

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERS FÜR UMWELT
NATURSCHUTZ UND
REAKTORSICHERHEIT
- Luftreinhaltung -

Umweltbundesamt
UFOPLAN-Nr. 3710 45 190

"Emissionsfaktoren von Otto- und Diesel-Pkw"

- Abschlussbericht, 30.04.2013 -

von

Helge Schmidt

TUV NORD
Mobilität

Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität
Antrieb/Emissionen
PKW/Kraftrad

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

~~000108~~

205

Berichts - Kennblatt

1. Berichtsnummer	2. Abschlussbericht	3.
4. Titel des Berichts Emissionsfaktoren von Otto- und Diesel-Pkw		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Schmidt, Helge		8. Datum des Berichts 30.04.2013
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität Adlerstr. 7, 45307 Essen		10. UFOPLAN - Nr. 3710 45 190
		11. Seitenzahl 40
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau		12. Literaturangaben 19
15. Zusätzliche Angaben -		13. Tabellen und Diagramme 11
		14. Abbildungen 20
16. Kurzfassung In diesem Forschungsvorhabens wurden die Abgasemissionen von 4 Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor untersucht, die bei der Typprüfung als Euro 4, Euro 4 (5l) und Euro 5 eingestuft worden waren. Außerdem wurden 2 Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor untersucht. Bei den Fahrzeugen mit Dieselmotor handelte es sich um leichte Nutzfahrzeuge, die mit einem Partikelfilter ausgerüstet waren. Diese Fahrzeugtypen waren bei der Typprüfung nach Euro 4 Gruppe III eingestuft worden. Im Neuen Europäischen Fahrzyklus wurden die jeweiligen Abgasgrenzwerte der EG-Typgenehmigung von allen untersuchten Fahrzeugen eingehalten. Im bei der Typprüfung relevanten Neuen Europäischen Fahrzyklus werden relativ niedrige Motorlasten und Fahrgeschwindigkeiten von maximal 120 km/h erreicht. Um auch abgasrelevante Betriebssituationen beurteilen zu können, die nicht durch den NEFZ abgedeckt werden, wurden zusätzlich der FTP 75 – Zyklus und der Common Artemis Driving Cycle (CADC) gefahren. Dabei war zu erkennen, dass die bei Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor die Kohlenmonoxidemissionen bei hohen Lasten und Drehzahlen deutlich ansteigen. Demgegenüber sind bei hohen Motorlasten und Drehzahlen bei Fahrzeugen mit Dieselmotor die Stickoxidemissionen das Hauptproblem. Die höchsten CO ₂ Emissionen und damit verbunden der höchste Kraftstoffverbrauch treten bei städtischen Fahrbedingungen in Verbindung mit einem Kaltstart, repräsentiert durch den UDC und den CADC Urban, auf. Während der Messungen wurden die Abgasemissionen modal erfasst. Die Modaldaten wurden zur Berechnung von Emissionsfaktoren herangezogen.		
17. Schlagwörter Emissionsfaktoren, Abgasemissionen, Pkw		
18. Preis	19.	20.

050170

206

Report

1. Report no.	2. Report	3.
4. Report Title Emission factors for passenger cars with positive ignition and compression ignition engines		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Schmidt, Helge		8. Report Date 30.04.2013
		9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Address) TÜVNORD Mobilität, Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität Adlerstrasse 7 D-45307 Essen		10. UFOPLAN – Ref.-No. 3710 45 190
		11. No. of Pages 40
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau		12. No. of References 19
15. Supplementary Notes -		13. No. of Tables, Diagrammes 11
		14. No. of Figures 20
16. Abstract During this programme the exhaust emissions of 4 vehicle types equipped with positive ignition engine and 2 vehicle types with compression ignition engine and particle filter were measured. All vehicles complied with the type approval limits. Exhaust emissions of passenger cars and light duty trucks in Europe are measured by using the New European Driving Cycle (NEDC) which represents only a small part of all driving conditions in real traffic. Therefore exhaust emissions were measured also during the FTP 75 driving cycle and the Common Artemis Driving Cycle (CADC). Carbon monoxide emissions of vehicles with positive ignition engines increase with high loads and high engine speeds. On the tested vehicles with compression ignition engine high engine loads and high engine speeds cause a significant increase of nitric oxide emissions. During urban driving conditions represented by the UDC and the CADC urban the highest CO ₂ emissions were measured. Exhaust emissions were measured second by second. These second by second data can be used for emission factor calculation.		
17. Keywords Emission factors, exhaust emissions, passenger cars		
18. Price	19.	20.



Inhaltsverzeichnis

1	<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u>	3
2	<u>EINLEITUNG</u>	5
3	<u>UNTERSUCHUNGSPROGRAMM</u>	9
3.1	Fahrzeugauswahl	11
3.2	Durchführung der Untersuchungen	15
3.3	Bewertung einer Stichprobe	20
4	<u>DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE</u>	23
4.1	Abgasemissionen im NEFZ	23
4.2	Abgasemissionen in den zusätzlichen Fahrzyklen	28
5	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	38
6	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	39

~~062175~~

208

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 ₂	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 ₂	Stickstoffdioxid
N ₂ O	Distickstoffoxid
NO _x	Stickoxide
NH ₃	Ammoniak

~~000171~~

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

Eine nachhaltige Verkehrspolitik ist das erklärte Ziel der Bundesregierung und der Europäischen Kommission. Verkehr soll umweltgerecht, klimafreundlich, sozial verantwortlich und gleichzeitig wirtschaftlich effizient gestaltet werden. Dabei spielt der Straßenverkehr eine entscheidende Rolle. Etwa drei Viertel aller Transporte werden auf der Straße abgewickelt. Zur Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffbelastung der Luft wurde ein umfangreiches Maßnahmenpaket geschaffen. Es beinhaltet neben der Typprüfung, die Prüfung der Übereinstimmung der Produktion an Neufahrzeugen (COP), Anforderungen an die Dauerhaltbarkeit, die Prüfung der Konformität von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen (Feldüberwachung), ein On Board Diagnose System, die periodische Überwachung aller im Verkehr befindlichen Fahrzeuge sowie eine erhöhte Kraftstoffqualität. Trotz des stetigen Wachstums der Verkehrsleistung konnten durch diese Maßnahmen Erfolge bei der Luftreinhaltung erzielt werden.

/1/, /2/, /3/

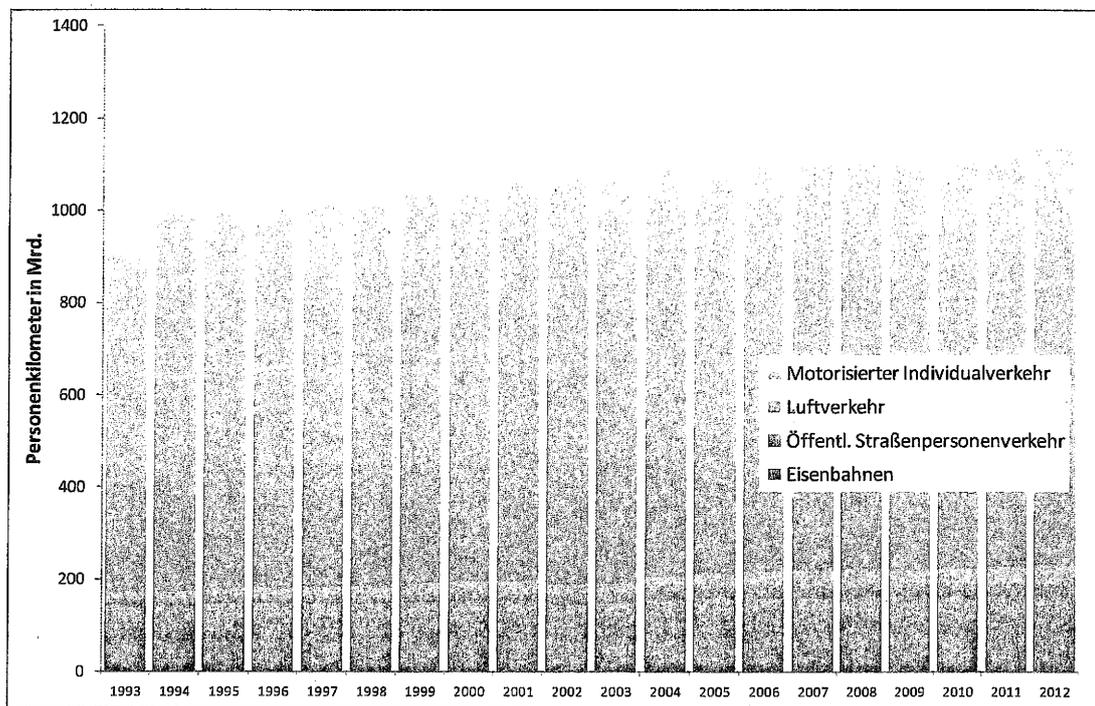


Abbildung 2.1: Personenverkehrsleistung verschiedener Verkehrsträger in Deutschland (Quelle: Verkehr in Zahlen)

In **Abbildung 2.2** ist die Absenkung des Kohlenmonoxid Grenzwertes bei der Typprüfung von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor schematisch dargestellt. Zusätzlich wurde mit der Abgasnorm Euro 3 ein geänderter Fahrzyklus zur Erfassung der Kaltstartemissionen eingeführt. /4/, /5/

000175

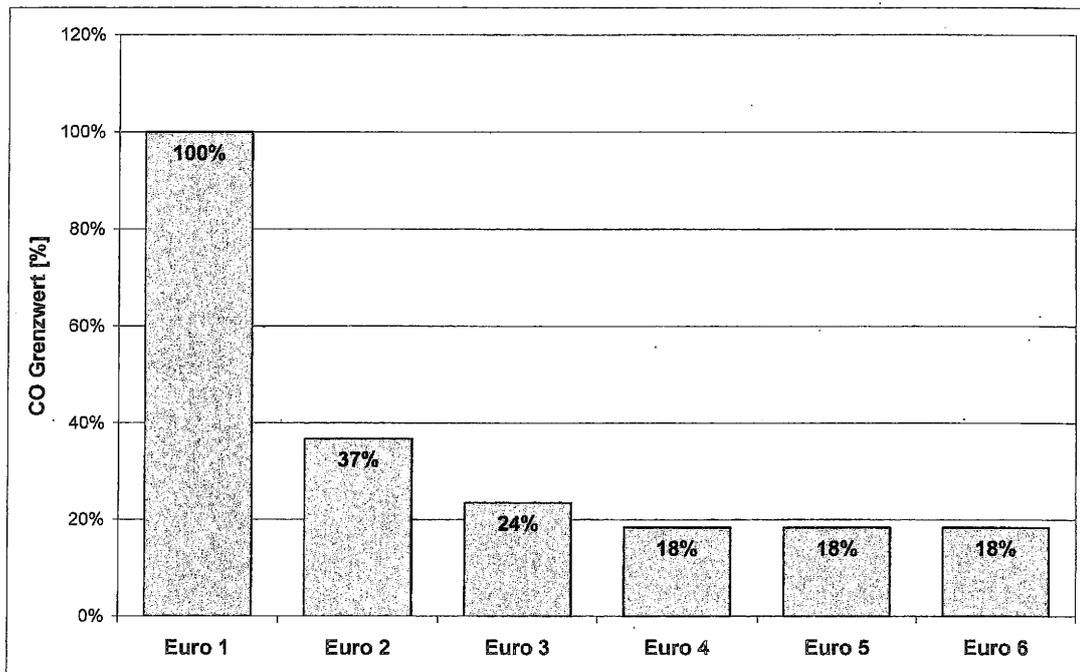


Abbildung 2.2: Kohlenmonoxid-Grenzwerte für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor bei der Typprüfung in Europa

Die schrittweise Verschärfung der Abgasgesetzgebung hat zu einer konsequenten Verbesserung der Motorentechnik und der Abgasnachbehandlungssysteme geführt. 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 die Abgasemissionen von bereits im Verkehr befindlichen Fahrzeugen unter Typprüfbedingungen untersucht. Die Ergebnisse zahlreicher Forschungsprojekte des Umweltbundesamtes zeigen, dass die Feldüberwachung ein geeignetes Mittel ist, um die Umweltbelastung durch den Straßenverkehr zu reduzieren. /6/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/, /12/, /13/, /14/, /15/.

