

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz

Herausgeber: Landtechnik Schweiz

Band: 54 (1992)

Heft: 7

Artikel: Treibstoff im Vordergrund des Interesses

Autor: Wolfensberger, U.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1081545>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Treibstoff im Vordergrund des Interesses

U. Wolfensberger, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), 8356 Tänikon

In seinem Buch (1913) beschliesst Rudolf Diesel rückblickend die Darstellung seiner umfangreichen Treibstoffversuche mit der Feststellung, dass die Frage der flüssigen Treibstoffe im vollem Umfang aufgerollt worden sei: Er schreibt: «Sie hat seither nicht mehr geruht und einen immer grösseren Umfang angenommen. In diesem Sinne: Nicht nur bei Rudolf Diesel sondern bis auf den heutigen Tag steht der Treibstoff im Vordergrund des Interesses.

Auf der Pariser Ausstellung 1900 lief ein kleiner Dieselmotor mit Erdnussöl, nachdem sein Erfinder seit 1897 Ver-

suche mit verschiedenen Brennstoffen durchführte. «Er arbeitete dabei so gut, dass nur wenig Eingeweihte von diesem unscheinbaren Umstände Kenntnis hatten», schreibt Rudolf Diesel 1913 in seinem Buch «Die Entstehung des Dieselmotors».

In den folgenden Jahren wurden aber sowohl der Motor als auch der fossile Treibstoff derart weiterentwickelt und aufeinander abgestimmt, dass ein heutiger Dieselmotor für den Betrieb mit reinem Pflanzenöl nicht mehr geeignet ist. Speziell konstruierte Motoren, wie etwa der Elsbett-Motor, bilden hier die Ausnahme.

Biodiesel und die Motoren

Pflanzenöl lässt sich durch einen relativ einfachen chemischen Prozess, die sogenannte Umesterung, dem modernen Motor anpassen. Dabei wird die Viskosität des Rapsmethylesters (RME) ganz erheblich gesenkt und die Cetanzahl, also die Zündwilligkeit, entscheidend angehoben. Dieser Biodiesel ist nun dem Dieseltreibstoff so ähnlich, dass die Verwendung im unveränderten Motor möglich ist. Das wollte die FAT genau wissen und beschloss bereits im Sommer 1988, Versuche auf dem Prüfstand und im Fahrzeug durchzuführen. Bei drei Traktoren wurden auf



Obwohl Traktoren nicht unter die Abgasemissions-Verordnung (FAV 2) fallen und der 13-Stufen-Test dem praktischen Lastkollektiv schlecht entspricht, wurden zu Vergleichszwecken die Abgasmessungen an den Traktoren mit RME und Dieseltreibstoff doch dieser Testvorschrift gemäss durchgeführt.

(Fotos und Abbildungen: FAT Tänikon)

dem eigenen Prüfstand die Leistung und der Verbrauch, später auch an der EMPA die Emissionen gemessen:

SAME Explorer 65 mit einem luftgekühlten 4-Zylinder-Saugmotor mit 3,6 Liter Hubvolumen, direkteingespritzt, Nennleistung 48 kW bei 2350 1/min.

STEYR 8055 mit einem wassergekühlten 3-Zylinder-Saugmotor mit 2,6 Liter Hubvolumen, direkteingespritzt, Nennleistung 35 kW bei 2400 1/min.

JOHN DEERE 2250 mit einem wassergekühlten 4-Zylinder-Saugmotor mit 3,9 Liter Hubvolumen, direkteingespritzt, Nennleistung 46 kW bei 2300 1/min.

