



Abschlussbericht zum FuE-Projekt

- Projekt:** Untersuchungen zum Einfluss von HVO und PtL auf die Abgasemissionen von Euro 5 / V / EEV Fahrzeugen
SyNaGi-E5-Basis
- Förderrichtlinie:** Entwicklung von Systemen zur Hardware-Nachrüstung von Dieselmotorkraftfahrzeugen der Fahrzeugklassen M1, M2, M3, N1, N2 und N3 der Schadstoffklassen Euro I, II, III, IV, V und EEV oder Euro 3, 4 und 5 sowie mobilen Maschinen vom 15.12.2020
- Förderkennzeichen:** 45SYS00064
- Durchgeführt von:** HJS Emission Technology GmbH & Co. KG
Dieselweg 12
58706 Menden
- Projektlaufzeit:** 27.09.2023 bis 08.03.2024
- Projektleiter:** Stefan Lefarth

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



Bundesanstalt
für Verwaltungsdienstleistungen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) unter dem Förderkennzeichen 45SYS00064 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung trägt der Autor.

Autoren:

Stefan Lefarth, HJS Emission Technology GmbH & Co. KG

Bernd Lindemann, HJS Emission Technology GmbH & Co. KG

Dr. Bernd Maurer, HJS Emission Technology GmbH & Co. KG

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung / Abstract	5
2.	Kurzdarstellung	6
2.1.	Aufgabenstellung	6
2.2.	Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen	7
2.3.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	7
2.4.	Planung und Ablauf des Vorhabens	8
2.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
3.	Stand des Wissens	9
3.1.	Einfluss wesentlicher Kraftstoffparameter auf die dieselmotorische Verbrennung	9
3.2.	Abgasrückführung und Abgasnachbehandlung bei Dieselmotoren	10
3.3.	Synthetische Kraftstoffe	11
3.4.	Einfluss synthetischer Kraftstoffe auf die Emissionen von Dieselfahrzeugen	13
4.	Methoden	15
4.1.	Versuchsdurchführung auf dem Rollenprüfstand	15
4.2.	Versuchsdurchführung bei den PEMS-Messungen Randbedingungen	15
4.3.	Vorgehensweise beim Kraftstoffwechsel	16
4.4.	Detaillierte Beschreibung der Messtechnik	16
5.	Arbeiten und Ergebnisse des Projekts	17
5.1.	AP1 – Forschungsrecherche zu relevanten Bestandsfahrzeugen, Auswahl und Beschaffung der Versuchsträger, Analyse, Definition und Beschaffung notwendigen Testequipments inkl. Kraftstoff	17
5.2.	AP 2 Ausgangstestung mit konventionellem Dieselmotorkraftstoff und Differenztestung mit GtL - und HVO - Kraftstoffen	35
5.3.	AP 3 Alterungstest (Raffungsdauerlauf)	66
5.4.	AP 4 Testung der Fahrzeuge nach Dauerlauf	71
5.5.	AP 5 Auswertung der Ergebnisse vor und nach Dauerlauf	76
6.	Diskussion der Ergebnisse	77

6.1.	Darstellung Stand des Wissens	77
6.2.	Bewertung der Auslegungsstrategie der einzelnen Fahrzeuge	80
6.3.	Einfluss der Kraftstoffe bei Fahrzeugen ohne AGR und ohne DPF: Erklärung am Beispiel Atego	82
6.4.	Einfluss der Kraftstoffe bei Fahrzeugen mit DPF und wenig Abgasrückführung: Erklärung am Beispiel des T5:	83
6.5.	Einfluss der Kraftstoffe bei Fahrzeugen mit DPF und hoher Abgasrückführung: Erklärung am Beispiel Touareg	84
6.6.	Einfluss der Kraftstoffe auf die NOx-Emission	85
6.7.	Einfluss der Kraftstoffe auf die PN-Emissionen	88
7.	Ausarbeitung der Lösungsansätze geeigneter Abgasnachbehandlungssysteme für den Betrieb mit synthetischen Kraftstoffen	92
8.	Fazit	93
9.	Angaben zu Projekt, Verwertung und Veröffentlichungen	95
9.1.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	95
9.2.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	95
9.3.	Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse	95
10.	Quellenverzeichnis	98
11.	Abkürzungen	99
12.	Anhang	100
12.1.	Detaillierte Beschreibung der Messtechnik	100
12.2.	Einzelergebnisse WLTC-Messungen	116

1. Zusammenfassung / Abstract

Der Einsatz erneuerbarer, klimaschonender Kraftstoffe in Bestandsfahrzeugen kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele des Verkehrssektors leisten.

Derartige Kraftstoffe unterscheiden sich aber in der chemischen Zusammensetzung und ihren Eigenschaften von herkömmlichen Kraftstoffen. Diese führen zu Einflüssen sowohl auf den motorischen Verbrennungsprozess als auch auf die nachgeschaltete Abgasnachbehandlung und damit auf das Emissionsverhalten der Bestandsfahrzeuge.

Um den Einsatz synthetischer Kraftstoffe in Bestandsfahrzeugen hinsichtlich wesentlicher umwelt- und gesundheitsrelevanter Aspekte abzusichern, werden eine Reihe von Projekten für Dieselfahrzeuge geplant, die wie folgt aufeinander aufbauen:

Phase 1: Untersuchung des Einflusses von HVO und vor allem XtL-Kraftstoffen auf die Emissionen an ausgewählten Fahrzeugen der Emissionsstufe 5/V (2 PKW, 2 LDV, 2 LKW) und erste Diskussion möglicher Abhilfemaßnahmen.

Phase 2: Aufbau von Demonstratoren zur Optimierung der Abgasemissionen (2 PKW, 2 LDV, 2 LKW, 2 Busse) beim Einsatz mit XtL-Kraftstoffen in Fahrzeugen der Emissionsstufe Euro 5/V.

Phase 3: Ausrollen der optimierten Abgasanlagen in der Breite (Fahrzeugpalette).

In Phase 1 (Gegenstand des vorliegenden Abschlussberichtes) wurde ein deutlicher Einfluss in zweierlei Hinsicht festgestellt: sowohl auf die Stickoxidemissionen (NO_x) als auch auf die Partikelemissionen (PN). Der Einfluss ist je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich, es wurden Messungen mit Erhöhungen von bis zu 60% für Stickoxide und Faktor 10 und mehr für die Partikelanzahl nachgewiesen.

Das bedeutet, dass sich unter Verwendung von synthetischem Kraftstoff die für Euro 5 Fahrzeuge im realen Verkehr bekannt hohen Emissionen zum Teil weiter verschlechtern.

Vor diesem Hintergrund sollen im Rahmen der in Phase 2 geplanten Nachfolgeprojekte Demonstrator-Fahrzeuge mit optimierten Abgasanlagen dargestellt werden, die in der Lage sind, die in Phase 1 festgestellten Verschlechterungen mindestens zu kompensieren.

Im Einklang mit den einbezogenen wissenschaftlichen Sachverständigen bestätigen die Ergebnisse aus Phase 1 zusammengefasst fahrzeugabhängig einen verschlechternden Einfluss synthetischer Kraftstoffe auf das Emissionsverhalten von Bestandsfahrzeugen. Hieraus bedingt sich die Notwendigkeit entsprechend neuer, technisch geeigneter Emissionsminderungssystemen für Bestandsfahrzeuge. Dies begründet die Sinnhaftigkeit der Folgevorhaben der Phasen 2 und 3.

2. Kurzdarstellung

2.1. Aufgabenstellung

Hintergrund des hier beantragten Projekts ist die Forderung zusätzlicher Maßnahmen, um die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor unter Einbeziehung der mit fossilem Kraftstoff betriebenen Bestandsflotte zu senken und somit den oben genannten Prozess der Dekarbonisierung des Verkehrssektors zu unterstützen und zu beschleunigen. Eine vielversprechende Maßnahme in diesem Zusammenhang ist die Umrüstung von Bestandsfahrzeugen auf CO₂-neutrale Kraftstoffe. Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei der Verbrennung der Kraftstoffe neben CO₂ und H₂O auch Schadstoffe entstehen. Insbesondere die Bildung von Stickstoffoxiden (NO_x) und Feinstaub ist dabei kritisch zu bewerten, da beide Schadstoffe maßgeblich die Luftqualität beeinträchtigen und sich stark auf die Gesundheit der Bevölkerung und die Umwelt auswirken. Bei der Umstellung auf CO₂-neutrale Kraftstoffe muss also unter allen Umständen vermieden werden, dass der Einsatz synthetischer Kraftstoffe zu einer unerwünschten Erhöhung der Abgas-Emissionen (Stickoxide, Feinstaub und weitere) und damit der Immissionsbelastung insbesondere im städtischen Umfeld führt.

Inhalt des vorliegenden Projektes war die Untersuchung von ausgewählten, marktrelevanten Bestandsfahrzeugen der Klassen PKW, LDV und LKW der Emissionsstufe 5/V in Hinblick auf deren Emissionsverhalten beim Betrieb mit den CO₂-neutralen, synthetischen Kraftstoffen nach DIN 15940, genauer mit HVO und XtL sowie eine erste Diskussion möglicher Abhilfemaßnahmen.

Das Projekt griff das Ziel des Fördergebers auf, Brückentechnologien bereitzustellen, die die unvermeidbare Weiternutzung von Bestandsmotoren auch unter ökologischen Aspekten ermöglicht, bis eine überwiegende Elektrifizierung durch Austausch des Fahrzeugbestandes erfolgt ist. Im Projekt sollte festgestellt werden, welchen Einfluss der Betrieb mit den ausgewählten Kraftstoffen HVO und XtL auf die vorhandene, herstellereitig implementierte Emissionsminderungstechnik unter den in der Förderrichtlinie vorgegebenen Betriebsbedingungen hat. Zusätzlich sollte ermittelt werden, ob mögliche unter den Gesichtspunkten zukünftiger Gesetzgebungen reglementierte Sekundäremissionen (z. B. Ammoniak, Lachgas, Methan) durch den Betrieb mit den für dieses Projekt ausgewählten Kraftstoffen erhöht sind. Schließlich sollte in diesem Projekt untersucht werden, ob bei der Umstellung von Bestandsfahrzeugen der Emissionsstufe 5/V auf die Kraftstoffe HVO und XtL erhöhte Abgasemissionen auftreten und die im Fahrzeug implementierte Abgastechnik auch nach dem Dauerlauf ohne Einschränkung funktioniert. Hintergrund war, dass bisher keine eindeutigen Informationen / Studienergebnisse vorlagen, die den Einfluss der ausgewählten Kraftstoffe auf das Abgasverhalten von Bestandsfahrzeugen in dem dargestellten Umfang be- oder widerlegen.

Ziel war darüber hinaus, im Fall einer entsprechenden Verifikation von Einflüssen, die zu einer Erhöhung der Emissionen führen oder führen können, entsprechende Lösungsansätze zu skizzieren, die das Emissionsniveau mindestens wieder auf den ursprünglichen Stand bringen und möglichst darüber hinaus in Richtung Euro 7-Grenzwerte zu verbessern.

Auf Grund der mangelnden Aussagekraft vorhandener Studien lag der Fokus dieses Projektes darin, zunächst den Handlungsbedarf zu verifizieren. Auf Basis dieser Erkenntnisse sollen dann in weiteren, anschließenden Vorhaben geeignete Systemlösungen ausgearbeitet, validiert und für die breite Bestandpalette ausgerollt werden.

Das vorliegende Vorhaben wurde entsprechend im Rahmen der Bekanntmachung „Entwicklung von Systemen zur Hardware-Nachrüstung von Dieselmotorkraftfahrzeugen der Fahrzeugklassen M1, M2, M3, N1, N2 und N3 der Schadstoffklassen Euro I, II, III, IV, V und EEV oder Euro 3, 4 und 5 sowie mobilen Maschinen“ inklusive Änderungsbekanntmachungen durchgeführt.

2.2. Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Das vorliegende FuE-Projekt „SyNaGi-E5-Basis“ wurde im Rahmen der Bekanntmachung der „Förderrichtlinie für die Entwicklung von Systemen zur Hardware-Nachrüstung von Dieselmotorkraftfahrzeugen der Fahrzeugklassen M1, M2, M3, N1, N2 und N3 der Schadstoffklassen Euro I, II, III, IV, V und EEV oder Euro 3, 4 und 5 sowie mobilen Maschinen vom 15.12.2020 gefördert.

Der Bezug dieses Projektes zu den förderpolitischen Zielen bestand vor allem darin, den Handlungsbedarf für die Entwicklung neuer oder angepasster Abgasnachbehandlungssysteme zu verifizieren, um gegebenenfalls auf Basis dieser Erkenntnisse in weiteren, anschließenden Vorhaben geeignete Systemlösungen auszuarbeiten.

Bei der Durchführung des Projektes wurden die technischen Anforderungen an Stickoxid-Minderungsanlagen für die jeweiligen Fahrzeugarten gemäß dem relevanten Anhang der Förderrichtlinie (BANz AT 10.07.2019 B6) als Mindestanforderung berücksichtigt.

Das Vorhaben war der industriellen Forschung zuzurechnen und wurde innerhalb der Laufzeit vom 27.09.2023 bis 08.03.2024 durchgeführt.

2.3. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

HJS ist ein mittelständisches, inhabergeführtes Unternehmen mit langjähriger Erfahrung und Kompetenz im Bereich der Abgasnachbehandlung für Verbrennungsmotoren. HJS zählt zu den weltweit führenden Anbietern modularer Systeme zur Reduzierung von Schadstoffemissionen für Neu- und Bestandsmotoren und setzt in diesem Bereich mit Innovationen ausgehend vom Standort in NRW national und weltweit Maßstäbe.

Die Absicherung und der Ausbau dieser führenden Stellung des mittelständischen Unternehmens HJS mit Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze am Standort NRW mittels hochmoderner Umweltschutz-Technologien zur Reduktion von Emissionen aus Verbrennungsmotoren sind ständige Aufgaben des Unternehmens im Interesse von Mensch und Umwelt. Daher hatte HJS in der Vergangenheit bereits eine Reihe von Projekten durchgeführt, auf deren Ergebnisse und Erkenntnisse im vorliegenden Vorhaben aufgebaut bzw. zurückgegriffen werden konnte.

Somit bestanden beste Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens.

2.4. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde vom 27.09.2023 bis 08.03.2024 durchgeführt. Wesentliche Arbeitsschritte waren die Auswahl der Fahrzeuge, die Vorbereitung und Durchführung von Untersuchung zu herkömmlichem Diesel (B7-Diesel entsprechend EN 590), HVO sowie XtL anhand von Rollenprüfstandtests und Testfahrten, die Dauerlauferprobung und die Analyse und Bewertung der gemessenen Emissionen.

Im Verlauf des Projektes erwies sich das untersuchte Emissionsverhalten der Fahrzeuge als sehr komplex und zusätzliche Auswertungen sowie Analysen als dienlich, um das Emissionsverhalten und schließlich den Bedarf neuer Lösungen zur Abgasnachbehandlung sorgfältig bewerten zu können. Somit erfolgte eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um einen Monat. In diesem Zeitraum konnten die Arbeiten erfolgreich durchgeführt und das Emissionsverhalten sowie der Bedarf an neuen Lösungen für die Abgasnachbehandlung der Fahrzeuge für den Betrieb mit synthetischen Kraftstoffen bewertet werden. Die Projektziele wurden somit erreicht.

Die Kosten der Durchführung liegen innerhalb der Kostenplanung.

2.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde als Einzelprojekt durchgeführt. Eine Zusammenarbeit mit Dritten erfolgte im Rahmen unterschiedlicher Unteraufträge.

Neben den beauftragten qualifizierten Dienstleistern wurden zur Erweiterung der technischen Expertise Lehrstühle unterschiedlicher Hochschulen einbezogen.

Im Einzelnen sind dies:

- Prof. Dr. Bernd Bartunek (Institut für Fahrzeugantriebstechnik der FH Südwestfalen, Iserlohn) mit einer Stellungnahme zum Betriebsverhalten von Fahrzeugen beim Einsatz CO₂-neutraler, synthetischer Kraftstoffe)

- Prof. Dr. sc. techn. Thomas Koch, Dipl.-Ing. (Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Kolbenmaschinen) mit einer Stellungnahme zum Einfluss des Kraftstoffentstehungsprozesses auf die nachgelagerten Eigenschaften eines dieselmotorischen Kraftstoffes.
- Prof. Dr.-Ing. Vinod Rajamani (Fahrzeugdynamik, FH Dortmund) mit einer Stellungnahme zu regenerativen Kraftstoffen.

3. Stand des Wissens

3.1. Einfluss wesentlicher Kraftstoffparameter auf die dieselmotorische Verbrennung

Die Kraftstoffparameter haben einen erheblichen Einfluss auf den Verbrennungsprozess in einem Dieselmotor. Nachstehend sind die für das Projekt wesentlichen Parameter und ihr Einfluss dargestellt.

Cetanzahl: Die Cetanzahl ist ein Maß dafür, wie schnell der Kraftstoff verbrennt. Höhere Cetanzahlen führen zu schnelleren und gleichmäßigeren Verbrennungsprozessen, während niedrigere Cetanzahlen zu Verzögerungen oder unvollständiger Verbrennung führen können. Eine optimale Cetanzahl ist entscheidend für eine effiziente und saubere Verbrennung.

Dichte: Die Dichte des Kraftstoffs beeinflusst die Kraftstoffeinspritzung und die Durchmischung mit Luft. Eine angemessene Dichte gewährleistet eine gleichmäßige Verbrennung und optimale Leistung.

Flammpunkt: Der Flammpunkt gibt die Temperatur an, bei der sich ein Kraftstoff entzündet. Ein niedriger Flammpunkt kann zu unkontrollierter Verbrennung und Motorproblemen führen.

Aromaten- und Alkengehalt: Aromatische und alkenische Verbindungen im Dieselmotor können die Bildung von Schadstoffen wie Ruß und Stickoxiden beeinflussen. Ein niedriger Aromaten- und Alkengehalt führt in der Regel zu weniger Schadstoffemissionen.

Die genaue Auswirkung dieser Parameter kann je nach Motorentyp, Einspritzsystem, Abgasnachbehandlungstechnologien und anderen Faktoren variieren. Daher ist es wichtig, Kraftstoffe zu verwenden, die den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Motors entsprechen, um optimale Leistung, Effizienz und Emissionskontrolle zu gewährleisten.

3.2. Abgasrückführung und Abgasnachbehandlung bei Dieselmotoren

Die Abgasrückführung (AGR) und die Abgasnachbehandlung sind zwei wichtige Technologien zur Reduzierung von Emissionen bei Dieselmotoren. Hier ist ein Überblick über ihren Einfluss auf die Emissionen:

Abgasrückführung (AGR): Die AGR reduziert die Stickoxid- (NO_x)-Emissionen, indem ein Teil der Abgase in den Verbrennungsraum zurückgeführt wird. Dies führt zu niedrigeren Verbrennungstemperaturen, da die inertialen Gase die Menge an Sauerstoff reduzieren, was wiederum die NO_x-Emissionen verringert.

Eine effektive AGR erfordert präzise Steuerungssysteme, um den richtigen Anteil an rückgeführtem Abgas zu gewährleisten, um gleichzeitig die NO_x-Emissionen zu reduzieren, ohne die Verbrennungseffizienz zu beeinträchtigen.

Sinkende NO_x-Emissionen durch AGR führen im allgemeinen zu einem Anstieg der Partikelemissionen. Daher ist eine wirksame Partikelfilterung erforderlich, um die Gesamtemissionen zu kontrollieren.

Abgasnachbehandlung: Abgasnachbehandlungssysteme, wie Dieseloxidationskatalysatoren (DOC), Dieselpartikelfilter (DPF) und selektive katalytische Reduktion (SCR), spielen eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung von Schadstoffemissionen bei Dieselmotoren.

Der Dieseloxidationskatalysator wandelt Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) in weniger schädliche Verbindungen wie Kohlendioxid (CO₂) und Wasser um.

Der Dieselpartikelfilter (DPF) fängt Rußpartikel ein und verbrennt sie periodisch bei erhöhten Temperaturen, wodurch die Partikelemissionen reduziert werden.

Die selektive katalytische Reduktion (SCR) verwendet eine Harnstofflösung (AdBlue) und einen Katalysator, um Stickoxide (NO_x) in Stickstoff (N₂) und Wasser umzuwandeln, wodurch die NO_x-Emissionen signifikant reduziert werden.

Moderne Dieselfahrzeuge verwenden oft eine Kombination aus diesen Abgasnachbehandlungstechnologien, um strenge Emissionsvorschriften zu erfüllen und gleichzeitig die Leistung und Effizienz des Motors zu erhalten.

Zusammenfassend tragen sowohl die Abgasrückführung als auch die Abgasnachbehandlung erheblich zur Reduzierung von Emissionen bei Dieselmotoren bei. Durch die Integration dieser Technologien können Hersteller die strengen Umweltvorschriften einhalten und gleichzeitig die Leistung und Effizienz ihrer Fahrzeuge optimieren.

3.3. Synthetische Kraftstoffe

Klassischerweise werden Kraftstoffe vorwiegend aus Erdöl produziert. Bei alternativen, paraffinischen Kraftstoffen (auch als XTL-Kraftstoffe bezeichnet) wird hingegen auf eine andere Rohstoffbasis zurückgegriffen. Das „X“ steht für eine beliebige Rohstoffvariable. Das „TL“ für „to-Liquid“. Der Rohstoff kann entweder einen „biogenen“ oder „synthetischen“ Herkunftsscharakter aufweisen. Biogene Kraftstoffe werden aus Pflanzen, Pflanzenresten und biogenen Abfällen oder Gülle gewonnen. Deshalb heißen sie auch Biokraftstoffe. Zu Ihnen gehören z. B. HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) oder auch BtL (Biomass-to-Liquid). Synthetische Kraftstoffe hingegen werden chemisch aus unterschiedlichen Rohstoffquellen hergestellt. Sie können zum Beispiel aus Erdgas (GtL: Gas-to-Liquid) oder Strom (PtL: Power-to-Liquid) gewonnen werden.

HVO wird durch eine katalytische Reaktion mit Wasserstoff (Hydrierung) in Kohlenwasserstoffe umgewandelt (s. Abbildung 1). Durch diesen Prozess werden die Pflanzenöle in ihren Eigenschaften an fossile Kraftstoffe angepasst. HVO kann dem Dieselkraftstoff beigemischt werden.

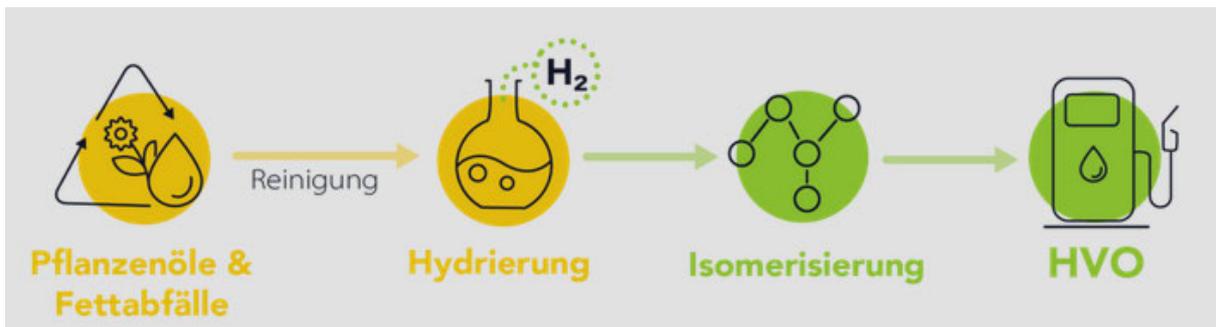


Abbildung 1: Herstellungsverfahren von HVO

Zur Herstellung von GTL wird zunächst Synthesegas (CO und H_2) durch partielle Oxidation von Erdgas erzeugt. Das Synthesegas wird anschließend im Fischer-Tropsch-Verfahren zu flüssigen Kohlenwasserstoffen, einem „synthetischen Rohöl“, umgewandelt. Dieses synthetische Rohöl wird weiterverarbeitet und zu hochwertigen paraffinischen Produkten fraktioniert.

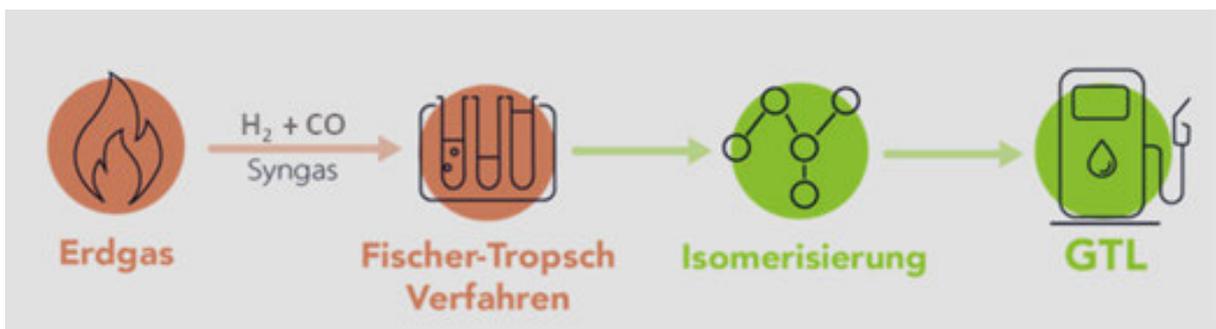


Abbildung 2: Herstellungsverfahren von GTL

Auch PtL wird aus Synthesegas erzeugt und mit Hilfe der Fischer-Tropsch-Synthese in langkettige, flüssige Kohlenwasserstoffe umgesetzt. Die Ausgangsstoffe zur Herstellung des Synthesegases sind Wasser, Kohlenstoffdioxid und elektrische Energie.

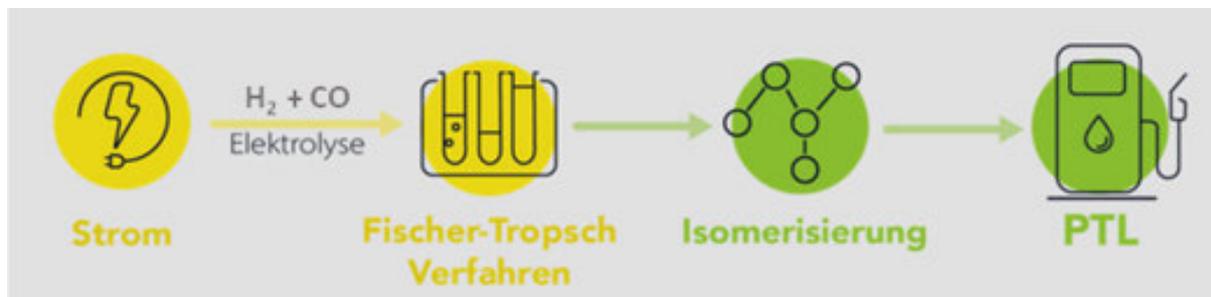


Abbildung 3: Herstellungsverfahren von PtL

Die Herstellung dieser Kraftstoffe befindet sich noch in der Entwicklungsphase, vereinzelt können bereits einige Projekte damit betrieben werden (Tool-Fuel)(Tool-Fuel).

Bedingt durch die chemische Zusammensetzung unterscheiden sich die Eigenschaften paraffinischer Kraftstoffe von denen des regulären Dieselkraftstoffes. Sie erfüllen in Reinform daher nicht die Anforderung der Norm für Dieselkraftstoffe (DIN EN 590), die in Deutschland maßgeblich ist, sondern sind in einer separaten Norm (DIN EN 15940) geregelt. Einige wesentliche Eigenschaften der Kraftstoffe HVO und GtL sind in Tabelle 1 im Vergleich zu Dieselkraftstoff dargestellt.

Tabelle 1: Eigenschaften von paraffinischen Kraftstoffen im Vergleich zu Diesel (Wiertalla und Severin)(Wiertalla und Severin)

Eigenschaft	Einheit	Diesel EN 590	HVO EN 15940	GtL EN 15940
Dichte bei 15°C	kg/m ³	≈ 835	775 - 785	770 - 785
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	≈ 3,5	2,5 – 3,5	3,2 – 4,5
Cetanzahl	-	≈ 53	≈ 80 - 99	≈ 73 - 81
Siedebereich	°C	≈ 180 -360	≈ 180 - 320	≈ 190 - 330
Unterer Heizwert	MJ/kg	≈ 42,7	≈ 44,0	≈ 43,0
Unterer Heizwert	MJ/l	≈ 35,7	≈ 34,4	≈ 34,0
Aromatengehalt	Gew.-%	≈ 30	0	0
Polyaromatengehalt	Gew.-%	≈ 4	0	0
O ₂ -Gehalt	Gew.-%	0	0	0
S-Gehalt	mg/kg	< 10	< 10	< 10

3.4. Einfluss synthetischer Kraftstoffe auf die Emissionen von Dieselfahrzeugen

Der Einsatz synthetischer Kraftstoffe ist vielversprechend, da diese einen deutlichen Beitrag zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks von Dieselmotoren leisten können. Eine Möglichkeit zur Herstellung regenerativer Kraftstoffe ist die Hydrobehandlung von Pflanzenölen, um hydriertes Pflanzenöl (HVO) zu erhalten, das sich in verschiedenen Untersuchungen als vielversprechender Ersatz für Diesel erwiesen hat.

HVO hat im Vergleich zu Diesel eine viel flachere Siedekurve mit einer höheren Siedeanfangstemperatur. Außerdem hat HVO eine Dichte von 770-790 kg/m³, die niedriger ist als die von Diesel [(Sugiyama) (Sugiyama)]

Die Cetanzahl von 80 ist aufgrund des geringen Aromatengehalts höher als die von Diesel [(Sugiyama) (Sugiyama), (Bhardwaj) (Bhardwaj)], während der gravimetrische Heizwert etwa 3 % höher ist als der von Diesel. Durch den Einfluss der Dichte ist der relevante volumetrische Heizwert jedoch um 4% geringer. [(Bhardwaj) (Bhardwaj)] Bei GtL ist der Heizwert nahezu identisch (siehe Tabelle 1 in 3.3). Die mit HVO durchgeführten Tests zeigen, dass die Zündverzögerung aufgrund der höheren Cetanzahl deutlich geringer ist [(Richter) (Richter)]. Die NO_x-Emissionen sind niedriger als bei Diesel [(Richter) (Richter) (d'Ambrosio) (d'Ambrosio)]. Andere Quelle zeigen hingegen leicht erhöhte Emissionen bei der Verbrennung mit HVO.

Der Wirkungsgrad der NO_x-Abgasnachbehandlung bei HVO-Betrieb war bei niedrigen Lasten geringer [(Richter) (Richter)], was möglicherweise auf den schnelleren Verbrennungsprozess zurückzuführen ist, der zu niedrigeren Abgastemperaturen führt. Dies ist ein möglicher Entwicklungsbereich für künftige Nachbehandlungssysteme mit verbesserter Leistung bei niedrigen Temperaturen.

Es wurde festgestellt, dass die Partikelmasse mit denen von Dieselmotoren vergleichbar sind [(Richter) (Richter)] oder bei entsprechender Motorkalibrierung sogar besser sind als die von Dieselmotoren [(Bhardwaj) (Bhardwaj), (d'Ambrosio)(d'Ambrosio)]. Andererseits wurde berichtet, dass die Partikelanzahlemissionen deutlich über denen von Dieselmotoren liegen, insbesondere bei Betrieb mit hoher Motorlast [(Schmidt) (Schmidt)]. Ein Grund kann die geringere Partikelbelastung des Dieselpartikelfilters sein, die zu einer geringeren Filtrationseffizienz führt. Andererseits ist es wahrscheinlich, dass es zu einer Verschiebung der Partikelgrößenverteilung kommt, die auf eine veränderte Nukleierung und Agglomeration der Partikel zurückzuführen ist. Dies stellt eine Herausforderung für die Filtrationsvorrichtung dar und erfordert eine entsprechende Konstruktion und möglicherweise eine technologische Weiterentwicklung, um die Partikel wirksam zu filtern.

Neben HVO können regenerative Kraftstoffe über den Power-to-Liquid-Pfad hergestellt werden, wobei regenerative Elektrizität zur Erzeugung von Methan verwendet wird, gefolgt von der Anwendung des Fischer-Tropsch-Syntheseverfahrens zur Herstellung von Diesel- oder benzinähnlichen Kraftstoffen *[(Shell) (Shell)]*.

Dieselähnliche Kraftstoffe, die mittels Fischer-Tropsch-Synthese hergestellt werden, weisen eine hohe Cetanzahl (73-81) auf *[(Gill) (Gill)]*. Zugleich enthalten sie keine polyaromatischen Kohlenwasserstoffe. Diese Eigenschaften führen in den meisten Studien zu einem verbesserten NO_x- und Partikelverhalten *[(Lapueta) (Lapueta)]*. Während die Partikelmasse niedriger ist als bei Dieselmotoren, zeigt die Partikelgrößenverteilung einen größeren Anteil an Partikeln unter 23 nm. Dies stellt eine Herausforderung für die Partikelfiltervorrichtung dar und erfordert möglicherweise eine Änderung der mittleren Porengröße des Filtermaterials.

Es hat sich auch gezeigt, dass die Verwendung von HVO als Drop-in-Ersatz für Diesel eine Neukalibrierung des Luftwegs erfordert *[(d'Ambrosio) (d'Ambrosio)]*. Dies gilt auch für alle GtL-Kraftstoffe. Zu den Luftpfadparametern gehören die AGR-Rate und die Abgas-Lambda-Werte. Dies zeigt, dass durch den Einsatz synthetischer Kraftstoffe sowohl die CO₂-Emission als auch die gasförmigen und partikelförmigen Emissionen reduziert werden können, sofern die Motorkalibrierung darauf abgestimmt wird. Diese Neukalibrierung ist jedoch nicht praktikabel, wenn es um Bestandsfahrzeuge geht; in diesem Fall müssen die höheren Motorabgasemissionen durch eine optimierte Abgasnachbehandlung kompensiert werden *[(Rajamani) (Rajamani) (Bartunek) (Bartunek)]*. Dies stellt eine Herausforderung für die Katalysatorleistung und die Systemauslegung dar.

4. Methoden

4.1. Versuchsdurchführung auf dem Rollenprüfstand

Als Prüfstandszyklus wurde der WLTC festgelegt, der gegenüber dem NEFZ das reale Fahrverhalten deutlich besser abbildet. Vor Beginn jeder Messreihe wurde eine aktive Partikelfilter-Regeneration durchgeführt, um einen möglichst definierten DPF-Beladungszustand zu erzeugen. Anschließend wurden die Fahrzeuge konditioniert, so dass definierte Anfangsbedingungen gewährleistet waren. Danach wurde zunächst ein WLTC kalt (Startbedingung 23°C) gefahren und danach ein WLTC warm. Die Kühlwassertemperatur beim Start des warm gestarteten WLTC lag zwischen 75 und 90°C. Diese Vorgehensweise wurde mit allen drei Kraftstoffen wiederholt.

Zusätzlich zu den Standardkomponenten (CO, CO₂, HC, NO, NO₂, O₂) wurden bei der FEV nicht limitierte gasförmige Komponenten erfasst. Hierzu wurde ein FT-IR-Gerät der Fa. AVL (SESAM i60 FT) eingesetzt.

Einzelheiten zu den Rollenprüfständen sowie zur verwendeten Messtechnik beim TÜV Nord, der FEV und der FH Dortmund werden im Anhang (Abschnitt 12.1) näher ausgeführt.

4.2. Versuchsdurchführung bei den PEMS-Messungen Randbedingungen

Zunächst wurden die Fahrzeuge mit der jeweiligen PEMS-Messtechnik ausgerüstet. Zur Validierung der Messtechnik erfolgte ein Abgleich auf dem Rollenprüfstand. Die RDE-Strecken der beauftragten Dienstleister sind Abbildung 4 dargestellt.

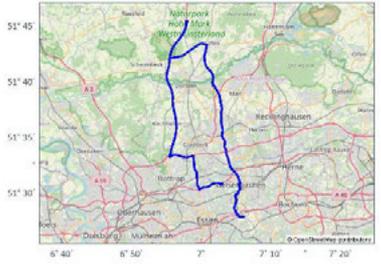
		
<p>RDE-Strecke FH Dortmund Länge: 80,13 km Urban: 40,3 % Rural: 29,6 % Motorway: 30,1 %</p>	<p>RDE-Strecke TÜV Nord Länge: 86,6 km Urban: 34,5 % Rural: 29,7 % Motorway: 35,8 %</p>	<p>RDE-Strecke FEV Länge: 103,5 km Urban: 42,0 % Rural: 33,3 % Motorway: 24,7 %</p>

Abbildung 4: RDE-Strecken der FH Dortmund, des TÜV Nord und der FEV

Vom Ablauf her wurde zunächst eine kalt gestartete RDE-Fahrt durchgeführt und direkt im Anschluss eine warm gestartet. Dieser Ablauf wurde jeweils wiederholt, so dass in Summe

zwei RDE Kalt- und zwei RDE Warm-Fahrten mit jedem Kraftstoff durchgeführt wurden. Die "RDE kalt"-Fahrten wurden mit einer Kühlwassertemperatur von 10 bis 25 °C gestartet, bei den „RDE warm“-Fahrten lagen die Kühlwassertemperaturen im Bereich zwischen 50 und 70 °C.

Bei den PEMS-Messungen wurden die gasförmigen Komponenten CO, CO₂, NO und NO₂ gemessen sowie die Partikelanzahl PN. Die Messgeräte wurden jeweils vor und nach jeder Messfahrt kalibriert. Zudem wurden Wetterdaten wie Umgebungstemperatur und relative Luftfeuchtigkeit erfasst und mit Hilfe einer GPS-Antenne die geodätischen Daten der Strecke aufgezeichnet. Diese Daten sowie Daten zur Fahrdynamik wurden bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt. Weitere Details zur verwendeten Messtechnik finden sich im Anhang (Abschnitt 12.1).

4.3. Vorgehensweise beim Kraftstoffwechsel

Beim Kraftstoffwechsel wurde zunächst der Kraftstoff aus dem Tank abgesaugt. Zusätzlich wurde der Kraftstofffilter gewechselt, so dass nahezu keine Restmenge des zu wechselnden Kraftstoffs im System verblieb. Vor der Durchführung der nächsten Testreihe wurde das jeweilige Fahrzeug über einige Kilometer gefahren, um auch letzte Restmengen des Kraftstoffs aus dem Kraftstoffsystem zu entfernen.

4.4. Detaillierte Beschreibung der Messtechnik

Eine detaillierte Beschreibung der Messtechnik des TÜV Nord, der FEV und der FH Dortmund ist im Anhang (Abschnitt 12.1) zu finden.

5. Arbeiten und Ergebnisse des Projekts

5.1. AP1 – Forschungsrecherche zu relevanten Bestandsfahrzeugen, Auswahl und Beschaffung der Versuchsträger, Analyse, Definition und Beschaffung notwendigen Testequipments inkl. Kraftstoff

5.1.1. AP 1.1- Recherche Bestandsfahrzeuge bzgl. Motor- und AGN-Varianten

Die in Bezug auf das Projektziel relevanten Modelle dieselbetriebener Fahrzeuge der projekt-relevanten Fahrzeugkategorien wurden ermittelt und definiert. Bei der Auswahl der Fahrzeuge war die Marktdurchdringung ein wesentlicher Faktor vor dem Hintergrund, das Verhalten der im Markt relevantesten Fahrzeuge zu ermitteln.

Hier sei nochmals auf das grundlegende Ziel des Antrages verwiesen, das Verhalten für die Masse der im Markt befindlichen Fahrzeuge zu bewerten, da diese auch den größten „Hebel“ beim Einfluss auf die Immissionen haben.

Kategorie PKW

Allein schon auf Grund der Bestandsdaten sind die Hersteller VW- und Mercedes als im Wesentlichen relevant einzustufen. Zusammen stellten diese Stand Januar 2023 über die Hälfte der Bestandsfahrzeuge, wie der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen ist.

Tabelle 2: Euro 5 Diesel Bestandsfahrzeuge Stand 01.2023

Hersteller	Marke	Anzahl Fahrzeuge	Summe	Anteil
01 VAG	VOLKSWAGEN-VW	1.390.004		
01 VAG	AUDI	466.958		
01 VAG	SKODA (CZ)	230.361		
01 VAG	SEAT (E)	99.925		
01 VAG	PORSCHE	13.721		
01 VAG	AUDI (H)	5.430		
01 VAG	QUATTRO	184	2.206.583	43,44%
02 DAI	DAIMLER (D)	560.345		0,00%
02 DAI	DAIMLERCHRYSLER (D)	14		0,00%
02 DAI	MERCEDES-BENZ	1	560.360	11,03%
03 BMW	BAYER.MOT.WERKE-B	529.440	529.440	10,42%
04 Ford	FORD (D)	388.345		0,00%
04 Ford	FORD (AUS)	14.648	402.993	7,93%
05 Opel	OPEL	267.932	267.932	5,27%
06 PSA	CITROEN (F)	109.655		0,00%
06 PSA	PEUGEOT (F)	97.163	206.818	4,07%
07 REN	RENAULT (F)	164.349	164.349	3,24%
08 FIAT	FIAT (I)	107.320		0,00%
08 FIAT	IVECO (I)	520		0,00%
08 FIAT	MASERATI (I)	273		0,00%
08 FIAT	FCA (USA)	62	108.175	2,13%
Sonstige	NISSAN (CH)	88.362	88.362	1,74%
Sonstige	VOLVO (S)	83.278	83.278	1,64%
Sonstige	TOYOTA EUROPE (B)	56.497	56.497	1,11%
Sonstige	HYUNDAI MOTOR (CZ)	55.480	55.480	1,09%
Sonstige	DACIA (RO)	49.568	49.568	0,98%
Sonstige	KIA MOTORS (SK)	44.397	44.397	0,87%
Sonstige	MITSUBISHI (J)	33.508	33.508	0,66%
Sonstige	CHRYSLER (USA)	31.459	31.459	0,62%
Sonstige	HYUNDAI MOTOR (RO)	26.290	26.290	0,52%
Sonstige	JAGUAR LAND ROVER	22.602	22.602	0,44%
Sonstige	KIA MOTOR (ROK)	21.434	21.434	0,42%
Sonstige	MAZDA (J)	19.609	19.609	0,39%
Sonstige	GM KOREA	16.580	16.580	0,33%
Sonstige	HONDA (UK)	14.930	14.930	0,29%
Sonstige	FUJI HEAVY IND.(J)	12.453	12.453	0,25%
Sonstige	LAND ROVER (GB)	12.191	12.191	0,24%
Sonstige	SUZUKI (J)	8.058	8.058	0,16%
Sonstige	MAGYAR SUZUKI (H)	7.948	7.948	0,16%
Sonstige	FCA ITALY (I)	6.681	6.681	0,13%
Sonstige	MITSUBISHI (THA)	5.062	5.062	0,10%
Sonstige	JAGUAR (GB)	3.996	3.996	0,08%
Sonstige	SSANGYONG (ROK)	3.773	3.773	0,07%
Sonstige	ISUZU (J)	3.414	3.414	0,07%
Sonstige	HYUNDAI (TR)	1.801	1.801	0,04%
Sonstige	HONDA MOTOR (J)	1.407	1.407	0,03%
Sonstige	GM DAEWOO (ROK)	887	887	0,02%
Sonstige	ALPINA	598	598	0,01%
Sonstige	NISSAN (E)	324	324	0,01%
Sonstige	SAAB AUTOMOBILE (S)	318	318	0,01%
Sonstige	PIAGGIO (I)	277	277	0,01%
Sonstige	HYUNDAI MOTOR (INC)	131	131	0,00%
Sonstige	TOYOTA CAETANO (P)	26	26	0,00%
Sonstige	NISSAN EUROPE (F)	1	1	0,00%
Sonstige	MITSUBISHI FUSO (J)	1	1	0,00%
Sonstige	NISSAN AUTOMOTIVE	1	1	0,00%
Ergebnis		5.079.992	5.079.992	100%

Durch den Abgleich der Bestandsdaten aus 2023 mit ermittelten Daten aus Vorprojekten aus dem Jahr 2021 hat sich der Rückgriff auf Erkenntnisse aus diesen Projekten als geeignet ergeben.

