

**Vermessung von Realemissionen in Betrieb  
befindlicher Stadtlinienbussen der Stadtwerke  
Osnabrück AG (SWO) mit EEV-Genehmigung auf  
ausgesuchten Streckenführungen**

**Abschlussbericht  
Nr. S-129.99.371.00**

Ein Vorhaben der Stadtwerke Osnabrück AG

von

**Sergej Dreger**

<b>INHALT</b>	<b>SEITE</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
1.1 Projektbeteiligte	4
<b>2 ZIELSETZUNG</b>	<b>5</b>
<b>3 VORGEHENSWEISE</b>	<b>5</b>
3.1 Allgemeines	5
3.2 Versuchsfahrzeuge	6
3.2.1 Gelenkbus Mercedes-Benz O 530 G Citaro EEV	6
3.2.2 Gelenkbus MAN A23 Lion's City G EEV	7
3.3 Streckenauswahl	8
3.4 Messtechnik und Fahrzeugausrüstung	9
3.4.1 Messtechnik für gasförmige Komponenten	9
3.4.2 Partikelmessstechnik	11
3.4.3 Messung des Abgasmassenstromes	13
3.4.4 Messung der Umgebungsdaten	15
3.4.5 Messung der geodätischen Daten	15
3.4.6 Geschwindigkeitsmessung	16
3.4.7 Messung der Abgastemperatur	16
3.4.8 Auslesen der CAN-Bus-Daten über die OBD-Schnittstelle	16
<b>4 ERGEBNISSE</b>	<b>17</b>
4.1 Allgemeine Vorgehensweise	17
4.2 Fahrdynamische Auswertungen	17
4.2.1 Lastpunkte im Motorkennfeld	17
4.2.2 Motordrehzahl in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	18
4.2.3 Geschwindigkeitsverteilung	19
4.3 Emissionsergebnisse im Realbetrieb	22
4.3.1 Streckenbezogene Ergebnisse	22
4.3.2 Arbeitsbezogene Ergebnisse	22
4.3.3 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der NO <sub>x</sub> -Emissionen	26
4.3.4 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der NO <sub>2</sub> -Emissionen	31
4.3.5 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der CO <sub>2</sub> -Emissionen	32
4.3.6 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der CO-Emissionen	33

4.3.7	Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der THC-Emissionen	34
4.3.8	Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der Ruß-Emissionen	34
4.3.9	Abgastemperaturverteilung	35
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>SCHLUSSBESCHEINIGUNG</b>	<b>39</b>

## 1 Einleitung

Für die Luftreinhaltung stellt die hohe Immissionsbelastung durch NO<sub>2</sub> an vielen verkehrsnahen Messstellen ein massives Problem dar. Als mögliche Ursache sind Dieselfahrzeuge anzusehen. Stadtlinienbusse tragen neben dieselbetriebenen Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen zu der NO<sub>x</sub>-Emission in den Innenstädten bei. In den Grenzwertstufen EURO III bis EURO V (EEV) konnte die Absenkung der Grenzwerte nicht analog bei den Realemissionen wiedergefunden werden. Je nach eingesetzter Technologie wurde sogar, unter bestimmten Randbedingungen, eine Zunahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen beobachtet. Auch lässt sich eine starke Zunahme des NO<sub>2</sub>-Anteils am NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>-Direktemission) seit etwa dem Jahr 2000 bzw. der Stufe EURO III aufzeigen.

Entscheidend für die Immissionssituation ist jedoch die Frage, wie hoch die Emissionen der Stadtlinienbussen im realen Fahrbetrieb sind.

Wie viele Kommunen weist auch Osnabrück eine erhebliche Problematik mit Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwertes (40 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel) an stark verkehrsbelasteten innerstädtischen Straßen auf, so dass Anstrengungen unternommen werden, diese Situation zu verbessern. Es ist insbesondere eine erhebliche Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in Innerortssituationen notwendig, um möglichst bald eine Einhaltung der Immissionsgrenzwerte erreichen zu können.

Abgasmessungen während des Fahrbetriebs können mit einem sogenannten Portable Emission Measurement System (PEMS) erfolgen. Die Emissionen werden dabei von Abgasmessgeräten erfasst, die im Fahrzeug installiert sind. Seit der Grenzwertstufe EURO VI sind solche Messungen bei realen Straßenfahrten mit PEMS-Messtechnik auch in der Abgasgesetzgebung für Nutzfahrzeuge verankert [1]. Neben einer Demonstrationsfahrt während des Typprüfprozesses muss der Fahrzeughersteller auch über die Gesamtdauer der Serienfertigung und darüber hinaus, regelmäßig Fahrzeuge aus dem Feld mit diesem Verfahren vermessen und so die Richtlinienkonformität (In-Service-Conformity ISC) nachweisen.

### 1.1 Projektbeteiligte

**Auftraggeber:** Stadtwerke Osnabrück AG  
Alte Poststr. 9  
D-49074 Osnabrück

**Technischer Dienst:** TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG  
Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität  
Adlerstraße 7  
D-45307 Essen

## **2 Zielsetzung**

Ziel dieses Projektes war die Erfassung der Fahrzeugemissionen von zwei EEV-Stadtlinienbussen mit unterschiedlichen Arten der Abgasnachbehandlung unter definierten Realbedingungen mittels mobiler Emissionsmesstechnik (PEMS) auf einer ausgewählten Versuchsstrecke (Linie 41) in Osnabrück. Bei den Testfahrzeugen handelte es sich um einen Gelenkwagen vom Typ MAN A23 Lion's City G EEV und um einen Gelenkwagen vom Typ Mercedes-Benz Citaro O 530 G EEV.

Die Versuchsstrecke sollte typischen Stadtlinienbusbetrieb in der Stadt Osnabrück widerspiegeln und wurde im Vorfeld der Messungen vom Auftraggeber ausgesucht.

## **3 Vorgehensweise**

### **3.1 Allgemeines**

Für die Vermessung der Busse im Realbetrieb der Stadtwerke Osnabrück wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

Vor Messbeginn wurden die Testfahrzeuge bezüglich des technischen Zustandes der Abgasnachbehandlung sichtgeprüft und der Fehlerspeicher wurde ausgelesen, um die Fehlerfreiheit der Abgasnachbehandlungssysteme zu überprüfen.

Nach erfolgter Aufrüstung mit der entsprechenden Messtechnik, wurden die Testfahrzeuge auf der Linie 41 im Realbetrieb vermessen.

Zur Vermessung wurden die Fahrzeuge mit ca. 30%-Zuladung versehen.

Zur Erreichung einer realistischen Ausladung wurden Zusatzgewichte geladen, so dass eine Gesamtzuladung inklusive Messtechnik und Messpersonal von ca. 3 Tonnen realisiert wurde. Die so vorbereiteten Fahrzeuge wurden jeweils in mindestens fünf Umläufen auf der Linie 41 gefahren, um eine ausreichende Datenbasis zu erhalten.

## 3.2 Versuchsfahrzeuge

### 3.2.1 Gelenkbus Mercedes-Benz O 530 G Citaro EEV

Als erstes Versuchsfahrzeug stand ein Gelenkwagen vom Typ Mercedes-Benz Citaro O 530 G EEV zur Verfügung. Abbildung 1 zeigt das Versuchsfahrzeug. In der Tabelle 1 sind die technischen Daten des Fahrzeuges zusammengefasst. Das Fahrzeug ist nach EURO V / EEV-Abgasnorm (EG-Richtlinie 1999/96/EG;C;EEV) typgenehmigt.

**Abbildung 1:** Gelenkbus Mercedes-Benz Citaro O 530 G EEV



**Tabelle 1:** Technische Daten Mercedes-Benz Citaro O 530 G EEV

<b>Fahrzeug</b>	Gelenkbus Mercedes-Benz O 530 G Citaro EEV
<b>Amtliches Kennzeichen</b>	OS-L 9043
<b>Motortyp</b>	Mercedes-Benz OM 457 hLA EEV
<b>Motorleistung</b>	220 kW bei 2000 min <sup>-1</sup>
<b>Motordrehmoment</b>	1250 Nm bei 1100 min <sup>-1</sup>
<b>Getriebe</b>	Voith DIWA® D 854.5E 4-Gang Automatgetriebe Hinterachsübersetzung: 5,77
<b>Fahrzeugleermasse</b>	17050 kg
<b>Masse Testfahrzeug</b>	20340 kg
<b>Km-Stand bei Messbeginn / Messende</b>	417750,8 km / 417925,3km
<b>Abgasnachbehandlung</b>	Partikelfilter (CRT®) und SCR

### 3.2.2 Gelenkbus MAN A23 Lion's City G EEV

Das zweite Versuchsfahrzeug war ein Gelenkbus vom Typ MAN A23 Lion's City G EEV. Das Versuchsfahrzeug ist in Abbildung 2 dargestellt. Die technischen Daten sind in der Tabelle 2 zusammengefasst. Das Fahrzeug ist nach EURO V / EEV-Abgasnorm (EG-Richtlinie 1999/96/EG;C;EEV) typgenehmigt.

**Abbildung 2:** Gelenkbus MAN A23 Lion's City G EEV



**Tabelle 2:** Technische Daten MAN A23 Lion's City G EEV

<b>Fahrzeug</b>	Gelenkbus MAN A23 Lion's City G EEV
<b>Amtliches Kennzeichen</b>	OS-S 3696
<b>Motortyp</b>	D 2066 LUH EEV
<b>Motorleistung</b>	235 kW bei 1900 min <sup>-1</sup>
<b>Motordrehmoment</b>	1600 Nm bei 1000 min <sup>-1</sup>
<b>Getriebe</b>	Voith DIWA <sup>®</sup> D 864.5E, 4-Gang Automatgetriebe Hinterachsübersetzung: 5,74
<b>Fahrzeugleermasse</b>	16800 kg
<b>Masse Testfahrzeug</b>	20120 kg
<b>Km-Stand bei Messbeginn / Messende</b>	302546,6 km / 302718,8 km
<b>Abgasnachbehandlung</b>	Abgasrückführung, Partikelfilter (CRT <sup>®</sup> )

### 3.3 Streckenauswahl

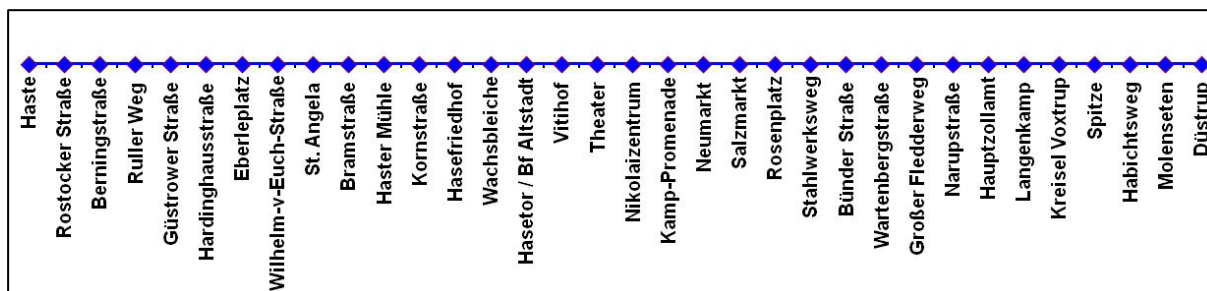
Als Versuchsstrecke wurde im Vorfeld des Projektes durch den Auftraggeber die Linie 41 ausgewählt. Die Linie 41 ist ca. 13 km lang und besitzt eine eher ebene Topographie.

Um hinreichend viele Daten zu erhalten, wurde bei den Messfahrten die Linienführung mehrfach durchfahren, jeweils in mindestens fünf Linienumläufen pro Testfahrzeug. Die Tabelle 3 zeigt die Strecke mit den zugeordneten Kennziffern (Strecken ID). Die Abbildung 3 zeigt den Streckenverlauf der befahrenen Linie 41.

**Tabelle 3: Messablauf für die Versuchsfahrzeuge**

ID Strecke	Linie	Startstelle	Endstelle
1	41	Haste	Düstrup
2	41	Düstrup	Haste

**Abbildung 3: Streckenverlauf der Linie 41**





## 3.4 Messtechnik und Fahrzeugausrüstung

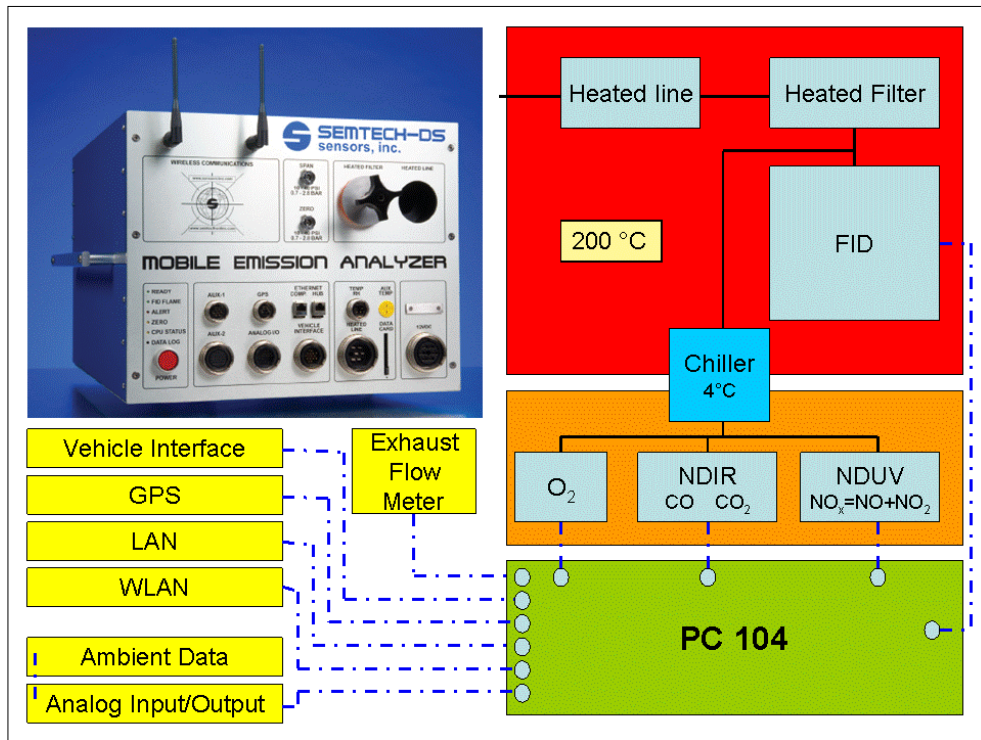
Ziel bei der Vermessung der Realemissionen von Fahrzeugen ist es, möglichst Ergebnisse zu erzeugen, die mit Messwerten aus Typprüfungen vergleichbar sind. Seit der Einführung der Grenzwertstufe EURO VI gibt es ein beschriebenes Verfahren, mit Straßenmessfahrten Ergebnisse zu erzeugen, die eine Beurteilung der Richtlinienkonformität ermöglichen (ISC – In Service Conformity). Die Messungen auf den Linienführungen in Osnabrück entsprechen zwar von der Streckenführung nicht den Vorgaben der Vorschrift, sind aber bezüglich der messtechnischen Ausrüstung vorschriftenkonform.

Die an dem Fahrzeug installierte Messtechnik wurde über ein eigenes Stromaggregat, welches bei den Messfahrten im Fahrzeug mitgeführt wurde, mit elektrischer Energie versorgt. Grundsätzlich wäre auch eine Verbindung mit dem elektrischen Netz des Fahrzeuges möglich. Um den Belastungszustand des Motors durch eine höhere Belastung der Lichtmaschine nicht zu verfälschen, wurde darauf jedoch verzichtet.