Seit Anfang 2010 wird im Auftrag des BMVBS und des BMU eine so genannte Feldüberwachung durchgeführt. Dabei werden das Abgasemissionsverhalten von bereits im Verkehr befindlichen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen über die Lebensdauer sowie die Dauerhaltbarkeit von Austauschsystemen zur Abgasnachbehandlung überprüft. Der TÜV NORD wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen mit der Durchführung dieses Forschungsvorhabens "Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen" beauftragt. Ziel des BAST Forschungsvorhabens ist es, den Einfluss der Fahrleistung und des Fahrzeugalters auf das Abgasemissionsverhalten von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit modernen Motorkonzepten und Abgasreinigungssystemen zu ermitteln.

Die Untersuchung der Abgasemissionen im BAST Vorhaben wird auf der Basis der Richtlinie 98/69/EG bzw. Verordnung (EG) Nr. 715/2007 durchgeführt. Die Richtlinie

sieht bei der Feldüberwachung die Prüfung von mindestens drei Fahrzeugen je Fahrzeugtyp vor. Die Messungen auf dem Abgasprüfstand erfolgen im Typgenehmigungszyklus, d.h. dem „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ (NEFZ) entsprechend der Änderungsrichtlinie 98/69/EG.

Im NEFZ wird nur ein Teil der im realen Verkehr auftretenden Fahrzustände erfasst. In den Feldüberwachungsprogrammen des UBA hat sich gezeigt, dass die Abgasemissionen in Fahrzuständen außerhalb des NEFZ deutlich von den Emissionen im Typprüfzyklus abweichen können. Um auch abgasrelevante Betriebssituationen beurteilen zu können, die nicht durch den NEFZ abgedeckt werden, wird das Messprogramm aus dem BAST Vorhaben "Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen" im Rahmen des UBA Vorhabens „Emissionsfaktoren von Otto- und Diesel-Pkw“ ergänzt. Das Abgasemissionsverhalten der Prüffahrzeuge aus dem BAST Vorhaben wird zusätzlich im FTP 75 und im Common Artemis Driving Cycle (CADC) untersucht. Im FTP-Zyklus und im CADC werden größere Beschleunigungen und höhere Fahrgeschwindigkeiten und damit verbunden höhere Motorlasten als im NEFZ erreicht. Die Messergebnisse können für die Weiterentwicklung des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA) genutzt werden.

	Neu-Fahrzeuge			Fahrzeuge im Verkehr		
	Typprüfung	Dauerhaltbarkeit	Serienüberprüfung	Feldüberwachung	Periodische Abgasuntersuchung	On Board Diagnose
Ziel	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
Verantwortungsbereich	Fahrzeughersteller	Fahrzeughersteller	Fahrzeughersteller	Fahrzeughersteller	Fahrzeughalter	Fahrzeughalter
Fahrzeugauswahl	Prototypen	Prototypen oder Serien-Fahrzeuge	Stichprobe aus der Serien-Produktion	Stichprobe der Fahrzeugflotte im Feld	Alle Fahrzeuge im Verkehr	Alle Fahrzeuge im Verkehr
Zeitpunkt der Prüfung	Einmalig	Einmalig	Sporadisch	Regelmäßig	Erstmalig nach 3 Jahren, dann alle 2 Jahre	Permanent
Art der Prüfung	Typprüfung	Dauerlauf (AMA) oder fester Verschlechterungsfaktor	Typprüfung	Typprüfung	Kurztest	Reale Bedingungen nach Applikation des Herstellers
Einfluss auf die Emissions-Reduzierung	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
Gesetzliche Grundlagen	Europäische Richtlinien über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen 98/69/EG; Verordnung (EG) 715/2007			98/69/EG; Verordnung (EG) 715/2007	96/96/EG, 1999/52/EG	98/69/EG; Verordnung (EG) 715/2007

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

3 Untersuchungsprogramm

In dem Forschungsvorhaben "Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen" der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden die Abgasemissionen von bereits im Verkehr befindlichen Fahrzeugen unter Typprüfbedingungen im Neuen Europäischen Fahrzyklus untersucht. In diesem UBA Vorhaben "Emissionsfaktoren von Otto- und Diesel-Pkw" wurde das Messprogramm aus dem BAST Vorhaben um den FTP 75 Fahrzyklus und den Common Artemis Driving Cycle (CADC) ergänzt, wodurch eine breitere Datenbasis geschaffen wird. Der CADC setzt sich aus einem Stadt-, einem Außerorts- und einem Autobahnzyklus zusammen. Er wurde als Grundlage für eine einheitliche Modellierung von Emissionsfaktoren in Europa entwickelt. Bei ausgewählten Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor wurde zusätzlich die Vollastanreicherung überprüft. Durch dieses Untersuchungsprogramm kann ein großer Teil des abgasrelevanten Betriebsbereiches von Kraftfahrzeugen bei den Messungen abgedeckt werden, und die im Rahmen dieses Vorhabens erhobenen Daten können zur Berechnung von Emissionsfaktoren herangezogen werden.

Durch die Verknüpfung des UBA Vorhabens "Emissionsfaktoren von Otto- und Diesel-Pkw" mit dem BAST Forschungsvorhaben "Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen" konnten Synergieeffekte genutzt werden. Die Testfahrzeuge wurden im Rahmen des BAST Vorhabens ausgewählt und in das Abgaslabor überführt. Auch die Eingangsinspektion, die Vorbereitung der Fahrzeuge, die Lastanpassung des Fahrleistungsprüfstands, die Messung der Abgasemissionen im NEFZ und die Rückgabe der Fahrzeuge an die Halter erfolgten für das BAST Vorhaben. Das Forschungsvorhaben wird in folgende Teilvorhaben gegliedert:

- Vorbereitung, Fahrzeugauswahl (Bestandteil BAST Vorhaben)
- Überführung der Fahrzeuge (Bestandteil BAST Vorhaben)
- Eingangsprüfung (Bestandteil BAST Vorhaben)
- Vorbereitung des Prüfstands und der Fahrzeuge (Bestandteil BAST Vorhaben)
- Abgasemissionen im FTP 75 an 3 Fahrzeugen je Typ
- Abgasemissionen im CADC an 3 Fahrzeugen je Typ
- Abgasemissionen im NEFZ (Bestandteil BAST Vorhaben)
- Rückführung der Fahrzeuge (Bestandteil BAST Vorhaben)
- Aufbereitung der Modaldaten

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 Fahrzeughalter von geeigneten Fahrzeugen erfolgte durch das KBA. Der ADAC übernahm die Überführung der Prüffahrzeuge und die Interessenvertretung der Fahrzeughalter. Die Messungen erfolgten in den Abgaslaboratorien des TÜV NORD und des ADAC. Das Untersuchungsprogramm ist in **Abbildung 3.1** dargestellt.

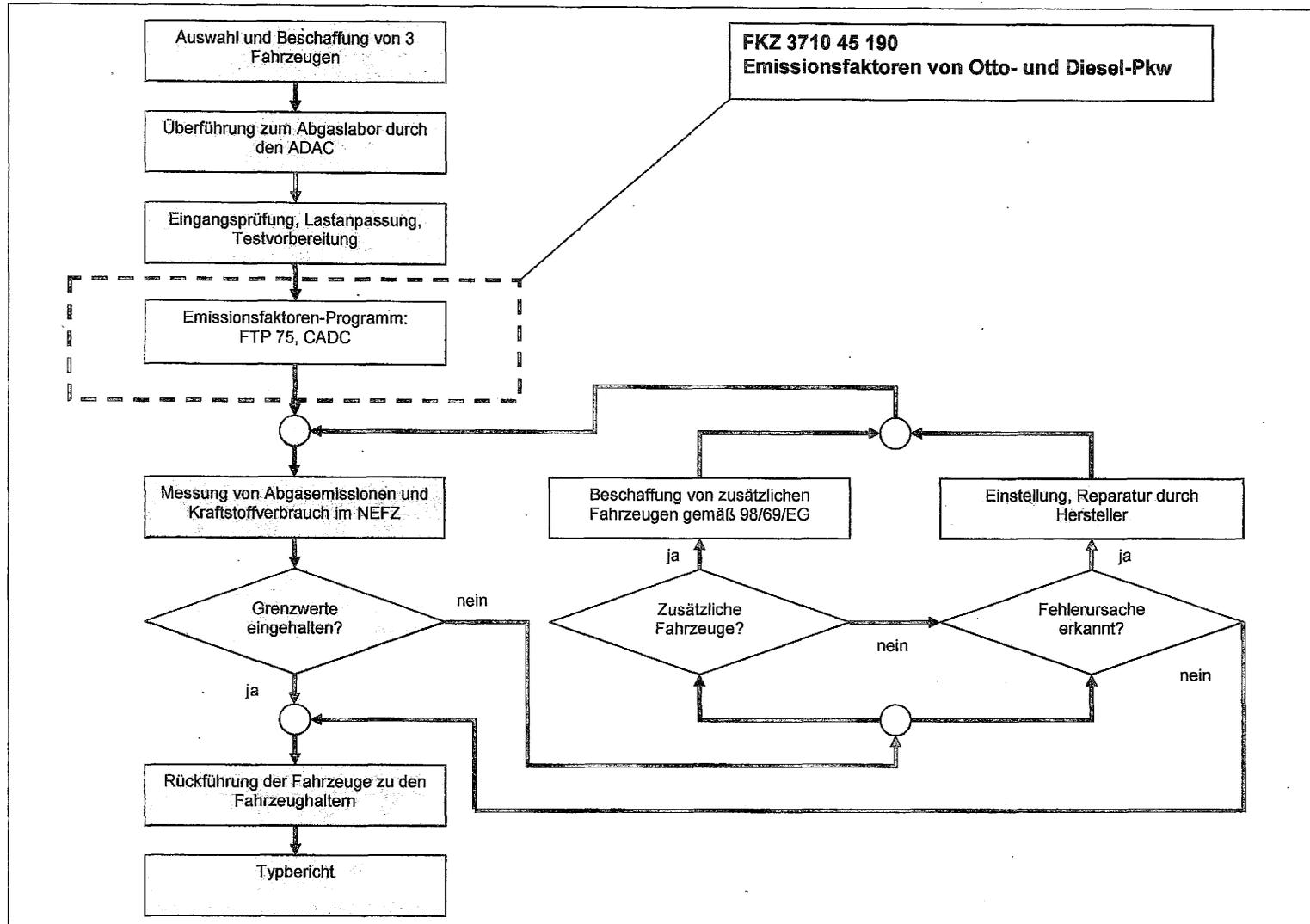


Abbildung 3.1: Programmablauf

000181

3.1 Fahrzeugauswahl

Die Auswahl der zu untersuchenden Fahrzeugtypen ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Feldüberwachung. Dieses Teilvorhaben war zum größten Teil Bestandteil des BAST Vorhabens. Die Auswahl der Fahrzeugtypen wurde mit der Bundesanstalt für Straßenwesen und dem Umweltbundesamt abgestimmt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden insgesamt 6 Fahrzeugtypen untersucht, die gemäß Richtlinie 98/69/EG (Euro 4) bzw. entsprechend Verordnung (EG) 715/2007 (Euro 5) typgeprüft worden sind. Als Grundlage für die Fahrzeugauswahl dienten die Zulassungszahlen des Kraftfahrt-Bundesamtes aus dem Jahr 2009. Aufgrund der Abwrackprämie wurden in diesem Jahr überdurchschnittlich viele preisgünstige Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor erstmals in den Verkehr gebracht. Der Anteil von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor wurde daher auf 2 Typen festgelegt. Das entspricht etwa dem Anteil der Pkw mit Dieselmotor an den Neuzulassungen im Jahr 2009. In **Abbildung 3.2** ist die Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland für die Jahre von 1998 bis 2010 dargestellt. /16/, /17/

