

# Neue Dieselkraftstoffe: Emissionen und Optimierungspotenziale

Axel Munack<sup>1)</sup>, Jürgen Krahl<sup>2)</sup>, Emine Capan<sup>1)</sup>, Liane Herbst<sup>1)</sup>, Andreas Kaufmann<sup>1)</sup>, Olaf Schröder<sup>1)</sup>, Hendrik Stein<sup>1)</sup> und Jürgen Büniger<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Institut für Technologie und Biosystemtechnik, FAL Braunschweig

<sup>2)</sup> FB Physikalische Technik und Allgemeinwissenschaften, Fachhochschule Coburg

<sup>3)</sup> Georg-August-Universität Göttingen

*Es wurden verschiedene fossile und biogene Kraftstoffe hinsichtlich ihrer Emissionen untersucht. Dabei handelte es sich um vier Biodieselqualitäten, die durch unterschiedliche Anteile von Raps-, Soja- und Palmölmethylester gewonnen wurden, einen Gas-to-Liquid-Kraftstoff (GTL), die neu eingeführten Kraftstoffe V-Power Diesel von Shell und Ultimate Diesel aus dem Hause Aral sowie zum Vergleich konventioneller Referenz-Dieselmethylester (DK).*

*Die Partikelmasse- und Stickoxidemissionen lagen bei der Verwendung von Dieselmethylester und GTL unterhalb der Grenzwerte. Der GTL-Kraftstoff bewirkte eine Absenkung dieser Emissionen im Vergleich zu DK. V-Power Diesel und Ultimate Diesel hatten keine Auswirkung auf die Stickoxidemissionen, senkten jedoch die Partikelemissionen leicht ab. Die Verwendung von Biodiesel senkte ebenfalls die Partikelmasseemissionen deutlich, führte jedoch zu einer Erhöhung der Stickoxidemissionen, so dass bei drei der vier Qualitäten der Abgasgrenzwert überschritten wurde, wohingegen er mit einer Charge eingehalten werden konnte. Bei den Partikelmasse- und Stickoxidemissionen unterschieden sich die Biodieselqualitäten untereinander beträchtlich.*

*Die partikulären Emissionen von RME sowie V-Power und Ultimate Dieselmethylester wurden im Vergleich zu DK auf ihre Mutagenität untersucht. Alle drei Kraftstoffe wirkten etwa 40-60 % weniger mutagen als DK.*

*Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Kraftstoffformulierung einen erheblichen Einfluss auf die Emissionen hat. Dieses Ergebnis ist insbesondere für Biodiesel von großer Bedeutung, weil das Ergebnis der Testreihe deutliche Hinweise darauf gibt, dass das Potenzial der Kraftstoffoptimierung bei Biodiesel mit Blick auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen noch nicht erschöpft ist.*

## Schlüsselwörter

Abgasemissionen, Dieselmethylester, Fettsäuremethylester, Biodiesel

## Einleitung und Zielsetzung

Der Absatz von Biodiesel (Fettsäuremethylester, FAME - in Deutschland meist Rapsölmethylester, RME) hat sich in den letzten Jahren schrittweise bis auf geschätzte 1.200.000 t im Jahre 2004 [1] erhöht; damit erreicht der biogene Kraftstoff einen Anteil von ca. 4,7 % am gesamten deutschen Dieselmethylesterabsatz. Biodiesel wird flächendeckend in

Deutschland an rund 1900 Tankstellen angeboten. Als Auslöser für diese Entwicklung gilt die Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen [2]. Ziel dieser Richtlinie ist die Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen im Verkehrssektor, beginnend bei 2 % im Jahre 2005 bis hin zu 5,75 % im Jahre 2010. Mit Blick auf die Endlichkeit der fossilen Ressourcen wird dadurch die Entwicklung der nachhaltigen Mobi-

lität gefördert. Bei der verstärkten Nutzung nachwachsender Rohstoffe sind außerdem positive ökologische Aspekte - wie zum Beispiel die Emissionsreduktion klimarelevanter Gase - aber auch die verantwortliche Pflege einer ländlichen Kulturlandschaft sowie der Erhalt landwirtschaftlicher Strukturen von großer Bedeutung.

Prinzipbedingt entstehen bei der motorischen Nutzung biogener Kraftstoffe in Verbrennungskraftmaschinen auch Produkte der unvollständigen Verbrennung sowie Stickoxide (NO<sub>x</sub>). Letztere führen bei Biodiesel durchschnittlich zu höheren Werten als bei fossilem Dieselmethylester [3].

Um den NO<sub>x</sub>-Nachteil von Biodiesel zu kompensieren, wurde unlängst ein Biodieselsensor entwickelt, der im Kraftstoffsystem das jeweils vorliegende Gemisch aus Biodiesel und Dieselmethylester (DK) erkennt und dem Motorsteuergerät eine entsprechende Information gibt [4, 5]. Somit ist es prinzipiell möglich, durch Variation der Einspritzung die Stickoxide bei Biodieselmethylesterbetrieb auf dem Niveau von DK zu halten [6].

Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es, darüber hinaus auch kraftstoffseitige Emissionsminderungspotenziale durch Modifizierung des Kraftstoffs aufzuzeigen. Dabei standen - wie schon bei der Entwicklung des Biodieselsensors - die Stickoxide im Mittelpunkt des Interesses.

## Versuchsstand, Kraftstoffe und Analytik

Als Versuchsmotor diente ein Mercedes-Benz OM 906 Motor. Der Sechszylindermotor hat eine Leistung von 205 kW und ist nach der Abgasnorm Euro 3 zertifiziert. Weitere Motordaten sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Tabelle 1: Kenndaten des Versuchsmotors

Zylinderhub	130 mm
Zylinderbohrung	102 mm
Zylinderanzahl	6
Hubvolumen	6370 cm <sup>3</sup>
Nenn Drehzahl	2300 min <sup>-1</sup>
Nennleistung	205 kW
Max. Drehmoment	1100 Nm / 1300 min <sup>-1</sup>
Abgasnorm	Euro 3

Eine Wirbelstrombremse nahm die Leistung des Motors ab. Dabei wurden die 13 Phasen des ESC-Tests durchfahren (**Bild 1**). Die Messung der gasförmigen Abgaskomponenten erfolgte aus dem Rohabgas und die Partikelprobenahme nach einer Teilstromverdünnung jeweils in der letzten Minute jeder Phase. Dabei wurde zur Partikelmassebestimmung ein Teilstrom des zuvor verdünnten Abgases über ein teflonbeschichtetes Glasfaserfilter (T60A20 der Firma Pall) geleitet. Die Probenahmezeit blieb dabei konstant, während der Volumenstrom den Wichtungs- und Verdünnungsverhältnissen der einzelnen Phasen angepasst wurde. Für jeden Kraftstoff fand mindestens eine Dreifachbestimmung der Emissionswerte statt.

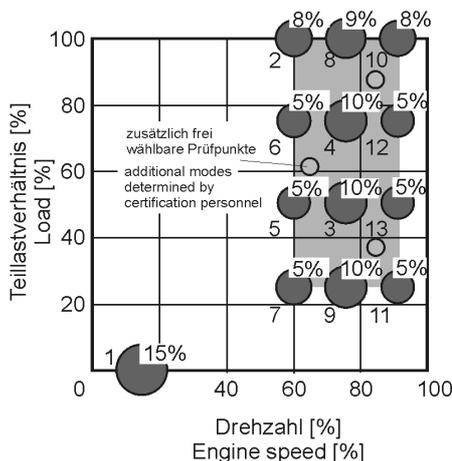


Bild 1: Lastpunkte im 13-Phasen-Test (ESC)

Für die Versuchsreihen wurden Kraftstoffmischungen aus Palmölmethylester (PME), Sojamethylester (SME) und RME, sowie reiner RME gemäß DIN EN 14214 und Referenzdieselmotorkraftstoff gemäß DIN EN 590 verwendet. Des Weiteren wurden ein neuartiger Gas-to-Liquid-Kraftstoff (GTL) - als Prototyp für zukünftige Biomassekraftstoffe (BTL) - und die neuen Kraftstoffe von

Shell und Aral (V-Power Diesel und Ultimate Diesel) in die Untersuchungen einbezogen.

Von den Methylestern erfüllte in reiner Form nur RME die DIN EN 14214. Sojaölmethylester (mit tendenziell höherer Iodzahl als RME) und Palmölmethylester (mit tendenziell kürzerer Kettenlänge als RME) wurden soweit mit Rapsölmethylester gemischt, dass die daraus resultierenden Biodieselmischungen noch innerhalb der Norm lagen (Ausnahme: Oxidationsstabilität bei FAME 1 und 4). Es wurde also versucht, einen möglichst großen Bereich an Sättigungsgraden und Kettenlängen aufzuspannen, so dass ein möglichst breites Spektrum an Biodiesel-Qualitäten untersucht werden konnte. Die verwendeten FAME-Qualitäten sind in **Tabelle 2** spezifiziert. Sie unterschieden sich hauptsächlich in der Iodzahl und ihrem Verhalten bei tieferen Temperaturen. Die Kennwerte des Referenz-DK und des GTL-Kraftstoffs sind in **Tabelle 3** gezeigt. Bei GTL ist der hohe CFPP-Wert (Cold Filter Plugging Point – die tiefste Temperatur, bei der der Kraftstoff noch durch ein definiertes feinmaschiges Filter fließt) auffällig, der ähnlich wie der Dichtewert den akademischen Ansatz der Einbeziehung dieses Kraftstoffs in die Untersuchungen unterstreicht.

Die für die Mutagenitätsuntersuchungen verwendeten Kraftstoffe wurden nicht vollständig analysiert. DK und RME entstammten anderen Chargen als bei den Vergleichsuntersuchungen mit FAME 1 bis 4. Dennoch wurden sie gemäß den gültigen Normen bezogen. V-Power Diesel und Ultimate Diesel hatten Tankstellenqualität. Die Analysedaten sind in **Tabelle 3** gezeigt.

