

Emissionsverhalten von SUV – Sport Utility Vehicles





umweltbundesamt^U

EMISSIONSVERHALTEN VON SUV – SPORT UTILITY VEHICLES

Stefan Hausberger
Markus Schmitzberger



REPORT
REP-0155
Wien, 2008



Projektleitung

Barbara Schodl, Umweltbundesamt

Autoren

Stefan Hausberger, Forschungsgesellschaft für Verbrennungsmaschinen und Thermodynamik mbH
Markus Schmitzberger, Forschungsgesellschaft für Verbrennungsmaschinen und Thermodynamik mbH

Übersetzung

Brigitte Read, Umweltbundesamt

Lektorat

Maria Deweis, Umweltbundesamt

Satz/Layout

Ute Kutschera, Umweltbundesamt

Umschlagfoto

Sport Utility Vehicle (Günther Lichtblau/Umweltbundesamt)

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung.

Gedruckt auf Recyclingpapier
<http://www.umweltbundesamt.at/>

©Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2008

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-952-7



INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
SUMMARY	6
1 EINLEITUNG	7
2 METHODIK	8
2.1 Beschreibung der Testzyklen	8
2.2 Beschreibung PKW Rollenprüfstand	10
2.3 Messeinrichtung für Partikelanzahl und Größenverteilung	11
2.4 Testfahrzeuge	12
3 ERGEBNISSE	15
3.1 Einzelfahrzeuge	15
3.1.1 Testfahrzeug 1 (EURO 4, Diesel)	16
3.1.2 Testfahrzeug 2 (EURO 4, Diesel)	17
3.1.3 Testfahrzeug 3 (EURO 3, Diesel)	18
3.1.4 Testfahrzeug 4 (EURO 4, Diesel)	19
3.1.5 Testfahrzeug 5 (EURO 3, Diesel)	20
3.1.6 Testfahrzeug 6 (EURO 4, Otto)	21
3.2 Vergleich zwischen SUV und PKW	22
3.2.1 EURO 4 Diesel	22
3.2.2 EURO 3 Diesel	27
3.2.3 Vergleich Diesel- und Ottomotorisierung	30
3.3 Partikelfilterregeneration	34
3.4 Konstantpunkte	35
4 ABKÜRZUNGEN	41
5 LITERATURVERZEICHNIS	43



ZUSAMMENFASSUNG

2006 waren knapp 10 % der in Österreich neu zugelassenen PKW der Kategorie „Sport Utility Vehicles (SUV) und Geländewagen“ zuzuordnen. Erste Zahlen für das Jahr 2007 lassen einen weiteren Anstieg des SUV-Anteiles erwarten. Um robuste Daten über das Emissionsverhalten dieser Fahrzeugkategorien zu erhalten, hat die Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH im Auftrag des Umweltbundesamt das Emissionsverhalten von SUV am Rollenprüfstand vermessen.

Die Messkampagne mit sechs SUV der Klassen Euro 3 und Euro 4 zeigte, dass gegenüber konventionellen PKW mit höheren Verbrauchswerten und damit verbundenen höheren CO₂-Emissionen zu rechnen ist.

Im Vergleich zu durchschnittlichen Pkw betrug der Mehrverbrauch der Diesel-SUV je nach Testzyklus zwischen + 35 % und + 75 %. Die dieselbetriebenen Fahrzeuge zeigen darüber hinaus bei höheren Lasten und Geschwindigkeiten erhebliche NO_x-Emissionen. Bei NO_x wiesen die SUV um 16 % bis 100 % höhere Emissionswerte auf als der Durchschnitt der gemessenen Diesel-PKW. Speziell bei hohen Geschwindigkeiten (über 130 km/h) wurden bei allen Diesel-SUV hohe NO_x-Emissionen gemessen, die auf bzw. über dem Niveau moderner EURO 5 Sattelzugfahrzeuge im Autobahnverkehr lagen. Da die getesteten SUV etwa 50 % des NO_x als NO₂ ausstoßen, die Sattelzugfahrzeuge aber nur etwa 10 %, könnten bei weiter steigenden Zulassungszahlen die schweren Diesel-PKW bald eine bedeutende Quelle bei autobahnnahen Überschreitungen von NO₂-Grenzwerten nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft werden. Bei den Fahrzeugen mit Partikelfilter liegt die Partikelmasse-Emission etwa auf dem Niveau eines Ottomotors. Damit sollten Partikel aus Abgasemissionen, die Dauerhaltbarkeit der Filter vorausgesetzt, in Zukunft drastisch reduziert werden.

Das Fahrzeug mit Ottomotor zeigte gegenüber dem Durchschnitt der PKW einen Mehrverbrauch von + 80 % bis + 115 %. Die Schadstoffemissionen des mit Ottokraftstoff betriebenen SUV waren in fast allen Testzyklen sehr niedrig, nur bei 150 km/h führte eine Gemischanreicherung zu erhöhten CO- und HC-Emissionen.



SUMMARY

In 2006 nearly 10 percent of total passenger vehicle registrations comprised of the subcategory “Sport Utility Vehicles (SUV) and Off-Road Vehicles”. First data for 2007 shows a continuing rising trend for the SUV share among total vehicle registrations. In order to acquire robust emission data for this vehicle category, the Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH conducted emission tests on a roller chassis dynamometer on behalf of the Umweltbundesamt.

A measurement campaign was conducted for six SUV with type approvals according to EURO 3 and EURO 4 emission standards. The results show that, besides the higher fuel consumption – and thus higher CO₂ emissions – in comparison to conventional passenger cars.

Compared to average passenger cars, SUV had a surplus in fuel consumption of 35% up to 75%, depending on the test cycle under consideration. Specifically NO_x emissions from SUV with diesel engines are of relevance in environmental politics when travelling with higher loads and at higher speeds. On average, NO_x emissions from SUV were 16% to 100% higher compared to the average diesel car. Especially at high vehicle speeds (130 km/h and more) all diesel-powered SUV showed high NO_x levels, which were as high as – or higher than – NO_x emissions levels from modern 40 ton (EURO 5) semi-trailers on the motorway. Since the tested SUV emit approximately 50% of the NO_x as NO₂ (and semi-trailers only 10%), heavy diesel-powered passenger car categories (class II and III) may – if the number of new registrations continues to increase – soon have to be considered a major source when NO₂ air quality targets are exceeded near motorways.

All SUV equipped with OEM particle filter showed particle mass emission levels similar to those from port injection gasoline vehicles. Assuming that particle filters of appropriate durability are used, the relevance of PM emissions from diesel cars for PM₁₀ air quality is expected to diminish substantially in future.

The one SUV fitted with an SI engine showed fuel consumption values 80% to 115% higher compared to average cars but had low pollutant emissions in nearly all cycles. Only at vehicle speeds higher than 130 km/h (150 km/h) did enrichment of the air to fuel ratio lead to high CO and HC emission levels.



1 EINLEITUNG

In der D.A.CH.-NL Kooperation zum Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (KELLER et al. 2004) werden Messdaten von KFZ aus Programmen in Deutschland, der Schweiz, den Niederlanden und Österreich zusammengelegt, um gemeinsam eine gute Datenbasis zur Erstellung von Emissionsfaktoren zu erhalten.

Als ein Beitrag Österreichs wurden hier SUV (Sport Utility Vehicles) am Rollenprüfstand vermessen. Ein Blick auf die Gesamtstatistik¹ zeigt, dass 9,5 % aller im Jahr 2006 neu zugelassenen Fahrzeuge aus der Kategorie „SUV und Geländewagen“ stammten. Erste Zahlen für das Jahr 2007 lassen einen weiteren Anstieg des SUV-Anteiles erwarten: In den ersten Monaten des laufenden Jahres lagen die Werte für Neuzulassungen am SUV- und Geländewagensektor bereits über jenen des Vergleichszeitraumes im Jahr 2006. Der Dieselanteil bei SUV und Geländewagen lag 2006 bei etwa 83 %¹.

Insgesamt wurden im vorliegenden Projekt sechs derartige KFZ untersucht, um diese PKW-Kategorie ausreichend repräsentativ abdecken zu können. Neben fünf Dieselfahrzeugen wurde auch ein Testfahrzeug mit Ottomotorisierung ausgewählt. Die Ergebnisse der Messungen wurden als Input in die D.A.CH.-NL Datenbank in den entsprechenden Excel-Formaten aufbereitet. Für den vorliegenden Bericht wurden die Messungen auch getrennt ausgewertet und im Vergleich mit den PKW der D.A.CH.-NL Datenbank dargestellt, um eine Aussage über das Emissionsverhalten der SUV moderner Bauart treffen zu können.

¹ http://gelaendewagen.at/artikel07/zulassungen_2006.php

2 METHODIK

Die Testfahrzeuge wurden am Rollenprüfstand des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz (FVT) untersucht. Um das Emissionsverhalten im realen Fahrbetrieb umfassend zu bewerten wurden die Fahrzeuge in verschiedenen Fahrzyklen betrieben.

2.1 Beschreibung der Testzyklen

Die Fahrzeuge wurden in folgenden Testzyklen vermessen:

- NEDC (Typ1 Kaltstart 20 °C)
- NEDC Warmstart
- CADC urban
- CADC road
- CADC motorway
- Konstantfahrten von 150 km/h bis 80 km/h.

Der NEDC (New European Driving Cycle) wurde als Weiterentwicklung des ECE-Zyklus eingeführt. Dieser – für die europäische Typprüfung an PKW vorgeschriebene – Test umfasst zwei Teile: den ECE-Zyklus (4 Stadtfahrzyklen) und den EUDC-Zyklus (Extra Urban Driving Cycle). Die gesamt Länge des Tests beträgt 11,007 km bei einer Gesamtdauer von 20 min und 10 s.

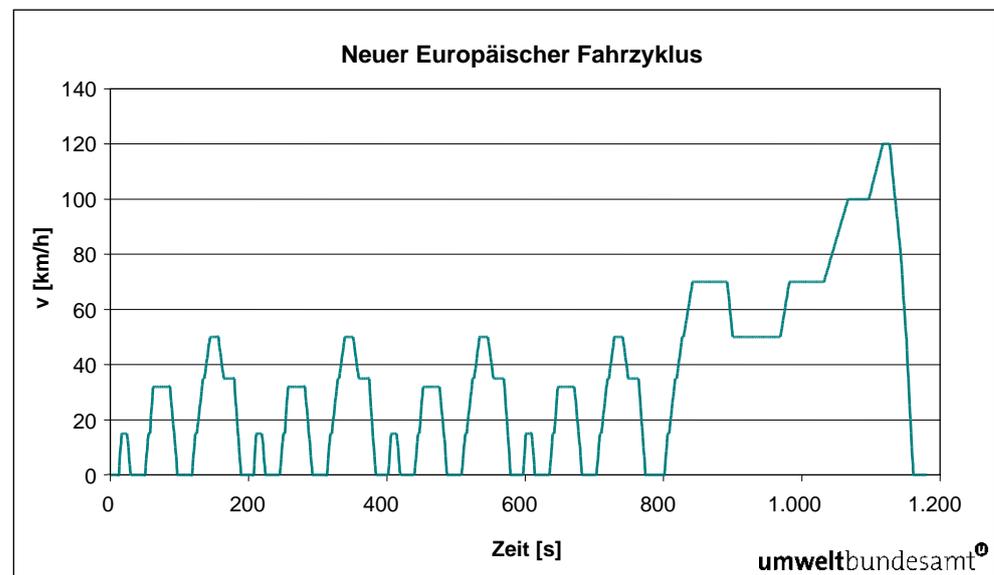


Abbildung 1: Geschwindigkeitsverlauf NEDC (New European Driving Cycle, Neuer Europäischer Fahrzyklus).

Ergänzend zu der Erfassung der Emissionen im Typprüfzyklus erfolgt eine Bewertung in so genannten „real world driving cycles“. Im Rahmen des Projektes ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Modeling and Inventories im 5. EU-Forschungsprogramm) wurde solch ein einheitliches Messprogramm –

der CADC (Common Artemis Driving Cycle) – entwickelt (JOURMARD et al. 2006). Neben einer realitätsnäheren Fahrdynamik und Motorleistung ist der ARTEMIS-Testzyklus wegen der späteren Schaltpunkte auch durch deutlich höhere Motordrehzahlen als der NEDC charakterisiert. Die Schaltpunkte werden bei diesem Testzyklus zudem in Abhängigkeit von Fahrzeugmasse und Motornennleistung dargestellt. Die Messdauer in den CADC-Zyklen umfasst nicht den ganzen Zyklus, sondern beinhaltet eine Vorkonditionierungsphase bzw. im Fall CADC motorway auch eine Abkühlphase (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Messdauer und Messbereich in den einzelnen CADC-Zyklen.

CADC-Zyklus	ges. Zyklusdauer	Start d. Messung	Ende d. Messung
	[s]	[s]	[s]
urban	993	73	993
road	1.082	102	1.082
motorway	1.068	177	913

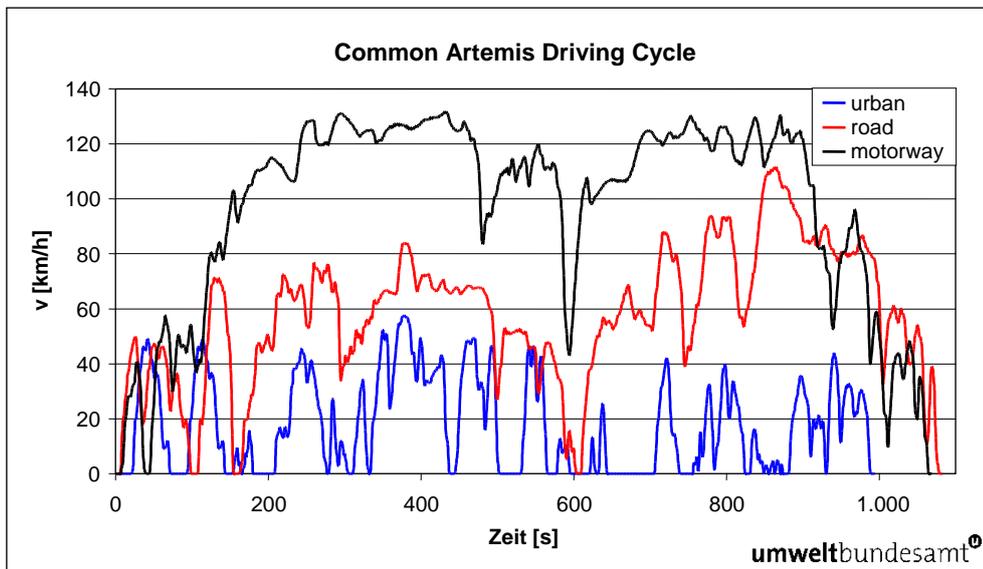


Abbildung 2: Geschwindigkeitsverlauf CADC (Common Artemis Driving Cycle).

Zusätzlich zu den beschriebenen Fahrzyklen wurden die Testfahrzeuge in Messpunkten mit konstanter Geschwindigkeit vermessen. Die Messpunkte wurden schrittweise, beginnend bei 150 km/h bis zu einer Endgeschwindigkeit von 80 km/h angefahren. Die hohen Geschwindigkeiten mussten zu Beginn gefahren werden, um die Fahrzeuge thermisch nicht zu stark zu belasten. Dieser Testzyklus sollte Anhaltswerte für Emissionsänderungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus geben. Je nach Verkehrsaufkommen sind die real auftretenden Zyklen jedoch deutlich dynamischer, so dass die Ergebnisse aus den Testläufen mit stationärer Geschwindigkeit nicht als „Emissionsfaktoren“ herangezogen werden sollten.

In den Emissionsvergleichen wurde der gesamte Testzyklus „SUV_max150km/h“ von 0 bis 755 Sekunden aufgenommen, es ist also die Beschleunigungsphase und Bremsphase enthalten. Eine detailliertere Analyse zu den einzelnen Geschwindigkeiten ist in Kapitel 3.4 dargestellt.

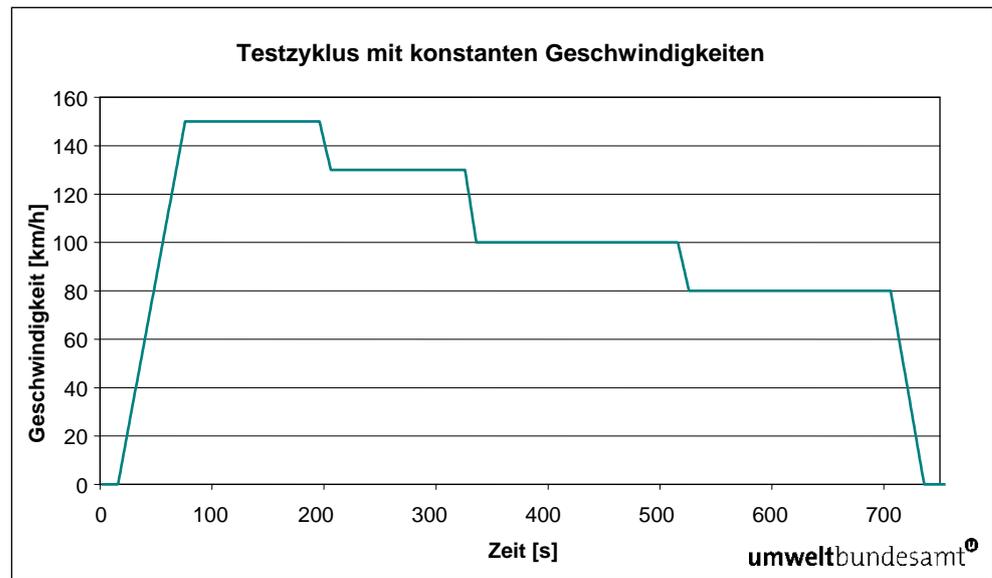


Abbildung 3: Geschwindigkeitsverlauf des Testzyklus „SUV_max150km/h“ mit konstanten Geschwindigkeiten.