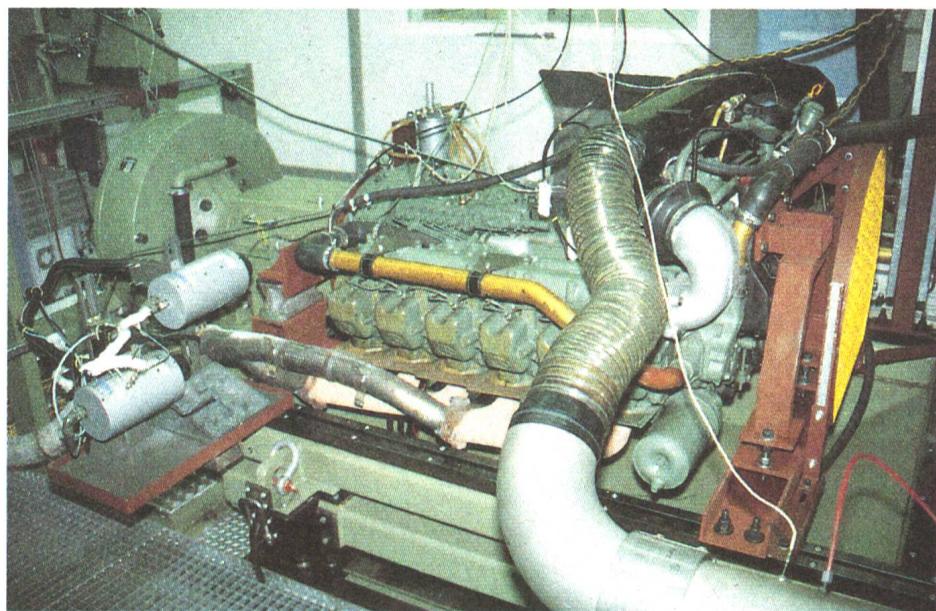
Die Resultate wurden positiv gewertet. Deshalb kam die Idee auf, versuchsweise Busse des städtischen Verkehrs mit Biodiesel zu betreiben. Die FAT fand in den Verkehrsbetrieben der Stadt Zürich (VBZ) einen Partner, der zur Durchführung eines solchen Versuchs mit fünf neuen Mercedesbussen bereit war. Zuerst wurden an einem ausgebauten Motor auf dem Prüfstand der EMPA in Dübendorf Vergleichsmessungen mit verschiedenen Treibstoffen durchgeführt.

Der Mercedes-Benz Motor OM 447 h II ist ein liegender, wassergekühlter 6-Zylinder-Saugmotor mit 12 Liter Hubvolumen, direkteingespritzt, Nennleistung 184 kW bei 2200 1/min.

Die Vollastmessungen

Alle Motoren wurden ohne Verstellung je mit Dieseltreibstoff und mit Biodiesel gefahren. Das Leistungsverhalten zeigt überall dasselbe Bild (wie z. B. vom SAME in Abbildung 1), nämlich innerhalb der Messgenauigkeit praktisch gleiche Leistung mit beiden Treibstoffen, so beispielsweise beim Steyr 3% mehr und beim Mercedes 3% weniger Nennleistung mit RME.

Die Kurven des spezifischen Kraftstoffverbrauchs verlaufen ungefähr parallel über dem ganzen Drehzahlbereich, und zwar brauchen alle Motoren etwa 12 – 15% mehr Biodiesel. Dies erstaunt nicht, ist doch der gravimetrische Heizwert des Biodiesels (also der Energieinhalt eines Kilogramms Treibstoff) 13% geringer als der des Dieselöls. Für gleiche Leistung braucht es also ent-



Messungen auf dem Prüfstand am ausgebauten Mercedes-Busmotor mit verschiedenen Abgasnachbehandlungs-Systemen. Die Resultate belegen eine ganz andere Zusammensetzung der Biodiesel-Partikel. Durch die tiefen Rauchwerte, die Verschiebung des Verhältnisses von unlöslichen zu löslichen Anteilen und durch die Schwefelfreiheit eignet sich der Biodiesel beim Einsatz eines Katalysators besonders gut.