### 3.4.1 Messtechnik für gasförmige Komponenten

Für die Messung der gasförmigen Komponenten wurde das SEMTECH-DS der Firma Sensors benutzt. Der prinzipielle Aufbau des Systems entspricht der Messtechnik, die in den Regelwerken der EG zur Messung von Dieselmotoren im unverdünnten Abgas beschrieben ist und entspricht dem europäischen PEMS Protokoll für Messungen zur „In-Service-Conformity“. Das System besitzt einen beheizten Teil, der die Entnahmeleitung von der Messgassonde, ein beheiztes Filter und den FID (Flammen-Ionisations-Detektor) zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe beinhaltet. Die Beheizung auf mindestens 180 °C ist notwendig, um Kondensation von Kohlenwasserstoffen zu verhindern. Ein Teilstrom des Messgases wird zur Trocknung über einen Kühler geführt und dann dem NDIR Analysator (Nicht-Dispersiver-Infrarot-Analysator) zur Bestimmung der CO- und CO<sub>2</sub>- Konzentration, dem elektrochemischen O<sub>2</sub>- Analysator und der NDUV-Messbank (Nicht-Dispersive-Ultraviolet-Messbank) zur Bestimmung von NO und NO<sub>2</sub> zugeführt. Die Trocknung ist notwendig, da diese Messgeräte nicht mit feuchtem Abgas betrieben werden können. Ein im Messsystem angeordneter Rechner verwaltet das Gesamtsystem und führt die Daten aus den unterschiedlichen Quellen zusammen. Die Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Spezifikationsdaten der verwendeten Analysatoren. Neben dem eigentlichen Analysesystem können ebenfalls Daten aus einem GPS-System, einem Abgasmassensensor und diversen analogen und digitalen Eingängen gesammelt werden. Angeschlossen sind auch Sensoren zur Erfassung der atmosphärischen Daten. Zur Bedienung des Systems wird ein externer Rechner mit der entsprechenden Software über ein LAN angebunden. Die Abbildung 4 zeigt das Messsystem SEMTECH DS der Firma Sensors und verdeutlicht den grundsätzlichen Systemaufbau.

**Abbildung 4:** Semtech-DS – Messgerät [Quelle: Sensors]



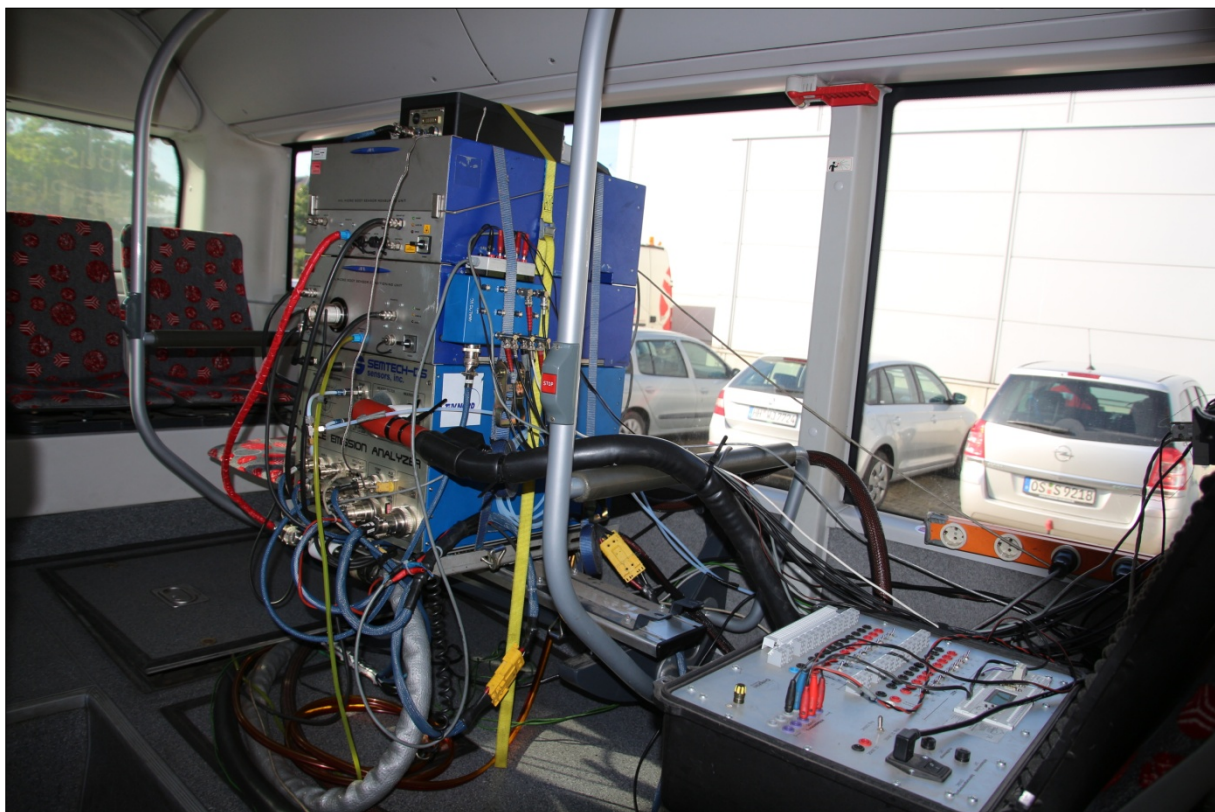
**Tabelle 4:** Spezifikationen des SEMTECH DS [Quelle: Sensors]

SEMTECH-DS System Specifications								
Gas	CO	CO2	NO	NO2	THC			
Range	0 - 8%	0 - 20%	0 - 3,000 ppm 0 - 900 ppm 0 - 300 ppm	0 - 500 ppm 0 - 300 ppm 0 - 100 ppm	0 - 100 ppmC	0 - 1,000 ppmC	0 - 10,000 ppmC	0 - 40,000 ppmC
Resolution	10 ppm	0.01%	0.1 ppm	0.1 ppm	0.1 ppmC	1 ppmC	1 ppmC	10 ppmC
Accuracy	±3% of reading or ± 50 ppm	±3% of reading or ± 0.1%	±2% of pt or ±2% of meas	±2% of pt or ±2% of meas	±2.0 % of reading or ±5 ppmC	±2.0 % of reading or ±5 ppmC	±2.0 % of reading or ±25 ppmC	±2.0 % of reading or ±100 ppmC
Linearity	Intercept ≤0.5 % of range 0.990 ≤Slope ≤1.01 SEE ≤1.0 % of range r <sup>2</sup> ≥0.998			Intercept ≤1.0 % of range 0.985 ≤Slope ≤1.015 SEE ≤1.0 % of range r <sup>2</sup> ≥0.998	Intercept ≤0.5 % of range 0.990 ≤Slope ≤1.01 SEE ≤1.0 % of range r <sup>2</sup> ≥0.998			
Repeatability	± 2 % of reading or 20 ppm	± 2 % of reading or ±0.05 %	±1% of pt or ±1% of meas	±1% of pt or ±1% of meas	±1.0 % of reading or ±2 ppmC	±1.0 % of reading or ±2 ppmC	±1.0 % of reading or ±10 ppmC	±1.0 % of reading or ±40 ppmC
Noise	±20 ppm	±0.02%	±1% max	±1% max	± 2 ppmC	± 2 ppmC	± 10 ppmC	± 40 ppmC
Span Drift	± 2 % of reading or 20 ppm	± 2 % of reading or 0.1 %	± 2 % of span value	±2% of span value	±1.0 % of reading or 3 ppmC	±1.0 % of reading or 3 ppmC	±1.0 % of reading or 15 ppmC	±1.0 % of reading or 60 ppmC
Zero Drift	±0.005 % (50 ppm)	±0.1 %	± 2 ppm	± 2 ppm	± 5 ppmC	± 5 ppmC	± 10 ppmC	± 20 ppmC
Response Time	T90 ≤ 3 seconds	T90 ≤ 3 seconds	T90 ≤ 2 seconds	T90 ≤ 2 seconds	T90 ≤ 2 seconds	T90 ≤ 2 seconds	T90 ≤ 2 seconds	T90 ≤ 2 seconds
Flow Rate	2 lpm	2 lpm	3 lpm	3 lpm	2 lpm	2 lpm	2 lpm	2 lpm
Data Rate	0.833 Hz	0.833 Hz	1 Hz	1 Hz	up to 4 Hz	up to 4 Hz	up to 4 Hz	up to 4 Hz

Die zum Betrieb des Messsystems notwendigen Gase wurden im Bus mitgeführt. Da der gesamte Gasentnahmeweg sowie ein Teil des Messsystems auf 190°C beheizt werden, ist vom Zeitpunkt des Einschaltens des Gerätes bis zur Betriebsbereitschaft mindestens eine Stunde Aufwärm- und Vorbereitungszeit erforderlich. Am Ende dieser Vorbereitung muss das System kalibriert werden. Die Kalibrierung der Analysatoren wurde bei den Messungen dieses Projektes vor jeder Messfahrt durchgeführt und bei Zwischenstopps während der Fahrt nochmals überprüft.

Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Messgeräteinstallation im Versuchsfahrzeug.

**Abbildung 5:** Emissionsmesstechnik im Fahrzeug



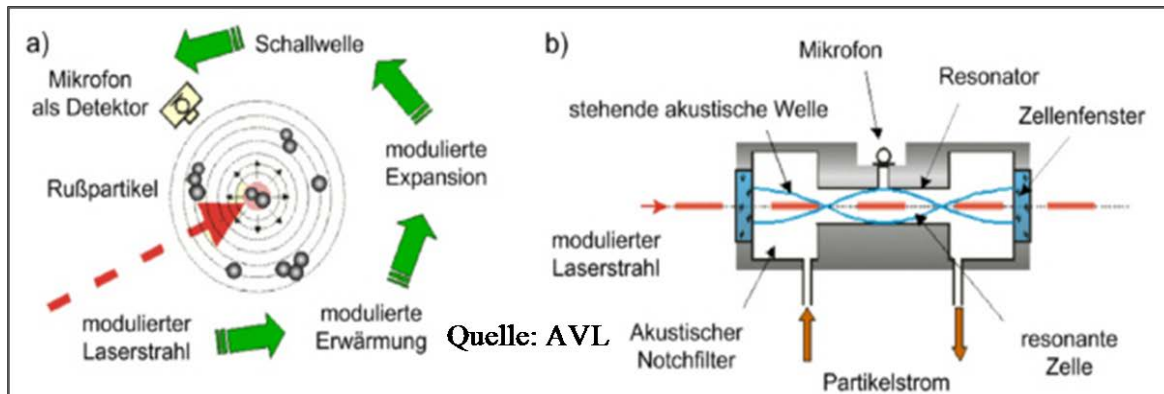
### 3.4.2 Partikelmesstechnik

Zur Messung der Partikelemissionen wurde der Micro Soot Sensor 483 der Firma AVL benutzt. Die Abbildung 6 zeigt das Messgerät. Das Messprinzip des Micro Soot Sensors basiert auf der photoakustischen Spektroskopie. Das Messgas wird mit einem modulierten Laserlicht bestrahlt. Dadurch werden die schwarzen, stark absorbierenden Rußpartikel periodisch erwärmt und wieder abgekühlt. Die daraus resultierende Ausdehnungen und Kontraktionen des Trägergases verursachen zyklische Gasschwingungen, die mit einem empfindlichen Mikrofon detektiert werden. Partikelfreie Luft produziert kein Signal, bei rußbeladener Luft ist das Signal proportional zur Konzentration des Rußes im Messgas. Da das Messgerät kohlenstoffsensitiv arbeitet, d.h. nur den elementaren Kohlenstoff detektiert, nicht aber die Gesamtheit der Partikel, sind die Messwerte nicht direkt mit den Werten aus gravimetrischen Messungen vergleichbar. In der Abbildung 7 sind das Funktionsprinzip der photoakustischen Spektroskopie (a) und der Aufbau einer fotoakustischen Zelle (b) dargestellt. In der Tabelle 5 sind die Spezifikationen des Messgerätes aufgeführt.

**Abbildung 6:** AVL 483 Micro Soot Sensor [Quelle: AVL]



**Abbildung 7:** Funktionsprinzip und Aufbau einer fotoakustischen Messzelle [Quelle: AVL]



**Tabelle 5: Spezifikationen des AVL 483 Micro Soot Sensors [Quelle: AVL]**

<b>MESSEINHEIT</b>	
Messwert:	Rußkonzentration (mg/m <sup>3</sup> , µg/m <sup>3</sup> ) im verdünnten Abgas
Messbereich:	0 – 50 mg/m <sup>3</sup>
Auflösung Anzeige:	0,001 mg/m <sup>3</sup>
Erfassungsgrenze:	~ 5 mg/ m <sup>3</sup>
Stellverhältnis:	1 : 5.000
Datenübertragungsrate:	Digital: 10 Hz
	Analog: 100 Hz
Anstiegszeit:	≤ 1 sec
Betriebstemperatur:	5 °C bis 43 °C
Durchfluss Sonde/Bypass:	~ 2 + 2 l/min
Schnittstellen:	RS232, Digital I/O, Analog I/O, Ethernet
Laserklasse:	Lasergerät Klasse 1
<b>KONDITIONIEREINHEIT</b>	
Verdünnungsverhältnis (DR):	Verstellbar von 2 – 10 und von 10 – 20
	Das tatsächliche Verdünnungsverhältnis wird mit der unten stehenden Genauigkeit angegeben
Datenübertragungsrate:	Digital: max. 5 Hz
	Analog: 50 Hz
Genauigkeit (DR Anzeige):	max. ± 3 % im Bereich von DR [2..10],
	max. ± 10 % im Bereich von DR [10..20]
Stromversorgung:	90 bis 230 V, 50/60 Hz
Druckluft:	Eingangsdruck 1 ± 0,2 bar Überdruck
Durchfluss:	> 4 l/min
Abgastemperatur:	Bis 1000 °C
Abgasgegendruck	Bis 2000 mbar
Druckpulsationen:	± 1000 mbar, aber max. 50 % des Abgasgegendrucks
Blowby-Menge	Abhängig vom Druck, ~ 20 l/min bei 1000 mbar
Stromversorgung:	90 bis 240 V AC, 50/60 Hz, 500 VA
Maße Gerät:	Messeinheit: B x H x T ~ 19" x 5HE x 530 mm
	Konditioniereinheit: B x H x T ~ 19" x 5HE x 530 mm
Gewicht Gerät:	Messeinheit: ~20 kg
	Konditioniereinheit: ~ 12 kg

### 3.4.3 Messung des Abgasmassenstromes

Zur Messung des Abgasmassenstromes kommt ein EFM (Electronic Flow Meter) der Firma SENSORS zum Einsatz. Das System arbeitet nach dem Prandtl'schem-Staurohr Prinzip, wobei über den dynamischen Staudruck im Vergleich zum statischen Druck die durchströmende Masse ermittelt wird. Die Abbildung 8 zeigt das Messrohr und die Auswerteeinheit. Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Spezifikationen des Messsystems. Die Abbildung 9 zeigt beispielhaft das am Testfahrzeug montierte EFM-Messrohr.

**Abbildung 8:** Electronic Flow Meter [Quelle: Sensors]



**Tabelle 6:** Spezifikationen des SEMTECH-EFM [Quelle: Sensors]

Exhaust temperature range:	-5°C to 700°C standard, higher temp capability available upon request
Exhaust temperature accuracy:	±1% of reading or ±2°C, whichever is greater
Flow measurement linearity:	< 1.0% of full scale exceeds 1065 Subpart D and ISO 16183 standards
Flow measurement accuracy:	±2% of reading or ±0.5% of full scale, whichever is greater
Warm up time:	< 5 minutes at 20°C ambient
System response time:	< 2 ms
Data rate:	5 Hz standard; 500 Hz with High Speed Option (100 Hz display rate)
Resolution:	0.1 SCFM
Power requirement:	12 VDC, 30 W; 110VAC
Communications:	RS232
Control module dimensions:	36cm x 18cm x 10cm (LxDxW)
Control module weight:	4 kg (9 lbs)

**Abbildung 9:** EFM-Messrohr am Fahrzeug



#### **3.4.4 Messung der Umgebungsdaten**

Zur Bestimmung der Korrekturfaktoren bei der Auswertung der Messungen ist die Kenntnis der Umgebungsdaten zwingend erforderlich. Temperatur und Umgebungsdruck sowie die relative Feuchte wurden durch geeignete Sensoren erfasst. Die Anordnung der Temperatur- und Feuchtemessstelle wurde hierbei so gewählt, dass sie nahe an der Ansaugung der Motorverbrennungsluft liegen. Es wurde ein handelsüblicher kombinierter Sensor zur Erfassung der Lufttemperatur und der relativen Feuchte benutzt und die Signale wurden über die analogen Eingänge des SEMTECH-DS aufgenommen.

#### **3.4.5 Messung der geodätischen Daten**

Zur Messung der geodätischen Größen diente ein GPS-System. Neben den Längen- und Breitengraden wurden die Geschwindigkeit über Grund sowie die Höhe über NN aufgezeichnet.

### 3.4.6 Geschwindigkeitsmessung

Neben der Geschwindigkeitsmessung über das GPS-System wurde parallel die Geschwindigkeit über ein optisches Messsystem der Firma Datron, Typ DLS 1 ermittelt. Das Signal des Systems wurde aufbereitet und über einen Analogeingang dem SEMTECH-DS zugeführt. Das Geschwindigkeitssignal wurde als redundantes System zum GPS-System benutzt, da Verbindungsausfälle des GPS-Systems möglich sind und so Fehlsignale entstehen können.

