

## Pflanzenöl als Dieselmotoren-Substitut

GERHARD VELLGUTH

Institut für Biosystemtechnik

### 1 Einleitung

Erste Versuche, Pflanzenöl als Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor zu nutzen, wurden bereits um die Jahrhundertwende von Rudolf Diesel während der Entwicklung seines Motors unternommen. Die Konkurrenz dieses "Kraftstoffes" mit dem preiswerten Energieträger Erdöl führte jedoch dazu, daß der Dieselmotor im weiteren Verlauf seiner nunmehr fast 100jährigen Geschichte ausschließlich im Wechselspiel mit dem "Dieselmotoren-Substitut" aus fossilen Ressourcen weiterentwickelt wurde. Erst die sog. Ölkrise mit der Erdölknappheit in den 70er Jahren rückte die Pflanzenöle als potentielle Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen erneut in das Interesse, das aber schon nach wenigen Jahren infolge ausreichender Versorgung und stark zurückgegangener Erdöl-Preise nachließ. Heute findet die Möglichkeit, Pflanzenöl als Dieselmotoren-Substitut einzusetzen, vor allem deshalb Aufmerksamkeit, weil die Verwendung mit dazu beitragen kann, die Überschußproduktion in der Landwirtschaft zu verringern und die Beschäftigung und das Einkommen zu sichern.

### 2 Rapsöl als Energieträger und Kraftstoff

In der Bundesrepublik ist Raps, bevorzugt Winterraps, vor allem aus klimatischen Gründen die in bezug auf Anbaufläche und erzeugte Saat- bzw. Ölmenge einzige bedeutungsvolle ölliefernde Pflanze. Während die Durchschnittserträge an Saat, abgesehen von witterungsbedingten Schwankungen, bei etwa 27 dt/ha verharren, ist die Erzeugung durch Ausweitung der Anbauflächen in den letzten Jahren sprunghaft gestiegen (Götzke u. Kleinhanß, 1988). Aus der Saat (Rapskorn) mit einem Ölgehalt von durchschnittlich 42 % läßt sich in den Ölmöhlen durch Pressen und Extrahieren das Öl nahezu restlos gewinnen, so daß die Ölerträge etwa 1 100 kg pro Hektar betragen (Batel u. a., 1980). Soll aus bestimmten Gründen die Saat mit kleinen Schneckenpressen auf dem Hof selbst ausgepreßt werden, z. B. um den verbleibenden Preßkuchen (Rapsschrot) direkt zu verfüttern, so ist mit einem Restölgehalt von ca. 4-10 %, nach Apfelbeck (1986) sogar bis zu 20 % zu rechnen, womit der Zweck der Ölproduktion nur unvollkommen erfüllt wird und was außerdem zu einem schlecht lagerfähigen und schlecht verdaulichen Futter führt. Wäre der Ertrag von etwa 1 100 kg Öl pro Hektar direkt als Kraftstoff verwendbar, so würde dies bedeuten, daß zur vollständigen Substitution des derzeitigen Dieselmotorenverbrauchs in der Landwirtschaft der Bundesrepublik 1/5 der Ackerfläche mit Raps bestellt werden müßte. Bei dieser Berechnung sind ein Eigenverbrauch an Raps für Saatgut und der unterschiedliche Energieinhalt bzw. eine unterschiedliche Dichte von Rapsöl und Dieselmotoren-Substitut berücksichtigt. Da der Verbrauch der Landwirtschaft weniger als 1/10 des gesamten Dieselmotorenverbrauchs in der Bundesrepublik ausmacht, ist eine Selbstversorgung der gesamten Wirtschaft offensichtlich auf diesem Wege unmöglich.

Vorteile des Rapsöles als Energieträger sind der hohe Energieinhalt (Brennwert) von ca. 40 MJ/kg, d. h. ein Heizwert von ca. 37 MJ/kg und die flüssige Konsistenz bei nor-

malen Umgebungstemperaturen. Für den Einsatz als Kraftstoff in Dieselmotoren ist darüber hinaus die gute Zündwilligkeit maßgeblich. Sie entspricht nach Messungen der Deutschen BP bei raffiniertem Rapsöl mit einer Cetanzahl von 51 der von Dieselmotoren qualitätsbewußter Marken. Nachteilig wirkt sich besonders bei Temperaturen unter 0 °C die hohe Viskosität des Rapsöles aus, die einen Winterbetrieb ohne zusätzliche Maßnahmen unmöglich macht.

