

Endbericht Teststellung HVO100 im Winterdienstesinsatz 2022/23 Land Salzburg

Erstellt im Auftrag der

Leikermoser Energiehandel GmbH und Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 6: Infrastruktur und Verkehr, Referat 6/08 - Landesstraßenverwaltung

in Zusammenarbeit mit der
Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH und Consilio Information Management GmbH

Bericht Nr. FVT-041/23/Sch K&A 4171 HVO vom 31/07/2023

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden.
Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Verfasser einzuholen.

Endbericht
Teststellung HVO100 Winterdiensteinsatz 2022/23
Land Salzburg

Freigegeben: Dr. Martin Rexeis,
Mag. Sven Leitinger 12.12.2023

Erstellt: Dr. Stephan Schmidt / Dr. Stephan
Jandl / Dr. Konstantin Weller 31.07.2023

Inhalt

1.	Projektbeschreibung	5
2.	Zusammenfassung der Ergebnisse Vergleich Diesel B7 / HVO100 im Winterdienstesinsatz Land Salzburg.....	6
2.1.	Einfluss des Kraftstoffes HVO100 auf die Emissionen, Betriebsverhalten, Kraftstoffverbrauch	6
3.	Randbedingungen	8
3.1.	Kraftstoffeigenschaften	8
	Dieselkraftstoff B7	8
	Kraftstoff HVO100	8
3.2.	Projektstruktur / Messungen	9
3.3.	Testfahrzeuge und Einsatzbereich	10
	Testfahrzeug Standort Lungau	10
	Testfahrzeug Standort Pongau.....	11
4.	Kurzeitmessungen Straßenfahrten mit mobilem Emissionsmesssystem	14
4.1.	Messprinzip und verwendete Messgeräte	14
4.2.	Messaufbau	14
4.3.	Messprogramm	16
4.4.	Fahrprofil.....	18
4.5.	Messergebnisse.....	19
	Übersicht Randbedingungen	19
	Übersicht Testphasen.....	21
	Analyse Kraftstoffeinfluss auf Leistung.....	22
	Analyse Betriebsverhalten	23
	Übersicht CO ₂	23
	Übersicht Kraftstoffverbrauch	24
	Übersicht CO	26
	Übersicht NO _x	27
	Übersicht Partikelanzahlemissionen PN23	30
4.6.	Messergebnisse Straßenfahrten PEMS – Zusammenfassung	32
5.	Langzeitmessungen.....	34
5.1.	Telemetriedaten und Datenaufzeichnung.....	34
5.2.	Auswahl repräsentativer Strecken.....	36
5.3.	Auswertung der Langzeitmessungen	40
6.	Kreuzsimulation	43
6.1.	Simulationsmethodik.....	43
6.2.	Eingangsdaten.....	44

	Kraftstoffspezifische Motorkennfelder.....	44
6.3.	Ergebnisse der Kraftstoffverbrauchssimulation	48
6.4.	Analyse der lebenszyklusbezogenen CO ₂ -Emissionen	49
	ISO 14083	49
	Kraftstoffeigenschaften laut Nachhaltigkeitsnachweis für Biokraftstoffe gem. Kraftstoffverordnung §13 (6)	50
7.	Anhang	52
7.1.	Auszug aus dem Einzelgenehmigungsbescheid Fahrzeug Lungau FIN WMA84SZZ6ML077788	52
7.2.	Auszug aus dem Einzelgenehmigungsbescheid Fahrzeug Pongau FIN WMA84SZZ9ML077784	56
7.3.	Vergleich der Geschwindigkeits- und Motorlastcluster.....	59
8.	Abbildungsverzeichnis	64

1. Projektbeschreibung

Um für zukünftige, CO₂ reduzierte, synthetische Kraftstoffe, insbesondere Hydrogenated Vegetable Oil (HVO), gerüstet zu sein, muss die Tauglichkeit für die Bestandsflotte des Straßenerhaltungsdienstes des Landes Salzburg beurteilt werden. Dazu wurde unter der Leitung der Salzburg Research Forschungsgesellschaft im Winter 2022/2023 ein Fahrzeug des Winterdienstes (Standort Mauterndorf / Lungau) mit dem Kraftstoff HVO100 der Leikermoser Energiehandel GmbH betrieben. Zur Beurteilung des Kraftstoffeinsatzes wurden am Fahrzeug verschiedene Messdaten von der Consilio Information Management GmbH erfasst und zusammen mit den ebenfalls erfassten Geodaten ausgewertet (siehe Kap. 5 Langzeitmessungen).

Zusätzlich wurde die Erfassung, Auswertung und Beurteilung der Abgasemissionen mittels „Portable Emission Measurement System“ PEMS durchgeführt. Damit lässt sich der Einfluss des HVO-Kraftstoffes auf die motorischen Emissionen bzw. Emissionsnachbehandlungssysteme sowohl im Vergleich HVO zu Standardkraftstoff als auch indikativ in Relation zu den gültigen Grenzwerten beurteilen (siehe Kap. 4 Kurzzeitmessungen Straßenfahrten mit mobilem Emissionsmesssystem).

Zur Beurteilung des HVO-Einsatzes im Vergleich zum Standardkraftstoff Diesel B7 wurde ein Fahrzeug im Winterdienst mit der gleichen Telemetrie ausgestattet und über den gleichen Zeitraum des Testbetriebes mit Standardkraftstoff betrieben. Dieses Fahrzeug musste aus Gründen der Verfügbarkeit in einem anderen Gebiet (Standort Schwarzach / Pongau) eingesetzt werden. Um die Vergleichbarkeit zwischen den beiden Fahrzeugen und Fahrprofilen herzustellen, wurden Kreuzsimulationen durchgeführt. Dazu wurden aus den Langzeitmessungen beider Fahrzeuge repräsentative Streckenprofile ermittelt; aus den Kurzzeitmessungen des Fahrzeuges Lungau wurden spezifische Motorkennfelder für beide Kraftstoffe B7 und HVO100 erzeugt. In einer Simulation wurden die repräsentativen Strecken mit beiden kraftstoffspezifischen Motorkennfeldern abgefahren und so vergleichbare Ergebnisse ermittelt (siehe Kap. 6 Kreuzsimulation).

2. Zusammenfassung der Ergebnisse Vergleich Diesel B7 / HVO100 im Winterdienstinsatz Land Salzburg

Die Beurteilung des Einsatzes des Kraftstoffes HVO100 der Leikermoser Energiehandel GmbH wurde mit verschiedenen Einzeluntersuchungen durchgeführt. Einerseits wurde mit einem portablen Emissionsmessgerät PEMS der Einsatz des HVO-Kraftstoffes im Vergleich mit einem herkömmlichen Diesel B7 Kraftstoff in Einzelmessfahrten an einem Fahrzeug hinsichtlich Emission und Kraftstoffverbrauch untersucht (Kurzzeitmessungen). Andererseits wurde in Langzeitmessungen an einem Fahrzeug mit HVO100 und einem Fahrzeug mit Diesel B7 Kraftstoff über mehrere Monate der Einfluss des Kraftstoffes auf Betriebsverhalten, Leistung sowie Kraftstoff- und Ad-Blue Verbrauch bestimmt. Um den Einfluss der Fahrzeuge, Strecken und Fahrer auf die Messergebnisse zu eliminieren, wurden mit Daten aus Kurzzeitmessungen und Langzeitmessungen eine Kreuzsimulation durchgeführt und die Ergebnisse mit den Einzelergebnissen verglichen.

2.1. Einfluss des Kraftstoffes HVO100 auf die Emissionen, Betriebsverhalten, Kraftstoffverbrauch

Die direkten Ergebnisse der Kurzzeitmessungen mit demselben Fahrzeug und denselben Strecken am Standort Lungau zeigen einen im Durchschnitt um ca. 5% höheren volumetrischen Verbrauch des HVO-Treibstoffes im Vergleich zum Dieseltreibstoff (Abbildung 19). Unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Energiegehaltes und der Dichte des HVO-Treibstoffes gegenüber Dieseltreibstoff sowie nicht optimierte Motorparameter liegt der Unterschied im energetischen Kraftstoffverbrauch im Bereich der Messunsicherheit.

Die am Fahrzeugauspuff messbaren CO₂ Emissionen der Kraftstoffe sind auf gleichem Niveau (Abbildung 18). Durch den biogenen Ursprung erhöhen diese Emissionen beim HVO100 das CO₂ in der Umwelt aber nicht und können somit in einer Lebenszyklusanalyse als 0 angesehen werden. Bei der Herstellung von HVO100 entstehen aber gleich wie bei Diesel B7 CO₂-Emissionen. Eine Analyse auf Basis der ISO 14083 zeigt, dass die CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus bei der Nutzung von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 um 64 % geringer sind.

Die CO-Emissionen (Abbildung 21) sind ebenfalls auf ähnlichem Niveau und deutlich unter dem ISC-Grenzwert¹. Die NO_x Emissionen am Motorausgang (Abbildung 22) sind im Vergleich ähnlich, nach Abgasnachbehandlung (Abbildung 23) bei HVO100 Kraftstoff mit ~-20% deutlich geringer als bei Diesel B7. Eine Ursache sind die niedrigeren Kaltstart NO_x Emissionen des HVO100 Kraftstoffes. Beide Kraftstoffe liegen deutlich unter dem ISC-Grenzwert.

Der Vergleich der Partikelemissionen PN₂₃ (Abbildung 26 bis Abbildung 28) zeigt einen deutlichen Einfluss des Lastprofils auf die Ergebnisse, bei Niedriglast (Landstraßenfahrt mit wenig Last) zeigt der HVO100 Kraftstoff Vorteile, bei Hochlastfahrten (z.B. Katschberg) ist eine deutlich höhere PN₂₃ Emission des HVO100 Kraftstoffes zu bemerken. Dies deutet auf ein Potenzial zur Verbesserung der PN₂₃ Emissionen des HVO100 Kraftstoffes durch optimierte Motorapplikation bzw. ein adaptiertes Abgasnachbehandlungssystem hin. Dazu ist aber zu erwähnen, dass solche anhaltenden Hochlastbedingungen, wie sie z.B. bei der Katschberg Bergauffahrt vorkommen, im Standardfahrbetrieb von Lkw sehr selten auftreten und somit kaum Einfluss auf das durchschnittliche Emissionsverhalten haben.

¹ ISC In-Service-Conformity: hier nur indikativ als Grenzwert anwendbar (siehe Kapitel 4.5)

Der Einsatz des HVO100 hat keinen negativen Einfluss auf das Betriebsverhalten im Winterdienst gezeigt. Dies Aussagen sind allerdings relativ zu sehen, da die typischen Kaltstartbedingungen des Winterdienstfahrzeuges mit ca. 17°C (Garagentemperatur) keine extremen Tieftemperaturstarts darstellen.

Aus den Langzeitmessungen (Kapitel 5) lässt sich ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Strecken und Lastanforderungen ein volumetrischer Mehrverbrauch (Abbildung 37) von ca. 5% ableiten. Die innere Motorarbeit bezogen auf die Kraftstoffenergie ist mit einem Unterschied von ~1% im Bereich der Messunsicherheit; damit ist kein negativer Einfluss des HVO100 Einsatzes auf den energetischen Kraftstoffverbrauch festzustellen.

Die Kreuzsimulation (Kapitel 6) zeigt unter Egalisierung der Strecken- und Lastprofilunterschiede sowie des Fahrereinflusses einen volumetrischen Kraftstoffmehrverbrauch (Abbildung 47) von ca. 8%.

Damit zeigen die Ergebnisse der Kurzzeitmessungen mit demselben Fahrzeug und denselben Strecken am Standort Lungau, der Langzeitmessungen mit zwei Fahrzeugen mit HVO100 bzw. Diesel B7 Betrieb an den Standorten Lungau und Pongau sowie die Kreuzsimulation dasselbe Bild eines 5-8 % höheren volumetrischen Kraftstoffverbrauchs des HVO100. Die CO₂ und CO-Emissionen sind auf ähnlichem Niveau, die NO_x Emissionen nach Abgasnachbehandlung zeigen einen deutlichen Vorteil des HVO100 Kraftstoffes, die Partikelemissionen zeigen, abhängig vom Lastprofil, Vor- und Nachteile des HVO100 Kraftstoffes. Aufgrund der biogenen Basis und der damit verbundenen CO₂-Einsparung kann HVO100 aus umwelttechnischer Sicht somit als Kraftstoff empfohlen werden. Hier ist speziell der von der Firma Leikermoser zur Verfügung gestellte HVO100 von Neste hervorzuheben. Dieser hat einen höheren Anteil an gebrauchten Speisefetten, wodurch der Betrieb mit diesem nochmal geringere CO₂-äquivalente Emissionen, als mit HVO100 laut ISO 14083 zur Folge hat. Die Reduktion der CO₂-äquivalenten Emissionen beträgt letztendlich 91 % im Vergleich zu Diesel B7.

3. Randbedingungen

Der folgende Abschnitt gibt Auskunft über die Randbedingungen des Projekts. Es werden die verschiedenen Kraftstoffe, die Projektstruktur und die Testfahrzeuge genauer beschrieben.

3.1. Kraftstoffeigenschaften

Ziel des Projekts ist es die Auswirkungen der Verwendung von HVO100 im Vergleich zu standardmäßigem Dieselmotorkraftstoff B7 hinsichtlich Kraftstoffverbrauchs, Schadstoffemissionen und Betriebsverhalten generell zu erarbeiten. Dazu werden im Folgenden die Eigenschaften der beiden Kraftstoffe dargestellt.

Dieselmotorkraftstoff B7

Im Vergleich zu einem Benzinmotorkraftstoff muss der Dieselmotorkraftstoff aufgrund des dieselmotorigen Konzepts so aufgebaut sein, dass er sich unter vorherrschenden Temperatur- und Druckrandbedingungen selbst entzünden kann. Diese Zündwilligkeit des Dieselmotorkraftstoffs wird durch die Cetanzahl beschrieben, welche für moderne direkteinspritzende Fahrzeuge über 50 (laut EN 590 mindestens 49) liegen sollte. Da Diesel ein Kohlenwasserstoffgemisch ist entsteht bei der Verbrennung klimaschädliches CO₂. Zwar ist ein gewisser Teil, 3 bis 7 Prozent, erneuerbarer Biodiesel enthalten, der Rest basiert aber auf fossilem Rohöl und erhöht somit die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Um ein gleichbleibendes Qualitätsniveau des Dieselmotorkraftstoffs B7 in Europa wahren zu können, sind gewisse Eigenschaften durch die EN 590 festgelegt. Folgend werden die wichtigsten Parameter für Standard-Tankstellendieselmotorkraftstoff dargestellt.^{2 3}

- Dichte: 0,835 kg/l
- Heizwert: 42,5 MJ/kg bzw. 35,5 MJ/l

Kraftstoff HVO100

Hydriertes Pflanzenöl (engl. Hydrogenated Vegetable Oil), in Reinform HVO100 (100 % HVO, keine Beimischungen), basiert nicht auf fossilem Rohöl, sondern auf Biomasse, z.B. Altöle und Fette, und ist somit ein paraffinischer Kraftstoff. Zudem kann HVO auch mit anderen Dieselmotorkraftstoffen gemischt werden. Der große Vorteil der biogenen Basis ist der deutlich geringere CO₂-Fußabdruck. Das bei der Verbrennung entstehende CO₂ ist aus erneuerbaren Quellen und trägt somit nicht zur Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bei. Lediglich bei der Erzeugung kann noch CO₂ entstehen. Laut Neste beträgt die CO₂-Reduktion beim Einsatz von HVO100 im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen bis zu 90 %. Der Kraftstoff erfüllt zwar weitestgehend die geforderten Eigenschaften von modernen Dieselmotorkraftstoffen, aber nicht die EN 590. HVO darf nur in Fahrzeugen, die die Norm EN 15940 (auch XTL bezeichnet) erfüllen, eingesetzt werden.^{4 5}

² https://dieselnet.com/standards/eu/fuel_automotive.php, 25.07.2023

³ P. Merker, R. Teichmann, et al.: Grundlagen Verbrennungsmotoren, 7. Vollständig überarbeitete Auflage, Tetzlanger, Graz, 2014, ISBN 978-3-658-03194-7

⁴ <https://www.neste.de/neste-my-renewable-diesel/produktinformationen/was-ist-HVO#:~:text=Die%20Abk%C3%BCrzung%20HVO%20steht%20f%C3%BCr,ist%20in%20beliebigen%20Mischungen%20erh%C3%A4ltlich.,> 25.07.2023

⁵ ÖAMTC: eFuels und HVO Test

HVO100 hat eine höhere Cetanzahl als herkömmlicher Diesel und ist somit zündwilliger. Zudem ist zu erkennen, dass die Dichte von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 um 6,6 % geringer ist, der Heizwert aber um 3,8 % höher liegt. Wenn man dies zusammenfasst, dann ist der Heizwert bezogen auf den Liter um 3 % geringer.

Folgend sind diese Eigenschaften nochmal zusammengefasst:

- Dichte: 0.780 kg/l
- Heizwert: 44.1 MJ/kg bzw. 34.4 MJ/l

Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Merkmale des Neste HVO100 nochmal in einer Graphik.

Vorteile von Neste MY Renewable Diesel gegenüber Fossilem Diesel



Abbildung 1: Presstext Neste MY Renewable Diesel HVO⁶

3.2. Projektstruktur / Messungen

Die Untersuchungen gliedern sich in 3 Bereiche, diese sind in Abbildung 2 mit den Interaktionen zwischen den Bereichen dargestellt. Zusätzlich wurden als externe Daten auch Tankprotokolle für Kraftstoff zum Abgleich eingesetzt.

- Kurzzeitmessungen (siehe Kapitel 4) mittels „Portable Emission Measurement System“ PEMS. In diesen Messungen wurden im direkten Vergleich HVO100 und Standard Diesel B7 Kraftstoffe vermessen. Zusätzlich zu den Messergebnissen wurde in dieser Untersuchung Kennfelder des Motorbetriebs mit HVO100 und Diesel B7 Kraftstoff erzeugt, welche in der Kreuzsimulation (Kapitel 6) genutzt wurden.
- Langzeitmessungen, in denen über einen Zeitraum von ca. 3 Monaten Betriebsdaten zweier Fahrzeuge, eines mit HVO100 Kraftstoffbetrieb und eines mit Diesel B7 Kraftstoffbetrieb, aufgezeichnet und ausgewertet wurden (Kapitel 5). Aus diesen Messungen wurden, neben den direkten Messergebnissen auch 2 repräsentative Strecken für die Kreuzsimulation erzeugt.
- Kreuzsimulation, in welcher der Einfluss von Fahrer, Fahrzeug und Strecke mittels Fahrzeuglängsdynamiksimulation egalisiert wurde. Basis für die Kreuzsimulation sind die Motorkennfelder aus der Kurzzeitmessung, die repräsentativen Strecken aus den Langzeitmessungen sowie Fahrzeugdaten aus den Einzelgenehmigungsbescheiden (siehe Anhang 7.1 und 7.2).

⁶ <https://www.neste.de/neste-my-renewable-diesel> 2023.06.13

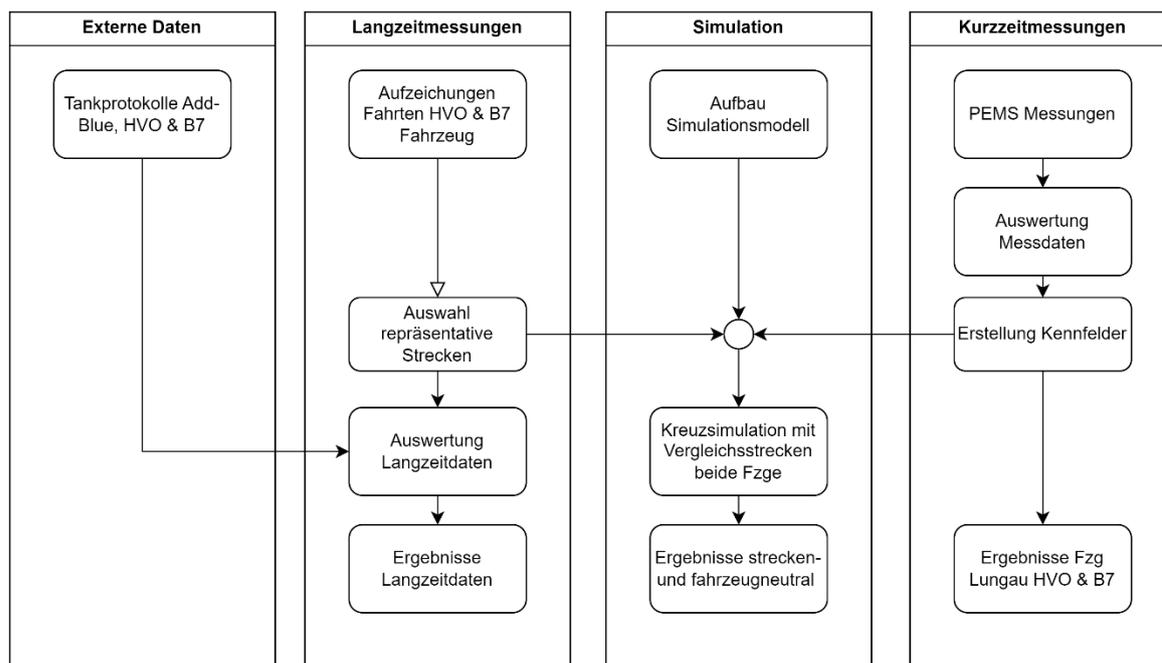


Abbildung 2: Workflow der HVO100 Untersuchungen

3.3. Testfahrzeuge und Einsatzbereich

Für die Messungen mit HVO-100 Betrieb wurde ein Fahrzeug des Straßenerhaltungsdienstes des Landes Salzburg im Winterdienst der Straßenmeisterei Mauterndorf / Lungau eingesetzt (Tabelle 1). Als Vergleichsfahrzeug wurde ein baugleiches Fahrzeug am Standort Schwarzach / Pongau mit Diesel B7 Kraftstoff eingesetzt (Tabelle 2).

Testfahrzeug Standort Lungau

Das Testfahrzeug, welches für den Betrieb mit HVO100 Treibstoff eingesetzt wurde, ist in der Straßenmeisterei Mauterndorf / Lungau stationiert. Es handelt sich um ein Basisfahrzeug der MAN TRUCK & BUS SE mit Spezialaufbauten wie z.B. Schneeräumgerät und Streueinrichtung; Eckdaten siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Fahrzeugdaten des Testfahrzeuges Standort Lungau

Fahrzeugidentifikationsnummer FIN: WMA84SZZ6ML077788
Basisfahrzeug MAN TGS 28.470
Höchstzulässige Gesamtmasse: 26 000 kg
Antriebsmaschine MAN D2676LF79
Nennleistung: 346 kW
Hubraum: 12,4 l
Emissionsnorm: Euro VI C
Automatisiertes Schaltgetriebe



Abbildung 3: Fahrzeug Lungau Frontansicht



Abbildung 4: Fahrzeug Lungau Heckansicht

Testfahrzeug Standort Pongau

Das Vergleichsfahrzeug, welches mit Diesel B7 Standardtreibstoff betrieben wurde, ist in der Straßenmeisterei Pongau stationiert. Es handelt sich um ein Basisfahrzeug der MAN TRUCK & BUS SE mit Spezialaufbauten wie z.B. Schneeräumgerät und Streueinrichtung; Eckdaten siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Fahrzeugdaten des Testfahrzeuges Standort Pongau

Fahrzeugidentifikationsnummer FIN: WMA84SZZ9ML077784
Basisfahrzeug MAN TGS 28.470
Höchstzulässige Gesamtmasse: 26 000 kg
Antriebsmaschine MAN D2676LF79
Nennleistung: 346 kW
Hubraum: 12,4 l
Emissionsnorm: Euro VI C
Automatisiertes Schaltgetriebe

**Abbildung 5: Fahrzeug Pongau Frontansicht**



Abbildung 6: Fahrzeug Pongau Heckansicht

4. Kurzeitmessungen Straßenfahrten mit mobilem Emissionsmesssystem

Das Ziel der Straßenmessungen ist der Vergleich von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen unter vergleichbaren Testbedingungen. Dazu wird das gleiche Testfahrzeug (Testfahrzeug Lungau) erst mit HVO100 und am folgenden Testtag mit Diesel B7 auf der gleichen Testroute betrieben und die Emissionen mittels portablen Emissionsmesssystem (PEMS) aufgezeichnet. Mithilfe dieser Messungen kann ein direkter Vergleich zwischen HVO100 und Diesel B7 unter vergleichbaren Testbedingungen gezogen werden. Die verbleibende Unsicherheit ist die Wiederholbarkeit von Messungen im realen Straßenverkehr, da das Verkehrsaufkommen und die Umgebungsbedingungen nicht reproduzierbar sind. Durch die Verwendung der Einheit „Emissionsmasse je geleisteter Arbeit (g/kWh)“, wird diese Unsicherheit aber minimiert. Zudem ist festzuhalten, dass die Umgebungsbedingungen an den beiden Testtagen vergleichbar waren.

Um die Unsicherheiten bei der Wiederholung von Messungen im realen Straßenverkehr komplett auszublenden, werden die Messergebnisse in weiterer Folge auch für die Bedatung von Motorkennfeldern genutzt, mit denen dann eine Kreuzsimulation auf exakt den gleichen Fahrstrecken durchgeführt wird. Dies ist in Kapitel 6 genauer beschrieben.

4.1. Messprinzip und verwendete Messgeräte

Bei Emissionsmessungen im realen Straßenverkehr werden die verschiedenen Emissionskomponenten mit einem portablen Emissionsmesssystem gemessen. Dazu wird am Auspuff ein Messrohr angebracht, das zum einen den gesamten Abgasmassenstrom misst und zum anderen auch die Vorrichtung für die Absaugung eines Teilstroms des Abgases, der dann hinsichtlich Emissionskonzentrationen analysiert werden kann, bereitstellt. Dieser Teilstrom des Abgases wird über eine beheizte Leitung, damit keine Nachreaktionen entstehen und es zu keiner Kondensation kommt, zu den verschiedenen Analysatoren geleitet. Aus diesen Emissionskonzentrationen und dem gesamten Abgasmassenstrom können dann die Emissionsmassen berechnet werden. Zusätzlich werden mit GPS noch die Geschwindigkeit und die Höhe, aus der dann die Steigung berechnet werden kann, aufgezeichnet.

Als portables Emissionsmesssystem wurde das AVL MOVE verwendet. Das Messsystem kann die Emissionskomponenten Kohlenstoffdioxid (CO₂), Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffoxide (NO_x) und Partikelanzahl (PN) messen. Aus diesen kann über die Kohlenstoffbilanz zusätzlich der Kraftstoffverbrauch (FC) berechnet werden.

Zusätzlich wurde via CAN-Bus und einer speziellen Software, dem Silverscan-Tool, noch eine Verbindung zur Motorsteuerung hergestellt und darüber wurden zusätzlich noch Größen wie die Motordrehzahl, Motorleistung oder andere Sensordaten, die das Fahrzeug selbst misst, aufgezeichnet. Dazu gehören z.B. die Stickoxide vor Abgasnachbehandlung oder verschiedene Abgastemperaturen, die eine genauere Beurteilung von Emissionsergebnissen am Auspuff zulassen.