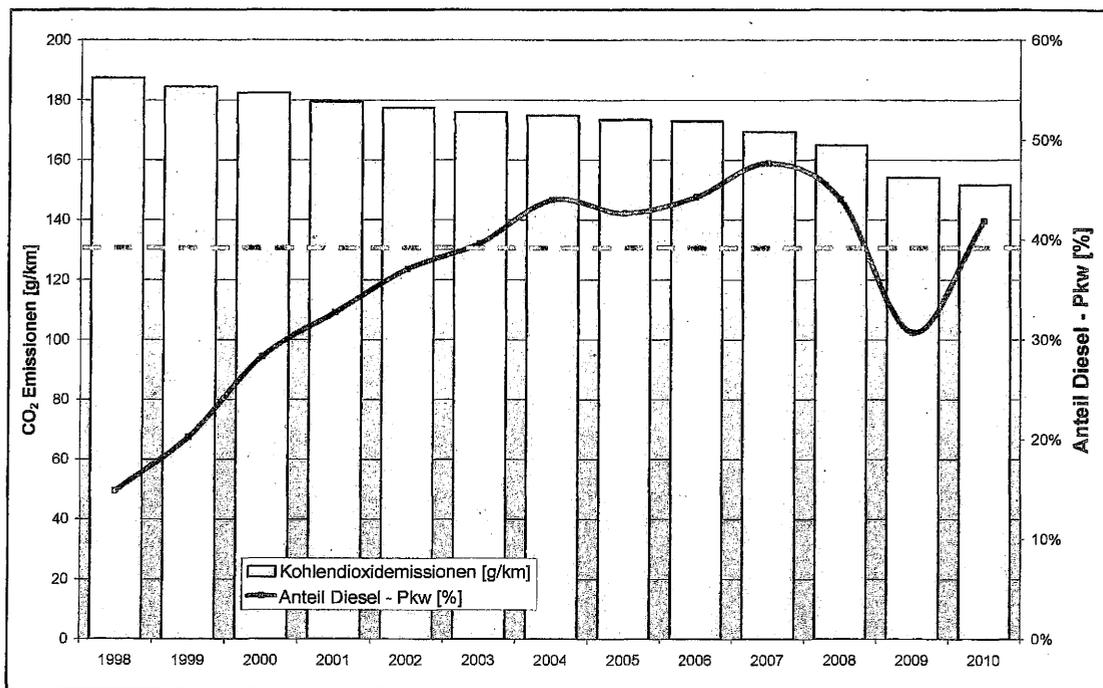


Abbildung 3.2: Neuzulassungen von Pkw in Deutschland (Quelle KBA)

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.

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 Deutsch-

~~000102~~

land eine steuerliche Förderung für verbrauchsarme Fahrzeuge eingeführt. Zur Erreichung günstigerer Steuerklassen durften die im Neuen Europäischen Fahrzyklus emittierten CO₂ Emissionen 120 g/km (Euro 4; 5l) bzw. 90 g/km (Euro 4; 3l) nicht übersteigen. /18/

Stand der Abgaszulassung	Aufbauergänzungs-schlüsselnummer (ASN)	Grenzwerte im Typ I Test				CO ₂ [g/km]
		CO [g/km]	HC [g/km]	NMHC [g/km]	NO _x [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	120
Euro 4; 3l	64	1,00	0,10		0,08	90
Euro 5a *)	A0	1,00	0,10	0,068	0,060	-

*) zusätzlich Grenzwert für PM für Fahrzeuge mit Direkteinspritzung

Tabelle 3.1: Emissionsgrenzwerte im NEFZ für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor

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

Stand der Abgaszulassung	Aufbauergänzungs-schlüsselnummer (ASN)	Grenzwerte im Typ I Test				CO ₂ [g/km]
		CO [g/km]	NO _x [g/km]	HC+NO _x [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 III	69	0,74	0,39	0,46	0,060	-
Euro 5a	A0	0,50	0,18	0,23	0,005	-

Tabelle 3.2: Emissionsgrenzwerte im NEFZ für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor

Die Auswahl der Einzelfahrzeuge 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. /19/

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 Hannover und des ADAC in Landsberg am Lech be-

schränkt 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 bis zu 80.000 km
- Betriebszeit zwischen sechs Monaten und fünf Jahren
- Regelmäßig durchgeführte 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 300 Halter ermittelt und angeschrieben. Dabei wurden neben Fahrzeugen aus privater Hand auch gewerblich genutzte Fahrzeuge berücksichtigt.

In **Tabelle 3.3** 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 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	Verkaufsbezeichnung	TSN	ASN	Hubraum	Leistung	Motorart	Abgas- stufe	Ø Fahr- leistung	Ø Alter
							[cm³]	[kW]			[km]	[Jahre]
1	CHEVROLET	8260	KLAK	MATIZ	AAF	63	796	38	Benzin	Euro 4 (5l)	9346	2
2	DACIA	8212	SD	Sandero	AAK	62	1390	55	Benzin	Euro 4	38290	2,5
3	HYUNDAI	8357	PA	I10	AAE	63	1086	49	Benzin	Euro 4 (5l)	10445	2,5
4	FIAT	4136	312	FIAT 500	AJB	A0	1242	51	Benzin	Euro 5	47932	2,5
5	DAIMLER	1313	639	VIANO / VITO CDI	AYG	69	2148	110	Diesel	Euro 4, III	49645	2,5
6	VOLKSWAGEN	0603	7HC	Transporter / Caravelle	AIF	69	1896	75	Diesel	Euro 4, III	43534	2,5

*) HSN: Hersteller-Schlüsselnummer

**) TSN: Typ-Schlüsselnummer

***) ASN: Aufbau-Ergänzungs-Schlüsselnummer

Tabelle 3.3: Ausgewählte Fahrzeugtypen

000185

3.2 Durchführung der Untersuchungen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Abgasemissionen von 4 Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor untersucht, die bei der Typprüfung als Euro 4, Euro 4 (5l) und Euro 5 eingestuft worden waren. Außerdem wurden 2 Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor untersucht. Bei den Fahrzeugen mit Dieselmotor handelte es sich um leichte Nutzfahrzeuge, die mit einem Partikelfilter ausgerüstet waren. Diese Fahrzeugtypen waren bei der Typprüfung nach Euro 4 Gruppe III eingestuft worden.

Die Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor wurden hinsichtlich der vom Gesetzgeber limitierten Abgasemissionen Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide überprüft. Außerdem wurden bei den Euro 5 Fahrzeugen im NEFZ die Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) erfasst. Bei den Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor wurden zusätzlich die Partikelemissionen bestimmt.

Die Messungen erfolgten im jeweiligen Typgenehmigungszyklus, d.h. dem „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ (NEFZ) entsprechend der Änderungsrichtlinie 98/69/EG bzw. Verordnung (EG) 715/2007. Darüber hinaus wurde für das Emissionsfaktorenprogramm des UBA der FTP 75 - 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_x) und Kohlendioxid (CO₂) 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 Typgenehmigungszyklus der Kraftstoffverbrauch gemäß Änderungsrichtlinie 1999/100/EG bzw. Verordnung (EG) 715/2007 ermittelt. Dabei wurde aus den Emissionen der kohlenstoffhaltigen Abgasbestandteile (CO₂, CO und HC) der Kraftstoffverbrauch berechnet /20/.

Die Prüftermine wurden mit dem jeweiligen Automobilhersteller bzw. Importeur abgeprochen, so dass dieser an den Messungen teilnehmen konnte.

Die verschiedenen Fahrzyklen sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Neuer Europäischer Fahrzyklus

Der bei der Abgastypprüfung in Europa anzuwendende "Neue Europäische Fahrzyklus" (NEFZ) setzt sich aus zwei Teilabschnitten zusammen (**Abbildung 3.3**). Zunächst wird das Fahrzeug mindestens sechs Stunden bei Temperaturen zwischen 20°C und 30°C konditioniert. Der eigentliche Fahrzyklus beginnt mit einem Kaltstart. Bei der Prü-

fung gemäß Richtlinie 98/69/EG bzw. Verordnung (EG) 715/2007 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.

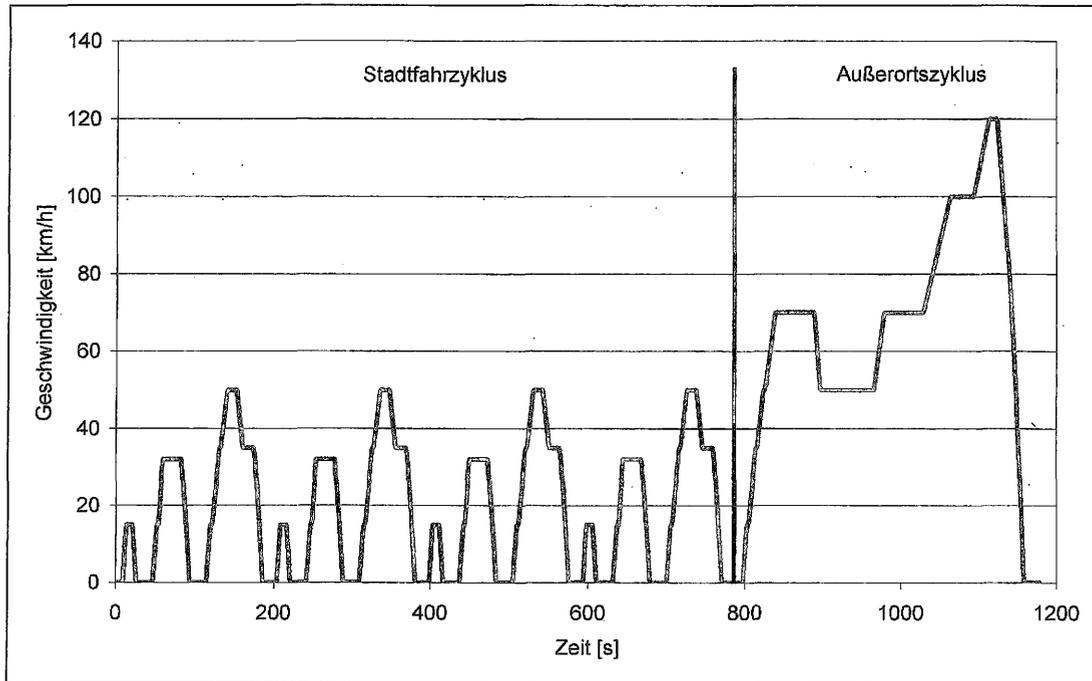


Abbildung 3.3: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des NEFZ

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°C bis 30°C der Motor direkt zu Beginn der Abgasprobennahme gestartet (Kaltstart). Der Fahrttest 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 75 beträgt etwa 17,8 km, die Durchschnittsgeschwindigkeit 34,1 km/h und die Maximalgeschwindigkeit 91,2 km/h. In **Abbildung 3.4** sind Phasen 1, 2 und 3 des FTP 75 dargestellt.