### 3 Leistung und Verbrauch

Praktische Versuche zum Einsatz von Pflanzenölen als Dieselmotoren-Substitut, die vor allem um das Jahr 1980 herum in vielen Ländern und von zahlreichen Instituten und Motorenherstellern durchgeführt wurden, haben die grundsätzliche Eignung als Alleinkraftstoff oder als Zuzug zu Dieselmotoren bestätigt. Ausführliche und systematische Versuche mit Rapsöl wurden im Institut für landtechnische Grundlagenforschung, jetzt Institut für Biosystemtechnik, der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) durchgeführt (Batel u. a., 1980; Vellguth, 1982, 1983).

Sie ergaben, daß Dieselmotoren verschiedener Arten (kleine Einbaumotoren, Schleppermotoren, Vor- bzw. Wirbelkammermotoren und Motoren mit direkter Einspritzung, Saugmotoren und Motoren mit Aufladung) mit raffiniertem Rapsöl gut zu starten sind und gleichmäßig laufen. Die Energieumsetzung im Motor - der thermische Wirkungsgrad - ist etwa so gut wie bei Dieselmotoren, gelegentlich im Saugmotor etwas schlechter, im Turbo-Motor etwas besser, so daß der Rapsöl-Verbrauch sich zum Dieselmotoren-Verbrauch im gleichen Maße verhält wie die auf eine Volumeneinheit bezogenen Heizwerte, d. h. daß sich im Mittel etwa ein Mehrverbrauch von 3 % bei vollständiger Substitution ergibt.

### 4 Probleme bei Dauereinsatz

Während ein kurzzeitiger Betrieb mit Rapsöl zur Durchführung von Leistungs- und Verbrauchsmessungen problemlos möglich ist, treten bei längerem Betrieb, z. B. bereits nach 50 Stunden, gravierende Nachteile durch Bildung von Verbrennungsrückständen auf. Insbesondere die Düsen von direkt einspritzenden Motoren, wie sie heute in Schleppern und Nutzfahrzeugen und in neuester Zeit z. T. in Personenwagen verwendet werden, sind hiervon betroffen, Abb. 1. Die Folge sind weitere Verkrustungen und eine Verschlechterung der Verbrennung, die zu Leistungsabfall, unregelmäßigem Lauf und schließlich zum Ausfall des Motors führen. Kleine Motoren sind stärker davon betroffen als Motoren mit größerem Hubraum, direkt einspritzende Motoren früher als Vor- und Wirbelkammer-Motoren, und ein hoher Mischungsanteil Rapsöl zu Dieselmotoren-Substitut ist schädlicher als ein kleiner. Daß auch ein Anteil von nur 10 % sich bereits schädigend auswirken kann, zeigt die Zunahme der Rußemissionen, Abb. 2. Eine andere störende Begleiterscheinung des Pflanzenölbetriebes ist die Veränderung der Viskosität des Motorschmieröls.

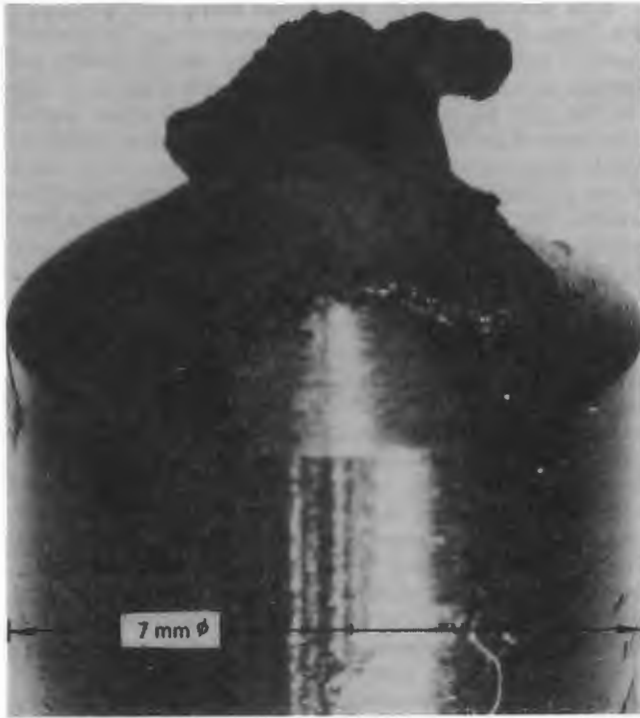


Abbildung 1: Verkrustung an der Einspritzdüse nach 50-stündigem Motorbetrieb mit Pflanzenöl

