

# Bestimmung der Schadstoffemissionen von landwirtschaftlichen Schleppern beim Betrieb mit Rapsölmethylester im Vergleich zu Dieselkraftstoff

JÜRGEN KRAHL, GERHARD VELLGUTH und MÜFTT BAHADIR

Institut für Biosystemtechnik

## 1. Einleitung

Die begrenzten Mineralölvorräte erfordern deren Schonung und die Suche nach anderen Energieträgern. Aus diesem Grund werden derzeit weltweit eine Vielzahl alternativer Kraftstoffe entwickelt und erprobt. Das Ziel ist, den Verbrauch an fossilen Rohstoffen und damit gleichzeitig auch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in die Atmosphäre zu verringern. Eine technisch geeignete Alternative zum Dieselkraftstoff (DK) stellt Rapsölmethylester (RME) dar (Vellguth, 1982 und 1988). Da die Rapsproduktion aber bei weitem nicht ausreichend ist, den gesamten Dieselkraftstoffverbrauch zu ersetzen, kann RME nur einen bescheidenen Beitrag zur Schonung der Mineralölressourcen leisten. Dennoch ist RME in Deutschland eine interessante Alternative zum DK: Zum einen kann durch RME beispielsweise der Dieselkraftstoff-Eigenbedarf der deutschen Landwirtschaft (etwa 7 % des gesamten Dieselkraftstoffs der Bundesrepublik) ersetzt werden. Zum anderen kann das mengenmäßig unbegrenzt absetzbare Produkt Rapsöl dazu beitragen, die Einkommenslage der Landwirte zu stabilisieren. Der Überschussproduktion von Nahrungsmitteln und der Flächenstilllegung wird durch den Rapsanbau ebenfalls entgegengewirkt.

Neben den agrarpolitischen Aspekten sind ökonomische Betrachtungen von Bedeutung. Aus der in Bild 1 dargestellten Energiebilanz ist ersichtlich, daß das Endprodukt RME mehr als doppelt soviel Energie in sich trägt, als zu seiner Herstellung eingesetzt werden muß. Trotz dieser günstigen energetischen Bedingungen ist die RME-Herstellung derzeit durch hohe landwirtschaftliche Erzeugungskosten nicht wettbewerbsfähig gegenüber DK. Somit ist eine staatliche Un-

terstützung durch Subventionierung des Rapsanbaus oder steuerliche Maßnahmen, z.B. Mineralöl-, Öko-, Umwelt- oder CO<sub>2</sub>-Steuer, erforderlich.

Grundlage hierfür muß eine umfassende Betrachtung der Umweltwirkungen von RME und deren monetäre Bewertung sein. Einige ökologische Vorteile gelten als unbestritten. So wird durch den Rapsanbau eine Erweiterung der Fruchtfolge und eine langzeitige Bodenbedeckung erreicht (Schoedder und Vellguth, 1987). Weiter ist eine biologische Abbaubarkeit bei RME gegeben, die sich bei unbeabsichtigtem Einbringen von RME in die Umwelt, z.B. bei Unfällen oder Undichtigkeiten, vorteilhaft auswirkt. Ebenfalls ist bekannt, daß der Einsatz von RME im Gegensatz zum DK CO<sub>2</sub>-neutral ist, da die bei der Verbrennung emittierte CO<sub>2</sub>-Menge zuvor durch Photosynthese der Atmosphäre entnommen wurde. Da beim landwirtschaftlichen Anbau, der industriellen Ölgewinnung und der Konversion zu RME konventionelle Energieträger verbraucht werden, gilt diese Aussage jedoch nicht für den gesamten Prozeß. Über die Schadstoffemissionen der Motoren im RME-Betrieb liegen hingegen nur unzureichende Kenntnisse vor (Munack et al., 1992), die für landwirtschaftliche Schlepper durch derzeit laufende Untersuchungen verbessert werden sollen.

Im folgenden wird dazu ein Prüfverfahren vorgestellt, das die systematische Untersuchung unterschiedlicher Schlepper auf ihre Emissionen im Betrieb mit DK und RME ermöglicht. Von besonderem Interesse sind dabei neben den sogenannten limitierten Schadstoffen die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sowie die Aldehyde und Ketone.

## 2. Testbedingungen für landwirtschaftliche Schlepper

Für Pkw und Lkw sind vom Gesetzgeber unterschiedliche Grenzwerte für die Kohlenwasserstoff-(CH), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxid (NO<sub>x</sub>) und Partikelmassemmissionen vorgegeben (Regelungen, siehe z.B. bei Fränkle und Stein, 1985 und Schäfer, 1991). Die festgelegten Grenzwerte sind dabei auf definierte stationäre oder instationäre Motorbelastungen bezogen, die den typischen Betrieb der Fahrzeuge unter besonderer Berücksichtigung des Stadtverkehrs simulieren (Hauschulz et al., 1983). Wenn RME als Alternativkraftstoff für die Landwirtschaft diskutiert wird, müssen die Emissionsmessungen an ihren Fahrzeugen, d.h. in erster Linie an Acker-

