

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

# **Pkw-Emissionen bei Verwendung von Dieselkraftstoff mit 5 % Biodiesel (RME)-Beimischung im Vergleich zum reinen Dieselkraftstoff**

## **Abschlußbericht**

### **Juni 2006**

von

**Ralf Johannsen**



IFM - Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität  
Fachbereich Antrieb und Emissionen

## Inhaltsverzeichnis

	Seite	
<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	3
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	4
<b>3</b>	<b>Projektabwicklung</b>	4
3.1	Untersuchungsprogramm	4
3.2	Messungen nicht limitierter Abgaskomponenten	6
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	7
4.1	Beutelergebnisse	7
4.2	Modalergebnisse limitierter Schadstoffe	9
4.3	Modalergebnisse stickstoffhaltiger Komponenten	11
4.4	Modalergebnisse unverbrannter Kohlenwasserstoffe	13
4.5	Modalergebnisse weiterer Abgaskomponenten	13
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	14
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	15
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	16
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	17
8.1	Modalverläufe limitierter Schadstoffe des VW Golf IV	17
8.2	Modalverläufe limitierter Schadstoffe des Opel Astra	18
8.3	Modalverläufe limitierter Schadstoffe des Peugeot 307	20

## 1 Abkürzungsverzeichnis

AHC	Aromatische Kohlenwasserstoffe
ATL	Abgasturbolader
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
FTIR	Fourier-Transform Infrared Spectrometer
EUDC	Extraurban Driving Cycle
HC	unverbrannte Kohlenwasserstoffe
HDI	High Pressure Direct Injection
Mikroemulsion	thermodynamisch stabile Mischung aus Wasser, Öl und Tensiden
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus gemäß Richtlinie 2003/76/EG
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
PD	Pumpe-Düse
RME	Rapsölmethylester
UDC	Urban Driving Cycle

## 2 Aufgabenstellung

Seit Anfang des Jahres 2004 ist Dieselkraftstoff im Handel, der bis zu 5 % Biodiesel (Rapsölmethylester, RME) enthalten kann. Das ist nach der Diesel-Norm DIN EN 590 zulässig und im Sinne der EU-Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor /1,2/. Ob sich durch den Biodieselanteil der Kraftstoffverbrauch und das Emissionsverhalten von PKW ändert, sollte in diesem Projekt untersucht werden. Drei Pkw unterschiedlicher Fabrikate wurden einmal mit dem Zertifizierungskraftstoff der Firma Haltermann ohne Bioanteil und einmal mit einem Gemisch aus Zertifizierungskraftstoff und 5 Vol.-% RME hinsichtlich ihrer Emissionen und des Kraftstoffverbrauches vermessen.

Den Messungen liegt der neue europäische Fahrzyklus (NEFZ) gemäß Richtlinie 2003/76/EG zugrunde /3/. Neben den limitierten Schadstoffen Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NOx) und Partikel wurden auch CO<sub>2</sub> und andere nicht-limitierte Schadstoffe durch ein Infrarotspektrometer (FTIR) zeitdiskret erfasst. Der Kraftstoffverbrauch im jeweiligen Typ-Prüfzyklus gemäß Richtlinie 80/1268/EWG i.d.F. 2004/3/EG wurde aus den Emissionen der kohlenstoffhaltigen Abgaskomponenten (CO<sub>2</sub>, CO und HC) errechnet /4/.

## 3 Projektabwicklung

### 3.1 Untersuchungsprogramm

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden für die Vergleichsmessungen mit und ohne 5%ige RME-Beimischung drei Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor unter Berücksichtigung der KBA-Statistiken ausgesucht:

- VW Golf IV 1.9 TDI (Pumpe-Düse-System)
- Opel Astra 1.7 DTCI (Common Rail mit Vierventil-Technik)
- Peugeot 307 (HDI mit Common-Rail-Technik und Partikelfilter)

Bei dem Pumpe-Düse-System des VW TDI bilden Pumpe und Einspritzventil eine Einheit. An jedem Zylinder wird der Einspritzdruck separat durch eine zusätzliche Nocke und einen *Plunger* (*hier*: eine Art Kolben) mechanisch erzeugt. Das Einspritzsystem ist in den Zylinderkopf integriert.

Der Begriff *Common Rail* stammt aus dem Englischen und steht für *gemeinsame Schiene*. Er beschreibt die Verwendung einer gemeinsamen Kraftstoff-Hochdruckleitung mit entsprechenden Abgängen zur Versorgung der Zylinder mit Kraftstoff. Der Einspritzzeitpunkt und die -menge werden durch eine Motorelektronik gesteuert. Die elektrischen Signale steuern je Zylinder ein elektrisch betätigtes Ventil, das in die Einspritzdüse eingebaut ist.

Der Peugeot ist mit einem Partikelfilter, der mit Hilfe eines Additiv regeneriert wird, ausgestattet. Durch dieses Additiv wird die Abbrenntemperatur des Dieselrußes von über 600°C auf etwa 450°C abgesenkt. In der Abgasanlage treten unter normalen

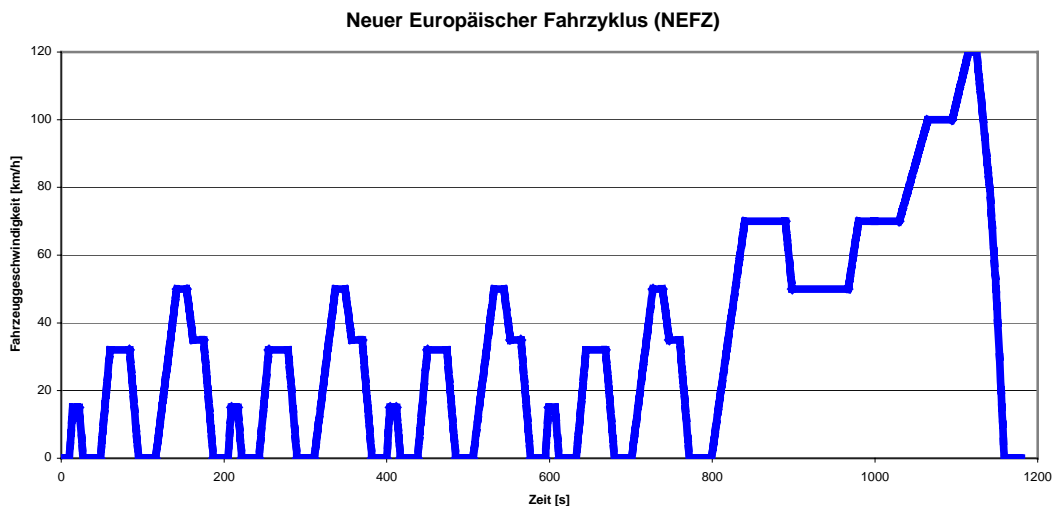
Betriebsbedingungen Temperaturen von bis zu 350°C auf. Daher ist zur Auslösung der Filterregeneration eine Änderung der Kraftstoff-Einspritzung in Bezug auf Menge und Zeitpunkt erforderlich, um einen bestimmten Anteil unverbrannter Kohlenwasserstoffe zu erzeugen, der im Oxidations-Katalysator zu einer Erhöhung der Abgastemperatur führt. Die Filterbeladung wird mit Hilfe von Drucksensoren überwacht und eine sogenannte Filterregeneration bei einer vorgegebenen Beladungsgrenze eingeleitet.

Die technischen Daten der Prüffahrzeuge sind in **Tabelle 3.1-1** dargestellt.

Hersteller	Fahrzeug-typ	Lauf-leistung [km]	Leistung in kW bei min <sup>-1</sup>	Hubraum [ccm]	Leergewicht [kg]	Abgaseinstufung
Volkswagen	1J	44.000	74 / 4000	1896	1395	Euro 3 und D4
Opel	A-H	14.000	59 / 4400	1686	1335	Euro 4
Peugeot	3-9HZ	17.000	80 / 4000	1560	1477	Euro 4

**Tabelle 3.1-1:** Daten der Prüffahrzeuge

Die Messungen wurden im „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ (NEFZ) entsprechend der Änderungsrichtlinie 2003/76/EG durchgeführt /3/. Der Fahrzyklus ist in **Diagramm 3.1-2** dargestellt.



**Diagramm 3.1-2:** Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ)

Während der Messungen auf dem Fahrleistungsprüfstand wurden die gesetzlich limitierten Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Partikel und das für die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs notwendige Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) kontinuierlich im Sekundentakt erfasst (Modalmessung). Darüber hinaus wurden die nicht limitierten Emissionen mit Hilfe eines Infrarotspektrometers

bestimmt und ebenfalls zeitdiskret mit einer Auflösung von einer Sekunde aufgezeichnet. Parallel dazu wurden die Abgase in Beuteln gesammelt und die Integralwerte ermittelt.