Die Partikelanzahlverteilung wurde mit einem elektronischen Niederdruckimpaktor (ELPI) der Firma Dekati und einem Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) der Firma TSI ermittelt. Aufbau und Funktionsprinzip dieser Geräte sind von Bischof und Horn [7] beschrieben. Für V-Power Diesel und Ultimate Diesel wurde keine Untersuchung der Partikelgrößenverteilung mittels ELPI vorgenommen.

Zur vergleichenden Bestimmung der Mutagenität des Abgaspartikulats von vier Kraftstoffen (DK, V-Power Diesel, Ultimate Diesel und RME) wurden je-

weils 4 Glasfaser-Filterpaare und ein Referenzfilterpaar, die im ESC-Test belegt worden waren, untersucht. Die auf den Filtern gesammelten Partikulate wurden einer Soxhlet-Extraktion mit Dichlormethan unterzogen [8]. Das Filtergewicht wurde vor und nach der Extraktion ermittelt und die lösliche Fraktion berechnet. Die gewonnenen Extrakte wurden im Rotationsverdampfer bis zur Trockne eingedampft. Für den Mutagenitätstest wurde der eingetrocknete Extrakt in 4 ml DMSO gelöst.

Der *Salmonella typhimurium mutagenicity assay* wird nach seinem Entwickler allgemein auch Ames-Test [9] genannt und deckt die mutagenen Eigenschaften eines weiten Spektrums von chemischen Substanzen und Gemischen auf. Der Ames-Test ist das weltweit am häufigsten eingesetzte in-vitro-Testverfahren (OECD-Methode 471), um die Mutagenität komplexer Gemische, wie z. B. von Verbrennungsprodukten, zu untersuchen. Die hier vorliegende Studie benutzte das revidierte Standardprotokoll von Maron und Ames aus dem Jahr 1983 [10], das auch in früheren Untersuchungen schon erfolgreich eingesetzt wurde [11, 12].

## Ergebnisse

Der Vergleich von Biodiesel mit Dieselmotorkraftstoff bestätigte die bekannten Tendenzen. Die Kohlenmonoxid-, die Kohlenwasserstoff- und Partikelmassemmissionen verringerten sich bei der Verwendung von Biodiesel; die Stickoxidemissionen stiegen an. Im Einzelnen verhielten sich die Emissionen wie folgt: Die Kohlenmonoxidemissionen (CO) lagen für alle Kraftstoffe weit unter dem Grenzwert von 2,1 g/kWh für Euro-3-Motoren. Es wurde deutlich, dass alle FAME-Qualitäten die Kohlenmonoxidemissionen gegenüber Dieselmotorkraftstoff um ca. 40 % absenkten. GTL, Ultimate Diesel und V-Power Diesel führten dagegen zu einer Erhöhung der Emissionen sogar über das Niveau von DK hinaus (**Bild 2**).

Die vier FAME-Qualitäten unterschieden sich untereinander nur unwesentlich. Für FAME 1 und 3 waren geringfügige Minderungen gegenüber FAME 2 und 4 zu erkennen, die es jedoch nicht erlauben, auf Vorteile für diese zu schließen.

Tabelle 2: Eigenschaften der Biodieselmkraftstoffe mit Grenzwerten nach DIN EN 14214

Eigenschaft	Resultat				Einheit	Grenzwerte	
	FAME 1	FAME 2	FAME 3	FAME 4		Min.	Max.
Rapsölmethylester	75	100	45	60	Vol.-%		
Sojaölmethylester	25	0	0	12,5	Vol.-%		
Palmölmethylester	0	0	55	27,5	Vol.-%		
Dichte (15 °C)	0,8836	0,8832	0,8789	0,8818	g/mL	0,86	0,900
Kin. Viskosität (40 °C)	4,345	4,333	4,516	4,459	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5,0
Flammpunkt	> 171	> 171	> 171	> 171	°C	120	
CFPP	-10	-15	-2	-6	°C		0/-20
Wassergehalt	283	170	214	381	mg/kg		500
Gesamtverschmutzung	4	2	3	1	mg/kg		24
Oxidationsstabilität	4,73	8,37	8,00	1,35	h	6	
Neutralisationszahl	0,132	0,132	0,480	0,28	mg KOH/g		0,5
Monoglyceride	0,46	0,61	0,25	0,34	Gew. %		0,8
Diglyceride	0,07	0,09	0,04	0,07	Gew. %		0,2
Triglyceride	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,005	Gew. %		0,2
Freies Glycerin	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,01	Gew. %		0,02
Gesamtglyceringehalt	0,13	0,17	0,07	0,11	Gew. %		0,25
Iodzahl	117	112	82	100	-		120
Phosphorgehalt	< 1	< 1	< 1	< 1	mg/kg		10
Alkaligehalt	< 1	< 1	< 1	< 1	mg/kg		5
Seifengehalt	< 5	7	< 5	< 5	mg/kg		
Erdalkaligehalt	< 1	< 1	< 1	< 1	mg/kg		5
Estergehalt	99,3	99,0	99,8	97,7	Gew. %	96,5	