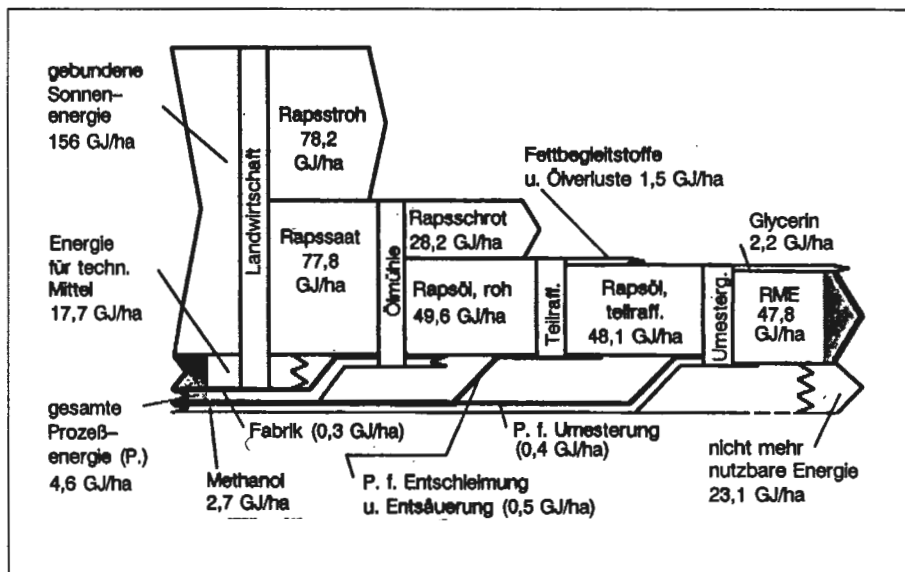


Bild 1: Energieflußbild für die Erzeugung von Rapsölmethylester

| Laststufe        | Motor-*<br>Auslastung<br>% | rel. Dreh-<br>moment*<br>% | rel.<br>Drehzahl*<br>% | Zeit-<br>anteil<br>% | Art der Arbeiten  |
|------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|---|
| A                | 84                         | 88                         | 95                     | 31                   | Pflügen und schwere Zapfwellenarbeiten  |
| B                | 41                         | 48                         | 85                     | 18                   | normale Zapfwellenarbeiten<br>Transporte im Feld<br>und auf Feldwegen             |
| C                | 21                         | 40                         | 53                     | 19                   | Pflegearbeiten ohne Zapfwelle<br>langsame Arbeiten,<br>teilweise mit Kriechgängen |
| D                | 15                         | 15                         | 100                    | 20                   | Straßentransporte, Rangieren  |
| E                | 0                          | 0                          | 40                     | 12                   | Leerlaufanteile aus<br>allen Arbeiten   |
| Alle<br>Arbeiten | Im Mittel:<br>41           | Im Mittel:<br>47           | Im Mittel:<br>79       | Summe:<br>100        |   |

\* bezogen auf Nennwerte bei Nenndrehzahl

Hubvolumen  $VH = 0,242 \text{ l}$   
 Nennleistung  $PN = 3,5 \text{ kW}$   
 Nenndrehzahl  $nN = 3000 \text{ min}^{-1}$

Da es sich bei dem 5-Punkte-Test um ein stationäres Prüfverfahren handelt, kann die Probenahme aller gewählten Schadstoffe durch die Entnahme eines unverdünnten Abgasteilstroms erfolgen (Grimmer et al., 1972; Stärk et al., 1983 und 1984; Vellguth, 1987; Wurst et al., 1990). Aus der Vielzahl der im Abgas vorliegenden Stoffe werden im Rahmen der Vergleichsmessungen die sogenannten limitierten Komponenten  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{NO}_x$  und zusätzlich jeweils 10 Verbindungen aus den Klassen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie der Aldehyde und Ketone bestimmt. Die limitierten Komponenten werden durch die bekannten, in der Abgasmeßtechnik gebräuchlichen Gasanalysatoren quantifiziert. Wesentlich aufwendiger gestaltet sich hingegen die Bestimmung der nicht limitierten PAK und der Aldehyde und Ketone.

Tabelle 1: Charakteristische Betriebspunkte eines Schleppermotors bei verschiedenen Arbeiten und die Zeitanteile ihrer Nutzung

### 3.1 Probenahme der Aldehyde und Ketone

schleppern, nach einem Motorprüfverfahren vorgenommen werden, das den realen motorischen Belastungen eines landwirtschaftlich genutzten Fahrzeugs gerecht wird. Zu diesem Zweck wurde bereits 1987 erstmals ein 5-Punkte-Test zur Emissionsbestimmung an Schleppermotoren vorgeschlagen und angewendet (Vellguth, 1987), der mittlerweile auch von der österreichischen Bundesanstalt für Landtechnik übernommen wurde (Wurst et al., 1990). Tabelle 1 zeigt die charakteristischen Motorbetriebspunkte eines landwirtschaftlich genutzten Schleppers sowie die Zeitanteile ihrer Nutzung.

Die Aldehyd- und Ketonbestimmung erfolgt nach einem 1982 von Lipari und Swarin vorgeschlagenen Verfahren. Ein heißer Abgasteilstrom wird dabei direkt durch eine schwach saure Lösung aus 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) in Acetonitril geleitet. Die Carbonylgruppen der Aldehyde und Ketone reagieren mit dem DNPH unter Wasserabspaltung zu Hydrazonen, die absorptionsspektroskopisch detektierbar sind (Lies et al., 1986; Hartung und Tenge-Müller, 1990). Die Reaktion wird durch folgende Gleichung beschrieben:

### 3. Probenahme

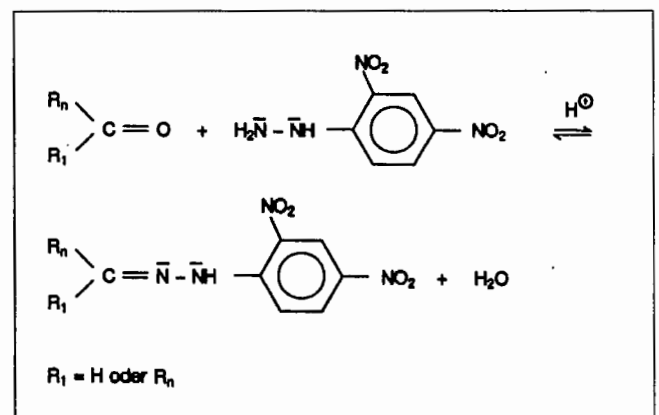
Um das Verfahren zur Bestimmung der Schadstoffemissionen zu entwickeln und zu erproben, wurde zunächst im Labor ein kleiner Einzylinder-Dieselmotor verwendet.

Der über einen Generator abgebremste Motor liefert reproduzierbare Ergebnisse in den einzelnen Betriebspunkten. Ferner ist durch die einfache Bauweise des Einzylindersystems und die Empfindlichkeit des kleinen Motors gewährleistet, daß veränderte Einsatzbedingungen in den Meßergebnissen sichtbar werden.