Jeder Fahrzyklus wurde mit einer Wiederholung vermessen. Bei Abweichungen wurde eine dritte Vermessung durchgeführt. Dabei wurden CO, CO₂, HC, NO_x (NO und NO₂), Partikelmasse und Partikelanzahl sowie Fahrzeuggeschwindigkeit und Rollenbremskraft erfasst. Der Verbrauch wurde aus der Kohlenstoff-Bilanz der Kraftstoffe berechnet.

2.2 Beschreibung PKW Rollenprüfstand

Alle Messungen wurden am Rollenprüfstand des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz durchgeführt:

Lieferfirma: Zöllner

Technische Daten	
Bremse	56 kW Gleichstrommaschine + 240 kW Wechselstrommaschine
simulierbare Fahrzeugmasse	567 bis 2.325 kg (55 kg Schrittweite)
max. Geschwindigkeit	200 km/h
CVS Durchfluss	6, 10 oder 20 m ³ /min
regelbare Temperatur	-30 °C bis +40 °C
regelbare Luftfeuchte	

Der Prüfstand kann sowohl im stationären als auch im instationären Betrieb gefahren werden, wobei sowohl Brems- als auch Schleppbetrieb möglich ist.



Im Stationärbetrieb (Leistungsprüfstand) kann entweder konstante Zugkraft oder konstante Fahrgeschwindigkeit geregelt werden. In den vorliegenden Messungen ist der Instationärbetrieb (Fahrwiderstandssimulation) relevant. In dieser Betriebsart ermöglicht der Prüfstand die Simulation von Fahrwiderstandskennlinien. Diese werden durch Ausrollversuche des KFZ bestimmt und stellen die Abhängigkeit der Fahrwiderstände (Roll- und Luftwiderstand) von der Fahrzeuggeschwindigkeit dar. Der zu fahrende Geschwindigkeitsverlauf als Funktion der Zeit wird dem Fahrer mit einem Fahrleitgerät über einen Bildschirm vorgegeben.

Die Fahrwiderstände werden nach folgender Gleichung simuliert:

Formel 1: Fahrwiderstandsgleichung.

$$F = R_0 + R_1 \cdot v + R_2 \cdot v^2$$

v [m/s] Geschwindigkeit

F Fahrwiderstand

R_{0,1,2} Fahrwiderstandswerte

Die Werte für R₀, R₁ und R₂ sind für die einzelnen SUV im Kapitel 3 dargestellt.

Die Messung der Emissionen erfolgt über eine Vollstrom-CVS-Anlage und Abgasanalysatoren der Firma AVL (CEB II). Die Emissionen können als Beutelwert und im zeitlichen Verlauf (z. B. Sekundenschritte) erfasst und ausgegeben werden.

2.3 Messeinrichtung für Partikelanzahl und Größenverteilung

Bei der Partikelanzahlmessung ist eine passende Probenahme wesentlich für die korrekten Ergebnisse. An der FVT wurde dazu ein spezielles System entwickelt, das die derzeit von der PMP-Gruppe (Particle Measurement Programme Working Group) definierten Anforderungen erfüllt:

- Isokinetische Entnahme;
- Variable Verdünnung (1:1 bis 1:1.000) zur Einhaltung der Messbereiche der CPC;
- Beheizung zur Beseitigung von Nukleationspartikeln ohne festen Kohlenstoffkern (in Kombination mit der Verdünnung);
- Antistatische Materialien und kurze Baulängen zur Minimierung von Verlusten.

Das System ist in Abbildung 4 dargestellt.

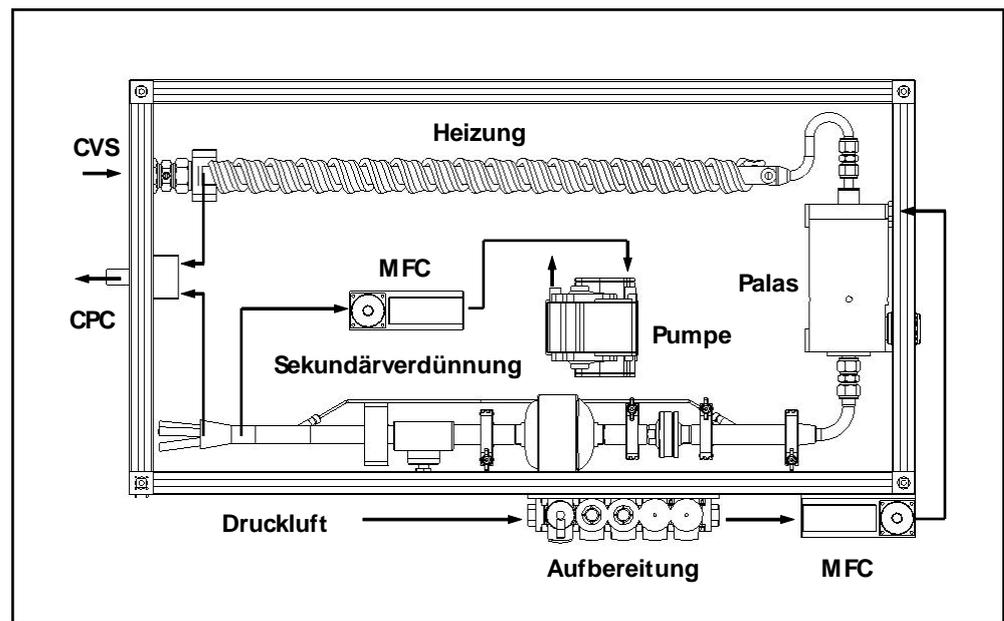


Abbildung 4: System zur Probennahme bei der Partikelanzahlmessung (SCHMÖLZER 2006).

CVS Probefuhr aus dem CVS-Tunnel, wahlweise auch unverdünntes Abgas

CPC Condensation Particle Counter

MFC Mass Flow Controller

Folgende Messgeräte sind verfügbar:

- SMPS, Firma TSI: Bestehend aus „Electrostatic Classifier“, „Differential Mobility Analyzer (Modell 3081)“ für stationäre hochauflösende Messung der Größenverteilung und Kondensationskernzähler (CPC) für dynamische Messung der Partikelanzahl
- CPC 3010 Messbereich $< 10^5$ [1/cm³]
- CPC 3070 Messbereich $< 10^7$ [1/cm³] (in den vorliegenden Messungen verwendet)

2.4 Testfahrzeuge

Als Testfahrzeuge wurden SUV mit entsprechend hohen Zulassungszahlen ausgewählt. Alle Testfahrzeuge befinden sich unter den ersten 30 zulassungsstärksten SUV-Modellen (von 61 erfassten). Bei den ausgewählten Testfahrzeugen waren fünf Modelle mit Dieselmotorisierung und ein Modell mit Ottomotorisierung ausgestattet. Beim Ottomodell wurde bewusst ein zum Dieselmotortypengleiches Fahrzeug gewählt, um entsprechende Quervergleiche vornehmen zu können. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Fahrzeuge.



Tabelle 2: Übersicht Testfahrzeuge.

	Testfahrzeug 1	Testfahrzeug 2	Testfahrzeug 3	Testfahrzeug 4	Testfahrzeug 5	Testfahrzeug 6
Motor	Diesel Turboaufladung	Diesel Turboaufladung	Diesel Turboaufladung	Diesel Turboaufladung	Diesel Turboaufladung	Otto Turboaufladung
Hubraum [Liter]	2,7	2,4	2,5	3,0	3,0	2,5
Leistung [kW]	120	136	125	160	150	154
Getriebe	Automatik 5 Gang	Automatik 5 Gang	Schaltgetriebe 5 Gang	Automatik 6 Gang	Schaltgetriebe 6 Gang	Automatik 5 Gang
Abgasnachbehandlung	Oxydationskatalysator	Oxydationskatalysator, Partikelfilter	Oxydationskatalysator	Oxydationskatalysator, Partikelfilter	Oxydationskatalysator	3 Wegekatalysator
Baujahr	2006	2006	2006	2006	2005	2006
km-Stand	600	10.000	15.313	7.000	8.000	11.000
Fahrzeuggewicht [t]	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	2,1
EURO-Klasse	EURO 4	EURO 4	EURO 3	EURO 4	EURO 3	EURO 4

Alle SUV hatten ein Gewicht größer als 1.760 kg mit entsprechenden höheren Emissionsgrenzwerten nach M1/Class III Einstufung (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Emissionsgrenzwerte für EURO 4 und EURO 3 Fahrzeuge.

EURO 3			Klasse I < 1.305 kg		Klasse II > 1.305 kg < 1.760 kg		Klasse III > 1.760 kg < 3.500 kg	
Test	Emissionen	Einheit	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Rev. Urban + EUDC	HC	g/km	0,20	–	0,13	–	0,29	–
	NO _x		0,15	0,50	0,10	0,65	0,21	0,78
	HC + NO _x		–	0,56	–	0,72	–	0,86
	CO		2,30	0,64	1,81	0,80	5,22	0,95
	PM		–	0,05	–	0,07	–	0,10

EURO 4			Klasse I < 1.305 kg		Klasse II > 1.305 kg < 1.760 kg		Klasse III > 1.760 kg < 3.500 kg	
Test	Emissionen	Einheit	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Rev. Urban + EUDC	HC	g/km	0,1	–	0,13	–	0,16	–
	NO _x		0,08	0,25	0,1	0,33	0,11	0,39
	HC + NO _x		–	0,30	–	0,39	–	0,46
	CO		1	0,50	1,81	0,63	2,27	0,74
	PM		–	0,025	–	0,04	–	0,06

In den zukünftigen Emissionsgrenzwerten für EURO 5 (ab 2009/10) und EURO 6 (ab 2014/15) werden bei PKW bzw. allen „Fahrzeugen zur Personenbeförderung unter 3,5 Tonnen maximalem Gesamtgewicht“ die Emissionsgrenzwerte nicht mehr nach Fahrzeuggewicht unterschieden (siehe Tabelle 4). Die Grenzwertabsenkung zu EURO 5 gegenüber EURO 4 ist damit für schwere PKW deutlich schärfer als für PKW der Klasse I. Der Typprüfzyklus wird gegenüber EURO 4 nicht geändert.



Tabelle 4: Emissionsgrenzwerte für EURO 5 und EURO 6 Fahrzeuge.

Test	Emissionen	Einheit	EURO 5 alle Klassen		EURO 6 alle Klassen	
			Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Rev. Urban + EUDC	HC	g/km	0,10	–	0,10	–
	NO _x		0,06	0,18	0,06	0,08
	HC + NO _x		–	0,23	–	0,17
	CO		1	0,50	1	0,50
	PM		0,005	0,005	0,005	0,005

Mit jedem Prüffahrzeug wurde ein Ausrollversuch gemäß der Verordnung 70/220/EWG durchgeführt, um die Fahrwiderstände in der getesteten Konfiguration zu ermitteln.

Obwohl der Ablauf des Versuches der gültigen Verordnung entsprochen hat, ist anzunehmen, dass die ermittelten Fahrwiderstandswerte über den werkseitig ermittelten liegen. Der Grund dafür kann in optimalen Fahrbahnbelägen und optimalem Reifenmaterial bei der werkseitigen Vermessung liegen, während im vorliegenden Versuch die KFZ jeweils im Anlieferungszustand auf einem öffentlichen Straßenstück ausgerollt wurden (nach Einstellung des empfohlenen Reifendruckes). Die in diesem Bericht vorliegenden Messergebnisse beziehen sich auf die in diesen Ausrollversuchen ermittelten Fahrwiderstandswerte. Ein direkter Vergleich mit den Werten aus der Homologation ist daher nicht möglich. Auch ist – speziell bei Vergleichen zwischen den KFZ – zu berücksichtigen, dass Unterschiede teilweise auch auf den Anlieferungszustand (speziell die Bereifung) zurückzuführen sein können.

Wie groß die Differenz zu den bei der Typisierung verwendeten Fahrwiderständen ist, kann nicht angegeben werden, da diese Werte nicht zugänglich sind.



3 ERGEBNISSE

Vorerst sind die Ergebnisse der gemessenen SUV einzeln dargestellt. Danach werden die Ergebnisse im Vergleich untereinander und im Vergleich zu PKW betrachtet.

3.1 Einzelfahrzeuge

Alle Testfahrzeuge sind SUV entsprechend der Klassifizierung PKW/M1. Ein SUV hatte einen Ottomotor und eine EURO 4 Zulassung, die übrigen einen Dieselmotor (drei nach EURO 4 und zwei nach EURO 3 zugelassen). Nachfolgend sind die Fahrzeugdaten und die gemessenen Emissionen für die einzelnen KFZ dargestellt. Eine Analyse der Ergebnisse ist in Kapitel 3.2 gegeben.



3.1.1 Testfahrzeug 1 (EURO 4, Diesel)

Tabelle 5 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

Tabelle 5: Technische Daten Testfahrzeug 1, EURO 4, Diesel.

Testfahrzeug 1	
Motor	Diesel, Turboaufladung 4 Zylinder in Reihe
Hubraum	2.696 cm ³
Leistung	120 kW bei 4.000 U/min
Getriebe	Automatik 5 Gang
Abgasnachbehandlung	Oxidationskatalysator
Baujahr	2006
km-Stand	600 km
Fahrzeuggewicht	2.100 kg
höchstzulässiges Gesamtgewicht	2.760 kg
Bereifung	255/60R18
Fahrwiderstandswert R0	264,448 N
Fahrwiderstandswert R1	4,050 Ns/m
Fahrwiderstandswert R2	0,631 Ns ² /m ²

Tabelle 6 zeigt für Testfahrzeug 1 die Mittelwerte der Emissionen in den einzelnen Zyklen. Die Partikelanzahl wurde bei diesem KFZ wegen eines Defektes im CPC nicht korrekt gemessen und ist daher nicht angegeben. Die Messung der Partikelmasse ist jedoch nicht davon betroffen.

Tabelle 6: Mittelwerte der Emissionen aus den einzelnen Zyklen, Testfahrzeug 1, EURO 4, Diesel.

Fahrzeug	Zyklus	CO ₂	CO	HC	NO _x	HC + NO _x
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]
Testfahrzeug 1	NEDC kalt	287,466	0,211	0,036	0,446	0,482
	NEDC warm	244,960	0,044	0,013	0,447	0,460
	CADC urban	382,190	0,006	0,024	0,914	0,938
	CADC road	229,094	0,005	0,006	0,715	0,720
	CADC motorway	278,906	0,008	0,007	1,291	1,298
	SUV_max150 km/h	287,512	0,037	0,010	1,899	1,909
		PTL	Verbrauch	NO	NO₂/NO_x	PTL Anzahl
		[g/km]	[l/100 km]	[g/km]	[-]	[/km]
	NEDC kalt	0,030	10,946	0,240	0,461	nicht gemessen
	NEDC warm	0,021	9,317	0,253	0,434	nicht gemessen
	CADC urban	0,048	14,533	0,564	0,389	nicht gemessen
	CADC road	0,031	8,710	0,415	0,420	nicht gemessen
	CADC motorway	0,034	10,604	0,718	0,445	nicht gemessen
SUV_max150 km/h	0,026	10,934	1,002	0,472	nicht gemessen	



3.1.2 Testfahrzeug 2 (EURO 4, Diesel)

Tabelle 7 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

Tabelle 7: Technische Daten Testfahrzeug 2, EURO 4, Diesel.

Testfahrzeug 2	
Motor	Diesel, Turboaufladung 5 Zylinder in Reihe
Hubraum	2.400 cm ³
Leistung	136 kW bei 4.000 U/min
Getriebe	Automatik 5 Gang
Abgasnachbehandlung	Oxidationskatalysator, Partikelfilter
Baujahr	2006
km-Stand	10.000
Fahrzeuggewicht	2.098 kg
höchstzulässiges Gesamtgewicht	2.560 kg
Bereifung	235/65R18
Fahrwiderstandswert R0	264,448 N
Fahrwiderstandswert R1	4,038 Ns/m
Fahrwiderstandswert R2	0,628 Ns ² /m ²

Tabelle 8 zeigt für Testfahrzeug 2 die Mittelwerte der Emissionen in den einzelnen Zyklen.

