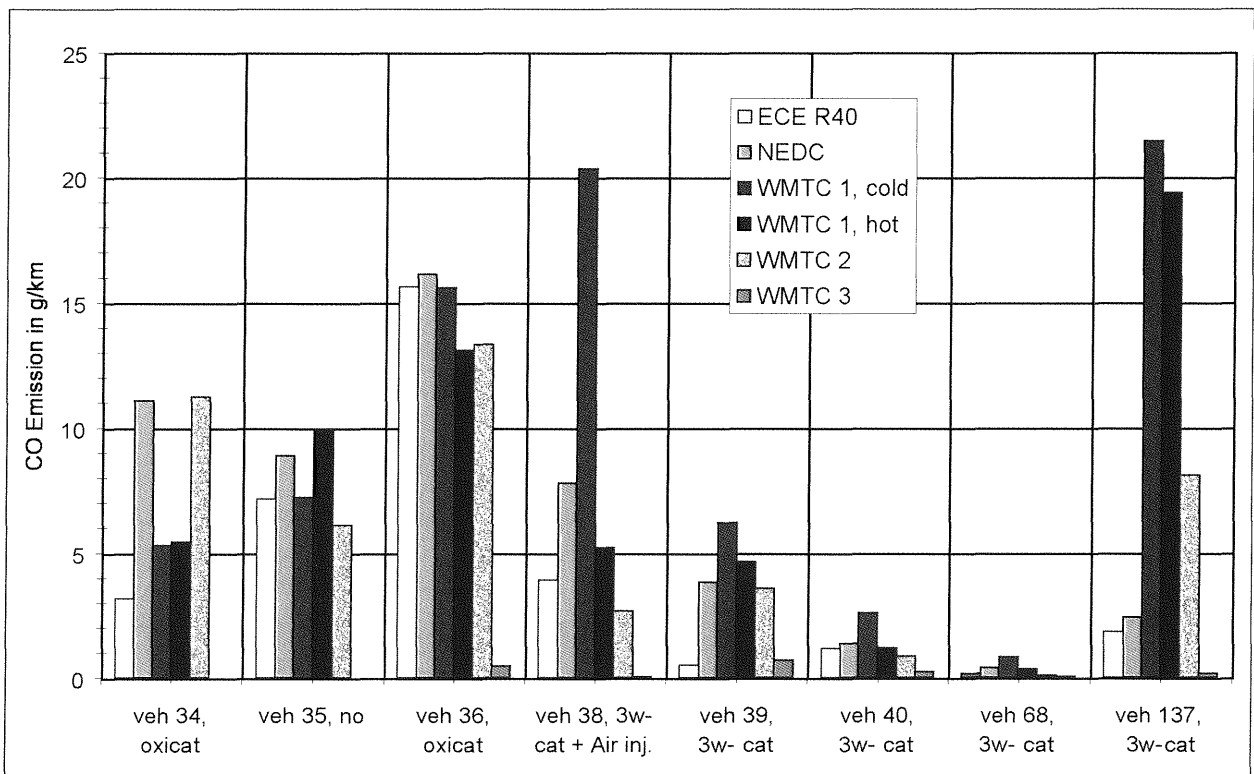


Bild 5: Ergebnisse des Validierungsprogramms für CO

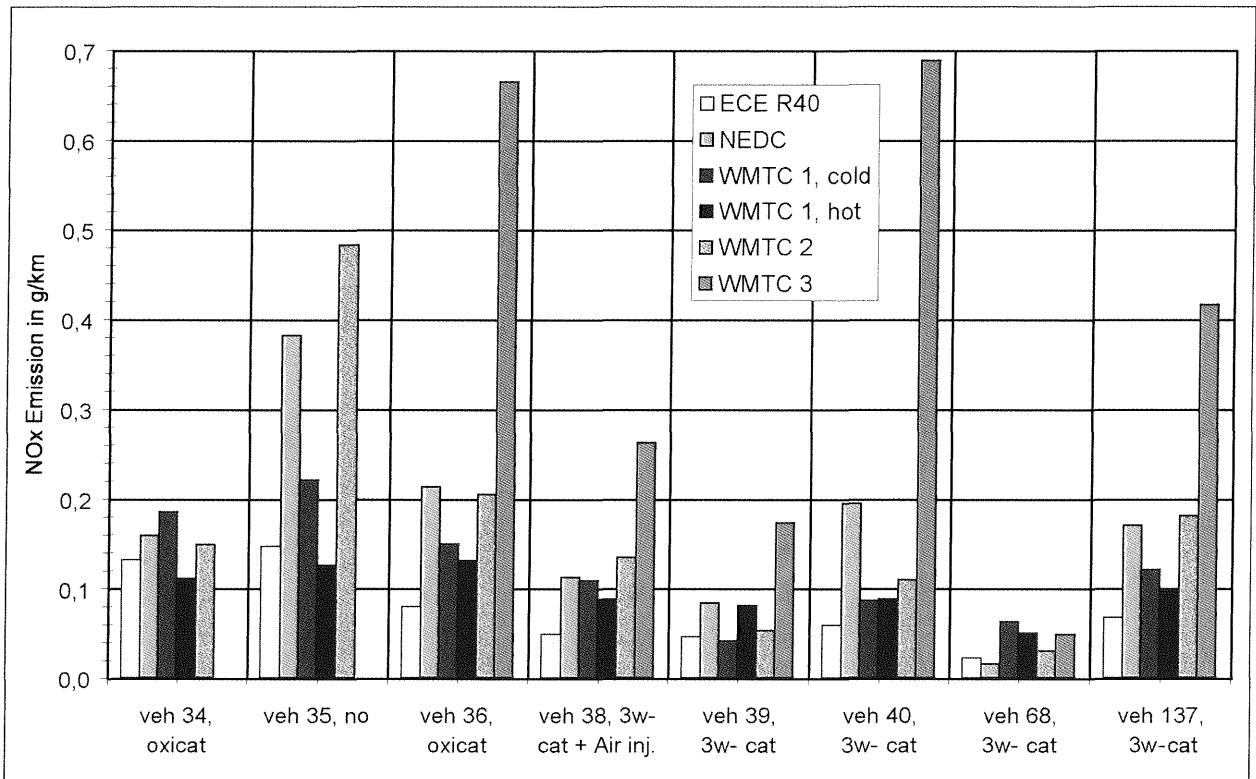
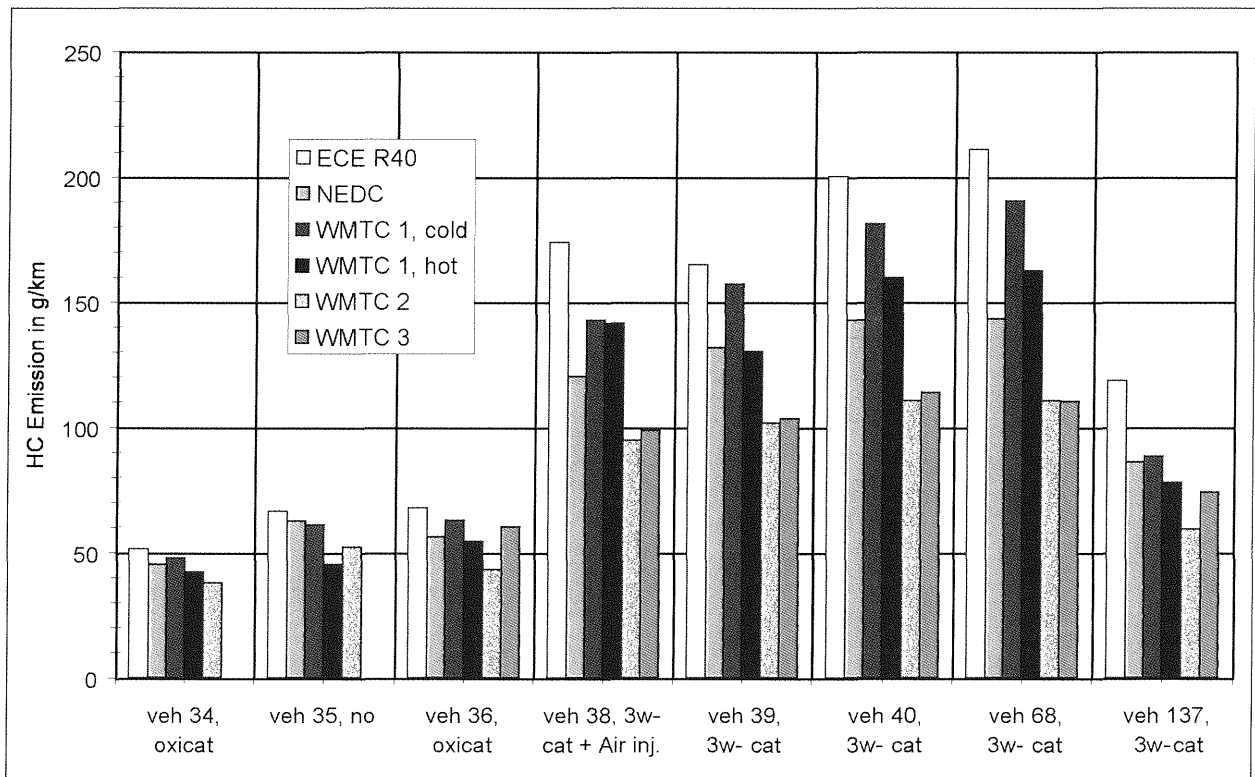


Bild 6: Ergebnisse des Validierungsprogramms für NOx

Bild 7: Ergebnisse des Validierungsprogramms für CO₂

Generell lässt sich Folgendes feststellen:

- HC- und CO-Emissionen sind mit Kaltstart überwiegend höher als mit Warmstart (Vergleich WMTC, Teil 1 cold, WMTC, Teil 1 hot). Dies gilt in etwas abgeschwächter Form auch

für die NO_x-Emissionen. Besonders große, kaltstartbedingte Unterschiede zeigten sich bei Fahrzeug 38 (3w-cat + air injection).

- Die höchsten HC- und CO-Emissionen traten beim WMTC, Teil 1, mit Kaltstart auf, die höchsten NO_x-Emissionen beim WMTC, Teil 3.
- Zwischen den Fahrzeugen mit 3w-cat gibt es große Emissionsunterschiede, die auf Unterschiede in der Optimierung der Regelung zurückgeführt werden können.
- Wenn man die derzeitigen Emissionsanforderungen nach 97/24/EWG mit EURO 1 und die für 2003 und 2006 vorgesehenen Anforderungen mit EURO 2 und EURO 3 bezeichnet, so können die gemessenen Fahrzeuge hinsichtlich ihres Emissionsniveaus folgendermaßen eingeteilt werden:
 - EURO 1: Fahrzeuge 35, 36, 38 und 39
 - EURO 2: Fahrzeuge 34, 40 und 137
 - EURO 3: Fahrzeug 68

Nähere Einzelheiten sollen in diesem Bericht nicht behandelt werden, hierzu sei auf den Technical Report der WMTC-Gruppe verwiesen ([1]). In diesem Bericht sind sie zusammen mit den Ergebnissen weiterer, an der Validierung beteiligter Stellen analysiert worden.

3.3 Erfassung von Off-Cycle Emissions

3.3.1 Begründung der Notwendigkeit von Off-Cycle Emission Provisions

Der größte Vorteil des WMTC besteht darin, dass er das Fahrverhalten von Motorrädern sehr viel besser wiedergibt als jedes andere bereits existierende Zertifizierungsverfahren. Dessen ungeachtet werden zusätzliche „off-cycle emission provisions“ benötigt, da der WMTC als Kompromiss zwischen verschiedenen Regionen der Welt auf durchschnittliches Fahrverhalten abgestellt ist und hochtourigere Fahrweisen sowie stärkere Beschleunigungen nicht in Betracht zieht, obwohl diese in der Praxis durchaus vorkommen. Zum Beispiel stellen die Schaltdrehzahlen einen Kompromiss zwischen verschiedenen Fahrverhalten in verschiedenen Regionen der Welt dar (s. Bild 8). Weiterhin sind selbst für eine gegebene Region große Unterschiede im Fahrverhalten auf unterschiedliche Fahrereinflüsse zurückzuführen, deren Bandbreite durch den WMTC nicht vollständig abgedeckt wird.

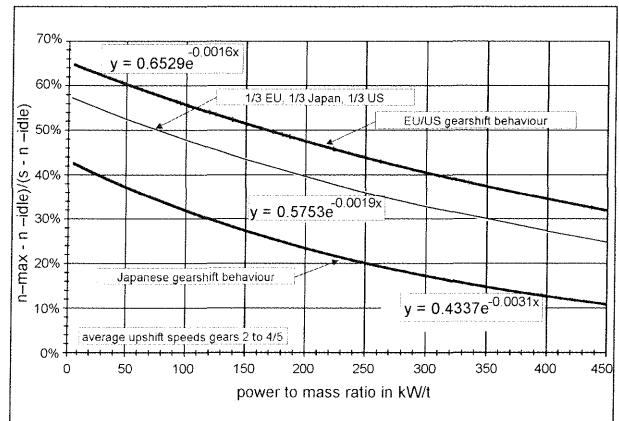


Bild 8: Regressionsfunktion der Schaltdrehzahlen für das Hochschalten in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht in verschiedenen Regionen der Welt

Der Begriff „off-cycle emissions“ umfasst diejenigen Emissionen eines Motorrads, die im realen Betrieb bei Fahrzuständen auftreten, die durch den Prüfzyklus nicht erfasst werden. Insofern sind „off-cycle“ Emissionen ein grundsätzliches Problem, selbst bei einem Messzyklus, der die o. g. Kompromisse nicht beinhaltet.

Um die Notwendigkeit von „off-cycle emission provisions“ zu demonstrieren, sollen Fahr- und Betriebszustände des WMTC mit Fahr- und Betriebszuständen verglichen werden, die im praktischen Betrieb erfasst wurden. Dies ist nicht unmittelbar möglich, da für keines der Fahrzeuge aus der WMTC-Validierung Fahrverhaltensdaten aus dem praktischen Betrieb vorliegen. Jedoch gibt es in der Validierungsuntersuchung einerseits und in der Fahrverhaltensdatenbank (in-use Datenbank), die zur Entwicklung der Schaltalgorithmen verwendet wurde, andererseits je zwei Fahrzeugpaare mit ähnlichen technischen Daten. Es sind dies die folgenden Paarungen:

- 600 cm³, 72/80 kW: Nr. 2 aus der in-use Datenbank (72 kW) und Nr. 39 aus der Validierung (80 kW),
- 1.137/1.298 cm³, 110/106 kW: Nr. 38 aus der in-use Datenbank (110 kW) und Nr. 40 aus der Validierung (106 kW).

Für Fahrzeug 2 aus der in-use Datenbank wurde das Fahrverhalten auf einem Rundkurs in der Nähe von Darmstadt von der TU Darmstadt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik, gemessen, für Fahrzeug 38 aus der in-use Datenbank erfolgten die Fahrverhaltensmessungen durch einen Fahrzeughersteller in Pisa als IMMA-Beitrag zum WMTC-Projekt.

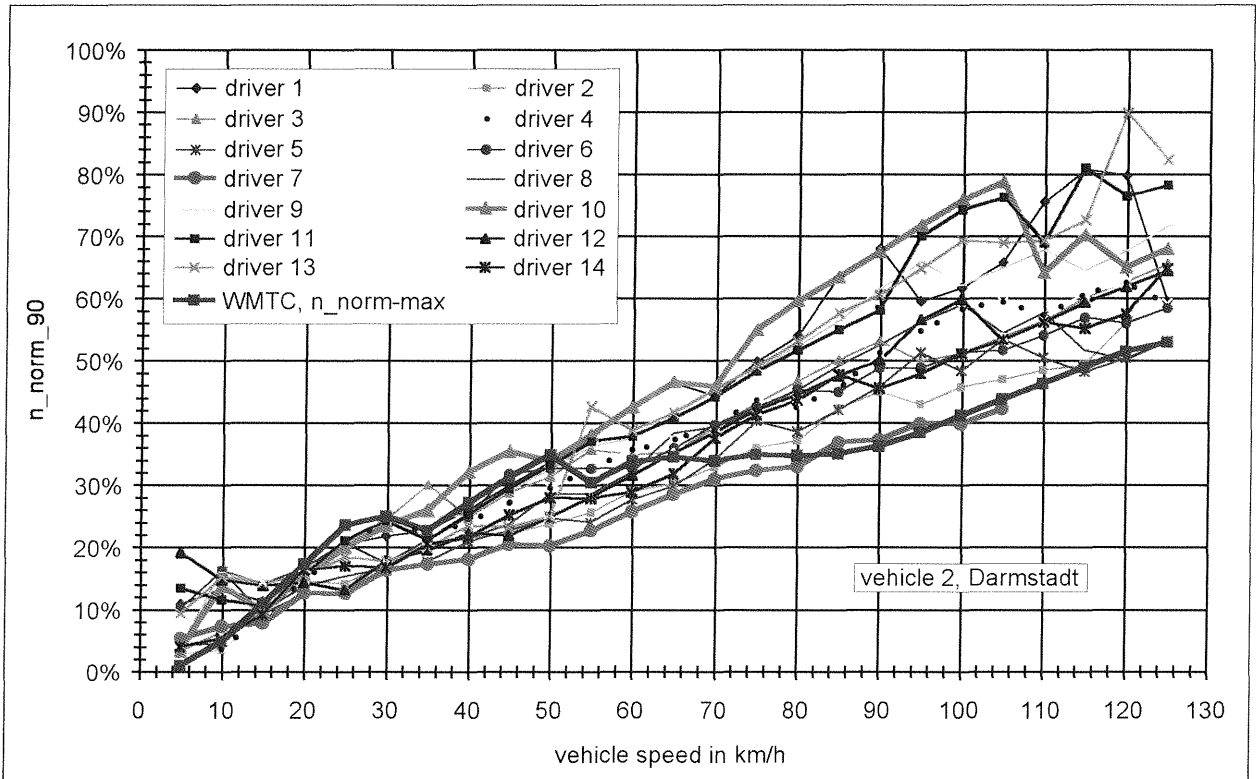


Bild 9: 90%-Perzentile der normierten Motordrehzahl als Funktion der Geschwindigkeit für Fahrzeug 2 der in-use Datenbank und verschiedene Fahrer (gleiche Route). Die WMTC-Vergleichskurve wurde aus den normierten Drehzahlen des WMTC für Fahrzeug 39 der Validierung gewonnen.

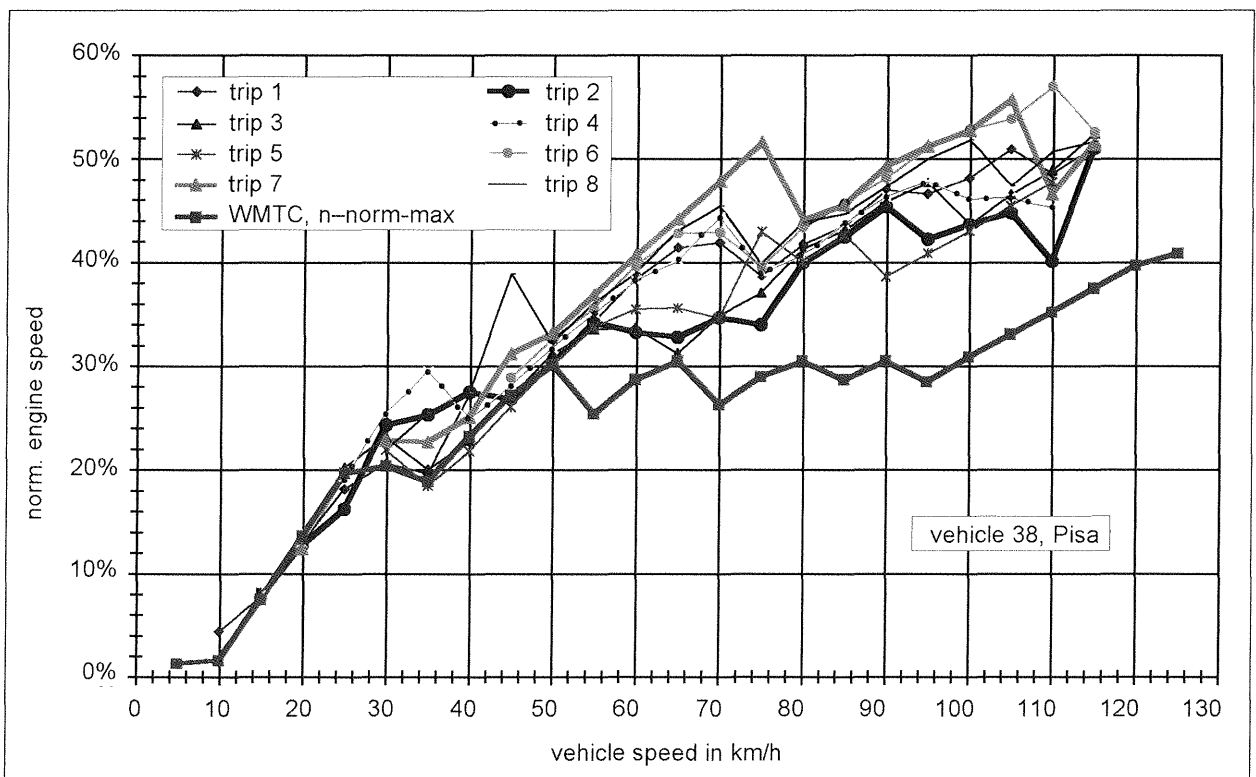


Bild 10: 90%-Perzentile der normierten Motordrehzahl als Funktion der Geschwindigkeit für Fahrzeug 38 der in-use Datenbank und versch. Fahrten (gleiche Route). Die WMTC-Vergleichskurve wurde aus den normierten Drehzahlen des WMTC für Fahrzeug 40 der Validierung gewonnen.

Bild 9 und Bild 10 zeigen die 90-%-Perzentile der normierten Motordrehzahlen in jeder Geschwindigkeitsklasse zwischen 5 und 125 km/h. Werte fehlen, wenn weniger als 100 Samples in einer Klasse vorlagen. Die Motordrehzahlen sind auf die Spanne zwischen Leerlauf und Nenndrehzahl normiert. Die Maximalwerte der normierten Motordrehzahl für den WMTC sind zum Vergleich ebenfalls dargestellt. Die WMTC-Maximalwerte bilden mehr oder weniger die Untergrenze der Variationsbreite, insbesondere für Fahrzeuggeschwindigkeiten über 60 km/h. Dies bedeutet, dass die Motordrehzahlen, die im praktischen Betrieb vorkommen, abhängig vom individuellen Fahrer, signifikant höher sein können als die Motordrehzahlen im WMTC-Test.

Wie erwartet zeigt ein entsprechender Vergleich zwischen der im praktischen Betrieb genutzten Fahrzeugbeschleunigung und der des WMTC ein ähnliches Ergebnis (s. Bild 11 und Bild 12). Die Differenzen sind sogar größer als für die Motordrehzahlen und betreffen den gesamten Geschwindigkeitsbereich.

Um eine geeignete Lösung für die „off-cycle emissions provisions“ zu finden, wurden die folgenden Teilschritte durchgeführt:

1. Definition des Bereiches der Motordrehzahlen und Fahrzeuggeschwindigkeiten,
2. Definition des zu betrachtenden dynamischen Verhaltens,
3. Definition des Testverfahrens, um die Emissionen innerhalb dieser Geschwindigkeitsbereiche kontrollieren zu können.

3.3.2 Vorgehensweise und getestete Methoden zur Erfassung von Off-Cycle Emissionen

Da off-cycle emissions provisions laut Zielsetzung der Kontrolle der Abgasemissionen für Fahrzustände und Motorbetriebszustände dienen, die im realen Verkehr auftreten, aber nicht vom WMTC-Zyklus abgedeckt werden, bestand die Aufgabe zunächst darin, entsprechende Fahrzustands- und Motorbetriebszustandsbereiche zu definieren.