VAG

Im Projekt 45SYS00029 waren die Fahrzeugbestände aus dem Jahr 2021 des VAG-Konzerns mit 4- und 6-Zylinder-Motoren der Schadstoffklasse 5 bereits erfasst und nach Motoreigenschaften (Hubraum) eingeteilt worden. Auch das vorhandene Abgassystem wurde erfasst. Mit über 1,4 Mio. Stück sind demnach Fahrzeuge mit Motoren einem Hubraum von 1.968 cm³ am häufigsten, gefolgt von solchen mit 1.598 cm³. Fahrzeuge mit einem Hubraum von 2.967 cm³ weisen geringere Bestandszahlen auf, jedoch sind auch diese mit über 127.000 Fahrzeugen recht weit verbreitet.

Die Fahrzeuge lassen sich folgendermaßen gruppieren:

- Gruppe I umfasst den 4-Zylinder-Motor EA 189 sowohl mit Hubraum 1.598 cm³ als auch mit 1.968 cm³.

Die Motoreigenschaften lassen darauf schließen, dass hinsichtlich Abgasnachbehandlung prinzipiell vergleichbare Bedingungen vorliegen.

Der betroffene Bestand lag im Jahr 2021 bei ca. 2.000.000 Fahrzeugen.

- Gruppe II besteht aus dem 6-Zylinder Motor EA 897 mit dem Hubraum von 2.967 cm³.

Der Bestand lag im Jahr 2021 bei 127.793 Fahrzeugen.

Die Fahrzeuge beider Gruppen verfügen im Originalzustand über ein Partikelminderungssystem mit DOC und DPF sowie einer Abgasrückführung, jedoch nicht über einen SCR für eine effiziente Stickoxidreduktion.

Hersteller	cm ³	Summe von Anzahl der FZG
AUDI	1598	33.961
AUDI (H)	1598	688
SEAT (E)	1598	11.433
SKODA (CZ)	1598	86.421
VOLKSWAGEN-VW	1598	436.022
Gesamtergebnis		568.525

Hersteller	cm ³	Summe von Anzahl der FZG
AUDI	1968	202514
AUDI (H)	1968	5013
SEAT (E)	1968	42454
SKODA (CZ)	1968	163014
VOLKSWAGEN-VW	1968	1013338
Gesamtergebnis		1.426.333

Hersteller	cm ³	Summe von Anzahl der FZG
AUDI	2967	90.656
PORSCHE	2967	4.942
VOLKSWAGEN-VW	2967	32.195
Gesamtergebnis		127.793

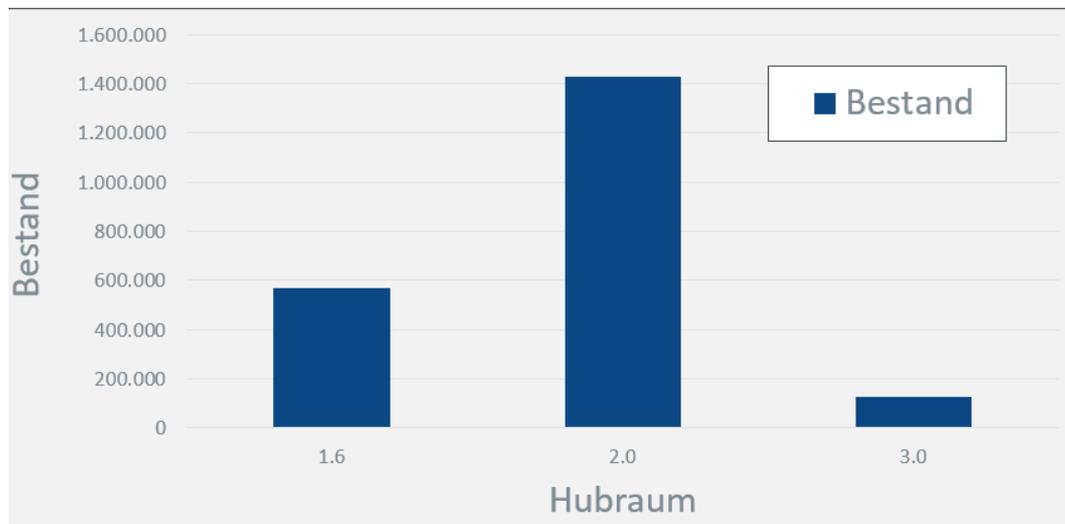


Abbildung 5: Fahrzeugbestände des VAG-Konzerns (4- und 6-Zylinder) mit Einteilung nach Hubraum des Motors im Jahr 2021.

		1.6 EA 189	2.0 EA 189	3.0 EA 897
Zylinderanzahl und -anordnung		R4	R4	V6
Ansaugsystem		VTG	VTG	VTG
Einspritzsystem		CR	CR	CR
Gesamtzylinderhubvolumen	[mm ³]	1598	1968	2967
Wirkprinzip der schadstoffreduzierenden Maßnahmen				
Abgasrückführung		Hoch	Hoch	Hoch
Abgasrückführung		gekühlt	gekühlt	gekühlt
PMS		DOC/DPF	DOC/DPF	DOC/DPF
NOx-Speicherkat.		-	-	-
SCR-Katalysator		-	-	-
Emissionsklasse		5	5	5
Stückzahl		568.526	1.426.952*	127.793

* Bestandszahl enthält einen geringen Anteil an Fahrzeugen neuer Baureihen mit veränderter Abgasrückführung, die im Projekt nicht betrachtet wurden.

Abbildung 6: Einteilung der Bestandsfahrzeuge (4- und 6-Zylinder) nach Eigenschaften der Motoren und des Abgassystems in zwei Gruppen als Basis für die Familienbildung.

Mercedes Benz

Im Projekt 45SYS00030 waren die Fahrzeugbestände des Daimler-Konzerns mit 4- und 6-Zylinder-Motoren der Schadstoffklasse 5 erfasst und nach Motoreigenschaften (Hubraum) eingeteilt worden (Abbildung 7). Auch das vorhandene Abgassystem war erfasst worden. Bei den 4-Zylinder-Motoren sind mit über 198.000 Stück Fahrzeuge mit Motoren mit einem Hubraum von 2.143 cm³ am häufigsten, gefolgt von solchen mit 1.796 cm³. Fahrzeuge mit einem Hubraum von 1.991 cm³ weisen geringere Bestandszahlen auf, jedoch sind auch diese mit über 29.000 Fahrzeugen recht weit verbreitet. 6-Zylinder-Motoren mit einem Hubraum von 2.987 cm³ sind mit über 34.000 Fahrzeugen ebenfalls weit verbreitet.

Auch die Fahrzeuge lassen sich entsprechend der Motoreigenschaften in folgende zwei Gruppen einteilen, wie in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt:

- Gruppe I umfasst die 4-Zylinder-Motoren 1.8 OM (Hubraum 1.796 cm³), 2.0 OM (Hubraum 1.991 cm³) und 2.2 OM (Hubraum 2.143 cm³).

Der betroffene Bestand lag im Jahr 2021 bei ca. 262.288 Fahrzeugen.

- Gruppe II besteht aus dem 6-Zylinder Motor 3.0 OM mit dem Hubraum von 2.987 cm³.

Der Bestand lag im Jahr 2021 bei 34.471 Fahrzeugen.

Die Fahrzeuge beider Gruppen verfügen im Originalzustand über ein Partikelminderungssystem mit DOC und DPF sowie einer Abgasrückführung, jedoch nicht über einen SCR für eine effiziente Stickoxidreduktion.

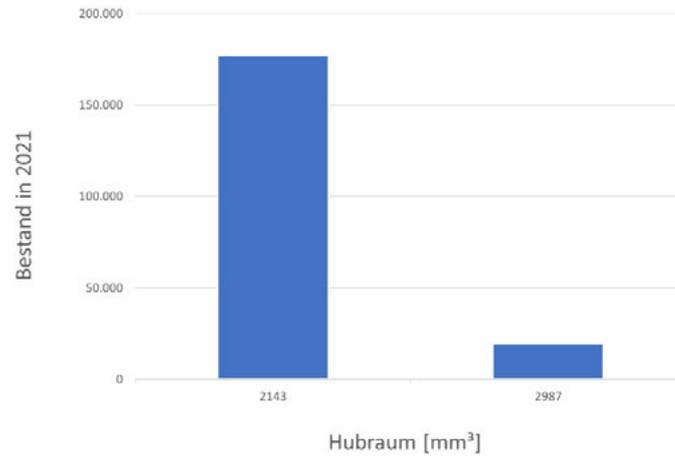
4-Zylinder-Motoren

Zyl	Modellreihe	hub	kW	Summe von Gesamt EUS
4	C 220 T CDI	2143	125	40.125
	C 200 T CDI	2143	100	24.198
	E 220 T CDI	2143	120	156
			125	19.797
	E 220 CDI	2143	125	16.800
	C 220 CDI	2143	120	53
			125	14.337
	C 200 CDI	2143	100	9.642
	E 200 T CDI	2143	100	8.352
	E 200 CDI	2143	100	8.129
	C 250 T CDI	2143	150	7.463
	E 250 T CDI	2143	150	7.443
	E 250 CDI	2143	150	5.318
	C 220 CDI Coupé	2143	120	42
			125	3.281
	C 250 CDI	2143	150	2.736
	E 220 CDI Cabrio	2143	120	48
			125	2.397
	E 250 CDI Cabrio	2143	150	1.704
	E 220 CDI Coupé	2143	120	68
			125	1.471
	E 250 CDI Coupé	2143	150	1.361
	C 250 CDI Coupé	2143	150	1.353
	CLS 250 CDI Shooting Brake	2143	150	419
	CLS 250 CDI Coupé	2143	150	332
Gesamtergebnis				177.025

6-Zylinder-Motoren

Zyl	Modellreihe	hub	kW	Summe von Gesamt EUS
6	E 300 T CDI/ E 350 T CDI	2987	170	6693
	E 300 CDI/ E 350 CDI	2987	170	5408
	E 350 T CDI	2987	195	3879
	E 350 CDI Coupé	2987	195	1075
			170	2557
	E 350 CDI Cabrio	2987	195	1400
			170	1446
	CLS 350 CDI Coupé	2987	195	2741
	C 350 T CDI	2987	195	1885
			170	669
	E 350 CDI	2987	195	2227
	C 350 CDI	2987	195	707
			170	861
	CLS 350 CDI Shooting Brake	2987	195	1503
	E 300 T CDI	2987	150	815
	E 300 CDI	2987	150	605
Gesamtergebnis				34471

Abbildung 7: Fahrzeugbestände des MB-Konzerns (4- und 6-Zylinder) mit Einteilung nach Hubraum des Motors.



		1.8 OM 651.901	2.0 OM 640.940/ 941/942	2.2 OM 651.911/913/ 916/924/925/980	3.0 OM 642.836/850/ 852/853/838/824/826
Zylinderanzahl und - anordnung		R4	R4	R4	V6
Ansaugsystem		aufgeladen	aufgeladen	aufgeladen	aufgeladen
Einspritzsystem		CR	CR	CR	CR
Gesamtzylinderhub- volumen	[mm³]	1.796	1.991	2.143	2.987
Wirkprinzip der schadstoff- reduzierenden Maßnahmen					
Abgasrückführung		Hoch	Hoch	Hoch	Hoch
Abgasrückführung		gekühlt	gekühlt	gekühlt	gekühlt
PMS		DOC/DPF	DOC/DPF	DOC/DPF	DOC/DPF
NOx-Speicherkat.		-	-	-	-
SCR-Katalysator		-	-	-	-
Emissionsklasse		5	5	5	5
Stückzahl		34.788	29.077	198.423	34.471

Abbildung 8: Fahrzeugbestände des MB-Konzerns (4- und 6-Zylinder) mit Einteilung nach Hubraum des Motors.

Kategorie LDV

Bei den LDV wurde als erster Versuchsträger ein VW Transporter ausgewählt, da dieser den höchsten Marktbestand besitzt. Als zweites Fahrzeug wurde indes ein Fiat Ducato ausgewählt, da dieser als Marktführer im Wohnmobilssektor eine überdurchschnittlich hohe Lebensdauer aufweist.

Tabelle 3: Leichte Nutzfahrzeuge aller Kategorien über 50.000 Einheiten im Bestand

Hersteller	(Alle)
Zeilenbeschriftungen	Summe von Nutzfahrzeugeinsgesamt
Transporter	349.411
Transit	343.233
Sprinter	297.150
Viano,Vito	186.662
CADDY	184.582
Crafter	142.174
Combo	132.152
FIAT Ducato	91.088
Trafic	83.230
MASTER	76.661
Kangoo	72.891
Ranger	69.874

Kategorie NFZ

Anders als bei den PKW und LDV ist bei der Auswahl geeigneter LKW zu berücksichtigen, dass die Varianz der verwendeten Emissionstechnologien größer ist.

Daher wurde die Auswahl auf zwei unterschiedlich ausgestattete Fahrzeuge gelegt.

Zunächst wurde ein Nutzfahrzeug ausgewählt, das nur mit einem SCR-System ausgestattet ist (kein Partikelfilter). Hierbei handelt es sich bei mittleren und schweren Nutzfahrzeugen um die vorherrschende Technologie bei Fahrzeugen der Emissionsstufe Euro 5/V. Es wurde gezielt eine Fahrzeugkategorie gewählt, die im Realeinsatz einen Mix mit hohem Innenstadtanteil (Verteilerverkehr) aufweist. Hierbei handelt es sich um einen Mercedes-Benz Atego, der zusätzlich auch mit knapp 10.000 Einheiten im Bestand die höchste Marktrelevanz besitzt, und dessen Antriebsplattform Basis für weitere 15.000 Einheiten vergleichbarer Baureihen sind.

Als zweites Prüffahrzeug wurde ein Fahrzeug mit DOC und Partikelfilter ausgewählt (kein SCR-System zur NO_x-Minderung). Mit der Auswahl eines Iveco Daily wurde hier ebenfalls ein relevanter Vertreter dieser Fahrzeugkategorie festgelegt.

Anordnung der Abgasnachbehandlungskomponenten

Die Anordnung der Abgasnachbehandlungskomponenten ist bekannt und dokumentiert. Die PKW und LDV haben alle einen motornahen DOC und DPF und sind somit in ihrem thermischen Verhalten vergleichbar.

PKW und LDV der Generation Euro 5/V verfügen in der Regel noch nicht über eine NO_x-Nachbehandlung. Das bedeutet, die NO_x-Emissionen werden ausschließlich durch die Motorabstimmung beeinflusst. Bei Vorhandensein einer NO_x-Nachbehandlung hätte eine unterschiedliche Anordnung der Abgasnachbehandlungskomponenten Auswirkungen auf das thermische Verhalten und damit auf die NO_x-Emissionen. Dies trifft auf die untersuchten Pkw und LDV jedoch nicht zu.

Bei LKW ist der Systemaufbau stärker diversifiziert. In der Regel sind mittlere und schwere Euro V-Nutzfahrzeuge mit einem SCR-System ohne Partikelfilter ausgestattet. Leichtere Medium Duty Fahrzeuge verfügen dagegen zum Teil auch nur über einen Partikelfilter und nicht über eine NO_x-Nachbehandlung. Wie bereits beschrieben, wurde je ein Fahrzeug aus jeder Kategorie ausgewählt.

5.1.2. AP 1.2 Definition der Testbedingungen

Darstellung der Versuchsumfänge

Um einen Vergleich der Emissionen bei Verwendung der verschiedenen Kraftstoffe zu ermöglichen, wurde für alle Fahrzeuge ein umfangreiches Versuchsprogramm entwickelt, welches sowohl Untersuchungen auf dem Rollenprüfstand als auch Straßenmessungen beinhaltet. Wie unter Punkt 4.1 beschrieben, wurde als Prüfstandszyklus der WLTC festgelegt, der gegenüber dem NEFZ das reale Fahrverhalten, insbesondere hinsichtlich der Dynamik, deutlich besser abbildet. Weitere Details zur Vorgehensweise sind ebenfalls in Abschnitt 4.1 zu finden. Bei den Messungen im realen Straßenverkehr, den sogenannten PEMS-Messungen (Portable Emission Measurement System) steht die Abbildung realistischer Fahrsituationen im Vordergrund. Hierbei tritt eine noch höhere Dynamik auf, als dies im Rollenzyklus der Fall ist, was sich wiederum auf das Emissionsverhalten der Fahrzeuge auswirkt.

Die Messungen wurden an drei renommierten Institutionen durchgeführt.

1. TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG (VW Passat, VW T5)
2. FH Dortmund, Fachbereich Maschinenbau (MB E220 CDI)
3. FEV Europe GmbH (VW Touareg, Fiat Ducato, Iveco Daily)

Eine detaillierte Beschreibung der an den jeweiligen Standorten verwendeten Messtechnik findet sich in Anhang unter Punkt 12.1.

Der Ablaufplan, den jedes Fahrzeug für die Ausgangsvermessung durchlaufen sollte, ist in Tabelle 4 dargestellt. Das Programm wurde so gestaltet, dass die Zahl der Kraftstoffwechsel minimiert ist. Des Weiteren war vorgesehen, dass jeweils vor den Rollenmessungen und vor den PEMS-Messungen sowie nach dem Kraftstoffwechsel eine aktive Partikelfilterregeneration durchgeführt wurde, um definierte Anfangsbedingungen für die nachfolgenden Messungen zu gewährleisten. Die PEMS-Messungen sind im dargestellten Ablaufplan mit RDE (ReaDring Emissions) bezeichnet. Bezüglich der zeitlichen Reihenfolge wichen einige Tests von diesem Ablaufplan ab, was jedoch keinen Einfluss für die Ergebnisse darstellt. Bei relevanten Abweichungen, z. B. bzgl. des Zeitpunkts der aktiven Partikelfilterregeneration, wird im Ergebnisteil gesondert auf diese hingewiesen.

Tabelle 4: Prüf-Ablaufplan für alle Fahrzeuge

Lfd. Nr.	Aktivität	Kraftstoff
1	- Regeneration - Lastanpassung, Precon	B7
2	- WLTC kalt - WLTC heiß	B7
3	- WLTC kalt - WLTC heiß	B7
4	- Regeneration - Aufrüstung PEMS-Gerät - Abgleich Messtechnik	B7
5	- RDE kalt - RDE heiß	B7
6	- RDE kalt - RDE heiß	B7
7	Umtanken auf HVO, Regeneration	
8	- RDE kalt - RDE heiß	HVO
9	- RDE kalt - RDE heiß	HVO
10	- Abrüstung PEMS - Regeneration - Precon	HVO
11	- WLTC kalt - WLTC heiß	HVO
12	- WLTC kalt - WLTC heiß	HVO
13	Umtanken auf GtL, Regeneration	
14	- WLTC kalt - WLTC heiß	GtL
15	- WLTC kalt - WLTC heiß	GtL
16	- Regeneration - Aufrüstung PEMS-Gerät - Abgleich Messtechnik	GtL
17	- RDE kalt - RDE heiß	GtL
18	- RDE kalt - RDE heiß	GtL

Die bei den einzelnen Tests, insbesondere den RDE-Fahrten, tatsächlich herrschenden Versuchs- bzw. Randbedingungen, wie z. B. die Umgebungstemperatur, werden bei der Auswertung der Ergebnisse dargestellt.

5.1.3. AP 1.3 Auswahl und Beschaffung der Versuchsträger und Kraftstoffe

Die Auswahl der Bestandsfahrzeuge für dieses Projekt erfolgte auf Basis der in AP 1.1 durchgeführten Kategorisierung der Fahrzeuge und Abgasnachbehandlungssysteme. Aufgrund der umfangreichen Erfahrungen aus dem Nachrüstgeschäft und der dort erworbenen Kompetenzen wurden die für dieses Projekt relevanten Kriterien festgelegt und priorisiert. Auf dieser Basis erfolgt die letztendliche Auswahl der konkreten Versuchsträger. Bei der Detailauswahl der Versuchsträger wurde bei den PKW besonderes Augenmerk auf die Familienbildungskriterien der Förderrichtlinie gelegt, um zum eine möglichst hohe Fahrzeugtypenvielfalt wie auch eine einfache Übertragbarkeit der Projektergebnisse in Folgenvorhaben zu gewährleisten:

Im Anschluss an die grundsätzliche Auswahl des AP 1.2 wurde für die angestrebten Fahrzeugfamilien jeweils ein geeignetes Prüffahrzeug ausgewählt. Hier kamen wir zu der Erkenntnis, dass die Fahrzeuge aus den Projekten 45SYS00029 und 45SYS00030 geeignet sind:

Versuchsträger I – Prüffahrzeug VW Passat

Als Versuchsträger wurde ein VW Passat mit 2.0 TDI-Motor (EA 189) und einem Hubraum von 1.986 cm³ sowie einer Leistung von 125 kW ausgewählt. Dieser deckt aufgrund der Familienbildungskriterien und technischen Konfiguration den wesentlichen Umfang der VW 4-Zylinder Motoren ab.

Hersteller	Baureihe	Bezeichnung	Abgasnorm	Bauzeitraum	Motorkennbuchstaben	Leistung				Drehzahl	Drehmoment	Drehzahl	
VW	EA 189	1.6 TDI	Euro 5	2009–2013	CAYA	55	kW	75	PS	4000 min ⁻¹	195	Nm	1500–2000 min ⁻¹
VW	EA 189	1.6 TDI	Euro 5	2009–2013	CAYB	66	kW	90	PS	4200 min ⁻¹	230	Nm	1500–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	1.6 TDI	Euro 5	2009–2015	CAYC	77	kW	105	PS	4400 min ⁻¹	250	Nm	1500–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2009–2013	CAAA	62	kW	84	PS	3500 min ⁻¹	220	Nm	1250–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2009–2016	CAAB	75	kW	102	PS	3500 min ⁻¹	250	Nm	1250–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2009–2013	CBDC, CFFD	81	kW	110	PS	4200 min ⁻¹	280	Nm	1500–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2007–2014	CBAB, CFFB	103	kW	140	PS	4200 min ⁻¹	320	Nm	1750–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2009–2015	CFHD, CAGA, CJCA, CBAC	105	kW	143	PS	4200 min ⁻¹	320	Nm	1750–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CAHA, CBBB, CFGB	125	kW	170	PS	4200 min ⁻¹	350	Nm	1750–2500 min ⁻¹
VW	EA 189	2.0 TDI	Euro 5	2012–2015	CFGC, CGLC	130	kW	177	PS	4200 min ⁻¹	380	Nm	1750–2500 min ⁻¹

Abbildung 3: Übersicht der Motoreigenschaften und Auswahl des geeigneten Typs für das Prüffahrzeug der Familie 1 (4-Zylinder).

Versuchsträger II – Prüffahrzeug VW Touareg

Zur Abdeckung des VW-Bestandes mit höheren Leistungen fiel die Wahl des Versuchsträgers auf einen VW Touareg mit dem Motor EA896G2 und einer Leistung von 180 kW. Dieser deckt aufgrund der Familienbildungskriterien und technischen Konfiguration den wesentlichen Umfang der VW 6-Zylinder Motoren ab.

Hersteller	Baureihe	Bezeichnung	Abgasnorm	Bauzeitraum	Motorkennbuchstaben	Leistung				Drehzahl	Drehmoment		Drehzahl
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CASD	150	kW	204	PS	3750 - 4750 min ⁻¹	450	Nm	1400–3500 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CJMA	150	kW	204	PS	3750 - 4750 min ⁻¹	450	Nm	1400–3500 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CRCD	150	kW	204	PS	3750 - 4750 min ⁻¹	450	Nm	1400–3500 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2010-2011	CASA	176	kW	240	PS	4000 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	2000–2250 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2010-2011	CNRB	176	kW	240	PS	4000 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	2000–2250 min ⁻¹
VW	EA896G2	3.0 TDI	Euro 5	2011-2014	CJGD	180	kW	245	PS	3800 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	1750–2750 min ⁻¹
VW	EA896G2	3.0 TDI	Euro 5	2011-2014	CRCA	180	kW	245	PS	3800 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	1750–2750 min ⁻¹

Hersteller	Baureihe	Bezeichnung	Abgasnorm	Bauzeitraum	Motorkennbuchstaben	Leistung				Drehzahl	Drehmoment		Drehzahl
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CASD	150	kW	204	PS	3750 - 4750 min ⁻¹	450	Nm	1400–3500 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CJMA	150	kW	204	PS	3750 - 4750 min ⁻¹	450	Nm	1400–3500 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2009–2014	CRCD	150	kW	204	PS	3750 - 4750 min ⁻¹	450	Nm	1400–3500 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2010-2011	CASA	176	kW	240	PS	4000 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	2000–2250 min ⁻¹
VW	EA896	3.0 TDI	Euro 5	2010-2011	CNRB	176	kW	240	PS	4000 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	2000–2250 min ⁻¹
VW	EA896G2	3.0 TDI	Euro 5	2011-2014	CJGD	180	kW	245	PS	3800 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	1750–2750 min ⁻¹
VW	EA896G2	3.0 TDI	Euro 5	2011-2014	CRCA	180	kW	245	PS	3800 - 4400 min ⁻¹	550	Nm	1750–2750 min ⁻¹

Abbildung 7: Übersicht der Motoreigenschaften und Auswahl des geeigneten Typs für das Prüffahrzeug der Familie 2 (6-Zylinder).

Versuchsträger III – Prüffahrzeug MB E220 CDI

Zur Abdeckung des wesentlichen Marktbestandes Mercedes-Benz wurde ein MB E220 CDI mit 2.2 OM-Motor und einem Hubraum von 2.143 cm³ sowie einer Leistung von 125 kW ausgewählt.

Überblick über die Versuchsträger

Wie erläutert wurden, um eine möglichst umfangreiche Aussage für im Markt befindlichen Fahrzeugbestände zu erlangen, entsprechend vorstehender Beschreibung verschiedene Fahrzeuge der Klassen Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge sowie schwere Nutzfahrzeuge ausgewählt und beschafft, die zum einen eine hohe Marktrelevanz haben, zum anderen aber auch auf Grund ihrer spezifischen technischen Ausstattung relevant sind.

Nachfolgende Tabelle 5 stellt die im Projekt ausgewählten Fahrzeuge und relevante technische Spezifika dar.

Tabelle 5: Liste der vermessenen Fahrzeuge

Fahrzeug	Typ	Zylinder-anzahl	Einspritz-system	Steuer-gerät	Abstand TC-DOC [cm]	Getriebe	AGR	AGN	Erst-zulassung	Abgas-stufe	Motor-hubraum [cm ³]	Motor-leistung [kW]	Lauf-leistung* [km]
-									-	-			
VW Passat	PKW	R 4	CR	Bosch	20	DSG	gekühlt	DOC/DPF	02.08.2012	EU 5	1968	125	116.185
MB E220 CDI	PKW	R 4	CR	Delphi	20	Automatik	gekühlt	DOC/DPF	17.01.2014	EU 5	2143	125	146.181
VW Touareg	PKW	V 6	CR	Bosch	20	Automatik	gekühlt	DOC/DPF	26.02.2013	EU 5	2967	180	160.512
VW T5	LDV	R 4	CR	Bosch	20	Schaltgetriebe	gekühlt	DOC/DPF	04.08.2014	EU 5	1968	103	141.318
Fiat Ducato	LDV	R 4	CR	Bosch	30	Schaltgetriebe	gekühlt	DOC/DPF	27.03.2014	EU 5	2287	96	115.000
Iveco	LKW	R 4	CR	Bosch	50	Schaltgetriebe	gekühlt	DOC/DPF	03.05.2011	EU V	2998	125	78.731
MB Atego	LKW	R 4	CR	Temic	60	Schaltgetriebe	-	SCR	15.03.2011	EU V	4249	115	288.616

*bei der Beschaffung

Abkürzungen:

PKW: Personenkraftwagen

LDV: Light Duty Vehicle

LKW: Lastkraftwagen

CR: Common Rail

DSG: Doppelkupplungsgetriebe

DOC: Diesel Oxidation Catalyst

DPF: Diesel Particulate Filter

Fotos der verwendeten Versuchsträger



Abbildung 9: VW Passat mit aufgerüstetem PEMS-Gerät



Abbildung 10: Mercedes Benz E220 CDI auf dem Rollenprüfstand



Abbildung 11: VW Touareg mit aufgerüstetem PEMS-Gerät



Abbildung 12: VW T5 auf dem Rollenprüfstand



Abbildung 13: Fiat Ducato



Abbildung 14: Iveco Daily mit aufgerüstetem PEMS-Gerät



Abbildung 15: Mercedes Atego mit aufgerüstetem PEMS-Gerät

Festlegung / Auswahl der Kraftstoffe

Als CO₂-neutrale Kraftstoffe wurden bereits bei Antragstellung Kraftstoffe aus der Norm EN 15940 festgelegt.

Wie zuvor in Kapitel 3.3 beschrieben, handelt es sich bei HVO um hydriertes Pflanzenöl. Dieser Kraftstoff ist in ausreichender Menge verfügbar und konnte für die in diesem Projekt geplanten Untersuchungen problemlos beschafft werden.

Anders stellte sich die Lage bei XtL dar. PtL war in den für dieses Projekt erforderlichen Mengen nicht zu beschaffen. Daher wurde hier auf GtL gewechselt, welches vergleichbare Eigenschaften wie PtL aufweist und daher auch bezüglich des Einflusses auf die Fahrzeugemissionen mit PtL gleichgesetzt werden kann.

Die im Projekt eingesetzten Kraftstoffe HVO und GtL wurden einer Analyse unterzogen, um die Einhaltung der Norm DIN EN 15940 zu bestätigen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 6: Ergebnisse der Analyse von HVO

Prüfparameter	Prüfmethode	Prüfergebnis	Grenzwert DIN EN 15940 :2019 Klasse A		Einheit
			min.	max.	
Cetanzahl (ICZ)	DIN EN 17155 :2018	73,0	70,0	-	-
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185 :1997	781,0	765,0	800,0	kg/m ³
Flammpunkt	DIN EN ISO 2719 :2021	78,0	>55	-	°C
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104 :2021	3,048	2,00	4,50	mm ² /s
Volumen bei 250 °C	DIN EN ISO 3924 :2019	3,7	-	<65	% (V/V)
Volumen bei 350 °C		>98	85	-	% (V/V)
95 %-Punkt		293,1	-	360	°C
HFRR (Schmierfähigkeit bei 60 °C)	DIN EN ISO 12156-1 :2019	410	-	460	µm
Fettsäuremethylestergehalt	DIN EN 14078 :2014	<0,01	-	7,0	% (V/V)
Mangan (Mn)	DIN EN 16576 :2015	<0,50	-	2,0	mg/l
Gesamtaromaten	DIN EN 12916 :2022 Verf. B	<0,1	-	1,1	% (m/m)
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884 :2022	<5(<1)	-	5,0	mg/kg
Koksrückstand (10% D.)	DIN EN ISO 10370 :2015	<0,1	-	0,30	% (m/m)
Aschegehalt (775 °C)	DIN EN ISO 6245 :2003	<0,001	-	0,01	% (m/m)
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937 :2002	<30	-	200	mg/kg
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662 :2014	<12	-	24	mg/kg
Korrosionswirkung auf Kupfer	DIN EN ISO 2160 :1999	1	-	Klasse 1	Korr.Grad
Oxidationsstabilität	DIN EN ISO 12205 :1996	<1	-	25	g/m ³
CFPP	DIN EN 116 :2018	-36	-	*	°C
Kohlenstoffgehalt	DIN 51732 :2014	85,2	-	-	% (m/m)
Wasserstoffgehalt		15,61	-	-	% (m/m)
Sauerstoffgehalt	ASTM D5622 :2017	<0,5	-	-	% (m/m)
Cloudpoint	DIN EN 23015 :1994	-30	-	*	°C

*Anforderungen: 15.04. - 30.09. max. 0 °C
01.10. - 15.11. max. -10 °C
16.11. - 28.02. max. -20 °C
01.03. - 14.04. max. -10 °C

Tabelle 7: Ergebnisse der Analyse von GtL

Prüfparameter	Prüfmethode	Prüfergebnis	Grenzwert DIN EN 15940 :2019 Klasse A		Einheit
			min.	max.	
Cetanzahl (ICZ)	DIN EN 17155 :2018	75,0	70,0	-	-
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185 :1997	779,7	765,0	800,0	kg/m ³
Flammpunkt	DIN EN ISO 2719 :2021	71,0	>55	-	°C
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104 :2021	2,590	2,00	4,50	mm ² /s
Volumen bei 250 °C	DIN EN ISO 3924 :2019	32,4	-	<65	% (V/V)
Volumen bei 350 °C		96,6	85	-	% (V/V)
95 %-Punkt		346,6	-	360	°C
HFRR [Schmierfähigkeit bei 60 °C]	DIN EN ISO 12156-1 :2019	400	-	460	µm
Fettsäuremethylestergehalt	DIN EN 14078 :2014	<0,01	-	7,0	% (V/V)
Mangan (Mn)	DIN EN 16576 :2015	<0,50	-	2,0	mg/l
Gesamtaromaten	DIN EN 12916 :2022 Verf. B	<0,1	-	1,1	% (m/m)
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884 :2022	<5(1,0)	-	5,0	mg/kg
Koksrückstand (10% D.)	DIN EN ISO 10370 :2015	<0,1	-	0,30	% (m/m)
Aschegehalt (775 °C)	DIN EN ISO 6245 :2003	0,004	-	0,01	% (m/m)
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937 :2002	30	-	200	mg/kg
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662 :2014	<12	-	24	mg/kg
Korrosionswirkung auf Kupfer	DIN EN ISO 2160 :1999	1	-	Klasse 1	Korr.Grad
Oxidationsstabilität	DIN EN ISO 12205 :1996	34	-	25	g/m ³
CFPP	DIN EN 116 :2018	-28	-	*	°C
Kohlenstoffgehalt	DIN 51732 :2014	84,9	-	-	% (m/m)
Wasserstoffgehalt		15,45	-	-	% (m/m)
Sauerstoffgehalt	ASTM D5622 :2017	<0,5	-	-	% (m/m)
Cloudpoint	DIN EN 23015 :1994	-19	-	*	°C

*Anforderungen: 15.04. - 30.09. max. 0 °C
01.10. - 15.11. max. -10 °C
16.11. - 28.02. max. -20 °C
01.03. - 14.04. max. -10 °C

5.2. AP 2 Ausgangstestung mit konventionellem Dieselkraftstoff und Differenztestung mit GtL - und HVO - Kraftstoffen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den NO_x-Emissionen und auf der Emission der Partikelanzahl. Die Auswertung der WLTC-Daten erfolgte sowohl für den gesamten Test als auch für die einzelnen Testphasen. Bei den PEMS-Messungen wurde zusätzlich zu den Gesamtwerten auch eine geschwindigkeitsabhängige Auswertung vorgenommen, d. h. die Emissionen wurden definierten Geschwindigkeitsklassen zugeordnet, um eine stärker differenzierte Aussage bezüglich des Emissionsverhaltens der Fahrzeuge zu ermöglichen. Beispielsweise lassen sich die Emissionen der Geschwindigkeitsklasse 0 bis 30 km/h schwerpunktmäßig dem innerstädtischen Verkehr zuordnen. Darüber hinaus wurden die ersten 5 km der durchgeführten RDE-Fahrten separat ausgewertet, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Kurzstrecken einen erheblichen Anteil aller Fahrten in besiedelten Gebieten ausmachen.

In den folgenden Abbildungen ist exemplarisch jeweils ein Auszug der Datenaufzeichnung eines WLTC-Tests sowie einer RDE-Fahrt dargestellt.



Abbildung 16: Auszug der Datenaufzeichnung eines WLTC

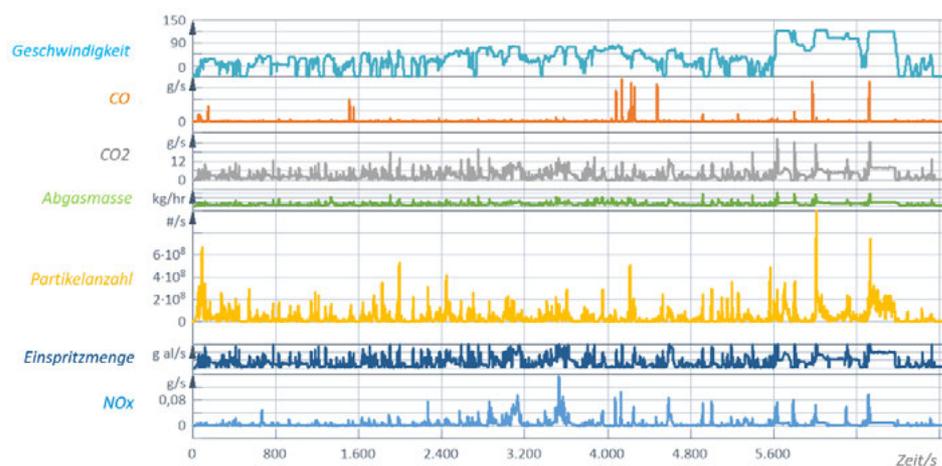


Abbildung 17: Auszug der Datenaufzeichnung einer RDE-Fahrt

Bei der Auswertung der WLTC-Daten werden die NO_x -Emissionen in der Regel als Mittelwerte dargestellt (jeweils kalt- und warm-Tests). Bei den PN-Emissionen wurden keine Mittelwerte gebildet, da die PN-Emission u. a. von der Filterbeladung abhängig ist und daher von Test zu Test unterschiedliche Ergebnisse zeigt. Da vor jedem 1. WLTC und vor jeder 1. RDE-Fahrt mit dem jeweiligen Kraftstoff eine aktive Partikelfilterregeneration durchgeführt wurde, beginnt der Aufbau des Rußkuchens, also die aufbauende Rußschicht auf dem Filtermaterial, die als eigentliches Filtermedium wirkt, quasi von neuem und der Filterwirkungsgrad während dieses Prozesses ändert sich. Daher lassen sich erste und zweite Tests bzw. Fahrten in Bezug auf PN-Emissionen nicht untereinander vergleichen. Da jeweiligen Kraftstoff-Messreihen mit einem definiertem Ausgangszustand begonnen wurden ist ein Vergleich der Kraftstoffmessreihen miteinander zulässig.

Bei der Auswertung der RDE-Fahrten wurden grundsätzlich keine Mittelwerte gebildet, da hier die Emissionen von unterschiedlichen Einflussfaktoren abhängen und daher von Fahrt zu Fahrt unterschiedlich sein können.

Darüber hinaus müssen die bei der jeweiligen Fahrt auftretenden Randbedingungen in die Bewertung einbezogen werden. So kann beispielsweise die Umgebungstemperatur einen signifikanten Einfluss auf die NO_x -Emission haben. Ebenso muss betrachtet werden, inwieweit die Geschwindigkeitsprofile und auch die Dynamik der Fahrten miteinander vergleichbar sind. Daher wurden diese Daten ausgewertet und mit in die Bewertung einbezogen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die Diskussion der möglichen Ursachen erfolgt in Kapitel 6. Die in den Abbildungen gezeigten Emissionen stellen Absolutwerte dar. Die wesentlichen Ergebnisse werden in Form von Diagrammen gezeigt, die vollständige Auflistung aller Ergebnisse ist in Tabellenform im Anhang zu finden.

5.2.1. AP 2.1 Bestandsaufnahme Pkw Serie mit Dieselkraftstoff, GtL und HVO

VW Passat

In Abbildung 18 sind die NO_x - und PN-Emissionen mit B7, HVO und GtL im WLTC einander gegenübergestellt. Neben den Gesamtwerten sind die Emissionen auch phasenweise dargestellt. Es zeigt sich, dass die NO_x -Emissionen für alle Kraftstoffe im kalten WLTC von Phase zu Phase mehr oder weniger stark ansteigen. In Phase 4 treten die höchsten Emissionen auf. Im warmen WLTC ist dieser Trend nicht mehr zu erkennen. Dort sind die Emissionen auch schon in den Phasen 1 bis 3 erhöht, so dass die NO_x -Emissionen im warmen WLTC insgesamt um ca. 10 bis 15 % höher sind als im kalt gestarteten. Es ist kein wesentlicher Einfluss des Kraftstoffs auf die NO_x -Emissionen erkennbar. Lediglich in Phase 1 des warmen WLTC mit HVO werden im Vergleich zu B7 ca. 15 % höhere NO_x -Emissionen festgestellt.

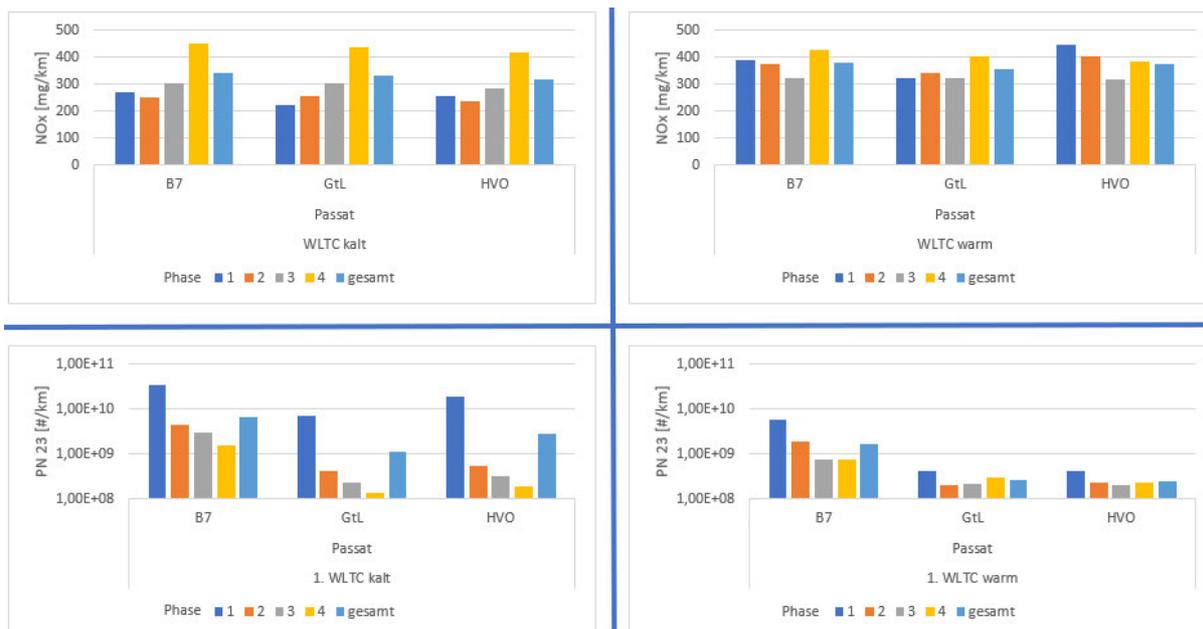


Abbildung 18: NO_x - und PN-Emissionen im WLTC kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Bei den PN-Emissionen sind die Werte in der 1. Phase am höchsten und nehmen dann von Phase zu Phase ab. Dies ist besonders im kalten WLTC zu beobachten. Generell ist festzustellen, dass in diesem Fall die PN-Emissionen mit GtL und HVO geringer sind als mit B7.

Die Einzelergebnisse aller Messungen mit dem VW Passat im WLTC sind im Anhang dargestellt

Die Ergebnisse der RDE-Fahrten sind in Abbildung 19 dargestellt. Zum Vergleich der Emissionen wurden jeweils die erste kalt- und die erste warm-Fahrt ausgewählt. Zusätzlich zu den Gesamtwerten wurden die Emissionen nach Geschwindigkeitsklassen ausgewertet. Sowohl bei der kalten als auch bei der warmen RDE-Fahrt zeigen sich in allen Geschwindigkeitsklassen deutlich erhöhte NO_x-Werte. Mit GtL steigen die Werte um rund das 3-fache an, mit HVO um mehr als das 1,5-fache. Auffallend ist der besonders starke Anstieg in der Geschwindigkeitsklasse 0 bis 30 km/h.