### 3.4.7 Messung der Abgastemperatur

Um die Betriebszustände des Abgasnachbehandlungssystems beschreiben zu können, wurde bei beiden Testfahrzeugen die Abgastemperatur am Ausgang der Abgasnachbehandlung gemessen. Beim Versuchsfahrzeug 2 (MAN) konnte noch die Abgastemperatur vor Abgasnachbehandlung gemessen und aufgezeichnet werden, beim Versuchsfahrzeug 1 (Mercedes-Benz) war die Messmöglichkeit der Abgastemperatur vor Abgasnachbehandlung nicht gegeben.

### 3.4.8 Auslesen der CAN-Bus-Daten über die OBD-Schnittstelle

Beim Versuchsfahrzeug 2 (MAN) wurden weitere diverse Motorkenngrößen über die OBD-Schnittstelle ausgelesen und aufgezeichnet. Erfasst wurden dabei folgende Messgrößen:

- Fahrzeuggeschwindigkeit
- Motordrehzahl
- Motorlast und –drehmoment
- Kühlmitteltemperatur
- Öltemperatur

Beim Versuchsfahrzeug 1 (Mercedes-Benz) war das Auslesen der Daten über die OBD-Schnittstelle aufgrund eines nicht standardisierten, herstellereigenen Datenprotokolls nicht möglich.



## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die aufgezeichneten Messdaten wurden auf ihre Plausibilität hin überprüft und gegebenenfalls mit geeigneten Verfahren nachbehandelt, um offensichtliche Ausreißer u.ä. zu streichen. Aus den zeitlichen Signalverläufen der gasförmigen Emissionen (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>) und des Abgasmassenstromes wurden anschließend die emittierten Schadstoffmassen berechnet.

Die in Kapitel 4.3 nachfolgenden, tabellarischen Darstellungen geben einen Überblick über die Ergebnisse aller Messungen. Für beide Testfahrzeuge sind jeweils streckenbezogene und für den MAN auch die arbeitsbezogene Werte dargestellt. Die Darstellung der streckenbezogenen Emissionen ist eher geeignet, immissionsseitige Fragestellungen zu diskutieren, da hier die Emissionen eines Fahrzeuges beim Durchfahren einer Strecke dargestellt werden, während die arbeitsbezogenen Darstellungen eher einen Vergleich zu den Typprüfwerten eines Motors erlauben, da in der Abgasemissionsgesetzgebung für Nutzfahrzeuge die Abgasemissionen stets spezifisch auf die Arbeit bezogen werden.

### 4.2 Fahrdynamische Auswertungen

Nachfolgend werden einige Auswertungen der fahrdynamischen Kenngrößen der beiden Testfahrzeuge auf der Linie 41 dargestellt.

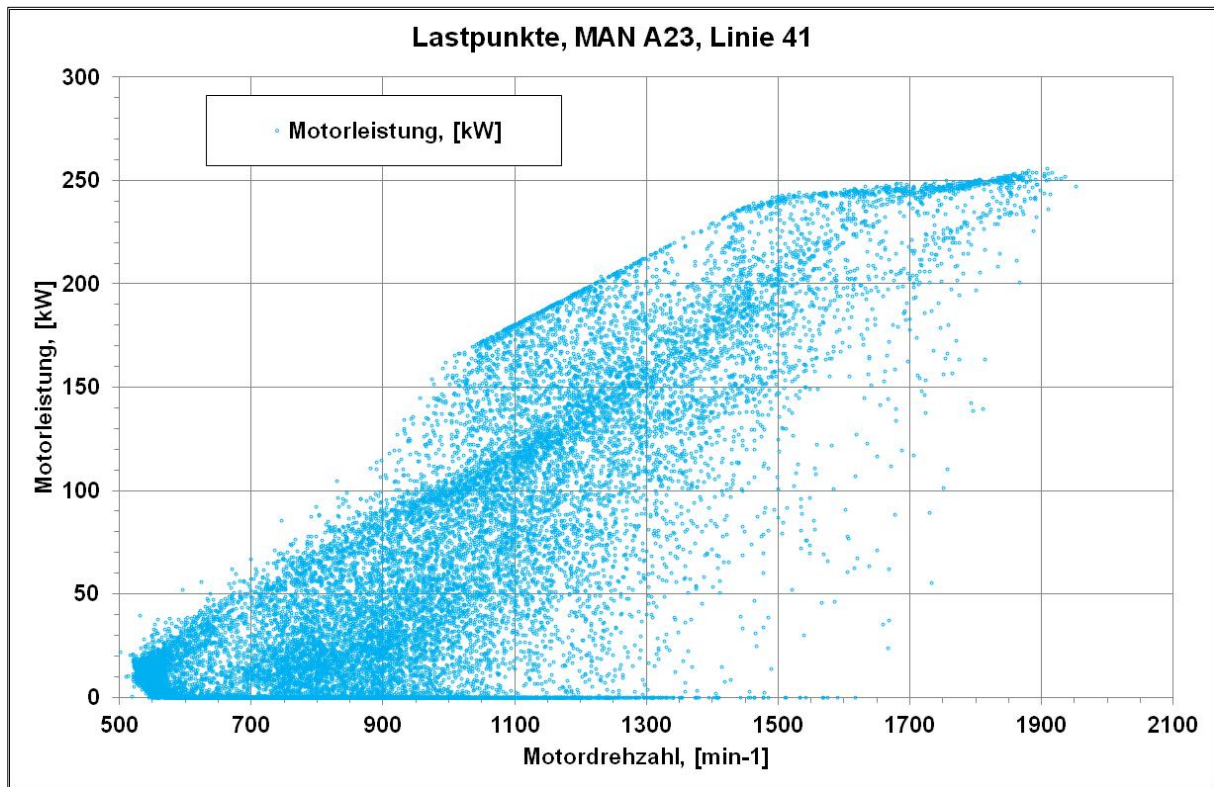
#### 4.2.1 Lastpunkte im Motorkennfeld

Die Abbildung 10 zeigt die im Motorkennfeld dargestellten Lastpunkte des MAN A23 auf der Linie 41. Es ist zu beobachten, dass auf der Linie 41 der Motor hauptsächlich im Drehzahlbereich des maximalen Motordrehmomentes (1000 min<sup>-1</sup>–1400 min<sup>-1</sup>) betrieben wird, weist aber auch Lastpunkte im oberen Drehzahlbereich auf, die sich entlang der Vollastkurve bewegen und an die Nennleistung des Motors heranreichen.

Der Betrieb bei niedrigen Drehzahlen und hohen Lasten bewirkt einen niedrigeren Kraftstoffverbrauch durch bessere Verbrennung und besseren Motorwirkungsgrad. Diese Betriebsweise begünstigt aber auch die Entstehung von Stickstoffoxiden.

Aufgrund der fehlenden Möglichkeit des Auslesens der OBD-Daten ist die Darstellung der Lastpunkte im Motorkennfeld beim MB Citaro nicht möglich.

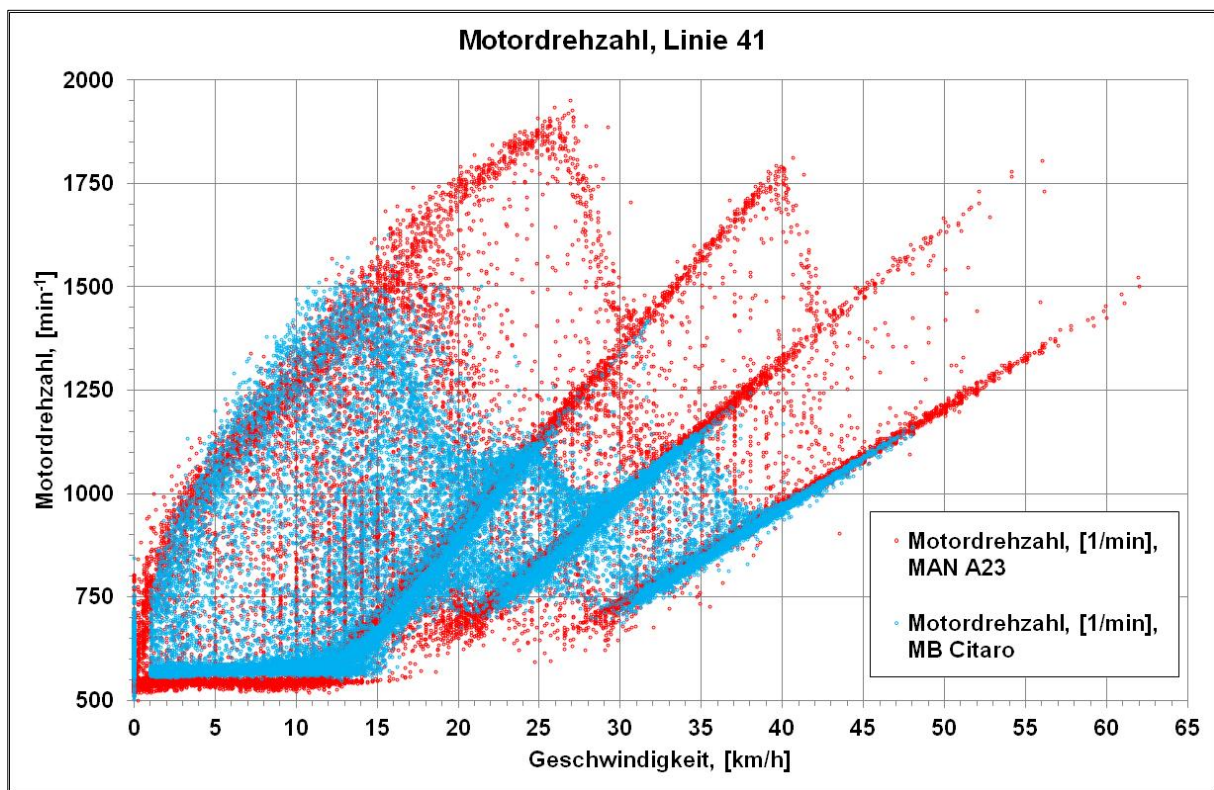
**Abbildung 10:** Lastpunkte im Motorenkennfeld, MAN A23, Linie 41



#### 4.2.2 Motordrehzahl in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

In der Abbildung 11 ist für beide Fahrzeuge die Motordrehzahl in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit dargestellt. Es sind jeweils deutlich die Abstufungen der Getriebeschaltstufen zu erkennen. Die Punktwolke im Geschwindigkeitsbereich bis ca. 20 km/h stellt dabei den Drehzahlwandelbereich des hydrodynamischen Drehmomentwandlers dar.

Auffallend ist, dass beide Fahrzeuge mit offensichtlich unterschiedlichen Getriebeschaltsteuerungsprogrammen betrieben werden. Während die Getriebesteuerung des Mercedes-Benz Citaro die Gänge bereits bei niedriger Motordrehzahl (ca. 1100 min<sup>-1</sup>) hochschaltet, werden die Getriebestufen beim MAN bei deutlich höherer Motordrehzahl (ca. 1800 min<sup>-1</sup>) gewechselt.

**Abbildung 11:** Motordrehzahl-Geschwindigkeits-Diagramm, Linie 41

### 4.2.3 Geschwindigkeitsverteilung

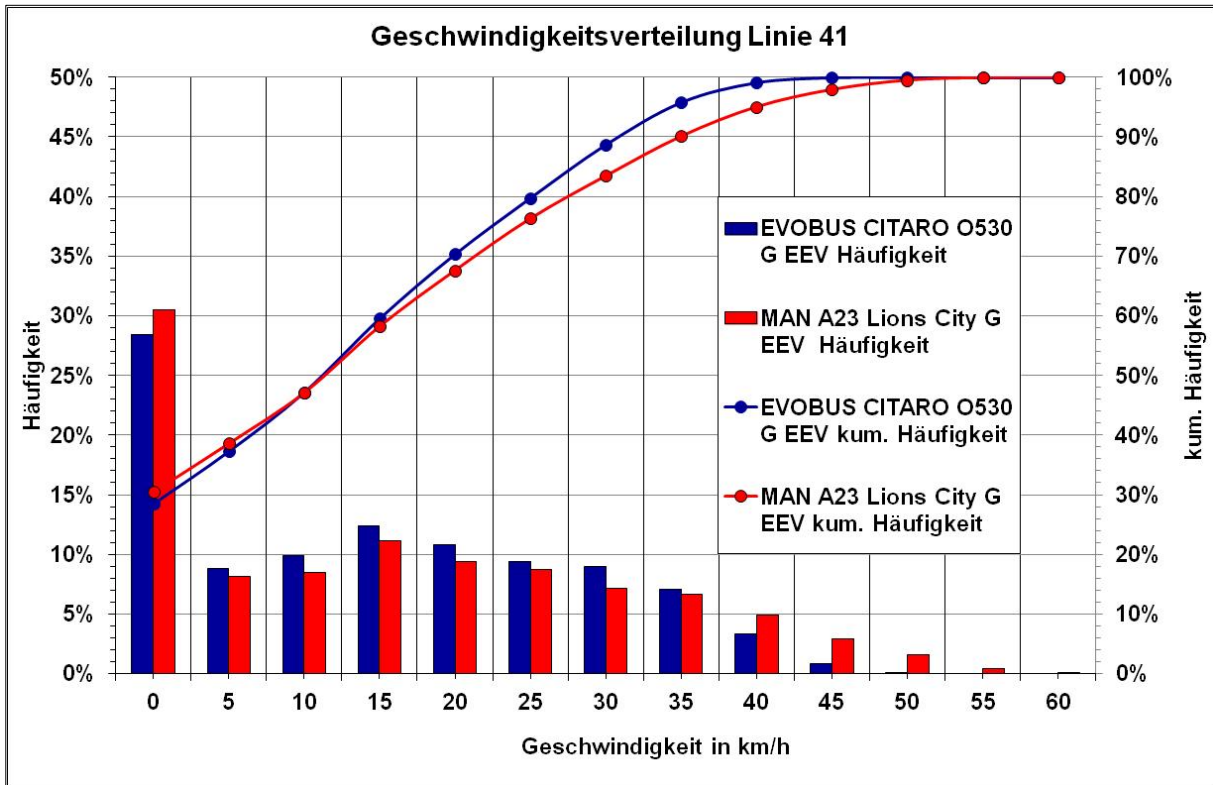
Die kumulierten Geschwindigkeitsverteilungen der beiden Testfahrzeuge auf der Linie 41 sind in der Abbildung 12 dargestellt. Es handelt sich dabei um mittlere Werte für alle Fahrten des jeweiligen Testfahrzeugs auf der Linie.

Hier ist zu beobachten, dass, trotz der geringfügig höheren Stillstandsanteile, der MAN A23 auf der Linie 41 schneller fährt als der Mercedes-Benz Citaro. Neben den verkehrsbedingten Störungen könnte auch der Fahrereinfluss Auswirkungen auf die Fahrzeugdynamik haben. Während der Messkampagne wurden beide Busse (insbesondere der MAN) von mehreren unterschiedlichen Fahrern gefahren, mit einer breiten Streuung der Fahrstile.

