

**UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERS FÜR UMWELT  
NATURSCHUTZ UND  
REAKTORSICHERHEIT**  
- Luftreinhaltung -

Umweltbundesamt  
UFOPLAN-Nr. 3708 45 103

**Überprüfung der Kfz - Emissionen im realen Betrieb**

- Abschlussbericht, 30.11.2010 -

von

**Helge Schmidt**



Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität  
Antrieb/Emissionen  
PKW/Kraftrad

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**Berichts - Kennblatt**

<b>1. Berichtsnummer</b>	<b>2. Abschlussbericht</b>	<b>3.</b>
<b>4. Titel des Berichts</b> Überprüfung der Kfz-Emissionen im realen Betrieb		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Schmidt, Helge		<b>8. Datum des Berichts</b> 30.11.2010
		<b>9. Veröffentlichungsdatum</b>
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität Adlerstr. 7, 45307 Essen		<b>10. UFOPLAN - Nr.</b> 3708 45 103
		<b>11. Seitenzahl</b> 71 + Anhang
<b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b>  Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau		<b>12. Literaturangaben</b> 23
<b>15. Zusätzliche Angaben</b>  -		<b>13. Tabellen und Diagramme</b> 18
		<b>14. Abbildungen</b> 47
<b>16. Kurzfassung</b>  Bei der Feldüberwachung werden Fahrzeuge aus dem Verkehr in einem vollständigen Testverfahren entsprechend dem Typprüfzyklus hinsichtlich der Abgasemissionen untersucht. Ziel der Feldüberwachung ist die Erkennung typspezifischer und konstruktionsbedingter Mängel oder unzureichender Wartungsvorschriften. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde zusätzlich zu den Abgasemissionen der Kraftstoffverbrauch ermittelt. Bei einem Fahrzeug je Typ mit Fremdzündungsmotor wurden die Verdunstungsemissionen ermittelt und untersucht, ob in bestimmten Betriebspunkten von der stöchiometrischen Verbrennung abgewichen wurde.  In diesem Forschungsvorhabens wurden 4 Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor, 6 Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor und Partikelfilter, 2 Fahrzeugtypen mit Gasantrieb und 1 Fahrzeugtyp mit Hybrid-Elektrischem Antrieb überprüft. Bei allen untersuchten Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor wurden die jeweiligen Abgasgrenzwerte der EG-Typgenehmigung eingehalten. Bei einem Fahrzeug mit Kompressionszündungsmotor wurde der Grenzwert für die Kohlenmonoxidemissionen überschritten, alle anderen untersuchten Fahrzeuge mit Dieselmotor hielten die Grenzwerte im NEFZ ein. Bei einem Fahrzeug mit Gasantrieb wurde der Euro 4 Grenzwert für Stickoxidemissionen im Typ I Test überschritten. Alle anderen untersuchten Fahrzeuge mit Gasantrieb und alle Fahrzeuge mit Hybrid-Elektrischem Antrieb hielten die Abgasgrenzwerte im NEFZ ein. Bei allen Fahrzeugen mit Benzinmotor wurde bei Vollast eine Anreicherung des Kraftstoff-Luft Gemisches festgestellt. Bei einem Fahrzeugtyp mit Fremdzündungsmotor wurde der Grenzwert für die Verdunstungsemissionen von 2,0 g Kohlenwasserstoff überschritten.		
<b>17. Schlagwörter</b>  Feldüberwachung, Abgasemissionen, Vollastanreicherung, nicht limitierte Schadstoffe, Verdunstungsemissionen		
<b>18. Preis</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

**Report**

<b>1. Report no.</b>	<b>2. Report</b>	<b>3.</b>
<b>4. Report Title</b> Determination of pollutants limited by law emitted by vehicles in traffic (In-Use Compliance Testing 8)		
<b>5. Author(s), Family Name(s), First Name(s)</b>  Schmidt, Helge		<b>8. Report Date</b>  30.11.2010
		<b>9. Publication Date</b>
<b>6. Performing Organisation (Name, Address)</b> TÜVNORD Mobilität, Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität Adlerstrasse 7 D-45307 Essen		<b>10. UFOPLAN – Ref.-No.</b> 3708 45 103
		<b>11. No. of Pages</b> 71 + Annex
<b>7. Sponsoring Agency (Name, Address)</b>  Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau		<b>12. No. of References</b> 23
<b>15. Supplementary Notes</b>  -		<b>13. No. of Tables, Diagrammes</b> 18
		<b>14. No. of Figures</b> 47
<b>16. Abstract</b>  During this In-Use compliance testing programme the exhaust emissions of passenger cars and light duty vehicles in traffic were measured under type approval conditions. Additional the fuel consumption was determined. Full load tests were carried out to check if there is a deviation from stoichiometric combustion in certain operational areas. Additional evaporative emissions were measured at gasoline cars. The aim of these investigations was the detection of type specific defects, design faults and inadequate maintenance regulations.  During this In-Use compliance testing programme the exhaust emissions of 4 vehicle types equipped with gasoline engine, 6 vehicle types with compression ignition engine and particle filter, 2 vehicle types with CNG engine and 1 hybrid electric vehicle type were tested. The type approval limits were exceeded of one vehicle type with diesel engine and 1 vehicle with CNG engine in as delivered condition. One vehicle type exceeded the evaporative emissions limit.		
<b>17. Keywords</b>  In-Use compliance, field monitoring, exhaust emissions, full-load-enrichment, non limited emissions, evaporative emissions		
<b>18. Price</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u></b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b><u>PROJEKTABWICKLUNG</u></b>	<b>10</b>
3.1	Untersuchungsprogramm	10
3.2	Fahrzeugauswahl	11
3.3	Durchführung der Untersuchungen	18
3.4	Bewertung einer Stichprobe gemäß Richtlinie 98/69/EG	24
<b>4</b>	<b><u>DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE</u></b>	<b>27</b>
4.1	Abgasemissionen im Zertifizierungstest	27
4.1.1	VERGLEICH DER EMISSIONEN MIT DEN GRENZWERTEN BEI DER TYPGENEHMIGUNG	27
4.1.2	BEWERTUNG DER ABGASEMISSIONEN IM TYPPRÜFZYKLUS	43
4.2	Kohlendioxidemissionen und Kraftstoffverbrauch	48
4.3	Abgasemissionen in den zusätzlichen Fahrzyklen	51
4.4	Verdunstungsemissionen	61
4.5	Vollastanreicherung	62
<b>5</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG</u></b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b><u>ANHANG</u></b>	<b>72</b>

### Typberichte:

KIA Picanto	MAZDA 6
MINI Cooper S	SMART ForTwo CDI
MITSUBISHI Colt	VOLKSWAGEN Golf Variant TDI
OPEL Meriva	TOYOTA Prius
ALFA ROMEO 159 Sportwagon	OPEL Zafira CNG
AUDI A4 Avant TDI	VOLKSWAGEN Touran CNG
BMW 320d	

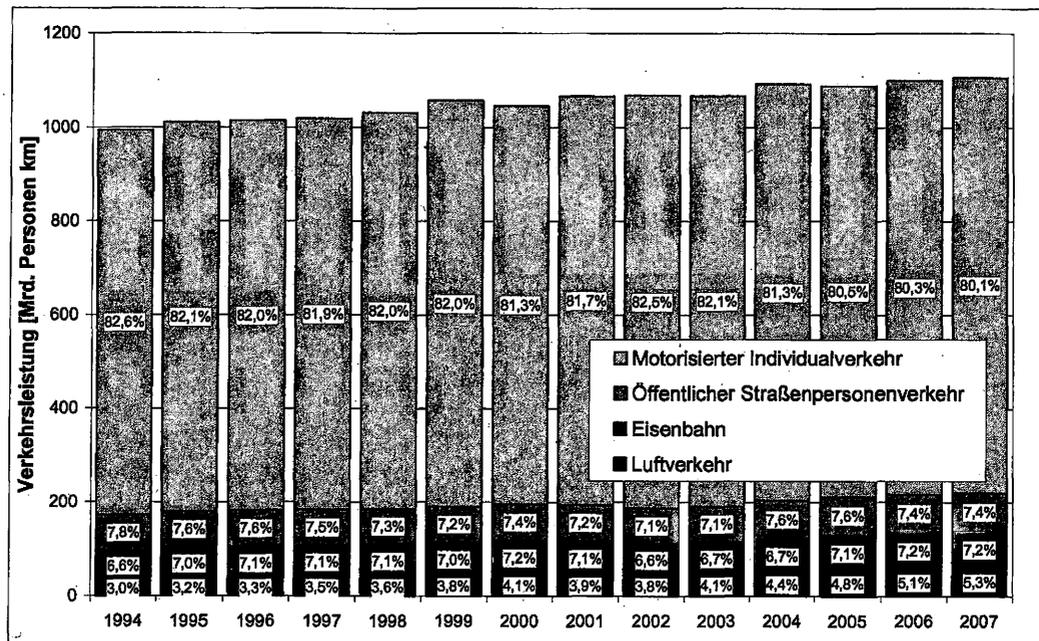
## 1 Abkürzungsverzeichnis

A4, A5	Automatisches Getriebe mit 4 bzw. 5 Gängen
ABE	Allgemeine Betriebserlaubnis
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club
AM5	Automatisiertes Handschaltgetriebe
ASN	Aufbauergänzungsschlüsselnummer
AU	periodische Abgasuntersuchung
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
CADC	Common Artemis Driving Cycle; Fahrzyklus für Emissionsfaktormodellierung
CI	Compression Ignition; Kompressionszündungsmotor
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
COP	Conformity of Production; Überprüfung der Serienproduktion hinsichtlich Abgasemissionen
CLD	Chemo Luminiszenz Detektor; Messgerät zur Erfassung von Stickoxidemissionen
CNG	Compressed Natural Gas = Erdgas
D3, D4	Steuerliche Einstufung aufgrund von Anforderungen an das Abgasverhalten von Kraftfahrzeugen gemäß deutschem Kraftfahrzeugsteueränderungsgesetz vom 18.04.1997
Euro 1	Typprüfung gemäß Richtlinie 91/441/EWG
Euro 2	Typprüfung gemäß Richtlinie 94/12/EWG
Euro 3	Typprüfung gemäß Richtlinie 98/69/EG
Euro 3 D4	Typprüfung gemäß Richtlinie 98/69/EG nach EURO3, zusätzlich Einhaltung verschärfter Grenzwerte im Fahrzyklus erforderlich
Euro 4	Typprüfung gemäß Richtlinie 98/69/EG, verschärfte Anforderungen gegenüber EURO3 (u.a. niedrigere Grenzwerte im Fahrzyklus, -7°C Test für Pkw mit Fremdzündungsmotor)
Euro 5, Euro 6	Typprüfung gemäß Verordnung (EG) Nr. 715/2007 (Euro 5 und Euro 6), Amtsblatt der Europäischen Union
FTP 75	Federal Test Procedure 75 = amerikanischer Fahrzyklus
HC	Kohlenwasserstoffe
HSN	Herstellerschlüsselnummer
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
KraftStÄndG	Kraftfahrzeugsteueränderungsgesetz vom 18.04.1997
M5, M6	Manuelles Getriebe mit 5 bzw. 6 Gängen
MIL	Malfunction Indicator Lamp = Warnlampe des On Board Diagnose Systems
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus gemäß Richtlinie 98/69/EG
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
NH <sub>3</sub>	Ammoniak

OBD	On Board Diagnose
PI	Positive Ignition; Fremdzündungsmotor
RME	Rapsölmethylester
SA	Stufenloses Automatik Getriebe
SHED	Sealed Housing for Evaporative Emissions Detection, Prüfeinrichtung zur Bestimmung der Verdunstungsemissionen
TSN	Typschlüsselnummer
TÜV NORD	TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG
UBA	Umweltbundesamt
VCA	Vehicle Certification Agency; Typprüfbehörde in Großbritannien

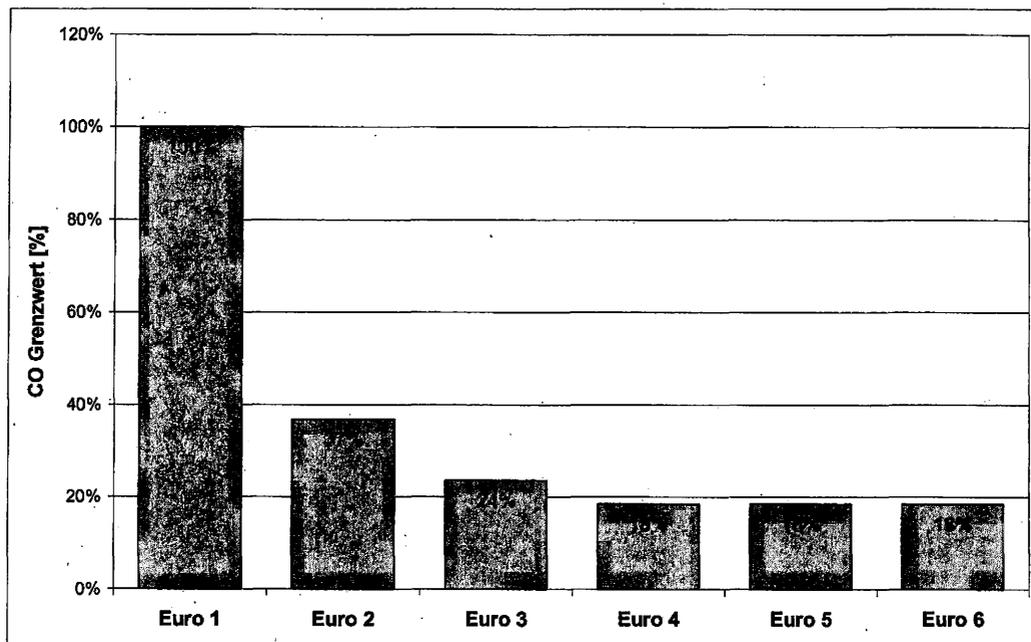
## 2 Einleitung

Mobilität ist Voraussetzung für eine funktionierende Wirtschaft und ermöglicht Freiheit und Flexibilität des Einzelnen. Dabei spielt der Straßenverkehr eine entscheidende Rolle. Etwa drei Viertel aller Transporte werden auf der Straße abgewickelt. In **Abbildung 2.1** wird deutlich, dass der Pkw mit ca. 80 % den überragenden Anteil an der Personenverkehrsleistung in Deutschland übernimmt. /1/, /2/, /3/



**Abbildung 2.1: Personenverkehrsleistung verschiedener Verkehrsträger in Deutschland 2007 (Quelle: UBA, Daten zum Verkehr 2009)**

Trotz des stetigen Wachstums der Verkehrsleistung konnten Erfolge bei der Luftreinhaltung erzielt werden. Die schrittweise Verschärfung der Abgasgesetzgebung hat zu einer konsequenten Verbesserung der Motoren- und Abgastechnik geführt. In **Abbildung 2.2** ist die Absenkung des Kohlenmonoxid Grenzwertes bei der Typprüfung von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor schematisch dargestellt. Zusätzlich wurde mit Euro 3 ein geänderter Fahrzyklus zur Erfassung der Kaltstartemissionen eingeführt. /4/, /5/



**Abbildung 2.2: Kohlenmonoxid-Grenzwerte für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor bei der Typprüfung in Europa**

Neben der Typprüfung für neue Fahrzeugtypen wurde ein umfangreiches Maßnahmenpaket zur Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffbelastung der Luft geschaffen. Es beinhaltet die Prüfung der Übereinstimmung der Produktion an Neufahrzeugen (COP), die Prüfung der Konformität von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen (Feldüberwachung), ein On Board Diagnose System, die periodische Überwachung aller im Verkehr befindlichen Fahrzeuge so wie erhöhte Anforderungen an die Kraftstoffqualität. In **Tabelle 2.1** auf Seite 9 sind verschiedene gesetzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Abgasemissionen durch Kraftfahrzeuge dargestellt.

Durch diese Maßnahmen konnte in den vergangenen Jahrzehnten die Schadstoffbelastung durch den Straßenverkehr reduziert werden. Insbesondere die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen wurden mit der Einführung des Katalysators deutlich abgesenkt. In **Abbildung 2.3** sind die Kohlenmonoxidemissionen und in **Abbildung 2.4** die Kohlenwasserstoffemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland dargestellt.  
/6/

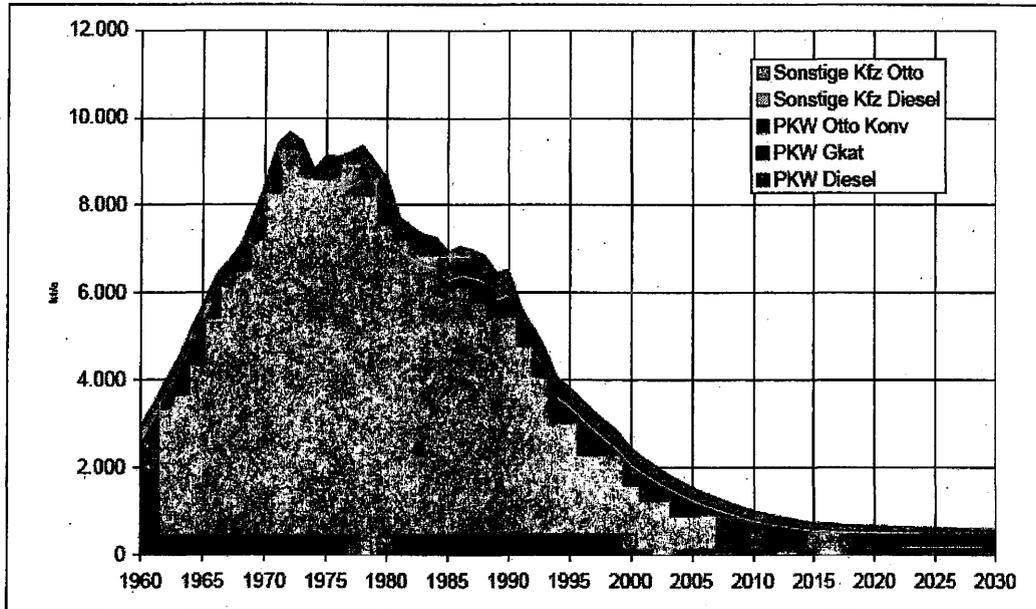


Abbildung 2.3: Kohlenmonoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland (Quelle: IFEU Heidelberg)

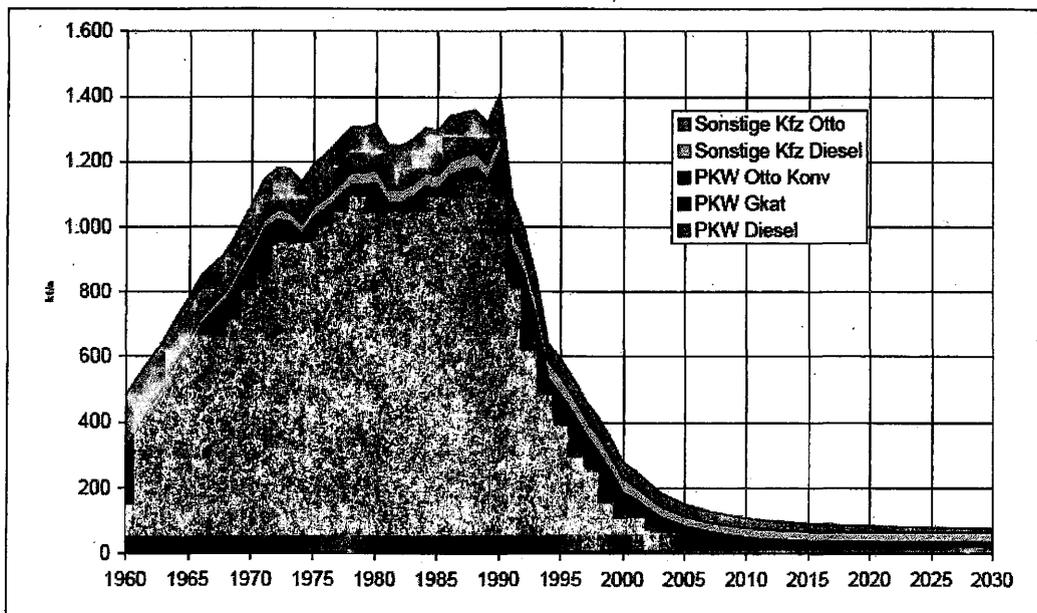


Abbildung 2.4: Kohlenwasserstoffemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland (Quelle: IFEU Heidelberg)

Trotz dieser Erfolge stellt die Umweltbelastung durch das stetige Wachstum der Verkehrsleistung eine Herausforderung dar. Insbesondere Feinstaub, Stickoxide und das Klimagas Kohlendioxid sind in den Fokus der Umweltpolitik gerückt. Mit Einführung der Abgasnormen Euro 5 und Euro 6 werden die Grenzwerte für Partikel- und Stickoxidemissionen drastisch reduziert. /5/, /7/

Die verschärften Anforderungen an das Emissionsverhalten haben aufwändige Fahrzeugtechnologien und komplexe Abgasnachbehandlungssysteme erforderlich gemacht. Das wirft die Frage auf, ob die Dauerhaltbarkeit dieser Emissionsminderungssysteme im realen Straßenverkehr gewährleistet ist. Daher kommt der Feldüberwachung bei der Reduzierung der durch den Straßenverkehr verursachten Schadstoffbelastung eine besondere Bedeutung zu. Bei der Feldüberwachung werden bereits im Verkehr befindliche Fahrzeuge in einem vollständigen Testverfahren entsprechend dem Typprüfzyklus untersucht.

Die Ergebnisse zahlreicher Forschungsprojekte des Umweltbundesamtes zeigen, dass die Feldüberwachung ein geeignetes Mittel ist, um die Umweltbelastung durch den Straßenverkehr zu reduzieren. Typspezifische, abgasrelevante Fehler lassen sich mit Hilfe der Feldüberwachung identifizieren und in Zusammenarbeit mit den betroffenen Fahrzeugherstellern beseitigen. Insbesondere bei Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor waren in den vorangegangenen Forschungsprogrammen Grenzwertüberschreitungen festgestellt worden. /8/, /9/, /10/, /11/, /12/, /13/, /14/, /15/, /16/.

Das Forschungsprogramm 3708 45 103 „Überprüfung der Kfz - Emissionen im realen Betrieb“ stellt im Wesentlichen eine Fortführung dieser Forschungsvorhaben dar. Ziel der Untersuchung ist es, den Einfluss der Fahrleistung und des Fahrzeugalters auf das Abgasemissionsverhalten von Pkw mit modernen Motorkonzepten und Abgasreinigungssystemen zu ermitteln. Die Durchführung dieser Feldüberwachung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Fahrzeugherstellern. So kann es den betroffenen Herstellern ermöglicht werden, eventuelle typspezifische emissionsrelevante Mängel an den Fahrzeugen im Verkehr und in der Serienproduktion zu beheben und die bei der Feldüberwachung gewonnenen Erkenntnisse bei zukünftigen Entwicklungen einfließen zu lassen. Durch diese Vorgehensweise trägt dieses Forschungsprogramm direkt zu einer Absenkung der Umweltbelastung durch Schadstoffemissionen aus dem Straßenverkehr bei.