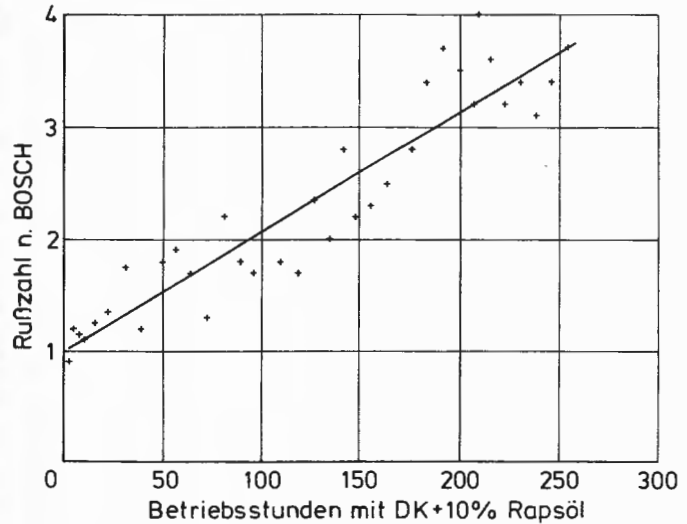


Abbildung 2: Entwicklung der Rußzahlen bei Pflanzenöl-Kraftstoff

### 5 Maßnahmen zur Verbesserung des Dauerverhaltens

Eine Verwendung von Rapsöl als Dieselmotorkraftstoff-Substitut setzt neben anderen Bedingungen vor allem die Beseitigung der Verkrustungen voraus. Sie erfordert entweder eine Anpassung des Motors an die Kraftstoffeigenschaften oder eine Anpassung des Kraftstoffes an die im Motor gegebenen Bedingungen. Selbstverständlich kommt auch eine zugleich gegenseitige Anpassung in Betracht.

#### 5.1 Anpassung des Kraftstoffes an den Motor

Die Anpassung des Kraftstoffes an den Motor ist der vorteilhaftere Weg, vor allem wegen der großen Zahl der vorhandenen Motoren, der großen Vielfalt der Motoren und des begrenzten Substitutionspotentials. Eine Reihe von denkbaren Anpassungsmaßnahmen wurde untersucht, blieb jedoch ohne Erfolg, bis auf die chemische Veränderung des Rapsöles durch die sog. Umesterung. Sie ist ein in der Fettchemie bekannter Prozeß, der zu kleineren Molekülen und geringerer Viskosität führt. Für die Kraftstoffverwendung entscheidend ist das wesentlich verbesserte Brennverhalten, das in den vorhandenen, für konventionellen Dieselmotorkraftstoff entwickelten Motoren keine Krustenbildung verursacht.

Das Prinzip der Umesterung ist in Abb. 3 und die kraftstoffspezifischen Kennwerte von Methylester von Rapsöl im Vergleich mit Dieselmotorkraftstoff und mit Rapsöl sind in Abb. 4 zu sehen. Durch die Abspaltung von Glycerin, das durch Ethanol oder Methanol ersetzt wird, hat der Ester des Rapsöles einen geringeren Energieinhalt und eine geringere Dichte als das Rapsöl selbst. Bei gleichem thermischen