Tabelle 8: Mittelwerte der Emissionen aus den einzelnen Zyklen, Testfahrzeug 2, EURO 4, Diesel.

Fahrzeug	Zyklus	CO ₂	CO	HC	NO _x	HC + NO _x
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]
Testfahrzeug 2	NEDC kalt	286,731	0,196	0,033	0,487	0,520
	NEDC warm	252,665	0,004	0,005	0,549	0,554
	CADC urban	386,128	0,006	0,011	0,902	0,912
	CADC road	227,131	0,002	0,003	0,859	0,861
	CADC motorway	291,424	0,004	0,001	1,471	1,472
	SUV_max150 km/h	260,299	0,005	0,002	1,450	1,452
		PTL	Verbrauch	NO	NO₂/NO_x	PTL Anzahl
		[g/km]	[l/100 km]	[g/km]	[-]	[#/km]
	NEDC kalt	0,003	10,916	0,231	0,526	1,07E+11
	NEDC warm	0,004	9,606	0,227	0,587	7,17E+09
	CADC urban	0,003	14,681	0,337	0,626	2,45E+10
	CADC road	0,003	8,635	0,397	0,538	1,37E+11
	CADC motorway	0,005	11,079	0,850	0,422	6,76E+11
SUV_max150 km/h	0,007	9,896	0,804	0,445	6,63E+11	



3.1.3 Testfahrzeug 3 (EURO 3, Diesel)

Tabelle 9 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

Tabelle 9: Technische Daten Testfahrzeug 3, EURO 3, Diesel.

Testfahrzeug 3	
Motor	Diesel, Turboaufladung 4 Zylinder in Reihe
Hubraum	2.497 cm ³
Leistung	125 kW/3.800 U/min
Getriebe	Schaltgetriebe 5 Gang
Abgasnachbehandlung	Oxidationskatalysator
Baujahr	13.02.2002/Zulassungsdatum: 20.07.2006
km-Stand	15.313
Fahrzeuggewicht	2.004 kg
höchstzulässiges Gesamtgewicht	2.670 kg
Bereifung	245/70R16
Fahrwiderstandswert R0	170,9038 N
Fahrwiderstandswert R1	12,850 Ns/m
Fahrwiderstandswert R2	0,3481 Ns ² /m ²

Tabelle 10 zeigt für Testfahrzeug 3 die Mittelwerte der Emissionen in den einzelnen Zyklen.

Tabelle 10: Mittelwerte der Emissionen aus den einzelnen Zyklen, Testfahrzeug 3, EURO 3, Diesel.

Fahrzeug	Zyklus	CO ₂	CO	HC	NO _x	HC + NO _x
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]
Testfahrzeug 3	NEDC kalt	263,558	0,095	0,053	0,547	0,599
	NEDC warm	230,785	0,012	0,020	0,545	0,565
	CADC urban	325,582	0,013	0,028	1,323	1,351
	CADC road	218,496	0,004	0,007	0,762	0,768
	CADC motorway	288,757	0,070	0,005	2,337	2,343
	SUV_max150 km/h	257,641	0,023	0,004	2,254	2,258
		PTL	Verbrauch	NO	NO₂/NO_x	PTL Anzahl
		[g/km]	[l/100 km]	[g/km]	[-]	[#/km]
	NEDC kalt	0,068	10,032	0,392	0,283	2,26E+14
	NEDC warm	0,051	8,777	0,354	0,350	1,97E+14
	CADC urban	0,063	12,381	0,858	0,348	2,31E+14
CADC road	0,050	8,308	0,416	0,454	1,75E+14	
CADC motorway	0,029	10,983	1,186	0,493	1,41E+14	
SUV_max150 km/h	0,061	9,797	1,232	0,453	1,63E+14	



3.1.4 Testfahrzeug 4 (EURO 4, Diesel)

Tabelle 11 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

Tabelle 11: Technische Daten Testfahrzeug 4, EURO 4, Diesel.

Testfahrzeug 4	
Motor	Diesel Turboaufladung 6 Zylinder in Reihe
Hubraum	2.993 cm ³
Leistung	160 kW bei 4.000 U/min
Getriebe	Automatik 6 Gang
Abgasnachbehandlung	Oxidationskatalysator, Partikelfilter
Baujahr	2006
km-Stand	7.000
Fahrzeuggewicht	1.885 kg
höchstzulässiges Gesamtgewicht	2.355 kg
Bereifung	255/40R19
Fahrwiderstandswert R0	212,10 N
Fahrwiderstandswert R1	0,00 Ns/m
Fahrwiderstandswert R2	0,5353 Ns ² /m ²

Tabelle 12 zeigt für Testfahrzeug 4 die Mittelwerte der Emissionen in den einzelnen Zyklen.

Tabelle 12: Mittelwerte der Emissionen aus den einzelnen Zyklen, Testfahrzeug 4, EURO 4, Diesel.

Fahrzeug	Zyklus	CO ₂	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	
Testfahrzeug 4	NEDC kalt	233,765	0,066	0,022	0,200	0,222	
	NEDC warm	201,220	0,004	0,012	0,267	0,279	
	CADC urban	325,297	0,004	0,013	0,769	0,782	
	CADC road	177,894	0,004	0,005	0,526	0,530	
	CADC motorway	209,442	0,001	0,002	0,628	0,630	
	SUV_max150 km/h	200,863	0,022	0,014	0,743	0,757	
		PTL	Verbrauch	NO	NO₂/NO_x	PTL Anzahl	
		[g/km]	[l/100 km]	[g/km]	[-]	[#km]	
		NEDC kalt	0,002	8,894	0,106	0,470	1,35E+10
		NEDC warm	0,001	7,651	0,083	0,689	1,08E+10
		CADC urban	0,007	12,369	0,265	0,655	1,81E+10
		CADC road	0,004	6,764	0,210	0,601	1,67E+10
	CADC motorway	0,003	7,963	0,296	0,529	5,32E+09	
	SUV_max150 km/h	0,002	7,639	0,336	0,548	2,56E+09	



3.1.5 Testfahrzeug 5 (EURO 3, Diesel)

Tabelle 13 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

Tabelle 13: Technische Daten Testfahrzeug 5, EURO 3, Diesel.

Testfahrzeug 5	
Motor	Diesel Turboaufladung 6 Zylinder in Reihe
Hubraum	2.993 cm ³
Leistung	150 kW bei 4.000 U/min
Getriebe	Schaltgetriebe 6 Gang
Abgasnachbehandlung	Oxidationskatalysator
Baujahr	2005
km-Stand	8.000
Fahrzeuggewicht	1.885 kg
höchstzulässiges Gesamtgewicht	2.355 kg
Bereifung	235/55R17
Fahrwiderstandswert R0	212,09 N
Fahrwiderstandswert R1	0,00 Ns/m
Fahrwiderstandswert R2	0,5696 Ns ² /m ²

Tabelle 14 zeigt für Testfahrzeug 5 die Mittelwerte der Emissionen in den einzelnen Zyklen.

Tabelle 14: Mittelwerte der Emissionen aus den einzelnen Zyklen, Testfahrzeug 5, EURO 3, Diesel.

Fahrzeug	Zyklus	CO ₂	CO	HC	NO _x	HC + NO _x
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]
Testfahrzeug 5	NEDC kalt	234,415	0,316	0,063	0,356	0,419
	NEDC warm	213,551	0,029	0,026	0,381	0,407
	CADC urban	305,641	0,064	0,053	1,069	1,121
	CADC road	187,536	0,011	0,020	0,704	0,725
	CADC motorway	241,113	0,031	0,019	1,675	1,694
	SUV_max150 km/h	208,298	0,044	0,020	1,373	1,393
		PTL	Verbrauch	NO	NO₂/NO_x	PTL Anzahl
		[g/km]	[l/100 km]	[g/km]	[-]	[#/km]
	NEDC kalt	0,024	8,938	0,257	0,279	1,15E+14
	NEDC warm	0,019	8,123	0,232	0,391	1,12E+15
	CADC urban	0,044	11,630	0,654	0,387	1,76E+14
CADC road	0,029	7,133	0,434	0,384	1,06E+14	
CADC motorway	0,029	9,171	0,875	0,478	1,27E+14	
SUV_max150 km/h	0,031	7,924	0,743	0,459	1,02E+14	



3.1.6 Testfahrzeug 6 (EURO 4, Otto)

Tabelle 15 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

Tabelle 15: Technische Daten Testfahrzeug 6, EURO 4, Otto.

Testfahrzeug 6	
Motor	Otto Turboaufladung 5 Zylinder in Reihe
Hubraum	2.521 cm ³
Leistung	154 kW bei 5.000 U/min
Getriebe	Automatik 5 Gang
Abgasnachbehandlung	3 Wegekatalysator
Baujahr	2006
km-Stand	11.000
Fahrzeuggewicht	2.100 kg
höchstzulässiges Gesamtgewicht	2.560 kg
Bereifung	235/65R18
Fahrwiderstandswert R0	264,448 N
Fahrwiderstandswert R1	4,038 Ns/m
Fahrwiderstandswert R2	0,628 Ns ² /m ²

Tabelle 16 zeigt für Testfahrzeug 6 die Mittelwerte der Emissionen in den einzelnen Zyklen.

Tabelle 16: Mittelwerte der Emissionen aus den einzelnen Zyklen, Testfahrzeug 6, EURO 4, Otto.

Fahrzeug	Zyklus	CO ₂	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	
		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	
Testfahrzeug 6	NEDC kalt	333,054	0,353	0,060	0,030	0,090	
	NEDC warm	284,466	0,123	0,003	0,018	0,021	
	CADC urban	457,346	0,241	0,007	0,022	0,028	
	CADC road	252,131	0,622	0,002	0,009	0,011	
	CADC motorway	309,680	0,972	0,008	0,004	0,011	
	SUV_max150 km/h	276,311	7,542	0,042	0,022	0,064	
		PTL	Verbrauch	NO	NO₂/NO_x	PTL Anzahl	
		[g/km]	[l/100 km]	[g/km]	[-]	[#/km]	
		NEDC kalt	0,003	14,319	0,020	0,324	7,49E+12
		NEDC warm	0,002	12,212	0,012	0,343	5,43E+10
		CADC urban	0,002	19,636	0,021	0,021	3,10E+11
		CADC road	0,001	10,858	0,004	0,449	3,20E+11
	CADC motorway	0,009	13,351	0,002	0,397	6,08E+12	
	SUV_max150 km/h	0,004	12,367	0,022	0,095	4,10E+12	

3.2 Vergleich zwischen SUV und PKW

Die steigende Anzahl an SUV am PKW-Bestand kann für die Entwicklung der Gesamtemissionen relevant sein, wenn SUV deutlich unterschiedliches Emissionsverhalten gegenüber PKW aufweisen. Nachfolgend sind die Emissionen der EURO 4 und EURO 3 SUV jeweils Messwerten von PKW mit gleicher Motorisierung (Otto oder Diesel) und gleicher EURO-Klasse gegenübergestellt. Die Emissionswerte für PKW wurden HAUSBERGER & KOFLER (2006) entnommen, in deren Untersuchung sieben EURO 4 Diesel-PKW vermessen wurden. Die analysierten Werte für EURO 3 stammen aus der ARTEMIS-Datenbank (JOURNARD 2006), in welcher Messdaten von 38 EURO 3 Diesel-PKW gesammelt wurden. In dem genannten Bericht wurden allerdings die Konstantfahrten bis 150 km/h (Zyklus „SUV_max150 km/h“) sowie der NEDC mit Warmstart nicht gemessen, so dass für diese Fahrzustände kein Vergleich zwischen PKW und SUV möglich ist.

3.2.1 EURO 4 Diesel

Im Vergleich zum EURO 4 Durchschnitts-PKW haben die gemessenen EURO 4 SUV einen deutlich höheren Verbrauch und emittieren auch entsprechend zwischen 74 % (im NEDC kalt) und 49 % (CADC road) mehr CO₂. Im Mittel über alle Testzyklen ergeben sich um 56 % höhere CO₂-Emissionen im Vergleich zu den EURO 4 PKW.

Tabelle 17: Verhältnis der CO₂-Emissionen des Durchschnitts der SUV zum PKW-Durchschnitt (EURO 4).

Zyklus	CO ₂ -Emissionen SUV/PKW
NEDC kalt	174 %
CADC urban	153 %
CADC road	149 %
CADC motorway	150 %

Abbildung 5 zeigt die einzelnen Messwerte sowie den Durchschnitt der CO₂-Emissionen der EURO 4 SUV und der EURO 4 Diesel PKW. Bei den SUV zeigte Testfahrzeug 4 in allen Zyklen die geringsten CO₂-Emissionen und war auch im Verbrauch deutlich am günstigsten.

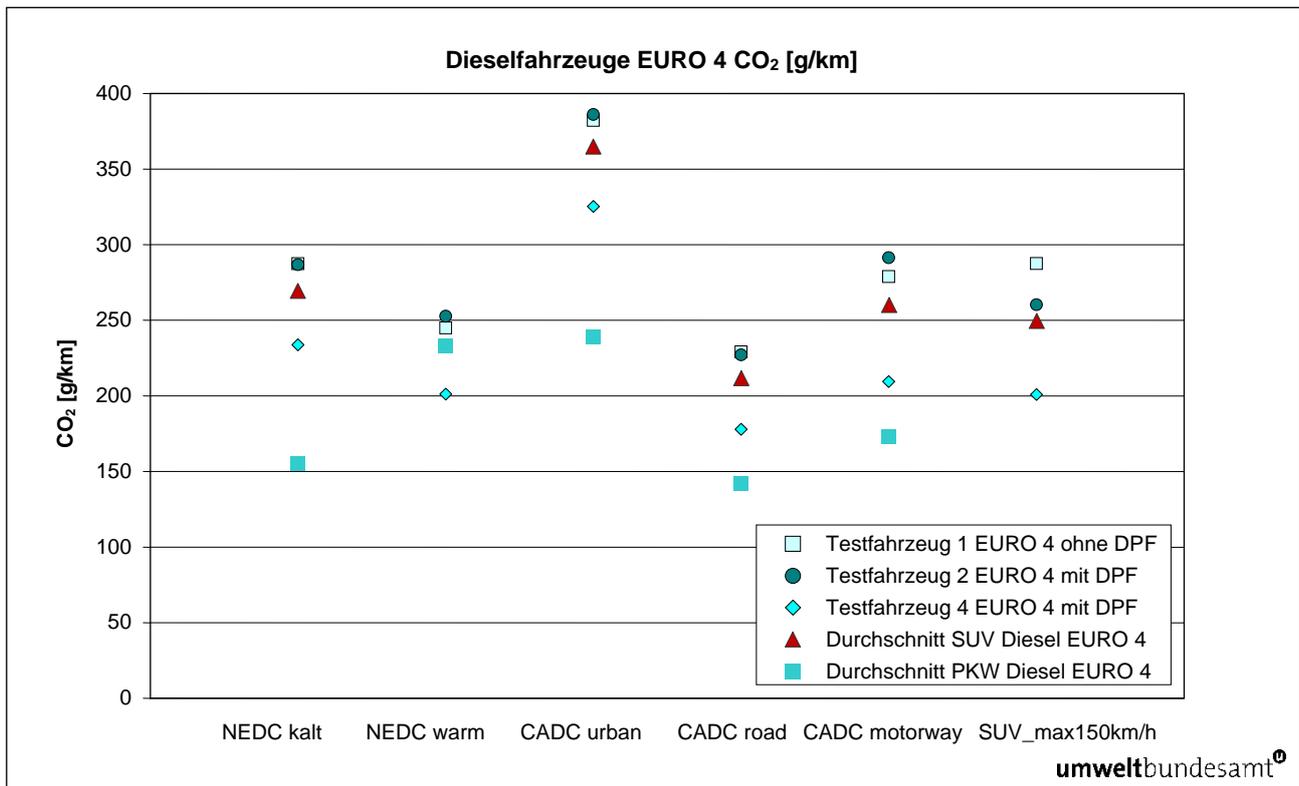


Abbildung 5: CO₂-Emissionen für EURO 4 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Aus der Kohlenstoff-Bilanz ergibt sich in den verschiedenen Zyklen der in Abbildung 6 ersichtliche Verbrauch in Liter pro 100 Kilometer.