Die Abgasemissionen wurden in den gesetzlich vorgeschriebenen Fahrzyklen und in zusätzlichen Betriebszuständen, die bei der Typprüfung nicht abgedeckt werden, erfasst. Darüber hinaus wurden im Rahmen dieses Vorhabens Fragestellungen, wie die Vollastanreicherung und Verdunstungsemissionen bei Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor behandelt.

	Neu-Fahrzeuge			Fahrzeuge im Verkehr		
	Typprüfung	Dauerhaltbarkeit	Serien-überprüfung	Feldüberwachung	Periodische Abgasuntersuchung	On Board Diagnose
<b>Ziel</b>	Nachweis der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben durch einen Fahrzeugtyp	Nachweis der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben durch einen Fahrzeugtyp	Statistische Absicherung der Serienproduktion	Erkennung typspezifischer konstruktionsbedingter Mängel oder unzureichender Wartungsanweisungen	Erkennung hochemittierender Fahrzeuge, Wartungszustand	Fehlfunktionserkennung und -Anzeige zur sofortigen Instandsetzung
<b>Verantwortungsbereich</b>	Fahrzeughersteller	Fahrzeughersteller	Fahrzeughersteller	Fahrzeughersteller	Fahrzeughalter	Fahrzeughalter
<b>Fahrzeugauswahl</b>	Prototypen	Prototypen oder Serien-Fahrzeuge	Stichprobe aus der Serien-Produktion	Stichprobe der Fahrzeugflotte im Feld	Alle Fahrzeuge im Verkehr	Alle Fahrzeuge im Verkehr
<b>Zeitpunkt der Prüfung</b>	Einmalig	Einmalig	Sporadisch	Regelmäßig	Erstmalig nach 3 Jahren, dann alle 2 Jahre	Permanent
<b>Art der Prüfung</b>	Typprüfung	Dauerlauf (AMA) oder fester Verschlechterungsfaktor	Typprüfung	Typprüfung	Kurztest	Reale Bedingungen nach Applikation des Herstellers
<b>Einfluss auf die Emissions-Reduzierung</b>	Eingesetzte Technologie	Dauerhaltbarkeit unter Laborbedingungen	Eingesetzte Technologie und Umsetzung in der Produktion	Eingesetzte Technologie und Umsetzung im Feld	Wartungszustand	Dauerhaltbarkeit und Wartungszustand im realen Verkehr
<b>Gesetzliche Grundlagen</b>	Europäische Richtlinien über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen 91/441/EWG, 94/12/EWG, 98/69/EG			98/69/EG	96/96/EG, 1999/52/EG	98/69/EG

Tabelle 2.1: Ansätze zur Reduzierung der Abgasemissionen durch Kraftfahrzeuge (Quelle UBA)

### **3 Projektentwicklung**

#### **3.1 Untersuchungsprogramm**

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, den Einfluss der Fahrleistung und des Fahrzeugalters auf das Abgas-Emissionsverhalten von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit modernen Motorkonzepten und Abgasreinigungssystemen zu ermitteln. Es wurden insgesamt 13 Fahrzeugtypen untersucht, die gemäß Richtlinie 98/69/EG typgeprüft worden sind. Für diese Untersuchungen wurden 4 Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor, 6 Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor, 2 Fahrzeugtypen mit Gasantrieb und 1 Fahrzeugtyp mit Hybrid-Elektrischem Antrieb ausgewählt.

Die Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor wurden hinsichtlich der vom Gesetzgeber limitierten Abgasemissionen Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide überprüft. Bei den Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor wurden zusätzlich die Partikelemissionen bestimmt.

Die Messungen erfolgten im jeweiligen Typprogenehmigungszyklus, d.h. dem „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ (NEFZ) entsprechend der Änderungsrichtlinie 98/69/EG. Darüber hinaus wurde für das Emissionsfaktorenprogramm des UBA der FTP75 – Zyklus und der Common Artemis Driving Cycle (CADC) gefahren. Dadurch konnte der gesamte abgasrelevante Betriebsbereich von Kraftfahrzeugen bei den Messungen abgedeckt werden. Der CADC wird als Grundlage für die einheitliche Modellierung von Emissionsfaktoren in Europa verwendet.

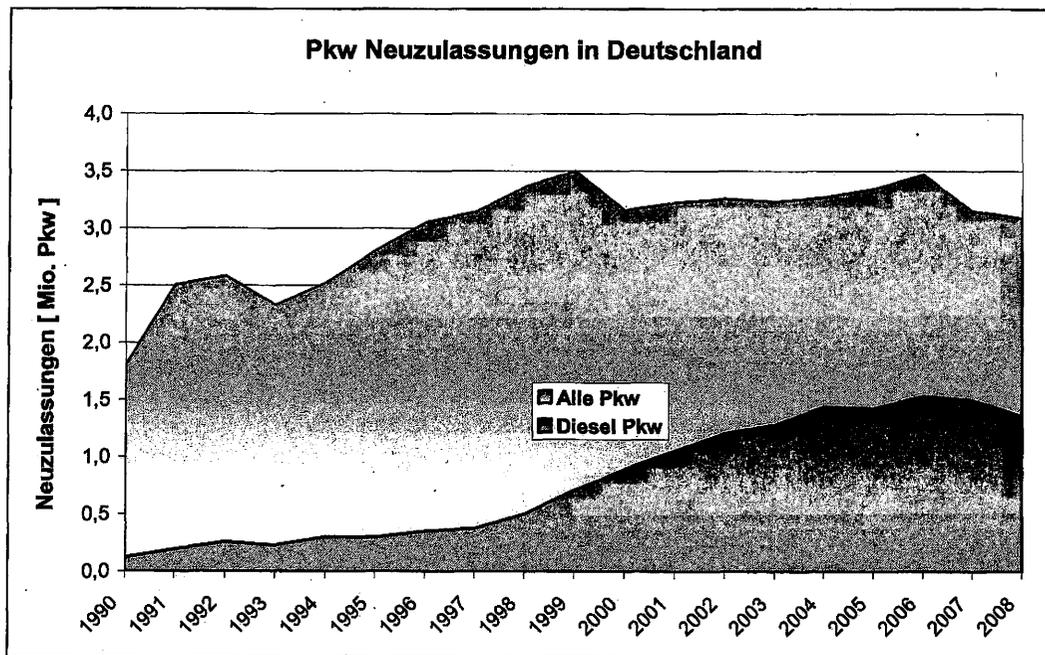
Während der Messungen auf dem Fahrleistungsprüfstand wurden die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) kontinuierlich im Sekundentakt erfasst (Modalmessung). Parallel dazu wurden die Abgase in Beuteln gesammelt und die Integralwerte ermittelt. Die Masse der emittierten Partikel wurde integral erfasst. Die Ergebnisse der Modalmessungen dienen als Basis für die Ermittlung der Emissionsfunktionen, mit deren Hilfe das Abgasemissionsverhalten in allen relevanten Verkehrssituationen dargestellt werden kann.

Zusätzlich zu den Abgasemissionen wurde im jeweiligen Typprogenehmigungszyklus der Kraftstoffverbrauch gemäß Änderungsrichtlinie 1999/100/EG ermittelt. Dabei wurde aus den Emissionen der kohlenstoffhaltigen Abgaskomponenten (CO<sub>2</sub>, CO und HC) der Kraftstoffverbrauch berechnet /17/.

An dem Forschungsvorhaben waren neben dem Umweltbundesamt (UBA) als Auftraggeber der TÜV NORD als Projektleitende Stelle, der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC) und das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) beteiligt. Die Ermittlung der Fahrzeugalter von geeigneten Fahrzeugen erfolgte durch das KBA. Der ADAC übernahm die Überführung der Prüffahrzeuge und die Interessenvertretung der Fahrzeugalter. Die Messungen erfolgten in Abgaslaboratorien des TÜV NORD und des ADAC.

### 3.2 Fahrzeugauswahl

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden insgesamt 13 Fahrzeugtypen untersucht, die gemäß Richtlinie 98/69/EG typgeprüft worden sind. Als Grundlage für die Fahrzeugauswahl dienten die Zulassungszahlen des Kraftfahrt-Bundesamtes aus dem Jahr 2007. Der Anteil von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor wurde auf 6 Typen festgelegt. Das entspricht etwa dem Anteil von 48% der Pkw mit Dieselmotor an den Neuzulassungen im Jahr 2007. In **Abbildung 3.1** ist die Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland für die Jahre von 1990 bis 2008 dargestellt. /18/, /19/



**Abbildung 3.1: Neuzulassungen von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor in Deutschland (Quelle KBA)**

Neben Fahrzeugen mit Diesel- und Benzinmotor wurden in diesem Vorhaben zum ersten Mal Fahrzeuge mit Gasantrieb untersucht. Der Anteil Erdgas betriebener Pkw an den gesamten neu zugelassenen Pkw belief sich im Jahr 2007 auf 0,4%. Dennoch sollte die Dauerhaltbarkeit dieser als besonders umweltfreundlich eingestuftem Fahrzeuge im Rahmen dieses Projekt erstmals untersucht werden. Darüber hinaus wurde ein Fahrzeugtyp mit Hybrid-Elektrischem Antrieb, d.h. einer Kombination aus Verbrennungsmotor und Elektroantrieb, ausgewählt.

Durch die Auswahl der Fahrzeugtypen sollte ein möglichst breites Spektrum an Herstellern abgedeckt werden, wobei ein repräsentativer Querschnitt über die in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Fahrzeugtypen gewahrt bleiben sollte. Es wurden Fahrzeugtypen von 10 unterschiedlichen Herstellern im Vorhaben untersucht. In den **Abbildungen 3.2 und 3.3** ist der Anteil der verschiedenen Fahrzeughersteller an

den Neuzulassungen in der Bundesrepublik Deutschland und an den im Rahmen dieses Projektes untersuchten Fahrzeugen dargestellt. /20/

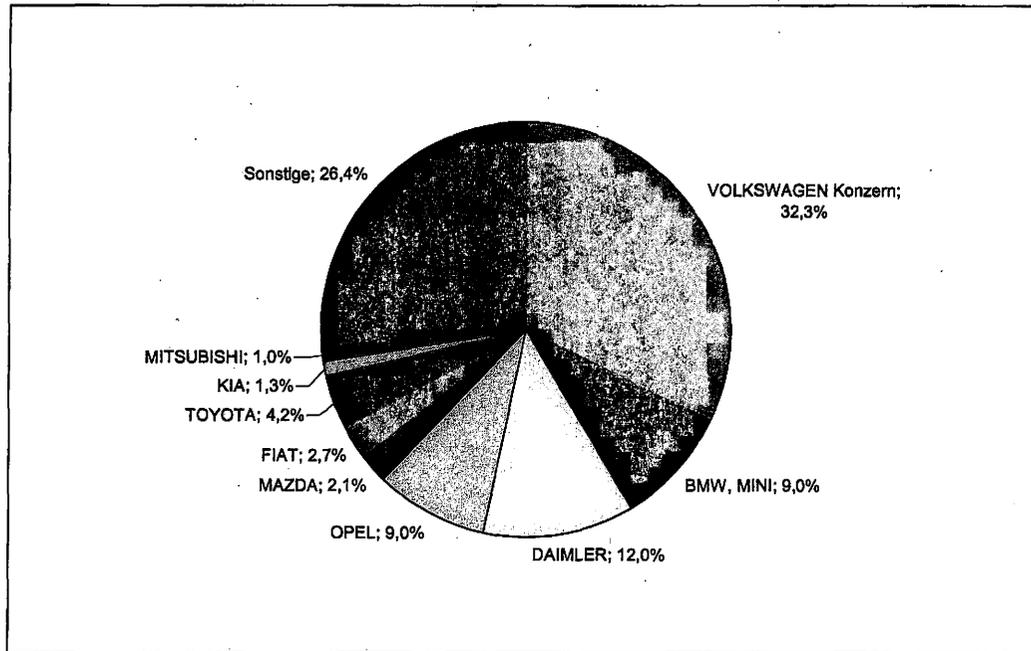


Abbildung 3.2: Pkw Neuzulassungen 2007 (Quelle KBA)

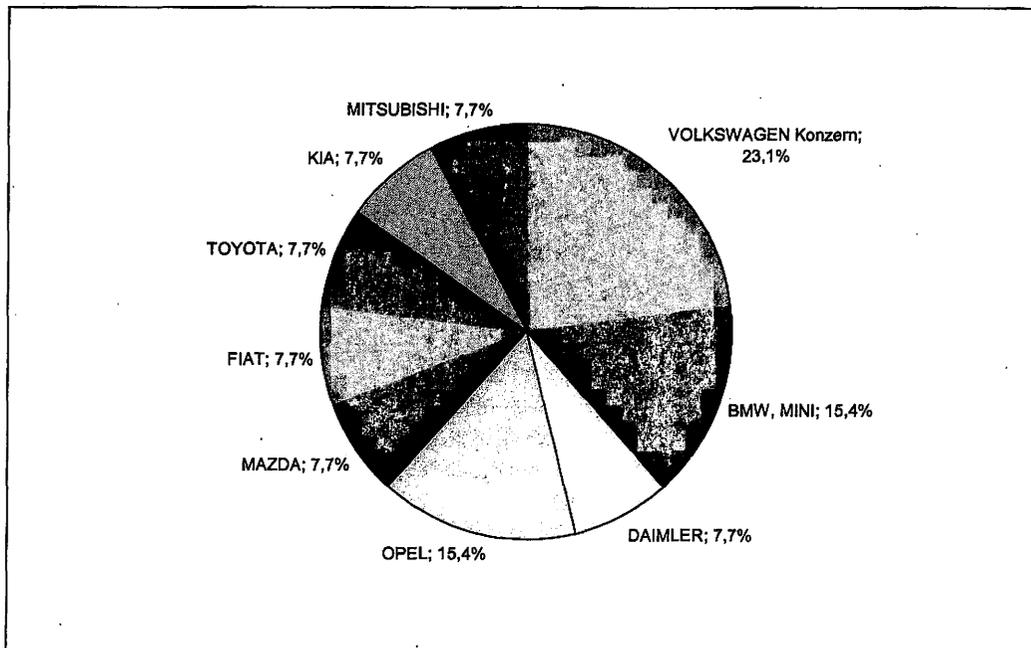


Abbildung 3.3: Fahrzeugauswahl nach Herstellern

In **Tabelle 3.1** sind die im Rahmen der Typprüfung angewendeten Abgasgrenzwerte für Pkw (M1) und leichte Nutzfahrzeuge (N1) mit Fremdzündungsmotor dargestellt. Bereits am 18.04.1997 wurde mit dem Kraftfahrzeugsteueränderungsgesetz in Deutschland eine steuerliche Förderung für verbrauchsarme Fahrzeuge eingeführt. Zur Erreichung günstigerer Steuerklassen durften die im Neuen Europäischen Fahrzyklus emittierten CO<sub>2</sub> Emissionen 120 g/km (Euro 4; 5l) bzw. 90 g/km (Euro 4; 3l) nicht übersteigen. /21/

Stand der Abgaszulassung	Aufbauergänzungsschlüsselnummer (ASN)	Grenzwerte im Typ I Test		
		CO [g/km]	HC [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]
Euro 3	44	2,30	0,20	0,15
Euro 4	62	1,00	0,10	0,08
Euro 4; 5l	63	1,00	0,10	0,08
Euro 4; 3l	64	1,00	0,10	0,08

**Tabelle 3.1: Emissionsgrenzwerte im Neuen Europäischen Fahrzyklus für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor (M1 und N1 Gruppe I)**

**Tabelle 3.2** zeigt die im Rahmen der Typprüfung angewendeten Abgasgrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor.

Stand der Abgaszulassung	Aufbauergänzungsschlüsselnummer (ASN)	Grenzwerte im Typ I Test			
		CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC+NO <sub>x</sub> [g/km]	Partikel [g/km]
Euro 3	44	0,64	0,50	0,56	0,050
Euro 4	62	0,50	0,25	0,30	0,025
Euro 4; 5l	63	0,50	0,25	0,30	0,025
Euro 4; 3l	64	0,50	0,25	0,30	0,025

**Tabelle 3.2: Emissionsgrenzwerte im NEFZ für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor (M1 und N1 Gruppe I)**

Die Auswahl der Fahrzeuge nach dem Stand der Abgaszulassung erfolgte über die Aufbauergänzungsschlüsselnummer (ASN), so dass sichergestellt werden konnte, dass alle Fahrzeuge eines Fahrzeugtyps nach den gleichen Abgasgrenzwerten zugelassen wurden. /21/, /22/

Bei der Ermittlung von Fahrzeughaltern wurden Regionalschlüssel angewendet, so dass die Fahrzeuge auf die Bereiche der Standorte der beteiligten Forschungsstellen des TÜV NORD in Essen und des ADAC in Landsberg am Lech beschränkt waren. Die Ermittlung der Fahrzeughalter erfolgte unter Nutzung der Bestandsdaten des Kraftfahrt-Bundesamtes. Über den speziell angepassten Auswahlalgorithmus wurde gewährleistet, dass die Selektion der Fahrzeughalter nach dem Zufallsprinzip erfolgte.

Bei der Auswahl der Einzelfahrzeuge wurden weitere Kriterien wie Kilometerstand und Wartungszustand berücksichtigt, die über einen Fragebogen ermittelt wurden, der von den Fahrzeughaltern ausgefüllt wurde. Bei der Fahrzeugübernahme wurden zusätzliche Daten hinsichtlich am Fahrzeug durchgeführter Reparaturen und Abweichungen zum Serienzustand erfragt. Die abgasrelevanten Bauteile wurden auf direkt erkennbare Beschädigungen überprüft.

Bei der Auswahl der Einzelfahrzeuge wurden die folgenden Kriterien zu Grunde gelegt:

- gleiche Aufbauergänzungsschlüsselnummer und Abgaszulassung bei allen Fahrzeugen eines Typs
- Tachometerstand zwischen 15.000 und 80.000 km
- Betriebszeit zwischen sechs Monaten und fünf Jahren
- regelmäßige Inspektionen nach Herstellervorgabe
- keine Hinweise auf außergewöhnliche Belastung
- Fahrzeug befindet sich im Serienzustand hinsichtlich emissionsrelevanter Teile
- Abgasrelevante Bauteile ohne mechanische Beschädigung
- Regionale Begrenzung auf die Standorte der beteiligten Forschungsstellen

In einem Rechenlauf wurden durch das Kraftfahrt-Bundesamt für die ausgewählten Fahrzeugtypen jeweils 150 Halter ermittelt und angeschrieben. Dabei wurden neben Fahrzeugen aus privater Hand auch gewerblich genutzte Fahrzeuge berücksichtigt.

In den Tabellen 3.3, 3.4 und 3.5 sind die ausgewählten Fahrzeugtypen mit den zugehörigen technischen Daten der einzelnen Fahrzeugtypen aufgeführt. Es werden die Hersteller, die Herstellerschlüsselnummern (HSN), die Typschlüsselnummern (TSN) sowie die Verkaufsbezeichnungen entsprechend der jeweiligen Allgemeinen Betriebslaubnis (ABE) oder EG-Gesamtbetriebserlaubnis der Fahrzeugtypen angegeben.

Die Antriebseinheit wird über den Motortyp, die Angabe der Motorleistung und des Hubraumes spezifiziert. Die Art der Abgasgenehmigung und die Aufbauergänzungsschlüsselnummer (ASN) sind angegeben. Außerdem ist die durchschnittliche Fahrleistung und das Durchschnittsalter der untersuchten Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Tests aufgeführt.

Nr.	Hersteller	HSN *)	Typ	TSN **)	Modell	Motortyp	Hubraum	Leistung	Getriebe	Ø Fahrleistung	Ø Alter	ASN ***)	Zulassung
							[cm³]	[kW]		[km]	[Jahre]		
1	KIA	8253	BA	AAP	Picanto	G4HG	1.086	48	M5	46.381	2,7	62	Euro 4
2	MINI	0005	MINI-N	AFC	Cooper S	N14B16A	1.598	128	M6	44.084	3,1	62	Euro 4
3	MITSUBISHI	9758	Z30	AAE	Colt	135930	1.332	70	M5	46.063	2,8	62	Euro 4
4	OPEL	0035	X01Monocab	AAB	Meriva	Z16XEP	1.598	77	M5	47.128	2,6	62	Euro 4

\*) HSN: Hersteller-Schlüsselnummer

\*\*) TSN: Typ-Schlüsselnummer

\*\*\*) ASN: Aufbau-Ergänzungs-Schlüsselnummer

**Tabelle 3.3: Ausgewählte Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor**

Nr.	Hersteller	HSN *)	Typ	TSN **)	Verkaufsbezeichnung	Motortyp	Hubraum	Leistung	Getriebe	∅ Fahrleistung	∅ Alter	ASN ***)	Zulassung
							[cm³]	[kW]		[km]	[Jahre]		
5	ALFA ROMEO	4136	939	ACP	159 Sportwagon	939A2000	1.910	110	M6	38.852	2,3	62	Euro 4
6	AUDI	0588	8E	AFJ	A4 Avant TDI	BVA	1.968	125	M6	57.135	2,6	62	Euro 4
7	BMW	0005	390L	ADP	320d	204D4	1.995	120	M6	41.008	3,0	62	Euro 4
8	MAZDA	7118	GG1	AAL	6	RF	1.998	105	M6	57.986	4,5	62	Euro 4
9	SMART	1313	451	AHL	ForTwo CDI	660950	799	33	AM5	19.344	1,9	64	Euro 4; 3l
10	VOLKSWAGEN	0603	1K	ALX	Golf Variant TDI	BXE / BLS	1.896	77	M5	40.405	2,8	62	Euro 4

\*) HSN: Hersteller-Schlüsselnummer

\*\*\*) TSN: Typ-Schlüsselnummer

\*\*\*) ASN: Aufbau-Ergänzungs-Schlüsselnummer

**Tabelle 3.4: Ausgewählte Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor**

Nr.	Hersteller	HSN *)	Typ	TSN **)	Verkaufsbezeichnung	Motortyp	Hubraum	Leistung	Getriebe	∅ Fahrleistung	∅ Alter	ASN ***)	Zulassung
							[cm³]	[kW]		[km]	[Jahre]		
11	TOYOTA	5013	HW2	ACI	Prius II	1NZ-FXE	1.497	57	SA	54.288	2,8	63	Euro 4; 5L
12	OPEL	0035	AH Monocab	AFA	Zafira CNG	Z16YNG	1.598	69	M5	68.083	3,0	62	Euro 4
13	VOLKSWAGEN	0603	1T	AHC	Touran CNG	BSX	1.984	80	M5	44.800	2,5	62	Euro 4

\*) HSN: Hersteller-Schlüsselnummer

\*\*\*) TSN: Typ-Schlüsselnummer

\*\*\*) ASN: Aufbau-Ergänzungs-Schlüsselnummer

**Tabelle 3.5: Ausgewählte Fahrzeugtypen mit hybrid-elektrischem Antrieb und Erdgasantrieb**

### 3.3 Durchführung der Untersuchungen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Abgasemissionen von 4 Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor, 6 Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor, 2 Fahrzeugtypen mit Gasantrieb und 1 Fahrzeugtyp mit Hybrid-Elektrischem Antrieb untersucht. Alle untersuchten Fahrzeuge mit Dieselmotor waren mit einem Partikelfilter ausgerüstet. Die Untersuchungen wurden in Anlehnung an die Richtlinie 98/69/EG durchgeführt. Diese Richtlinie sieht die Prüfung von mindestens drei Fahrzeugen je Fahrzeugtyp bei der Feldüberwachung vor. Im Gegensatz zu der in dieser Richtlinie beschriebenen Vorgehensweise wurde die Anzahl der geprüften Fahrzeuge bei Emissionsauffälligkeiten nicht erhöht. Das Verfahren zur Bewertung einer Stichprobe gemäß Richtlinie 98/69/EG ist in Abschnitt 3.4 dargestellt.