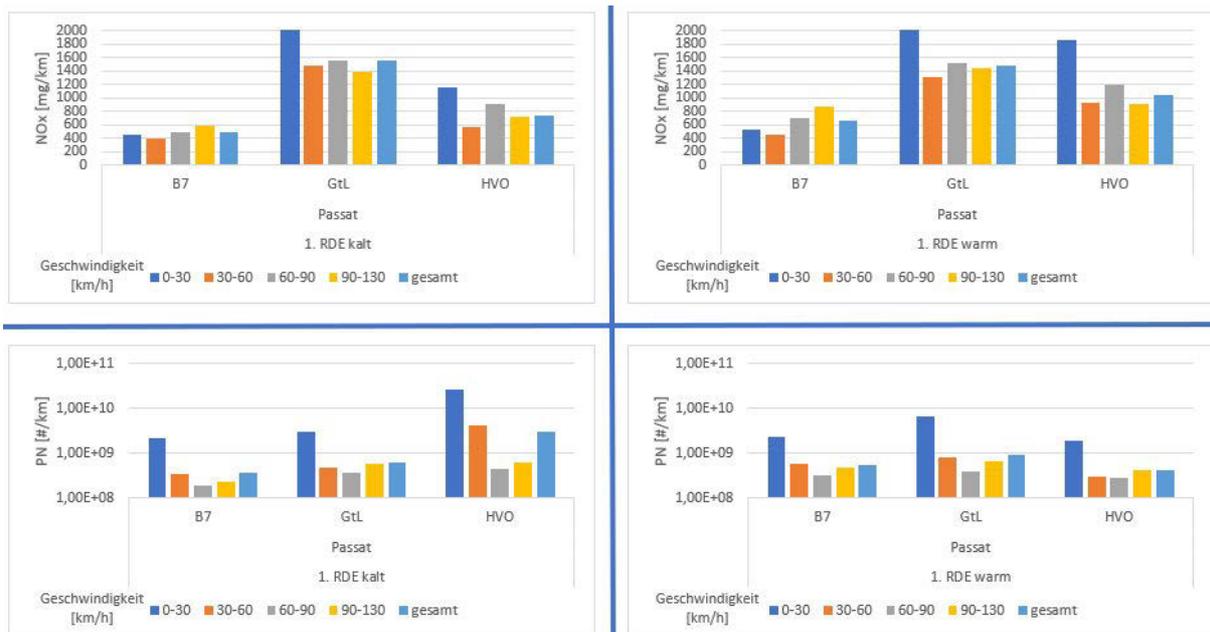


Abbildung 19: NO_x- und PN-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Die Auswertung der PN-Emissionen zeigt, dass bei allen Messungen die Emissionen in der Geschwindigkeitsklasse 0 – 30 km/h am höchsten sind. Der Einfluss des Kraftstoffes ist insbesondere bei der kalt-Fahrt deutlich zu sehen. Mit HVO werden 8-fach höhere Werte gemessen, mit GtL rund 1,7-fache. Bei der warm-Fahrt sind die Emissionen mit GtL rund um das 1,9-fache gegenüber B7 erhöht. Mit HVO sind die PN-Emissionen hingegen nahezu identisch zu B7.

Bewertet man nur die ersten 5 km der Fahrt, zeigt sich, dass die NO_x-Emissionen mit GtL und HVO sowohl in der kalt als auch in der warm-Fahrt gegenüber B7 Diesel deutlich erhöht sind.



Abbildung 20: NO_x- und PN-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Bei der PN-Emission zeigt sich ein differenziertes Bild. Hier sind die Emissionen mit GtL und HVO in der kalten Fahrt höher als mit B7, in der warmen Fahrt jedoch auf etwa gleichem Niveau bzw. geringer.

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität

Im Falle der hier ausgewählten Fahrten passen die Profile der kalt- (s. Abbildung 21) wie auch der warm-Fahrten (Abbildung 22) mit B7, HVO und GTL gut zueinander, geringe Abweichungen sind verkehrsbedingt nicht zu vermeiden.

Weitere Daten zur Vergleichbarkeit der Fahrten sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 zusammengestellt.

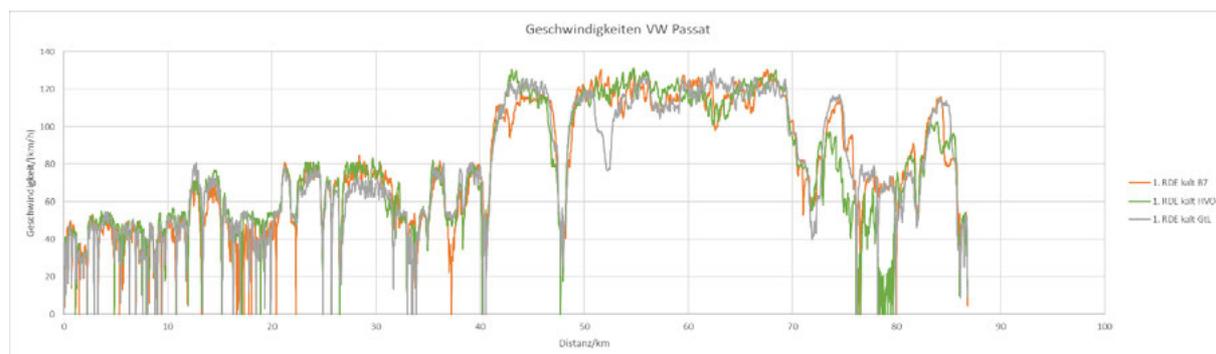


Abbildung 21: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Tabelle 8: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	19,1	53,8	11,5	14,6	18,4
HVO	5,0	49,7	11,6	15,4	17,7
GtL	-3,4	53,4	10,8	14,5	16,0

**Abbildung 22: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten****Tabelle 9: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten**

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	15,8	54,0	12,4	15,9	18,7
HVO	6,8	55,0	15,7	17,5	21,7
GtL	1,0	50,7	11,5	14,6	17,8

Da die Umgebungstemperaturen bei den Fahrten mit HVO und insbesondere mit GtL niedriger waren als mit B7, ist davon auszugehen, dass auch dies einen Einfluss auf die NO_x-Emissionen hat. Bei niedrigen Umgebungstemperaturen ist davon auszugehen, dass die AGR-Rate mehr oder weniger stark reduziert wird und damit die NO_x-Emissionen steigen. Doch selbst, wenn die mit GtL ermittelten Emissionen durch den Faktor 1,6 (RDE Gesetzgebung: Korrekturfaktor für erweiterte Bedingungen) dividiert werden, ergibt sich noch immer eine deutliche Erhöhung der NO_x-Emission. Die Frage, in welchem Ausmaß die Umgebungstemperatur einen Anstieg der NO_x-Emission bewirkt, konnte im Rahmen des Projektes nicht näher untersucht werden. Grundsätzlich werden in den Fällen wo Einfluss der äußeren Randbedingungen nicht

eindeutig vom Einfluss des Kraftstoffes zu trennen sind, diese Messungen nicht in der Auswertung hinsichtlich der Kraftstoffeinflüsse berücksichtigt.

Ergebnisse MB E 220CDI

Mit dem Versuchsträger MB E220CDI liegen keine Werte mit dem Kraftstoff GtL vor. Hier kam es an der FH Dortmund zu einem Ausfall des Partikelanzahl-Messgeräts, so dass außer bei den ersten WLTC-Tests keine PN-Emissionen gemessen werden konnten. Daher wurde dieses Fahrzeug aus dem geplanten Messprogramm herausgenommen. Da dieses Fahrzeug ohnehin als dritter PKW über den beantragten Projektumfang hinaus geht hat dieser Sachverhalt keinen Einfluss auf das beantragte Projektziel.

In Abbildung 23 sind die NO_x- und PN-Emissionen mit B7 und HVO im WLTC dargestellt. Es zeigt sich, dass die NO_x-Emission im kalten WLTC zwischen B7 und HVO kaum Unterschiede aufweisen. Auch von Phase zu Phase sind die Emissionen relativ nahe beieinander. Im warmen WLTC sind die Unterschiede etwas größer. Insbesondere in den ersten beiden Phasen sind die NO_x-Emissionen mit B7 deutlich höher als mit HVO. In der Summe sind die NO_x-Emissionen mit HVO um ca. 15 % niedriger als mit B7.

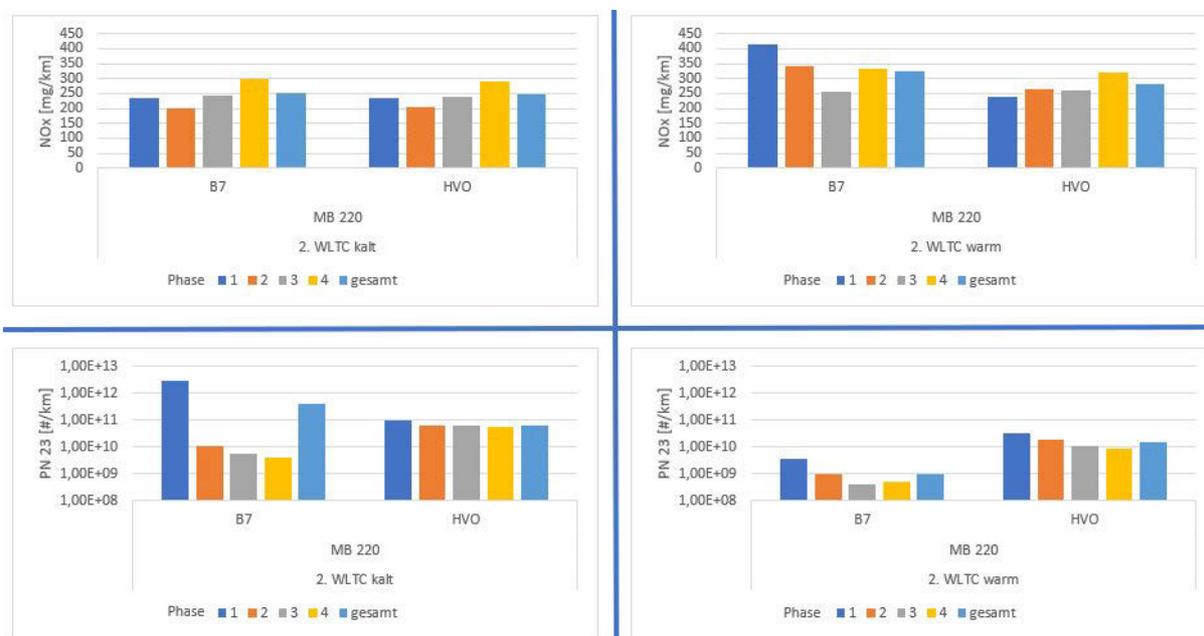


Abbildung 23: NO_x- und PN-Emissionen im WLTC kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Bei den PN-Emissionen sind die Werte in der 1. Phase am höchsten und nehmen dann von Phase zu Phase ab. Dies ist besonders im kalten WLTC mit B7 zu beobachten. In den warmen Zyklen ist dieser Trend nicht mehr eindeutig bzw. nur noch sehr schwach ausgeprägt. Beim

Vergleich der Kraftstoffe ist festzustellen, dass die Gesamtemissionen im kalten Test mit HVO um Faktor 6 geringer sind als mit B7. Im warmen Test hingegen sind die PN-Emissionen um Faktor 15 höher.

Die Einzelergebnisse aller Messungen mit dem MB E 220CDI im WLTC sind im Anhang dargestellt

Die Ergebnisse der RDE-Fahrten sind in Abbildung 24 dargestellt. Auffallend ist bei allen Fahrten, dass die NO_x-Emissionen in der Geschwindigkeitsklasse 0 bis 30 km/h am höchsten und deutlich höher sind als in den höheren Geschwindigkeitsklassen. In der kalt-Fahrt sind die Emissionen mit HVO ca. 30 % niedriger als mit B7, in der warm-Fahrt etwa 10 %.

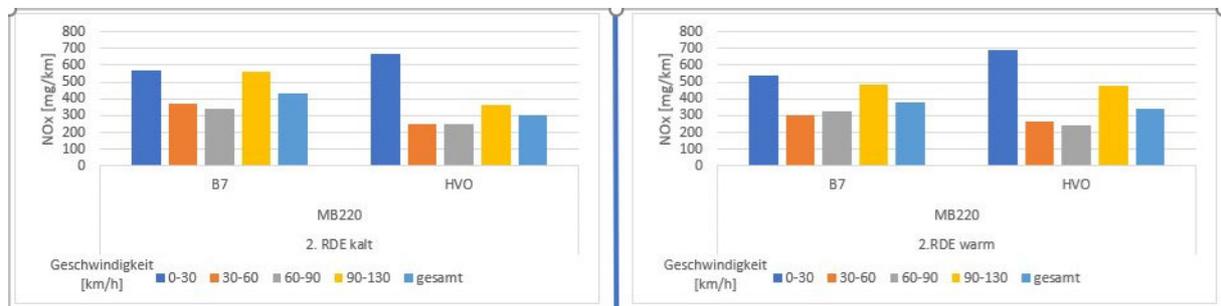


Abbildung 24: NO_x-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Bewertet man nur die ersten 5 km der Fahrt, zeigt sich, dass die NO_x-Emissionen in der kalt-Fahrt ca. 20 % über dem B7-Wert liegt, während sie in der warm-Fahrt ca. 40 % niedriger ist.

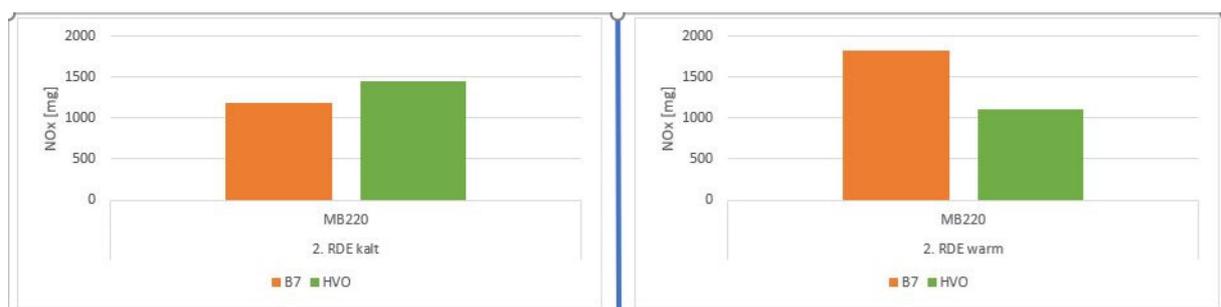


Abbildung 25: NO_x-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität

Im Falle der hier ausgewählten Fahrten passen die Profile der kalt- (s. Abbildung 26) wie auch der warm-Fahrten (Abbildung 27) gut zueinander, geringe Abweichungen sind verkehrsbedingt nicht zu vermeiden. Auch die Umgebungstemperaturen liegen jeweils in Bereichen, in denen noch keine nennenswerten Einflüsse auf die NO_x-Emissionen zu erwarten sind.



Abbildung 26: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Weitere Daten zur Vergleichbarkeit der Fahrten sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 10: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	13,4	50,0	-	-	-
HVO	9,2	47,8	-	-	-

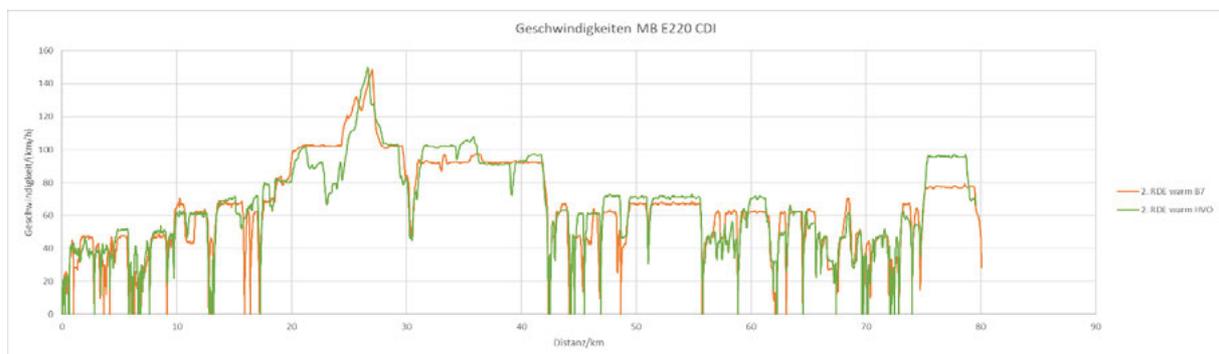


Abbildung 27: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Tabelle 11: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	23,8	43,0	-	-	-
HVO	12,1	44,1	-	-	-

Ergebnisse VW Touareg

In Abbildung 28 sind die NO_x - und PN-Emissionen mit B7, HVO und GtL im WLTC einander gegenübergestellt. Hier sind keine NO_x -Mittelwerte dargestellt, da mit dem Touareg nur jeweils ein Test mit HVO und GtL gefahren wurden. Ähnlich wie beim Passat sind die NO_x -Werte tendenziell in Phase 4 des Zyklus am höchsten. Bei den kalt gestarteten Messungen ist der Kraftstoffeinfluss bei HVO mit einer 40%igen Erhöhung der NO_x -Emission deutlich zu erkennen. Mit GtL liegen die NO_x -Werte ca. 15 % über dem B7-Wert. Im warmen WLTC zeigt sich ein ähnliches Verhalten.

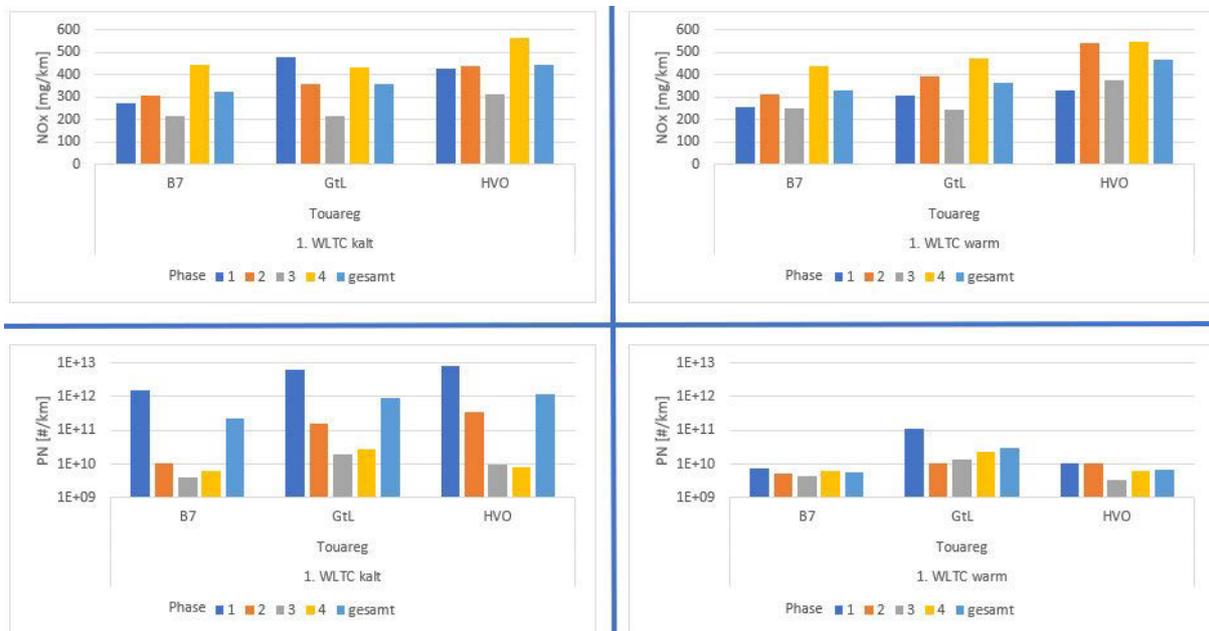


Abbildung 28: NO_x - und PN-Emissionen im WLTC kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Auch bei den PN-Emissionen ist im kalten WLTC eine deutliche Erhöhung der Emissionen mit GtL und HVO festzustellen. Auffallend ist auch hier wieder, dass die höchsten PN-Emissionen in der ersten Phase des Tests auftreten. Im warmen WLTC liegen die PN-Emissionen generell niedriger als im kalten. Mit GtL liegen die erste ca. 5-fach über den B7-Werten, während sie mit HVO auf etwa gleichem Niveau liegen.

Die Einzelergebnisse aller Messungen mit dem VW Touareg im WLTC sind im Anhang dargestellt.

Die Auswertung der RDE-Fahrten zeigt, dass hier kaum Unterschiede zwischen kalt- und warm-Fahrten auftreten (s. Abbildung 29). In beiden Fällen sind die NO_x -Konzentrationen mit

HVO um ca. 60 % erhöht. Mit GtL sind die NO_x-Werte nur leicht erhöht und liegen auf etwa gleichem Niveau wie mit B7.

Betrachtet man die PN-Emission der RDE kalt-Fahrt, so fällt auf, dass die Emission in den Geschwindigkeitsklassen 0 – 30 km/h und 30 – 60 km/h am höchsten sind. Dies ist der für den Stadtverkehr typische Geschwindigkeitsbereich. Die Summenwerte liegen für beide paraffinische Kraftstoffe unter den Werten für B7. Beim Vergleich der Emissionen von kalt- und warm-Fahrt ist festzustellen, dass die PN-Emissionen mit B7 eine Größenordnung geringer sind als bei der kalt-Fahrt. Bei HVO liegt hingegen eine leichte Erhöhung vor, bei GtL sogar eine drastische Erhöhung der PN-Emission um den Faktor 10.

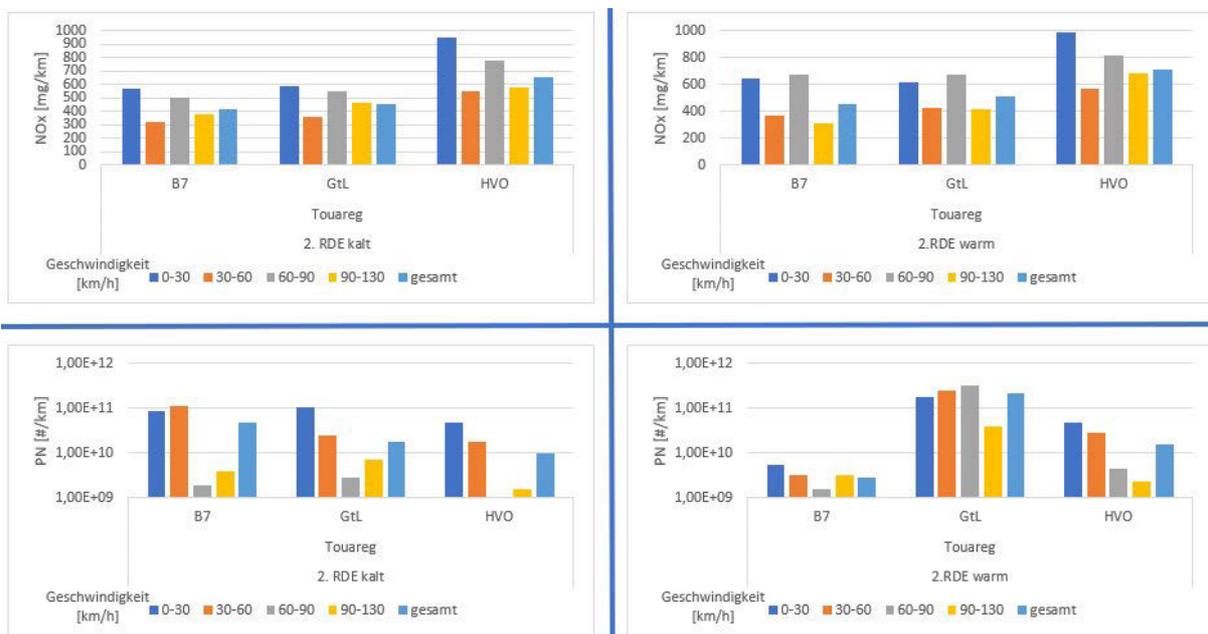


Abbildung 29: NO_x- und PN-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Auch hier wurden zusätzlich die ersten 5 km der RDE-Strecke ausgewertet. Wie Abbildung 30 zeigt, sind die NO_x-Emissionen auf der kalt-Fahrt mit GtL und HVO um ca. 15 bis 20 % erhöht, auf der warm-Fahrt ist der NO_x-Ausstoß mit GtL ca. 10 % geringer, mit HVO hingegen um ca. 30 % höher.

Die PN-Emissionen sind in der kalt-Fahrt bei allen 3 Kraftstoffen um rund eine Größenordnung höher als in der warm-Fahrt. Der Unterschied zwischen kalt- und warm-Fahrt ist bei B7 am größten und mit HVO am kleinsten. Bei der kalt-Fahrt fällt die PN-Emission in der Reihenfolge B7, GtL, HVO ab, während sie in der warm-Fahrt genau in derselben Reihenfolge ansteigt. Die PN-Emission in der warm-Fahrt sind mit HVO am höchsten, in der kalt-Fahrt am niedrigsten.



Abbildung 30: NO_x- und PN-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität

Die Vergleichbarkeit der ausgewählten Fahrten ergibt sich aus den nachfolgenden Abbildungen und Tabellen für die kalt-Fahrten (Abbildung 31, Tabelle 12 ebenso wie für die warm-Fahrten (Abbildung 32, Tabelle 13). Die Geschwindigkeitsverläufe zeigen im Autobahnanteil Abweichungen, die sich bei B7 auch in den höheren Dynamikwerten widerspiegeln.

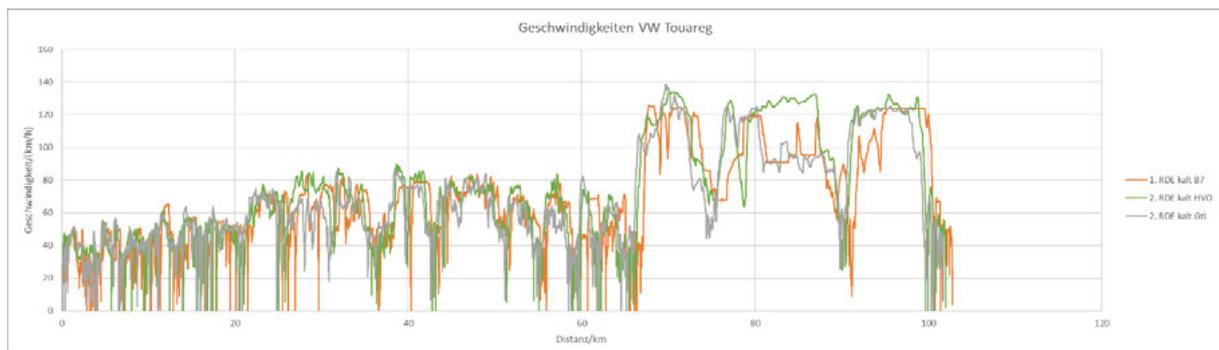


Abbildung 31: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Tabelle 12: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	18,2	49,1	12,6	14,9	51,0
HVO	6,6	51,5	13,3	18,3	22,2
GtL	13,6	49,9	11,5	17,9	23,6

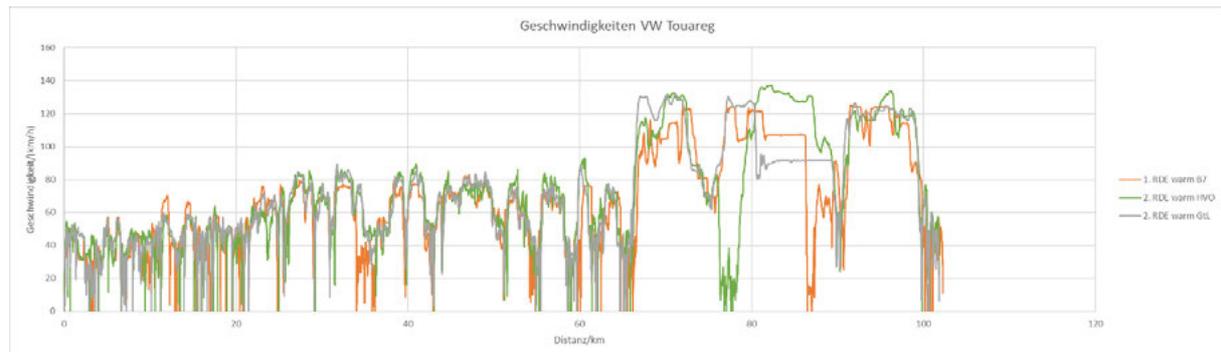


Abbildung 32: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Tabelle 13: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	17,6	51,4	13,1	22,0	40,9
HVO	7,0	47,1	13,0	15,4	22,3
GtL	16,0	51,1	11,6	15,0	29,2

Die Umgebungstemperaturen aller Fahrten liegen in einem moderaten Bereich. Die niedrigeren Temperaturen von 6 bis 7 °C bei den Fahrten mit HVO dürften jedoch schon einen gewissen Einfluss auf die NO_x-Emission haben. Von der Fahrdynamik her zeigen die B7-Fahrten auf der Autobahnstrecke deutlich höhere Werte, was grundsätzlich auch mit höheren Emissionen verbunden sein kann. Insofern könnten die Unterschiede von B7 gegenüber HVO und GtL bei gleicher Dynamik noch deutlicher ausfallen als in obigen Diagrammen zu erkennen.

5.2.2. AP 2.2 Bestandsaufnahme LDV Serie mit Dieselkraftstoff, GtL und HVO

Ergebnisse VW T5

In Abbildung 33 sind die NO_x- und PN-Emissionen mit B7, HVO und GtL im WLTC einander gegenübergestellt. Hier sind keine NO_x-Mittelwerte dargestellt, da mit dem T5 nur jeweils ein Test mit B7 und HVO gefahren wurde. Bezüglich der NO_x-Emissionen lässt sich sowohl im kalt- als auch im warm-Test feststellen, dass die Emissionen von Phase 1 nach Phase 2 ansteigen und in Phase 4 schließlich am höchsten sind. Die Unterschiede der Summenwerte sind gering, ein merklicher Einfluss des Kraftstoffs auf die NO_x-Emission ist hier nicht erkennbar.

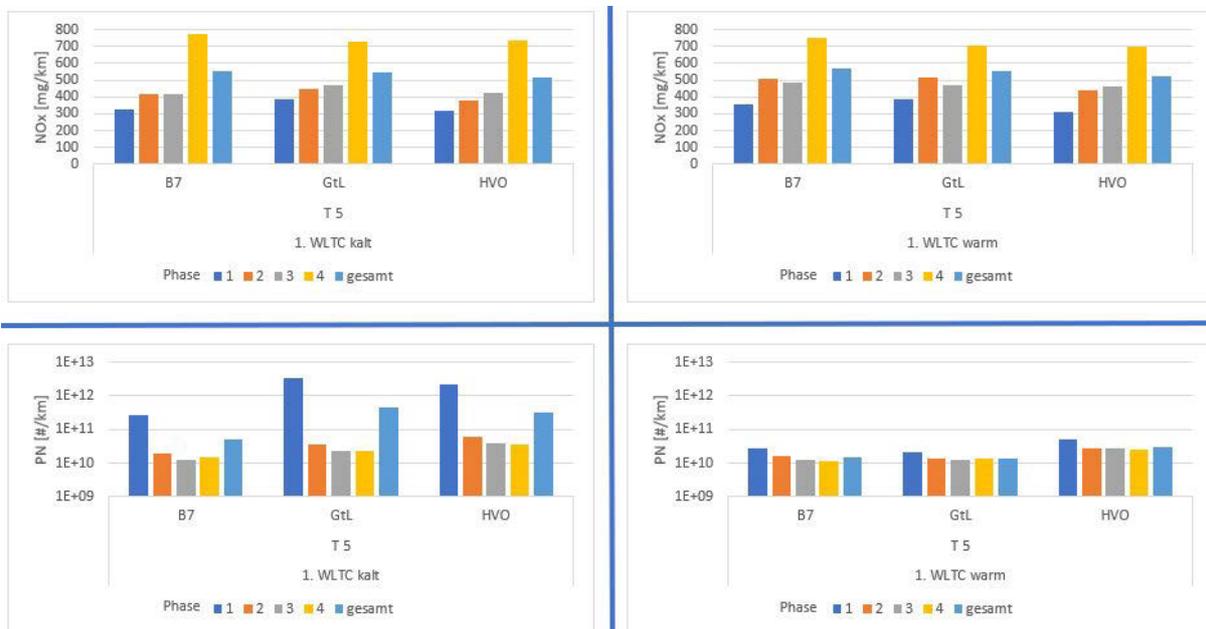


Abbildung 33: NO_x- und PN-Emissionen im WLTC kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Bei den PN-Emissionen ist im kalten WLTC eine deutliche Erhöhung der Emissionen mit GtL (Faktor 9,5) und HVO (Faktor 6,5) festzustellen. Auffallend ist auch hier wieder, dass die höchsten PN-Emissionen in der ersten Phase des Tests auftreten. Im warmen WLTC liegen die PN-Emissionen generell niedriger als im kalten. Mit GtL liegen die Werte in diesem Fall auf etwa gleichem Niveau, mit HVO sind sie gegenüber B7 etwa doppelt so hoch.

Die Einzelergebnisse aller Messungen mit dem VW T5 im WLTC sind im Anhang dargestellt.

Vom T5 liegen keine RDE-Daten mit GtL vor, weil diese Fahrten zum vorgesehenen Zeitpunkt nicht durchgeführt und erst nach Ende des Projekts nachgeholt werden konnten. Daher sind in den folgenden Abbildungen nur Fahrten mit B7 und HVO dargestellt. Die Auswertung dieser

Daten zeigt, dass in der Summe praktisch keine Unterschiede zwischen den Kraftstoffen auftreten. Dies gilt für die kalt- und die warm-Fahrten (s. Abbildung 34). Auffallend ist, dass die NO_x-Emissionen bei allen Fahrten in der Geschwindigkeitsklasse 0 bis 30 km/h deutlich höher sind als in den höheren Geschwindigkeitsklassen. Beim Vergleich von kalt- und warm-Fahrten ist festzustellen, dass die Emissionen in den warm-Fahrten ca. 15 % niedriger sind als in den kalt-Fahrten.

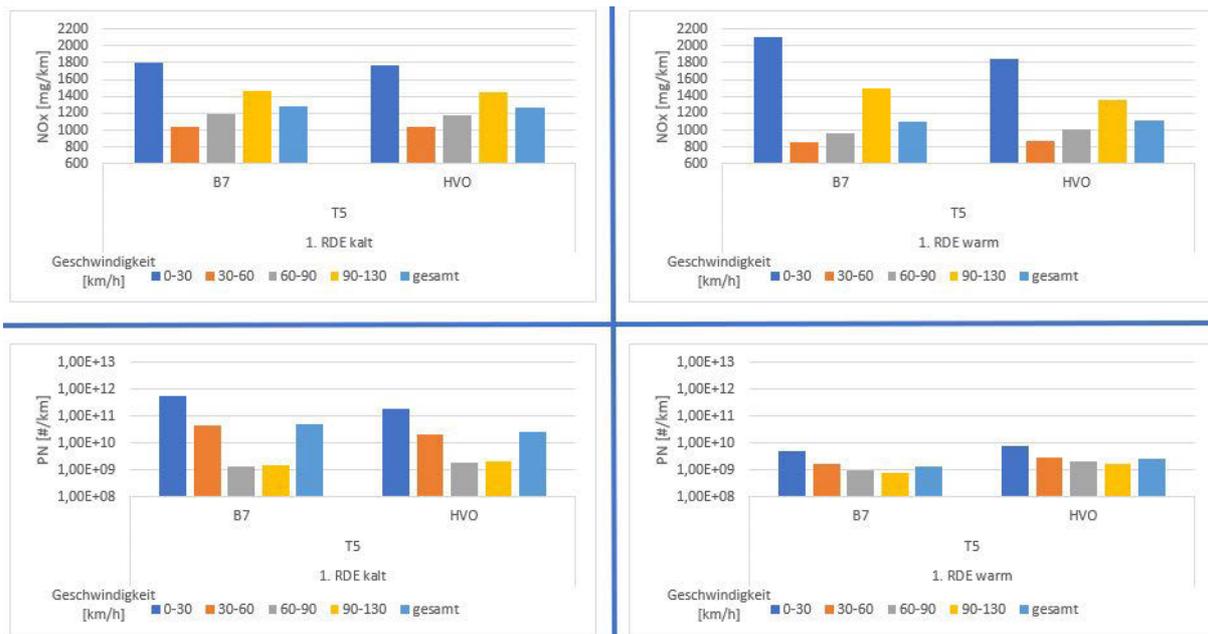


Abbildung 34: NO_x- und PN-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7 und HVO

Die Auswertung der PN-Emission zeigt, dass die Emissionen bei allen Fahrten in den beiden unteren Geschwindigkeitsklassen am höchsten sind. Dieser Effekt ist in den kalt-Fahrten besonders stark ausgeprägt. Zudem ist zu sehen, dass die Emissionen bei den warm-Fahrten um mehr als 1 Größenordnung niedriger sind als in den kalt-Fahrten. Zum Kraftstoffeinfluss ist festzustellen, dass in der kalt-Fahrt die PN-Emission mit HVO um etwa 50 % geringer, in der warm-Fahrt jedoch um ca. 80 % höher ausfallen.

Auf den ersten 5 km der RDE-Strecke zeigen sich bei der kalt- und auch der warm-Fahrt mit HVO etwas niedrigere NO_x-Emissionen als mit B7. Wie Abbildung 35 zeigt, sind die NO_x-Emissionen auf der kalt-Fahrt mit HVO um knapp 20 % geringer als mit B7, auf der warm-Fahrt sind es noch knapp 5 % weniger.

Bei den PN-Emissionen sieht das Bild etwas anders aus. Bei der kalt-Fahrt sind die Emissionen mit HVO ca. 50% geringer als mit B7, auf der warm-Fahrt gibt es hingegen einen leichten Anstieg von 35 %. Insgesamt bewegen sich die PN-Emissionen der warm-Fahrten um mehr als 2 Größenordnungen unter denen der kalt-Fahrten.



Abbildung 35: NO_x- und PN-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität:

Die Vergleichbarkeit der ausgewählten Fahrten ergibt sich aus den nachfolgenden Abbildungen und Tabellen für die kalt-Fahrten (Abbildung 36, Tabelle 14) ebenso wie für die warm-Fahrten (Abbildung 37, Tabelle 15). Die Geschwindigkeitsverläufe und auch die Dynamikwerte zeigen eine sehr gute Vergleichbarkeit. Auch die Umgebungstemperaturen liegen sehr nahe beieinander, so dass hier keine Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität zu berücksichtigen sind.

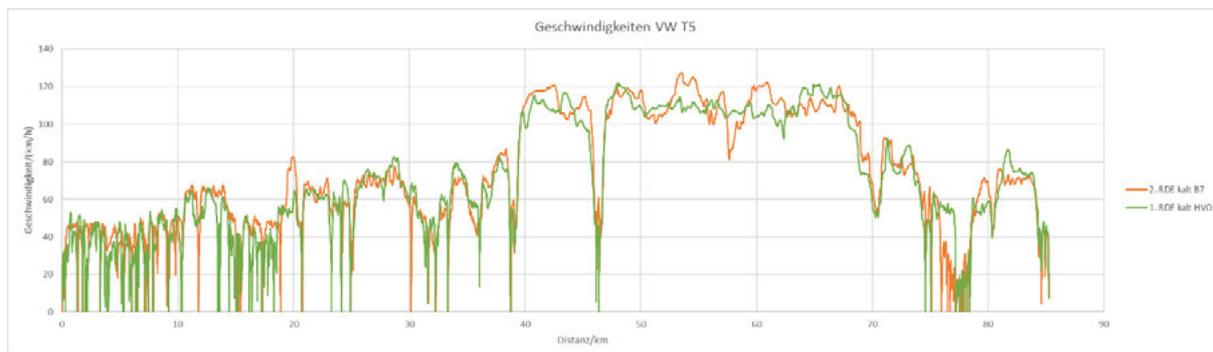


Abbildung 36: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Tabelle 14: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	6,9	46,9	11,4	15,9	13,2
HVO	5,7	43,3	11,4	18,9	16,0

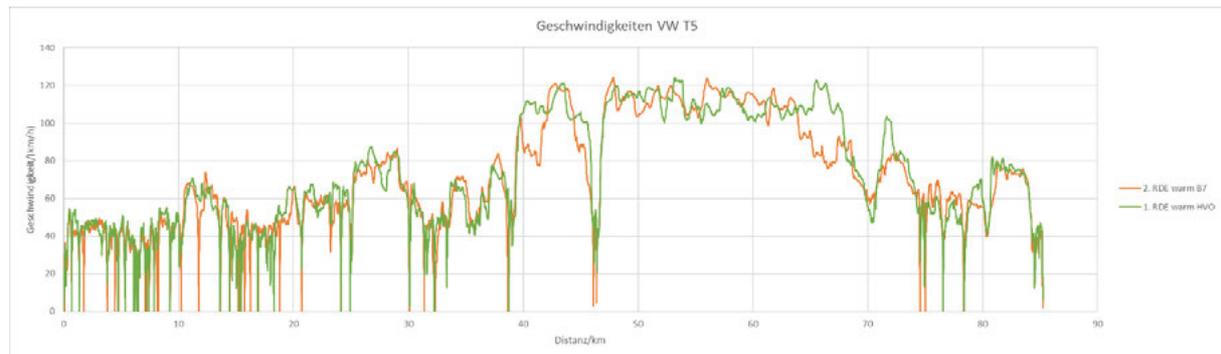


Abbildung 37: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Tabelle 15: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	9,9	49,2	11,5	17,1	19,9
HVO	10,0	53,1	11,6	18,7	17,1

Ergebnisse Fiat Ducato

In Abbildung 38 sind die NO_x- und PN-Emissionen mit B7, HVO und GtL im WLTC einander gegenübergestellt. Im Hinblick auf die NO_x-Emissionen lässt sich auch hier wieder feststellen, dass die Emissionen von Phase zu Phase ansteigen und in Phase 4 am höchsten sind. Dies gilt aber nur für den kalt-Test. Im warmen WLTC sind die NO_x-Werte auch schon in den ersten beiden Phasen auf ähnlichem Niveau wie in Phase 3, Phase 4 zeigt wieder die höchsten Werte. Ein Einfluss des Kraftstoffs auf die NO_x-Emission ist nicht erkennbar.

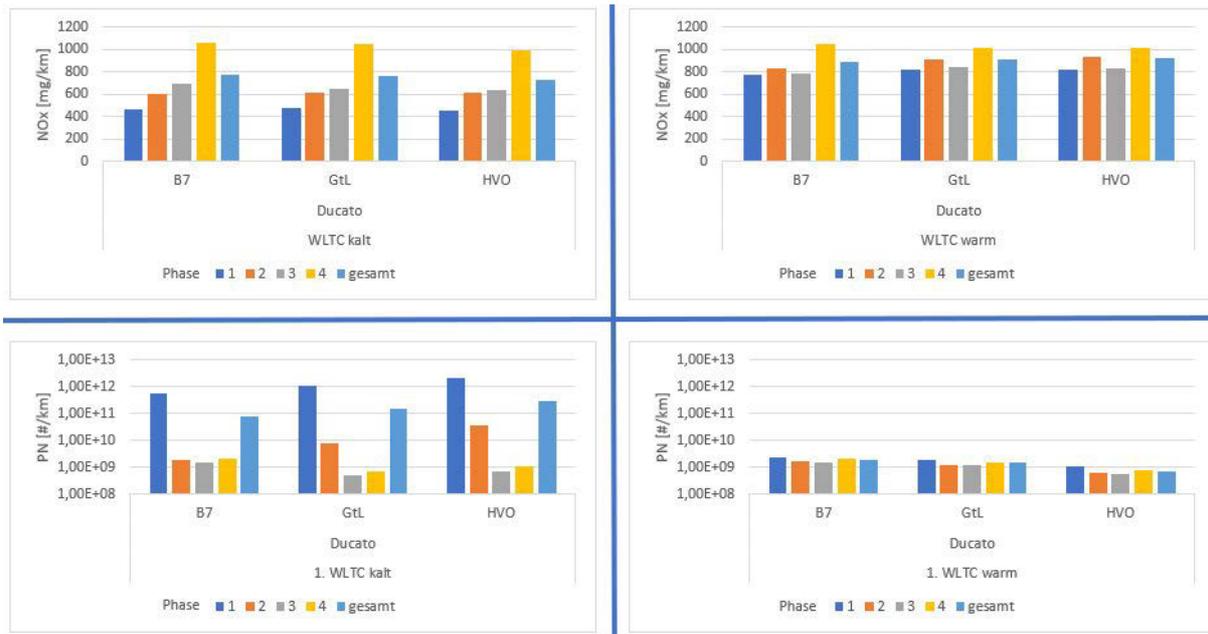


Abbildung 38: NO_x- und PN-Emissionen im WLTC kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Bezüglich der Partikel ist im kalten WLTC festzustellen, dass die PN-Emissionen in der ersten Phase des Tests um 1 bis 2 Größenordnungen höher liegen als in den übrigen Phasen. Diese hohen Werte bestimmen im Wesentlichen das Gesamtergebnis. Im warmen WLTC hingegen treten diese erhöhten Werte in Phase 1 nicht auf. In der Summe sind daher die PN-Emissionen bei allen 3 Kraftstoffen deutlich niedriger als im kalt-Test. Beim Vergleich der Emissionen in Abhängigkeit des eingesetzten Kraftstoffs zeigt sich, dass die PN-Werte im kalten WLTC mit GtL um Faktor 1,85, mit HVO um Faktor 3,5 über den B7-Werten liegen. Im warmen WLTC sind die PN-Emission mit GtL um ca. 20 % und mit HVO um ca. 50 % geringer als mit B7.

