

Leistungssteigerung durch das „Vergaser-Diesel-Verfahren“ mit Alkohol¹⁾

Von Dr.-Ing. H. A. Havemann, VDI²⁾ M. R. K. Rao³⁾, und T. L. Narasimhan⁴⁾

Während in einer früheren Veröffentlichung in dieser Zeitschrift [1]⁵⁾ über die Grundsätze eines Verfahrens berichtet wurde, das durch einen Vergaser, der den Zusatz von Alkohol zur Verbrennungsluft bewirkt, und durch normale Die-seleinspritzung von flüssigen Kraftstoffen zur Einleitung der Verbrennung gekennzeichnet ist, werden jetzt weitere Ver-suche geschildert, die mit dem „Vergaser-Diesel-Verfahren“ besonders im Hinblick auf eine Steigerung des Alkohol-an-teils und damit der Leistung angestellt wurden. Dabei wurden organische wie auch mineralische Öle eingespritzt. Es wurden zwei Motorenmuster mit verschiedenen Brennkammern bei verschiedenen Belastungen, jedoch bei gleichblei-bender Drehzahl (1500 U/min) untersucht, wobei auch das Verdichtungsverhältnis verändert wurde. Die offene Brennkam-mer erwies sich der Wirbelkammer überlegen und erlaubte Überlastungen um 60 bis 65% bis zu einem mittleren Druck von fast 8,5 kg/cm², wobei die Verbrennungsluft bis zu 95% ausgenutzt wurde. Der Höchstanteil des Alkohols konnte bis 93% der Gesamtbrennstoffmenge gesteigert werden. — Das Verfahren eignet sich vorzugsweise für Voll- und Überlast. Das allgemeine Betriebsverhalten wird dabei durch eine Erhöhung der Verdichtungstemperatur, etwa durch begrenzte Luftvorwärmung, noch verbessert.

In an earlier publication in this journal [1] a method had been described which provides for a carburetor to add alcohol to the intake air of a diesel engine whilst the normal injection of liquid fuels is maintained to initiate combustion. The experiments reported here were undertaken with a view to in-crease the alcohol percentage and thereby the output. Vegetable and mineral oils were injected. Two types of engines with different combustion chambers were investigated at constant speed — 1500 r. p. m. — over varying loads, and for different compression ratios. It was found that the open combustion chamber is superior to the swirl chamber as it allowed overloading by 60 to 65% at mean pressures up to almost 120 lbs/sq. in. whereby the air utilization was increased to 95%. The percentage of alcohol could be raised to 93% of the total fuel require-ments.

Dans les publications précédentes [1] les auteurs ont étudié les principes fondamentaux d'un procédé où l'alcool est ajouté à l'air de combustion dans un carburateur et où la combustion a été mise en marche par une injection normale Diesel avec les combustibles liquides. Dans la publication suivante les auteurs décrivent des expériences où le car-burateur Diesel a été utilisé afin d'augmenter le pourcentage de l'alcool ajouté et par conséquent la puissance. Deux types de moteur avec différentes chambres de combustion aux charges variables mais de mêmes vitesses de rotation (n = 1500/min) ont été étudiés sous différents rapports de compression. La chambre de combustion ouverte semblait être préférable à la chambre à tourbillon. Elle permet des surcharges de 60 à 65% et une pression de 9 kg/cm² environ et utilise 95% d'air de combustion. La proportion d'alcool ajouté peut être augmentée jusqu'à 93% du combustible total.

1. Einleitung

Möglichkeiten der Verwendung von Alkohol werden in Ländern mit überschüssiger Vegetation mit Aufmerksamkeit verfolgt [2], da sie erlauben, entweder teure Einfuhren, besonders bei mangelnder Eigenversorgung mit Mineralölen zu vermindern oder aber den Anfall pflanzlicher Produkte, deren Kultivierung häufig den Lebensunterhalt großer Teile der Bevölkerung sichert, auszunutzen. In größerem Rahmen betrachtet stellt Alkohol eine sich stetig erneuernde Kraft- quelle dar, die auf die Sonne zurückgeht und ihre Energie in integrierter und transportabler Form enthält, während Mineralöle nur in begrenzter Menge verfügbar sind [3].