Die Messsysteme werden so am Fahrzeug angebracht, dass der normale Betrieb nicht eingeschränkt ist und somit exakt das reale Betriebsverhalten getestet werden kann.

4.2. Messaufbau

Um das beschriebene Messsystem am Fahrzeug einfach montieren zu können, wurde dieses in eine Gitterbox verpackt. Diese Gitterbox konnte dann zwischen Führerhaus und Aufbau auf einer speziell für die Messung von der Straßenmeisterei Mauterndorf gefertigten

Vorrichtung befestigt werden. Diese Arbeiten der Straßenmeisterei Mauterndorf wurden mit der FVT bei einem Vorbesichtigungstermin abgestimmt. Die Box stand aufgrund dieser Konstruktion direkt in der Nähe des Auspuffs, was aufgrund der verhältnismäßig kurzen Leitungen zu den Analysatoren nötig ist.

Um das Messsystem mit Energie versorgen zu können, wurde in die Box auch ein Stromgenerator eingebaut. Dieser versorgt die Batterien des Messsystems mit Strom und ermöglicht somit eine längere Messdauer als beim reinen Batteriebetrieb.

Im Führerhaus wurde das AVL MOVE System von einem Messtechniker über ein Notebook gesteuert und überwacht. Zusätzlich wurde das CAN Bus Messsystem direkt in der Führerkabine untergebracht und ebenso über ein Notebook bedient.

Die montierte Gitterbox inkl. Messequipment ist in Abbildung 7 dargestellt. Abbildung 8 zeigt das Fahrzeug inkl. PEMS im Messbetrieb. Es ist gut zu erkennen, dass das Messsystem den normalen Betrieb nicht einschränkt.

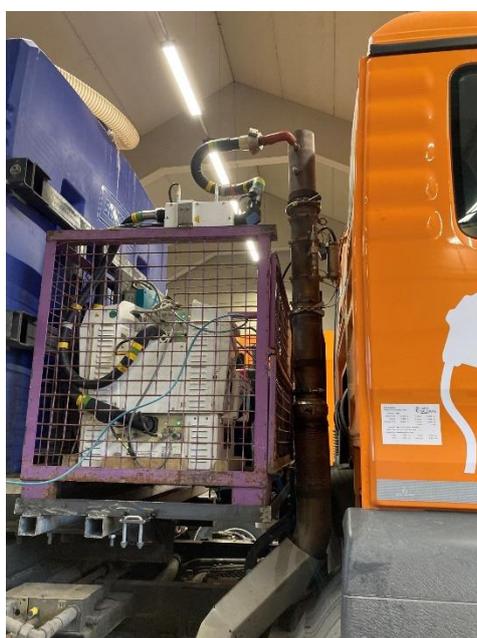


Abbildung 7: Messaufbau PEMS in Gitterbox am Fahrzeug



Abbildung 8: Fahrzeug inkl. PEMS im Messbetrieb

4.3. Messprogramm

Die Messkampagne dauerte insgesamt 2 Tage, wobei ein weiterer Tag als Puffertag im Falle von Verzögerungen eingeplant war, der aber nicht benötigt wurde. Der Gesamttablauf ist in Tabelle 3 dargestellt.

An Tag 1 wurde die Messeinrichtung aufgebaut und bereits am Vormittag mit den Messungen begonnen. Da das Fahrzeug in den Monaten vor der Messung ausschließlich mit HVO100 betrieben wurde, wurde dieser Kraftstoff als erster Testkraftstoff verwendet. Die Vormittagsmessfahrt wurde am Nachmittag wiederholt und am Ende noch um ein zusätzliches Teilstück erweitert. Durch die Testwiederholung werden die Ergebnisse hinsichtlich Messausreißer oder spezielle Betriebsmodi des Fahrzeugs abgesichert. Nach den beiden Messfahrten wurde von den Kollegen der Straßenmeisterei Mauterndorf der im Tank verbliebene HVO100 Kraftstoff abgelassen und Diesel B7 wurde nachgetankt. Um das Kraftstoffsystem vollständig zu spülen wurde eine ca. einstündige Fahrt mit dem Fahrzeug auf der gleichen Route wie am Tag vor Messtag 1 durchgeführt, damit die Startbedingungen (Ammoniakbeladung SCR-Katalysator, Filterbeladung DPF) am folgenden Messtag beim Kaltstart vergleichbar sind. Die vor den Messungen zuletzt gefahrene Strecke konnte mithilfe des Aufzeichnungssystems der Straßenmeisterei reproduziert werden.

An Messtag 2 wurde das gleiche Programm, eine Vormittags- und eine Nachmittagsmessung, wiederholt. Der Testkraftstoff war dieses Mal Diesel B7. Nach den Messungen wurde die Messeinrichtung abgebaut und die Messkampagne beendet.

Es ist zwar zu erkennen, dass die Umgebungstemperaturen bei den kaltgestarteten Messfahrten (Test 1 und 3) um 8°C unterschiedlich sind, da das Fahrzeug aber jeweils vor den Tests über Nacht in der Garage bei 17°C gestanden ist, ist dieser Einfluss auf die Kaltstartemissionen sehr begrenzt. Die Materialtemperaturen von Motor und Katalysatoren sind dafür entscheidender und diese waren aufgrund der weitestgehend konstanten Hallentemperatur vergleichbar.

Tabelle 3: Messprogramm PEMS

Test-tag	Test-nummer	Kraftstoff	Vorkonditionierung	Dauer	Umgebungstemperatur*
1	1	HVO100	Kaltstart	102 min	12°C
1	2	HVO100	Warmstart nach 1 h Motor aus	126 min	10°C
1	Spülung Kraftstoffsystem	Diesel B7	-	Ca. 1 h	-
2	3	Diesel B7	Kaltstart	99 min	4°C
2	4	Diesel B7	Warmstart nach 1 h Motor aus	131 min	7°C

Die Messroute wurde so gestaltet, dass alle relevanten Betriebssituationen in einer Fahrt abgedeckt werden (siehe Tabelle 4). Um realistische und auch fordernde Fahrbedingungen darstellen zu können, war das Fahrzeug bei allen Tests mit vollem Streugutbehälter unterwegs. Die Testmasse lag bei 24 250 kg bei einer höchstzulässigen Gesamtmasse von 26 000 kg.

Begonnen wurde an beiden Messtagen jeweils mit einem Kaltstart, wobei nur bei der jeweils ersten Messung an einem Tag ein kompletter Kaltstart vorlag. Bei den jeweils zweiten Messungen wurde nach einer Standzeit von einer Stunde bei abgeschaltetem Motor ein sogenannter Semi-Kaltstart durchgeführt. Bei diesem ist die Abgasnachbehandlung und der Motor bereits etwas ausgekühlt (Kühlwassertemperatur bei Start ca. 70°C), aber noch deutlich wärmer als beim Kaltstart am Morgen (Kühlwassertemperatur bei Start knapp 20°C). Diese Testphase dient zum Vergleich der Kaltstartemissionen beim Einsatz von HVO100 und Diesel B7. Zusätzlich zeigen die Ergebnisse, ob die Dauer des Aufheizens durch den Einsatz der unterschiedlichen Kraftstoffe variiert.

Während der Kaltstartphase und auch im folgenden Teil „normaler Fahrbetrieb“ wurde das Fahrzeug wie bei einer Streckenbesichtigungsfahrt durch Ortsgebiete und auf Landesstraßen bewegt. Dadurch wird der Betrieb bei niedriger bis mittlerer Last dargestellt. Nach der 15-minütigen Kaltstartphase dauert dieser Betrieb etwa noch eine Stunde. Dadurch wird geprüft, wie sich die Emissionen bei den beiden verschiedenen Kraftstoffen im reinen Fahrbetrieb bei niedriger bis mittlerer Last verhalten.

Der folgende Teil ist eine Volllast-Bergauffahrt auf den Katschberg. Diese Pässestraße hat eine Maximalsteigung von mehr als 10 %⁷. Durch das Einsetzen des Schneeschilds bei dieser Bergauffahrt und die hohe Fahrzeugbeladung wurde der Motor bei dieser Auffahrt größtenteils bei Volllast betrieben. In diesem Teil wird das Emissionsverhalten bei anhalten sehr hoher Last (ca. 10 Minuten) getestet. Dabei ist speziell interessant, ob sich bei beiden Kraftstoffen gleich hohe Abgastemperaturen einstellen und wie sich diese auf das Emissionsniveau auswirken.

Dann fährt das Fahrzeug den gleichen Weg wieder zurück ins Tal. Durch die hohe negative Steigung wird das Fahrzeug hauptsächlich im Schub betrieben. In diesem Teil kommt es somit kaum zum aktiven Einsatz des Verbrennungsmotors und somit nur zu geringen Emissionen. In dieser Phase kühlt aber die Abgasnachbehandlung durch das Durchschieben von kalter Luft unter ihren optimalen Betriebsbereich aus und stellt somit anspruchsvolle Bedingungen für die Emissionsreduktion beim folgenden Wiederanfahren dar.

Es folgt die Rückfahrt vom Katschbergpass zur Straßenmeisterei Mauterndorf. Diese führt wieder durch Ortsgebiete und auf Landesstraßen. In diesem Teil muss die Abgasnachbehandlung nach dem vorherigen Schubbetrieb erst wieder aufgeheizt werden, um die Emissionen effektiv reduzieren zu können. Dabei kann verglichen werden, ob dies bei beiden Kraftstoffen gleich schnell funktioniert.

Bei Testfahrt 2 und 4, jeweils der Nachmittagsfahrt, wurde dann noch ein 15-minütiger Leerlaufteil angehängt. Dadurch können mögliche Einflüsse des Kraftstoffs auf die Leerlaufemissionen analysiert werden. Zudem kühlt auch bei diesem Betrieb die Abgasnachbehandlung aus. Der folgende Teil hat somit wieder eine Aufheizphase dabei.

Der letzte Teil, ebenfalls wieder nur bei Messung 2 und 4 durchgeführt, umfasst dann wieder einen Aufwärmvorgang, dieses Mal nach der vorigen Leerlaufphase. Dieser Teil eignet sich wieder zum Vergleich der Emissionen beim Aufheizen und der Dauer des Aufheizvorgangs beim Einsatz der beiden unterschiedlichen Kraftstoffe.

⁷ <https://www.alpenpaesse.de/alpenpaesse/katschberg-pass>, 26.07.2023

Tabelle 4: Details Messfahrt PEMS (* Kaltstart nur bei Test 1 und 3, bei Test 2 und 4 Semi-Kaltstart nach 1 h Motor aus ** Diese beiden Testphasen wurden nur bei Test 3 und 4 durchgeführt)

Testphase	Straßenkategorie	Dauer
Kaltstartphase*	Ortsgebiet, Landesstraße	15 min
Normaler Fahrbetrieb	Ortsgebiet, Landesstraße	Knapp 1 h
Volllast	Katschberg bergauf	Ca. 10 min
Schubbetrieb	Katschberg bergab	Ca. 10 min
Aufheizen nach Schubbetrieb	Ortsgebiet, Landesstraße	Ca. 10 min
Leerlauf**	-	15 min
Aufheizen nach Leerlauf**	Ortsgebiet, Landesstraße	Ca. 10 min

4.4. Fahrprofil

Aus den bereits beschriebenen Abschnitten ergibt sich das Fahrprofil in Abbildung 9. Dabei ist in Rot die Fahrzeuggeschwindigkeit und in Blau die Motorleistung dargestellt. Die niedrige bis mittlere Last durch das „normale“ Fahren in Ortsgebieten und Landesstraßen bis ca. Sekunde 4 000 ist gut zu erkennen. Dann sieht man die Hochlast (Leistung 300 bis 350 kW) bei der Bergauffahrt zum Katschbergpass und folgend die negativen Leistungen im Schubbetrieb beim Bergabfahren. Nach der nächsten „Normalfahrphase“ kommt dann der 15-minütige Leerlaufbetrieb und die letzte Aufwärmphase (nur bei Test 2 und 4).

Mit diesem Fahrprofil können alle relevanten Betriebssituationen abgedeckt werden. Die Messdaten eignen sich somit sehr gut für den Vergleich der verschiedenen Kraftstoffe.

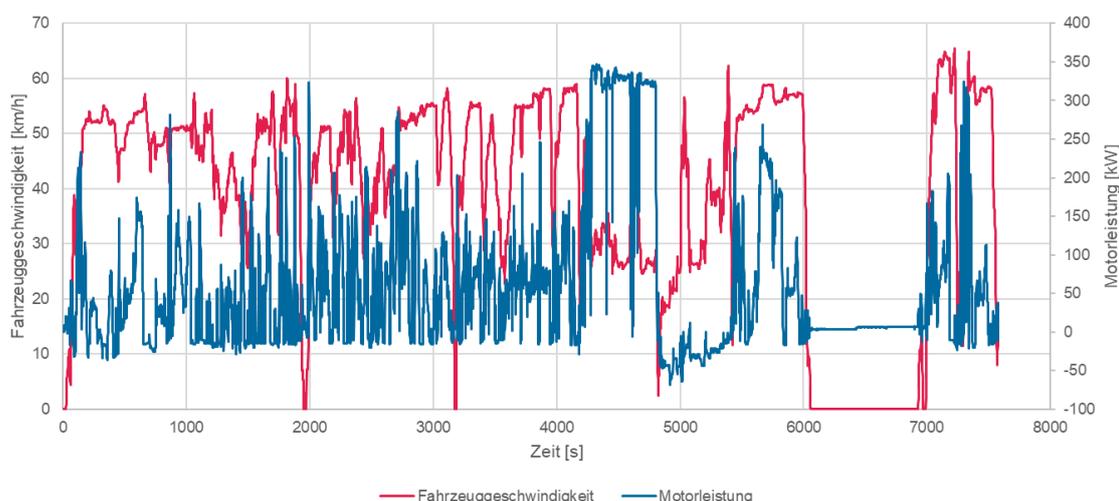


Abbildung 9: exemplarisches Fahrprofil mit Fahrzeuggeschwindigkeit und Motorleistung über der Fahrzeit

4.5. Messergebnisse

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Randbedingungen der verschiedenen Tests und zeigt dann die Messergebnisse für die einzelnen Emissionskomponenten.

Übersicht Randbedingungen

Abbildung 10 zeigt die Randbedingungen der verschiedenen Testfahrten. Tests im Realbetrieb können nicht genau gleich wiederholt werden, da es bei Wiederholungen immer Unterschiede in den Umgebungsbedingungen oder dem Verkehrsaufkommen gibt. Im Rahmen dieses Projekts wurde trotzdem versucht, die Testbedingungen auf den gleichen Routen möglichst gut zu reproduzieren.

Bei den 4 betrachteten Tests bewegt sich die Umgebungstemperatur in einem vergleichbaren Bereich. Zudem muss hier erwähnt werden, dass diese beim Kaltstart weniger relevant als die Fahrzeug-, Motor- und Abgasnachbehandlungstemperatur ist, welche durch das Abstellen des Fahrzeugs über Nacht in der Garage bei beiden Kaltstarttests sehr ähnlich waren. Zudem ist zu erkennen, dass bei den Tests 1 und 3 und den Tests 2 und 4, die jeweils auf der gleichen Route gefahren wurden, eine ähnliche Durchschnittsgeschwindigkeit vorherrschte. Die Durchschnittsleistung und die gesamte Testdauer für die jeweils gleichen Routen sind ebenso ähnlich.

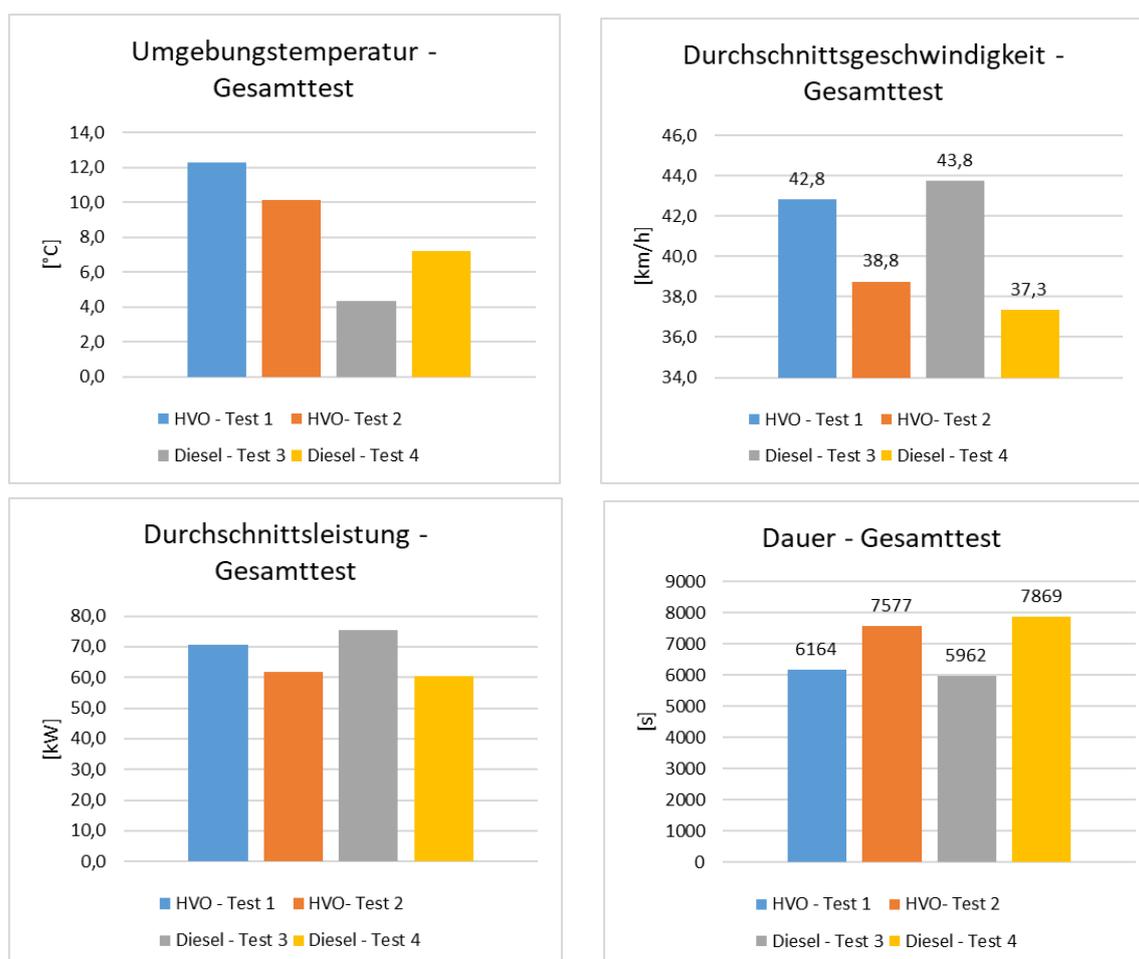


Abbildung 10: Übersicht Randbedingungen der verschiedenen Testfahrten

Abbildung 11 gibt eine Übersicht über die geleistete Arbeit je Fahrstrecke. Dies dient für einen detaillierteren Vergleich, weil dabei mehrere Größen, in diesem Fall Energiever-

brauch und Strecke, in Relation gesetzt werden. Daraus kann man erkennen, dass die einzelnen Messungen zwar in einem vergleichbaren Rahmen liegen, aber keine perfekte Reproduzierbarkeit vorherrscht.

Abbildung 12 und Abbildung 13 bestätigen diese Erkenntnis anhand des Beispiels Bergauffahrt am Katschbergpass. Durchschnittsleistung und Durchschnittsdrehzahl sind nicht gleich, obwohl die Fahrstrecke bei allen Tests ident war. Da bei der Leistung die Ergebnisse für Test 1 und 4 und Test 2 und 3 ähnlich sind und diese jeweils mit unterschiedlichen Kraftstoffen gefahren wurden, kann man aus diesen Daten auch nicht auf einen Einfluss des Kraftstoffs schließen, sondern dies durch die limitierte Reproduzierbarkeit von Realfahrten erklären.

Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Durch die folgende Kreuzsimulation (siehe Kapitel 6) kann die Unsicherheit der Reproduzierbarkeit erheblich minimiert werden.

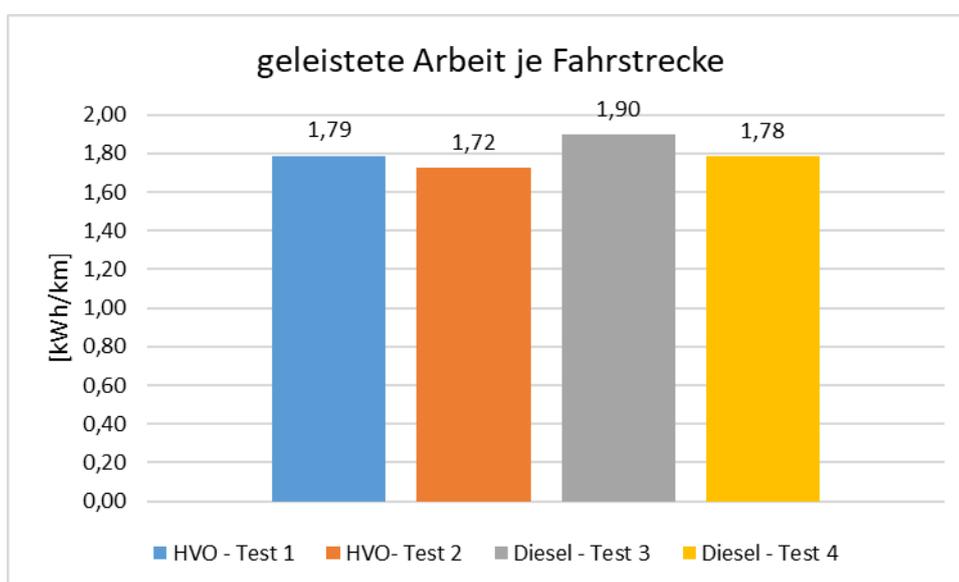


Abbildung 11: geleistete Arbeit je Fahrstrecke für alle Testfahrten

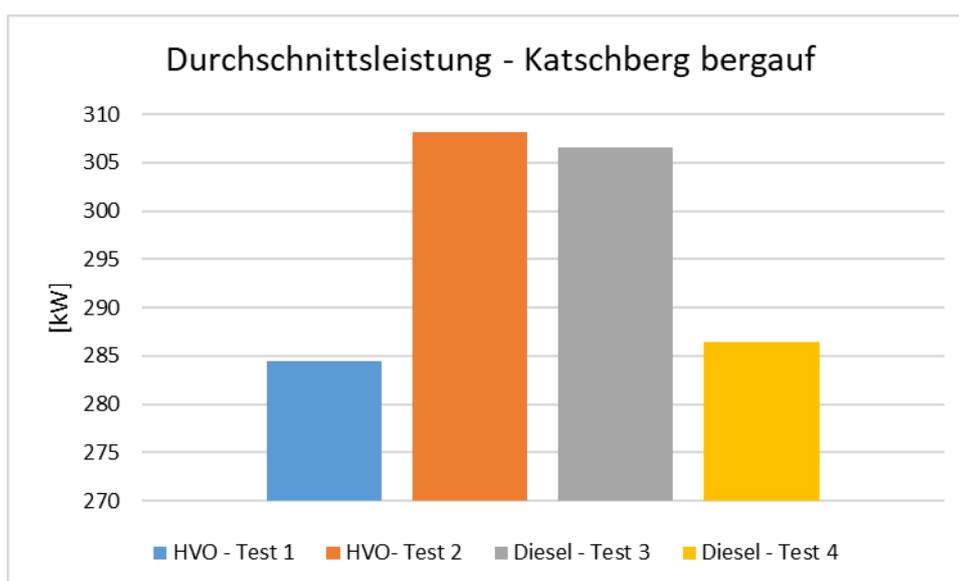


Abbildung 12: Leistung bei der Katschbergauffahrt für alle Testfahrten

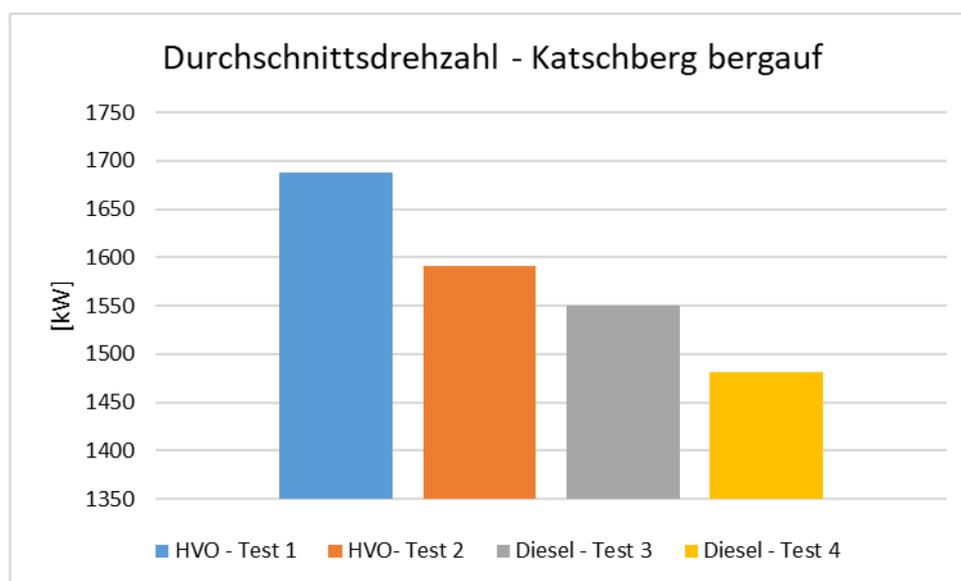


Abbildung 13: Drehzahl bei der Katschbergauffahrt für alle Testfahrten

Abbildung 14 zeigt noch den Verlauf der Kühlwassertemperaturen der einzelnen Tests. Aus diesen Daten ist klar zu erkennen, dass Test 1 und 3 komplett kaltgestartet wurden und dass Test 2 und 4 mit einem Semikaltstart nach einer Abstellzeit von einer Stunde begannen. Zudem kann man auch erkennen, dass Test 1 und 3 kürzer als Test 2 und 4 waren, weil dort der Zusatzteil mit Leerlauf und Wiederaufheizen nicht dabei war. Sonst ist zu erkennen, dass sich die Kühlwassertemperaturen bei allen Tests nach der Kaltstartphase auf ähnlichem Niveau bewegen.