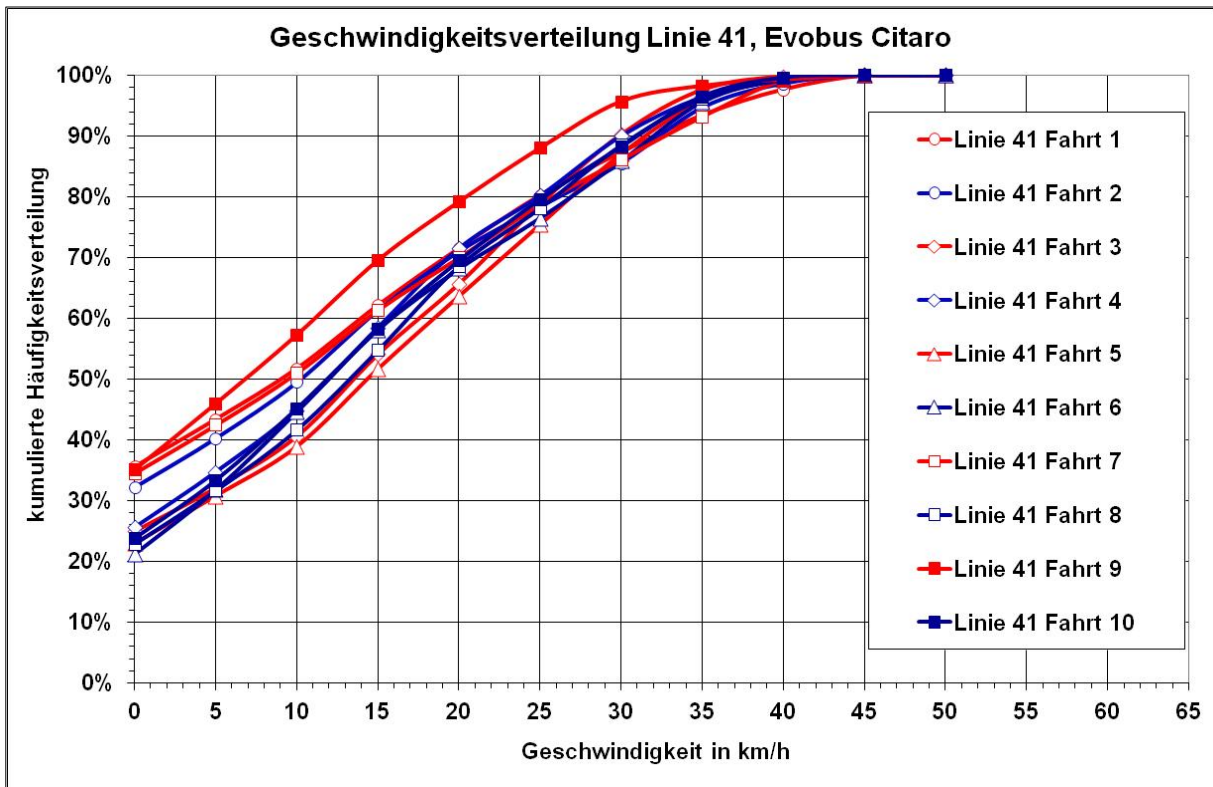
Die Abbildung 13 und die Abbildung 14 zeigen die Geschwindigkeitsverteilungen der einzelnen Fahrten der beiden Fahrzeuge auf der Linie 41. In dieser Darstellung ist eine erheblich breitere Streuung der Stillstandsanteile beim MAN deutlich zu erkennen. Es ist auch zu erkennen, dass die Teilstrecke von Haste nach Düstrup deutlich mehr durch äußere Verkehrseinflüsse beeinträchtigt wird, als die Teilstrecke in Gegenrichtung.

In der Abbildung 15 und der Abbildung 16 sind die Verteilungen der einzelnen Fahrtsituationen (Stillstand [**stop**], Beschleunigung [**acc**], Verzögerung [**dec**], Konstantfahrt [**cruise**]) für beide Testfahrzeuge dargestellt. Beide Fahrzeuge zeigen ähnliche Verteilungen, wobei der MAN tendenziell etwas höhere Stillstands- und Beschleunigungsanteile sowie geringere Konstantfahrtanteile aufweist.

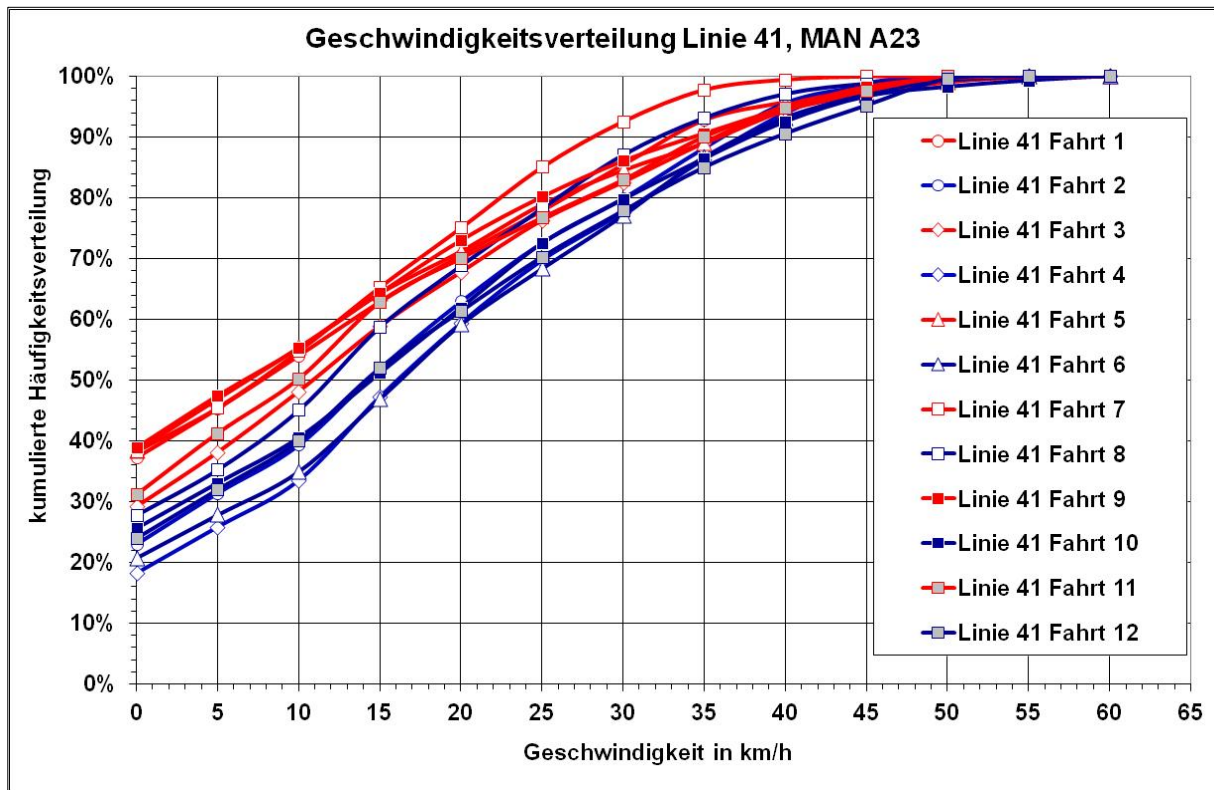
**Abbildung 12:** kumulierte Geschwindigkeitshäufigkeiten, Linie 41



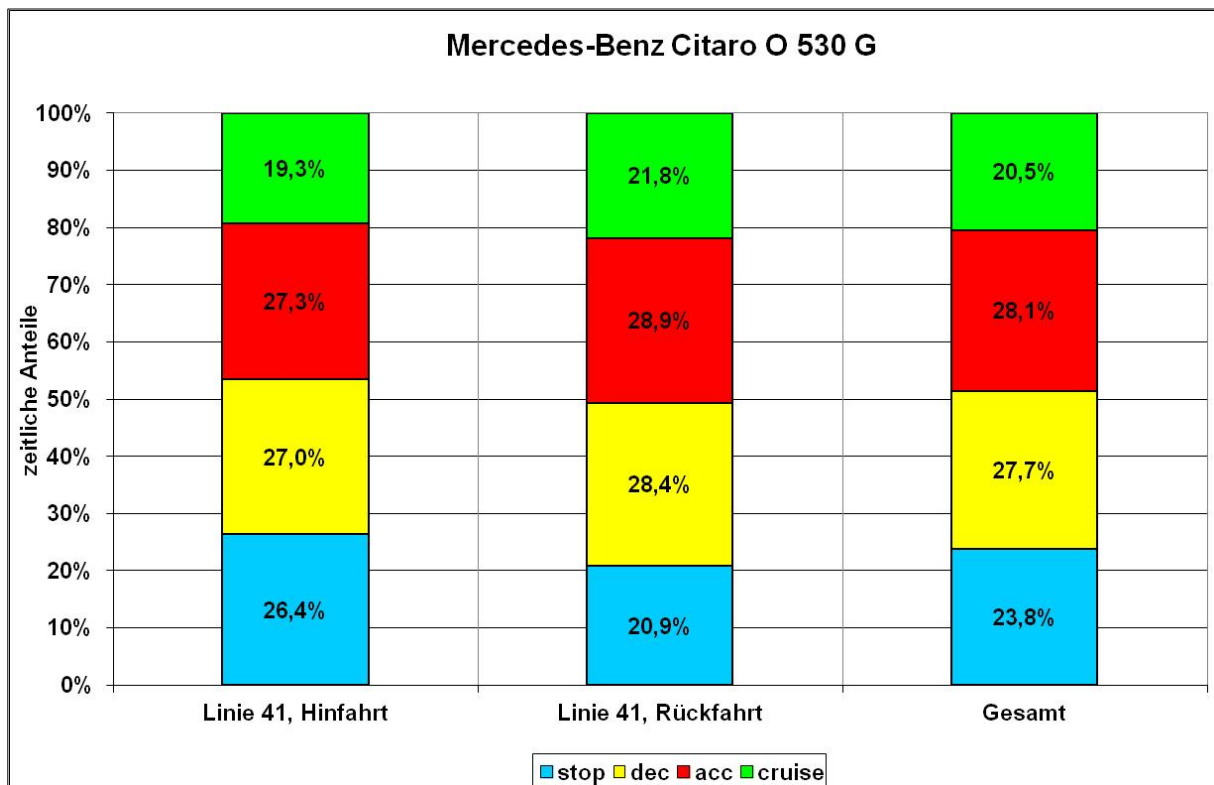
**Abbildung 13:** kumulierte Geschwindigkeitshäufigkeiten, Linie 41, MB Citaro



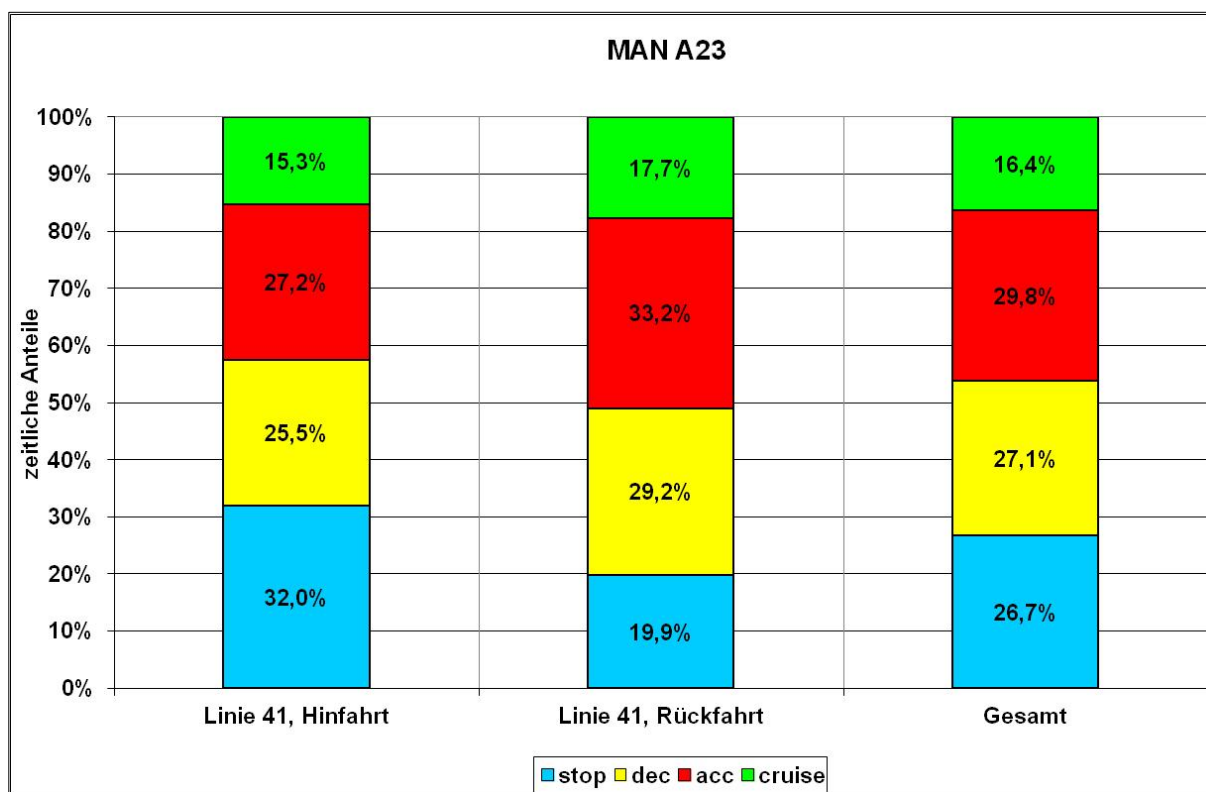
**Abbildung 14:** kumulierte Geschwindigkeitshäufigkeiten, Linie 41, MAN A23



**Abbildung 15:** Verteilung der einzelnen Fahrtanteilen, MB Citaro



**Abbildung 16:** Verteilung der einzelnen Fahrtanteilen, MAN A23



### 4.3 Emissionsergebnisse im Realbetrieb

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Emissionsmessungen der beiden Fahrzeuge im Realbetrieb auf der Linie 41 dargestellt. Für die Emissionskomponenten CO und THC und elementaren Kohlenstoff (Ruß) liegen alle gemessenen Werte auf sehr niedrigem Niveau, weit unterhalb der Grenzwerte. Dies ist auf die verbauten Oxidationskatalysatoren und Partikelfilter zurückzuführen. Die kritischste Emissionskomponente stellt die Stickoxidemission dar. Die Beurteilung der Fahrzeuge erfolgt daher im Wesentlichen auf Basis der Emissionsergebnisse für Stickoxide.

#### 4.3.1 Streckenbezogene Ergebnisse

Die Tabelle 7 und die Tabelle 8 zeigen die zusammengefassten streckenbezogenen Emissionsergebnisse der beiden Testfahrzeuge in [g/km] auf der Linie 41.

#### 4.3.2 Arbeitsbezogene Ergebnisse

Analog zu den streckenbezogenen Darstellungen, zeigt Tabelle 9 die arbeitsbezogenen Emissionsergebnisse des MAN A 23 in [g/kWh] auf der Linie 41. Wie in Kapitel 3.4.8 bereits beschrieben, war beim Mercedes-Benz Citaro die Möglichkeit des Auslesens der Motorleistung über die OBD-Schnittstelle nicht gegeben. Aus diesem Grund sind arbeitsbezogene Ergebnisse für dieses Fahrzeug nicht verfügbar.

**Tabelle 7:** Ergebnisse MB Citaro O 530 G EEV in [g/km], Linie 41

Datum	Fahrzeug	Linie	Runde	Dauer	Streckendistanz	Mittlere Geschwindigkeit	Emissionen, [g/km]						mittlere Abgastemp. vor AN	mittlere Abgastemp. nach AN	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnis	
							NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	THC	CO				Ruß
				[s]	[m]	[km/h]							[°C]	[°C]	[%]	
09.08.16	MB CITARO	41	1	6472	25421,3	14,1	12,747	12,618	0,129	1856,863	0,112	5,186	9,924E-04		231,26	1,01
10.08.16	MB CITARO	41	1	5963	25411,8	15,3	13,694	13,520	0,174	1522,062	0,070	2,407	6,124E-04		200,96	1,27
10.08.16	MB CITARO	41	2	5612	25435,9	16,3	13,154	13,034	0,119	1504,260	0,096	2,931	5,665E-04		209,39	0,91
10.08.16	MB CITARO	41	3	6105	25417,3	15,0	13,259	13,106	0,153	1676,325	0,082	3,124	6,450E-04		218,97	1,15
10.08.16	MB CITARO	41	4	7001	25685,6	13,2	14,035	13,813	0,222	1642,209	0,110	3,417	6,747E-04		202,69	1,58
<b>Min</b>				5612	25411,8	13,2	12,747	12,618	0,119	1504,260	0,070	2,407	5,665E-04		200,96	0,91
<b>Max</b>				7001	25685,6	16,3	14,035	13,813	0,222	1856,863	0,112	5,186	9,924E-04		231,26	1,58
<b>Mittelwert</b>				6231	25474,4	14,8	13,378	13,218	0,160	1640,344	0,094	3,413	6,982E-04		212,66	1,19
<b>Standardabweichung</b>				529,59	118,43	1,18	0,499	0,461	0,041	142,028	0,018	1,057	1,693E-04		12,580	0,261
<b>Varianz</b>				224368,2	11220,8	1,12	0,199	0,170	0,001	16137,66	0,0003	0,894	2,293E-08		126,596	0,055
<b>Variationskoeffizient</b>				8,50%	0,46%	7,99%	3,73%	3,49%	25,65%	8,66%	19,06%	30,98%	24,25%		5,92%	22,02%

