

Axel Munack, Emine Capan, Liane Herbst, Andreas Kaufmann, Olaf Schröder, Hendrik Stein, Braunschweig, Jürgen Krahl, Coburg, sowie Jürgen Büniger, Göttingen

# Emissionen und Optimierungspotenziale neuer Dieselkraftstoffe

*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-Dieselmotorkraftstoff (DK). Die Kraftstoffformulierung hat einen erheblichen Einfluss auf die Emissionen. Dies ist insbesondere für Biodiesel wichtig, weil das Potenzial der Kraftstoffoptimierung bei Biodiesel mit Blick auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen noch nicht erschöpft ist.*

Prof. Dr.-Ing. Axel Munack ist Institutsleiter am Institut für Technologie und Biosystemtechnik der FAL, Prof. Dr. Jürgen Krahl ist Professor an der Fachhochschule Coburg, Dr. Jürgen Büniger ist Privatdozent an der Georg-August-Universität Göttingen, die übrigen Autoren sind oder waren an der FAL tätig; e-mail: [axel.munack@fal.de](mailto:axel.munack@fal.de)  
**Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.**

## Schlüsselwörter

Abgasemissionen, Dieselmotorkraftstoffe, Fettsäuremethylester, Biodiesel

## Keywords

Waste gas emissions, diesel fuels, FAME, biodiesel

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05311 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Der Absatz von Biodiesel (Fettsäuremethylester, FAME - in Deutschland meist Rapsölmethylester, RME) hat sich in den letzten Jahren bis auf geschätzte 1200000 t im Jahr 2004 [1] erhöht. Biodiesel wird flächendeckend in Deutschland an rund 1900 Tankstellen angeboten. Als Auslöser für diese Entwicklung gilt die Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments [2]. Ziel dieser Richtlinie ist die Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen im Verkehrssektor, beginnend bei 2 % im Jahr 2005 bis hin zu 5,75 % im Jahr 2010. Mit Blick auf die Endlichkeit der fossilen Ressourcen wird dadurch die Entwicklung der nachhaltigen Mobilität gefördert.

Prinzipbedingt entstehen bei der motorischen Nutzung biogener Kraftstoffe in Verbrennungskraftmaschinen auch Produkte der unvollständigen Verbrennung sowie Stickoxide (NO<sub>x</sub>). Letztere weisen bei Biodiesel durchschnittlich höhere Werte auf als bei fossilem Dieselmotorkraftstoff [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 Dieselmotorkraftstoff (DK) erkennt und dem Motorsteuergerät eine entsprechende Information gibt [4, 5]. Somit ist es prinzipiell möglich, durch Variation der Einspritzung die Stickoxide bei Biodieselbetrieb 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 stand wiederum das NO<sub>x</sub> im Mittelpunkt des Interesses.

## Versuchsstand und Kraftstoffe

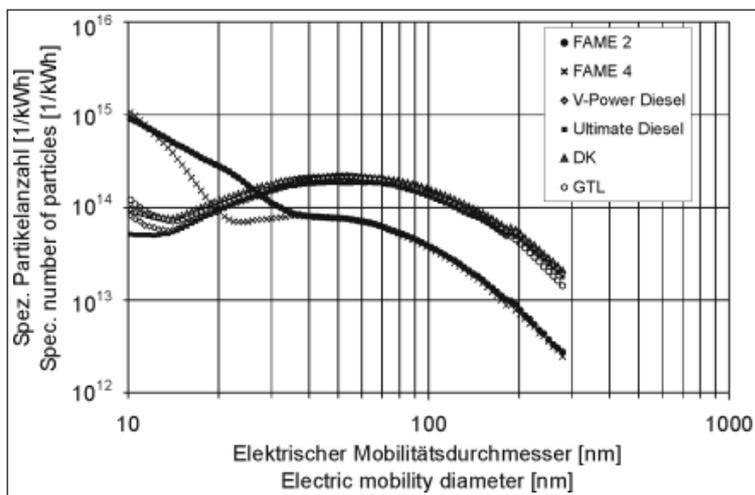
Als Versuchsmotor diente ein Mercedes-Benz OM 906 Motor. Der Sechszylindermotor hat eine Leistung von 205 kW und ist nach der Abgasnorm Euro 3 zertifiziert.

Eine Wirbelstrombremse nahm die Leistung des Motors ab. Dabei wurden die 13 Phasen des ESC-Tests durchfahren. Die Messung der gasförmigen Abgasbestandteile 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 geleitet. Für jeden Kraftstoff fand mindestens eine Dreifachbestimmung der Emissionswerte statt.

Unterschiedliche Biodieselqualitäten wurden aus Raps-, Soja- und Palmölmethylester hergestellt. In reiner Form erfüllte nur RME die DIN EN 14214. Er ist im Folgenden als FAME 2 bezeichnet. Soja- und Palmölmethylester wurden soweit mit RME gemischt, dass die daraus resultierenden Biodieselmischungen noch innerhalb der Norm

Bild 1: Partikelanzahlverteilung, gemessen mit SMPS

Fig. 1: Particle number distribution, measured with SMPS



lagen (Ausnahme: Oxidationsstabilität bei FAME 1 und 4). Dabei waren FAME 1 und 3 binäre Gemische, während FAME 4 ein ternäres System darstellte. Die verwendeten FAME-Qualitäten unterschieden sich hauptsächlich in der Iodzahl und der Kältestabilität. V-Power Diesel und Ultimate Diesel hatten Tankstellenqualität.