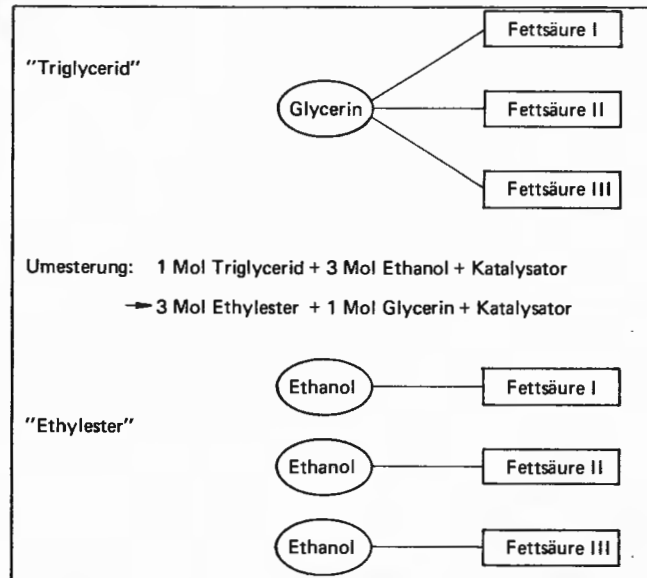


Abbildung 3: Schema der Umesterung von Pflanzenöl

Kennwert		Dieselmotorkraftstoff	Rapsöl raffiniert	Methylester v. Rapsöl
Heizwert	MJ/kg	40,6–44,4 (42,4)	37,6	37,2
Dichte bei 20 °C bei 15 °C	kg/l	0,81–0,85 (0,829)	0,91	0,88
vol. Heizwert	MJ/l	35,2	34,4	32,7
kin. Viskosität (20 °C)	mm <sup>2</sup> /s	1,2–10 (4)	98	6,3–8,1
Zündwilligkeit (Cetanzahl)	CZ	> 45	51	54

Abbildung 4: Kennwerte von Dieselmotorkraftstoff, Rapsöl und Methylester von Rapsöl

Wirkungsgrad ergibt sich hieraus ein Mehrverbrauch von 7-10 % gegenüber Dieseldieselkraftstoff. Durch Einstellung der Einspritzpumpe auf eine entsprechende Fördermenge sind mit dem Ester jedoch die gleichen Drehmomente und Leistungen wie beim Dieseldieselkraftstoffbetrieb zu erreichen. Über den Praxiseinsatz eines Schleppers ausschließlich mit diesem Kraftstoff wurde 1985 berichtet (Vellguth, 1985). Inzwischen hat dieser Schlepper störungsfrei in 5 Jahren 3 300 Betriebsstunden gearbeitet, und in letzter Zeit begonnene Einsatzerprobungen anderer Institute und Firmen bestätigen, daß die Umesterung des Rapsöles das beste bisher bekannte und in seiner Wirkung ausreichende Verfahren zur Anpassung des Rapsöles als Kraftstoff an die vorhandenen Dieselmotoren ist.

## 5.2 Anpassung des Motors an den Kraftstoff

Prüfstandversuche in Südafrika mit teilraffiniertem Sonnenblumenöl als Kraftstoff für einen Schleppermotor von Klöckner-Humboldt-Deutz (F3L 912 W), der mit einer Wirbelkammer für die sog. 2-Stufen-Verbrennung ausgerüstet war, verliefen über 1 800 Stunden ohne größere Störungen (Hawkins u. a., 1983). Zur Teilraffination wurde in diesem Fall das Sonnenblumenöl ausgepreßt, gefiltert, gewaschen und zentrifugiert. Vorteilhaft ist ein Heißpressen bei ca. 70 °C, da die Ölausbeute durch geringere Viskosität und die Lagerfähigkeit (mikrobielle Zersetzung, Schimmelbildung) verbessert werden. Das Waschen dient zur Entfernung wasserlöslicher Nebenbestandteile und zur Entschleimung, da die Schleimstoffe (Phosphatide) durch die Wasserzugabe aufquellen und danach beim Zentrifugieren (Separieren) abgeschieden werden. Insofern stellt das Entschleimen bereits eine Maßnahme zur Anpassung des Öles an den Motor dar, ohne die es zu Verstopfungen der Kraftstoffanlage (Filter, Leitungen, Pumpen, Düsen) kommen würde. Die Teilraffination in Ölmühlen beinhaltet im allgemeinen neben der Entschleimung eine Entsäuerung des Öles. Sie scheint für die motorischen Belange höchstens von untergeordneter Bedeutung zu sein, während die weiteren Schritte zur Vollraffination wie das Bleichen und Desodorieren überflüssig sind. Ein Prüfstandversuch mit dem gleichen Motor F3L 912 W mit industriell teilraffinierten Rapsöl ergab ebenfalls ein befriedigendes Aussehen mit geringer Krustenbildung, doch war die Laufzeit von 100 Stunden nicht ausreichend, um das Langzeitverhalten zu beurteilen. Folgerungen zum Verhalten kleinerer Motoren, die empfindlicher reagieren, sind daraus ohnehin nicht zu ziehen.