Technische Daten des Versuchsmotors:

Dieselmotor mit direkter Einspritzung, Typ Farymann K 54

Bohrung  $d = 75 \text{ mm } \varnothing$   
 Hub  $s = 55 \text{ mm}$



Ein großer Vorteil der DNPH-Methode liegt darin, daß die Derivatisierungsreaktion keine Querempfindlichkeit gegenüber  $\text{SO}_2$  aufweist (Nebel, 1981; Hartung und Tenge-

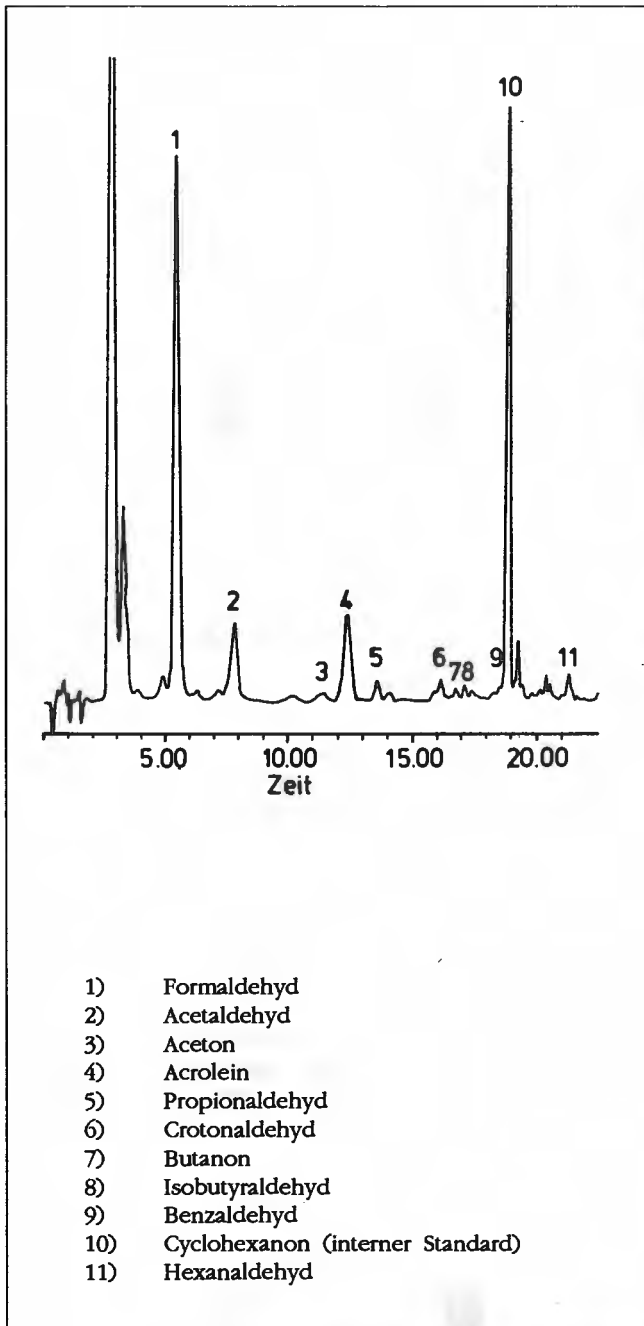


Bild 2: HPLC-UV-Chromatogramm einer Realprobe zur Aldehyd- und Ketonbestimmung

Müller, 1990). Sie ist daher bei den Emissionen des schwefelhaltigen Dieselmotors ebenso gut anwendbar wie bei denen des fast schwefelfreien Rapsölmethylesters. Die ermittelten Werte im DK- und RME-Betrieb sind somit direkt vergleichbar.

Bei der Probenahme werden pro Betriebspunkt jeweils 10 l unverdünntes Abgas entnommen und durch eine auf 190 °C beheizte Leitung in zwei in Serie geschaltete Gaswaschflaschen geleitet, die mit jeweils 40 ml einer DNPH-Lösung (150 mg/100 ml) befüllt sind. Unmittelbar vor der Probenahme werden jeder Gaswaschflasche 0,5 ml 1n HCl zugesetzt, um die DNPH-Lösung zu aktivieren. Vor und nach der Probenahme müssen die Gaswaschflaschen luftdicht verschlossen sein, um eine Ergebnisverfälschung durch die Absorption

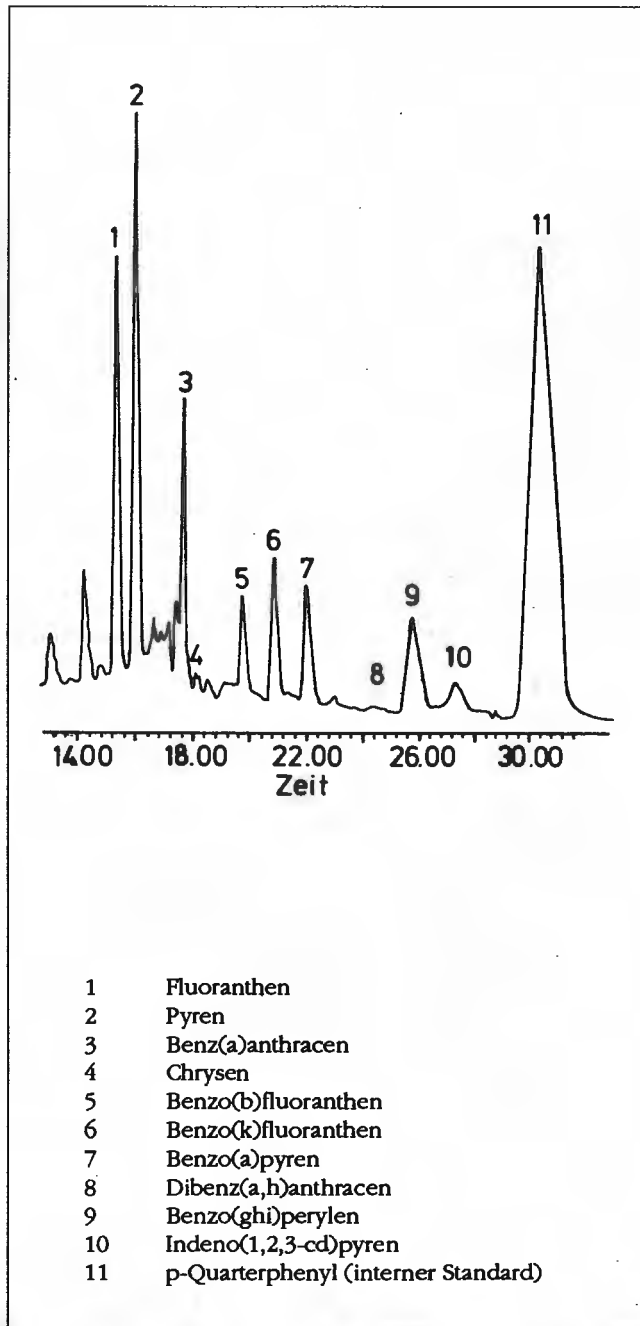


Bild 3: HPLC-Fluoreszenz-Chromatogramm der PAK-Fraktion einer Realprobe

von Carbonylverbindungen aus der Umgebungsluft zu verhindern.