Um den Motordrehzahlbereich zu bestimmen, der für die „off-cycle emissions“ betrachtet werden soll, wurden die „in-use“ Daten erneut im Hinblick auf die Motordrehzahlvarianzen analysiert. Die Betrachtungsweise war ähnlich wie die bei der Entwicklung der Schaltvorschrift und kann wie folgt zusammengefasst werden:

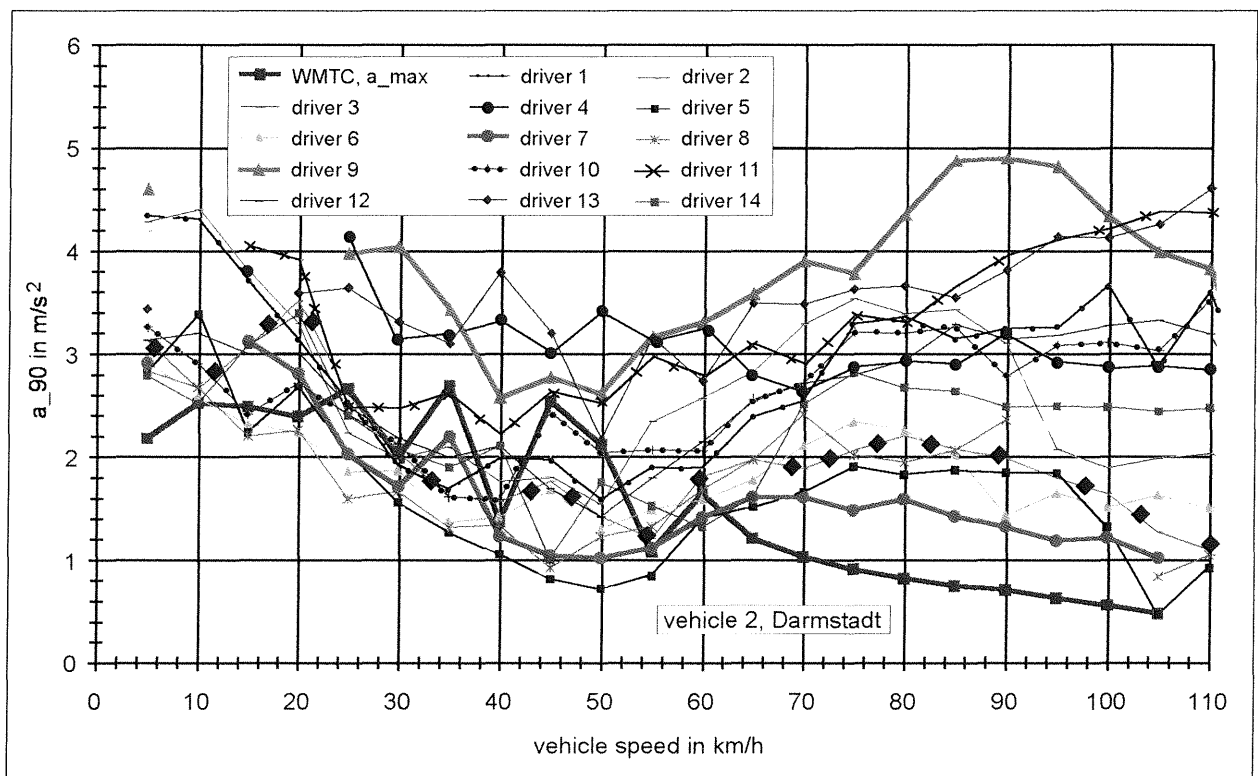


Bild 11: 90-%-Perzentile der Beschleunigung als Funktion der Geschwindigkeit für Fahrzeug 2 der in-use Datenbank und verschiedene Fahrer (gleiche Route)

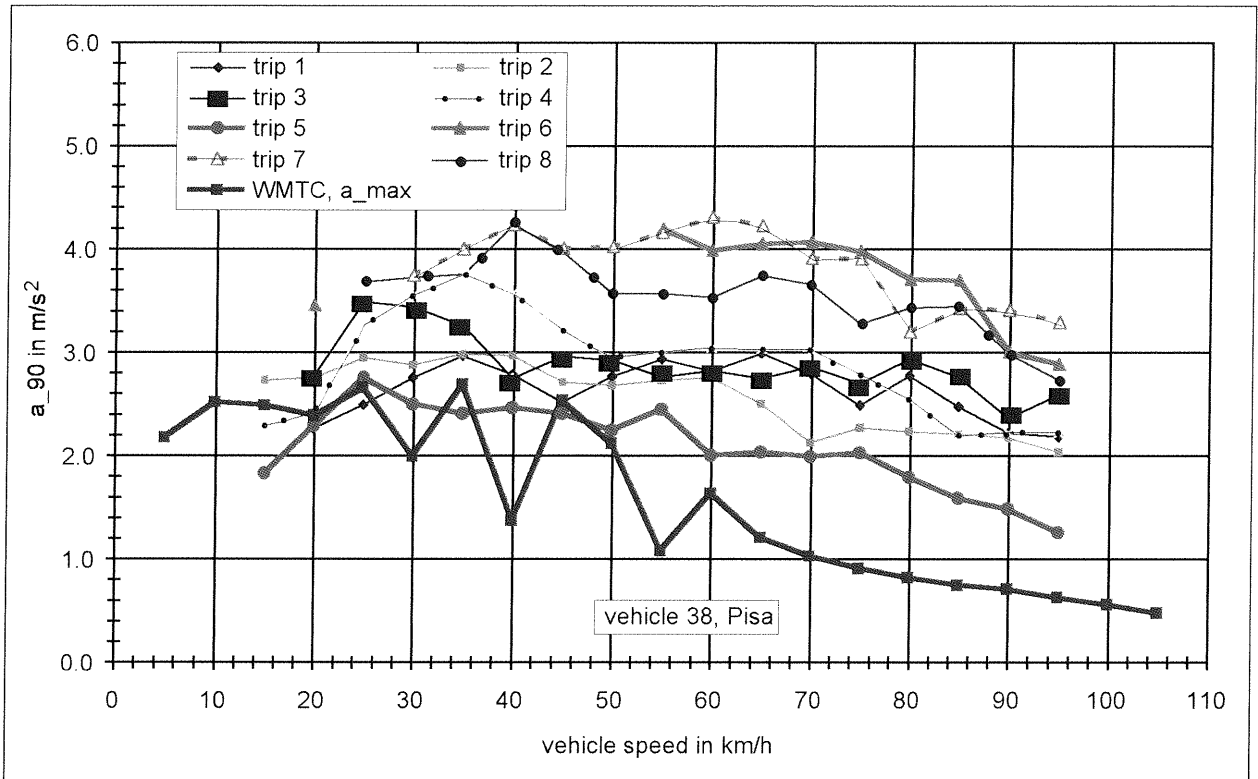


Bild 12: 90%-Perzentile der Beschleunigung als Funktion der Geschwindigkeit für Fahrzeug 38 der in-use Datenbank und verschiedene Fahrten (gleiche Route)

- Analyse des Fahrereinflusses auf die Motordrehzahlen in den „in-use“ Daten,
- Definition der oberen Drehzahlbereiche,
- Berechnung der Regressionsfunktionen der oberen Geschwindigkeitsgrenzwerte in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht,
- Entwicklung modifizierter Schaltvorschriften für diesen erweiterten Motordrehzahlbereich.

Höhere Schaltdrehzahlen (erster Ansatz)

Es war offensichtlich, die WMTC-Geschwindigkeitsverläufe mit diesen erweiterten Schaltvorschriften als eine Alternative zu kombinieren, um „off-cycle“ Emissionen zu bestimmen. Nach dieser Methode wurden vier Fahrzeuge gemessen, von denen aber nur drei in die Analysen einbezogen werden konnten (s. Tabelle 4).

Load Response Test (zweiter Ansatz)

Verglichen mit den WMTC-Geschwindigkeitsverläufen deckt der erste Ansatz nicht die signifikant höheren Beschleunigungsraten ab, die in den

„in-use“ Daten gefunden wurden. Als eine Konsequenz wurde eine zusätzliche Methode skizziert und getestet, genannt „load response Test“. Dieser Test wurde als „Treppenstufen“-Geschwindigkeitsverlauf konzipiert, bei dem mehrere konstante Geschwindigkeitsphasen durch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge miteinander verbunden wurden. Diese transienten Phasen sollten so schnell wie möglich gefahren werden, um die erforderliche hohe Dynamik zu gewährleisten. Eine erste Version wurde an drei Fahrzeugen erprobt. Aufgrund von Problemen hinsichtlich der Fahrbarkeit und der Messdurchführung wurde die erste Version modifiziert und als Version 2 an vier weiteren Fahrzeugen erprobt (s. Tabelle 4).

Im Prinzip hätte man die gleiche Betrachtungsweise wie für die Definition des Motordrehzahlbereiches wählen können und hätte Beschleunigungsobergrenzen für den „off-cycle“ Bereich als Funktion des Leistungsgewichtes festlegen können. Da aber erkennbar war, dass diese Obergrenzen teilweise erheblich über den maximal möglichen Beschleunigungswerten liegen, die auf dem Rollenprüfstand realisiert werden können, wurden die Beschleunigungsraten der „in-use“ Daten nicht weiter analysiert.

no	class	engine_type	reduction_system	cap	Pn	WMTC	Load response		Stationary Tests
				cm ³	kW	high revs	Vers 1	Vers 2	
34	2	4-str	oxidation catalyst	124	8		x		
38	3	4-str	3 way catalyst	1.170	45	x	x		
39	3	4-str	3 way catalyst + Air injection	599	80			x	
40	3	4-str	3 way catalyst	1.298	105.5	x	x	x	x
68	3	4-str	3 way catalyst	1.064	67			x	x
137	3	4-str	3 way catalyst	652	25	x		x	

Tab. 4: Übersicht über getestete Fahrzeuge und Methoden

Vorgegebene Geschwindigkeits-Drehzahl-Kombinationen (Stationär-Kennfeld, dritter Ansatz)

Zusätzlich wurde noch eine dritte Methode getestet, bestehend aus vorgegebenen Fahrzeuggeschwindigkeits- und Motordrehzahlkombinationen, um den „off-cycle“ Bereich, der durch die Analyse der „in-use“ Datenvarianzen bestimmt worden war, abzudecken. Diese Methode wurde an zwei Fahrzeugen getestet (s. Tabelle 4).

Der WMTC mit höheren Schaltdrehzahlen wurde mit Kaltstart gefahren, die Load response Tests und die stationary Tests in betriebswarmem Zustand.

3.3.3 Bestimmung des für Off-Cycle Emissions zu berücksichtigenden Motordrehzahlbereichs

Wie schon im vorherigen Kapitel beschrieben, wurden die „in-use“ Daten nochmals im Hinblick auf die Varianzen in den Schaltdrehzahlen analysiert. Dazu wurden die mittleren Schaltdrehzahlen für das Hochschalten im Fall der Darmstädter Daten für jeden Fahrer und im Fall der IMMA-Daten für Europa und die USA für jede Fahrt berechnet. Japanische Daten wurden nicht in Betracht gezogen, weil sie im Vergleich zu den beiden anderen Regionen signifikant niedrigere Drehzahlen aufweisen (s. [2]). Der off-cycle Bereich wird dann zu hohen Drehzahlen hin durch den oberen Rand des Varianzbandes begrenzt.

Die so erhaltenen Drehzahlwerte sind in Bild 13 für alle Fahrzeuge mit großen Varianzen über dem Leistungsgewicht dargestellt (Dreiecke). Die Regressionslinien für mittleres US/EU-Fahrverhalten und gewichtetes WMTC-Fahrverhalten (1/3 EU, 1/3 Japan, 1/3 US) sind zum Vergleich eingezeichnet. An die off-cycle Drehzahlwerte wurde dann eine Exponentialfunktion angepasst, wobei die Steigung so gewählt wurde, dass sie annähernd mit der der anderen Regressionskurven

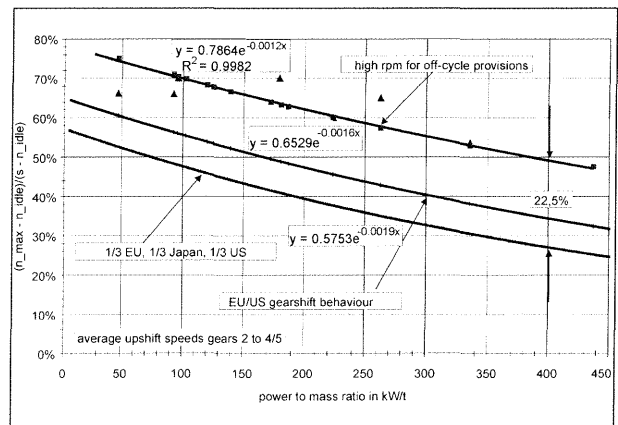


Bild 13: Obere Grenze der Schaltdrehzahlen für das Hochschalten (Dreiecke) in den Gängen 2 bis n für Fahrzeuge der in-use Datenbank mit großen Varianzen zwischen den verschiedenen Fahrten und Fahrern. Regressionslinien für mittleres US/EU-Fahrverhalten, gewichtetes WMTC-Fahrverhalten (1/3 EU, 1/3 Japan, 1/3 US) zum Vergleich

übereinstimmt. Als Vorschlag für das Schaltverhalten für den Ansatz mit höheren Schaltdrehzahlen wurde eine Funktion mit annähernd der gleichen Steigung wie die anderen Regressionsfunktionen gewählt, welche am besten zu den individuellen Werten der einzelnen Fahrzeuge passte (Dreiecke). Die resultierende Regressionskurve definiert den Drehzahlbereich, der für die „off-cycle“ Emissionen und damit für die Schaltvorschriften eines „off-cycle“ Emissionstests betrachtet werden muss. Sie liegt 22,5 % über der Regressionskurve der Schaltdrehzahlen für das gewichtet gemittelte Fahrverhalten aller drei Regionen (EU, Japan, USA).

Schaltvarianzen für alle Fahrer oder Fahrten sind in den Bildern 14 bis 16 exemplarisch für drei Fahrzeuge dargestellt. Die Schaltdrehzahlen des WMTC sowie die sich aus der Regressionslinie für die Obergrenze des off-cycle Bereichs ergebenden Schaltdrehzahlen (high rpm for off-cycle provisions) sind zum Vergleich mit angegeben.

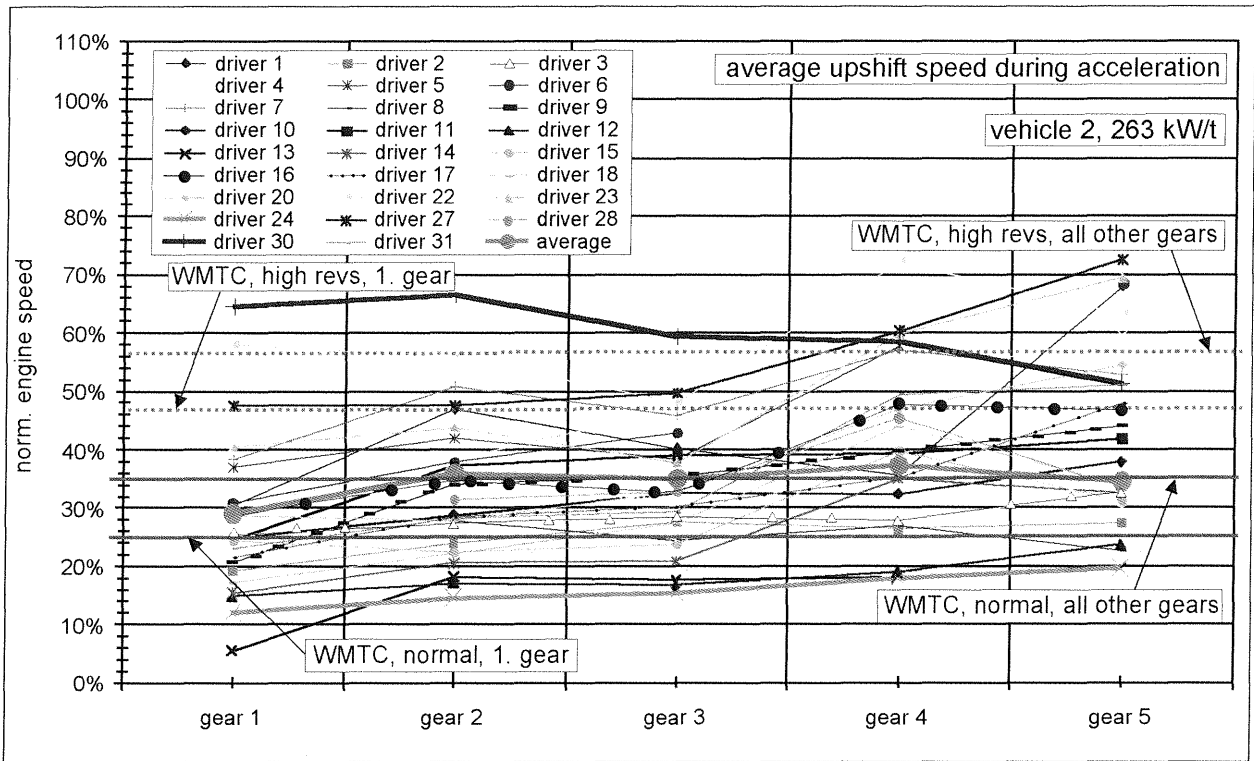


Bild 14: Vom Fahrer verursachte Varianzen in den mittleren Schaltdrehzahlen für das Hochschalten für Fahrzeug 2 der in-use Datenbank (Europa)

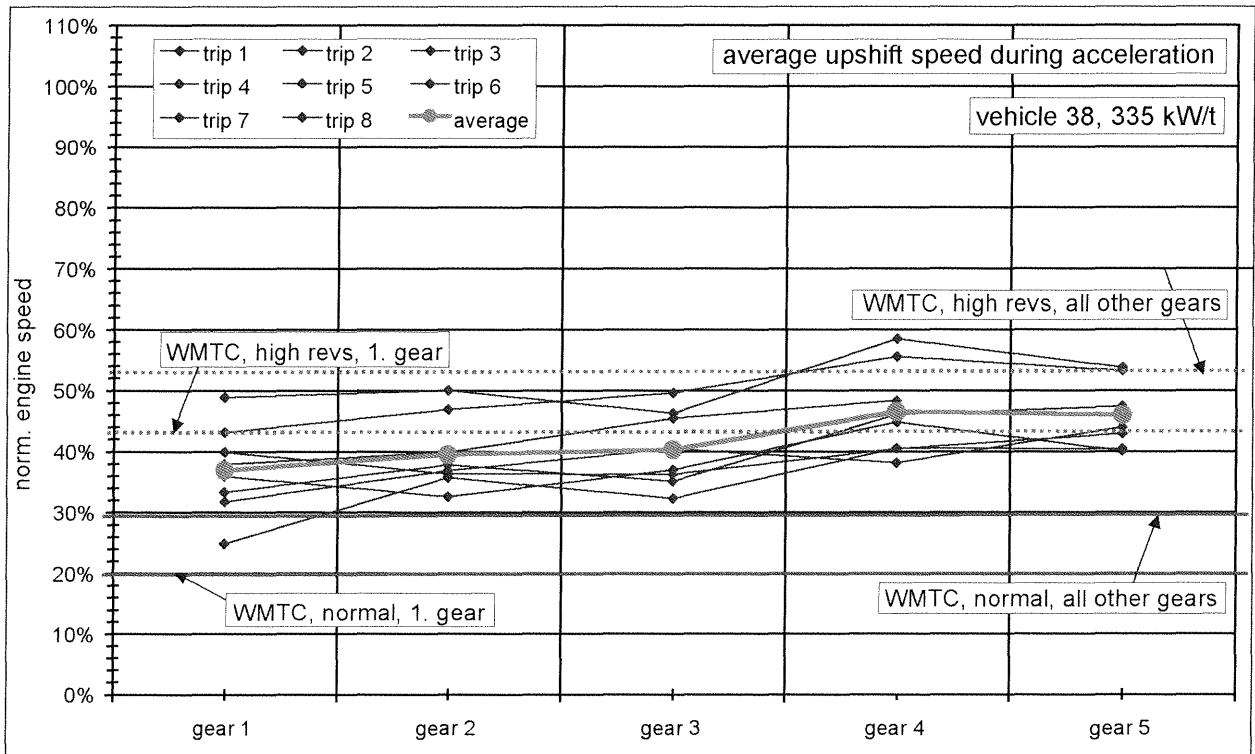


Bild 15: Varianzen der einzelnen Fahrten in den mittleren Schaltdrehzahlen für das Hochschalten für Fahrzeug 38 der in-use Datenbank (Europa)

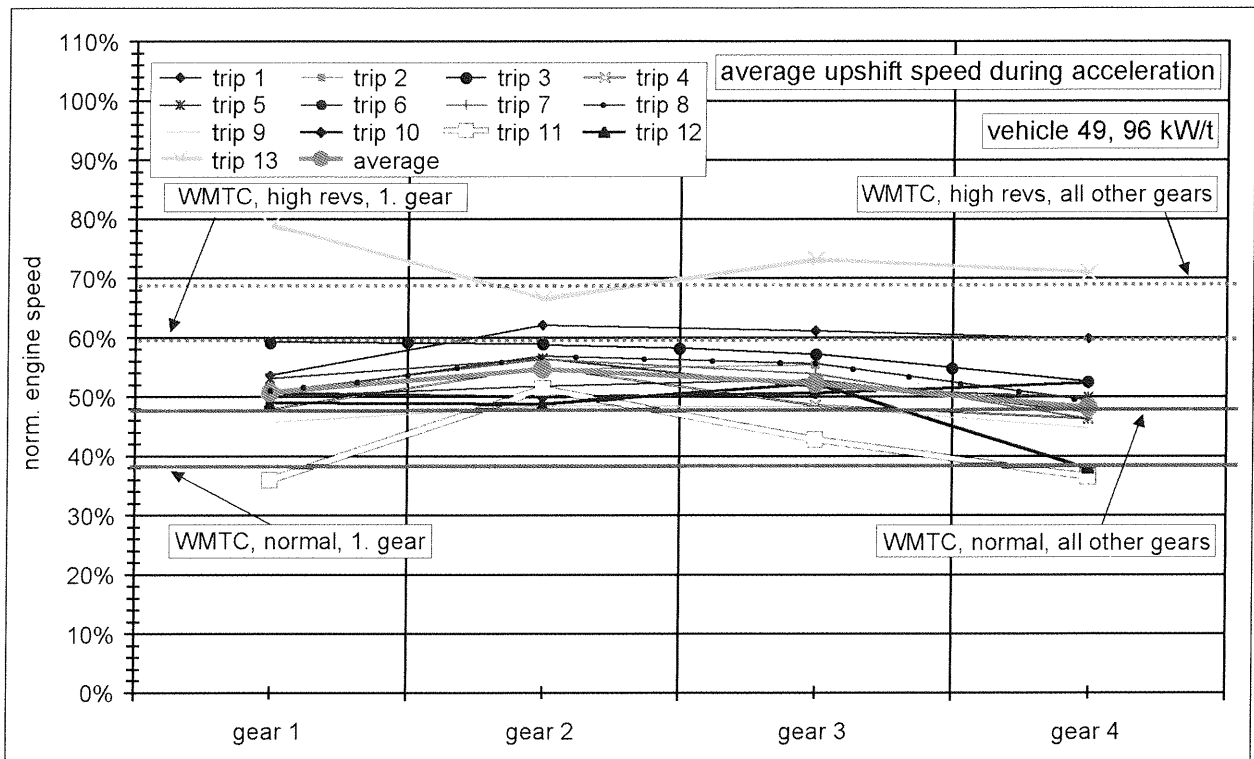


Bild 16: Varianzen der einzelnen Fahrten in den mittleren Schaltdrehzahlen für das Hochschalten für Fahrzeug 49 der in-use Datenbank (US)

3.3.4 Emissionsergebnisse für den WMTC mit erhöhten Schaltdrehzahlen

Bild 17 bis Bild 25 zeigen für den WMTC die Zeitverläufe von Fahrzeuggeschwindigkeit und Emissionen (HC, CO, NO_x), einmal mit der gewöhnlichen Schaltvorschrift und einmal mit erhöhten off-cycle Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms. Dieses Fahrzeug hat einen Hubraum von 1.170 cm³, eine Nennleistung von 45 kW und eine Nenndrehzahl von 5.000 min⁻¹. Die normale Hochschaltdrehzahl im WMTC für Gänge größer als 1 ist 2.700 min⁻¹, die off-cycle Schaltdrehzahl beträgt 3.600 min⁻¹. Die Drehzahl im höchsten Gang bei 125 km/h beträgt 4.000 min⁻¹. (Die in den Bildern eingezeichneten hellgrau senkrechten Linien dienen bei der Analyse dem einfacheren Ablesen von Werten zu bestimmten Zeitpunkten und können ignoriert werden.)

Bei diesem Fahrzeug sind die HC- und CO-Emissionspeaks für hohe Schaltdrehzahlen signifikant höher als die für normale Schaltdrehzahlen, während die Differenzen für NO_x nicht signifikant ausgeprägt sind. Gleichzeitig befindet sich das Emissionsniveau unter beiden Bedingungen in etwa auf gleichem Level. Dies ist dadurch zu erklären, dass es sich bei den hier untersuchten Mo-

torrädern (38, 40 und 137) um Fahrzeuge mit geregelterm 3-Wege-Katalysator handelt. Aufgrund der höheren Schaltdrehzahlen entstehen zwar stärkere Emissionspeaks. Diese werden jedoch aufgrund der Lambda-Regelung – wie bei den normalen Schaltdrehzahlen auch – entsprechend schnell ausgeglichen, so dass bei einem Vergleich der Gesamtemissionen in den meisten Fällen kaum signifikante Unterschiede zwischen beiden Bedingungen feststellbar sind.

