

FUELS JOINT
RESEARCH GROUP



Band 15

Kristin Götz, Stefan Zickmann, Barbara Fey, Jürgen Bünger,
Wolfgang Stapf, Zhu Fan, Thomas Garbe, Axel Munack,
Jürgen Krahl

Diesel R33

Herausgeber: Jürgen Krahl, Axel Munack, Peter Eilts, Jürgen Bünger



Cuvillier Verlag Göttingen



Abschlussbericht zum Projektvorhaben







Abschlussbericht zum Projektvorhaben



Kristin Götz¹, Stefan Zickmann², Barbara Fey³, Jürgen Büniger⁴, Wolfgang Stapf⁵, Zhu Fan¹,
Thomas Garbe⁶, Axel Munack³, Jürgen Krahl¹

¹ Technologietransferzentrum Automotive der Hochschule Coburg (TAC)

² Automobil-Prüftechnik Landau

³ Thünen-Institut für Agrartechnologie

⁴ Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik

⁵ Continental

⁶ Volkswagen AG

„Investition in Ihre Zukunft“



Das Vorhaben
wird von der Europäischen Union aus dem
Europäischen Fonds für regionale Entwicklung
und vom Freistaat Bayern kofinanziert.



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2015

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2015

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2015

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9169-9

eISBN 978-3-7369-8169-0





Abschlussbericht zum Projektvorhaben



Förderkennzeichen:

TEU01EU-62989

Projektlaufzeit:

08.04.2013 bis 07.07.2015



PROJEKTLEITUNG:

Prof. Dr. Jürgen Krahl
Hochschule für angewandte Wissenschaften
Technologietransferzentrum Automotive
der Hochschule Coburg (TAC)
Friedrich-Streib-Str. 2
96450 Coburg
Tel.: +49 9561 317 127
Fax: +49 9561 314 316

PROJEKTPARTNER 1:

Jürgen Bernath
ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH
Trentiner Ring 30
D-86356 Neusäss
Tel.: +49 821 450 423 11
Fax: +49 821 486 25 19

PROJEKTPARTNER 2:

Ralf Wank
Autohaus Heinrich-G. Bender GmbH & Co.
KG
Rosenauer Straße 113
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 865 150
Fax: +49 9561 513 861 50

PROJEKTPARTNER 3:

Axel Graf Buelow
Bundesverband Freier Tankstellen e.V.
Georgenstraße 23
D-10117 Berlin
Tel.: +49 228 910290
Fax.: +49 228 9102929

PROJEKTPARTNER 4:

Wolfgang Stapf
Continental
POB 100943
D-93009 Regensburg
Tel.: +49 941 790 92001
Fax: +49 941 790 9992001

PROJEKTPARTNER 5:

Stefan Schreiner
Coburger Entsorgungs- und Baubetriebe
Bamberger Str. 2-6
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 749 5320
Fax.: +49 9561 749 5832

PROJEKTPARTNER 6:

Petra Sorsche
Daimler AG
D-70546 Stuttgart
Tel.: +49 711 17 55730
Fax: +49 711 17 59756

PROJEKTPARTNER 7:

Dr. Martin Müller
ERC Additiv GmbH
Bäckerstraße 13
D-21244 Buchholz i.d.N.
Tel.: +49 4181 216 530
Fax: +49 4181 216 599

PROJEKTPARTNER 8:

Harald Schlotter
Erik Walther GmbH & Co. KG
Hafenstraße 2
D-97424 Schweinfurt
Tel.: +49 9721 6587 0
Fax: +49 9721 6587 65

PROJEKTPARTNER 9:

Peter Fischer
HUK Coburg
Bahnhofsplatz 1
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 96 45100
Fax: +49 9561 96 45109

PROJEKTPARTNER 10:

Robert Welsch
Lasco Umformtechnik GmbH
Hahnweg 139
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 642 202



PROJEKTPARTNER 11:

Johannes Lehken
Neste (Suisse) S. A.
Chemin des Coquelicots 16
1214 Vernier-Geneva
Schweiz
Tel.: +41 79 391 8657