Die Ergebnisse aus den Beutelmessungen können von den Modalmessungen abweichen, da es sich bei der Beutelmessung um eine einmalige Analyse handelt, bei der abgewartet werden kann bis sich der Wert der Analyse stabilisiert. Da die Analysatoren eine gewisse Ansprech- bzw. Totzeit haben, kommt es bei dynamischen Messungen, wie im Falle der Modalmessungen, gerade bei schlagartigen Veränderungen der Konzentrationen zu Messungenauigkeiten, die sich in einer Abweichung in den Gesamtergebnisse zeigen kann.

Bei dem verwendeten Diesel-Kraftstoff der Firma Haltermann handelt es sich um Zertifizierungs-Kraftstoff, der nach den Spezifikationen der Richtlinie 70/220/EG zugelassen ist. Der Rapsmethylester (RME) wurde volumetrisch beigemischt.

### **3.2 Messungen nicht limitierter Abgaskomponenten**

Mit Hilfe eines Multikomponenten-Analysensystems basierend auf FTIR-Technologie (Fourier-Transform Infrared Spectrometer) wurde das Abgas im Hinblick auf nicht-limitierte Abgaskomponenten untersucht. Mit diesem System wird kontinuierlich im unverdünnten Abgas gemessen.

Das FTIR analysiert das Abgas zeitdiskret (modal) mit einer Auflösung von einer Sekunde. Die Ergebnisse in Gramm pro Sekunde werden addiert und zu einem Ergebnis zusammengefasst. Der Mittelwert aus drei Messungen bildet dann das in den Tabellen dargestellte Gesamtergebnis.

Bei dem FTIR-Spektrometer handelt es sich um ein Interferometer. Das von einer Lichtquelle ausgestrahlte breitbandige Infrarotlicht wird in zwei Teilstrahlen zerlegt, die getrennte optische Wege zurücklegen. Ein Teil des Lichts wird auf einen festen, der andere Teil auf einen beweglichen Spiegel gelenkt. Die Strahlen legen je nach Position des beweglichen Spiegels verschiedene Weglängen zurück, so dass bei der Überlagerung der beiden Teilstrahlen ein Interferogramm entsteht. Anschließend durchläuft das Licht das Messgas. Die in der Probe befindlichen Moleküle werden durch das Infrarotlicht zu Schwingungen angeregt und absorbieren dabei Energie. Das Licht wird detektiert und durch eine Fouriertransformation in ein Spektrum umgewandelt. Viele Moleküle besitzen charakteristische Absorptionsfrequenzen, die sich im Spektrum widerspiegeln. Dabei ist die Amplitude eines Peaks im Spektrum proportional zu der Stoffkonzentration. Dadurch lassen sich die Bestandteile des Messgases aufschlüsseln. Folgende Komponenten wurden erfasst:

AHC	(Aromatische unverbrannte Kohlenwasserstoffe)
CH <sub>4</sub>	(Methan)
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	(Acetylen)
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	(Ethylen)
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	(Ethan)
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	(Propylen)

C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	(1,3-Butadien)
n-C <sub>8</sub>	(n-Oktan)
CH <sub>2</sub> O	(Formaldehyd)
CO	(Kohlenmonoxid)
CO <sub>2</sub>	(Kohlendioxid)
COS	(Carbonylsulfit)
HCG	(Unverbrannte Kohlenwasserstoffe gesamt)
H <sub>2</sub> O	(Wasser)
MECHO	(Acetaldehyd)
NMHC	(Nicht-Methan unverbrannte Kohlenwasserstoffe)
NH <sub>3</sub>	(Ammoniak)
NO	(Stickstoffoxid)
NO <sub>2</sub>	(Stickstoffdioxid)
N <sub>2</sub> O	(Lachgas)
NO <sub>x</sub>	(Stickoxide gesamt)
SO <sub>2</sub>	(Schwefeldioxid)

Bei Dieselmotoren liegt das Emissionsniveau der Stickoxide höher als bei Ottomotoren, was eine nähere Betrachtung der stickstoffhaltigen Komponenten wie z.B. NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub> besonders interessant macht.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Beutelergebnisse

Während einer Abgasmessung, die zur Typprüfung eines Fahrzeugs dient, wird dem Abgas ein Teilstrom entnommen und aufgeteilt nach den Phasen des Fahrzyklus (Phase 1 = innerstädtisch, Phase 2 = ausserstädtisch) in Beuteln gesammelt und nach dem Test analysiert. Die Masse pro Kilometer (in g/km) wird aus den ermittelten Konzentrationen der jeweiligen Schadstoff-Komponente und zusätzlichen Daten wie Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit, gefahrene Strecke und Strömungsdaten des Abgasstromes errechnet.

Der Kraftstoffverbrauch wird aus den kohlenstoffhaltigen Abgas-Komponenten CO, HC und CO<sub>2</sub>, sowie der Dichte und der gefahrenen Strecke errechnet und in Liter pro 100 Kilometer angegeben.

**Tabelle 4.1-1** zeigt die Beutelergebnisse der limitierten Schadstoff-Komponenten CO, HC, NO<sub>x</sub> und Partikel und den Verbrauch in Form der CO<sub>2</sub>-Emissionen und als Kraftstoffverbrauch in l/100km mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert aus drei Messungen dar.

Prüffahrzeug	Kraftstoff	CO [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]	HC + NOx [g/km]	Partikel [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	Verbrauch [l/100 km]
--------------	------------	--------------	--------------	---------------	--------------------	--------------------	---------------------------	-------------------------

<b>VW Golf IV</b>	ohne RME	0,109	0,013	0,248	0,261	0,021	146,053	5,531
	5 Vol.-% RME	0,117	0,013	0,245	0,258	0,019	146,663	5,555
<b>Opel Astra</b>	ohne RME	0,245	0,025	0,145	0,170	0,013	135,831	5,151
	5 Vol.-% RME	0,241	0,024	0,145	0,169	0,013	134,961	5,120
<b>Peugeot 307</b>	ohne RME	0,138	0,020	0,169	0,189	0,0005	144,9	5,473
	5 Vol.-% RME	0,148	0,020	0,177	0,197	0,0004	143,3	5,400
während der Regeneration des Partikelfilters mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff		0,858	0,029	0,475	0,504	0,006	201,900	7,700
<b>Grenzwerte nach 98/69/EG Euro 4</b>		<b>0,500</b>	-	<b>0,250</b>	<b>0,300</b>	<b>0,025</b>	-	-

**Tabelle 4.1-1:** Abgasemissionen im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

Während der Messungen erfolgte beim Prüffahrzeug Peugeot 307 in einem Fall eine Regeneration des Partikelfilters. Hierbei wurde festgestellt, dass die gemessenen Abgaskomponenten und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bzw. der Verbrauch stark ansteigen. **Tabelle 4.1-2** zeigt den Anstieg in Prozent.

Um die Verschlechterung des Emissionsverhaltens während der Beladungs- und Regenerationsphase zu berücksichtigen hat der Gesetzgeber bereits Faktoren eingeführt. Da es sich bei den hier vorgenommenen Untersuchungen um Vergleichsmessungen handelt, werden in diesem Falle die Faktoren nicht berücksichtigt.



Prüffahrzeug	Kraftstoff	CO [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]	HC + NOx [g/km]	Partikel [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	Verbrauch [l/100 km]
VW Golf IV	ohne RME	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	5 Vol.-% RME	106,9%	98,0 %	98,9 %	99,1 %	89,9 %	100,4 %	100,4 %
Opel Astra	ohne RME	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	5 Vol.-% RME	98,4%	94,5%	100,1%	99,3 %	99,4 %	99,4%	99,4%
Peugeot 307	ohne RME	100 %	100 %	100 %	100 %	100 % *	100 %	100 %
	5 Vol.-% RME	114,8%	107,0%	109,1%	108,9%	62,4 % *	97,7%	99%
während der Regeneration des Partikelfilters mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff		666,8%	152,6%	293,3%	337,7 %	1063,2%	137,7 %	138,8 %

\* Messgenauigkeit der Partikelwaage im kritischen Bereich

**Tabelle 4.1-2:** Prozentuale Abweichung der Ergebnisse der Abgasemissionen über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