Nach Eingang der Fahrzeuge wurden die Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungsintervalle und der ordnungsgemäße Zustand der Fahrzeuge überprüft. Der Nachweis wurde durch die Inspektionshandbücher erbracht. Vor Beginn der Messungen auf dem Fahrleistungsprüfstand wurde zusätzlich eine Abgasuntersuchung (AU) durchgeführt.

Die Messungen der Abgasemissionen erfolgten im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) entsprechend der Änderungsrichtlinie 98/69/EG. Darüber hinaus wurden für das Emissionsfaktorenprogramm des Umweltbundesamtes der FTP75 Fahrzyklus und der Common Artemis Driving Cycle gefahren. Der CADC setzt sich aus einem Stadt -, einem Außerorts - und einem Autobahnzyklus zusammen und wurde als Grundlage für eine einheitliche Emissionsfaktorenmodellierung in Europa entwickelt. Dadurch konnte ein großer Teil des abgasrelevanten Betriebsbereiches von Kraffahrzeugen bei den Messungen abgedeckt und die im Rahmen dieses Vorhabens erhobenen Daten auch zur Berechnung von Abgas-Emissionsfaktoren herangezogen werden.

Das in **Abbildung 3.4** dargestellte Prüfprogramm sieht die folgenden Messungen vor:

- Abgasuntersuchung zur Überprüfung der Motorgrundeinstellung
- zeitlich aufgelöste Ermittlung der Abgasemissionen im Neuen Europäischen Fahrzyklus
- zeitlich aufgelöste Messungen der Abgasemissionen im FTP 75-Fahrzyklus
- zeitlich aufgelöste Messungen der Abgasemissionen im CADC
- Messung der Verdunstungsemissionen bei einem Fahrzeug je Typ mit Fremdzündungsmotor
- Messung zur Vollastanreicherung bei einem Fahrzeug je Typ mit Fremdzündungsmotor
- Wiederholungsmessung im Zulassungstest nach Einstellung oder Reparatur (auf Wunsch des Herstellers, soweit erforderlich)

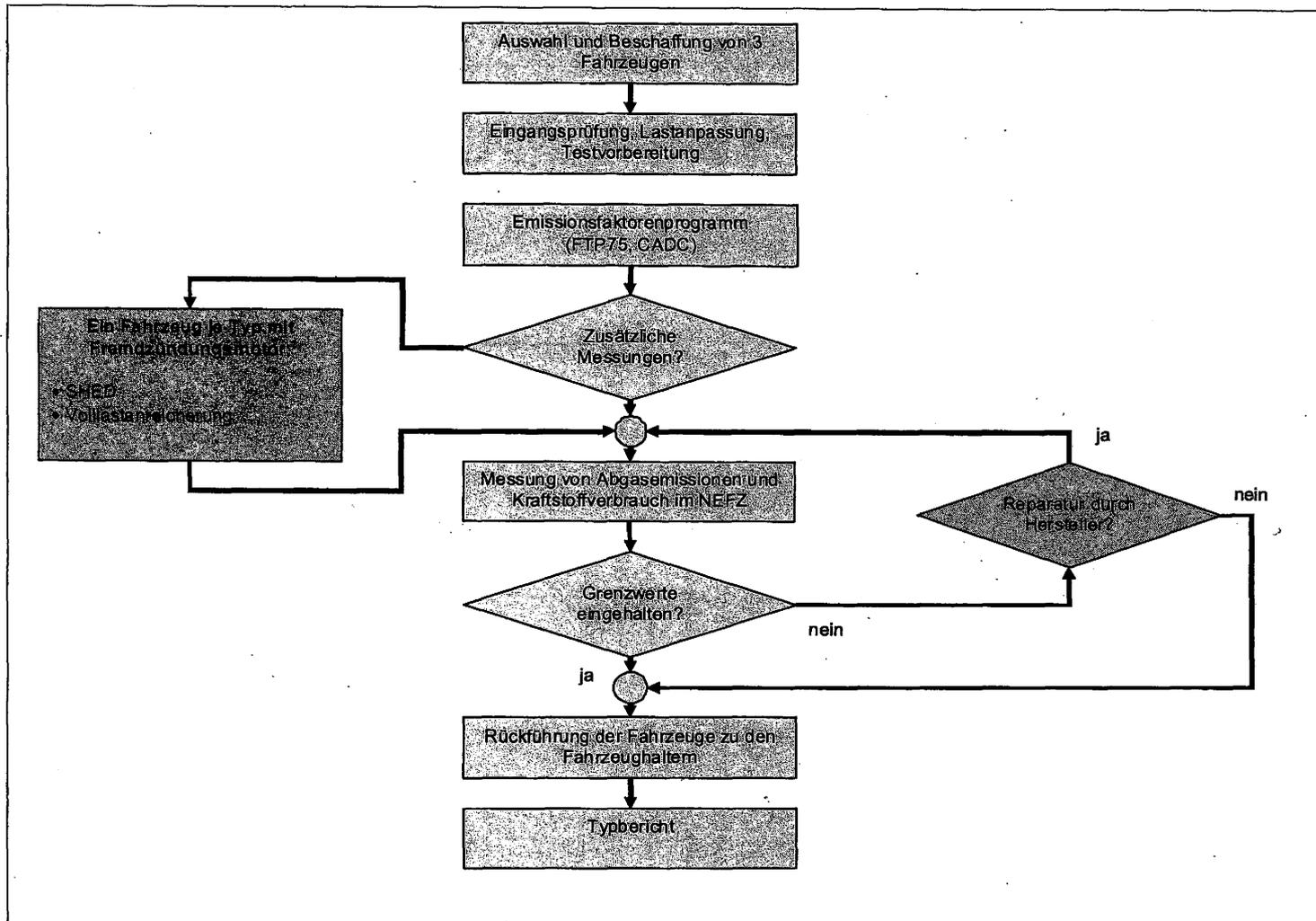


Abbildung 3.4: Programmablauf

Bei Grenzwertüberschreitungen wurden in Absprache mit dem UBA auf Wunsch des jeweiligen Herstellers zusätzliche Fahrzeuge des betroffenen Typs im Zertifizierungszyklus vermessen. Außerdem erhielt der Fahrzeughersteller die Möglichkeit eine Fehlersuche durchzuführen und die Messung im Typprüfzyklus nach der Fehlerbehebung zu wiederholen.

Die Prüftermine wurden mit dem jeweiligen Automobilhersteller bzw. Importeur abgeprochen, so dass dieser an den Messungen teilnehmen konnte. Wurden Emissionsauffälligkeiten an einem Fahrzeug festgestellt, so wurden die Ursachen mit dem Hersteller diskutiert und Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen im Feld befindlicher Fahrzeuge des entsprechenden Typs erarbeitet.

### Neuer Europäischer Fahrzyklus

Der bei der Abgastypprüfung in Europa anzuwendende "Neue Europäische Fahrzyklus" (NEFZ) setzt sich aus zwei Teilabschnitten zusammen (**Abbildung 3.5**). Zunächst wird das Fahrzeug mindestens sechs Stunden bei Temperaturen zwischen 20 und 30 °C konditioniert. Der eigentliche Fahrzyklus beginnt mit einem Kaltstart. Bei der Prüfung gemäß Richtlinie 98/69/EG beginnt die Probennahme direkt mit dem Motorstart. Hieran schließen sich der EG-Stadtfahrzyklus (780 Sekunden) sowie der Außerortszyklus (400 Sekunden) an. Die Emissionswerte beider Teile werden zu einem Endergebnis zusammengefasst. Die Fahrstrecke beträgt etwa 11 km, die Durchschnittsgeschwindigkeit 33,6 km/h und die Maximalgeschwindigkeit 120 km/h.

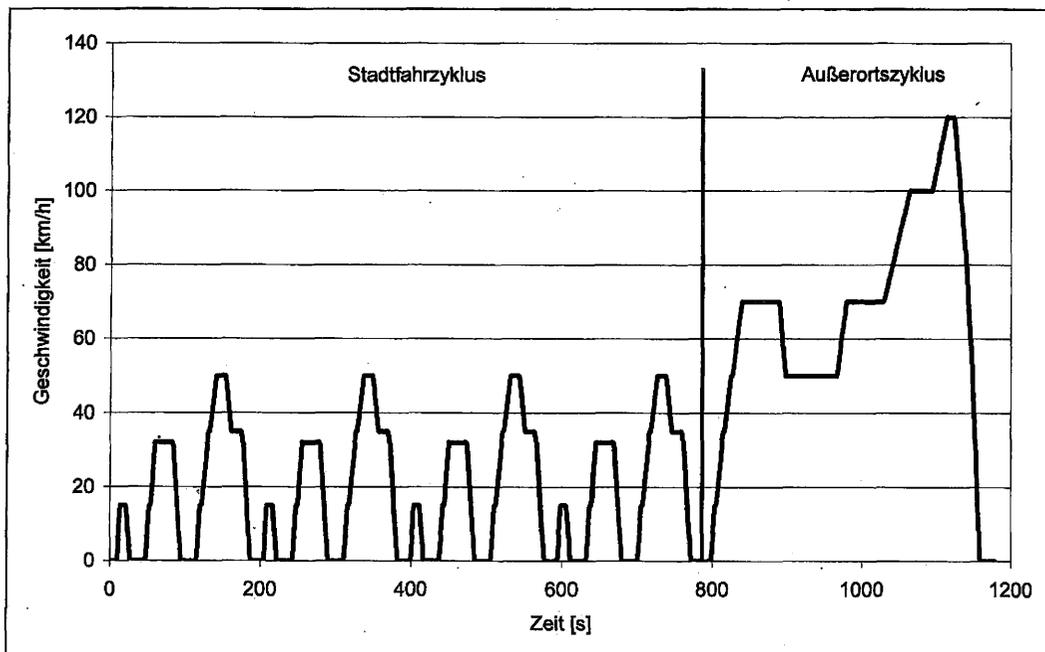


Abbildung 3.5: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des NEFZ

### US FTP 75 Fahrzyklus

In dem aus den USA stammenden Zyklus (FTP 75 = Federal Test Procedure, festgelegt 1975) wird nach der Konditionierung des Fahrzeuges bei 20 bis 30°C der Motor direkt zu Beginn der Abgasprobennahme gestartet (Kaltstart). Der Fahrtstest untergliedert sich in drei Phasen. Die erste Phase wird als kalte Übergangsphase bezeichnet und dauert 505 Sekunden. An diese schließt sich mit einer Dauer von 867 Sekunden die stabilisierte Phase an. Nach einer Pause von 600 Sekunden mit abgestelltem Motor folgt die dritte Phase als Wiederholung der ersten 505 Sekunden. Aufgrund des warmen Motors wird diese als warme Übergangsphase bezeichnet. Die in den einzelnen Phasen ermittelten Emissionswerte fließen in das Gesamtergebnis des Tests ein. Die Fahrstrecke des FTP beträgt etwa 17,8 km, die Durchschnittsgeschwindigkeit 34,1 km/h und die Maximalgeschwindigkeit 91,2 km/h. In **Abbildung 3.6** sind Phasen 1, 2 und 3 des FTP 75 dargestellt.

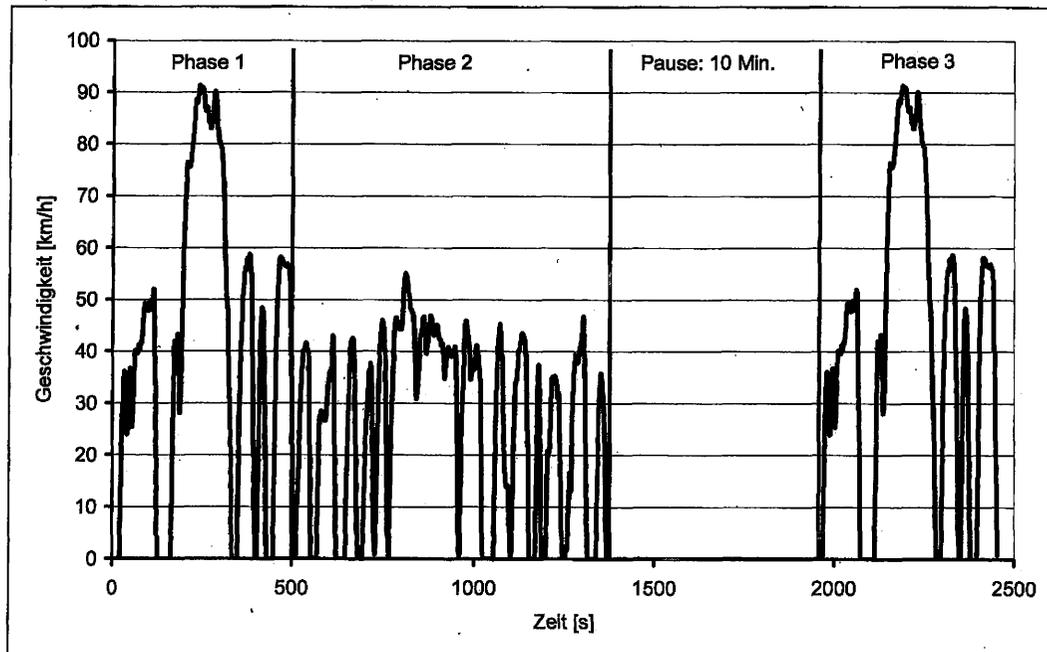


Abbildung 3.6: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des US FTP75 Zyklus

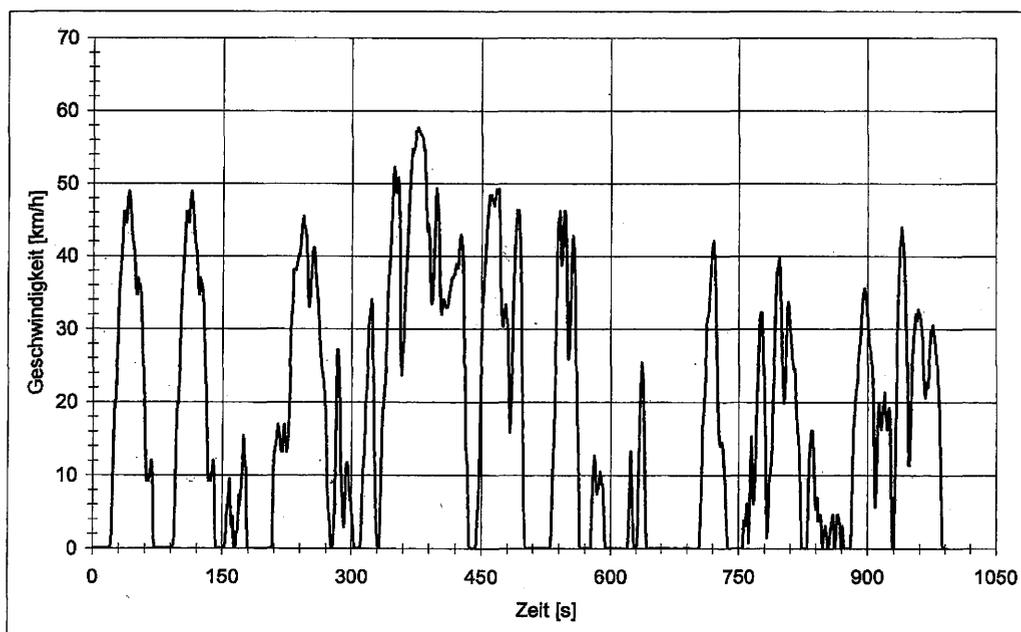
### Common Artemis Driving Cycle (CADC)

Der CADC setzt sich aus einem Stadt- (Urban), einem Außerorts- (Road) und einem Autobahnzyklus (Motorway) zusammen. Der Common Artemis Driving Cycle wurde als Grundlage für eine einheitliche Emissionsfaktorenmodellierung in Europa entwickelt. Dabei werden möglichst realistische Fahrbedingungen berücksichtigt. Im CADC werden deutlich größere Beschleunigungswerte und damit Motorlasten als im NEFZ erreicht.

Der CADC Urban dauert 993 Sekunden. Die Fahrstrecke beträgt 4,5 km und die Durchschnittsgeschwindigkeit 17 km/h. Der CADC Urban ist in **Abbildung 3.9** dargestellt.

Der CADC Road beginnt mit einem Warmstart und dauert 1082 Sekunden. Die Fahrstrecke beträgt 14,7 km und die Durchschnittsgeschwindigkeit 62 km/h. Das Fahrprofil des CADC Road ist in **Abbildung 3.10** dargestellt.

Der Motorway-Zyklus beginnt mit einem Warmstart. Er wurde in der modifizierten Version mit einer maximalen Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h und einer Dauer von 1330 Sekunden gefahren, um die Fahrbedingungen auf deutschen Autobahnen wiederzugeben. In **Abbildung 3.11** ist der CADC Motorway-Zyklus dargestellt.



**Abbildung 3.9: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CADC Stadtzyklus**

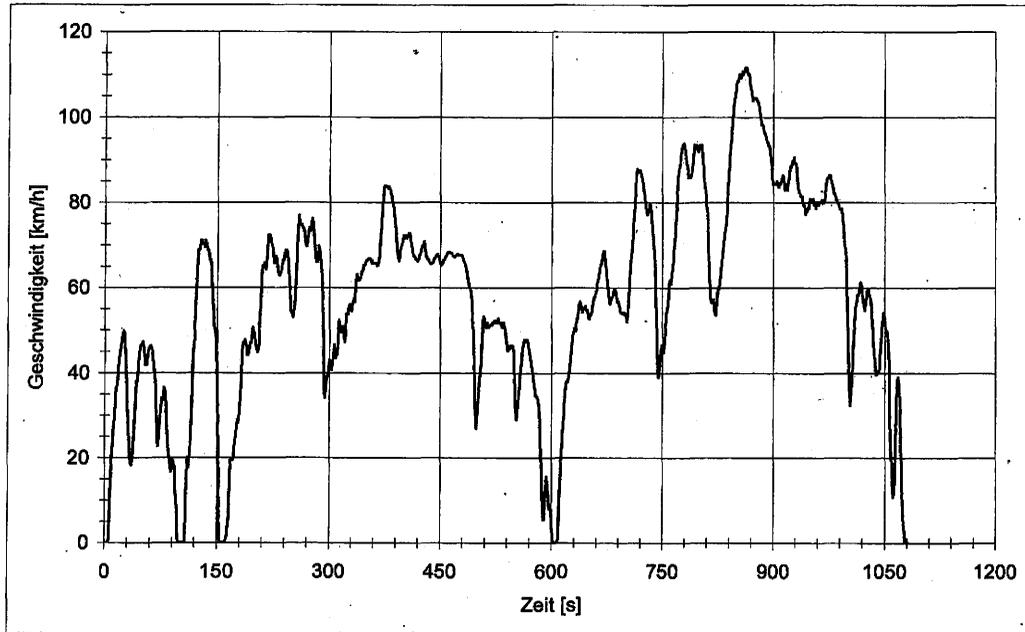


Abbildung 3.10: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CADC Außerortszyklus