PROJEKTPARTNER 12:

Omnibusverkehr Franken GmbH
Bamberger Str. 2-6
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 749-2484
Fax.: +49 9561 749-2499

PROJEKTPARTNER 13:

Prof. Dr. Jürgen Bünger
Steinbeis Transferzentrum Biokraftstoffe
und Umweltmesstechnik (STZ)
Draesekestraße 10
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 36869
Fax: +49 9561 319654

PROJEKTPARTNER 14:

Raimund Angermüller
Städtische Werke Überlandwerke Coburg
GmbH
Bamberger Str. 2-6
D-96450 Coburg
Tel.: +49 9561 865 111
Fax: +49 9561 513 861 50

PROJEKTPARTNER 15:

Michael Lendl
TECOSOL GmbH
Jahnstraße 2
D-97199 Ochsenfurt
Tel.: +49 9331 9815 33
Fax: +49 9331 98155 50

PROJEKTPARTNER 16:

Prof. Dr.-Ing. Axel Munack
Thünen-Institut für Agrartechnologie (TI)
Bundesallee 50
D-96450 Braunschweig
Tel.: +49 531 596 4201
Fax: +49 531 596 4299

PROJEKTPARTNER 17:

Dieter Bockey
Union zur Förderung von Oel- und Protein-
pflanzen e.V. (UFOP)
Claire-Waldoff-Str. 7
D-10117 Berlin
Tel.: +49 30 31904 486
Fax: +49 30 31904 485

PROJEKTPARTNER 18:

Dr. Thomas Garbe
Volkswagen AG
Brieffach 1769
D-38436 Wolfsburg
Tel.: +49 9561 865 111
Fax: +49 9561 513 861 50

Förderung:

Dieses Projekt wird von der Europäischen
Union aus dem Europäischen Fonds für re-
gionale Entwicklung und vom Bayerischen
Staatsministerium für Umwelt und Ver-
braucherschutz kofinanziert



Kurzzusammenfassung

Die Erfahrung bei der Einführung von Biokraftstoffen lehrt, dass von Anfang an die Automobilhersteller, deren Zulieferer, die Kraftstofflieferanten, die Wissenschaft, die Landwirtschaft und die Anwender sowie die politischen Entscheidungsträger eingebunden sein müssen. Darüber hinaus kommt der Kommunikationsstrategie eine herausragend wichtige Bedeutung zu.

Die Markteinführung von Biodiesel Mitte der neunziger Jahre und unlängst die von E10 haben die Notwendigkeit eines großen interdisziplinären und ganzheitlichen Ansatzes unter Beweis gestellt.

Daher erschien es von Anfang an zielführend, 19 unterschiedliche Partner, die zusammen ein interdisziplinäres Team bilden, in die Entwicklung und die in die Erprobung eines neuen Kraftstoffs einzubinden.

Das Konsortium konnte dabei auf die Erfahrung aus dem Projekt *Diesel regenerativ* aufbauen, das von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit kofinanziert wurde und einen erfolgreichen Abschluss fand. *Diesel regenerativ* bestand aus reinem HVO mit Biodieselbeimischung von zwei bzw. sieben Prozent. Er zeigte positive Eigenschaften, aber erfüllte aufgrund seiner zu geringen Dichte die Dieselmotornorm DIN EN 590 nicht. Hier sollte Abhilfe geschaffen werden.

Die Wahl fiel auf einen Kraftstoff, der zu sieben Prozent aus Altspeiseölmethylester, zu 26 % aus HVO sowie aus einem qualitativ hochwertig additivierten Dieselmotorkraftstoff besteht und im Dichtebereich für Dieselmotorkraftstoffe liegt. Diese neue Kraftstoffformulierung erhielt den Namen *Diesel R33* und erfüllt die DIN EN 590 und die 10. BImSchV. Der Begriff *Diesel R33* drückt den Regenerativitätsgrad von 33 Prozent aus.