Bei den beiden anderen untersuchten Fahrzeugen sind die Unterschiede bei den Emissionsverläufen/Emissionspeaks weniger signifikant, jedoch treten auch hier an den Zyklusstellen mit hohen Beschleunigungen bei hohen Schaltdrehzahlen höhere Emissionsspitzen auf als bei normalen Schaltdrehzahlen. Dies lässt darauf schließen, dass die Emissionsspitzen bei noch höheren Beschleunigungen noch größer sind.

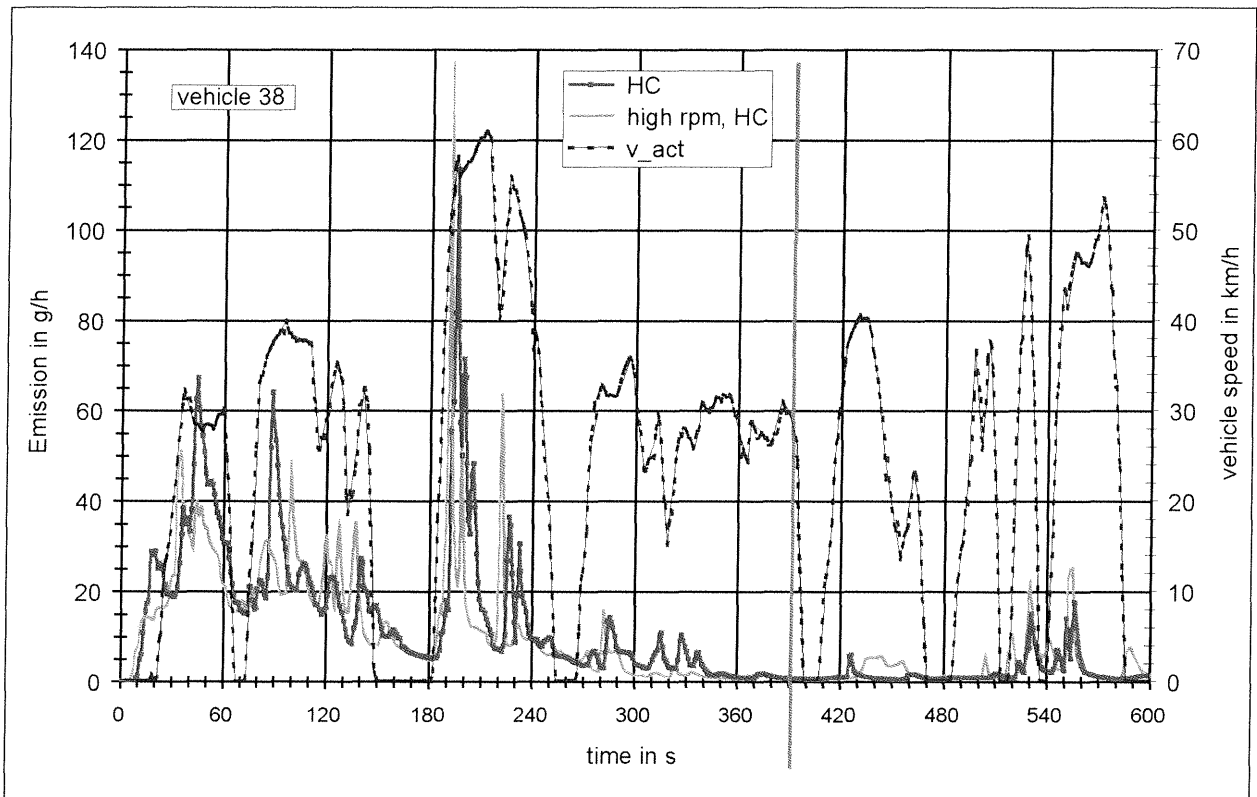


Bild 17: WMTC, Teil 1, zeitlicher Verlauf der HC-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

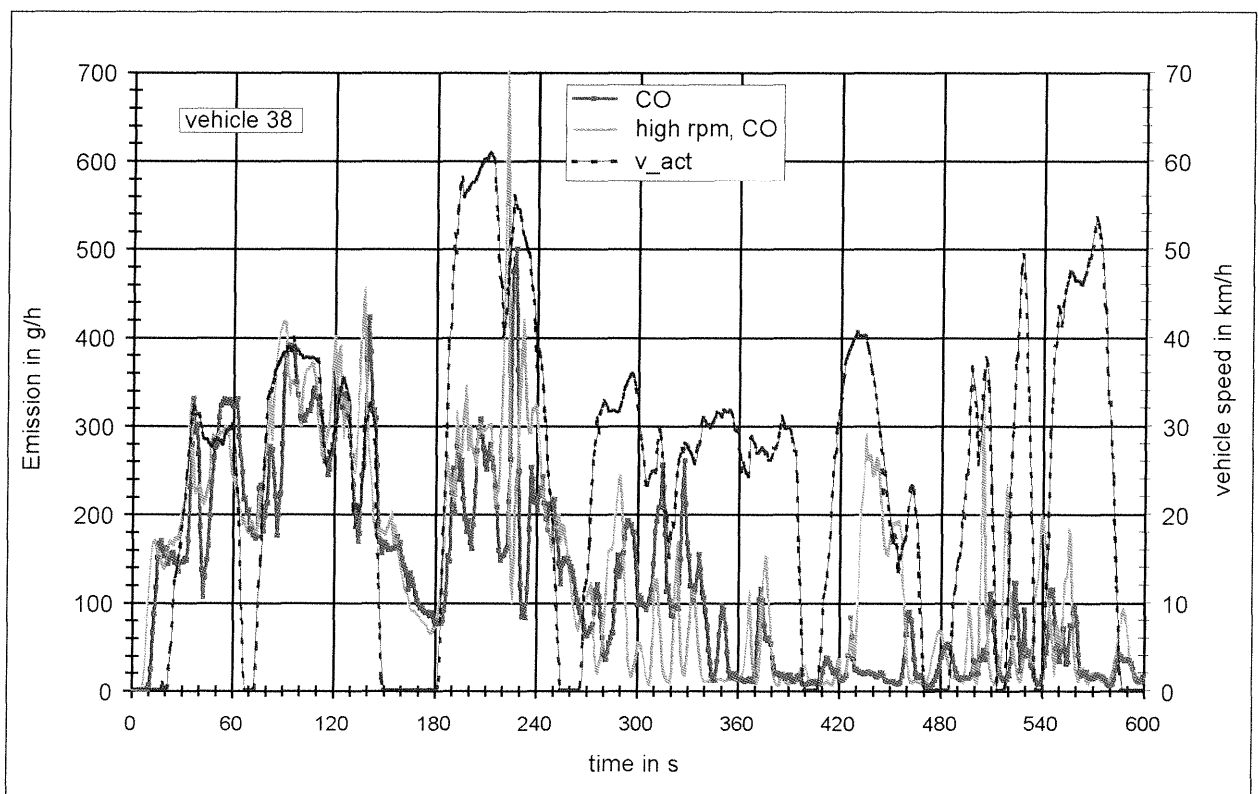


Bild 18: WMTC, Teil 1, zeitlicher Verlauf der CO-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

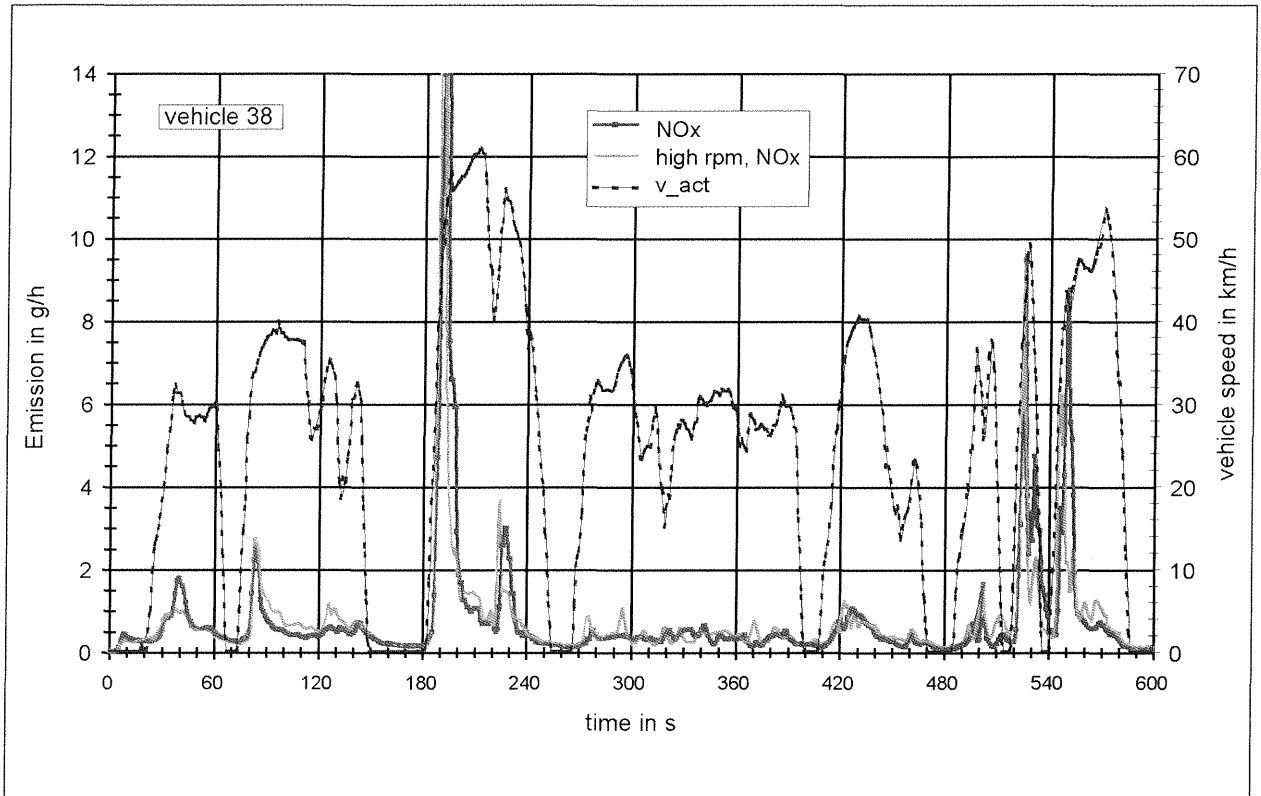


Bild 19: WMTC, Teil 1, zeitlicher Verlauf der NOx-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

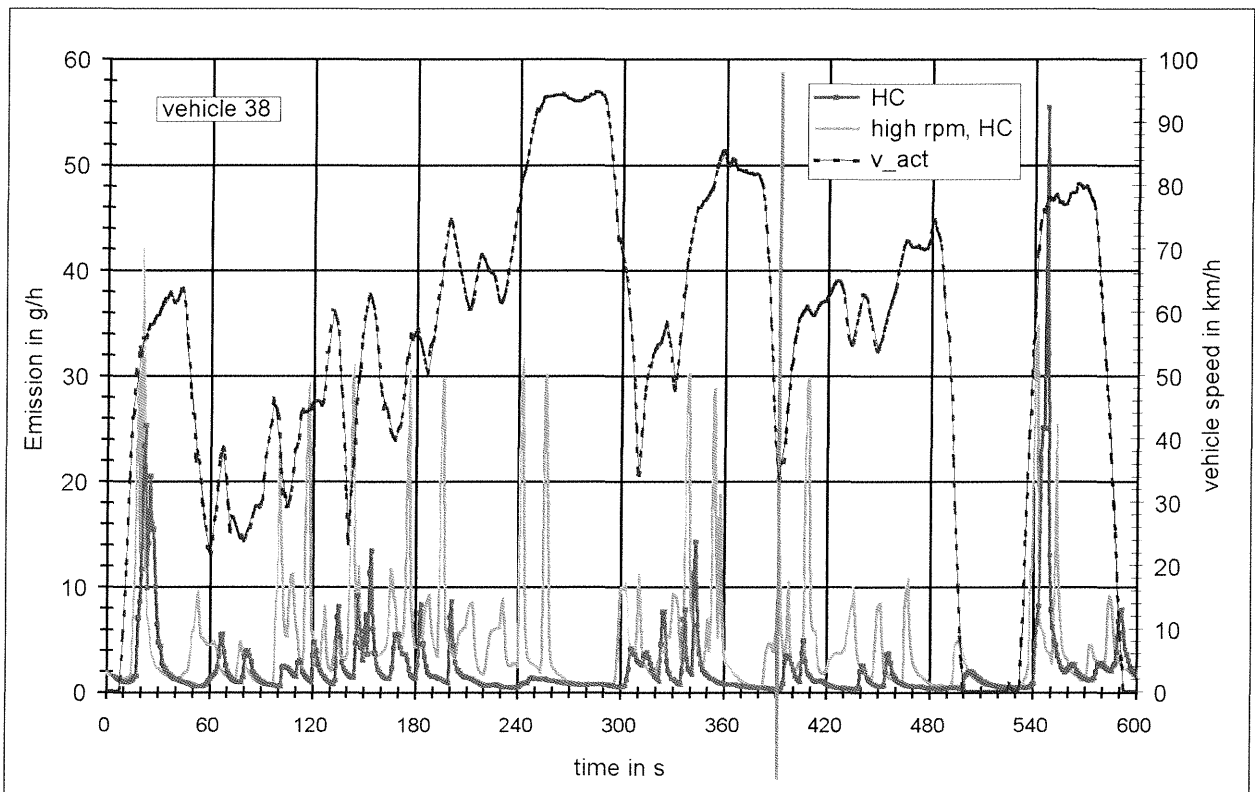


Bild 20: WMTC, Teil 2, zeitlicher Verlauf der HC-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

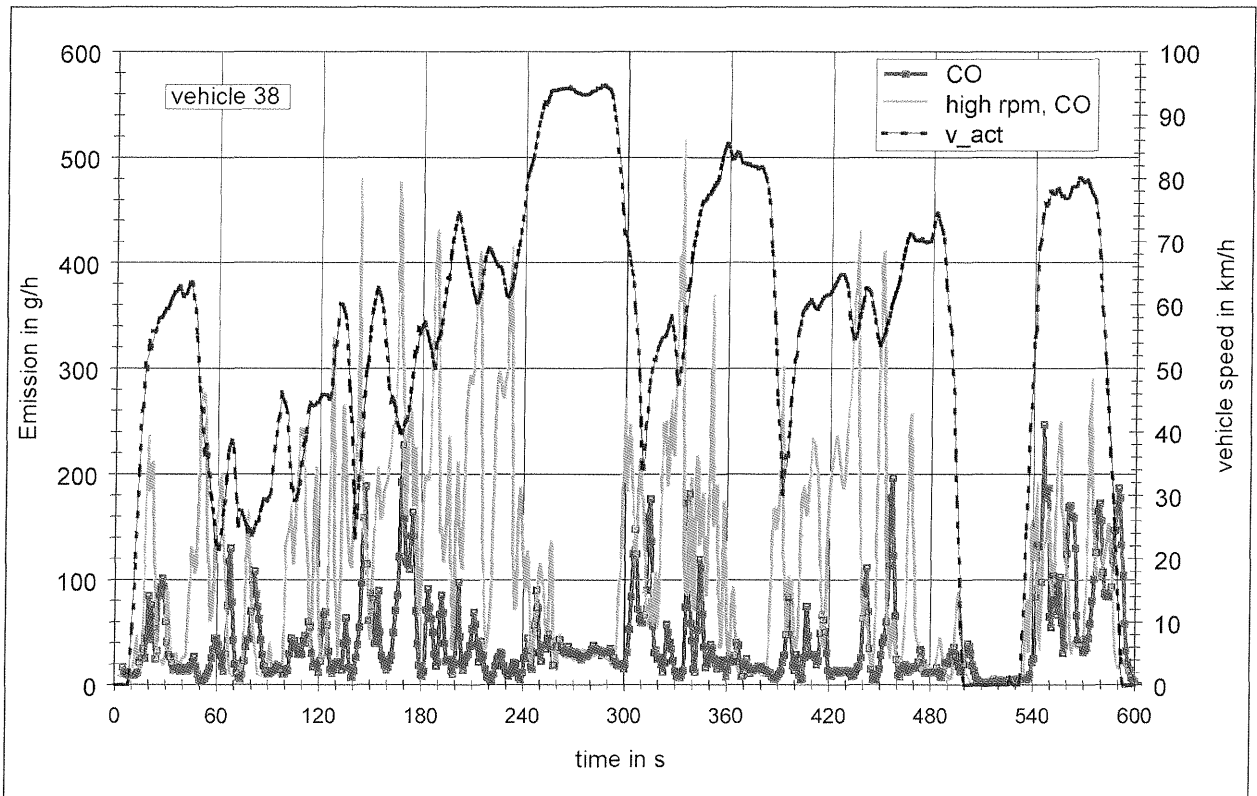


Bild 21: WMTC, Teil 2, zeitlicher Verlauf der CO-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

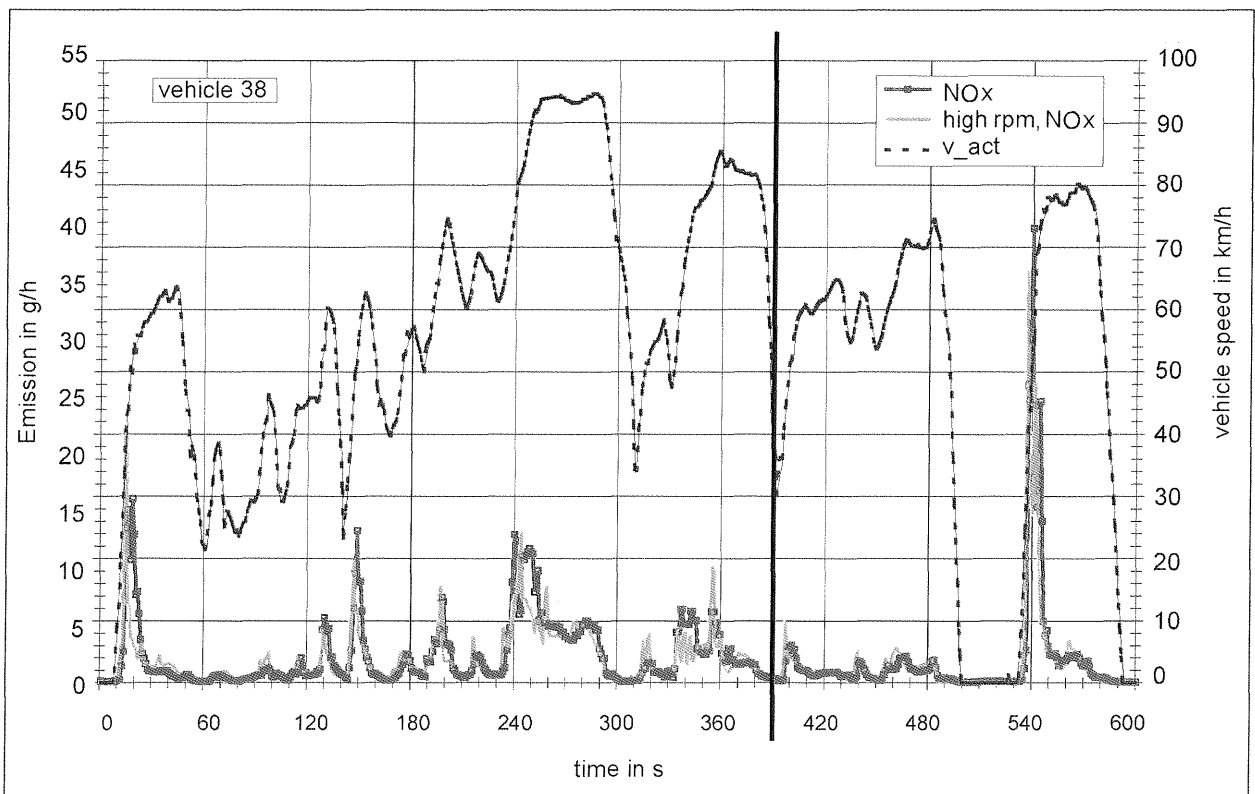


Bild 22: WMTC, Teil 2, zeitlicher Verlauf der NOx-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

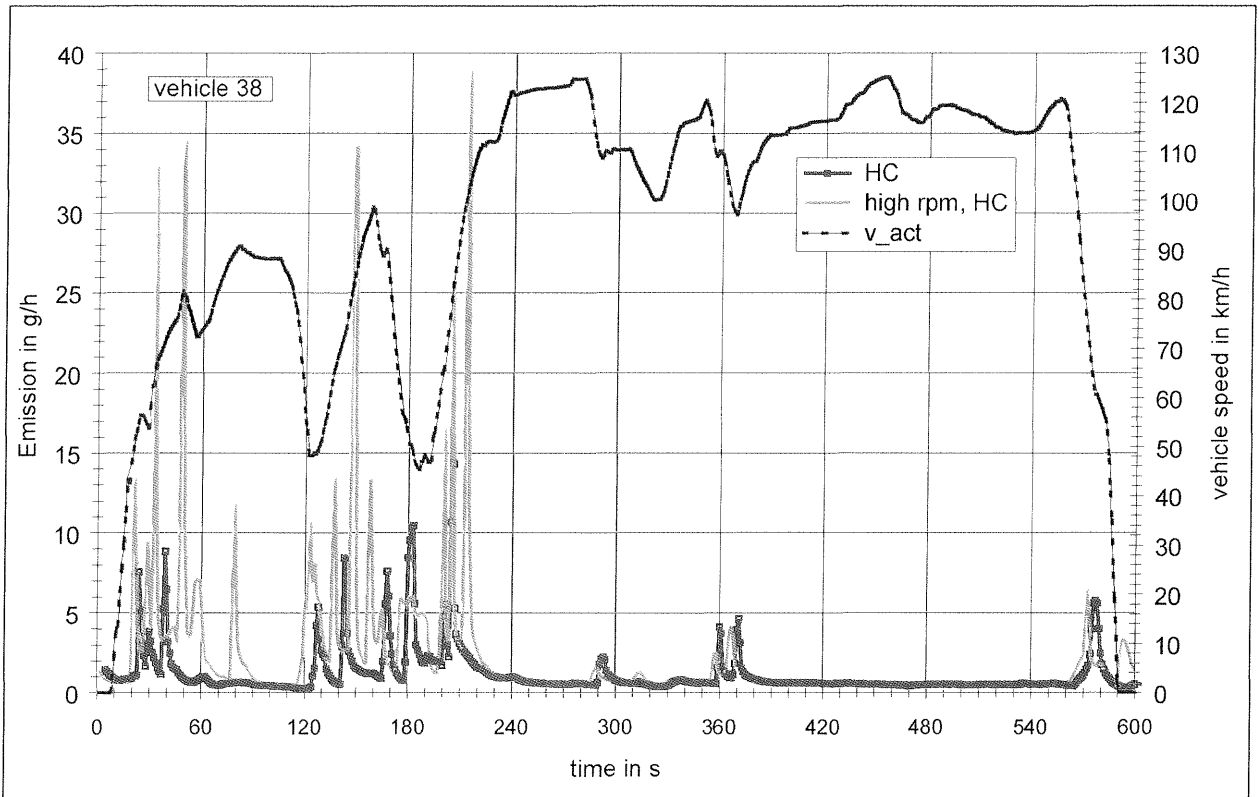


Bild 23: WMTC, Teil 3, zeitlicher Verlauf der HC-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