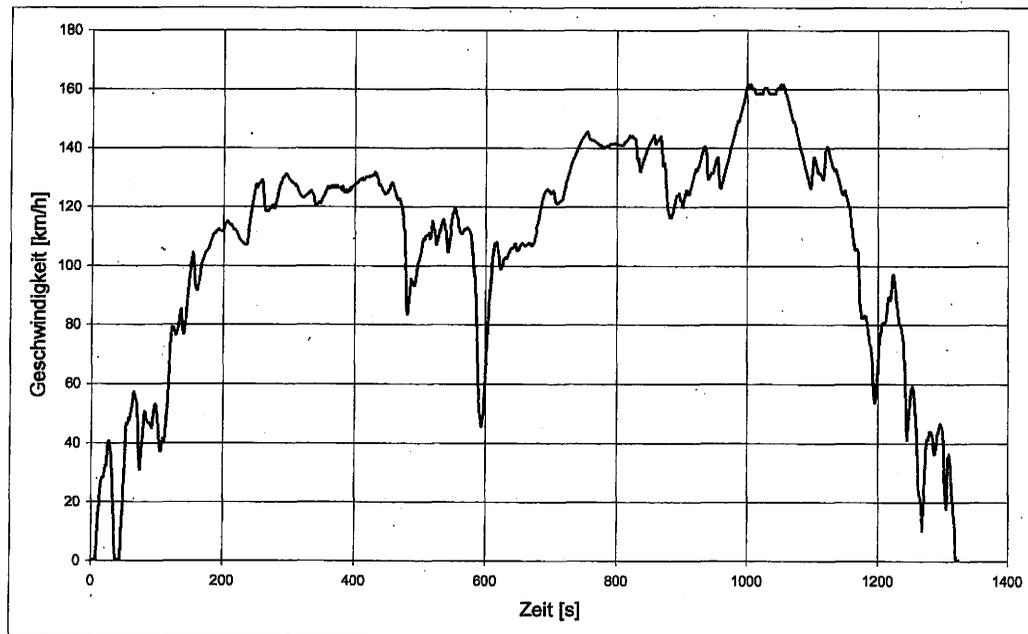
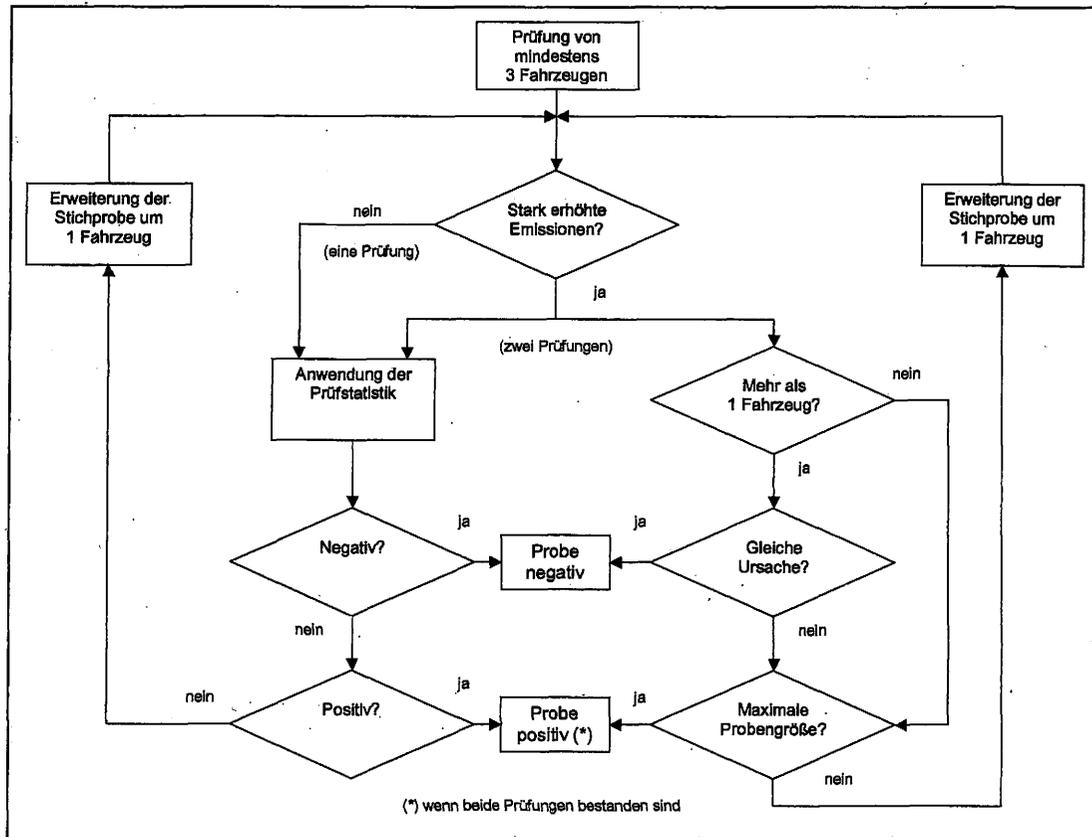


Abbildung 3.11: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CADC Autobahnzyklus

### 3.4 Bewertung einer Stichprobe gemäß Richtlinie 98/69/EG

In **Abbildung 3.12** ist das Verfahren zur Bewertung einer Stichprobe bei der Feldüberwachung gemäß Richtlinie 98/69/EG schematisch dargestellt. In der Richtlinie sind bei Grenzwertüberschreitungen Messungen an bis zu 20 Fahrzeugen eines Typs vorgesehen. Bei der Bewertung der Messergebnisse wird zwischen dem statistischen Verfahren und dem Verfahren bei hoch emittierenden Fahrzeugen (Outlier) unterschieden. /4/



**Abbildung 3.12: Durchführung der Feldüberwachung gemäß Richtlinie 98/69/EG**

Änderungsrichtlinie 2002/80/EG sieht für die Bewertung hoch emittierender Fahrzeuge folgendes Vorgehen vor:

Wird ein bestimmter Abgaswert von zwei Fahrzeugen eines Typs aufgrund der gleichen technischen Ursache überschritten (für Euro 3-Fahrzeuge der 1,2-fache Euro 3-Typprüfgrenzwert und für Euro 4-Fahrzeuge der 1,5-fache Euro 4-Typprüfgrenzwert) soll eine Diskussion zwischen der zuständigen Genehmigungsbehörde und dem betrof-

fenen Fahrzeughersteller über die Fehlerursache und eventuelle Abhilfemaßnahmen geführt werden.

Werden bei zwei Fahrzeugen eines Typs Abgasemissionen von dem 2,5-fachen des Euro 3-Typprüfgrenzwertes oder mehr (unabhängig vom Stand der Genehmigung des untersuchten Fahrzeugtyps) aufgrund der gleichen technischen Ursache festgestellt, so wird eine Rückrufaktion durch die zuständige Genehmigungsbehörde veranlasst. Sobald zwei Fahrzeuge aufgrund des gleichen typspezifischen Defektes stark erhöhte Emissionen aufweisen (Outlier), gilt für die Stichprobe ein negatives Ergebnis und die Untersuchung wird abgebrochen.

In **Tabelle 3.5** sind die Grenzwerte für die Bewertung einer Stichprobe nach dem statistischen Verfahren gemäß Richtlinie 98/69/EG dargestellt.

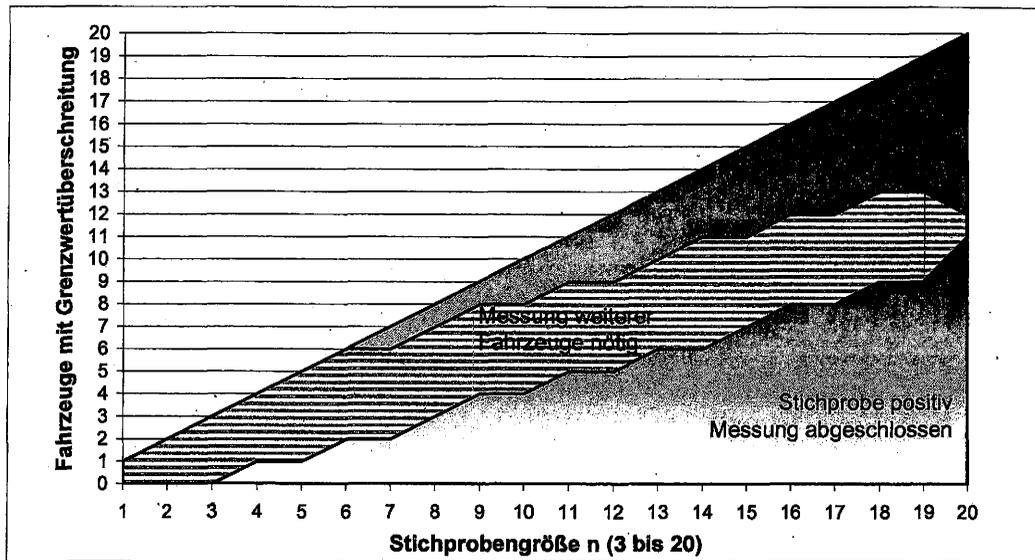
Stichprobengröße Anzahl der geprüften Fahrzeuge	Anzahl der auffälligen Fahrzeuge n		
	Ergebnis positiv	Zusätzliche Tests	Ergebnis negativ
3	0	0 < n	-
4	1	1 < n	-
5	1	1 < n < 5	5
6	2	2 < n < 6	6
7	2	2 < n < 6	6
8	3	3 < n < 7	7
9	4	4 < n < 8	8
10	4	4 < n < 8	8
11	5	5 < n < 9	9
12	5	5 < n < 9	9
13	6	6 < n < 10	10
14	6	6 < n < 11	11
15	7	7 < n < 11	11
16	8	8 < n < 12	12
17	8	8 < n < 12	12
18	9	9 < n < 13	13
19	9	9 < n < 13	13
20	11	-	12

**Tabelle 3.5: Bewertung einer Stichprobe nach dem statistischen Verfahren**

In **Abbildung 3.13** ist die Bewertung der Stichprobe nach dem statistischen Verfahren dargestellt. Beläuft sich die Stichprobengröße zum Beispiel auf 12 Fahrzeuge, so gelten die Anforderungen des statistischen Verfahrens als erfüllt, wenn höchstens 5 Fahrzeuge die Grenzwerte überschreiten. In diesem Fall ist die Untersuchung beendet.

Die Anforderungen des statistischen Verfahrens sind nicht erfüllt, wenn mindestens 9 von 12 Fahrzeugen die Grenzwerte nicht einhalten. In diesem Fall wird die Untersuchung mit negativem Ergebnis beendet.

Werden bei 12 untersuchten Fahrzeugen die Grenzwerte von 6 bis 8 Fahrzeugen überschritten, so muss ein weiteres Fahrzeug untersucht werden.



**Abbildung 3.13: Bewertung der Stichprobe nach dem statistischen Verfahren**

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde das statistische Verfahren nicht angewendet und die Anzahl der pro Typ gemessenen Fahrzeuge auf 3 beschränkt.

## **4. Darstellung der Ergebnisse**

### **4.1 Abgasemissionen im Zertifizierungstest**

In den folgenden Abschnitten werden die Mittelwerte der Abgasemissionen und des Kraftstoffverbrauchs für die verschiedenen Fahrzeugtypen im jeweiligen Zulassungszyklus betrachtet. Die Ergebnisse für die Einzelfahrzeuge sind in den Typberichten im Anhang dargestellt.

#### **4.1.1 Vergleich der Emissionen mit den Grenzwerten bei der Typp Genehmigung**

In **Tabelle 4.1** sind die Mittelwerte der Abgasemissionen im Neuen Europäischen Fahrzyklus für die untersuchten Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor, in **Tabelle 4.2** die Abgasemissionen im NEFZ für die Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor und in **Tabelle 4.3** die Ergebnisse für Fahrzeuge mit Hybrid-Elektrischem Antrieb und Erdgasantrieb zusammengestellt. In den Tabellen sind die limitierten Schadstoffkomponenten Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Partikel angegeben.

Die Messergebnisse werden den jeweils bei der bei Typprüfung zugrunde gelegten Grenzwerten gegenübergestellt. Die Richtlinie 98/69/EG sieht bei der Prüfung der Konformität von im Betrieb befindlichen Fahrzeugen bei der Bewertung der im Fahrzyklus ermittelten Abgasemissionen keinen Verschlechterungsfaktor vor. Daher wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens bei der Beurteilung der Abgasemissionen kein Verschlechterungsfaktor berücksichtigt.

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Hubraum [cm <sup>3</sup> ]	Stand der Zulassung	Fz.- Anzahl	∅ Fahrleistung [km]	Emissionsmittelwerte			
							CO [g/km]	HC [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC+NO <sub>x</sub> [g/km]
1	KIA	Picanto	1.086	Euro 4	3	46.381	0,355	0,032	0,033	0,066
2	MINI	Cooper S	1.598	Euro 4	3	44.084	0,439	0,045	0,007	0,052
3	MITSUBISHI	Colt	1.332	Euro 4	3	46.063	0,421	0,065	0,025	0,090
4	OPEL	Meriva	1.598	Euro 4	3	47.128	0,392	0,045	0,017	0,063
<b>Grenzwerte Euro 4</b>							<b>1,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,08</b>	<b>-</b>

**Tabelle 4.1: Mittelwerte der Abgasemissionen der Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor im Neuen Europäischen Fahrzyklus**

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Hubraum [cm <sup>3</sup> ]	Stand der Zulassung	Fz.- Anzahl	∅ Fahrleis- tung [km]	Emissionsmittelwerte				
							CO [g/km]	HC [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC+NO <sub>x</sub> [g/km]	Partikel [g/km]
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	1.910	Euro 4	3	38.852	0,217	0,030	0,212	0,243	0,0029
6	AUDI	A4 Avant TDI	1.968	Euro 4	3	57.135	0,225	0,062	0,177	0,240	0,0010
7	BMW	320d	1.995	Euro 4	3	41.009	0,496	0,077	0,200	0,277	0,0006
8	MAZDA	6	1.998	Euro 4	3	57.986	0,301	0,028	0,147	0,175	0,0005
9	SMART	ForTwo CDI	799	Euro 4, 3l	3	18.344	0,273	0,039	0,226	0,264	0,0096
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	1.896	Euro 4	3	40.405	0,367	0,081	0,186	0,267	0,0003
<b>Grenzwerte Euro 4</b>							<b>0,50</b>	<b>-</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,025</b>

**Tabelle 4.2: Mittelwerte der Abgasemissionen der Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor im Neuen Europäischen Fahrzyklus**

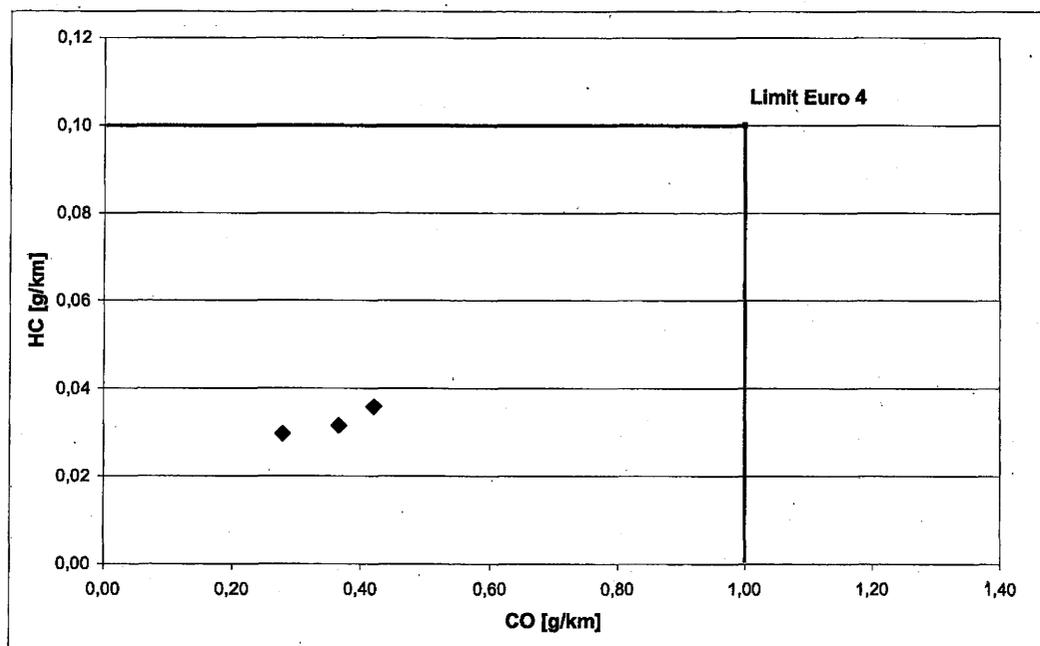
Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Hubraum	Stand der Zulas- sung	Fz- Anzahl	Ø Fahrleistung	Emissionsmittelwerte			
							[cm <sup>3</sup> ]	[km]	CO [g/km]	HC [g/km]
11	TOYOTA	Prius II	1.497	Euro 4	3	54.288	0,241	0,020	0,036	0,055
12	OPEL	Zafira CNG	1.598	Euro 4	3	68.083	0,433	0,061	0,136	0,198
13	VOLKSWAGEN	Touran CNG	1.984	Euro 4	3	44.800	0,207	0,011	0,020	0,031
<b>Grenzwerte Euro 4</b>							<b>1,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,08</b>	<b>-</b>

**Tabelle 4.3: Mittelwerte der Abgasemissionen der Fahrzeugtypen mit Hybrid-Elektrischem Antrieb und Erdgasantrieb im Neuen Europäischen Fahrzyklus**

Aus **Tabelle 4.1** wird deutlich, dass bei allen untersuchten Fahrzeugtypen mit Benzinmotor die jeweiligen Grenzwerte der EG-Typgenehmigung durch die Mittelwerte der Abgasemissionen eingehalten wurden. Darüber hinaus wurden die Grenzwerte von allen untersuchten Einzelfahrzeugen mit Benzinmotor eingehalten.

### KIA Picanto

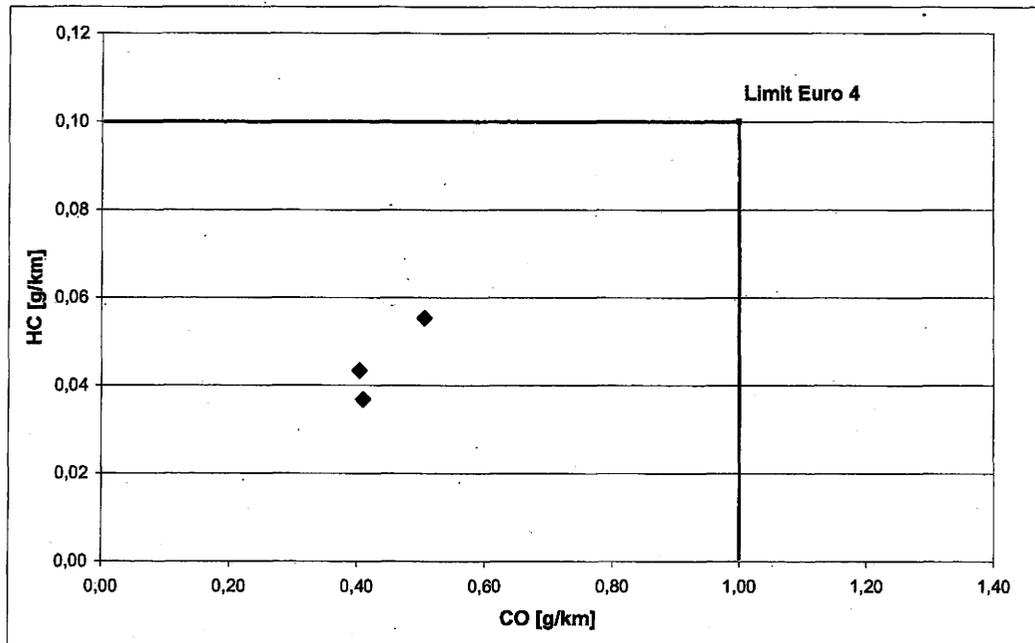
Alle drei untersuchten KIA Picanto hielten im Anlieferungszustand die Euro 4 Grenzwerte im Typ I Test ein. In **Abbildung 4.1** sind die Kohlenmonoxid- und die Kohlenwasserstoffemissionen im NEFZ für die KIA Picanto dargestellt.



**Abbildung 4.1: KIA Picanto, Abgasemissionen im NEFZ**

### MINI Cooper S

In **Abbildung 4.2** sind die CO und HC Emissionen der MINI Cooper S im NEFZ den Euro 4 Grenzwerten gegenübergestellt. Bei den untersuchten Fahrzeugen sind keine Auffälligkeiten festgestellt worden.



**Abbildung 4.2: MINI Cooper S, Abgasemissionen im NEFZ**

### MITSUBISHI Colt

Abbildung 4.3 zeigt die Kohlenmonoxid- und die Kohlenwasserstoffemissionen der MITSUBISHI Colt im Typ I Test. Die untersuchten MITSUBISHI Colt erfüllten im NEFZ die Euro 4 Grenzwerte.

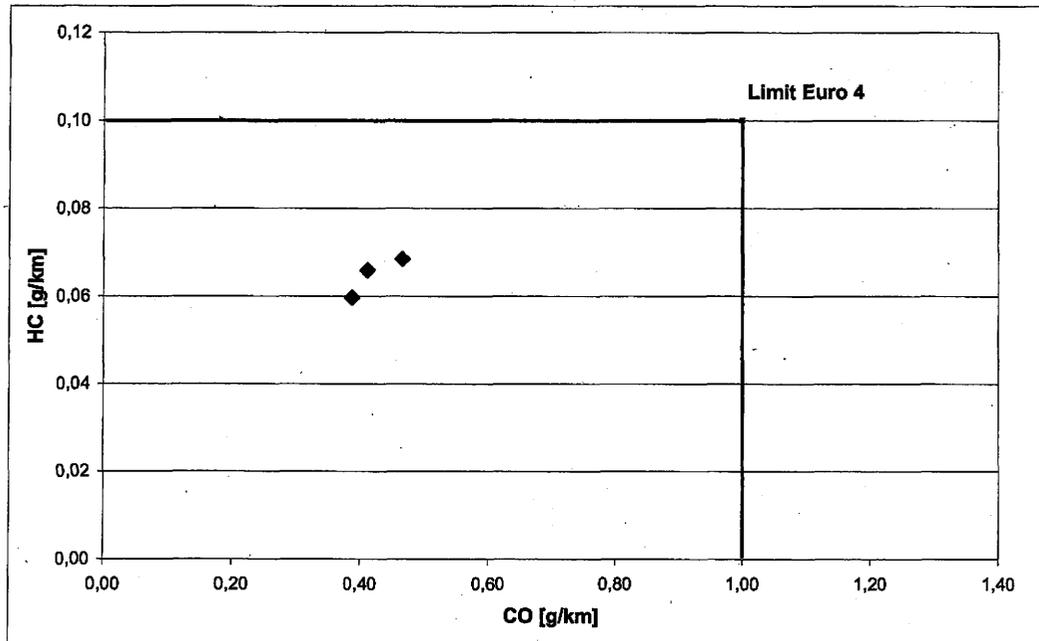
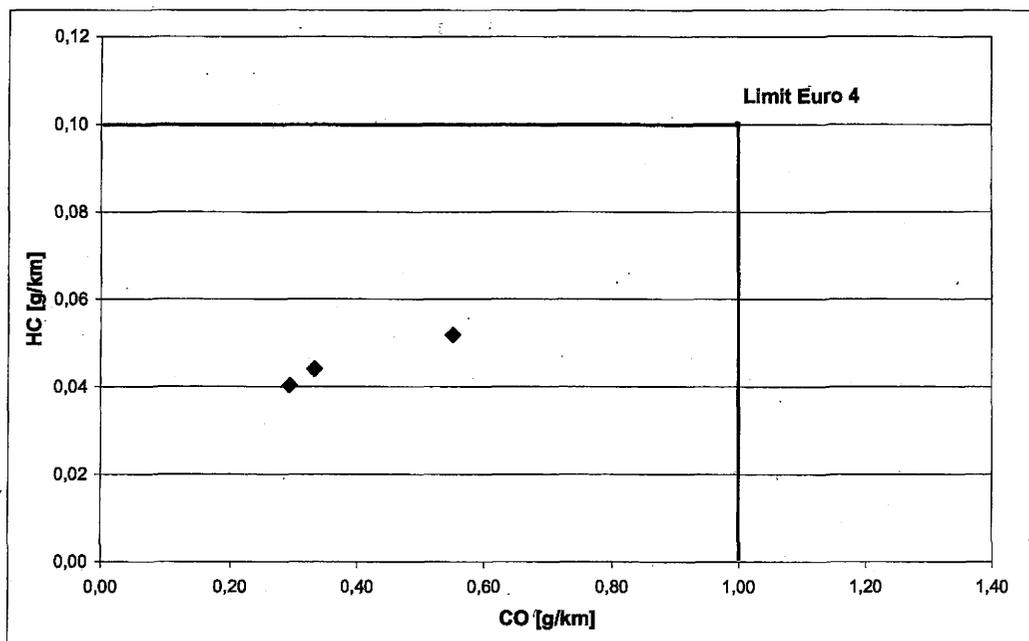


Abbildung 4.3: MITSUBISHI Colt, Abgasemissionen im NEFZ

### OPEL Meriva

In **Abbildung 4.4** sind die Kohlenmonoxid- und die Kohlenwasserstoff Emissionen der untersuchten OPEL Meriva dargestellt. Alle Fahrzeuge dieses Typs erfüllten die Euro 4 Grenzwerte im Typ I Test.