Tabelle 8: Ergebnisse MAN A23 Lion's City G EEV in [g/km], Linie 41

Datum	Fahrzeug	Linie	Runde	Dauer	Streckendistanz	Mittlere Geschwindigkeit	Emissionen, [g/km]							mittlere Abgastemp. vor AN	mittlere Abgastemp. nach AN	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnis
							NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	THC	CO	Ruß			
				[s]	[m]	[km/h]							[°C]	[°C]	[%]	
16.08.16	MAN A23	41	1	5828	25433,5	15,7	13,723	9,671	4,052	2184,714	0,050	2,201	1,146E-03	272,97	235,49	29,53
16.08.16	MAN A23	41	2	5210	25459,1	17,6	13,488	9,951	3,537	2230,952	0,059	1,603	1,018E-03	288,88	248,85	26,22
16.08.16	MAN A23	41	3	5639	25466,1	16,3	14,962	11,274	3,688	2380,440	0,052	1,890	1,099E-03	305,39	267,61	24,65
17.08.16	MAN A23	41	1	6702	25498,3	13,7	10,953	7,677	3,276	1934,422	0,025	2,152	9,644E-04	251,67	219,07	29,91
17.08.16	MAN A23	41	2	5898	25407,1	15,5	15,168	11,522	3,646	2476,341	0,080	3,015	1,114E-03	301,96	268,89	24,04
17.08.16	MAN A23	41	3	5494	25437,6	16,7	16,740	13,355	3,385	2464,492	0,102	1,846	1,037E-03	326,90	290,86	20,22
<b>Min</b>				5210	25407,1	13,7	10,953	7,677	3,276	1934,422	0,025	1,603	9,644E-04	251,671	219,07	20,22
<b>Max</b>				6702	25498,3	17,6	16,740	13,355	4,052	2476,341	0,102	3,015	1,146E-03	326,895	290,86	29,91
<b>Mittelwert</b>				5795	25450,3	15,9	14,172	10,575	3,597	2278,560	0,061	2,118	1,063E-03	291,295	255,13	25,76
<b>Standardabweichung</b>				508,23	31,43	1,31	1,962	1,935	0,272	206,675	0,026	0,491	6,806E-05	26,425	25,872	3,646
<b>Varianz</b>				215251,5	822,96	1,44	3,207	3,119	0,061	35595,35	0,001	0,201	3,861E-09	581,905	557,800	11,077
<b>Variationskoeffizient</b>				8,77%	0,12%	8,26%	13,84%	18,29%	7,55%	9,07%	43,14%	23,17%	6,40%	9,07%	10,14%	14,15%



Tabelle 9: Ergebnisse MAN A23 Lion's City G EEV in [g/kWh], Linie 41

Datum	Fahrzeug	Linie	Runde	Dauer	Streckendistanz	Mittlere Geschwindigkeit	Emissionen, [g/kWh]						mittlere Abgastemp. vor AN	mittlere Abgastemp. nach AN	Arbeit	
							NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	THC	CO				Ruß
				[s]	[m]	[km/h]							[°C]	[°C]	[kWh]	
16.08.16	MAN A23	41	1	5828	25433,5	15,7	4,925	3,471	1,454	784,028	0,018	0,790	4,111E-04	272,97	235,49	70,87
16.08.16	MAN A23	41	2	5210	25459,1	17,6	4,626	3,413	1,213	765,140	0,020	0,550	3,490E-04	288,88	248,85	74,23
16.08.16	MAN A23	41	3	5639	25466,1	16,3	4,843	3,649	1,194	770,504	0,017	0,612	3,559E-04	305,39	267,61	78,68
17.08.16	MAN A23	41	1	6702	25498,3	13,7	4,612	3,233	1,379	814,509	0,011	0,906	4,061E-04	251,67	219,07	60,56
17.08.16	MAN A23	41	2	5898	25407,1	15,5	4,652	3,533	1,118	759,408	0,024	0,925	3,415E-04	301,96	268,89	82,85
17.08.16	MAN A23	41	3	5494	25437,6	16,7	5,023	4,007	1,016	739,441	0,031	0,554	3,113E-04	326,90	290,86	84,78
<b>Min</b>				5210	25407,1	13,7	4,612	3,233	1,016	739,441	0,011	0,550	3,113E-04	251,671	219,07	60,56
<b>Max</b>				6702	25498,3	17,6	5,023	4,007	1,454	814,509	0,031	0,925	4,111E-04	326,895	290,86	84,78
<b>Mittelwert</b>				5795	25450,3	15,9	4,780	3,551	1,229	772,172	0,020	0,723	3,625E-04	291,295	255,13	75,33
<b>Standardabweichung</b>				508,23	31,43	1,31	0,174	0,263	0,163	25,375	0,007	0,173	3,887E-05	26,425	25,872	8,904
<b>Varianz</b>				215251,5	822,96	1,44	0,025	0,057	0,022	536,570	0,000	0,025	1,259E-09	581,905	557,800	66,065
<b>Variationskoeffizient</b>				8,77%	0,12%	8,26%	3,65%	7,39%	13,25%	3,29%	33,96%	23,94%	10,72%	9,07%	10,14%	11,82%

### 4.3.3 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der NO<sub>x</sub>-Emissionen

Die Abbildung 17 zeigt die NO<sub>x</sub>-Emissionen der beiden Testfahrzeuge im Vergleich auf der Linie 41 in [g/km] bezogen auf die Geschwindigkeit für alle Fahrten. Es ist zu erkennen, dass der MB Citaro im Geschwindigkeitsbereich bis 20 km/h deutlich geringere NO<sub>x</sub>-Emissionen aufweist als der MAN A23. Bei höheren Geschwindigkeiten zeigen beide Fahrzeuge ein annähernd identisches Emissionsverhalten auf.

Bei beiden Fahrzeugen ist ein grundsätzlicher Emissionsverlauf zu erkennen, der auch schon in mehreren, vorangegangenen Messprojekten festgestellt wurde. Die zu höheren Geschwindigkeiten niedriger werdenden Emissionen sind über den größeren Leistungsbedarf, die damit steigenden Temperaturen im System und dem somit höheren Wirkungsgrad der Abgasnachbehandlung erklärbar. Dieser bisher immer zu beobachtende Anstieg ergibt sich auch durch die Form der Darstellung. Bei Fahrzeugen, die aus dem Stillstand beschleunigt werden, strebt die Emission im Anfahrmoment zu höchsten Werten, da die Beschleunigung eine hohe Motorlast mit entsprechend erhöhten NO<sub>x</sub>-Ausstößen bedingt, jedoch noch nahezu keine Strecke zurückgelegt worden ist.

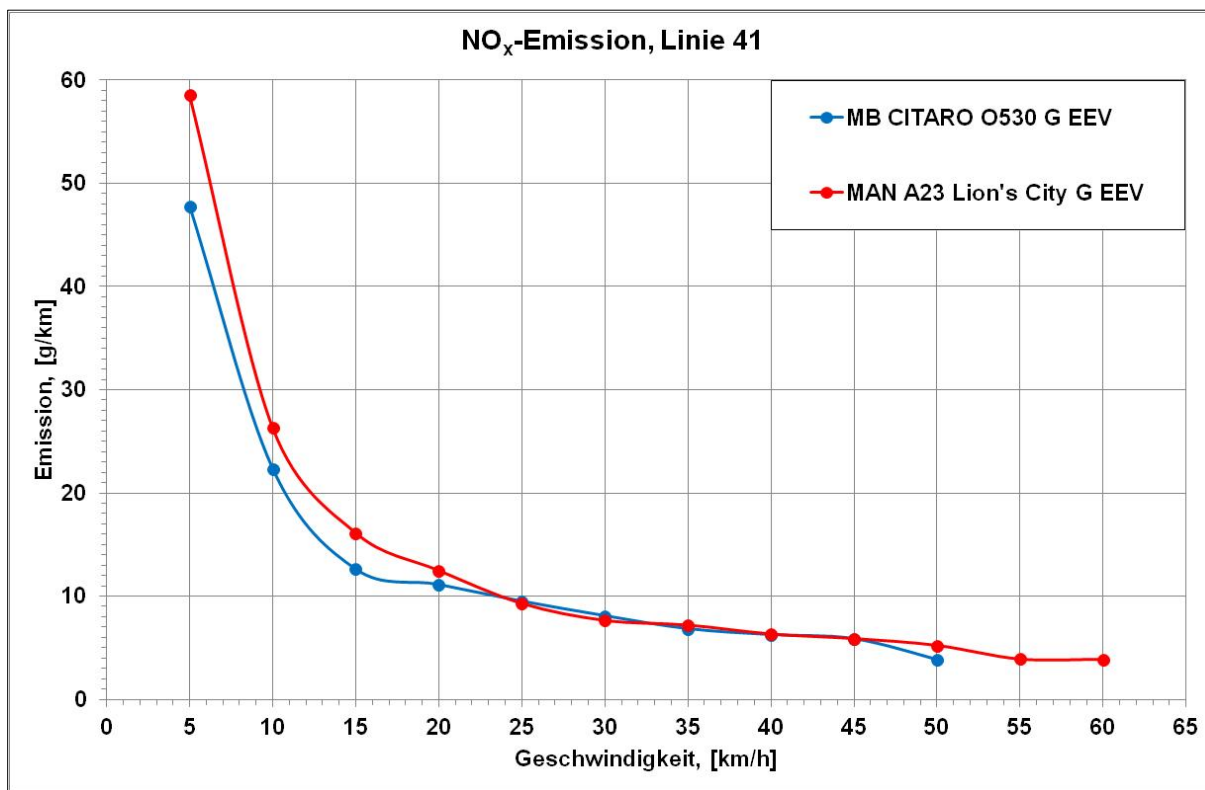
Aus der Erfahrung früherer Messungen unter vergleichbaren Betriebsbedingungen waren von einem Fahrzeug mit Abgasrückführung (MAN) bessere Stickoxidemissionen erwartet worden, als von einem Fahrzeug mit SCR-Abgasnachbehandlung (MB). Bei den Betriebsbedingungen in Osnabrück ist dies offensichtlich nicht der Fall. Möglicherweise funktionierte die Abgasrückführung beim MAN A23 nicht im vollen Umfang, wodurch die entstehenden Stickoxide nicht mit optimalen Wirkungsgraden reduziert wurden.

In der Abbildung 18 und der Abbildung 19 sind die prozentualen Anteile der, während der einzelnen Fahrtsituationen entstehenden NO<sub>x</sub>-Emissionen dargestellt. Hierbei sind teilweise deutliche Unterschiede zwischen den beiden Testfahrzeugen zu erkennen. Üblicherweise entsteht bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen der größte Teil der emittierten Stickstoffoxide während der Beschleunigungsphasen. Dabei ist festzustellen, dass der MB Citaro zum Teil deutlich höhere NO<sub>x</sub>-Anteile der Beschleunigungsphasen aufweist als der MAN A23. Die NO<sub>x</sub>-Anteile der Stillstands- und Verzögerungsphasen sind hingegen beim MAN A23 deutlich größer als bei MB Citaro. Bedingt ist das dadurch, dass der Motor in diesen Betriebspunkten nicht mit hohen Abgasrückführungsraten betrieben werden kann und somit mehr Stickoxide gebildet werden.

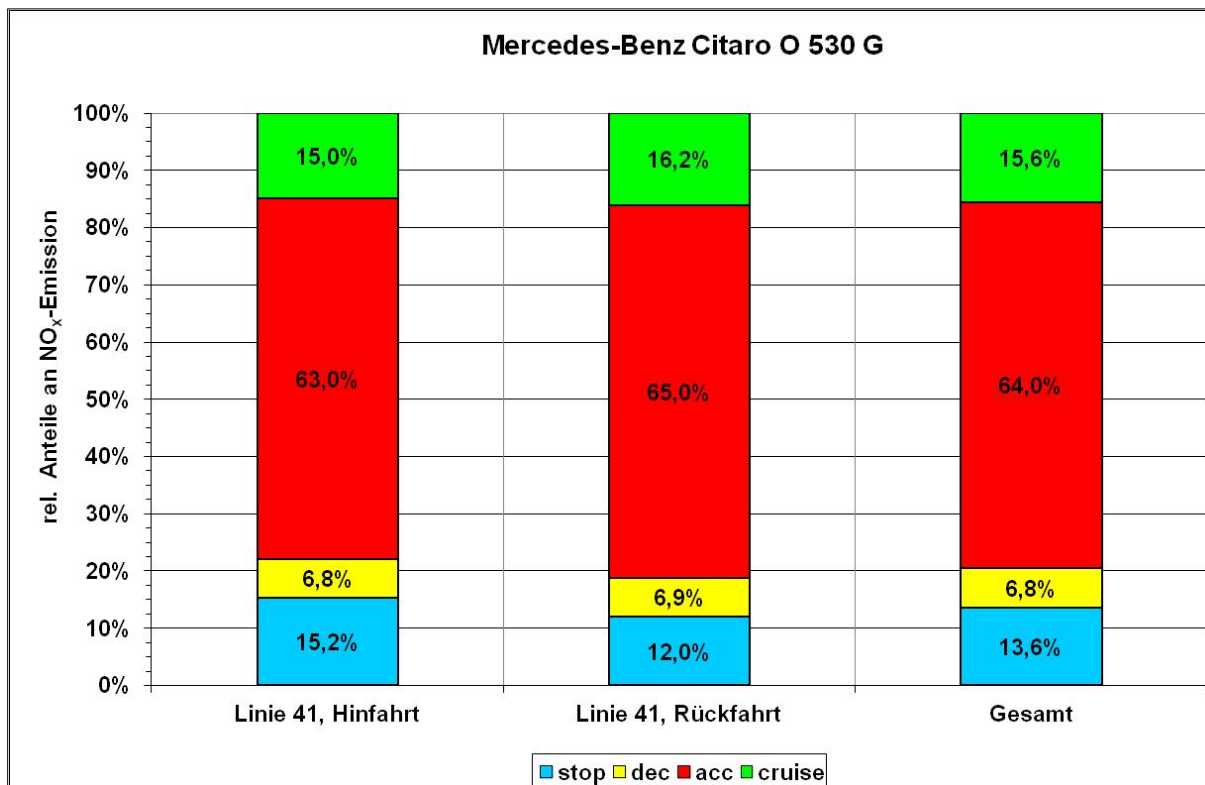
Die Abbildung 20 bis Abbildung 22 zeigen für die einzelnen Betriebsphasen (Beschleunigen, Verzögern, Konstantfahrt) die geschwindigkeitsabhängigen Stickoxidemissionen.

In der Abbildung 23 und der Abbildung 24 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionsverläufe der Testfahrzeuge auf der Linie 41 in [g/km] dargestellt, aufgetragen über die Fahrstrecke. Jeder Messwert bildet dabei eine gemittelte NO<sub>x</sub>-Emission über jeweils 10m-Streckenabschnitte.