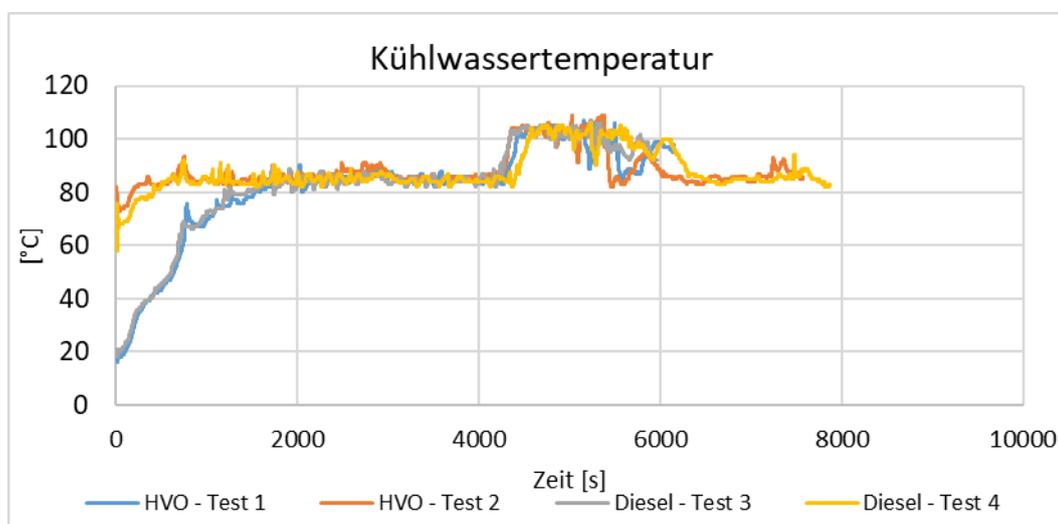


Abbildung 14: Übersicht Kühlwassertemperaturen über den gesamten Testverlauf

Übersicht Testphasen

In Abbildung 15 sind die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Dauer der einzelnen Abschnitte am Beispiel von Test 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Fahrtgeschwindigkeit am Katschbergpass, sowohl bergauf als auch bergab, geringer als bei Fahrt durch Ortsgebiete und Landesstraßen war. Zudem ist der Stillstand bei der 15-minütigen Leerlaufphase gut zu erkennen.

Die Emissionsergebnisse werden in weiterer Folge auch aufgeteilt in diese Abschnitte oder als Ergebnis für den Gesamttest gezeigt.

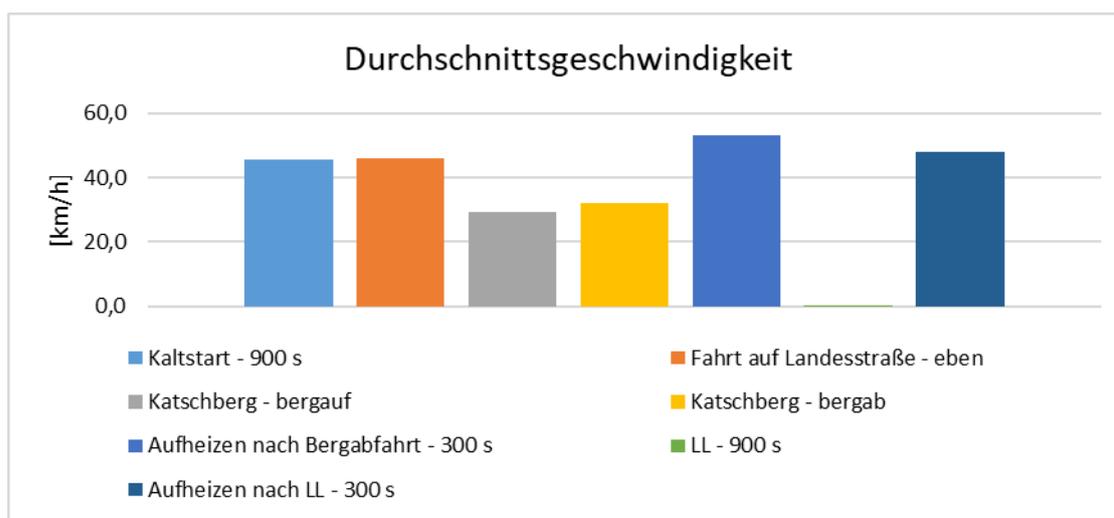


Abbildung 15: Durchschnittsgeschwindigkeiten für die einzelnen Testphasen, Test 2

Analyse Kraftstoffeinfluss auf Leistung

Die folgenden Abbildungen zeigen Fahrzeuggeschwindigkeit und Leistung ausschließlich für einen Ausschnitt aus der Bergauffahrt am Katschberg, nämlich nur der Volllastpassage, für alle Messfahrten (siehe Ausschnitte aus der Katschberg Bergauffahrt in Abbildung 16 und Abbildung 17). In diesem kurzen Ausschnitt war bei allen Tests die Gaspedalstellung bei 100 % (Daten via CAN-Bus), trotzdem erreicht das Fahrzeug bei der Verwendung von Diesel B7 eine etwas höhere Fahrzeuggeschwindigkeit als beim Einsatz von HVO100. Bei Betrachtung der Leistung ist zu erkennen, dass diese beim Einsatz von HVO100 in dieser Passage um etwa 3 % geringer ist. Dies bestätigt den Heizwertunterschied bezogen auf das Volumen (ebenso 3 % geringer bei HVO100 als bei Diesel B7).

Diese Ergebnisse legen nahe, dass das Fahrzeug keinen Dichtesensor hat und somit die Einspritzung nicht aufgrund eines anderen Kraftstoffs, in diesem Fall HVO100, anpasst. Dies führt zu einer etwas geringeren Leistung bei Volllast mit HVO100, nämlich um ca. 3 %. Dies entspricht dem Heizwertunterschied bezogen auf das Volumen. Eine Anpassung des Verbrennungsprozesses, speziell der Einspritzung, auf HVO100 könnte dies ausgleichen.

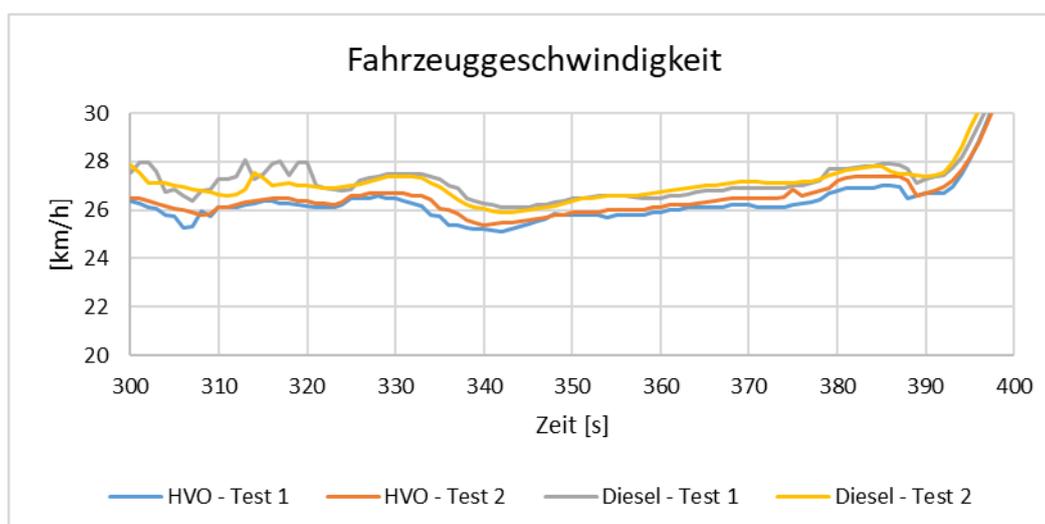


Abbildung 16: Fahrzeuggeschwindigkeit über der Zeit, Volllastpassage Katschberg, alle Testfahrten

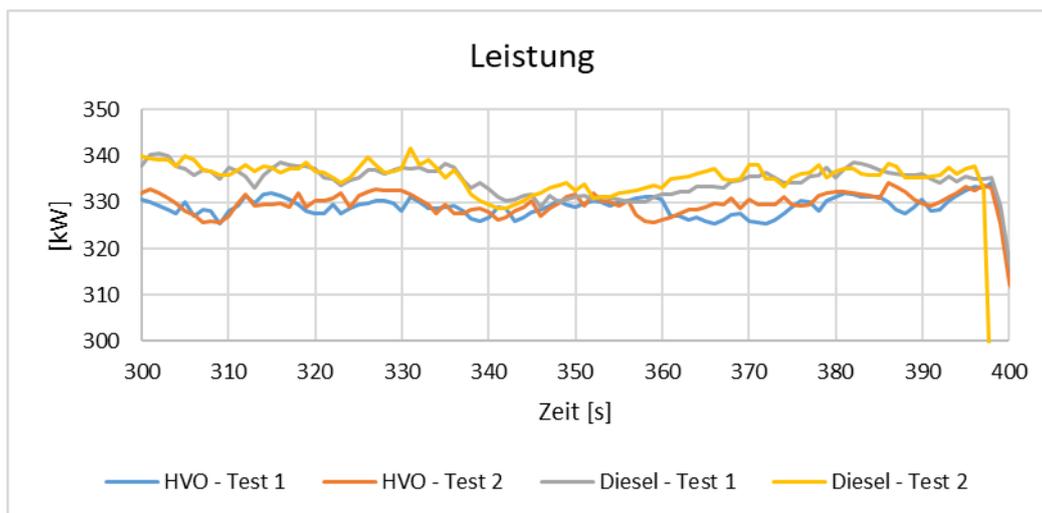


Abbildung 17: Leistung über der Zeit, Volllastpassage Katschberg, alle Testfahrten

Analyse Betriebsverhalten

Das Kaltstartverhalten bei 17°C Kühlwassertemperatur, welche der Hallentemperatur über Nacht entspricht, war sowohl beim Einsatz von HVO100 als auch Diesel B7 unauffällig. Während des „normalen“ Betriebs sind ebenso keine Besonderheiten beim Betrieb mit HVO100 aufgefallen.

Es kann somit festgestellt werden, dass HVO100 keinen Einfluss auf das Betriebsverhalten hat.

Übersicht CO₂

In Abbildung 18 sind die CO₂-Emissionen aller Testfahrten für die gesamte Testdauer gemessen am Auspuff dargestellt. Die Ergebnisse werden, wie für schwere Nutzfahrzeuge gegeben durch die Gesetzgebung und aus Vergleichsgründen, in Emissionsmasse je geleisteter Arbeit (g/kWh) illustriert. Es ist zu erkennen, dass die Emissionen bei allen Messungen auf ähnlichem Niveau liegen. Der Unterschied zwischen den Tests liegt stets unter 2 Prozent. Ein Unterschied in dieser Größenordnung erlaubt keinen Rückschluss auf einen Einfluss des Kraftstoffs, sondern kann der limitierten Reproduzierbarkeit zugordnet werden. Das bedeutet, dass die CO₂-Emissionen am Auspuff bei beiden Testkraftstoffen auf gleichem Niveau liegen.

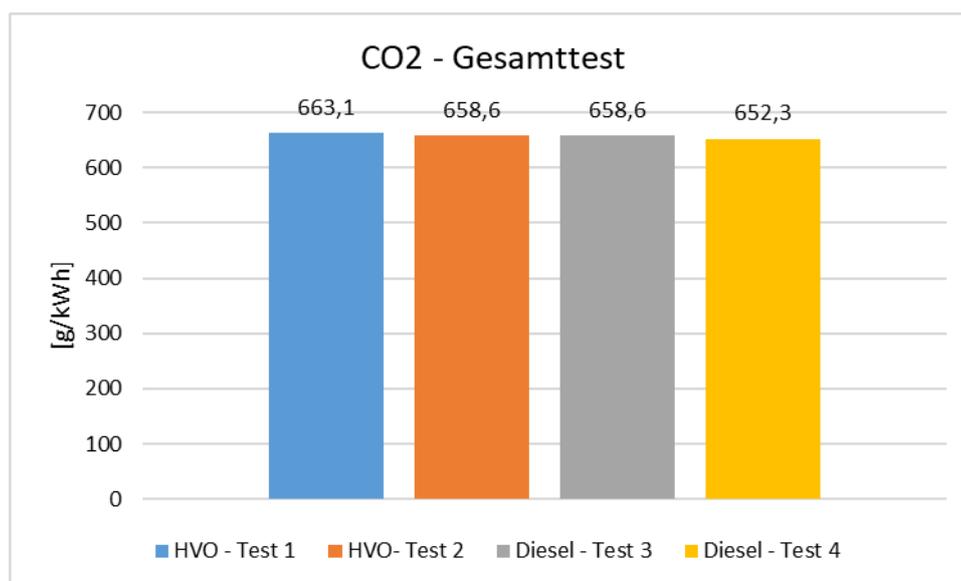


Abbildung 18: CO₂-Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten

Trotzdem bringt der HVO-Kraftstoff eine deutliche CO₂-Einsparung mit sich. Der Unterschied liegt im Ursprung des Kraftstoffs. Diesel entsteht auf fossiler Basis, wodurch CO₂ in die Atmosphäre abgegeben wird, das sonst in der Erde in Form von Erdöl weiterhin gespeichert wäre. Bei Diesel B7 sind nur 3 bis 7 % des Kraftstoffs auf biogener Basis. HVO100 basiert hingegen laut Herstellerangaben komplett auf biogenen Abfällen. D.h. das bei der Verbrennung entstehende CO₂ wurde durch die Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen und wird nun wieder in diese freigesetzt. Durch diesen Prozess entsteht kein neues CO₂ in der Atmosphäre, sondern es wird nur bestehendes CO₂ im Kreislauf bewegt. In der Gesamtbetrachtung kann durch den Einsatz von HVO100 laut Neste somit eine CO₂-Reduktion von bis zu 90 % im Vergleich zu konventionellem Diesel erreicht werden⁸. Aus Sicht der Treibhausgasemissionen ist der Einsatz von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 somit sehr zu empfehlen.

In Kapitel 6.3 wird die CO₂-Einsparung von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 auf Basis von lebenszyklusbezogenen Emissionen anhand der Ergebnisse der Kreuzsimulation, betrachtet.

Übersicht Kraftstoffverbrauch

Abbildung 19 zeigt den Kraftstoffverbrauch für die einzelnen Tests über die gesamte Testdauer in Liter je 100 Kilometer.

Bei Betrachtung dieses volumetrischen Kraftstoffverbrauchs fällt auf, dass Test 1 und 3, beide Tests wurden komplett kaltgestartet, höher liegen als Test 2 und 4, beide Tests wurden nach einer Abstelldauer von nur einer Stunde gestartet (Semikaltstart). Beim Kaltstart ist der Verbrauch durch die höhere Reibung und diverse Heizmaßnahmen höher. Dies ist unabhängig vom verwendeten Kraftstoff.

Beim Vergleich der beiden Kraftstoffe zueinander muss man zum einen Test 1 und 3 und zum anderen Test 2 und 4 vergleichen, da diese jeweils auf denselben Routen gefahren wurden. Dabei sieht man, dass der volumetrische Verbrauch mit HVO100 im Mittel um 5,5 % höher liegt als bei Diesel B7. Dies kann hauptsächlich durch die Zusammenhänge von

⁸ <https://www.neste.de/neste-my-renewable-diesel> 2023.06.13

geringerer Dichte und höherem Heizwert von HVO100 im Vergleich zu Diesel erklärt werden (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund dieser Zahlen würde man sich jedoch nur einen Mehrverbrauch von 3 % entsprechend des geringeren Heizwerts bezogen auf das Volumen erwarten. Der zusätzliche Unterschied bewegt sich im zu erwartenden Rahmen der Reproduzierbarkeit von Realtests, kann aber auch durch einen Wirkungsgradunterschied zwischen Diesel- und HVO100 Betrieb entstehen.

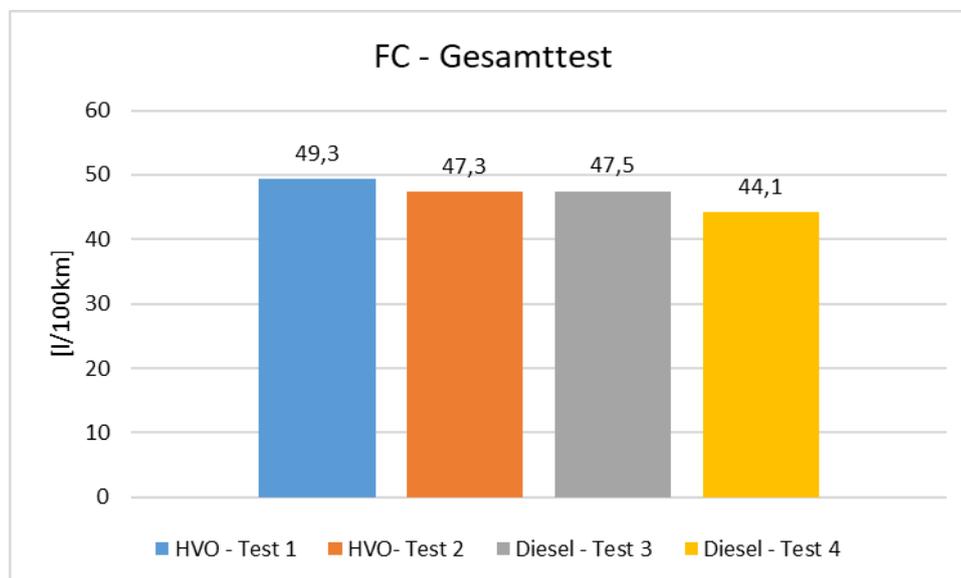


Abbildung 19: Kraftstoffverbrauch in l/100km, Gesamttest, alle Testfahrten

Abbildung 20 zeigt den Kraftstoffverbrauch in Masse je geleisteter Arbeit, also arbeitsspezifisch in g/kWh. Diese Einheit ist bei schweren Nutzfahrzeugen gängig und auch vom Gesetzgeber für die Grenzwerte gewählt, da bei der Verwendung dieser die unterschiedlichen Motorlasten durch z.B. verschiedene Beladungen oder andere Fahrprofile größtenteils ausgeglichen werden können.

Auch hier ist zu erkennen, dass Test 1 und 3 höher als Test 2 und 4 aufgrund der bereits beschriebenen Kaltstarteffekte liegen.

Beim Vergleich der beiden Kraftstoffe zueinander mithilfe des arbeitsspezifischen Verbrauchs liegt HVO100 im Mittel um 3,2 % höher als Diesel B7, obwohl HVO100 einen um 3,8 % höheren Heizwert (bezogen auf die Masse) hat, was eigentlich zu einem geringeren Verbrauch führen sollte. Dies kann zum einen wieder durch Ungenauigkeiten bei der Messung erklärt werden, bestätigt zum anderen aber auch die Annahme des etwas schlechteren Wirkungsgrad bei der Verbrennung von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7. Beim Vergleich der Wirkungsgrade muss aber erwähnt werden, dass das Testfahrzeug primär auf den Betrieb mit Diesel appliziert ist und nicht auf HVO. Durch die leicht abweichenden Eigenschaften von HVO100 zu Diesel B7 (Heizwert, Dichte) könnte durch eine gezielte Abstimmung des Verbrennungsprozesses auf HVO100 der Wirkungsgrad verbessert werden.

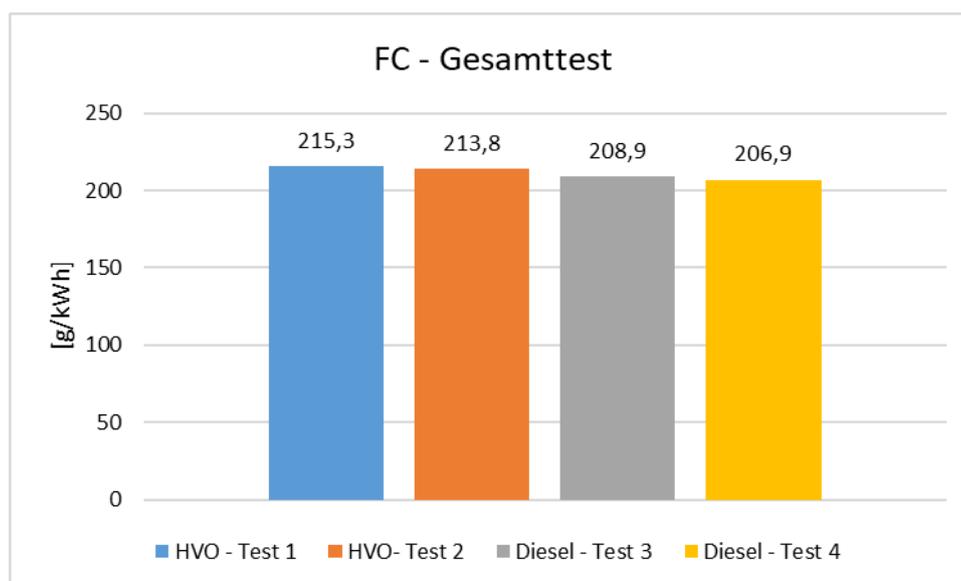


Abbildung 20: Kraftstoffverbrauch in g/kWh, Gesamttest, alle Testfahrten

Übersicht CO

Abbildung 21 zeigt die CO-Emissionen für die 4 Messfahrten. Die CO-Emissionen liegen bei allen Fahrten unabhängig vom Kraftstoff auf sehr geringem Niveau, genauer gesagt im Bereich des Detektionslimits der verwendeten Messtechnik.

Der Vergleich zum Euro VI ISC (In-Service Conformity) Grenzwert von 6 g/kWh zeigt, dass alle Ergebnisse deutlich unter dem Grenzwert für Realfahrten liegen. Allerdings muss dabei hervorgehoben werden, dass dieser Vergleich nur als indikativ angesehen werden kann, da im Rahmen der Messfahrten keine den ISC-Vorgaben entsprechende Fahrt durchgeführt wurde. Bei der Streckenauswahl wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber darauf geachtet, dass der tatsächliche Betrieb von Schneeräumfahrzeugen unabhängig von den ISC-Vorgaben dargestellt wird.

Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die CO-Emissionen auch beim Einsatz von HVO100, gleich wie beim Einsatz von Diesel B7, auf sehr geringem Niveau sind und der Kraftstoff darauf keinen Einfluss hat. Die von Neste angegebene Reduktion der CO-Emissionen von 20 bis 40 % kann aufgrund des sehr geringen Basisemissionsniveaus somit nicht geprüft werden⁹.

⁹ Neste Renewable Diesel Handbook, Espoo, 2020

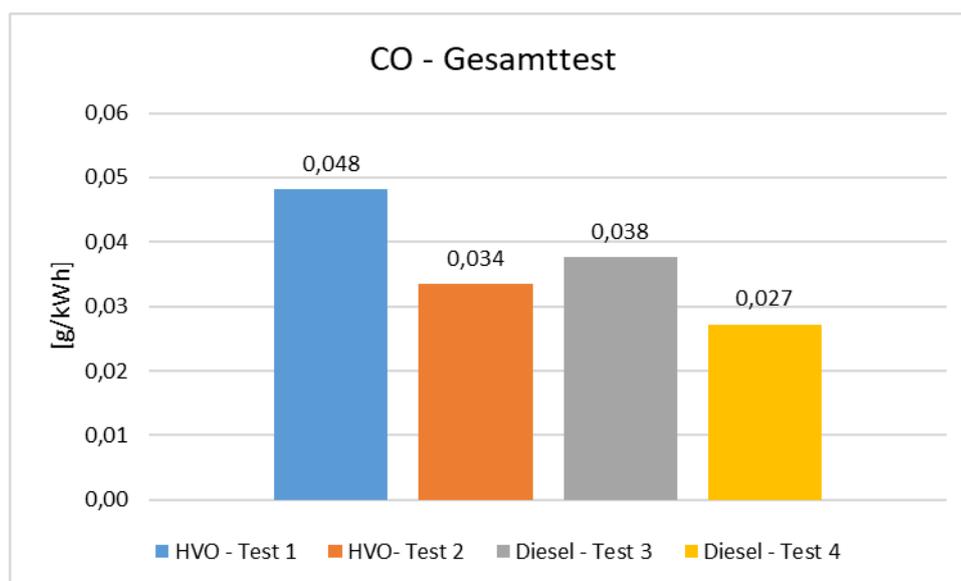


Abbildung 21: CO-Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten

Übersicht NO_x

Die NO_x-Emissionen wurden gleich wie die anderen Komponenten mittels PEMS am Auspuff gemessen, aber zusätzlich auch mit einem fahrzeugeigenen NO_x-Sensor zwischen Motorauslass und Abgasnachbehandlung. Dieses Signal konnte via CAN-Bus aufgezeichnet werden. Die Auspuffemissionen werden in weiterer Folge als NO_x-TP (Tailpipe) bezeichnet und die sogenannten Rohemissionen nach Motorauslass als NO_x-EO (Engine-out). Mithilfe dieser beiden Signale kann genau analysiert werden, ob sich durch den Einsatz von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 an den NO_x Entstehung beim Verbrennungsprozess etwas geändert hat und ob der Einsatz der unterschiedlichen Kraftstoffe Einfluss auf die Abgasnachbehandlung hat.

Abbildung 22 zeigt die NO_x- Emissionen am Motorausgang vor Abgasnachbehandlung. Es ist zu erkennen, dass das Niveau unabhängig vom Kraftstoff ähnlich ist. Die Ergebnisse zeigen also, dass der Einsatz von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 keinen Einfluss auf die NO_x-Entstehung während der Verbrennung hat. Die von Neste angegebene Reduktion der NO_x-EO Emissionen kann somit nicht bestätigt werden¹⁰.

Da die Höhe der NO_x-EO Emissionen verantwortlich für die zur Reduktion im SCR-Katalysator benötigte Menge an AdBlue ist, kann aus diesen Daten abgeleitet werden, dass der AdBlue-Verbrauch beim Einsatz von Diesel B7 und HVO100 auf ähnlichem Niveau liegt.

¹⁰ Neste Renewable Diesel Handbook, Espoo, 2020

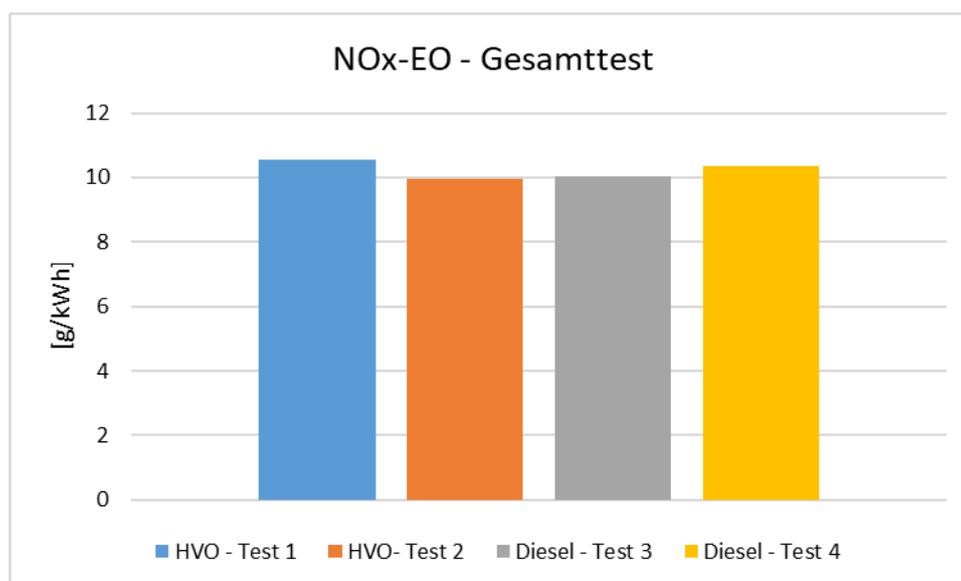


Abbildung 22: NOx-EO Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten

In Abbildung 23 sind die NOx-TP Emissionen dargestellt. Erstmal ist unabhängig vom verwendeten Kraftstoff zu erkennen, dass die Emissionen bei Test 1 und 3 niedriger als bei Test 2 und 4 liegen, obwohl bei Test 1 und 3 ein kompletter Kaltstart mit entsprechend hohen Kaltstartemissionen vorliegt. Abbildung 24 zeigt, dass die Emissionen beim kompletten Kaltstart sowohl bei HVO100 als auch bei Diesel B7 zwar höher liegen als beim Semikaltstart in Test 2 und 4, aber dass der Emissionsanstieg durch die zusätzliche Leerlaufphase am Ende von Test 2 und 4 größeren Einfluss hat. Im Leerlauf kühlt die Abgasnachbehandlung aus und muss, ähnlich wie beim Kaltstart dann erst wieder ins Betriebsfenster gebracht werden.