Maßgebende Entwicklungsziele waren die Normkonformität und die Ermöglichung nachhaltiger Mobilität bei uneingeschränkter technischer Kompatibilität. Mit Blick auf die Nachhaltigkeit wurde Biodiesel in Form von Altspeiseölmethylester verwendet. Dieser wurde überwiegend aus gebrauchtem Speiseöl hergestellt, das in der Region Coburg eingesammelt wurde. Das HVO wurde aus Rapsöl und nachhaltigem Palmöl produziert.

Von wesentlicher Bedeutung war die Berechnung des Klimagaseffekts von *Diesel R33*. Eigens für dieses Ziel wurde die Internationale Energieagentur Bioenergy (Task 39) über eine wissenschaftlich auf diesem Sektor ausgewiesene Person in das Vorhaben eingebunden.

Das technische Ziel bestand in der Eignungsprüfung von *Diesel R33*. Dafür wurde der neue Kraftstoff in Coburg in einem Flottenversuch getestet. Die Flotte bestand aus rund 280 Fahrzeugen (Lkw, Pkw, Busse und mobile Arbeitsmaschinen) der Abgasklassen Euro 0 bis Euro 6. Neben der Eignungsprüfung für den gesamten deutschen Fahrzeugbestand war auch die Abgasuntersuchung ein sehr wichtiges Projektziel.

Fast alle neuen Diesel-Pkw sind heute mit Dieselpartikelfiltern (DPF) ausgestattet. Bei deren Einführung zur Mitte der letzten Dekade erhob sich das technische Problem, den DPF gelegentlich reinigen zu müssen. Technisch gelingt das über die sogenannte Kraftstoffnacheinspritzung in den DPF. Der Nutzer merkt gewöhnlich nicht, wann sein Fahrzeug den DPF regeneriert. Die Nacheinspritzung hat jedoch zur Folge, dass Kraftstoff unerwünschterweise über



die Kolbenwände ins Motoröl gelangt. Reiner Dieseldieselkraftstoff kann aus dem Motoröl aufgrund der hohen Temperaturen und der geringen Siedelage (170 – 380 °C) zu großen Teilen destillieren. Biodiesel hingegen besitzt einen Siedebereich zwischen 320 °C bis 360 °C und verbleibt aus diesem Grund im Motoröl, wo er zu erheblichen Schäden führt. Aus diesem Grund liegt die heute erlaubte Biodieselbeimischung in Dieseldieselkraftstoff bei maximal sieben Prozent. *Dieseldiesel R33* konnte daher auch nur bis zu sieben Prozent Biodiesel enthalten, um noch normgerecht zu sein. Da sich der HVO-Anteil wie Dieseldieselkraftstoff im Motoröl verhält und dieses zu großen Teilen wieder verlässt, bestand ein wissenschaftliches Ziel in der Untersuchung des Einflusses von *Dieseldiesel R33* auf die Ölalterung.

An den hohen HVO-Anteil knüpfte sich das mögliche Potenzial von *Dieseldiesel R33*, als emissionsarmer Innenstadtkraftstoff und damit als Kraftstoff mit verlängertem Ölwechselintervall geeignet zu sein. Dieses zu untersuchen war ebenfalls ein Projektziel.

An der Walther Tankstelle in Coburg wurden vom 01.08.2013 bis zum 04.03.2015 insgesamt 214.100 Liter *Dieseldiesel R33* verkauft. Zusätzlich versorgte die SÜC Betriebstankstelle in Coburg die eigene Flotte mit 1.685.408 Litern *Dieseldiesel R33*. In Summe wurden 1.899.508 Liter *Dieseldiesel R33* verbraucht, ohne dass es zu Schäden kam.

Um die Technologiebrücke zu zukünftigen Kraftstoffen zu beschreiten, die nicht der so genannten Teller-Trog-Tank-Diskussion unterliegen, wurde ein Fahrzeug der *Dieseldiesel R33*-Versuchsflotte mit einem HVO-Äquivalent aus hydriertem Algenöl betrieben. Ein weiteres Fahrzeug wurde mit *Dieseldiesel R33* getestet, bei dem der HVO-Anteil aus hydriertem Hefeöl bestand. *Dieseldiesel R33* stellt somit kein Einzelprodukt dar, sondern ist eine Produktfamilie, die offen für unterschiedliche Kraftstoffprovenienzen ist.