Abb. 1: Biodiesel (RME) im Vergleich zu Dieselöl

Traktor SAME-Explorer 65, Leistung 48 kW

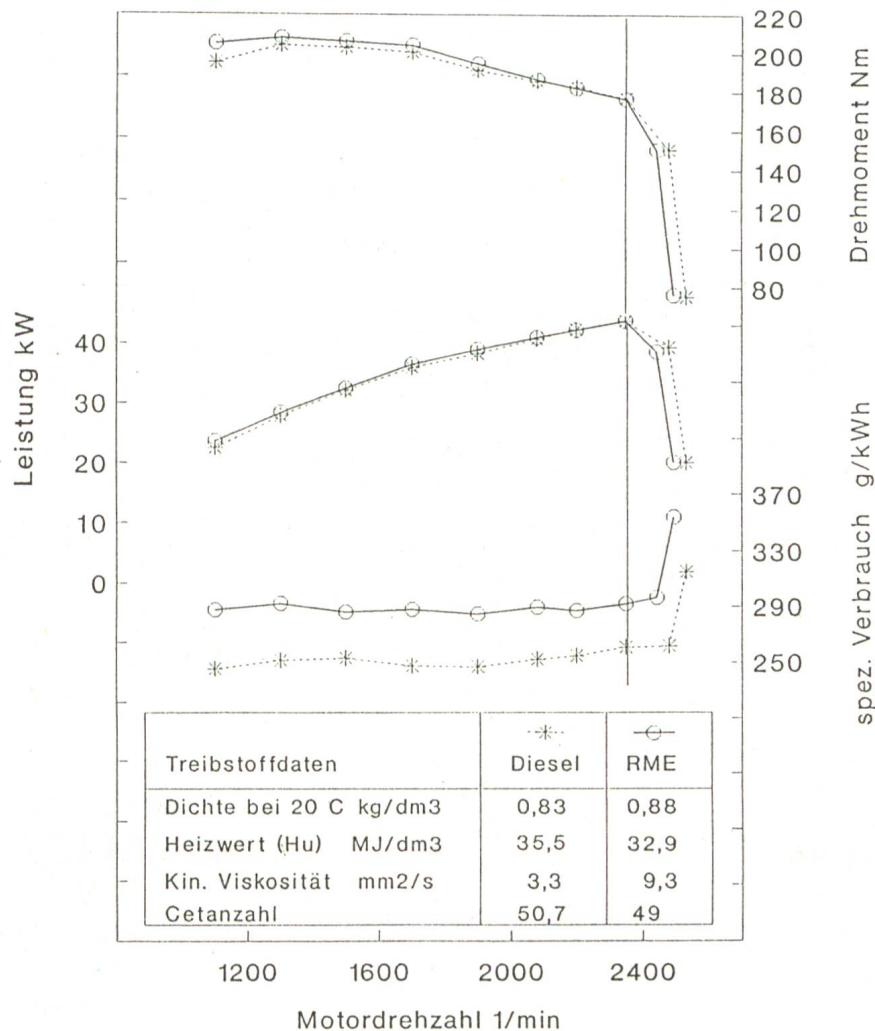
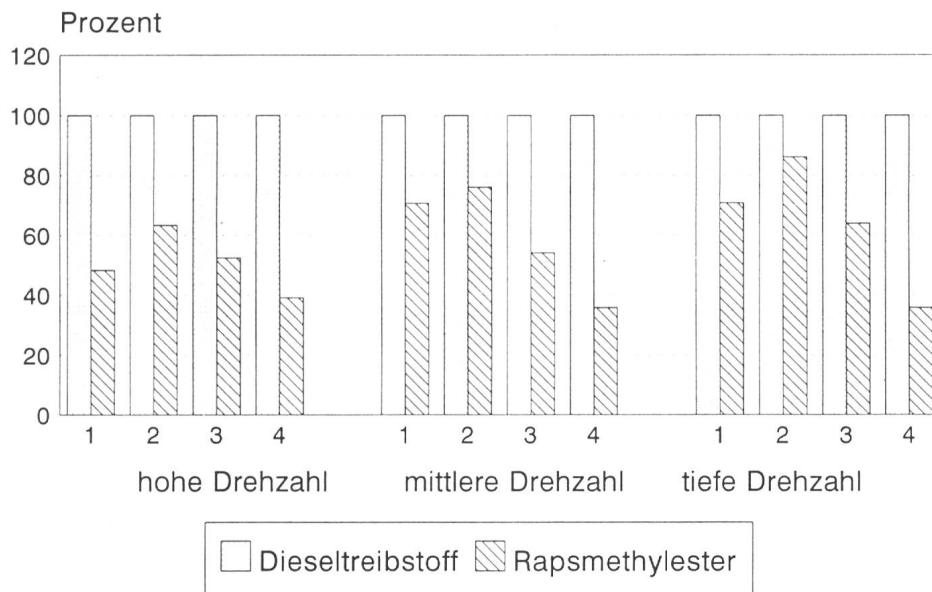