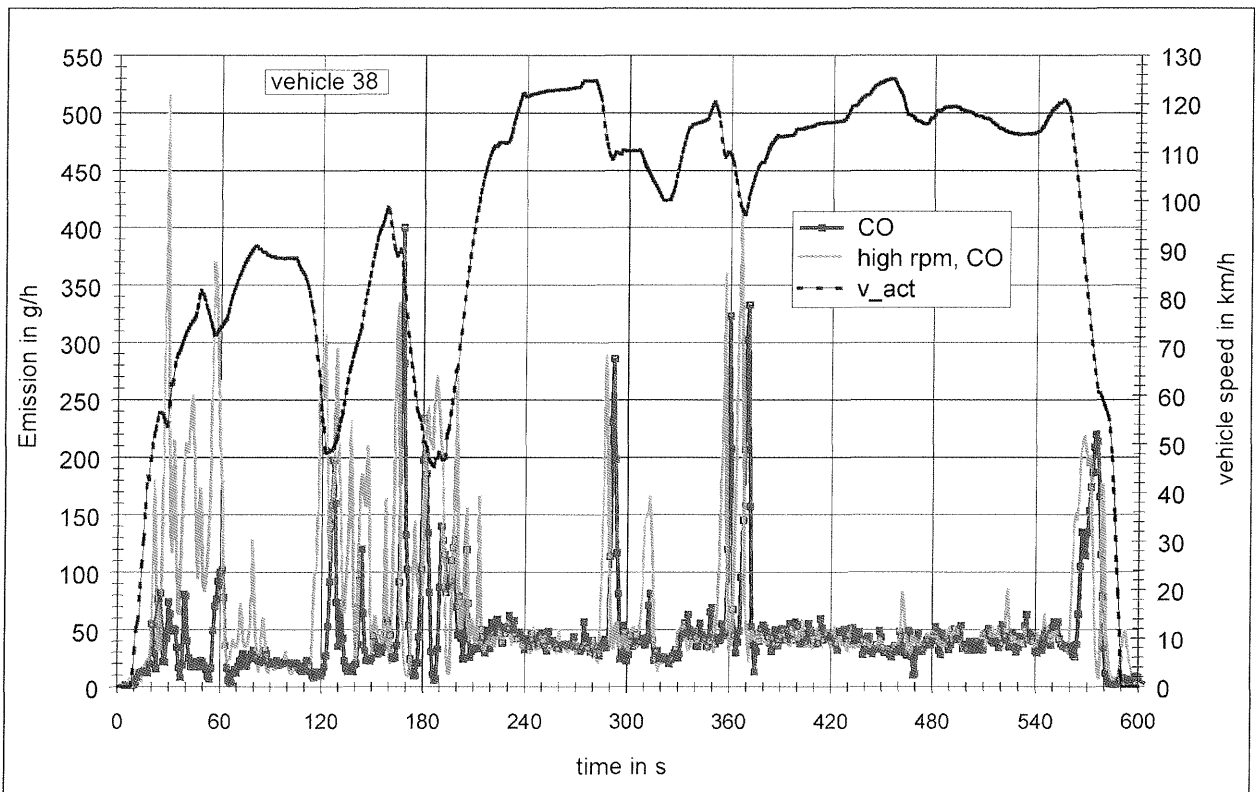


Bild 24: WMTC, Teil 3, zeitlicher Verlauf der CO-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

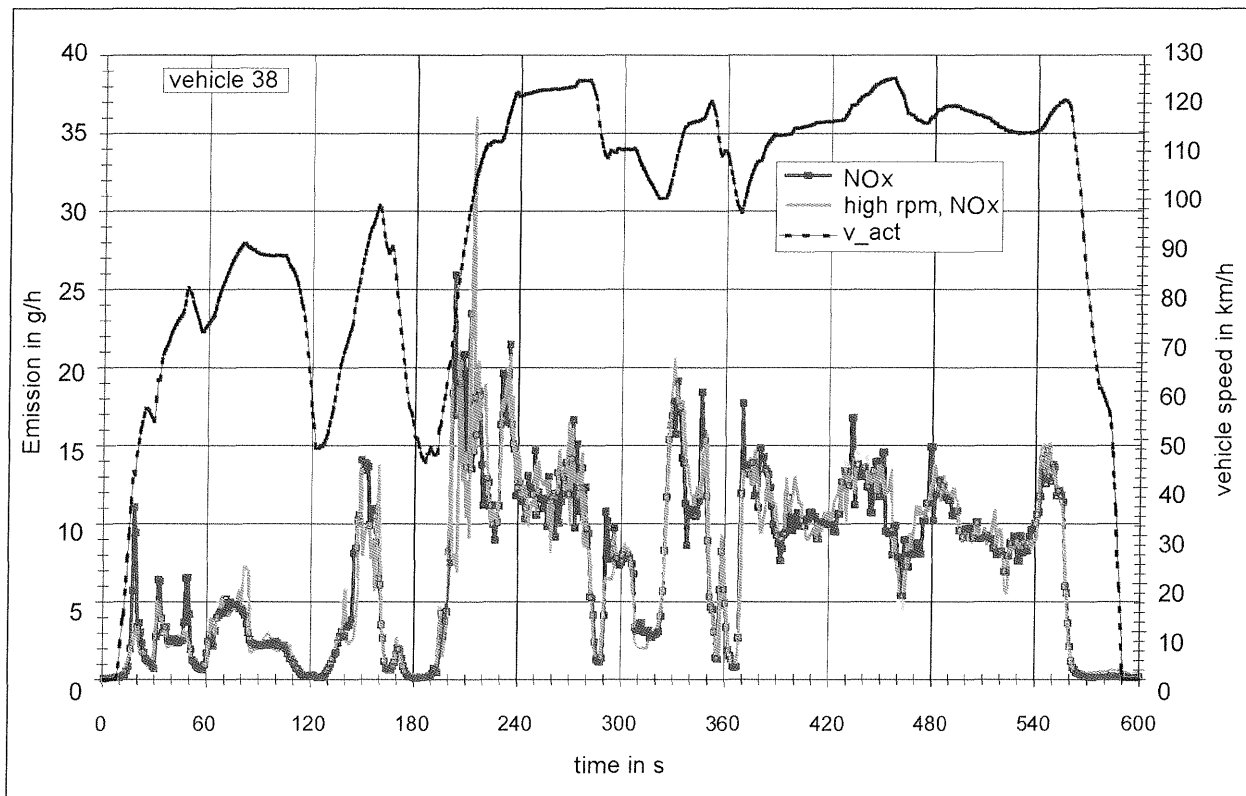


Bild 25: WMTC, Teil 3, zeitlicher Verlauf der NO_x-Emissionen mit verschiedenen Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

3.3.5 Load Response Test

Zusätzlich zum WMTC-Zyklus mit erhöhten Motor-drehzahlen wurde ein load response Test entwickelt und getestet. Das Ziel war, erhöhte Motor-drehzahlen mit erhöhten Beschleunigungswerten zu kombinieren. Die erste Version startete mit einer 120 s langen Geschwindigkeitsphase bei konstant 50 km/h, gefolgt von drei Stufen bei 120 km/h und 70 km/h, jede 60 s bzw. 70 s lang. Dies entspricht einer Fahrstrecke von 11,7 km.

Im Verlauf des Vorhabens wurde dieser Zyklus aufgrund der Ergebnisse und von Diskussionen mit dem Prüfstandpersonal modifiziert. Der modifizierte Zyklus wird mit Version 2 bezeichnet. Er hat eine Gesamtlänge von 975 s und beginnt und endet jeweils mit einer Stillstandsphase von 65 s Länge. Es folgen Konstantfahrphasen von je 65 s Länge mit Geschwindigkeiten von 50 km/h, 120 km/h, 70 km/h, 120 km/h, 50 km/h, 100 km/h, 50 km/h, 120 km/h, 70 km/h, 120 km/h, 50 km/h, 100 km/h und 50 km/h. Dies entspricht einer Fahrstrecke von 19,3 km.

Version 1 des Zyklus ist in Bild 26 für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms dargestellt. Bild 27 bis Bild 29 zeigen die Zeitverläufe der Emissionen im

Vergleich zum letzten Teil des NEDC. Es ist zu beachten, dass die Maßstäbe im Vergleich zum vorangegangenen Bild und den folgenden Bildern unterschiedlich sind. Der NEDC wurde für den Vergleich ausgewählt, weil er im letzten Teil auch eine stufenweise Beschleunigung von 70 km/h auf 120 km/h aufweist, allerdings mit einer Zwischenstufe bei 100 km/h und deutlich geringeren Beschleunigungen. Die Emissionsspitzen während der Beschleunigungsphasen sind beim load response Test signifikant größer als die des NEDC. Im Gegensatz zum WMTC mit erhöhten Schaltdrehzahlen, jedoch unveränderten Beschleunigungswerten ist der load response Test erheblich sensitiver für NO_x.

Wie schon erwähnt wurde der load response Test während des Projektes modifiziert, um die Praktikabilität zu verbessern. So sollte zum Beispiel der Test aus messtechnischen Gründen mit Leerlauf beginnen und mit Leerlauf enden. Des Weiteren wurden die Beschleunigungsphasen von 50 auf 120 km/h und 70 auf 120 km/h um eine weitere Phase von 50 auf 100 km/h ergänzt und die Anzahl der Beschleunigungsphasen gegenüber der ersten Version verdoppelt.

Der modifizierte Zyklus beginnt also mit Stillstand (Leerlauf) gefolgt von einer anfänglichen Beschleu-

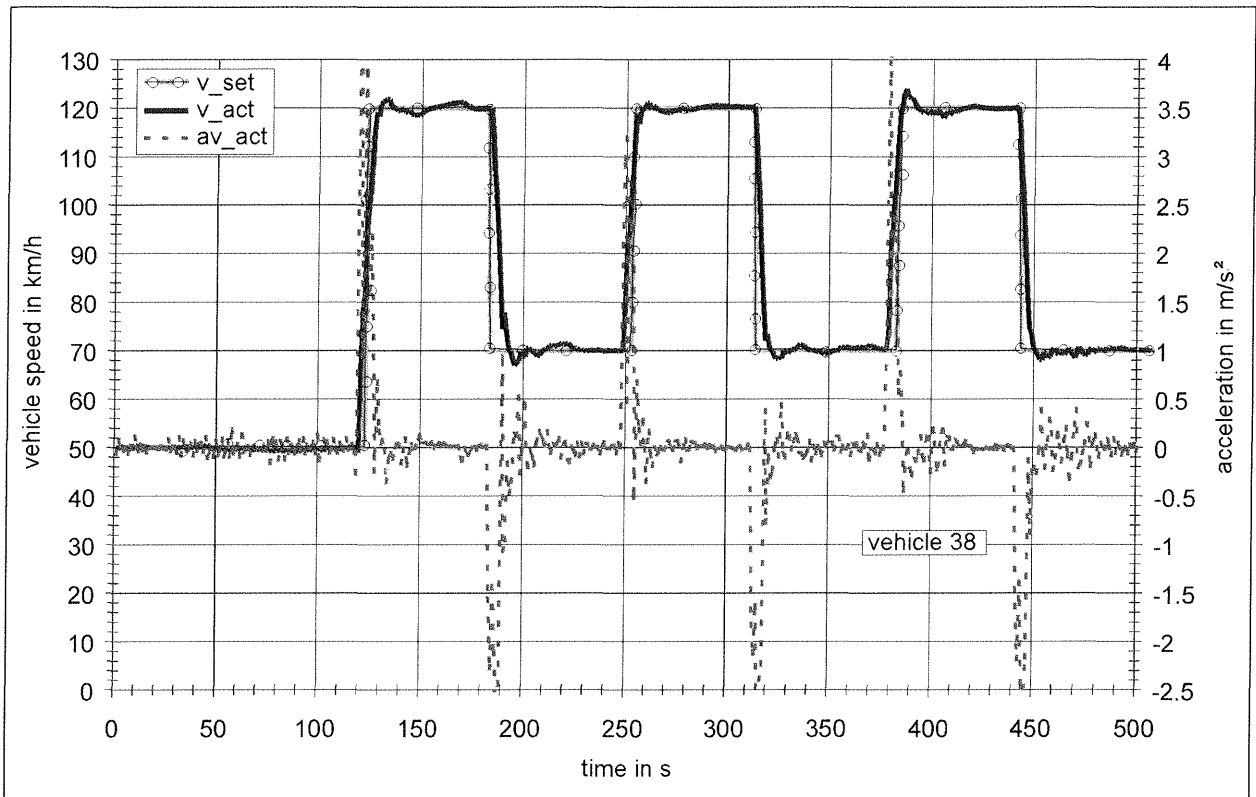


Bild 26: Version 1 des Load Response Tests für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

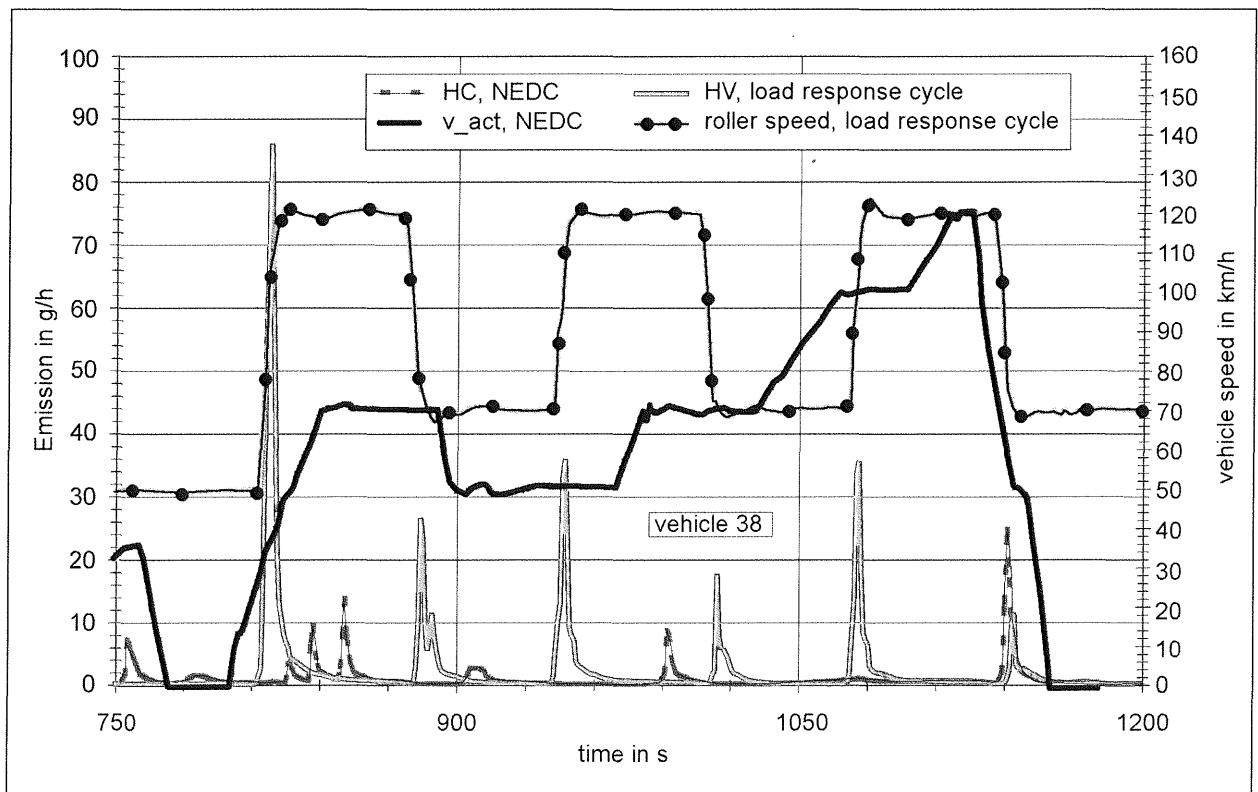


Bild 27: HC-Emissionen des Load Response Tests (1. Version) für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms, letzter Teil des NEDC zum Vergleich

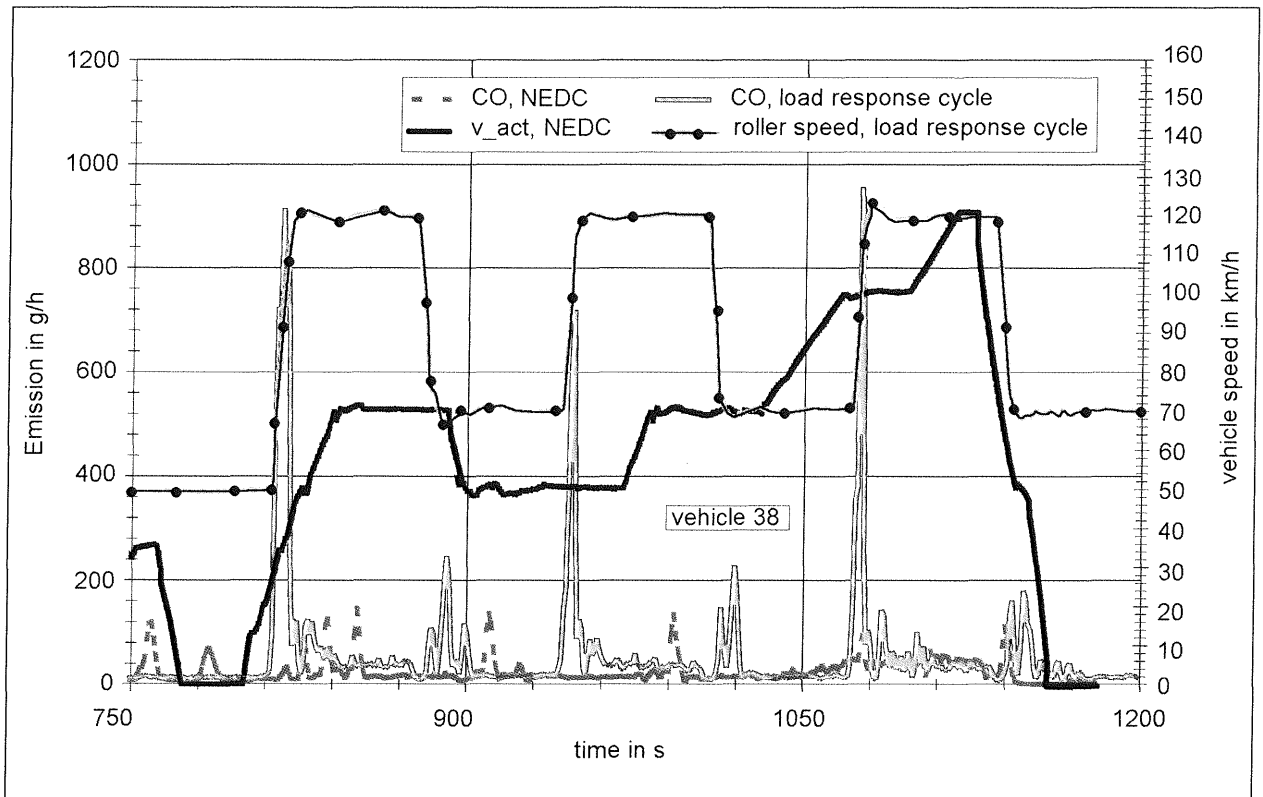


Bild 28: CO-Emissionen des Load Response Tests (1. Version) für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms, letzter Teil des NEDC zum Vergleich

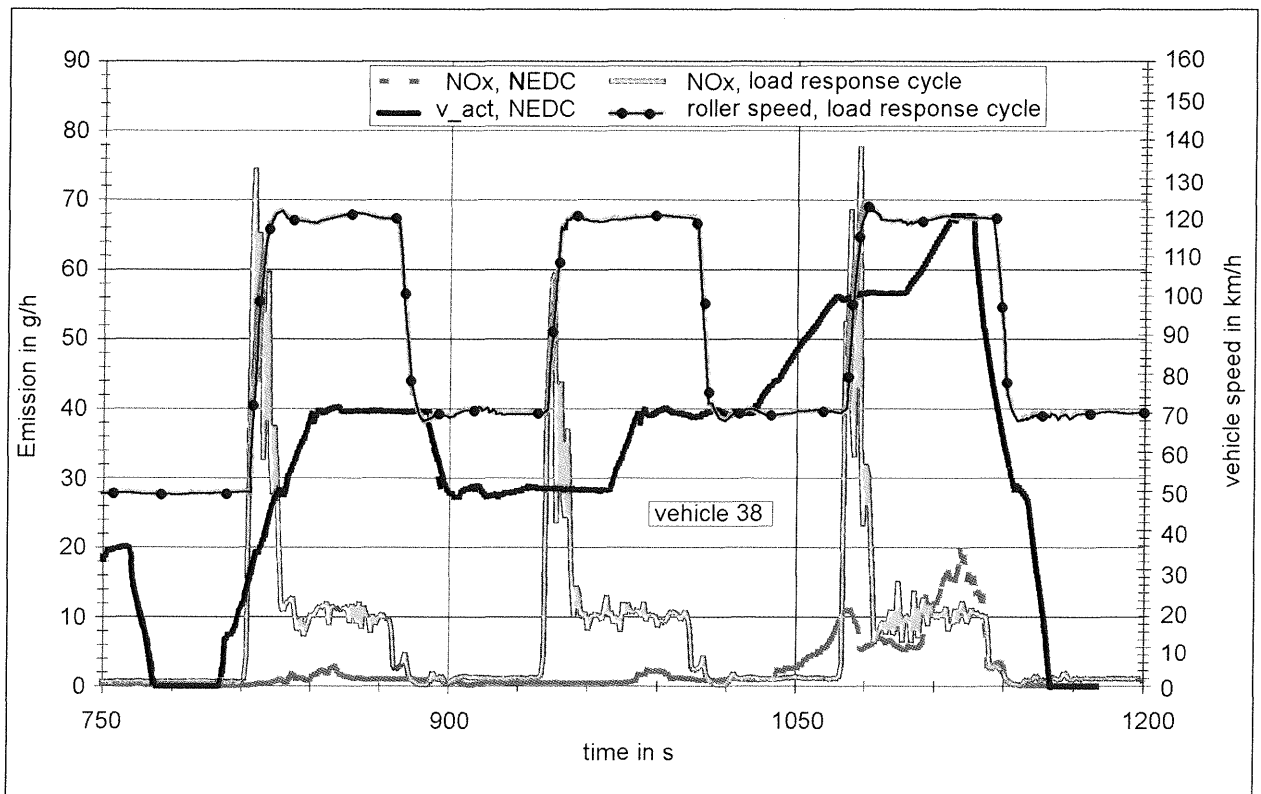


Bild 29: NOx-Emissionen des Load Response Tests (1. Version) für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms, letzter Teil des NEDC zum Vergleich

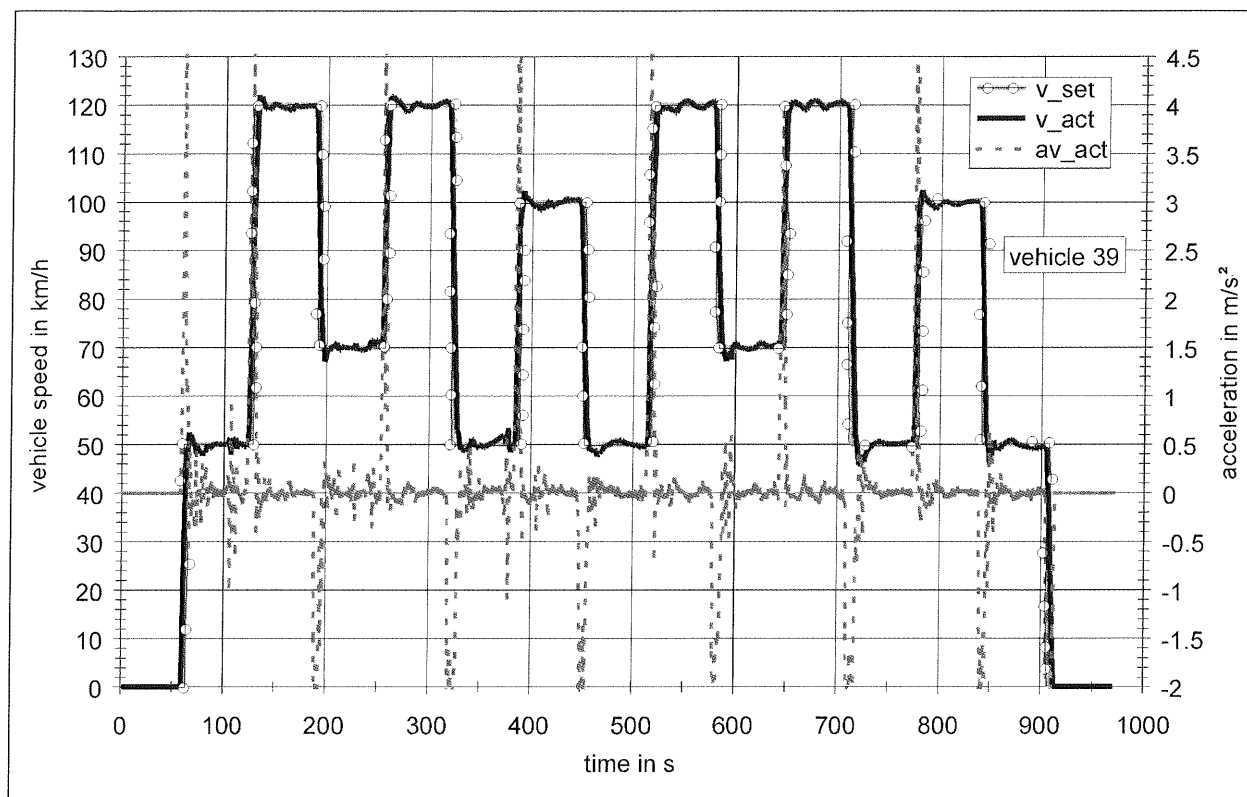


Bild 30: Zweite Version des Load Response Tests

nigung auf 50 km/h und aufeinander folgenden Stufen zwischen 50 km/h und 120 km/h, 50 km/h und 100 km/h und 70 km/h und 120 km/h (s. Bild 30). Dazu wurde die Zykluslänge von 500 s auf 975 s erhöht. Die Zeitverläufe der Emissionen der Version 2 sind in Bild 31 bis Bild 33 für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms dargestellt.