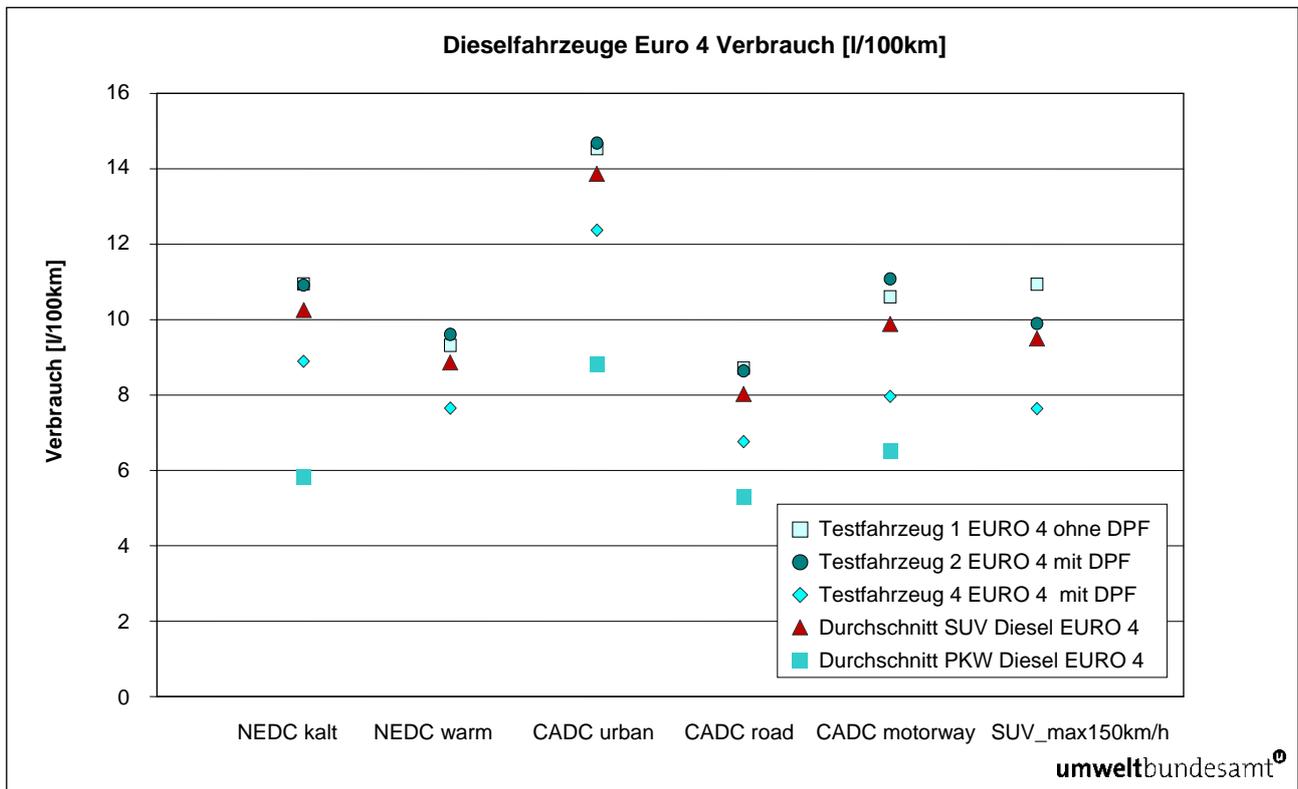


Abbildung 6: Verbrauch [l/km] für EURO 4 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Der Mehrverbrauch der SUV gegenüber PKW ergibt sich vorwiegend aus der höheren Fahrzeugmasse und den höheren Fahrwiderständen, aber auch aus einer ungünstigeren Lage des Lastprofils.

Der Einfluss des Lastprofils ist in Abbildung 7 zu sehen. Die durchwegs großvolumigen und leistungsstarken Motoren der getesteten SUV führen dazu, dass die Testzyklen häufiger in relativ niedrigen Motorlastpunkten zu liegen kommen, wo Wirkungsgradnachteile bestehen. Deutliche Unterschiede in den spezifischen Verbrauchswerten [g/kWh] zu PKW sind dabei vorwiegend in Stadtfahrten zu finden.

Der spezifische Verbrauch in g/kWh wurde für diese Betrachtung mittels Formel 2 berechnet.

Formel 2: Umrechnung der Verbrauchswerte auf g/kWh.

$$FC = \frac{\text{Verbrauch_Beutelwert}[g/km] \times \text{Weg}[km]}{\text{abgegebene_Leistung}[kW] \times \text{Zeit}[h]}$$

Für die Berechnung der abgegebenen Leistung wurde jeweils die positive Leistung über den Zyklus integriert. Für die PKW wurde diese Berechnung nur für ein KFZ durchgeführt, so dass für PKW kein Mittelwert für den spezifischen Verbrauch [g/kWh] angegeben werden kann.

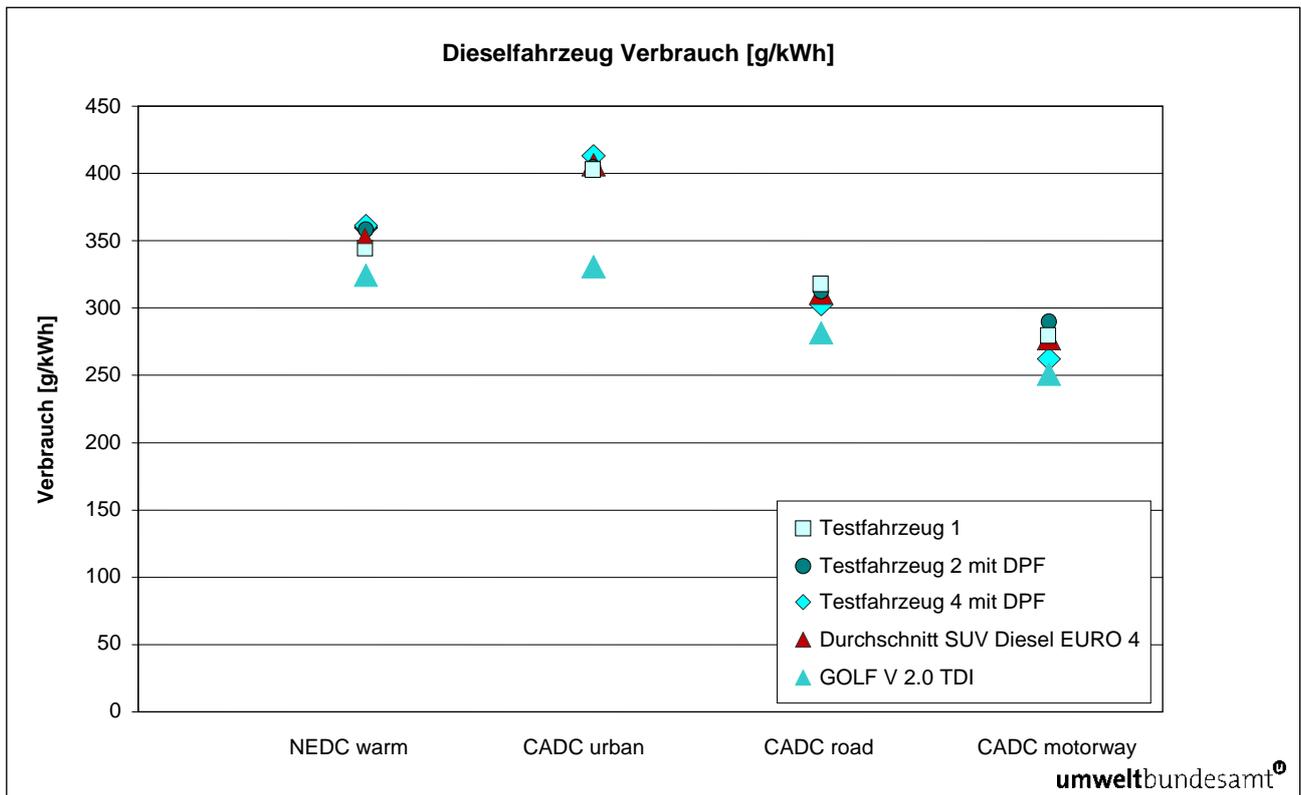


Abbildung 7: Verbrauch [g/kWh] für EURO 4 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Die schlechteren Motorwirkungsgrade wegen der ungünstigeren Lastpunkte sind also für etwa 8 % (Autobahn) bis 20 % (Stadtverkehr) des Mehrverbrauches gegenüber PKW verantwortlich. Der gesamte Mehrverbrauch von SUV wird also vorwiegend durch die höheren Fahrwiderstände und Massen verursacht.

Die NO_x -Emissionen der SUV sind im Mittel höher als die der PKW. Das höhere Emissionsniveau ist speziell bei steigenden Lasten und Geschwindigkeiten ausgeprägt. Liegen die Mehremissionen gegenüber den PKW im NEDC kalt noch bei + 34,6 % steigen sie im CADC road auf + 64 % an (siehe Tabelle 18). Weiters ist ein großer Unterschied zwischen den einzelnen Testfahrzeugen ersichtlich. Während Testfahrzeug 4 etwa auf PKW-Niveau liegt, sind die NO_x -Emissionen der Testfahrzeuge 1 und 2 in Autobahnzyklen etwa doppelt so hoch wie die von Testfahrzeug 4 (siehe Abbildung 8).

Tabelle 18: Verhältnis der NO_x -Emissionen des Durchschnitts der SUV zum PKW-Durchschnitt (EURO 4).

Zyklus	NO_x -Emissionen SUV/PKW
NEDC kalt	135 %
CADC urban	116 %
CADC road	165 %
CADC motorway	130 %

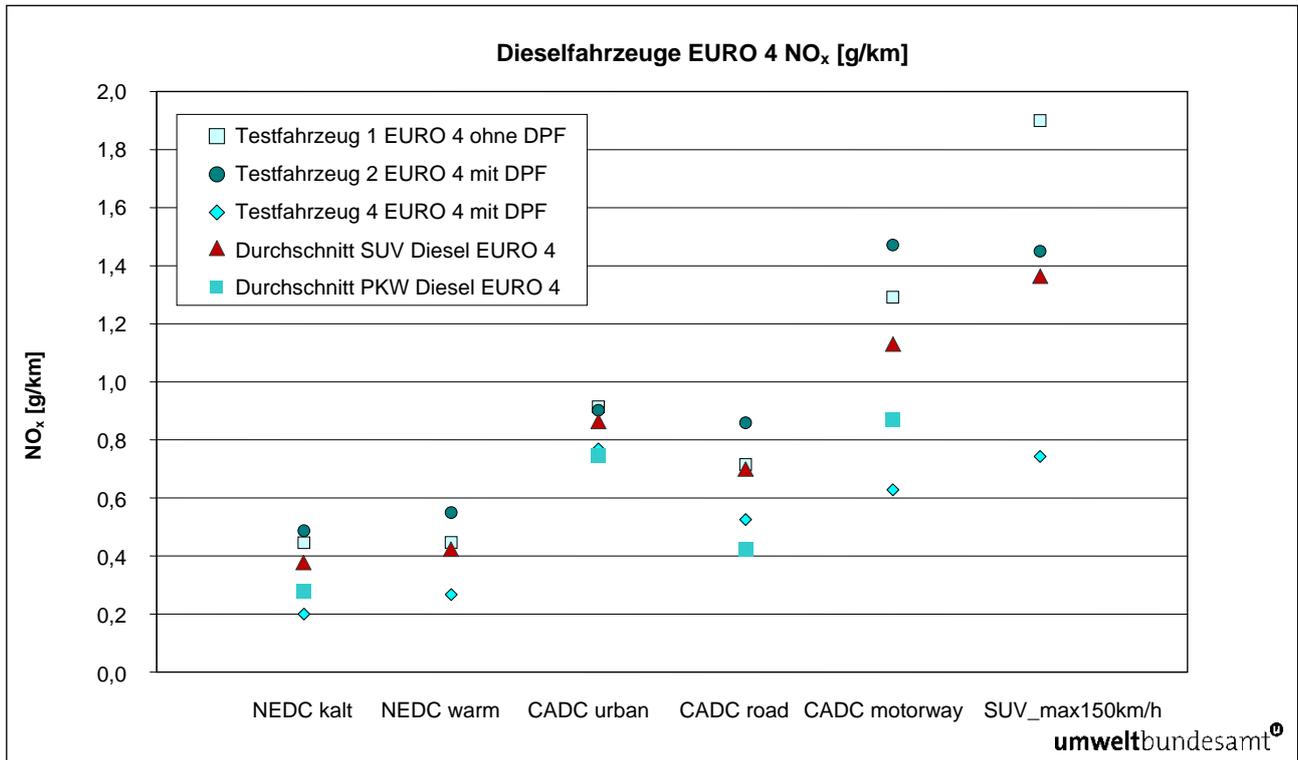


Abbildung 8: NO_x-Emissionen für EURO 4 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Die SUV mit Partikelfilter weisen Emissionen der Partikelmasse auf gleich niedrigem Niveau wie aktuelle PKW mit Dieselpartikelfilter auf. Das SUV ohne DPF zeigt ähnliche Partikelemissionen wie der Durchschnitt der Diesel-PKW (siehe Abbildung 9).

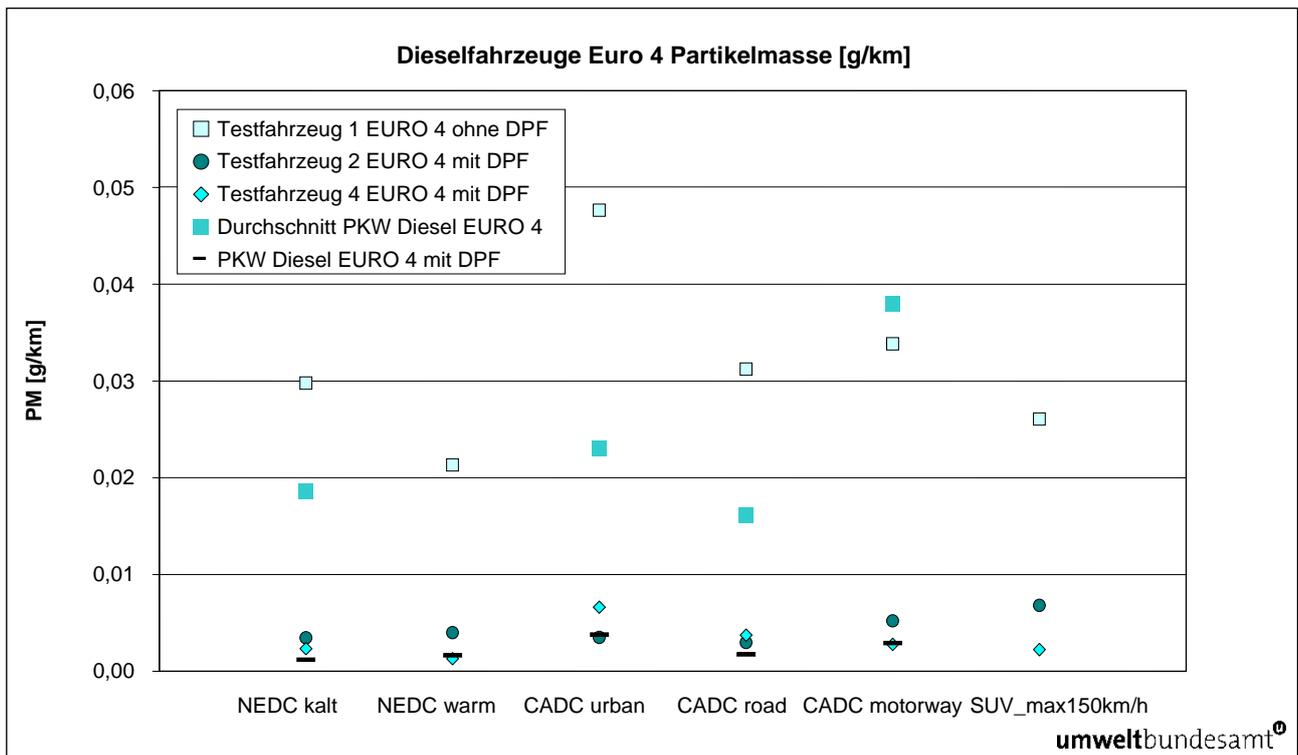


Abbildung 9: Partikelmasse für EURO 4 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Abbildung 10 zeigt die Partikelanzahl der verschiedenen EURO 4 SUV mit Partikelfilter im Vergleich zu einem PKW mit Partikelfilter. Alle KFZ lagen im NEDC zwischen 10^{10} und 10^{11} [# / km]. Bei Testfahrzeug 2 wurden mit steigender Last höhere Emissionen gemessen, die aber noch deutlich unter Werten von Dieselfahrzeugen ohne Filter liegen. Für das Testfahrzeug 1 stehen keine Partikelanzahlwerte zur Verfügung, da das Messsystem zu diesem Zeitpunkt defekt war.