Der Vergleich der beiden Kraftstoffe zueinander illustriert, dass die NOx-Emissionen am Auspuff bei der Verwendung von Diesel B7 höher liegen als bei HVO100. Bei der Detailbetrachtung der kumulierten Emissionen in Abbildung 24 kann man bei den Dieseltests erhöhte Kaltstartemissionen (ca. erste 900 Sekunden) erkennen. Zudem sind die NOx-Emissionen in den Aufwärmphasen, sowohl nach der Katschbergabfahrt (ca. ab Sekunde 5 500) als auch nach der Leerlaufphase (ca. ab Sekunde 7 000) auf höherem Niveau. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass der SCR-Katalysator, der für die Reduktion der Stickoxide verantwortlich ist, beim Einsatz von Diesel länger zum Aufheizen und somit zum Erreichen des optimalen Betriebsfensters braucht. Bei der Betrachtung der Abgastemperaturen (siehe Abbildung 25) wird dies aber nicht bestätigt. Diese liegen bei beiden Kraftstoffen auf ähnlichem Niveau, meist über 250°C, also im optimalen Betriebsfenster. Auch beim Auskühlen bei der letzten Leerlaufphase bei Test 2 und 4 fallen zwar beide aus dem geforderten Temperaturfenster, aber beide auf das gleiche Level. Somit ist in dieser Phase auch kein Unterschied hinsichtlich Temperatur zu erkennen.

Die zur Verfügung stehenden Messdaten zeigen, dass die NOx-TP Emissionen beim Einsatz von HVO100 um ca. 20 % geringer als beim Einsatz von Diesel B7 sind, geben aber keinen Aufschluss über die genauen Gründe. Die 0 bis 10 % Reduktion der NOx-TP Emissionen wie von Neste proklamiert wird somit übertroffen. Speziell die angekündigte Reduktion der Kaltstartemissionen ist zu erkennen¹¹.

¹¹ Neste Renewable Diesel Handbook, Espoo, 2020

Der indikative Vergleich der Messergebnisse mit dem Grenzwert (0,69 g/kWh) zeigt, dass die NO_x-Emissionen sowohl beim Einsatz von Diesel als auch beim Einsatz von HVO100 deutlich unter dem gültigen Euro VI ISC Grenzwert liegen.

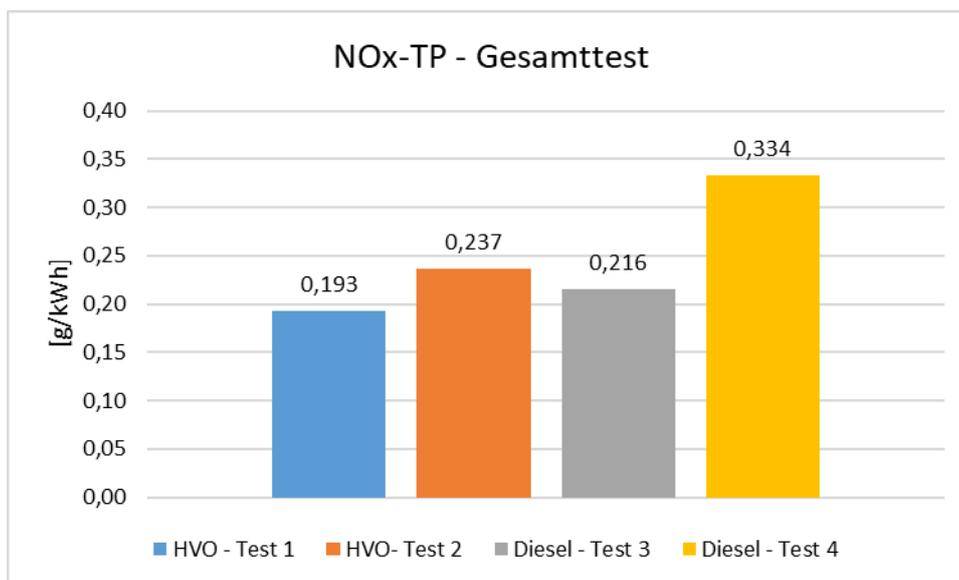


Abbildung 23: NO_x-TP Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten

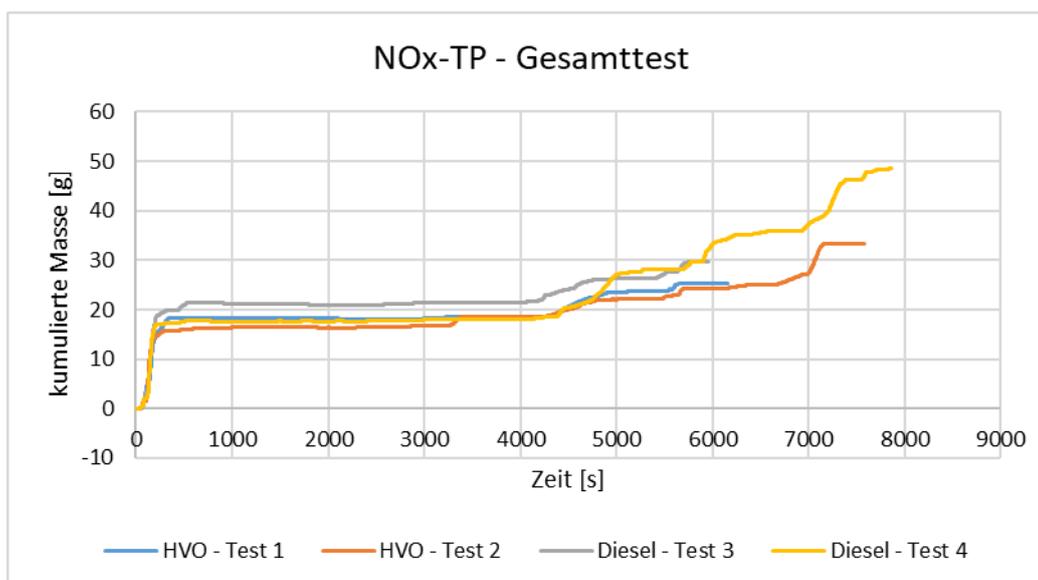


Abbildung 24: NO_x-TP Emissionen kumuliert über der Zeit, Gesamttest, alle Testfahrten

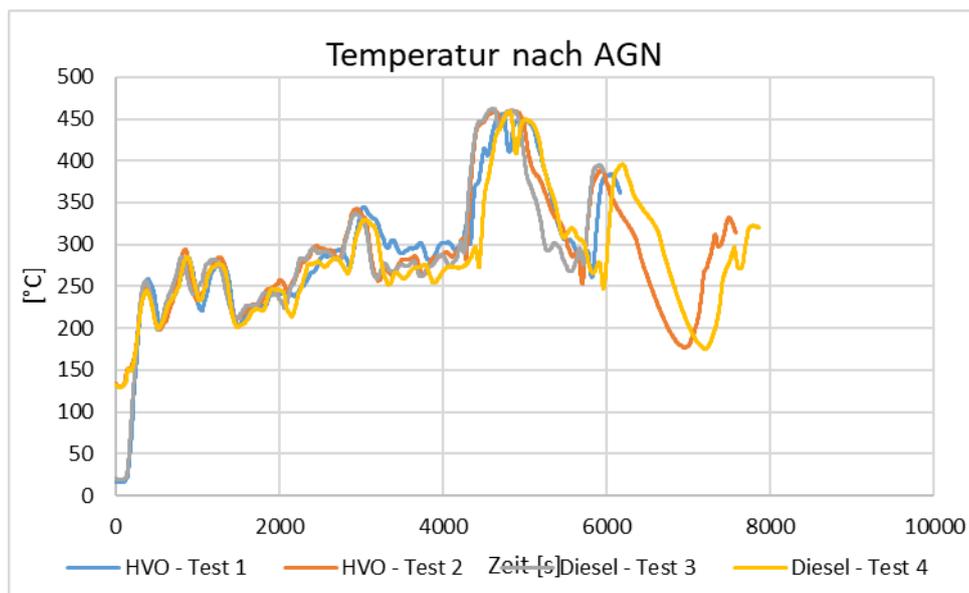


Abbildung 25: Abgastemperatur nach AGN über der Zeit, Gesamttest, alle Testfahrten

Übersicht Partikelanzahlemissionen PN23

Abbildung 26 zeigt die Partikelanzahlemissionen für alle Testfahrten über der gesamten Testdauer. Dabei ist zu erkennen, dass die Emissionen speziell bei einem Test mit HVO (Test 1) merklich höher liegen als bei allen anderen Tests. Die PN-Emissionen bei Test 1 liegen sogar über dem Euro VI PN-Limit von $6,0E+11$ #/kWh. Aber hier ist auch wieder die Indikativität hervorzuheben, weil es zum einen für Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI C noch keinen Partikelgrenzwert bei ISC-Fahrten gibt und weil, wie bereits erwähnt, die ISC-Randbedingungen nicht eingehalten werden.

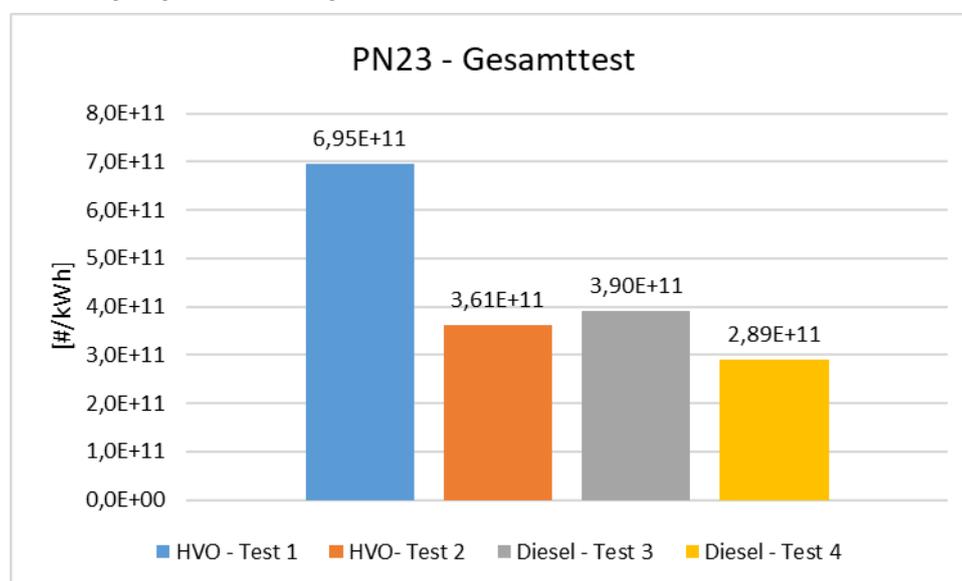


Abbildung 26: PN Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten

Abbildung 27 zeigt eine detailliertere Ansicht, nämlich nur den Landesstraßenteil bei mehr oder weniger ebener Fahrbahn. Es ist zu erkennen, dass die Partikelemissionen beim Einsatz von HVO100 in diesem Nieder- bis Mittellastbetrieb geringer als beim Einsatz von Diesel B7 liegen. Zudem ist das Niveau bei Test 1 mit HVO deutlich niedriger als bei Betrachtung des Gesamttests.

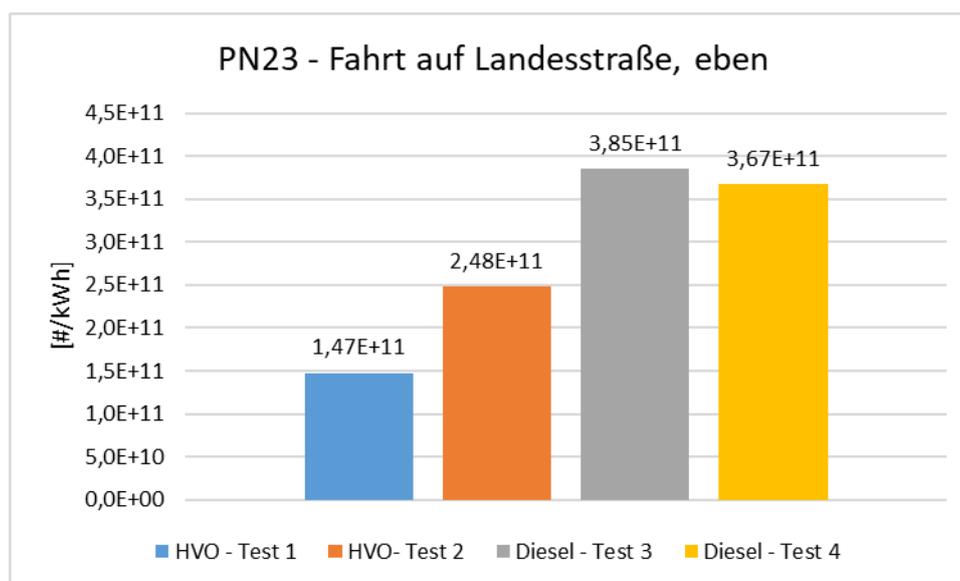


Abbildung 27: Partikelanzahl Emissionen, Landesstraße - eben, alle Testfahrten

Abbildung 28 stellt die Partikelemissionen bei einer anderen Fahrsituation, nämlich der Bergauffahrt auf den Katschberg, dar. In diesem Teil, in dem die erhöhten Partikelemissionen bei Test 1 zustande kommen, wurde das Fahrzeug unabhängig vom eingesetzten Kraftstoff hauptsächlich an der Vollast betrieben. Diese Testphase tritt im Normalbetrieb von Lkw sehr selten auf und stellt somit eine Ausnahmesituation dar. Die erhöhten PN-Emissionen in dieser Testphase können teilweise durch die hohen Abgastemperaturen und den dadurch folgenden passiven Partikelfilterregenerationseffekten (reduzierte Filtrationseffizienz durch geringere Filterbeladung) erklärt werden. Da die Abgastemperaturen aber bei allen Tests unabhängig vom Kraftstoff auf ähnlichem Niveau sind (siehe Abbildung 25), trifft dieser Effekt aber auf alle Tests zu, nicht nur auf Test 1. Ein weiterer Grund kann sein, dass es beim Einsatz von HVO100 durch die erhöhte Cetanzahl und somit einer höheren Zündwilligkeit zu einem schnelleren Durchbrennen des Gemisches kommt. In diesem Fall ist die Gemischaufbereitung durch die kürzere zur Verfügung stehende Zeit schlechter. Das bedeutet, dass die Verbrennung in manchen Bereichen nicht optimal abläuft, weil die das Kraftstoff-Luft-Gemisch noch nicht gut aufbereitet ist und bei dieser teilweise „unvollständigen“ Verbrennung höhere Partikelemissionen entstehen können. Aus den zur Verfügung stehenden Daten kann aber nicht erklärt werden, warum dies bei Test 1 auftritt und bei Test 2, ebenfalls HVO, nicht.

Eine gezielte Abstimmung des Motors auf HVO-Betrieb könnte dies verbessern.

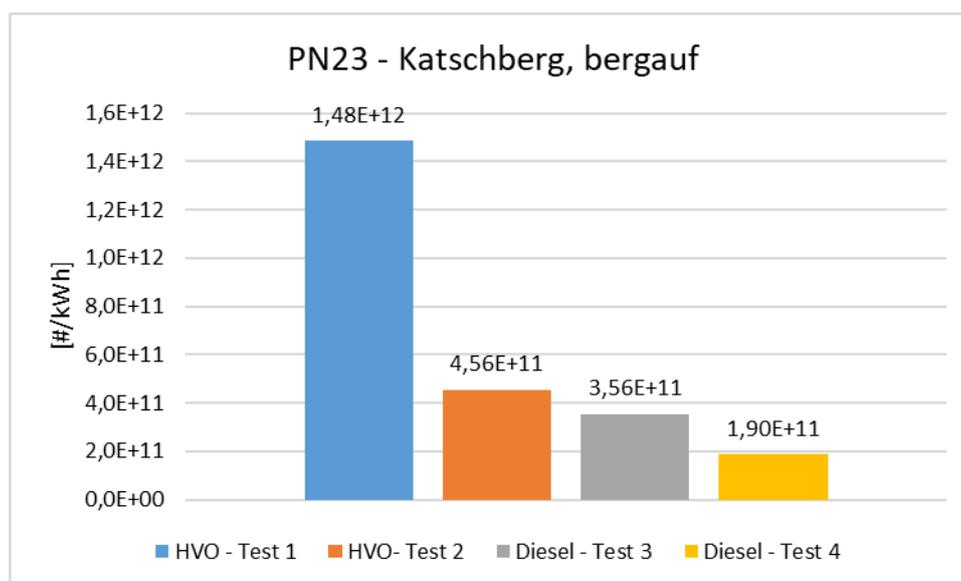


Abbildung 28: Partikelanzahl Emissionen, Katschberg - bergauf, alle Testfahrten

4.6. Messergebnisse Straßenfahrten PEMS – Zusammenfassung

Die Straßenmessungen zeigen, dass die Leistung an der Vollast beim Einsatz von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 um etwa 3 % geringer ist. Dies kann durch den niedrigeren Heizwert bezogen auf das Volumen von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 erklärt werden. Da die Einspritzung nicht speziell auf HVO100 abgestimmt ist, ist die eingebrachte Energiemenge bei gleicher Einspritzmenge geringer.

Der Betrieb mit HVO100 bringt im Vergleich zu Diesel B7 einen um etwa 5 % erhöhten Verbrauch in Liter je 100 Kilometer mit sich. Durch die geringere Dichte von HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 ist ein Unterschied in dieser Größenordnung zu erwarten.

Das CO₂-Niveau am Auspuff ist beim Betrieb mit HVO100 und Diesel B7 ähnlich. Durch die biogene Basis des HVO-Kraftstoffs kann aber bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus laut Hersteller eine CO₂-Einsparung von bis zu 90 % im Vergleich zu Diesel B7 erreicht werden. Diesel B7 hat nur einen 3 bis 7-prozentigen biogenen Anteil.

Die CO-Emissionen sind bei diesem Fahrzeug, sowohl beim Betrieb mit HVO100 als auch mit Diesel B7, auf sehr geringem Niveau. Der Betrieb mit HVO100 hat keinen negativen Einfluss auf die CO-Emissionen.

HVO100 hat keinen signifikanten Einfluss auf die NO_x-Emissionen am Motorauslass. Bei Betrachtung der NO_x-Emissionen am Auspuff, welche final für den Einfluss auf die Umwelt verantwortlich sind, fällt aber auf, dass HVO100 eine Senkung von ca. 20 % im Vergleich zu Diesel B7 mit sich bringt.

Die Partikelemissionen sind bei Hochlastfahrten, z.B. länger bergauf wie am Katschbergpass, bei HVO100 im Vergleich zu Diesel erhöht. Dabei muss aber erwähnt werden, dass es sich bei dieser Vollastbergauffahrt um eine spezielle Situation, die im normalen Fahrbetrieb von Lkw mehr oder weniger nicht auftritt, handelt.

Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass eine spezielle Abstimmung des Motors auf HVO100, bisher ist der Motor auf Diesel B7 appliziert, Verbesserungen mit sich bringen würde. Dadurch könnte die Vollastleistung angehoben, der Verbrauch optimiert und die Schadstoffemissionen reduziert werden. Gerade unter Einbeziehung dieser Ver-

besserungspotentiale und vor allem der Einsparung bei den CO₂-Emissionen durch die biogene Basis des HVO-Kraftstoffs kann der Betrieb mit HVO100 im Vergleich zu Diesel B7 aus Umweltsicht als vorteilhaft angesehen werden.

5. Langzeitmessungen

Um den Einfluss des Kraftstoffes HVO100 auf den regulären Betrieb im Vergleich mit dem Standardtreibstoff Diesel B7 zu untersuchen, wurden parallele Messungen an zwei verschiedenen Fahrzeugen über einen Zeitraum von ca. 3 Monaten im Winterdienst 02.2023-04.2023 durchgeführt. Ein Fahrzeug (Standort Lungau) wurde mit HVO100-Treibstoff betrieben, ein nahezu baugleiches Vergleichsfahrzeug (Standort Pongau) wurde mit Standardtreibstoff Diesel B7 betrieben. Beide Fahrzeuge wurden im regulären Winterdienstbetrieb auf ähnlichen Strecken eingesetzt.

Die Daten wurden einerseits auf Basis der fahrzeugeigenen Bordinformationen (siehe 5.1), andererseits mittels Tankprotokollen für Kraftstoff und Zusatzbetriebsstoff AdBlue gewonnen. Da in den Tankprotokollen für das Fahrzeug Pongau keine Informationen zu AdBlue Tankvorgängen enthalten waren, konnten aus diesen Langzeitmessdaten zum Einfluss des HVO100-Treibstoffes auf den AdBlue Verbrauch keine Aussagen getroffen werden.

Ergebnisse dieser Messungen sind Auswertungen hinsichtlich Kraftstoffverbrauchs sowie Motorbetriebsdaten wie Drehzahl, Drehmoment und zurückgelegte Strecke mit Steigungen in allen wesentlichen Betriebssituationen. Diese Motorbetriebsdaten sind in weitere Folge die Basis für die Kreuzsimulation (6 Kreuzsimulation), in der mittels Fahrzeugsimulation der Einfluss der unterschiedlichen Fahrzeuge und Strecken eliminiert wird.

5.1. Telemetriedaten und Datenaufzeichnung

Für die Langzeitmessung wurde auf die bestehende IT-basierte Betriebsdatenerfassung des Winterdienstes des Straßenerhaltungsdienstes des Landes Salzburg zurückgegriffen. Die Consilio Information Management GmbH ist der IT-Dienstleister für die Betriebsdatenerfassung des Straßenerhaltungsdienstes des Landes Salzburg und wurde in die Langzeitmessung eingebunden. Dabei wurden für die Langzeitmessung unter anderem folgende Betriebsdaten der Winterdienstfahrzeuge kontinuierlich aufgezeichnet:

- Eindeutige Fahrzeug-ID
- Fahrzeugposition (WGS84-Koordinaten mit mind. 6 Nachkommastellen) im Sekundenintervall
- Datum und Uhrzeit (auf Sekunden genau)
- Zündung ein/aus
- Geschwindigkeit des Fahrzeuges
- Pflug ein/aus
- Streuer ein/aus
- sowie teilautomatisierte Aufzeichnungen von Kraftstoff- und Add Blue Tankvorgängen.

Neben den oben genannten Betriebsdaten waren für die Langzeitmessung auch noch Daten des Motormanagements notwendig. Diese konnten über den sogenannten Aufbau-CAN¹² der Fahrzeuge abgegriffen werden. Die Ermittlung der relevanten CAN-Parameter wurde in Zusammenarbeit mit dem Fahrzeuglieferanten (MAN) durchgeführt. Dieser Prozess stellte sich als langwieriger heraus als ursprünglich geplant. Folgende CAN-Parameter wurden schlussendlich von den Fahrzeugen abgegriffen und aufgezeichnet (Tabelle 5). Aus diesen Daten wurden diejenigen ausgewählt, welche plausible Inhalte darstellen (Tabelle 5 Spalte genutzt).

¹² MAN Aufbaurichtlinien Truck, ZDR-KSM (Step2) Edition 2018 V1.0

Tabelle 5: Aus Aufbau-CAN aufgezeichnete Daten der Langzeitmessungen

Parameter	vorhanden	genutzt	Parameter	vorhanden	genutzt
device_id			barometric_pressure	x	
track_id			oil_pressure	?	
timestamp	x	x	actual_gear_ratio	?	
lat	x	x	current_gear	--	
lon	x	x	tot_vehicle_distance	x	
alt	x	x	trip_distance	x	x
speed_kmh	x	x	tot_engine_hours	x	
distance_gps			vehicle_speed	x	x
plow_state	x		fuel_consumption	?	
spreader_state	x		fuel_level	x	
ignition	x	x	fuel_rate	x	x
engine_speed	x	x	fuel_economy	x	
engine_torque	x	x	high_res_trip_fuel	--	
ambient_temperature	x	x	high_res_tot_fuel	?	
			adBlue_level	x	x

Um die Ausfallsicherheit der eigentlichen Betriebsdatenerfassung des Winterdienstes zu gewährleisten wurde entschieden, die gegenständliche Datenerfassung mit einer zweiten Telematik-Einheiten durchzuführen.

Die ermittelten Rohdaten wurde von der Consilio Information Management GmbH über eine Datenschnittstelle der Salzburg Research Forschungsgesellschaft bereitgestellt. Die Salzburg Research führte in ihrem IT-System zur Verarbeitung von Mobilitätsdaten (Flow.Motion) Prozesse zur Daten-Plausibilisierung und -Qualitätssicherung durch und bereitete die Daten für den Export nach den Vorgaben der FVT auf. Dabei wurden Fahrten nach Stillständen, die größer als 10 Minuten betragen, in einzelne Fahrten aufgesplittet. Ebenso wurde aus den GPS-Daten die zurückgelegte Distanz zwischen zwei GPS-Positionen ermittelt. Die Daten für FVT wurde in aggregierter Form im Rhythmus von einem Monat für die weitere Datenauswertung bereitgestellt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Überblick Datenaufzeichnung Langzeitmessungen

Fahrzeug	Zeitraum Datenaufzeichnung	n generierte Fahrten im Zeitraum
Lungau TA-691 FF	31.01.2023 – 10.04.2023	235
Pongau JO-767 IF	31.01.2023 – 31.03.2023	163

5.2. Auswahl repräsentativer Strecken

Aus den aufgezeichneten Daten wurden mit statistischen Verfahren 2 repräsentative Vergleichsstrecken erzeugt, wobei folgende Auswahlkriterien zugrunde gelegt wurden:

- Fahrdauer 120min-420h
- Keine Fahrtunterbrechung > 10min

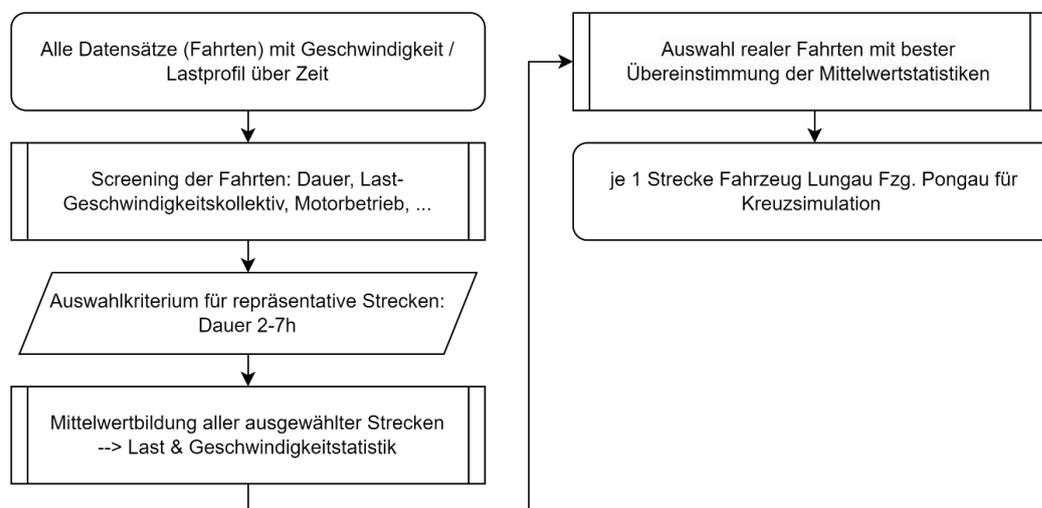


Abbildung 29: Workflow Auswahl repräsentative Strecken.

