

Pflanzenölgemische als Dieseltreibstoff

Erste Prüfstandversuche erfolgreich

Manfred Rinaldi, Edwin Stadler und Isidor Schiess, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon,
Hans W. Jäckle, EMPA, CH-8600 Dübendorf

Dieseltreibstoffe aus Pflanzenölen, besonders aus Rapsöl, sind seit einigen Jahren eine Alternative zu Petrodiesel. Das gilt speziell für mit

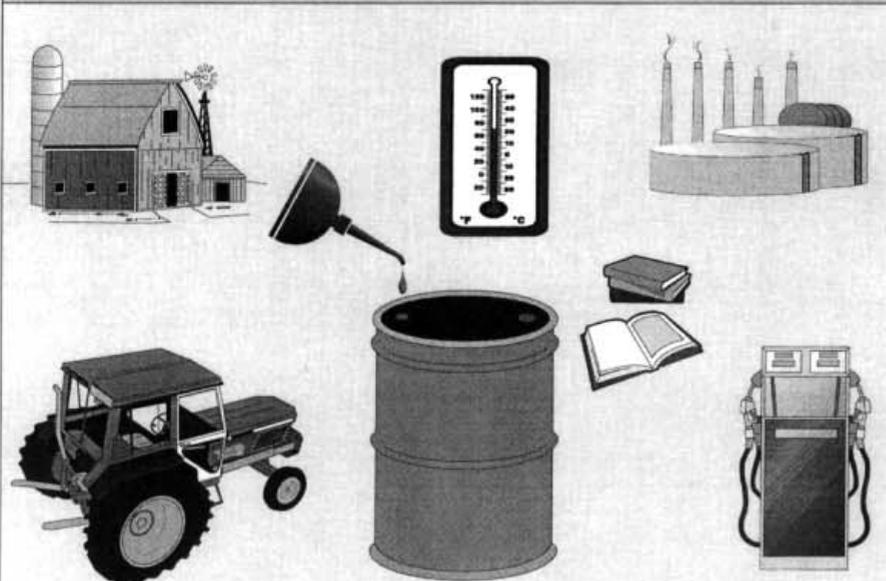
Methanol umgeestertes Rapsöl, bekannt unter der Bezeichnung Rapsmethylester, RME oder Biodiesel. Dieser Treibstoff ist in allen moder-

nen Dieselmotoren ohne wesentliche Änderung einsetzbar. Die weitere Verbreitung scheiterte bisher hauptsächlich an den hohen Investitionskosten für die Umesterungsanlagen, die selbst bei kleineren Anlagen mehrere Millionen Franken betragen.

Aus der Literatur sind Versuche bekannt geworden, Dieseltreibstoff durch einfaches Mischen von Rapsöl mit petrochemischen Komponenten herzustellen. Die Vorteile eines solchen Treibstoffes wären die niedrigen Investitionskosten und die Möglichkeit der kleingewerblichen Herstellung.

In einem gemeinsamen Projekt der FAT Tänikon und EMPA Dübendorf wurde ein solches Treibstoffgemisch entwickelt und dessen Herstellung und Anwendung in kleingewerblichem Massstab getestet.

Rapsölgemisch als Dieseltreibstoff kleingewerbliche Herstellung



gemeinsames Projekt FAT und EMPA

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Lösungsansatz	2
Ölgewinnung	3
Treibstoffherstellung	3
Prüfstandmessungen	6
1000-Stunden-Dauerlaufstest	10
Praxiseinsatz	11
Schmierölveränderung	11
Ergebnisse	12
Literatur	13

Problemstellung

Energie aus nachwachsenden Rohstoffen von landwirtschaftlichen Flächen ist ein Gebiet, auf dem aus unterschiedlichen Gründen Forschungs- und Handlungsbedarf besteht. Besonders die Bereitstellung von hochwertigen Energieträgern wie zum Beispiel Dieseltreibstoff ist von Bedeutung. Pflanzliche Öle, in der Schweiz besonders Rapsöl, können im Prinzip dafür verwendet werden. Leider ist die einfachste Art der direkten Verwendung von unverändertem Rapsöl in modernen Dieselmotoren ohne wesentliche Änderungen am Motor nicht möglich.

Die Eigenschaften von Dieseltreibstoff sind in engen Grenzen nach SN 181160-1 und SN EN 590 genormt, und die einwandfreie Funktion eines Dieselmotors wird vom Hersteller nur dann garantiert, wenn normkonformer Treibstoff verwendet wird. Da Rapsöl in vielen Parametern weit ausserhalb dieser Norm liegt, muss es verändert werden.

Eine andere – jedoch für bestehende Fahrzeuge sehr aufwendige und daher nicht sinnvolle – Möglichkeit ist die Verwendung von speziell für Rapsöl konstruierten Motoren.

Die Veränderung von Rapsöl zur Verwendung als Dieseltreibstoff erfolgt heute üblicherweise durch die Umesterung mit Methanol zu Rapsmethylester (RME). Dadurch erreicht man eine weitgehende Angleichung der Treibstoffparameter an die Anforderungen moderner Motoren [24]. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt in den nicht unbedeutlichen Kosten für den Bau und Betrieb einer Umesterungsanlage. Deshalb ist es auch kaum möglich, eine solche Anlage kleingewerblich zu betreiben.

Aus der Literatur sind Versuche bekannt geworden, die durch einfaches Mischen von Rapsöl und petrochemischen Komponenten einen lauffähigen Dieseltreibstoff herzustellen versuchten.

Lösungsansatz

Die Arbeitshypothese besteht darin, dass jedes brennbare Gemisch mit ähnlichem Heizwert wie Petrodiesel und Parametern innerhalb der Dieselnorm grundsätzlich zum Betrieb moderner Dieselmotoren geeignet ist. Randbedingungen sind: Die Komponenten müssen handelsüblich, ungiftig, nicht explosionsgefährlich und billig sein.

Das Betriebsstofflabor der EMPA Dübendorf (Dr. Hans W. Jäckle) stellte eine Anzahl unterschiedlicher Versuchsmischungen her.

Beim Raps handelt es sich um handelsübliche Ware, angebaut auf dem Versuchsbetrieb der FAT. Der Raps wurde in einer kleingewerblichen Anlage kaltgepresst. Durch Prüfstandmessungen, Praxisversuche und Dauerlaufversuche wurde die Mischung auf deren Verwendbarkeit in handelsüblichen Dieselmotoren getestet.

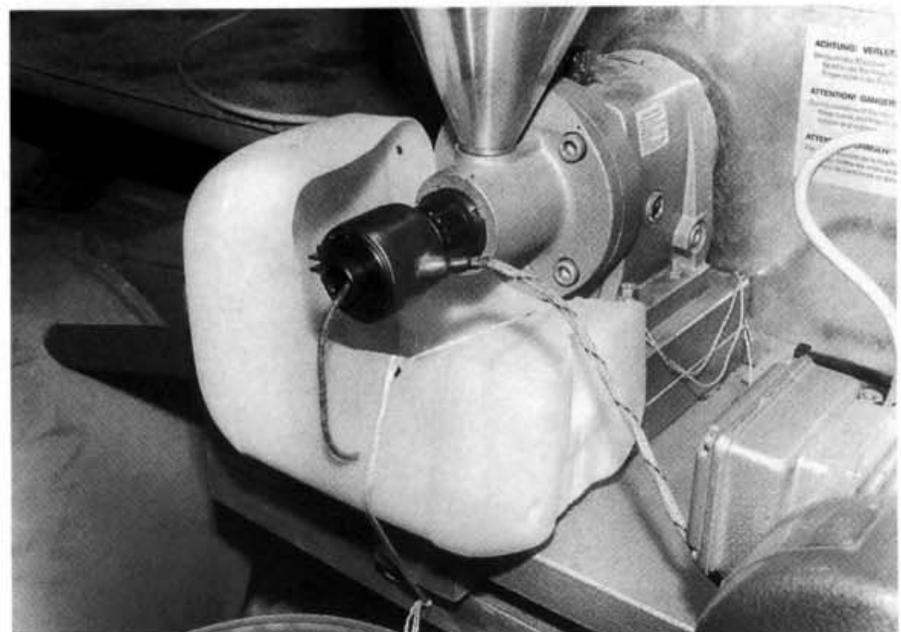
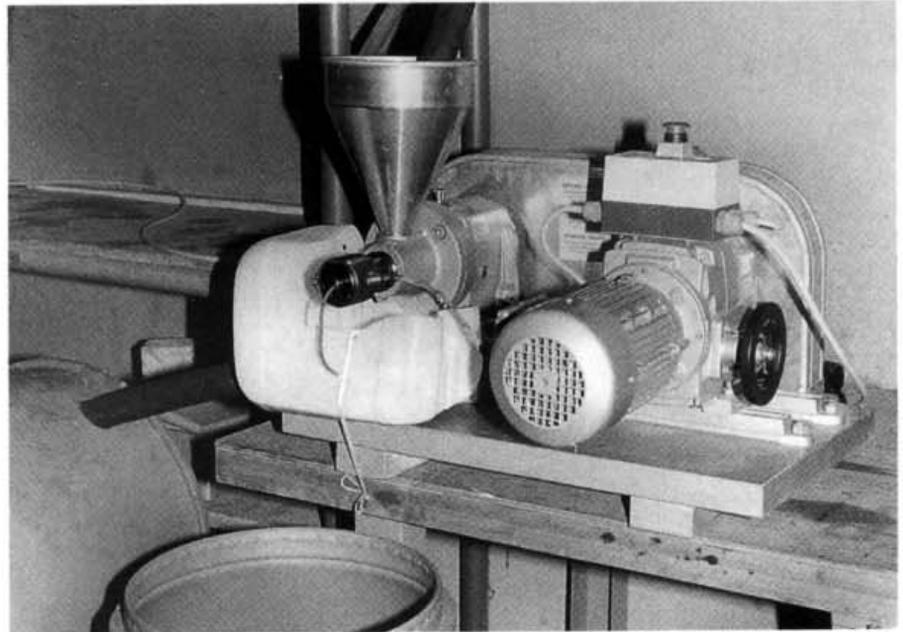