Versuche zur Anpassung eines Vorkammermotors durch geringfügige, konstruktive Änderungen (Veränderung der Düsenstellung in der Vorkammer) wurden von Pak u. Alexi (1987) durchgeführt. Geringe Verbesserungen beim Pflanzenölbetrieb wurden erreicht, jedoch sind durch die Abweichung von der werksseitig ermittelten optimalen Anordnung Nachteile beim Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff oder Diesel-Rapsöl-Mischkraftstoff zu befürchten. Auch ist eine Verallgemeinerung des Ergebnisses und Übertragung auf andere Motoren wegen ihrer konstruktiven Unterschiede nicht möglich.

Als schwerwiegende Nachteile einer eventuellen Anpassung durch Umrüstung von Direkteinspritzung auf das Vor- oder Wirbelkammerverfahren sind neben den Kosten auch ein durchschnittlicher Kraftstoff-Mehrverbrauch von ca. 15 % zu berücksichtigen.

Eine Besonderheit als angepaßter Motor stellt der Motor der Firma Elsbett dar. Er wird gelegentlich als "Pflanzenölmotor" bezeichnet, da nach Angaben des Herstellers ein Betrieb mit rohem, gepreßtem Pflanzenöl möglich ist. Da Öl, das nur durch Auspressen der Saat gewonnen wurde, gegenüber gepreßtem und extrahiertem Öl weniger Schleimstoffe besitzt und es gefiltert und zentrifugiert wird, kann dieses Öl jedoch auch als weitgehend entschleimt angesehen werden. Der direkt-einspritzende Elsbett-Motor besitzt konstruktive Merkmale, die eine bessere Eignung für Pflanzenöl-Kraftstoff als bei konventionellen Motoren erwarten lassen. Hierzu gehören weitgehend selbstreinigende Zapfendüsen, die bisher nur in Vor- oder Wirbelkammermotoren üblich waren, sowie ein geringeres Spiel zwischen Kolben und Zylinder, so daß mögliche Verbrennungsrückstände nicht so leicht zu den Kolbenringen vordringen und diese verklemmen können, dazu höhere Einspritzdrücke durch spezielle Pumpe-Düse-Elemente, durch die eine feinere Kraftstoffaufbereitung bewirkt wird, und schließlich eine spezielle Luftführung, die ein heißes Zentrum der Verbrennung mit einem kalten Mantel im Zylinder herstellen soll. Nach diesem Merkmal wird der Motor auch Duotherm-Motor genannt. Obwohl bereits 1980 fahrfähige Motoren beschrieben sind, werden erst in letzter Zeit Untersuchungsergebnisse von neutralen, wissenschaftlichen Instituten bekannt. Sie beziehen sich auf den Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff, so daß die Motoreigenschaften beim Pflanzenölbetrieb noch nicht exakt beurteilt werden können.

Zusammenfassend ist als Stand der aus Versuchen und Erprobung gewonnenen Kenntnisse festzustellen:

- Zum Gebrauch als Kraftstoff für Dieselmotoren muß Rapsöl gefiltert und entschleimt werden. Eine Entsäuerung (Teilraffination) ist wahrscheinlich nicht, eine Bleichung und Desodorierung nicht erforderlich.
- Generell können konventionelle Dieselmotoren mit diesem Rapsöl kurzzeitig gut, langfristig nicht betrieben werden. Das gilt auch für kleine Zumischungsanteile von Rapsöl zu Dieseldieselkraftstoff.
- Ausnahmen sind möglich, z. B. Deutz-Wirbelkammermotor oder Elsbett-Motor. Sie müssen aber noch durch Erprobung überprüft werden. Für eine ausreichende Winter-tauglichkeit sind besondere Maßnahmen erforderlich.
- Durch Umesterung kann Rapsöl für alle Dieselmotoren geeignet gemacht werden. Auch die Wintereignung ist durch Umesterung verbessert.

## 6 Umweltverträglichkeit

Überlegungen zur Einführung von alternativen Kraftstoffen in den Markt müssen auch die Umweltverträglichkeit mit einschließen (Schoedder u. Vellguth, 1987). So ist zu prüfen, welche Umweltwirkungen in den drei Bereichen

- Anbau des nachwachsenden Rohstoffes Raps,
  - Be- oder Verarbeitung, d. h. Gewinnung, Raffination bzw. Umesterung des Öles und
  - Verwendung im Motor
- auftreten. Da kein technischer Prozeß ohne Umweltbelastungen (Abwärme, Lärm, Emissionen, Reststoffe usw.) abläuft, ist die Umweltverträglichkeit nur in bezug auf die Alternativen zu beurteilen.