Für die ausgewählten Fahrten wurden Mittelwerte bezüglich Motorlast und Fahrzeuggeschwindigkeit als Cluster je Fahrzeug ermittelt und aus den aufgezeichneten realen Fahrten diejenigen ausgewählt, welche die beste Übereinstimmung mit den Mittelwerten aufweisen. Je Standort wurden so je 2 Strecken vorausgewählt, eine mit bester Übereinstimmung hinsichtlich Motorlastprofil und eine Strecke mit bester Übereinstimmung hinsichtlich Fahrzeuggeschwindigkeit. Im Anhang 7.3 Vergleich der Geschwindigkeits- und Motorlastcluster sind in Abbildung 52 bis Abbildung 59 die statistischen Auswertungen der Mittelwerte Geschwindigkeitscluster 0-90km/h und Lastcluster 0-100% für a.) alle Fahrten im Lungau und b.) für die repräsentative Strecke gegenübergestellt.

In Abbildung 30: bzw. Tabelle 7 und Tabelle 8 ist der Vergleich der 4 ausgewählten Strecken (Lungau und Pongau mit jeweils bester Übereinstimmung hinsichtlich Geschwindigkeitsprofil und Motorlastprofil dargestellt. Als finale Vergleichsstrecken wurden diejenigen ausgewählt, welche insgesamt die geringste Abweichung (grauer Balken in Abbildung 30:) aufweisen; das sind die Strecken Nr 74 Pongau und Nr. 31 Lungau.

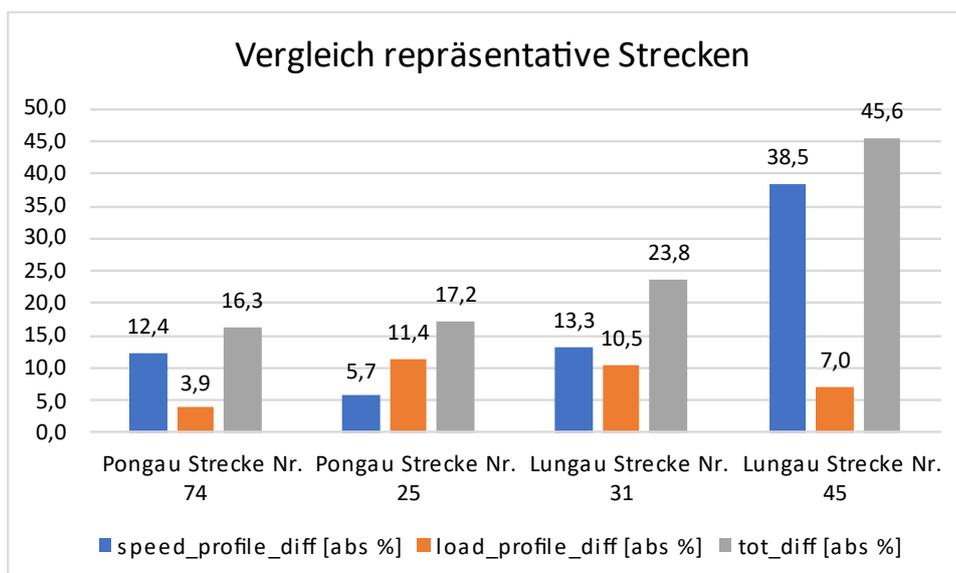


Abbildung 30: Vergleich ausgewählte Strecken Lungau und Pongau mit absoluter Abweichung zum Mittelwert Geschwindigkeitsprofil und Motorlastprofil

Tabelle 7: Vergleich ausgewählte Strecken Lungau und Pongau mit absoluter Abweichung zum Mittelwert Geschwindigkeitsprofil und Motorlastprofil

Strecke	Abweichung Geschwindigkeitsprofil [abs %]	Abweichung Lastprofil [abs %]	Abweichung Gesamt [abs %]
Pongau 74	12,4	3,9	16,3
Pongau 25	5,7	11,4	17,2
Lungau 31	13,3	10,5	23,8
Lungau 45	38,5	7,0	45,6

Tabelle 8: Vergleich ausgewählte Strecken Lungau und Pongau mit Mittelwerten

Strecke	Fahrzeuggeschwindigkeit Durchschnitt [km/h]	Höhe Durchschnitt [m]	Motordrehzahl Durchschnitt [1/Sek]	Motormoment Durchschnitt [%]
Pongau 74	30,3	938,3	952,2	21,3
Pongau 25	29,9	959,2	938,8	19,6
Lungau 31	35,6	1063,7	982,5	23,0
Lungau 45	40,6	1134,8	988,7	23,9

Die repräsentative Strecken Pongau Nr 74 und Lungau31 sind in Abbildung 31 bis Abbildung 36 als Motorlast- Geschwindigkeits- und Höhenprofil über der Zeit dargestellt.

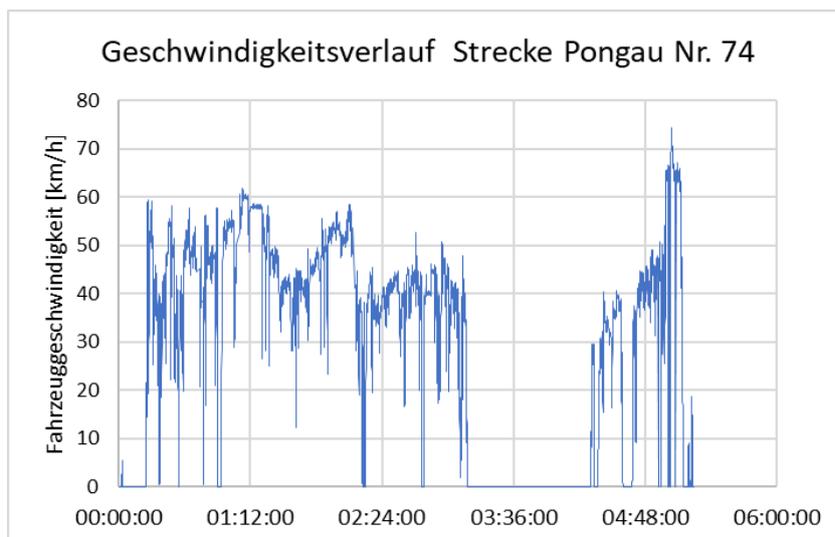


Abbildung 31: Geschwindigkeitsprofil der repräsentativen Strecke Pongau Nr. 74

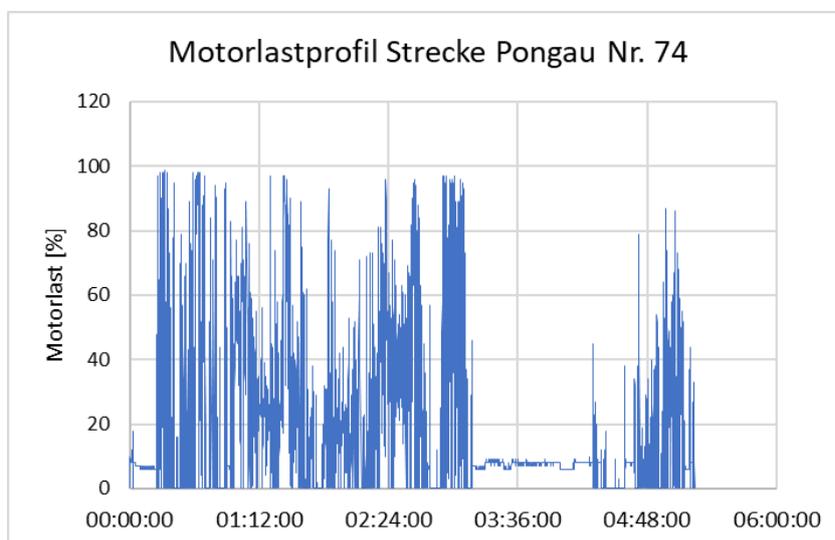


Abbildung 32: Motorlastprofil der repräsentativen Strecke Pongau Nr. 74

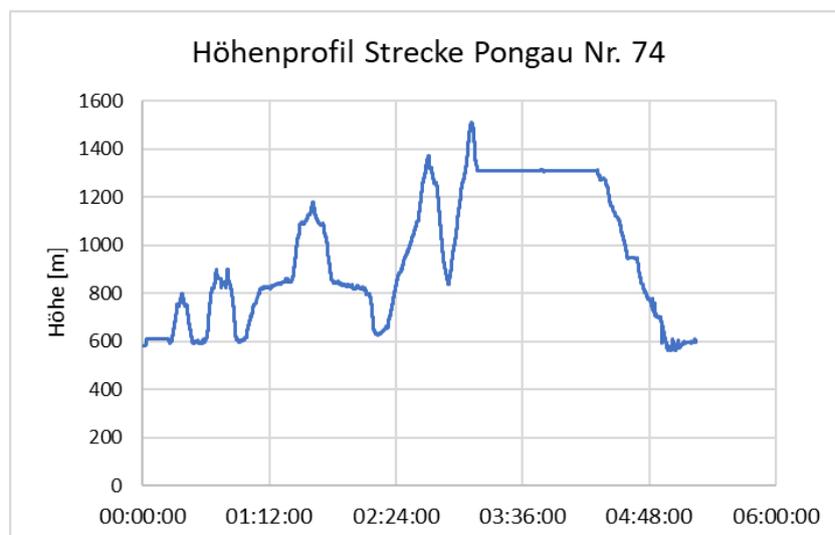


Abbildung 33: Höhenprofil der repräsentativen Strecke Pongau Nr. 74

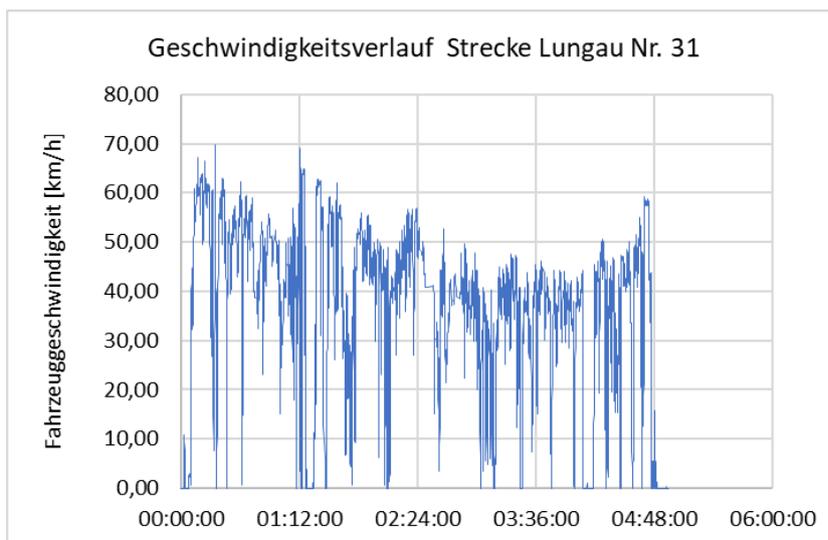


Abbildung 34: Geschwindigkeitsprofil der repräsentativen Strecke Lungau Nr. 31

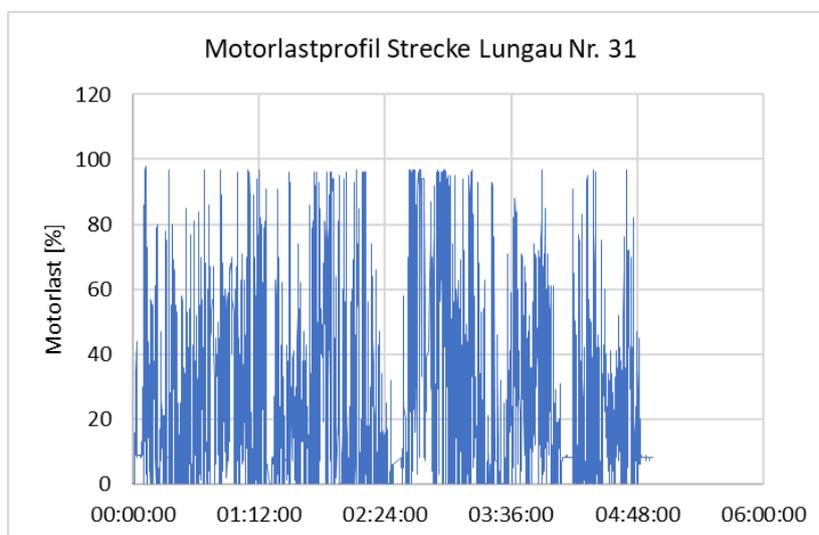


Abbildung 35: Motorlastprofil der repräsentativen Strecke Lungau Nr. 31

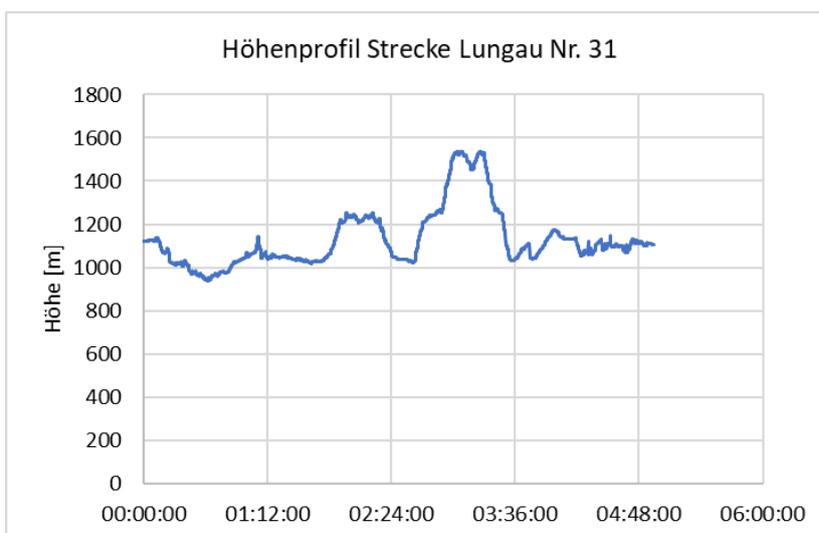


Abbildung 36: Höhenprofil der repräsentativen Strecke Lungau Nr. 31

5.3. Auswertung der Langzeitmessungen

Aus den Langzeitmessungen wurde der Zeitraum 31.1.2023-28.2.2023 für den Vergleich herangezogen, da ab 31.1.2023 CAN-Daten vorliegen und das Fahrzeug Lungau ab 1.3.2023 nur mehr sporadisch bewegt wurde. Die folgenden Parameter wurden ausgewertet:

1. Kraftstoffverbrauch im Abgleich mit Tankprotokollen [l]
2. zurückgelegte Wegstrecke [km]
3. positive, innere Motorarbeit [kWh]. Dieser Wert wird mittels Drehzahl, Lastsignal in % der maximalen Motorlast und einem Referenzwert für die maximale Motorlast berechnet. Da die maximale Motorlast nicht exakt bekannt ist, ist diese innere Motorarbeit sowie die davon abgeleiteten Daten nur indikativ im Vergleich der beiden Kraftstoffe zulässig. In dieser Motorarbeit sind keine Verluste durch Reibung, Nebenaggregate, Antriebsstrang oder Zusatzaggregate wie Räumschild oder Streueinrichtung berücksichtigt. Da die Antriebsaggregate der beiden Fahrzeuge Pongau und Lungau baugleich sind, ist auch ein indikativer Vergleich zwischen den Fahrzeugen zulässig.

Aus diesen Parametern wurden als gemittelte Werte über den Beobachtungszeitraum berechnet:

4. spezifischer, volumetrischer Kraftstoffverbrauch bezogen auf die Wegstrecke [l/100 km]
5. summierte, innere Motorarbeit [kWh]. Nur für indikativen Vergleich.
6. Spezifischer, massebezogener Kraftstoffverbrauch bezogen auf die geleistete Motorarbeit [g/kWh]. Nur für indikativen Vergleich.
7. Chemische Energie des verbrauchten Kraftstoffes [kWh]
8. Chemische Energie des verbrauchten Kraftstoffes je Wegstrecke [kWh/km]
9. Spezifische, innere Motorarbeit bezogen auf die zugeführte chemische Kraftstoffenergie [kWh/kWh].

Aus diesen Daten (Tabelle 9) ist ablesbar, dass der Kraftstoff HVO100 einen leicht höheren durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch (4) in l/100km (Abbildung 37) aufweist. Dabei ist zu beachten, dass der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch von Steigung und Beladung sowie vom Einsatz von Räumschild und / oder Streueinrichtung abhängt (diese Einflüsse wurden in Kapitel 6 mittels Simulation egalisiert). Zusätzlich haben die beiden Kraftstoffe unterschiedliche Dichten und Energieinhalte je l Kraftstoff (siehe Kapitel 3.1). Dies kann durch die Berechnung des spezifischen Kraftstoffverbrauches in g/kWh (6) und der spezifischen inneren Motorarbeit (9) (Abbildung 40) berücksichtigt werden. Dieser Wert ist, unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der zugrundeliegenden inneren Motorarbeit, direkt vergleichbar. Der Unterschied von ca. 1% ist durch unterschiedliche Motorwirkungsgrade in unterschiedlichen Betriebspunkten und eventuell eine nicht für HVO100 optimierte Motorbetriebsstrategie sowie Messunsicherheiten bedingt. Damit kann festgestellt werden, dass der Einsatz von HVO100 keinen wesentlichen energetischen Mehrverbrauch im Vergleich zu Diesel B7 bedingt.

Tabelle 9: ausgewertete Daten der Langzeitmessungen im Vergleich der Kraftstoffe

Kraftstoff	absoluter Kraftstoffverbrauch	Wegstrecke	durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch	innere Motorarbeit	spez. Kraftstoffverbrauch	chemische Energie Kraftstoff	spez. innere Motorarbeit bezogen auf chem. Kraftstoffenergie	spez. chemische Kraftstoffenergie je km
	[l]	[km]	[l/100km]	[kWh]	[g/kWh]	[kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/km]
HVO	3290	6658	49,4	18041	142,2	31274	0,58	4,70
Diesel	4134	8840	46,8	23025	149,9	39294	0,59	4,45

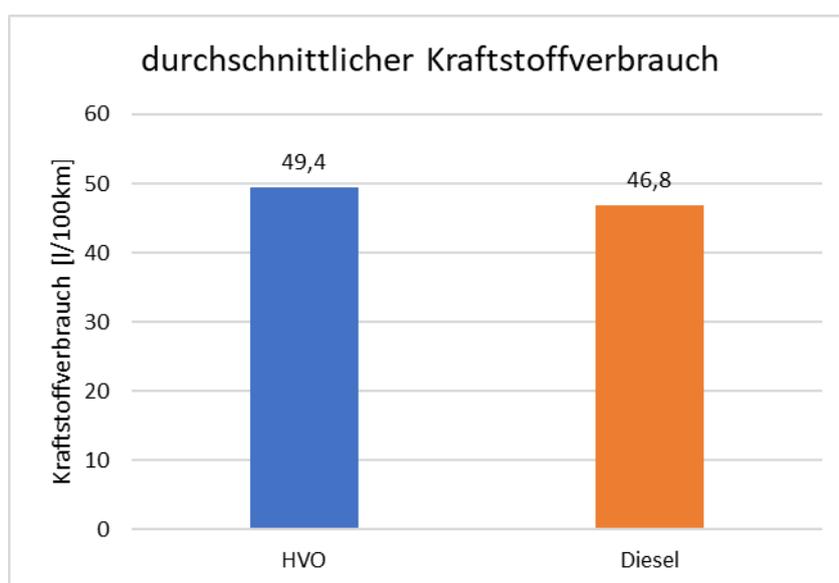


Abbildung 37: Vergleich durchschnittlicher volumetrischer Verbrauch der Kraftstoffe HVO100 und Diesel B7

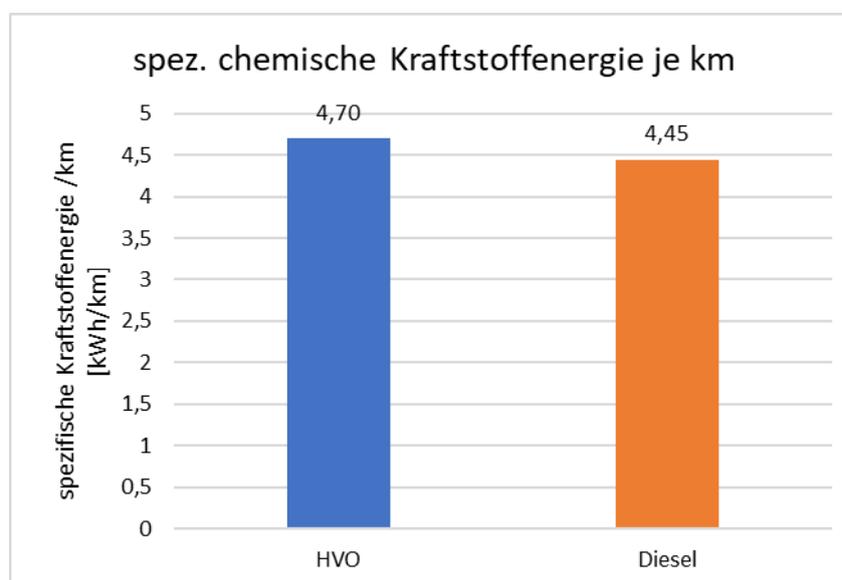


Abbildung 38: Vergleich spezifische chemische Energie je km der Kraftstoffe HVO100 und Diesel B7

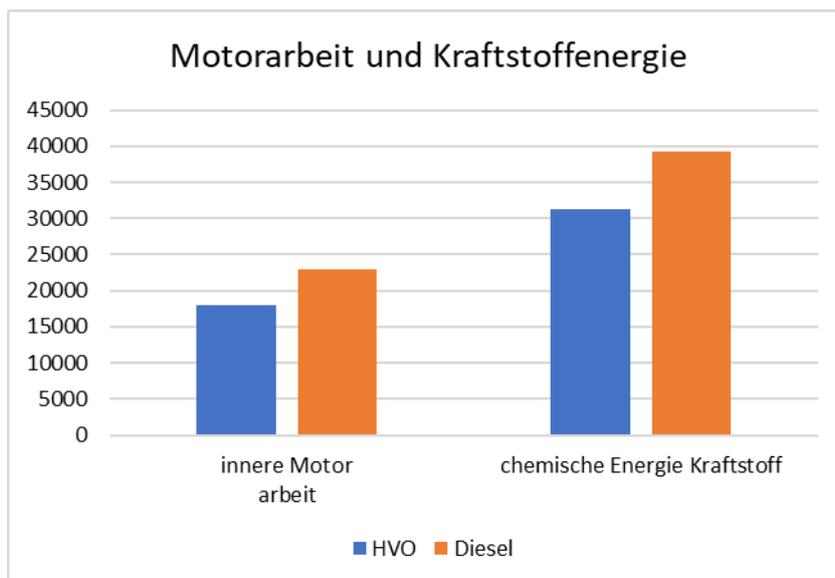


Abbildung 39: Vergleich Motorarbeit und chemische Energie der Kraftstoffe HVO100 und Diesel B7

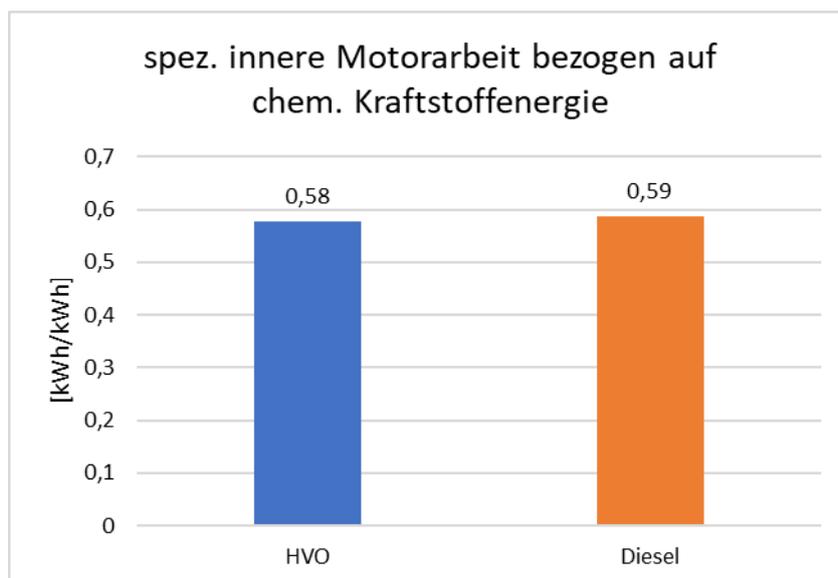


Abbildung 40: Vergleich spezifische innere Motorarbeit bezogen auf die chemische Kraftstoffenergie HVO100 und Diesel B7

6. Kreuzsimulation

Die Kreuzsimulation dient zum Vergleich des Diesel B7 und HVO100 Kraftstoffverbrauchs auf genau der gleichen Fahrstrecke unter den gleichen Randbedingungen mit dem gleichen Fahrzeug. Die Simulationsmodelle werden auf Basis der Kurzzeitmessungen erstellt und die repräsentativen Fahrstrecken stammen aus den Langzeitmessungen (Abbildung 41).