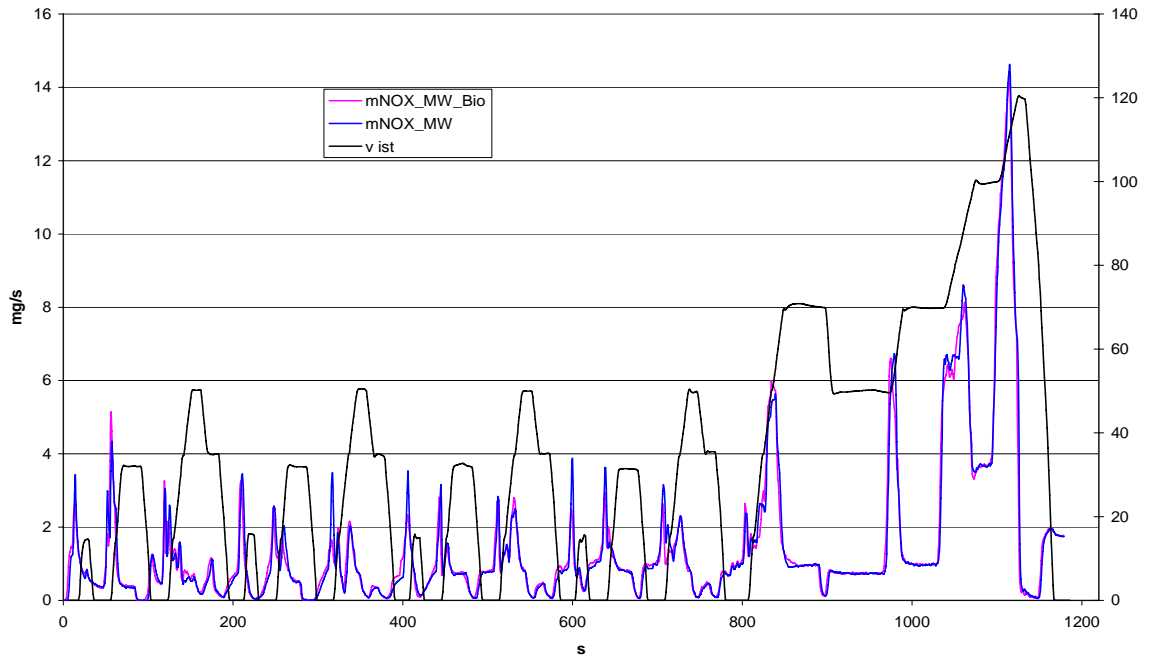
Bei der Betrachtung der Abweichungen in Prozent muss darauf hingewiesen werden, dass die Beurteilung immer in Zusammenhang mit der Größenordnung erfolgen muss. Wenn man die Abweichung der Partikelmassen beim Peugeot 307 mit Partikelfilter sieht, dann bewegen sich die Ergebnisse im Bereich der Messgenauigkeit der Partikelwaage und mit diesem Hintergrund ist auch die Abweichung zu beurteilen.

Die Beutelergebnisse zeigen keinen signifikanten Einfluss auf die Emissionen limitierter Schadstoffe durch die Zumischung von 5 Vol.-% RME. Die Abweichungen sind auf Messgenauigkeit und normale Variationen bei der Durchführung der Tests zurückzuführen.

## 4.2 Modalergebnisse limitierter Schadstoffe

Die Modalwerte zeigen einen zeitdiskreten Verlauf der Emissionen über den Fahrzyklus. Dadurch wird es möglich, die einzelnen Phasen des Fahrzyklus zu bewerten. Gerade während der Startphase des Motors, der Beschleunigungsphasen und bei höherer Geschwindigkeit und damit höheren Lasten werden Anstiege der Schadstoffe im Abgas erkennbar. Die durch den Gesetzgeber limitierten Schadstoffe beschränken sich auf Kohlenmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NOx) und Partikel. Partikel werden auf Filterplättchen gesammelt und gewogen und können nicht zeitdiskret erfasst werden. **Bild 4.2-1** zeigt am Beispiel des Opel Astra, dass beim Vergleich der Kraftstoffvarianten mit und ohne RME-Beimischung bei der besonders beim Dieselaggregat interessanten Schadstoff-

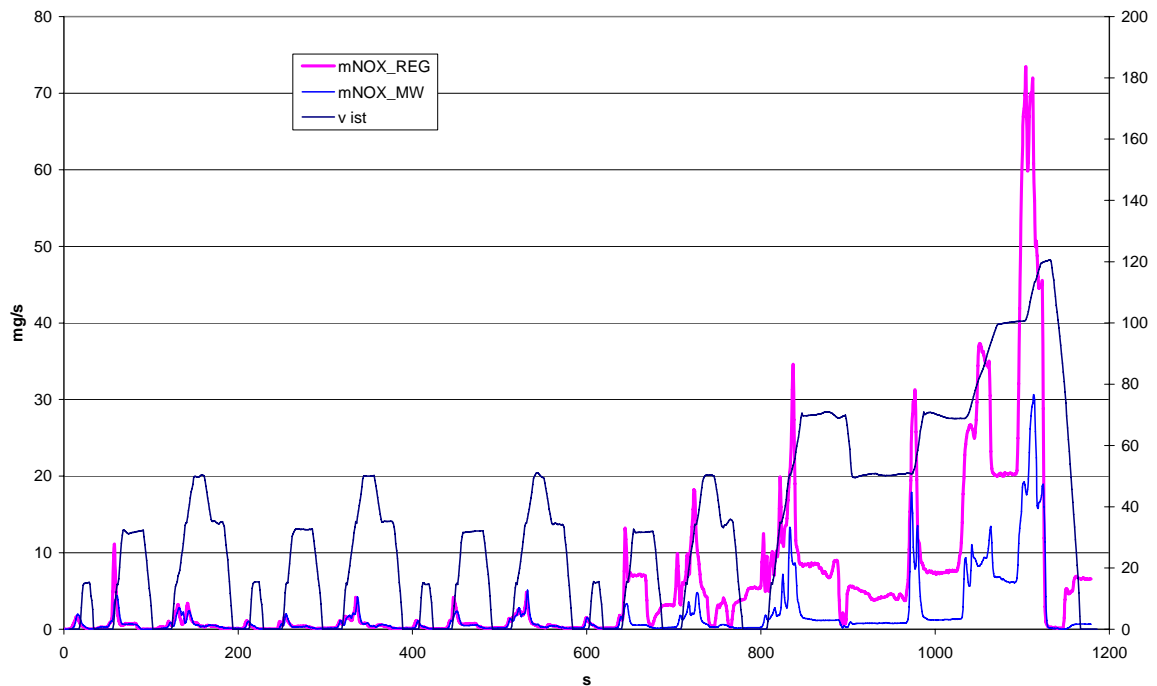
Komponente  $\text{NO}_x$  keine Auffälligkeiten außerhalb der Abweichungen durch den Fahrereinfluss und der Messgenauigkeit zu erkennen sind.



**Bild 4.2-1:** Modalverlauf der Mittelwerte aus jeweils drei Messungen der Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) beim Prüffahrzeug Opel Astra über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

Während einer Messung wurde beim Peugeot 307 gerade die Regenerationsphase des Partikelfilters erreicht und erfasst. Während der Regeneration wird durch innermotorische Maßnahmen, wie z.B. geänderte Werte für Einspritz-Zeitpunkt und – Dauer, eine Erhöhung der Abgastemperatur erreicht (siehe auch **Punkt 3.1**), die für eine Verbrennung der Partikel und, damit eingeleitet, eine Regeneration des Partikelfilters notwendig ist.

**Bild 4.2-2** zeigt den Unterschied des Verlaufs der Stickoxid-Emissionen bei der Regeneration des Partikelfilters zu den Messungen mit dem Zertifizierungs-Kraftstoff ohne RME-Beimischung.



**Bild 4.2-2:** Modalverlauf der Stickoxide (NO<sub>x</sub>) beim Prüffahrzeug Peugeot 307 im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff – Mittelwerte aus drei Messungen sowie Werte während der Regeneration des Partikelfilters.

### 4.3 Modalergebnisse stickstoffhaltiger Komponenten

Wie in **Tabelle 4.3-1** ersichtlich zeigen die Vergleichsmessungen mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung keine signifikanten Abweichungen.

Wie schon bei der limitierten Komponente NO<sub>x</sub> zeigt sich auch bei den stickstoffhaltigen Komponenten, insbesondere bei NO, beim Peugeot 307 HDI während der Regenerationsphase ein starker Anstieg, da die innermotorischen Maßnahmen während der Regeneration nicht den optimalen Werten für einen normalen Betrieb entsprechen.

Einige der mit FTIR analysierten Komponenten weisen Konzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze auf und zeigen keinen geordneten Verlauf, sondern nur ein Rauschen um den Nullpunkt. Komponenten wie Lachgas (N<sub>2</sub>O) bewegen sich in einer kritischen Größenordnung, bei der die Betrachtung der prozentualen Abweichung (**Tabelle 4.3-2**) dementsprechend unter Vorbehalt erfolgen sollte.