Die Zeitverläufe der Emissionen zeigten in allen Fällen, auch in den hier nicht dargestellten, deutliche Emissionsspitzen während der Beschleunigungsphasen, die auf Gemischanreicherung zurückgeführt werden können. Dies ist bei Fahrzeugen mit 3-Wege-Katalysator gleichzusetzen mit einer Abweichung von $\lambda = 1$. Wenn diese Abweichung nur kurzfristig ist, ist dies nicht zu beanstanden. Bei den hier getesteten Fahrzeugen waren diesbezüglich keine Auffälligkeiten zu verzeichnen. Eine Ausnahme bildet Fahrzeug 39, bei dem die Lambda-Regelung ab 95 km/h komplett aussetzte.

Je nach Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs treten in den Beschleunigungsphasen kurzfristig hohe Spitzenwerte (bis zu 5 m/s²) auf, die nur schwer reproduzierbar sind. Derart hohe Beschleunigungswerte lassen sich ohne Reifenschlupf nur auf texturierten Rollen erzielen. Um ein Maß für die Reproduzierbarkeit zu erhalten, wurden die durchschnittlichen Beschleunigungswerte jeweils für die ersten 4 Se-

kunden einer Beschleunigungsphase bestimmt. Diese Werte sind in Tabelle 5 zahlenmäßig und in Bild 34 grafisch für alle untersuchten Fahrzeuge und jede einzelne Beschleunigungsphase zusammengestellt. Die Beschleunigungswerte von Stillstand auf 50 km/h sind (ab 90 kW/t) praktisch unabhängig vom Leistungsgewicht. Für die übrigen Beschleunigungsphasen zeigt sich die erwartete Abhängigkeit vom Leistungsgewicht, allerdings bei z. T. erheblichen Wiederholstreuungen, insbesondere beim Beschleunigen von 50 auf 120 km/h.

3.3.6 Vorgegebene Geschwindigkeits-/Drehzahlkombinationen (Stationärkennfeld)

Neben dem WMTC mit erhöhten Schaltdrehzahlen und dem load response Test wurde noch eine dritte Methode aus vorgeschriebenen Geschwindigkeits-/Drehzahlkombinationen getestet, um den erweiterten Betriebsbereich abzudecken, der durch die Analyse der „in-use“ Datenvarianzen festgelegt wurde. Die Idee war, die Motordrehzahl von 10 % normierter Drehzahl bis zur erhöhten Hochschaltdrehzahl zu erhöhen und die Motorlast durch die Nutzung verschiedener Gänge zu variieren und auf diese Art verschiedene Geschwindigkeiten für eine gegebene Drehzahl zu erhalten. Tabelle 6 zeigt ein Beispiel für solche Kombinationen.

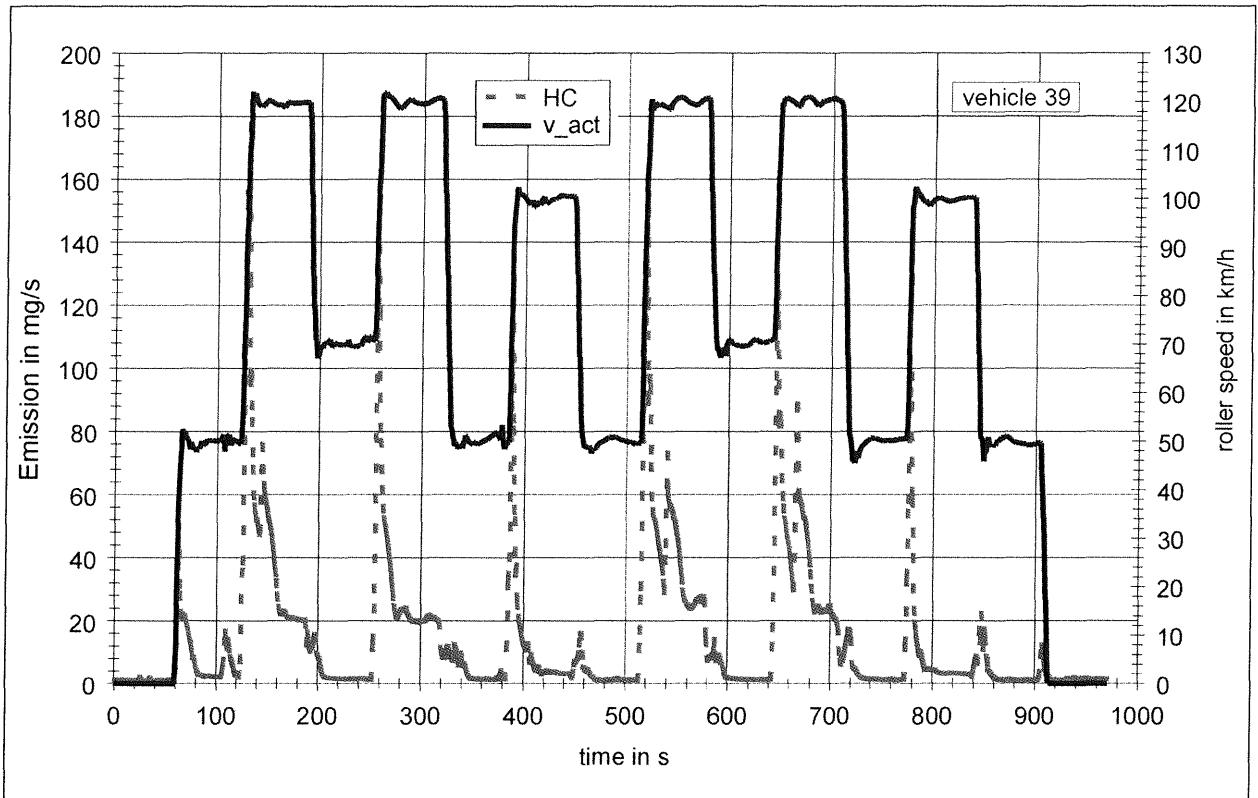


Bild 31: HC-Emissionen des Load Response Tests (2. Version) für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

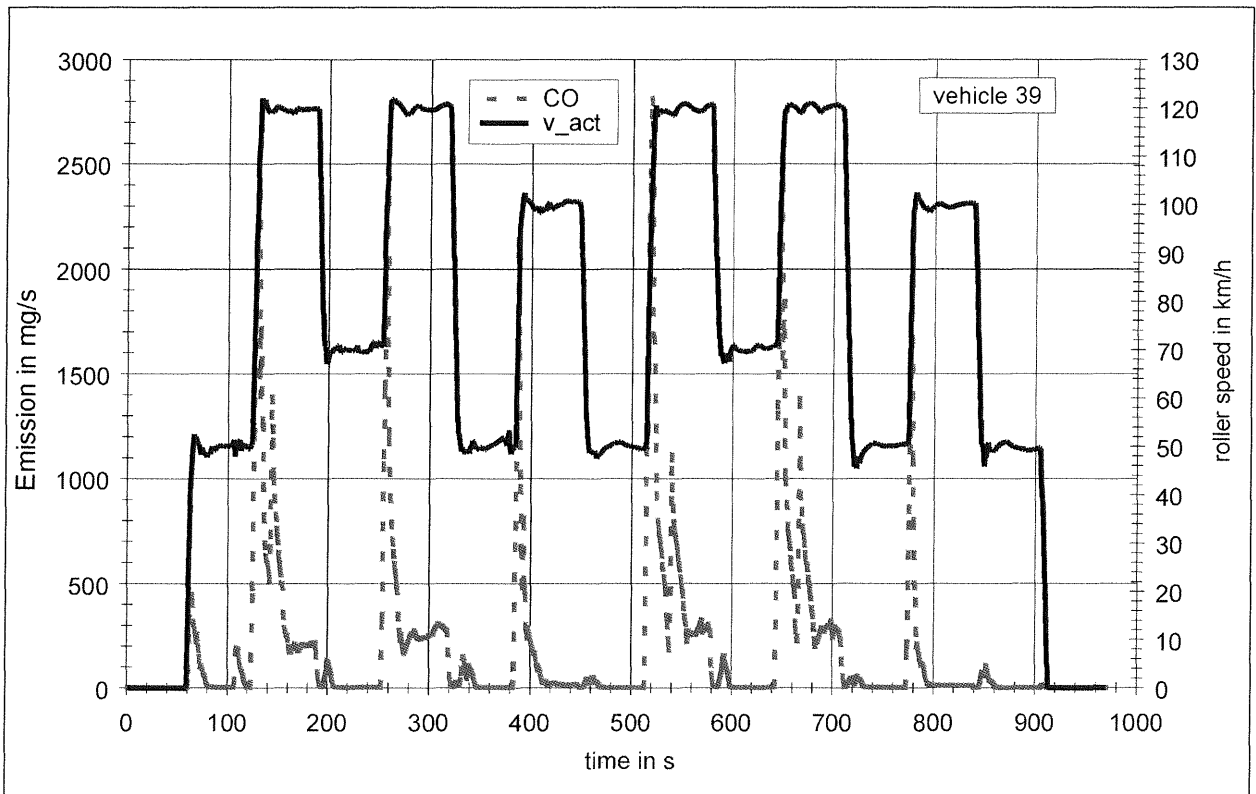


Bild 32: CO-Emissionen des Load Response Test (2. Version) für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

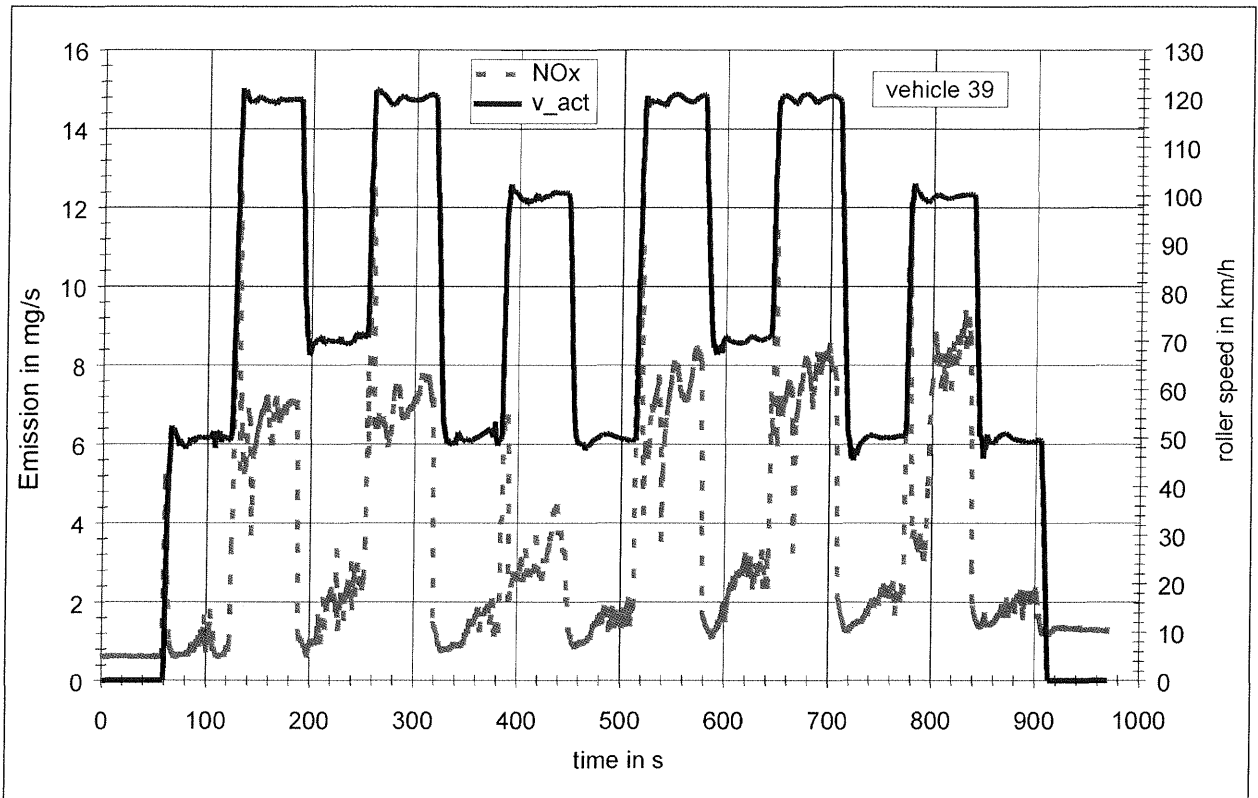


Bild 33: NOx-Emissionen des Load Response Tests (2. Version) für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

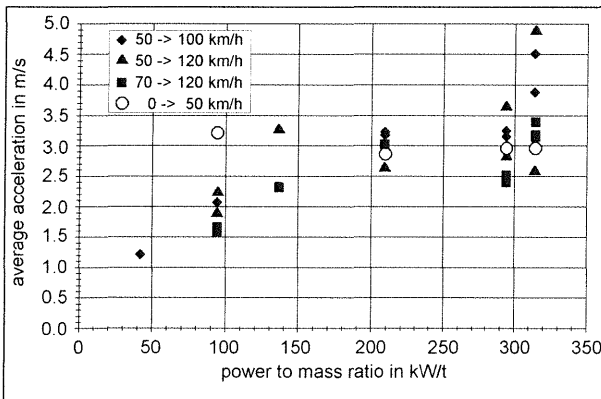


Bild 34: Abhängigkeit der mittleren Beschleunigung in m/s² in den ersten 4 Sekunden der Beschleunigungsphasen des Load Response Tests vom Leistungsgewicht

vehicle	power to mass ratio in kW/t	load response test, Version	0 ≥ 50 km/h	50 ≥ 100 km/h	50 ≥ 120 km/h	70 ≥ 100 km/h	70 ≥ 120 km/h
34	42	1		1.22		0.79	
34	42	1				0.79	
38	136	1			3.28		2.34
38	136	1					2.31
40	314	1			2.59		3.18
40	314	1					3.20
39	295	2	2.93	3.23	2.87		2.41
39	295	2		3.15	3.66		2.51
40	314	2	3.00	4.52	3.38		3.11
40	314	2		3.88	4.90		3.38
68	209	2	2.92	3.16	2.66		2.97
68	209	2		3.19	4.10		3.04
137	94	2	3.22	2.08	1.94		1.66
137	94	2		2.07	2.26		1.56

Tab. 5: Mittlere Beschleunigungswerte in m/s² über die ersten 4 Sekunden der Beschleunigungsphasen der Load Response Tests

	normalised engine speed									
	10.0 %	15.0 %	20.0 %	25.0 %	30.0 %	35.0 %	40.0 %	45.0 %	50.0 %	55.0 %
	engine speed in min ⁻¹									
	1.700	2.050	2.400	2.750	3.100	3.450	3.800	4.150	4.500	4.850
	vehicle speed in km/h									
1. gear						35.0		42.0	45.6	49.1
2. gear	24.6					49.9	54.9			70.1
3. gear	32.3	39.0	45.6	52.3	58.9	65.6	72.2	78.9	85.6	92.2
4. gear						81.9				115.2
5. gear		56.5				95.0				133.6

Tab. 6: Geschwindigkeit/Drehzahlkombinationen für „off-cycle emissions Kontrolle“

Die Geschwindigkeit/Drehzahlkombinationen sollten für 30 s gemessen werden, mit einer 5-s-Spanne für die Übergänge. Diese Methode wurde an zwei Fahrzeugen getestet. Da jedoch die Emissionen bei konstanter Geschwindigkeit signifikant niedriger waren als die der dynamischen Teilstücke und da die Zeitspanne für die Übergänge verlängert werden mussten, um Einflüsse auf die konstanten Teilstücke zu vermeiden, wurde diese Methode für den Rest der Fahrzeuge wieder verworfen.

3.3.7 Erfassung der Lambdasondenspannung

Bei Fahrzeugen, die mit einem 3-Wege-Katalysator mit Lambdasondenregelung ausgerüstet sind, bietet die Erfassung der Lambdasondenspannung ein kostengünstiges Mittel, um die Güte der Regelung und den Regelungsbereich zu kontrollieren. Allerdings setzt dies eine Erfassung der SONDENSANUNG mit mindestens 10 Hz Samplingrate voraus.

In den Bildern 35 bis 38 ist der Zeitverlauf der Spannung der Lambdasonde für Fahrzeug 38 und den NEDC, den WMTC, den WMTC mit erhöhten Schaltdrehzahlen und den load response Test (Version 1) zusammengestellt. Der Bereich, in dem die Regelung arbeitet, ist an der ständig zwischen den Extremwerten alternierenden SONDENSANUNG zu

erkennen. Verharrt die Spannung an einem Extremwert, erfolgt keine Regelung. Bei diesem Fahrzeug arbeitet die Regelung über die gesamten Zyklusbereiche, auch für den load response Test. Ausgenommen ist nur der Kaltstartbereich, der sich sowohl beim NEDC als auch beim WMTC über etwa 360 Sekunden, beim WMTC mit höheren Schaltdrehzahlen über 300 Sekunden erstreckt.

Bild 39 und Bild 40 zeigen analoge Darstellungen für Fahrzeug 39 und den NEDC bzw. den WMTC. Hier fällt auf, dass die Regelung schon sehr früh einsetzt (im Kaltstartbereich), aber für Geschwindigkeiten oberhalb von 95 km/h offensichtlich nicht mehr arbeitet. Dies hat z. B. zur Folge, dass die Emissionen in Teil 1 des WMTC deutlich geringer, in Teil 3 des WMTC (bis auf NOx) jedoch deutlich höher sind als bei Fahrzeug 38 (vgl. Bilder im nächsten Abschnitt).

Bilder 41 bis 43 zeigen die Lambdasondenspannung für Fahrzeug 40 und den NEDC, den WMTC und den load response Test (Version 2). Bei diesem Fahrzeug dauert die Kaltstartphase weniger als 300 Sekunden, die Regelung arbeitet ansonsten über die gesamten Zyklusbereiche, auch beim load response Test, und bei diesem sowie dem WMTC sogar offensichtlich besser als beim NEDC.

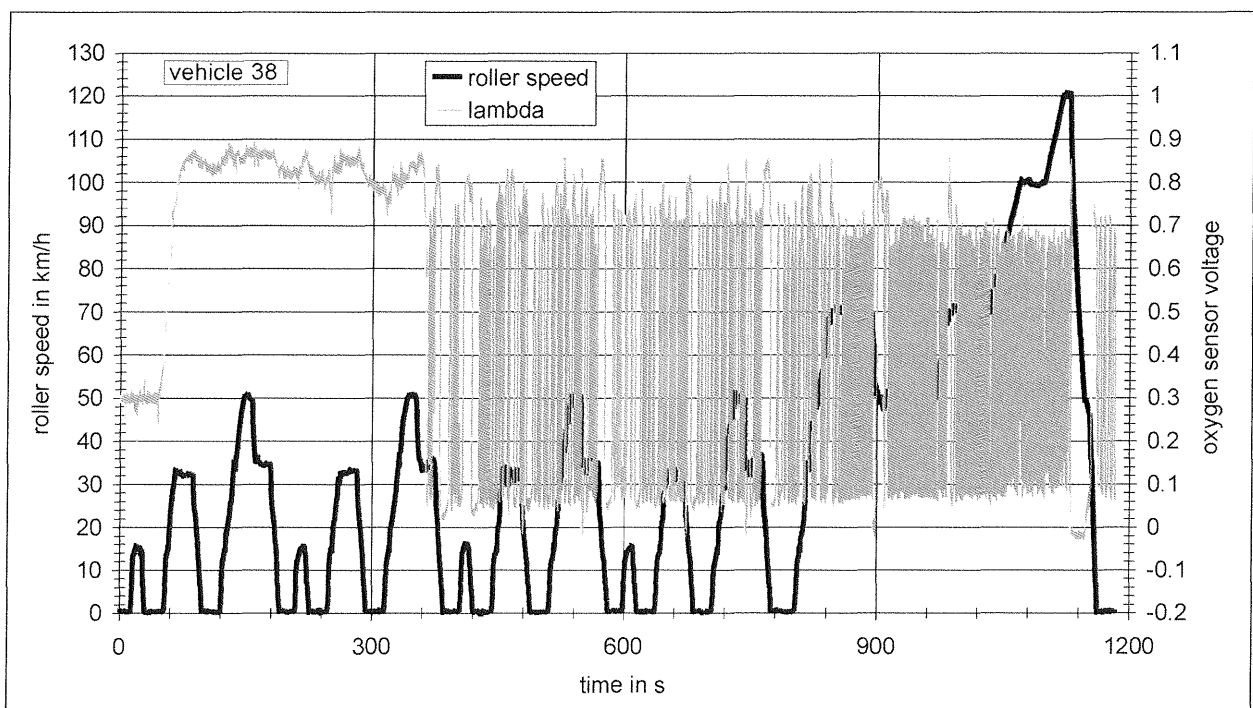


Bild 35: Lambdasondenspannung des NEDC-Zyklus für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

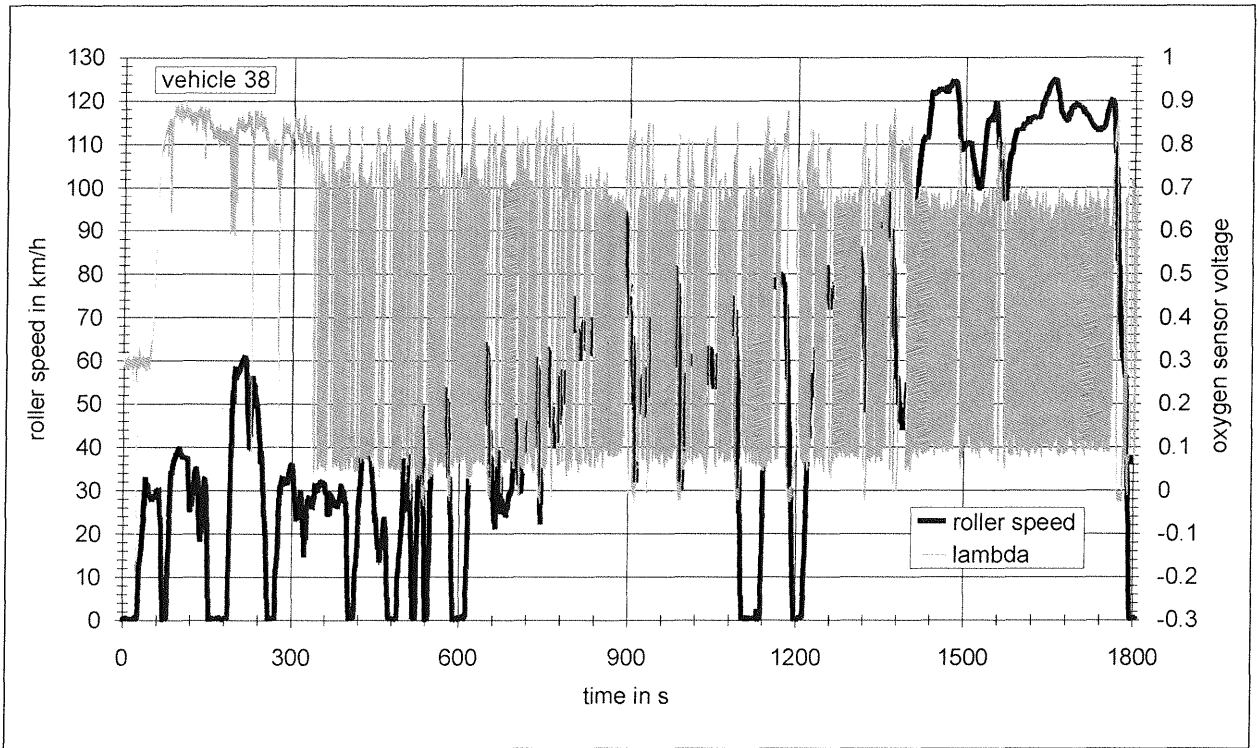


Bild 36: Lambdasondenspannung des WMTC-Zyklus (Teil 1 bis 3) für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