Abb. 2: Vollast-Rauchmessungen nach BAV
1 = Same, 2 = Steyr, 3 = J. Deere, 4 = Mercedes



sprechend mehr Menge. Warum aber – und dies erstaunt nun doch – kriegt der Motor ohne Veränderung an der Einspritzpumpe diese Mehrmenge? Das erklärt sich einerseits aus der 7% höheren Dichte des Biodiesels, andererseits bewirkt die doch noch etwas höhere Viskosität verminderte Spaltverluste und eine Druckerhöhung in der Einspritzpumpe, wodurch sich auch die volumetrische Einspritzmenge erhöht. Der verbleibende Unterschied zwischen 12% Mehrverbrauch – vor allem im oberen Drehzahlbereich – und 13% Heizwertdifferenz bedeutet schliesslich, dass der Wirkungsgrad mit Biodiesel sogar geringfügig besser ist.

Der Schwarzrauch

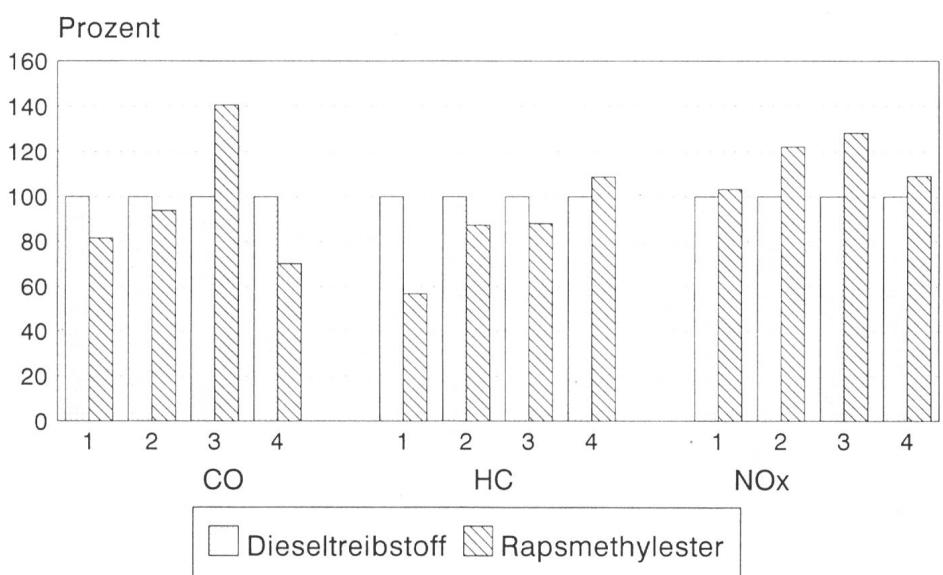
Ein grosses Ärgernis beim Dieselmotor ist der schwarze Rauch aus dem Auspuff. Es wird hauptsächlich bei Busmotoren viel Aufwand betrieben, um diesen zu reduzieren. Auch von gesetzgeberischer Seite werden die Limitten immer enger gesetzt. Deshalb ist die Frage, was der Biodiesel diesbezüglich bewirkt, von grossem Interesse.