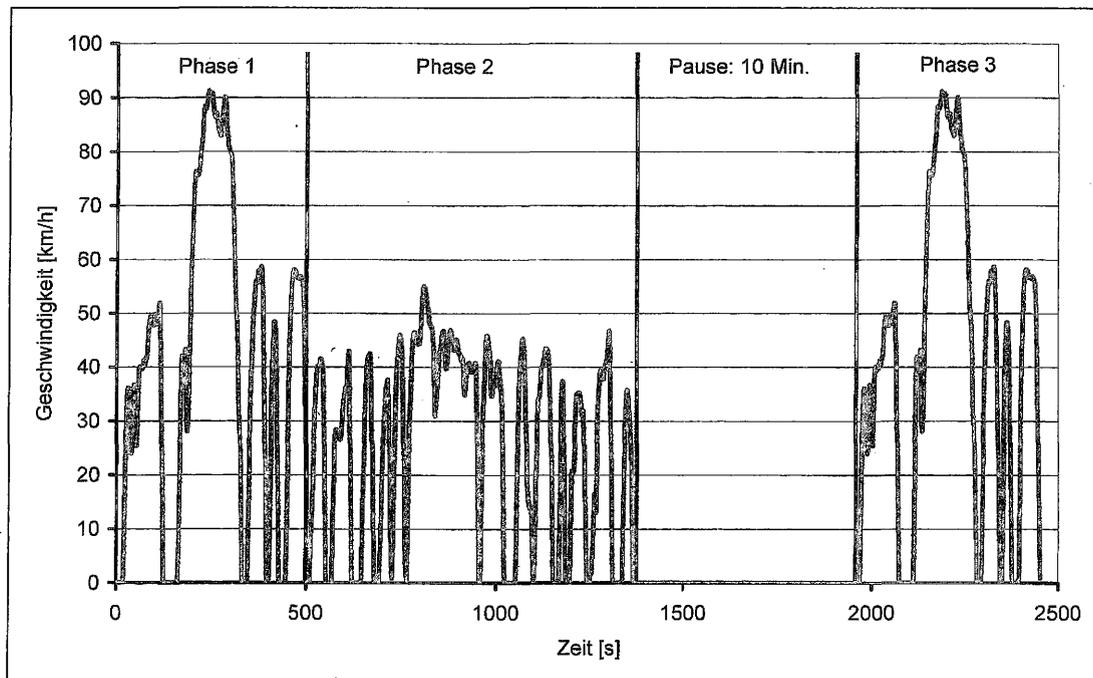


Abbildung 3.4: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des FTP 75 - Zyklus

~~01.11.08~~

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 3.5** 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 3.6** 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 3.7** ist der CADC Motorway-Zyklus dargestellt.

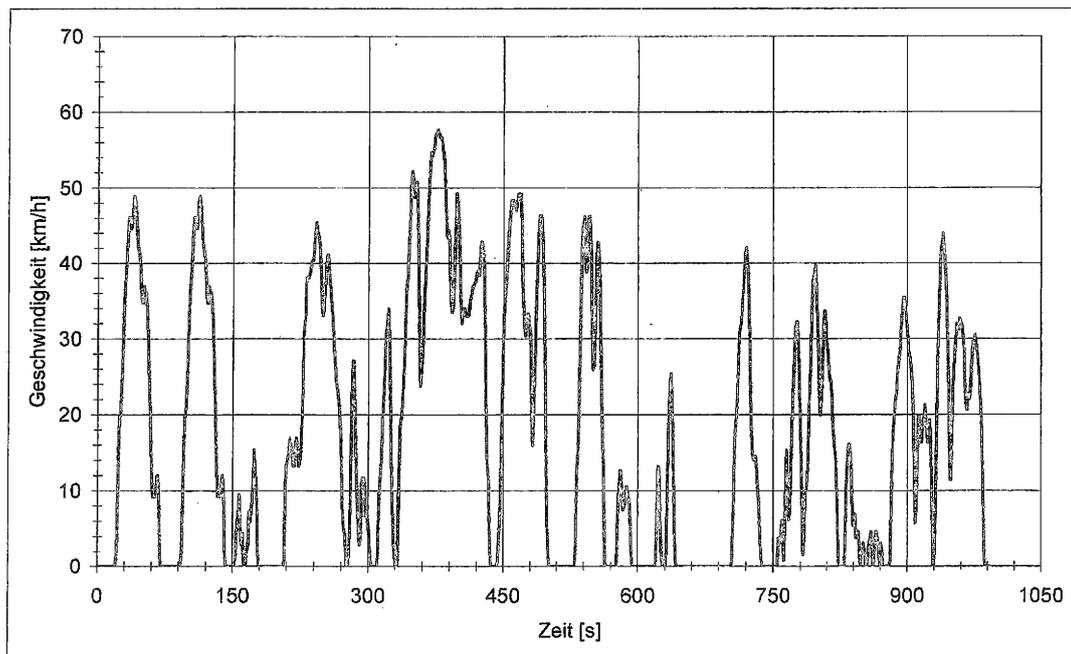


Abbildung 3.5: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CADC Stadtzyklus

~~011199~~

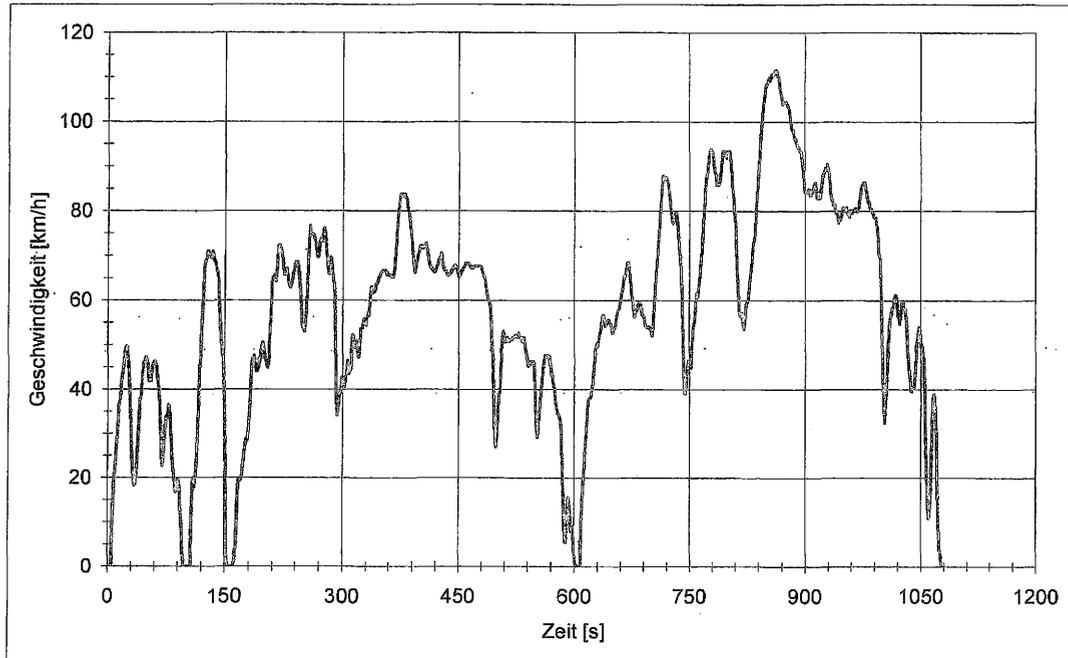


Abbildung 3.6: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CADC Außerortszyklus

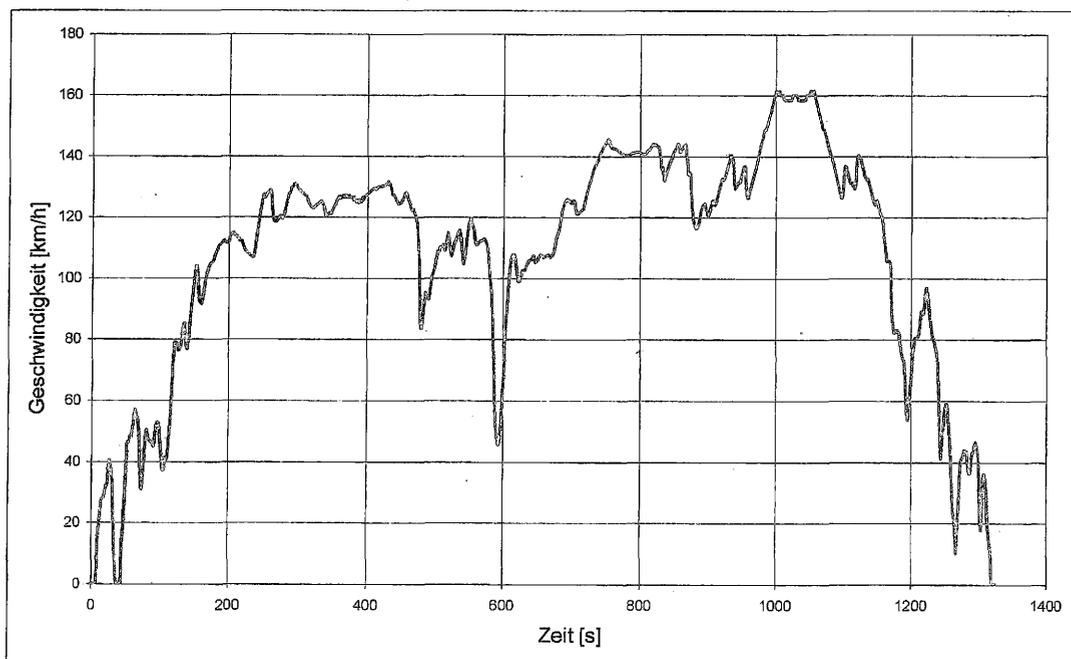


Abbildung 3.7: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CADC Autobahnzyklus

3.3 Bewertung einer Stichprobe

In **Abbildung 3.8** ist das Verfahren zur Bewertung einer Stichprobe bei der Feldüberwachung gemäß Richtlinie 98/69/EG und Verordnung (EG) 715/2007 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/