**Abbildung 4.4:** OPEL Meriva, Abgasemissionen im NEFZ

**Tabelle 4.2** zeigt, dass auch bei allen Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor die Grenzwerte durch den Mittelwert der Abgasemissionen eingehalten wurden. Bei einem BMW 320d wurde der Grenzwert für die Kohlenmonoxidemissionen überschritten, alle anderen untersuchten Fahrzeuge mit Dieselmotor hielten die Grenzwerte im NEFZ ein.

### ALFA ROMEO 159 Sportwagon

Die 3 ALFA ROMEO 159 Sportwagon waren mit einem 6 Gang Handschaltgetriebe ausgerüstet. In Anwesenheit eines Herstellervertreters wurde bei der Prüfung im Neuen Europäischen Fahrzyklus zunächst der 6. Gang genutzt. Bei diesen Messungen wurde der Grenzwert für die Stickoxidemissionen von allen 3 Fahrzeugen überschritten. Die in der Richtlinie festgelegte Fahrkurve gibt Schaltpunkte für den 1. bis zum 5. Gang vor. Zusätzliche Gänge können entsprechend den Herstellerempfehlungen verwendet werden, falls das Fahrzeug mit einem Getriebe mit mehr als 5 Gängen ausgerüstet ist. Bei der Diskussion mit dem Fahrzeughersteller stellte sich heraus, dass bei der Typprüfung auf die Nutzung des 6. Ganges verzichtet worden war. Daher wurden die Messungen wiederholt, ohne den 6. Getriebegang zu nutzen. Dabei wurden alle Grenzwerte eingehalten.

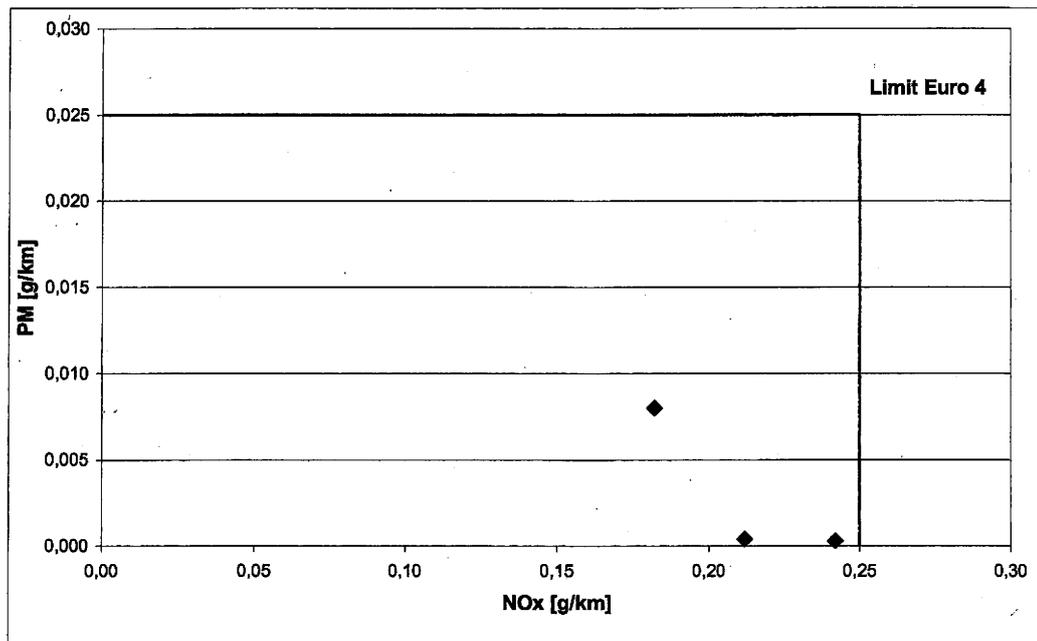
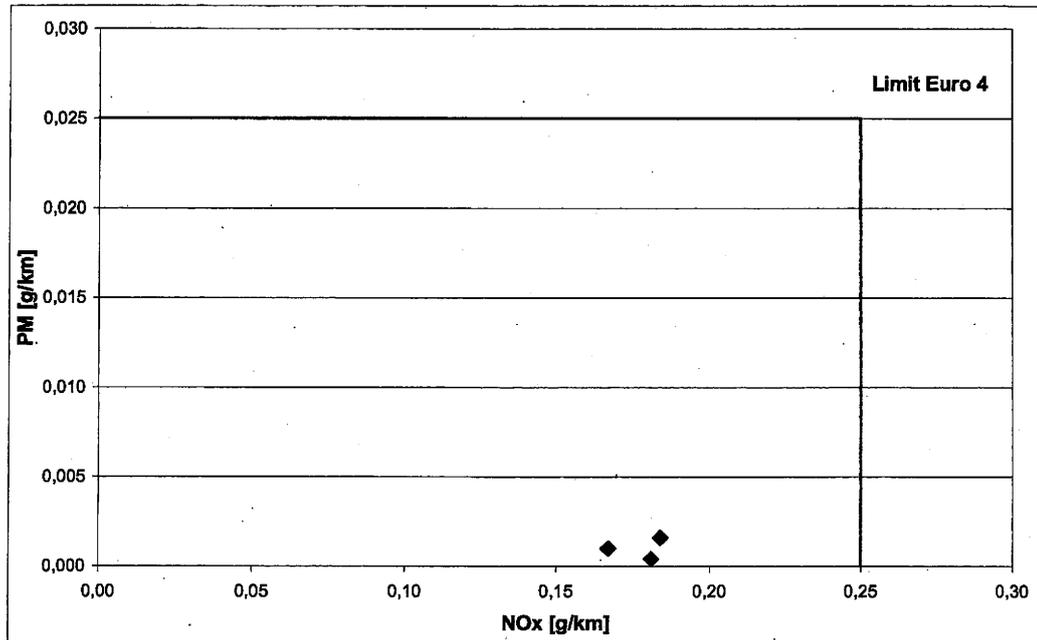


Abbildung 4.5: ALFA ROMEO 159 Sportwagon, Abgasemissionen im NEFZ

000044

### AUDI A4 Avant TDI

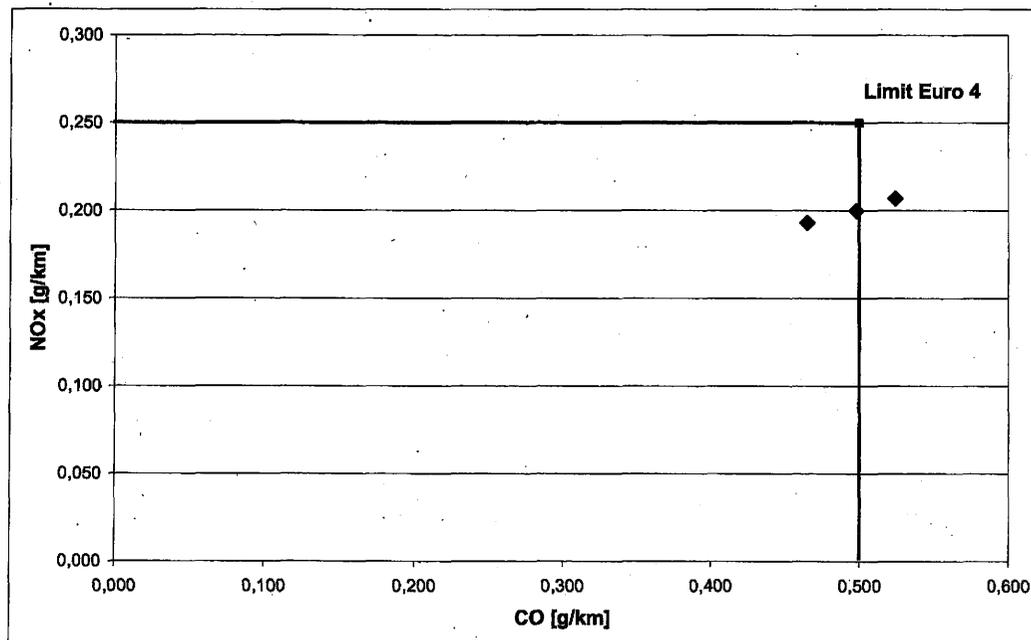
In **Abbildung 4.6** sind die Stickoxid- und die Partikel- Emissionen der untersuchten AUDI A4 Avant TDI dargestellt. Alle Fahrzeuge dieses Typs erfüllten die Euro 4 Grenzwerte im Typ I Test.



**Abbildung 4.6: AUDI A4 Avant TDI, Abgasemissionen im NEFZ**

### BMW 320d

Die Stickoxid- und die Kohlenmonoxid-Emissionen der BMW 320d sind in **Abbildung 4.7** dargestellt. Bei einem der 3 untersuchten Fahrzeuge dieses Typs wurde der Grenzwert für die Kohlenmonoxidemissionen überschritten. Auch die CO Emissionen der beiden anderen BMW 320d lagen mit 99% und 93% vom zulässigen Wert nur knapp unter dem Grenzwert.



**Abbildung 4.7: BMW 320d, Abgasemissionen im NEFZ**

**MAZDA 6**

Abbildung 4.8 zeigt die Stickoxid- und die Partikel- Emissionen der untersuchten MAZDA 6. Alle Fahrzeuge dieses Typs erfüllten die Euro 4 Grenzwerte im Typ I Test.

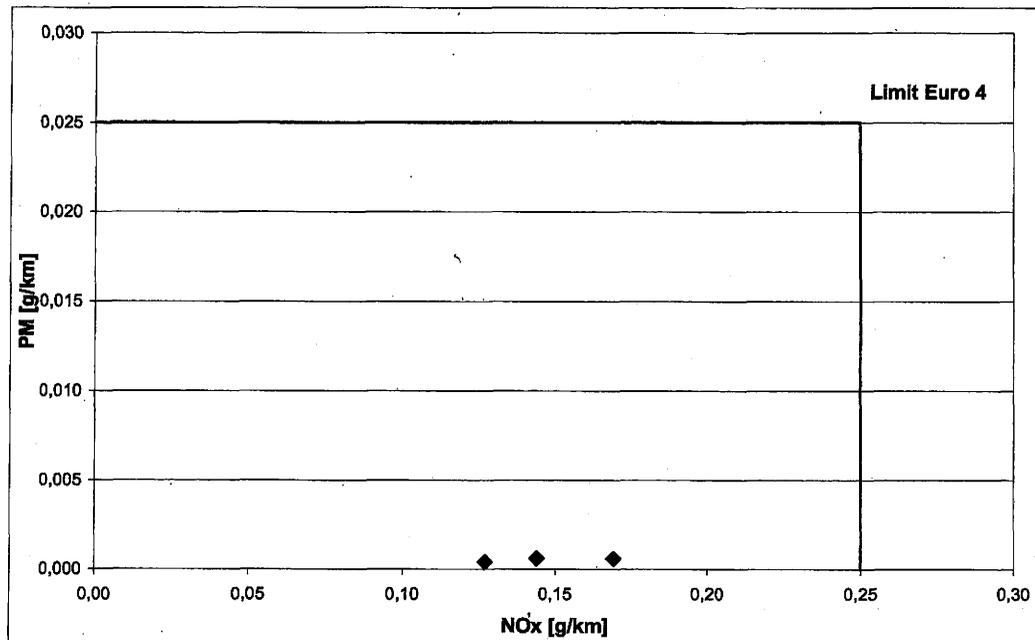


Abbildung 4.8: SMART ForTwo CDI, Abgasemissionen im NEFZ

### SMART ForTwo CDI

Alle untersuchten SMART ForTwo CDI hielten im NEFZ die Abgasgrenzwerte ein. In Abbildung 4.9 sind die Stickoxid und die Partikel-Emissionen dargestellt.

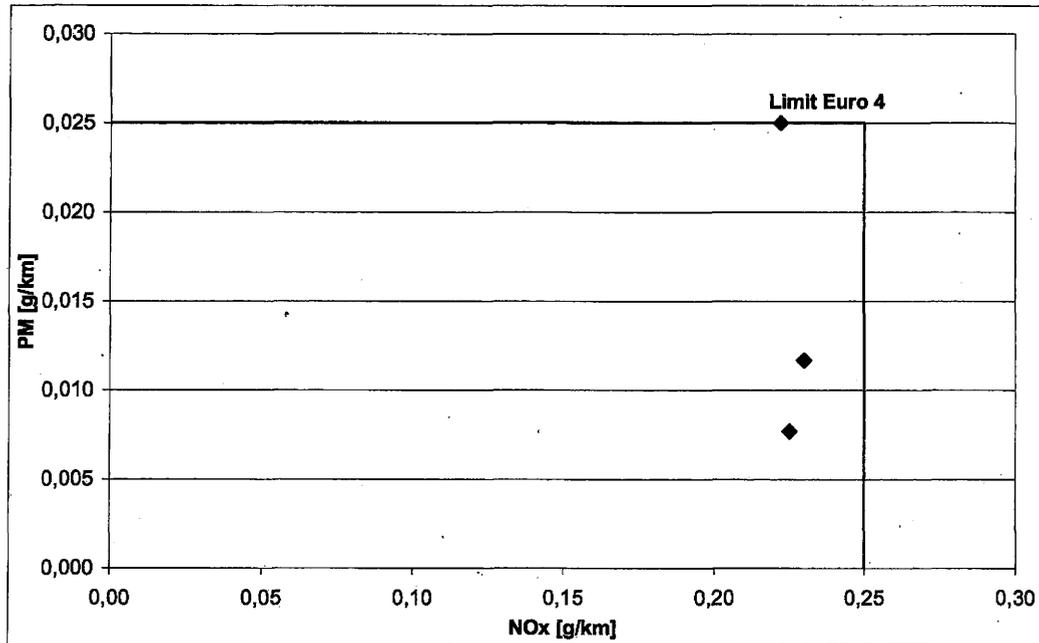
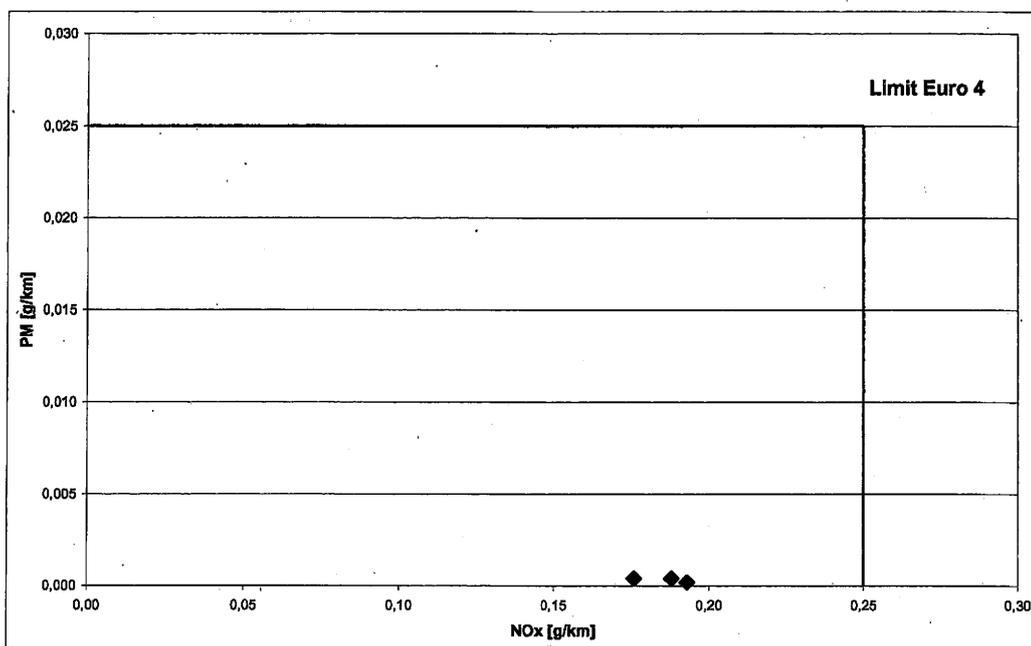


Abbildung 4.9: SMART ForTwo CDI, Abgasemissionen im NEFZ

### VOLKSWAGEN Golf Variant TDI

In **Abbildung 4.10** sind die Stickoxid- und die Partikel- Emissionen der untersuchten VOLKSWAGEN Golf Variant TDI dargestellt. Alle Fahrzeuge dieses Typs erfüllten die Euro 4 Grenzwerte im Typ I Test.

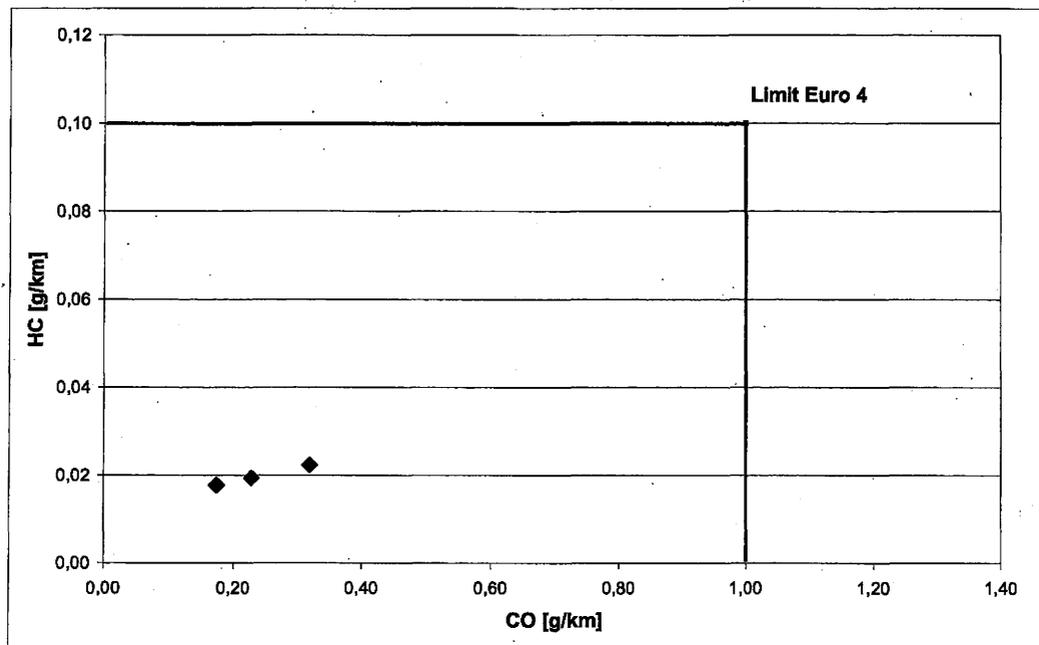


**Abbildung 4.10: VOLKSWAGEN Golf Variant TDI, Abgasemissionen im NEFZ**

In **Tabelle 4.3** sind die Abgaswerte im Neuen Europäischen Fahrzyklus für Fahrzeugtypen mit Hybrid elektrischem Antrieb und mit Gasantrieb zusammengestellt. Die untersuchten Fahrzeugtypen sind mit Fremdzündungsmotor ausgestattet. Daher wurden die entsprechenden Grenzwerte angewendet. Es wird deutlich, dass beim OPEL Zafira CNG der Grenzwert für Stickoxidemissionen überschritten wurde. Diese Überschreitung ist auf erhöhte Emissionen bei einem der 3 untersuchten Fahrzeuge dieses Typs zurück zu führen.

### TOYOTA Prius II

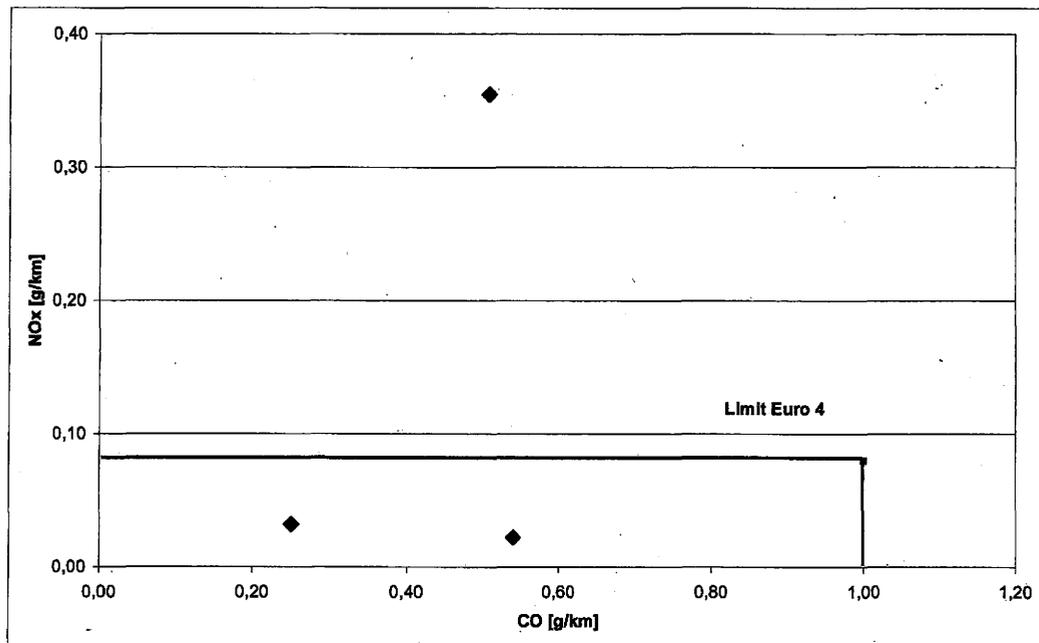
Alle untersuchten TOYOTA Prius II hielten im Anlieferungszustand die Euro 4 Grenzwerte im Typ I Test ein. In **Abbildung 4.11** sind die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen im NEFZ für die TOYOTA Prius II dargestellt.