Abb. 1. und 2. Zur Ölgewinnung verwendete Einrichtung.

Ölgewinnung

Erforderliche Einrichtung

Zur Ölgewinnung kam eine handelsübliche Schneckenpresse zum Einsatz (Komet-Pflanzenöl-Einschneckenpresse CA 59 G der Firma IBG Monforts GmbH & Co., Mönchengladbach, Deutschland). Sie kostet etwa 6000 Franken und hat eine Stundenleistung von 6 kg Rapssaat oder 2 l kaltgepresstes Öl. Der Auspressgrad erreicht dabei 36,7%, und der Energieverbrauch beträgt 0,3 kWh pro kg Reinöl. Die Presse ist kontinuierlich betrieben worden. Der Wartungsaufwand kann sich auf zweimal zwei Stunden pro Woche beschränken. Presskopf, Sieb und Schnecke müssen periodisch gereinigt werden (Abb. 1 und 2). Die maximale jährliche Verarbeitungskapazität einer solchen Kleinstpresse liegt in der Größenordnung von 15 ha Raps, was 40 t Rapssaat, 15 t Öl und 25 t Rapskuchen entspricht. Die Rapssaat muss handelsüblich gereinigt und getrocknet (6 bis 8% Wasser) werden. Beimengungen wie Stroh können den Einlauf verstopfen, harte Bestandteile zerstören eventuell sogar die Presse.

Reinigung des Öls, Trub

Das Rohöl wurde in 200-Liter-Fässern während mindestens zwei Wochen bei einer Temperatur von mindestens 10 °C gelagert. Dabei erfolgt ein Absetzen (Schwerkraftsedimentation) aller unerwünschten Bestandteile. Das sind Feststoffpartikel und vor allem Phosphorverbindungen. Das so gewonnene Reinöl ist für motorische Zwecke gut geeignet, vor allem weil der Phosphorgehalt unter 10 mg/kg sinkt. Phosphor im Treibstoff ist bei der Verbrennung im Zylinder des Dieselmotors verantwortlich für die Bildung von harten Ablagerungen (Meta- und Pyrophosphate), welche zu erhöhtem Verschleiss und Motorschaden führen können [13]. Der nach DIN V51 606 vorgeschlagene Grenzwert für Phosphor im Biodiesel (RME) liegt bei 30 mg/kg. Der Trubanteil von etwa 5%, welcher bei der Reinigung des Rohöls anfällt, enthält Feststoffpartikel und Phosphorverbindungen.

Treibstoffherstellung

Probemischungen

Ausgehend von der Grundidee, dass ein Dieseltreibstoff in seinen wichtigsten Parametern möglichst der genormten Standardqualität entsprechen sollte, wurden Mischungen gemäss Tabelle 1 hergestellt. Diese Mischungen, bestehend aus den beiden Hauptkomponenten Rapsöl und Jet A-1

(Flugpetrol, Kerosin), weisen die in Tabelle 2 angegebenen Eigenschaften auf.

Auswahl, Problemparameter

Ein Vergleich mit der Spezifikation für Dieselöl (SN 181160-1 und SN EN 590) zeigt, dass nur die Mischungen A und E eine **vergleichbare Viskosität** wie der Norm-Dieseltreibstoff aufweisen, allerdings liegt diese immer noch um ca. 1,5 mm²/s höher als der obere

Tabelle 1. Probemischungen

Mischung	Rapsöl (Vol.%)	Jet A-1 (Vol.%)	Isopropanol (Vol.%)
A	50	50	0
B	75	25	0
C	75	20	5
D	70	20	10
E	50	45	5

Tabelle 2. Parameter der Probemischungen

Eigenschaft	Einheit	Rapsöl	Jet A-1	A	B	C	D	E
Dichte (15 °C)	kg/m ³	920,7	802,0	862,2	892,0	890,3	883,8	861,0
Viskosität (40 °C)	mm ² /s	34,4	1,3	5,99	14,0	12,9	10,8	5,7
Flammpunkt	°C	321	48,5	55	62	31	30	29
CFPP	°C	27	-47	-33	-5	n.b.	n.b.	n.b.
Wassergehalt	mg/kg	870	10	470	680	710	700	540
Schwefelgehalt	Mass.%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cetanzahl		39,9	45,5	42,1	43,8	39,7	36,8	43,0
Siedeanalyse:								
10 Vol.% destilliert	°C	294	176	188	202	191	155	178
50 Vol.% destilliert	°C	308	197	308	358	350	340	324
90 Vol.% destilliert	°C	n.b.	229	365	387	388	382	404
destilliert bis 250 °C	Vol.%	0	98	45	20	22	27	45
destilliert bis 350 °C	Vol.%	n.b.	98	64	36	45	70	60
destilliert bis 370 °C	Vol.%	n.b.	98	95	78	75	80	70

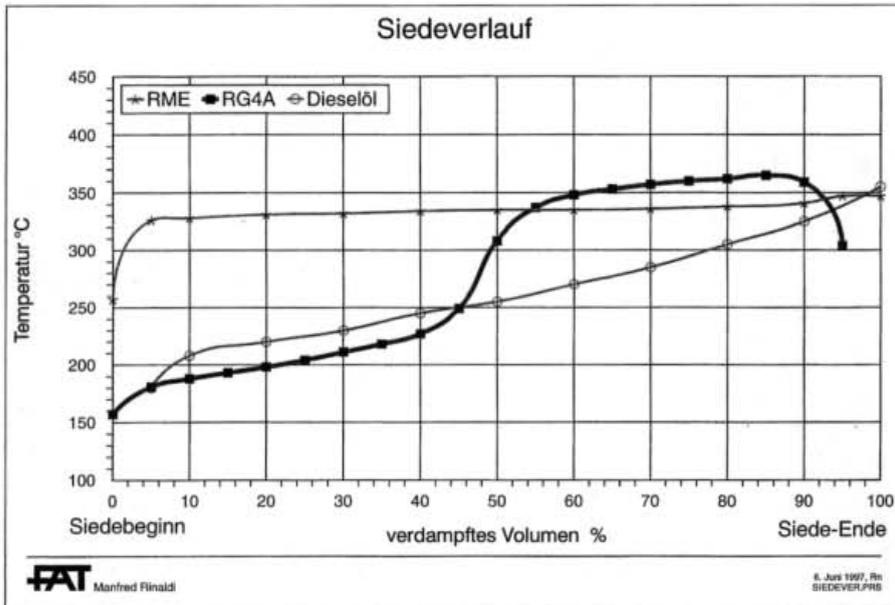


Abb. 3. Siedeverlauf verschiedener Treibstoffe.

Tabelle 3. Analysenwerte einer Probe von RG4A und Grenzwerte von Dieselöl nach SN 181 160-1

Eigenschaft	Einheit	RG4A Mischung	Dieselöl	
			Winter	Sommer
Dichte (15°C)	kg/m ³	864	800 bis 845	820 bis 860
Viskosität (40°C)	mm ² /s	6,3	1,5 bis 4,0	2,0 bis 4,5
Flammpunkt	°C	55	min. 55	min. 55
CFPP*	°C	-30	max. -20	max. -10
Wassergehalt	mg/kg	380	200	200
Phosphorgehalt	mg/kg	5,1	-	-
Schwefelgehalt	Mass. %	0,018	max. 0,05	max. 0,05
Cetanzahl		47	min. 47	min. 49
Siedeanalyse:				
bei 180°C	Vol. %	10	max. 10	-
bei 340°C	Vol. %	55	min. 95	-
bei 250°C	Vol. %	45	-	max. 65
bei 350°C	Vol. %	65	-	min. 85
bei 370°C	Vol. %	90	-	min. 95

* CFPP: cold filter plugging point, Filtrierbarkeitsgrenze

Grenzwert von 4,5 mm²/s. Die Zumischung von Isopropanol bei den Mischungen C, D und E senkt den Flammpunkt auf zirka 30 °C, was deutlich unter dem Dieselölgrenzwert von 55 °C liegt. Dies stellt ein nicht zu unterschätzendes Sicherheitsrisiko dar. Die Siedeanalyse nach ISO 3405, wie sie in der Treibstoffanalytik üblich ist, ist hier nur beschränkt sinnvoll. Denn Rapsöl ist bei Temperaturen über 300 °C für die Dauer der Siedeanalyse nicht mehr stabil genug. Trotzdem gelingt gerade mit der Mischung A eine Siedeanalyse, die in den Eckdaten recht gut mit jener von Dieselöl übereinstimmt (Abb. 3).