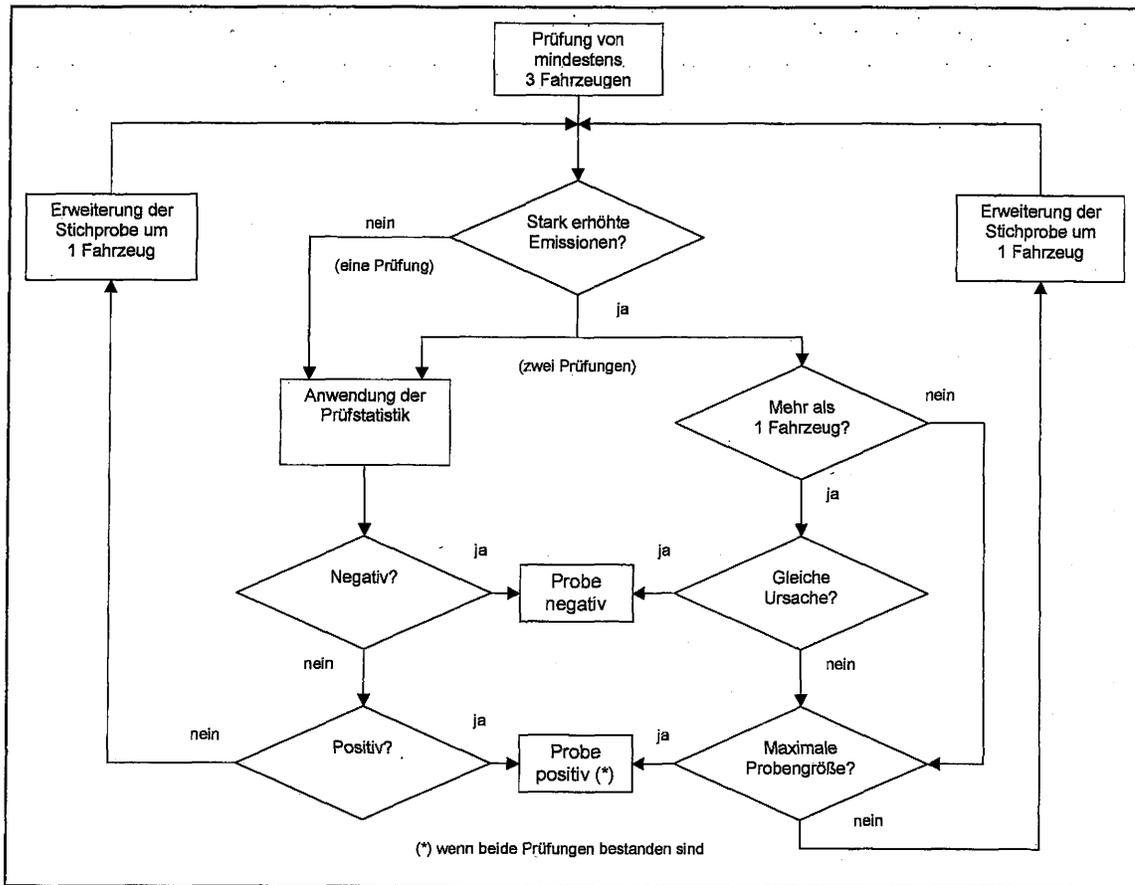


Abbildung 3.8: Durchführung der Feldüberwachung gemäß Richtlinie 98/69/EG und Verordnung (EG) 715/2007

Parallel zum statistischen Verfahren ist für die Bewertung hoch emittierender Fahrzeuge folgendes Vorgehen vorgesehen:

Werden bei zwei Fahrzeugen eines Typs Abgasemissionen von dem 1,5-fachen des Typprüfgrenzwertes oder mehr (unabhängig vom Stand der Genehmigung des untersuchten Fahrzeugtyps) aufgrund der gleichen technischen Ursache festgestellt, so gilt für die Stichprobe ein negatives Ergebnis und die Untersuchung wird abgebrochen.

In **Tabelle 3.4** sind die Grenzwerte für die Bewertung einer Stichprobe nach dem statistischen Verfahren gemäß Richtlinie 98/69/EG bzw. Verordnung (EG) 715/2007 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 3.4: Bewertung einer Stichprobe nach dem statistischen Verfahren

In **Abbildung 3.9** 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.

06.11.92

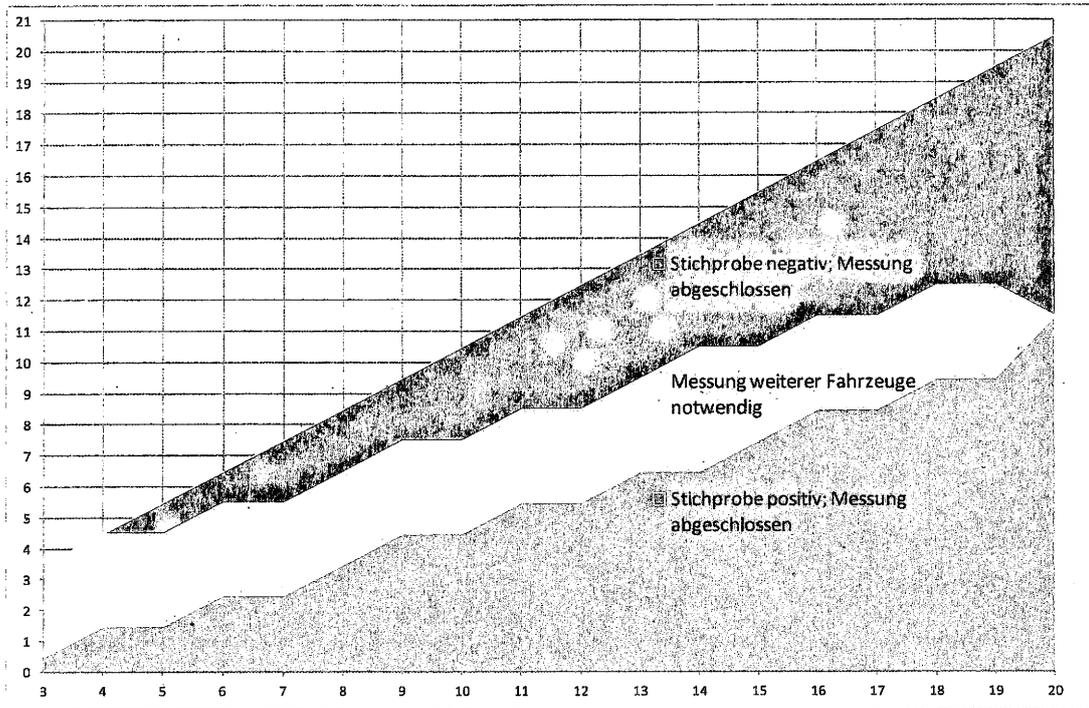


Abbildung 3.9: Bewertung der Stichprobe nach dem statistischen Verfahren

~~000173~~

4 Darstellung der Ergebnisse

4.1 Abgasemissionen im NEFZ

In **Tabelle 4.1** sind die Mittelwerte der Abgasemissionen im Neuen Europäischen Fahrzyklus für die untersuchten Fahrzeugtypen zusammengestellt. In der Tabelle sind die limitierten Schadstoffkomponenten Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Partikel angegeben.

Die Messergebnisse werden den jeweils bei der bei Typprüfung zugrunde gelegten Grenzwerten gegenübergestellt. Richtlinie 98/69/EG und Verordnung (EG) 715/2007 sehen 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.

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

Nr.	Hersteller	Verkaufsbezeichnung	Hubraum [cm ³]	Motorart	Abgas- stufe	Ø Fahr- leistung [km]	Emissionsmittelwerte					
							CO [g/km]	HC [g/km]	NMHC [g/km]	NO _x [g/km]	HC+NO _x [g/km]	Partikel [g/km]
1	CHEVROLET	MATIZ	796	Benzin	Euro 4 (5l)	9346	0,4277	0,0300	n.a.	0,0257	0,0557	n.a.
2	DACIA	Sandero	1390	Benzin	Euro 4	38290	0,4640	0,0603	n.a.	0,0245	0,0846	n.a.
3	HYUNDAI	I10	1086	Benzin	Euro 4 (5l)	10445	0,4150	0,0313	n.a.	0,0180	0,0493	n.a.
Grenzwerte Euro 4, Benzin							1,00	0,10		0,08		
4	FIAT	FIAT 500	1242	Benzin	Euro 5	47932	0,2198	0,0440	0,0395	0,0182	0,0622	n.a.
Grenzwerte Euro 5, Benzin							1,00	0,10	0,068	0,060		
5	DAIMLER	VIANO / VITO CDI	2148	Diesel	Euro 4, III	49645	0,1531	0,0257	n.a.	0,3205	0,3462	0,0013
6	VOLKSWAGEN	Transporter / Caravelle	1896	Diesel	Euro 4, III	43534	0,4673	0,1267	n.a.	0,2823	0,4090	0,0003
Grenzwerte Euro 4, III, Diesel							0,74	-		0,39	0,46	0,06

Tabelle 4.1: Mittelwerte der Abgasemissionen der untersuchten Fahrzeugtypen im NEFZ

In **Abbildung 4.1** werden die Kohlenmonoxid- und die Kohlenwasserstoffemissionen und in **Abbildung 4.2** die Kohlenmonoxid - und die Stickoxidemissionen für die Einzelfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im Anlieferungszustand im Neuen Europäischen Fahrzyklus veranschaulicht. Die entsprechenden Grenzwerte sind als Linien dargestellt.

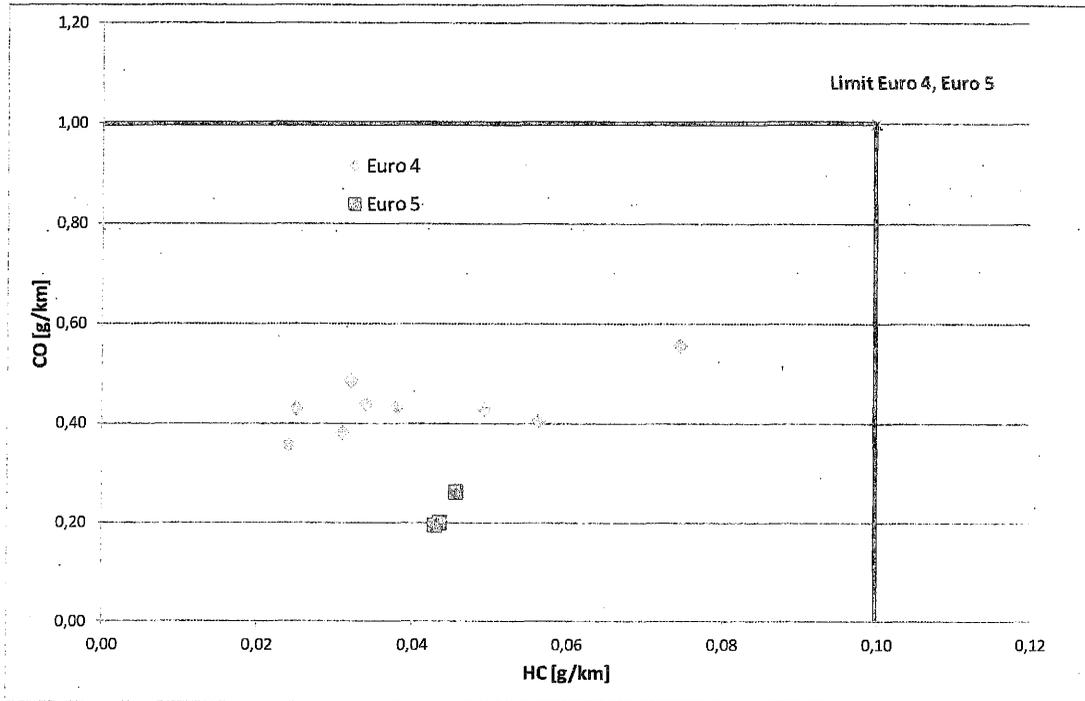


Abbildung 4.1: Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen der Einzelfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im NEFZ