Prüffahrzeug	Kraftstoff	NH <sub>3</sub> [g/km]	NO [g/km]	NO <sub>2</sub> [g/km]	N <sub>2</sub> O [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]
VW Golf IV	ohne RME	< 0,001 *	0,1073	0,1356	0,0073	0,2638
	5 Vol.-% RME	< 0,001 *	0,1107	0,1312	0,0073	0,2652
Opel Astra	ohne RME	< 0,001 *	0,0669	0,0746	0,0092	0,1581
	5 Vol.-% RME	< 0,001 *	0,0694	0,0697	0,0080	0,1578
Peugeot 307	ohne RME	< 0,001 *	0,0956	0,0602	0,0060	0,1952
	5 Vol.-% RME	< 0,001 *	0,0826	0,0753	0,0059	0,2016
während der Regeneration des Partikelfilters mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff		< 0,001 *	0,3854	0,0452	0,0073	0,5975

\* unterhalb der Nachweisgrenze der Analysatoren

**Tabelle 4.3-1:** Stickstoffhaltige Abgaskomponenten im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

Prüffahrzeug	Kraftstoff	NH <sub>3</sub> [g/km]	NO [g/km]	NO <sub>2</sub> [g/km]	N <sub>2</sub> O [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]
VW Golf IV	ohne RME	- *	100 %	100 %	100 % **	100 %
	5 Vol.-% RME	- *	103,1%	96,8%	99,4% **	100,5%
Opel Astra	ohne RME	- *	100 %	100 %	100 % **	100 %
	5 Vol.-% RME	- *	103,7%	93,4%	87,1% **	99,8%
Peugeot 307	ohne RME	- *	100 %	100 %	100 % **	100 %
	5 Vol.-% RME	- *	86,4%	125,2%	98,0% **	103,2%
während der Regeneration des Partikelfilters mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff		- *	403,4%	75,2%	120,9% **	306,1%

\* unterhalb der Nachweisgrenze der Analysatoren

\*\* nahe der Nachweisgrenze der Analysatoren

**Tabelle 4.3-2:** Prozentuale Abweichung stickstoffhaltiger Abgaskomponenten im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

#### 4.4 Modalergebnisse unverbrannter Kohlenwasserstoffe

Die Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen können beim Diesel-Aggregat durch den hohen Luftüberschuss während der Verbrennung eher als unkritisch betrachtet werden, was auch die Ergebnisse zeigen. Die Größenordnung bewegt sich bei fast allen Komponenten nahe der Nachweisgrenze oder darunter.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf den Komponenten im Abgas, die nachweislich eine karzinogene Wirkung auf den Menschen haben. Dazu gehören vor allem die Aromaten und damit auch die aromatischen unverbrannten Kohlenwasserstoffe (AHC), die in **Tabelle 4.4-1** dargestellt werden. Die Ergebnisse zeigen allerdings, dass deren Anteil im Abgas der Prüffahrzeuge so gering ist, dass sie sich im Bereich der Nachweisgrenze der Analysatoren bewegen.

Prüffahrzeug	Kraftstoff	AHC [g/km]	CH <sub>4</sub> [g/km]	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> [g/km]	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> [g/km]	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> [g/km]	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> [g/km]
VW Golf IV	ohne RME	< 0,001 *	0,0055	0,0012	< 0,001 *	0,0040	< 0,001 *
	5 Vol.-% RME	< 0,001 *	0,0056	0,0015	< 0,001 *	0,0014	< 0,001 *
Opel Astra	ohne RME	< 0,001 *	0,0086	0,0017	< 0,001 *	0,0018	< 0,001 *
	5 Vol.-% RME	< 0,001 *	0,0083	0,0016	< 0,001 *	0,0008	< 0,001 *
Peugeot 307	ohne RME	< 0,001 *	0,0083	0,0015	< 0,001 *	0,0017	< 0,001 *
	5 Vol.-% RME	< 0,001 *	0,0085	0,0013	< 0,001 *	0,0006	< 0,001 *
während der Regeneration des Partikelfilters mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff		< 0,001 *	0,0113	0,0028	< 0,001 *	0,0017	< 0,001 *

\* unterhalb der Nachweisgrenze der Analysatoren

**Tabelle 4.4-1:** Unverbrannte Kohlenwasserstoffe im Abgas im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

#### 4.5 Modalergebnisse weiterer Abgaskomponenten

**Tabelle 4.5-1** zeigt die Ergebnisse der zeitdiskreten Analyse als Mittelwert aus jeweils drei Messungen mit Ausnahme der Messung während der Regeneration. Dabei liegen die Werte für die Komponenten n-Oktan (n-C<sub>8</sub>) und Carbonylsulfit (COS) unterhalb der Nachweisgrenze der Analysatoren. Bei der Betrachtung des zeitdiskreten (modalen) Verlaufs dieser Komponenten lässt sich keine sinnvolle Kurve erkennen, sondern nur ein Rauschen um den Nullpunkt.

Bei den übrigen Komponenten lässt sich keine signifikante Veränderung durch die Zumischung von RME erkennen.

Die Regenerationsphase zeigt gerade im Vergleich zu den übrigen Messungen einen erhöhten Ausstoß an Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), der aber absolut betrachtet noch auf niedrigem Niveau ist.

Prüffahrzeug	Kraftstoff	SO <sub>2</sub> [g/km]	COS [g/km]	MECHO [g/km]	CH <sub>2</sub> O [g/km]	n-C <sub>8</sub> [g/km]
VW Golf IV	ohne RME	0,0086	< 0,001 *	0,0253	0,0060	< 0,001 *
	5 Vol.-% RME	0,0086	< 0,001 *	0,0258	0,0064	< 0,001 *
Opel Astra	ohne RME	0,0072	< 0,001 *	0,0255	0,0077	< 0,001 *
	5 Vol.-% RME	0,0069	< 0,001 *	0,0232	0,0081	< 0,001 *
Peugeot 307	ohne RME	0,0085	< 0,001 *	0,0275	0,0060	< 0,001 *
	5 Vol.-% RME	0,0080	< 0,001 *	0,0313	0,0060	< 0,001 *
während der Regeneration des Partikelfilters mit Haltermann-Diesel-Kraftstoff		0,0489	< 0,001 *	0,0382	0,0088	< 0,001 *

\* unterhalb der Nachweisgrenze der Analysatoren

**Tabelle 4.5-1:** Zusätzliche Abgaskomponenten im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Messungen zum Einfluss der 5 Vol.-% RME-Beimischung auf das Emissionsverhalten und den Kraftstoffverbrauch haben keine signifikante Veränderung bei den geprüften Fahrzeugen gezeigt. Die Abweichungen liegen im Bereich der Messgenauigkeit und zeigen damit, dass im Neuen Europäischen Fahrzyklus das Emissionsverhalten durch die RME-Beimischung nicht beeinflusst wird.

Bei der Regeneration des Partikelfilters im Peugeot 307 HDI konnte anhand der einen durchgeführten Messung die signifikante Auswirkung der eingeleiteten Maßnahmen zum Auslösen der Filterregeneration nachgewiesen werden. Die Änderung der Kraftstoff-Einspritzung in Bezug auf Menge und Zeitpunkt zur Anhebung der Abgastemperatur zeigt sich im stark erhöhten CO-Ausstoß. Die damit zusammenhängende Erhöhung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe (HC) fällt moderater aus, da es sich um entflammbare Komponenten handelt und es zu einer Nachverbrennung im Partikelfilter kommt, die zum Erreichen der Abbrandtemperatur der Russpartikel notwendig ist.

Der starke Anstieg der NO<sub>x</sub>-Emissionen lässt sich möglicherweise auf die Deaktivierung der Abgasrückführung zurückführen, was für einen Anstieg des für die Regeneration notwendigen Sauerstoffgehalts im Abgas sorgt.

Der Abbrand der Russpartikel während der Regenerationsphase führt zu einer erhöhten Menge Asche, die auf den Filterplättchen gesammelt wird und das Gesamtergebnis der Partikelemission negativ beeinflusst.

## 6 Zusammenfassung

Seit Anfang des Jahres 2004 ist Dieselkraftstoff im Handel, der bis zu 5 % Biodiesel (Rapsölmethylester, RME) enthalten kann. Das ist nach der Diesel-Norm DIN EN 590 zulässig und im Sinne der EU-Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Mit dem Untersuchungsvorhaben sollte geprüft werden, ob sich durch den Biodieselanteil der Kraftstoffverbrauch und das Emissionsverhalten von PKW ändern. Drei Pkw unterschiedlicher Fabrikate (VW, Opel, Peugeot) wurden einmal mit dem Zertifizierungs-Kraftstoff der Firma Haltermann ohne Biodieselanteil und einmal mit einem Gemisch aus Zertifizierungskraftstoff und 5 Vol.-% RME hinsichtlich ihrer Emissionen und des Kraftstoffverbrauches vermessen.