### 3.2 Probenahme der PAK

Im Abgasstrom ist ein Teil der PAK flüchtig, ein anderer Teil an den Rußteilchen adsorbiert. Zur Probenahme werden 20 l unverdünntes Abgas entnommen und in zwei miteinander verbundenen Intensivkühlern auf ca. 40 °C abgekühlt, bevor die Partikel durch einen teflonbeschichteten Glasfaserfilter (Pall T60A20, 70 mm ø) abgetrennt werden. Die PAK liegen auf dem Filter, der Kühlerinnenwand und im Kondensat vor.

Ein Abgasstrom ist grundsätzlich als eine Zweiphasenströmung aus Gas und Partikeln zu betrachten. Soll nicht der ge-

samte Abgasstrom erfaßt werden, so muß ein Teilstrom entnommen werden, ohne daß ein Schlupf zwischen Gas und Partikeln auftritt und eine Trennung des Zweiphasensystems bewirkt. Dies kann durch eine geeignete Sonde und durch isokinetische Absaugung gewährleistet werden. 90 % aller Partikel sind kleiner als 1 µm (Jianxin, 1990) und folgen daher dem Trägergas nahezu schlupffrei (Hermann, 1976). Somit wäre für den größten Teil der Partikel eine isokinetische Entnahme nicht erforderlich.

Im Rahmen der betriebenen Vergleichsmessungen wird dennoch der Abgasteilstrom durch eine geeignete Sonde mittels einer Pumpe unter annähernd isokinetischen Bedingungen abgesaugt, damit in jedem Fall eine Verfälschung der Partikelmassenverteilung ausgeschlossen werden kann.

#### 4. Analytik

##### 4.1 Analyse der Aldehyde und Ketone

Nach der Probenahme wird in die Gaswaschflaschen als interner Standard das DNPH-Derivat des Cyclohexanon gegeben. Danach stehen die Proben direkt zur HPLC-Analyse bereit. Bild 2 zeigt ein HPLC-UV-Chromatogramm einer Realprobe, das unter folgenden Bedingungen ermittelt wurde:

Gerät: Flüssigkeitschromatograph Hewlett Packard 1084 mit UV-Detektor Hewlett Packard 1050 und Auswerteeinheit Hewlett Packard QS/20.

Trennsäule: Waters, Resolve 5 µ Spherical C<sub>18</sub>

Laufmittelgradient:

| A) Wasser + 15 % THF |     | B) Acetonitril |  |
|----------------------|-----|----------------|--|
| Zeit (min)           | % B |                |  |
| 0                    | 32  |                |  |
| 10                   | 32  |                |  |
| 18                   | 60  |                |  |
| 24                   | 80  |                |  |

Fluß: 1,2 ml/min  
Säulentemperatur: 28 °C  
Detektionswellenlänge: 365 nm

##### 4.2 Analyse der PAK

Nach der Probenahme wird die Kühlerinnenwand mit 45 ml Acetonitril gewaschen. Es vereint sich mit dem Kondensat. Die erhaltene Lösung wird unter vermindertem Druck auf ca. 10 ml eingengt. Zur Ablösung der PAK vom Filter wird dieser in einem 250 ml Rundkolben mit 160 ml Toluol übergossen. Die verbliebenen 10 ml aus Kondensat und Kühlerspülung werden zusammen mit ca. 5 g Natriumsulfat ebenfalls in den Rundkolben gegeben.

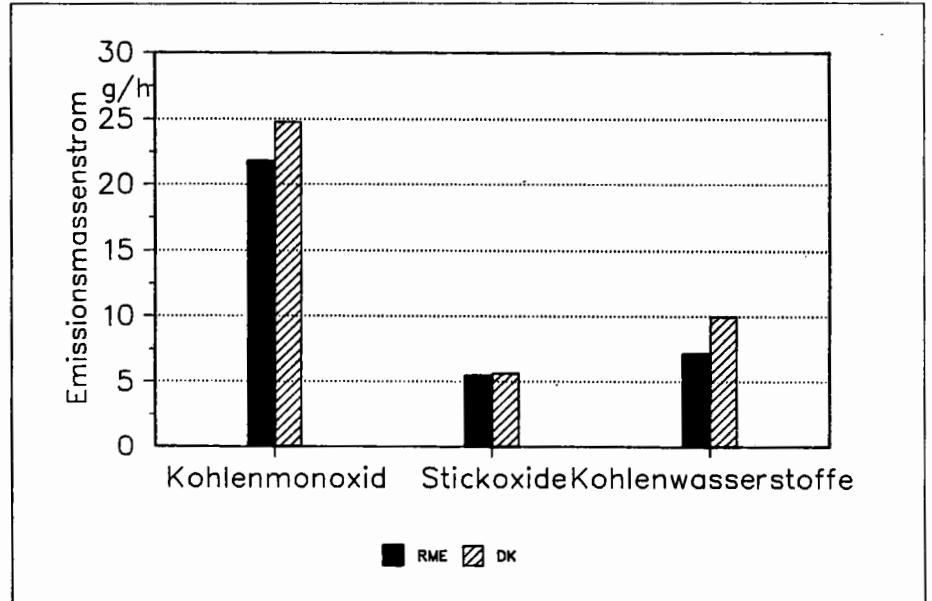


Bild 4: Emissionsmassenströme der limitierten Schadstoffe bei DK- und RME-Betrieb

Danach wird die Lösung 90 Minuten unter Rückfluß gekocht. Nach der Entnahme des Filters erfolgt die Zugabe des internen Standards p-Quarterphenyl. Der erhaltene Extrakt wird auf ca. 0,1 ml eingengt, mit 2 ml Cyclohexan versetzt und erneut auf ca. 0,1 ml konzentriert. Zur Abtrennung polarer Verbindungen wird das Konzentrat auf eine konditionierte Kieselgel-Festphasenextraktionskartusche gegeben. Mit 13 ml Cyclohexan/Dichlormethan (75/25 % v/v) werden aliphatische Kohlenwasserstoffe und underivatisierte PAK von den polaren separiert.