Tabelle 3: Eigenschaften von DK und GTL sowie Shell V-Power Diesel und Aral Ultimate Diesel mit Grenzwerten nach DIN EN 590

Eigenschaft	Resultat				Einheit	Grenzwerte	
	DK	GTL	V-Power	Ultimate		Min.	Max.
Dichte (15 °C)	0,8345	0,7868	0,8326	0,8324	g/mL	0,820	0,845
Kin. Viskosität (40 °C)	3,474	3,6	3,168	3,837	mm <sup>2</sup> /s	2,0	4,5
Flammpunkt	100	126	70	101	°C	55	
CFPP	-20	+3	-19	-9	°C		0/-20 <sup>1)</sup>
Wassergehalt	30	48	65	24	mg/kg		200
Gesamtverschmutzung		7	23	1	mg/kg		24
Oxidationsstabilität	1	2,2 h <sup>2)</sup>	2,9	0,3	g/m <sup>3</sup>		25
Neutralisationszahl	0,0	0,039			mg KOH/g		
Schwefelgehalt	35	<2	5,9	1	mg/kg		350
Koksrückstand	<0,01	0,03	0,05	<0,01	Gew. %		0,3
Monoaromaten	16,4				Vol. %		
Diaromaten	3,4				Vol. %		
Polyaromaten	0,01		2,4	0,9	Vol. %		

<sup>1)</sup> Sommer-/Winterqualität <sup>2)</sup> nach EN 14112

Auch bei den in **Bild 3** gezeigten Kohlenwasserstoffemissionen (HC) wiesen die FAME-Qualitäten etwa 30 % geringere Emissionen auf als DK. Dabei unterschieden sie sich untereinander kaum. Leichte Vorteile kamen bei FAME 1 und 3 zum Ausdruck. GTL und Ultimate Diesel lagen ca. 20 %, V-Power Diesel

mehr als 10 % unter den Emissionswerten von Dieselmkraftstoff, aber über denen der pflanzenölstämmigen Kraftstoffe. Mit allen Kraftstoffen wurde - analog zu den Kohlenmonoxidemissionen - der Euro-3-Grenzwert von 0,66 g/kWh deutlich unterschritten.

Die in **Bild 4** gezeigte Partikelmasse-

emission (PM) war bei Dieselmkraftstoff am höchsten, wies aber auch die größte Messwertstreuung auf. GTL zeigte hier einen Vorteil gegenüber DK in Höhe von ca. 20 %. V-Power Diesel ergab fast den gleichen Emissionsvorteil wie GTL; mit Ultimate Diesel konnte nochmals eine leichte Verringerung der Emissionen

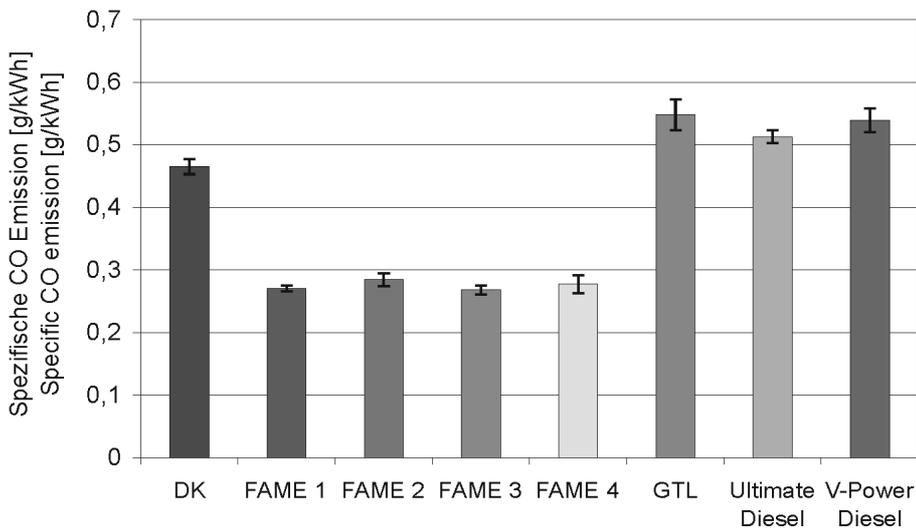


Bild 2: Spezifische Kohlenmonoxidemissionen im 13-Phasen-Test (ESC)