Additiv, Analysen

Da die Cetanzahl der Probemischungen deutlich unter dem Grenzwert von 49 bzw. 47 für Winterdieselöl (Klasse 0 der EN 590) liegt, wurde auch die Verwendung eines kommerziellen Additivs (**DK plus von Detego AG, Basel**) [16] geprüft. Dadurch kann die Cetanzahl um drei bis vier Punkte angehoben werden. Das eingesetzte Dieselöl-Additiv enthält neben dem Zündbeschleuniger auch noch Wirkstoffe, die den Motor reinigen und vor Korrosion schützen sowie das Entstehen von Bakterien und Pilzen im Dieseltank verhindern.

Aus den genannten Gründen wurde für die weiteren Untersuchungen nur mit der Mischung A, das heisst 50 Vol.% Rapsöl und 50 Vol.% Flugpetrol (Jet A-1) weitergearbeitet. Dieser Versuchstreibstoff erhielt die Arbeitsbezeichnung RG4A. Er ist im Verhältnis 1:1000 mit DK plus additiviert (Tab. 3).

Wesentlich für eine gute Treibstoffqualität der hier vorgestellten Mischung von Rapsöl und Flugpetrol (Jet A-1) sind einerseits die Reinheit des Rapsöles und natürlich die Qualität des verwendeten Flugpetrols. Die internationale Spezifikation für Jet A-1 [2] (AFQRJOS Check list, issue 16) lässt einen maximalen **Schwefelgehalt** von 0,3 Mass.% zu. Der Mittelwert des in der Schweiz erhältlichen Flugpetrols liegt jedoch bei 0,04 Mass.% und erfüllt somit die gesetzlichen Anforderungen (max. 0,05 Mass.%). Da Rapsöl praktisch schwefelfrei ist, darf der maximale Schwefelgehalt des Flugpetrols 0,1 Mass.% betragen, damit die dar-

aus hergestellte Mischung den Grenzwert von 0,05 Mass.% für Dieseltreibstoffe erfüllt.

Aus Sicherheitsgründen ist es von Vorteil, wenn der **Flammpunkt** des verwendeten Flugpetrols möglichst hoch ist. Er sollte bei mindestens 48 °C liegen, das heisst 10 °C über der Minimalanforderung für Jet A-1. Der Mittelwert liegt heute in der Schweiz bei 46 °C.

Das dritte Qualitätsmerkmal, das speziell betrachtet werden muss, ist die **Cetanzahl**. Die Cetanzahl ist nicht Bestandteil der Flugpetrol-Spezifikation. Es sind deshalb auch fast keine Werte bekannt. Es sollte aber ohne grosse Probleme möglich sein, Flugpetrolqualitäten mit Cetanzahlen von mindestens 44 für diesen Rapsöl-Jet A-1 Mischtreibstoff zu beschaffen.

Eine besonders erwähnenswerte Eigenschaft des Versuchstreibstoffes RG4A ist der CFPP (cold filter plugging point – Temperaturgrenzwert der Filtrierbarkeit) von -30 °C. Dies ist auf den Einfluss von Flugpetrol zurückzuführen und macht RG4A extrem **wintertauglich**.

Arbeitsweise

Die Zubereitung der Treibstoffmischung erfordert eine gewisse Sorgfalt im Umgang mit Flüssigkeiten. Mischungsfehler und Verschmutzungen beim Mischen können die Verwendungsfähigkeit des Treibstoffes in Frage stellen. An der FAT hat sich das Anmischen in stehenden 200-Liter-Fässern bewährt. Die Fässer werden zur Hälfte (100 Liter) mit Flugpetrol gefüllt. Dann gibt man 200 ml Additiv zu. Anschliessend werden die Fässer mit sedimentiertem Rapsöl aufgefüllt. Zur Kontrolle von «Hälfte» und «Voll» kann mit genügender Genauigkeit ein Messstab verwendet werden. Die Durchmischung erfolgt mit einer einfachen Fasspumpe, indem etwa 15 Minuten im Fass umgepumpt wird, das heisst man saugt vom Bodenbereich ab und lässt oben wieder zufließen.

Dichte und Sichtkontrolle auf Trübung

Rapsöl: muss vollkommen klar und von hellgelber Farbe sein. Eine grünliche Trübung zeigt ungenügende Se-

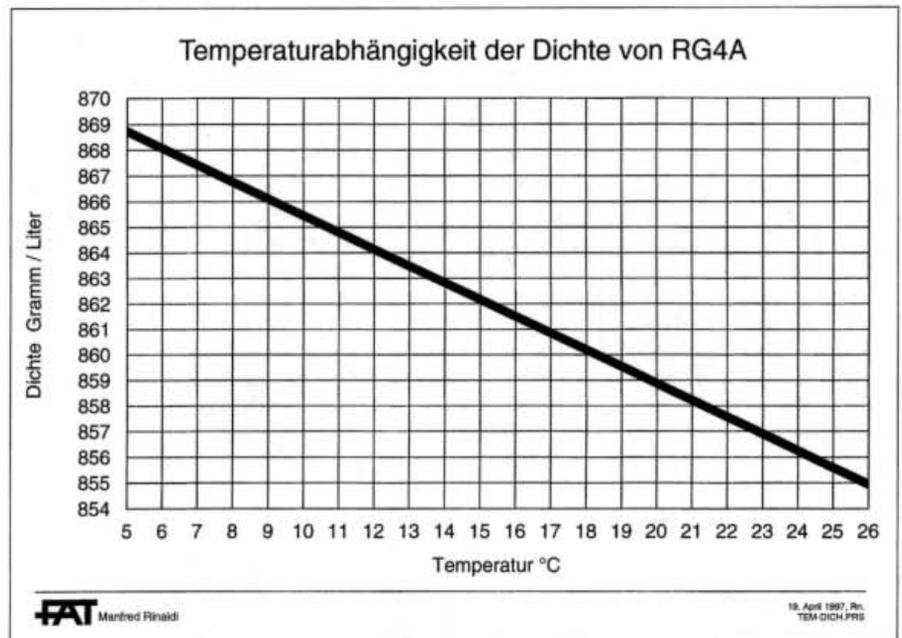


Abb. 4. Verlauf der Dichte von RG4A in Abhängigkeit von der Temperatur.

dimentation an. Ist die Trübung hellgelb-weisslich, ist Wasser im Rapsöl. Die Dichte des von uns verwendeten Rapsöls, gemessen mit einer Senkwaage, liegt bei 921 g/l bei 15 °C.

Flugpetrol: muss vollkommen klar und wasserhell sein. Eine weissliche Trübung zeigt Wasser an. Die Dichte von Jet A-1 (mit einer Streubreite nach Norm [2] von 775 bis 840 g/l) liegt typisch bei 803 g/l bei 15 °C.

Treibstoff RG4A: muss vollkommen klar sein. Eine weissliche Trübung zeigt Wasser an. Die Dichte des von uns verwendeten Treibstoffes liegt bei 862 g/l bei 15 °C. Sie ist abhängig von der Temperatur und der Dichte der Komponenten (Abb. 4).

Additiv: Angaben und Vorschriften des Herstellers beachten [16].

Betankung

Zum Betanken der Versuchsmotoren und Traktoren wird eine einfache Fasspumpe verwendet. Vorteilhaft ist es, das Saugrohr der Fasspumpe mit einem feinmaschigen Drahtsieb und einem Distanzstück von ca. einem Zentimeter zu versehen. Dadurch wird verhindert, dass das Fass bis ganz zum Boden entleert wird und dort befindliche Sedimente und Fremdkörper angesogen werden und in den Motor gelangen. Auch bei längerer Lagerung

tritt kein Entmischen des Treibstoffes ein. Die Wintertauglichkeit ist bis minus 30 °C gegeben.

Prüfstandmessungen

Traktor Lindner 1600 A

Auf dem Motorenprüfstand der FAT wurden ausführliche Leistungs-, Rauch- und Abgasmessungen an dem im Praxiseinsatz stehenden Traktor Lindner 1600 A durchgeführt.