Die Einzelergebnisse aller Messungen mit dem Fiat Ducato im WLTC sind im Anhang dargestellt.

Die Auswertung der RDE-Fahrten zeigt, dass sich die Summenwerte zwischen den Kraftstoffen in den kalt- und warm-Fahrten kaum unterscheiden (s. **Abbildung 39**). Die Auswertung der einzelnen Geschwindigkeitsklassen zeigt jedoch, dass in der 0 bis 30 km/h-Klasse die NO_x-Emission mit GtL und HVO um 10 bis 15 % höher liegen als mit B7. Generell fällt auf, dass die NO_x-Emissionen auf einem hohen Niveau liegen.

Betrachtet man die PN-Emission der RDE kalt-Fahrt, so ist festzustellen, dass die Emissionen in den für den Stadtverkehr typischen Geschwindigkeitsklassen 0 bis 30 km/h und 30 bis 60 km/h am höchsten sind. Die Summenwerte liegen für alle 3 Kraftstoffe auf etwa gleichem

Niveau. In den warm-Fahrten sind die PN-Emissionen für alle 3 Kraftstoffe etwa eine Größenordnung kleiner als in den kalt-Fahrten. Hier sind auch die Unterschiede von Phase zu Phase deutlich geringer. Auch hier ist kaum ein Kraftstoffeinfluss zu erkennen.

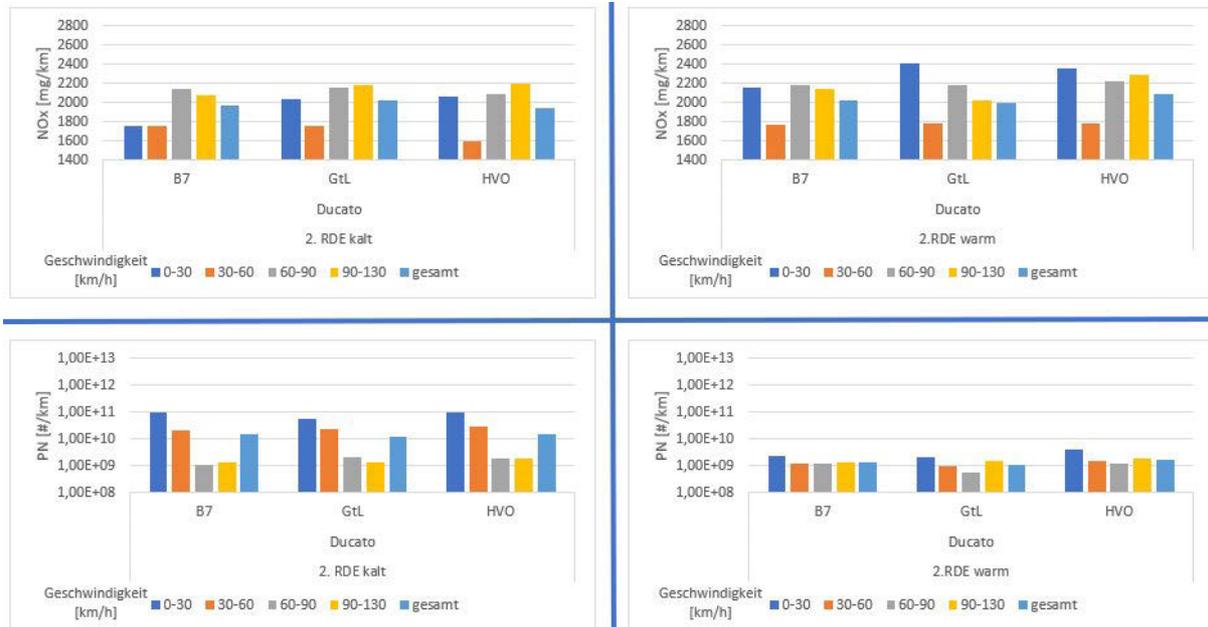


Abbildung 39: NO_x- und PN-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Die Auswertung der ersten 5 km der RDE-Strecke zeigt bei der kalt- wie bei der warm-Fahrt höhere NO_x-Emissionen mit GtL und für HVO (Abbildung 40). So sind die NO_x-Emissionen beispielsweise mit HVO in der kalt-Fahrt um ca. 30 % erhöht, mit GtL auf der warm-Fahrt um rund 15 bis 20 %.

Die PN-Emissionen sind in der kalt-Fahrt auf den ersten 5 km der RDE-Strecke bei allen 3 Kraftstoffen um 1 bis 2 Größenordnungen höher als in der warm-Fahrt. Der Unterschied zwischen kalt- und warm-Fahrt ist bei B7 am größten und mit HVO am kleinsten. Bei der kalt-Fahrt sind die PN-Emissionen mit GtL (-40 %) und HVO (-30 %) etwas geringer als mit B7. Bei der warm-Fahrt sind die PN-Emissionen mit GtL um Faktor 3,3 und mit HVO fast um Faktor 6 höher als mit B7.



Abbildung 40: NO_x- und PN-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität:

Die Vergleichbarkeit der ausgewählten Fahrten ergibt sich aus den nachfolgenden Abbildungen und Tabellen für die kalt-Fahrten (Abbildung 41, Tabelle 16) ebenso wie für die warm-Fahrten (Abbildung 42, Tabelle 17). Die Geschwindigkeitsverläufe und die Dynamikwerte sind für alle Fahrten sehr gut vergleichbar. In Bezug auf die Umgebungstemperaturen ist festzuhalten, dass die HVO-Fahrten unter deutlich kälteren Bedingungen durchgeführt wurden.

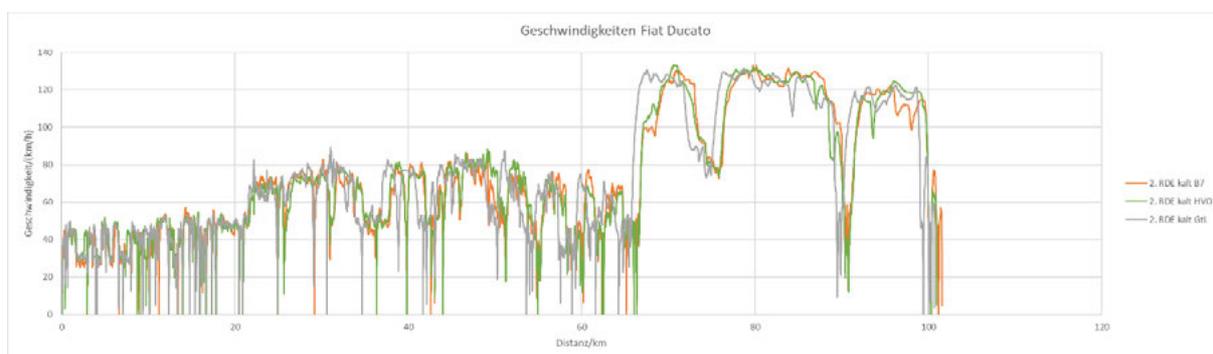


Abbildung 41: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Tabelle 16: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	12,3	52,9	10,0	12,5	10,6
HVO	-2,0	52,9	11,0	12,7	14,0
GtL	9,3	53,8	10,6	13,6	14,0

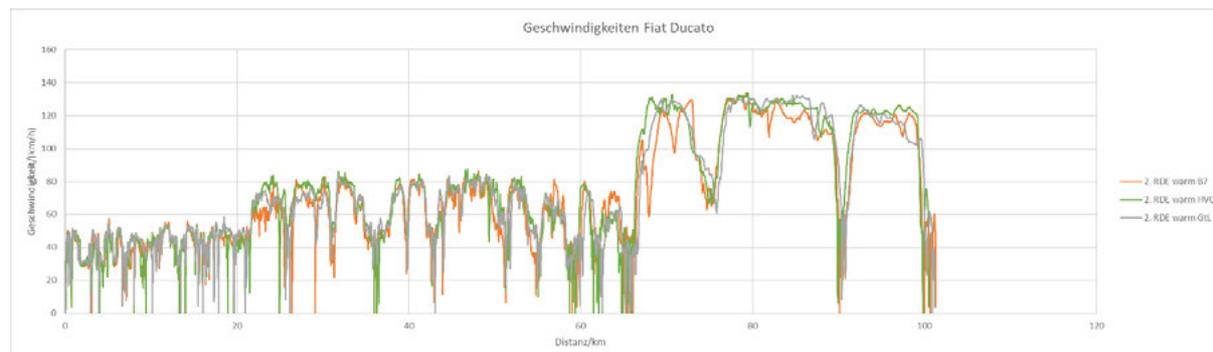


Abbildung 42: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Tabelle 17: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	10,7	53,7	10,3	12,7	13,0
HVO	1,2	55,4	10,8	13,5	14,4
GtL	9,6	56,3	10,6	13,5	15,6

Aufgrund der geringen Umgebungstemperaturen bei den Fahrten mit HVO ist davon auszugehen, dass dies einen Einfluss auf die NO_x-Emissionen hat. Da die gemessenen Unterschiede nicht sehr groß waren, könnten diese zum überwiegenden Teil auf die Umgebungsbedingungen zurückzuführen sein. Somit wäre bei HVO keine kraftstoffbedingte Erhöhung der NO_x-Emission festzustellen.

5.2.3. AP 2.3 Bestandsaufnahme Lkw und Serie mit Dieselmotorkraftstoff, GtL und HVO

Ergebnisse Iveco Daily

In Abbildung 43 sind die NO_x- und PN-Emissionen mit B7, HVO und GtL im WLTC miteinander verglichen. Bei den NO_x-Emissionen lässt sich feststellen, dass die Emissionen in der 1. Phase deutlich höher sind als in den anderen Phasen und dann von Phase zu Phase abnehmen. Dies

gilt für alle dargestellten Tests. Des Weiteren ist festzustellen, dass bei den Gesamtwerten für die NO_x-Emission nahezu keine Unterschiede zwischen kalt- und warm-Tests vorliegen.

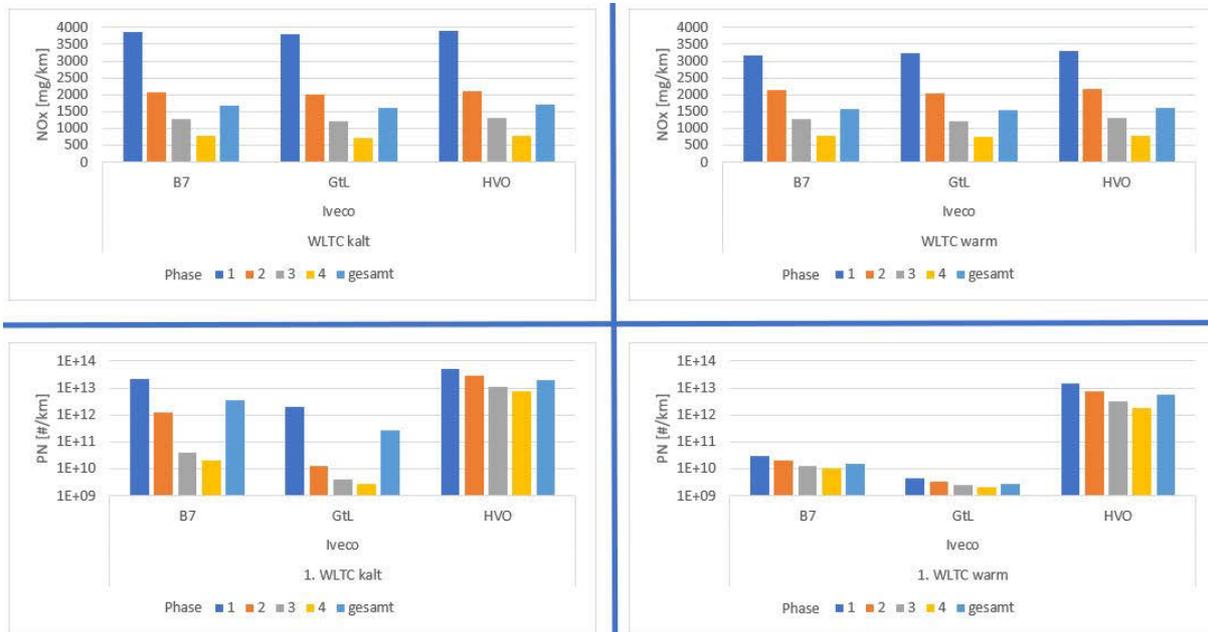


Abbildung 43: NO_x- und PN-Emissionen im WLTC kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Im Hinblick auf die PN-Emissionen ist ebenfalls der Trend zu beobachten, dass die PN-Werte von Phase zu Phase abnehmen. In der 1. Phase treten wiederum die höchsten Werte auf. Beim Vergleich zwischen kalt- und warm-Test ist der Unterschied mit den Kraftstoffen B7 und GtL mit ca. 2 Größenordnungen erheblich größer als mit HVO. Vergleicht man die Kraftstoffe untereinander, zeigt sich ein gemischtes Bild. Mit GtL sind die PN-Emissionen deutlich geringer als mit B7 (Faktor 11,5), mit HVO hingegen liegen sie deutlich darüber (Faktor 5,8). Auffallend ist im warmen WLTC die sehr viel höhere PN-Emission mit HVO im Vergleich zu B7 und GtL.

Bei den RDE-Fahrten wird deutlich, dass nahezu die gesamten NO_x-Emissionen in den Geschwindigkeitsklassen 0 bis 30 km/h und 30 bis 60 km/h auftreten (s. Abbildung 44). Demgegenüber sind die NO_x-Emissionen in der Geschwindigkeitsklasse 60 bis 90 km/h sehr viel niedriger. In Abhängigkeit des Kraftstoffs treten hier in der Summe nur geringe Unterschiede auf.

Betrachtet man die PN-Emission der RDE kalt-Fahrt, so ist festzustellen, dass die Emissionen in den für den Stadtverkehr typischen Geschwindigkeitsklassen 0 bis 30 km/h und 30 bis 60 km/h bei B7 und GtL am höchsten sind. Bei HVO liegen die PN-Werte für alle Phasen auf etwa gleichem Niveau. Mit GtL sind die PN-Emissionen in der Summe etwa um den Faktor 3,8

niedriger als mit B7, mit HVO um den Faktor 50. In der warmen RDE-Fahrt sind die PN-Emissionen mit B7 und GtL deutlich niedriger als bei der kalt-Fahrt. Mit HVO sind sie auf niedrigem Niveau leicht erhöht und liegen dann auch etwas über den Emissionen mit B7.

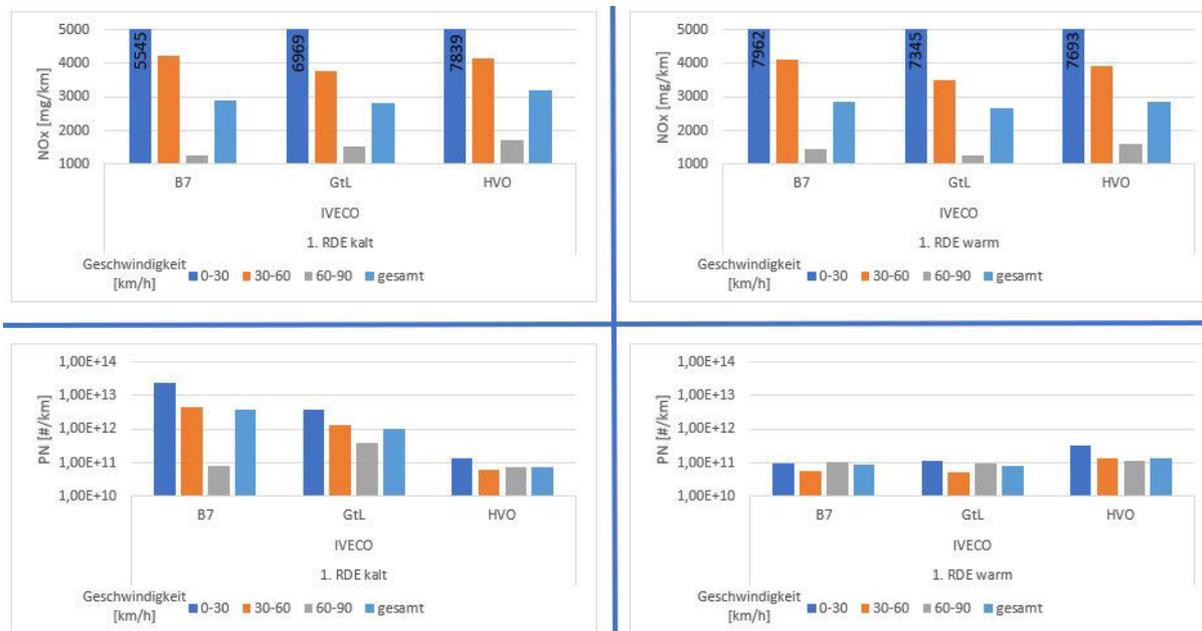


Abbildung 44: NO_x- und PN-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Auf den ersten 5 km der kalten RDE-Strecke sind keine nennenswerten Unterschiede bei den NO_x-Emissionen zu erkennen. Alle drei Kraftstoffe zeigen Werte um die 3100 mg. Bei der warm-Fahrt differieren die unterschiedlichen Kraftstoffe etwas stärker, die NO_x-Emission mit GtL liegt ca. 15 % unter dem B7-Wert, der mit HVO ca. 5 %.

Die PN-Emissionen mit B7 und GtL liegen auf gleichem Niveau sowohl in der kalt- als auch in der warm-Fahrt. Die Emission mit HVO ist im Vergleich zu B7 in der kalt-Fahrt etwa 1,5 Größenordnungen geringer, in der warm-Fahrt jedoch etwa eine halbe Größenordnung höher.



Abbildung 45: NO_x- und PN-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität:

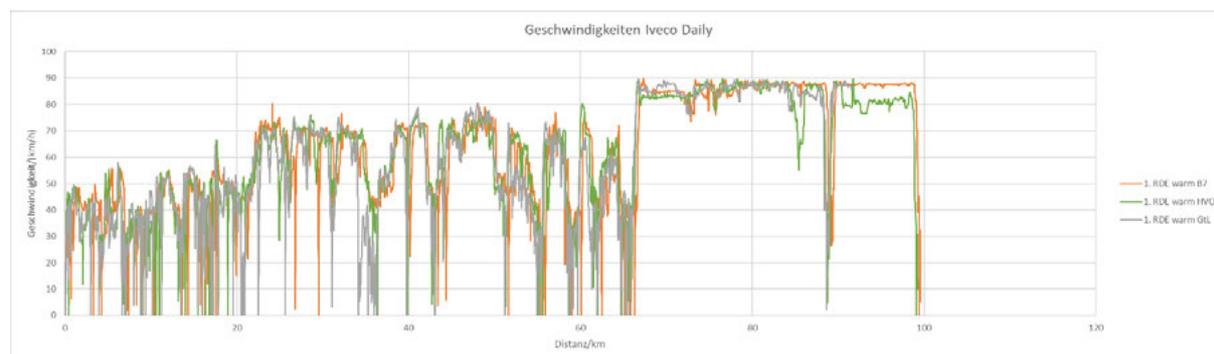
Die Vergleichbarkeit der ausgewählten Fahrten ergibt sich aus den nachfolgenden Abbildungen und Tabellen für die kalt-Fahrten (Abbildung 46, Tabelle 18) ebenso wie für die warm-Fahrten (Abbildung 47, Tabelle 19). Bei den warm-Fahrten ist zu erkennen, dass hier baustellenbedingt unterschiedlich lange Strecken gefahren wurden. Darüber hinaus ist anzumerken, dass das Fahrzeug eine Maximalgeschwindigkeit von 90 km/h aufweist und daher kein Streckenabschnitt vorliegt, welcher der Autobahn zuzuordnen wäre. Die Geschwindigkeitsverläufe und die Dynamikwerte sind aber für alle Fahrten sehr gut vergleichbar. Auch die Umgebungstemperaturen liegen durchweg in einem moderaten Bereich. Von daher sind hier keine Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität zu berücksichtigen.



Abbildung 46: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Tabelle 18: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	12,3	41,8	10,7	16,0	0
HVO	9,2	42,3	10,0	13,5	0
GtL	18,3	45,6	9,9	12,4	0

**Abbildung 47: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten****Tabelle 19: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten**

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	12,9	47,5	10,6	16,4	0
HVO	13,4	46,7	10,7	12,6	0
GtL	17,3	40,2	9,7	12,2	0

Ergebnisse MB Atego

Abweichend vom Testplan wurden mit dem Atego zuerst die RDE-Fahrten durchgeführt, weil hier im Vergleich zu den Rollentests die größeren Unterschiede zwischen den einzelnen Kraftstoffen zu erwarten sind. Aufgrund der in den RDE-Fahrten gewonnenen Erkenntnisse wurde entschieden, auf die Durchführung von Rollentests zu verzichten, weil keine weiteren Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen zu erwarten waren. Daher werden im Folgenden nur Ergebnisse von RDE-Fahrten dargestellt.

Bezüglich der NO_x-Emissionen ist auch hier zu sehen, dass der Schadstoffausstoß in der Geschwindigkeitsklasse 0 bis 30 km/h mit Abstand am höchsten ist. Die niedrigsten Emissionen treten in der Geschwindigkeitsklasse 60 bis 90 km/h auf. In Summe ist festzustellen, dass die

NO_x-Emissionen in der kalten wie auch in der warmen RDE-Fahrt mit GtL und HVO deutlich niedriger sind als mit B7.

Bei den PN-Emissionen zeigen sich durchweg geringere Unterschiede. In der kalten Fahrt sind die Emissionen mit GtL und HVO um bis zu 60 % höher als mit B7, in der warm-Fahrt liegen die Werte bei allen Kraftstoffen auf gleichem Niveau.

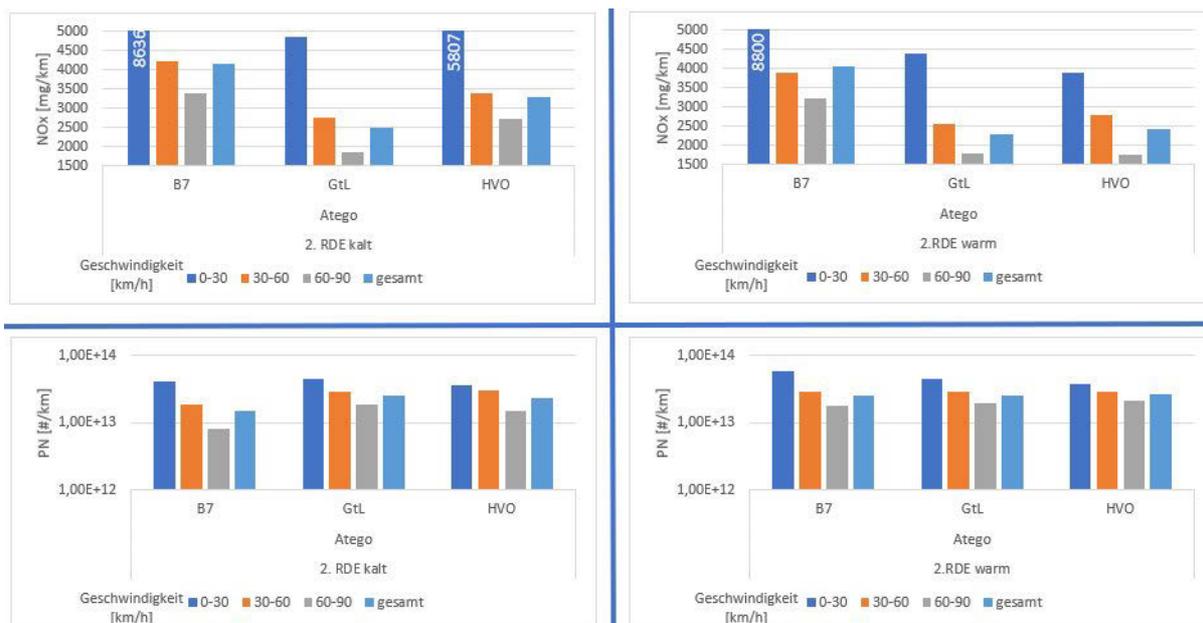


Abbildung 48: NO_x- und PN-Emissionen in den RDE-Fahrten kalt und warm beim Betrieb mit B7, HVO und GtL

Auf den ersten 5 km zeigen alle 3 Kraftstoffe bei der warm-Fahrt niedrigere NO_x-Emissionen als im Fall der kalt-Fahrt. Sowohl auf der kalten wie auch auf der warmen RDE-Strecke ist mit den Kraftstoffen GtL und HVO eine deutliche Reduzierung der NO_x-Emissionen zu erkennen (im Bereich 35 bis 50 %).

Bei den PN-Emissionen sind hingegen keinerlei Unterschiede zu verzeichnen, weder zwischen kalt- und warm-Fahrt, noch zwischen den verschiedenen Kraftstoffen.

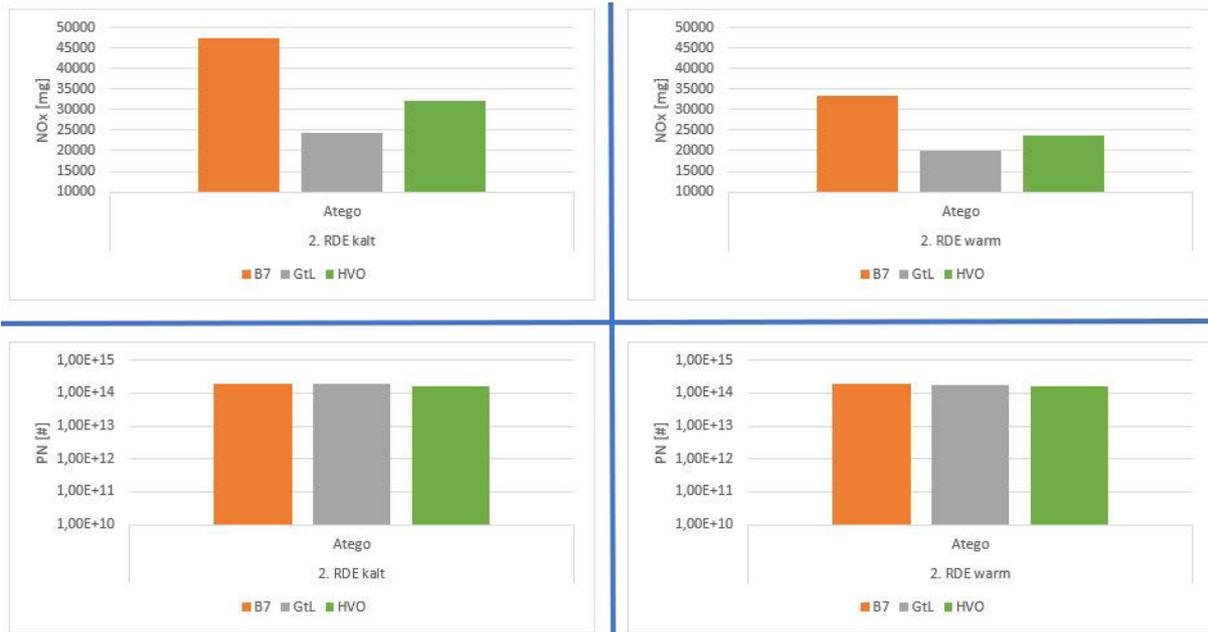


Abbildung 49: NO_x- und PN-Emissionen auf den ersten 5 km der ausgewählten RDE-Fahrten

Vergleichbarkeit der Fahrten und Einflüsse außerhalb der Kraftstoffqualität:

Die Vergleichbarkeit der ausgewählten Fahrten ergibt sich aus den nachfolgenden Abbildungen und Tabellen für die kalt-Fahrten (Abbildung 50, Tabelle 20) ebenso wie für die warm-Fahrten (Abbildung 51, Tabelle 21). Auch hier ist anzumerken, dass das Fahrzeug eine Maximalgeschwindigkeit von 90 km/h aufweist und daher kein Streckenabschnitt vorliegt, welcher der Autobahn zuzuordnen wäre. Die Geschwindigkeitsverläufe und die Dynamikwerte sind aber für alle Fahrten sehr gut vergleichbar. Bei den Umgebungstemperaturen liegen gibt es jedoch deutliche Unterschiede. Die kalt-Fahrten mit B7 und HVO sowie die warm-Fahrt mit B7 wurden bei negativen Umgebungstemperaturen durchgeführt, so dass hier ein Einfluss auf die NO_x-Emission zu erwarten ist.

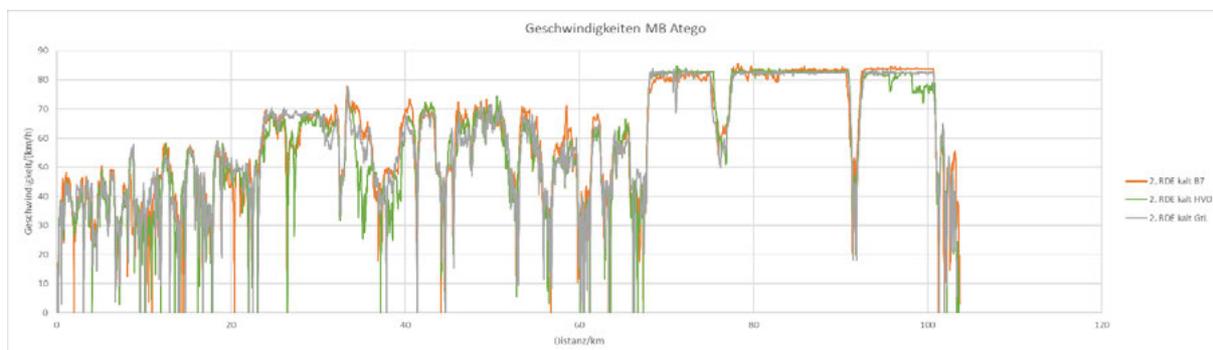


Abbildung 50: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Tabelle 20: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-kalt-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	-3,2	46,8	8,6	8,0	0
HVO	-0,5	45,1	7,6	7,8	0
GtL	10,9	47,7	8,2	7,9	0

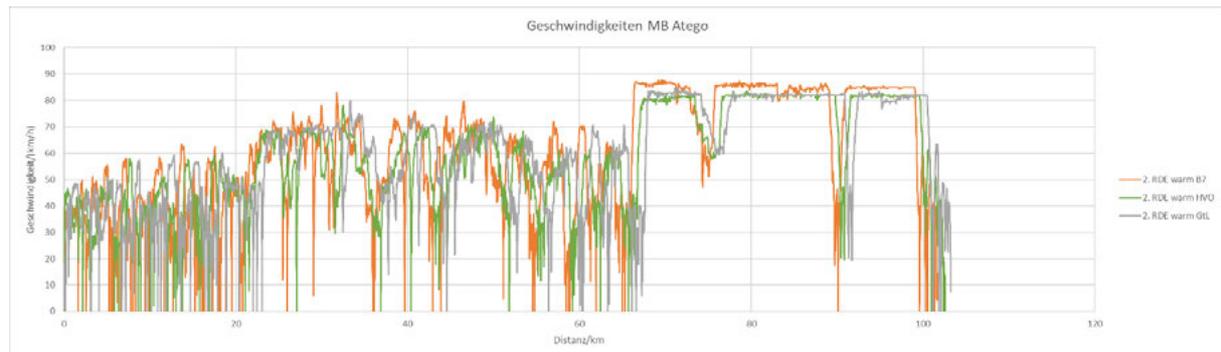


Abbildung 51: Geschwindigkeitsverlauf der ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Tabelle 21: Wesentliche Parameter zu den ausgewählten RDE-warm-Fahrten

Kraftstoff	T(Umg.)	Ø-Geschw.	V*A Urban	V*A Rural	V*A Motorway
	°C	km/h	m ² /s ³	m ² /s ³	m ² /s ³
B7	-0,4	40,0	7,6	9,5	0
HVO	10,7	46,5	7,1	7,3	0
GtL	11,0	47,0	7,7	8,6	0

5.2.4. Sekundäremissionen

Bei der FEV wurden die Komponenten N₂O und CH₄ an 3 unterschiedlich Fahrzeugen (Touareg, Ducato, Iveco) - jeweils ein Fahrzeug aus jedem Fahrzeugsegment - mit beiden synthetischen Kraftstoffen gemessen.

i. Touareg

Im folgenden Diagramm sind die N₂O-Emissionen im kalt und warm gestarteten WLTC dargestellt. Die Emission sinkt bei allen 3 Kraftstoffen von Phase 1 bis zu Phase 4 ab. Die Summenwerte liegen für GtL und HVO etwas unter dem B7-Wert, alle Werte bewegen sich jedoch auf sehr geringem Niveau.

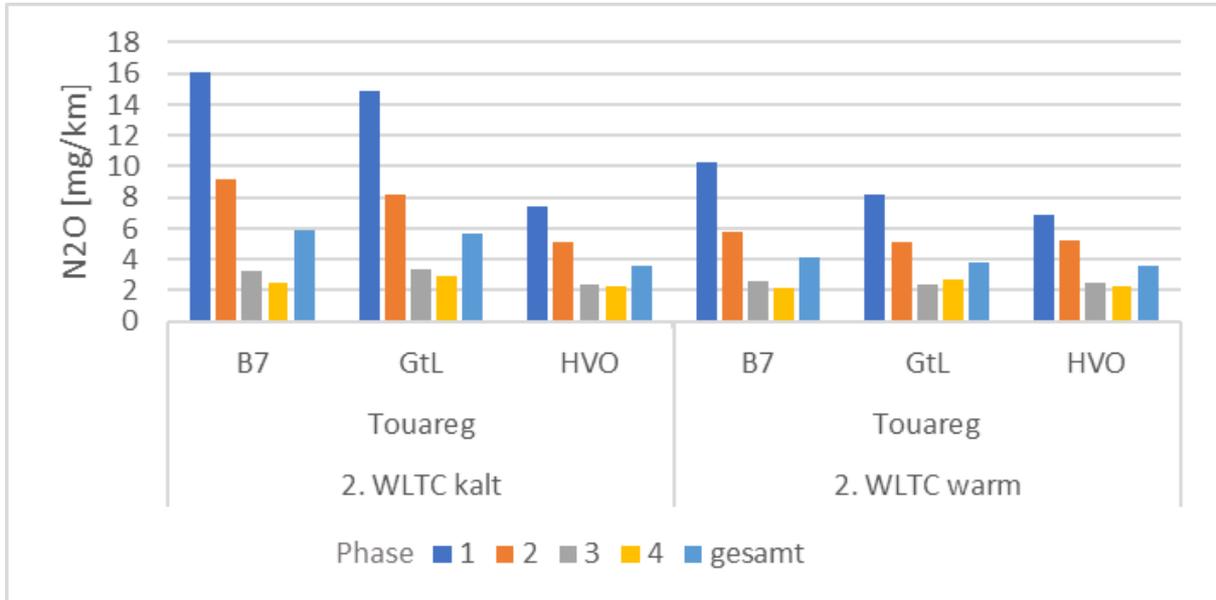


Abbildung 52: N₂O-Emissionen für die Kraftstoffe B7, GtL und HVO

Die CH₄-Emissionen sind in Abbildung 53 dargestellt. Abgesehen von dem hohen Wert mit HVO in Phase 1 des kalt-Tests, liegen alle Emissionswerte auf sehr niedrigem Niveau. Ein Kraftstoffeinfluss kann nicht festgestellt werden.

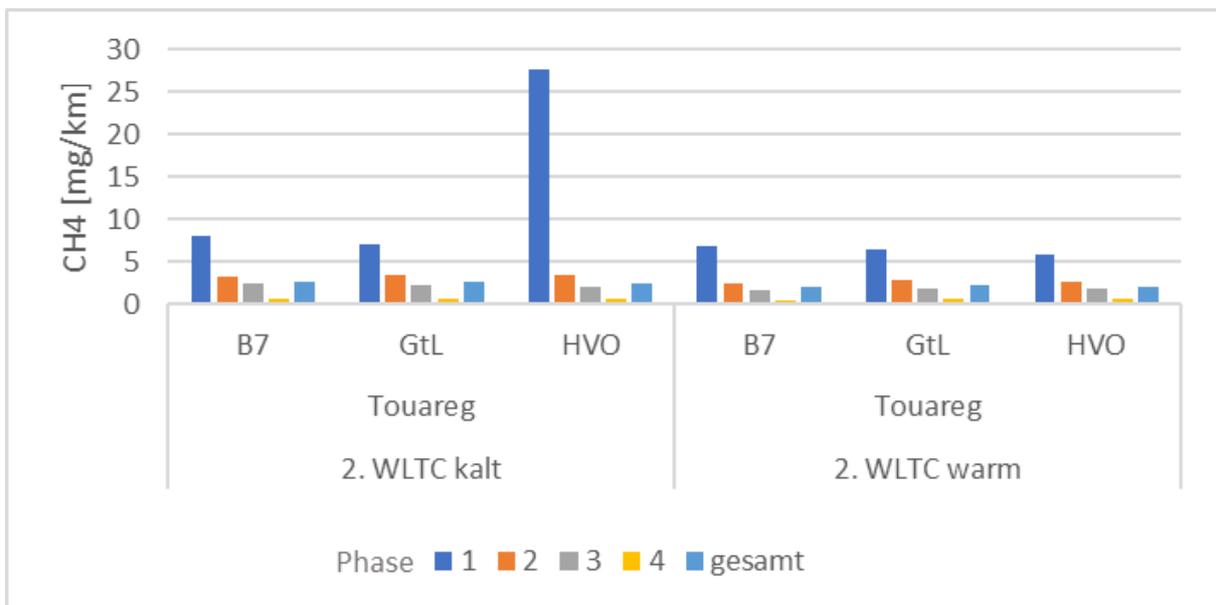


Abbildung 53: CH₄-Emissionen für die Kraftstoffe B7, GtL und HVO

ii. Ducato

In Abbildung 54 sind die N₂O-Emissionen im kalt und warm gestarteten WLTC für den Fiat Ducato dargestellt. Die Emission ähneln sehr stark den beim Touareg gemessenen Werten. Auch hier sinkt die N₂O-Emission bei allen 3 Kraftstoffen von Phase 1 bis zu Phase 4 ab. Im warmen Test sind die Emissionen etwas geringer als im kalten. Die Summenwerte liegen für GtL und HVO etwas unter dem B7-Wert, alle Werte bewegen sich jedoch auf sehr niedrigem Niveau.

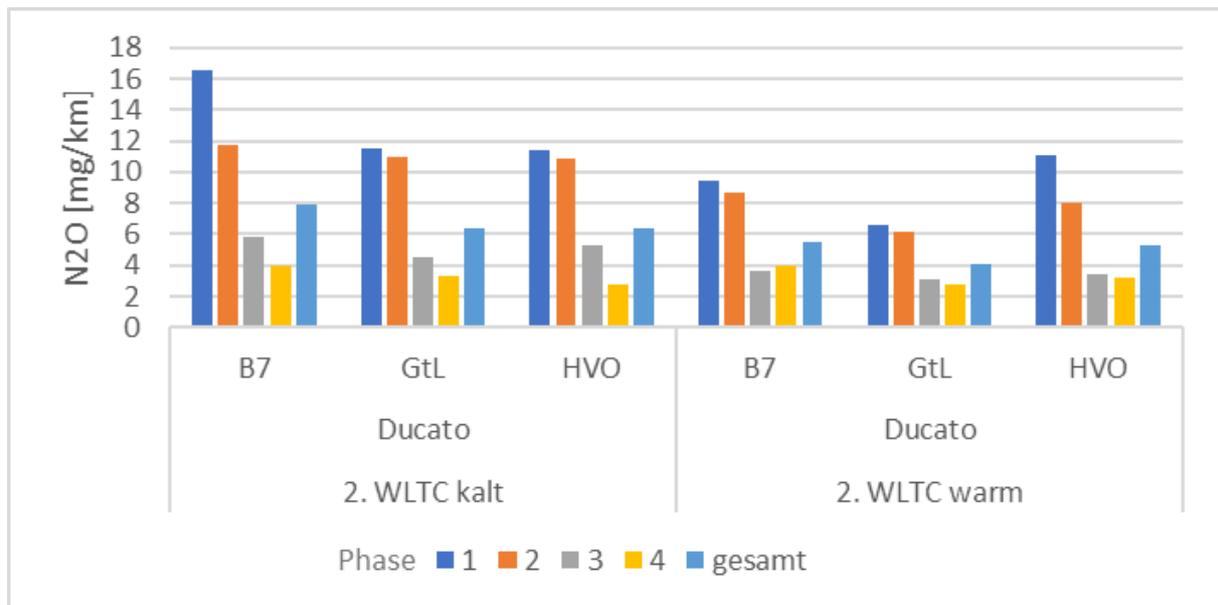


Abbildung 54: N₂O-Emissionen für die Kraftstoffe B7, GtL und HVO

Die CH₄-Emissionen des Ducato sind in Abbildung 55 dargestellt. Die Werte im warmen Test liegen bei allen Kraftstoffen deutlich niedriger als im kalten und gehen in Summe bis auf Null zurück. Es ist ersichtlich, dass CH₄-Emissionen fast ausschließlich in Phase 1 auftreten. Die Werte in den höheren Phasen sind praktisch vernachlässigbar. Angesichts der sehr niedrigen Absolutwerte kann bei den sehr geringen Unterschieden nicht von einem Kraftstoffeinfluss gesprochen werden.

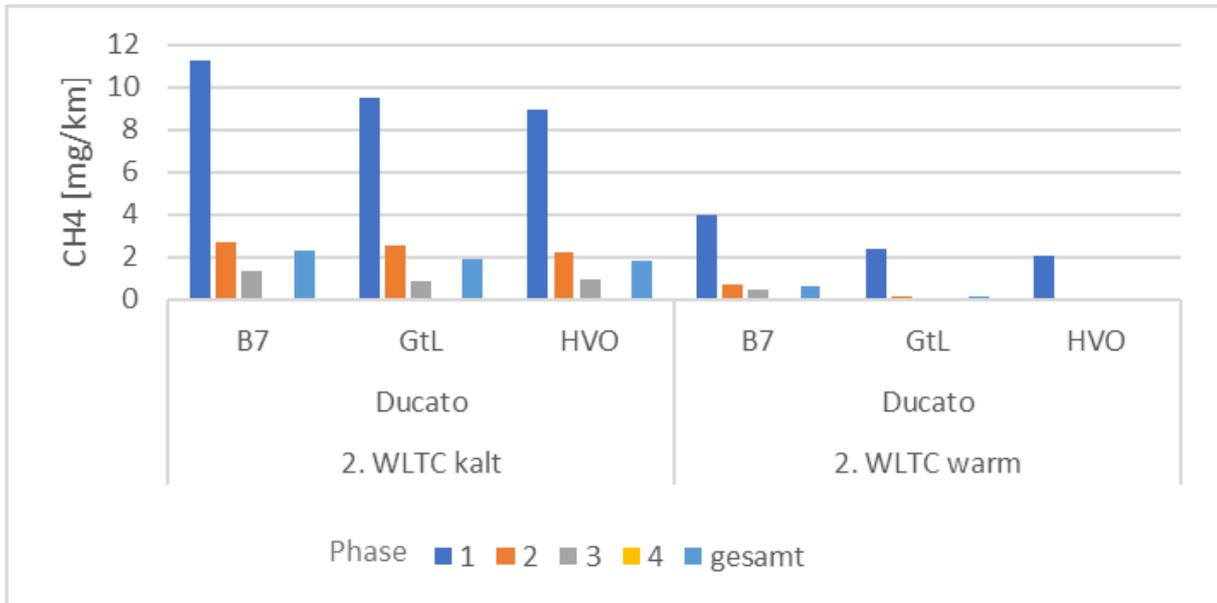


Abbildung 55: CH₄-Emissionen für die Kraftstoffe B7, GtL und HVO

iii. Iveco

Abbildung 56 zeigt die N₂O-Emissionen im kalt und warm gestarteten WLTC für den Iveco Daily. Auch hier sinkt die N₂O-Emission bei allen 3 Kraftstoffen von Phase 1 bis zu Phase 4 ab. Alle Werte liegen hier jedoch auf höherem Niveau, insbesondere in Phase 1 des Tests. Die Summenwerte liegen für alle Kraftstoffe auf gleichem Niveau.