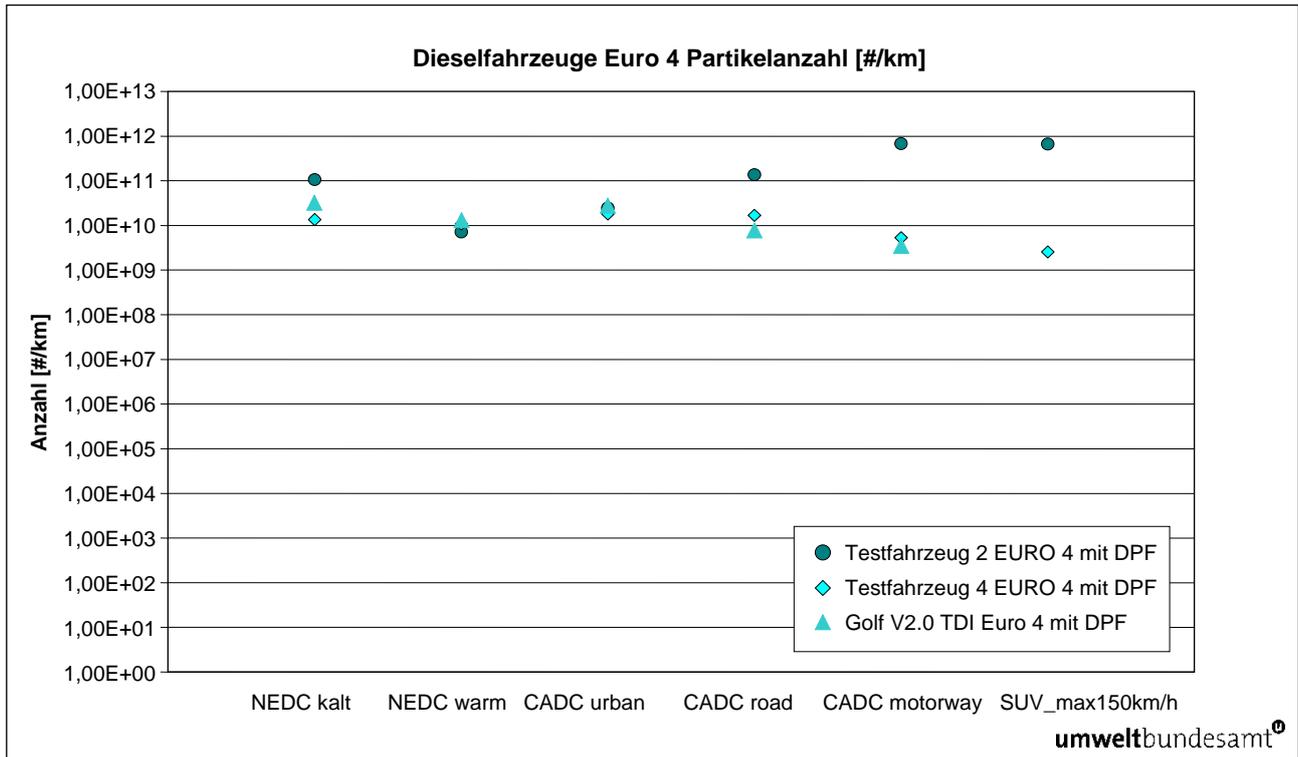


Abbildung 10: Partikelanzahl für EURO 4 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

3.2.2 EURO 3 Diesel

Bei den EURO 3 Testfahrzeugen zeigt Tabelle 19 relativ ähnliche Verhältnisse für Verbrauch und CO₂-Emissionen zwischen SUV und PKW, wie sie bei den EURO 4 Testfahrzeugen auftraten.

Tabelle 19: Verhältnis der CO₂-Emissionen des Durchschnitts der SUV zum PKW-Durchschnitt (EURO 3).

Zyklus	CO ₂ -Emissionen SUV/PKW
NEDC kalt	157 %
CADC urban	135 %
CADC road	144 %
CADC motorway	166 %

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der einzelnen KFZ sowie die Durchschnittswerte. Im Vergleich zu EURO 4 sind die absoluten Verbrauchswerte nicht wesentlich unterschiedlich.

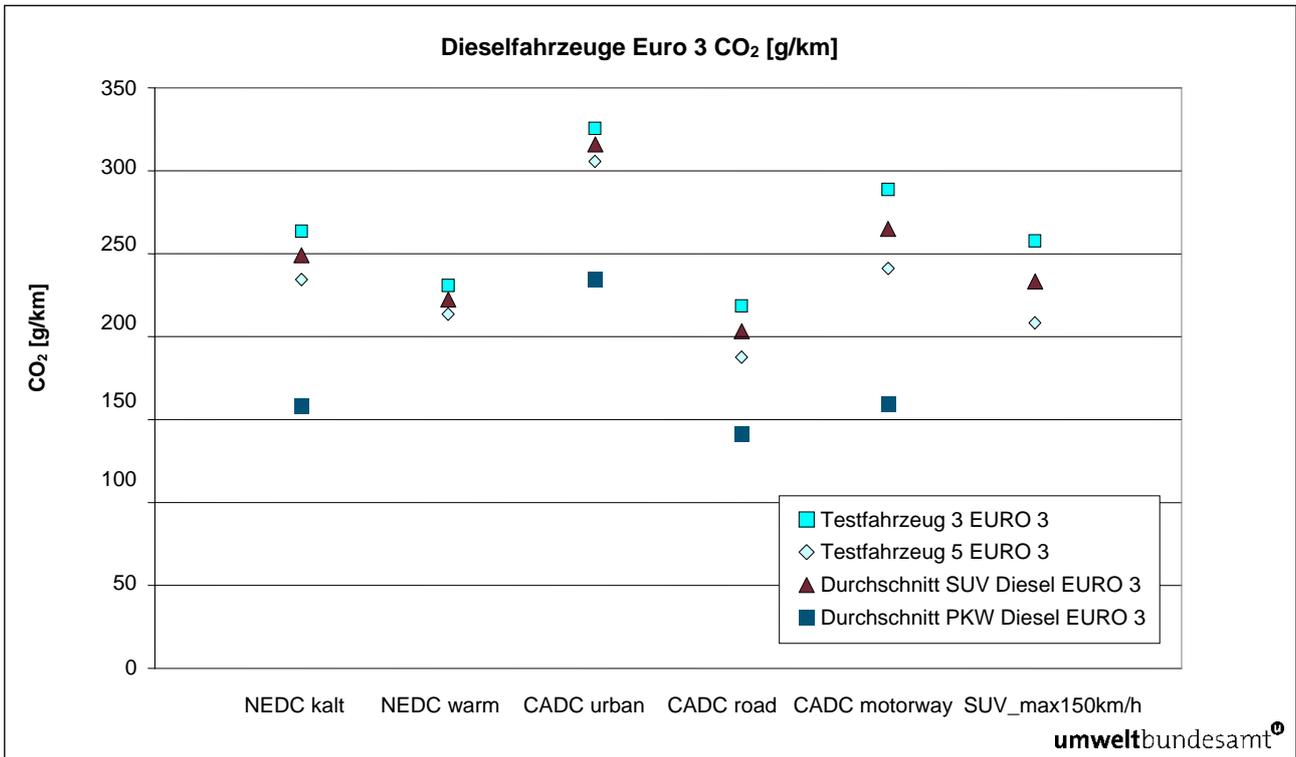


Abbildung 11: CO₂-Emissionen für EURO 3 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Auch die EURO 3 SUV zeigen höhere NO_x-Emissionen als die PKW. Im CADC motorway ergaben sich im Vergleich zum Durchschnitt der EURO 3 Diesel-PKW die doppelten NO_x-Emissionen (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Verhältnis der NO_x-Emissionen des Durchschnitts der SUV zum PKW-Durchschnitt (EURO 3).

Zyklus	NO _x -Emissionen SUV/PKW
NEDC kalt	104 %
CADC urban	124 %
CADC road	116 %
CADC motorway	202 %

Auch bei den EURO 3 SUV streuen die Ergebnisse deutlich. Das Testfahrzeug 5 liegt in allen Zyklen klar unter den Emissionswerten des Testfahrzeuges 3 und zeigt nur im Autobahnzyklus höhere NO_x-Emissionen als der Durchschnitt der PKW.

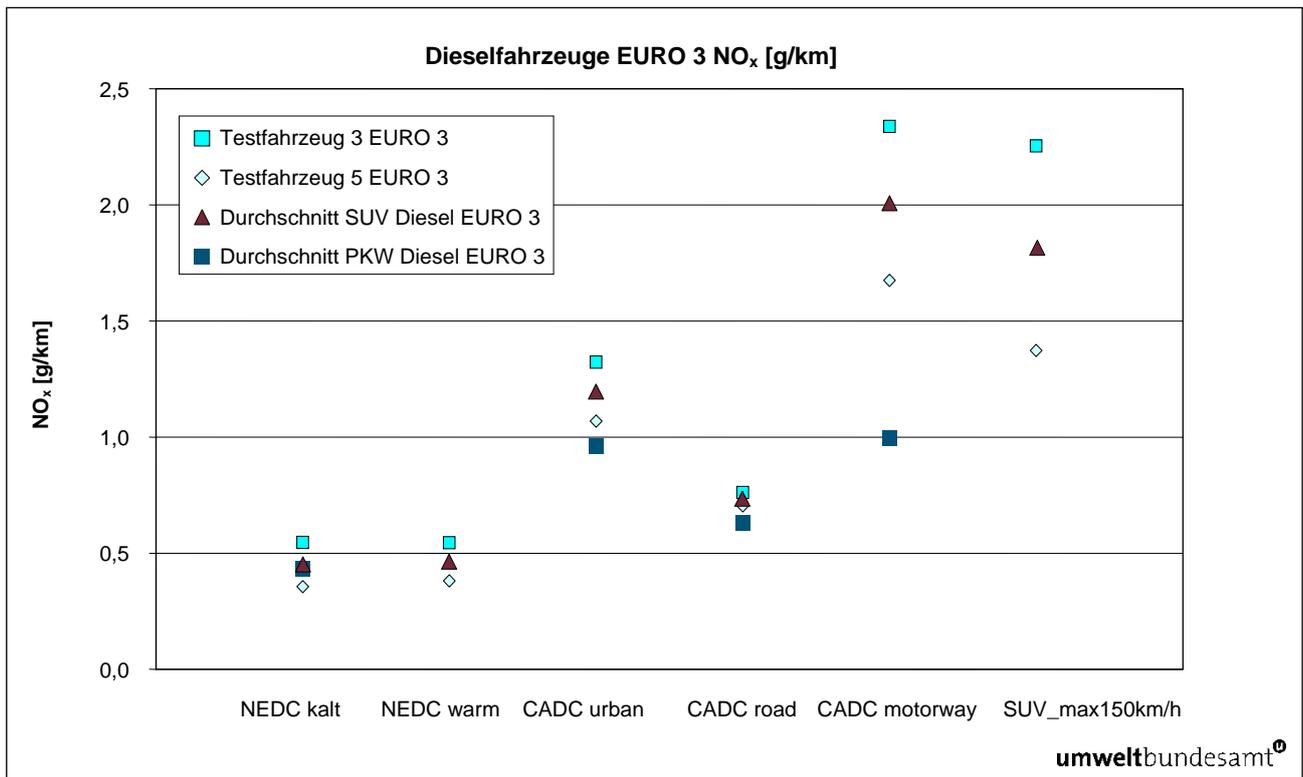


Abbildung 12: NO_x-Emissionen für EURO 3 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Bei der Partikelmasse der Euro 3 Fahrzeuge ist – ähnlich wie bei EURO 4 – der Unterschied zwischen SUV und PKW gering.

Tabelle 21: Verhältnis der Partikelmasse des Durchschnitts der SUV zum PKW-Durchschnitt (EURO 3).

Zyklus	PM-Emissionen SUV/PKW
NEDC kalt	140 %
CADC urban	119 %
CADC road	115 %
CADC motorway	68 %

In Abbildung 13 ist die Emission der Partikelmasse für die EURO 3 Testfahrzeuge in den einzelnen Zyklen dargestellt. Das Testfahrzeug 5 liegt in allen Tests klar unter dem Niveau des Testfahrzeuges 3 und auch unter dem Niveau des Durchschnitts der EURO 3 Diesel PKW.

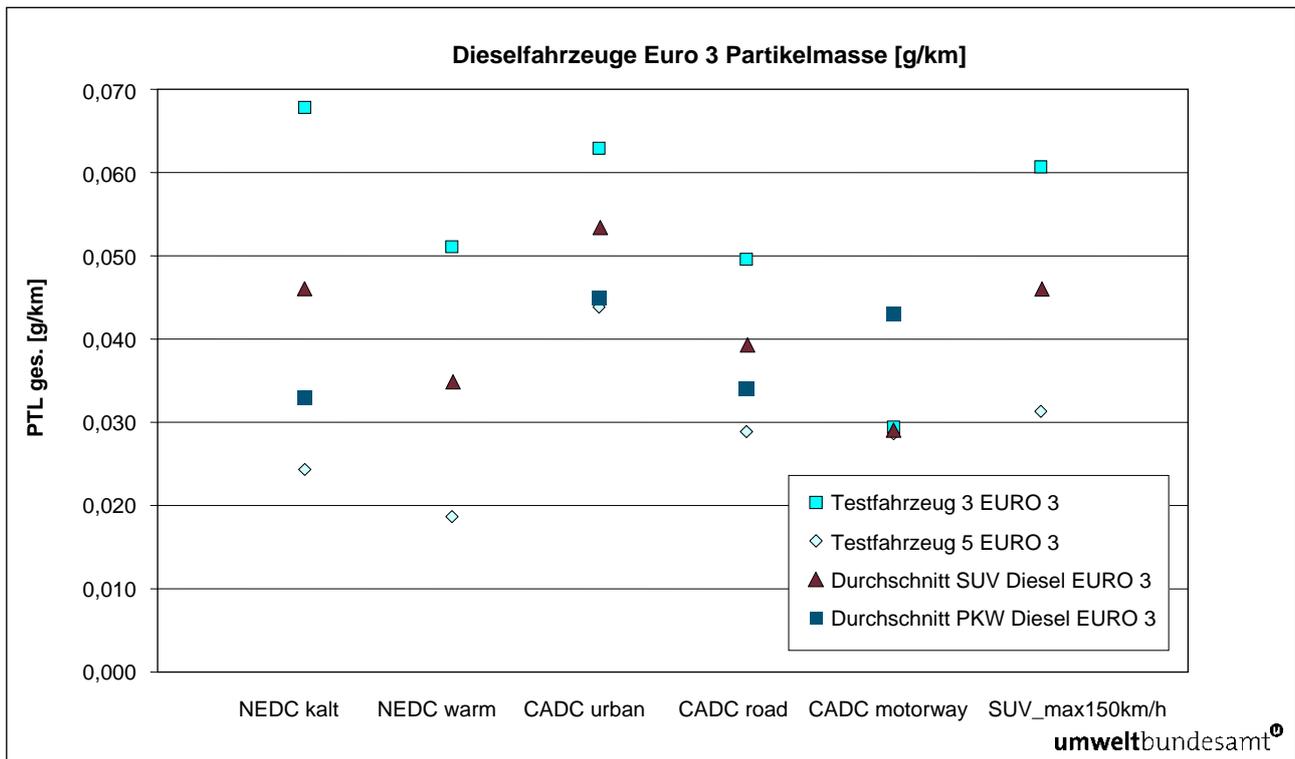


Abbildung 13: Partikelmasse für EURO 3 Dieselfahrzeuge in den verschiedenen Testzyklen.

Auf eine Gegenüberstellung der Emissionsniveaus von SUV mit EURO 4 Typisierung und SUV mit EURO 3 Typisierung wird verzichtet, da die Stichprobe für haltbare Aussagen zu klein ist.

3.2.3 Vergleich Diesel- und Ottomotorisierung

Für den Quervergleich zwischen Diesel- und Ottomotorisierung wurde bewusst zweimal ein typengleiches Fahrzeug mit unterschiedlichem Motorkonzept gewählt.

Beim Verbrauch und damit auch bei den CO₂-Emissionen ist das Dieselfahrzeug klar im Vorteil. Im Vergleich zum typgleichen Testfahrzeug 2 mit Dieselmotor betrug der Mehrverbrauch des Fahrzeugs mit Ottomotor 6 % bis 18 %. Im Vergleich zu durchschnittlichen EURO 4 Diesel-PKW wies das Testfahrzeug 6 einen Mehrverbrauch zwischen 79 % und 115 % auf.

Tabelle 22: Verhältnis CO₂-Emissionen SUV zu PKW.

Zyklus	Emissionen Otto SUV/Diesel SUV
NEDC kalt	116 %
CADC urban	118 %
CADC road	111 %
CADC motorway	106 %

Im Testzyklus CADC urban sowie auch im NEDC ist der Einfluss des Teillastbereiches stark erkennbar. Dieser führt wegen der dort besonders relevanten Drosselverluste von Ottomotoren beim Testfahrzeug 6 zu relativ hohen Verbrauchswerten und CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 14).