Der Anbau des Rapses ist aus dieser Sicht nicht wesentlich anders als die bisherige landwirtschaftliche Produktion zu sehen. Vorteile des Rapses liegen in langzeitiger Bodenbedeckung mit verringerter Erosionsgefahr und in erweiterten Fruchtfolgevariationen.

Bei der Verarbeitung treten ebenfalls keine besonderen Belastungen auf. Der Energieaufwand ist verglichen mit anderen Prozessen, z. B. der Ethanol-Herstellung, gering und damit auch die mit der Energiebereitstellung verbundene Umweltbelastung. Die Verarbeitungsprozesse laufen in geschlossenen Anlagen ab und hinterlassen nur wenige Beiprodukte, von denen die meisten weiterverarbeitet bzw. -verwendet werden und der Rest für energetische Zwecke verbrannt werden kann.

Auch die motorische Verwendung von Kraftstoffen aus Rapsöl ist nach den derzeitigen Kenntnissen nicht ungünstiger für die Umwelt einzustufen als der Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff. Rapsölkraftstoffe sind frei von Schwefel und damit im Gegensatz zu Dieseldieselkraftstoff frei von schwefeligen Emissionen. Wie Abb. 5 für den Wirbelkammermotor (IDI = indirect injection) zeigt, halten sich auch die gasförmigen Emissionen Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide bei 3 verschiedenen Rapsölqualitäten bei Berücksichtigung der unvermeidbaren Meßwertestreuung im gleichen Bereich wie bei Dieseldieselkraftstoff. Die gleiche Aussage ist für einen mit Methylester von Rapsöl und ver-

gleichsweise mit Dieseldieselkraftstoff betriebenen direkteinspritzenden (DI-) Motor zu treffen, Abb 6. Besonders positiv ist jedoch zu werten, daß beim Methylester-Betrieb die Rußzahlen nur halb so hoch sind wie bei Dieseldieselbetrieb, d. h. daß die Emission der als krebserzeugend verdächtigen Rußpartikel wesentlich vermindert ist.

Signifikant ist der andersartige Geruch des Abgases von Rapsöl-Kraftstoff im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff. Bei vorsichtiger, subjektiver Beurteilung ist er als "nicht unangenehmer als bei Dieseldieselkraftstoff" einzustufen.

### 7 Zusammenfassung

Pflanzenöl (Rapsöl) ist ein Energieträger, der unter bestimmten technischen Bedingungen als Dieseldieselkraftstoff-Substitut verwendbar ist. Die Eigenerzeugung auf etwa 1/5 der Ackerfläche der Bundesrepublik könnte den Dieseldieselkraftstoffbedarf der Landwirtschaft decken. Der Rapsanbau, die Verarbeitung und die Verwendung als Kraftstoff