Die Rauchmessungen erfolgten nach BAV-Vorschrift bei Vollast und drei Drehzahlen. In Abbildung 2 sind die Werte des Biodieselbetriebs als prozentuale Anteile der Dieselwerte aufgetragen. In dieser Darstellung ist die durchwegs enorme Verbesserung des Rauchverhaltens eindrücklich ersicht-

Die gasförmigen Emissionen

Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen mit mehr als 3,5 t Gewicht werden gemäss FAV 2 nach dem stationären 13-Stufen-Test (ECE R 49) geprüft. Bei den Mercedes-Bussen war das Vorgehen somit klar: Ein Motor wurde aus dem Fahrzeug ausgebaut und auf dem Prüfstand der EMPA vorschriftsgemäss gemessen. Bei den Traktoren dagegen, die nicht unter diese Verordnung fallen und auch ein ganz anderes Lastkollektiv aufweisen, stellt sich schon die Frage, ob diese Testprozedur sinnvoll ist. Dennoch wurde mit den drei Traktoren der 13-Stufen-Test auch durchgeführt. Dabei wurde aber die Leistung an der Zapfwelle gemessen, so dass nur die relativen Änderungen vom RME- zum Dieselbetrieb verglichen werden dürfen (weil ja die Absolutwerte auf die – an der Zapfwelle geringere – Leistung bezogen werden). Abbildung 3 enthält die Ergebnisse der Kohlenmonoxid- (CO), der Kohlenwasserstoff- (HC) und der Stickoxid-Messungen (NO_x) in relativer Darstellung. Hier können die Resultate nicht so eindeutig positiv zugunsten des Biodiesels zusammengefasst werden. Offensichtlich ist der Einfluss der Motorkonstruktion und -einstellung auf die Abgase grösser als der des Treibstoffs. Insbesondere erstaunt – mehr als der überhöhte CO-Wert beim John Deere – der 8,8% höhere

Abb. 3: Gasförmige Emissionen im 13-Stufen-Test
1 = Same, 2 = Steyr, 3 = J. Deere, 4 = Mercedes



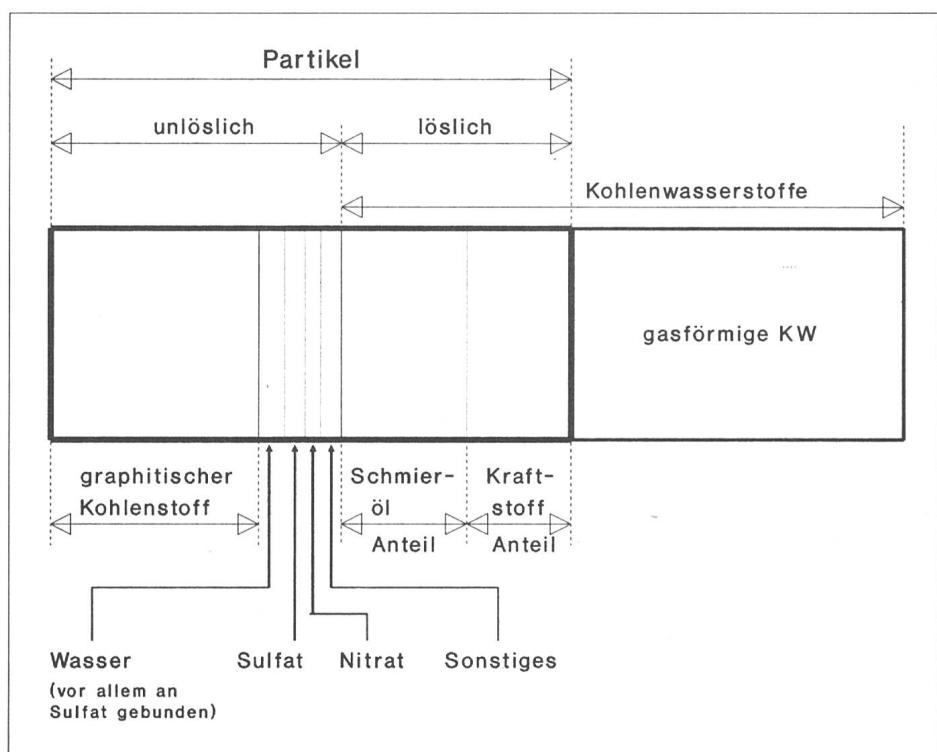
Wert der HC-Emission des Mercedes-Motors. Der sehr kleine Absolutwert von 0,62 g/kWh, der nur gerade knapp 30% des zulässigen Grenzwertes ausmacht, relativiert jedoch die Aussage. Leider gibt es aber mit Biodiesel eindeutig mehr Stickoxide. Am Mercedes-Motor wurde eine Möglichkeit zur Reduktion dieser Emissionskomponente, nämlich die Förderbeginnverstellung, ausprobiert. Durch die Verstellung von 14° auf 11° Kurbelwinkel vor OT wurden die NO_x-Werte um 26,7% gesenkt. Dabei stiegen allerdings die HC-Werte um 11% und die Verbrauchswerte um 1,7%.