Im Flottentest wurden fünf Fahrzeuge auf ihre Emissionen geprüft. An je einem Euro 3-, Euro 5- und Euro 6-Pkw wurden zusätzlich die nicht limitierten Emissionen und die Mutagenität des Abgases untersucht. Bei allen Tests wurde *Dieseldiesel R33* mit fossilem Dieseldieselkraftstoff verglichen. Diese Vergleichsmessungen erfolgten jeweils zu Projektbeginn und wurden alle zum Projektende erneut durchgeführt, um zu überprüfen, ob *Dieseldiesel R33* überproportional zur Alterung der Fahrzeuge beiträgt.

Dieseldiesel R33 wurde in allen Fahrzeugen störungsfrei eingesetzt. Der hohe Biogenitätsgehalt stellt kein Problem dar. Ein durch *Dieseldiesel R33* hervorgerufener Alterungseffekt war nicht zu beobachten.

Auch die Fahrzeuge im Betrieb mit *Dieseldiesel R33* auf Alge- bzw. Hefeölbasis zeigten keine Auffälligkeiten.

Im Ergebnis ist Folgendes festzustellen:

Dieseldiesel R33 führt zu

- einer Treibhausgasminderung von ca. 17 %,
- einer Reduzierung der limitierten gasförmigen Abgaskomponenten,
- aber einem leichten Anstieg der Stickoxidemissionen – allerdings ohne Grenzwertüberschreitung,



- einer deutlichen Aldehydminderung von bis zu 60 %,
- einer Minderung der PAK-Emissionen und
- einer deutlichen Reduzierung der Mutagenität bei älteren Fahrzeugkonzepten (Euro 3).

Die Motorölanalysen zeigten weder Vor- noch Nachteile für *Diesel R33* im Vergleich zu fossilem Dieselkraftstoff.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenbeschreibung	27
2. Kraftstoffkomponenten.....	30
2.1. Dieseldieselkraftstoff.....	30
2.2. Hydriertes Pflanzenöl	30
2.3. Biodiesel	31
2.4. Additive	31
3. Quotenhandel.....	33
4. Treibhausgasbilanzierung.....	34
4.1. Verwendetes Modell	34
4.2. Dieseldieselkraftstoff.....	36
4.3. Altspeiseölmethylester.....	37
4.4. Hydriertes Pflanzenöl	38
4.5. Diesel R33	39
5. Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden.....	41
5.1. Prüfung der Materialkompatibilität	41
5.2. Bekundung der Einspritzsysteme	41
5.3. Untersuchung von Kraftstoff-Kraftstoff-Wechselwirkungsuntersuchungen	42
5.3.1. Versuchsaufbau	42
5.3.2. Gelpermeations-Chromatographie (GPC)	43
5.4. Ablagerungsuntersuchungen in Kraftstoff- und Ölfiltren	44
5.5. Motorölanalysen	46
5.5.1. Bestimmung des Kraftstoffgehaltes in Motoröl.....	49
5.5.2. Bestimmung von Viskosität und Dichte	50
5.5.3. Bestimmung des Metallgehalts	50
5.5.4. Zeitaufgelöste laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie (ZLIF)	51
5.6. Abgaskomponenten	53
5.6.1. Limitierte Abgaskomponenten.....	53
5.6.2. Nicht limitierte Abgaskomponenten	54
5.6.3. Bestimmung der Aldehyde	55
5.6.4. Bestimmung der PAK.....	58
5.6.4.1. Probenahme	58
5.6.4.2. Extraktion und Probenvorbereitung.....	58
5.6.4.3. Extraktion und Probenvorbereitung der Filterproben	58