Den Messungen liegt der neue europäische Fahrzyklus (NEFZ) gemäß Richtlinie 2003/76/EG zugrunde. Neben den limitierten Schadstoffen Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Partikel wurden auch CO<sub>2</sub> und andere nicht-limitierte Schadstoffe durch ein Infrarotspektrometer (FTIR) zeitdiskret erfasst. Der Kraftstoffverbrauch im jeweiligen Typ-Prüfzyklus gemäß Richtlinie 80/1268/EWG i.d.F. 2004/3/EG wurde aus den Emissionen der kohlenstoffhaltigen Abgaskomponenten (CO<sub>2</sub>, CO und HC) errechnet.

Die Vergleichsmessungen mit Haltermann-Zertifizierungs-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung ergaben, dass sich die Abgasemissionen durch die Biodieselbeimischung nicht signifikant ändern. Die Höhe der Emissionen der zusätzlich gemessenen nicht limitierten Komponenten bewegt sich teilweise in einem Bereich, der an die Nachweisgrenze der Analysatoren stößt und damit keine sinnvolle Vergleichsbasis liefert.

Während der Messungen mit dem Peugeot 307 HDI kam es zur Regeneration des Partikelfilters, was den Einfluss der eingeleiteten innermotorischen Maßnahmen auf die Schadstoff-Emissionen deutlich macht. Die innermotorischen Maßnahmen zur Erhöhung der Abgastemperatur, wie Änderung der Einspritzdauer und -zeiten, zeigen sich in einer starken Erhöhung der CO- und einer gemäßigten Erhöhung der HC-Emissionen.

Die vermutete Deaktivierung der Abgasrückführung bei der Regeneration des Filters zur Bereitstellung von zusätzlichem Sauerstoff zur Verbrennung der Partikel wirkt sich negativ auf die stickstoffhaltigen Komponenten aus (NO<sub>x</sub>), vor allem auf die Komponente NO.

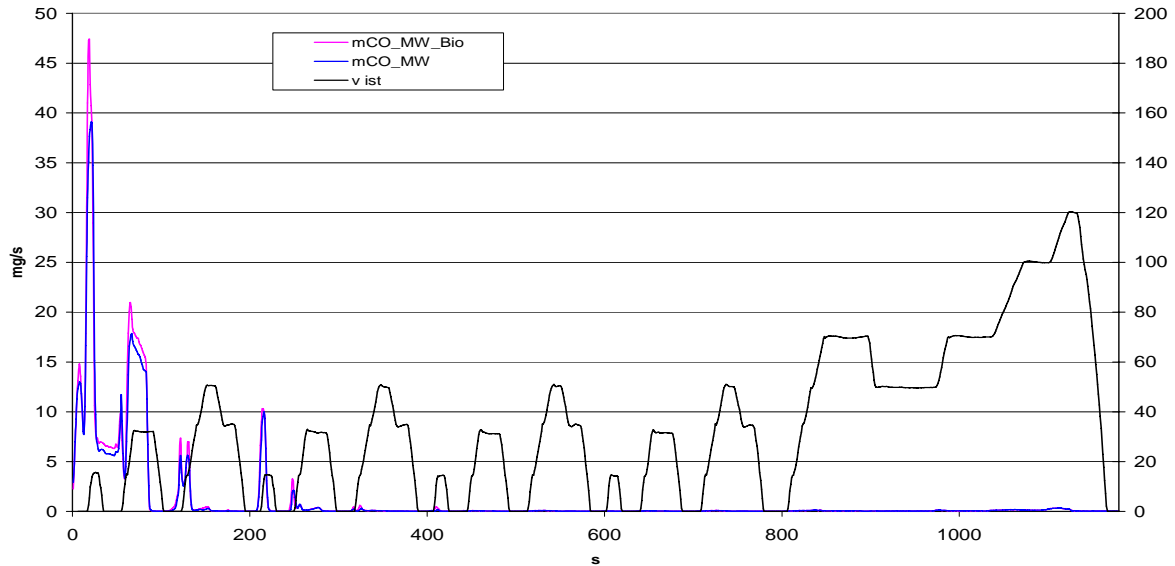
## 7 Literaturverzeichnis

- /1/ DIN EN 590 – Anforderungen an Dieselmotorkraftstoff vom März 2004
- /2/ Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor
- /3/ Richtlinie 2003/76/EG der Kommission vom 11. August 2003 zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen.
- /4/ 80/1268/EWG – Richtlinie des Rates vom 16. Dezember 1980 über die Kohlendioxidemissionen und den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen. Zuletzt geändert durch 2004/3/EG.

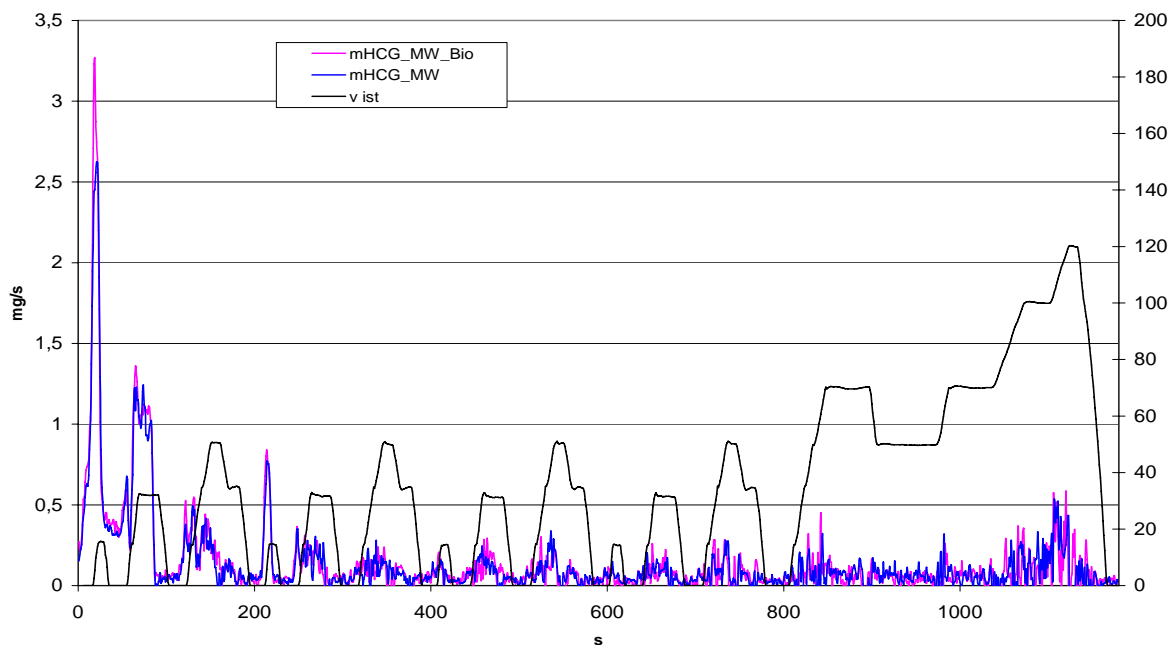


## 8 Anhang

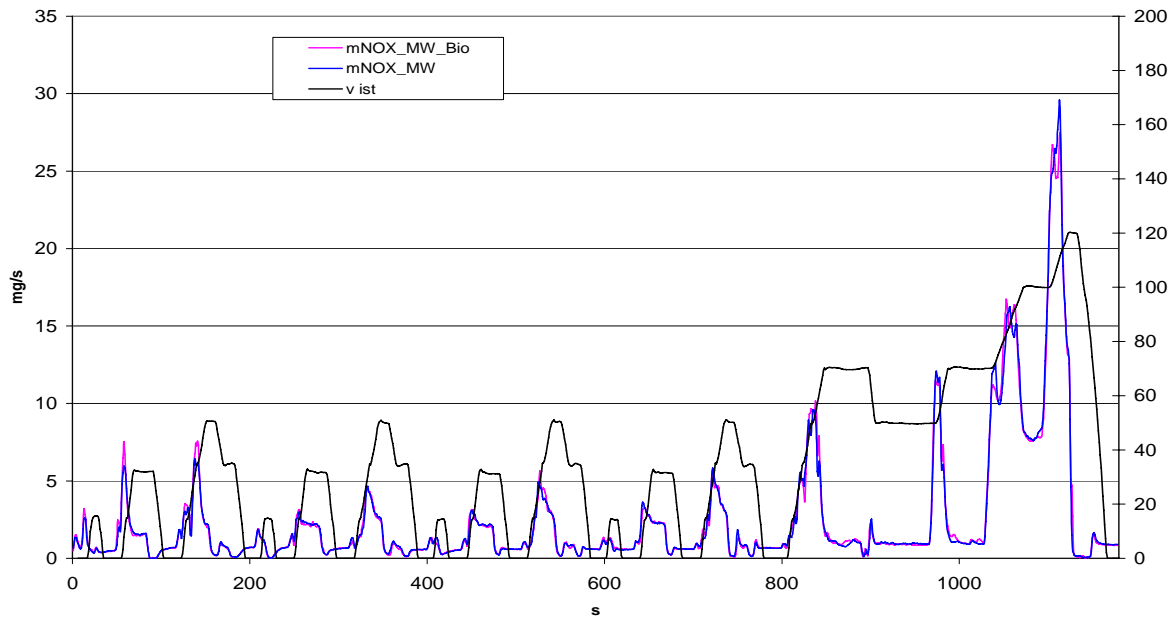
### 8.1 Modalverläufe limitierter Schadstoffe des VW Golf IV