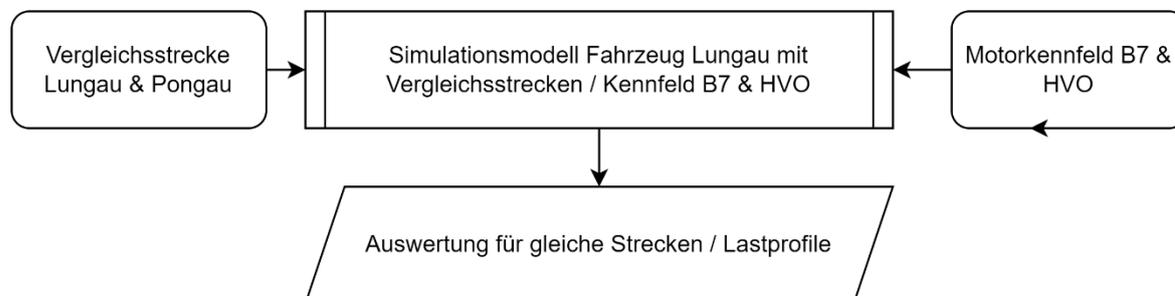


Abbildung 41: Workflow zur Kreuzsimulation mit 2 Vergleichsstrecken und Motorkennfelder für HVO und Diesel B7 Kraftstoffbetrieb.

6.1. Simulationsmethodik

Der Vergleich der Kraftstoffverbrauchsmessdaten von HVO100 und Diesel B7 aus den Realverkehrsfahrten (siehe Kapitel 4) ist aufgrund von Einflüssen unterschiedlicher Fahrprofile und Randbedingungen mit Unsicherheiten behaftet. Um diese zu eliminieren, können Simulationsmodelle auf Basis der gemessenen Verbrauchsdaten aufgesetzt werden. Dazu wird ein Fahrzeugmodell des Testfahrzeugs, das sowohl bei der PEMS-Messung mit HVO100 als auch mit Diesel B7 eingesetzt wurde (siehe Kapitel 3.3), erstellt und nur das Verbrauchskennfeld entsprechend des zu untersuchenden Kraftstoffs variiert. Wenn man diese unterschiedlichen Fahrzeugmodelle auf den gleichen Strecken fahren lässt bzw. ihnen die gleichen Last- und Drehzahlkollektive vorgibt, sind die Betriebspunkte (Leistung und Drehzahl) exakt gleich. Der Verbrauchsunterschied kann dann ausschließlich auf das Motorkennfeld zurückgeführt werden.

Abbildung 42 zeigt das Schema für diese sogenannte Kreuzsimulation. Dazu werden erst Motorkennfelder für HVO100 und Diesel B7 auf Basis der Messdaten der Kurzzeitmessungen erstellt. Dazu werden die Verbrauchsdaten einer Messfahrt in Abhängigkeit von Drehzahl und Leistung in ein Motorkennfeld mit dem Simulationstool PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model) eingerastert.

Auf Basis dieser Daten werden Simulationsmodelle für das Fahrzeug mit HVO100 und Diesel B7 in PHEM erstellt, mit denen beliebige Fahrzyklen nachgerechnet werden können. Die beiden unterschiedlichen Simulationsmodelle sind hinsichtlich Fahrzeugdaten (Luftwiderstand, Rollwiderstand, etc.) genau gleich, da die Kurzzeitmessungen mit exakt dem gleichen Fahrzeug unter Variation des Kraftstoffs durchgeführt wurden. Sie unterscheiden sich aber in ihren Verbrauchskennfeldern und dem verwendeten Kraftstoff, also HVO100 und Diesel B7.

Zudem werden aus den Langzeitmessungen die repräsentativsten Strecken zum einen für das Fahrzeug im Lungau, das mit HVO100 betrieben wurde, und zum anderen für das Fahrzeug aus dem Pongau, das mit Diesel B7 gefahren wurde, herausgearbeitet. Durch die Auswahl von Fahrstrecken beider Fahrzeuge wird sichergestellt, dass die Testzyklen keinen Besonderheiten durch den Betrieb mit HVO100 oder Diesel B7 unterliegen.

Mit diesen Daten können sowohl das HVO100 Fahrzeug als auch das Diesel B7 Fahrzeug auf den gleichen Strecken, einmal basierend auf den Langzeitmessungen für HVO100 und einmal für Diesel B7, simuliert werden. Durch dieses Kreuztesten werden alle unterschiedlichen Randbedingungen eliminiert. Der Unterschied in den finalen Ergebnissen ergibt sich nur durch die verschiedenen Verbrauchskennfelder. Somit kann letztendlich ein Vergleich der beiden Kraftstoffe ohne die Unsicherheiten von unterschiedlichen Fahrsituationen oder anderen Randbedingungen durchgeführt werden.

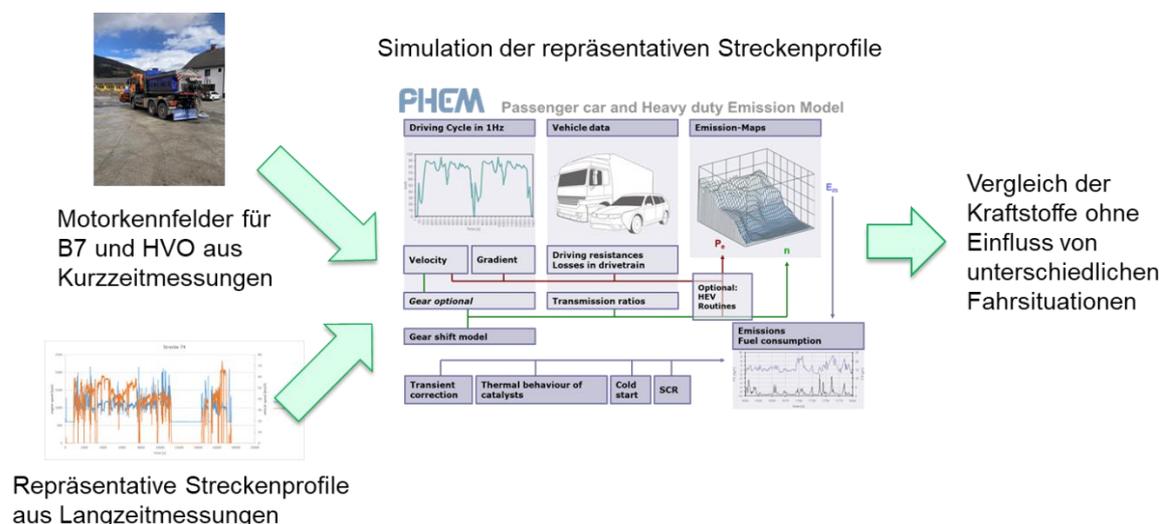


Abbildung 42: Schema Kreuzsimulation

Das Simulationstool PHEM wurde von der FVT in Kooperation mit dem ITnA (Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme) der Technischen Universität Graz (TU Graz) entwickelt und wird entsprechend der Neuentwicklungen in der Fahrzeugindustrie laufend weiterentwickelt. PHEM ermöglicht die Simulation von beliebigen Fahrsituationen mithilfe eines Längsdynamikmodells, mit dem sekundlich die benötigte Motorlast berechnet wird. Zur Berechnung der Motordrehzahl stellt PHEM verschiedene Schaltmodelle für die verschiedenen Fahrzeug- und Getriebearten zur Verfügung. Energieverbrauch, Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen können dann mithilfe von Motorkennfeldern in Abhängigkeit von Drehzahl und Leistung berechnet werden. Zudem verfügt PHEM über ein physikalisch basiertes Abgasnachbehandlungsmodell, das die Konvertierung in den verschiedenen Katalysatoren in Abhängigkeit von Temperatur, Raumgeschwindigkeit und im Falle eines SCR-Katalysators der AdBlue-Dosierung berechnet. PHEM stellt auch Modelle für alternative Antriebssysteme, wie z.B. batterieelektrische Fahrzeuge, zur Verfügung und ermöglicht die Berechnung von „non-exhaust“ Emissionen, also Brems- und Reifenabrieb.

6.2. Eingangsdaten

Der folgende Teil beschreibt die kraftstoffspezifischen Motorkennfelder und die repräsentativen Streckenprofile.

Kraftstoffspezifische Motorkennfelder

Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen die beiden Verbrauchskennfelder, die mittels PHEM auf Basis der PEMS-Messungen erstellt wurden. Drehzahl und Leistung sind dabei normiert dargestellt, das bedeutet, bei 1 ist man an der Nenndrehzahl bzw. Nennleistung. Bei 0 ist

die Leistung 0 kW und die Drehzahl genau bei der Leerlaufdrehzahl. Der Verbrauch ist in g/kWh dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass beide Kennfelder sehr regelmäßig bzw. eben sind. Im Bereich der höheren Verbräuche rechts unten, also bei Drehzahl größer und 0,8 und Leistung kleiner 0,4, wird das Fahrzeug eigentlich nicht betrieben. Dieser Bereich kann somit von der Betrachtung ausgenommen werden.

In den höheren Lastbereichen in der Nähe der Volllast (oberste Reihe der Blasen) ist der Verbrauch bei HVO100 etwas geringer. In den niedrigeren Lastbereichen, etwa bei 0,1 bis 0,4 normierte Leistung, in den sich das Fahrzeug meist bewegt, sind die Dieserverbräuche niedriger. Insgesamt liegen beide Kennfelder auf einem vergleichbaren Niveau. Die genauen Unterschiede werden bei der Darstellung der finalen Simulationsergebnisse sichtbar.

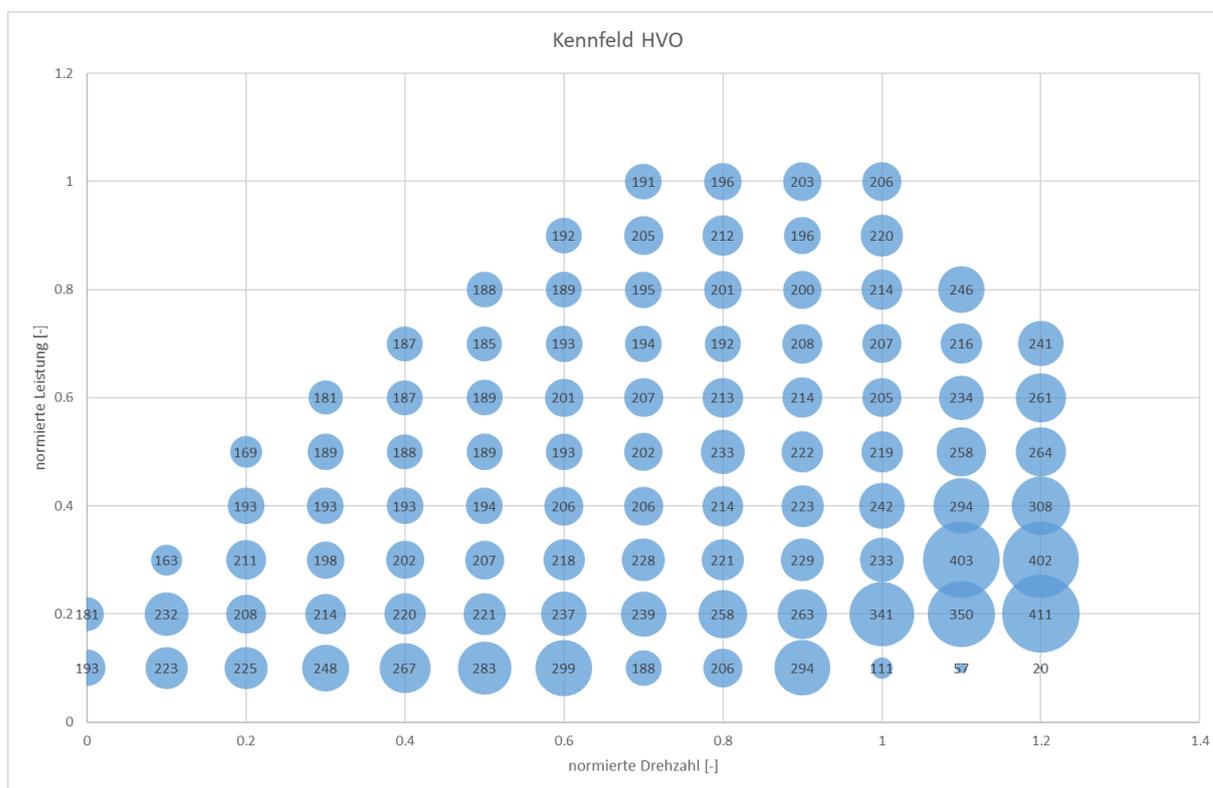


Abbildung 43: Verbrauchskennfeld HVO100

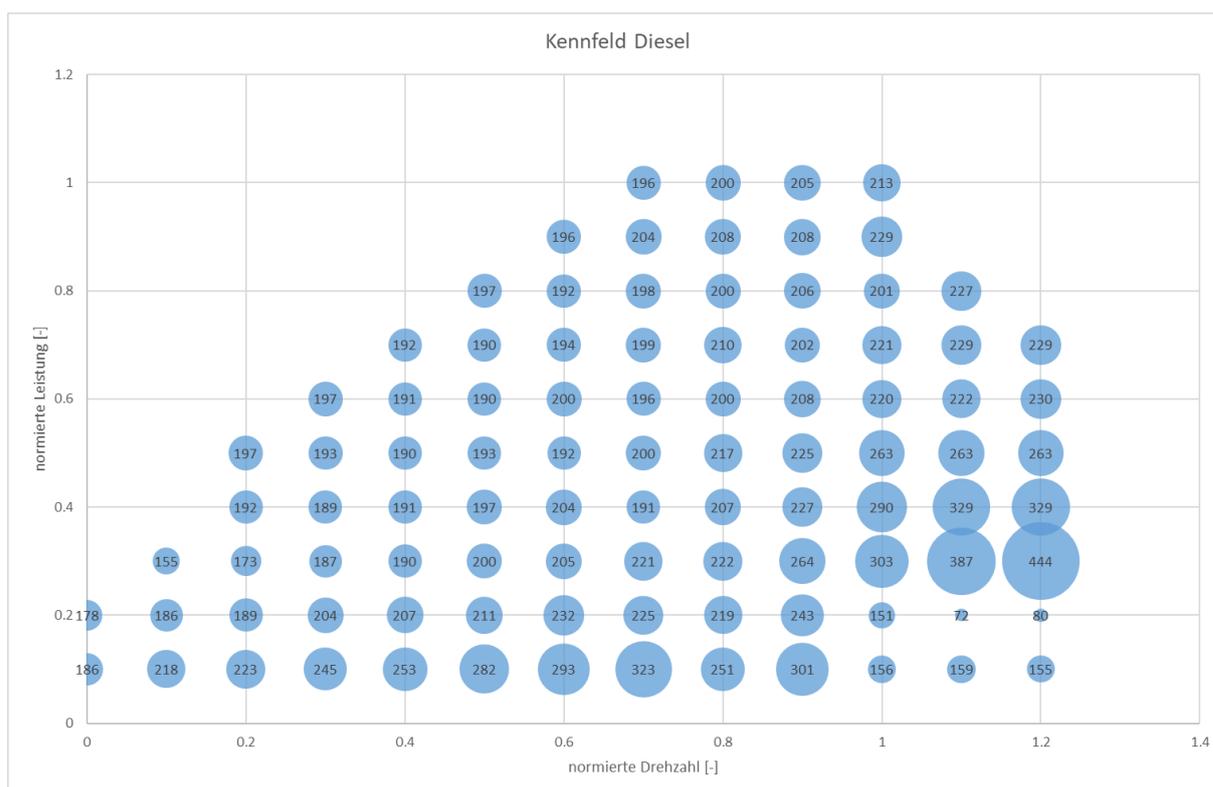


Abbildung 44: Verbrauchskennfeld Diesel B7

Um die beiden erstellten Emissionsmodelle zu validieren, wurden mit den jeweiligen Modellen exakt die Zyklen, die zur Erstellung der Motorkennfelder verwendet wurden, nachgerechnet. Das Ergebnis wurde dann mit den Messdaten verglichen. Das HVO100 Modell unterschätzt die Messung um 2,2 %, das Dieselmotormodell um 0,9 %. Die Unsicherheit des Simulationsmodells liegt somit in der Größenordnung von 2 %.

In Kapitel 5.2 ist die Auswahl der repräsentativen Strecken mit Geschwindigkeits- und Motorlastprofil beschrieben, die Abbildungen Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen die Leistungsverläufe der beiden repräsentativen Teststrecken. Streckenprofil 1 stammt vom Diesel B7 Testfahrzeug im Pongau und Streckenprofil 2 vom HVO100 Testfahrzeug im Lungau.

Beide Strecken haben ein sehr transientes Lastprofil. Gerade am Anfang sind beide Routen von kurzen Leistungsspitzen geprägt. Bei Streckenprofil 2 bleibt dies auch bis zum Ende so, während Streckenprofil 1 im 2. Teil eine längere Leerlaufphase beinhaltet.

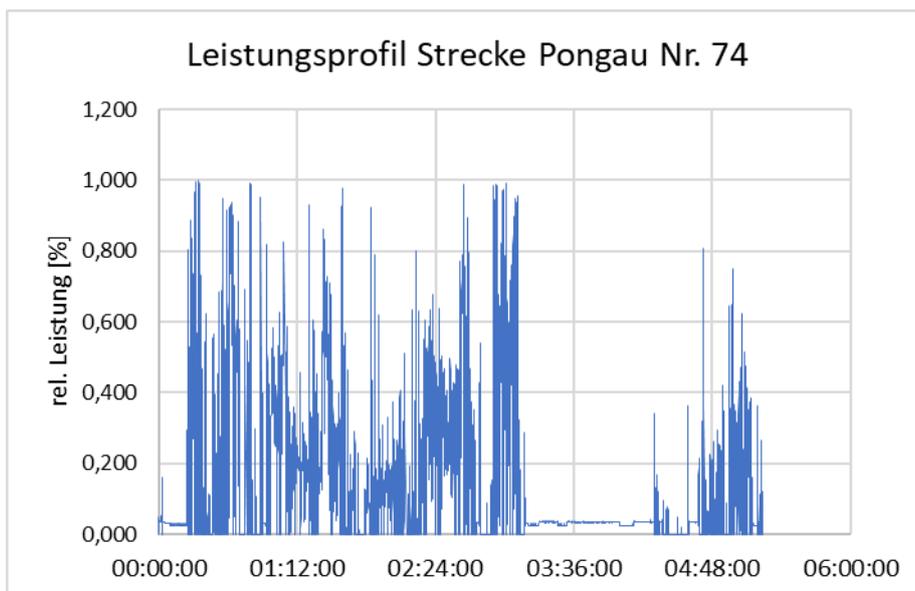


Abbildung 45: Streckenprofil 1 Pongau Nr. 74

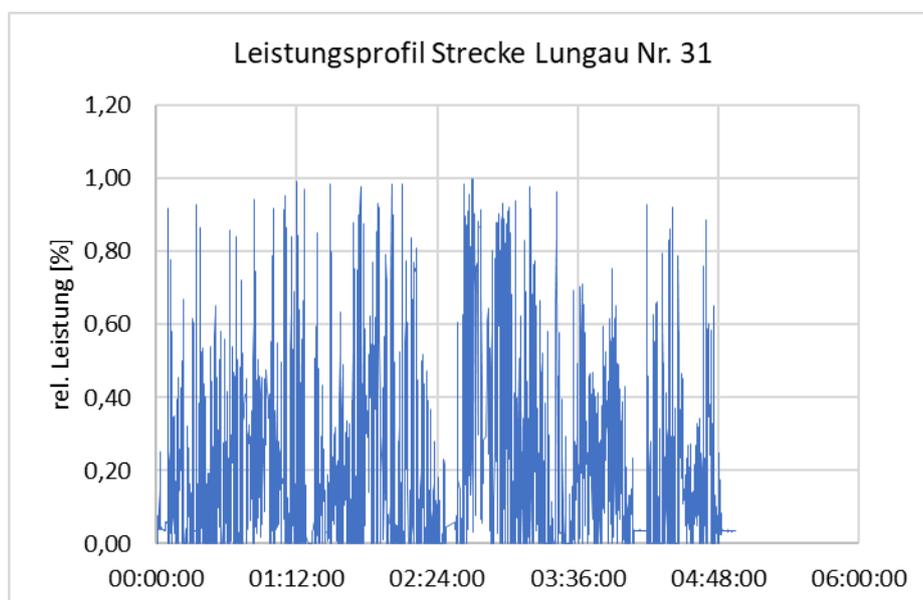


Abbildung 46: Streckenprofil 2 Lungau Nr. 31

6.3. Ergebnisse der Kraftstoffverbrauchssimulation

Die Ergebnisse der Kreuzsimulation sind in Abbildung 47 dargestellt. Diese zeigen, dass der Verbrauch in Liter je 100 Kilometer beim Betrieb mit Diesel B7 im Mittel um 8 % geringer als beim Betrieb mit HVO100 ist. Die Unterschiede zwischen den beiden Kraftstoffen sind unabhängig von der verwendeten Teststrecke auf ähnlichem Niveau.

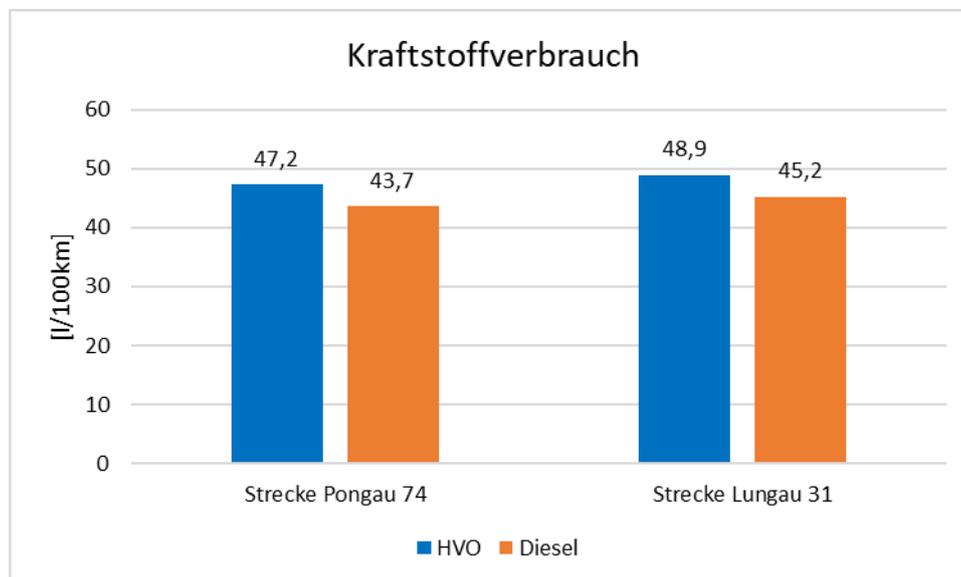


Abbildung 47: Kraftstoffverbrauch, Ergebnisse Kreuzsimulation

Abbildung 48 zeigt den Kraftstoffverbrauch für verschiedene Abschnitte der HVO-Strecke. Diese wurde in einen Abschnitt bis zur Leerlaufphase (normales Fahren), in die Leerlaufphase und den folgenden Teil (normales Fahren inkl. Aufheizen nach Leerlauf) getrennt. Die Ergebnisse in den einzelnen Abschnitten bestätigen diesen Trend. Der HVO-Kraftstoffverbrauch in l/100km ist um ca. 8 % größer als der Dieserverbrauch.

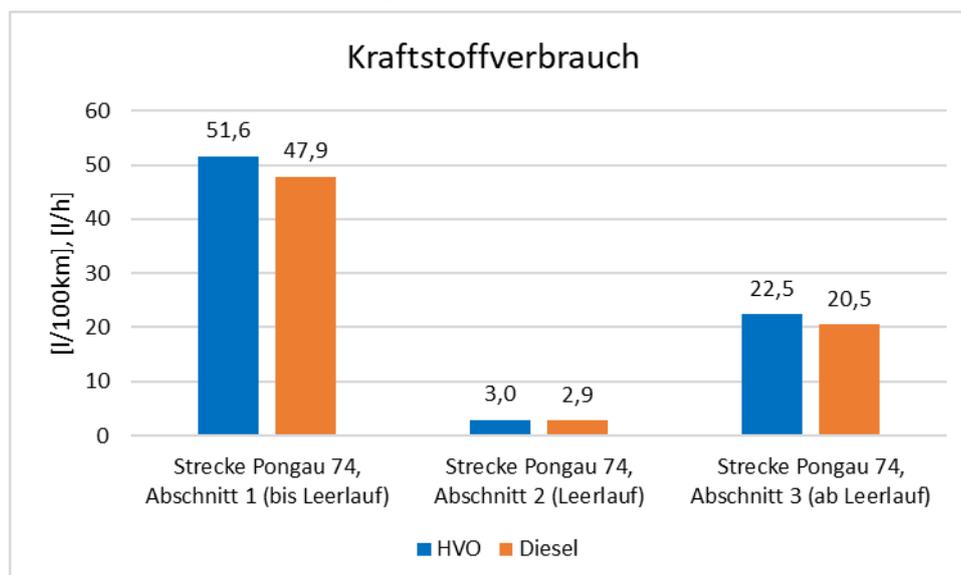


Abbildung 48: Kraftstoffverbrauch, Ergebnisse Kreuzsimulation in Abschnitten

Unabhängig vom Mehrverbrauch muss hier aber nochmal auf den großen Vorteil hinsichtlich CO₂-Emissionen verwiesen werden. Auch wenn die zum Kraftstoffverbrauch proportionalen CO₂-Emissionen am Auspuff höher sind, liegen diese durch die Einsparung aufgrund

der biogenen Basis beim HVO100 über dem gesamten Lebenszyklus (Ersparnis bis zu 90 % laut Neste) deutlich unter den CO₂-Emissionen des Betriebs mit Diesel B7.

6.4. Analyse der lebenszyklusbezogenen CO₂-Emissionen

ISO 14083

Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die Quantifizierung der CO₂-Einsparung bei der Nutzung von HVO100 im Vergleich zu Diesel mit Berücksichtigung der Emissionen über den gesamten Lebenszyklus laut ISO 14083¹³. Diese Analyse wurde für die Verbrauchswerte auf der Strecke Pongau durchgeführt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass es sich bei den Basiswerten um Durchschnittswerte handelt und diese für einzelne Kraftstoffe leicht abweichen können. Der der ISO-Norm zugrundeliegende Biodiesel besteht aus 50 % Rapsöl, 40 % gebrauchtes Speiseöl und 10 % Sojabohnen. Da in der Norm nur Werte für Diesel B0 und Biodiesel angegeben werden, wird in der vorliegenden Studie angenommen, dass der biogene Anteil des Diesel B7, der zwischen 3 und 7 % liegen muss, beim Maximalwert von 7 % liegt. HVO100 basiert in der ISO-Norm auf 50 % Rapsöl und 50 % gebrauchtem Speiseöl.

Bei diesem Vergleich sieht man, dass die lebenszyklischen CO₂ Emissionen beim Diesel B7 insgesamt bei 1304,7 g/km liegen. Diese setzen sich aus den CO₂ Emissionen im Betrieb, „Tank To Wheel“ (TTW), mit 1078,9 g/km und den vorgelagerten CO₂ Emissionen, „Well To Tank“ (WTT), zusammen. Beim HVO100 Kraftstoff gibt es keine TTW-Emissionen, weil diese ausschließlich auf biogener Basis beruhen und durch die vorherige Einspeicherung der CO₂ Emissionen in den Pflanzen somit kein neues CO₂ entsteht. Bei der Produktion entsteht aber auch CO₂, nämlich 464,3 g/km.