Die vielfältig vorgeschlagenen weiteren Reinigungsschritte durch Festphasenextraktion an verschiedenen Materialien führten bei den Untersuchungen am Versuchsmotor zu

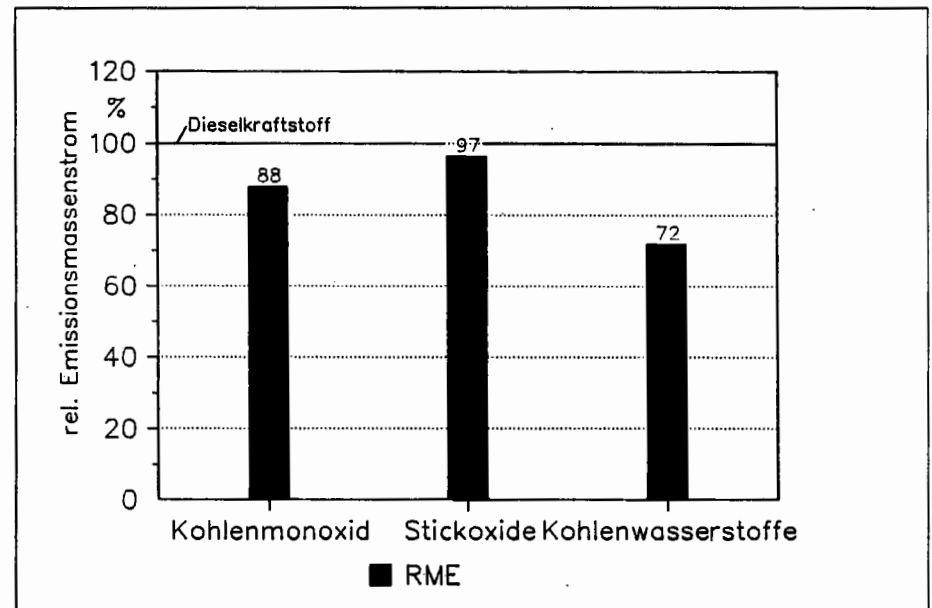


Bild 5: Emissionsmassenströme der limitierten Schadstoffe bei RME-Betrieb bezogen auf den DK-Betrieb

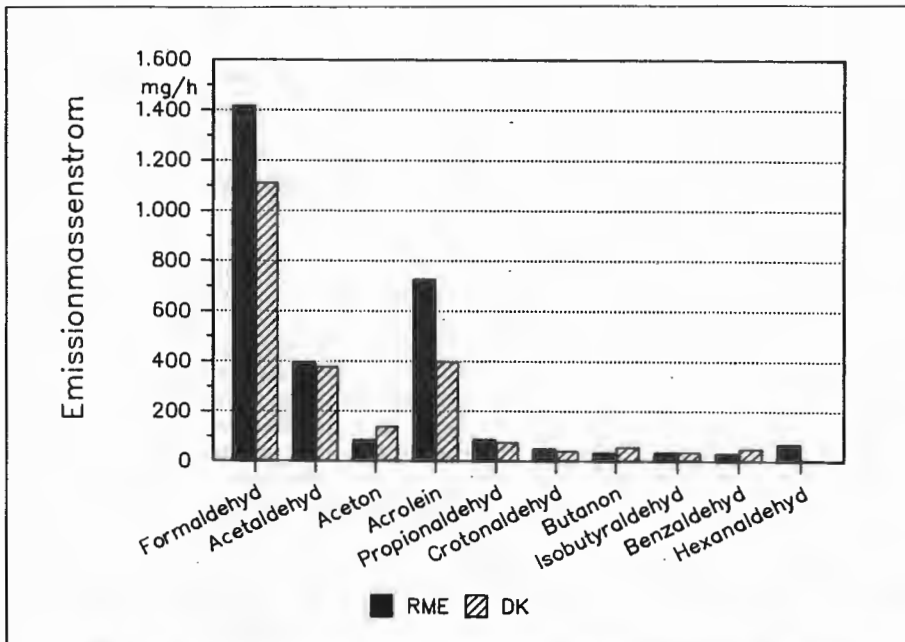


Bild 6: Emissionsmassenströme der Aldehyde und Ketone bei DK- und RME-Betrieb

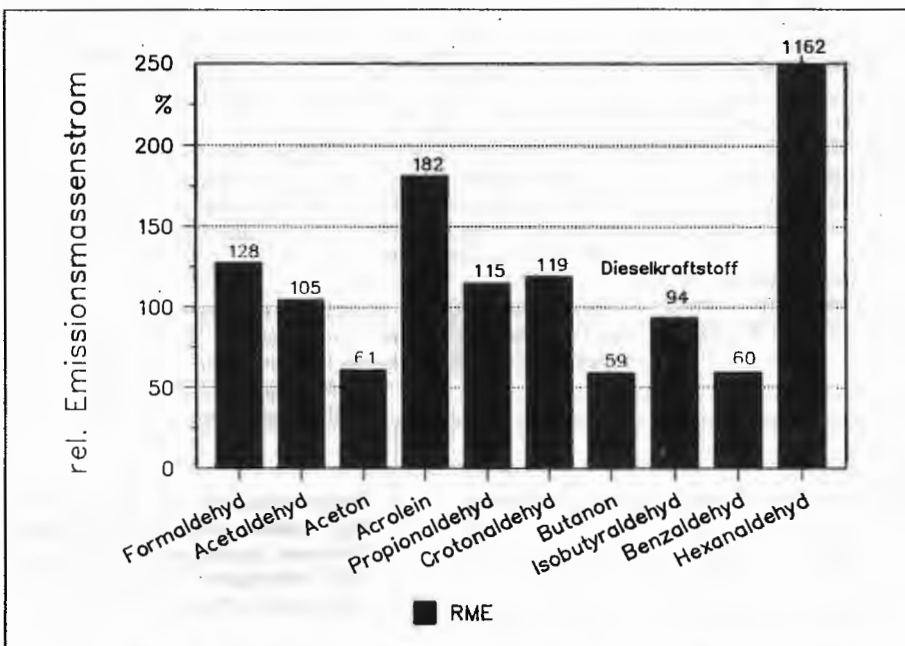


Bild 7: Emissionsmassenströme der Aldehyde und Ketone bei RME-Betrieb bezogen auf den DK-Betrieb