**Abbildung 4.11:** TOYOTA Prius II, Abgasemissionen im NEFZ

### OPEL Zafira CNG

In **Abbildung 4.12** sind die Stickoxid- und die Partikelemissionen der untersuchten OPEL Zafira CNG dargestellt. Bei einem Fahrzeug des Typs wurde der Euro 4 Grenzwert für Stickoxidemissionen im Typ I Test überschritten.

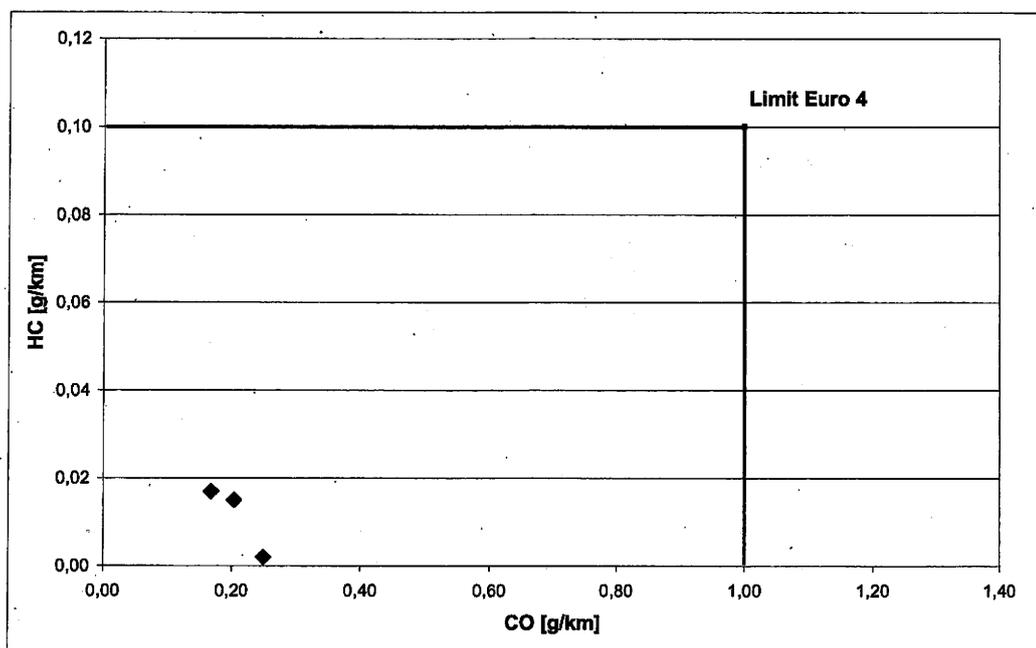


**Abbildung 4.12: OPEL Zafira CNG, Abgasemissionen im NEFZ**

Bei den Messungen auf dem Fahrleistungsprüfstand wurden die gasförmigen Emissionen kontinuierlich im Sekundentakt erfasst. Die Auswertung dieser Modaldaten lassen darauf schließen, dass die Grenzwertüberschreitung auf einen defekten Katalysator zurückzuführen ist. Der Fahrzeughersteller hat keine weiterführende Untersuchung des auffälligen Fahrzeugs durchgeführt.

### VOLKSWAGEN Touran CNG

In **Abbildung 4.13** sind die Kohlenmonoxid- und die Stickoxidemissionen für die untersuchten VOLKSWAGEN Touran CNG dargestellt. Es wird deutlich, dass alle untersuchten Fahrzeuge dieses Typs die Euro 4 Grenzwerte eingehalten haben..



**Abbildung 4.13: VOLKSWAGEN Touran CNG, Abgasemissionen im NEFZ**

#### 4.1.2 Bewertung der Abgasemissionen im Typprüfzyklus

In **Abbildung 4.14** sind die Kohlenmonoxid- und die Kohlenwasserstoffemissionen im NEFZ für die Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor, Fahrzeuge mit Gasantrieb und Hybrid-Elektrische Fahrzeuge dargestellt. **Abbildung 4.15** zeigt die Kohlenmonoxid- und die Stickoxidemissionen für die im Neuen Europäischen Fahrzyklus gemäß Richtlinie 98/69/EG typgeprüften Einzelfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im Anlieferungszustand. Die entsprechenden Grenzwerte sind als Linien dargestellt.

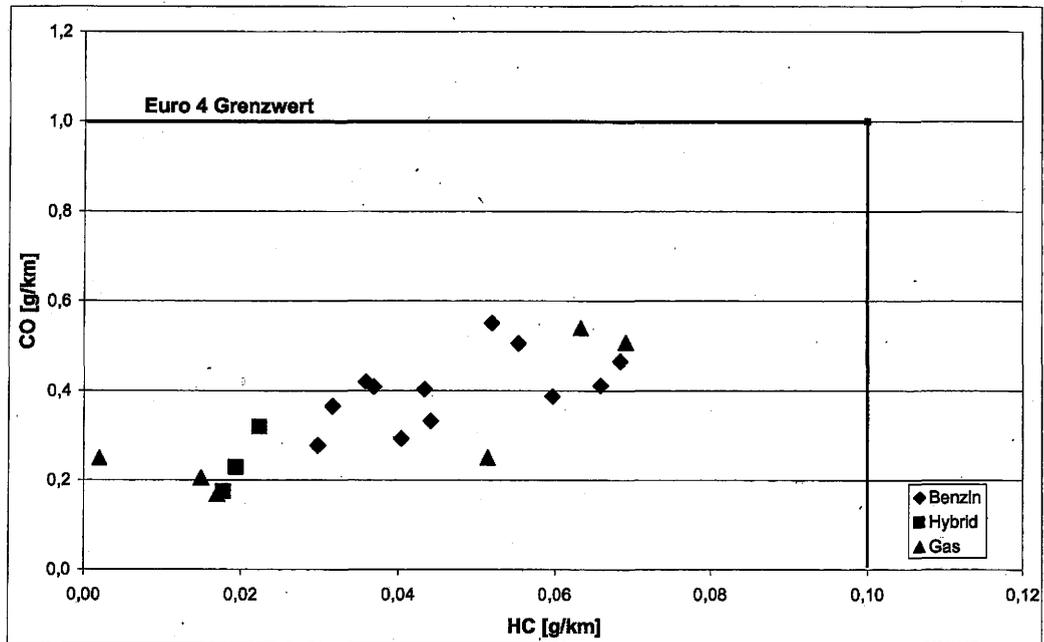


Abbildung 4.14: Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen der Einzelfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im Anlieferungszustand

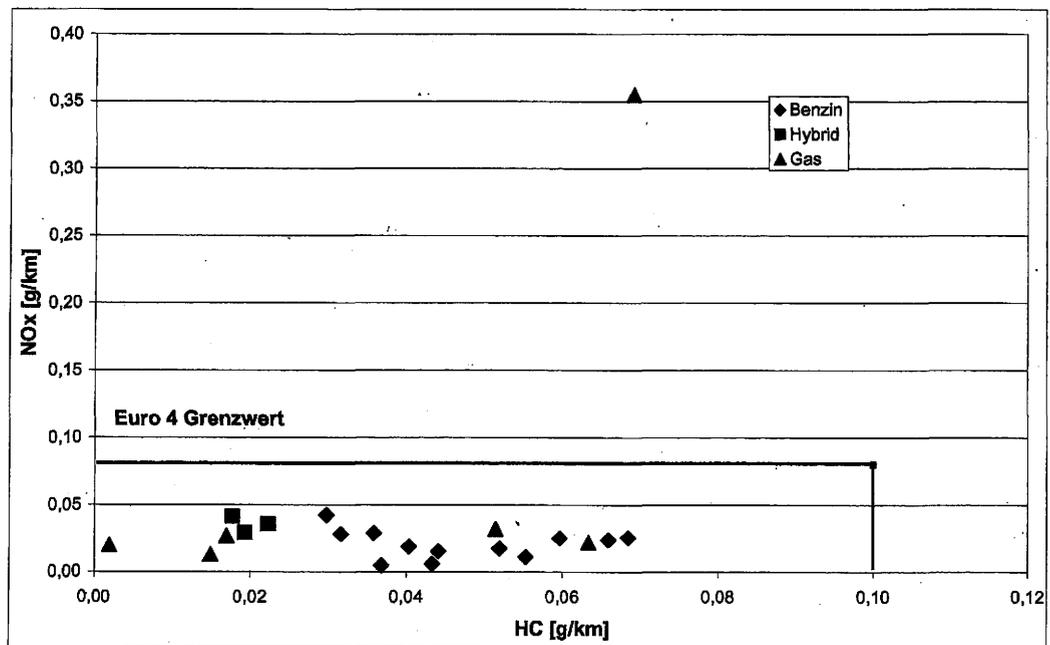
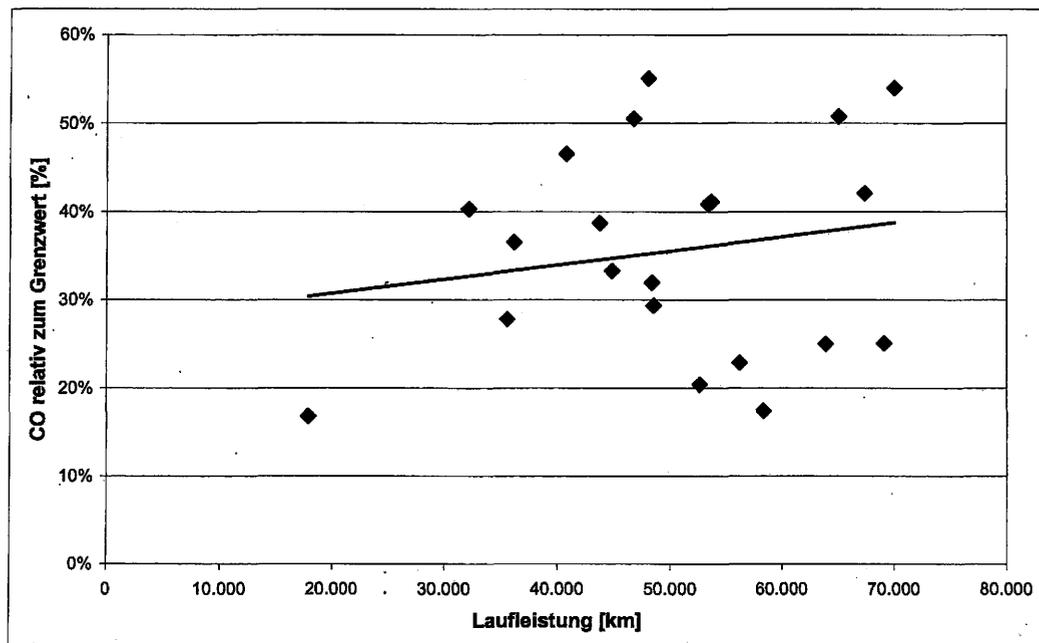


Abbildung 4.15: Stickoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen der Einzelfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im Anlieferungszustand



**Abbildung 4.16: Kohlenmonoxidemissionen von Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor bei der Feldüberwachung relativ zum Grenzwert abhängig von der Laufleistung**

Abbildungen 4.14 und 4.15 machen deutlich, dass bei einem von insgesamt achtzehn untersuchten Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor im Anlieferungszustand Grenzwertüberschreitungen festgestellt wurden. Bei dem auffälligen Fahrzeug mit Gasantrieb wurde der Grenzwert für die Stickoxidemissionen überschritten. Offensichtlich stellt die Einhaltung der Euro 4 Grenzwerte auch bei bereits im Verkehr befindlichen Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor im Allgemeinen kein Problem dar.

In **Abbildung 4.16** sind die Kohlenmonoxidemissionen der Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor relativ zum Typprüfwert über die Laufleistung aufgetragen. Dabei ist eine Abhängigkeit der Emissionen von der Laufleistung zu erkennen. Allerdings ist der Anstieg der CO Emissionen über die Laufleistung bei den untersuchten Fahrzeugen sehr gering.

In diesem Programm wurden erstmals ausschließlich Dieselfahrzeuge untersucht, die mit einem Partikelfilter ausgestattet waren. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Vorhaben traten bei den Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor bis auf eine Ausnahme keine Grenzwertüberschreitungen auf. Auffällig sind die hohen Kohlenmonoxidemissionen bei allen 3 untersuchten BMW320d. **Abbildung 4.17** zeigt die Partikel- und die Stickoxidemissionen und **Abbildung 4.18** die Kohlenmonoxid- und die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen für die im Neuen Europäi-

schen Fahrzyklus gemäß Richtlinie 98/69/EG typgeprüften Einzelfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor im Anlieferungszustand.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine dauerhafte Einhaltung der Abgasgrenzwerte bei im Verkehr befindlichen Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor bei Verwendung von Partikelfiltern ohne Problem möglich ist. Durch die Reduzierung der Partikelemissionen mit Hilfe eines Filters ist eine Applikation möglich, die auf eine Reduzierung der Stickoxidemissionen im Rohabgas ausgerichtet ist. Die Kombination der Minimierung der Stickoxidemissionen im Rohabgas mit einer Abgasnachbehandlung zur Reduktion der damit verbundenen erhöhten Partikelemissionen im Rohabgas ermöglicht eine dauerhafte Einhaltung der Abgasgrenzwerte auf Euro 4 Niveau.

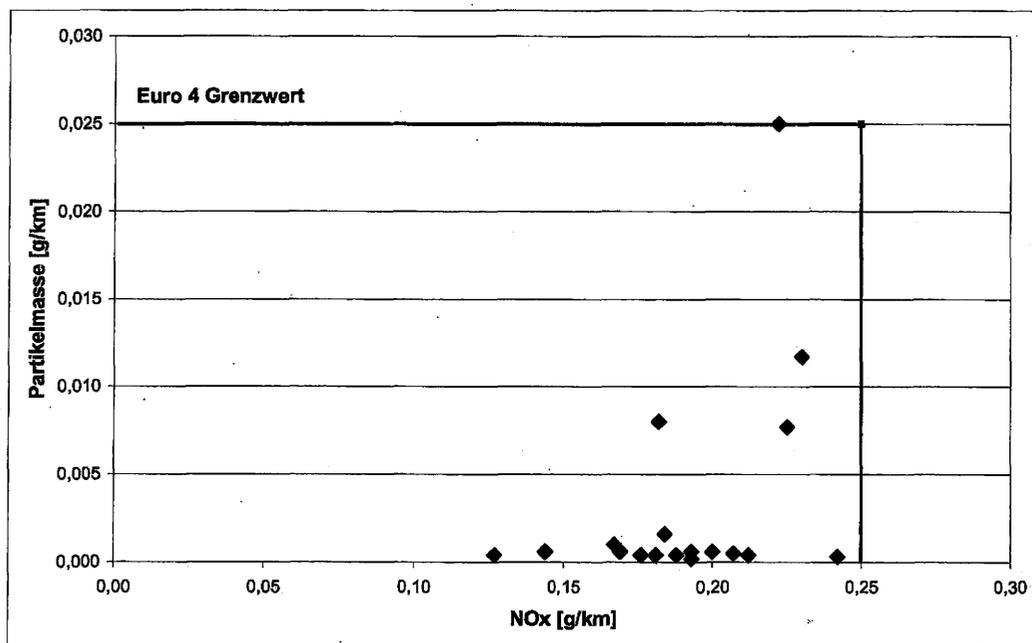
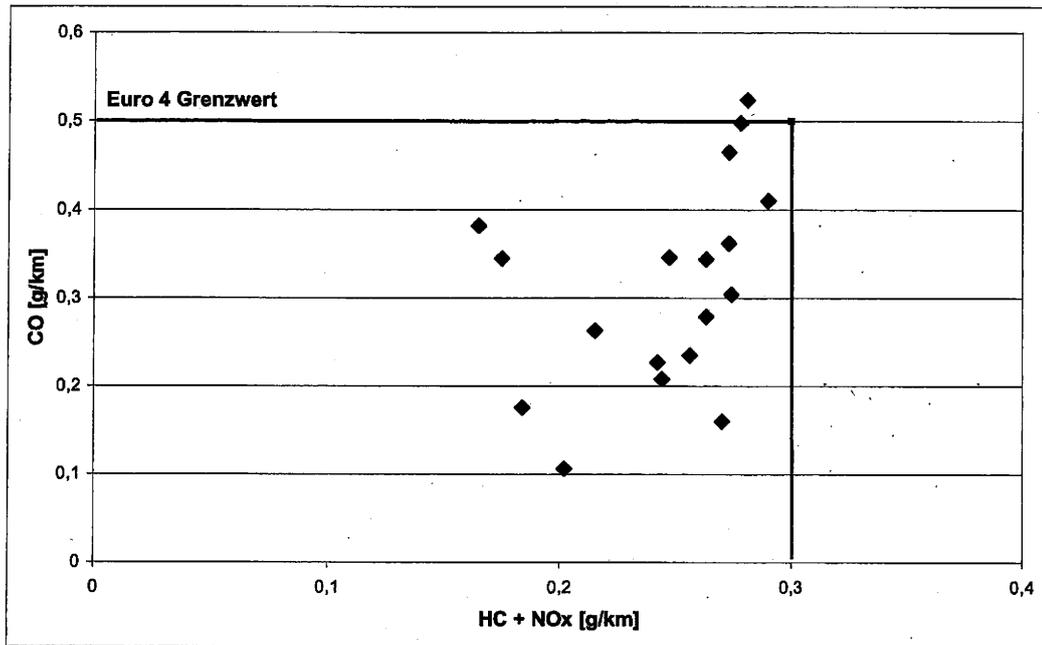
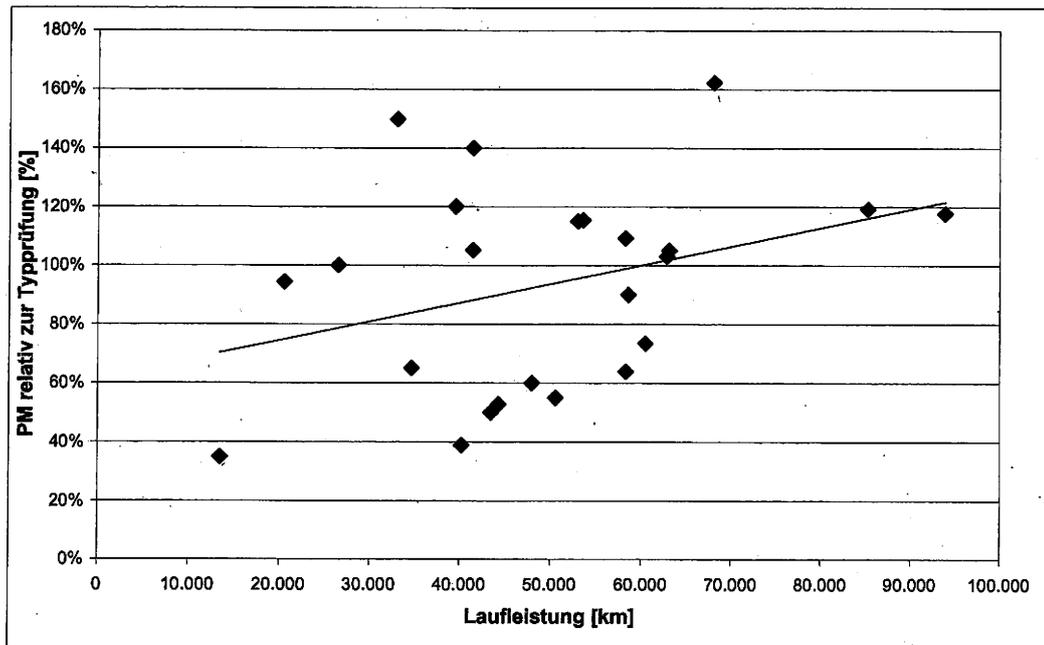


Abbildung 4.17: Partikel- und Stickoxidemissionen der Einzelfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor im Anlieferungszustand



**Abbildung 4.18: Kohlenmonoxid- und Summe aus Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen der Einzelfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor im Anlieferungszustand**



**Abbildung 4.19: Partikelmissionen von Dieselfahrzeugen bei der Feldüberwachung relativ zum Typrprüfwert abhängig von der Laufleistung**

**Abbildung 4.19** zeigt die Partikelemissionen der Dieselfahrzeuge relativ zum Typprüfwert über die Laufleistung. Eine Abhängigkeit der Emissionen von der Laufleistung ist nicht eindeutig zu erkennen.

#### 4.2 Kohlendioxidemissionen und Kraftstoffverbrauch

Gemäß Richtlinie 1999/100/EG dürfen die Mitgliedsstaaten aus Gründen, die sich auf die Emissionen von Kohlendioxid und auf den Kraftstoffverbrauch beziehen, für einen Fahrzeugtyp die Erteilung der EG-Typgenehmigung oder der Betriebserlaubnis mit nationaler Geltung nicht verweigern, wenn die CO<sub>2</sub>-Emission und der Kraftstoffverbrauch gemäß Anhang I der Richtlinie ermittelt wurden. Diese Werte sind damit Bestandteil der Typgenehmigung, Grenzwerte gibt es jedoch nicht. Die CO<sub>2</sub>- und Verbrauchswerte dienen der Verbraucherinformation und seit 2010 auch der steuerlichen Einstufung der Fahrzeuge in Deutschland. Außerdem gab es eine steuerliche Förderung von Pkw, die eine CO<sub>2</sub>-Emission von 90 g/km bzw. 120 g/km unterschreiten. Sie müssen gemäß Richtlinie in einem Dokument enthalten sein, das dem Fahrzeughalter beim Kauf vom Hersteller übergeben wird (COC Papier). Erhebliche Überschreitungen der CO<sub>2</sub>- und Verbrauchswerte könnten damit im rechtlichen Sinn zu Gewährleistungsansprüchen des Käufers führen.

Der Kraftstoffverbrauch wird aus den bei der Typprüfung im „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ gemessenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und den anderen kohlenstoffhaltigen Emissionen (CO und HC) berechnet. Zusätzlich zu den Kraftstoffverbrauchswerten geben die Fahrzeughersteller Werte für die Kohlendioxidemissionen an. Diese CO<sub>2</sub>-Angaben entsprechen nicht unbedingt den tatsächlich gemessenen Werten sondern werden zum Teil mit Hilfe eines festen Faktors aus dem Kraftstoffverbrauch berechnet. Die Faktoren für diese Berechnung betragen ca. 24 für Benzin und 27 für Dieselmotoren. Die Messung nach Richtlinie 1999/100/EG erfolgt mit Referenzkraftstoff wie bei den parallelen Abgasmessungen. Das Prüffahrzeug muss in einwandfreiem mechanischen Zustand vorgeführt werden und bei der Typprüfung mindestens 3.000 km, jedoch weniger als 15.000 km eingefahren worden sein.