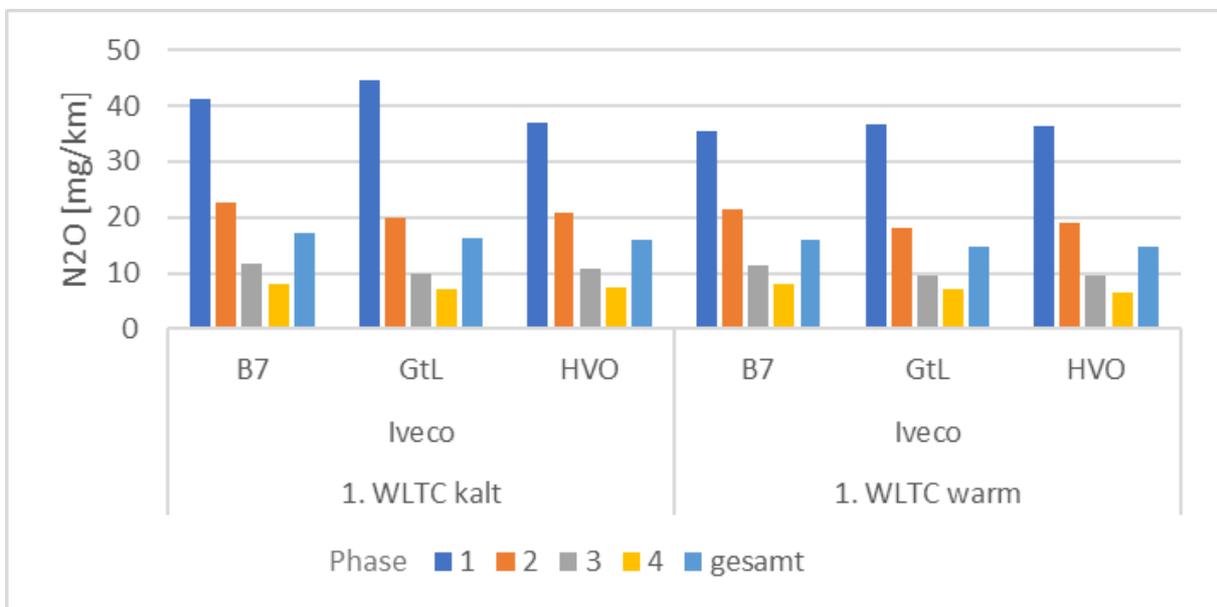


Abbildung 56: N₂O-Emissionen für die Kraftstoffe B7, GtL und HVO

Die CH₄-Emissionen des Iveco sind in Abbildung 57 dargestellt. Auch bestätigt sich, dass die Emissionen hauptsächlich in der ersten Phase entstehen. Die Summenwerte aller Tests liegen auf sehr niedrigem Niveau. Ein Kraftstoffeinfluss kann nicht festgestellt werden.

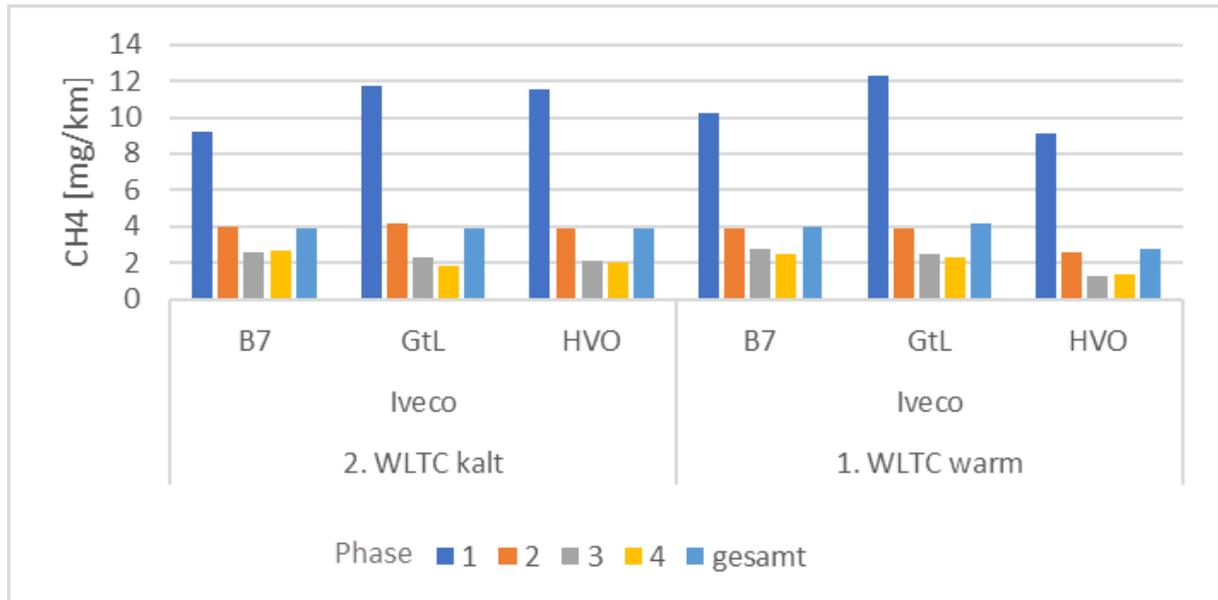


Abbildung 57: CH₄-Emissionen für die Kraftstoffe B7, GtL und HVO

Alle Ergebnisse zusammengefasst, wurden keine wesentlichen Unterschiede von Kraftstoff zu Kraftstoff festgestellt. Daher lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass kein signifikanter Einfluss des Kraftstoffs auf die Sekundäremissionen gegeben ist. Erfahrungsgemäß können diese Erkenntnisse auf die anderen Fahrzeuge übertragen werden, sodass keine Messungen an weiteren Fahrzeugen durchgeführt wurden.

5.3. AP 3 Alterungstest (Raffungsdauerlauf)

Es wurden ein Pkw, ein LDV und ein Lkw jeweils mit HVO im Dauerlauf von je 10.000 km betrieben. Die Details der Fahrzeuge sind der entsprechenden Tabelle im Anhang zusammengefasst. Um diese Laufleistung innerhalb der vorhandenen Zeit realisieren zu können, wurde der Dauerlauf teilweise im Zweischichtbetrieb durchgeführt. Die Fahrzeuge wurden in unterschiedlichen Lastzyklen, wie Stadt, Überland und Autobahn bewegt. Die Fahrzeuge wurden regelmäßig überprüft, um den technisch einwandfreien Zustand während des Dauerlaufs zu gewährleisten.

5.3.1. AP 3.1 Planung des Dauerlaufs und Ausstattung der Fahrzeuge mit Messgeräten

Der Dauerlauf wurde unter Berücksichtigung möglichst aller Betriebszustände durchgeführt. Hierzu wurden sowohl Stadt-, Überland- als auch Autobahnfahrten durchgeführt. Es wurden Messdaten über die verbauten Messgeräte erfasst. Folgende Messgeräte wurden verbaut:

- Touareg: VCDS Tool
- T5: VCDS Tool
- Iveco Daily: Ipetronik Datenlogger Fleetlog 2

Mit Hilfe der Messdatenerfassungssysteme wurden die wesentlichen Fahrzeug- und Abgasdaten mittels der OBD-Schnittstelle erfasst, so dass eine Überwachung der Fahrzeugzustände möglich war. Die aufgezeichneten Daten sind in Tabelle 22 dargestellt:

Tabelle 22: Messdatenerfassung

Messdaten	Touareg	VW T5	Iveco Daily
Abgastemperatur	X	X	
Ansauglufttemperatur	X	X	X
Fahrzeuggeschwindigkeit	X	X	X
Motordrehmoment	X	X	
Motordrehzahl	X	X	X
Mittlere Einspritzmenge	X	X	
Luftmasse	X	X	X
Kraftstoffverbrauch	X	X	
Kühlmitteltemperatur	X	X	X
Abgasrückführungsrate	X	X	
Differenzdruck Partikelfilter	X	X	
Partikelfilterzeit nach letzter Regeneration	X	X	
Temperatur vor DPF			X
Temperatur nach DPF			X
Berechneter Lastwert			X

Beim Iveco Daily gab es keine Temperaturdaten vor bzw. nach DPF über die OBD-Schnittstelle. Hier wurde ein separates Daten-Monitoring installiert.

5.3.2. AP 3.2 Durchführung des Dauerlaufs

Die Dauerläufe wurden von Ende Dezember 2023 bis Ende Januar 2024 teilweise im Zweischichtbetrieb durchgeführt.

Tabelle 23: Zeitlicher Ablauf und Kilometerstände vor und nach Dauerlauf

Fahrzeug	Typ	Dauerlauf		Kilometerstand	
		Start	Ende	vor	nach
				[km]	[km]
VW Touareg	PKW	11.01.2024	29.01.2024	163.017	173.024
VW T5	LDV	20.12.2023	15.01.2024	142.450	152.475
Iveco Daily	LKW	08.01.2024	29.01.2024	80.913	90.927

Auszüge der Datenaufzeichnung sind in den folgenden Abbildungen für alle 3 Fahrzeuge exemplarisch dargestellt.

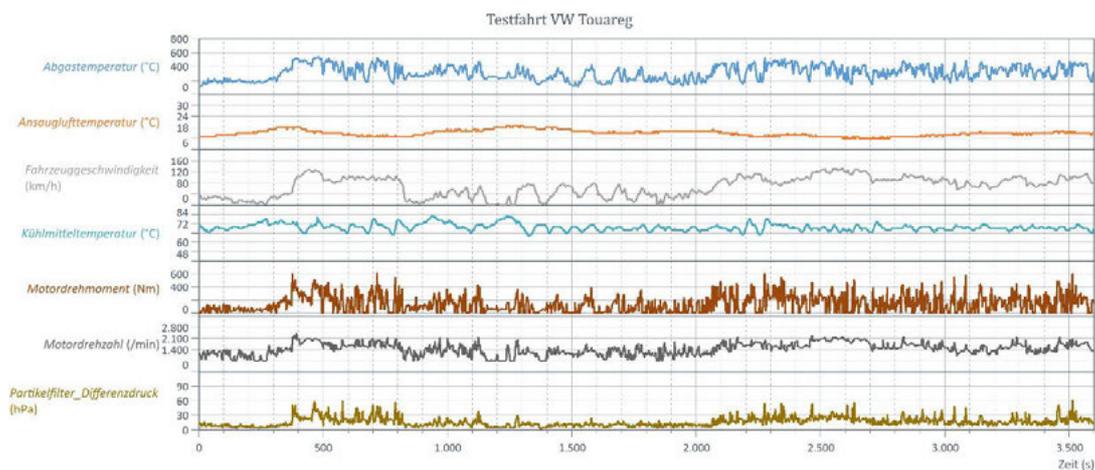


Abbildung 58: Ausschnitt der Datenaufzeichnung während des Dauerlaufs für das Fahrzeug VW Touareg

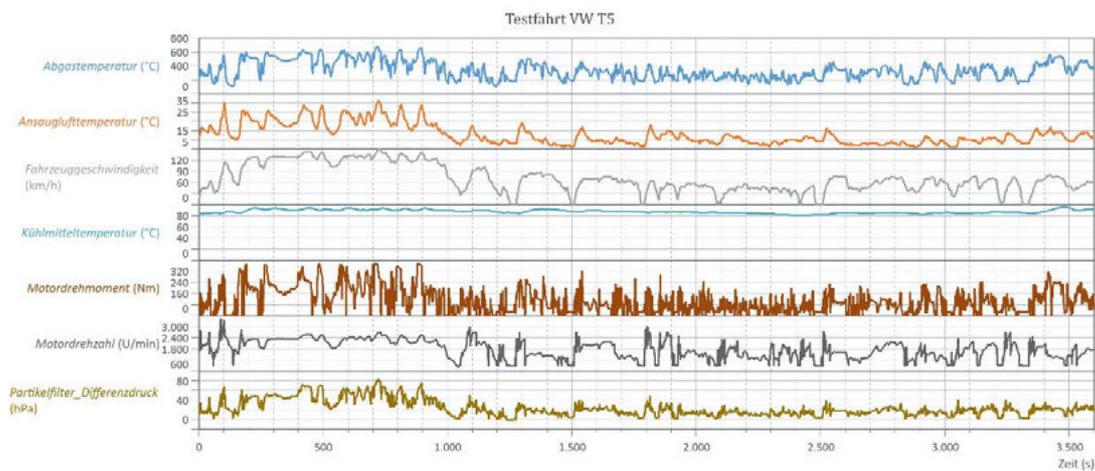


Abbildung 59: Typischer Ausschnitt der Datenaufzeichnung während des Dauerlaufs für das Fahrzeug VW T5

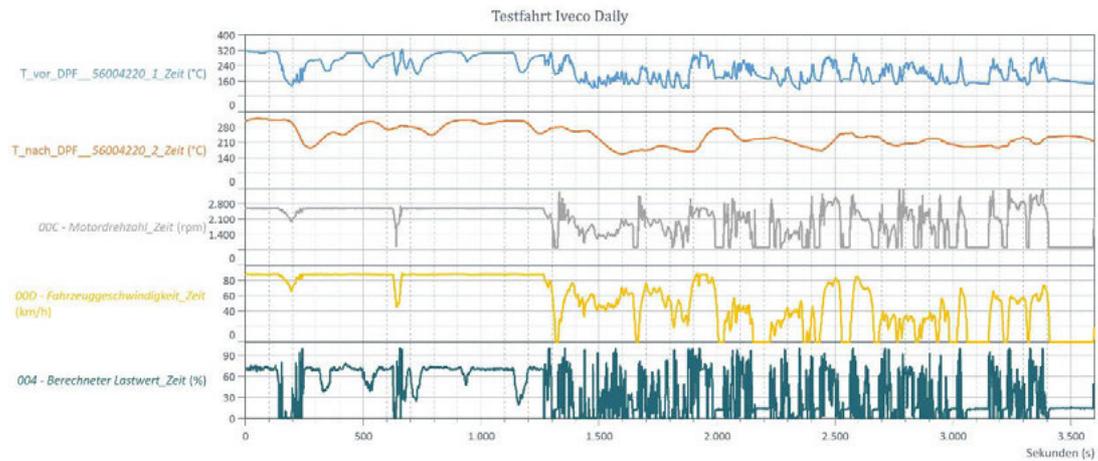


Abbildung 60: Typischer Ausschnitt der Datenaufzeichnung während des Dauerlaufs für das Fahrzeug Iveco Daily

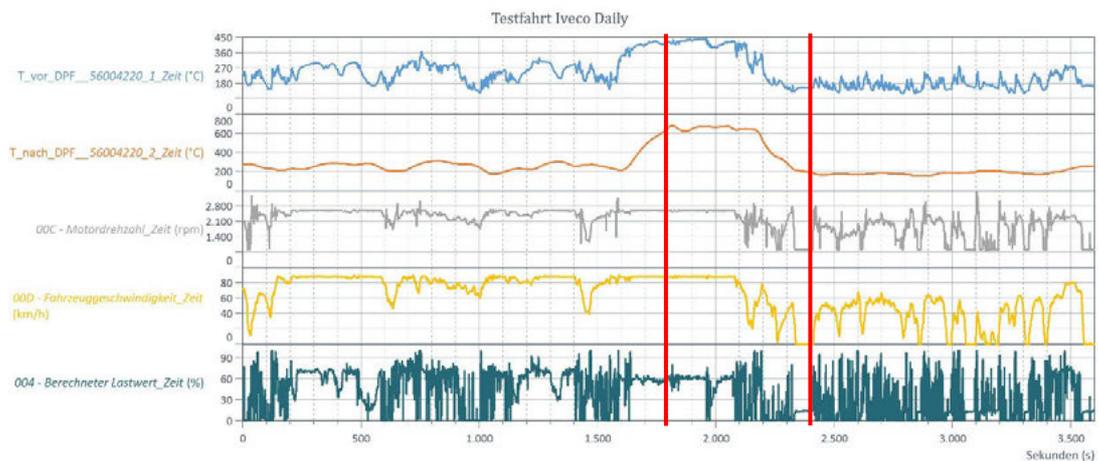


Abbildung 61: Darstellung eines Filterregenerationsereignisses (Ausschnitt aus der Datenaufzeichnung des Iveco Daily)

In Abbildung 61 ist eine Filterregeneration exemplarisch dargestellt. Die Temperatur nach Filter liegt über mehrere Minuten über 600°C und damit deutlich über der Filtereingangstemperatur.

In den nachfolgenden Diagrammen ist die Klassifizierung der gefahrenen Geschwindigkeiten und gemessenen Abgastemperaturen dargestellt. Anlehnend an die RDE-Messungen können die Geschwindigkeiten wie folgt zugeordnet werden:

- 0-60 km/h → Stadt
- 60-90 km/h → Überland

- > 90 km/h → Autobahn

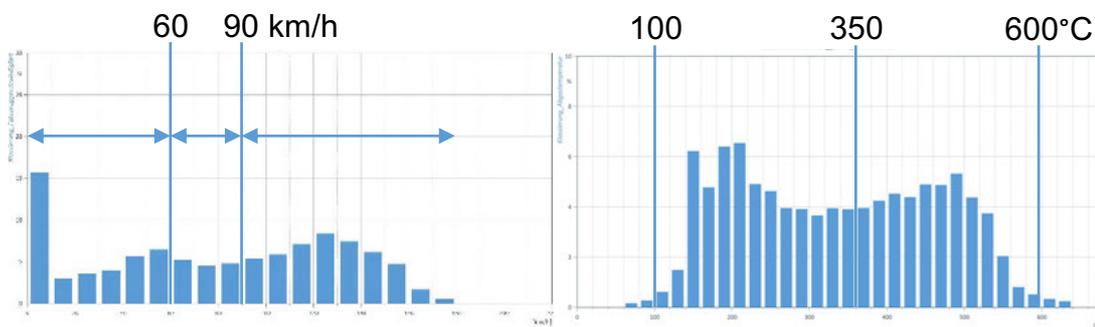


Abbildung 62: Klassifizierung der Fahrzeuggeschwindigkeit (links) und dazugehörige Abgastemperaturen (rechts) für das Fahrzeug VW Touareg

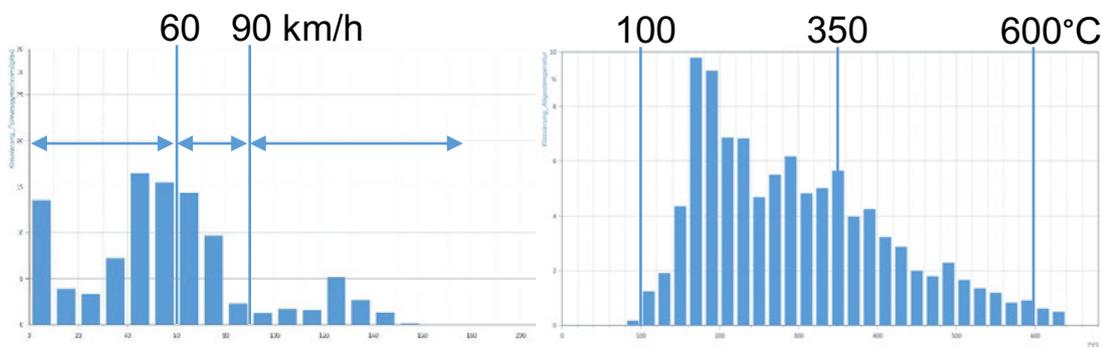


Abbildung 63: Klassifizierung der Fahrzeuggeschwindigkeit (links) und dazugehörige Abgastemperaturen (rechts) für das Fahrzeug VW T5

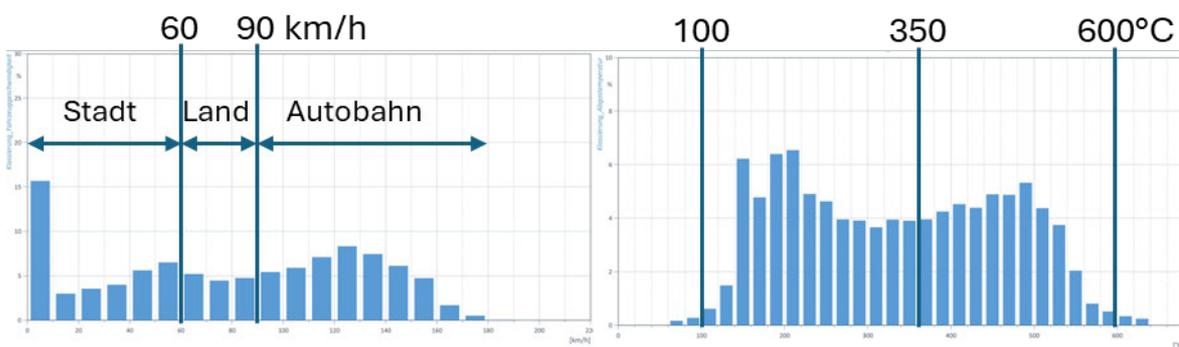


Abbildung 64: Klassifizierung der Fahrzeuggeschwindigkeit (links) und dazugehörige Abgastemperaturen (rechts) für das Fahrzeug Iveco Daily

In Tabelle 24 sind die durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche sowie der Gesamtverbrauch über Dauerlauf dargestellt.

Tabelle 24: Kraftstoffverbrauch über Dauerlauf

Fahrzeug	Fahrstrecke	ermittelter Durchschnittsverbrauch	Berechneter Kraftstoffverbrauch
	[km]	[l/100 km]	[l]
VW T5	10.025	10,13	1.016
Iveco Daily	10.014	15,92	1.594
VW Touareg	10.007	11,58	1.159
			Gesamt: 3.769 Liter

5.4. AP 4 Testung der Fahrzeuge nach Dauerlauf

Nach dem Dauerlauf mit HVO wurden alle 3 Fahrzeuge noch einmal einer Abgasmessung auf dem Rollenprüfstand unterzogen, um evtl. Änderungen in der Abgasemission feststellen zu können.

Auch hier wurde so verfahren, dass zunächst ein kalter WLTC gefahren wurde und in direktem Anschluss ein warmer. Beide Messungen wurden wiederholt, so dass jedes Fahrzeug in Summe 4 Testzyklen absolviert hat.

5.4.1. AP 4.1 Messung PKW nach Dauerlauf

Für den Touareg ist der Vergleich der Ergebnisse im kalten WLTC vor und nach Dauerlauf in Abbildung 65 dargestellt. Bei den NO_x-Emissionen zeigen sich nur geringe Unterschiede, so dass in Summe kein signifikanter Effekt festgestellt werden kann. Auch bei den PN-Emissionen sind die Ergebnisse nahezu unverändert.

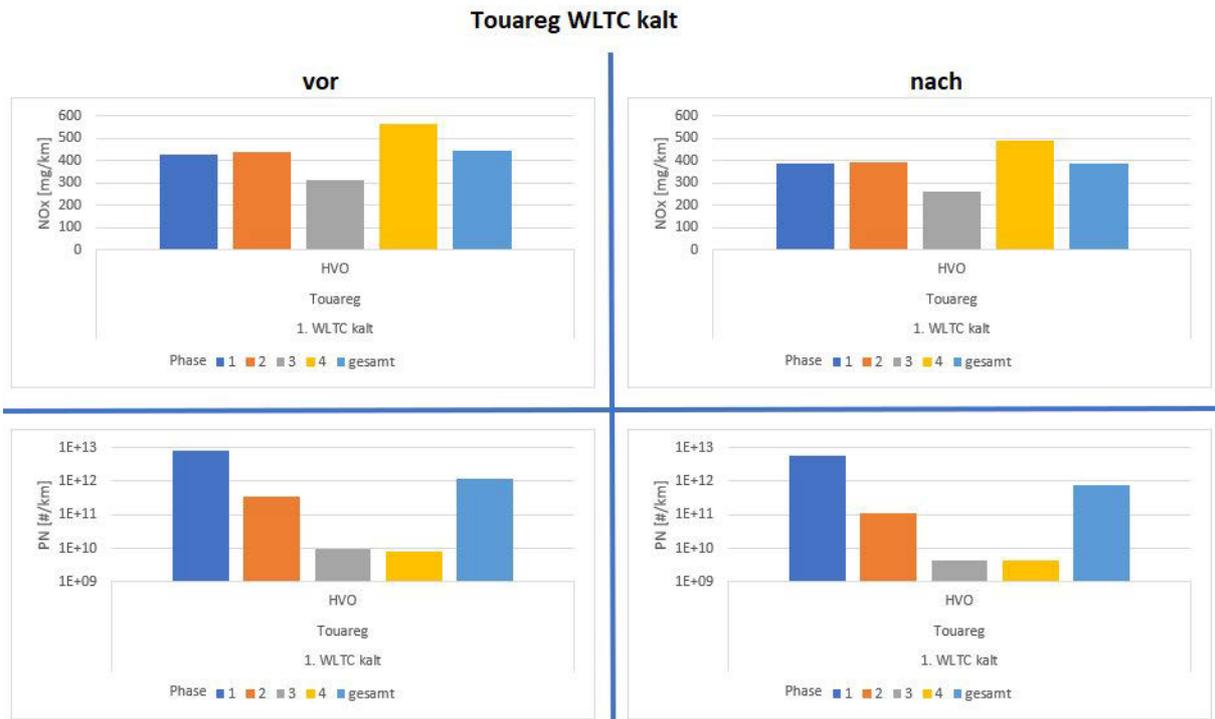


Abbildung 65: Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf

Im warmen WLTC (s. Abbildung 66) zeigen sich keine Unterschiede bei den NO_x-Emissionen, die PN-Emissionen sind leicht verbessert.

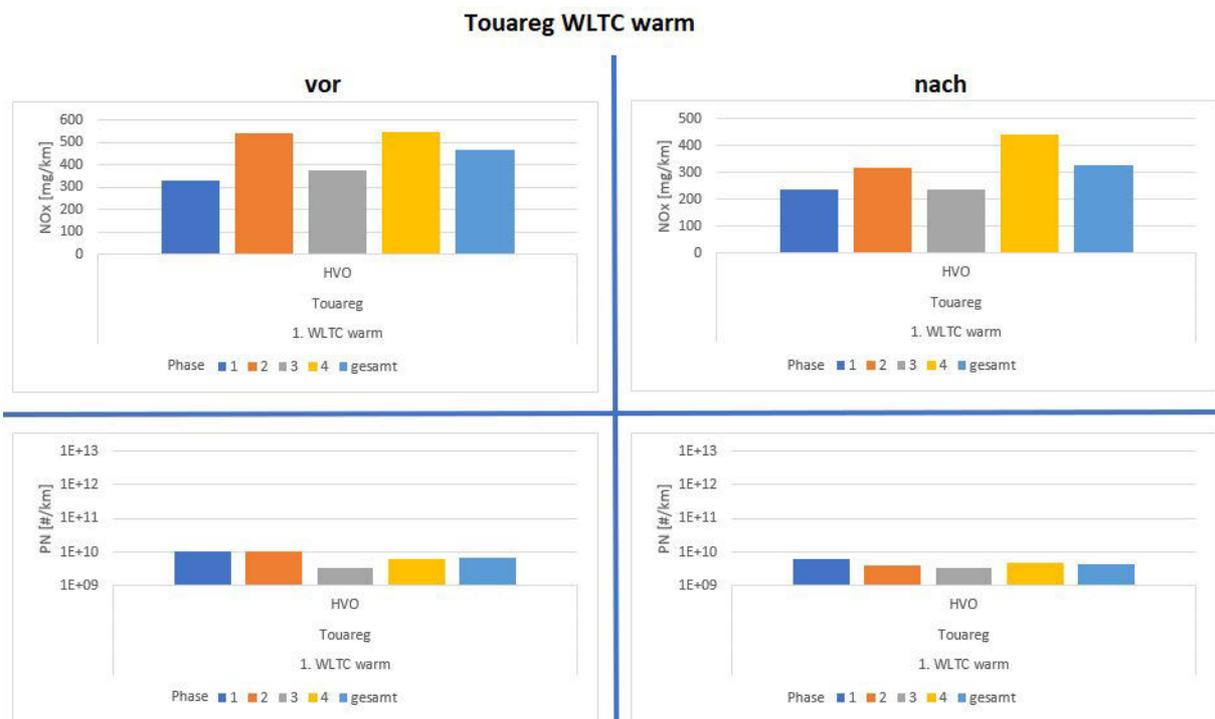


Abbildung 66: Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf

5.4.2. AP 4.2 Messung LDV nach Dauerlauf

Der Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf für den VW T5 ist in Abbildung 67 dargestellt. Der Vergleich zeigt keinerlei Veränderungen bei den NO_x-Emissionen zwischen den Messungen vor und nach Dauerlauf. Bei den PN-Emissionen zeigt sich sogar eine Verbesserung.

Im warmen WLTC (Abbildung 68) stellen sich die Ergebnisse analog dar. Es gibt keine Veränderung bei den NO_x-Werten und eine leichte Verbesserung bei den PN-Emissionen.

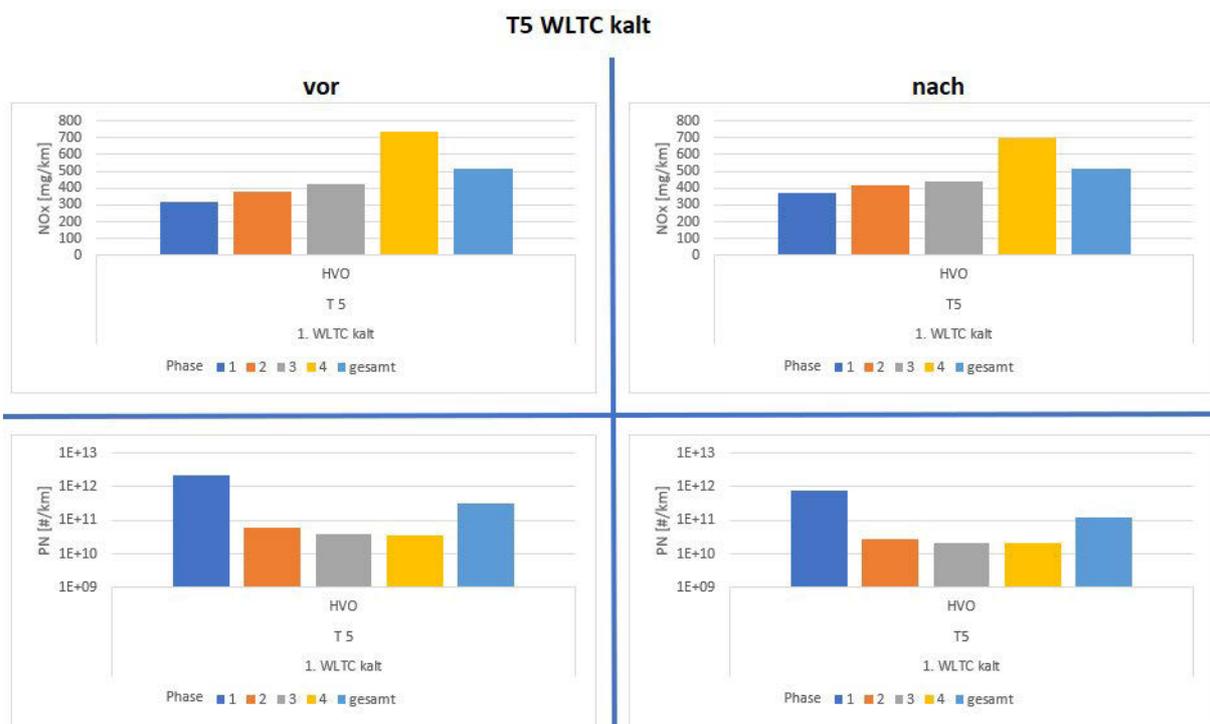


Abbildung 67: Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf

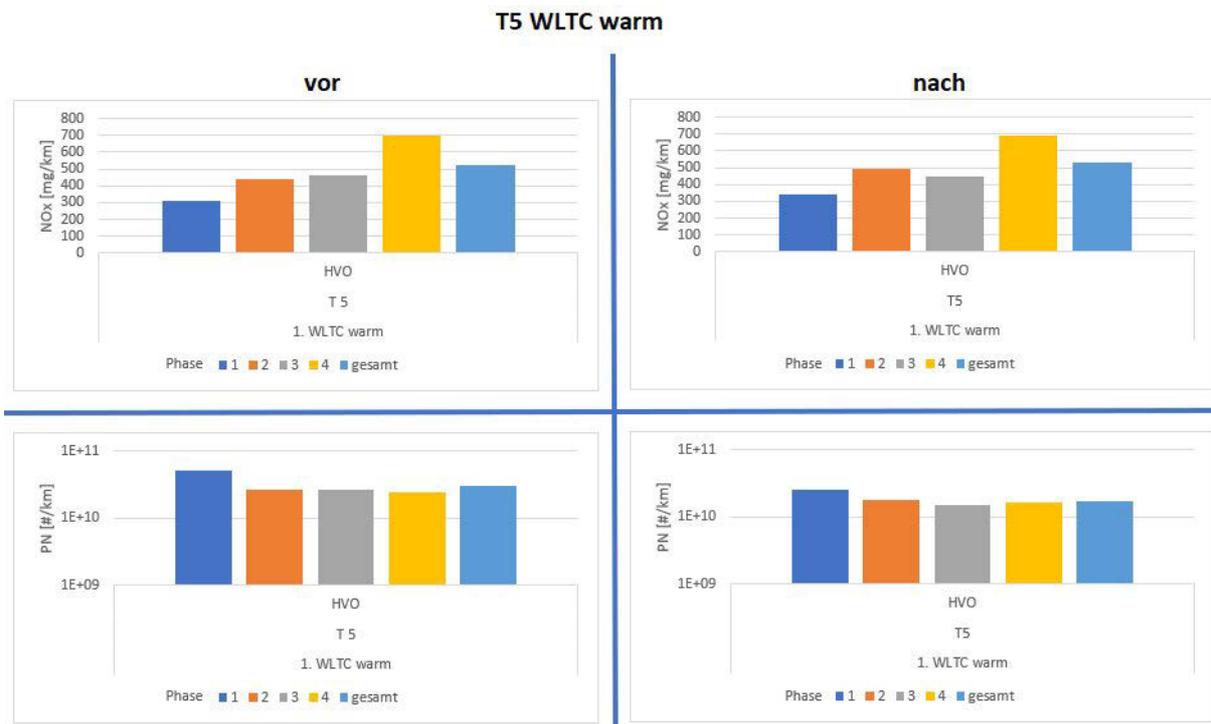


Abbildung 68: Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf

5.4.3. AP 4.3 Messung LKW nach Dauerlauf

Für den Iveco ist der Vergleich der Ergebnisse vor und nach Dauerlauf in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt. Abbildung 69 zeigt die Ergebnisse im kalten WLTC. Bei den NO_x-Emissionen ist eine leichte, aber nicht signifikante Erhöhung festzustellen. Die PN-Emission ist hingegen deutlich um etwa Faktor 5 erhöht.

Im warmen WLTC (Abbildung 70) ist ebenfalls keine Veränderung bei den NO_x-Emissionen zu verzeichnen, hingegen eine deutliche Erhöhung der PN-Emission um mehr als Faktor 10.

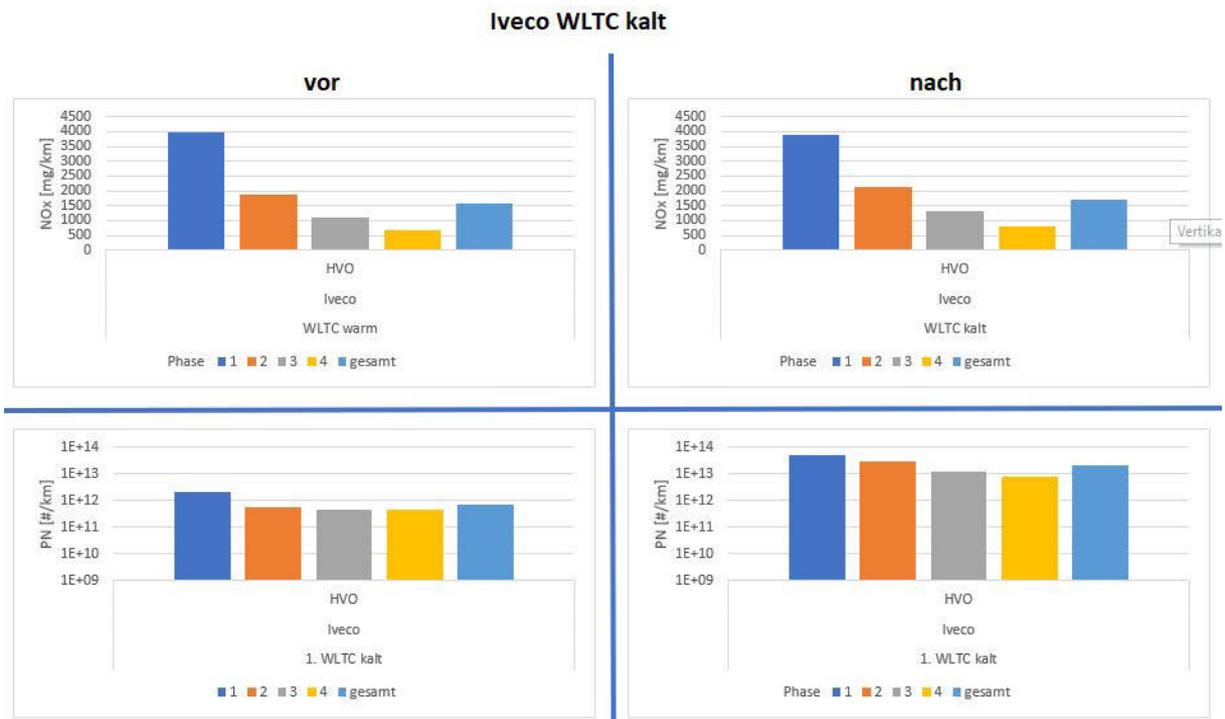


Abbildung 69: Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf

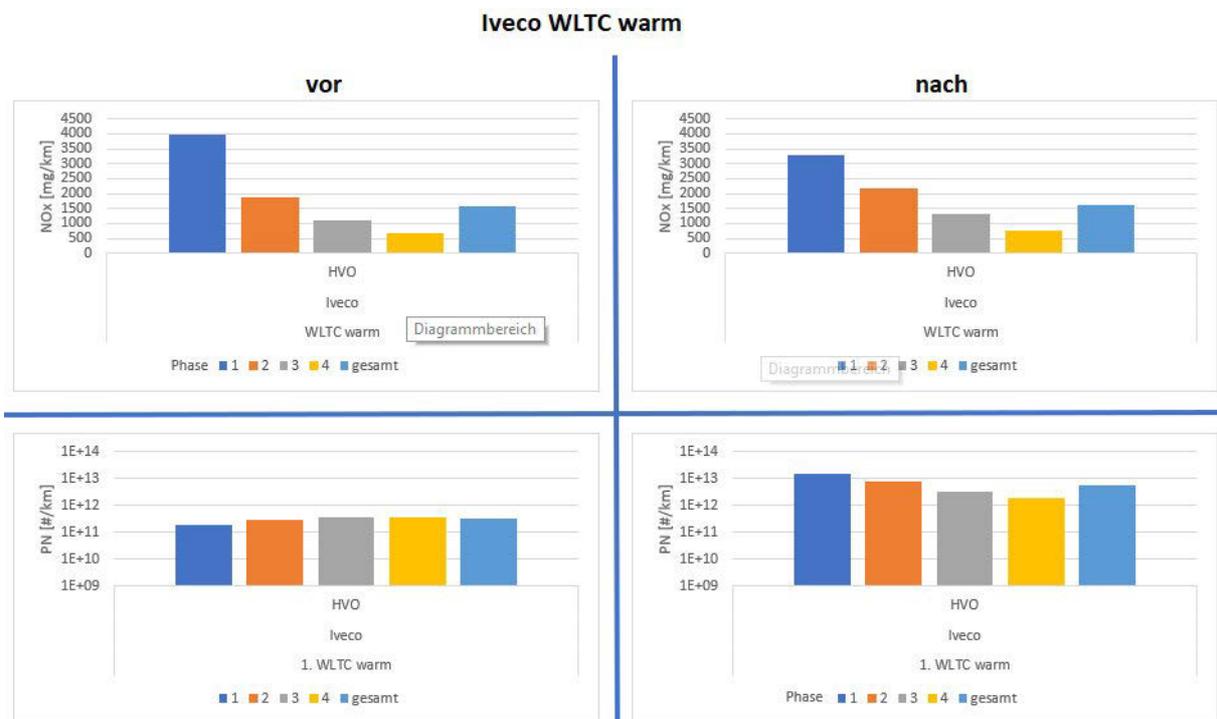


Abbildung 70: Vergleich der Emissionen vor und nach Dauerlauf

5.5. AP 5 Auswertung der Ergebnisse vor und nach Dauerlauf

Bei allen 3 Fahrzeugen, die im Dauerlauf betrieben wurden, zeigt sich keine Veränderung der NO_x-Emission. Beim Touareg und beim T5 wurde auch keine signifikante Veränderung der PN-Emissionen festgestellt. Dies stellt sich für den Iveco deutlich anders dar. Hier wird eine drastische Erhöhung der PN-Emission bei der Messung nach Dauerlauf festgestellt.

Wie oben geschrieben, mussten beim Iveco während des Dauerlaufs DOC und Partikelfilter erneuert werden. Daher ist davon auszugehen, dass die Aschebelastung des neuen Filters deutlich geringer war als die des ausgetauschten Filters und daher der Filterwirkungsgrad entsprechend beeinträchtigt war. Daher ist davon auszugehen, dass die unterschiedlichen Ergebnisse vor und nach Dauerlauf nicht auf eine kraftstoffbedingte Alterung zurückzuführen sind. Es ist darüber hinaus darauf hinzuweisen, dass im Rahmen des hier durchgeführten Projekts nur ein Kurzdauerlauf von 10.000 km realisierbar war, der bei weitem nicht ausreicht, um Langzeiteffekte aufzuzeigen.

6. Diskussion der Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse zeigen unterschiedliche Einflüsse der Kraftstoffe auf die Emissionen. Es werden sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen verzeichnet, in einigen Fällen werden überhaupt keine Einflüsse festgestellt. Um die Ergebnisse einordnen zu können, muss zunächst die Technologie betrachtet werden, mit der die hier untersuchten Euro 5-Fahrzeuge ausgerüstet sind, um die Emissionsanforderungen zu erfüllen.

Betrachtet man die innermotorische Entstehung der Schadstoffe NO_x und Partikelmasse, so ist bekannt, dass hier ein Zielkonflikt auftritt. Dieser besteht darin, dass z. B. die NO_x -Emission ansteigt, wenn der Motor auf niedrige PM-Emission abgestimmt wird und umgekehrt (s. Abbildung 71). Dies gilt nicht nur für Dieselmotoren, sondern auch für XTL-Kraftstoffe.

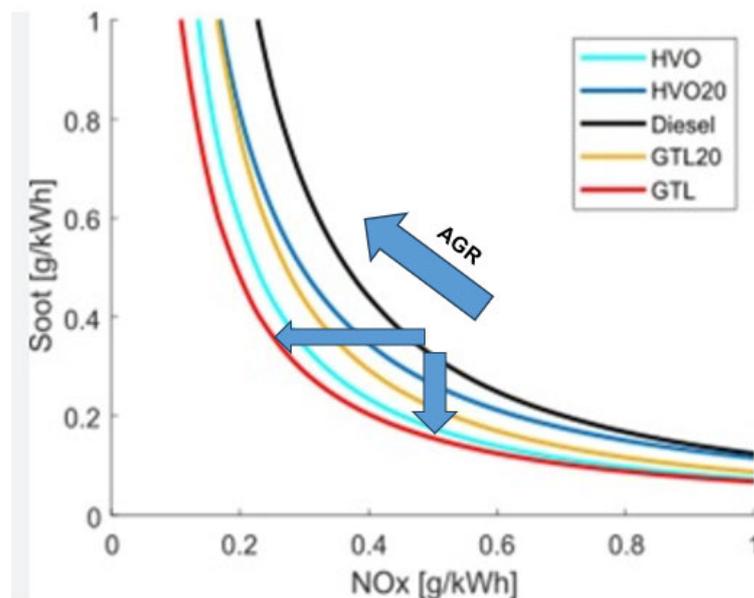


Abbildung 71: NO_x /Ruß-Trade-off [(Barro) (Barro)]

Die in diesem Projekt untersuchten Fahrzeuge folgen der Strategie, die NO_x -Emissionen mittels AGR innermotorisch zu senken und die erhöhten Partikelemissionen nachmotorisch mit einem Partikelfilter abzusenkten. Einzige Ausnahme stellt der MB Atego dar, der auf eine sehr geringe innermotorische Partikelemission abgestimmt ist und die dadurch erhöhte NO_x -Emission mit Hilfe eines SCR-Systems vermindert.