Technische Daten: [5]

Motor: Perkins Typ T 3.152, 3 Zylinder, wassergekühlt, Bohrung 91,44 mm, Hub 127 mm, Hubraum 2502 cm³, Nennleistung 41 kW, Nenndrehzahl 2200, Leerlaufdrehzahl 2510, CAV-Verteilerpumpe DPA, Set: 55–57 mm³, Regler mechanisch, Oxydationskatalysator im Auspuff.

Nach längerem Dieselölbetrieb wurde der Traktor zur Motorenwartung in eine örtliche Fachwerkstatt gegeben. Danach wurden Zapfwellenleistung, Treibstoffverbrauch und Rauch am 24. Oktober 1995 mit dem frisch gewarteten Motor gemessen. Daraufhin erfolgte der Betrieb des Traktors ausschliesslich mit Rapsölgemisch. Am 19. und 20. November 1996, nach 276 Laufstunden mit Rapsölgemisch, wurden die Messungen wiederholt, und zusätzlich wurden Abgasmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 5 bis 8 dargestellt.

S.L.H-Versuchsmotor:

Der Motor dient der Erprobung von Alternativtreibstoffen und hatte bei der letzten Messung 420 Betriebsstunden. Die Untersuchungen erfolgten teilweise im Rahmen einer Diplomarbeit des Technikums Winterthur [15].

Technische Daten:

Same Typ 1000.3W, 3 Zylinder, wassergekühlt, Bohrung 105 mm, Hub 115,5 mm, Hubraum 3000 cm³, Nennleistung 40 kW, Nenndrehzahl 2500, Leerlaufdrehzahl 2750, Einspritzpumpe OMAP OPFR 286, Regler mechanisch S.L.H (Abb. 9).

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 10 bis 14 dargestellt.

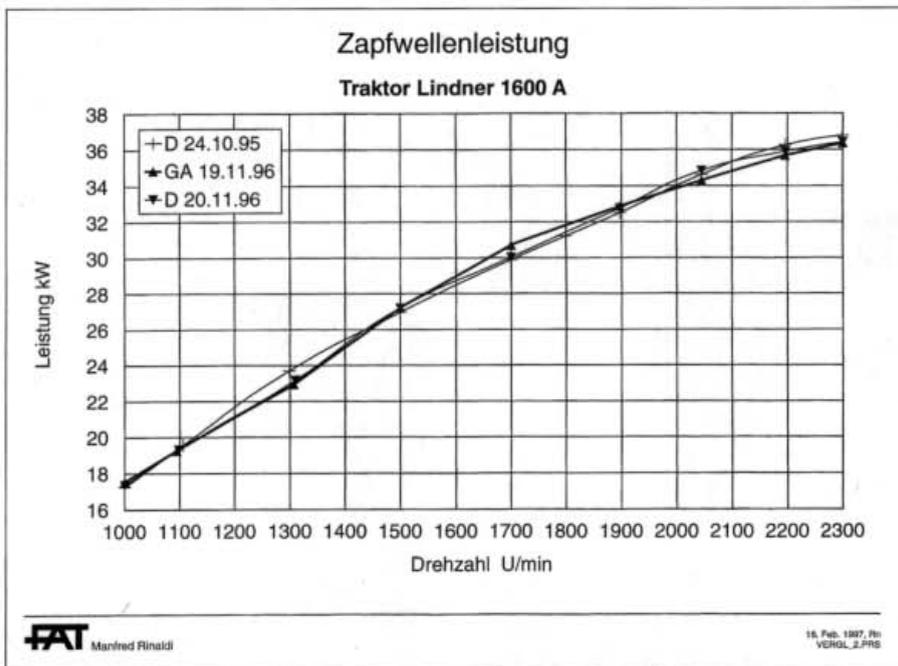


Abb. 5. Zapfwellenleistung in Abhängigkeit der Motordrehzahl. D bedeutet Diesel, und GA steht für das mit einem kommerziellen Additiv im Verhältnis 1:1000 ergänzte Gemisch.

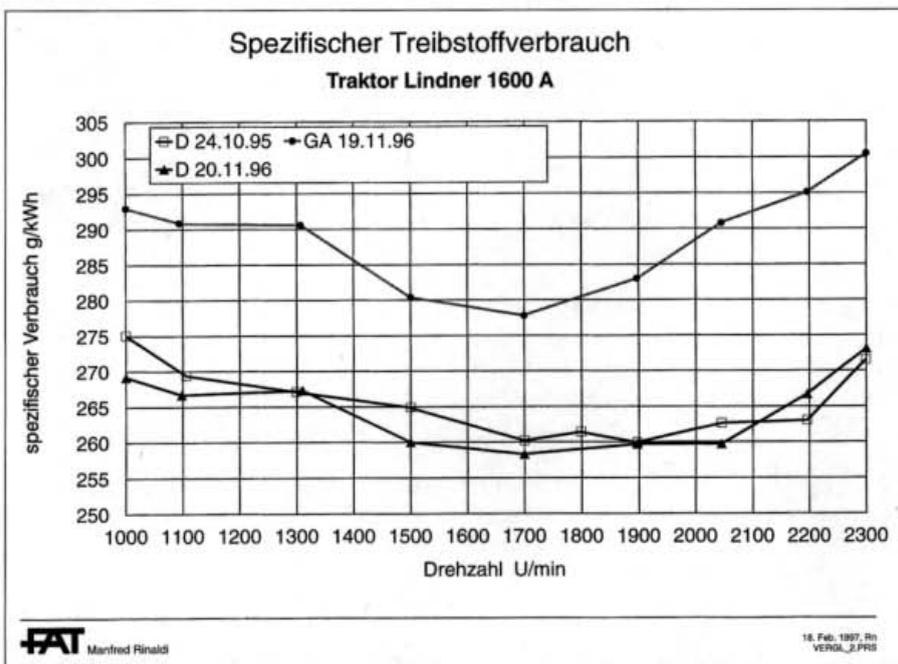


Abb. 6. Spezifischer Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit der Motordrehzahl bei Verwendung derselben Treibstoffe wie in Abbildung 5. Dem Dieselölverbrauch bei 1500 U/min von 263 g/kWh steht ein Gemischverbrauch von 280 g/kWh gegenüber. Das ist ein Gemisch-Mehrverbrauch von 6%, was dem Unterschied der Heizwerte der beiden Treibstoffe nahekommt.

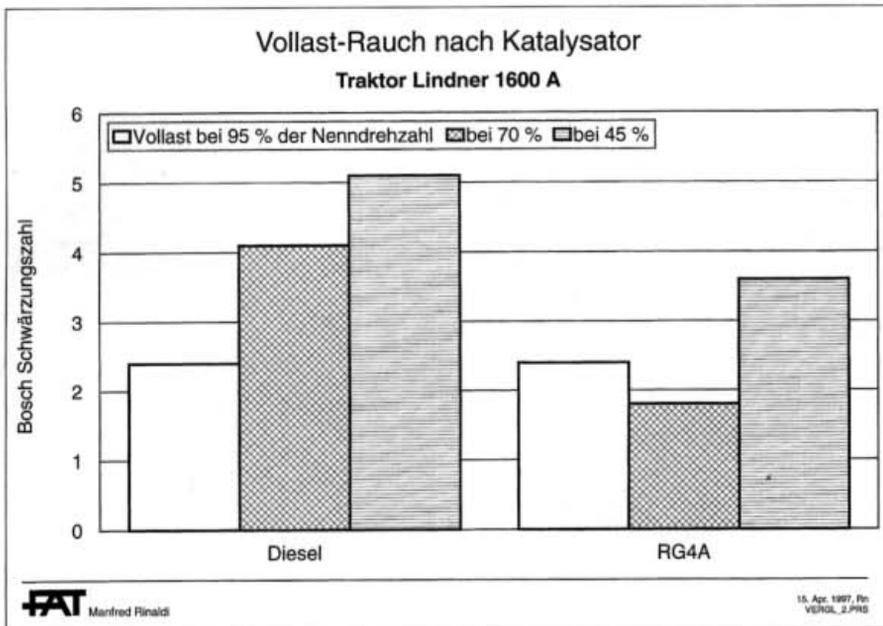


Abb. 7. Rauchentwicklung nach den Bosch-Schwärzungszahlen. Die Rauchentwicklung bei hoher Drehzahl ist vergleichbar, bei mittlerer und tiefer Drehzahl ist sie bei Verwendung des Gemisches wesentlich geringer.