**Bild 8.1-1:** Modalverlauf der CO-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug VW Golf IV über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

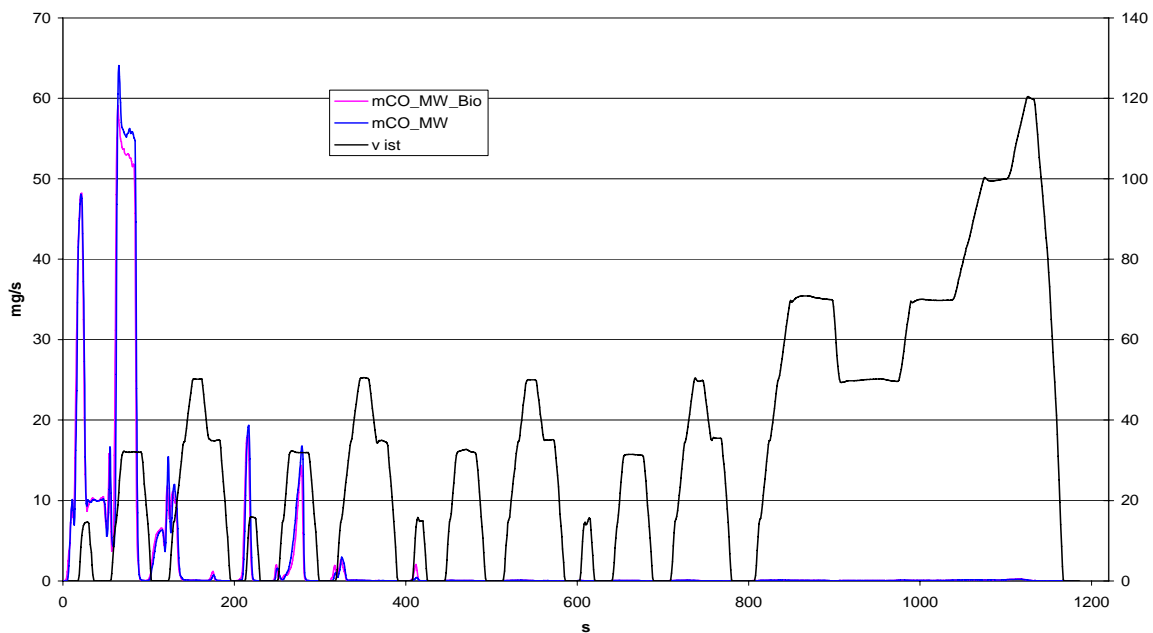


**Bild 8.1-2:** Modalverlauf der HC-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen von HC beim Prüffahrzeug VW Golf IV über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

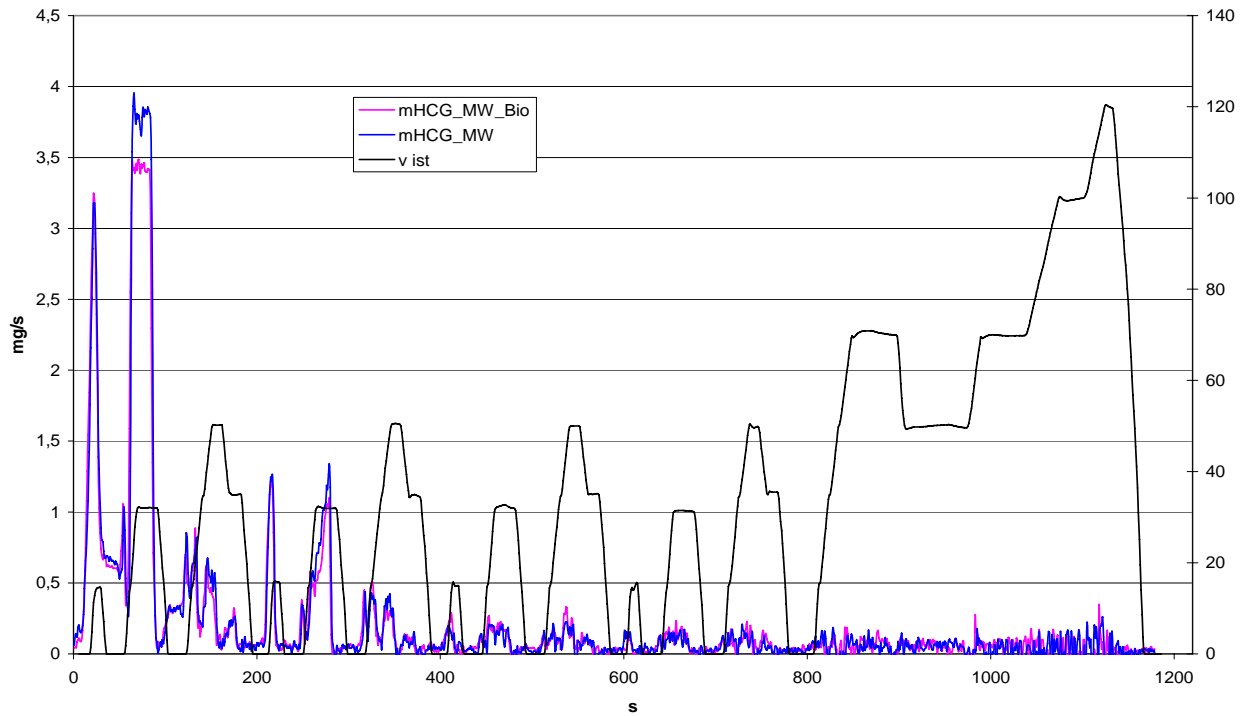


**Bild 8.1-3:** Modalverlauf der NOx-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug VW Golf IV über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

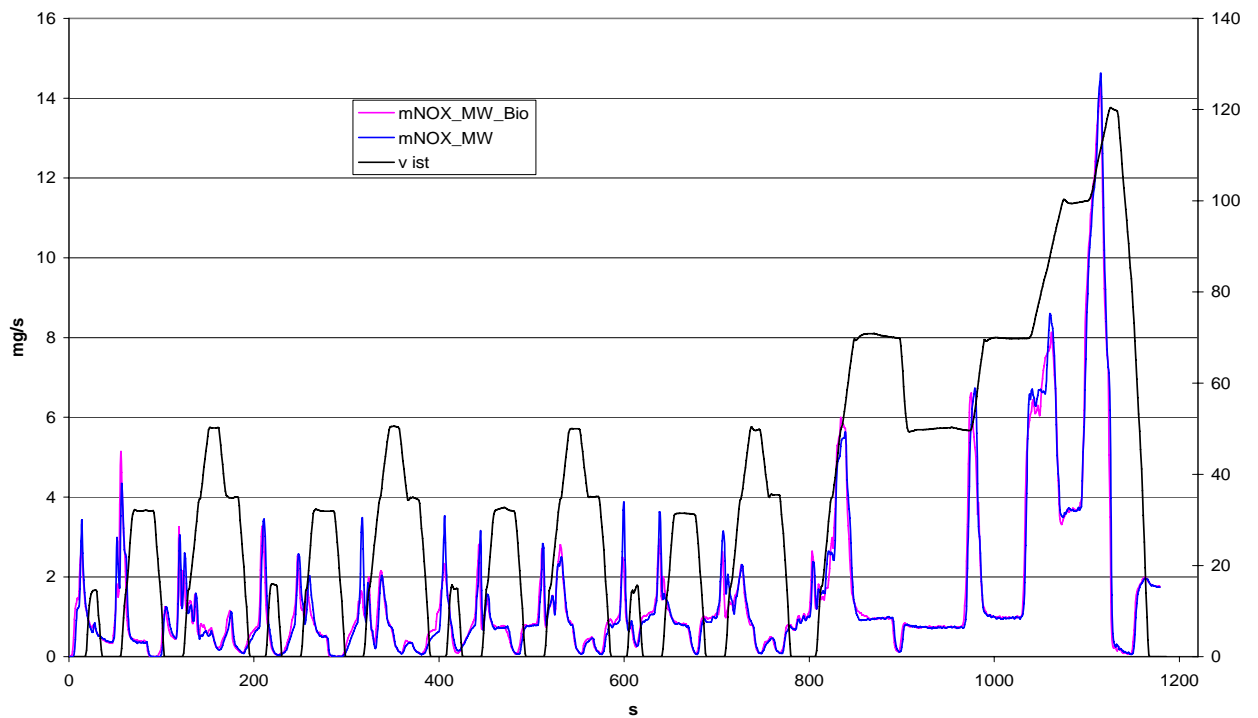
## 8.2 Modalverläufe limitierter Schadstoffe des Opel Astra