keinem ausreichenden Erfolg. Die Fraktionierung der PAK gelingt aber durch den Einsatz der Dünnschichtchromatographie (DC). Dazu wird das Eluat der Festphasenextraktion auf ca. 0,02 ml eingengt und auf eine 20 cm hohe mit RP-18-Material beschichtete DC-Platte gebracht. Als Laufmittel dient ein Gemisch aus 9 ml n-Hexan und 0,5 ml Dichlormethan. Die Laufzeit beträgt 60 Minuten. Bei Beleuchtung der DC-Platte mit Licht der Wellenlänge 366 nm sind im mittleren Drittel die PAK gut erkennbar. Das Bescheinigen mit 254 nm macht einen UV-aktiven Bereich sichtbar, der eine scharfe Grenze zu den PAK hat. Die PAK-haltige Schicht wird von der DC-Platte abgekratzt und 30 Minuten in 80 ml Acetonitril unter Rückfluß

gekocht. Nach dem Einengen des Acetonitrilextraktes steht die Probe zur HPLC-Analyse bereit.

Bild 3 zeigt das HPLC-Fluoreszenz-Chromatogramm der PAK-Fraktion einer Realprobe, das unter folgenden Bedingungen ermittelt wurde:

Gerät: Flüssigkeitschromatograph Hewlett Packard 1090 mit Fluoreszenzdetektor Hewlett Packard 1046 A und Auswerteeinheit Hewlett Packard QS/20

Trennsäule: Macherey-Nagel, Nucleosil 5 C<sub>18</sub>, PAK

Laufmittelgradient:

| Zeit (min) | % B |
|------------|-----|
| 0          | 55  |
| 7          | 55  |
| 13         | 80  |
| 16         | 100 |
| 34         | 100 |

Fluß: 1,0 ml/min

Säulentemperatur: 22 °C (Die Konstanzhaltung der Temperatur im Säulenraum ist Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit der Retentionszeiten).

Das Wellenlängenschaltprogramm des Fluoreszenzdetektors ist in Tabelle 2 gezeigt.

Die Reproduzierbarkeit der Retentionszeiten ist nur bei konstanter Temperatur im Säulenraum gegeben.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten Emissionswerte werden entsprechend den Zeitanteilen in den 5 Laststufen gewichtet und ergeben dann die Emissionsmassenströme, die in den Bildern 4 bis 9 für den Dieselkraftstoff- und den RME-Betrieb absolut und relativ dargestellt sind.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß bei Abgasmessungen mit relativ großen Fehlern zu rechnen ist (Hauschulz et al., 1983; Vellguth, 1987; Schön et al., 1992). Da die vorliegenden Ergebnisse jedoch auf jeweils gleichen Probenahme- und Analysenbedingungen basieren, sind etwaige systematische Fehler für den Vergleich der beiden Kraftstoffe nicht relevant. Doppel- und Dreifachbestimmungen ergaben, daß die relativen Standardabweichungen unter 20 % gehalten werden konnten.

Es zeigt sich, daß bei dem untersuchten Motor unter den Bedingungen des 5-Punkte-Tests die Emissionen an CO, CH und NO<sub>x</sub> bei Verwendung von RME als Kraftstoff günstiger, z.T. wesentlich günstiger als bei Dieselkraftstoff sind.

| PAK:                                       | Anregung (nm) | Emission (nm) | Zeit (min) |
|--|---------------|---------------|------------|
| Fluoranthen<br>Pyren                       | 237           | 440           | 0          |
| Benz(a)anthracen<br>Chrysen                | 290           | 430           | 16,8       |
| Benzo(b)fluoranthen                        | 297           | 460           | 19,0       |
| Benzo(k)fluoranthen<br>Benzo(a)pyren       | 290           | 425           | 20,4       |
| Dibenz(a,h)anthracen<br>Benzo(ghi)perylene | 290           | 415           | 23,0       |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren                      | 247           | 405           | 26,5       |
| P-Quarterphenyl                            | 220           | 335           | 28,5       |

Tabelle 2: Wellenlängenschaltprogramm des Fluoreszenzdetektors bei der PAK-Bestimmung

Bei den Aldehyden und Ketonen ergibt der Vergleich kein einheitliches Bild. Die Summe dieser Emissionen beträgt im RME-Betrieb fast das 1,3fache des DK-Betriebes. Hierzu tragen Formaldehyd und Acrolein im besonderen Maße bei (Bild 6). Der große relative Unterschied der Hexanaldehyd-emissionen ergibt sich dadurch, daß der absolute Wert im DK-Betrieb extrem klein ist (Bild 7). Dieses Beispiel zeigt, wie irreführend Relativangaben, die häufig in Umweltdiskussionen verwendet werden, sein können.

Im Gegensatz zu den Aldehyden und Ketonen ist bei den PAK eine einheitliche Emissionsreduktion aller Komponenten im RME-Betrieb festzustellen, und zwar um ca. 90 % gegenüber dem DK-Betrieb.