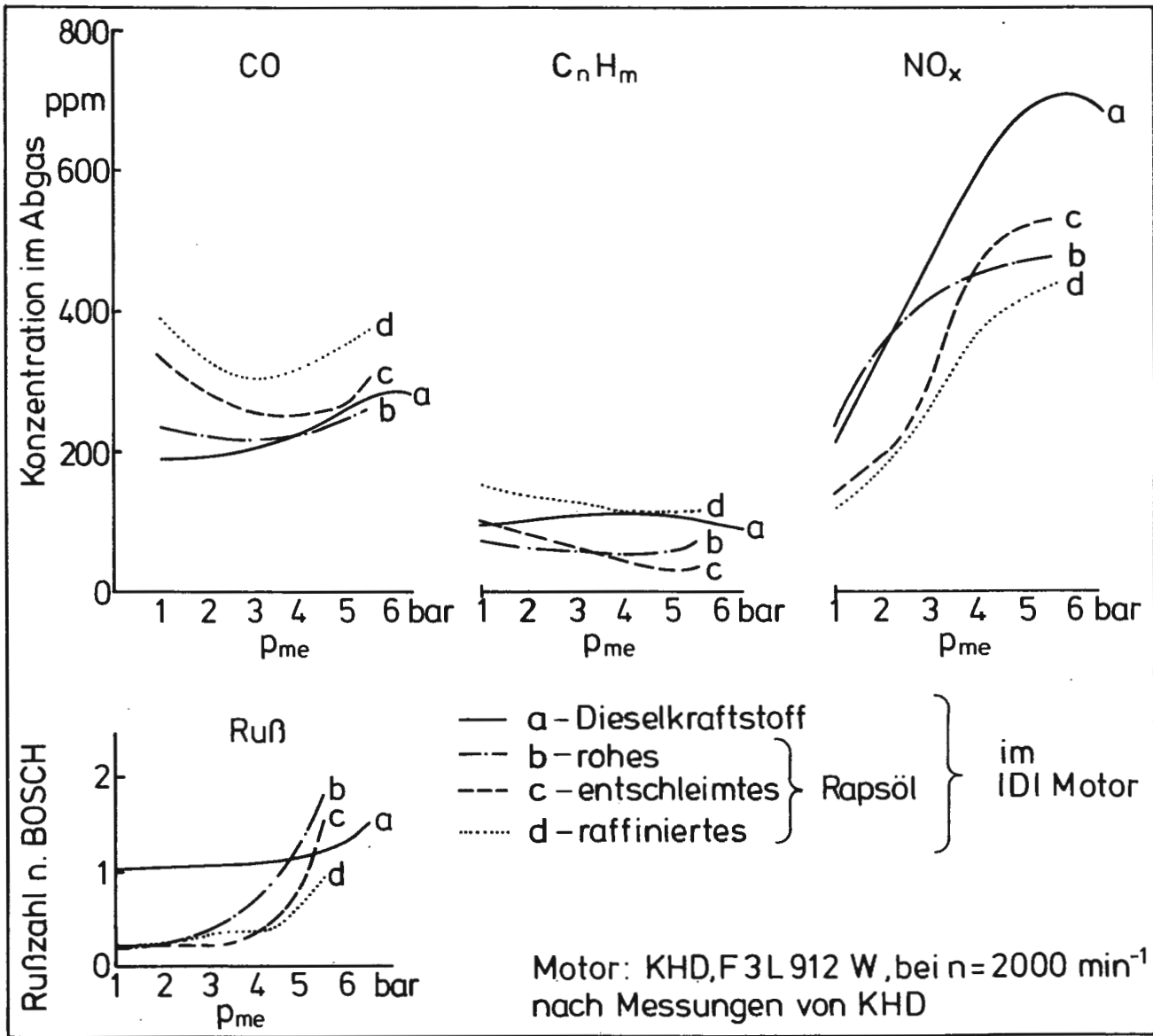


Abbildung 5: Emissionswerte eines Wirbelkammermotors beim Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff bzw. Rapsöl