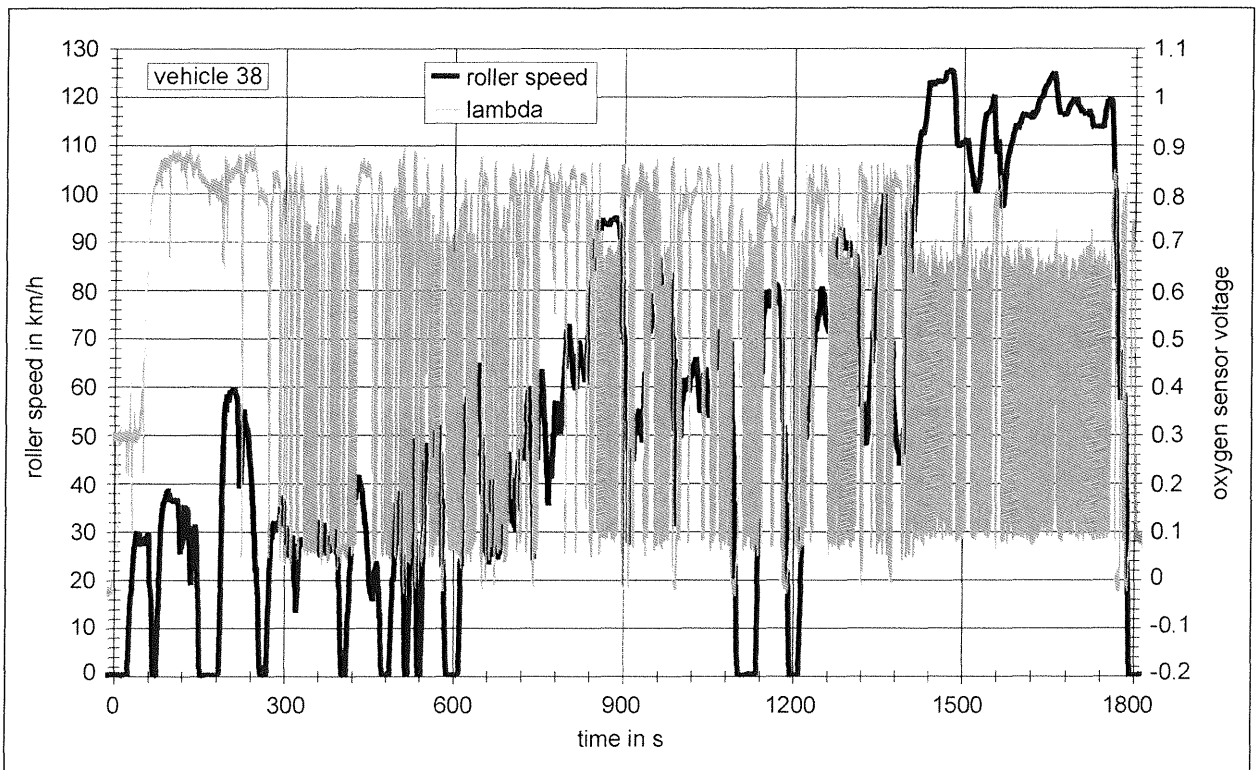


Bild 37: Lambdasondenspannung des WMTC-Zyklus (Teil 1 bis 3) mit off-cycle Schaltdrehzahlen für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

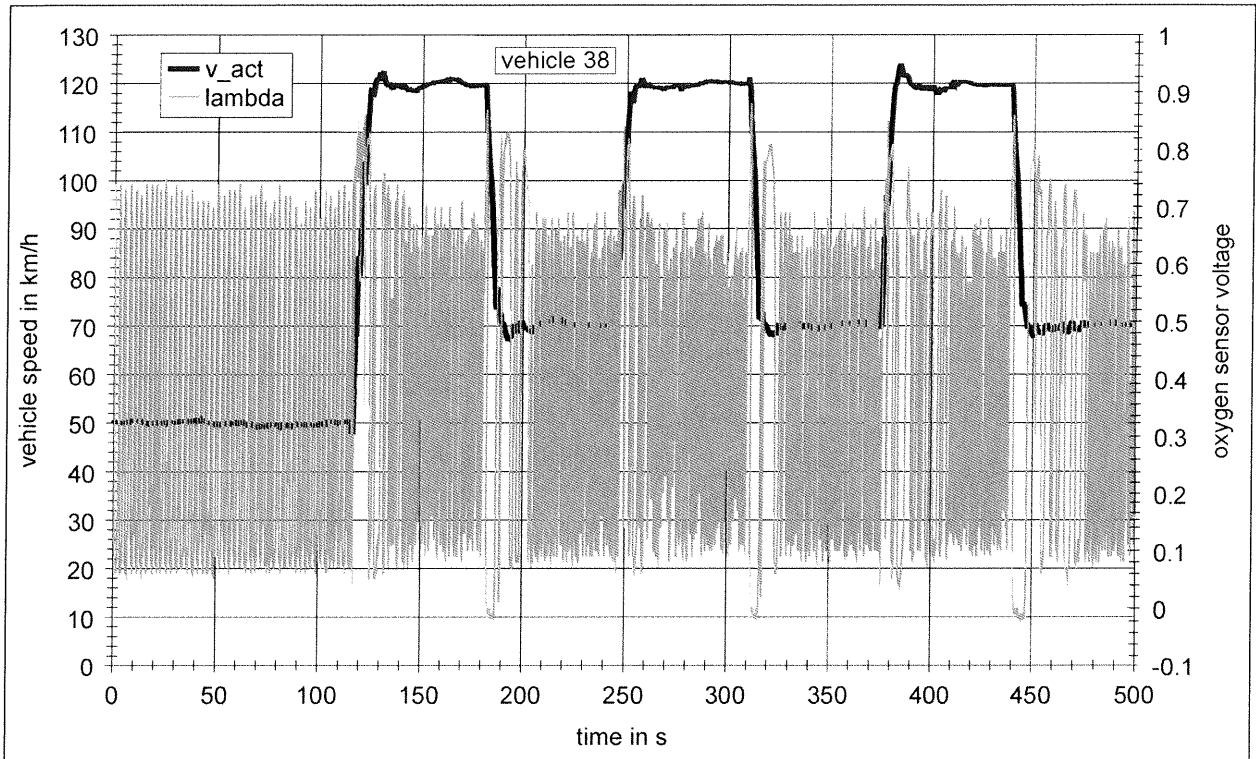


Bild 38: Lambdasondenspannung des Load Response Tests (1. Version) für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

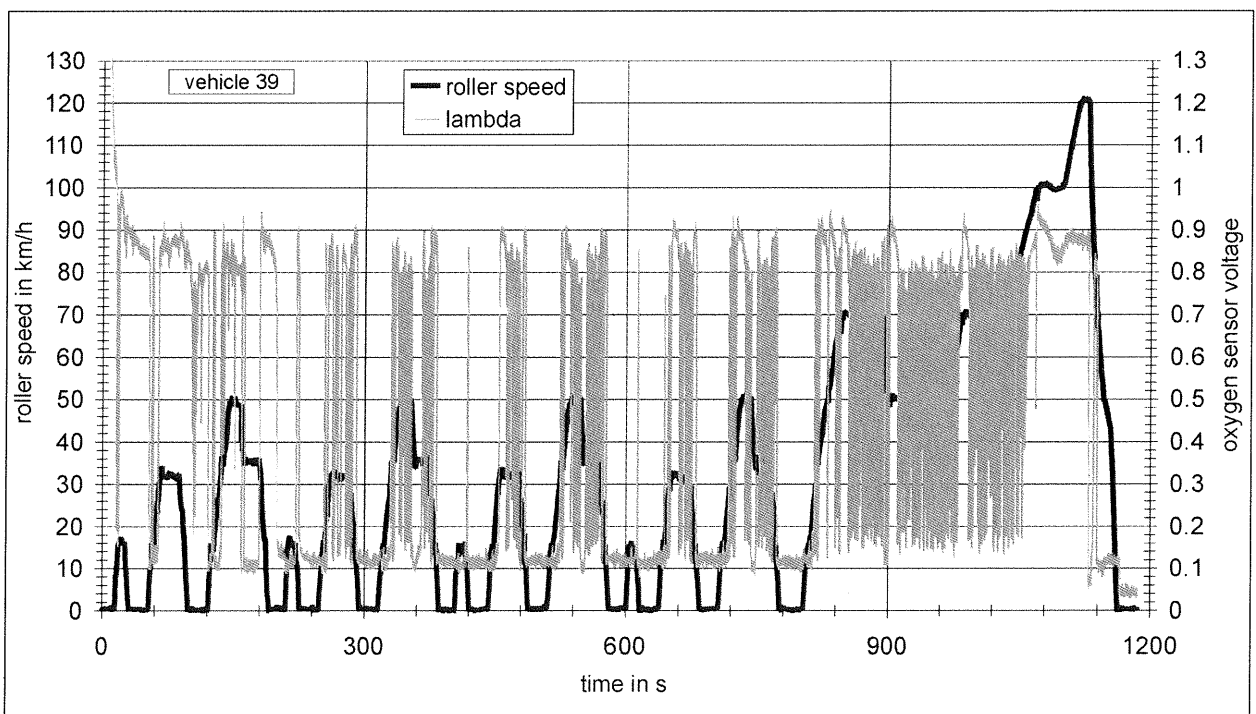


Bild 39: Lambdasondenspannung des NEDC-Zyklus für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

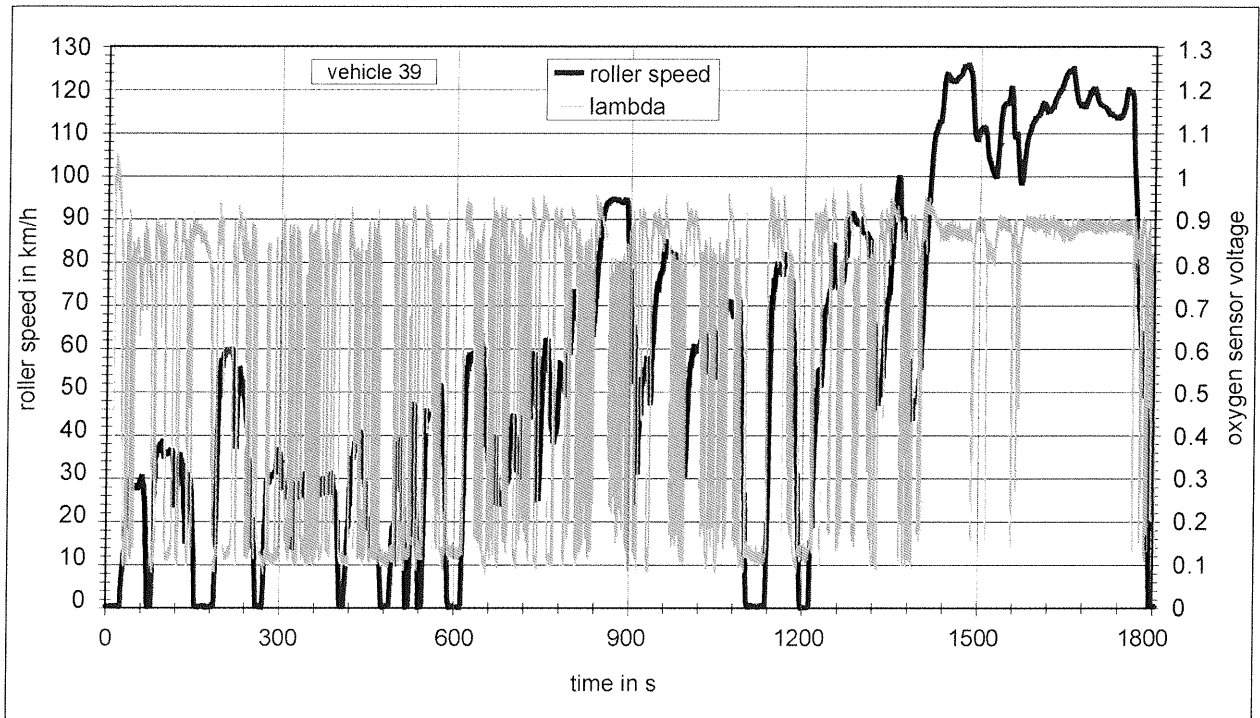


Bild 40: Lambdasondenspannung des WMTC-Zyklus (Teil 1 bis 3) für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

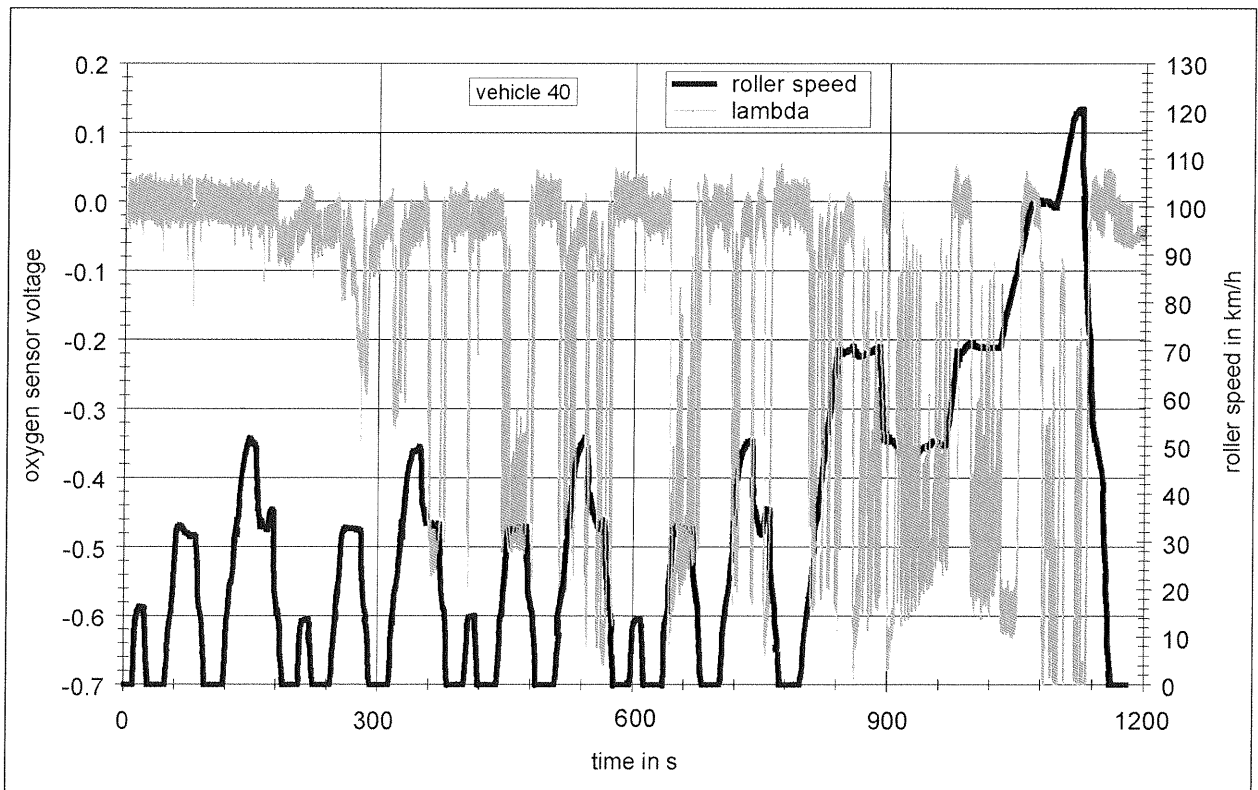


Bild 41: Lambdasondenspannung des NEDC-Zyklus für Fahrzeug 40 des Validierungsprogramms

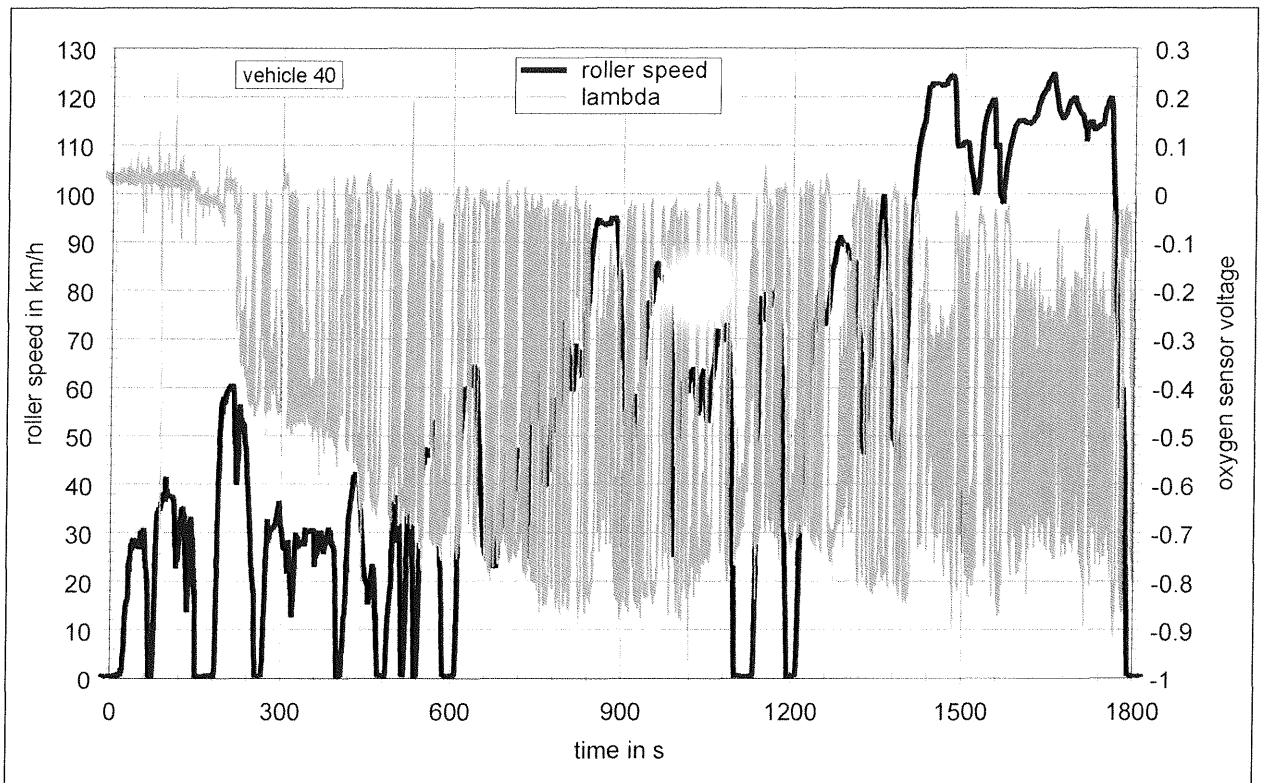


Bild 42: Lambdasondenspannung des WMTC-Zyklus (Teil 1 bis 3) für Fahrzeug 40 des Validierungsprogramms

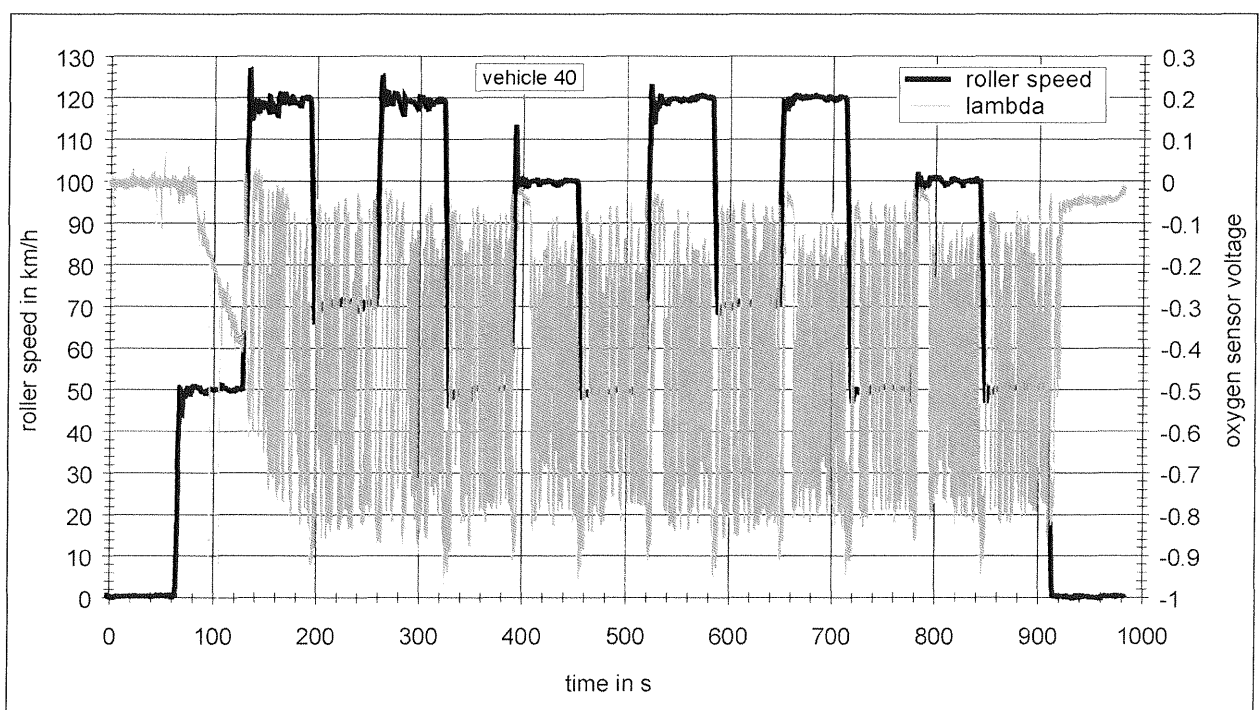


Bild 43: Lambdasondenspannung des Load Response Tests (2. Version) für Fahrzeug 40 des Validierungsprogramms

3.3.8 Vergleich der Gesamtergebnisse

Schließlich wurden für alle zusätzlichen „off-cycle emissions“ Tests die Gesamtemissionen in g/km berechnet und mit den Ergebnissen für die Zyklen, die im herkömmlichen Validierungsprogramm gemessen wurden, verglichen. Der Ansatz der vorgegebenen Geschwindigkeits-/Drehzahlkombinationen wurde allerdings nicht mit einbezogen, da er sich als nicht zielführend erwiesen hatte.