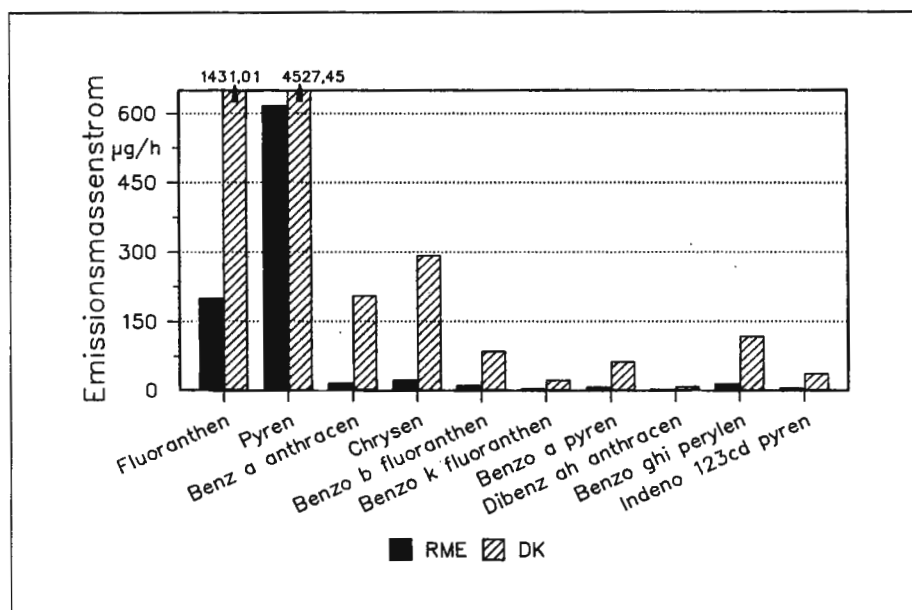


Bild 8: Emissionsmassenströme der PAK bei DK- und RME-Betrieb

### Zusammenfassung

An einem Versuchsmotor werden die CH-, CO-, NO<sub>x</sub>-, Aldehyd-, Keton- und PAK-Emissionen im Betrieb mit Dieselkraftstoff und Rapsölmethylester ermittelt und verglichen. Die Messungen basieren auf dem stationären 5-Punkte-Test, der den typischen Einsatz von landwirtschaftlichen Schleppern simuliert.

Zur Bestimmung der CH-, CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionen dienen handelsübliche Gasanalysatoren. Für die Ermittlung der Aldehyde und Ketone wird das DNPH-Verfahren angewendet. Aldehyde und Ketone werden nach dem Einleiten eines Abgasstroms in Waschflaschen, die mit einer sauren Lösung von DNPH in Acetonitril befüllt sind, zu Hydrazonen derivatisiert und können danach flüssigkeitschromatographisch durch UV-Detektion quantifiziert werden. Zur PAK-Analytik wurde ein Schnellverfahren entwickelt. Hierzu wird dem Abgas ebenfalls ein Teilstrom entnommen. Dieser wird in einem Intensivkühler auf ca. 40 °C abgekühlt und gefiltert. Das durch die rasche Abkühlung anfallende Kondensat wird ebenso wie die Kühlerwaschlösung eingeeengt und zusammen mit Toluol zur Extraktion des auf dem Filter gesammelten Partikulates eingesetzt. Die PAK-Fraktionierung gelingt durch eine Festphasenextraktion an Kieselgel und einer danach folgenden DC-Plattentrennung. Zur Quantifizierung der PAK wird ein HPLC-System mit Fluoreszenzdetektor verwendet.

Im Ergebnis der vergleichenden Abgasuntersuchungen des Motors sind für den CO-, CH- und NO<sub>x</sub>-Ausstoß günstigere Werte bei Betrieb mit RME als bei DK festzustellen. Der Vergleich der Aldehyde und Ketone zeigt für den alternativen Kraftstoff einen Anstieg der Gesamtemission auf das 1,3fache des DK-Betriebes. Formaldehyd und Acrolein tragen dazu im besonderen bei. Dem Zuwachs der Aldehydemissionen bei Verwendung von RME steht jedoch eine starke Absenkung der PAK-Bildung auf etwa 10 % des durch Dieselkraftstoff erzielten Wertes gegenüber.

Eine Bewertung der Ergebnisse muß berücksichtigen, daß die Untersuchung bisher nur an einem Motor durchgeführt wurde und an diesem keine konstruktiven oder Einstellungsänderungen zur Verwendung des RME vorgenommen wurden.

### Determination of the Exhaust Gas Emissions of Agricultural Tractors Running on Rape Seed Oil Methylene Ester in Comparison with Diesel Fuel

The exhaust gas emissions of a small Diesel engine running on Diesel fuel and rape seed oil methylester (RME) are compared with regard to hydrocarbons (CH), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), aldehydes, ketones and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). These investigations are based on the steady state "5 Points Test Procedure" that simulates the typical load of agricultural tractors.

CH, CO and NO<sub>x</sub> are evaluated with commercial measuring instruments. In order to determine the aldehyde and ketone emission fac-