5.6.4.4.	Extraktion und Probenvorbereitung der PU-Schäume.....	59
5.6.4.5.	HPLC-Messungen.....	59
5.6.5.	Partikelanzahl und Partikelanzahlverteilung.....	62
5.6.6.	Mutagenität der organisch löslichen Partikelfraktion.....	64
5.6.6.1.	Probenahmesystem für Mutagenitätsuntersuchungen.....	64
5.6.6.2.	Extraktion der filtergesammelten Partikel und Aufarbeitung der Kondensate	66
5.6.6.3.	Mutagenität (Bakterieller Rückmutationstest, Ames-Test)	66
5.6.6.4.	Akzeptanzkriterien und statistische Analyse.....	67
6.	Ergebnisse und Diskussion aus den angewandten wissenschaftlichen und technischen Methoden.....	68
6.1.	Prüfung der Materialkompatibilität	68
6.2.	Bekundung der Einspritzsysteme	69
6.3.	Kraftstoff-Kraftstoff-Wechselwirkungsuntersuchungen.....	69
6.3.1.	Alterungsmatrix für die Kraftstoff-Kraftstoff-Wechselwirkungsuntersuchung.....	69
6.3.2.	Ergebnisse	71
6.3.2.1.	Optische Ergebnisse	71
6.3.2.2.	GPC-Analysen	75
6.3.2.3.	Zusammenfassung der Wechselwirkungen.....	79
6.4.	Ablagerungsuntersuchungen in Kraftstoff- und Ölfiltern	81
6.5.	Motorölanalysen	84
6.6.	Abgaskomponenten	97
6.6.1.	Limitierte Abgaskomponenten.....	97
6.6.2.	Nicht limitierte Abgaskomponenten.....	101
6.6.2.1.	Carbonylemissionen (Aldehyde und Ketone).....	102
6.6.2.2.	PAK-Emissionen	102
6.6.2.3.	Partikelanzahl und Partikelanzahlverteilung.....	109
6.6.2.4.	Wirkuntersuchungen (Ames-Tests).....	112
7.	Resümee	115
A.	Pressespiegel	125
A.1.	Pressespiegel 2013	125
A.2.	Pressespiegel 2014	131
A.3.	Pressespiegel 2015	135
B.	Vortragsspiegel.....	140
B.1.	Vortragsspiegel 2013.....	140
B.2.	Vortragsspiegel 2014.....	144
B.3.	Vortragsspiegel 2015.....	146



C.	Tabellen zur THG-Berechnung.....	148
D.	Kraftstoff-Kraftstoff-Wechselwirkungen.....	150
D.1.	Visueller Vergleich weiterer Proben.....	150
D.2.	GPC-Messungen weiterer Proben.....	154
D.3.	Analysedaten der verwendeten Dieselkraftstoffe.....	159
D.4.	Heizölnorm DIN 51603.....	161
E.	Ablagerungsuntersuchungen.....	163
E.1.	Ablagerungsuntersuchung im Kraftstofffilter.....	163
E.2.	Ablagerungsuntersuchung im Ölfilter.....	164
E.3.	Ablagerungsuntersuchung im Motoröl.....	166
F.	Motorölanalysen.....	185
F.1.	Analysen des Kraftstoffgehaltes im Motoröl.....	185
F.2.	Analysen der Basen- und Säurezahl des Motoröls.....	186
F.3.	Analysen des Rußgehaltes im Motoröl.....	187
F.4.	Analyse des Additivgehaltes.....	188
G.	Abgaskomponenten.....	189
G.1.	Limitierte Abgaskomponenten.....	189
G.2.	Nicht limitierte Abgaskomponenten.....	190