6.1. Darstellung Stand des Wissens

Bei Fahrzeugen mit Partikelfilter spielt die Partikel-Rohemission bei der Bewertung der Tailpipe-Emission nur eine untergeordnete Rolle. Entscheidend ist hier vielmehr der Wirkungsgrad des eingesetzten Partikelfilters. In diesem Kontext müssen die hier erzielten Ergebnisse diskutiert werden. Der Wirkungsgrad eines Partikelfilters ist von verschiedenen Faktoren abhän-

gig. Zunächst einmal entscheidet die Porenstruktur des Filtersubstrats, wie sich das Abscheideverhalten des Filters in Abhängigkeit des Partikeldurchmessers darstellt. Wie in Abbildung 72 zu erkennen ist, nimmt der Filterwirkungsgrad bei kleinem Partikeldurchmesser und geringer Beladung deutlich ab.

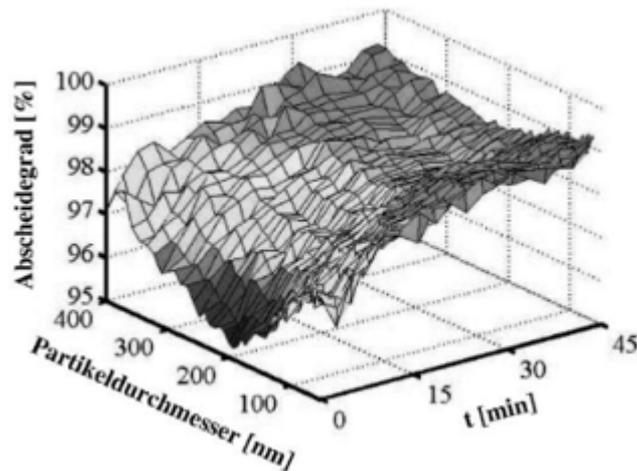


Abbildung 72: Abscheidegrad in Abhängigkeit von Partikeldurchmesser und Beladung [(Wiertalla und Severin) (Wiertalla und Severin)]

Neben der Porenstruktur, die bei der Auslegung des Filters festgelegt wird, gibt es weitere Faktoren, die sich über der Zeit verändern. So ist bekannt, dass der Filterwirkungsgrad von der Rußbeladung des Filters abhängt. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 73 dargestellt. Dargestellt sind hier der Gegendruck (im Bild links) und der Filterwirkungsgrad (im Bild rechts) über der Zeit für unterschiedliche Kanalgeometrien CRD. Der Gegendruckanstieg beruht auf der mit der Zeit steigenden Rußbeladung. Gleichzeitig steigt der Filterwirkungsgrad.

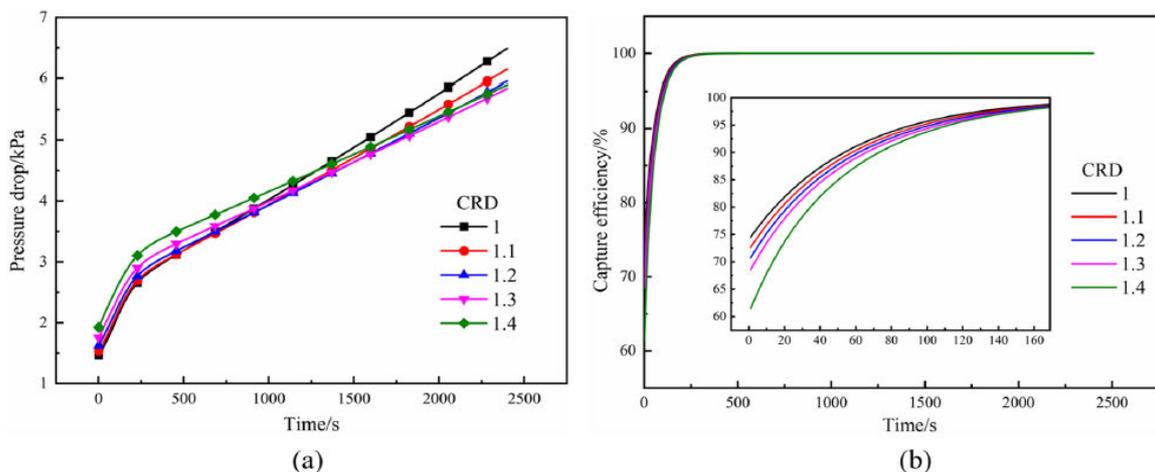


Abbildung 73: Druckverlust und Wirkungsgrad eines Partikelfilters über der Zeit [(Dong Tang) (Dong Tang)]

Dieser Effekt ist auch nach einer Filterregeneration zu beobachten. Deshalb wird bei der aktiven Filterregeneration in der Bedatung des Steuergerätes darauf geachtet, dass die im Filter eingelagerte Rußmasse nicht komplett abgebaut wird. Die im Filter eingelagerte Rußmasse wird über Modelle im Steuergerät berechnet. Der Ablauf der Regeneration wird kennfeldbasiert gesteuert. Alle im Steuergerät hinterlegten Modelle und Kennfelder basieren auf handelsüblichem Dieseldieselkraftstoff nach EN 590. Bei Verwendung von synthetischen Kraftstoffen passen Modell und tatsächliche Rußbeladung nicht mehr zusammen, weil weniger Ruß gebildet und im Filter eingelagert wird. Dies führt dazu, dass der Filter zu häufig und zu lange regeneriert wird. Letztendlich ist der Filter mehr oder weniger dauerhaft gering beladen und weist daher einen geringeren Wirkungsgrad auf.

Ein weiterer Effekt beruht auf der Morphologie des Filterkuchens. Beim Abkühlen des Filterkuchens entstehen „Risse“, die dafür verantwortlich sind, dass die Partikelemissionen nach längerer Standzeit unmittelbar nach Motorstart ansteigen. Dieser Effekt wurde in früheren Untersuchungen herausgefunden und ist in Abbildung 74 dargestellt. Die Gegendruckeinbrüche erfolgten jeweils nach Stillstand über Nacht.

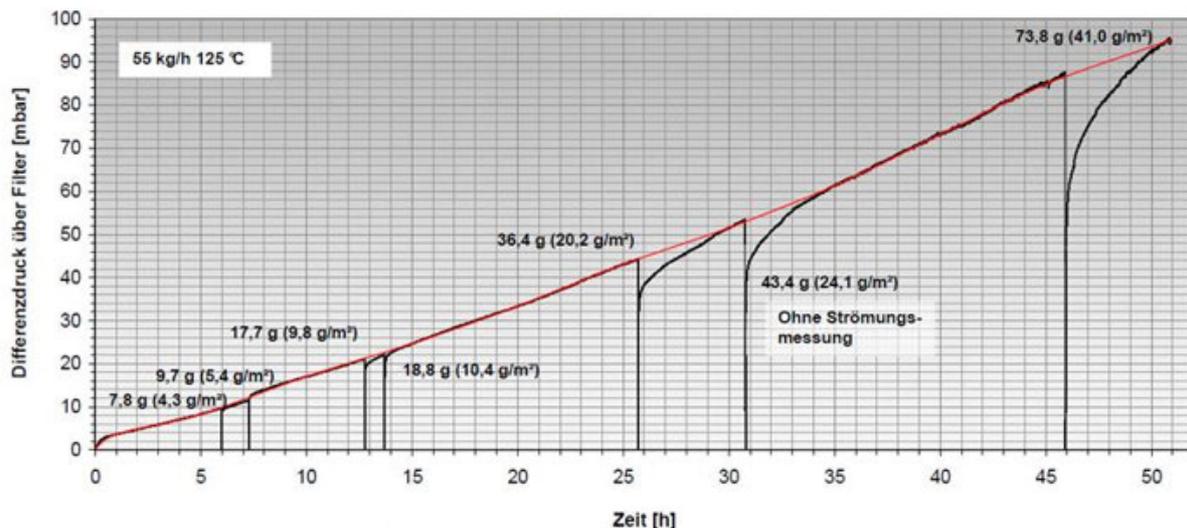


Abbildung 74: Differenzdruckverlauf über Zeit

Vergleicht man diese Zusammenhänge mit den Ergebnissen in diesem Projekt, so ist folgendes festzustellen:

Die erhöhten PN-Emissionen, die bei allen Messungen zu Testbeginn gemessen wurden, stehen im Einklang mit dem verminderten Filterwirkungsgrad bei geringer Rußbeladung. Hinzu kommt der Effekt der sich ändernden Morphologie des Filterkuchens, wodurch der Filterwirkungsgrad weiter verringert wird. Der Kraftstoffeinfluss ist damit zu begründen, dass mit XtL-Kraftstoffen Partikel mit geringerem Durchmesser gebildet werden. Dies ist in Abbildung 75

dargestellt. Kleinere Partikel führen ebenfalls zu einem schlechteren Wirkungsgrad, wie oben beschrieben.

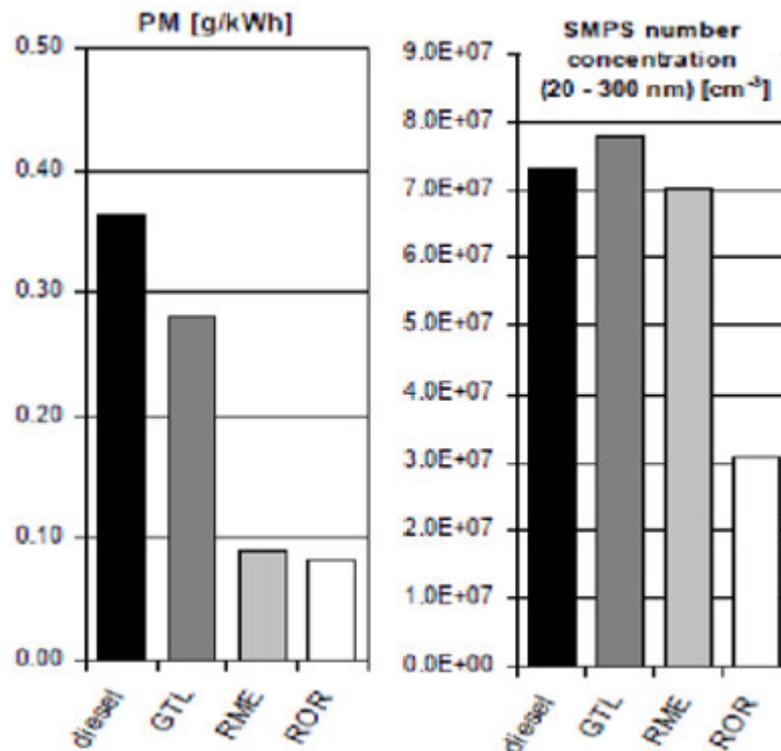


Abbildung 75: PM- und PN-Emissionen für verschiedene Kraftstoffe [(Wiertalla und Severin)(Wiertalla und Severin)]

6.2. Bewertung der Auslegungsstrategie der einzelnen Fahrzeuge

Um die Unterschiede der AGR-Abstimmung verschiedener Fahrzeuge ersichtlich zu machen, werden die Ergebnisse der NO_x-Emissionen noch einmal im Detail analysiert. Da die AGR-Kennfelder aller untersuchten Fahrzeuge auf den Kraftstoff B7 abgestimmt sind, sind auch nur die Ergebnisse mit B7 dargestellt.

In Abbildung 76 ist zu erkennen, dass die NO_x-Werte im kalten Test von Phase zu Phase ansteigen. Daran ist zu erkennen, dass das Fahrzeug auf den für Euro 5-Fahrzeuge maßgeblichen Testzyklus NEFZ abgestimmt ist. Die höheren Emissionen in den warmen Tests deuten darauf hin, dass mit steigender Motortemperatur die AGR-Rate reduziert wird. Beim Touareg scheint das AGR-Kennfeld etwas weiter zu höheren Lasten bzw. Geschwindigkeiten ausgedehnt zu sein. Hier wird die AGR-Rate erst in Phase 4 reduziert, was zu höheren NO_x-Emissionen führt. Auch die Unterschiede zwischen kalt und warm sind hier geringer als beim Passat.

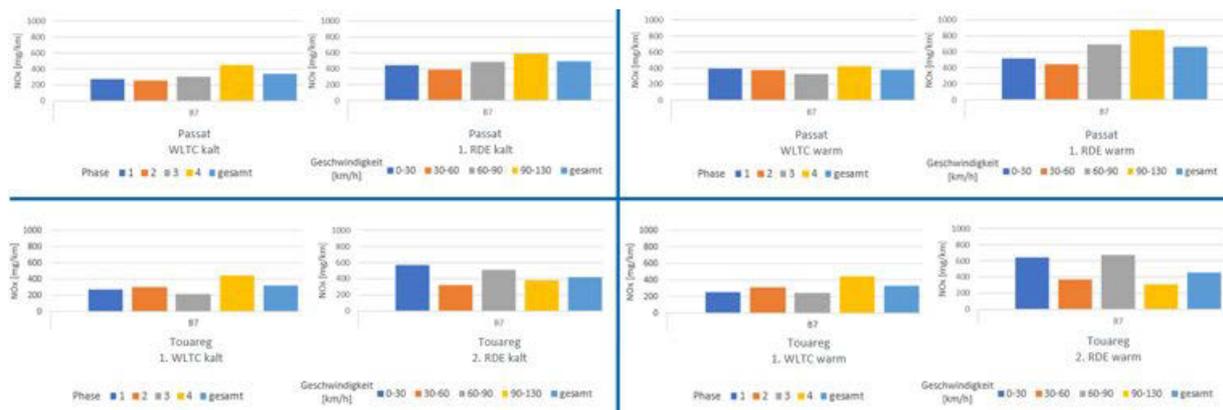


Abbildung 76: NO_x-Emissionen der Fahrzeuge Passat und Touareg in kalten und warmen Tests (WLTC und RDE)

Betrachtet man im Vergleich die LDV-Fahrzeuge, so wird deutlich, dass im WLTC die NO_x-Emission wieder von Phase zu Phase ansteigt. In Phase 4 sehen wir die höchsten Emissionen, weil dann die AGR weitgehend reduziert ist. Unterschiede zwischen kalt und warm sind hier kaum zu erkennen. Die deutlich höheren Emissionen in den RDE-Fahrten deuten darauf hin, dass auch diese Fahrzeuge auf den NEFZ abgestimmt sind. Beim Ducato bewegen sich die NO_x-Emissionen auf doppelt so hohem Niveau wie beim T5, was grundsätzlich auf eine stark eingeschränkte Abgasrückführung hinweist. Dazu passend sind zwischen den einzelnen Geschwindigkeitsklassen kaum Unterschiede in den NO_x-Emissionen zu sehen.

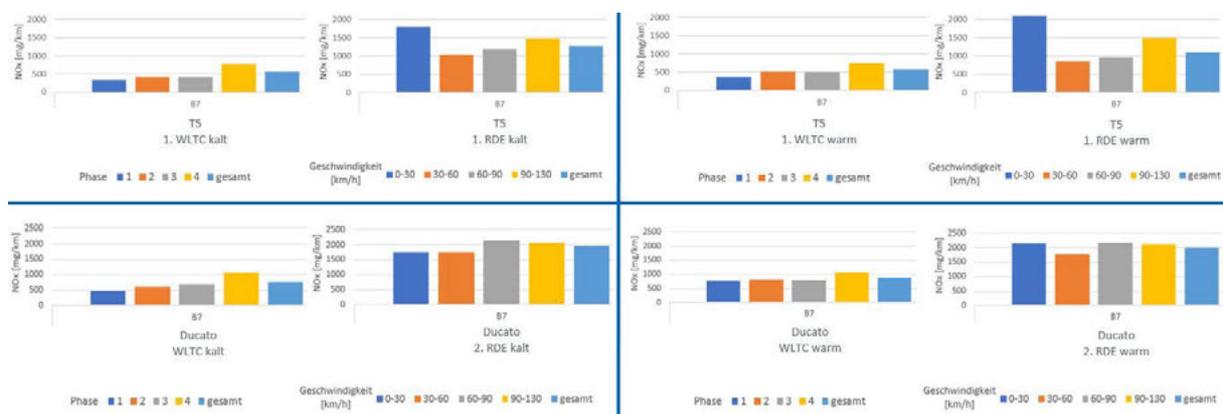


Abbildung 77: NO_x-Emissionen der Fahrzeuge T5 und Ducato in kalten und warmen Tests (WLTC und RDE)

Die Auswertung der NO_x-Emissionen der beiden Lkw-Fahrzeuge ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die NO_x-Emission beim Iveco von Phase zu Phase bzw. von Geschwindigkeitsklasse zu Geschwindigkeitsklasse abnimmt. Daraus ist abzuleiten, dass die AGR-Abstimmung auf höhere Lasten und Geschwindigkeiten außerhalb

des städtischen Bereichs abgestimmt ist, wie es den typischen Betriebsbereichen dieser Fahrzeuge entspricht. Der Atego ist nicht mit AGR ausgestattet, hier wird die NO_x-Emission durch den Wirkungsgrad des SCR-Systems bestimmt, der in den unteren Geschwindigkeitsklassen und den damit verbundenen niedrigen Abgastemperaturen begrenzt ist.

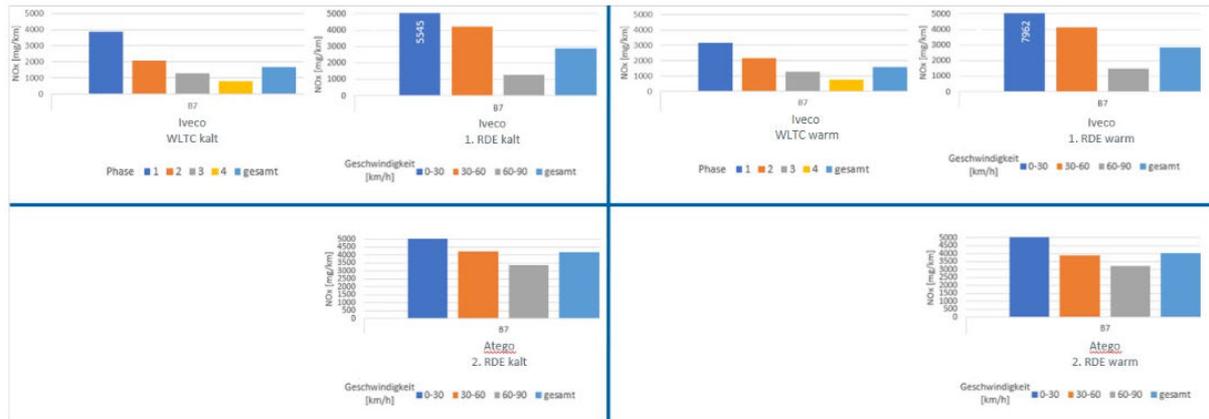


Abbildung 78: NO_x-Emissionen der Fahrzeuge Iveco und Atego in kalten und warmen Tests (WLTC und RDE)

Im Folgenden werden die Einflüsse des Kraftstoffs auf die NO_x-Emission diskutiert.

6.3. Einfluss der Kraftstoffe bei Fahrzeugen ohne AGR und ohne DPF: Erklärung am Beispiel Atego

Beim Atego entfällt die „Störgröße“ Partikelfilter, so dass hier aus den gemessenen Emissionen direkt auf den Kraftstoffeinfluss geschlossen werden kann. Die Ergebnisse zeigen bei allen 3 Kraftstoffen gleiche PN-Werte. In Verbindung mit der in der Literatur genannten Verringerung der Partikelmasse mit XtL-Kraftstoffen um ca. 30% ergibt sich daraus die Schlussfolgerung, dass die Partikeldurchmesser mit XtL kleiner sein müssen.

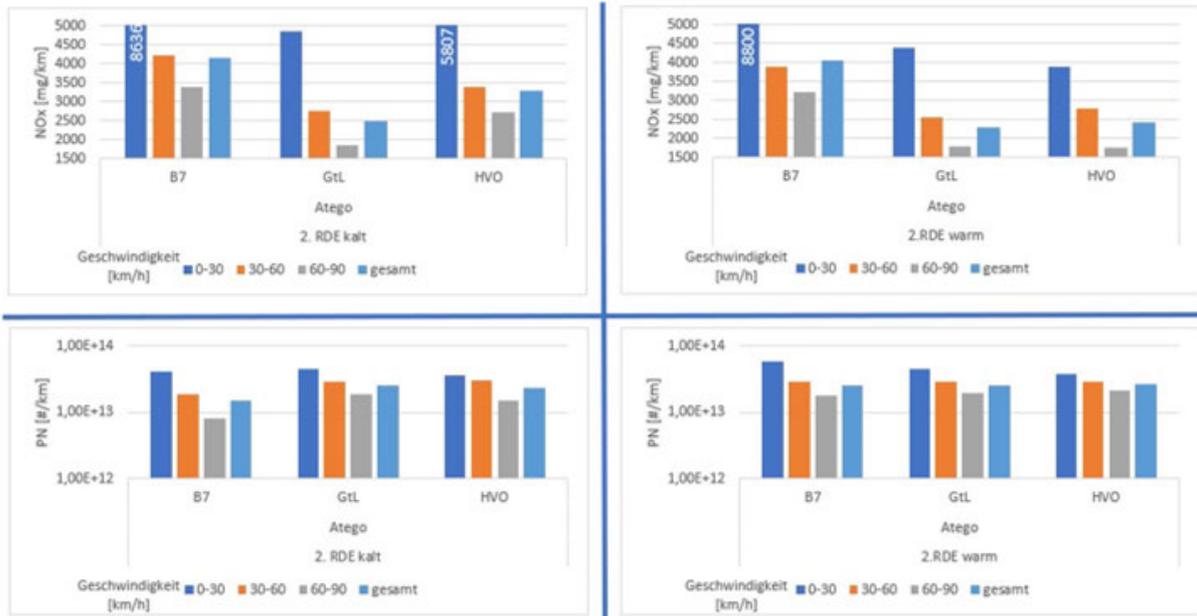


Abbildung 79: NOx- und PN-Emissionen des MB Atego

6.4. Einfluss der Kraftstoffe bei Fahrzeugen mit DPF und wenig Abgasrückführung: Erklärung am Beispiel des T5:

Bei Fahrzeugen mit geringer AGR-Rate ist der Einfluss der verschiedenen Kraftstoffe auf die NOx-Emission gering. Der Partikelfilter hat hingegen einen großen Einfluss auf die PN-Emissionen.

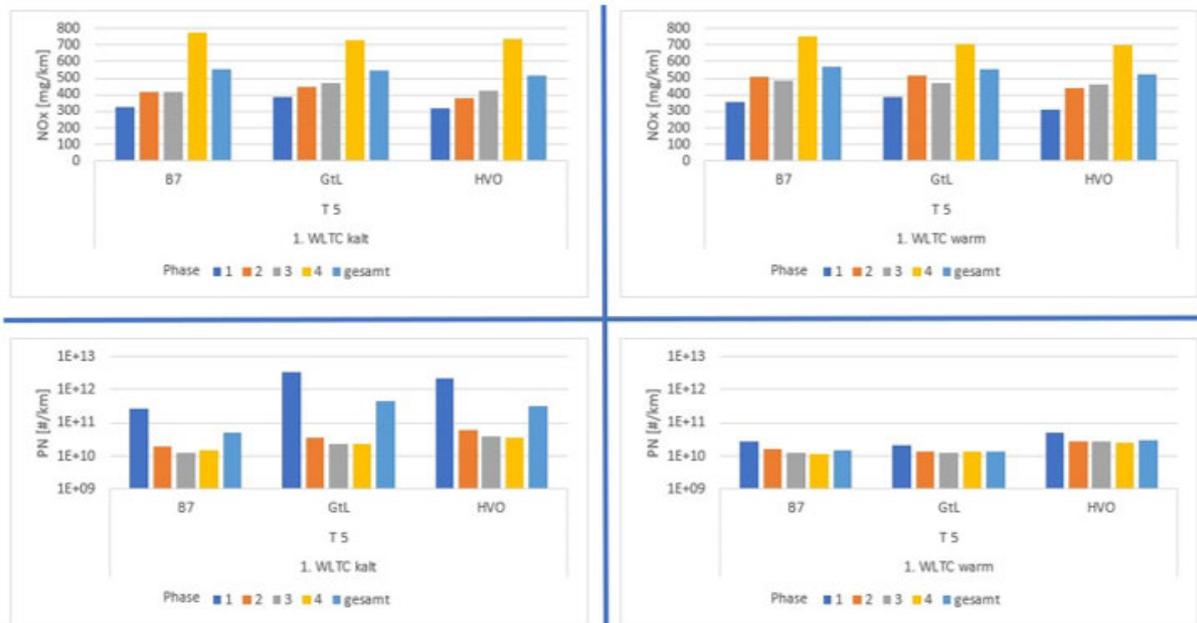


Abbildung 80: NOx- und PN-Emissionen des VW T5

6.5. Einfluss der Kraftstoffe bei Fahrzeugen mit DPF und hoher Abgasrückführung: Erklärung am Beispiel Touareg

Beim Touareg erstreckt sich die Abgasrückführung über einen größeren Kennfeldbereich. Daher sind hier auch größere Einflüsse des Kraftstoffs auf die NO_x-Emission zu sehen.

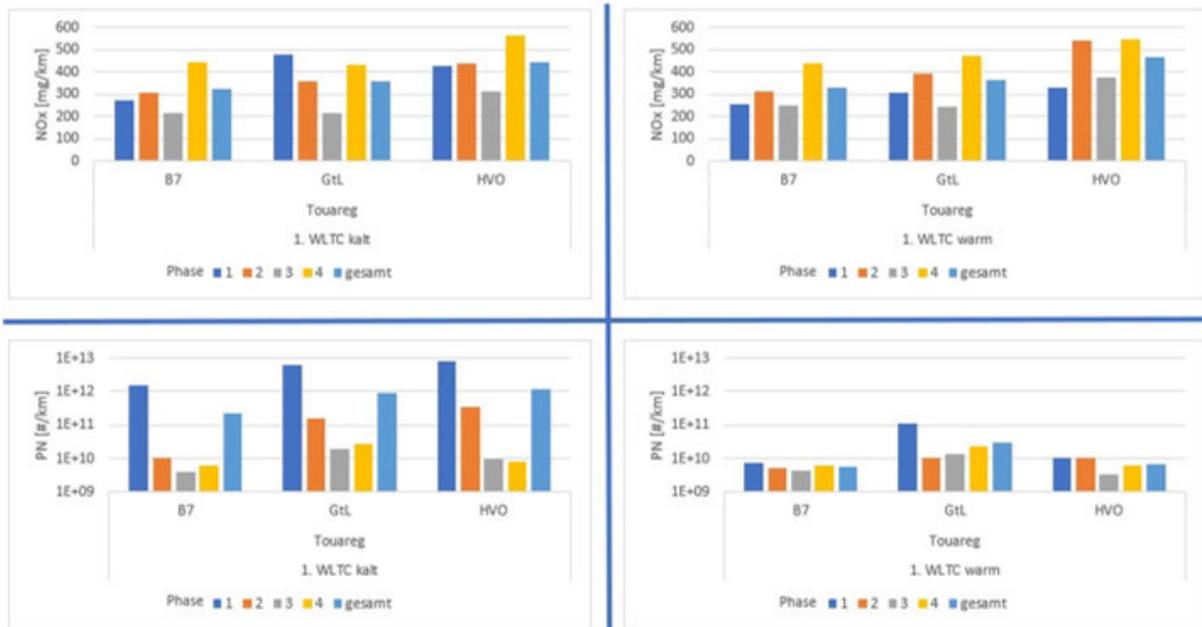


Abbildung 81: NO_x- und PN-Emissionen des VW Touareg

Der Einfluss des Kraftstoffs auf die NO_x-Emission lässt sich in folgender Abbildung erkennen. Dargestellt sind die NO_x-Emissionen in Phase 1 (links) und in Phase 4 (rechts) jeweils im Vergleich von kalt- und warm-Test für verschiedenen Fahrzeuge.

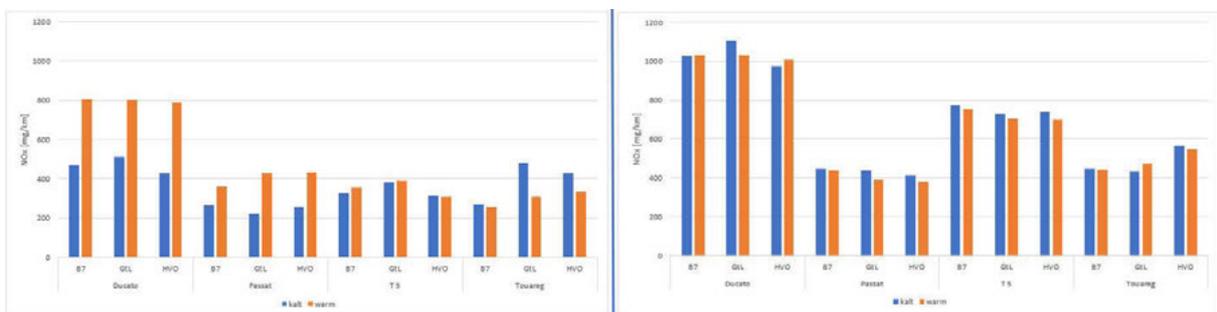


Abbildung 82: Vergleich der NO_x-Emissionen zwischen kalt- und warm-Test

Beim Ducato wird deutlich, dass in Phase 1 die AGR im kalten Test aktiv ist, im warmen aber nicht. Daher sind im kalten Test Unterschiede von Kraftstoff zu Kraftstoff zu sehen, im warmen WLTC nicht. Beim Passat zeigt sich ein ähnliches Bild, allerdings bewegen sich die Emissionen auf deutlich niedrigerem Niveau. Beim T5 ist kaum ein Unterschied von kalt zu warm und

auch von Kraftstoff zu Kraftstoff zu erkennen. Beim Touareg ist der Kraftstoffeinfluss deutlicher zu sehen, die Unterschiede zwischen kalt- und warm-Test zeigen sich nur mit HVO und GtL.

In Phase 4 sind kaum noch Unterschiede zwischen kalt- und warm-Test zu erkennen. Dies ist ein klares Indiz dafür, dass hier die AGR weitestgehend inaktiv ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die größten Kraftstoffeinflüsse da zeigen, wo auch die größten Unterschiede zwischen kalt- und warm-Test zu finden sind. Dies wiederum deutet auf eine Beeinflussung der AGR-Rate durch den Kraftstoff hin.

6.6. Einfluss der Kraftstoffe auf die NO_x-Emission

Der für die NO_x-Emissionen maßgebliche Parameter mit der höchsten Signifikanz ist die AGR-Rate. Nimmt sie ab, steigt die NO_x-Emission. Bei raschen Lastsprüngen oder Lastsprüngen bei niedrigen Drehzahlen wird die unzureichende Luftmasse durch Reduzierung der AGR-Rate ausgeglichen. Dadurch kommt es insbesondere im instationären Betrieb zu den bekannten NO_x-Spitzen. Beim Einsatz von XtL-Kraftstoffen wird dieser Effekt dadurch verstärkt, dass der über die Fahrpedalstellung angeforderte Lastsprung höher ist als bei B7 und damit eine stärkere oder gar vollständige Rücknahme der AGR-Rate erfolgt. Dieser grundsätzliche Zusammenhang ist auch in der Literatur dokumentiert (Mata)(Mata), (Münz)(Münz). Daraus resultierend sind dann auch die NO_x-Emissionen höher als bei B7. Die Abhängigkeit der NO_x-Emission ist in Abbildung 83 dargestellt.

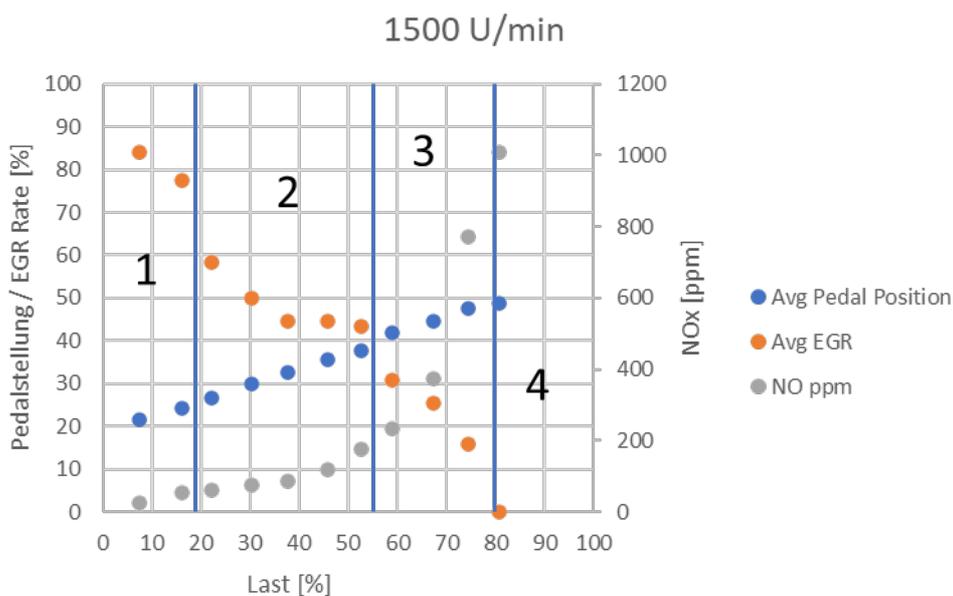


Abbildung 83: Zusammenhang zwischen Pedalstellung, AGR-Rate und NO_x-Emission

Es ist deutlich zu erkennen, dass die AGR-Rate mit zunehmender Last abnimmt und schließlich bis auf Null zurückgeht (Bereich 4). Der Einfluss auf die NO_x -Emissionen ist im unteren Lastbereich (Bereiche 1 und 2 im Diagramm) relativ gering. Bei höheren Lasten (Bereich 3) ist der Einfluss der Last auf die NO_x -Emission hingegen sehr hoch. Hier führen geringe Änderungen der Last bereits zu deutlichen Veränderungen in der NO_x -Emission. Das heißt, dass in diesem Bereich bereits eine geringe Verschiebung des Lastpunkts zu einer deutlichen Verringerung der AGR-Rate und damit einer ebenso deutlichen Erhöhung der NO_x -Emission führt. Aus diesem Zusammenhang heraus lässt sich klar ableiten, dass eine höhere Pedalwertstellung infolge des um etwa 4 bis 5 % geringeren volumetrischen Heizwerts des Kraftstoffs zu einer deutlichen Veränderung der NO_x -Emissionen führen kann. Der Bereich 4 des Diagramms kennzeichnet den Bereich außerhalb des AGR-Kennfelds. Hier ist die AGR-Rate gleich Null, so dass kein größerer Einfluss auf NO_x -Emissionen zu erwarten ist.

Im nächsten Diagramm wird deutlich, dass der Kennfeldbereich, in dem der WLTC gefahren wird, auch tatsächlich relevant ist. Dargestellt sind die im WLTC gefahrenen Betriebspunkte im Geschwindigkeitsbereich 0 bis 30 km/h (blaue Rauten). Bis auf wenige Ausnahmen liegen alle Punkte innerhalb des AGR-Kennfelds. Deshalb ist der Einfluss auf die NO_x -Emissionen in dieser Geschwindigkeitsklasse häufig besonders hoch.

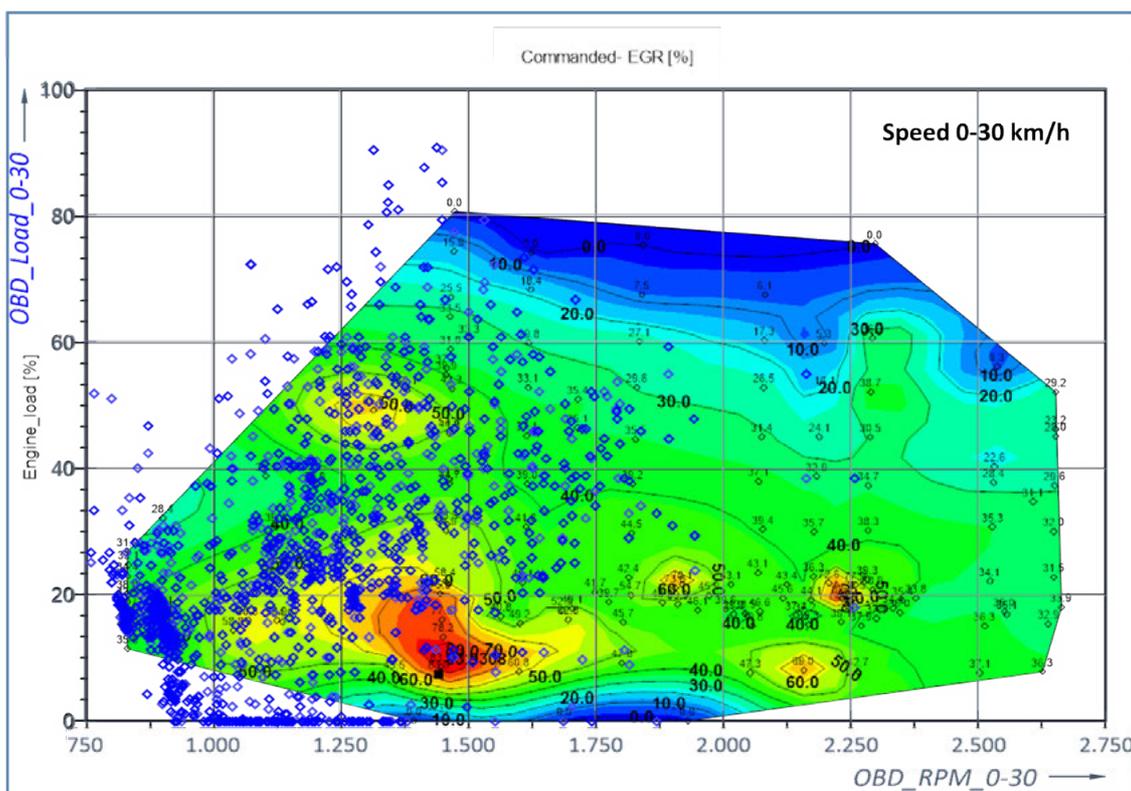


Abbildung 84: WLTC-Lastpunktverteilung über dem AGR-Kennfeld

In den folgenden Abbildungen sind die Pedalwertstellung, die AGR-Rate und die NO_x-Emission für B7 und HVO dargestellt. Im oberen Bild gelten die Werte für eine Drehzahl von 1400 1/min, im unteren Bild für eine Drehzahl von 2000 1/min. In blau hinterlegt ist die Lastverteilung im WLTC bei der jeweiligen Drehzahl. In Abbildung 85 ist zu sehen, dass im unteren Lastbereich die AGR-Rate mit HVO höher ist als mit B7. Dies hat jedoch kaum Auswirkungen auf die NO_x-Emission. Bei hoher Last ist die AGR-Rate mit HVO hingegen niedriger als mit B7. In diesem Bereich wirkt sich dies stark auf die NO_x-Emission aus.

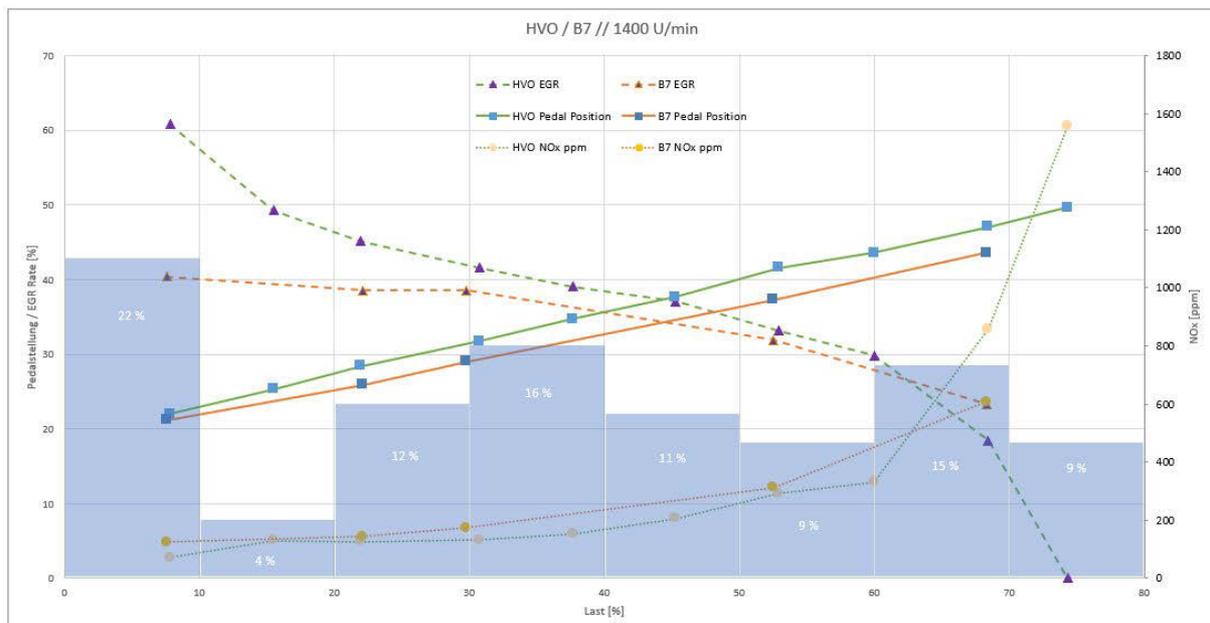


Abbildung 85: Pedalwertstellung, AGR-Rate und NO_x-Emission als Funktion der Last bei 1400 1/min

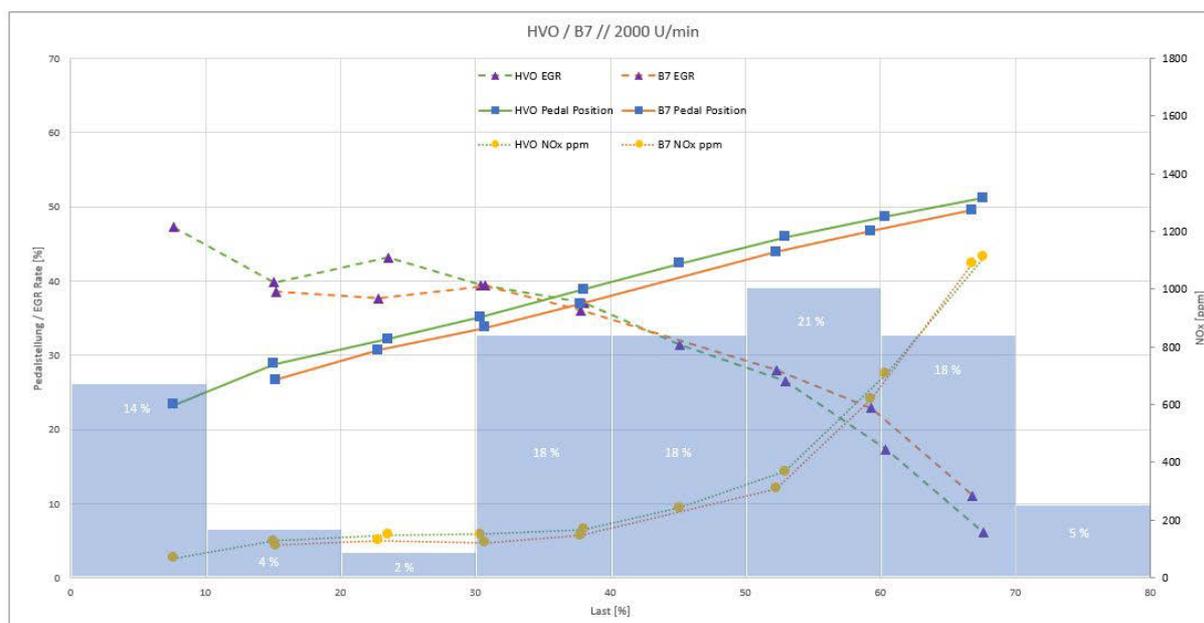


Abbildung 86: Pedalwertstellung, AGR-Rate und NOx-Emission als Funktion der Last bei 2000 1/min

In Abbildung 86 ist zunächst zu sehen, dass im Drehzahlbereich 2000 1/min das Fahrzeug häufiger im oberen Lastbereich betrieben wird. Die Unterschiede in der AGR-Rate (stationär ermittelt) schlagen sich hier nicht in den NOx-Emissionen nieder. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass im dynamischen Betrieb in diesem Last-/Drehzahlbereich die AGR schon komplett abgeschaltet ist.