Die Emissionsergebnisse sind in den Bildern 44 bis 61 dargestellt. Die Relation zwischen den Testergebnissen der WMTC-Teile und den zusätzlichen „off-cycle emissions“ Tests hängen von den Schad-

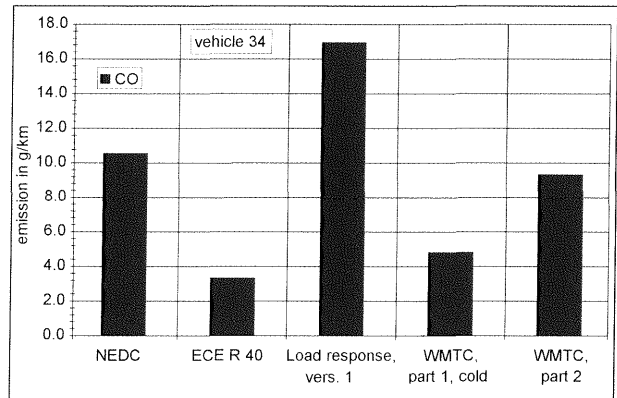


Bild 45: CO-Ergebnisse für Fahrzeug 34 des Validierungsprogramms

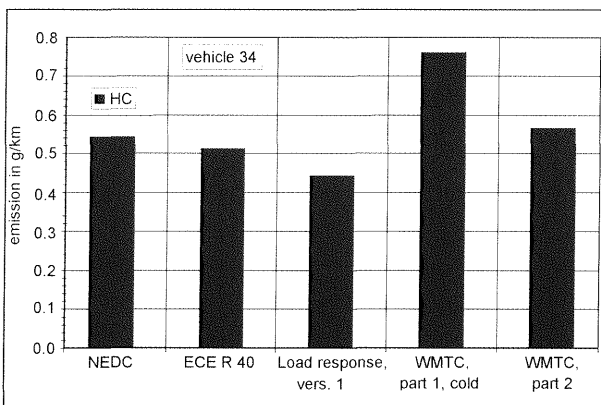


Bild 44: HC-Ergebnisse für Fahrzeug 34 des Validierungsprogramms

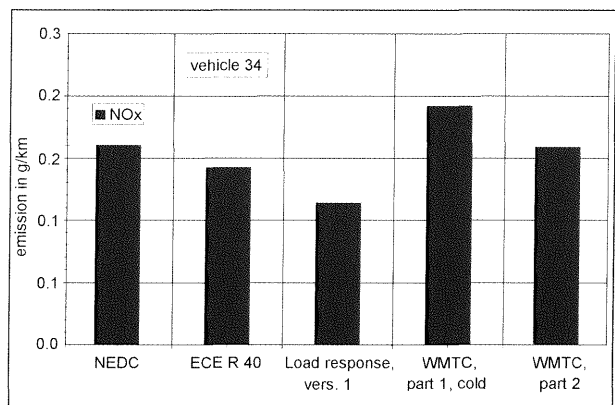


Bild 46: NOx-Ergebnisse für Fahrzeug 34 des Validierungsprogramms

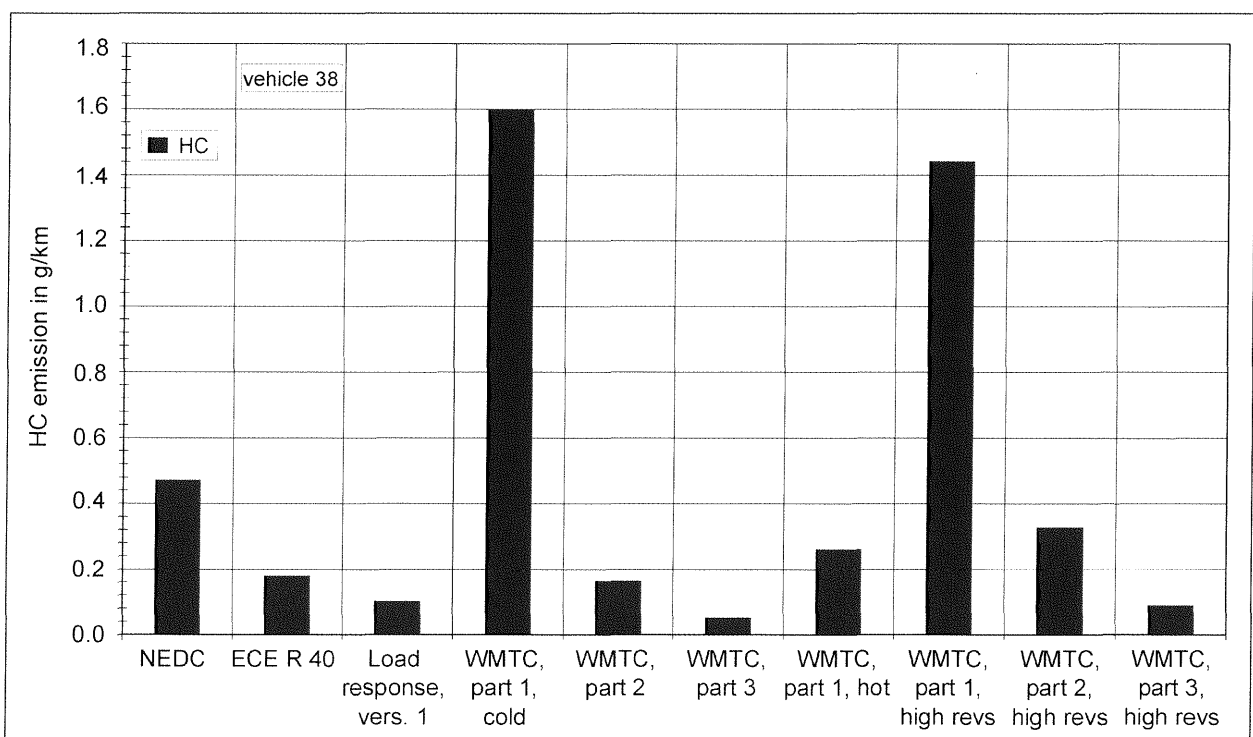


Bild 47: HC-Ergebnisse für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

stoffen und den individuellen Fahrzeugcharakteristiken (Emissionsniveau und dynamisches Verhalten des Fahrzeugs) ab.

So sind z. B. bei Fahrzeug 34 die HC- und NOx-Emissionen im load response Test niedriger als in den übrigen Zyklen, bei CO ist dies genau umge-

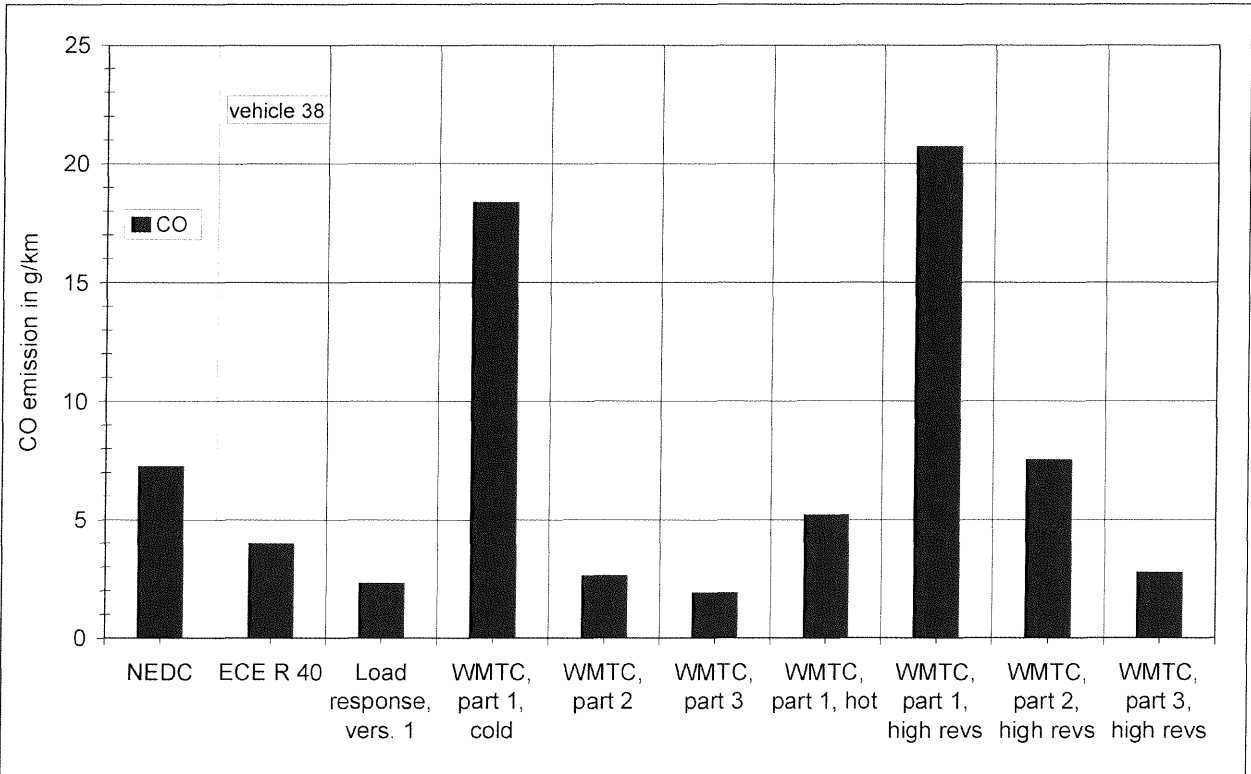


Bild 48: CO-Ergebnisse für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

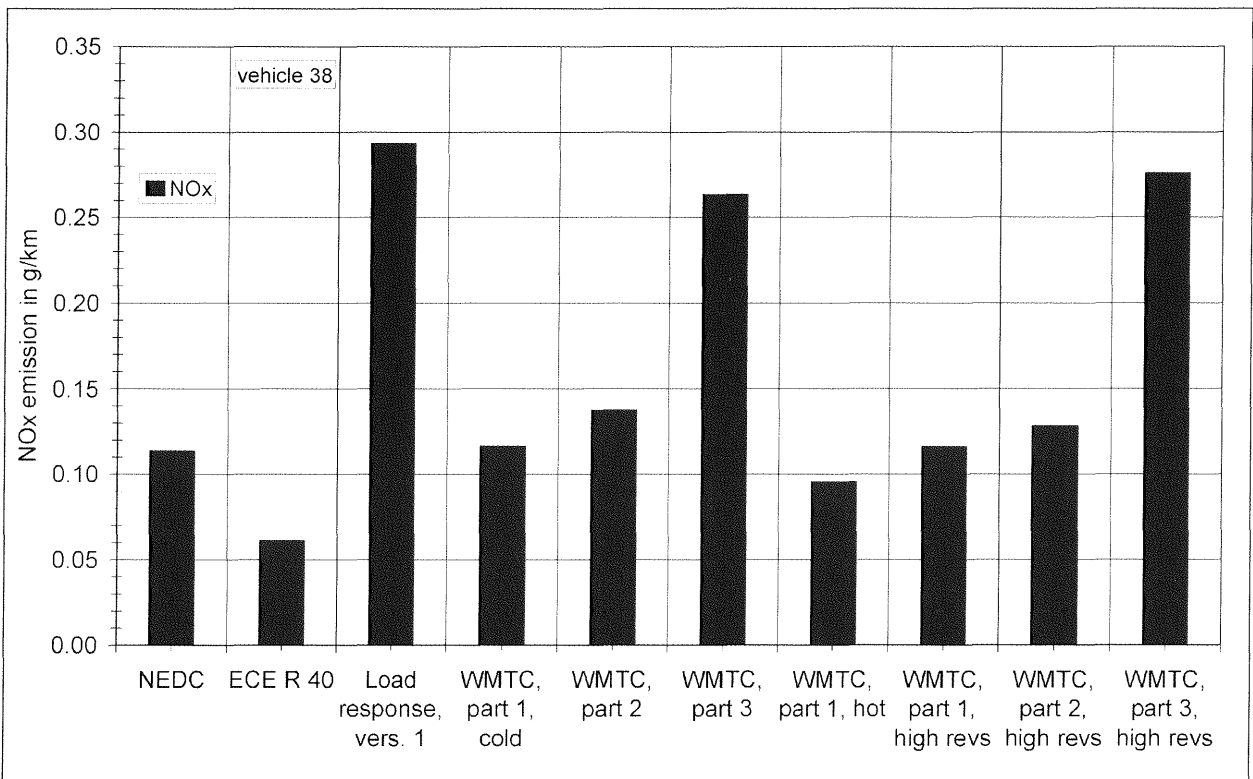


Bild 49: NOx-Ergebnisse für Fahrzeug 38 des Validierungsprogramms

kehrt. Bei Fahrzeug 38 sind die HC-Emissionen im WMTC mit höheren Schaltdrehzahlen in Teil 1 niedriger als im WMTC, bei CO ist dies umgekehrt. Der load response Test weist für HC und CO sehr niedrige Werte auf, für NOx dagegen die höchsten. Fahrzeug 40 weist im Teil 3 des WMTC mit höheren Schaltdrehzahlen sehr hohe HC- und sehr niedrige NOx-Werte im Vergleich zum WMTC auf.

Insgesamt ist der load response Test sensitiv für NOx, nicht aber für HC. Die Ergebnisse für CO liegen zwischen diesen beiden Extremen. Bei den Ergebnissen des WMTC mit höheren Schaltdrehzahlen verhält es sich eher umgekehrt. Hier war der

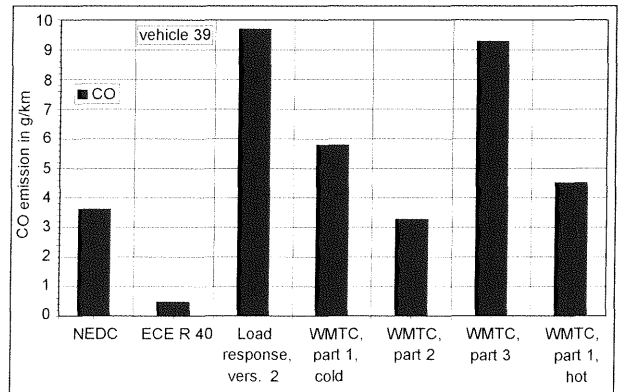


Bild 51: CO-Ergebnisse für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

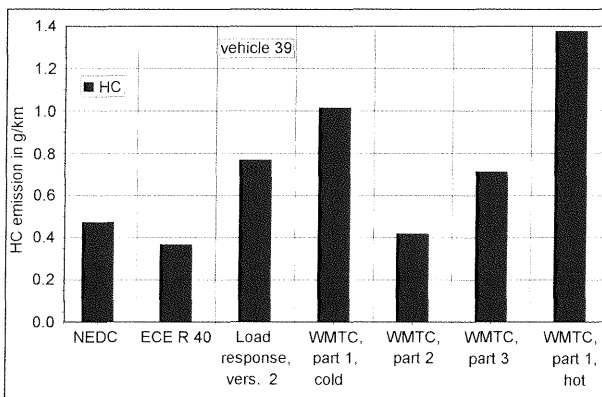


Bild 50: HC-Ergebnisse für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

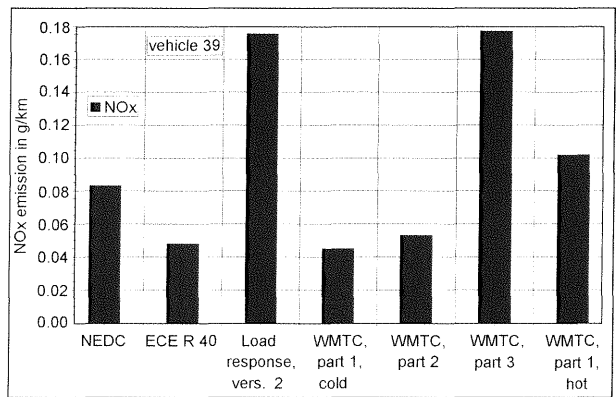


Bild 52: NOx-Ergebnisse für Fahrzeug 39 des Validierungsprogramms

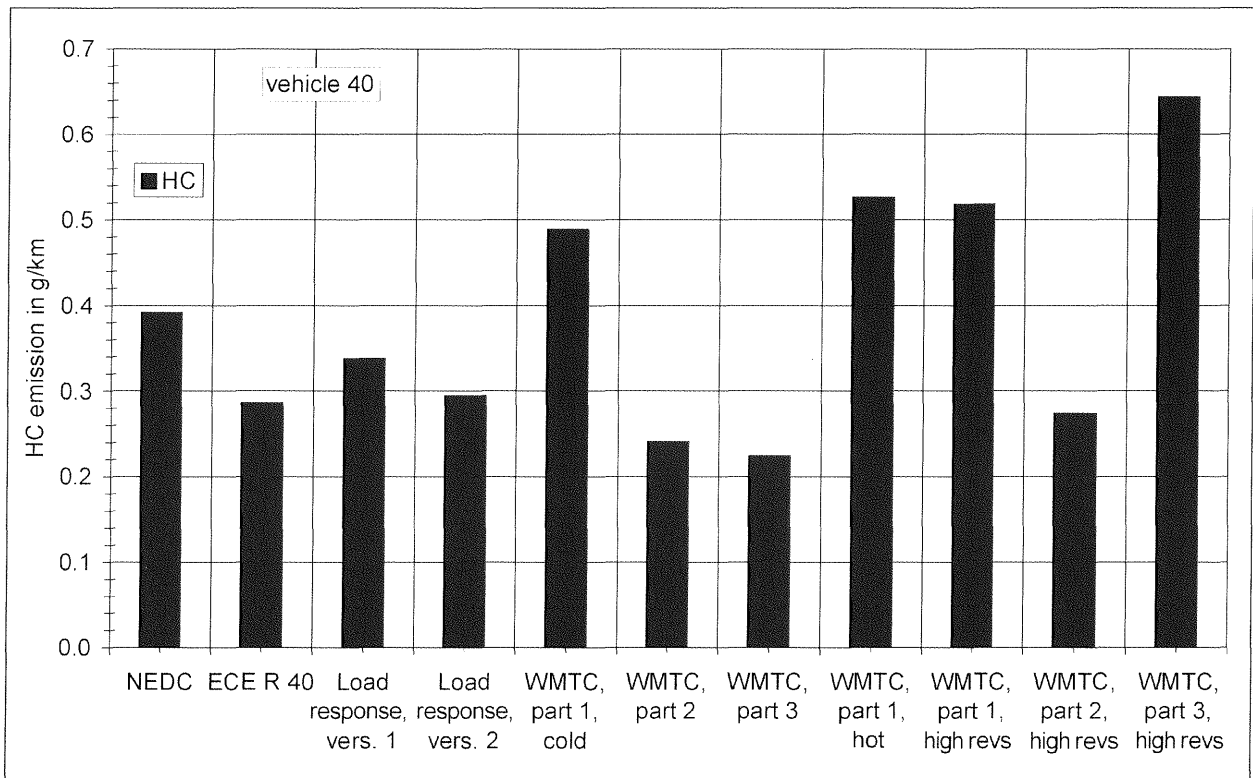


Bild 53: HC-Ergebnisse für Fahrzeug 40 des Validierungsprogramms

Test eher sensitiv für HC, aber weniger sensitiv für NOx. Die CO-Emissionen verhielten sich uneinheitlich.

Aus den Ergebnissen kann insgesamt folgendes Fazit gezogen werden:

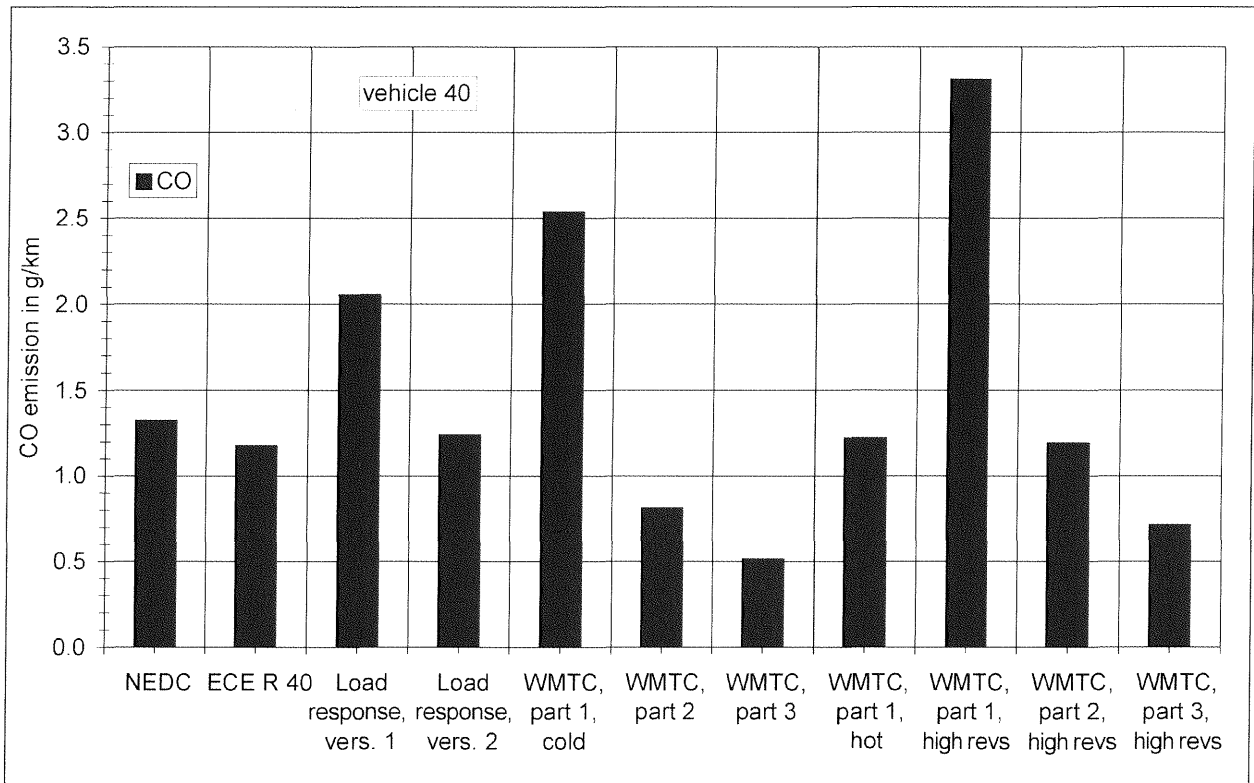


Bild 54: CO-Ergebnisse für Fahrzeug 40 des Validierungsprogramms

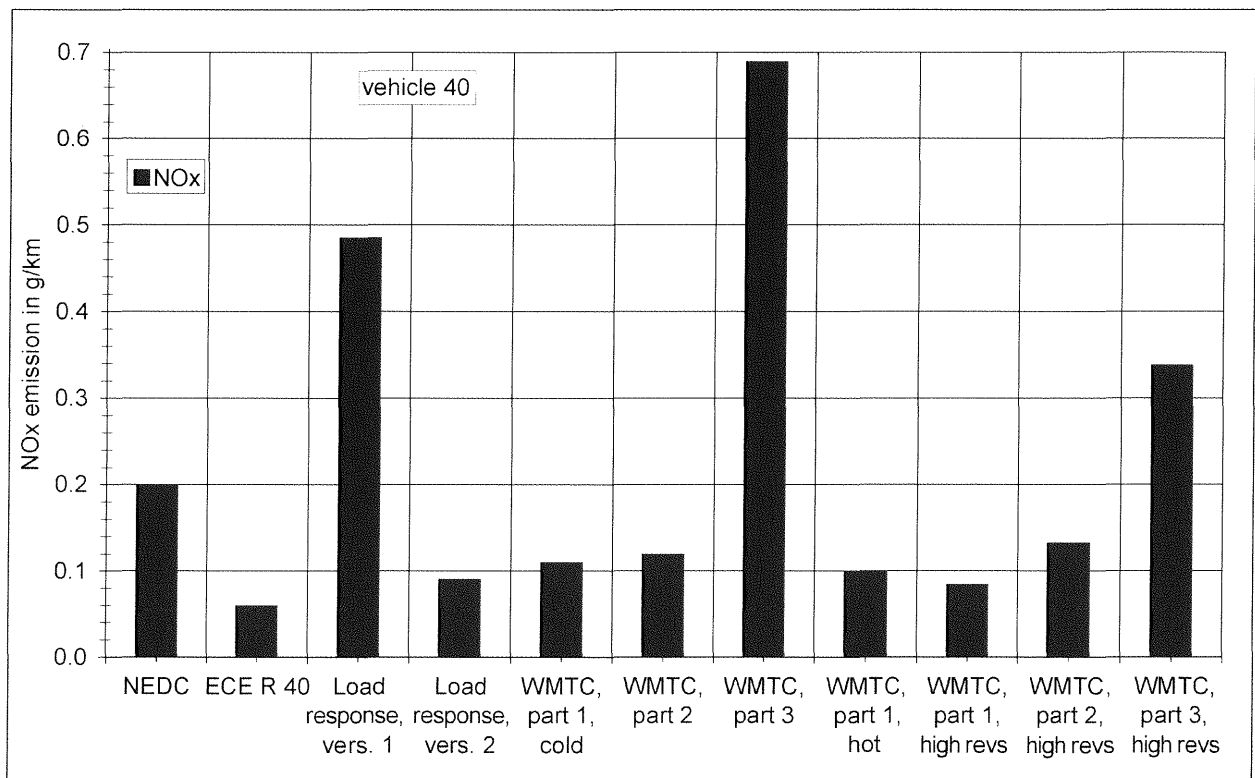


Bild 55: NOx-Ergebnisse für Fahrzeug 40 des Validierungsprogramms

- Stationäre Drehzahlen sind für die Emissionsbestimmung im off-cycle Bereich ungeeignet.
- Der WMTC mit höheren Schaltdrehzahlen geht in die richtige Richtung, erfasst aber nicht das Emissionsverhalten bei in der Praxis auftretenden Beschleunigungen, die diejenigen des WMTC übertreffen.
- Der load response Test ist ein geeigneter Ansatz für die Überprüfung von off-cycle Emissionen. Allerdings muss man für die praktische Anwendung noch Schaltdrehzahlen verbindlich festlegen und Vorkehrungen treffen, um die Gefahr