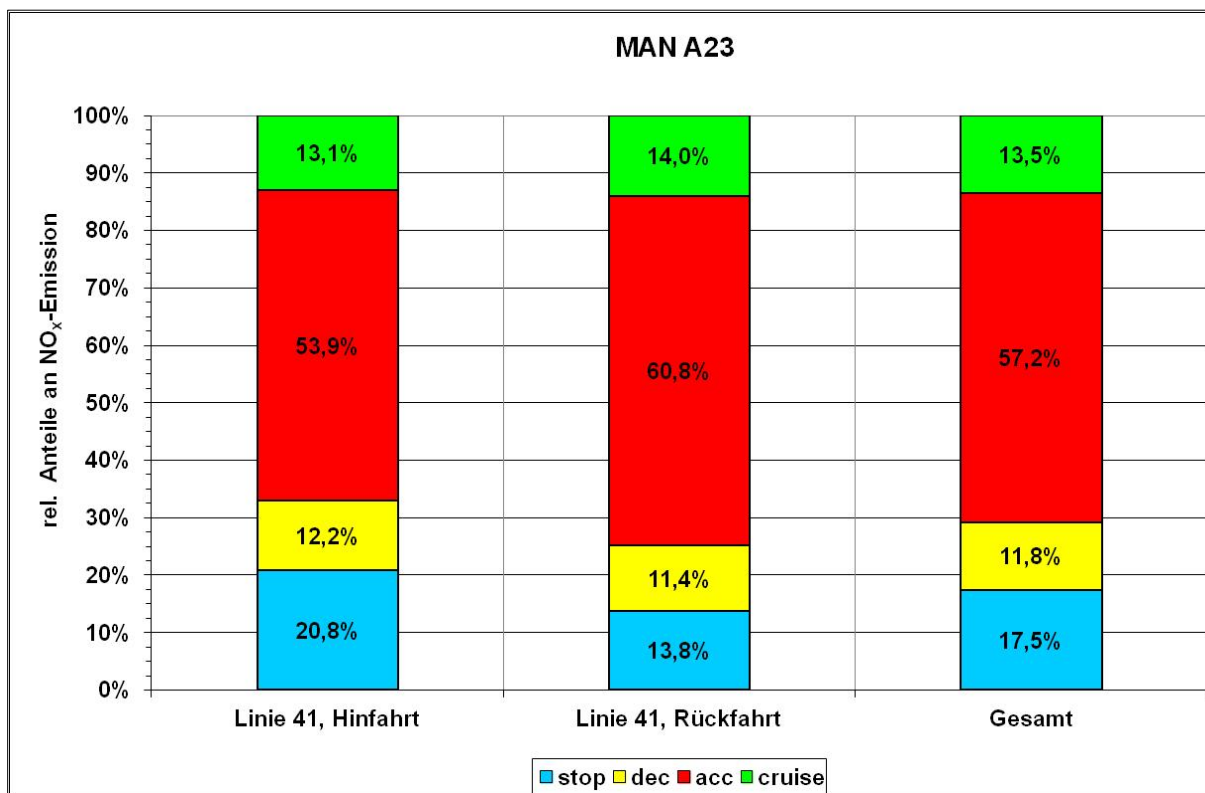
**Abbildung 17:** Geschwindigkeitsabhängige NO<sub>x</sub>-Emissionen in [g/km], Linie 41



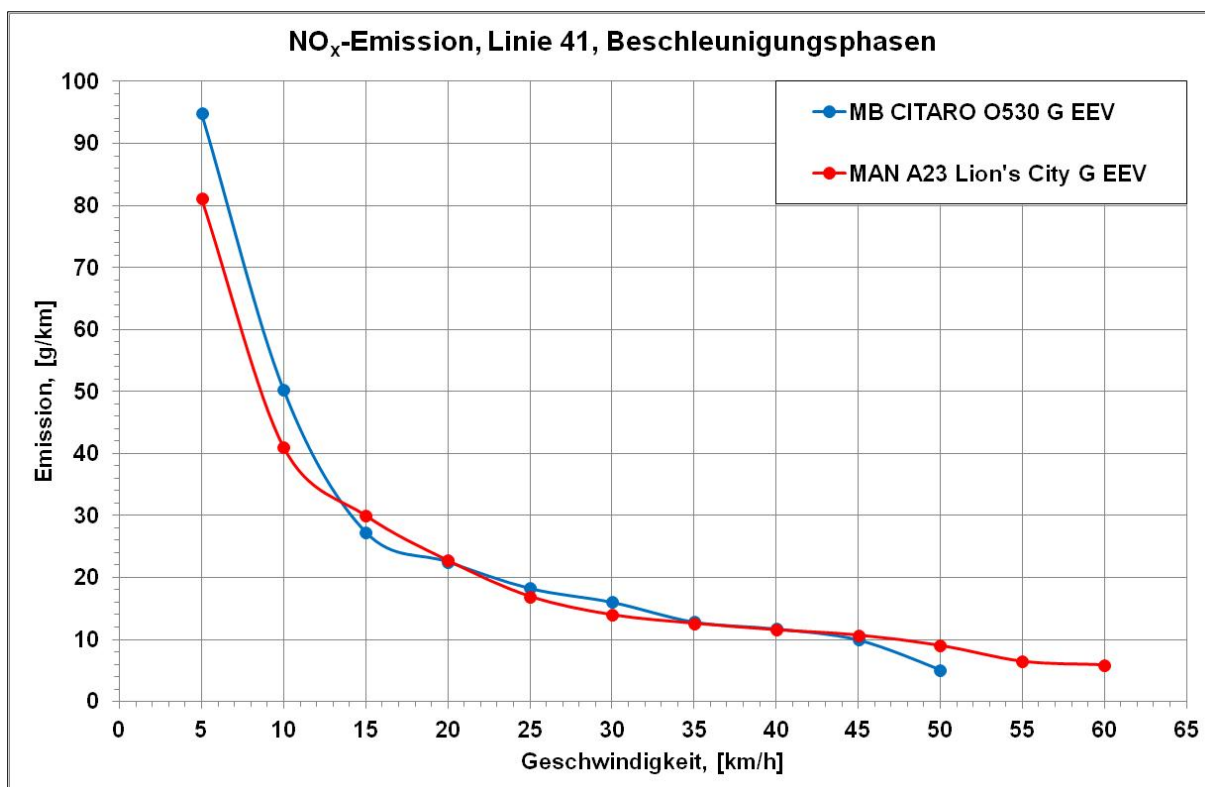
**Abbildung 18:** Verteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen, MB Citaro



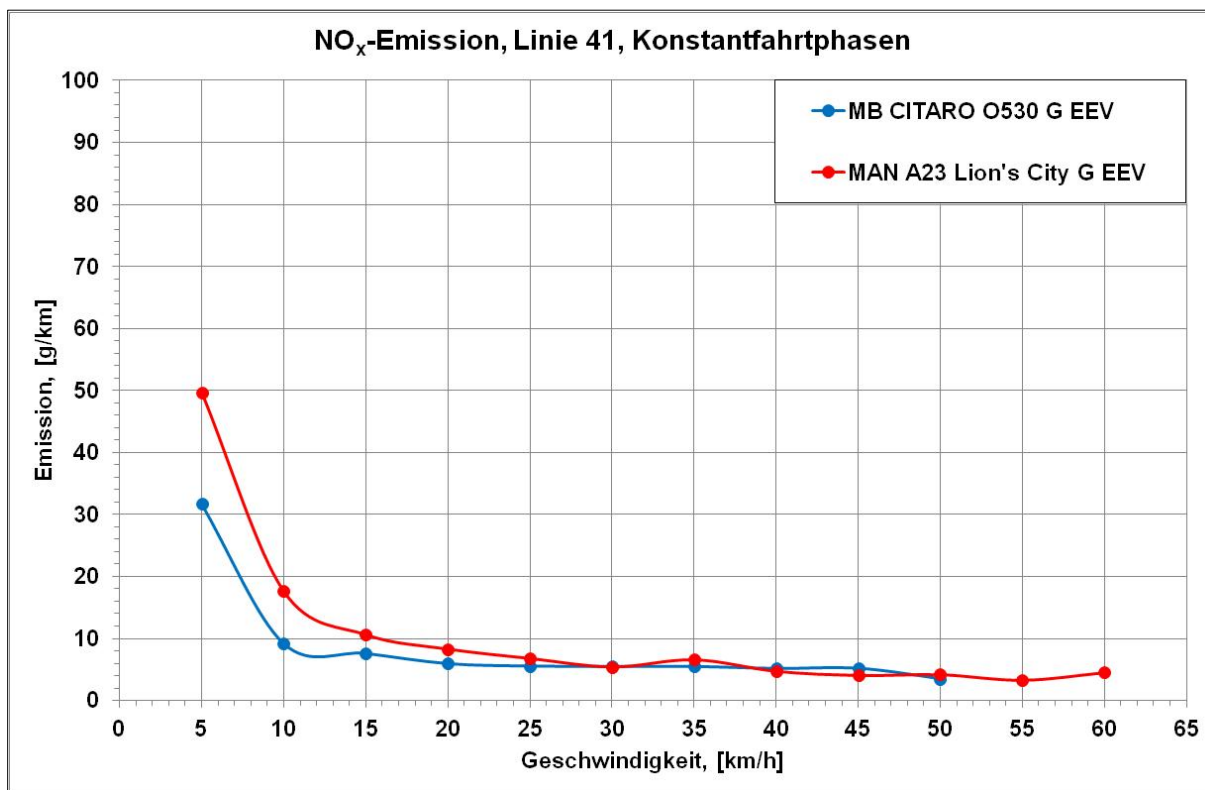
**Abbildung 19:** Verteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen, MAN A23



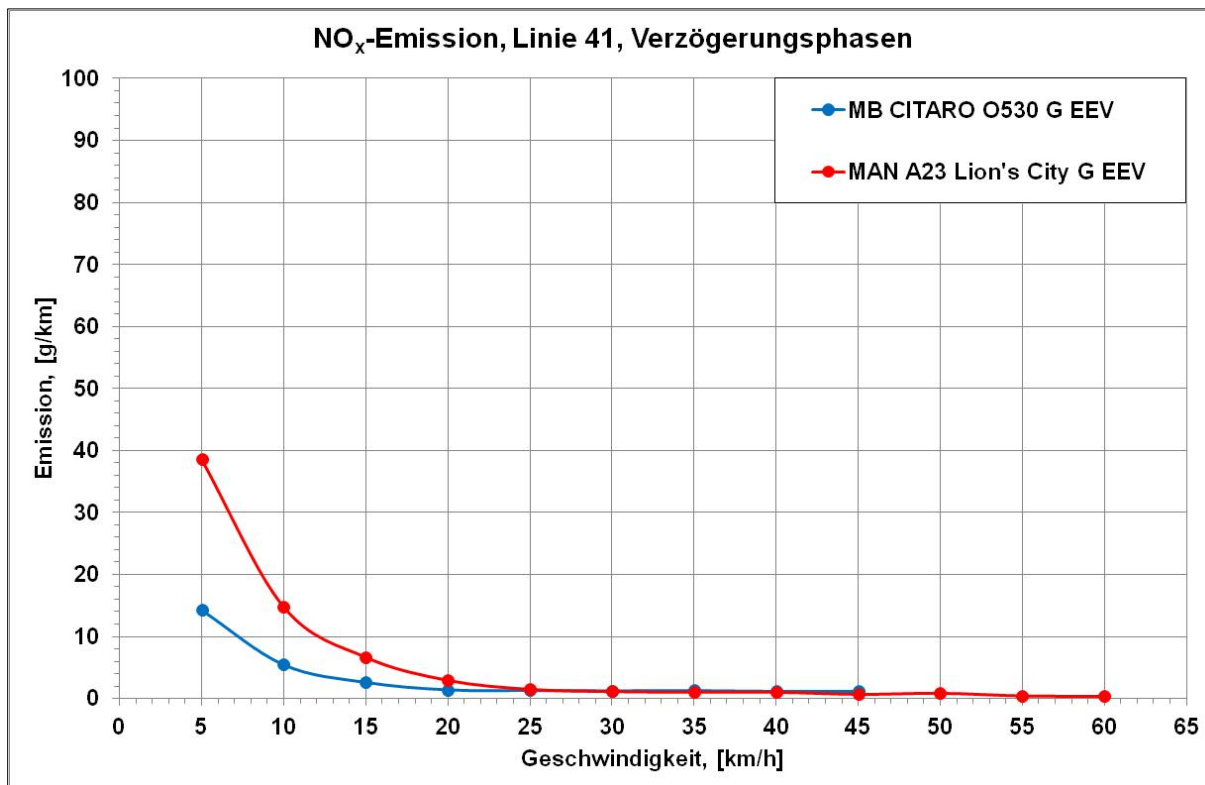
**Abbildung 20:** NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Beschleunigung in [g/km], Linie 41



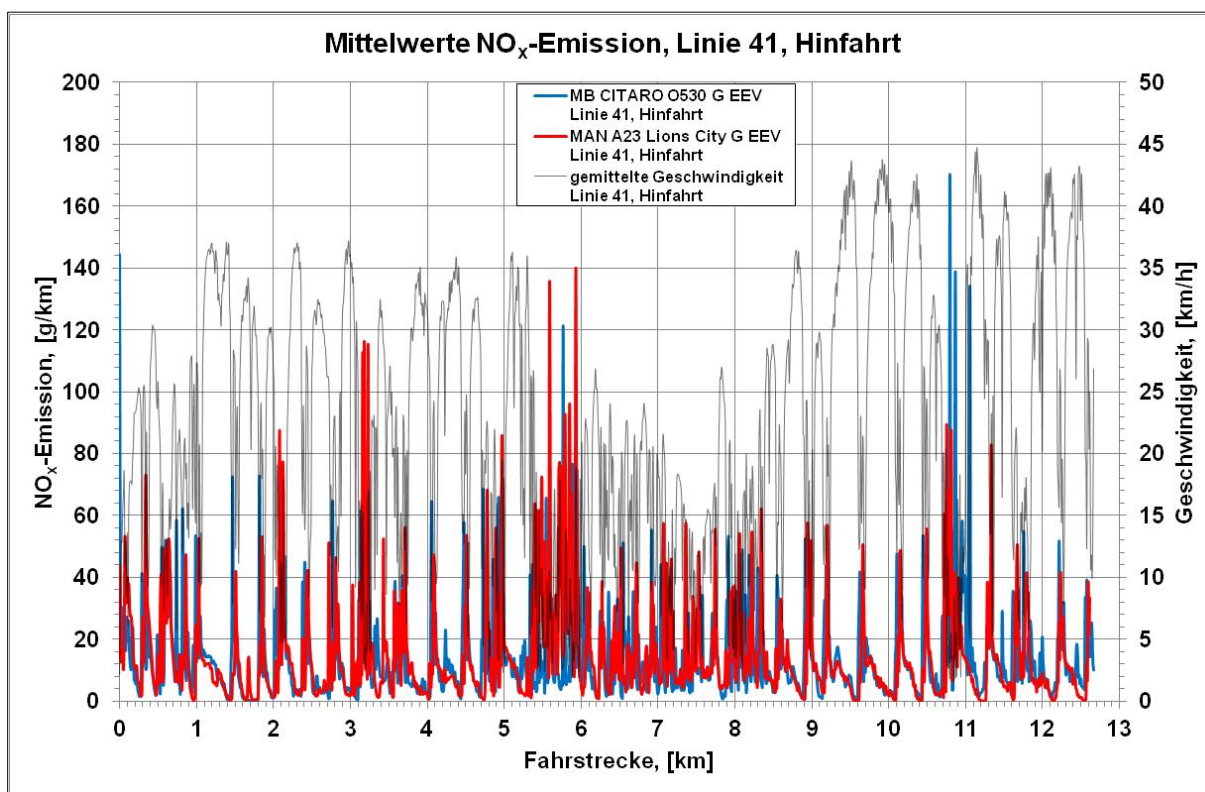
**Abbildung 21:** NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Konstantfahrt in [g/km], Linie 41



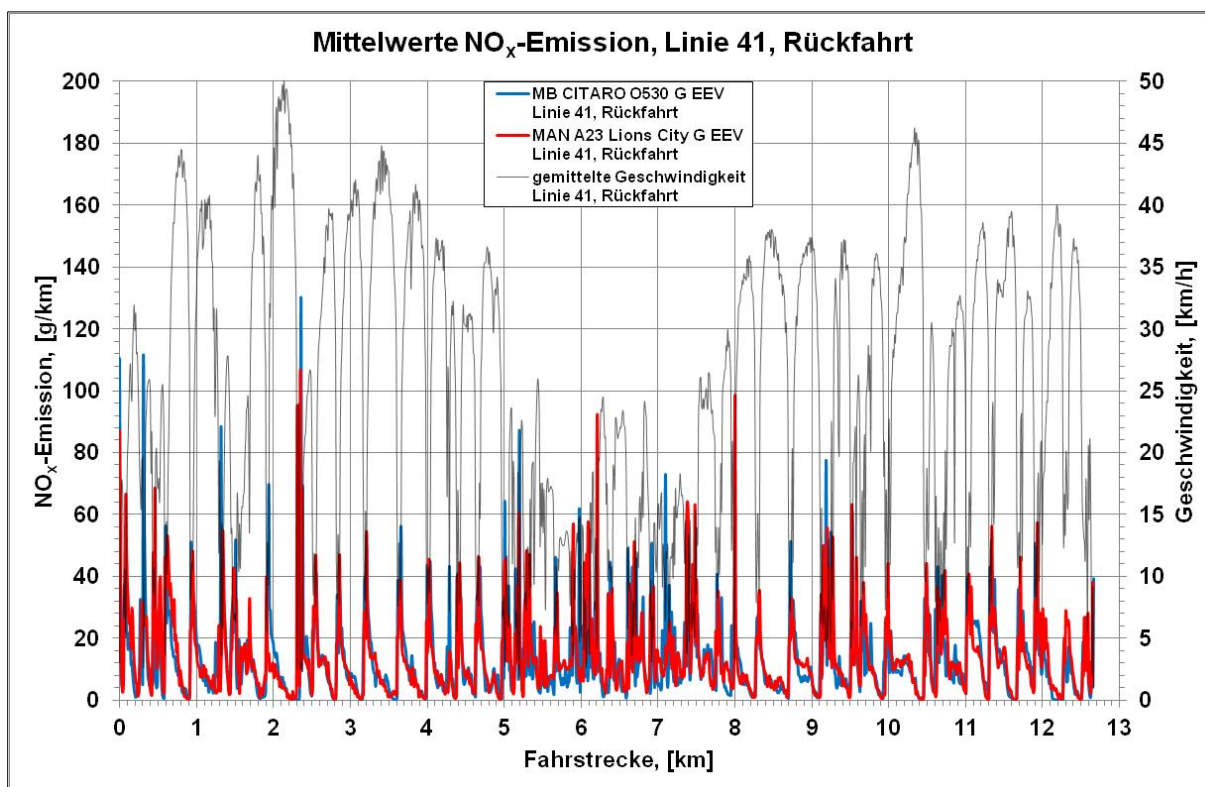
**Abbildung 22:** NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Verzögerung in [g/km], Linie 41