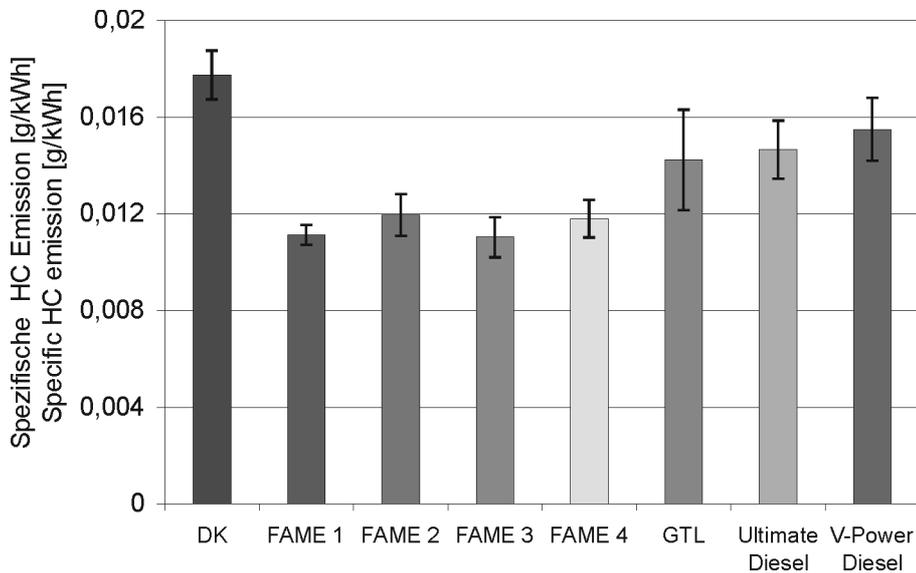


Bild 3: Spezifische Kohlenwasserstoffemissionen im 13-Phasen-Test (ESC)

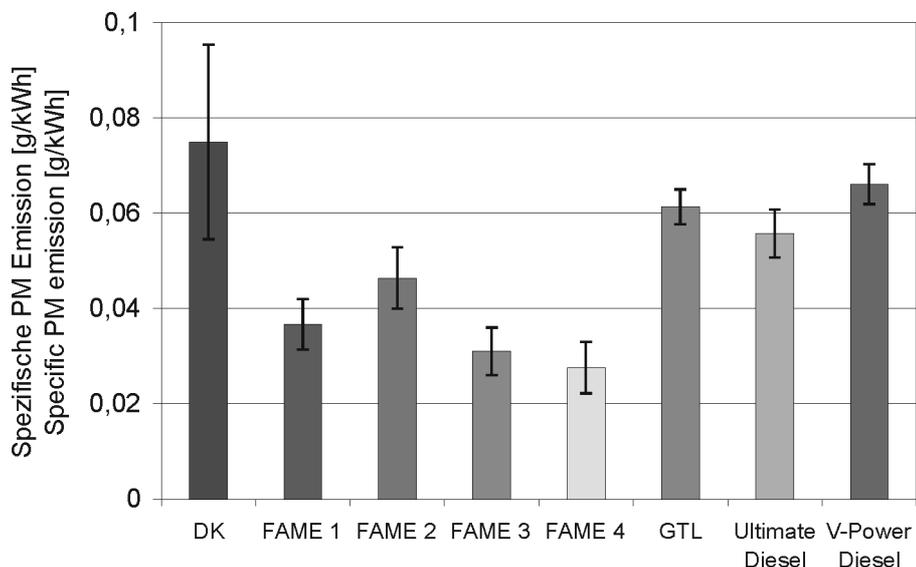


Bild 4: Spezifische Partikelmassemmissionen im 13-Phasen-Test (ESC)

beobachtet werden. Die Emissionen der FAME-Qualitäten lagen nochmals deutlich tiefer. Sie unterschieden sich im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidemissionen untereinander erheblich. So emittierte FAME 2 etwa 170 % der Masse von FAME 4. FAME 3 und 4 waren FAME 1 und insbesondere FAME 2 deutlich überlegen.

Der Grenzwert (Euro 3) von 0,1 g/kWh wurde von allen im Test verwendeten Kraftstoffen eingehalten.

Bei den Untersuchungen zur Partikelgrößenverteilung zeigte sich, dass hinsichtlich der Partikelanzahl die Partikelgrößen unter 1  $\mu\text{m}$  dominierten, so dass die größeren nicht in die Auswertung mit aufgenommen wurden.

Bei den ELPI-Ergebnissen waren wiederum die beiden kleinsten Größenklassen 28-55 nm und 55-94 nm die dominierenden, während die Anzahl in den größeren Klassen logarithmisch abnahm (**Bild 5**). Die Biodiesel-Lose unterschieden sich in ihrer Partikelanzahlemmission nur geringfügig voneinander; höhere Emissionen traten bei DK und GTL auf.

Die SMPS-Ergebnisse zeigten oberhalb von 40 nm den gleichen Trend wie die ELPI-Ergebnisse (**Bild 6**). Die Partikelanzahl von GTL lag jedoch leicht unterhalb der von DK. Unterhalb von 30 nm änderte sich das Verhalten deutlich. Hier nahm die Partikelanzahl von DK und GTL leicht ab. Für die zwei vorliegend untersuchten Biodiesel-Lose wurde dagegen eine bis zu einer Zehnerpotenz erhöhte Partikelanzahl von Feinstpartikeln gemessen. Die FAME 2 und 4 unterschieden sich dabei lediglich in einem kleinen Bereich von ca. 15 bis 30 nm. Die Ergebnisse der ELPI- und SMPS-Messungen waren jeweils reproduzierbar.