Abkürzungsverzeichnis

λ_{em}	Emissionswellenlänge	e_u	Emissionen bei der Nutzung des Kraftstoffs
λ_{ex}	Anregungswellenlänge	2-AF	2-Aminofluoren
E	Gesamtemissionen bei der Verwendung des Kraftstoffs	3-NBA	3-Nitrobenzanthron
e_{ccr}	Emissionseinsparung durch Abscheidung und Ersetzung von Kohlendioxid	A/D	Analog/Digital
e_{ccs}	Emissionseinsparung durch Abscheidung und geologische Speicherung von Kohlendioxid	Ace	Acenaphthen
e_{ec}	Emission bei der Gewinnung oder beim Anbau der Rohstoffe	Ant	Anthracen
e_{ee}	Emissionseinsparung durch überschüssige Elektrizität aus Kraft-Wärme-Kopplung	ASG	ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH
e_l	Auf das Jahr umgerechnete Emissionen aufgrund von Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen	BaA	Benz[a]anthracen
e_p	Emissionen bei der Verarbeitung	BaPyr	Benzo[a]pyren
e_{sca}	Emissionseinsparung durch Akkumulierung von Kohlenstoff im Boden infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken	BbFla	Benzo[b]fluoranthren
e_{td}	Emissionen bei Transport und Vertrieb	Bender	Autohaus Heinrich-G. Bender GmbH & Co KG
		BHT	Butylhydroxytoluol
		BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
		BkFla	Benzo[k]fluoranthren
		BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
		BPer	Benzo[ghi]perylen
		C	Aktivkohlefilter (Carbon filter)
		CFPP	Cold filter plugging point
		CFV	Venturi Düse (Critical Flow Venturi)
		Chr	Chrysen
		CPC	Kondensationspartikelzähler
		CVS	Verdünnungstunnel mit konstantem Volumen



CZ	Cetanzahl	DK_{hS,IA}U_{o.BHT}ADD	65 % Dieselkraftstoff (hS,IA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive
DACC	Donor-Akzeptor-Komplex-Chromatographie		
DAD	Diodenarray		
Daimler	Daimler AG		
DBAnt	Dibenz[a,h]anthracen	DK_{IS,hA}R_{o.BHT}	65 % Dieselkraftstoff (IS,hA) mit 7 % Rapsölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl
DCM	Dichlormethan		
DK	Diesekraftstoff		
DKB5	Diesekraftstoff mit 5 % Biodieselbeimischung (Zertifizierungskraftstoff)	DK_{IS,hA}R_{o.BHT}ADD	65 % Dieselkraftstoff (IS,hA) mit 7 % Rapsölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive
DK_{hS,IA}R_{o.BHT}	65 % Dieselkraftstoff (hS,IA) mit 7 % Rapsölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl		
DK_{hS,IA}R_{o.BHT}ADD	65 % Dieselkraftstoff (hS,IA) mit 7 % Rapsölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive	DK_{IS,hA}U_{m.BHT}	65 % Dieselkraftstoff (IS,hA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (mit BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl
DK_{hS,IA}U_{m.BHT}	65 % Dieselkraftstoff (hS,IA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (mit BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl	DK_{IS,hA}U_{m.BHT}ADD	65 % Dieselkraftstoff (IS,hA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (mit BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive
DK_{hS,IA}U_{m.BHT}ADD	65 % Dieselkraftstoff (hS,IA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (mit BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive	DK_{IS,hA}U_{o.BHT}	65 % Dieselkraftstoff (IS,hA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl
DK_{hS,IA}U_{o.BHT}	65 % Dieselkraftstoff (hS,IA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl	DK_{IS,hA}U_{o.BHT}ADD	65 % Dieselkraftstoff (IS,hA) mit 7 % Altspeiseölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive



DME	Dieselmotoremissionen		(ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive
DMSO	Dimethylsulfoxid		
DNPH	2,4-Dinitrophenylhydrazin		
DPF	Dieselpartikelfilter	HELU_{m.BHT}	65 % Heizöl mit 7 % Alt-speiseölmethylester (mit BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl
ECE	Economic Commission for Europe		
ELPI	elektronischer Niederdruckimpaktor	HELU_{m.BHTADD}	65 % Heizöl mit 7 % Alt-speiseölmethylester (mit BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive
EPA	Environmental Protection Agency		
ERC	ERC Additive GmbH		
ET	Verdampfungsrohr (Evaporation Tube)	HELU_{o.BHT}	65 % Heizöl mit 7 % Alt-speiseölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl
EU	Europäische Union		
FAME	Biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester)	HELU_{o.BHTADD}	65 % Heizöl mit 7 % Alt-speiseölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl und 500 ppm R33 Performance Additive
FID	Flammenionendetektor		
FL	Fluoreszenz		
Fla	Fluoranthren		
Flu	Fluoren	HEPA	High-Efficiency Particulate Air
GC	Gaschromatograph	HFRR	High frequency reciprocating rig
GPC	Gelpermeations-Chromatographie	HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
hA	Hoher Aromatenanteil	hS	Hoher Schwefelanteil
HC	Kohlenwasserstoffe	HSC	Hochschule Coburg
HDPE	Polyethylen hoher Dichte (High Density Polyethylene)	HUK	HUK-Versicherungsgruppe
HEL	Heizöl extra leicht	HVO	Hydriertes Pflanzenöl
HEL_{o.BHT}	65 % Heizöl mit 7 % Rapsölmethylester (ohne BHT) und 26 % hydriertes Pflanzenöl	HVOB7	Diesel regenerativ (HVO + 7 % Biodiesel)
HEL_{o.BHTADD}	65 % Heizöl mit 7 % Rapsölmethylester	ICCD	Intensified Charge-Coupled Device



ICCT	International Council on Clean Transportation	Oxikat	Oxidationskatalysator
ICP	Induktiv gekoppeltes Plasma	PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
IPA	Institut der Ruhr-Universität Bochum	PCF	Partikelvorimpaktor zum Entfernen großer Partikel (Particle pre-Classifier)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	PEG	Polyethylenglykol
IS	interner Standard	Phe	Phenanthren
JRC	Gemeinsame Forschungsstelle (Joint Research Center)	Pkw	Personenkraftwagen
IA	Niedriger Aromatenanteil	PM	Partikelmasse
LASCO	LASCO Umformtechnik GmbH	PNC	Partikelanzahlmessgerät (Particle Number Concentration measurement)
LCA	Lebenszyklusanalyse	PND	Verdünnungseinheit (Particle Number Dilution)
LCD	Flüssigkristallanzeige (liquid crystal display)	pQ	para-Quaterphenyl
Lkw	Lastkraftwagen	PSP	Probenahmesonde (Particulate Sampling Probe)
IPyr	Indeno[1,2,3-cd]pyren	PTFE	Polytetrafluorethylen
IS	Niedriger Schwefelanteil	PTT	Partikelprobenahmeleitung (Particle Transfer Tube)
MeOH	Methanol	PU	Polyurethan
MMS	Methylmethansulfonat	Pyr	Pyren
MS	Massenspektrometer	RED	Renewable Energy Directive
Mt	Megatonnen	RI	Brechzahlindex
Nap	Naphthalin	RME	Rapsölmethylester
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus	S9	Rattenleberextakt
Neste	Neste Renewable Fuels Oil	SCR	Selective Catalytic Reduction)
NO_x	Stickoxide	SDI	Saugdieselmotor
OECD	Guideline for Testing of Chemicals		
OES	Optische Emissionsspektroskopie		



StMUG	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit	UCOME	Altspeiseölmethylester (Used Cooking Oil Methyl Ester)
StMWi	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie	UFOP	Union für Oel- und Proteinpflanzen
		US	Vereinigte Staaten (von Amerika)
STZ	Steinbeis-Transferzentrum-Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik	UV	Ultra Violett
		UV	Ultraviolet
TAC	Technologietransferzentrum Automotive der Hochschule Coburg	VPR	Einheit zum entfernen flüchtiger Partikel (Volatile Particle Remover)
TAN	Säurezahl	TI	Thünen-Institut für Agrartechnologie
TBN	Basenzahl		
TDI	Turbodieselmotor	VW	Volkswagen AG
TEF	Wirkäquivalent (Toxic Equivalent Factor)	Walther	Erik Walther GmbH & Co. KG
THF	Tetrahydrofuran	WWFC	Worldwide Fuel Charter
THG	Treibhausgas		
THP	Treibhauspotenzial		
TI	Thünen-Institut für Agrartechnologie		
Tmax	Maximale Temperatur		