Die Abstimmung des AGR-Kennfelds ist motorspezifisch. Insbesondere der Gradient der AGR-Rate über Last und/oder Drehzahl beeinflusst die Auswirkung einer Lastpunktverschiebung durch den verwendeten Kraftstoff. Daher ist der Einfluss des AGR-Kennfelds auf die NO_x-Emissionen von Fahrzeug zu Fahrzeug verschieden und muss individuell betrachtet werden.

6.7. Einfluss der Kraftstoffe auf die PN-Emissionen:

In Kapitel 6.1 wurde beschrieben, dass die Partikelemission vom Wirkungsgrad des Partikelfilters abhängt und dass unterschiedliche Faktoren diesen Wirkungsgrad beeinflussen. In Abbildung 87 sind die PN-Emissionen über der Partikelmasse für B7, HVO und GtL aufgetragen. Dabei sind folgende Phänomene zu beobachten:

Bei allen 3 Kraftstoffen sind die Emissionen in der 1. Phase des Tests deutlich höher als in den übrigen Phasen. Dies ist eine indirekte Bestätigung für die oben beschriebenen „Risse“ im Rußkuchen, die für einen verschlechterten Filterwirkungsgrad verantwortlich sind.

Mit HVO und GtL sind die Emissionen generell höher als mit B7. Dies steht im Einklang mit den kleineren Partikeldurchmessern und dem damit verbundenen schlechteren Wirkungsgrad.

Des Weiteren ist zu sehen, dass mit HVO und GtL trotz höherer Partikelanzahl eine geringere Partikelmasse emittiert wird. Außerdem ist der Gradient PN/PM mit B7 deutlich kleiner ist (geringere Steigung) als bei HVO und GtL. Beides spricht für kleinere Partikeldurchmesser bei GtL und HVO.

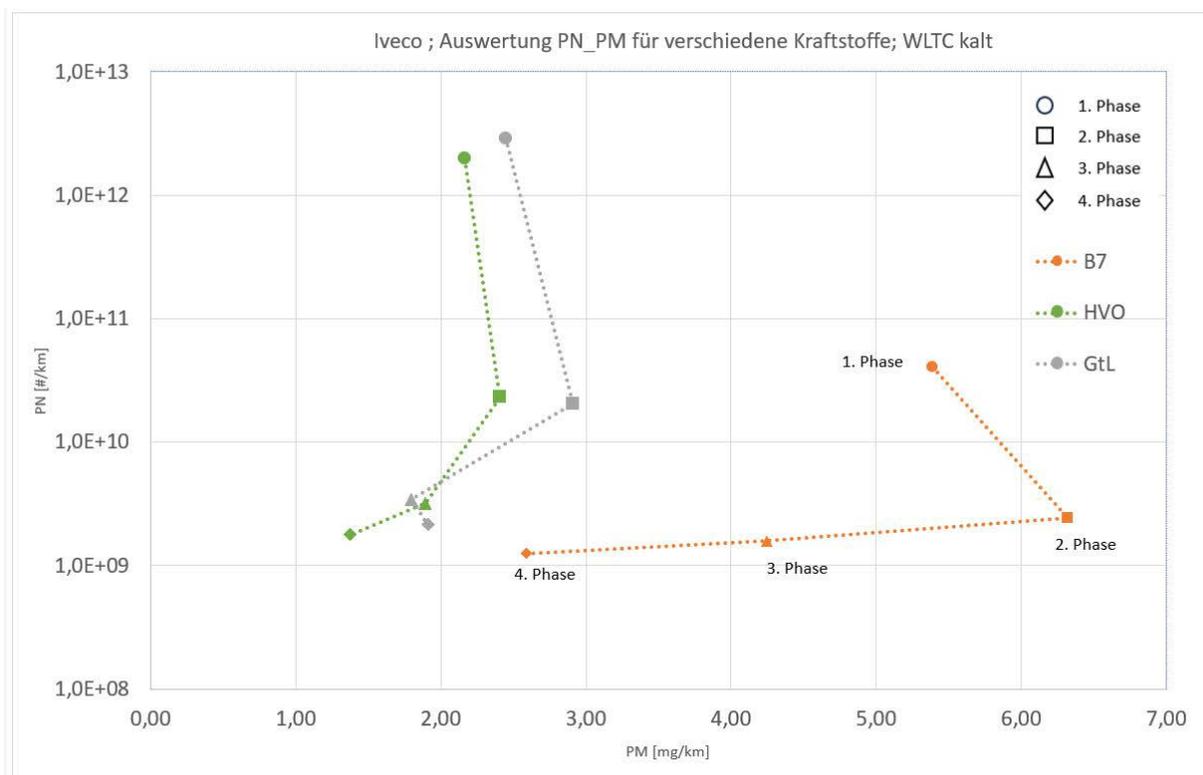


Abbildung 87: Partikelanzahl über Partikelmasse in den 4 Phasen des WLTC für B7, HVO und GtL

In Abbildung 88 ist die PN-Emission in der Anfangsphase des WLTC dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die hohen Peaks zu Beginn des Tests, die bei HVO und GtL sehr viel höher ausfallen als bei B7. Im weiteren Verlauf des Tests ist zu sehen, dass mit B7 keine Peaks mehr auftreten, während mit HVO und GtL noch Emissionspeaks zu sehen sind. Dies spricht für das langsamere Schließen des Rußkuchens bei den Kraftstoffen GtL und HVO.

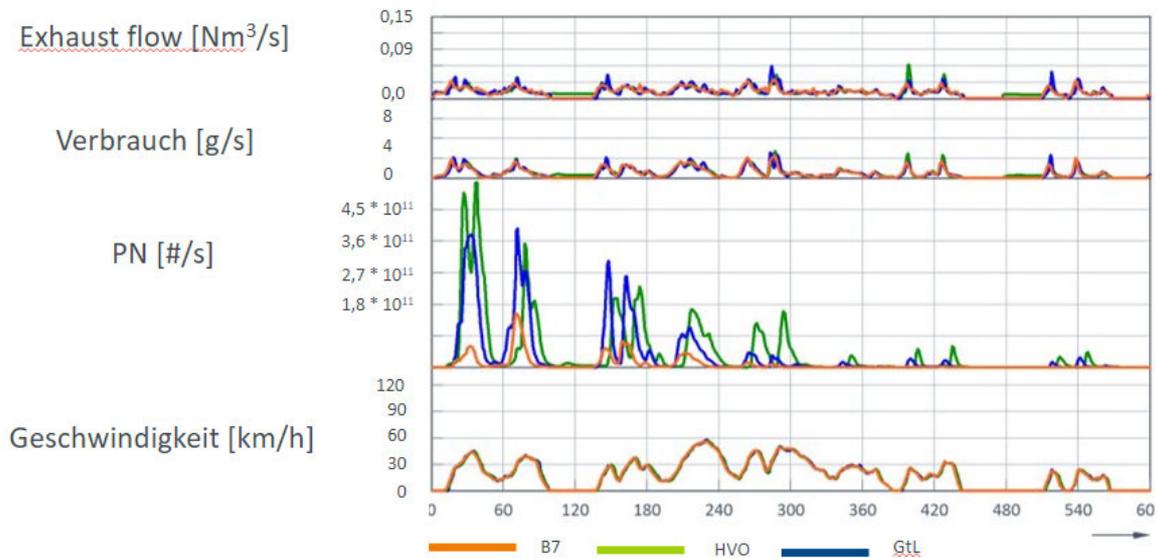


Abbildung 88: PN-Emission in der 1. Phase des WLTC

Aus Abbildung 89 ist ersichtlich, wie sich der Abgasmassenstrom auf die PN-Emission auswirkt. Es lässt sich gut erkennen, dass die Peaks in der PN-Emission in direktem Zusammenhang mit Beschleunigungsphasen bzw. hohen Abgasmassenströmen im Zyklus stehen.

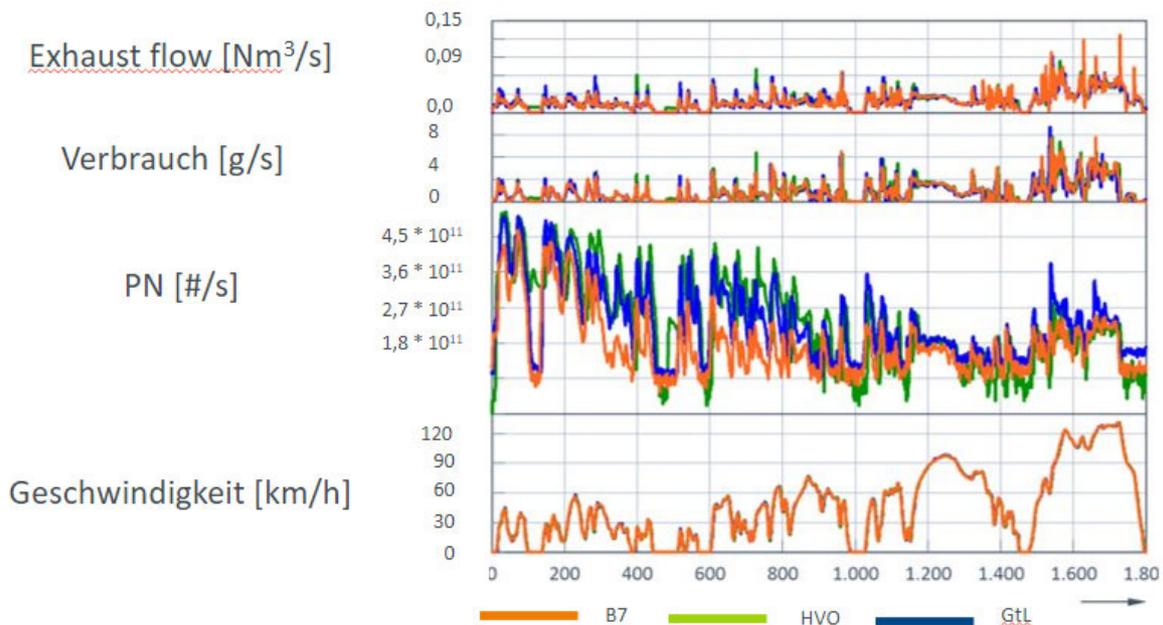


Abbildung 89: Einfluss des Abgasmassenstroms auf die PN-Emission

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die hier beschriebenen Phänomene auch von der Auslegung (Porenstruktur) des Partikelfilters abhängen.

Zusammenfassend lässt sich der Einfluss des Kraftstoffs auf die PN-Emissionen wie folgt beschreiben:

1. Bei der Verbrennung von XtL-Kraftstoffen entstehen höhere PN-Werte.
2. Durch die Lastpunktverschiebung und damit einhergehende Verringerung der AGR-Rate treten höhere Abgasmassenströme auf, die ihrerseits zur Erhöhung der PN-Werte führen.
3. Die geringere Rohemission des Motors führt zu einem dünneren Rußkuchen auf der Filteroberfläche und damit zu einem geringeren Filterwirkungsgrad.
4. Die mit XtL-Kraftstoffen kleineren Partikel führen zu einem größeren „Schlupf“ durch den Filter, weil der Filterwirkungsgrad mit kleinerem Partikeldurchmesser abnimmt.

7. Ausarbeitung der Lösungsansätze geeigneter Abgasnachbehandlungssysteme für den Betrieb mit synthetischen Kraftstoffen

Um die fahrzeugabhängig festgestellten Verschlechterungen des Emissionsverhaltens mindestens kompensieren zu können, wurde im Projekt der Ansatz eines neuen Abgasnachbehandlungssystems ausgearbeitet.

Dieser neue Technologieansatz entspricht einem autarken Kombinationssystem aus Partikelfilter und SCR mit aktivem Thermomanagement, das die Nachrüstung in die Bestandsfahrzeuge ermöglicht. Folgende Anforderungen und Ansätze des Systems wurden dabei definiert:

- Ein wesentlicher Aspekt ist die Partikelfiltration. Als Ansatz für die Partikelfiltration mit hohem Wirkungsgrad auch bei geringer Partikelbelastung wird ein System mit angepasster Porenstruktur benötigt.
- Ebenso ist ein SCR-System für eine wirkungsvolle Reduktion der Stickoxide einzubringen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Partikelfilter in komplexem Wirk-Zusammenhang mit dem DOC und insbesondere dem SCR-Katalysator steht. Ein aktives Thermomanagement soll dabei sicherstellen, dass auch unter ungünstigen Bedingungen eine hohe Stickoxid-Minderung realisiert werden kann.
- Schließlich ist das Gesamtsystem grundlegend abzustimmen, um eine wirkungsvolle Abgasnachbehandlung mit effektiver Stickoxid-Minderung und Partikelreduktion realisieren zu können.

Insgesamt beinhaltet das System im Wesentlichen folgende Komponenten:

- Partikelfilter mit optimierter Porenstruktur,
- AdBlue®-System,
- SCR-Modul mit aktivem/passivem Thermomanagement
- Hilfskatalysatoren,
- DOC
- Steuereinheit der autarken Abgasnachbehandlung
- weitere Komponenten, u. a. zur Integration des Systems in die Fahrzeuge.

8. Fazit

In dem vorliegenden Projekt wurde der Einfluss durch den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen wie XtL und HVO auf das Emissionsverhalten von Bestandsfahrzeugen der Emissionsstufe Euro 5/V untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung dieser Kraftstoffe als Ersatz für Dieselmotoren einen direkten Einfluss auf die Emissionen der Fahrzeuge hat.

Sowohl Messungen unter Realbedingungen (RDE) als auch auf dem Prüfstand (WLTC) zeigen insbesondere eine Erhöhung bei Stickstoffoxiden (NO_x) und Partikelanzahl (PN). Die Dimension der Erhöhung schwankt zwischen den Fahrzeugen je nach verwendeter Ausgangstechnologie und Fahrzeugabstimmung.

Die Ursache für die Emissionserhöhung ist in den unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe begründet.

Wirkung 1: Durch den geringeren volumetrischen Heizwert der synthetischen Kraftstoffe gegenüber Diesel muss der Fahrer zur Erreichung eines bestimmten Drehmomentes eine größere Fahrpedalstellung einstellen. In der Folge kommt es zu einer Verschiebung der Lastpunkte in der Motorsteuerung und damit der AGR-Abstimmung. Da die Abgasrückführung ein wesentliches Element der Emissionsreduzierung eines Motors ist, führt deren Verstimmung zu einer Erhöhung der NO_x -Emissionen.

Wirkung 2: Die chemische Zusammensetzung der ausgewählten synthetischen Kraftstoffe führt zu einer reduzierten Rußmasse bei der Verbrennung. Dies geht jedoch nicht mit einer Reduktion der Partikelanzahl einher. Durch die Verstimmung der AGR kommt es zu einer Erhöhung des Abgasmassenstromes und damit zusätzlich zu einer erhöhten Anzahl ausgestoßener Partikel. Des Weiteren beeinflusst die geringere Rußmasse die Filtrationswirkung des Partikelfilters.

Somit wurde ein deutlicher Einfluss in zweierlei Hinsicht festgestellt: sowohl auf die Stickstoffoxidemissionen (NO_x), als auch auf die Partikelemissionen (PN). Der Einfluss ist je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich, es wurden Messungen mit Erhöhungen von bis zu 60% für Stickoxide und Faktor 10 und mehr für die Partikelanzahl nachgewiesen.

Das bedeutet, dass sich die für Euro 5 Fahrzeuge im realen Verkehr bekannt hohen Emissionen mit synthetischem Kraftstoff zum Teil weiter verschlechtern.

Die Ergebnisse aus Phase 1 bestätigen im Einklang mit den einbezogenen wissenschaftlichen Sachverständigen fahrzeugabhängig einen verschlechternden Einfluss synthetischer Kraftstoffe auf das Emissionsverhalten von Bestandsfahrzeugen.

In seiner Stellungnahme schreibt Prof. Bartunek (FH Südwestfalen)

„... Demzufolge wird der Einsatz CO₂-neutraler Kraftstoffe die Anpassung der Komponenten des Abgasnachbehandlungssystems erforderlich machen, da die Parameter der Kraftstoffeinspritzung und deren Regelung selbst nicht anpassbar sind. Die aufgrund der speziellen Molekularstruktur positiven Eigenschaften synthetischer Dieseldieselkraftstoffe werden bei geeigneter Anpassung der Abgasanlage zu einem insgesamt gleichbleibendem oder ggf. sogar verbessertem Emissionsverhalten der Fahrzeuge führen. Schlussendlich lässt sich das Potenzial eines Beitrages der Bestandsflotte nur dann realisieren, wenn die Entwicklung entsprechender Abgassystemtechnik mit angepassten Eigenschaften umgehend angegangen wird und die Rahmenbedingungen für etwaige Retrofitmaßnahmen im Detail sondiert bzw. analysiert werden.“

Zu einem gleichen Schluss kommt Prof. Rajamani (FH Dortmund):

„Um den Umweltschutz durch die Verwendung von regenerativen Kraftstoffen sicherzustellen, ist es aus meiner Sicht essenziell, die Qualität der Abgasnachbehandlungssysteme zu verbessern. Das betrifft die Nachrüstsysteme umso mehr, da keinerlei Einfluss auf die Motoremissionen vorgenommen werden können. Die wesentlichen Schwerpunkte für die Weiterentwicklung der Abgasnachbehandlungssysteme sind die:

- Substrate für DOC und SCR, womit bei minimiertem Abgasgedruck die katalytische Oberfläche gesteigert wird.
- Substrate für DPF, womit bei minimiertem Gegendruck die Partikelfiltrierung gesteigert wird
- Katalytische Beschichtungen zur Erreichung von höheren NO_x-Reduktionseffizienzen schon bei niedrigen Abgastemperaturen
- Dosier- und Mischsysteme für AdBlue für eine bessere Ammoniak-Gleichverteilung im Katalysator

Vor diesem Hintergrund sollen im Rahmen der in Phase 2 geplanten Nachfolgeprojekte Demonstrator-Fahrzeuge mit optimierten Abgasanlagen dargestellt werden, die in der Lage sind, die in Phase 1 festgestellten Verschlechterungen mindestens zu kompensieren.

Als Grundlage dafür wurde im Projekt ein Technologieansatz skizziert, der einem autarken Kombinationssystem aus Partikelfilter und SCR mit aktivem Thermomanagement entspricht und die Nachrüstung in die Bestandsfahrzeuge ermöglicht.

Dies begründet die Sinnhaftigkeit der Folgevorhaben der Phasen 2 und 3.

9. Angaben zu Projekt, Verwertung und Veröffentlichungen

9.1. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Arbeiten waren mit hohen Aufwänden verbunden und erforderten im Rahmen der Forschungsarbeiten sowie der Ausarbeitung und des Aufbaus der Hardware den Einsatz von Fahrzeugen, Prüfsystemen, Wissen sowie weiterer Materialien und Entwicklungsressourcen. Weiterhin waren u. a. Arbeiten im Rahmen von Unteraufträgen erforderlich.

Als wichtigste Kostenpositionen sind die Personalkosten, sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten und Fremdleistungen zu nennen. Weiterhin fielen in geringerem Maße Materialkosten für die Durchführung der Untersuchungen an.

9.2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit zur Durchführung des Projektes ergab sich daraus, dass die Auswirkungen der Verwendung unterschiedlicher synthetischer Kraftstoffe auf das Emissionsverhalten und die Abgasnachbehandlung von Bestandsfahrzeugen der Generation Euro 5/V bisher nicht in einer breiten Art und Weise erforscht oder zugänglich sind. Um den Betrieb mit synthetischen Kraftstoffen ohne Verschlechterung des Emissionsverhaltens zu ermöglichen, war somit in diesem ersten Schritt die Eignung der herstellereitig installierten Abgasnachbehandlungssysteme hinsichtlich Erfüllung der technischen Anforderungen an das Emissionsverhalten zu überprüfen und der Bedarf an neuen Lösungen zu ermitteln.

Der Fokus lag darauf, die erforderlichen Arbeiten in kurzer Zeit erfolgreich durchzuführen, um bei nachgewiesenem Bedarf in anschließenden Arbeiten die Ausarbeitung neuer Lösungen vorantreiben zu können. Der Aufwand und die Kosten wurden dabei auf den nötigen Umfang begrenzt.

9.3. Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse

9.3.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes bestätigen die mangelnde Eignung der vorinstallierten Abgasnachbehandlung und den Bedarf an neuen Lösungen, um Diesel-Bestandsfahrzeuge der Emissionsklasse 5/V unter Einhaltung der zugrundeliegenden Anforderungen an das Emissionsverhalten mit synthetischen Kraftstoffen betreiben zu können.

Die HJS GmbH & Co. KG strebt an, die Ergebnisse dieser Forschungstätigkeiten wirtschaftlich zu verwerten und in Folgevorhaben die skizzierten Lösungsansätze zunächst als Demonstratoren und perspektivisch auch schnellstmöglich am Markt als Produktangebot mit ABE gemäß Förderrichtlinie verfügbar zu machen.

Die HJS GmbH & Co. KG wird die Ergebnisse der Forschungstätigkeiten umfangreich veröffentlichen, um den Markteintritt zu unterstützen und die schnelle Verbreitung der Technologie als Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz im Verkehrsbereich voranzutreiben.

Geplant ist insbesondere die weitere Vorstellung der Ergebnisse und der geplanten Folgevorhaben auszuarbeitenden Systeme auf Konferenzen, Messen und in einschlägigen Fachzeitschriften, um das Fachpublikum zu informieren. Angedacht sind:

- Fachvorträge in Verbänden und Institutionen, z.B. VDA, VDMA, FAD, FVV, VDBUM
- Fachvorträge auf Messen und Symposien, z.B. IAA, Bus2Bus/Busworld, Bauma
- Online-Stellung von Fachvorträgen auf eigener Homepage und z.B. Dieselnet
- Fachvorträge bei NGOs (DUH, AVD, BUND, DBU, ...).

Ziel ist weiterhin der Zugang zu Facharbeitskreisen von Regionalverbänden, Städtetag und -bund, Wirtschafts- und Struktur-Verbänden. Denkbar sind auch Veröffentlichungen in Zusammenarbeit mit den Unterauftragnehmern als Kooperationspartner. Weiterhin sollen Pressemitteilungen und populärwissenschaftliche Zeitschriften sowie digitale Medien genutzt werden, um darüber hinaus auch die Betreiber, die von den zukünftigen Nachrüstmöglichkeiten Gebrauch machen sollen, zu erreichen und vom Nutzen der geplanten Systeme zu überzeugen.

9.3.2. Wissenschaftliche und / oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

HJS ist aufgrund seiner Aktivitäten als Vorreiter in der Abgasnachbehandlung weltweit als Technologie- und Marktführer bekannt. Deutschland- und weltweit zählt HJS zu den führenden Herstellern von Abgasnachbehandlungssystemen. Die von HJS angebotenen Systeme sind weltweit mitbestimmend für den Stand der Technik.

Die Ergebnisse des Projektes und die Bewertung des Emissionsverhalten lassen darauf schließen, dass eine erfolgreiche Abgasnachbehandlung durch neue Lösungen zur Partikelfilterung im Zusammenspiel mit einer effektiven Stickoxid-Minderung prinzipiell möglich ist, wenn auch die bisher bestehenden Systeme hierfür nicht geeignet sind.

Somit sind beste Voraussetzungen für die weiteren Arbeiten nach Projektende und die Ausarbeitung geeigneter Systeme in geplanten Folgevorhaben gegeben.

9.3.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Auf Basis der aus dem Projekt hervorgehenden Projektergebnisse werden im Anschluss an das Projekt die Ausarbeitung und Untersuchung geeigneter Technologien für Abgasnachbehandlung der betrachteten Fahrzeugklassen im Rahmen von Folgeprojekten verfolgt. Ziel ist, dass schließlich ABE erlangt werden können und die Nachrüstsysteme mittelfristig auf dem

Markt angeboten werden können, sodass der Betrieb von Bestandfahrzeugen mit synthetischen Kraftstoffen ohne erhöhte Emissionen ermöglicht wird.

9.3.4. Bekannte Ergebnisse anderer Stellen während der Laufzeit des Vorhabens

Die Entwicklungen in Wissenschaft und am Markt wurden während der Laufzeit des Vorhabens beobachtet. Verwendete Erkenntnisse und Studien, die während der Projektlaufzeit erschienen oder recherchiert wurden, sind im Literaturverzeichnis angeführt. Anhand dieser Ergebnisse Dritter konnten die Projektergebnisse und die Rückschlüsse zum Emissionsverhalten der betrachteten Fahrzeuge bekräftigt werden.

Es wurden keine Ergebnisse Dritter gefunden, die den Ergebnissen oder den geplanten zukünftigen Arbeiten zur Ausarbeitung geeigneter Nachrüstsysteme entgegenstünden.

9.3.5. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Projektziele und Ergebnisse sollen dem Fachpublikum auf verschiedenen Fachkonferenzen im Laufe des Jahres 2024 präsentiert werden.

Um eine breite Öffentlichkeit zu erreichen, sollen sie, wie unter 9.3.1 bereits genannt, insbesondere über Fachartikel, Anzeigen und Kommentare in Fachzeitschriften verbreitet werden.

10. Quellenverzeichnis

- Barro, Boulouchos. „Experimental characterization of GtL, HVO and OME based alternative fuels for Diesel engines.“ 2021.
- Bartunek. „Stellungnahme zum Betriebsverhalten von Fahrzeugen bei Einsatz CO2-neutraler, synthetischer Dieselkraftstoffe.“ 2023.
- Bhardwaj, Glück, Honecker, Rudolph. „Effizienz- und Emissionspotenziale CO2-neutraler alternativer Kraftstoffe.“ 2023.
- d’Ambrosio, u.A. „Characterization of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) in a Euro 6 Diesel Engine as a Drop-In Fuel and With a Dedicated Calibration.“ kein Datum.
- Dong Tang, Pengfei Zhang, Yubin Han, Yang Liu. „Influence of Asymmetric Channel Structure on Capture.“ *Emission Control Science and Technology* (2023).
- Gill, Tsolakis, Dearn, Rodríguez-Fernández. „Combustion characteristics and emissions of Fischer–Tropsch diesel fuels in IC engines.“ 2011.
- Lapuerta, Armas, Hernández, Tsolakis. „Potential for reducing emissions in a diesel engine by fuelling with conventional biodiesel and Fischer–Tropsch diesel.“ 2010.
- Mata, Carmen,. „Performance and regulated emissions from a Euro VI-D hybrid bus tested with fossil and renewable (hydrotreated vegetable oil) diesel fuels under urban driving in Bilbao city, Spain.“ *Journal of Cleaner Production* 383 (2023).
- Münz, Mokros, Demel, Beidl, VKM TU Darmstadt. „Potenzialuntersuchungen verschiedener Kraftstoffe am Diesel-Demonstratorfahrzeug.“ 16. FAD Konferenz 2018.
- Rajamani. „Stellungnahme Abgasnachbehandlung für regenerative Kraftstoffe.“ 2024.
- Richter, Sadlowski, Schürmann, Wichmann. „Einfluss von Biokraftstoffblends auf moderne Dieselmotoren und deren Abgasnachbehandlungssysteme.“ kein Datum.
- Schmidt, Jandl, Weller. „Endbericht Teststellung HVO100 Winterdienstesinsatz 2022/23.“ 2023.
- Shell. „WAS WIR MORGEN TANKEN: Von der Idee bis zum Einsatz neuer Kraftstoffe.“ 2022.
- Sugiyama, Kouseki, et al. „Effects of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as Renewable Diesel Fuel on Combustion and Exhaust Emissions in Diesel Engine.“ 2012.
- Tool-Fuel. *Toolfuel*. 01. Februar 2024. 01. März 2024. <<https://toolfuel.eu>>.
- Wiertalla, Andreas und Christopher Severin. *Wechselwirkung zwischen Dieselmotortechnik und -emissionen mit dem Schwerpunkt auf Partikeln*. Berlin: FAT 238 Forschungsstelle FEV GmbH, Aachen, 2012.

11. Abkürzungen

AGN	Abgasnachbehandlung
AGR	Abgasrückführung
BAnz	Bundesanzeiger
BMDV	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CO	Carbon Oxide
CO ₂	Carbon Dioxide (Kohlenstoffdioxid)
DIN	Deutsche Industrienorm
DOC	Diesel Oxidation Catalyst
DPF	Dieselpartikelfilter
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
EN	Euronorm
FT-IR	Fourier-Transform-Infrarot Messgerät
GTL	Gas-to-Liquid
H ₂ O	Chemische Formel für Wasser
HC	Hydro Carbon, Hydro Carbon (Kohlenwasserstoff)
HVO	Hydrated Vegetable Oil
LDV	Light Duty Vehicle (Transporter/Van)
LKW	Lastkraftwagen
M1	Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung (bis 8+1 Sitze)
M2	Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung (> 8+1 Sitze bis 5t)
M3	Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung (>5t)
N1	Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung < 3,5 t
N2	Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung 3,5-12t
N3	Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung > 12t
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NO _x	Nitrogen Oxides (Stickstoffoxide)
PEMS	Portable Emission Measurement System
PKW	Personenkraftwagen
PN	Particulate Number (Partikelanzahl)
PtL	Power to Liquid
RDE	Real Drive Emissions
SCR	Selective Catalytic Reduction
WLTC	Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Cycle
XtL	X-to-Liquid

12. Anhang

12.1. Detaillierte Beschreibung der Messtechnik

a) Beschreibung der Messtechnik des TÜV Nord

Rollenprüfstand

Eine Beschreibung des beim TÜV Nord eingesetzten Rollenprüfstands sowie der verwendeten Analysatoren ist in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

List of Confirming Item for Exhaust Emission Test

Item	Filling-in Procedure
<p>1. Chassis dynamometer (Bench No.2)</p> <p>(1) Name of Manufacturer</p> <p>(2) Type</p> <p>(3) Quantity</p> <p>(4) Installation date</p> <p>(5) Specifications</p> <p> a. Roller</p> <p> b. Power absorption system</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Schenk • 500 / GS 60 • 1 unit • December, 2000 • Number of rollers: 2 • Diameter: 502 mm • Length: 750 mm • Distance between center of rollers: 602 mm • Permissible axle load: 2000 kg • Vehicle speed detecting method: The roller's peripheral speed is detected by the rotary pulse method and indicated in km/h. • Power absorption method The power absorption is carried out by an air cooled D.C. electric type dynamometer. • Maximum braking force: 1700 N • Maximum absorption power: 60 kW
<p> c. Flywheel</p> <p>(6) Maintenance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • The equivalent inertia weight can be set in the following range. Range: 680 to 2500 kg Pitch: Increment of 55 kg within above range (mechanical) Increment of 1 kg between the 55 kg-Increments (electrical simulated) • Kind of flywheels: 55, 120, 230, 450 and 910 kg • Roller weight: 680 kg (incl. brake) • In addition to daily inspection, periodical inspections of one-month, six-month and twelve-month are carried out regularly.

Item	Filling-in Procedure
	<p>Daily inspection: Check meters for normal operating condition, etc.</p> <p>One-month inspection: Check of speed meter, etc</p> <p>Six-month inspection: Check & Service of each part</p> <p>Twelve-month inspection: Check & Service of each part</p>
<p>2. Cooling fan</p> <p>(1) Name of manufacturer</p> <p>(2) Type</p> <p>(3) Quantity</p> <p>(4) Installation</p> <p>(5) Specifications</p> <p>(6) Maintenance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • LTG Air Tech Systems • VQF 500/1250/54kW • 1 unit • December, 2020 • Control method: Vehicle speed proportional control • Discharge aperture area: 1030 mm x 294 mm = 0,303 m² • Electric motor output: 54 kW • Maximum air velocity: 160 km/h • Maximum air flow rate: 48.450 m³/h • Check for proper operation in our own company laboratory
<p>3. Collecting filter</p> <p>(1) Material and dimension</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Fluoride carbide coated glass fiber • Diameter: Ø 47 mm • Effective diameter: Ø 39 mm
<p>4. Solid Particle Counter</p> <p>(1) Name of manufacturer</p> <p>(2) Type</p> <p>(3) Quantity</p> <p>(4) Installation date</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MAHA-AIP GmbH & Co. KG. • SPC 8000 • 1 unit • February, 2014

Item	Filling-in Procedure
(6) Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> • Sampling flow rate of bag sampling pump 1 to 5 liter/min Accuracy of measured flow rate Within $\pm 1\%$ of measured value • Sampling bag Material: Tedlar, 50μ Capacity: 70 liters • In addition to daily inspection, periodical inspections of on-month, six-month and twelve-month are carried out regularly. Daily inspection Check meters for proper operating condition, leakage, etc. One-month inspection Cleaning of air filter, etc. Six-month inspection Measurement of flow rate characteristics, etc. Twelve-month inspection Overhaul Measurement of flow rate characteristics, etc.
<p>6. Exhaust gas analyzer</p> <p>(1) Name of manufacturer</p> <p>(2) Quantity</p> <p>(3) Installation date</p> <p>(4) Type (a)</p> <p>(5) Specifications</p> <p>(6) Type (b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AVL • 1 unit • 2018 • FID SL • Analysis method and measurement ranges: • Measured comp. : THC Range : 0 – 10 ppm C₃ 0 – 1.000 ppm C₃ • Indication reproducibility: Within $\pm 0,5\%$ of the full scale • Response time: Within < 1,2 seconds • Noise: Material of pipe: Within $\pm 0,3\%$ of the full scale Stainless steel and Teflon

Des Weiteren werden atmosphärische Daten (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck), geodätische Daten mittels eines GPS-Empfängers sowie diverse Fahrzeugdaten über die OBD-Schnittstelle aufgenommen.

Abbildung 90 zeigt das Messsystem SEMTECH DS+ der Fa. SENSORS und die Tabelle 25 gibt eine Übersicht über die Spezifikationen der verwendeten Analysatoren des SEMTECH DS+.

Für die Messung der Partikelanzahl wurde das SEMTECH CPN als Erweiterungsmodul des SEMTECH DS+ verwendet (**Abbildung 91**). Tabelle 26 fasst die Spezifikationen des SEMTECH CPN zusammen.



Abbildung 90: Semtech-DS+ – Messgerät

Tabelle 25: Spezifikationen des SEMTECH DS+

GAS MEASUREMENT PERFORMANCES					
Parameter	Low CO (Option)	CO	CO ₂	NO	NO ₂
Maximum Range	0 – 1000 ppm	8% vol	18% vol	0 to 3000 ppm	0 to 1000 ppm
Resolution	1 ppm	10 ppm	0.01% vol.	0.1 ppm	0.1 ppm
Zero Drift (over 4 hrs)	≤ ±5 ppm	≤ ±50 ppm	< ±0.1% vol.	≤ 5 ppm with Δt ≤ 10°C and using purified N ₂ as zero gas	
Span Drift (over 4 hrs)	≤ 2% of span value or ≤ ±10 ppm, whichever is greater	≤ 2% of span value or ≤ ±50 ppm, whichever is greater	≤ 2% of span value or ≤ ±0.1% vol., whichever is greater	≤ 2% of reading or ≤ 5 ppm, whichever is greater	
Linearity	X _{min} × (a ₁ - 1) + a ₀ ≤ 0.5% of span		Slope a ₁ between 0.99 and 1.01		
	Standard Error of Estimates (SEE) ≤ 1% of span		Coefficient of Determination r ² ≥ 0.998		
Accuracy	± 5 ppm, or 2% of pt, whichever is greater	< ± 2% of reading or ≤ ± 0.3% of full scale, whichever is larger			
Precision	≤ 1% of span				
Repeatability	≤ ± 2% of point or ≤ ± 1% of span, whichever is larger				
Noise	± 3 ppm	≤ 1% of span			
Sample Flow Rate	3 l/min (LPM) nominal				
Rise Time	T ₁₀₋₉₀ ≤ 2.5 seconds				
System Response Time	T ₀₋₉₀ ≤ 10 seconds				
Data Rate	5 Hz				

SPECIFICATIONS		
Parameter	SCS Module	GAS Module
Voltage	12 VDC	12 VDC from SCS
Power Consumption	60W typical (Max. 150W)	50W typical (Max. 150W)
Communications	TCP/IP over Ethernet	
Storage Temperature	-10°C to +60°C (dry)	
Operating Temperature	-10°C to +45°C (0-100% RH non-condensing) and up to 3000 m	
Dimensions (W x D x H)	43.7 x 40.6 x 9.9 cm 17.2 x 16.0 x 3.9 in	43.7 x 31.2 x 13.5 cm 17.2 x 12.3 x 5.3 in
Weight	10.9 kg 24.0 lbs	8.9 kg 19.6 lbs
Electromagnetic Interference & Susceptibility	CE Standards; IEC 61326:2002-2	



Abbildung 91: Semtech CPN-Modul

Tabelle 26: Spezifikationen des SEMTECH CPN-Modul

PARAMETER	CPN / CPN 23 10
Minimum Particle Size	23nm option (standard): d_{50} approx. 23nm 10nm option: d_{50} approx. 15nm with minimum size < 10nm
Particle Concentration Range at CPC	0 – 1×10^4 #/cm ³ , calibrated 0 – 3×10^4 #/cm ³ , uncalibrated above 1×10^4
Dilution Ratio (nominal)	High Dilution Option: Switchable between 1500:1, 3000:1 Low Dilution Option: Switchable between 120:1, 400:1
Calibrated Measurement Range (nominal)	High Dilution Option: 0 – 6×10^7 #/cm ³ Low Dilution Option: 0 – 8×10^5 #/cm ³
Dimensions (W x D x H)	43.6 x 31.1 x 18.0 cm 17.2 x 12.3 x 7.1 inches
Weight	Approximately 20 kg (44 lbs)
Power Requirements	12 VDC; <200W at steady state (including 1m heated sampling line)
Operating Environment	-10°C to 40°C, 860-1020 mbar [up to 2500m above sea level]

Messung des Abgasmassenstromes

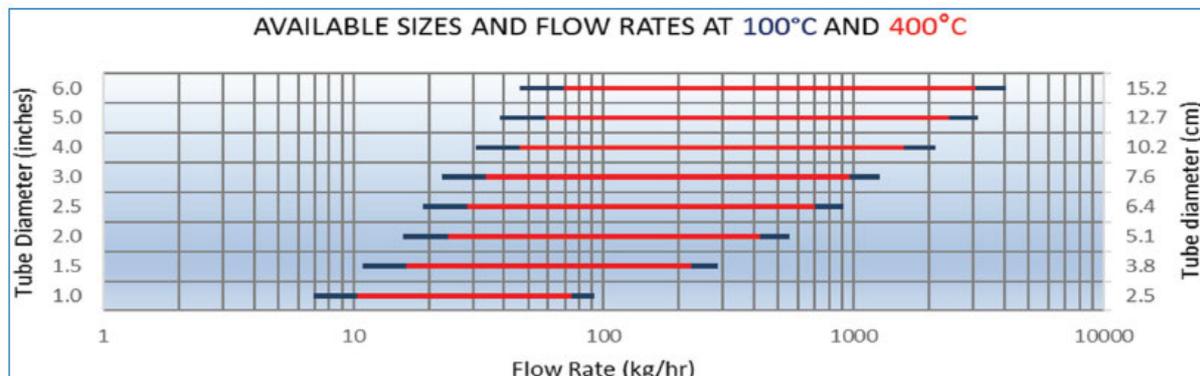
Zur Messung des Abgasmassenstromes kommt ein EFM 5 (Exhaust Flow Meter) der Firma SENSORS zum Einsatz. Das System arbeitet nach dem Prandtl'schem-Staurohr Prinzip, wobei über den dynamischen Staudruck im Vergleich zum statischen Druck die durchströmende Masse ermittelt wird. Die **Abbildung 92** zeigt das Messrohr und die Auswerteeinheit. Die Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Spezifikationen des Messsystems.

SEMTECH® EFM5



Abbildung 92: Exhaust Flow Meter EFM5

Tabelle 27: Spezifikationen des SEMTECH-EFM5



Parameter	EFM							
Flow Tube OD (cm / in)	2.5 / 1.0	3.8 / 1.5	5.1 / 2.0	6.4 / 2.5	7.6 / 3.0	10.1 / 4.0	12.7 / 5.0	12.7 / 6.0
Flow Tube Length (cm / in)	50.8 / 20	50.8 / 20	50.8 / 20	64.0 / 25	64.0 / 25	64.0 / 25	76.2 / 30	91.4 / 36
Exhaust Temperature Range	-5°C to 700°C							
Exhaust Temperature Accuracy	± 1% of reading or ± 2°C, whichever is greater							
Flow Measurement Linearity	$ x_{min} \times (a_1 - 1) + a_0 < 1\%$ of max				Slope a_1 between 0.99 and 1.01			
Flow Measurement Accuracy	Standard Error of Estimates (SEE) < 1% of max				Coefficient of Determination $r^2 > 0.990$			
Flow Measurement Accuracy	± 2% of reading or ± 0.5% of Full Scale, whichever is greater							
Resolution	Resolution 0.1 kg/hr							

Zur Bewertung der Emissionen ist die Kenntnis der Umgebungsdaten zwingend erforderlich. Temperatur und Umgebungsdruck sowie die relative Feuchte wurden durch spezielle Sensoren erfasst. Es wurde ein kombinierter Sensor zur Erfassung der Lufttemperatur und der relativen Feuchte benutzt. Die Signale wurden über die entsprechende Schnittstelle des SEMTECH-DS+ aufgenommen.

Zur Messung der geodätischen Größen diente ein GPS-Empfänger GARMIN GPS 16x. Neben den Längen- und Breitengraden wurden die Geschwindigkeit über Grund sowie die Höhe über NN aufgezeichnet.

b) Beschreibung der Messtechnik der FEV

Rollenprüfstand

Eine Beschreibung des bei der FEV verwendeten Rollenprüfstands ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 28: Technische Daten des Rollenprüfstandes (FEV)

Technische Daten der Prüftechnik



	New emission chassis dynamometer
Emission Level	EU6d & SULEV (CFR 1065 / 1066)
Dynamometer / Drive	48" Single-Roll; 4WD
Max. Speed / Power	250 km/h / 230 kW (2WD); 450 kW (4WD)
Max. Simulated Mass	450 ... 4370 kg (based on US 06)
Max. axle mass / Wheelbase	3000 kg / 1800 mm - 4500 mm
Max. Temp. Range	- 30 ... + 50 °C (± 1.5 °C)
Humidity	< 0,2 ... 14 g/kg dry air
Cool Down / Power	30 K/h 400 kW at +23 °C
Vehicle Pre-Conditioning	Soak Area1: 23 °C (± 2,8 °C) Soak Area2: - 10 ... 50 °C (± 2,8 °C)
Cooling Fan	Max. 164.916 m³/h, speed regulated 180 km/h; EPA and WLTP conform Air outlet with lift up to 700 mm height

Die Beschreibung der Abgasmesstechnik erfolgt in den folgenden Tabellen:

Tabelle 29: Abgasmesstechnik (FEV)

Abgasmesstechnik (1/3)



Gas component	Method	Bench Diluted 1 bag	Bench Diluted 2 Modal	Bench Raw 1	Bench Raw 2	Bench Raw 3
		According emission legislation Light Duty (LD)		Additional for development		
HC	Cutter-FID (2 channels)	✓	✓	✓	✓	✓
CH ₄		✓	✓	✓	✓	✓
CO _{low} (raw: up to 5000 ppm)	NDIR	✓	✓	✓	✓	✓
CO _{high} (up to 10 Vol. %)	NDIR	-	-	✓	✓	✓
CO ₂	NDIR	✓	✓	✓	✓	✓
NO _x (NO ₂ + NO parallel)	CLD	✓	✓	✓	✓	✓
N ₂ O	QCL	-	✓ (bag or modal)	-	-	-
O ₂	PMA	-	-	✓	✓	✓

Abgasmesstechnik (2/3)



Equipment	Diluted/Raw
PM-measurement: <ul style="list-style-type: none"> Gravimetical method according emission legislation passenger cars Particulate Sampler with temperature before filter at 47°C and weighing chamber according to the strongest emission regulation (EPA 1066) 	Diluted
PN-measurement: Particulate number measurement with CPC and VPR according emission legislation passenger cars (> 23 nm according to actual legislation) with switch for taking probe from two dilution tunnels.	Diluted
Soot-measurement: <ul style="list-style-type: none"> Transient soot measurement with AVL MSS 483 for R&D 	Raw gas (up- & downstream DPF)
Particulate size measurement: <ul style="list-style-type: none"> Down to particulates sizes of 5-10 nm With special VPR for low particulate losses at small sizes (5 -10 nm) 	Raw gas

Abgasmesstechnik (3/3)



Equipment	Remarks
CVS: <ul style="list-style-type: none"> Maximum flow rate: 30 m³/min 4 Venturis (automatically switching) Heat exchanger Dilution air filter (Hepa H14) Dilution air heater 	
Dilution tunnel: <ul style="list-style-type: none"> 1 dilution tunnel Remote mixing T for dilution of the exhaust gas near vehicle tailpipe Heated and isolated for EPA 1066 legislation 	
Exhaust pressure: Pressure control at tailpipe	Booster fan for compensation of pressure losses

Die Messung nicht limitierter Abgaskomponenten erfolgte mit Hilfe eines FT-IR-Geräts der Fa. AVL (SESAM i60 FT).