Beim Ames-Test ergaben sich deutliche Vorteile der neuen Kraftstoffe und für Biodiesel, verglichen mit konventionellem Dieseldieselkraftstoff. Die Kraftstoffe Ultimate Diesel und RME wirkten im Teststamm TA98 um mehr als 50 % weniger mutagen als DK (**Bild 7**). Am stärksten wurde die Gentoxizität durch RME gesenkt. Die Verwendung von V-Power Diesel verminderte die Mutagenität um etwa 40 %. Der Einsatz eines metabolischen Aktivierungssystems (S9) senkte die Mutagenität der Extrakte aller vier Kraftstoffemissionen etwa gleich stark.

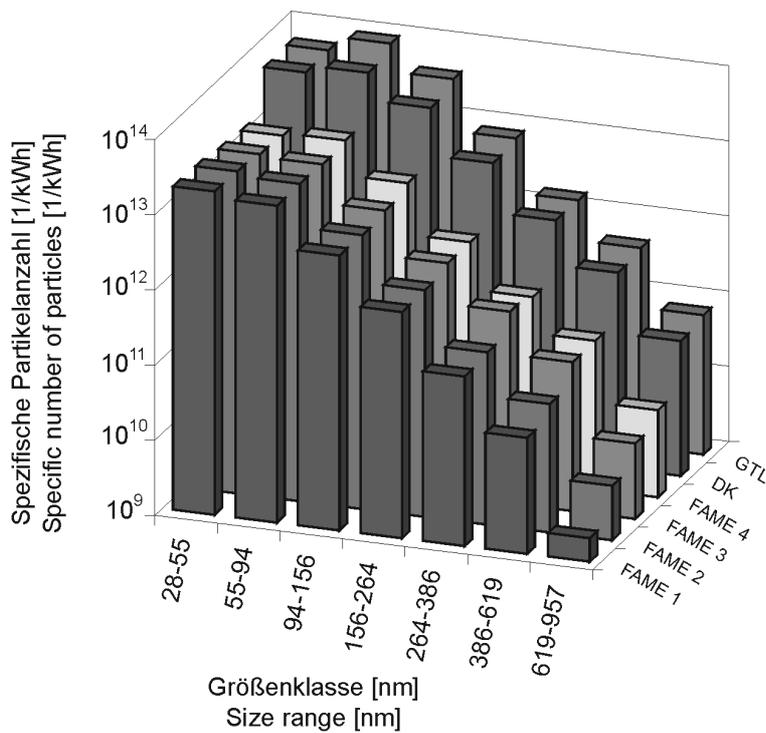


Bild 5: Partikelanzahlverteilung im 13-Phasen-Test (ESC), gemessen mit ELPI

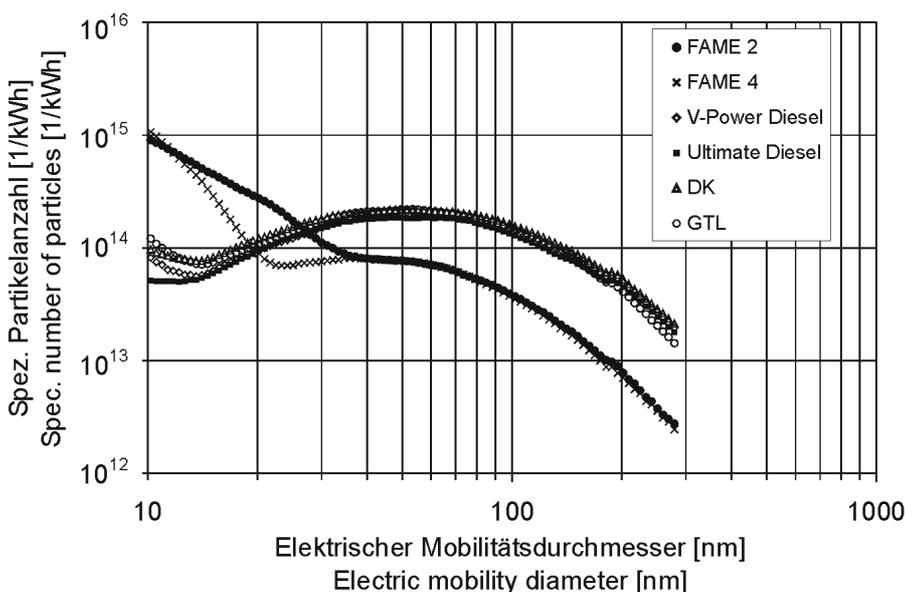


Bild 6: Partikelanzahlverteilung im 13-Phasen-Test (ESC), gemessen mit SMPS

In **Bild 8** sind die Ergebnisse der  $\text{NO}_x$ -Messungen gezeigt. Der Grenzwert (Euro 3) für die Stickoxidemissionen in Höhe von 5 g/kWh wurde von den fossilen Dieselmotoren eingehalten, wobei GTL gegenüber DK, V-Power Diesel und Ultimate Diesel eine Absenkung um ca. 15 % zeigte. Die FAME-Qualitäten 1, 2 und 3 lagen über dem Grenzwert; FAME 4 unterschritt ihn.