Die Partikel

Die Bezeichnung ist etwas irreführend. Es handelt sich nämlich laut Definition um alle Stoffe im Abgas, die bei 52°C mittels definiertem Filter gesammelt und gewogen werden, also auch Flüssigkeitströpfchen. Wie in Abbildung 4 dargestellt, unterscheidet man lösliche und unlösliche Partikel. Die unlöslichen sind zur Hauptsache graphitischer Kohlenstoff, was als Schwarzrauchsicht- und messbar ist. Die löslichen bestehen aus unverbrannten Kohlenwasserstoffen vom Treibstoff und Schmieröl und sind somit durch Oxidation im Katalysator leicht abbaubar. Die ersten Partikelmessungen am Mercedes-Motor überraschten vorerst, denn mit Biodiesel wurden dieselben Werte wie mit Dieselöl ermittelt, obwohl die Rauchwerte nur halb so gross waren. Aber Partikel sind eben mehr als Rauch. Mit nachgeschaltetem Russfiltersystem, das vor allem die unlöslichen Partikelanteile zurückhält, sowie mit Dieselkatalysator, der vor allem die löslichen Partikelanteile beeinflusst, konnte eindeutig gezeigt werden, dass die Partikelzusammensetzung beim Biodieselbetrieb gänzlich anders ist. Eine Analyse der Partikel ergab beim Dieseltreibstoff ungefähr 10–15% und beim RME-Treibstoff etwa 60–70% organisch lösliche Anteile. Damit liegt das Thema weiterer Versuche auf der Hand: **der Dieselkatalysator.**

Im Katalysator werden Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) durch den Kontakt mit einer Platin-Beschichtung zu einer chemischen Umwandlung, der sogenannten Oxidation, angeregt, ohne diese Beschichtung zu verbrauchen. Dieser Vorgang wirkt al-