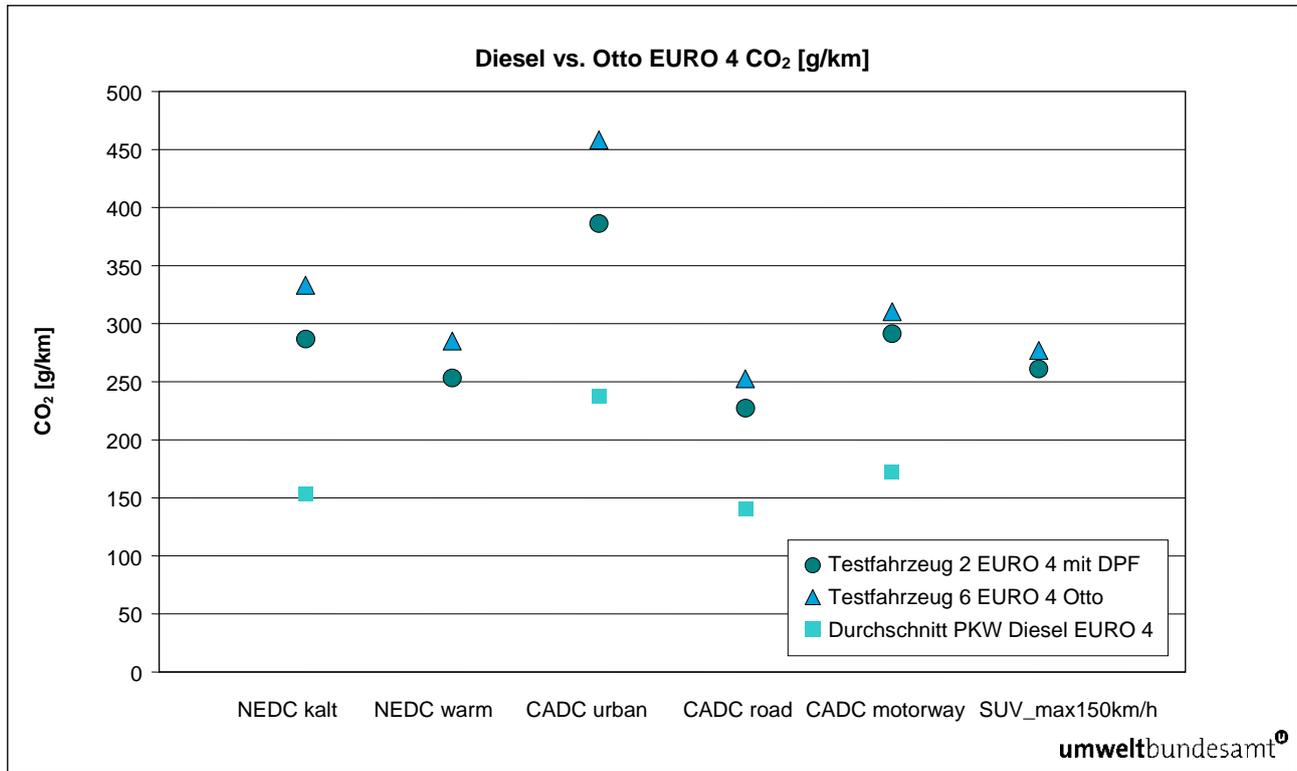


Abbildung 14: CO₂ – Vergleich zwischen Diesel- und Otto-Fahrzeug.

Bei den NO_x-Emissionen ist die Wirksamkeit des 3-Wegekatalysators im Testfahrzeug 6 erkennbar. Die NO_x-Emission des Otto-SUV sind um ein Vielfaches niedriger als die des Diesel SUV (je nach Zyklus -94 % bis -99,7 %) und auch deutlich niedriger als jene des Durchschnitts Diesel PKW. Das SUV mit Ottomotor zeigte erwartungsgemäß auch in keinem der Testzyklen Anstiege im NO_x-Niveau.

Tabelle 23: Verhältnis NO_x-Emissionen SUV zu PKW.

Zyklus	Emissionen Otto SUV/Diesel SUV	Emissionen Otto SUV/Diesel PKW
NEDC kalt	6,1 %	10,6 %
NEDC warm	3,3 %	n. v.
CADC urban	2,4 %	2,9 %
CADC road	1,0 %	2,1 %
CADC motorway	0,3 %	0,4 %
SUV_max150 km/h	1,5 %	n. v.

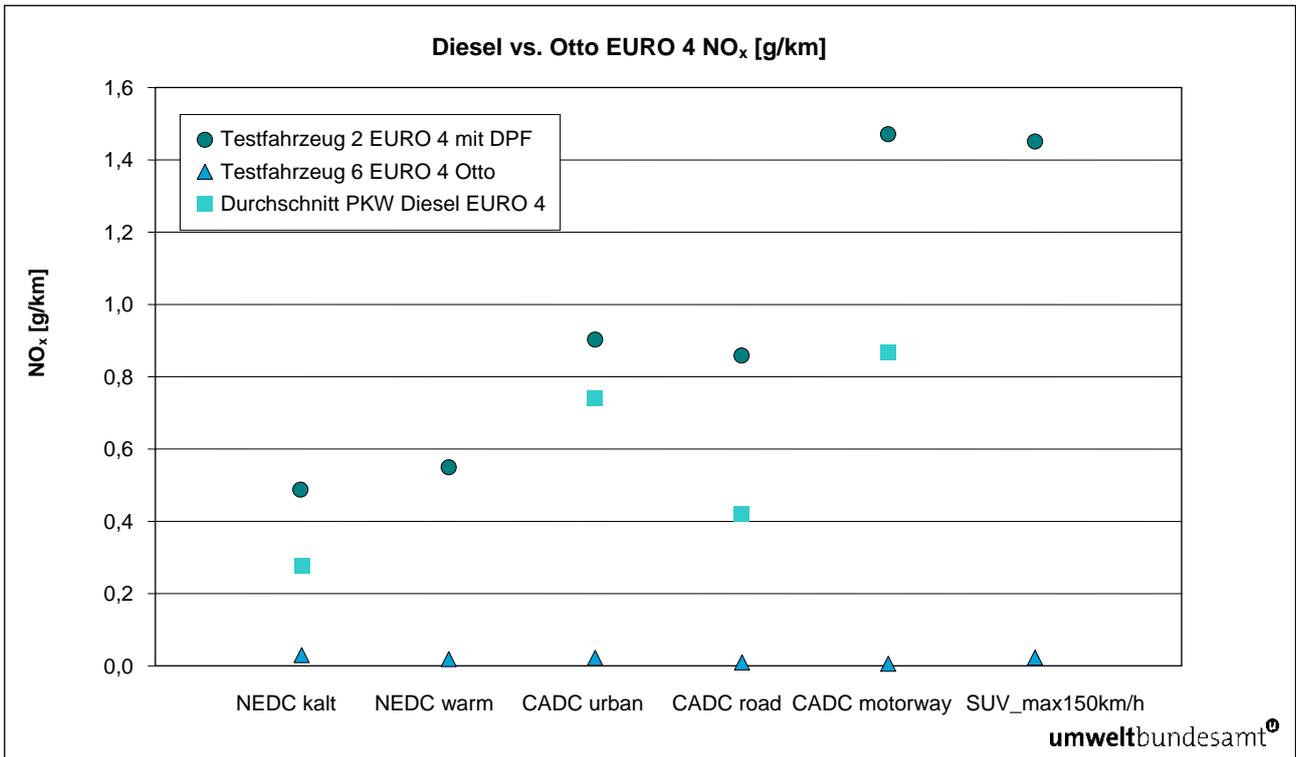


Abbildung 15: NO_x – Vergleich zwischen Diesel- und Otto-Fahrzeug.

Der Vergleich der emittierten Partikelmasse (siehe Abbildung 16) zeigt, dass das Testfahrzeug 2 mit Dieselpartikelfilter beinahe auf demselben niedrigen Niveau liegt wie das ottomotorische Fahrzeug.

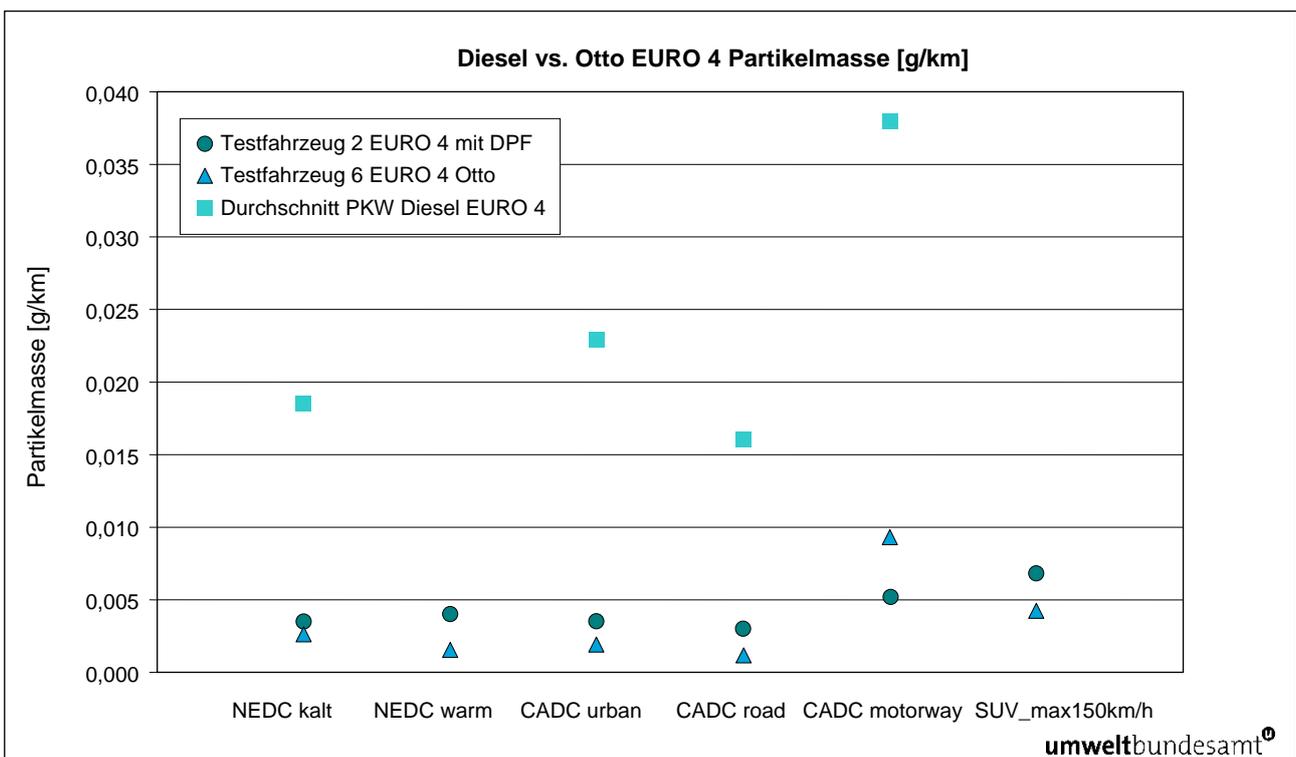


Abbildung 16: Partikelmasse – Vergleich zwischen Diesel- und Otto-Fahrzeug.

Obwohl das Testfahrzeug mit Ottomotor eine etwas geringere Partikelmasse im Vergleich zu dem Dieselfahrzeug aufweist, liegt die emittierte Partikelanzahl höher als jene des Testfahrzeuges 2 mit DPF (siehe Abbildung 17). Dies lässt den Schluss zu, dass ein deutlicher Dichteunterschied zwischen den emittierten Partikeln vorhanden sein muss.

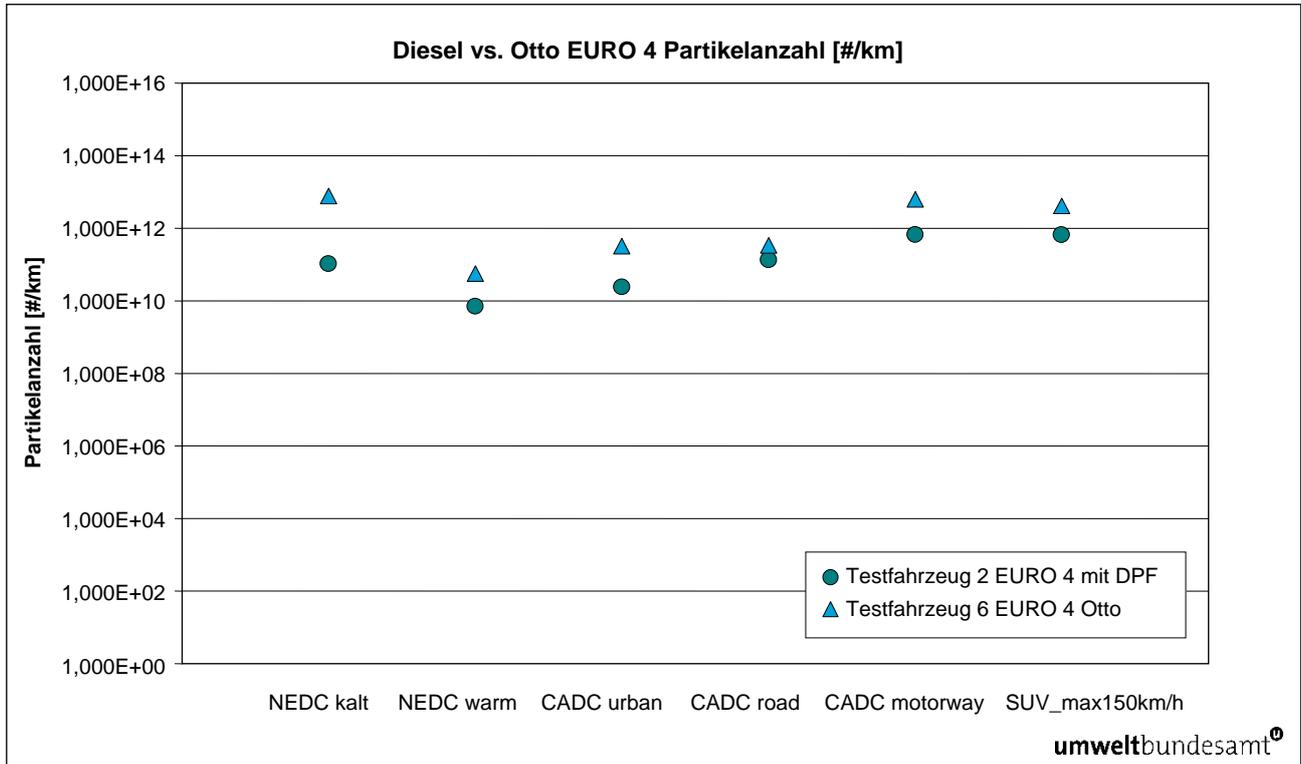


Abbildung 17: Partikelanzahl – Vergleich zwischen Diesel- und Otto-Fahrzeug.

In den – für die Motorisierung des Testfahrzeuges 6 – eher niederlastigen Zyklen lagen die CO-Emissionen auf niedrigem Niveau. Bei steigender Last erfolgt aber eine Gemischanfettung, die speziell im „SUV_max150 km/h“-Zyklus zu hohen CO- und auch HC-Emissionswerten führt (im Lastpunkt $v = 150$ km/h wurde ein Lambda von 0,92 gemessen). Die einzelnen Konstantpunkte werden in Kapitel 3.4 dargestellt.

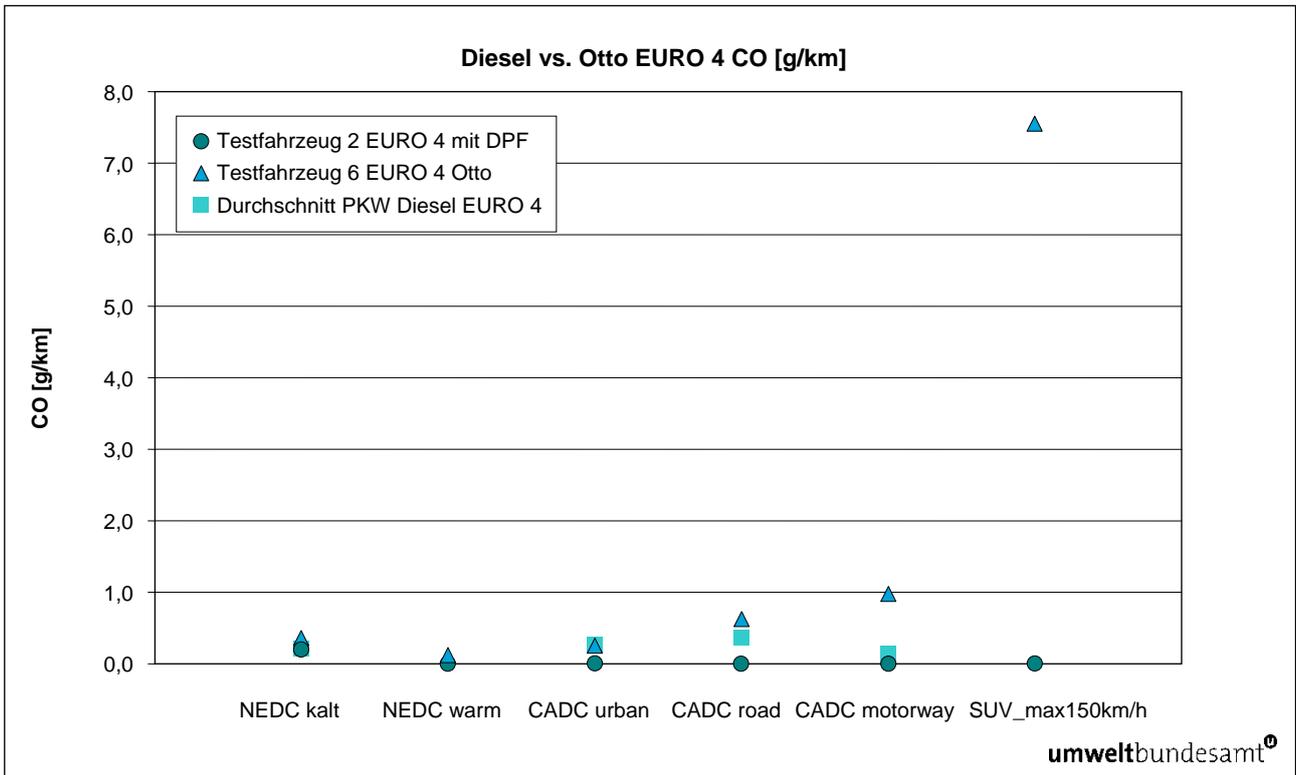


Abbildung 18: CO – Vergleich zwischen Diesel- und Otto-Fahrzeug.