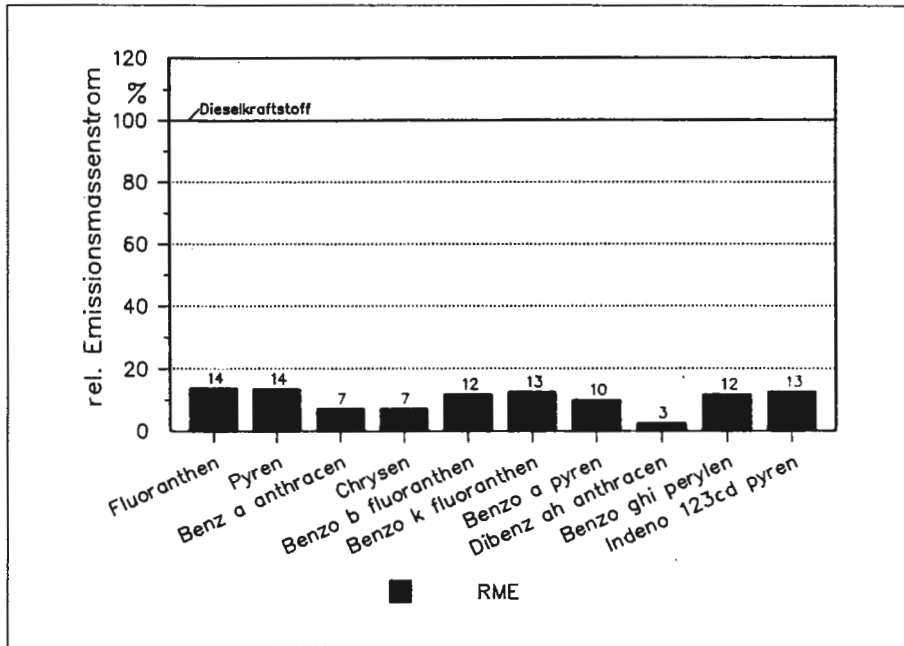


Bild 9: Emissionsmassenströme der PAK bei RME-Betrieb bezogen auf den DK-Betrieb

tors the DNPH-procedure is used. These carbonyl compounds are collected by bubbling the exhaust gas through an acid acetonitrile solution of DNPH reagent. The analysis is done by HPLC and UV-detection. For analyzing PAH a rapid determination method was developed. A part of the hot exhaust gas stream is led through a cooler and a filter. It is cooled down to about 40 °C forming condensate. Together with the cooler rinsing phase the condensed water is concentrated by evaporation and then mixed with toluol. This solution is used for the extraction of PAH from the soot particles. The clean-up of the extract is performed by solid phase extraction at silica gel and thin-layer chromatography. The PAH are determined by HPLC and fluorescence-detection.

Results show that there are lower emissions of CH<sub>4</sub>, CO and NO<sub>x</sub> with rape seed oil methylester than with Diesel fuel. The comparison of aldehydes and ketones reveals an increase by 30 % if the alternative fuel is used. Formaldehyde and acrolein are the main reason for this. In contrast to the carbonyl compounds, the PAH-level decreases by 90 %, if RME substitutes Diesel fuel.

It must be pointed out that no modifications of adjustments and no adaptation of the engine were made when the fuel was changed.

#### Literatur

Fränkle, G., Stein, H.-J. (1988): Instationäre oder stationäre Abgasprüfverfahren für Nutzfahrzeug-Dieselmotoren? - Automobiltechn. Zeitschrift 90, S. 15-22 und 85-92.

Grimmer, G., Hildebrandt, A., Böhnke, H. (1972): Probenahme und Analytik polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Kraftfahrzeugabgasen. - Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemie 25, S. 442-447 und 531-536.

Hartung, A., Tenge-Müller, G. (1990): Bestimmung der Aldehyde und Ketone im Automobilabgas und im Kraftfahrzeuginnenraum. - Volkswagen AG Forschungsbericht FMT 9002/V5.

Hauschulz, G., Heich, H.-J., Leisen, P., Raschke, J., Waldeyer, H., Winkler, J. (1983): Emissions- und Immissionsmeßtechnik im Verkehrswesen. - Verlag TÜV Rheinland.

Hermann, J. (1976): Staub in turbulenter Gasströmung - Staubverteilung und meßtechnische Probleme. - Dissertation TU München.

Jianxin, M. (1990): Reaktionstechnische Untersuchungen zur Regenerierung von Dieselfußfiltern. - Dissertation 1990, TU Clausthal.

Lipari, F., Swarin, S.J. (1982): Determination of Formaldehyde and other Aldehydes in Automobile Exhaust with an Improved 2,4-Dinitrophenylhydrazine Method. - J. Chromatogr. 247, S. 297-306.

Munack, A., Krahl, J., Vellguth, G. (1992): Rapsöl als Energieträger (Kraftstoff und Brennstoff) und Schmieröl - Technische und logistische Aspekte, Umweltwirkungen sowie Verwertung und Entsorgung von Reststoffen und gebrauchten Produkten. - Abschlußbericht zum BML-Forschungsvorhaben 90 NR 001.

Nebel, G.J. (1981): Determination of Total Aliphatic Aldehydes in Auto Exhaust by a Modified 3-Methyl-2-benzothiazolinone Hydrazone Method. - Anal. Chem. 53, S. 1708-1709.

Schäfer, F. (1991): Gesetzliche Vorschriften zur Schadstoff- und Verbrauchsbegrenzung bei Pkw-Verbrennungsmotoren. - Motortechn. Zeitschrift 52, S. 346-355.

Schön, H., Strehler, A., Widmann, B.A., Apfelbeck, R., Gessner, B.H.; Pontius, P. (1992): Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht. - Gelbes Heft 40, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Stärk, G., Besslein, W., Leonhard, R., Ueberschär, D., Miltenburger, H., Klemp, H. (1983): Untersuchung der Partikelemissionen von Dieselmotoren auf direkt wirkende Mutagenität. - Motortechn. Zeitschrift 44, S. 2633-267.

Stärk, G., Krebs, S., Leonhard, R. (1984): Schnellverfahren zur Bestimmung der PAK-Emissionen von Diesel- und Ottomotoren im Stationärbetrieb. - Motortechn. Zeitschrift 45, S. 209-214.

Vellguth, G. (1982): Eignung von Pflanzenölen und Pflanzenölderivaten als Kraftstoff für Dieselmotoren. - Grundle. Landtechnik 32, S. 136-141.

Vellguth, G. (1987): Emissionen bei Verwendung alternativer Kraftstoffe in Schlepper-Dieselmotoren. - Grundle. Landtechnik 37, S. 207-213.

Vellguth, G. (1988) Pflanzenöl als Dieseldieselkraftstoff-Substitut. - Landbauforschung Völkenrode 38, S. 12-16.

Wurst, F., Boos, R., Prey, R., Scheidl, K., Wörgetter, M. (1990): Emissionen beim Einsatz von Rapsölmethylester an einem Prüfstandsmotor. - Forschungsberichte der Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, Heft 22.

Die Verfasser danken Frau Barbara Ringe und Herrn Helmut Seidel (Institut für Biosystemtechnik) für ihre Mitarbeit.

Verfasser: Krah, Jürgen, Dipl.-Chem., Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Prof. Dr.-Ing. Axel Muna ck; Institut für Ökologische Chemie und Abfallanalytik der TU Braunschweig; Vellguth, Gerhard, Dipl.-Ing., Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Prof. Dr.-Ing. Axel Muna ck; Bahadir, Müfit, Prof. Dr. Dr., Institut für Ökologische Chemie und Abfallanalytik der TU Braunschweig.