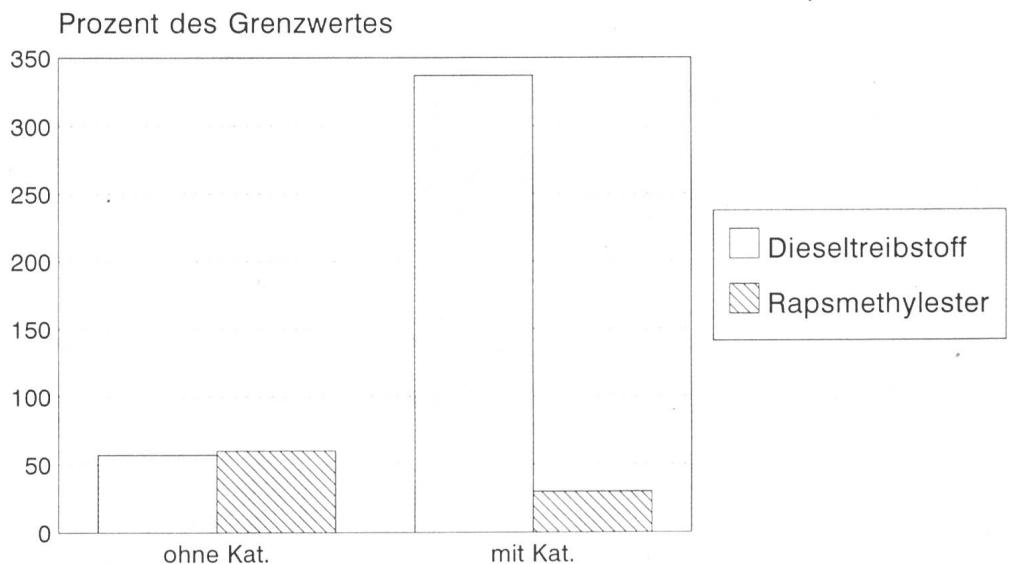
Abb. 4: Zusammensetzung der Partikel



Ierdings auch bei Schwefel, hier jedoch mit negativem Erfolg, indem die entstehenden Sulfate bzw. Schwefelsäure die Partikelmasse stark erhöhen. Als Folge dieser Zusammenhänge bietet sich beim Biodieselbetrieb der Einsatz eines Katalysators förmlich an: Einerseits enthält RME keinen schädlichen Schwefel, andererseits bestehen die Partikel zum überwiegenden Teil aus oxidierbaren löslichen Anteilen.

Abbildung 5 zeigt denn auch die Wirkung. Von ursprünglich etwa gleicher Partikelmenge steigt der Wert beim Dieselbetrieb auf fast das Sechsfache, wogegen beim Biodieselbetrieb nurmehr etwa die Hälfte anfällt. Zudem bewirkt der Katalysator auch eine Reduktion der CO- und HC-Emission um etwa 80% resp. 70%. Die Stickoxide können durch den Oxidationskatalysator nicht reduziert werden.

Abb. 5: Partikelemissionen ohne und mit Katalysator Mercedes-Motor mit Diesel und Biodiesel im 13-Stufen-Test



Das kommt dann noch dazu

Beim Betrieb mit Biodiesel kann also der Einsatz eines Katalysators empfohlen werden. Diese Kombination halbiert ohne emissionsmässige Nachteile den Schwarzrauch und den Partikelaustritt und reduziert die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen um rund drei Viertel.

In der Zwischenzeit begannen die VBZ, fünf Busse mit Biodiesel zu betreiben. Die Reaktionen liessen nicht lange auf sich warten. Der eigenwillige, aufdringliche Abgasgeruch wurde vehement beanstandet. Da die Ursache dieses Geruchs bei bestimmten unverbrannten Kohlenwasserstoffen liegt, müsste er also mit einem Katalysator vermindert werden können. Und tatsächlich, der störende Geruch konnte nahezu vollständig eliminiert werden! **Damit ist der Katalysator für den Biodieselbetrieb von Stadtfahrzeugen nicht nur Empfehlung, sondern Bedingung.**

In seinem rückblickenden Buch (1913) schliesst Rudolf Diesel die Darstellung seiner umfangreichen Treibstoffversuche mit der Feststellung, dass die

Frage der flüssigen Treibstoffe in voller Umfang aufgerollt wurde. «Sie hat seither nicht mehr geruht, hat einen

immer grösseren Umfang angenommen und steht heute im Vordergrund des Interesses.» Auch 1992 noch.