**Bild 8.2-1:** Modalverlauf der CO-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug Opel Astra über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

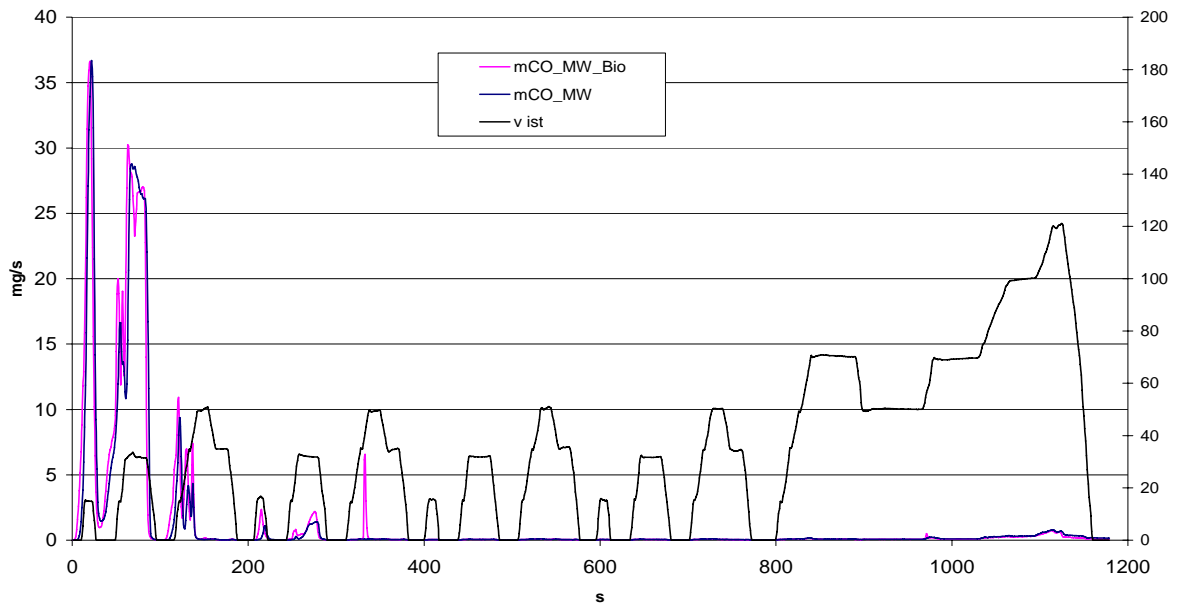


**Bild 8.2-2:** Modalverlauf der HC-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug Opel Astra über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

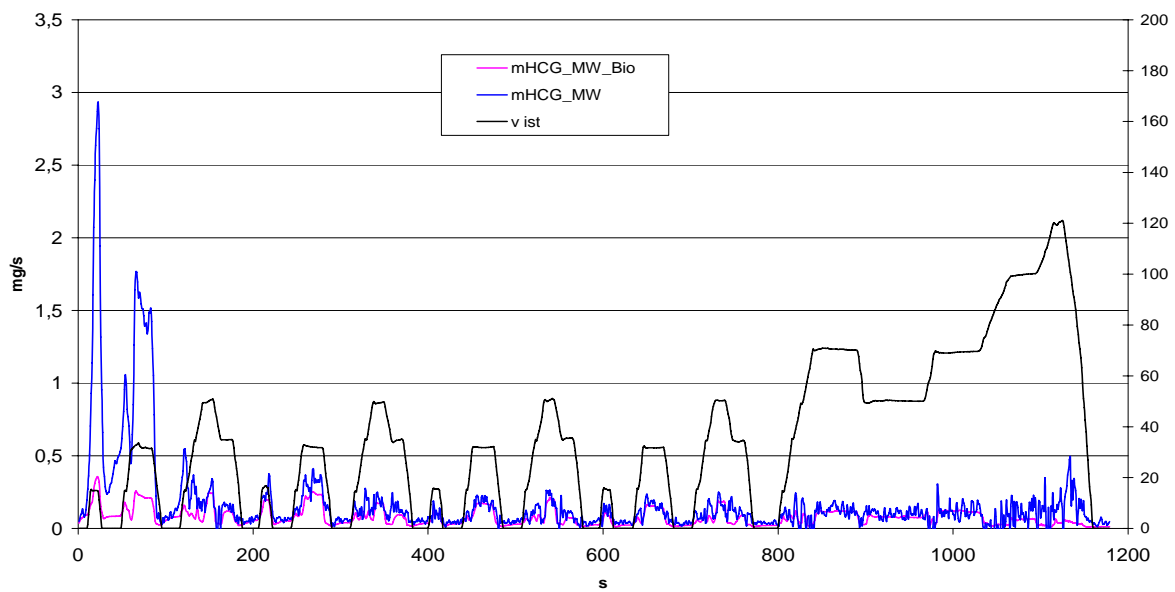


**Bild 8.2-3:** Modalverlauf der NOx-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug Opel Astra über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.

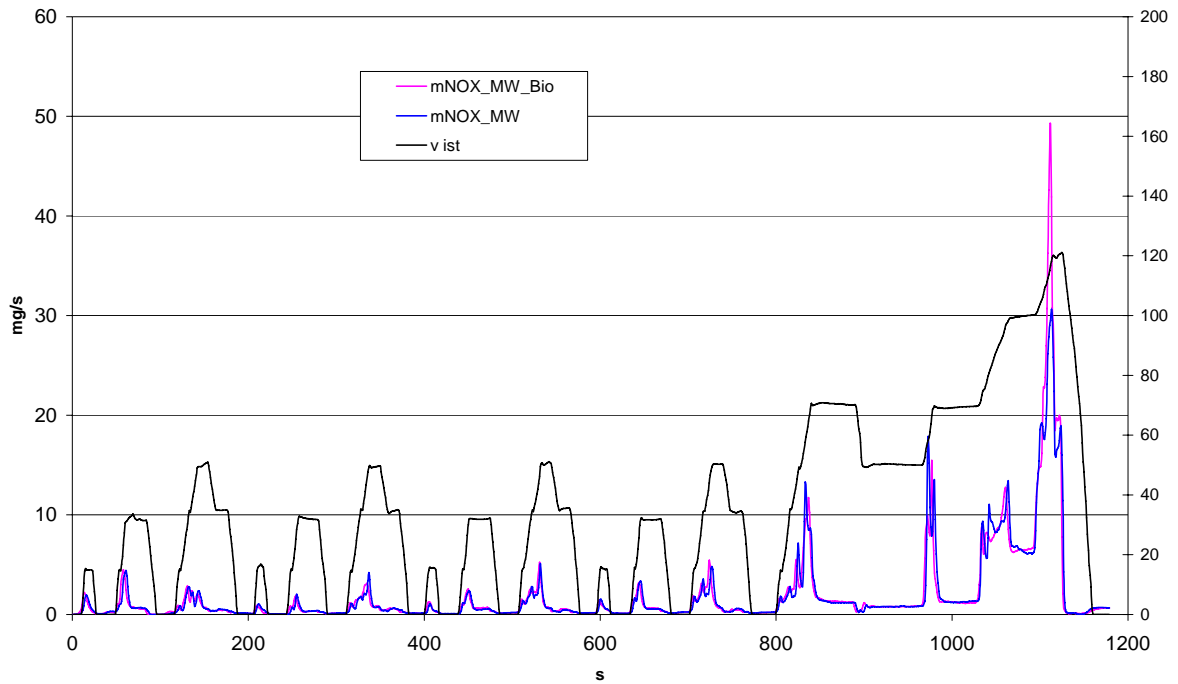
### 8.3 Modalverläufe limitierter Schadstoffe des Peugeot 307 HDI