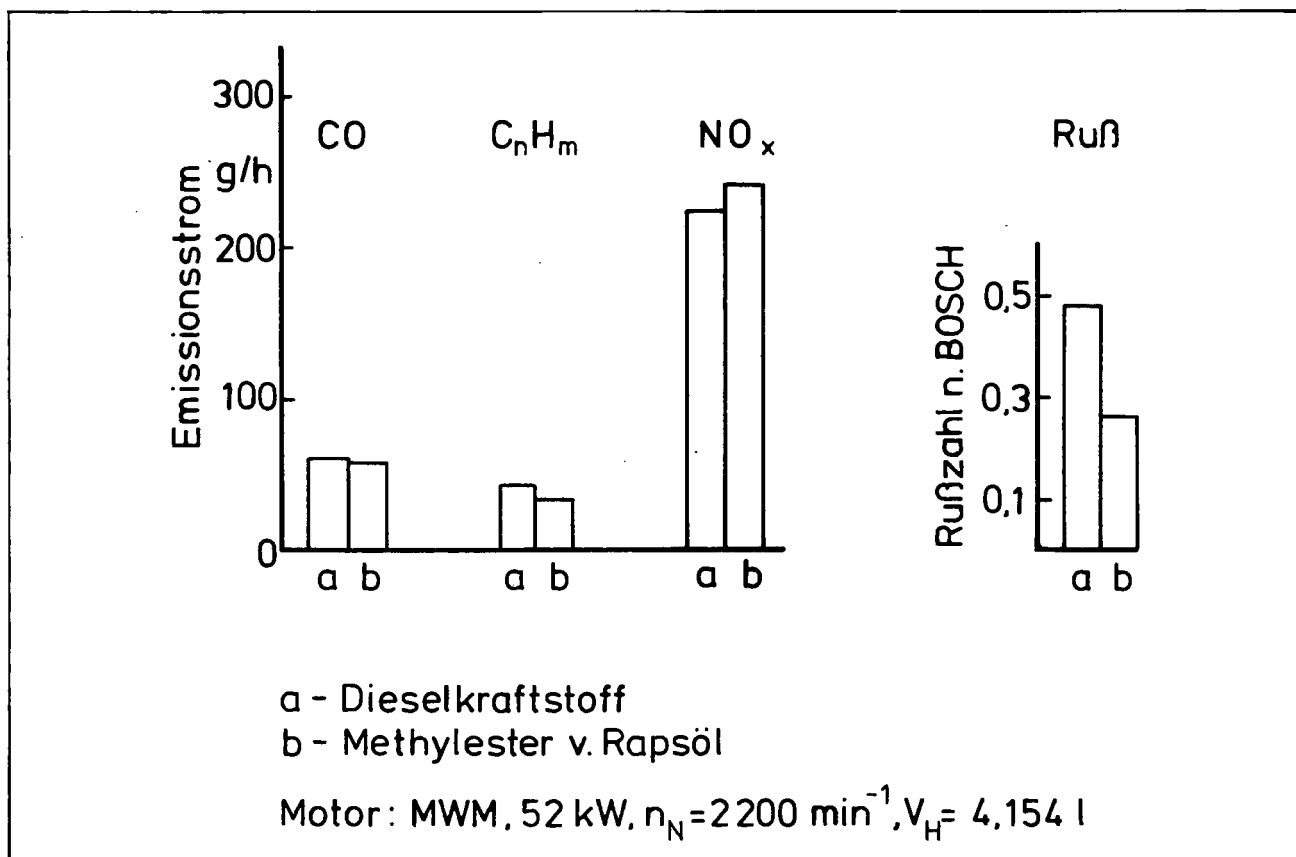


Abbildung 6: Emissionswerte eines Schleppermotors mit direkter Einspritzung beim Betrieb mit Dieselkraftstoff bzw. Methylester v. Rapsöl im 5-Punkte-Test

belasten die Umwelt nicht stärker als die derzeitige Nutzung und der Betrieb von Motoren mit konventionellem Dieselkraftstoff. In Teilbereichen sind Vorteile durch den alternativen Kraftstoff zu erkennen.

#### Vegetable Oil as Diesel Fuel Substitute

Vegetable oil (rape seed oil) is an energy, which can be used as Diesel fuel substitute under certain technical conditions. The production of the rape oil on about 1/5 of the arable land of the Federal Republic of Germany could satisfy the Diesel fuel demand of agriculture: Rape cultivation, conversion and use as fuel causes no more environmental pollution than present use of land and running of engines with conventional Diesel fuel. Sectoral there are advantages from the alternative fuel.

#### Literatur

Apfelbeck, R.: Verwendung von Pflanzenölen als Kraftstoff. - Unveröffentlichtes Manuskript, 1986.

Batel, W., Graef, M., Mejer, G.-J., Möller, R. und Schoedder, F.: Pflanzenöle für die Kraftstoff- und Energieversorgung. - Grundlagen der Landtechnik 30 (1980), S. 40-51.

Götzke, H. und Kleinhanß, W.: Produktion von Rapsöl als Treibstoff - eine Chance für die deutsche Landwirtschaft? - Landbauforschung 38. Jg. (1988), S. 17-41.

Hawkins, C. S., Fuls, J. und Hugo, F. J. C.: Engine Durability Tests with Sunflower Oil in an Indirect Injection Diesel Engine. - SAE-paper 831357 (1983).

Pak, M. und Alexi, A.: Praktische Erfahrungen mit Pflanzenölen als Kraftstoff für Dieselmotoren. - Grundlagen der Landtechnik 37 (1987), S. 54-61.

Schoedder, F. und Vellguth, G.: Umweltverträglichkeit alternativer Kraftstoffe. - Landtechnik 10 (1987), S. 401-404.

Vellguth, G.: Eignung von Pflanzenölen und Pflanzenölderivaten als Kraftstoff für Dieselmotoren. - Grundlagen der Landtechnik 32 (1982), S. 177-186.

Vellguth, G.: Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. - Society of Automotive Engineers SAE-paper 83 1358 (1983), auch in: Transactions SAE 92 (1984), S. 1098-1107.

Vellguth, G.: Methylester von Rapsöl als Kraftstoff für Schlepper im Praxiseinsatz. - Grundlagen der Landtechnik 35 (1985), S. 137-141.

Verfasser: Vellguth, Gerhard, Dipl.-Ing., Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), komm. Leiter: Prof. Dr. agr. H. Schön.