In der folgenden **Tabelle 4.4** sind die Mittelwerte der Kohlendioxidemissionen und des Kraftstoffverbrauches für die verschiedenen Fahrzeugtypen den jeweiligen Herstellerangaben gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Messungen in der Regel mit marktüblichem Kraftstoff durchgeführt wurden. /21/, /22/

Die **Tabelle 4.4** zeigt, dass bei fünf Fahrzeugtypen die gemessenen Kohlendioxidemissionen und der aus den Emissionen ermittelte Kraftstoffverbrauch unter den jeweiligen Herstellerangaben lagen. Bei zwei Typen entsprachen die ermittelten Werte für die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den Verbrauch etwa den Herstellerangaben. Bei sechs Fahrzeugtypen lagen die Kohlendioxidemissionen und der Kraftstoffverbrauch über der Herstellerangabe, bei 4 Typen betrug die Abweichung sogar mehr als die bei Typprüfung zulässigen 4%.

Nr.	Hersteller	Verkaufsbezeichnung	Getriebe	Ø Fahrleistung [km]	Herstellerangaben		Messwerte		Abweichung zur Herstellerangabe	
					CO <sub>2</sub> [g/km]	Verbrauch [l/100km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	Verbrauch [l/100km]	CO <sub>2</sub> [%]	Verbrauch [%]
1	KIA	Picanto	M5	46.381	125	5,2	139,6	5,9	+11,7	+13,3
2	MINI	Cooper S	M6	44.084	164	6,9	160,4	6,8	-2,2	-2,0
3	MITSUBISHI	Colt	M5	46.063	138	5,8	137,2	5,8	-0,6	0,0
4	OPEL	Meriva	M5	47.128	161	6,7	150,3	6,3	-6,7	-5,8
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	M6	38.852	162	6,1	170,4	6,5	+5,2%	+5,9%
6	AUDI	A4 Avant TDI	M6	57.135	154	5,8	161,5	6,1	+4,9%	+5,7%
7	BMW	320d	M6	41.008	158	5,9	152,5	5,8	-3,5%	-1,6%
8	MAZDA	6	M6	57.986	167	6,1	145,5	5,5	-12,9%	-9,5%
9	SMART	ForTwo CDI	AM5	19.344	88	3,3	92,0	3,5	+4,7%	+6,2%
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	M5	40.405	135	5,1	131,8	5,0	-2,4%	-1,6%
11	TOYOTA *)	Prius II	Variomatik	54.288	104	4,3	117,5 *)	5,0 *)		
12	OPEL	Zafira CNG	M5	68.129	138	7,7 **)	142,5	8,0 **)	+ 3,3%	+ 3,8%
13	VOLKSWAGEN	Touran CNG	M5	44.800	154	8,6 **)	154,9	8,7 **)	+0,6%	+0,8%

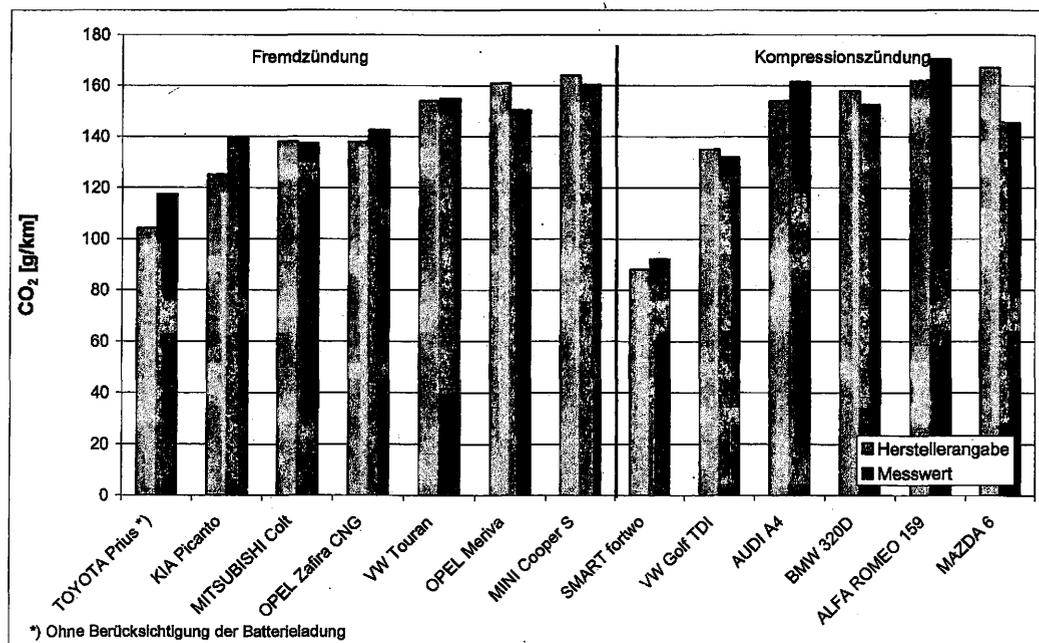
\*) Schwungmasse 1470kg, ohne Berücksichtigung der Batterieladung; \*\*) [m<sup>3</sup>/100km]

**Tabelle 4.4: Mittelwerte der im Neuen Europäischen Fahrzyklus gemessenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs**

Besonders auffällig sind die hohen CO<sub>2</sub> Emissionen und der hohe Kraftstoffverbrauch bei dem KIA Picanto und dem TOYOTA Prius. Als Ursache für die erhöhten Werte beim KIA Picanto gab der Hersteller an, dass der Fahrzeugtyp bei der Typprüfung ohne Lenkhilfepumpe geprüft worden ist. Demgegenüber waren die drei untersuchten Fahrzeuge alle mit Servolenkung ausgestattet. Beim KIA Picanto wird die Lenkhilfepumpe mechanisch über einen Keilriemen angetrieben, was zu einem erhöhten Energieverbrauch gegenüber einem Fahrzeug ohne Lenkhilfepumpe führt.

Bei dem TOYOTA Prius handelt es sich um ein nicht extern aufladbares Fahrzeug mit Hybrid-Elektrischem Antrieb. Derartige Fahrzeuge werden mit einem Verbrennungsmotor und einem Elektromotor angetrieben. In bestimmten Fahrzuständen fahren diese Fahrzeuge elektrisch in anderen Fahrzuständen mit Verbrennungsmotor. Der Vorteil dieses Antriebskonzepts liegt darin, dass Teilstrecken emissionsfrei zurückgelegt werden können und dass ein Teil der beim Bremsen vernichteten Bewegungsenergie durch Rekuperation zurück gewonnen werden kann. In manchen Teilstrecken dient der Verbrennungsmotor nicht nur dazu, das Fahrzeug anzutreiben sondern wird zusätzlich zur Ladung der Batterie genutzt. Um den tatsächlich für den Fahrzeugantrieb erforderlichen Kraftstoffverbrauch und die dabei entstehenden Kohlendioxidemissionen bestimmen zu können, kann laut Richtlinie bei derartigen Fahrzeugen ein Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Batterieladung während des Fahrzyklus herangezogen werden. Bei Berücksichtigung dieses Korrekturfaktors entsprachen die ermittelten Kohlendioxidemissionen und der Kraftstoffverbrauch den Herstellerangaben.

In **Abbildung 4.20** sind die Mittelwerte der im Neuen Europäischen Fahrzyklus gemessenen Kohlendioxidemissionen für die untersuchten Fahrzeugtypen dargestellt. Die Werte sind nach der Höhe der Herstellerangabe für die CO<sub>2</sub>-Emissionen geordnet.



**Abbildung 4.20: Kohlendioxidemissionen im NEFZ**

Abbildung 4.21 zeigt die Mittelwerte der im NEFZ für die verschiedenen Fahrzeugtypen ermittelten Kraftstoffverbräuche. Die Werte sind nach der Höhe der Herstellerangabe für den Kraftstoffverbrauch geordnet.

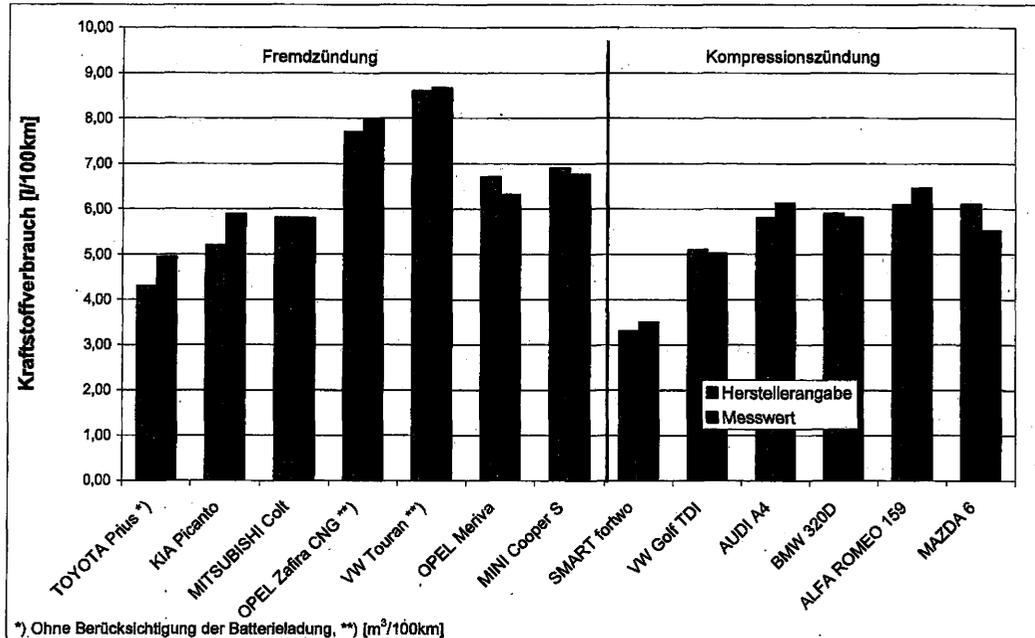


Abbildung 4.21: Kraftstoffverbrauch im NEFZ

#### 4.3 Abgasemissionen in den zusätzlichen Fahrzyklen

Im Neuen Europäischen Fahrzyklus werden relativ niedrige Motorlasten und Fahrgeschwindigkeiten von maximal 120 km/h erreicht. Um auch abgasrelevante Betriebs-situationen beurteilen zu können, die nicht durch den NEFZ abgedeckt werden, wurden zusätzlich der FTP 75- und der Common Artemis Driving Cycle (CADC) gefahren. Sowohl im Neuen Europäischen Fahrzyklus als auch im FTP-Zyklus werden die Abgasemissionen nur im Teillastbereich erfasst werden. Aufgrund der höheren Dynamik und der damit verbundenen größeren Beschleunigungen im FTP-Zyklus werden hier höhere Motorlasten bei niedrigen Drehzahlen erreicht als im NEFZ. Im CADC werden deutlich höhere Lasten und Drehzahlen erreicht.

In den folgenden **Abbildungen 4.22 bis 4.25** sind die Mittelwerte der limitierten Abgas- und Partikelemissionen für die Euro 4 Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor und mit Kompressionszündungsmotor in den verschiedenen Fahrzyklen dargestellt.

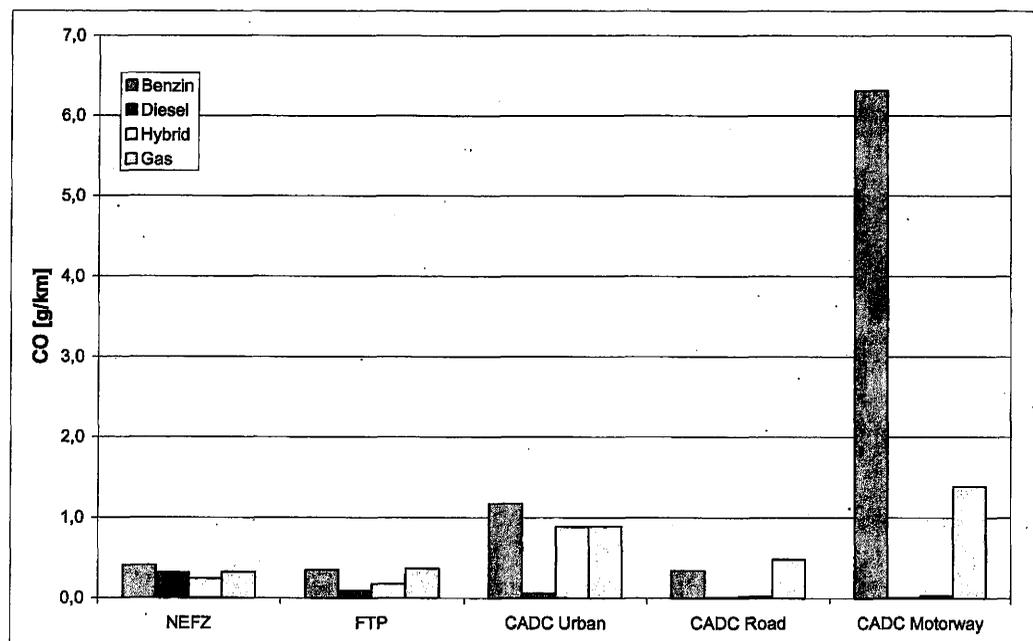
Grundsätzlich ist zu erkennen, dass die Kohlenmonoxidemissionen bei den Benzinfahrzeugen deutlich höher sind als die der Dieselfahrzeuge. Außerdem ist der starke Anstieg der CO Emissionen der Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im CADC Mo-

torway Fahrzyklus auffällig. Das ist auf die hohen Drehzahlen und Motorlasten zurückzuführen, die in diesem Fahrzyklus erreicht werden. Der hohe Durchschnittswert der CO Emissionen für die Benzinfahrzeugtypen im CADC Motorway ist zum Teil auf einen Fahrzeugtyp mit einer extremen Anfechtung des Kraftstoff-Luft Gemisches zurück zu führen. Bei dem Fahrzeugtyp mit Hybrid-Elektrischem Antrieb kann weitestgehend auf eine Anfechtung des Kraftstoff-Luft Gemisches verzichtet werden, da Lastspitzen durch die Zuschaltung des Elektromotors abgefangen werden können.

Bei den Kohlenwasserstoffemissionen machen sich bei den Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor besonders die Kaltstartemissionen vor Erreichen der Arbeitstemperatur des Katalysators negativ bemerkbar. Das zeigt sich insbesondere im CADC Urban.

Die Fahrzeuge mit Gasantrieb zeigen gegenüber den Benzinfahrzeuge erhöhte Stickoxidemissionen insbesondere im CADC Motorway aufgrund der hohen Motorlasten und der damit verbundenen hohen Brennraumtemperatur.

Demgegenüber sind bei Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor die Stickoxid- und Partikelemissionen das Hauptproblem. Besonders im CADC Stadtzyklus und im CADC Motorway bei hohen Motorlasten und Drehzahlen sind erhöhte Stickoxid- und Partikelemissionen bei den Dieselfahrzeugen zu erkennen.



**Abbildung 4.22: Kohlenmonoxidemissionen von Euro 4 Fahrzeugen in verschiedenen Fahrzyklen**

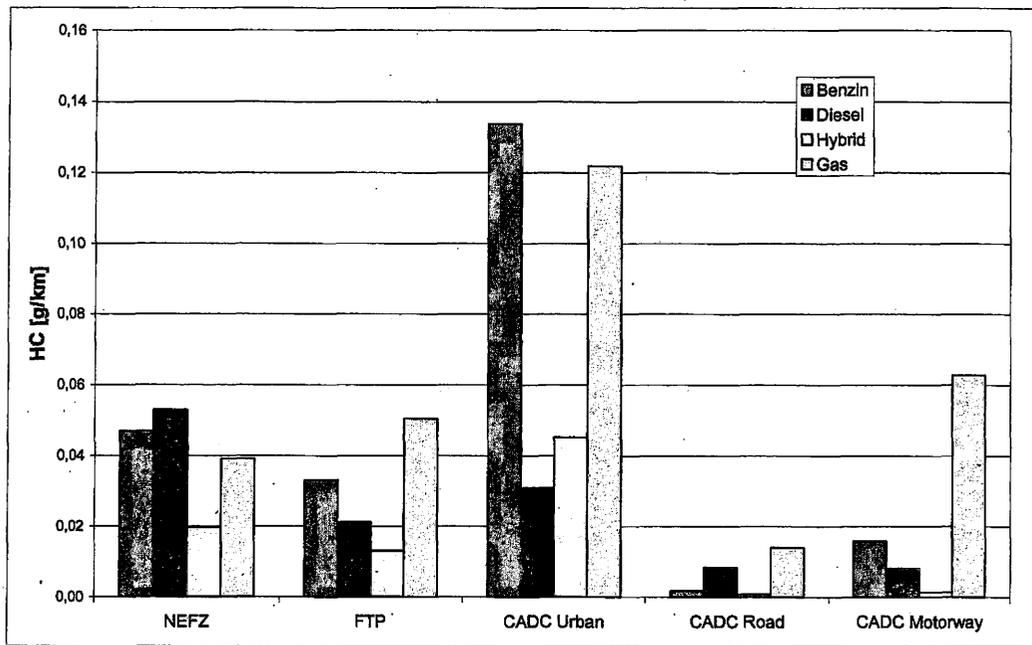


Abbildung 4.23: Kohlenwasserstoffemissionen von Euro 4 Fahrzeugen in verschiedenen Fahrzyklen

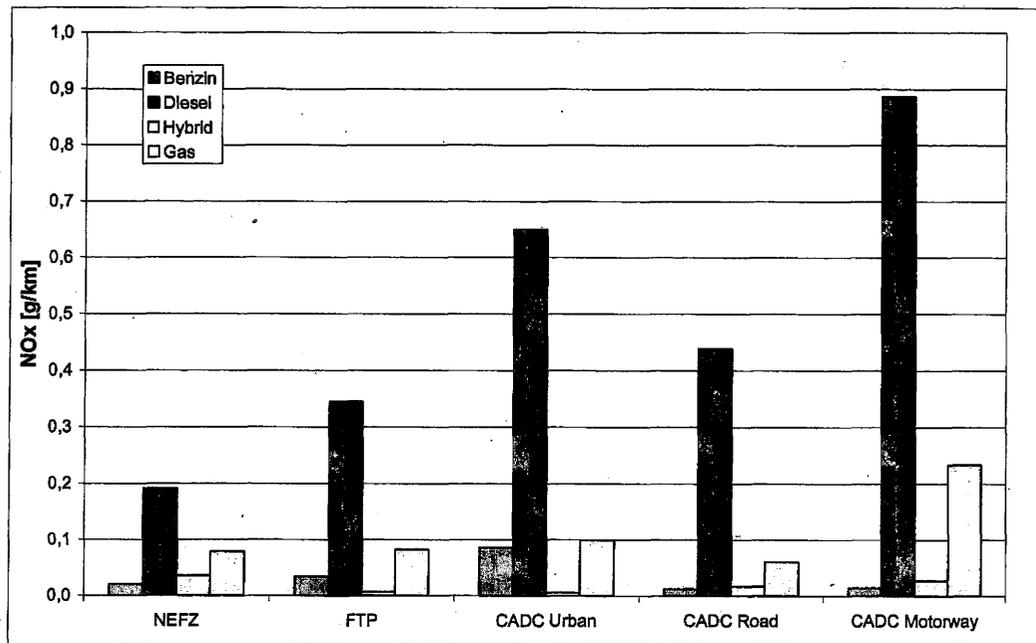


Abbildung 4.24: Stickoxidemissionen von Euro 4 Fahrzeugen in verschiedenen Fahrzyklen

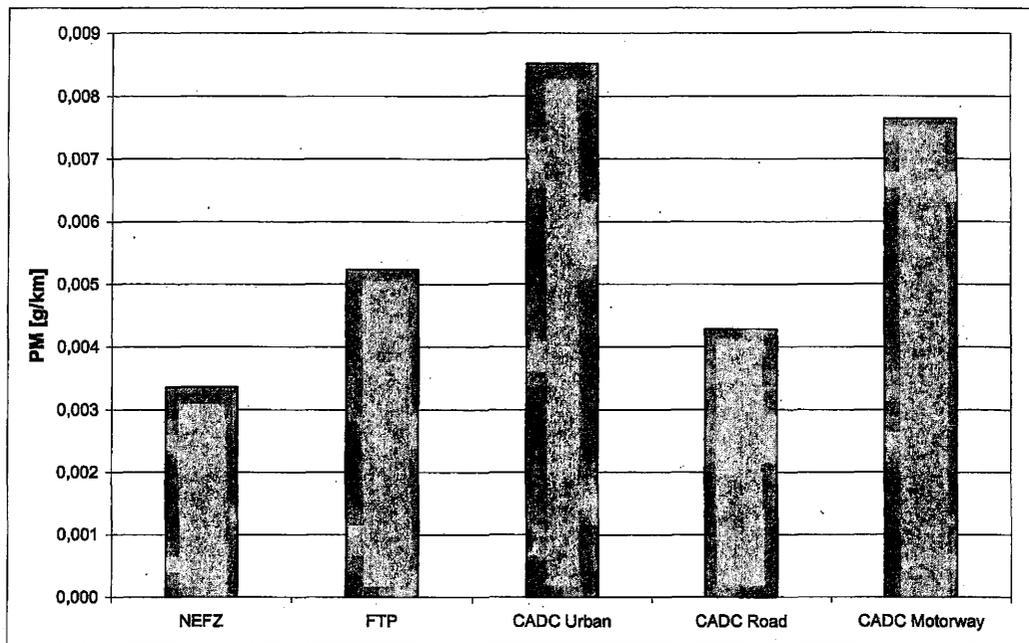


Abbildung 4.25: Partikelemissionen von Euro 4 Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor in verschiedenen Fahrzyklen

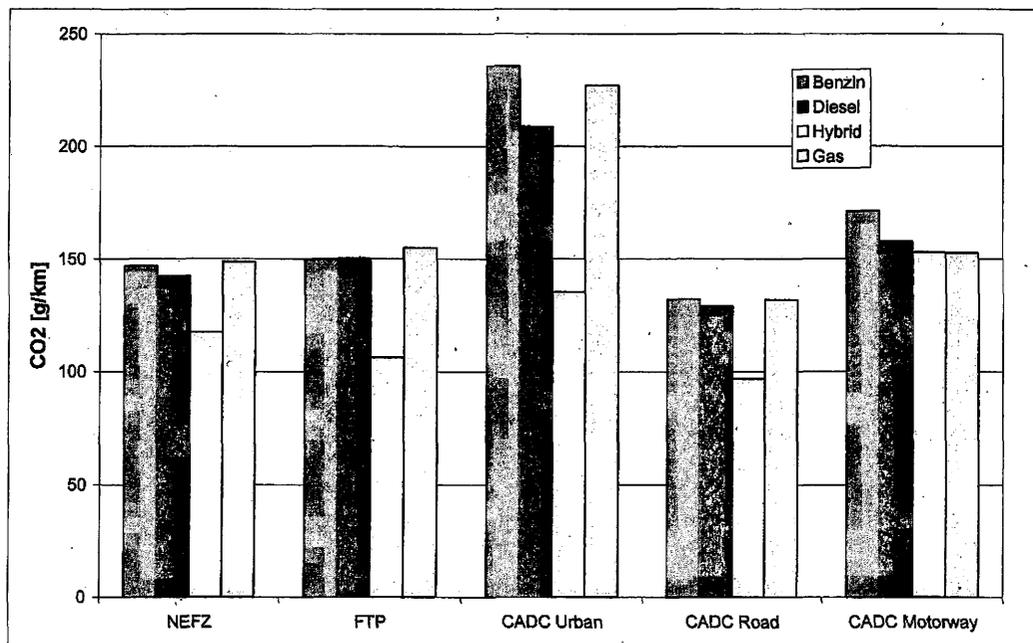


Abbildung 4.26: Kohlendioxidemissionen von Euro 4 Fahrzeugen in verschiedenen Fahrzyklen

In **Abbildung 4.26** sind die Kohlendioxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen dargestellt. Es wird deutlich, dass bei städtischen Fahrbedingungen, repräsentiert durch den CADC Urban, die höchsten CO<sub>2</sub> Emissionen und damit verbunden der höchste Kraftstoffverbrauch auftritt. Die CO<sub>2</sub> Emissionen der Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor liegen unter denen der Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor. Der Hybrid-Elektrische Antrieb profitiert in Fahrzyklen mit wechselnden Lastzuständen von der Bremsenergie Rückgewinnung.