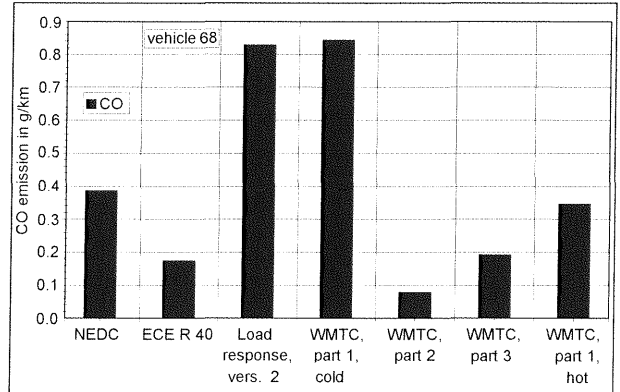


Bild 57: CO-Ergebnisse für Fahrzeug 68 des Validierungsprogramms

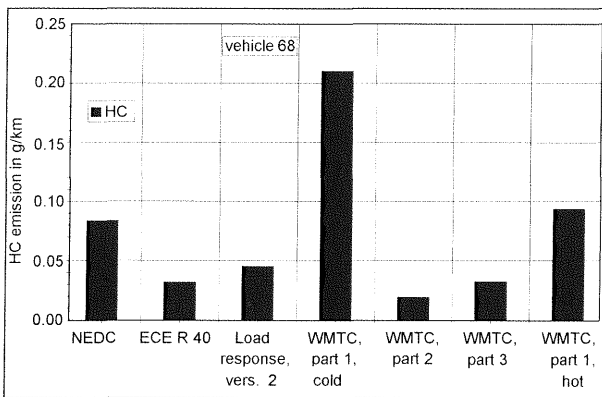


Bild 56: HC-Ergebnisse für Fahrzeug 68 des Validierungsprogramms

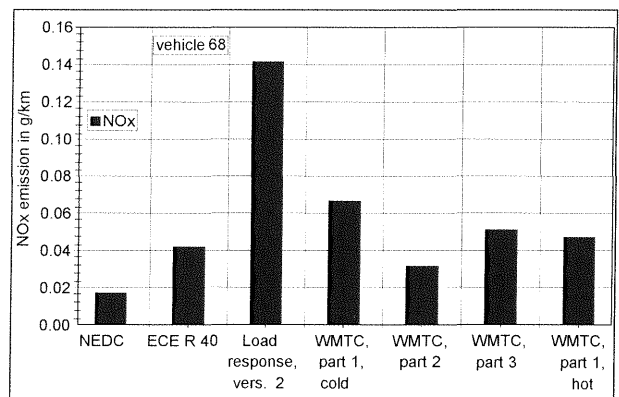


Bild 58: NOx-Ergebnisse für Fahrzeug 68 des Validierungsprogramms

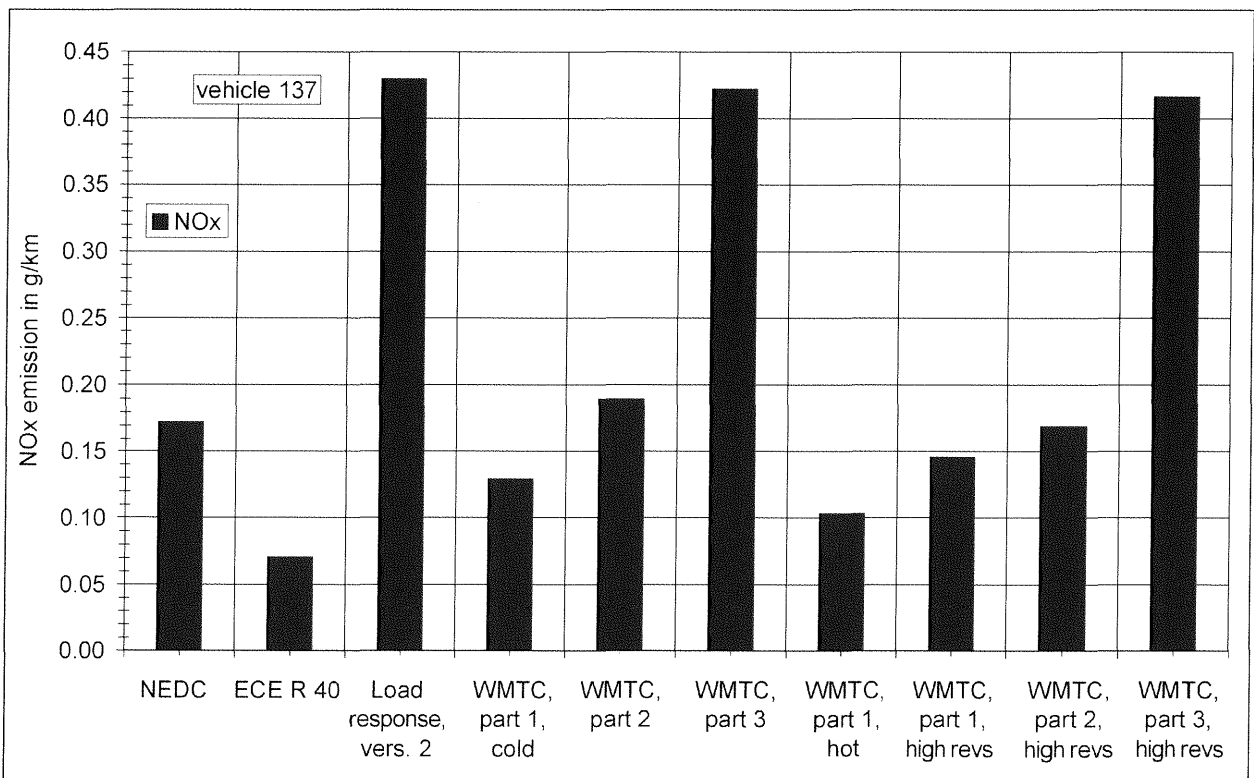


Bild 59: HC-Ergebnisse für Fahrzeug 137 des Validierungsprogramms

von Reifenschlupf zu verringern und somit die Wiederholbarkeit zu verbessern. Die Konstantfahrphasen sollten dazu genutzt werden, das

Emissionsverhalten bei höheren Drehzahlen als den normalen Schaltdrehzahlen des WMTC zu erfassen. Auch die Frage der Auswertung der

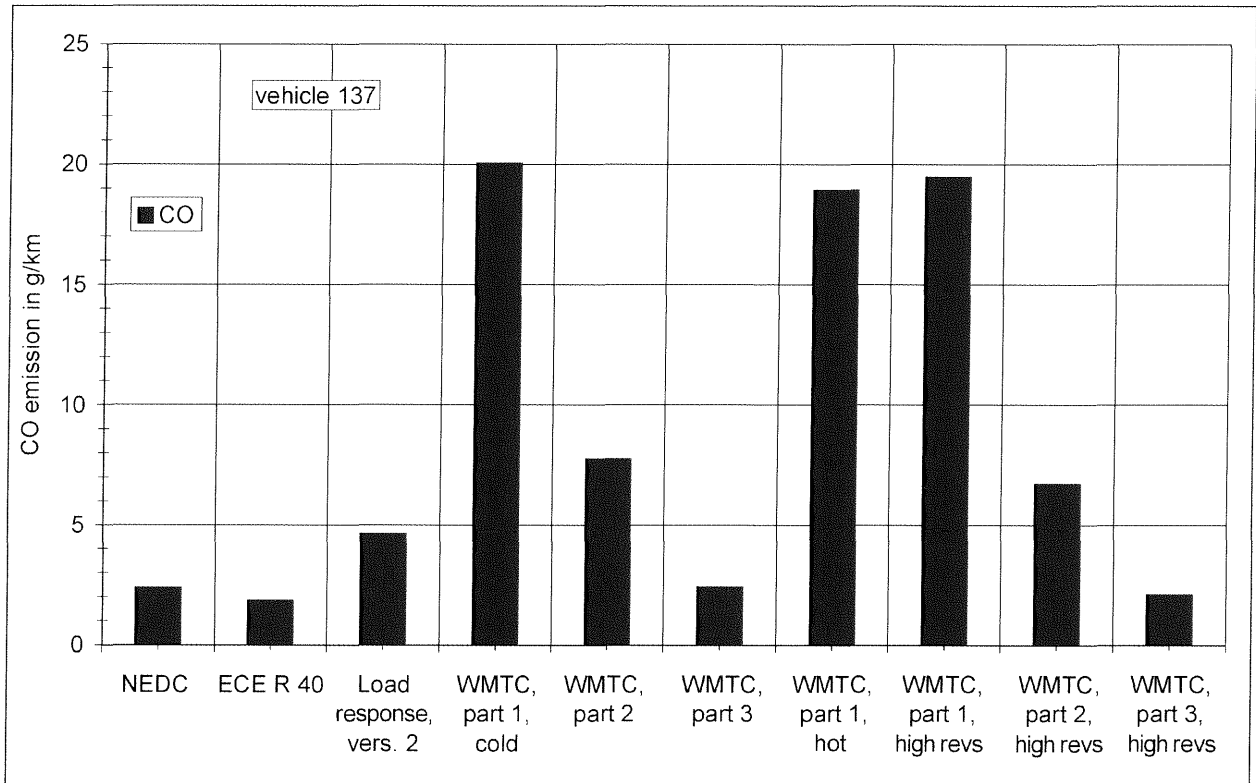


Bild 60: CO-Ergebnisse für Fahrzeug 137 des Validierungsprogramms

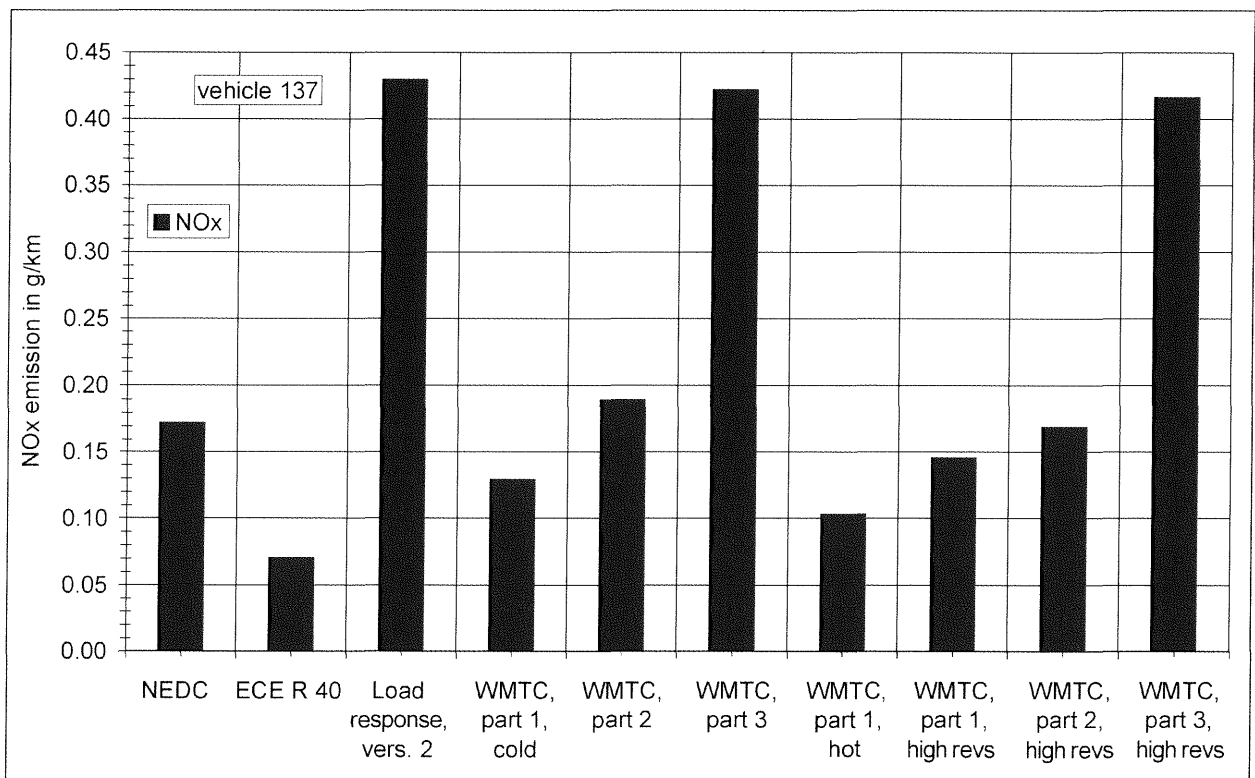


Bild 61: NOx-Ergebnisse für Fahrzeug 137 des Validierungsprogramms

Ergebnisse konnte im Rahmen dieses Vorhabens noch nicht abschließend geklärt werden. Um cycle bypass Maßnahmen zu erschweren, sollten die Start- und Zielgeschwindigkeiten darüber hinaus randomisiert werden.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Unter der Leitung der Working Party 29 beauftragte die UN ECE Group of Experts on Pollution and Energy (GRPE) die Ad-hoc-Arbeitsgruppe WMTC mit der Entwicklung eines „World-wide Harmonised Motorcycle Emissions Test ProCedure“.

Das Ziel dieses Forschungsprogramms ist es, einen weltweit harmonisierten Prüfzyklus für die Messung der Schadstoffemissionen motorisierter Zweiräder zu entwickeln, der den Fahrzyklus und den dazugehörigen Schaltalgorithmus für die Prüfstandmessungen abdeckt und die Beschreibung der Einstellungen der Prüfstände wie die Definition der Fahrwiderstände, Trägheitsmassen, Anforderungen an die Kühlung, Abgasprobennahmeverfahren und andere Prüfstandspezifikationen enthält.

Die Entwicklung des Zyklus und des Schaltalgorithmus betrifft die Aufgaben der WMTC-Arbeitsgruppe, die Vorschrift für die Prüfstandeinstellungen ist momentan in Entwicklung bei der Arbeitsgruppe 17 der ISO TC22 in enger Zusammenarbeit mit der WMTC-Arbeitsgruppe.

Die Emissionsvalidierungen im Rahmen des Validierungsprogramms Teil 2 wurden einesteils von der Industrie (IMMA) und andernteils von nationalen Regierungseinrichtungen in verschiedenen Ländern der Welt finanziert. Für Deutschland ließ die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Validierungstests für 8 Motorräder bei der RWTÜV Fahrzeug GmbH in Essen durchführen. Die Ergebnisse sind im ersten Teil des Berichts dokumentiert.

Mit dem Vorhaben sollte darüber hinaus auch das Ziel verfolgt werden, einen Vorschlag für die Erfassung von off-cycle Emissionen zu erarbeiten.

Der Begriff „off-cycle emissions“ umfasst diejenigen Emissionen eines Motorrads, die im realen Betrieb bei Fahrzuständen auftreten, die durch den Prüfzyklus nicht erfasst werden. Insofern sind „Off-cycle“ Emissionen ein grundsätzliches Problem, selbst bei einem repräsentativen Messzyklus. „Off-

cycle emission provisions“ sind Kriterien, die sicherstellen sollen, dass die Emissionen des Fahrzeugs bei Fahrzuständen, die im praktischen Betrieb auftreten, aber nicht vom Prüfzyklus erfasst werden, nicht wesentlich höher sind als im Prüfzyklus. Diese Kriterien sind auch ein Schutz vor „cycle bypass“ Maßnahmen und vor der Anwendung von „defeat devices“, durch die zwar im Test niedrige Emissionen erreicht werden, nicht aber im praktischen Betrieb.

Die Notwendigkeit für „off-cycle emission provisions“ konnte durch Vergleich der Ergebnisse einer Analyse von in-use Fahrverhaltensdaten und korrespondierenden WMTC-Werten demonstriert werden. Abhängig vom individuellen Fahrer können die im praktischen Betrieb genutzten Drehzahlen signifikant höher sein als die während des WMTC-Test genutzten. Wie erwartet zeigt ein entsprechender Vergleich der Beschleunigungen ein ähnliches Ergebnis. Die Differenzen sind sogar größer als für die Motordrehzahlen.

Als Schlussfolgerung kann man die Zielsetzung der off-cycle emission provisions wie folgt zusammenfassen: Kontrolle der Abgasemissionen für Fahrzustände/Motorbetriebszustände, die im realen Verkehr auftreten, aber nicht vom WMTC-Zyklus abgedeckt werden.

Um eine geeignete Lösung für die „off-cycle emissions provisions“ zu finden, wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

1. Definition des Bereiches der Motordrehzahlen für off-cycle Bereiche,
2. Definition des zu betrachtenden dynamischen Verhaltens für off-cycle Bereiche,
3. Definition des Testverfahrens, um die Emissionen innerhalb der off-cycle Bereiche kontrollieren zu können.

Um den Motordrehzahlbereich zu bestimmen, der für die „off-cycle emissions“ betrachtet werden soll, wurden die „in-use“ Daten erneut im Hinblick auf die Motordrehzahlvarianzen analysiert. Die Betrachtungsweise war ähnlich wie die bei der Entwicklung der Schaltvorschrift und kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Analyse des Fahrereinflusses auf die Motordrehzahlen in den „in-use“ Daten,
- Definition von oberen Drehzahlgrenzen,

- Berechnung der Regressionsfunktionen der oberen Drehzahlgrenzwerte in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht,
- Entwicklung modifizierter Schaltvorschriften für diesen erweiterten Motordrehzahlbereich.

Es wurden 3 verschiedene Methoden zur Erfassung der off-cycle Emissionen untersucht; 2 basierten auf dynamischen Ansätzen, ein weiterer auf einem quasistationären Ansatz.

WMTC mit erhöhten Schaltdrehzahlen

Es war offensichtlich, die WMTC-Geschwindigkeitsverläufe mit diesen erweiterten Schaltvorschriften als eine Alternative zu kombinieren, um „off-cycle“ Emissionen zu bestimmen. Diese Methode wurde bei drei Fahrzeugen angewendet. Basierend auf den Varianzen der „in-use“ Daten wurde eine Regressionsfunktion für die erhöhte normierte Hochschaltdrehzahl als Funktion des Leistungsgewichtes abgeleitet. Die normierten Drehzahlen sind ungefähr 22,5 % höher als die der herkömmlichen Hochschaltanweisungen. Diese Regressionsfunktion ist eine gute Beschreibung für den Drehzahlbereich, der für die „off-cycle emissions provisions“ betrachtet werden sollte.

Load Response Test

Die erste Methode deckt jedoch nicht die im Vergleich zum WMTC signifikant höheren Beschleunigungsraten ab, die in den „in-use“ Daten auftraten. Als eine Konsequenz wurde eine zusätzliche Methode skizziert und getestet, genannt „load response Test“. Dieser Test wurde als „Treppenstufen“-Geschwindigkeitsverlauf mit mehreren konstanten Geschwindigkeitsphasen verbunden durch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge konzipiert. Die transienten Phasen sollten so schnell wie möglich durchfahren werden, um die erforderliche hohe Dynamik zu erreichen. Diese Methode wurde in 2 Varianten bei 7 Fahrzeugen angewandt.

Stationäre Geschwindigkeits-/Drehzahlkombinationen

Zusätzlich wurde noch eine dritte Methode getestet, bestehend aus vorgegebenen Fahrzeuggeschwindigkeits- und Motordrehzahlkombinationen, um den ausgedehnten Betriebsbereich, der durch die Analyse der „in-use“ Datenvarianzen bestimmt worden war, abzudecken. Diese Methode wurde an zwei Fahrzeugen ausgeführt, erwies sich

jedoch wegen der fehlenden Dynamik als nicht zielführend und wurde daher nicht weiter untersucht.

Fazit

Aus den Ergebnissen zu den off-cycle emissions kann insgesamt folgendes Fazit gezogen werden:

Stationäre Drehzahlen sind für die Emissionsbestimmung im off-cycle Bereich ungeeignet.

Die Anwendung des Ansatzes „erhöhte Schaltdrehzahlen“ auf den WMTC-Geschwindigkeitsverlauf ist ein Schritt in die richtige Richtung, aber er berücksichtigt nicht die größeren Beschleunigungen bei „sportlicher“ Fahrweise.

Der load response Test ist ein geeigneter Ansatz für die Überprüfung von off-cycle Emissionen. Allerdings muss man für die praktische Anwendung noch Schaltdrehzahlen verbindlich festlegen und Vorkehrungen treffen, um die Gefahr von Reifenschlupf zu verringern und somit die Wiederholbarkeit zu verbessern. Die Konstantfahrtphasen sollten dazu genutzt werden, das Emissionsverhalten bei höheren Drehzahlen als den normalen Schaltdrehzahlen des WMTC zu erfassen. Auch die Frage der Auswertung der Ergebnisse konnte im Rahmen dieses Vorhabens noch nicht abschließend geklärt werden. Um cycle bypass Maßnahmen zu erschweren, sollten die Start- und Zielgeschwindigkeiten darüber hinaus randomisiert werden. Wichtig im Zusammenhang mit der Bewertung von off-cycle Emission provisions sind außerdem die Diskussion und Festlegung von Grenzwerten für den off-cycle Bereich.

Für Fahrzeuge mit Katalysatoren mit Lambdasonde wurde die Lambdasondendruckspannung mit einer Auflösung von 10 Hz registriert. Die Messung dieses Parameters ist ein ergänzendes Hilfsmittel, um die Funktion der Regelung des Katalysators zu überprüfen, und sollte nicht nur im off-cycle Bereich, sondern ebenfalls im normalen WMTC angewendet werden. Beispielsweise konnte für eines der untersuchten Fahrzeuge nachgewiesen werden, dass die Lambdaregelung oberhalb einer Geschwindigkeit von 95 km/h außer Funktion gesetzt wurde.

5 Literatur

- [1] H. STEVEN: Worldwide Harmonised Motorcycle Emissions Certification Procedure, Technical Report for the ECE-GRPE WMTC Working Group, by order of the Netherlands Ministry of the Environment (VROM), June 2002
- [2] H. STEVEN: Schaltalgorithmen für Krafträder, Bericht FE 89.092/2000, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, August 2002

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw**
E. Faerber, G.-D. Wobben
88 Seiten, 1993 € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen**
W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier, W. Spann
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen**
H. Zellmer
52 Seiten, 1993 € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung**
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
A. Richter, G. Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
Chr. Albus
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz**
R. Bamberg, H. Zellmer
56 Seiten, 1994 € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport**
G.-D. Wobben, H. Zahn
64 Seiten, 1994 € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben**
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
M. Chmielarz, B. Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie -
H. Derkum
88 Seiten, 1994 € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen**
D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam, B. Kraemer
32 Seiten, 1994 € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen**
M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann, V. von Zettelmann
40 Seiten, 1994 € 11,00
- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern**
J. Damasky
52 Seiten, 1995 € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays**
H. Mutschler
124 Seiten, 1995 € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen**
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
H. Zellmer, M. Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
H. Zellmer
44 Seiten, 1995 € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen**
K. Sander
40 Seiten, 1995 € 11,50
- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall**
Entwicklung eines Prüfverfahrens
K.-P. Glaeser
100 Seiten, 1996 € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern**
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
C. Heinrich, E. von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
F. Nicklisch
220 Seiten, 1996 € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen**
R. Sagerer, K. Wartenberg, D. Schmidt
52 Seiten, 1996 € 12,50

- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen**
- Problemanalyse und Verfahrenskonzept
D. Grunow, G. Heuser, H.J. Krüger, Chr. Zange-
meister
136 Seiten, 1996 € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS**
J. Präckel
84 Seiten, 1996 € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung**
E. Pullwitt
44 Seiten, 1996 € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand**
K. Sander
60 Seiten, 1996 € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe**
M. Fach
80 Seiten, 1996 € 14,00
- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung**
B. Bugsel, Chr. Albus, W. Sievert
24 Seiten, 1997 € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase**
F. A. Berg, U. Mayer
171 Seiten, 1997 € 19,50
- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes**
I. Kalliske, Ch. Albus, E. Faerber
44 Seiten, 1998 € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern**
I. Kalliske, D. Wobben, M. Nee
39 Seiten, 1998 € 11,50
- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme**
T. F. Schweers
74 Seiten, 1999 € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern**
M. Vötter, E. Groß, St. Esser, A. Born, M. Flamm, D. Rieck
22 Seiten, 1999 € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen**
R. Kohlstruck, H. Wallentowitz
59 Seiten, 1999 € 13,00
- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen**
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
K.-P. Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Th. Aubel
54 Seiten, 2000 € 13,00
- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen**
A. Faber
44 Seiten, 2000 € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen**
D. Otte
43 Seiten, 2000 € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST**
Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach
63 Seiten, 2000 € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen**
W. Gaupp, D. Wobben, M. Horn, M. Seemann
116 Seiten, 2000 € 17,00
- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug**
K. Sander, B. Bugsel, W. Sievert, Ch. Albus
22 Seiten, 2001 € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren**
H. Wallentowitz, D. Ehmanns, D. Neunzig, M. Weilkes, B. Steinauer, F. Bölling, A. Richter, W. Gaupp
147 Seiten, 2001 € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Kraft-rädern**
A. van de Sand, H. Wallentowitz, Th. Schrüllkamp
64 Seiten, 2001 € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat**
G. Afflerbach, D. Hassel, H. Schmidt, K.-S. Sonnborn, F.-J. Weber
32 Seiten, 2001 € 11,50

F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes

F. Friesen, H. Wallentowitz, M. Philipps
44 Seiten, 2001 € 12,50

F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

J. Gail, M. Lorig, Chr. Gelau, D. Heuzeroth, W. Sievert
27 Seiten, 2002 € 9,50

F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen

Chr. Domsch, D. Sandkühler, H. Wallentowitz
104 Seiten, 2002 € 16,50

F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

G. Afflerbach, D. Hassel, H. J. Mäurer, H. Schmidt, F.-J. Weber
63 Seiten, 2003 € 14,00

F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen

M. Krieg, G. Rüter, A. Weißgerber
79 Seiten, 2003 € 15,00

F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall

R. Nett
99 Seiten, 2003 € 16,50

F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge

J. Gail, C.-H. Pastor, M. Spiering, K. Sander, M. Lorig
36 Seiten, 2003 € 12,00

F 45: Untersuchung zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten

H. Steven
46 Seiten, 2004 € 12,50

Zu beziehen durch:
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