### Abschließende Bemerkungen

Es ist auf der Basis der verfügbaren Daten nicht möglich, eine abschließende Bewertung der *Feinstpartikelemissionen* für die getesteten Kraftstoffe durchzuführen. Insbesondere bleibt unklar, worauf der mit dem SMPS gemessene Anstieg der Feinstpartikeln bei den FAME-Qualitäten zurückzuführen ist. Ob es sich dabei um Ruß oder unverbrannten Kraftstoff handelt, wird Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein.

Die Ergebnisse der *Ames-Tests* zeigen, dass sich die erbgutschädigenden und damit auch die krebserregenden Wirkungen von Dieselmotoremissionen durch eine Optimierung der Kraftstoffzusammensetzung effektiv absenken lassen.

Hinsichtlich der *NO<sub>x</sub>-Emissionen* wird deutlich, dass durch Variation der Kraftstoffkomposition für die Biokraftstoffe eine Emissionsminderung von über 10 % erreichbar ist. Dadurch rückt die Möglichkeit einer Grenzwerteinhaltung ohne motorische Maßnahmen in greifbare Nähe.

Durch diese Untersuchungen ist das Potenzial zur Verbesserung der Abgasqualität von Biodiesel durch eine optimierte Kraftstoffformulierung tendenziell aufgezeigt. Der zielorientierten Zusammensetzung des Kraftstoffs kann somit eine ähnlich große Bedeutung zukommen wie der motorischen Adaption der Einspritzbedingungen. Zum heutigen Zeitpunkt ist dieses allerdings nur beschreibend und noch nicht erklärend zu dokumentieren. Es zeigt sich jedoch, dass eine systematische Kraftstoffforschung in der wechselseitigen Optimierung von Motor und Kraftstoff ein wesentliches Element zur Emissionsminderung darstellt, dem in der Vergangenheit zu wenig Beachtung geschenkt wurde.

### Literatur

- [1] *VDB* (2004): Pressemitteilung 6-2004 des Verbands deutscher Biodieselhersteller.
- [2] *Europäisches Parlament* (2003): Richtlinie 2003/30/EG Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen
- [3] *Krahl J., Munack A., Bahadir M., Schumacher L. G., Elser N.* (1996): Review: Utilization of rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester or diesel fuel: Exhaust gas emissions and estimation of environmental effects. SAE Paper 962096
- [4] *Munack A., Krahl J., Marto A., Bantzhaff R.* (2003): Grundlegende Untersuchungen zu einem Biodieselsensor, Entwicklung eines Prototyps und Herstellung der Serienreife. VDI-Berichte 1798, S. 331-336
- [5] *Bantzhaff R., Marto A., Krahl J., Munack A.* (2004) Verfahren und Schaltungsanordnung zum Erfassen und/oder Bestimmen der Beschaffenheit eines Mediums. München: Deutsches Patent und Markenamt, 7 S., Patent Nr. 10258417.

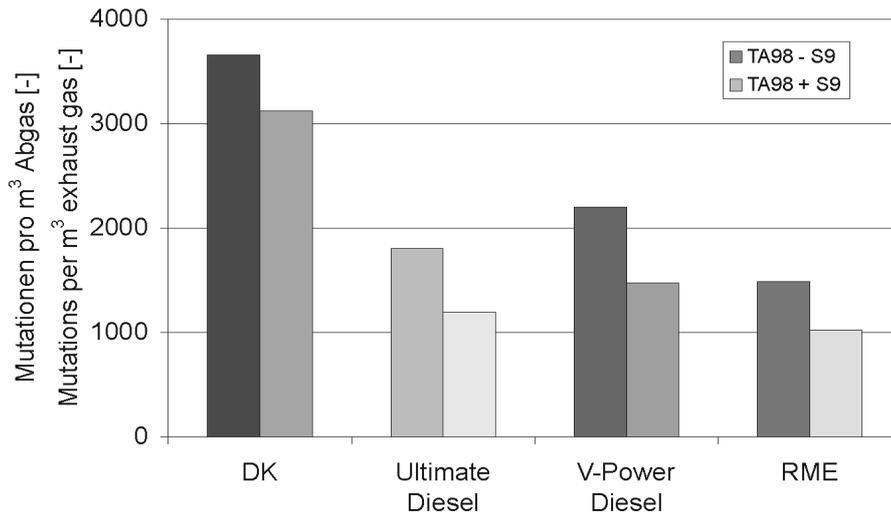


Bild 7: Mutagenität der partikulären Motoremissionen für vier Kraftstoffe im 13-Phasen-Test (ESC) - (mit [+S9] und ohne [-S9] metabolische Aktivierung)

#### Autoren

Prof. Dr.-Ing. Axel Munack  
 Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
 Institut für Technologie und Biosystemtechnik  
 Bundesallee 50  
 38116 Braunschweig  
 Tel.: +49/(0)531/596-4201  
 Fax: +49/(0)531/596-4299  
 E-Mail: [axel.munack@fal.de](mailto:axel.munack@fal.de)  
<http://www.tb.fal.de/>