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reaktion des Herstellungsprozesses von HVO (Krahl et al. 2012)	30
Abbildung 2: Reaktion des Herstellungsprozesses von UCOME (Krahl et al. 2012).....	31
Abbildung 3: Lebenszyklus (nach O'Connor 2014).....	34
Abbildung 4: Vergleich der THG-Reduzierung mit vorgegebenen Dieselmotorkraftstoffwerten aus der Erneuerbaren Energien Richtlinie (Europäische Union 05.06.2009a), Joint Research Center und dem obersten sowie dem untersten nordamerikanischen Dieselmotorkraftstoffwert.....	40
Abbildung 5: Schematischer Alterungsaufbau nach (Bär, 2010).....	43
Abbildung 6: Strukturformel von Polyethylenglykol, $n \geq 1$	44
Abbildung 7: Schematischer Aufbau des ZLIF-Gerätes (OPTIMOS-System).....	52
Abbildung 8: Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ)	53
Abbildung 9: Schema: Rollenprüfstand und Probenahmesystem (VW, 2011)	54
Abbildung 10: Beispielhafter Nachweis eines Aldehyds durch Derivatisierung zum 2,4-Dinitrophenylhydrazon.....	56
Abbildung 11: Aufbau des verwendeten HPLC-Systems und Ablauf einer PAK-Messung	61
Abbildung 12: ELPI-Schema (Dekati Ltd., 2001)	63
Abbildung 13: Schematischer Aufbau und reeller Aufbau des Probenahmesystems TI.....	65
Abbildung 14: Einfluss der Lagerung nach 7 Tage bei 70 °C in Kraftstoffen auf das Elastizitätsmodul von PA66.....	68
Abbildung 15: Optischer Alterungsverlauf von 67 % $DK_{IS,hA} + 7\% UCOME_{m,BHT} + 26\% HVO$ ($DK_{IS,hA}U_{m,BHT}$) von 0 bis 80 Stunden.....	71
Abbildung 16: Optischer Alterungsverlauf von 67 % HEL + 7 % $UCOME_{o,BHT} + 26\% HVO$ ($HEL_{o,BHT}$) von 0 bis 80 Stunden	72
Abbildung 17: Optischer Alterungsverlauf von 66,95 % $DK_{IS,hA} + 7\% UCOME_{o,BHT} + 26\% HVO + 0,05\% R33$ Performance Additive ($DK_{IS,hA}U_{o,BHT}ADD$) von 0 bis 80 Stunden.....	73
Abbildung 18: Optischer Alterungsverlauf von 66,95% $DK_{hS,IA} + 7\% UCOME_{o,BHT} + 26\% HVO + 0,05\% R33$ Performance Additive ($DK_{hS,IA}U_{o,BHT}ADD$) von 0 bis 80 Stunden.....	73
Abbildung 19: Optischer Alterungsverlauf von 66,95% $DK_{IS,hA} + 7\% RME_{o,BHT} + 26\% HVO + 0,05\% R33$ Performance Additive ($DK_{IS,hA}R_{o,BHT}ADD$) 0 bis 80 Stunden	74
Abbildung 20: Optischer Alterungsverlauf von 66,95% $DK_{hS,IA} + 7\% RME_{o,BHT} + 26\% HVO + 0,05\% R33$ Performance Additive ($DK_{hS,IA}R_{o,BHT}ADD$) 0 bis 80 Stunden	74
Abbildung 21: Optischer Alterungsvergleich von 66,95% HEL + 7% $RME_{o,BHT} + 26\% HVO + 0,05\% R33$ Performance Additive ($HEL_{o,BHT}ADD$) von 0 bis 80 Stunden.....	75
Abbildung 22: GPC-Messung von 67 % $DK_{IS,hA} + 7\% UCOME_{m,BHT} + 26\% HVO$ ($DK_{IS,hA}U_{m,BHT}$)	76
Abbildung 23: GPC-Messung von 67 % HEL + 7 % $UCOME_{o,BHT} + 26\% HVO$ ($HEL_{o,BHT}$)	77