Wenn man die einzelnen Anteile des Diesel B7 genauer betrachtet, dann sieht man, dass TTW-Emissionen nicht nur vom fossilen Diesel, sondern in geringem Maße auch vom siebenprozentigen Bioanteil kommen (3,8 g/km). Die Aufschlüsselung der WTT-Emissionen ergibt für den fossilen Anteil 193,3 g/km und für den biogenen Anteil 32,4 g/km.

Die gesamte CO₂ Ersparnis auf Basis der Werte aus der ISO 14083 für diese repräsentative Route ist somit 64 %.

¹³ ISO 14083, Greenhouse gases – Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations, first edition 2023-03

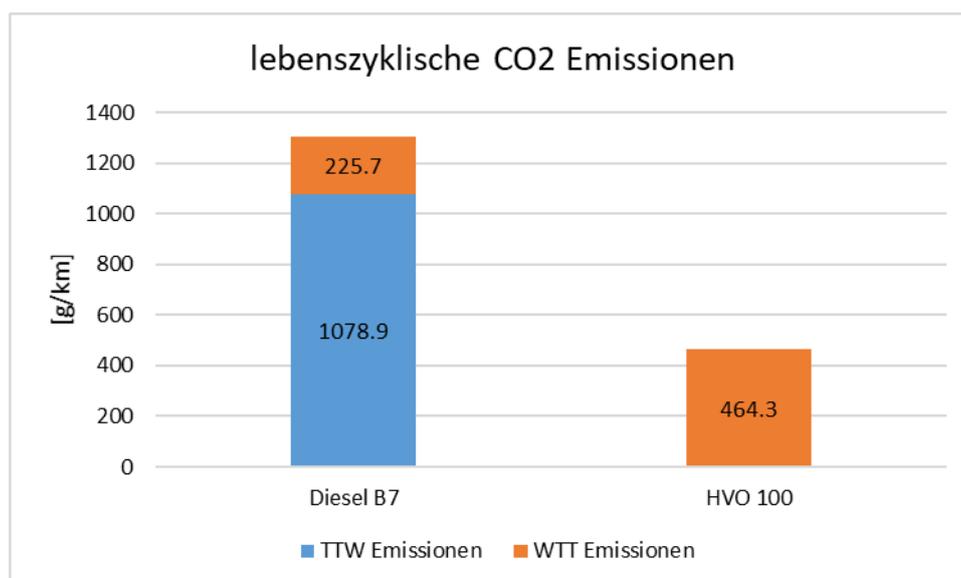


Abbildung 49: lebenszyklische TTW und WTT CO₂ Emissionen, Strecke Pongau, Kraftstoffeigenschaften ISO 14083

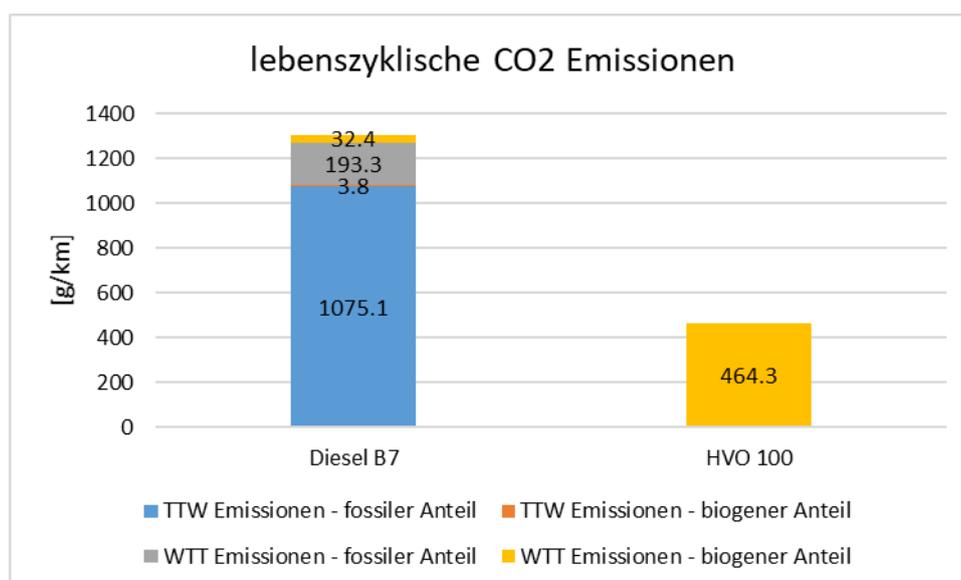


Abbildung 50: lebenszyklische TTW und WTT CO₂ Emissionen aufgeteilt in biogene und fossile Anteile, Strecke Pongau, Kraftstoffeigenschaften ISO 14083

Kraftstoffeigenschaften laut Nachhaltigkeitsnachweis für Biokraftstoffe gem. Kraftstoffverordnung §13 (6)

In Abbildung 51 ist die gleiche Betrachtung anhand der Werte des Nachhaltigkeitsnachweises für Biokraftstoffe gem. Kraftstoffverordnung §13 (6), der vom Umweltbundesamt ausgestellt wurde und von der Firma Leikermoser übermittelt wurde, dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die CO₂-äquivalenten Emissionen im Vergleich zu den in der ISO 14083 verwendeten Standardwerten für HVO100 durch den höheren Anteil an gebrauchten Speisefetten geringer liegen. Die lebenszyklischen CO₂-Emissionen sind mit 120,5 g/km um 74 % niedriger als die für die Standardwerte laut ISO 14083 (464,3 g/km)

und im Vergleich zu Diesel B7 (1 304,7 g/km) sogar um 91 %. Dies zeigt, dass die Herstellungsgrundlage des HVO100 hinsichtlich CO₂-äquivalenter Emissionen von entscheidender Bedeutung ist. Der Einsatz des von der Firma Leikermoser bereitgestellten und vom Land Salzburg genutzten HVO100 von Neste ist somit aus Umweltsicht zu empfehlen.

Der Vergleich wurde ebenso auf der Strecke Pongau durchgeführt. Die Ergebnisse in diesem gesamten Kapitel sind also alle miteinander vergleichbar.

Die Werte für Diesel B7 entsprechen bei dieser Rechnung weiterhin den Werten der ISO 14083.

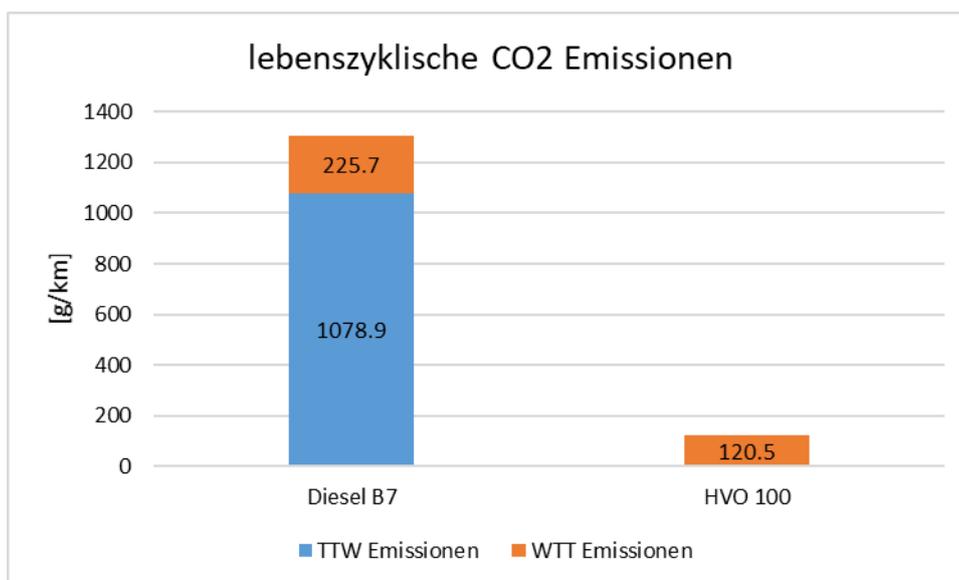


Abbildung 51: lebenszyklische TTW und WTT CO₂ Emissionen, Strecke Pongau, Kraftstoffeigenschaften Neste

7. Anhang

7.1. Auszug aus dem Einzelgenehmigungsbescheid Fahrzeug Lungau FIN WMA84SZZ6ML077788

Amt der Salzburger Landesregierung, KFZ-Prüfstelle
Karolingerstraße 34, 5020 Salzburg
Tel. 0662 8042 5353, mail: pruefstelle@salzburg.gv.at

Fahrzeug-Ident.-Nr.: WMA84SZZ6ML077788
Aktenzahl: S-573/22490/2021

An Land Salzburg Straßenverwaltung
Michael Pacher Straße 36, 5020 Salzburg, Österreich

Einzelgenehmigungsbescheid

Teilbescheid-Nr. 1

Das Fahrzeug, Marke MAN, Type 80S, Fahrgestellnummer WMA84SZZ6ML077788, wird unter den im Anschluss angeführten Auflagen genehmigt:

Die Genehmigung gilt nur, solange folgende Bedingungen eingehalten werden:

Die Zulassung und Verwendung des Fahrzeuges ist nur im Rahmen der in der Verordnung (EG) 561/2006 Art.3 und § 24 Abs. 2b KFG angeführten Ausnahmebestimmungen zulässig (kein digitales Kontrollgerät eingebaut).

Auflagen:

Bei angebrachtem Schneeräumgerät darf eine Vorderachslast von 10000 kg und eine Höchstgeschwindigkeit von 62 km/h nicht überschritten werden, es muss das Fahrzeug oder das Schneeräumgerät mit den gemäß § 17 Abs. 1 lit. a bis c KFG 1967 vorgeschriebenen Scheinwerfern und Leuchten ausgerüstet sein und es müssen bei Überschreitung der zulässigen Transportbreiten gemäß § 53a KDV 1967 die Bestimmungen des §39 Abs.1 KFG 1967 angewendet werden.

(T3) Kanten und zusätzliche Vorrichtungen von am Fahrzeug angebrachten Arbeitsgeräten sind mit einer stabilen, deutlich gekennzeichneten Schutzvorrichtung zu versehen.

(T4) Die Abblendlicht-Scheinwerfer am Dach dürfen nur bei Anbringung von Frontgeräten und wenn die Wirkung der Hauptscheinwerfer dadurch beeinträchtigt wird verwendet werden.

(A12) Bei der Verwendung des Fahrzeuges sind die Angaben und Richtlinien des Herstellers einzuhalten.

A5	Genehmigungsgrundlage	Ausnahmeges. §34 KFG 1967
	Fertigungsstand Genehmigungsstufen	Mehrstufen-Genehmigung, Basisfahrzeug unvollständig
	Erstmalige Zulassung am / in	Neufahrzeug
0.1	Fabrikmarke	MAN
0.2	Type / Variante / Version	80S / - / -
0.2.1	Handelsbezeichnung	TGS
	Klasse des Basisfahrzeugs	N3G
0.2.2	Type / Variante / Version des Basisfahrzeugs	80S / - / -
0.4	Fahrzeugart / Fahrzeugklasse / Ergänzung zur Fahrzeugklasse	Lastkraftwagen / N3G / -
0.5.1	Hersteller Basisfahrzeug Name	MAN TRUCK & BUS SE, DACHAUER STRASSE 667,80995,MUENCHEN
0.5	Name des Herstellers	Meiller GmbH, Meiller Straße 1, 3312 Oed-Oehling
0.10	(Typen)Genehmigungsnummer / Datum(Typen)Genehmigung	22490/2021 / 22.11.2021
0.6	Anbringungsstelle der vorgeschriebenen Schilder	an der B-Säule der Beifahrerseite / geklebt
0.10	Fahrzeug Identifizierungsnummer	WMA84SZZ6ML077788
0.6	Anbringungsstelle der Fahrzeug-Identifizierungsnummer am Fahrgestell	am Rahmenlängsträger vorne rechts
1	Anzahl der Achsen / Räder	3 / 8
31	Lage der anhebbaren Achse(n)	3.
33	Antriebsachse(n) mit Luftfederung oder gleichwertiger Aufhängung: [Ja/Nein]	Ja
3	Anzahl der Antriebsachsen	2
2	Anzahl/Anordnung gelenkte Achsen	2//1. / 3.
11.1 / 3.1	Fahrzeug automatisiert	Nicht automatisiertes Fahrzeug
4 / 4.1	Radstand / Radstände [mm]	3600 / 1400 / -
8	Sattelvormmaß [Minimum-Maximum] [mm]	- - -
30.1 / 30.2	Spurweite [mm]	2072 / 1804 / 2130
5 / 6 / 7	Länge / Breite / Höhe [mm]	9200 / 2550 / 3600
5.2	Verlängertes Fahrerhaus iSd RL 96/53/EG	Nein
5.3	Aerodynamische Luftleiteinrichtungen	nicht vorhanden
12	Hinterer Überhang, [mm]	-
9	Abstand zwischen der Fahrzeugfront und dem Mittelpunkt der Anhängervorrichtung [mm]	7474
G	Eigengewicht [kg]	13240
13	Masse des fahrbereiten Fahrzeuges mit Aufbau [mindestens-höchstens] [kg]	13315 - 13315
13.2	Tatsächliche Masse des Fahrzeuges [kg]	13315
14	Masse des Basisfahrzeugs in fahrbereitem Zustand [kg]	9568
16.1	Technisch zulässige Gesamtmasse in beladenem Zustand [kg]	30000
	Technisch zulässige Masse Basisfahrzeug [kg]	30000
F2 / 17.1	höchstes zulässiges Gesamtgewicht [kg]	26000
A10	höchste zulässige Nutzlast [kg]	12685
A12	höchste zulässige Stützlast/Sattellast [kg]	1000
19	Technisch zulässige Stützlast am Kupplungspunkt [kg]	1000
16.3	Technisch zulässige Masse, Achsgruppe 1 [kg]	22000
16.3	Technisch zulässige Masse, Achsgruppe 2 [kg]	-
N1 / 17.2	Höchste zul. Achslast [kg]	10000 / 11500 / 7500
16.2	Techn. zul. max. Achslasten [kg]	10000 / 13000 / 9000
35	Bereifung und Räder	385/65R22,5 164/- K 22,5X11,75 ET120.0 / 315/80R22,5 -/150 L 22,5x9,00 ET161.0 / 385/65R22,5 164/- K 22,5X11,75 ET120.0
O2 / O1	höchste zulässige Anhängelast [ungebremst/gebremst] [kg]	750 / 23737

18.1	Technisch zulässige größte Anhängelast des Zugfahrzeuges bei Beförderung eines Deichselanhängers [kg]	23737
18.3	Technisch zulässige größte Anhängelast des Zugfahrzeuges bei Beförderung eines Zentralachsanhängers [kg]	13216
18.4	Technisch zulässige Masse eines Anhängers (ungebremst) [kg]	1500
16.4	Technisch zulässige Gesamtmasse der Fahrzeugkombination im beladenen Zustand [kg]	44000
20	Hersteller Antriebsmaschine	MAN
21	Baumusterbezeichnung des Herstellers gemäß Kennzeichnung am Motor	D2676LF79
22	Arbeitsverfahren / Antriebsart / direkte Einspritzung	Selbstzündung / - / -
23	Reiner Elektroantrieb [Ja/Nein]	Nein
23.1	Hybrid-(Elektro-)Fahrzeug, Code	Nein N
24	Anzahl und Anordnung der Zylinder	6 / in Reihe stehend
25	Hubraum [cm³]	12419
26	Kraftstoff, Code	Diesel
P2	Leistungsangabe im Zulassungsschein [kW]	346,00 / 1800
27	Nennleistung Verbrennungsmotor in [kW]	346,00
26.1	Mono/Bi/Flexfuel	Monofuel
28	Getriebe (Typ)	automatisiertes Schaltgetriebe
A13	Bereifung und Räder Zeile 1	A1/3: 385/65R22,5 164/- K 22,5x11,75 ET120
A13	Bereifung und Räder Zeile 2	A2: 315/80R22,5 - /150 L 22,5x9,00 ET161
A13	Bereifung und Räder Zeile 3	-
1.1	Anzahl/Lage Achsen mit Doppelbereifung	1//2.
36	Bremsanlage (Kurzbeschr. bzw. Anh.-Bremsanschlüsse)	pneumatisch
37	Druck in der Versorgungsleitung des Anhänger-Bremssystems [bar]	8,5 bar
A8	Art des Aufbaues, Österreichischer Nationaler Code	Spezialaufbauten, 99 / mit Frontanbauplatte KAHLBACHER 45154480-01 und Heckstreugerät;
38	Aufbaucode nach EU-Recht	Lastkraftwagen, BA
40 / R	Farbe des Fahrzeuges	Orange
41	Anzahl und Anordnung der Türen	2 / 1 links und 1 rechts
42	Anzahl und Lage der Sitze	2 / -
S1	Sitzplätze gesamt	2
44	EG-Typengenehmigungszeichen der Anhängervorrichtung, sofern vorhanden	E1 55R-01 0350
45.1	Kennwerte D, V, S, U der Anhängervorrichtung	130.0//35.0//1000
A9	Form der hinteren Kennzeichentafel	einzeilig
29	Höchstgeschwindigkeit [km/h]	90,00
T	Höchstgeschwindigkeit, Wert für Zulassungsbescheinigung [km/h]	90
46	Fahrgeräusch / Standgeräusch [dB(A)] / bei [1/min]	79,0 / 95,0 / 1350
48	Abgasverfahren nach (Basisrichtlinie i. d. F.), Abgaskl.	(EU)2018/932D / (EG)595/2009 / Euro VI
48	1.Prüfverfahren (Typ I, ESC, NEFZ, WLTP, WHSC, NRSC) CO/HC/NOx/HC+NOx/Partikel [g/km]	0,0072 / 0,0227 / 0,3077 / - / 0,0012
48	2.Prüfverfahren (ETC, WHTC, NRTC) CO/NOx/NMHC/THC/CH4/Partikel [g/km]	0,0243 / 0,2533 / - / 0,0380 / - / 0,0013
48	Partikelzahl (Typ I, ESC, NEFZ-Euro6, WLTP, WHSC, NRSC) [1/km]	3,04E11
48.1	Korrigierter Wert des Absorptionskoeffizienten [m-1]	0,3600
A16	Farbe der Begutachtungsplakette	weiß

49.1	NEFZ CO ₂ -Emission innerorts / außerorts / kombiniert [g/km]	- / - / -
49	Einheit Kraftstoffverbrauch	nicht zutreffend oder l/100km
49.1	NEFZ Kraftstoffverbrauch innerorts / außerorts / komb. [nicht zutreffend oder l/100km]	- / - / -
49.3	Fahrzeug mit Ökoinnovation(en) ausgestattet: Ja/Nein	Nein
	Ausnahmen: §24 KFG 1967 - EG-Kontrollgerät nicht entspr.EWG-VO Nr. 3821/85 Anh.IB (kein digitales Kontrollgerät) 69 - UN-Regelung Nr. 58 - ÄS 03 hinterer Unterfahrschutz	
A4	Verwendungsbestimmung 1 aus Genehmigung, Code W18	keine Einschränkung
A4	Verwendungsbestimmung 2 aus Genehmigung, Code W18	keine Einschränkung
0.10	Metrische / angelsächsische Einheiten	Metrisch
0.10	Rechts- oder Linksverkehr	Rechtsverkehr

Die Genehmigung gilt nur, solange folgende Bedingungen eingehalten werden:

Die Zulassung und Verwendung des Fahrzeuges ist nur im Rahmen der in der Verordnung (EG) 561/2006 Art.3 und § 24 Abs. 2b KFG angeführten Ausnahmebestimmungen zulässig (kein digitales Kontrollgerät eingebaut).

Auflagen:

Bei angebrachtem Schneeräumgerät darf eine Vorderachslast von 10000 kg und eine Höchstgeschwindigkeit von 62 km/h nicht überschritten werden, es muss das Fahrzeug oder das Schneeräumgerät mit den gemäß § 17 Abs. 1 lit. a bis c KFG 1967 vorgeschriebenen Scheinwerfern und Leuchten ausgerüstet sein und es müssen bei Überschreitung der zulässigen Transportbreiten gemäß § 53a KDV 1967 die Bestimmungen des §39 Abs.1 KFG 1967 angewendet werden.

(T3) Kanten und zusätzliche Vorrichtungen von am Fahrzeug angebrachten Arbeitsgeräten sind mit einer stabilen, deutlich gekennzeichneten Schutzvorrichtung zu versehen.

(T4) Die Abblendlicht-Scheinwerfer am Dach dürfen nur bei Anbringung von Frontgeräten und wenn die Wirkung der Hauptscheinwerfer dadurch beeinträchtigt wird verwendet werden.

(A12) Bei der Verwendung des Fahrzeuges sind die Angaben und Richtlinien des Herstellers einzuhalten.

Behördliche Eintragungen:

7.2. Auszug aus dem Einzelgenehmigungsbescheid Fahrzeug Pongau FIN WMA84SZZ9ML077784

Amt der Salzburger Landesregierung, KFZ-Prüfstelle
Karolingerstraße 34, 5020 Salzburg
Tel. 0662 8042 5353, mail: pruefstelle@salzburg.gv.at

Fahrzeug-Ident.-Nr.: WMA84SZZ9ML077784
Aktenzahl: S-573/21834/2021

An Land Salzburg Straßenverwaltung
Michael Pacher Straße 36, 5020 Salzburg, Österreich

PROBENDRUCK

Einzelgenehmigungsbescheid

Teilbescheid-Nr. 1

Das Fahrzeug, Marke MAN, Type TGS, Fahrgestellnummer WMA84SZZ9ML077784, wird unter den im Anschluss angeführten Auflagen genehmigt:

Die Genehmigung gilt nur, solange folgende Bedingungen eingehalten werden:

Die Zulassung und Verwendung des Fahrzeuges ist nur im Rahmen der in der Verordnung (EG) 561/2006 Art.3 und § 24 Abs. 2b KFG angeführten Ausnahmebestimmungen zulässig (kein digitales Kontrollgerät eingebaut).

Auflagen:

(T1) Sämtliche Anbau- und Arbeitsgeräte sowie schwenkbaren Fahrzeugteile sind, wenn sich das Fahrzeug nicht im Arbeitseinsatz befindet, in Fahrtstellung zu bringen und durch mechanische oder in ihrer Wirkung gleichwertige Vorrichtungen zu sichern.

(T3) Kanten und zusätzliche Vorrichtungen von am Fahrzeug angebrachten Arbeitsgeräten sind mit einer stabilen, deutlich gekennzeichneten Schutzvorrichtung zu versehen.

(T4) Die Abblendlicht-Scheinwerfer am Dach dürfen nur bei Anbringung von Frontgeräten und wenn die Wirkung der Hauptscheinwerfer dadurch beeinträchtigt wird verwendet werden.

Behördliche Eintragungen:

Ausnahmegenehmigung §34a KFG (auslaufende Serie) erteilt, hinsichtlich:

68 - UN-Regelung Nr. 16 - ÄS 07 Gurtwarner

69 - UN-Regelung Nr. 58 - ÄS 03 hinterer Unterschutz

70 - UN-Regelung Nr. 79 - ÄS 02 Lenkanlage

A5	Genehmigungsgrundlage	Ausnahmegem. §34 KFG 1967
	Fertigungsstand Genehmigungsstufen	Mehrstufen-Genehmigung, Basisfahrzeug unvollständig
	Erstmalige Zulassung am / in	Neufahrzeug
0.1	Fabrikmarke	MAN
0.2	Type / Variante / Version	TGS / - / -
0.2.1	Handelsbezeichnung	TGS
	Klasse des Basisfahrzeugs	N3G
0.2.2	Type / Variante / Version des Basisfahrzeugs	- / - / -
0.4	Fahrzeugart / Fahrzeugklasse / Ergänzung zur Fahrzeugklasse	Lastkraftwagen / N3G / -
0.5.1	Hersteller Basisfahrzeug Name	MAN TRUCK & BUS SE, DACHAUER STRASSE 667,80995,MUENCHEN
0.5	Name des Herstellers	Schraml Fahrzeugbau GmbH, Innsbrucker Bundesstraße 55, 5020 Salzburg
0.10	(Typen)Genehmigungsnummer / Datum(Typen)Genehmigung	21834/2021 / 15.11.2021
0.5.1	Typgenehmigungsnummer / Datum Typengenehmigung Basisfahrzeugs	- / 01.01.1900
0.6	Anbringungsstelle der vorgeschriebenen Schilder	an der B-Säule der Beifahrerseite / geklebt
0.10	Fahrzeug Identifizierungsnummer	WMA84SZZ9ML077784
0.6	Anbringungsstelle der Fahrzeug-Identifizierungsnummer am Fahrgestell	am Rahmenlängsträger vorne rechts
1	Anzahl der Achsen / Räder	3 / 8
31	Lage der anhebbaren Achse(n)	3.
33	Antriebsachse(n) mit Luftfederung oder gleichwertiger Aufhängung: [Ja/Nein]	Ja
3	Anzahl der Antriebsachsen	2
2	Anzahl/Anordnung gelenkte Achsen	2//1. / 3.
11.1 / 3.1	Fahrzeug automatisiert	Nicht automatisiertes Fahrzeug
4 / 4.1	Radstand / Radstände [mm]	3600 / 1400 / -
8	Sattelvormmaß [Minimum-Maximum] [mm]	- - -
30.1 / 30.2	Spurweite [mm]	2072 / 1804 / 2130
5 / 6 / 7	Länge / Breite / Höhe [mm]	8550 / 2550 / 3670
5.2	Verlängertes Fahrerhaus iSd RL 96/53/EG	Nein
5.3	Aerodynamische Luftleiteinrichtungen	nicht vorhanden
12	Hinterer Überhang, [mm]	-
9	Abstand zwischen der Fahrzeugfront und dem Mittelpunkt der Anhängervorrichtung [mm]	7474
G	Eigengewicht [kg]	13220
13	Masse des fahrbereiten Fahrzeuges mit Aufbau [mindestens-höchstens] [kg]	13295 - 13295
13.2	Tatsächliche Masse des Fahrzeuges [kg]	13295
14	Masse des Basisfahrzeugs in fahrbereitem Zustand [kg]	9558
16.1	Technisch zulässige Gesamtmasse in beladenem Zustand [kg]	30000
	Technisch zulässige Masse Basisfahrzeug [kg]	30000
F2 / 17.1	höchstes zulässiges Gesamtgewicht [kg]	26000
A10	höchste zulässige Nutzlast [kg]	12705
A12	höchste zulässige Stützlast/Sattellast [kg]	1000
19	Technisch zulässige Stützlast am Kupplungspunkt [kg]	1000
16.3	Technisch zulässige Masse, Achsgruppe 1 [kg]	22000
16.3	Technisch zulässige Masse, Achsgruppe 2 [kg]	-
N1 / 17.2	Höchste zul. Achslast [kg]	9000 / 11500 / 7500
16.2	Techn. zul. max. Achslasten [kg]	9000* / 13000 / 9000
35	Bereifung und Räder	385/65R22,5 164/- K 22,5X11,75 ET120.0 / 315/80R22,5 -/150 L 22,5x9,00 ET161.0 / 385/65R22,5 164/- K 22,5X11,75 ET120.0