3.3 Partikelfilterregeneration

Da das Testfahrzeug 2 während des Messbetriebes in die Regenerationsphase des Dieselpartikelfilters kam, ergab sich die Möglichkeit, diesen Betriebszustand mit dem Normalbetrieb zu vergleichen (siehe Tabelle 24).

Im Stadtzyklus CADC urban ist bei Regeneration ein merklicher Verbrauchsanstieg von 35 % ersichtlich, weiters kommt es in diesem Zyklus während der Regenerationsphase zu einem deutlich höheren Ausstoß an CO und HC.

Tabelle 24: Gesamtübersicht der Emissionen in der Regenerationsphase inkl. Abweichung zum Normalbetrieb.

		CO ₂ [g/km]	CO [g/km]	HC [g/km]	NO _x [g/km]	HC + NO _x [g/km]	PM [g/km]	Verbrauch [l/100 km]
normaler Betrieb	urban	386,1	0,006	0,011	0,902	0,912	0,003	14,7
	road	227,2	0,004	0,002	0,854	0,856	0,003	8,6
	motorway	291,4	0,004	0,001	1,471	1,472	0,005	11,1
Regeneration	urban	521,3	0,110	0,230	1,544	1,774	0,010	19,9
	road	227,1	0,000	0,003	0,863	0,867	0,003	8,6
	motorway	320,6	0,007	0,034	1,390	1,424	0,025	12,2
Abweichung in %	urban	35,0 %	1.792,7 %	2.075,3 %	71,2 %	94,4 %	186,1 %	35,2 %
	road	-0,1 %	-100,9 %	38,0 %	1,1 %	1,2 %	-6,5 %	-0,1 %
	motorway	10,0 %	65,9 %	2.924,4 %	-5,5 %	-3,3 %	387,0 %	10,0 %

Regenerationsbeginn im Motorway-Zyklus, danach Fortsetzung im Urban-Zyklus und Ende während des Road-Zyklus.

Am Temperaturverlauf in Abbildung 19 ist die Regenerationsphase beispielhaft ersichtlich, da eine um etwa 100 °C erhöhte Abgastemperatur nach dem Endschalldämpfer gemessen wurde. Auch die Emissionen der Partikelanzahl waren während der Regeneration deutlich erhöht (die Regeneration startete bereits im vorangegangenen Motorway-Zyklus und endete im nachfolgenden Road-Zyklus).

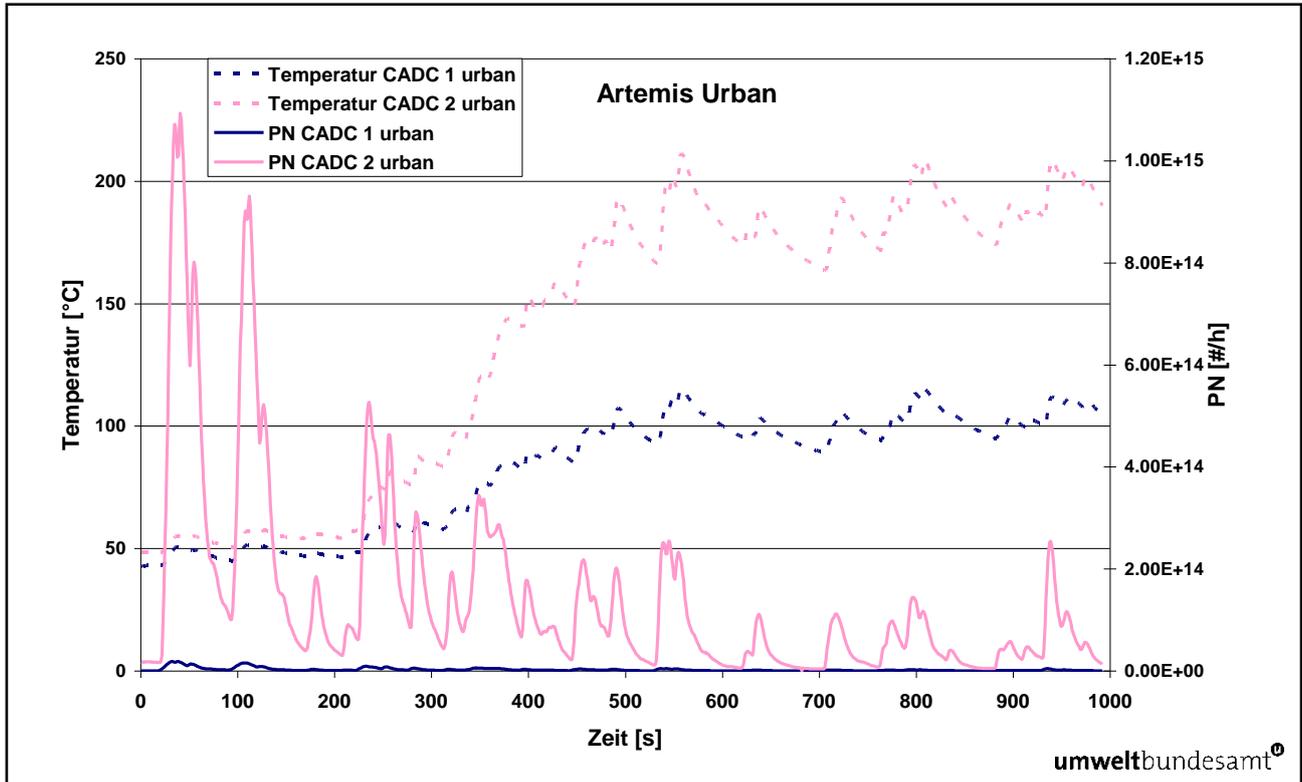


Abbildung 19: Partikelanzahl und Temperaturverlauf (nach Endschalldämpfer) im CADC urban.

3.4 Konstantpunkte

Abschließend werden noch die Konstantpunkte des Zyklus „SUV_max150 km/h“ betrachtet, um eine Aussage über das Emissionsverhalten bei unterschiedlichen, konstanten Geschwindigkeiten treffen zu können.

Auch bei den Konstantfahrten ist der Mehrverbrauch des Testfahrzeuges 6 mit Ottomotor ersichtlich (siehe Abbildung 20). Erwartungsgemäß nimmt der Verbrauch bei steigender Geschwindigkeit bei allen KFZ wegen der höheren Fahrwiderstände stark zu.

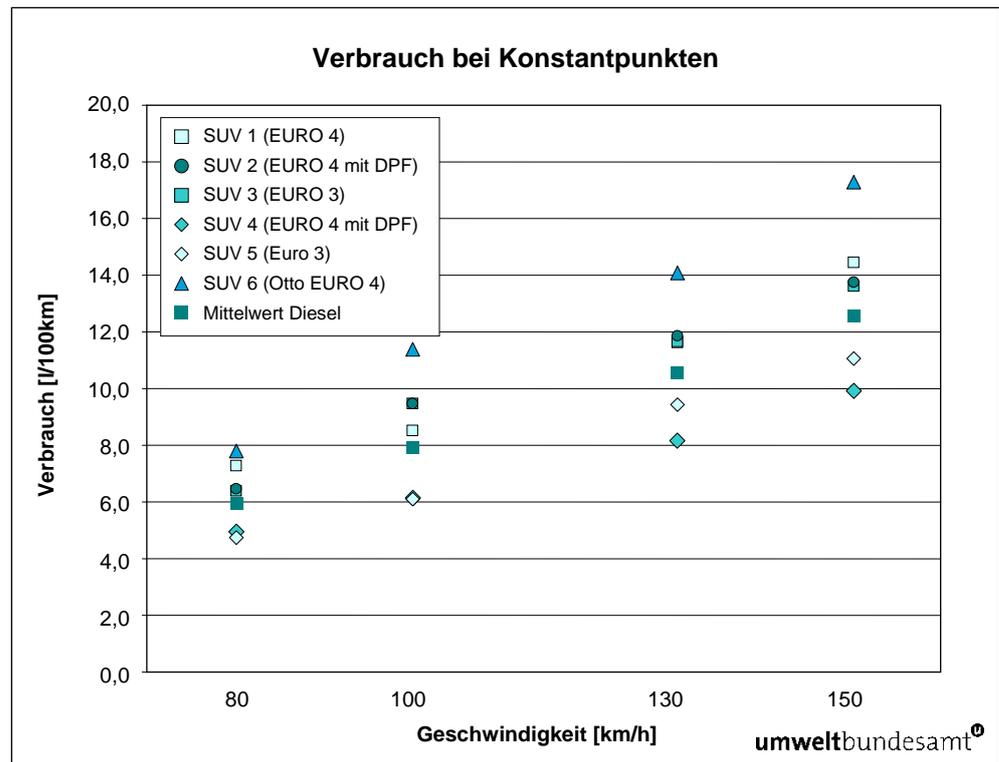


Abbildung 20: Verbrauch der 6 Testfahrzeuge bei konstanten Geschwindigkeiten.

Die NO_x-Emissionen steigen mit höherer Geschwindigkeit bei den Dieselfahrzeugen zum Teil beträchtlich an. Bei dem Testfahrzeug 3 mit EURO 3 Einstufung ist auffällig, dass dieses Fahrzeug bei 80–130 km/h wesentlich mehr NO_x emittiert als die anderen Fahrzeuge (siehe Abbildung 21). Erst im Konstantpunkt bei 150 km/h liegt es auf demselben Niveau wie die anderen Fahrzeuge. Das Testfahrzeug 5, welches ebenfalls eine EURO 3 Einstufung aufweist, liegt hingegen auf demselben Niveau wie die EURO 4 Fahrzeuge. Wieder zeigte das Testfahrzeug 4 die niedrigsten Emissionswerte der getesteten Diesel-SUV.

Für das Testfahrzeug 6 mit Ottomotor ist ersichtlich, dass bei diesem Motorkonzept die NO_x-Emission durch den Dreiwegekatalysator kein Problem darstellt (speziell da dieses SUV bei höheren Lasten mit leicht fettem Gemisch betrieben wird).

Für die Luftqualität auf und neben Autobahnen sind die stark zunehmenden NO_x-Emissionsniveaus der Diesel-SUV bei Geschwindigkeiten jenseits von 130 km/h wahrscheinlich sehr relevant. Von 100 km/h auf 150 km/h nehmen die NO_x-Emissionen im Mittel etwa um das Vierfache zu.

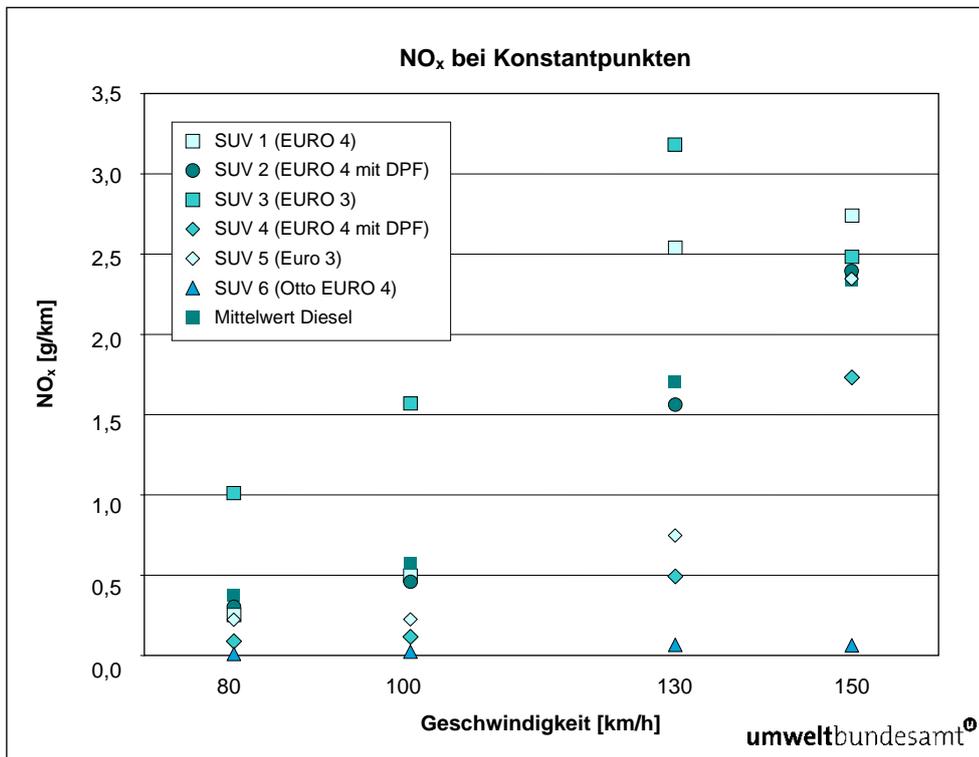


Abbildung 21: NO_x-Emissionen bei konstanten Geschwindigkeiten.

Abbildung 22 stellt die Emissionsniveaus der gemessenen EURO 4 Diesel-SUV Messwerten an zwei EURO 5 Sattelfahrzeugen mit 40 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht, halb beladen, gegenüber. Die Messungen an den Sattelfahrzeugen wurden im Auftrag des Lebensministeriums und des Umweltbundesamt am Nutzfahrzeugrollenprüfstand der TU-Graz durchgeführt. In Abbildung 22 sind jeweils repräsentative, reale Fahrzyklen ausgewählt.

Die NO_x-Emissionen je Kilometer sind im Stadtverkehr bei den Sattelfahrzeugen deutlich höher als die der SUV. Der Unterschied war zu erwarten, da Sattelfahrzeuge innerorts deutlich höhere Antriebsleistungen benötigen – es muss ja etwa die 14-fache Masse gegenüber den SUV beschleunigt werden. Zudem deckt der Testzyklus zur Typisierung von Nutzfahrzeugmotoren (ETC, ESC) die städtischen Lastkollektive kaum ab, so dass hier eine umfangreichere Optimierung zu niedrigeren Verbrauchswerten unter Inkaufnahme erhöhter NO_x-Emissionen erfolgen kann. Als ein Effekt dieser Unzulänglichkeiten des Typprüfzyklus erreicht der NO_x-Katalysator (SCR) der getesteten EURO 5 Sattelfahrzeuge Innerorts teilweise nicht die Betriebstemperatur.

Anders sieht das Verhältnis im Autobahnverkehr aus. Die elektronisch geregelte Maximalgeschwindigkeit von etwa 87 km/h bei Nutzfahrzeugen hält den Bedarf an Antriebsarbeit eher gering und der Typprüfzyklus deckt die meisten bei Autobahnfahrten auftretenden Lasten gut ab. Bei SUV (und auch PKW) ist der Geschwindigkeitsbereich über 120 km/h in der Typprüfung nicht abgedeckt, so dass hier höhere NO_x-Emissionen zur Erreichung leicht verringerter Verbrauchswerte in Kauf genommen werden können. Zusammen mit den höheren Geschwindigkeiten (durchschnittlich etwa 116 km/h im mittleren Autobahnverkehr) ergeben sich so für die SUV NO_x-Emissionen auf dem Niveau moderner Sattelfahrzeuge. Bei der 150 km/h Konstantfahrt sind die NO_x-Emissionen der SUV je Kilometer Autobahnfahrt im Mittel sogar um mehr als 50 % höher als die eines Sattelzugfahrzeuges.

Da die getesteten SUV etwa 50 % des NO_x als NO_2 ausstoßen, die Sattelzugfahrzeuge aber nur etwa 10 % NO_2 -Anteil an den NO_x -Emissionen haben, könnten die schweren Diesel-PKW bald eine wesentliche Quelle bei autobahnnahe Über-schreitungen von NO_2 -Grenzwerten nach IG-Luft werden.

Hier besteht also Handlungsbedarf. Der Testzyklus sollte adaptiert und die höheren Grenzwerte² für die Klassen II und III (schwerere Fahrzeuge) der PKW über-dacht werden. Es sollte auch möglichst bald ein hochlastiger Zusatzzyklus in die Typisierung aufgenommen werden.