~~00190~~

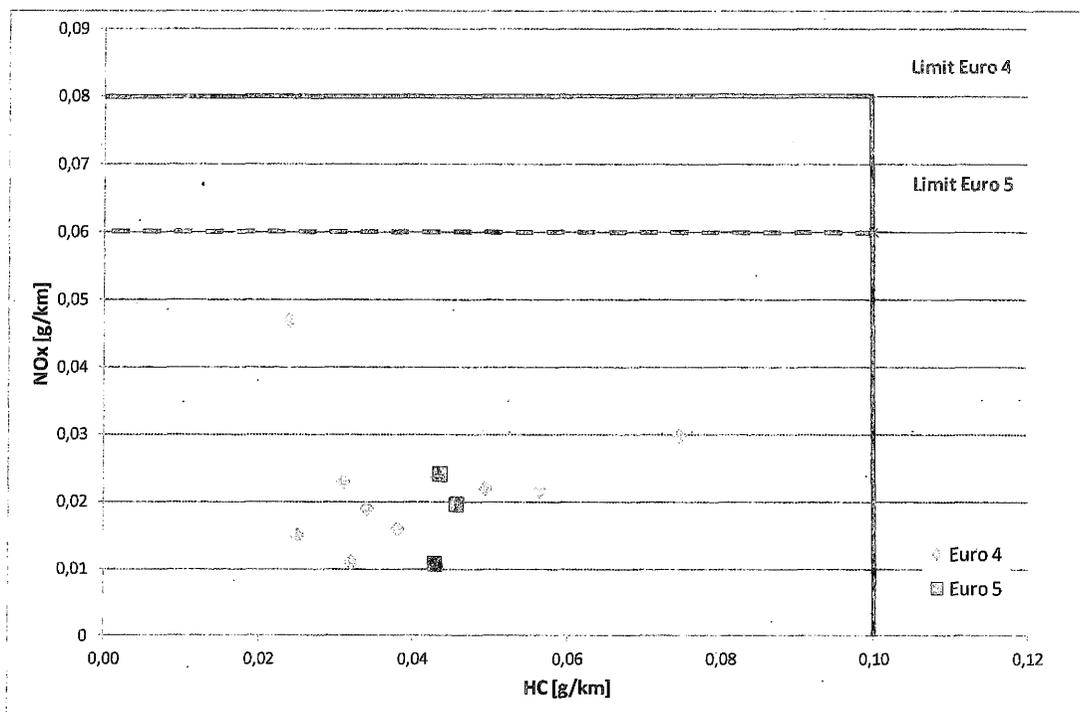


Abbildung 4.2: Stickoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen der Einzelfahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im NEFZ

Die **Abbildungen 4.1** und **4.2** zeigen, dass alle untersuchten Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor die entsprechenden Grenzwerte eingehalten haben. Außerdem wird deutlich, dass die Euro 4 Fahrzeuge bereits die Euro 5 Grenzwerte einhalten konnten. Mit Euro 5 wurde für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor zusätzlich zu dem Grenzwert für Kohlenwasserstoffe ein NMHC Grenzwert für Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe eingeführt. Auch dieser Grenzwert wurde von allen Fahrzeugen eingehalten.

Abbildung 4.3 zeigt die Partikel- und die Stickoxidemissionen und **Abbildung 4.4** die Kohlenmonoxid- und die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen für die Einzelfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor im Neuen Europäischen Fahrzyklus im Anlieferungszustand.

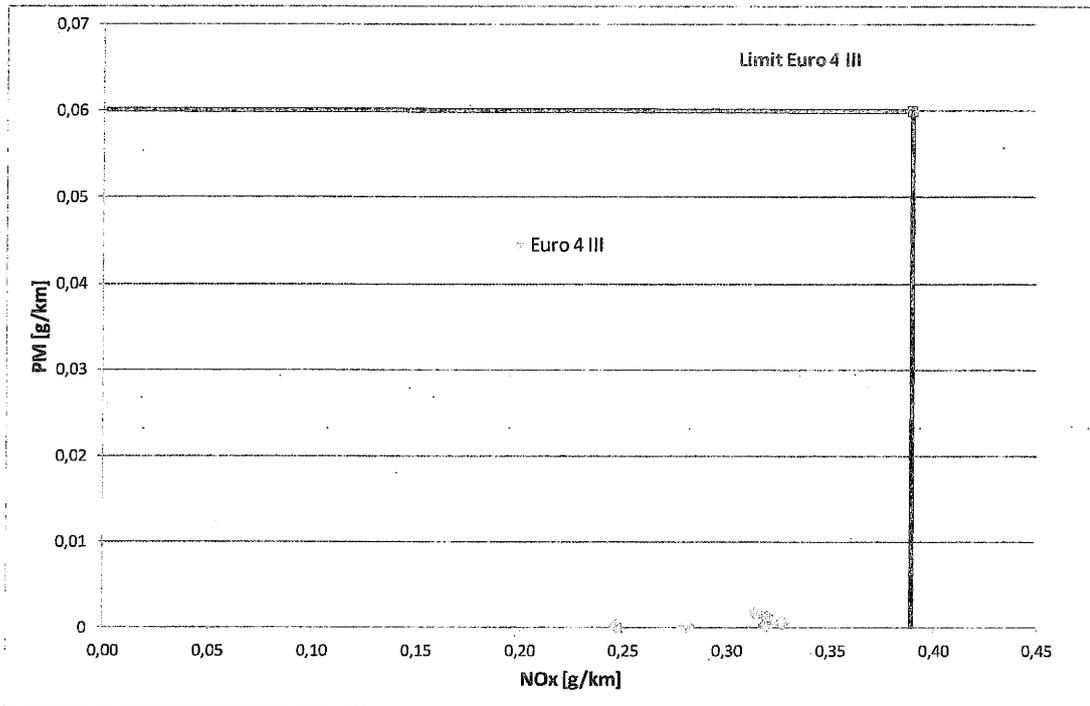


Abbildung 4.3: Partikel- und Stickoxidemissionen der Einzelfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor im NEFZ

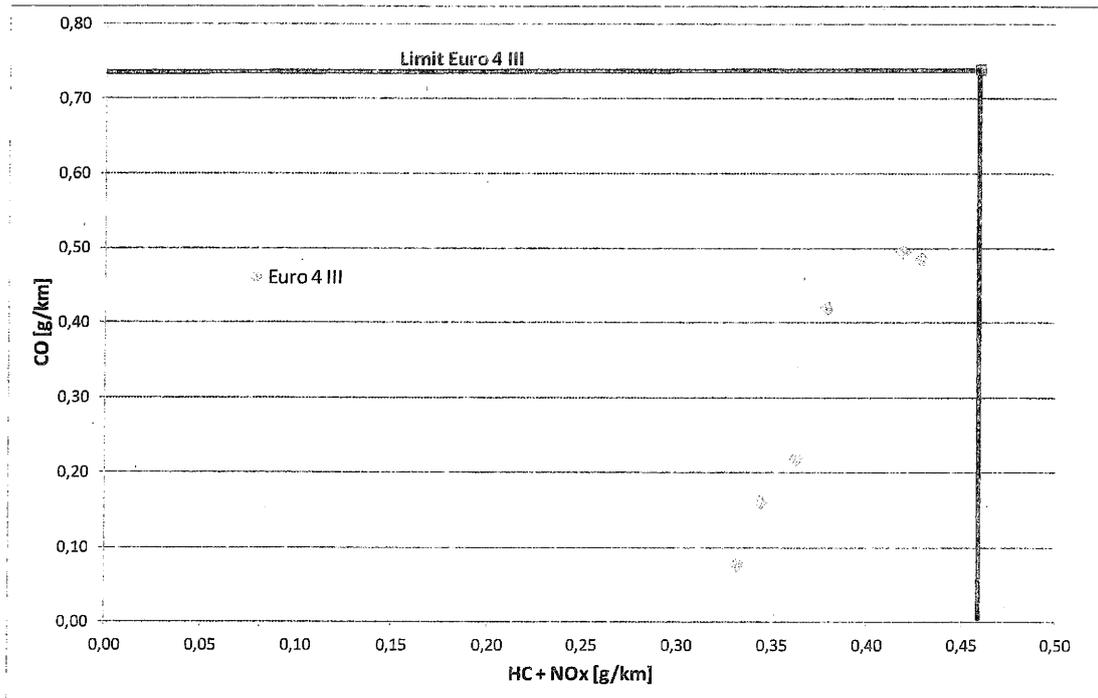


Abbildung 4.4: CO und Summe aus HC und NOx Emissionen der Einzelfahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor im NEFZ

Die Abbildungen 4.3 und 4.4 zeigen, dass die Grenzwerte von allen untersuchten Einzelfahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor eingehalten worden sind.

4.2 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 75 - Zyklus werden die Abgasemissionen nur im Teillastbereich erfasst. Aufgrund der höheren Dynamik und der damit verbundenen größeren Beschleunigungen im FTP 75 - 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 4.5 bis 4.9 sind die Mittelwerte der limitierten Abgas- und Partikelemissionen für die Euro 4 und Euro 5 Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor und für die Euro 4 III Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor in den verschiedenen Fahrzyklen dargestellt.

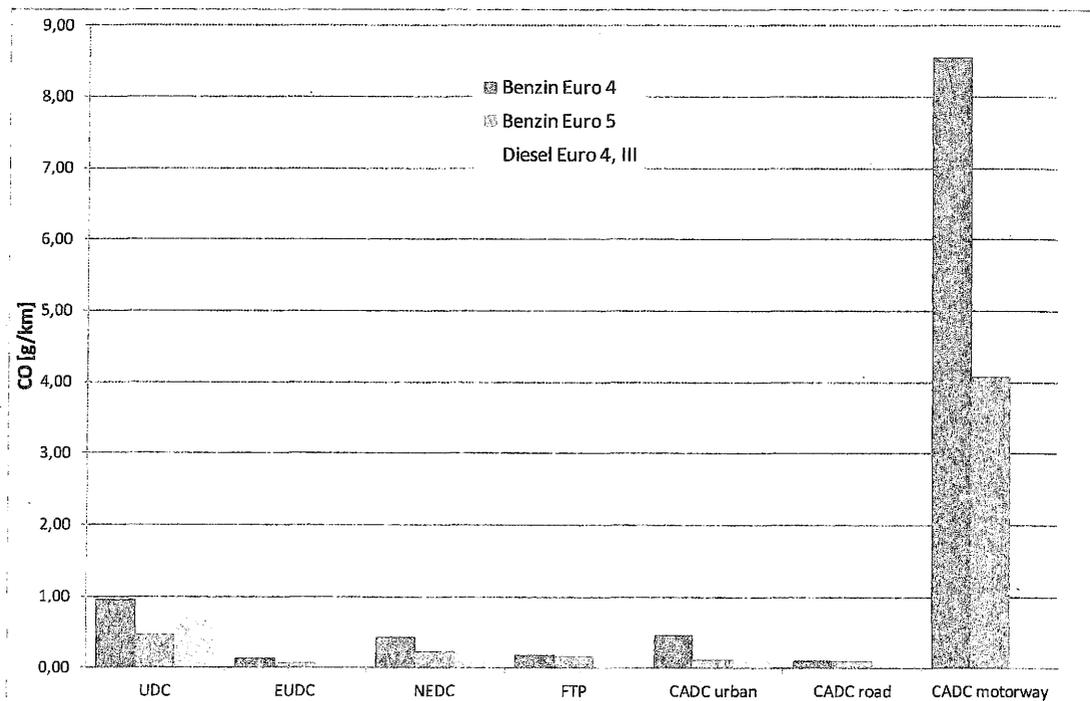


Abbildung 4.5: Kohlenmonoxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen
Auffällig ist der starke Anstieg der CO Emissionen der Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor im CADC Motorway Fahrzyklus. Das ist auf die hohen Drehzahlen und

060100

Motorlasten zurückzuführen, die in diesem Fahrzyklus erreicht werden. Bei diesen Betriebszuständen ist eine Anfettung des Kraftstoff-Luft Gemisches zu beobachten.