**Abbildung 23:** Mittlere NO<sub>x</sub>-Streckenemissionen [g/km], Linie 41, Hinfahrt



**Abbildung 24:** Mittlere NO<sub>x</sub>-Streckenemissionen [g/km], Linie 41, Rückfahrt

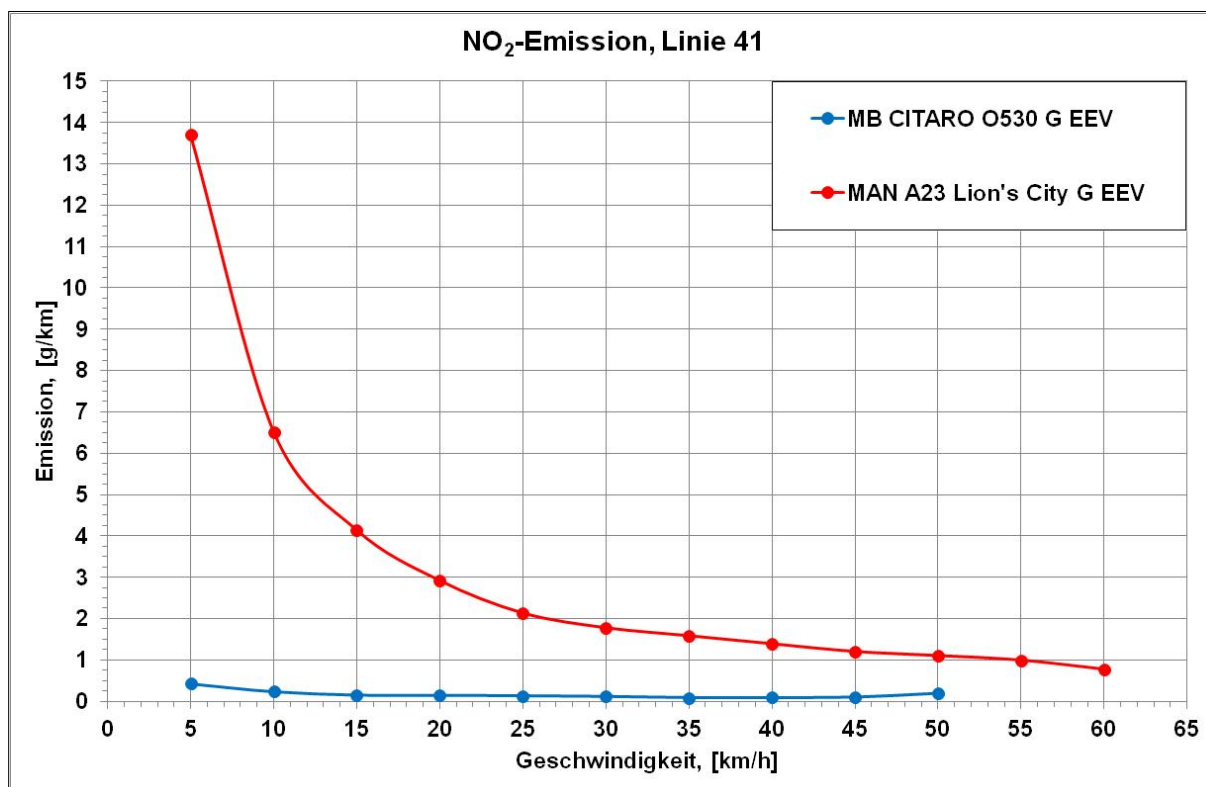


#### 4.3.4 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der NO<sub>2</sub>-Emissionen

Analog zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen zeigt die Abbildung 25 die NO<sub>2</sub>-Emissionen der beiden Testfahrzeuge im Vergleich auf der Linie 41 in [g/km] bezogen auf die Geschwindigkeit für alle Fahrten. Bei dieser Betrachtung zeigt der MB Citaro auf der Linie 41 über den gesamten Geschwindigkeitsbereich deutlich niedrigere NO<sub>2</sub>-Direktemissionen als der MAN. Prinzipbedingt weisen die Fahrzeuge mit einem Partikelfilter (CRT<sup>®</sup>-System) durch Verwendung eines Oxidationskatalysators eine Erhöhung des natürlichen NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses des Dieselmotorrohabgases von 5-10% auf deutlich über 50% auf. Der in der Abbildung 25 dargestellte geschwindigkeitsabhängige NO<sub>2</sub>-Emissionsverlauf des MAN ist typisch für Fahrzeuge mit einem CRT<sup>®</sup>-Partikelfilter und wurde in der Form auch bei anderen Messungen beobachtet. Allerdings ist das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis mit durchschnittlich ca. 25% (vgl. Tabelle 8) vergleichsweise gering. Dies deutet auf eine verminderte Reaktionsfähigkeit des Oxidationskatalysators hin, möglicherweise bedingt durch die fortgeschrittene Laufleistung des Testfahrzeuges.

Der MB Citaro zeigt hingegen ein eher untypisches NO<sub>2</sub>-Emissionsverhalten auf. Das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis mit durchschnittlich ca. 1,3% (vgl. Tabelle 7) ist sehr gering. Dies deutet auf eine deutlich verminderte Reaktionsfähigkeit des Oxidationskatalysators hin, möglicherweise ebenfalls durch die fortgeschrittene Laufleistung des Testfahrzeuges bedingt.

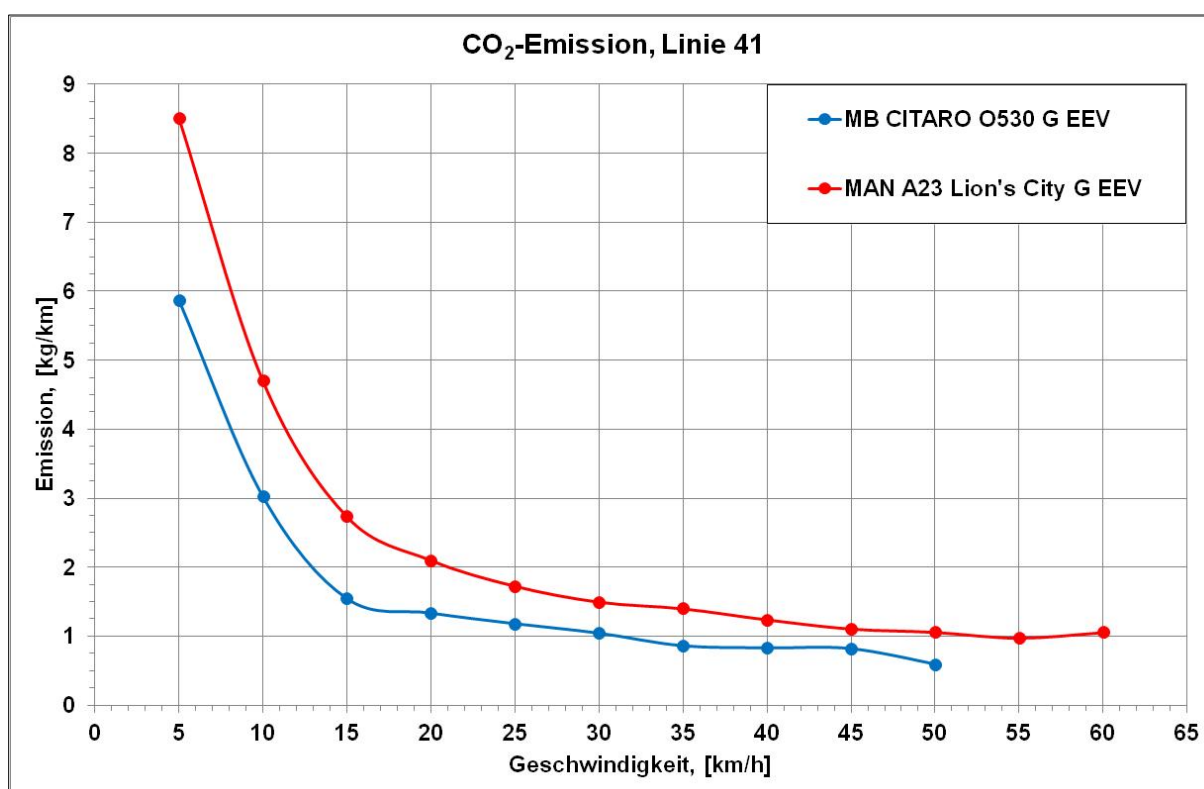
**Abbildung 25:** Geschwindigkeitsabhängige NO<sub>2</sub>-Emissionen in [g/km], Linie 41



### 4.3.5 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Abbildung 26 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der beiden Versuchsfahrzeuge auf der Linie 41. Erwartungsgemäß emittiert der MB Citaro über den gesamten Geschwindigkeitsbereich wesentlich weniger CO<sub>2</sub> als der MAN A23. Begründet ist das in der Art der Abgasnachbehandlung mittels SCR, welche eine verbrauchsoptimierte Verbrennungsauslegung des Motors ermöglicht. Zudem haben auch die unterschiedlichen Getriebesteuerungsmodi einen sehr deutlichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und somit auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß (vgl. Kapitel 4.2.2).

**Abbildung 26:** Geschwindigkeitsabhängige CO<sub>2</sub>-Emissionen in [kg/km], Linie 41

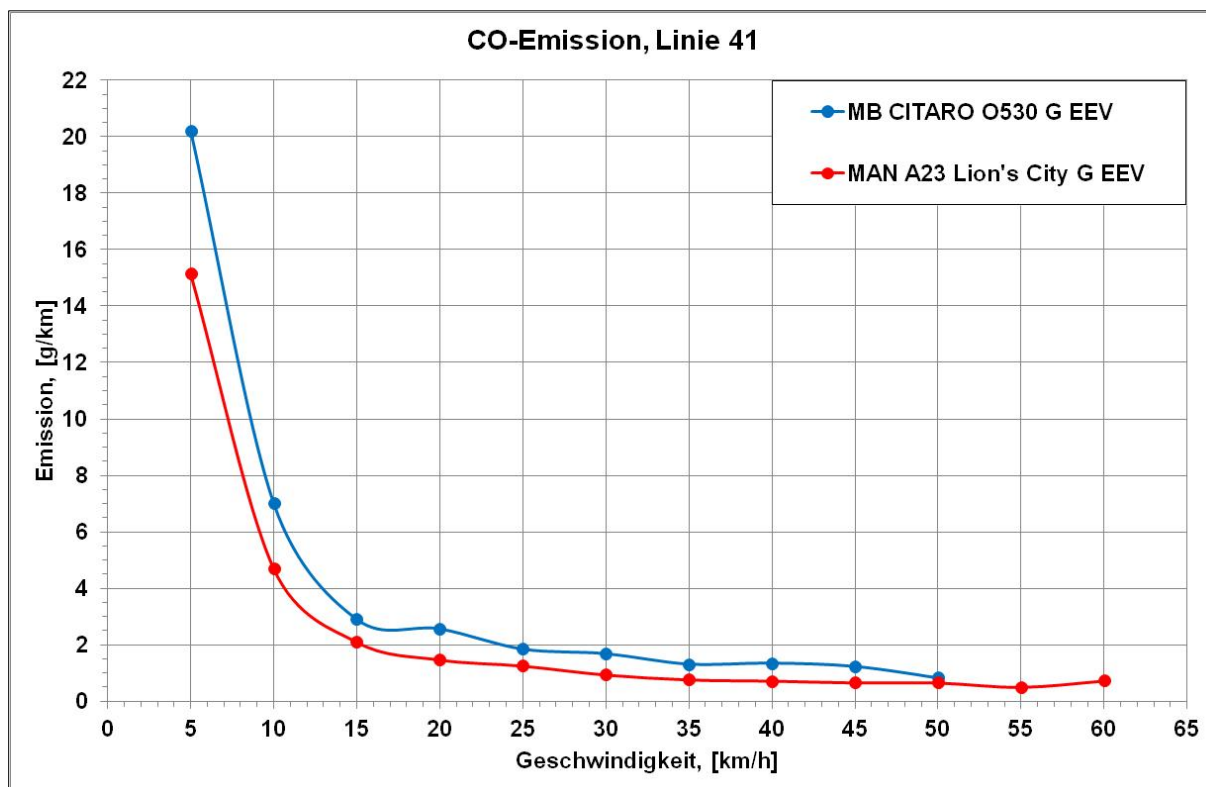




#### 4.3.6 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der CO-Emissionen

Die Abbildung 27 zeigt die CO-Emissionen der beiden Fahrzeuge, die im gesamten Geschwindigkeitsbereich Vorteile für den MAN A23 aufweisen. Die höheren CO-Emissionen des MB Citaro sind auch ein Indiz auf deutlich verminderte Reaktionsfähigkeit des Oxidationskatalysators.

**Abbildung 27:** Geschwindigkeitsabhängige CO-Emissionen in [g/km], Linie 41

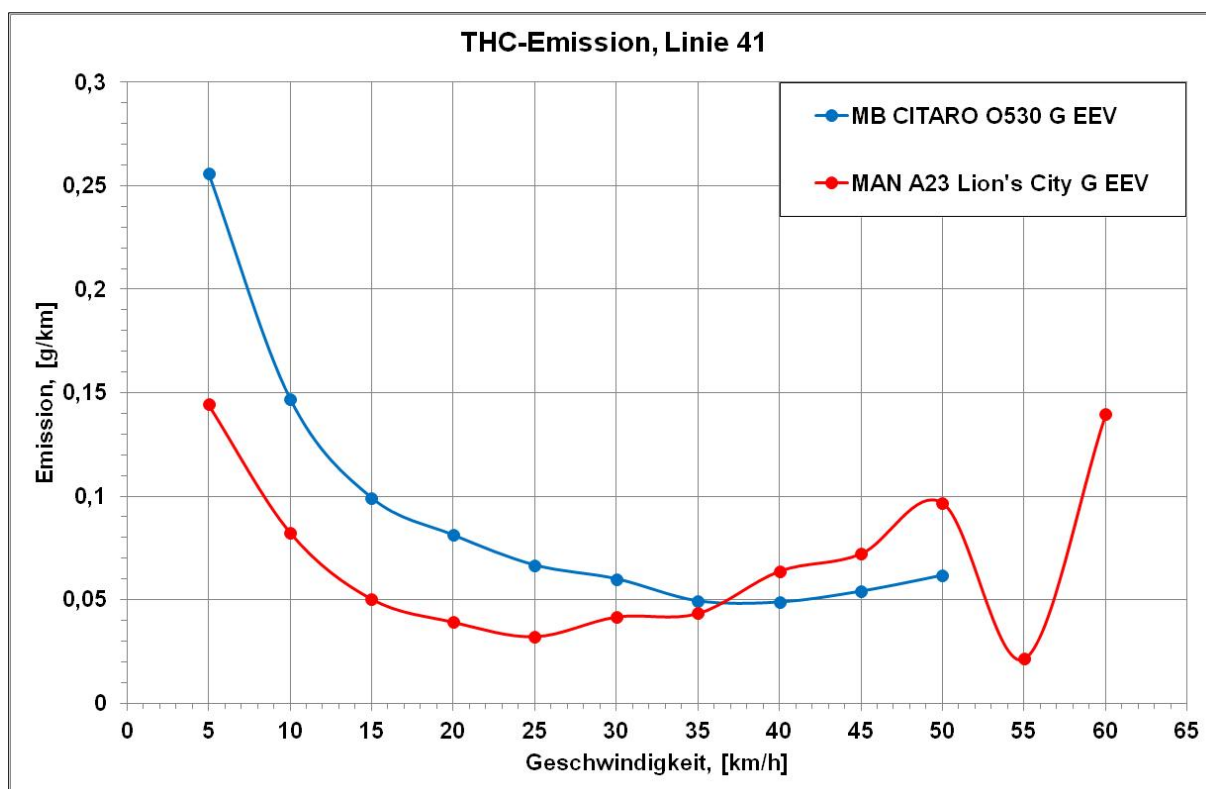


### 4.3.7 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der THC-Emissionen

Die Abbildung 28 zeigt die THC-Emissionen der beiden Fahrzeuge auf der Linie 41. MAN A23 zeigt auf der Linie 41 über den weiten, für die Stadtbusse relevanten Geschwindigkeitsbereich deutlich geringere Kohlenwasserstoffemissionen als der MB Citaro. Die höheren THC-Emissionen des MB Citaro deuten ebenfalls auf eine deutlich verminderte Reaktionsfähigkeit des Oxidationskatalysators hin.