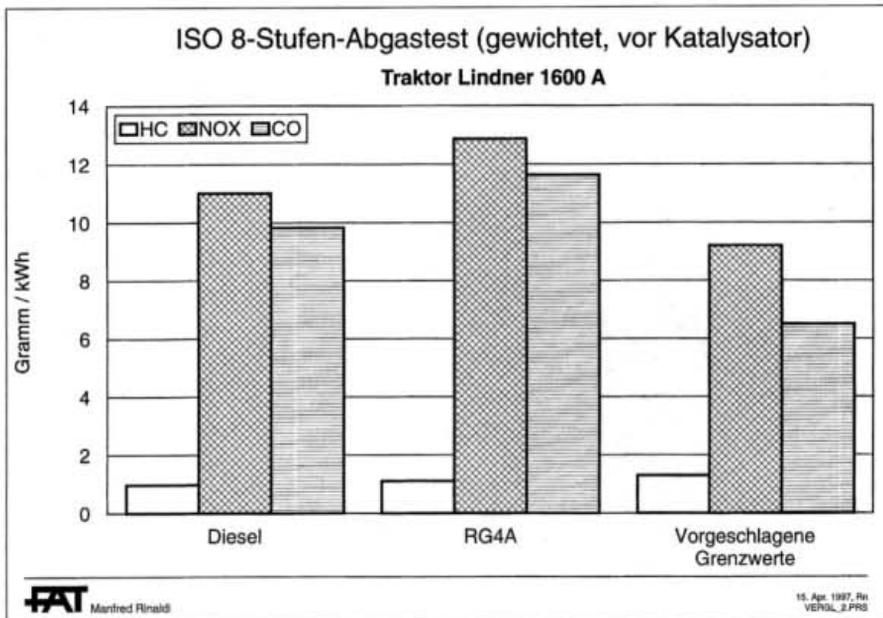


Abb. 8. Verglichen mit den von der Europäischen Union (EU) vorgeschlagenen Grenzwerten haben sowohl Dieselöl als auch RG4A bei Stickoxiden (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO) zu hohe Werte. Die unverbrannten Kohlenwasserstoffe (HC) sind beide Male niedriger.

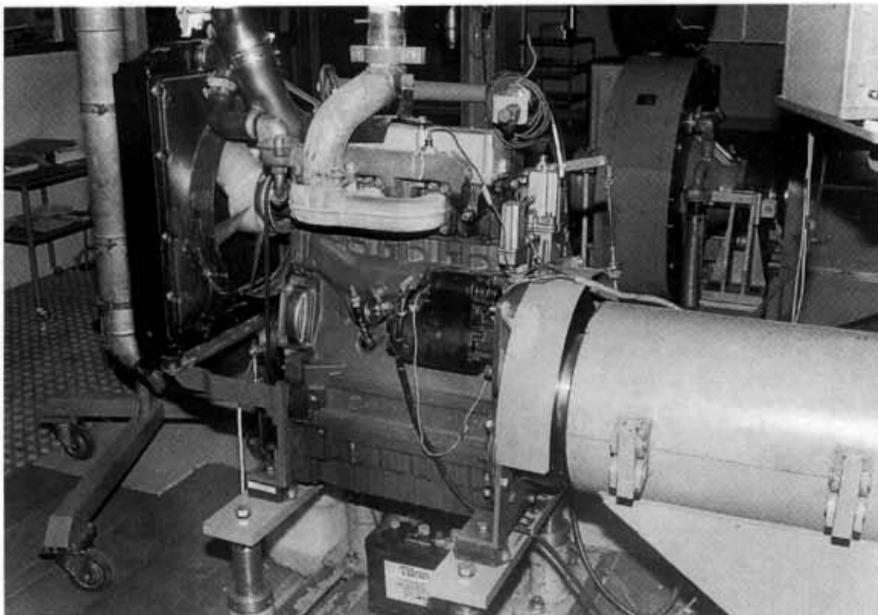


Abb. 9. Versuchsmotor.

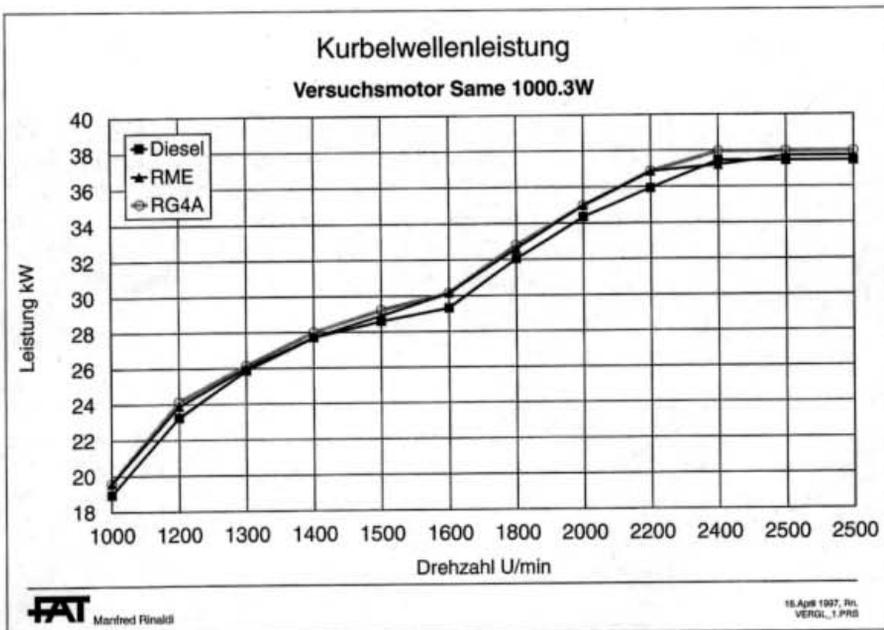


Abb. 10. Kurbelwellenleistung in Abhängigkeit der Kurbelwellendrehzahl. Gemessen wurde mit Dieselöl, Rapsmethylester (RME), und mit additivtem Gemisch (RG4A). Die Treibstoffe sind innerhalb der Messgenauigkeit vergleichbar.

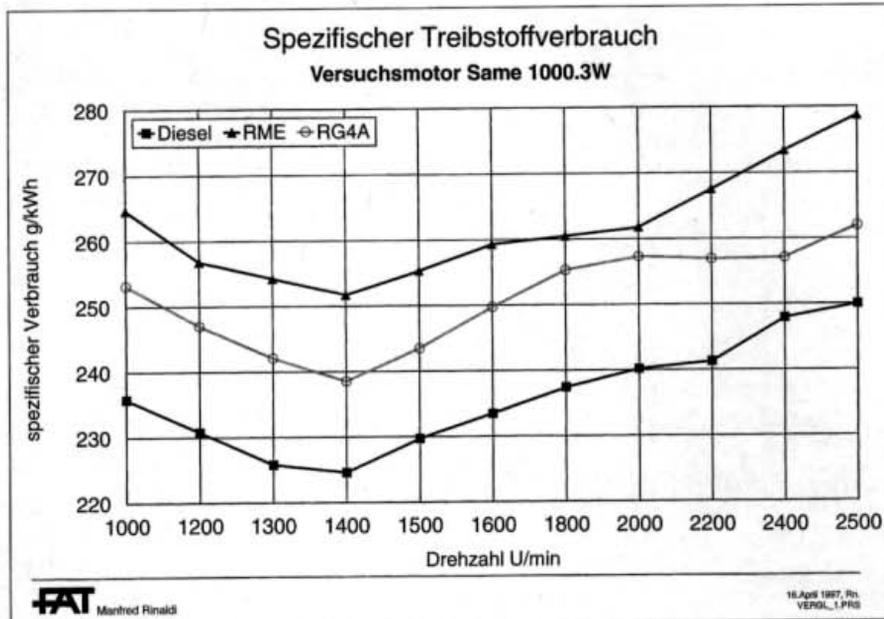


Abb. 11. Spezifischer Treibstoffverbrauch bei der Messung nach Abbildung 10.