## Ergebnisse

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 DK um rund 40 % absenkten. GTL, Ultimate Diesel und V-Power Diesel führten dagegen zu einer Erhöhung der Emissionen.

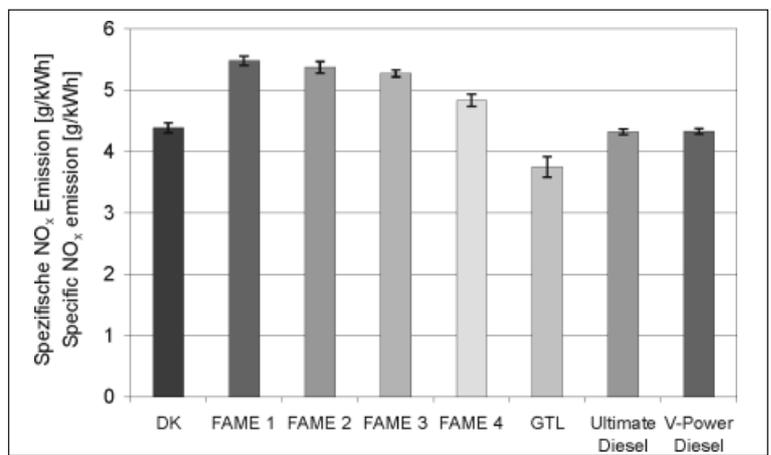
Auch bei den Kohlenwasserstoffemissionen (HC) wiesen die FAME-Qualitäten etwa 30% geringere Emissionen auf als DK. GTL und Ultimate Diesel lagen ~ 20 %, V-Power Diesel ~ 10 % unter den Emissionswerten von DK, aber über denen der pflanzenölstämmigen Kraftstoffe. Mit allen Kraftstoffen wurde der Euro-3-Grenzwert von 0,66 g/kWh deutlich unterschritten.

Die Partikelmasseemission (PM) war bei DK am höchsten. GTL und V-Power Diesel zeigten hier einen Vorteil gegenüber DK in Höhe von ~ 20%. Mit Ultimate Diesel konnte eine weitere leichte Verringerung der Emissionen 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.

Die Partikelanzahlverteilung wurde mit einem elektronischen Niederdruckimpaktor (ELPI) (Ergebnisse in der Langfassung in LANDTECHNIK-NET.com) und einem

Bild 3: Spezifische Stickoxidemissionen

Fig. 3: Specific emissions of nitrogen oxides



Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) der Firma TSI ermittelt. Das Funktionsprinzip dieser Geräte ist in [7] beschrieben. Bei den SMPS-Messungen lag die Partikelanzahl der FAME-Qualitäten bei Partikelgrößen über 30 nm deutlich unterhalb derjenigen der übrigen Kraftstoffe (Bild 1). Unterhalb von 30 nm änderte sich das Verhalten deutlich. Hier nahm die Partikelanzahl bei DK und GTL leicht ab. Für die zwei vorliegend untersuchten Biodiesel-Lose wurde dagegen eine bis zu einer Zehnerpotenz erhöhte Anzahl von Feinstpartikeln gemessen. FAME 2 und 4 unterschieden sich dabei lediglich in einem kleinen Bereich von etwa 15 bis 30 nm. Derzeit bleibt unklar, worauf der mit dem SMPS gemessene Anstieg der Feinstpartikel bei den FAME-Qualitäten zurückzuführen ist. Ob es sich dabei um Ruß oder unverbrannten Kraftstoff handelt, wird Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein.

Zur vergleichenden Bestimmung der Mutagenität des Abgaspartikulats von vier Kraftstoffen (DK, V-Power Diesel, Ultimate Diesel und RME) wurden Glasfaserfilter extrahiert, die zuvor im ESC-Test mit konzentriertem Abgas beaufschlagt worden waren. Nach mehreren Aufarbeitungsschritten wurden die Extrakte mittels des *Salmonella typhimurium* mutagenicity assays untersucht, der nach seinem Entwickler auch Ames-Test [8] genannt wird.

Die Kraftstoffe Ultimate Diesel und RME wirkten im Teststamm TA98 um mehr als 50% weniger mutagen als DK (Bild 2). 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.

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die erbgutschädigenden und damit auch die krebserregenden Wirkungen von Dieselmotoremissionen durch eine Optimierung der Kraftstoffzusammensetzung effektiv absenken lassen.

In Bild 3 sind die Ergebnisse der NO<sub>x</sub>-Messungen gezeigt. Der Grenzwert (Euro 3) für die Stickoxidemissionen in Höhe von 5 g/kWh wurde von den fossilen Dieselmotorkraftstoffen eingehalten, wobei GTL gegenüber DK, V-Power Diesel und Ultimate Diesel eine Absenkung um ~ 15 % zeigte. Die FAME-Qualitäten 1, 2 und 3 lagen über dem Grenzwert; FAME 4 unterschritt ihn. An dieser Stelle wird deutlich, dass durch Variation der Kraftstoffkomposition für die Biokraftstoffe eine Emissionsminderung von über 10 % erreichbar ist. Dadurch rückt die Möglichkeit der 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.

## Danksagung

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

Bild 2: Mutagenität der partikulären Motoremissionen

Fig. 2: Mutagenicity of particulate matter in engine emissions