O2 / O1	höchste zulässige Anhängelast [ungebremst/gebremst] [kg]	750 / 23737
18.1	Technisch zulässige größte Anhängelast des Zugfahrzeuges bei Beförderung eines Deichselanhängers [kg]	23737
18.3	Technisch zulässige größte Anhängelast des Zugfahrzeuges bei Beförderung eines Zentralachsanhängers [kg]	13216
18.4	Technisch zulässige Masse eines Anhängers (ungebremst) [kg]	1500
16.4	Technisch zulässige Gesamtmasse der Fahrzeugkombination im beladenen Zustand [kg]	44000
20	Hersteller Antriebsmaschine	MAN
21	Baumusterbezeichnung des Herstellers gemäß Kennzeichnung am Motor	D2676LF79
22	Arbeitsverfahren / Antriebsart / direkte Einspritzung	Selbstzündung / - / -
23	Reiner Elektroantrieb [Ja/Nein]	Nein
23.1	Hybrid-(Elektro-)Fahrzeug, Code	Nein N
24	Anzahl und Anordnung der Zylinder	6 / in Reihe stehend
25	Hubraum [cm³]	12419
26	Kraftstoff, Code	Diesel
P2	Leistungsangabe im Zulassungsschein [kW]	346,00 / 1800
27	Nennleistung Verbrennungsmotor in [kW]	346,00
26.1	Mono/Bi/Flexfuel	Monofuel
28	Getriebe (Typ)	automatisiertes Schaltgetriebe
A13	Bereifung und Räder Zeile 1	A1/3: 385/65R22,5 164/- K 22,5x11,75 ET120
A13	Bereifung und Räder Zeile 2	A2: 315/80R22,5 - /-150 L 22,5x9,00 ET161
A13	Bereifung und Räder Zeile 3	-
1.1	Anzahl/Lage Achsen mit Doppelbereifung	1//2.
36	Bremsanlage (Kurzbeschr. bzw. Anh.-Bremsanschlüsse)	pneumatisch
37	Druck in der Versorgungsleitung des Anhänger-Bremsystems [bar]	8,5 bar
A8	Art des Aufbaues, Österreichischer Nationaler Code	Spezialaufbauten, 99 / mit Anbauplatte KAHLBACHER 45154502-01, für Winterdienstesatz (Salzstreuung)
38	Aufbaucode nach EU-Recht	Lastkraftwagen, BA
40 / R	Farbe des Fahrzeuges	Orange
41	Anzahl und Anordnung der Türen	2 / 1 links und 1 rechts
42	Anzahl und Lage der Sitze	2 / -
S1	Sitzplätze gesamt	2
44	EG-Typengenehmigungszeichen der Anhängervorrichtung, sofern vorhanden	E1 55R-01 0350
45.1	Kennwerte D, V, S, U der Anhängervorrichtung	130.0//35.0//1000
A9	Form der hinteren Kennzeichentafel	einzeilig
29	Höchstgeschwindigkeit [km/h]	90,00
T	Höchstgeschwindigkeit, Wert für Zulassungsbescheinigung [km/h]	90
46	Fahrgeräusch / Standgeräusch [dB(A)] / bei [1/min]	79,0 / 95,0 / 1350
48	Abgasverfahren nach (Basisrichtlinie i. d. F.), Abgaskl.	(EU)2018/932D / (EG)595/2009 / Euro VI
48	1.Prüfverfahren (Typ I, ESC, NEFZ, WLTP, WHSC, NRSC) CO/HC/NOx/HC+NOx/Partikel [g/km]	0,0072 / 0,0227 / 0,3077 / - / 0,0012
48	2.Prüfverfahren (ETC, WHTC, NRTC) CO/NOx/NMHC/THC/CH4/Partikel [g/km]	0,0243 / 0,2533 / - / 0,0380 / - / 0,0013
48	Partikelzahl (Typ I, ESC, NEFZ-Euro6, WLTP, WHSC, NRSC) [1/km]	3,04E11
48.1	Korrigierter Wert des Absorptionskoeffizienten [m-1]	0,3600

A16	Farbe der Begutachtungsplakette	weiß
49.1	NEFZ CO ₂ -Emission innerorts / außerorts / kombiniert [g/km]	- / - / -
49	Einheit Kraftstoffverbrauch	nicht zutreffend oder l/100km
49.1	NEFZ Kraftstoffverbrauch innerorts / außerorts / komb. [nicht zutreffend oder l/100km]	- / - / -
49.3	Fahrzeug mit Ökoinnovation(en) ausgestattet: Ja/Nein	Nein
Anmerkungen: SCHLUSSQUERTRÄGER V=70.0;D=200.0;DC=130.0KN* zu Technisch zulässige maximale Achslast [kg] Achse 1 bis 62 km/h: 10000; Aufbau für Winterdienststeinsatz (Salzstreuung)		
Ausnahmen: §24 KFG 1967 - EG-Kontrollgerät nicht entspr.EWG-VO Nr. 3821/85 Anh IB (kein digitales Kontrollgerät)		
Ausnahmegenehmigung §34a KFG (auslaufende Serie) erteilt, hinsichtlich: 68 - UN-Regelung Nr. 16 - ÄS 07 Gurtwarner 69 - UN-Regelung Nr. 58 - ÄS 03 hinterer Unterfahrschutz 70 - UN-Regelung Nr. 79 - ÄS 02 Lenkanlage		
A4	Verwendungsbestimmung 1 aus Genehmigung, Code W18	keine Einschränkung
A4	Verwendungsbestimmung 2 aus Genehmigung, Code W18	keine Einschränkung
0.10	Metrische / angelsächsische Einheiten	Metrisch
0.10	Rechts- oder Linksverkehr	Rechtsverkehr

Die Genehmigung gilt nur, solange folgende Bedingungen eingehalten werden:
 Die Zulassung und Verwendung des Fahrzeuges ist nur im Rahmen der in der Verordnung (EG) 561/2006 Art.3 und § 24 Abs. 2b KFG angeführten Ausnahmestimmungen zulässig (kein digitales Kontrollgerät eingebaut).

7.3. Vergleich der Geschwindigkeits- und Motorlastcluster

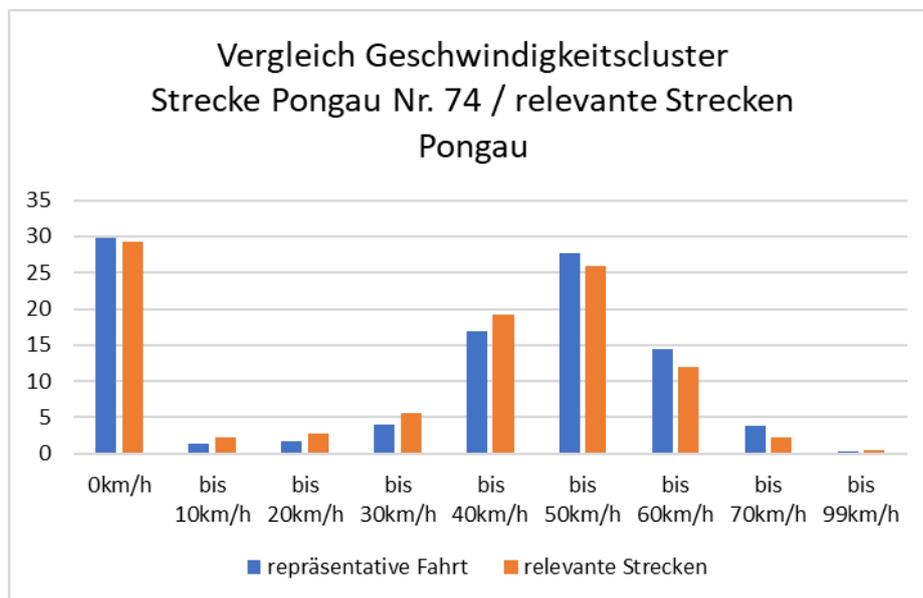


Abbildung 52: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Pongau Nr. 74 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau

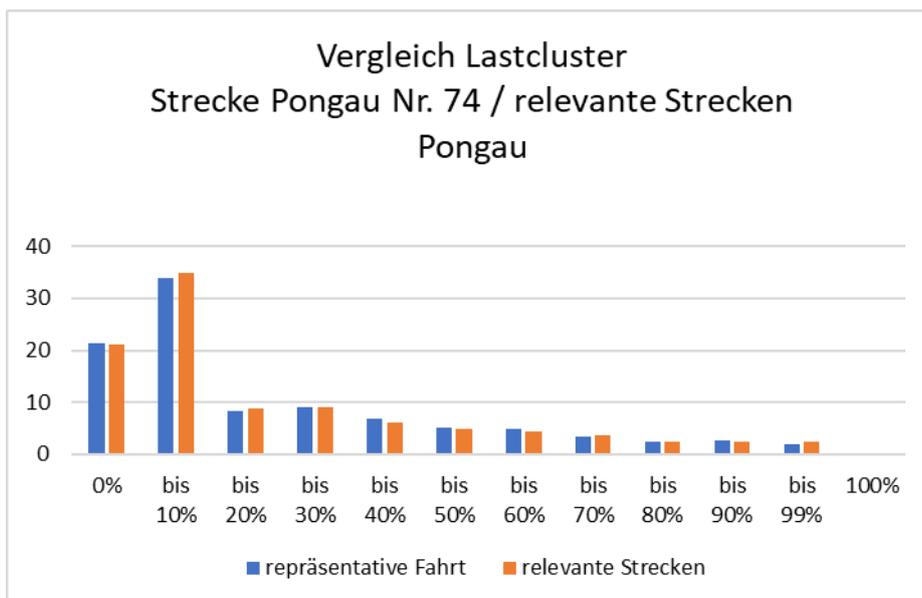


Abbildung 53: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Pongau Nr. 74 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau

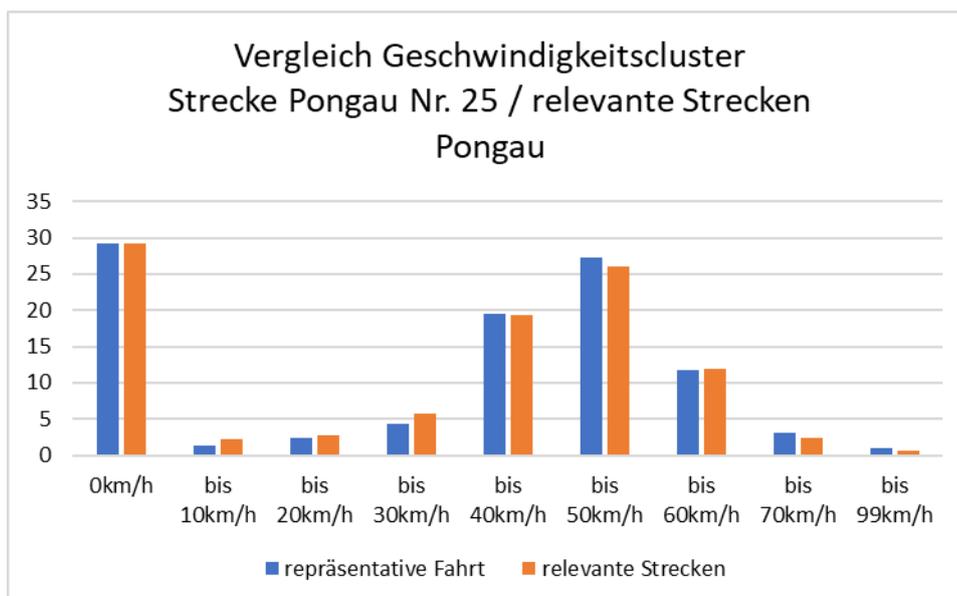


Abbildung 54: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Pongau Nr. 25 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau

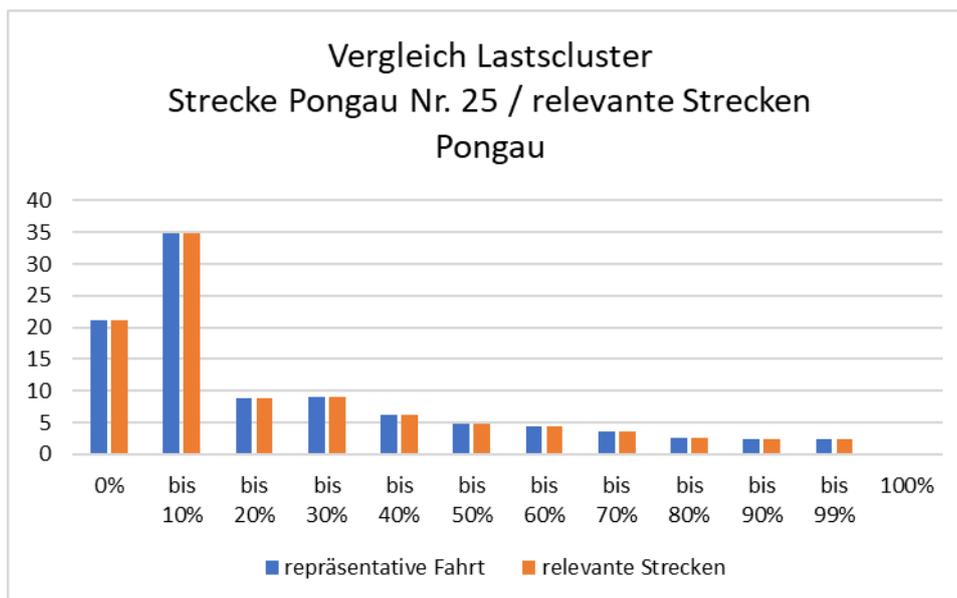


Abbildung 55: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Pongau Nr. 25 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau

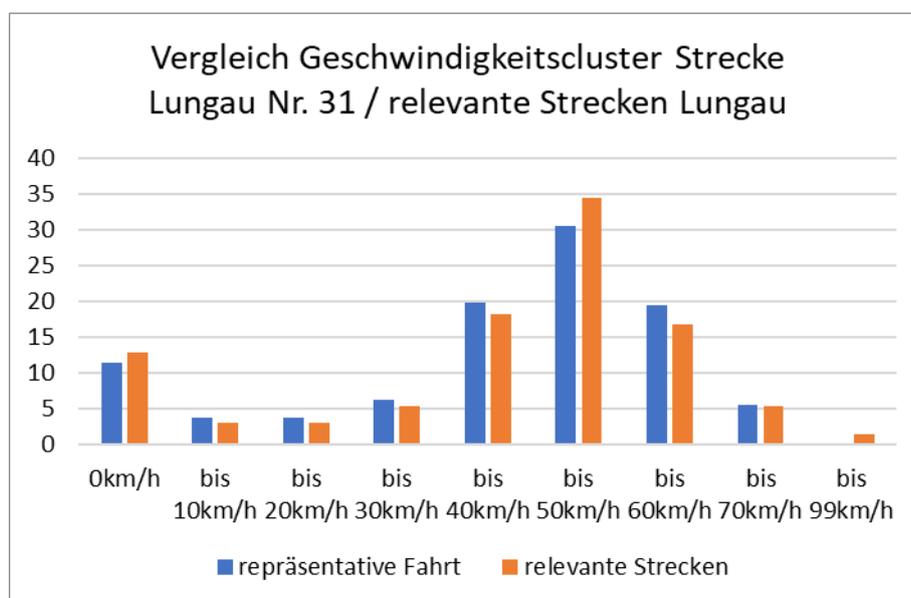


Abbildung 56: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Lungau Nr. 31 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau

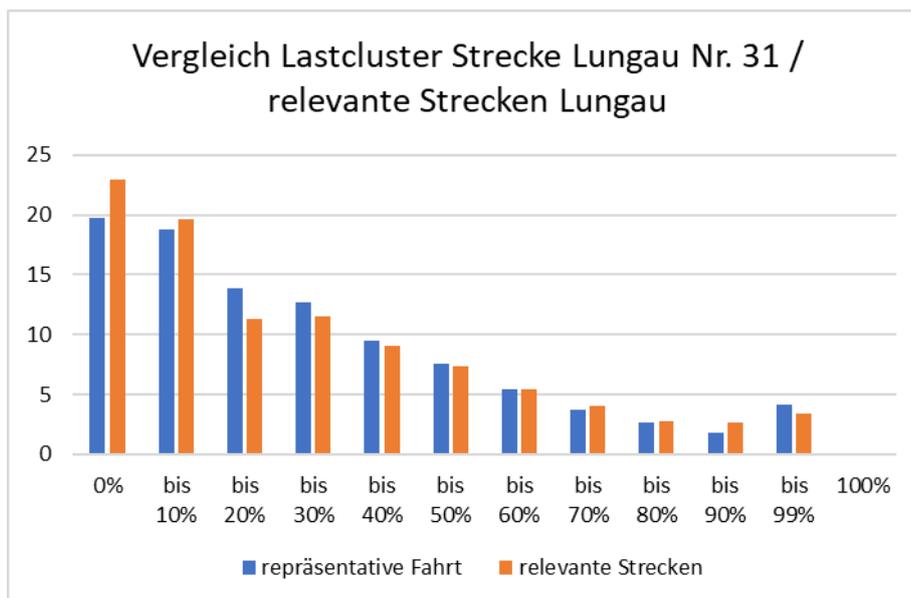


Abbildung 57: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Lungau Nr. 31 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau

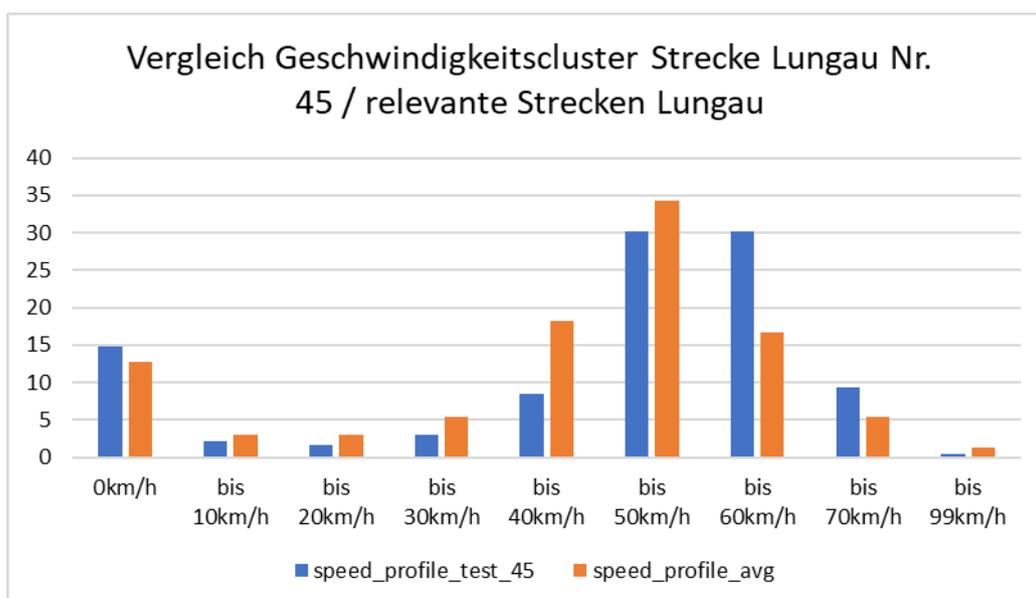


Abbildung 58: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Lungau Nr. 45 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau

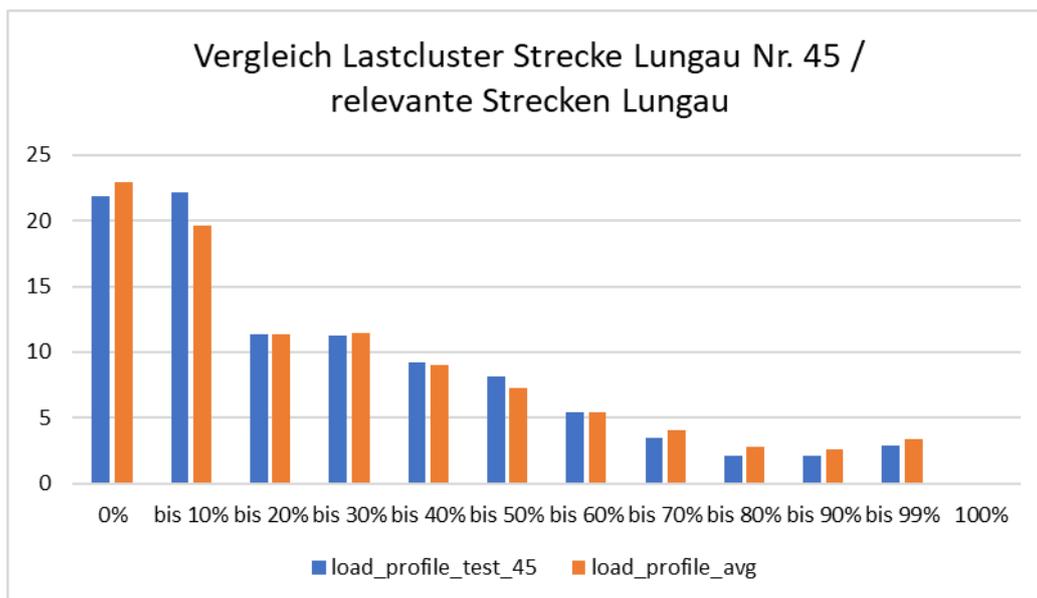


Abbildung 59: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Lungau Nr. 45 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Presstext Neste MY Renewable Diesel HVO.....	9
Abbildung 2: Workflow der HVO100 Untersuchungen.....	10
Abbildung 3: Fahrzeug Lungau Frontansicht.....	11
Abbildung 4: Fahrzeug Lungau Heckansicht.....	11
Abbildung 5: Fahrzeug Pongau Frontansicht	12
Abbildung 6: Fahrzeug Pongau Heckansicht	13
Abbildung 7: Messaufbau PEMS in Gitterbox am Fahrzeug.....	15
Abbildung 8: Fahrzeug inkl. PEMS im Messbetrieb.....	15
Abbildung 9: exemplarisches Fahrprofil mit Fahrzeuggeschwindigkeit und Motorleistung über der Fahrzeit	18
Abbildung 10: Übersicht Randbedingungen der verschiedenen Testfahrten	19
Abbildung 11: geleistete Arbeit je Fahrstrecke für alle Testfahrten.....	20
Abbildung 12: Leistung bei der Katschbergauffahrt für alle Testfahrten	20
Abbildung 13: Drehzahl bei der Katschbergauffahrt für alle Testfahrten.....	21
Abbildung 14: Übersicht Kühlwassertemperaturen über den gesamten Testverlauf	21
Abbildung 15: Durchschnittsgeschwindigkeiten für die einzelnen Testphasen, Test 2.....	22
Abbildung 16: Fahrzeuggeschwindigkeit über der Zeit, Volllastpassage Katschberg, alle Testfahrten	22
Abbildung 17: Leistung über der Zeit, Volllastpassage Katschberg, alle Testfahrten.....	23
Abbildung 18: CO ₂ -Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten.....	24
Abbildung 19: Kraftstoffverbrauch in l/100km, Gesamttest, alle Testfahrten.....	25
Abbildung 20: Kraftstoffverbrauch in g/kWh, Gesamttest, alle Testfahrten	26
Abbildung 21: CO-Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten.....	27
Abbildung 22: NO _x -EO Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten	28
Abbildung 23: NO _x -TP Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten.....	29
Abbildung 24: NO _x -TP Emissionen kumuliert über der Zeit, Gesamttest, alle Testfahrten	29
Abbildung 25: Abgastemperatur nach AGN über der Zeit, Gesamttest, alle Testfahrten ..	30
Abbildung 26: PN Emissionen, Gesamttest, alle Testfahrten	30
Abbildung 27: Partikelanzahl Emissionen, Landesstraße - eben, alle Testfahrten.....	31
Abbildung 28: Partikelanzahl Emissionen, Katschberg - bergauf, alle Testfahrten	32
Abbildung 29: Workflow Auswahl repräsentative Strecken.....	36
Abbildung 30: Vergleich ausgewählte Strecken Lungau und Pongau mit absoluter Abweichung zum Mittelwert Geschwindigkeitsprofil und Motorlastprofil	37
Abbildung 31: Geschwindigkeitsprofil der repräsentativen Strecke Pongau Nr. 74.....	38
Abbildung 32: Motorlastprofil der repräsentativen Strecke Pongau Nr. 74.....	38
Abbildung 33: Höhenprofil der repräsentativen Strecke Pongau Nr. 74.....	38
Abbildung 34: Geschwindigkeitsprofil der repräsentativen Strecke Lungau Nr. 31	39
Abbildung 35: Motorlastprofil der repräsentativen Strecke Lungau Nr. 31	39

Abbildung 36: Höhenprofil der repräsentativen Strecke Lungau Nr. 31	39
Abbildung 37: Vergleich durchschnittlicher volumetrischer Verbrauch der Kraftstoffe HVO100 und Diesel B7	41
Abbildung 38: Vergleich spezifische chemische Energie je km der Kraftstoffe HVO100 und Diesel B7	41
Abbildung 39: Vergleich Motorarbeit und chemische Energie der Kraftstoffe HVO100 und Diesel B7	42
Abbildung 40: Vergleich spezifische innere Motorarbeit bezogen auf die chemische Kraftstoffenergie HVO100 und Diesel B7	42
Abbildung 41: Workflow zur Kreuzsimulation mit 2 Vergleichsstrecken und Motorkennfelder für HVO und Diesel B7 Kraftstoffbetrieb.....	43
Abbildung 42: Schema Kreuzsimulation.....	44
Abbildung 43: Verbrauchskennfeld HVO100.....	45
Abbildung 44: Verbrauchskennfeld Diesel B7	46
Abbildung 45: Streckenprofil 1 Pongau Nr. 74	47
Abbildung 46: Streckenprofil 2 Lungau Nr. 31	47
Abbildung 47: Kraftstoffverbrauch, Ergebnisse Kreuzsimulation	48
Abbildung 48: Kraftstoffverbrauch, Ergebnisse Kreuzsimulation in Abschnitten	48
Abbildung 49: lebenszyklische TTW und WTT CO ₂ Emissionen, Strecke Pongau, Kraftstoffeigenschaften ISO 14083	50
Abbildung 50: lebenszyklische TTW und WTT CO ₂ Emissionen aufgeteilt in biogene und fossile Anteile, Strecke Pongau, Kraftstoffeigenschaften ISO 14083.....	50
Abbildung 51: lebenszyklische TTW und WTT CO ₂ Emissionen, Strecke Pongau, Kraftstoffeigenschaften Neste	51
Abbildung 52: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Pongau Nr. 74 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau	59
Abbildung 53: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Pongau Nr. 74 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau.....	60
Abbildung 54: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Pongau Nr. 25 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau	60
Abbildung 55: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Pongau Nr. 25 / Mittelwert aller relevanten Strecken Pongau.....	61
Abbildung 56: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Lungau Nr. 31 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau.....	61
Abbildung 57: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Lungau Nr. 31 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau	62
Abbildung 58: Vergleich der Geschwindigkeitscluster Strecke Lungau Nr. 45 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau.....	62
Abbildung 59: Vergleich der Motorlastcluster Strecke Lungau Nr. 45 / Mittelwert aller relevanten Strecken Lungau	63