Katalysatortechnik

Allgemein ist ein Katalysator ein Stoff, der eine chemische Reaktion erleichtert bzw. beschleunigt, ohne selbst verbraucht zu werden. Unter Abgaskatalysatoren bei Motorfahrzeugen versteht man das ganze System, bestehend aus dem Metallgehäuse, dem darin vibrationsfrei gelagerten Trägerkörper aus Keramik oder Edelstahl und der eigentlichen Katalysator-Beschichtung. Die wesentlichen Bestandteile dieser Beschichtung sind je nach Konzept die katalytisch aktiven Edelmetalle Platin (Pt), Rhodium (Rh) und Palladium (Pd). Der Edelmetallbedarf liegt heute bei weniger als 1 Gramm pro Katalysator. Beim Dieselmotor kommt der sog. **Oxidationskatalysator** zum Einsatz. Dank dem immer vorhandenen Luftüberschuss im Dieselabgas werden Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) im Katalysator zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O) umgewandelt, sofern die nötige minimale Betriebstemperatur von ca. 250 °C erreicht ist. Die Stickoxide (NO_x) werden hier allerdings nicht reduziert; für diese Reaktion wäre Luftmangel erforderlich. Dies ist beim Benzinmotor möglich: Mit Hilfe der Lambda-Sonde wird das Treibstoff-Luftgemisch auf das genaue stöchiometrische Verhältnis ($\lambda = 1$) geregelt, so dass im Dreiwegkatalysator alle drei Abgaskomponenten reagieren können.

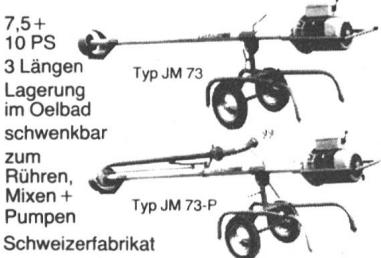
Ein Problem beim Dieselkatalysator stellt der Schwefelgehalt im Treibstoff dar. Das bei der Verbrennung gebildete Schwefeldioxid (SO_2) oxidiert im Katalysator zu SO_3 und bildet mit Wasserdampf unerwünschte Schwefelsäure, die im Abgastest als Partikel gemessen wird. Deshalb sind derzeit erhebliche Bestrebungen im Gange, den Schwefelgehalt des Dieseltreibstoffs zu reduzieren.

WÄLCHLI-SCHAUFELRÜHRWERK



- feuerverzinkt
- Kugellager
- wartungsfrei
- geschlossen
- platzsparend
- 3 Modelle
- einfacher Einbau
- preisgünstig
- ger. Betr.-Kosten

WÄLCHLI-JAUCHEMIXER+PUMPE



WÄLCHLI-SCHNECKENPUMPEN



Für jeden Betrieb haben wir die richtige Pumpe.

30 m³ bis 60 m³ Förderleistung pro Stunde für Förderhöhen 80 oder 160m.

WÄLCHLI-TAUCHSCHNEIDPUMPEN



Tauchschniedpumpe mit drehbarer Röhre, zum Rühren und Umpumpen von Gülle, Treibmist, Schwemm-Mist, Klärschlamm, Abwasser usw.

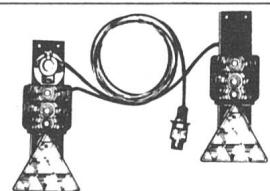
Unempfindlich gegen Trockenlauf und Steine.



**A. WÄLCHLI
MASCHINENFABRIK AG**
4805 BRITTNAU Telefon 062 51 88 66

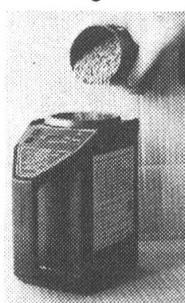
POMA Leuchten

Ab 1.1.93
obligatorisch!
Erhältlich bei jedem Landmaschinenhändler.



AGRITEC GRIESER AG
8451 Kleinandelfingen ZH, 052 411122

Feuchtigkeitsmessgerät für Getreide



DICKEY-John GMT

Getreide hineinschütten Anzeige erscheint in %

NEU: Direkt-Anzeige ohne Tabelle

NEU: Anpassungsmöglichkeit für Gleich-Anzeige wie Sammelstelle-Gerät

Preis: Fr. 600.–
Schutzkoffer erhältlich

8477 Oberstammheim

AGROELEC AG, Telefon 054 45 14 77