In den folgenden **Tabellen 4.5, bis 4.9** auf den folgenden Seiten sind die Mittelwerte der Schadstoffemissionen für die untersuchten Fahrzeugtypen in verschiedenen Fahrzyklen zusammengefasst. Besonders auffällig sind die hohen Kohlenmonoxidemissionen bei dem KIA Picanto, die im CADC Motorway um den Faktor 46 über den im NEFZ ermittelten Werten liegen. Das lässt auf eine starke Anfechtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bei hoher Motorlast schließen (vgl. Abschnitt 4.5). Auch bei den OPEL Meriva, dem MITSUBISHI Colt und dem MINI Cooper S sind erhöhte Kohlenmonoxidemissionen im CADC Motorway zu erkennen.

Bei den Fahrzeugen mit Dieselmotor sind die stark erhöhten Stickoxidemissionen im CADC Motorway bei dem MAZDA 6 auffällig die um den Faktor 10 höher als die im NEFZ ermittelten Werte liegen. Die erhöhten Stickoxidemissionen sind auf hohe Temperaturen bei gleichzeitigem Luftüberschuss im Brennraum bei hohen Motorlasten zurück zu führen.

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Zulassung	Antriebsart	Ø Fahr- leistung [km]	CO Emissionsmittelwerte [g/km]				
						NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road	CADC Motorway
1	KIA	Picanto	Euro 4	PI	46.381	0,355	0,347	0,945	0,619	16,564
2	MINI	Cooper S	Euro 4	PI	44.084	0,439	0,423	1,083	0,379	1,177
3	MITSUBISHI	Colt	Euro 4	PI	46.063	0,421	0,201	0,999	0,105	3,392
4	OPEL	Meriva	Euro 4	PI	47.128	0,392	0,419	1,659	0,252	4,109
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	Euro 4	PI	38.852	0,217	0,098	0,034	0,004	0,002
6	AUDI	A4 Avant TDI	Euro 4	CI	57.135	0,225	0,053	0,007	0,005	0,003
7	BMW	320d	Euro 4	CI	41.008	0,496	0,121	0,119	0,010	0,008
8	MAZDA	6	Euro 4	CI	57.986	0,301	0,126	0,024	0,007	0,010
9	SMART	ForTwo CDI	Euro 4; 3l	CI	19.344	0,273	0,072	0,161	0,012	0,035
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	Euro 4	CI	40.405	0,367	0,068	0,016	0,008	0,007
11	TOYOTA	Prius II	Euro 4; 5l	HEV	54.288	0,241	0,176	0,885	0,021	0,028
12	OPEL	Zafira CNG	Euro 4	CNG	68.129	0,433	0,458	1,397	0,736	2,247
13	VOLKSWAGEN	Touran	Euro 4	CNG	44.800	0,207	0,273	0,379	0,311	0,516

Tabelle 4.5: Kohlenmonoxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Zulassung	Antriebsart	Ø Fahr- leistung	HC Emissionsmittelwerte [g/km]				
						[km]	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road
1	KIA	Picanto	Euro 4	PI	46.381	0,032	0,026	0,108	0,001	0,016
2	MINI	Cooper S	Euro 4	PI	44.084	0,045	0,023	0,093	0,003	0,016
3	MITSUBISHI	Colt	Euro 4	PI	46.063	0,065	0,050	0,199	0,002	0,025
4	OPEL	Meriva	Euro 4	PI	47.128	0,045	0,034	0,135	0,001	0,006
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	Euro 4	PI	38.852	0,030	0,016	0,035	0,012	0,002
6	AUDI	A4 Avant TDI	Euro 4	CI	57.135	0,062	0,018	0,015	0,010	0,004
7	BMW	320d	Euro 4	CI	41.008	0,077	0,033	0,079	0,012	0,005
8	MAZDA	6	Euro 4	CI	57.986	0,028	0,015	0,006	0,004	0,021
9	SMART	ForTwo CDI	Euro 4; 3l	CI	19.344	0,039	0,022	0,033	0,005	0,013
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	Euro 4	CI	40.405	0,081	0,023	0,017	0,008	0,003
11	TOYOTA	Prius II	Euro 4; 5l	HEV	54.288	0,020	0,013	0,045	0,001	0,001
12	OPEL	Zafira CNG	Euro 4	CNG	68.129	0,061	0,085	0,212	0,024	0,061
13	VOLKSWAGEN	Touran	Euro 4	CNG	44.800	0,011	0,016	0,032	0,004	0,065

Tabelle 4.6: Kohlenwasserstoffemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Zulassung	Antriebsart	Ø Fahr- leistung	NOx Emissionsmittelwerte [g/km]				
						[km]	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road
1	KIA	Picanto	Euro 4	PI	46.381	0,033	0,049	0,132	0,019	0,027
2	MINI	Cooper S	Euro 4	PI	44.084	0,007	0,010	0,020	0,011	0,009
3	MITSUBISHI	Colt	Euro 4	PI	46.063	0,025	0,036	0,099	0,007	0,009
4	OPEL	Meriva	Euro 4	PI	47.128	0,017	0,041	0,088	0,013	0,012
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	Euro 4	PI	38.852	0,212	0,491	0,960	0,467	0,632
6	AUDI	A4 Avant TDI	Euro 4	CI	57.135	0,177	0,360	0,730	0,586	0,826
7	BMW	320d	Euro 4	CI	41.008	0,200	0,386	0,827	0,509	0,820
8	MAZDA	6	Euro 4	CI	57.986	0,147	0,341	0,601	0,512	1,445
9	SMART	ForTwo CDI	Euro 4; 3l	CI	19.344	0,226	0,253	0,458	0,285	0,968
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	Euro 4	CI	40.405	0,186	0,237	0,458	0,274	0,629
11	TOYOTA	Prius II	Euro 4; 5l	HEV	54.288	0,036	0,007	0,005	0,017	0,027
12	OPEL	Zafira CNG	Euro 4	CNG	68.129	0,136	0,153	0,147	0,115	0,460
13	VOLKSWAGEN	Touran	Euro 4	CNG	44.800	0,020	0,010	0,050	0,005	0,007

Tabelle 4.7: Stickoxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Zulassung	Antriebsart	Ø Fahr- leistung	Partikel Emissionsmittelwerte [g/km]				
						[km]	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road
1	KIA	Picanto	Euro 4	PI	46.381	-	-	-	-	-
2	MINI	Cooper S	Euro 4	PI	44.084	-	-	-	-	-
3	MITSUBISHI	Colt	Euro 4	PI	46.063	-	-	-	-	-
4	OPEL	Meriva	Euro 4	PI	47.128	-	-	-	-	-
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	Euro 4	PI	38.852	0,0029	0,0030	0,0231	0,0022	0,0022
6	AUDI	A4 Avant TDI	Euro 4	CI	57.135	0,0010	0,0030	0,0103	0,0040	0,0023
7	BMW	320d	Euro 4	CI	41.008	0,0006	0,0015	0,0063	0,0069	0,0067
8	MAZDA	6	Euro 4	CI	57.986	0,0005	0,0008	0,0015	0,0005	0,0024
9	SMART	ForTwo CDI	Euro 4; 3l	CI	19.344	0,0096	0,0226	0,0090	0,0098	0,0287
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	Euro 4	CI	40.405	0,0003	0,0005	0,0009	0,0006	0,0012
11	TOYOTA	Prius II	Euro 4; 5l	HEV	54.288	-	-	-	-	-
12	OPEL	Zafira CNG	Euro 4	CNG	68.129	-	-	-	-	-
13	VOLKSWAGEN	Touran CNG	Euro 4	CNG	44.800	-	-	-	-	-

Tabelle 4.8: Partikelemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Zulassung	Antriebsart	Ø Fahr- leistung	CO <sub>2</sub> Emissionsmittelwerte [g/km]				
						[km]	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road
1	KIA	Picanto	Euro 4	PI	46.381	139,6	140,2	210,5	130,0	167,4
2	MINI	Cooper S	Euro 4	PI	44.084	160,4	163,1	261,3	144,9	179,8
3	MITSUBISHI	Colt	Euro 4	PI	46.063	137,2	139,7	214,0	122,0	164,5
4	OPEL	Meriva	Euro 4	PI	47.128	150,3	155,3	256,4	130,9	172,7
5	ALFA ROMEO	159 Sportwagon	Euro 4	PI	38.852	170,4	177,7	247,9	147,1	170,0
6	AUDI	A4 Avant TDI	Euro 4	CI	57.135	161,5	171,3	237,8	144,7	147,3
7	BMW	320d	Euro 4	CI	41.008	152,5	167,6	252,9	141,23	160,2
8	MAZDA	6	Euro 4	CI	57.986	145,5	154,1	204,0	136,0	181,4
9	SMART	ForTwo CDI	Euro 4; 3l	CI	19.344	92,0	89,6	120,6	83,63	138,7
10	VOLKSWAGEN	Golf Variant TDI	Euro 4	CI	40.405	131,8	140,8	189,0	121,2	148,5
11	TOYOTA	Prius II	Euro 4; 5l	HEV	54.288	117,5	106,3	135,2	96,9	152,9
12	OPEL	Zafira CNG	Euro 4	CNG	68.129	142,5	144,5	221,9	125,7	150,3
13	VOLKSWAGEN	Touran CNG	Euro 4	CNG	44.800	154,9	165,3	232,3	137,9	155,0

Tabelle 4.9: Kohlendioxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

#### 4.4 Verdunstungsemissionen

Wird das im Kraftstoffsystem befindliche Benzin z.B. durch Sonneneinstrahlung aufgeheizt, kommt es zu einer Verdunstung von Kohlenwasserstoffen. Wenn diese Kraftstoffdämpfe in die Umgebung gelangen, führt das zu einer erheblichen Umweltbelastung. Daher sind moderne Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor mit einem System zur Rückhaltung derartiger Kraftstoffdämpfe ausgerüstet.

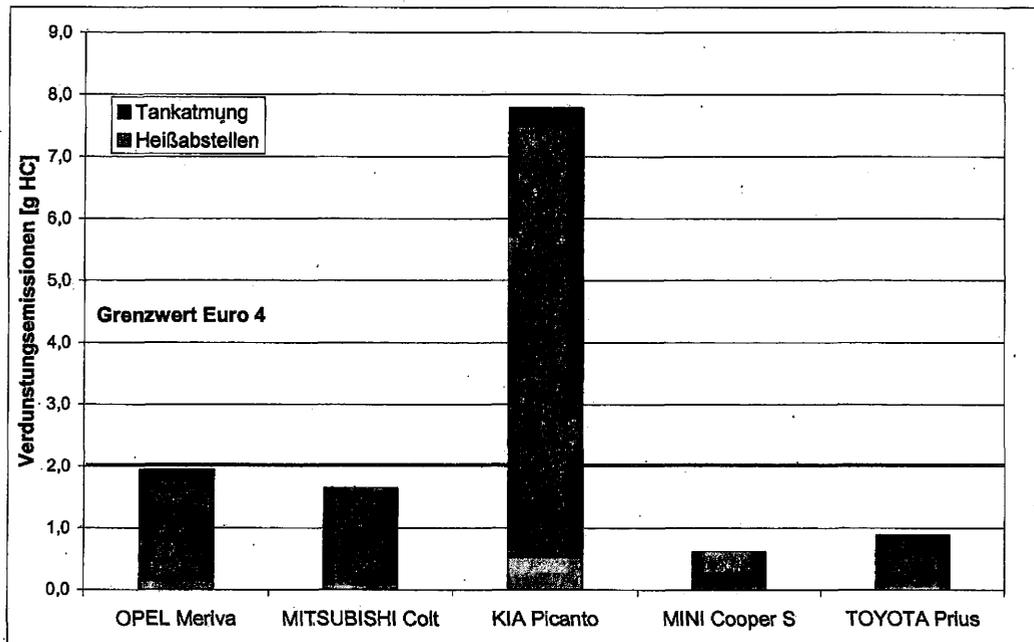
Bei der Typprüfung wird daher neben den Abgasemissionen im Fahrzyklus u.a. auch die Höhe der Kohlenwasserstoffemissionen bestimmt, die hauptsächlich aus dem Kraftstoffsystem des Prüffahrzeuges durch Verdunstung entweichen. Dabei werden in zwei Prüfschritten in einer gasdichten Kammer die Kohlenwasserstoffemissionen, die durch ein Heißabstellen des Fahrzeuges nach Durchfahren eines Fahrzyklus freigesetzt werden und die Tankatmungsemissionen gemessen. Der gesetzliche Grenzwert für die gesamten Verdunstungsemissionen ist dabei auf 2 g Kohlenwasserstoffe pro Test festgelegt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde zusätzlich zu den Messungen auf dem Fahrleistungsprüfstand bei jeweils einem Fahrzeug pro Typ mit Fremdzündungsmotor eine Messung der Verdunstungsemissionen durchgeführt. In **Tabelle 4.10** sind die Ergebnisse dieser Messungen zusammengefasst.

Nr.	Hersteller	Typ	Verdunstungsemissionen [g HC]		
			Heiß- abstellen	Tankatmung	Gesamter- ergebnis
1	Opel	Meriva	0,14	1,80	1,94
2	Mitsubishi	Colt	0,08	1,56	1,65
3	KIA	PICANTO	0,52	7,26	7,78
4	BMW	Mini Cooper S	0,05	0,56	0,61
10	TOYOTA	Prius	0,05	0,83	0,88
<b>Grenzwert</b>					<b>2,0</b>

**Tabelle 4.10: Verdunstungsemissionen**

In **Abbildung 4.27** sind die Verdunstungsemissionen der untersuchten Fahrzeuge dargestellt. Bei vier der fünf untersuchten Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor wurde der Grenzwert für die Verdunstungsemissionen von 2,0 g Kohlenwasserstoffen eingehalten.

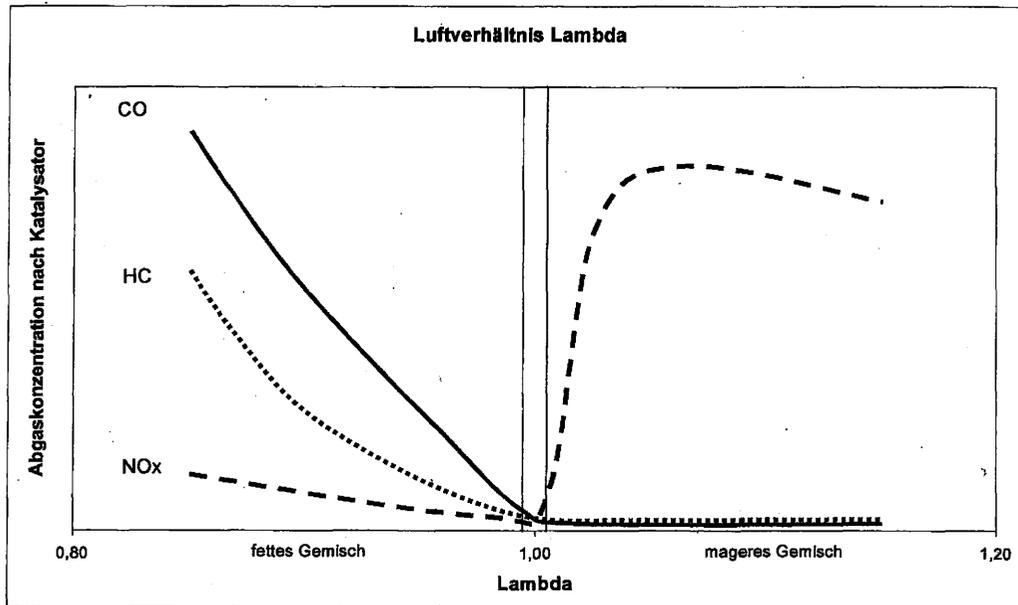


**Abbildung 4.27: Verdunstungsemissionen**

Auffällig sind die hohen Kohlenwasserstoffemissionen bei dem KIA Picanto. Insbesondere die Ergebnisse beim Tankatmungstest sind auffällig. Der Verlauf der Kohlenwasserstoff Emissionen deuten auf einen Durchbruch der Aktivkohlefallde hin.

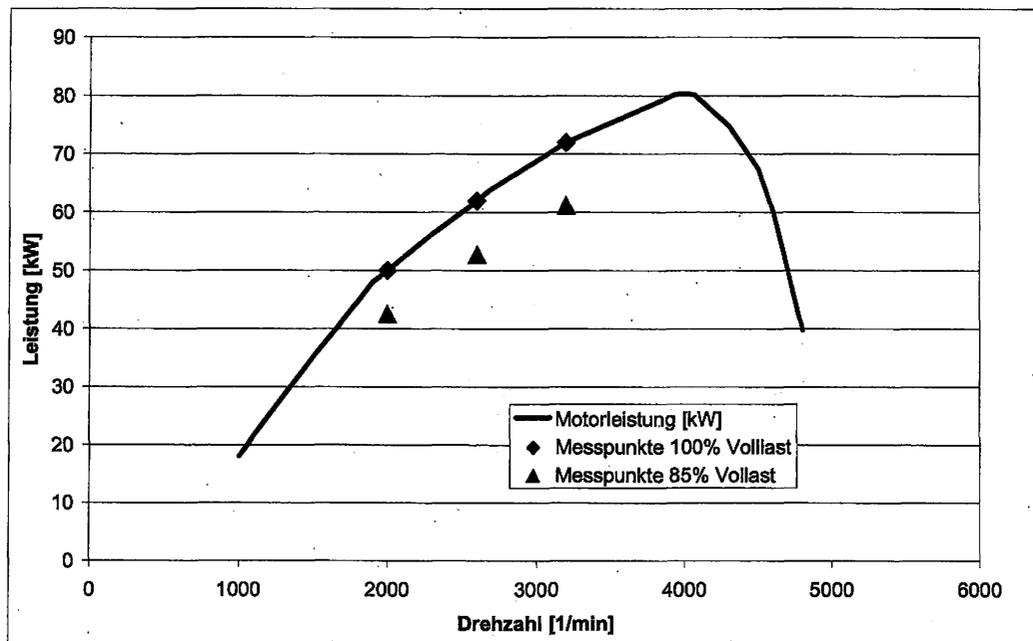
#### 4.5 Vollastanreicherung

Eine Anfechtung des Kraftstoff-Luftgemisches führt zu erhöhten Rohemissionen und zu einer Reduzierung des Katalysatorwirkungsgrades. In **Abbildung 4.28** sind die Abgaskonzentrationen nach Katalysator in Abhängigkeit vom Luftverhältnis Lambda für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor und geregelterm 3-Wege Katalysator schematisch dargestellt. Es wird deutlich, dass für eine optimale Umsetzung der Rohemissionen im Katalysator ein Lambdawert im Bereich von 0,97 bis zu 1,03 erforderlich ist.



**Abbildung 4.28: Schematische Darstellung der Abgaskonzentration nach Katalysator in Abhängigkeit vom Luftverhältnis Lambda**

Bei einem Fahrzeug je Typ mit Fremdzündungsmotor wurde untersucht, ob bei hoher Motorlast bzw. Volllast eine Gemischanreicherung vorlag. Zu diesem Zweck wurde für sechs stationäre Messpunkte das Luftverhältnis Lambda auf dem Fahrleistungsprüfstand ermittelt. In einzelnen waren dies zwei Lastpunkte mit jeweils drei verschiedenen Drehzahlen: Motorvolllast und 85 % der Motorvolllast, bei 80 %, 65 % und 50 % der Motornendrehzahl. Die Messpunkte sind in **Abbildung 4.29** schematisch dargestellt.



**Abbildung 4.29: Messpunkte zur Bestimmung der Vollastanreicherung**

Die Ergebnisse der Messungen zur Vollastanreicherung sind in **Tabelle 4.11** zusammengefasst. Bei dem Hybrid-Elektrischen Fahrzeug TOYOTA Prius und den Gasbetriebenen Fahrzeugen wurde in keinem der Messpunkte eine Anfertung des Kraftstoff-Luft Gemisches festgestellt.

Bei allen Fahrzeugen mit Benzin getriebenem Verbrennungsmotor wurde bei Vollast eine Anreicherung des Kraftstoff-Luft Gemisches gemessen.

Bei dem KIA Picanto wurde eine extreme Anfertung des Kraftstoff-Luft Gemisches ermittelt. Eine derartige Gemischanreicherung führt zu einer Erhöhung der limitierten Schadstoffkomponenten Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe, da in diesem Motorbetriebszustand zum einen die Rohemissionen von CO und HC ansteigen und zum anderen keine optimale Umsetzung dieser Komponenten im Katalysator möglich ist. Diese Vollastanreicherung führt nicht nur zu einem Anstieg des Kraftstoffverbrauchs, sondern ist vor allem auch vor dem Hintergrund der hierdurch verursachten erheblichen Erhöhung nicht limitierter Schadstoffe wie  $N_2O$ , Ammoniak und Benzol als kritisch zu erachten. /23/

Das Luftverhältnis Lambda bei 100 % Vollast bei verschiedenen Motordrehzahlen ist in **Abbildung 4.30** für die untersuchten Fahrzeuge dargestellt.