Die zu höheren Geschwindigkeiten hin ansteigende THC-Emissionen sind auf häufigen Schubetrieb zurückzuführen, bei dem die Kohlenwasserstoffemissionen typischerweise ansteigen.

**Abbildung 28:** Geschwindigkeitsabhängige THC-Emissionen in [g/km], Linie 41

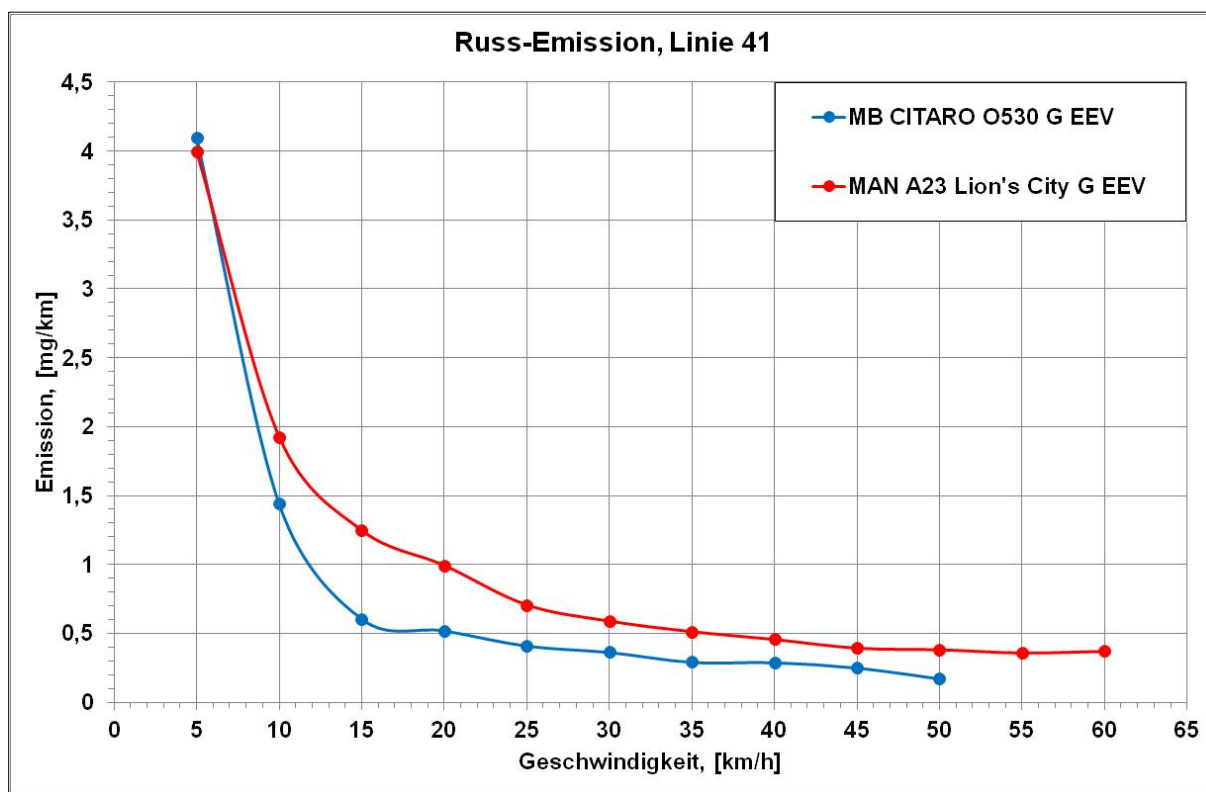


### 4.3.8 Geschwindigkeitsabhängige Darstellung der Ruß-Emissionen

Die, mit dem Soot-Sensor gemessenen Rußemissionen sind in der Abbildung 29 dargestellt. Auf der Linie 41 weist der MB Citaro im gesamten Geschwindigkeitsbereich deutlich niedrigere Rußemissionen als der MAN A23 auf. Der Motor des MAN A23 hat prinzipbedingt (Abgasrückführung) ein schlechteres Ruß-Emissionsverhalten als der in der Verbrennung verbrauchsoptimierter Motor des MB Citaro.

Allgemein liegen die Rußemissionen bei beiden Fahrzeugen jedoch auf einem niedrigen Niveau, wie es für Fahrzeuge mit geschlossenen, wanddurchströmten Partikelfiltersystemen zu erwarten ist.

**Abbildung 29:** Geschwindigkeitsabhängige Ruß-Emissionen in [g/km], Linie 41

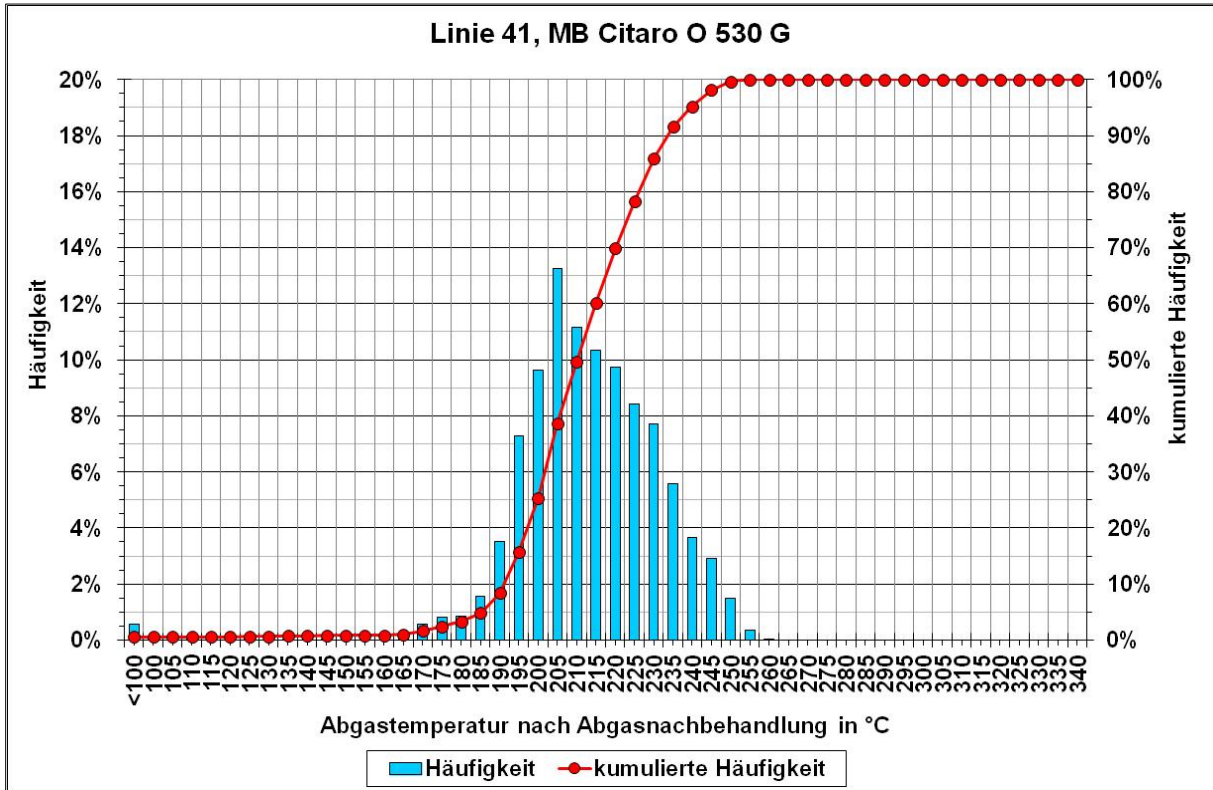


### 4.3.9 Abgastemperaturverteilung

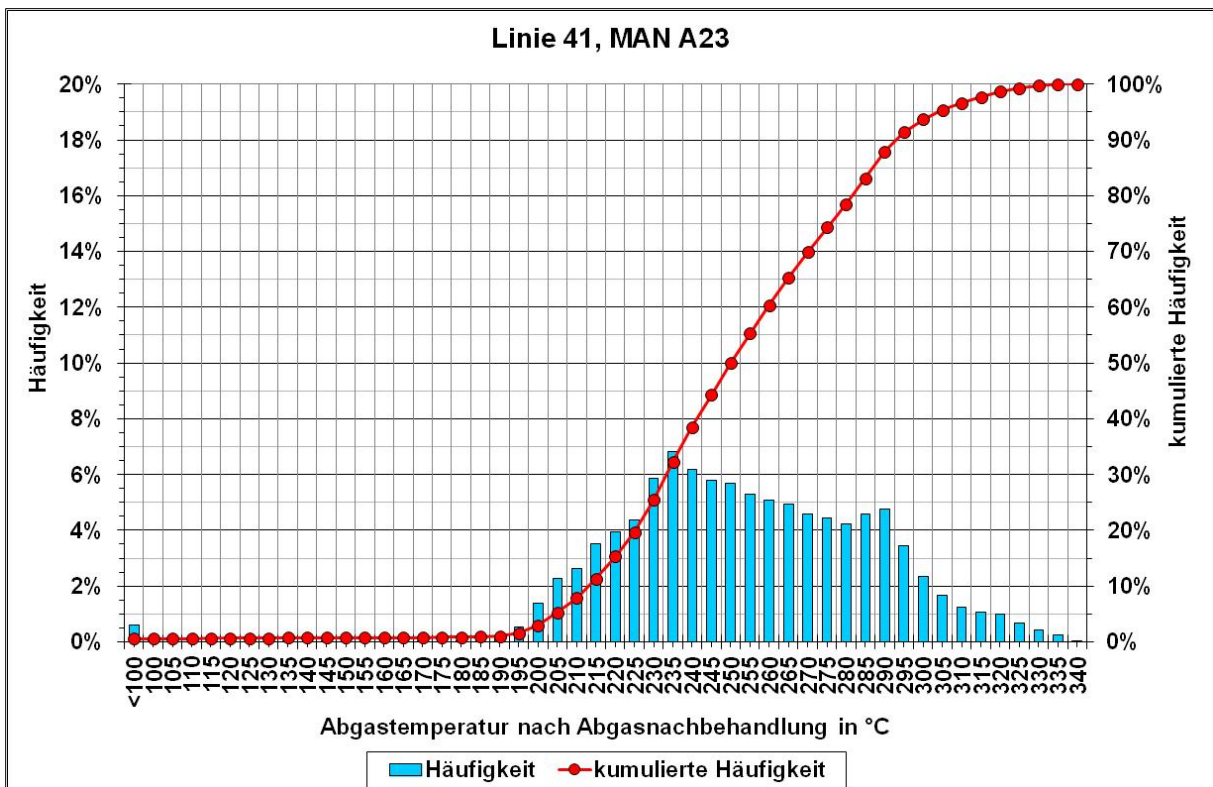
Die Abbildung 30 und die Abbildung 31 zeigen die Abgastemperaturverteilung für die beiden Versuchsfahrzeuge auf der Linie 41. Die Darstellungen zeigen die Temperatur nach der Abgasnachbehandlung. Es ist festzustellen, dass das Abgastemperaturniveau des MB Citaro auf der Linie 41 sich auf einem relativ niedrigen Niveau befindet und das beeinflusst negativ die NO<sub>x</sub>-Minderungseigenschaften des SCR-Abgasnachbehandlungssystems. Ein dauerhaft hoher NO<sub>x</sub>-Umsatz mit wässriger Harnstofflösung erfolgt erst ab einer Abgastemperatur am SCR-Katalysator von ca. 250°C. Erfahrungsgemäß liegt die Abgastemperatur am SCR-Katalysator etwa 30 Kelvin höher als die im Messrohr gemessene Abgastemperatur nach der Abgasnachbehandlung. Betrachtet man die in der Abbildung 30 dargestellte kumulierte Verteilung der Abgastemperatur nach Abgasnachbehandlungssystem, stellt man fest, dass die Abgastemperatur nach Abgasnachbehandlung sich rund 70% der Betriebszeit unterhalb von 220°C befindet. Dieser Temperaturwert entspricht in etwa einer Abgastemperatur am SCR-Katalysator von 250°C.

Die Abgastemperatur des MAN A23 liegt hingegen auf einem deutlich höherem Niveau als die des MB Citaro.

**Abbildung 30:** Abgastemperaturverteilung nach der Abgasnachbehandlung, MB Citaro, Linie 41



**Abbildung 31:** Abgastemperaturverteilung nach der Abgasnachbehandlung, MAN A23, Linie 41



## 5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird die Vermessung von Realemissionen an zwei Stadtomnibussen der Stadtwerke Osnabrück AG (SWO) auf ausgesuchten Linien in Osnabrück beschrieben.

Bei den untersuchten Omnibussen handelte es sich um einen Gelenkwagen vom Typ MAN A23 Lion's City G und um einen Gelenkwagen Typ Mercedes-Benz O530G Citaro. Beide Fahrzeuge waren nach EURO V / EEV-Abgasnorm (EG-Richtlinie 1999/96/EG;C;EEV) typgenehmigt. Die beiden Testfahrzeuge besaßen unterschiedliche Systeme zur Abgasnachbehandlung: Partikelfilter (CRT<sup>®</sup>) mit einem SCR-System beim MB Citaro und Partikelfilter(CRT<sup>®</sup>) mit gekühlter Abgasrückführung beim MAN A23.

Die beiden Testfahrzeuge wurden auf der regulären Linie 41, die vom Auftraggeber im Vorfeld der Messungen ausgesuchten wurde, betrieben. Für die Messungen wurden die Fahrzeuge mit Ballastgewichten beladen. Es wurde eine Zuladung von ca. 30% realisiert.

Bei der Vermessung im Realbetrieb auf der Linie 41 zeigten beide Testfahrzeuge zum Teil unterschiedliches Emissionsverhalten.

Für die Emissionskomponenten CO, THC und Ruß lagen alle gemessenen Werte bei beiden Testfahrzeugen auf sehr niedrigem Niveau, was auf die verbauten Oxidationskatalysatoren und Dieselpartikelfilter (CRT<sup>®</sup>) zurückzuführen ist. Die kritischste Emissionskomponente stellt die Stickoxidemission dar. Die Beurteilung der Fahrzeuge erfolgte daher im Wesentlichen auf Basis der Emissionsergebnisse für Stickoxide.

Obwohl die Betriebsrandbedingungen in Osnabrück aufgrund niedriger Abgastemperaturen für das Funktionieren einer reagensgestützten Abgasnachbehandlung (SCR) mit hohen NO<sub>x</sub>-Umsatzraten nicht optimal sind, emittierte der MB Citaro im für die Stadtbusse relevantem Geschwindigkeitsbereich (bis 25 km/h) deutlich weniger Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) als der MAN A23. Bei höheren Geschwindigkeiten zeigten beide Fahrzeuge ein nahezu identisches Emissionsverhalten. Über dem gesamten Geschwindigkeitsbereich zeigte MB Citaro deutlich niedrigere NO<sub>2</sub>-Direktemissionen als der MAN A23.

## 6 Literatur

- [1] Verordnung (EG) Nr. 582/2011 der Kommission vom 25. Mai 2011 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (EURO VI) und zur Änderung der Anhänge I und III der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. ABl. L 167/1 vom 25.06.2011.
- [2] Verordnung (EU) Nr. 64/2012 der Kommission vom 23. Januar 2012 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 582/2011 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI), ABl. 28/1, 31.01.2012

## 7 Schlussbescheinigung

Prüflaboratorium akkreditiert von der DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH:

D-PL-11109-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 und vom Kraftfahrt Bundesamt als Technischer Dienst benannt: KBA – P 00004-96.

Eine auszugsweise Vervielfältigung und Veröffentlichung des Prüfberichtes ist ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums nicht zulässig.

*Test laboratory accredited by DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH:*

*D-PL-11109-01-00 according DIN EN ISO/IEC 17025:2005 and designated by Kraftfahrt Bundesamt as Technical Service: KBA – P 00004-96.*

*A duplication and a publication in extracts of the test report is not allowed without a written permission of the testing laboratory.*

Dieser Prüfbericht umfasst die Seiten

*This Test Report comprises pages 1 bis / to 39*

**TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG**  
**IFM - Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität**  
Adlerstr. 7, 45307 Essen

Akkreditiert nach / *accredited to:* DIN EN ISO/IEC 17025: D-PL-11109-01-00  
Benannt als Technischer Dienst / *Designated as Technical Service*  
vom Kraftfahrt Bundesamt / *by Kraftfahrt-Bundesamt:* KBA – P 00004-96

Geschäftsstelle Essen, 14.09.2016



Sergej Dreger

Gutachtennummer : S-129.99.387.00  
Auftragsnummer : 811 374 4431  
E-Mail : sdreger@tuev-nord.de  
Telefon : +49 201 825-4236  
Fax : +49 201 825-4109