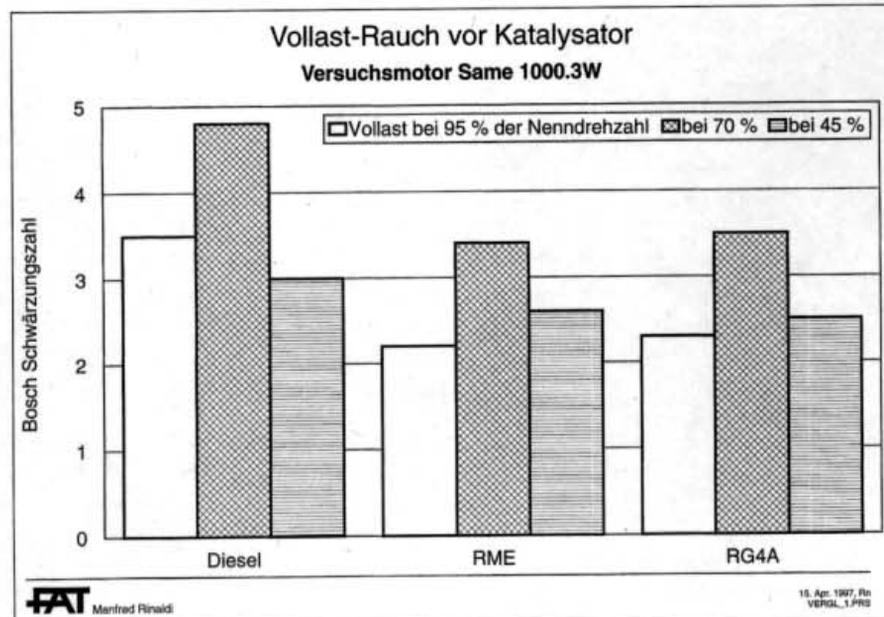
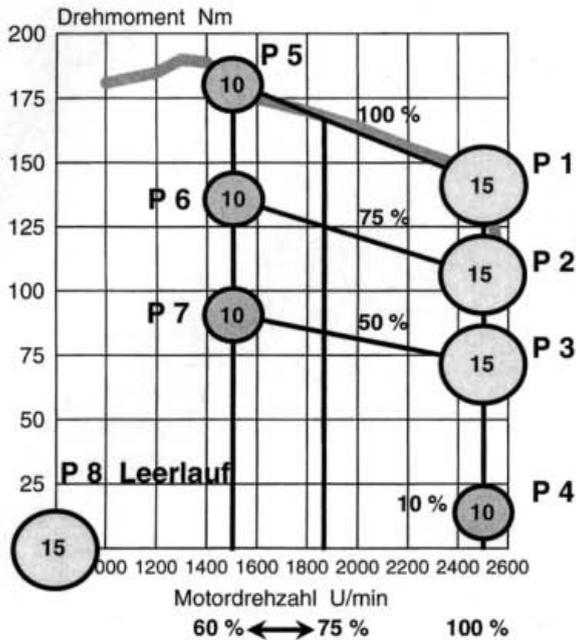


Abb. 12. Die Rauchwerte von additivtem Gemisch (RG4A) entsprechen denen von Rapsmethylester (RME). Dieselöl hat in allen Lastpunkten höhere Rauchwerte.

Punkte für Abgastest
ISO 8178 8-Stufen-Test Typ C1



FAT Manfred Rinaldi

24. April 1997, Rn. ABGASTE1.PRS

Abb. 13. Lastpunkte des 8-Stufen-Abgastest nach ISO 8178, Typ C1. Dargestellt sind die einzelnen Messpunkte mit ihrer jeweiligen Gewichtung.

Tabelle 4. Lastpunkte für die Messung der Abgase (unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC, Stickoxide NO_x und Kohlenmonoxid CO) nach dem ISO 8178 8-Stufen-Test, Typ C1

Motor : SAME Versuchsmotor
Nenn Drehzahl : U/min 2500
Nennmoment : Nm 143

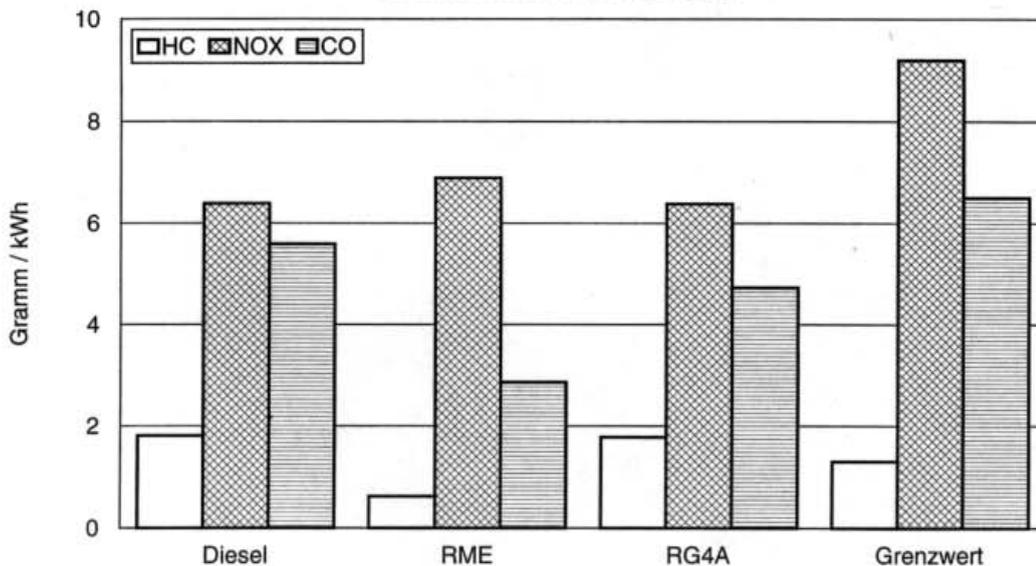
Zwischendrehzahl : U/min 1500
Drehmoment bei Zwischendrehzahl : Nm 182

ISO 8178 8-Stufen-Test Typ C1

Punkt Nr.	Drehzahl U/min	Drehmoment Nm	Gewichtung %
1	2500	143	15
2	2500	107	15
3	2500	72	15
4	2500	14	10
5	1500	182	10
6	1500	137	10
7	1500	91	10
8	800	0	15

ISO 8-Stufen-Abgastest (gewichtet, vor Katalysator)

Versuchsmotor Same 1000.3W



FAT Manfred Rinaldi

15. Apr. 1997, Rn. VERGL_1.PRS

Abb. 14. Bei diesem Motor werden die von der Europäischen Union (EU) vorgeschlagenen HC-Grenzwerte nur beim Betrieb mit Rapsmethylester (RME) eingehalten. Die NO_x- und CO-Grenzwerte werden bei allen Treibstoffen eingehalten.

1000-Stunden-Dauerlauftest

Lombardini-Einzylindermotor an Wasserpumpe

Für den Dauerlauf-Versuch wurde ein luftgekühlter Einzylinder-Dieselmotor Fabrikat Lombardini, Typ 4 LD 820, Bohrung 102 mm, Hub 100 mm, Hubraum 817 cm³, verwendet. Als Last diente eine Kreiselpumpe. Das komplette Aggregat ist im Handel unter der Bezeichnung «Veloce» erhältlich und dient in der Landwirtschaft zur Bewässerung.

Durch Einstellen von Motordrehzahl und Pumpendruck konnten anhand der Pumpenkennlinie fünf Lastpunkte eingestellt werden (Abb. 15 und 16). Die gewählten Lastpunkte entsprechen solchen, wie sie häufig von landwirtschaftlichen Traktoren gefahren werden [14]. Der Motor wurde nach der Installation des Prüfstandes 50 Stunden mit handelsüblichem Dieseltreibstoff eingefahren. Danach erfolgte ein Ölwechsel.

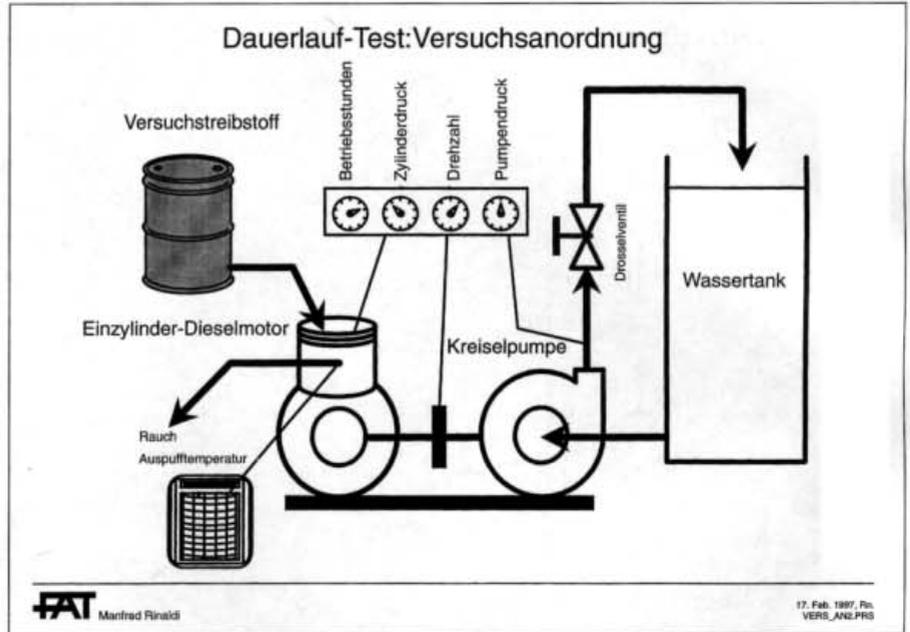


Abb. 15. Versuchsanordnung für 1000-Stunden-Dauerlauftests.