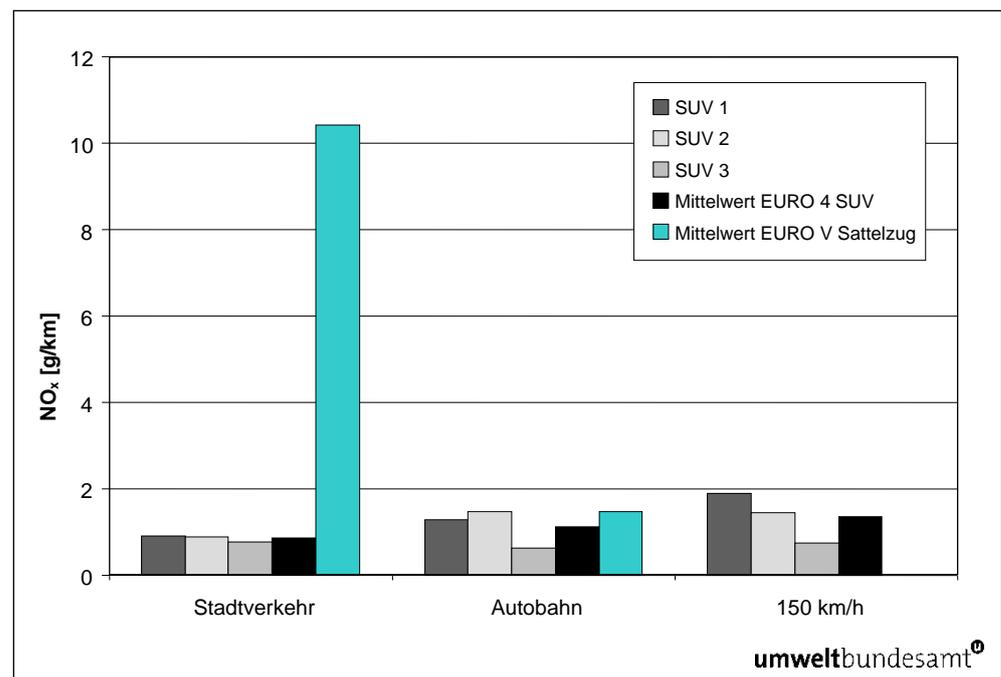


Abbildung 22: NO_x -Emissionen von EURO 4 SUV und EURO 5 Sattelzügen im Vergleich.

Nachfolgend findet sich ein direkter Vergleich der NO_2 -Emissionen von SUV und einem EURO 5 Sattelzug. Die NO_2 -Emissionen des Sattelzuges sind bei Autobahngeschwindigkeit wesentlich geringer als bei den SUV.

Tabelle 25: NO_2 -Emissionen von EURO 4 SUV und EURO 5 Sattelzügen im Vergleich.

Fahrzeug	NO_2 -Emissionen [g/km]		
	Stadtverkehr	Autobahn	150 km/h
SUV 1	0,356	0,574	0,9
SUV 2	0,565	0,621	0,65
SUV 4	0,504	0,332	0,33
Mittelwert EURO 4 SUV	0,479	0,516	0,62
Mittelwert Sattelzug EURO 5	~1,044	~0,147	-

² Die Einführung von EURO 6 erfolgt 2014.

Wie schon in Kapitel 3.2.3 gezeigt, hat das SUV mit Ottomotor bei höherer Last ein hohes CO-Emissionsniveau. Bei den Konstantfahrten zeigt sich durch eine Gemischanfettung bei 150 km/h (Lambda bis auf ca. 0,92) ein deutlicher Anstieg der CO-Emissionen (siehe Abbildung 23).

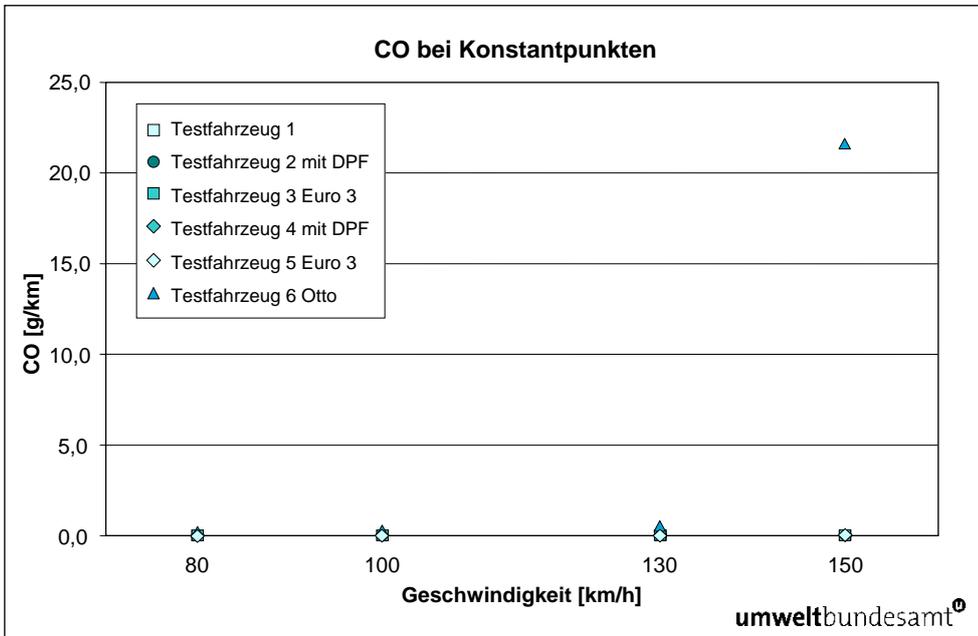


Abbildung 23: CO-Emissionen bei konstanten Geschwindigkeiten.

Abbildung 24 zeigt die Ergebnisse für Kohlenwasserstoffe (HC). Erwartungsgemäß ergeben sich für das ottomotorisch betriebene SUV bei 150 km/h auch deutliche Anstiege im HC-Emissionsniveau. Allerdings liegen selbst dort die HC-Emissionen noch geringfügig unter dem EURO 4 Grenzwert von 0,16 g/km.

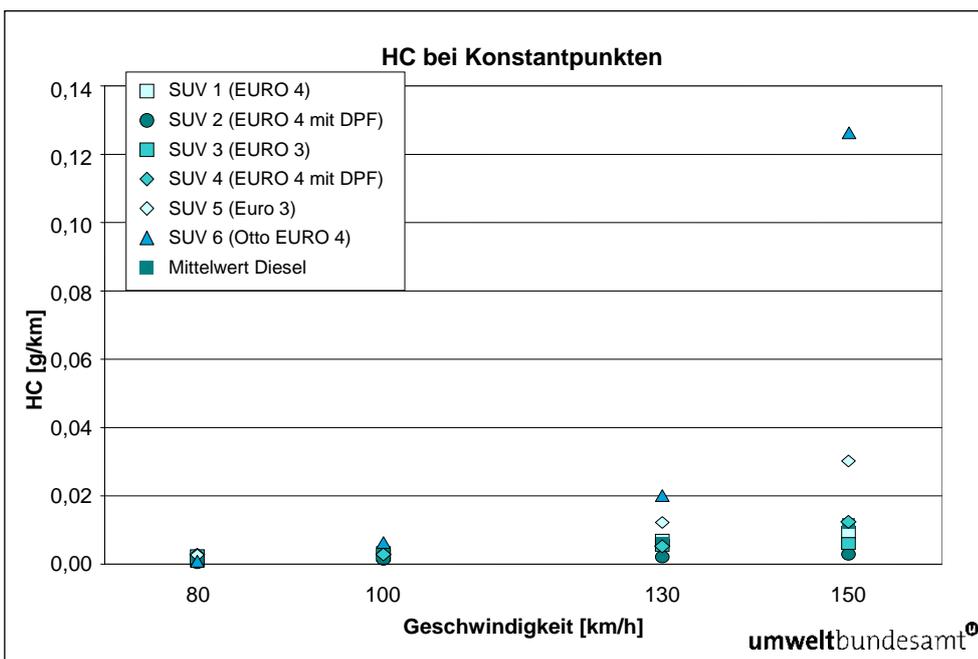


Abbildung 24: HC-Emissionen bei konstanten Geschwindigkeiten.

Die SUV mit Dieselpartikelfilter lagen auch bei den Konstantgeschwindigkeiten bezüglich der Emission der Partikelmasse auf dem selben Niveau wie ein Fahrzeug mit Ottomotor. Die verbauten Partikelfilter zeigten also durchwegs sehr gute Ergebnisse.

Die SUV ohne Dieselpartikelfilter für die die Partikelmasse in den einzelnen Konstantpunkten gemessen wurde, zeigten kein einheitliches Verhalten hinsichtlich der Geschwindigkeit. Die verbrauchsmindernden Maßnahmen, die zur Zunahme der NO_x-Emissionen führen (früherer Spritzbeginn und Verzicht auf AGR) haben partikelmindernde Wirkung, der höhere Leistungsbedarf und die höhere Drehzahl haben – bezogen auf die g/km – eher eine partikelsteigernde Wirkung. Der gesamte Effekt auf die Partikelrohmissionen hängt also von der Motorauslegung und der Applikation ab.

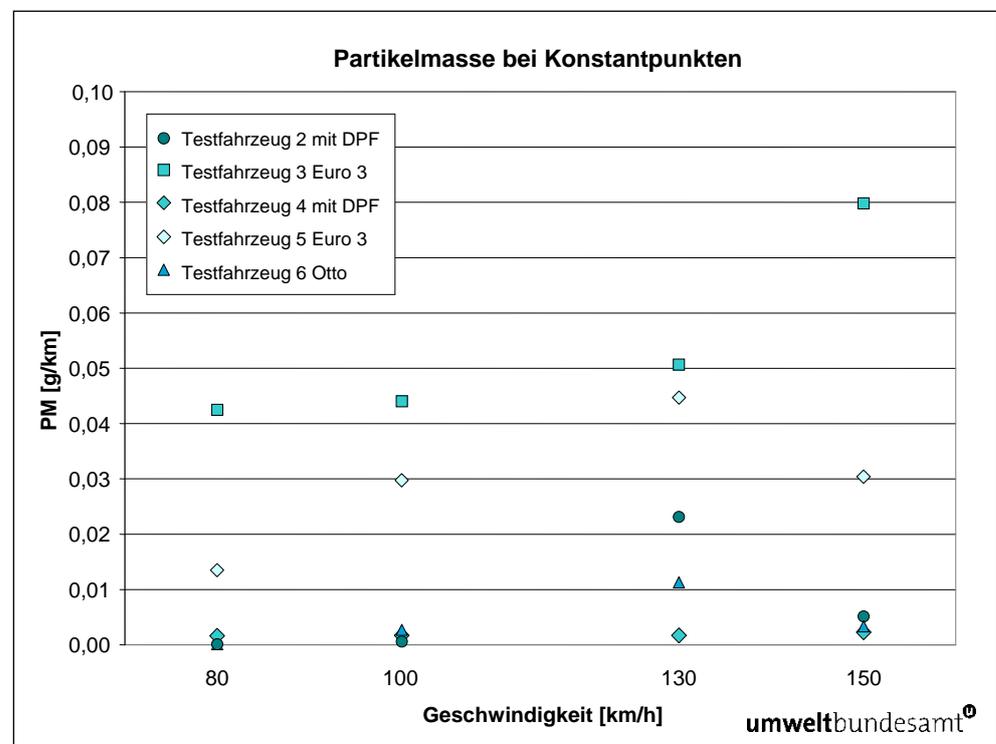


Abbildung 26: Partikelmasse bei konstanter Geschwindigkeit.



4 ABKÜRZUNGEN

AGR	Abgasrückführung
AVL	AVL LIST GMBH
CADC.....	Common Artemis Driving Cycle
CO.....	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
CPC	Condensation Particle Counter
CVS.....	Continuous Volume Sampling
D.A.CH.NL	Deutschland, Österreich, Schweiz und Niederlande
Diesel.....	Fahrzeuge mit Dieselmotor
DPF	Diesel-Partikelfilter
ECE.....	Economic Commission for Europe
ESC.....	European Stationary Cycle
ETC.....	European Transient Cycle
EUDC.....	Extra Urban Driving Cycle
EURO	Europäische Abgasvorschriften für Straßenfahrzeuge
FVT	Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH
HC.....	Kohlenwasserstoffe
IG-L.....	Immissionsschutzgesetz Luft
KFZ	Kraftfahrzeug
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
NEDC.....	New European Driving Cycle
NO.....	Stickstoff-Monoxid
NO ₂	Stickstoff-Dioxid
NO _x	Stickoxide (Summe aus NO und NO ₂)
n.v.	nicht verfügbar
Otto	Fahrzeuge mit Ottomotor (benzinbetrieben)
PKW.....	Personenkraftwagen
PM.....	Particle Mass
PM10.....	Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist
PMP	Particle Measurement Program
PN.....	Particle number



SCR Selective Catalytic Reduction
SMPS..... Scanning Mobility Particle Sizer™
SNF Schweres Nutzfahrzeug
SUV Sports Utility Vehicle
TU-Graz Technische Universität Graz



5 LITERATURVERZEICHNIS

- BOULTER, P.G.; MCCRAE, I.S. (2007): Assessment and reliability of transport emission models and inventory Systems (ARTEMIS); Final Report; DG TREN Contract No. 1999-RD.10429; Deliverable No. 15. London.
- EICHLSEDER, H. (1999/2000): Kolbenmaschinen, Vorlesungsskriptum Graz.
- HAUSBERGER, S. (1997): Globale Modellbildung für Emissions- und Verbrauchsszenarien im Verkehrssektor (Global Modelling of Scenarios Concerning Emission and Fuel Consumption in the Transport Sector); Dissertation am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz. Graz.
- HAUSBERGER, S. (2003): Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions; V KM-THD Mitteilungen; Heft/Volume 82; Verlag der Technischen Universität Graz; ISBN 3-901351-74-4. Graz.
- HAUSBERGER, S. & KOFLER, T. (2006): Fuel Consumption and Emissions of Modern Vehicles Part „Passenger Cars“; Project carried out under contract with BMLFUW; Report No. FVT-06/06/Haus Em 29/04-6770. Graz.
- JOUMARD, R.; ANDRÉ M.; LAURIKKO J.; LE ANH T.; GEIVANIDIS S.; SAMARAS Z.; OLÁH Z.; DEVAUX, P.; ANDRÉ J.M.; CORNELIS, E.; ROUVEIROLLES, P.; LACOUR, S.; PRATI, M.V.; VERMEULEN R. & ZALLINGER M. (2006): Accuracy of exhaust emissions measurements on vehicle bench; Artemis deliverable; Report n LTE 0522.
- KELLER, M.; DE HAAN, P.; KNÖRR, W.; W. HAUSBERGER, S. & Steven, H. (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 2.1 Dokumentation. <http://www.hbefa.net/>.
- REXEIS, M. & HAUSBERGER, S. (2005): ARTEMIS – Assessment and Reliability of Transport Emission Models in Inventory Systems, Final Report of the WP400 – Heavy Duty Vehicles Emissions; Institut für Verbrennungskraftmaschinen & Thermodynamik, TU-Graz.
- REXEIS, M.; HAUSBERGER, S.; VUCKOVIC TH.; KOFLER TH. & STADLHOFFER W. (2007): Development of in-use tests for heavy duty vehicles; by order of Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management; Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology; Federal Environment Agency – Austria; Graz.
- SCHMÖLZER, G. (2006): Optimierung der Probenentnahme bei der Partikelanzahlmessungen an KFZ, Diplomarbeit; Graz.
- ZALLINGER, M.; LE ANH, T. & HAUSBERGER, S. (2005): Improving an instantaneous emission model for passenger cars; Transport & Airpollution Conference; ISBN: 3-902465-16-6, Graz.

Links

http://gelaendewagen.at/artikel07/zulassungen_2006.php: Homepage von allradnews und Geländewagen.



Seit Jahren steigen die Neuzulassungen von SUV und Geländewagen stark an. Das höhere Fahrzeuggewicht im Vergleich zu PKW erfordert den Einsatz einer stärkeren Motorisierung, was Auswirkungen auf das Emissionsverhalten hat. Aufgrund des mittlerweile bedeutenden Flottenanteils wurde eine Untersuchung zur Beurteilung des Emissionsverhaltens von SUV unter realen Fahrbedingungen durchgeführt.

Messdaten von sechs SUV der Emissionsklassen EURO 3 und EURO 4 zeigen, dass gegenüber konventionellen Pkw deutlich höhere Verbrauchswerte und somit höhere CO₂-Emissionen auftreten.

Bei den Luftschadstoffen sind vor allem die NO_x-Emissionen von dieselbetriebenen SUV relevant. Diese NO_x-Emissionen – und hierbei speziell der NO₂-Anteil – liegen bei höheren Geschwindigkeiten im Autobahnverkehr auf bzw. über dem Niveau moderner EURO 5 Sattelzugfahrzeuge.