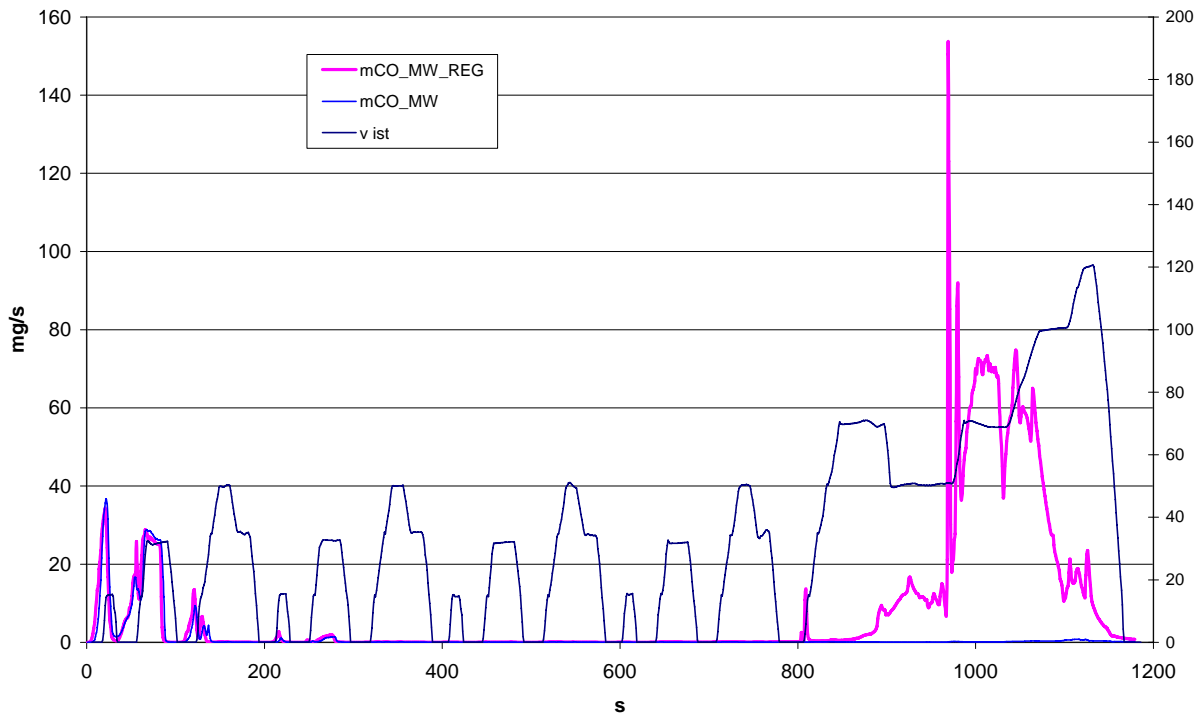
**Bild 8.3-1:** Modalverlauf der CO-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug Peugeot 307 HDI über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.



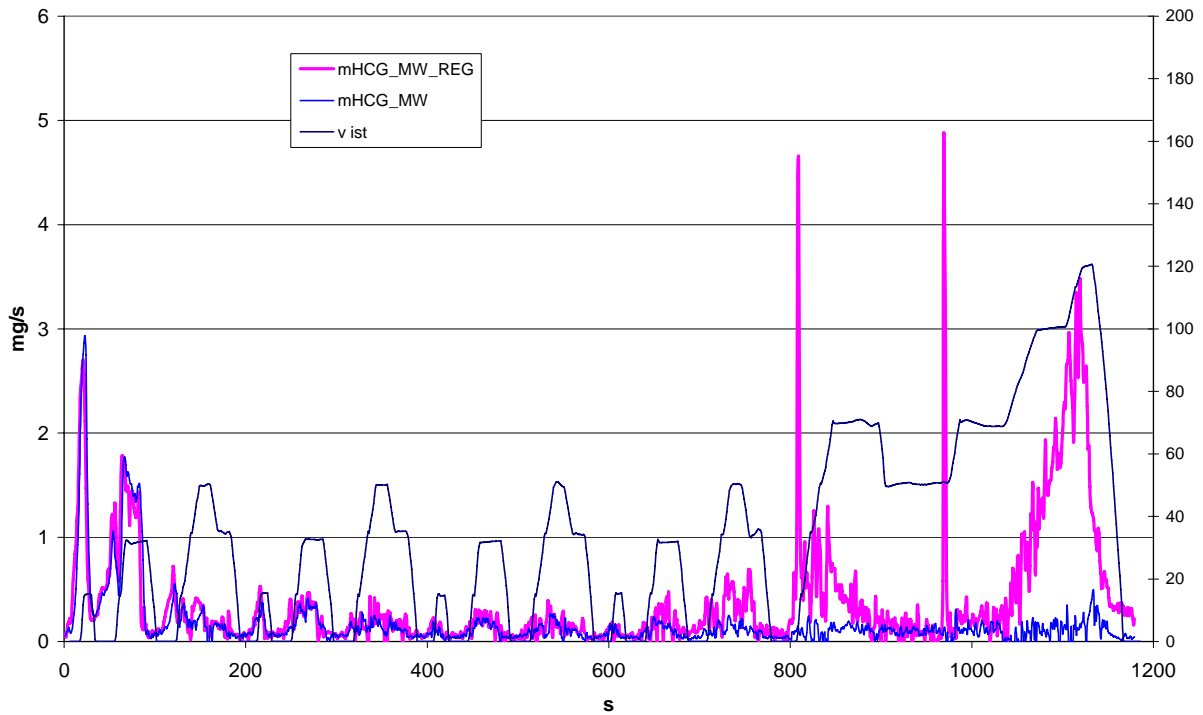
**Bild 8.3-2:** Modalverlauf der CO-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug Peugeot 307 HDI über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.



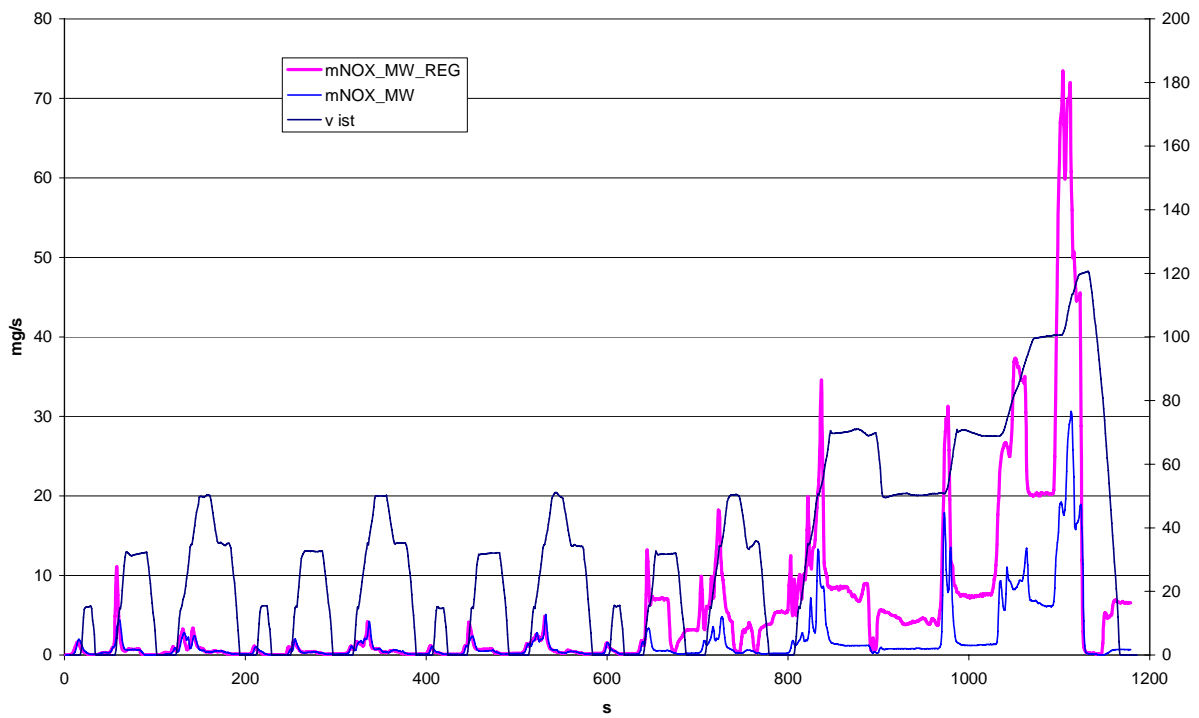
**Bild 8.3-3:** Modalverlauf der NOx-Mittelwerte aus jeweils drei Messungen beim Prüffahrzeug Peugeot 307 HDI über den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff mit und ohne 5 Vol.-% RME-Beimischung.



**Bild 8.3-4:** Modalverlauf von CO beim Prüffahrzeug Peugeot 307 während der Regeneration des Partikelfilters im Vergleich ohne Regeneration im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff.



**Bild 8.3-5:** Modalverlauf von HC beim Prüffahrzeug Peugeot 307 während der Regeneration des Partikelfilters im Vergleich ohne Regeneration im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff.



**Bild 8.3-6:** Modalverlauf von NOx beim Prüffahrzeug Peugeot 307 während der Regeneration des Partikelfilters im Vergleich ohne Regeneration im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) mit Haltermann Diesel-Kraftstoff.