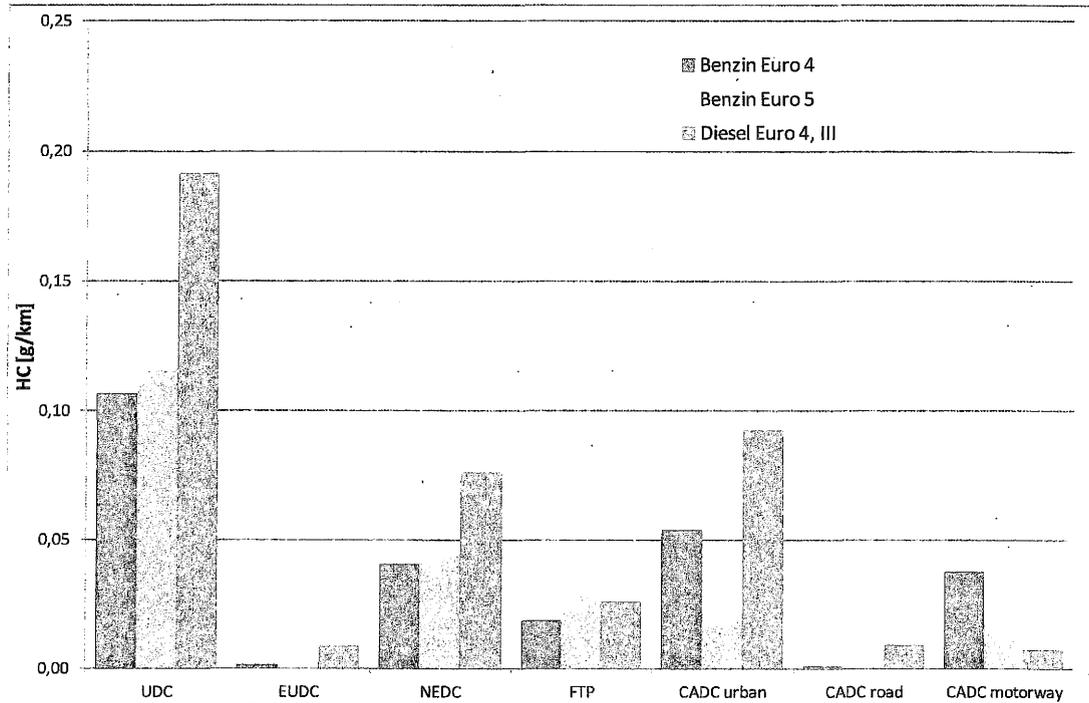


Abbildung 4.6: Kohlenwasserstoffemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Bei den Kohlenwasserstoffemissionen machen sich besonders die Kaltstartemissionen vor Erreichen der Arbeitstemperatur des Katalysators negativ bemerkbar. Das zeigt sich insbesondere in der ersten Phase des Neuen Europäischen Fahrzyklus, dem Urban Driving Cycle (UDC).

~~010200~~

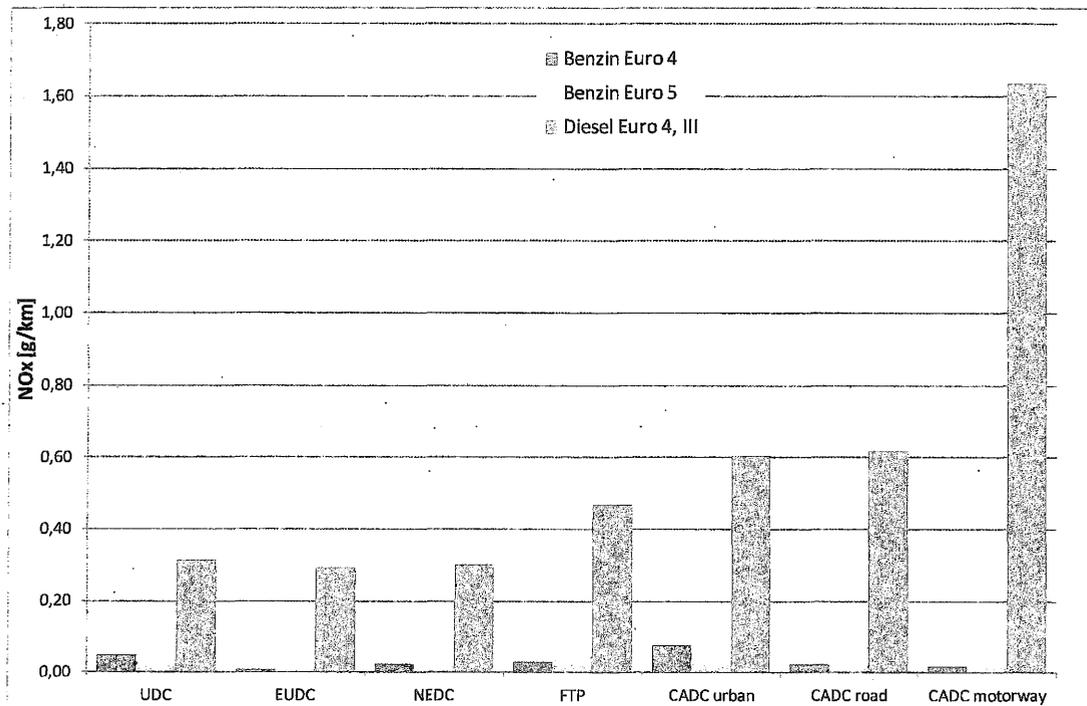


Abbildung 4.7: Stickoxidemissionen verschiedenen Fahrzyklen

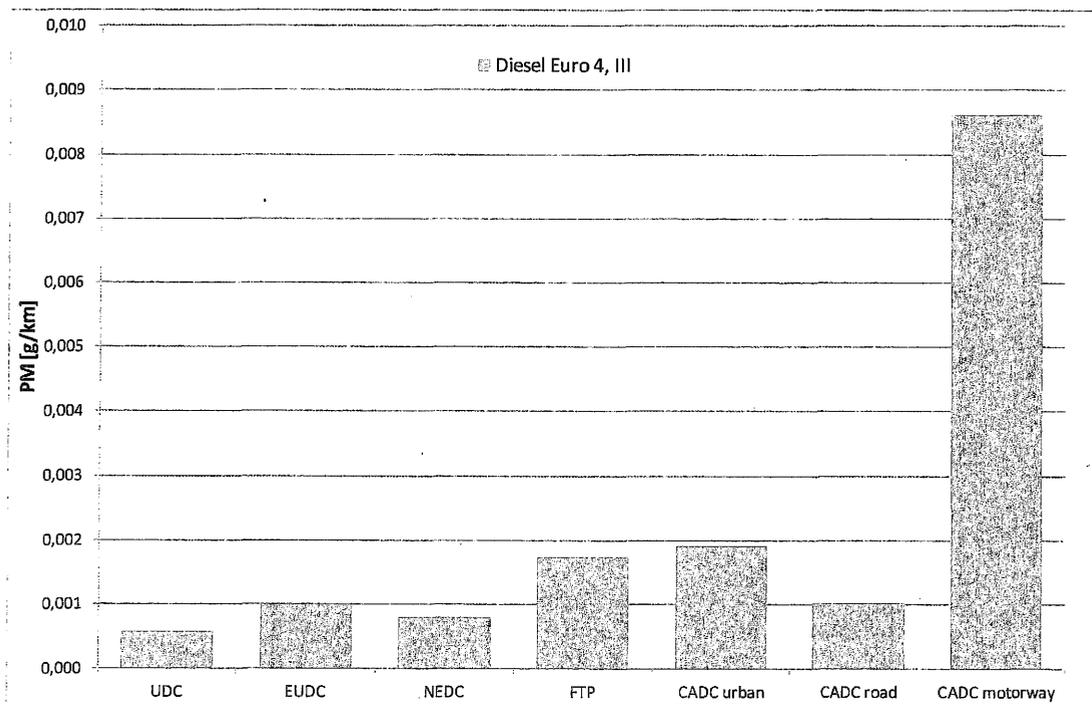


Abbildung 4.8: Partikelemissionen der untersuchten Euro 4 Klasse III Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor in verschiedenen Fahrzyklen

500201

Bei Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor sind die Stickoxid- und Partikelemissionen auffällig. Besonders im CADC Stadtzyklus und im CADC Motorway bei hohen Motorlasten und Drehzahlen sind erhöhte Stickoxid- und Partikelemissionen bei den Dieselfahrzeugen zu erkennen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Partikelemissionen sich aufgrund der verbauten Partikelfilter auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen. Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass bei einem Fahrzeug mit Kompressionszündungsmotor im CADC Motorway Zyklus eine Regeneration des Partikelfilters stattgefunden hat, was zu einem Anstieg der Emissionen bei diesem Fahrzeug und damit auch zu einer Erhöhung des Mittelwerts in diesem Fahrzyklus geführt hat.