Tabelle 30: FT-IR-Messung (FEV)**Abgasmesstechnik – Detail**

	Emission Chassis Dynamometer
Exhaust Measurement System	<ul style="list-style-type: none"> • AVL AMA I60 • 2 Raw Emission Lines (THC, NOx, COlow, COhigh, CO2, O2); 3rd raw line SESAM I60 FT • 2 Diluted Lines LE (HTHC, THC, CH4, NOx, COlow, CO2, N2O) • 1 CO2-Tracer-Linie
CVS-Device	<ul style="list-style-type: none"> • AVL CVS I60 S//LE • 2 Heated Tunnel (Diesel/Gasoline) • Venturi -System (4 venturi nozzles) • Flow steps: 1,5 - 30 m³/min (in 15 steps) • Conditioned Exhaust and Air Sample Bags for 4 phases (Dirty/Clean)

Abgasmesstechnik – Detail

	Emission Chassis Dynamometer
Particle Measurement	<ul style="list-style-type: none"> • AVL PSS I60 • Constant sampling flow by mass flow controller • 4 double/single filterholder, EPA-Conform, heated, separate Diesel/Gasoline • max. Volumen Flow: 100 l/min • Separate Sampling (Diesel/Gasoline)
Particle Counter	<ul style="list-style-type: none"> • AVL APC cert. plus advanced • switchable Sampling Diesel / Gasoline
Optional Measurement System	<ul style="list-style-type: none"> • NH3 (Bernt Lasergas II insitu) • Soot (AVL MSS 483 plus) • Opacimeter (AVL 439) • Car flow 150 Raw Exhaust Volum measurement • Filter Weighing Chamber (CFR 1065/1066) with Satorius MC5 • FEVER-FTIR

Der Rollenprüfstand der FEV ist von der DAkkS akkreditiert (s. Urkunde).

PEMS-Messtechnik

Bei der FEV wurde ebenfalls das SEMTECH-DS+ der Firma SENSORS mit den entsprechenden Modulen für die Messung der Partikelanzahl sowie des Abgasmassenstroms eingesetzt. Daher wird an dieser Stelle auf die Beschreibung unter TÜV Nord verwiesen.

c) Beschreibung der Messtechnik der FH Dortmund

Beim Rollenprüfstand der FH Dortmund handelt es sich um eine 1-achsig angetriebene Rolle der Fa. Horiba mit den in nachfolgender Tabelle beschriebenen Kenndaten.

Tabelle 31: Rollenprüfstand (FH Dortmund)

Rollenprüfstand Horiba Vulcan 2WD Chassis Dynamometer	
Spezifikation	2 Rollen auf einer Achse
Rollenbreite / mm	927,1
Rollendurchmesser / mm	1219,2 (48")
Kraft pro Achse (Nenn/Überlast) / N	5 400 / 9 050
Leistung pro Achse (Nenn/Überlast) / kW	155 / 260
Max. Fahrzeuggeschwindigkeit / km/h	250
Achslast / kg	2500

Die Messung der gasförmigen Komponenten erfolgte mit Hilfe einer Horiba MEXA 7170 DEGR (s. nachfolgende Tabelle)

Tabelle 32: Messung gasförmiger Abgaskomponenten (FH Dortmund)

Abgasmessschrank: MEXA 7170 DEGR unverdünnt
THC : 0-200 ppm C3 und 0-15000 ppm C3
NO/NOx : 0-500 ppm und 0-10000 ppm
CO : 0-2500 ppm, 0-12%
CO ₂ : 0-20%
O ₂ : 0-25%

Die Messung der Partikelanzahl erfolgte mit dem unten beschriebenen Pegasor-System.

PEMS-Messtechnik

An der FH Dortmund wurde das AVL M.O.V.E Gas PEMS iS+ eingesetzt, um die Emissionen bei den RDE-Fahrten zu messen. Dieses System ermöglicht die Bestimmung der Abgaskomponenten CO, CO₂, NO, NO₂ und O₂. Eine Spezifikation des Systems ist in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 33: PEMS-Messtechnik (FH Dortmund)

AVL M.O.V.E GAS PEMS IS+			
Gas	Bereich	Auflösung Anzeige	Genauigkeit
CO	Linearisierter Bereich: 0-49999 ppm Anzeigebereich: 0-15 Vol.-%	1 ppm	0-1499 ppm: +- 30 ppm abs. 1500-49999 ppm: 2% rel.
CO2	0-20 Vol.-%	0,01 Vol.-%	0-9,99 Vol.-%: 0,006 Vol.-% abs. 10-20 Vol.-%: 2% rel.
NO	0-5000 ppm	0,1 ppm	0-5000 ppm: 0,2% FS bzw. 2% rel.
NO2	0-2500 ppm	0,1 ppm	0-2500 ppm: 0,2% FS bzw. 2% rel.
O2	0-25 %	0,1 Vol.-%	1 Vol.-% des Bereichsendwerts bei konstanter Temperatur und konstantem Druck

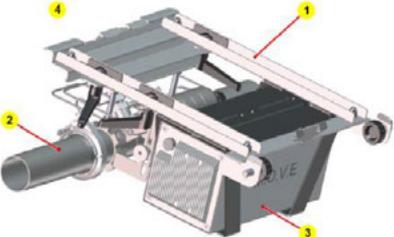
Zur Bestimmung der Partikelanzahl wurde das System Pegasor Mi3 eingesetzt.

Tabelle 34: Messung der Partikelanzahl (FH Dortmund)

	Pegasor Mi3	
	Hersteller	ms4-Analysetechnik
Messbereich Masse	0-250 mg/m ³	
Messbereich Anzahl	1 x 10 ⁴ bis 1 x 10 ⁸ #/cm ³	
Nachweisgrenze Masse	1 µg/m ³	
Nachweisgrenze Anzahl	3 x 10 ⁴ #/cm ³	
Messgasfluss	3-6 l/min	

Die Messung des Abgasmassenstroms erfolgte mit Hilfe eines AVL M.O.V.E Exhaust Flow Meter 495.

Tabelle 35: Messung der Abgasmassenstroms (FH Dortmund)

	Parameter	Wert
	Rohrgröße /"	3
Länge Messrohr /m	Ca. 1	
Durchflussrate / (kg/h)	22 bis 1050	
Messgenauigkeit /%	2	

Zur Aufnahme der geodätischen Daten kam eine GPS-Antenne zum Einsatz. Zusätzlich wurden Umgebungstemperatur und Luftfeuchte mit Hilfe eines Umgebungssensors ermittelt.

12.2. Einzelergebnisse WLTC-Messungen

Tabelle 36: Ergebnisse VW Passat mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 25 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	183,05	186,86	22,03	265,74	160,50	3,37E+10	
2. Phase	143,73	0,07	5,15	251,57	131,66	4,39E+09	
3. Phase	125,71	0,00	1,64	299,56	131,75	2,93E+09	
4. Phase	146,73	0,00	2,13	445,62	198,31	1,57E+09	
gesamt	144,46	24,82	5,24	337,07	159,16	6,83E+10	0,119

Tabelle 37: Ergebnisse VW Passat mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 22,8 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	183,97	172,65	18,52	277,03	168,72	1,36E+10	
2. Phase	143,08	0,00	4,83	252,12	131,75	9,46E+08	
3. Phase	125,40	0,00	1,90	311,05	139,25	5,11E+08	
4. Phase	146,89	0,00	2,12	452,35	201,39	9,10E+08	
gesamt	144,41	22,90	4,78	344,65	163,69	2,48E+09	0,077

Tabelle 38: Ergebnisse VW Passat mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 77°C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	162,89	0,00	1,79	362,10	165,14	5,69E+09	
2. Phase	136,69	6,08	3,36	384,00	184,40	1,93E+09	
3. Phase	123,52	0,00	1,10	332,21	150,28	7,49E+08	
4. Phase	147,08	0,00	1,69	438,98	196,04	7,49E+08	
gesamt	139,80	1,24	1,86	384,64	175,46	1,68E+09	0,049

Tabelle 39: Ergebnisse VW Passat mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 88,2°C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	161,76	0,00	3,18	420,61	190,15	1,18E+10	
2. Phase	137,21	0,00	4,16	369,63	181,99	5,62E+09	
3. Phase	123,47	0,00	1,58	317,07	144,84	5,62E+09	
4. Phase	147,42	0,00	1,81	411,98	186,10	1,84E+09	
gesamt	139,87	0,00	2,40	375,27	173,10	4,39E+09	0,022

Tabelle 40: Ergebnisse VW Passat mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 25 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	175,61	90,29	11,10	257,17	144,96	1,90E+10	
2. Phase	137,36	0,00	3,37	228,51	112,04	5,54E+08	
3. Phase	119,89	0,00	1,31	287,94	119,28	3,20E+08	
4. Phase	139,81	0,00	1,30	411,82	184,04	1,87E+08	
gesamt	137,94	12,01	3,03	315,65	144,19	2,80E+09	0,038

Tabelle 41: Ergebnisse VW Passat mit HVO

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 25 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	176,93	100,69	11,61	252,50	143,44	7,84E+09	
2. Phase	138,57	0,54	3,25	247,57	120,46	5,25E+08	
3. Phase	121,95	0,00	1,39	283,55	121,87	2,60E+08	
4. Phase	140,52	0,00	1,32	425,69	190,53	1,49E+08	
gesamt	139,93	13,51	3,10	322,48	148,81	2,28E+09	0,068

Tabelle 42: Ergebnisse VW Passat mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 78 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	152,08	0,00	0,08	433,59	191,58	4,31E+08	
2. Phase	131,22	0,34	2,51	391,19	187,48	2,35E+08	
3. Phase	118,11	0,00	0,67	314,19	138,51	2,00E+08	
4. Phase	140,52	0,00	1,05	379,40	172,65	2,28E+08	
gesamt	133,26	0,07	1,10	368,94	167,69	2,48E+08	0,035

Tabelle 43: Ergebnisse VW Passat mit HVO

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	154,08	0,00	1,42	462,83	217,23	4,213E+08	
2. Phase	132,31	0,00	3,30	411,93	207,52	1,939E+08	
3. Phase	119,93	0,00	0,99	319,31	148,96	1,925E+08	
4. Phase	141,36	0,00	0,94	390,54	181,22	1,710E+08	
gesamt	134,61	0,00	1,50	382,60	181,45	2,16E+08	0,155

Tabelle 44: Ergebnisse VW Passat mit GtL

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 26 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	172,50	145,53	3,51	224,38	129,01	6,86E+09	
2. Phase	136,80	28,09	0,72	258,00	125,76	4,11E+08	
3. Phase	121,00	0,00	0,36	305,35	130,56	2,30E+08	
4. Phase	141,66	0,00	1,53	437,85	191,61	1,39E+08	
gesamt	138,40	25,06	1,27	331,91	151,02	1,12E+09	0,133

Tabelle 45: Ergebnisse VW Passat mit GtL

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 79 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	155,80	0,00	0,00	429,69	190,97	4,09E+08	
2. Phase	132,15	34,88	2,99	414,18	198,51	2,10E+08	
3. Phase	119,79	0,00	0,00	316,96	141,86	2,18E+08	
4. Phase	144,79	0,00	1,03	391,00	176,06	2,94E+08	
gesamt	135,97	7,14	0,98	378,09	172,11	2,69E+08	0,300

Tabelle 46: Ergebnisse VW Passat mit GtL

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 58 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	157,11	0,00	1,84	219,70	93,13	6,92E+08	
2. Phase	132,69	40,21	1,96	268,02	124,51	3,18E+08	
3. Phase	118,34	1,93	0,76	327,45	138,69	2,03E+08	
4. Phase	142,45	0,00	1,16	417,33	183,50	1,42E+08	
gesamt	134,98	8,82	1,29	332,89	145,65	2,70E+08	0,238

Tabelle 47: Ergebnisse VW T5 mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 22,6 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	220,59	156,45	30,51	325,05	193,73	2,72E+11	
2. Phase	177,10	0,00	11,07	417,37	216,49	2,00E+10	
3. Phase	158,70	0,00	2,09	487,46	230,88	1,29E+10	
4. Phase	199,00	0,00	1,25	772,75	344,55	1,43E+10	
gesamt	184,97	20,76	7,40	552,66	263,29	4,93E+10	0,091

Tabelle 48: Ergebnisse VW T5 mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 22,9 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	221,58	171,24	25,36	343,65	203,04	3,23E+11	
2. Phase	178,40	0,00	9,69	409,98	213,00	1,58E+10	
3. Phase	159,72	0,00	1,88	453,72	215,96	9,53E+09	
4. Phase	199,92	0,00	1,23	754,76	338,58	1,09E+10	
gesamt	186,02	22,80	6,38	536,73	257,06	5,31E+10	0,225

Tabelle 49: Ergebnisse VW T5 mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 89,4 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	186,46	0,00	4,31	354,96	175,94	2,82E+10	
2. Phase	166,66	0,00	5,20	509,85	264,28	1,63E+10	
3. Phase	155,06	0,00	1,54	488,36	233,16	1,20E+10	
4. Phase	196,82	0,00	1,19	750,30	336,81	1,18E+10	
gesamt	176,42	0,00	2,53	567,90	268,69	1,50E+10	0,137

Tabelle 50: Ergebnisse VW T5 mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 91,4 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	188,56	0,00	3,80	308,74	145,15	1,92E+10	
2. Phase	165,77	0,00	5,16	431,24	222,01	1,57E+10	
3. Phase	154,44	0,00	1,81	472,20	226,77	1,15E+10	
4. Phase	194,69	0,00	1,18	708,15	318,90	1,35E+10	
gesamt	175,59	0,00	2,54	525,88	247,67	1,41E+10	0,154

Tabelle 51: Ergebnisse VW T5 mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 24 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	211,25	83,81	17,66	315,08	176,42	2,19E+12	
2. Phase	172,67	0,00	8,51	380,56	189,02	6,11E+10	
3. Phase	152,90	0,00	2,90	427,49	194,16	3,76E+10	
4. Phase	190,11	0,00	1,11	739,97	335,54	3,48E+10	
gesamt	177,92	11,16	5,38	513,78	240,90	3,28E+11	0,117

Tabelle 52: Ergebnisse VW T5 mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 91 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	181,54	0,00	5,05	307,87	141,38	5,16E+10	
2. Phase	161,29	0,00	5,99	439,21	225,92	3,46E+10	
3. Phase	148,18	0,00	2,46	460,21	218,78	2,68E+10	
4. Phase	186,73	0,00	1,25	698,09	323,14	2,42E+10	
gesamt	168,99	0,00	3,10	519,90	246,91	3,08E+10	0,155

Tabelle 53: Ergebnisse VW T5 mit GtL

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	211,79	104,69	7,94	383,59	208,79	3,36E+12	
2. Phase	168,93	0,00	4,41	448,73	211,02	3,54E+10	
3. Phase	151,28	0,00	0,46	473,74	206,60	2,25E+10	
4. Phase	190,55	0,00	1,53	729,41	312,74	2,27E+10	
gesamt	176,86	13,91	2,64	547,43	245,48	4,69E+11	0,680

Tabelle 54: Ergebnisse VW T5 mit GtL

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	210,26	79,45	7,96	360,52	200,34	4,99E+11	
2. Phase	167,16	0,00	5,11	456,31	222,50	1,68E+10	
3. Phase	152,28	0,00	2,20	478,64	218,98	1,31E+10	
4. Phase	189,42	0,00	0,67	728,80	319,92	1,18E+10	
gesamt	176,22	10,58	3,02	547,10	253,03	7,81E+10	0,254

Tabelle 55: Ergebnisse VW T5 mit GtL

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 92 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	184,45	0,00	0,00	388,91	180,38	2,03E+10	
2. Phase	159,07	16,03	0,16	518,61	241,45	1,31E+10	
3. Phase	148,69	0,00	0,00	472,76	210,70	1,23E+10	
4. Phase	187,82	0,00	0,00	706,24	308,66	1,41E+10	
gesamt	169,45	3,28	0,03	553,79	247,69	1,41E+10	0,634

Tabelle 56: Ergebnisse VW T5 mit GtL

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 91 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	182,29	0,00	2,28	348,95	159,45	1,52E+10	
2. Phase	157,43	0,00	4,39	525,21	250,79	1,05E+10	
3. Phase	147,88	15,11	0,95	467,46	199,84	1,07E+10	
4. Phase	187,83	0,00	0,80	703,58	308,28	1,13E+10	
gesamt	168,58	4,65	1,78	547,26	243,35	1,15E+10	0,601

Tabelle 57: Ergebnisse VW Touareg mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	290,37	678,47	54,36	270,62	150,49	1,59E+12	0,784
2. Phase	207,19	0,49	6,37	305,27	138,06	1,04E+10	0,090
3. Phase	184,85	0,33	3,64	216,95	80,9	3,95E+09	0,278
4. Phase	218,78	13,15	2,23	446,09	163,4	6,05E+09	0,345
gesamt	215,37	94,24	10,38	323,52	131,07	2,15E+11	0,330

Tabelle 58: Ergebnisse VW Touareg mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	271,82	0,00	81,73	288,31	167,58	1,88E+11	0,140
2. Phase	205,15	0,00	9,90	220,88	104,96	5,74E+09	0,118
3. Phase	182,50	0,00	5,45	211,81	81,46	3,75E+09	0,120
4. Phase	211,77	0,00	3,07	399,84	164,55	5,11E+09	0,291
gesamt	209,35	110,25	15,62	290,54	127,16	2,91E+10	0,183

Tabelle 59: Ergebnisse VW Touareg mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	247,61	0,99	13,28	255,40	105,70	7,14E+09	0,130
2. Phase	199,33	0,48	5,32	311,37	134,42	5,40E+09	0,248
3. Phase	182,60	0,33	3,55	247,20	91,78	4,49E+09	0,241
4. Phase	216,69	0,21	2,40	440,66	181,29	6,02E+09	0,384
gesamt	206,72	0,41	4,79	330,02	134,09	5,57E+09	0,278

Tabelle 60: Ergebnisse VW Touareg mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	261,89	0,31	12,95	248,41	106,67	7,04E+09	0,140
2. Phase	206,48	0,07	4,74	314,16	138,4	5,23E+09	0,000
3. Phase	178,04	0,04	3,48	194,00	71,09	3,99E+09	0,195
4. Phase	211,07	0,03	2,26	422,64	174,23	5,37E+09	0,246
gesamt	206,66	0,08	4,56	306,75	126,09	5,14E+09	0,166

Tabelle 61: Ergebnisse VW Touareg mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	312,58	393,35	52,19	427,81	238,81	8,05E+12	0,000
2. Phase	212,85	0,12	4,91	439,63	192,67	3,34E+11	5,867
3. Phase	187,58	0,08	2,53	311,93	108,12	9,55E+09	5,268
4. Phase	209,88	0,05	1,45	565,48	214,54	8,30E+09	0,000
gesamt	217,22	52,17	9,21	443,47	180,52	1,14E+12	2,820

Tabelle 62: Ergebnisse VW Touareg mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	249,95	0,16	8,63	332,71	130,69	1,02E+09	
2. Phase	202,81	8,40	3,87	541,05	224,07	1,08E+09	
3. Phase	179,58	0,08	2,29	376,51	129,24	3,40E+09	
4. Phase	207,25	0,05	1,29	545,51	200,61	5,96E+09	
gesamt	203,49	1,78	3,10	464,23	174,11	6,72E+09	

Tabelle 63: Ergebnisse VW Touareg mit GtL

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	287,63	306,09	35,20	479,37	268,46	6,24E+12	
2. Phase	196,20	11,94	5,91	355,60	152,78	1,54E+11	
3. Phase	175,89	0,00	3,56	216,26	75,88	1,90E+10	
4. Phase	203,84	24,49	2,09	434,90	160,40	2,75E+10	
gesamt	204,75	51,70	7,71	357,01	147,03	8,74E+11	0,429

Tabelle 64: Ergebnisse VW Touareg mit GtL

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	246,13	0,00	11,80	307,91	128,30	1,12E+11	
2. Phase	194,55	1,82	4,50	390,81	155,95	1,05E+10	
3. Phase	168,88	0,00	3,11	243,97	82,82	1,32E+10	
4. Phase	202,21	9,60	2,00	471,05	167,80	2,24E+10	
gesamt	196,15	3,77	4,15	362,85	133,87	2,90E+10	

Tabelle 65: Ergebnisse Fiat Ducato mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	270,66	538,04	92,01	470,33	270,11	5,85E+11	0,127
2. Phase	201,30	201,06	15,52	632,73	295,70	1,90E+09	0,105
3. Phase	193,70	87,22	4,39	667,50	267,07	5,73E+09	0,141
4. Phase	265,88	16,64	2,11	1080,20	443,58	7,20E+09	0,368
gesamt	232,40	130,91	17,39	777,49	326,93	7,95E+10	0,212

Tabelle 66: Ergebnisse Fiat Ducato mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	266,52	532,73	97,04	469,73	273,23	5,96E+11	0,322
2. Phase	196,47	137,22	19,02	564,23	276,91	7,22E+09	0,332
3. Phase	193,70	87,22	4,39	667,50	267,07	5,73E+09	0,157
4. Phase	265,88	16,64	2,11	1080,20	443,58	7,20E+09	0,472
gesamt	229,55	132,42	19,04	765,52	332,25	8,59E+10	0,326

Tabelle 67: Ergebnisse Fiat Ducato mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	226,32	105,78	29,47	804,82	427,76	2,28E+09	0,490
2. Phase	190,92	128,41	13,52	881,88	426,51	1,62E+09	0,070
3. Phase	192,30	21,96	2,50	839,75	324,73	1,56E+09	0,173
4. Phase	265,46	0,02	1,96	1033,36	428,02	2,18E+09	0,000
gesamt	222,46	47,16	8,16	912,28	395,88	1,89E+09	0,133

Tabelle 68: Ergebnisse Fiat Ducato mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	223,21	35,47	30,95	737,24	381,03	7,30E+09	0,089
2. Phase	185,27	5,71	14,70	780,15	391,31	5,36E+09	0,192
3. Phase	188,19	0,03	3,05	736,44	293,76	4,91E+09	0,297
4. Phase	262,10	0,03	2,19	1061,05	435,45	6,30E+09	0,600
gesamt	218,45	5,95	8,87	860,32	375,54	5,82E+09	0,355

Tabelle 69: Ergebnisse Fiat Ducato mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	243,50	234,98	38,11	427,71	240,28	2,05E+12	0,808
2. Phase	183,45	635,57	9,57	585,99	260,48	3,49E+10	0,023
3. Phase	182,41	249,78	1,52	610,19	189,50	7,39E+08	0,189
4. Phase	250,26	0,02	0,56	974,81	392,41	1,03E+09	0,770
gesamt	214,78	238,53	7,73	709,59	282,51	2,82E+11	0,443

Tabelle 70: Ergebnisse Fiat Ducato mit HVO

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	256,57	282,58	46,97	474,86	262,69	1,18E+11	0,916
2. Phase	189,02	127,37	7,68	645,81	298,74	1,00E+09	0,000
3. Phase	184,22	87,55	2,64	659,32	245,02	5,49E+08	0,258
4. Phase	249,85	0,02	1,13	1002,89	411,97	7,57E+08	0,481
gesamt	218,04	90,77	9,05	753,39	317,39	1,64E+10	0,372

Tabelle 71: Ergebnisse Fiat Ducato mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	203,23	196,43	9,72	786,93	419,11	1,11E+09	0,130
2. Phase	175,95	106,06	3,73	925,59	441,00	6,62E+08	0,068
3. Phase	178,76	132,04	0,51	808,06	294,46	5,64E+08	0,207
4. Phase	249,16	0,02	0,13	1010,16	406,70	7,91E+08	0,597
gesamt	206,40	88,58	2,26	900,82	380,80	7,38E+08	0,307

Tabelle 72: Ergebnisse Fiat Ducato mit HVO

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	211,52	20,12	12,31	851,25	425,33	7,33E+08	0,244
2. Phase	179,30	94,89	4,88	951,98	449,93	4,86E+08	0,270
3. Phase	182,30	38,35	1,13	863,51	327,52	4,44E+08	0,242
4. Phase	249,79	0,02	0,82	1016,69	402,61	6,38E+08	0,481
gesamt	209,44	33,94	3,29	934,11	392,20	5,60E+08	0,332

Tabelle 73: Ergebnisse Fiat Ducato mit GtL

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	263,16	210,65	55,95	511,44	279,90	3,07E+09	0,303
2. Phase	194,77	39,97	7,39	632,46	287,63	1,73E+09	0,259
3. Phase	192,69	0,03	1,94	651,60	239,48	1,30E+09	0,403
4. Phase	257,08	0,02	0,69	1104,72	453,18	1,64E+09	0,518
gesamt	225,29	36,34	9,83	789,15	330,30	1,74E+09	0,401

Tabelle 74: Ergebnisse Fiat Ducato mit GtL

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	260,52	383,54	46,43	444,18	247,25	1,13E+12	0,801
2. Phase	194,58	244,23	7,66	593,73	261,13	7,87E+09	0,242
3. Phase	189,58	40,68	1,47	642,00	232,18	5,03E+08	0,232
4. Phase	256,38	20,30	0,37	980,54	386,98	6,87E+08	0,570
gesamt	223,71	120,94	8,36	725,41	294,86	1,54E+11	0,430

Tabelle 75: Ergebnisse Fiat Ducato mit GtL

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	214,43	3,38	14,94	802,19	396,53	1,86E+09	0,304
2. Phase	181,13	7,37	7,40	923,70	449,90	1,27E+09	0,000
3. Phase	184,54	0,03	1,54	843,90	326,77	1,20E+09	0,325
4. Phase	257,81	0,02	0,94	1033,35	415,41	1,57E+09	0,569
gesamt	213,79	1,97	4,31	921,74	392,58	1,43E+09	0,343

Tabelle 76: Ergebnisse Fiat Ducato mit GtL

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	215,98	32,66	18,49	826,97	432,77	6,96E+08	0,000
2. Phase	183,66	160,78	7,83	890,47	422,51	5,44E+08	0,173
3. Phase	183,50	22,15	1,02	830,88	311,11	5,46E+08	0,388
4. Phase	253,37	19,35	0,29	996,39	387,74	8,47E+08	0,725
gesamt	212,59	50,97	4,49	901,13	377,29	6,72E+08	0,411

Tabelle 77: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	497,70	1411,25	153,87	4094,65	1914,47	2,13E+12	2,802
2. Phase	331,84	202,20	74,15	3084,19	1326,35	5,71E+11	2,882
3. Phase	284,38	55,64	43,57	1651,93	727,69	4,56E+11	2,692
4. Phase	257,00	13,06	36,36	846,50	388,72	4,59E+11	2,976
gesamt	317,15	270,35	64,46	2071,28	926,16	7,23E+11	2,838

Tabelle 78: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	460,67	726,78	175,01	3839,48	1924,47	1,39E+13	2,961
2. Phase	372,79	87,82	112,49	1693,48	858,41	3,88E+12	2,466
3. Phase	289,67	29,31	58,14	944,70	462,03	5,31E+11	2,262
4. Phase	245,01	10,12	34,26	624,71	302,48	2,39E+11	1,214
gesamt	318,93	137,42	79,66	1430,26	711,96	3,08E+12	2,084

Tabelle 79: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	398,48	349,28	72,18	4656,08	2033,38	1,94E+11	1,262
2. Phase	335,17	33,06	61,43	2017,57	958,09	2,89E+11	3,051
3. Phase	279,69	22,07	47,49	1158,71	569,10	3,52E+11	1,881
4. Phase	247,01	10,07	34,82	644,53	309,85	3,59E+11	1,741
gesamt	299,17	68,56	50,26	1699,79	788,55	3,17E+11	2,005

Tabelle 80: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	390,52	534,04	154,61	3298,41	1711,34	1,87E+11	1,065
2. Phase	352,63	86,30	110,96	1752,52	885,15	2,46E+11	2,240
3. Phase	282,34	27,48	55,43	1074,82	525,68	2,00E+11	1,789
4. Phase	251,45	13,87	36,80	713,20	344,18	2,03E+11	1,624
gesamt	304,06	109,78	76,36	1435,84	721,25	2,09E+11	1,733

Tabelle 81: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	497,70	1411,25	159,26	4094,66	1914,47	2,125E+12	3,290
2. Phase	331,84	202,20	75,21	3084,20	1326,35	5,710E+11	2,669
3. Phase	284,38	55,64	44,19	1651,93	727,69	4,563E+11	1,938
4. Phase	257,00	13,06	36,88	846,50	388,72	4,593E+11	1,736
gesamt	317,155	270,35	65,38	2071,28	926,16	7,232E+11	2,232

Tabelle 82: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	460,73	726,78	176,84	3839,50	1924,47	1,37E+13	2,961
2. Phase	372,84	87,83	113,70	1693,51	858,41	3,88E+12	2,466
3. Phase	289,71	29,31	58,80	944,73	462,03	5,31E+11	2,262
4. Phase	245,04	10,12	34,67	624,72	302,48	2,39E+11	1,214
gesamt	318,98	137,42	80,53	1430,28	711,97	3,08E+12	2,084

Tabelle 83: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	398,54	349,29	73,24	4656,15	2033,38	1,943E+11	1,262
2. Phase	335,23	33,07	62,34	2017,61	958,09	2,887E+11	2,783
3. Phase	279,74	22,08	48,20	1158,75	569,11	3,520E+11	1,881
4. Phase	247,05	10,07	35,36	644,55	309,85	3,594E+11	1,741
gesamt	299,22	68,57	51,01	1699,83	788,55	3,173E+11	1,946

Tabelle 84: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	390,58	534,04	156,25	3298,44	1711,34	1,86E+11	1,065
2. Phase	352,68	86,30	112,17	1752,56	885,15	2,46E+11	2,240
3. Phase	282,37	27,48	56,07	1074,85	525,68	2,00E+11	1,789
4. Phase	251,48	13,87	37,24	713,22	344,18	2,03E+11	1,624
gesamt	304,10	109,78	77,21	1435,87	721,25	2,09E+11	1,733

Nach Dauerlauf

Tabelle 85: Ergebnisse Touareg mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	280,76	652,45	48,17	323,83	183,49	3,27E+11	0,228
2. Phase	208,42	0,06	5,84	366,29	171,44	3,62E+09	0,050
3. Phase	181,08	0,04	2,73	255,09	97,91	2,40E+09	0,074
4. Phase	210,87	0,03	1,62	460,57	195,00	3,29E+09	0,089
gesamt	210,33	85,57	8,93	359,88	158,68	4,55E+10	0,095

Tabelle 86: Ergebnisse Touareg mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	278,57	732,76	69,63	352,82	205,55	1,578E+11	0,673
2. Phase	205,86	0,06	8,76	325,38	160,48	3,378E+09	0,230
3. Phase	180,88	0,04	4,55	268,83	110,43	2,550E+09	0,274
4. Phase	209,47	0,03	1,95	535,44	231,63	3,185E+09	0,457
gesamt	209,09	97,08	13,11	386,29	176,35	2,351E+10	0,383

Tabelle 87: Ergebnisse Touareg mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	256,55	56,46	16,45	242,11	103,56	3,749E+09	0,105
2. Phase	206,44	0,05	4,30	289,44	120,11	2,921E+09	0,067
3. Phase	185,04	0,04	2,94	257,06	101,29	2,433E+09	0,193
4. Phase	207,58	0,03	1,66	430,13	166,43	3,032E+09	0,066
gesamt	206,85	7,48	4,54	323,16	128,57	2,919E+09	0,111

Tabelle 88: Ergebnisse Touareg mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	265,35	5,59	297,89	127,70	13,72	3,74E+09	0,593
2. Phase	208,08	0,05	448,26	198,64	4,35	2,74E+09	0,459
3. Phase	183,56	0,04	314,65	125,58	3,30	2,31E+09	0,308
4. Phase	215,22	0,03	595,94	263,58	1,75	3,49E+09	0,000
gesamt	210,66	0,77	439,55	189,77	4,35	3,01E+09	0,267

Tabelle 89: Ergebnisse Touareg mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	305,98	302,15	29,85	387,86	209,78	5,635E+12	1,990
2. Phase	217,08	0,06	3,98	394,98	170,13	1,115E+11	0,158
3. Phase	187,07	0,04	2,24	261,66	89,12	4,446E+09	0,265
4. Phase	211,48	0,02	0,90	491,85	197,66	4,540E+09	0,418
gesamt	217,65	40,20	5,79	387,16	160,13	7,749E+11	0,526

Tabelle 90: Ergebnisse Touareg mit HVO

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	299,20	286,39	27,62	310,71	165,85	4,806E+12	1,631
2. Phase	209,98	0,05	4,67	345,66	149,46	1,292E+10	0,338
3. Phase	180,48	0,03	2,43	220,04	77,55	3,385E+09	0,301
4. Phase	209,49	0,02	1,32	495,62	202,12	4,166E+09	0,247
gesamt	212,55	38,03	5,84	355,42	148,12	6,429E+11	0,466

Tabelle 91: Ergebnisse Touareg mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	248,34	1,54	9,75	239,16	97,86	6,282E+09	0,437
2. Phase	198,01	0,05	3,85	316,80	129,91	4,144E+09	0,387
3. Phase	177,75	0,04	2,27	235,56	81,78	3,386E+09	0,250
4. Phase	207,54	0,03	1,04	440,67	180,13	4,594E+09	0,462
gesamt	201,82	0,23	3,14	325,62	128,73	4,354E+09	0,378

Tabelle 92: Ergebnisse Touareg mit HVO

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	244,66	0,07	8,01	258,55	103,70	5,01E+09	0,264
2. Phase	200,73	0,05	3,76	400,54	174,04	3,55E+09	0,237
3. Phase	180,44	0,03	2,41	305,32	118,98	3,11E+09	0,226
4. Phase	209,25	0,02	1,37	451,10	186,59	3,89E+09	0,382
gesamt	203,29	0,04	3,06	370,29	152,19	3,73E+09	0,289

Tabelle 93: Ergebnisse Touareg mit GtL

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	275,33	434,59	39,98	416,25	236,71	7,42E+10	0,440
2. Phase	204,78	0,05	6,50	341,87	157,07	4,37E+09	0,505
3. Phase	176,45	0,03	3,99	255,84	101,27	3,41E+09	0,381
4. Phase	212,58	0,02	2,52	529,25	232,27	4,59E+09	0,466
gesamt	208,19	57,85	8,77	391,58	177,08	1,34E+10	0,444

Tabelle 94: Ergebnisse Touareg mit GtL

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	277,19	455,74	51,66	330,27	187,95	1,86E+11	0,867
2. Phase	205,74	0,06	9,25	282,68	133,60	4,63E+09	0,437
3. Phase	177,89	0,04	5,23	234,80	95,36	3,82E+09	0,637
4. Phase	208,94	0,03	2,60	447,31	185,28	5,64E+09	0,000
gesamt	207,69	60,15	11,25	332,48	147,25	2,86E+10	0,401

Tabelle 95: Ergebnisse Touareg mit GtL

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 80 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	244,25	0,07	10,42	258,83	119,64	5,42E+09	0,279
2. Phase	194,73	0,05	4,28	317,26	142,82	3,61E+09	0,350
3. Phase	176,63	0,03	3,48	253,81	102,47	3,32E+09	0,139
4. Phase	209,74	0,03	2,12	479,71	198,59	4,60E+09	0,569
gesamt	201,08	0,04	4,09	347,33	147,00	4,11E+09	0,353

Tabelle 96: Ergebnisse Touareg mit GtL

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	253,55	0,07	11,43	303,46	135,63	6,25E+09	0,324
2. Phase	203,31	0,05	4,85	280,79	125,90	4,49E+09	0,277
3. Phase	180,50	0,03	3,62	193,90	76,02	3,91E+09	0,176
4. Phase	206,36	0,03	2,02	426,02	171,70	4,67E+09	0,263
gesamt	204,06	0,04	4,34	308,47	128,05	4,61E+09	0,247

Tabelle 97: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	602,93	433,21	255,75	3770,24	1866,87	2,19E+13	7,965
2. Phase	441,20	45,10	125,14	2077,93	981,05	1,20E+12	4,599
3. Phase	326,64	16,98	58,09	1266,54	576,82	4,05E+10	2,150
4. Phase	271,23	8,46	34,74	785,58	354,02	1,96E+10	1,529
gesamt	374,79	80,73	94,28	1659,33	783,87	3,45E+12	3,340

Tabelle 98: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	628,14	637,34	365,88	3935,34	2008,62	4,06E+10	5,388
2. Phase	451,78	46,93	136,29	2087,99	1070,72	2,41E+09	6,321
3. Phase	326,30	18,60	61,30	1303,01	640,74	1,59E+09	4,244
4. Phase	276,28	10,25	39,05	801,89	392,98	1,25E+09	2,587
gesamt	382,28	111,90	115,10	1702,89	857,31	7,31E+09	4,357

Tabelle 99: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	531,49	317,25	225,69	3169,26	1608,06	3,03E+10	2,657
2. Phase	422,43	38,11	115,80	2114,62	1003,39	2,02E+10	4,842
3. Phase	317,43	16,94	57,87	1295,04	596,81	1,23E+10	2,824
4. Phase	271,13	8,12	35,58	773,14	353,87	1,06E+10	1,821
gesamt	357,23	62,27	88,01	1585,49	757,60	1,61E+10	2,936

Tabelle 100: Ergebnisse Iveco Daily mit B7

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	572,04	329,46	269,18	3165,07	1633,90	2,23E+09	5,096
2. Phase	438,49	48,71	134,96	2188,42	1095,23	1,62E+09	6,849
3. Phase	324,40	19,56	61,35	1292,55	631,33	1,48E+09	4,121
4. Phase	273,45	10,23	38,17	776,68	379,25	1,28E+09	2,152
gesamt	369,56	67,80	100,41	1600,92	800,41	1,56E+09	4,255

Tabelle 101: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	579,45	214,09	166,66	3916,83	1728,74	5,27E+13	14,994
2. Phase	444,83	24,79	95,17	2220,43	907,66	2,80E+13	10,822
3. Phase	325,16	11,11	49,17	1454,85	572,94	1,15E+13	5,530
4. Phase	259,52	3,96	26,42	853,81	323,67	7,41E+12	3,174
gesamt	368,35	41,56	69,42	1797,28	738,43	1,99E+13	7,348

Tabelle 102: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	631,35	534,78	306,15	3873,56	1947,41	1,97E+12	2,167
2. Phase	426,13	39,36	105,78	2026,79	999,03	2,29E+10	2,408
3. Phase	303,26	15,91	42,47	1188,97	570,53	3,20E+09	1,894
4. Phase	258,65	9,05	27,47	744,45	355,98	1,79E+09	1,375
gesamt	363,78	93,68	89,75	1622,62	796,84	2,91E+11	1,886

Tabelle 103: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	574,75	184,23	181,63	3379,03	1603,30	1,48E+13	5,800
2. Phase	418,72	24,85	86,93	2293,64	942,24	7,81E+12	5,282
3. Phase	311,23	9,60	40,85	1419,21	558,83	3,19E+12	2,766
4. Phase	264,64	4,30	21,45	803,45	310,96	1,82E+12	0,975
gesamt	358,66	36,53	65,37	1705,63	717,94	5,47E+12	3,208

Tabelle 104: Ergebnisse Iveco Daily mit HVO

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	555,92	193,98	182,74	3218,94	1615,83	2,96E+09	1,688
2. Phase	411,04	34,06	98,25	2046,71	979,61	2,03E+09	2,643
3. Phase	301,76	16,45	42,37	1219,59	570,80	1,79E+09	1,529
4. Phase	256,59	7,98	25,53	737,93	344,99	1,65E+09	0,000
gesamt	348,45	43,26	69,68	1540,59	741,44	1,97E+09	1,324

Tabelle 105: Ergebnisse Iveco Daily mit GtL

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	634,59	398,69	255,74	3827,42	1898,09	1,91E+12	2,818
2. Phase	424,00	41,33	114,88	1997,49	978,28	1,32E+10	3,055
3. Phase	307,31	18,36	50,44	1183,88	561,27	3,89E+09	1,908
4. Phase	260,64	9,55	31,21	721,63	341,71	2,67E+09	1,387
gesamt	365,88	75,67	88,36	1602,18	778,42	2,81E+11	2,131

Tabelle 106: Ergebnisse Iveco Daily mit GtL

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NOx	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	624,71	419,84	222,45	3793,74	1864,92	2,87E+12	2,449
2. Phase	419,88	40,70	108,51	2013,70	978,06	2,03E+10	2,912
3. Phase	305,59	18,64	48,18	1243,76	583,72	3,45E+09	1,798
4. Phase	257,31	9,03	29,31	706,88	331,05	2,15E+09	1,913
gesamt	361,78	78,21	80,73	1614,38	776,87	4,19E+11	2,173

Tabelle 107: Ergebnisse Iveco Daily mit GtL

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	562,06	256,54	221,96	3269,81	1637,47	4,64E+09	2,102
2. Phase	414,70	33,41	107,01	2031,89	963,47	3,36E+09	3,045
3. Phase	302,23	17,00	48,06	1223,12	572,43	2,58E+09	1,911
4. Phase	258,15	8,59	29,51	734,16	344,96	2,13E+09	1,532
gesamt	350,86	52,52	80,39	1545,27	741,83	2,91E+09	2,072

Tabelle 108: Ergebnisse Iveco Daily mit GtL

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	547,99	270,22	202,31	3221,41	1601,12	5,05E+09	2,284
2. Phase	410,13	40,10	110,84	2022,84	963,37	3,44E+09	2,686
3. Phase	299,37	15,87	44,61	1184,87	559,25	2,95E+09	1,684
4. Phase	257,19	9,54	29,99	783,69	364,91	2,60E+09	1,399
gesamt	346,61	55,94	77,45	1539,27	738,51	3,25E+09	1,903

Tabelle 109: Ergebnisse VW T5 mit HVO

Test: 1. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	211,53	77,57	17,23	370,01	211,45	7,73E+11	0,137
2. Phase	167,37	8,06	7,60	415,28	199,06	2,86E+10	
3. Phase	151,32	12,68	3,12	438,81	191,60	2,18E+10	
4. Phase	188,21	0,00	1,49	697,96	308,13	2,17E+10	
gesamt	175,70	15,87	5,34	516,71	237,08	1,23E+11	0,137

Tabelle 110: Ergebnisse VW T5 mit HVO

Test: 2. WLTC kalt	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 23 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	210,26	74,88	17,82	357,63	205,89	1,29E+12	0,095
2. Phase	167,04	0,00	7,59	408,63	207,45	2,29E+10	
3. Phase	150,65	0,00	3,20	449,59	211,31	1,38E+10	
4. Phase	188,66	6,60	1,56	695,82	297,47	1,51E+10	
gesamt	175,40	12,29	5,46	516,29	240,35	1,86E+11	0,095

Tabelle 111: Ergebnisse VW T5 mit HVO

Test: 1. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	181,37	0,50	4,82	342,46	163,80	2,58E+10	0,254
2. Phase	156,86	0,00	7,67	495,92	258,22	1,75E+10	
3. Phase	146,49	0,00	3,95	450,40	216,39	1,47E+10	
4. Phase	186,64	0,00	1,48	689,71	310,09	1,62E+10	
gesamt	167,49	0,07	3,95	530,19	251,16	1,73E+10	0,254

Tabelle 112: Ergebnisse VW T5 mit HVO

Test: 2. WLTC warm	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	PN	PM
T(KW)*: 90 °C	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km	mg/km
1. Phase	179,51	0,53	5,59	307,80	146,06	2,45E+10	0,245
2. Phase	158,26	0,00	6,47	433,88	224,74	1,70E+10	
3. Phase	147,27	0,00	2,73	423,11	202,22	1,41E+10	
4. Phase	186,32	0,00	1,17	669,99	300,54	1,36E+10	
gesamt	167,65	0,07	3,32	497,49	234,21	1,59E+10	0,245