Der Beginn mit dem Versuchstreibstoff fand am 14. Mai 1996 statt und wurde am 20. Dezember 1996 beim Stand von 1018 Laufstunden beendet. An 102 Tagen lief der Motor jeweils zehn Stunden am Tag in den Lastpunkten 1,2

und 4,5 in rollender Reihenfolge. Zwischen 11.30 Uhr und 13.30 Uhr war immer der Lastpunkt 3 (Leerlauf) eingestellt. Die Wartung erfolgte genau nach Herstelleranweisungen in der Betriebs-

Dauerlauf-Versuch
Laufprogramm für Treibstoffprüfstand "VELOCE"

		Drehzahl U/min	Druck bar	Leistung kW	Abgastemp. °C	Ventil-Stellung
1)	7.30-17.30	2590	5	10	290	offen
2)	7.30-17.30	2600	10	5	175	zu
3)	11.30-13.30	1250	2,5	1	80	zu
4)	7.30-17.30	2200	7	3	135	zu
5)	7.30-17.30	2200	3	6	185	offen

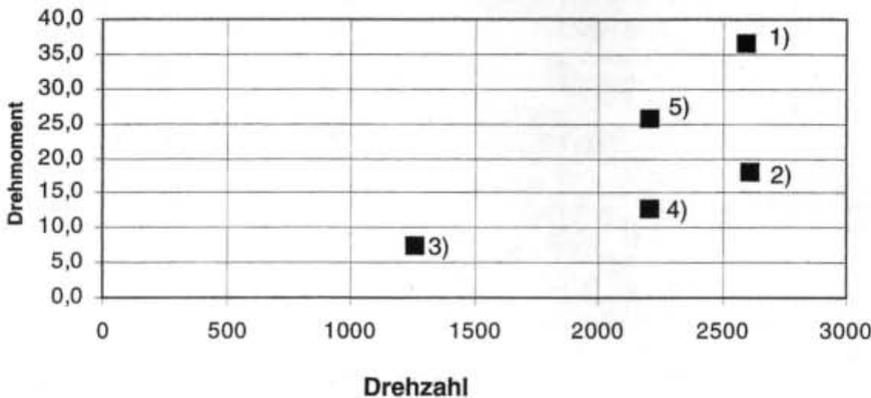


Abb. 16. Zeitplan und Lastpunkte des 1000-Stunden-Dauerlauftests.

anleitung. Ölwechsel erfolgte jeweils nach 300 Stunden. Es traten während der gesamten Laufzeit keinerlei Störung oder Veränderung am Dieselmotor auf.

Folgende Parameter wurden gemessen:

- Motordrehzahl = Pumpendrehzahl (zur Einstellung der Betriebspunkte)
- Pumpendruck (zur Einstellung der Betriebspunkte)
- Zylinderdruck
- Betriebsstunden
- Abgastemperatur (als Indikator der Leistung; eine Leistungsänderung ist sofort an der Abgastemperatur ersichtlich)

Eine Besonderheit ist die Messung des **Zylinderdruckes** [7]. Damit wollte man sich allfällig anbahnende Motorschäden schon im Entstehungsstadium erkennen. Die übliche Art der Druckmessung geschieht so, dass in einer zusätzlichen Bohrung im Zylinderkopf ein kalibrierter Drucksensor plziert wird. Diese aufwendige Art der Messung ergibt Absolutdrücke, hat jedoch den Nachteil, dass der Brennraum verändert wird.

Da für eine reine Überwachungsfunktion eine Absolutdruckmessung nicht nötig ist und andererseits eine Brennraumveränderung unerwünscht war, wurde ein anderes Verfahren angewendet.

Unter eine der vier Zylinderkopfschrauben wurde ein SlimLine Sensor (SLS) der Firma Kistler Instrumente AG, Winterthur, plziert (Abb. 17). Dieser Quarzkristall-Sensor in extrem flacher Bauform hat etwa die Abmessungen einer gewöhnlichen Unterlagscheibe. Auf diese Weise konnte ein ausgezeichnetes Drucksignal über den ganzen Zyklus gewonnen und auf einem Oszilloskop dargestellt werden.

Während der gesamten Betriebszeit von 1018 Laufstunden waren keinerlei Druckveränderungen feststellbar, was auf einen einwandfreien mechanischen Zustand von Kolben, Kolbenringen und Zylinderwand schliessen liess. Bei der nach Versuchsabbruch erfolgten Demontage des Zylinderkopfes wurde diese Vermutung bestätigt.

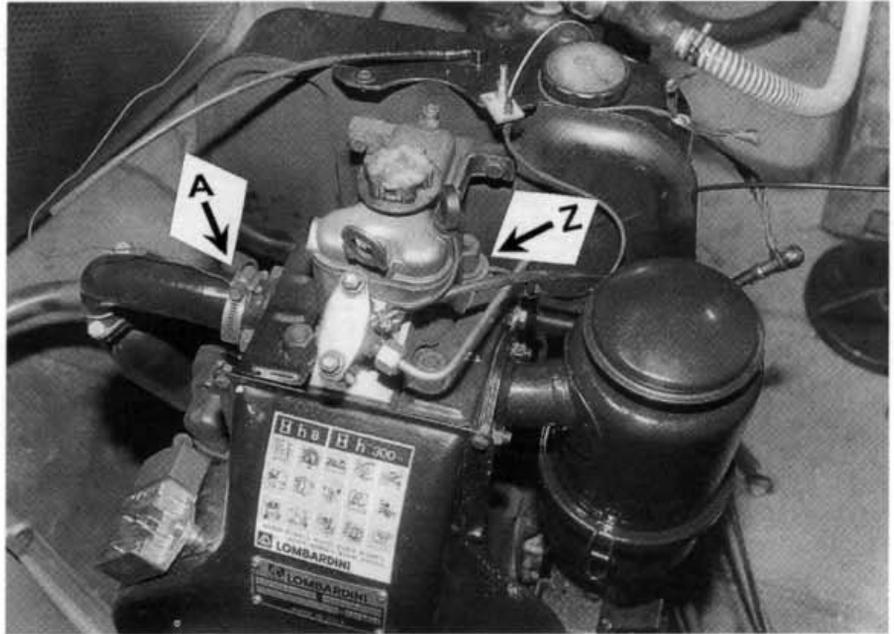


Abb. 17. Anordnung der Messstellen für Abgastemperatur A und Zylinderdruck Z.

Praxiseinsatz

Traktor Lindner 1600 A auf dem Versuchsbetrieb der FAT

Dieser Einsatz soll die Verwendbarkeit des beschriebenen Dieseltreibstoffes unter Praxisbedingungen zeigen. Kontrolliert werden Ölstand, Gehalt an Rapsöl im Schmieröl, Betriebsstunden und totaler Treibstoffverbrauch. Der Praxiseinsatz läuft seit dem 24. Oktober 1995. Der Traktor wird für alle anfallenden Arbeiten und ganzjährig verwendet. Zur Zeit der Drucklegung dieses Berichtes hatte der Traktor 406 Betriebsstunden mit Rapsölgemisch absolviert.

Schmierölveränderung

Dem Motorenschmieröl ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Üblicherweise wird in einem Dieselmotor beim Ölwechsel frisches Mehrbereichsöl bis zur Maximum-Marke des Ölmesstabes nachgefüllt. Während des Betriebes sinkt der Ölspiegel langsam ab. Beim Erreichen der Minimum-Marke am Ölmesstab muss Öl nach-

gefüllt werden. Dieser Ölverbrauch erklärt sich damit, dass der zur Schmierung der Kolbenringe erforderliche Ölfilm im Brennraum des Zylinders mitverbrannt wird. Andererseits verdampft das ins Schmieröl gelangende Dieselöl.

Beim Betrieb mit dem Rapsölgemisch zeigt sich ein gegenteiliges Verhalten des Ölstandes: **er steigt an**. Dieses für einen Dieselmotor unübliche Verhalten erklärt sich damit, dass ins Schmieröl gelangendes Rapsöl wegen dessen hohem Siedepunkt nicht verdampft. Das heisst, dass der obere Stand des Ölspiegels kontrolliert werden muss. Beim Ölwechsel darf frisches Öl nur bis zur Minimum-Marke des Ölmesstabes aufgefüllt werden, und beim Erreichen der Maximum-Marke ist ein Ölwechsel angezeigt, weil dann der Rapsölanteil im Schmieröl mindestens der Menge zwischen Minimum- und Maximum-Marke entspricht. Das ist ein Anteil von 20 bis 25 Prozent (Abb. 18). Dieser Umstand ist jedoch insofern nicht von grosser Bedeutung, als sich die Viskosität des Schmieröls durch diesen hohen Rapsölanteil nur leicht verändert und noch dazu in Richtung höherer Viskosität (Abb. 19). Das steht im Gegensatz zum Betrieb mit RME [24], wo ein ähnlich hoher Anteil eine deutliche Viskositätsverminderung und damit die Gefahr des Abreissens des Schmierfilmes zur Folge hätte.