Prof. Dr. Jürgen Krahl  
 Fachhochschule Coburg  
 FB Physikalische Technik und Allgemeinwissenschaften  
 Friedrich-Streib-Straße 2  
 96450 Coburg  
 Tel.: +49/(0)9561/317-127  
 Fax: +49/(0)9561/317-316  
 E-Mail: [krahl@fh-coburg.de](mailto:krahl@fh-coburg.de)  
[www.fh-coburg.de/krahl](http://www.fh-coburg.de/krahl)

Emine Capan  
 (Anschrift siehe Prof. Munack)  
 Tel.: +49/(0)531/596-4219  
 Fax: +49/(0)531/596-4299  
 E-Mail: [emine.capan@fal.de](mailto:emine.capan@fal.de)

Liane Herbst  
 (Anschrift siehe Prof. Munack)  
 Tel.: +49/(0)531/596-4217  
 Fax: +49/(0)531/596-4299  
 E-Mail: [liane.herbst@fal.de](mailto:liane.herbst@fal.de)

Andreas Kaufmann  
 (Anschrift siehe Prof. Munack)  
 Tel.: +49/(0)531/596-4217  
 Fax: +49/(0)531/596-4299  
 E-Mail: [andreas.kaufmann@fal.de](mailto:andreas.kaufmann@fal.de)

Dipl.-Chem. Olaf Schröder  
 (Anschrift siehe Prof. Munack)  
 Tel.: +49/(0)531/596-4261  
 Fax: +49/(0)531/596-4299  
 E-Mail: [olaf.schroeder@fal.de](mailto:olaf.schroeder@fal.de)

Hendrik Stein  
 (Anschrift siehe Prof. Munack)  
 Tel.: +49/(0)531/596-4201  
 Fax: +49/(0)531/596-4299  
 E-Mail: [hendrik.stein@fal.de](mailto:hendrik.stein@fal.de)

PD Dr. Jürgen Bünger  
 Georg-August-Universität Göttingen  
**Bitte ergänzen!!!**  
 Anschrift  
 Tel:  
 Fax:  
 E-Mail:

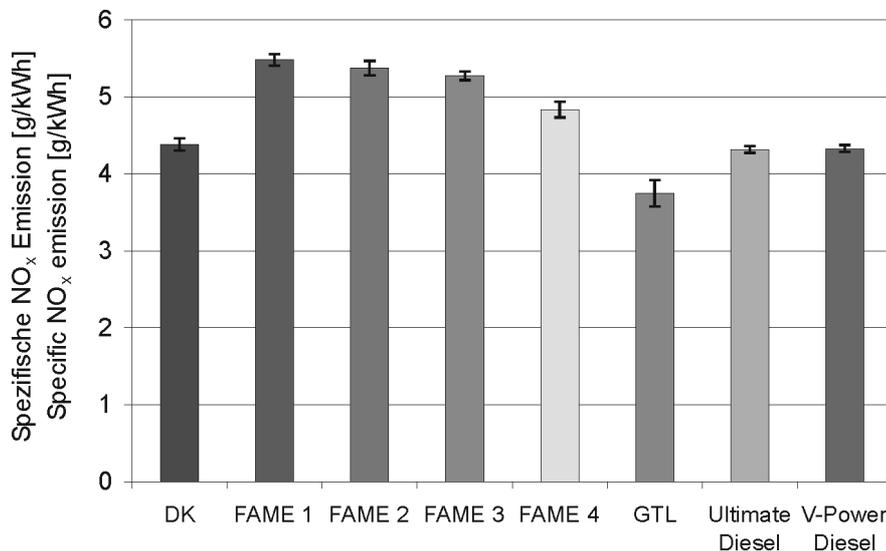


Bild 8: Spezifische Stickoxidemissionen im 13-Phasen-Test (ESC)

- [6] *Blaßnegger J., Schlag S.* (2002): Biodiesel in modernen Nutzfahrzeugmotoren. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 239 63-68
- [7] *Bischof O.F., Horn H.-G.* (1999): Zwei Online-Messkonzepte zur physikalischen Charakterisierung ultrafeiner Partikel in Motorabgasen am Beispiel von Dieselmotoren. *MTZ* 60, 226-232
- [8] *Claxton L.D.* (1983): Characterization of automotive emissions by bacterial mutagenesis bioassay: a review. *Environ Mutagen* 5, 609 - 631
- [9] *Ames BN, Lee F. D., Durston W. E.* (1973): An improved bacterial test system for the detection and classification of mutagens and carcinogens. *Proc Natl Acad Sci USA* 70, 782 - 786
- [10] *Maron D. M., Ames B. N.* (1983): Revised methods for the Salmonella mutagenicity test. *Mutat Res* 113, 173 - 215

- [11] *Bünger J., Krahl J., Franke H. U., Munack A., Hallier E.* (1998): Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel. *Mutat. Res* 415, 13 - 23
- [12] *Bünger J., Müller M. M., Krahl J., Baum K., Weigel A., Hallier E., Schulz T. G.* (2000): Mutagenicity of diesel engine particles from two fossil and two plant oil fuels. *Mutagenesis* 15, 391 - 397.

#### Danksagung

Die Autoren danken der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM) für die freundliche Förderung der Untersuchungen von DK und den vier Biodiesel-Qualitäten.