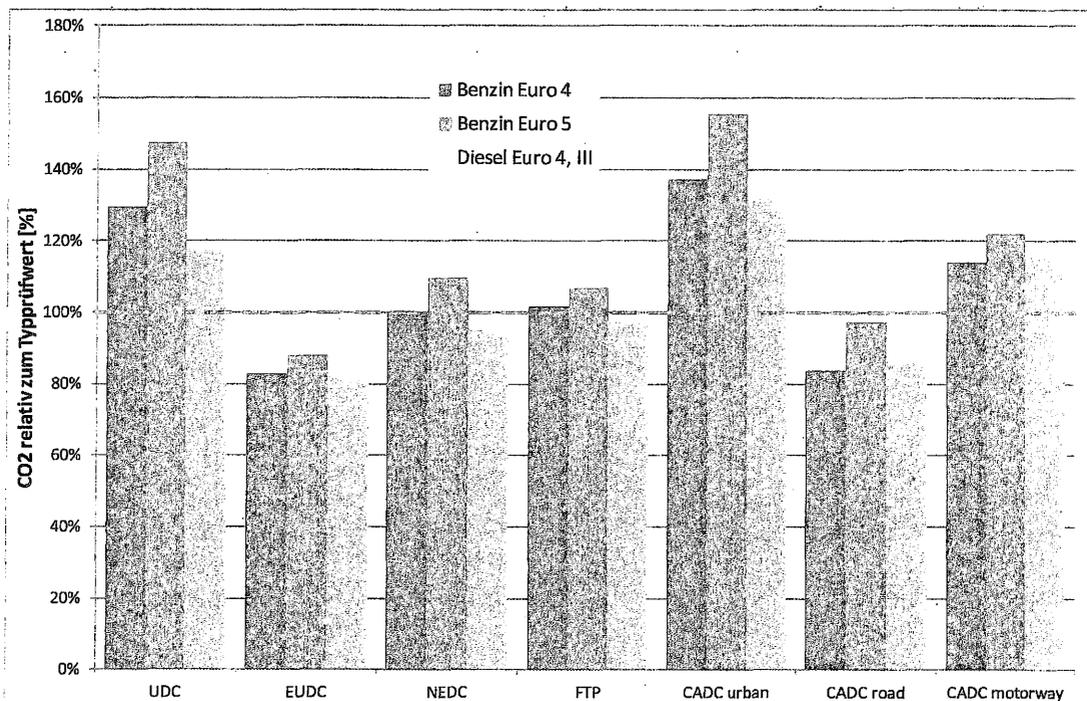


Abbildung 4.9: Kohlendioxidemissionen der untersuchten Fahrzeuge in verschiedenen Fahrzyklen

In **Abbildung 4.9** sind die Kohlendioxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen dargestellt. Es wird deutlich, dass bei städtischen Fahrbedingungen in Verbindung mit einem Kaltstart, repräsentiert durch den UDC und den CADC Urban, die höchsten CO₂ Emissionen auftreten und damit verbunden auch der höchste Kraftstoffverbrauch. Dabei wurde der Typprüfwert zum Teil deutlich überschritten. Demgegenüber werden bei fließendem Verkehr unter außerstädtischen Bedingungen, die im EUDC und dem CADC Road nachgebildet werden, die niedrigsten CO₂ Emissionen erreicht. Die CO₂ Emissionen der Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor liegen unter denen der Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor.

In den folgenden **Tabellen 4.2 bis 4.6** auf den folgenden Seiten sind die Mittelwerte der Schadstoffemissionen für die untersuchten Fahrzeugtypen in verschiedenen Fahr-

zyklen zusammengefasst. Besonders auffällig sind die hohen Kohlenmonoxidemissionen bei den Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor im CADC Motorway die insbesondere beim DACIA Sandero deutlich über den im NEFZ ermittelten Werten liegen. Das lässt auf eine starke Anfettung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bei hoher Motorlast schließen.

Bei den Fahrzeugen mit Dieselmotor sind die erhöhten Stickoxidemissionen im CADC Motorway, die auf hohe Temperaturen bei gleichzeitigem Luftüberschuss im Brennraum bei hohen Motorlasten zurück zu führen sind.

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Motorart	Abgas- stufe	CO Emissionsmittelwerte [g/km]						
					UDC	EUDC	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road	CADC Motor- way
1	CHEVROLET	MATIZ	Benzin	Euro 4 (5)	0,7940	0,2110	0,4277	0,1450	0,0110	0,1053	6,3503
2	DAČIA	Sandero	Benzin	Euro 4	1,1937	0,0393	0,4640	0,2077	1,3223	0,0407	10,3113
3	HYUNDAI	I10	Benzin	Euro 4 (5)	0,8947	0,1357	0,4150	0,1823	0,0327	0,1597	9,0050
4	FIAT	FIAT 500	Benzin	Euro 5	0,4660	0,0787	0,2198	0,1674	0,1133	0,0964	4,0818
5	DAIMLER	VIANO / VITO 115 CDI	Diesel	Euro 4, III	0,4010	0,0090	0,1531	0,0220	0,1633	0,0077	0,0423
6	VOLKSWAGEN	Transporter o. Caravelle	Diesel	Euro 4, III	1,2630	0,0020	0,4673	0,1050	0,1960	0,0137	0,0027*

*) Regeneration des Partikelfilters bei einem Fahrzeug

Tabelle 4.2: Kohlenmonoxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Motorart	Abgas- stufe	HC Emissionsmittelwerte [g/km]						
					UDC	EUDC	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road	CADC Motor- way
1	CHEVROLET	MATIZ	Benzin	Euro 4 (5l)	0,0773	0,0020	0,0300	0,0130	0,0013	0,0013	0,0253
2	DACIA	Sandero	Benzin	Euro 4	0,1593	0,0023	0,0601	0,0293	0,1557	0,0007	0,0680
3	HYUNDAI	I10	Benzin	Euro 4 (5l)	0,0840	0,0010	0,0313	0,0140	0,0043	0,0010	0,0200
4	FIAT	FIAT 500	Benzin	Euro 5	0,1162	0,0026	0,0440	0,0364	0,0184	0,0028	0,0153
5	DAIMLER	VIANO / VITO 115 CDI	Diesel	Euro 4, III	0,0597	0,0060	0,0257	0,0137	0,0327	0,0053	0,0087
6	VOLKSWAGEN	Transporter o. Caravelle	Diesel	Euro 4, III	0,3237	0,0113	0,1267	0,0387	0,1527	0,0137	0,0063*

*) Regeneration des Partikelfilters bei einem Fahrzeug

Tabelle 4.3: Kohlenwasserstoffemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Motorart	Abgas- stufe	NOx Emissionsmittelwerte [g/km]						
					UDC	EUDC	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road	CADC Motor- way
1	CHEVROLET	MATIZ	Benzin	Euro 4 (5l)	0,0607	0,0047	0,0257	0,0463	0,1097	0,0433	0,0250
2	DACIA	Sandero	Benzin	Euro 4	0,0437	0,0133	0,0245	0,0257	0,0733	0,0157	0,0103
3	HYUNDAI	I10	Benzin	Euro 4 (5l)	0,0387	0,0063	0,0180	0,0213	0,0420	0,0113	0,0150
4	FIAT	FIAT 500	Benzin	Euro 5	0,0365	0,0077	0,0182	0,0449	0,0390	0,0190	0,0237
5	DAIMLER	VIANO / VITO 115 CDI	Diesel	Euro 4, III	0,3397	0,3093	0,3205	0,5307	0,5073	0,4877	1,7047
6	VOLKSWAGEN	Transporter o. Caravelle	Diesel	Euro 4, III	0,2907	0,2773	0,2823	0,4090	0,7017	0,7477	1,5647*

*) Regeneration des Partikelfilters bei einem Fahrzeug

Tabelle 4.4: Stickoxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

000203

240

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Motorart	Abgas- stufe	PM-Mittelwerte [g/km]						
					UDC	EUDC	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road	CADC Motor- way
1	CHEVROLET	MATIZ	Benzin	Euro 4 (5l)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	DACIA	Sandero	Benzin	Euro 4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	HYUNDAI	I10	Benzin	Euro 4 (5l)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	FIAT	FIAT 500	Benzin	Euro 5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	DAIMLER	VIANO / VITO 115 CDI	Diesel	Euro 4, III	0,0007	0,0017	0,0013	0,0030	0,0027	0,0017	0,0113
6	VOLKSWAGEN	Transporter o. Caravelle	Diesel	Euro 4, III	0,0005	0,0003	0,0003	0,0005	0,0012	0,0004	0,0059*

*) Regeneration des Partikelfilters bei einem Fahrzeug

Tabelle 4.5: Partikelemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

Nr.	Hersteller	Verkaufs- bezeichnung	Motorart	Abgas- stufe	CO ₂ Emissionsmittelwerte [g/km]						
					UDC	EUDC	NEDC	FTP	CADC Urban	CADC Road	CADC Motor- way
1	CHEVROLET	MATIZ	Benzin	Euro 4 (5l)	158,7	101,3	122,6	125,8	167,8	112,9	145,1
2	DACIA	Sandero	Benzin	Euro 4	207,0	123,6	154,2	155,3	219,3	114,3	166,5
3	HYUNDAI	I10	Benzin	Euro 4 (5l)	158,1	109,4	127,3	130,3	167,4	111,6	149,8
4	FIAT	FIAT 500	Benzin	Euro 5	175,6	104,7	130,5	127,4	184,9	115,8	145,2
5	DAIMLER	VIANO / VITO 115 CDI	Diesel	Euro 4, III	277,1	187,4	220,3	223,0	307,2	179,0	256,1
6	VOLKSWAGEN	Transporter o. Caravelle	Diesel	Euro 4, III	233,4	168,4	192,3	199,0	265,8	198,8	250,7*

*) Regeneration des Partikelfilters bei einem Fahrzeug

Tabelle 4.6: Kohlendioxidemissionen in verschiedenen Fahrzyklen

060207

~~000200~~

5 Zusammenfassung

In dem Forschungsvorhaben "Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen" der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden die Abgasemissionen von bereits im Verkehr befindlichen Fahrzeugen unter Typprüfbedingungen im Neuen Europäischen Fahrzyklus untersucht. In diesem UBA Vorhaben "Emissionsfaktoren von Otto- und Diesel-Pkw" wurde das Messprogramm aus dem BAST Vorhaben um den FTP 75 Fahrzyklus und den Common Artemis Driving Cycle (CADC) ergänzt, um eine breitere Datenbasis zu schaffen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Abgasemissionen von 4 Fahrzeugtypen mit Fremdzündungsmotor untersucht, die bei der Typprüfung als Euro 4, Euro 4 (5l) und Euro 5 eingestuft worden waren. Außerdem wurden 2 Fahrzeugtypen mit Kompressionszündungsmotor untersucht. Bei den Fahrzeugen mit Dieselmotor handelte es sich um leichte Nutzfahrzeuge, die mit einem Partikelfilter ausgerüstet waren. Diese Fahrzeugtypen waren bei der Typprüfung nach Euro 4 Gruppe III eingestuft worden.

Im Neuen Europäischen Fahrzyklus wurden die jeweiligen Abgasgrenzwerte der EG-Typgenehmigung von allen untersuchten Fahrzeugen eingehalten.

Im bei der Typprüfung relevanten Neuen Europäischen Fahrzyklus werden relativ niedrige Motorlasten und Fahrgeschwindigkeiten von maximal 120 km/h erreicht. Um auch abgasrelevante Betriebssituationen beurteilen zu können, die nicht durch den NEFZ abgedeckt werden, wurden zusätzlich der FTP 75 - Zyklus und der Common Artemis Driving Cycle (CADC) gefahren. Dabei war zu erkennen, dass die bei Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor die Kohlenmonoxidemissionen bei hohen Lasten und Drehzahlen deutlich ansteigen. Demgegenüber sind bei hohen Motorlasten und Drehzahlen bei Fahrzeugen mit Dieselmotor die Stickoxidemissionen das Hauptproblem.

Die höchsten CO₂ Emissionen und damit verbunden der höchste Kraftstoffverbrauch treten bei städtischen Fahrbedingungen in Verbindung mit einem Kaltstart, repräsentiert durch den UDC und den CADC Urban, auf. Dabei wurde der Typprüfwert zum Teil deutlich überschritten.

Während der Messungen wurden die Abgasemissionen modal erfasst. Die Modaldaten wurden zur Berechnung von Emissionsfaktoren herangezogen.