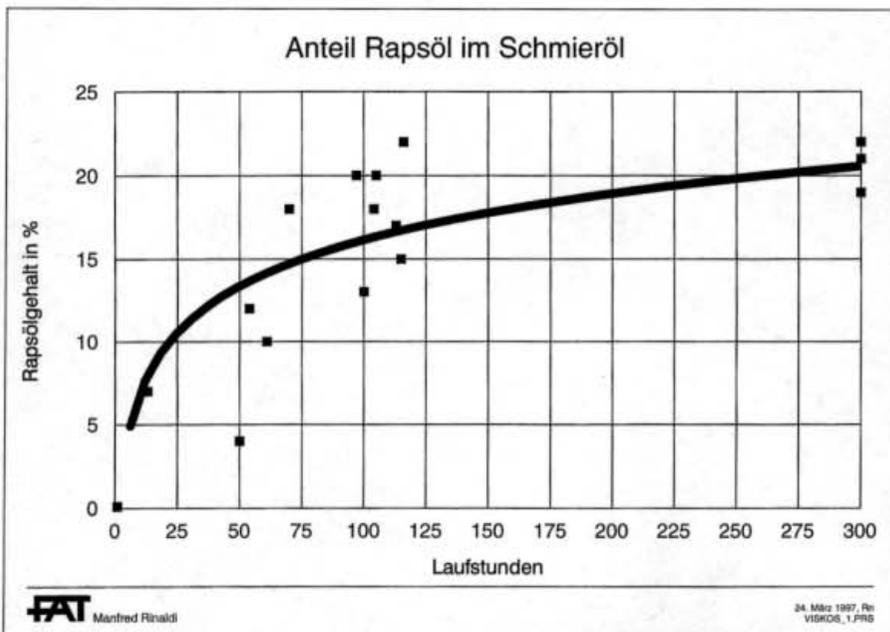


Abb. 18. Anteil Rapsöl im Schmieröl in Abhängigkeit der Laufstunden.

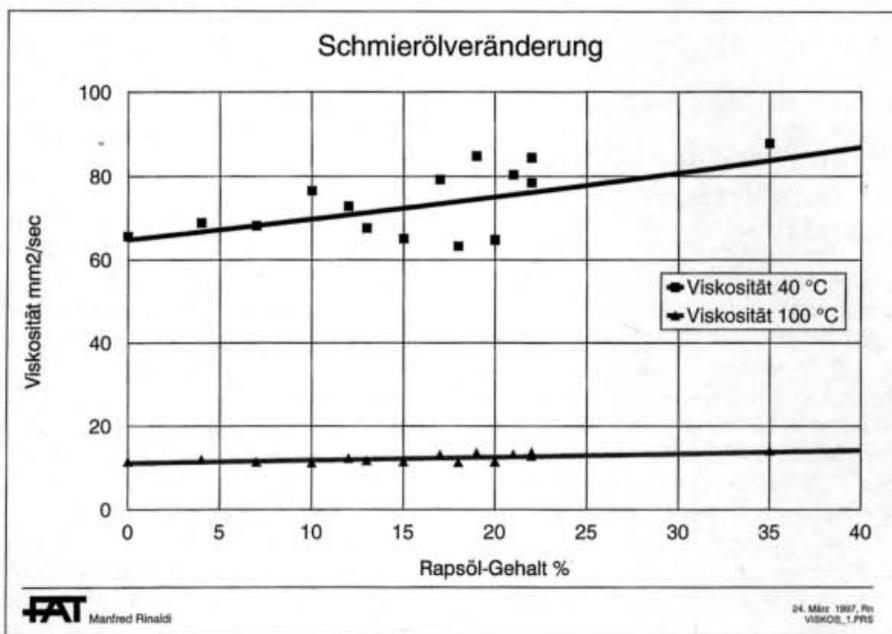


Abb. 19. Viskositätsveränderung bei 40 °C und 100 °C (entspricht Betriebstemperatur).

Ergebnisse

Ein **kleingewerblich hergestelltes Rapsölgemisch** eignet sich grundsätzlich für die Verwendung als Treibstoff in modernen Dieselmotoren, sofern die Analysenwerte der Norm für Petrodiesel entsprechen.

Ein Augenmerk muss dem **Schmierölanstieg** geschenkt werden, indem nicht wie üblich der minimale, sondern der maximale Ölstand überwacht werden muss. Wegen des grossen Anteils von Rapsöl im Schmieröl ergibt sich eine leichte Viskositätssteigerung. Eine Veränderung der Schmierfähigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Die hier vorgestellte Art der Treibstoffherstellung scheint eine **Alternative zur Umesterung** von Rapsöl zu sein. Weitere Untersuchungen werden sich mit der Optimierung der kleingewerblichen Treibstoffherstellung befassen. Die bisherigen Ergebnisse müssen mit weiteren längerdauernden Praxistests erhärtet werden. Die Schwergewichte liegen dabei auf der Treibstoffqualität, den Abgaswerten, den Umweltwirkungen und der Wirtschaftlichkeit.

Literatur

- [1] **AGRAR FORSCHUNG**, 1996. Rapsnebenprodukte. Bundesamt für Landwirtschaft, CH-3003 Bern, Heft 5.
- [2] **Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems (AFQRJOS) for Jet A-1, Issue 16**. Shell International Trading and Shipping Co, Shell Mex House, London WC2R 0ZA
- [3] **Baganz K.**, 1993. Lohnt eine dezentrale Rapsölgewinnung? *Z. Landtechnik* 8/9-93, 409-411.
- [4] **Deutsche Patentschrift** DE 41 16 905 C1 der Firma Tessel GmbH, Stuttgart, 13.8.92.
- [5] **FAT Traktortest** 1622/91 LINDNER 1600 A
- [6] **König W.**, 1994. TESSOL – der Dieselerersatz für den Traktor.
- [7] **Kuratle R.**, 1995. Motorenmesstechnik. Vogel-Verlag Würzburg.
- [8] **Maillard A., Vullioud P.**, 1996. Le colza: une culture à plusieurs facettes! *Z. Revue suisse Agric.* 28 (3), 149-152.
- [9] **Maurer K.**, Anforderungen an pflanzliche Öle als Treibstoff. Universität Hohenheim, D-70599 Stuttgart, *Z. landinfo* 5/95.
- [10] **Maurer K., Reiser W.**, Tessel-Rapsölgemisch als Motorkraftstoff. Universität Hohenheim, D-70599 Stuttgart.
- [11] **Mineralölsteuergesetz** vom 21. Juni 1996 (MinöStg)
- [12] **McDonnell K.P., Ward, S.M.; Timoney D.J.**, Hot Water Degummed Rapeseed Oil as a Fuel for Diesel Engines. *Z. Journal of agricultural Engineering Research*, Silsoe (1995) **60**, 7-14.
- [13] **Pudel F.**, Entwicklungsprojekte der ÖHMI Forschung und Ingenieurtechnik GmbH Magdeburg. **VDI Berichte** 1126, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1994, 253-264
- [14] **Rinaldi M., Näf E.**, 1992. Motorauslastung von Landwirtschaftstraktoren, FAT-Bericht 426, Tänikon.
- [15] **Ruch D.**, Diplomarbeit Technikum Winterthur, 1. Dezember 1995
- [16] **SAT CHEMIE GmbH**, vertreten durch DETEGO AG, Basel
- [17] **Thalhammer G.**, Ölpresse und Filteranlagen für kleine Ölmühlen. NEN Neuburg GmbH, Augsburg Str. 16, D-86633 Neuburg/Do
- [18] **Verordnung** über die Steuerbegünstigung und den Verzugszins bei der Mineralölsteuer vom 28. November 1996.
- [19] **Weidmann K.**, Anwendung von Rapsöl in Fahrzeug-Dieselmotoren. *Z. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift* 97 (1995) 5, 288-292.
- [20] **Wenzel G., Lammers P.S.**, Kraftstoffeigenschaften von Pflanzenölen und deren Ester. *Z. LANDTECHNIK* 3/96, 134-135
- [21] **Widmann B. A.**, 1994. Gewinnung und Reinigung von Pflanzenölen in dezentralen Anlagen – Einflussfaktoren auf die Produktqualität und den Produktionsprozess. «*Gelbes Heft*» Nr. 51, Bayrisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft.
- [22] **Widmann B. A., Apfelbeck R., Gessner B.H., Pontius P.**, 1992. Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technisch und umweltbezogener Hinsicht. «*Gelbes Heft*» Nr. 40, Bayrisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft.
- [23] **Widmann B. A.**, 1994. Verfahrenstechnische Massnahmen zur Minderung des Phosphorgehaltes von Rapsöl bei der Gewinnung in dezentralen Anlagen. Dissertation, Selbstverlag Institut für Landtechnik, Weihenstephan, Freising.
- [24] **Wolfensberger U., Stadler E., Schiess I.**, 1993. Rapsmethylester als Treibstoff für Dieselmotoren. FAT-Bericht 427, Tänikon.