Technisch gesehen bietet Alkohol gewisse Vorteile, die besonders in seiner Fähigkeit liegen, auch in Dieselmotoren größere Leistungen hervorzubringen. Diese Folgerung könnte aus einer Aufstellung, die die hauptsächlichsten Eigenschaften von üblichen Alkoholen zeigen, gezogen werden (Tabelle I), die eine hohe Oktanzahl und normalen Wärmeinhalt des stöchiometrischen Gemisches sowie günstige Verdampfungswärmen aufweisen. Der relativen Stabilität und damit schweren Entzündbarkeit des Alkohols könnte gerade durch das Vergaser-Diesel-Verfahren begegnet werden, das zur Ein- leitung der Verbrennung die Verwendung eines leichter ent- zündlichen Oles vorsieht [1]. Für dieses liegt es nahe, normale Dieselöle zu verwenden, doch kommen auch andere, organische Öle u. U. auf Grund ihrer Verfügbarkeit oder ihres Preises in Betracht [4], die technisch, wie aus dem Ver- gleich (Tabelle II) ersichtlich ist, aussichtsreich sind: Ledig- lich ihre höhere Zähigkeit könnte zu Bedenken hinsicht- lich guter Zerstäubung Anlaß geben.

1) Der Bericht stammt aus dem Laboratorium für Verbrennungsmaschinen am „Indian Institute of Science“ in Bangalore, Indien, und stellt einen Auszug aus einer Arbeit von T. L. Narasimhan dar, die Januar 1956 eingereicht wurde.

2) Professor am „Indian Institute of Science“, und Leiter des Laboratoriums.

3) B. Eng., Ass.-Professor.

4) „Lecturer“

5) Zahlen in [] verweisen auf das Schrifttumsverzeichnis am Ende der Arbeit.

Tabelle I:
Eigenschaften von Methyl- und Äthylalkohol im Vergleich mit Benzin

Eigenschaften	Methyl- Alkohol	Äthyl- Alkohol rein*	Benzin (handels- mäßig)
Spez. Gew. (20° C)	0,792	0,789 (0,812)	cr. 0,74
Siedepunkt (° C bei 760 Torr)	64,7	78,4	60–120
Kohlenstoffanteil (Gew.-%)	37,5	52,0	85,3
Wasserstoffanteil (Gew.-%)	12,5	13,0	14,7
Sauerstoffanteil (Gew.-%)	50	35	—
Unt. Heizwert (kcal/kg)	4660	6400 (6040)	cr. 10040
Verd. Wärme (kcal/kg)	290	220 (246)	80
Oktanzahl (ASTM)	98	99	cr. 76
Theor. Misch. Verh. (kg/kg)	6,44	8,97 (8,4)	cr. 14,9
Verbr. Wärme d. th. Gem. (kcal/Nm ³)	750	790	928
Spez. Vol. Vergr. d. Verbrennung [3]	1,06	1,065 (1,065)	1,04–1,05
Molekulargew.	32,03	46,05	—

*) Werte in Klammer für 95%/-Alkohol.

Entsprechend war die Untersuchung darauf abgestellt, zu- nächst den noch nicht untersuchten Einfluß der organischen Zündöle festzustellen und darüber hinaus die Rolle motori- scher Größen, wie die Form des Verbrennungsraumes und des Verdichtungsverhältnisses, zu untersuchen. Hierbei wur- den die Ergebnisse früherer Versuche [5–13] auf dem Geb- iet der motorischen Verwendung von Alkohol berücksich- tigt, die sich für Dieselmotoren und besonders für das Ver- gaser-Diesel-Verfahren kurz wie folgt zusammenfassen lassen:

In Dieselmotoren verhältnismäßig hoher Drehzahlen er- laubt der der Verbrennungsluft durch einen Vergaser im Ansaugrohr oder durch eine Einspritzpumpe mit Düse im Verbrennungsraum zugeführte Äthylalkohol größere Leistung

Tabelle II:
Eigenschaften von pflanzlichen Ölen [4] im Vergleich mit Dieselöl Klasse A

Deutsche Bez.:	Kokos- nußöl	Erdnußöl	Ind. Sesamöl	(Leguminosae)	Dieselöl Kl. A.
Lat. Name:	Cocos nucifera	Arachis hypogaea	Sesamum indicum	Pongamia glabra	—
Kurzbez.:	a	b	c	d	—
Eigenschaften:					
Aussehen	klar	trübe schwach gelb	klar	klar	klar
Farbe	farblos	gelb	gelb	dunkelrot	gelb
Wichte (37,8° C)	0,917	0,903	0,915	0,922	0,849
Kin. Zähigk. (Centist. 37,8° C)	29,4	40,6	37,2	44,7	3,90
Flammpunkt (° C)	226	217	281	205	105
Unt. Heizwert (kcal/kg)	8679	8928	9095	8705	10125
Aschegehalt (Gew.-%)	0,17	0,015	0,37	0,056	—
Neutralisationszahl-I.P. 1/44-	1,5	1,4	5,3	5,6	—
Stockpunkt -I.P. 54/42- (° C)	16,7	2,2	-8,9	8,3	-3,3
Verkokbarkeit (Conradson) (Gew.-%)	0,17	0,30	0,37	0,42	0,01

bei gleicher Auspufftrübung, oder geringere Trübung bei gleicher Leistung. Dabei wird der Zündverzögerung des normal verwendeten Kraftstoffes sowie die Gesamtbrenndauer verkürzt, so daß schwerere Kraftstoffe verarbeitet werden können. Geräusche, wie sie normalerweise von der Brennkammer ausgehen, werden vermindert. Die offene Brennkammer erlaubt höhere Anteile des Alkohols am gesamten Kraftstoffverbrauch.

2. Versuche mit organischen Ölen

Da das Hauptziel war, den Anteil des Alkohols und damit auch nach Möglichkeit die Leistung zu erhöhen, wurde für diese Versuche, bei denen statt bisher Dieselöl nun pflanzliche Öle als Zündöle verwendet wurden, ein Motor der Bauart Petter AV 1, Serie II, gewählt, der nach früheren Erfahrungen [1] hierfür günstig war: Er ist durch seine offene Brennkammer — Bild 1a — mit direkter Einspritzung charakterisiert und hat bei einer Drehzahl von 1500 U/min und bei einem Verdichtungsverhältnis von 16,5:1 eine Leistung von 5 PS⁰).

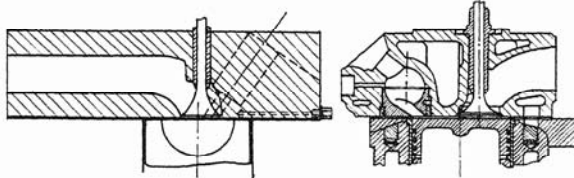


Bild 1a. Schnitt durch die offene Brennkammer des „Petter“-Motors Bild 1b. Die Wirbelkammer des „Ricardo“-Motors

2.1 Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung sah elektrische Leistungsaufnahme mit einem Pendelgenerator vor und die Messung der Luft- und Abgastemperatur, der Kühlwassertemperaturen usw. Mit einem C.R.C.-Messgerät wurde die Abgastrübung festgestellt. Der Fliehkraftregler wurde beibehalten und durch einen Dreiwegehahn war es möglich, verschiedene Kraftstoffe nacheinander der Brennstoffpumpe zuzuführen, ohne den Betrieb zu unterbrechen. Pflanzliche Öle wurden im Wasserbad auf 95° C vorgeheizt. Für die Vernebelung des Alkohols sorgte ein einfacher, von Hand verstellbarer Düsenvergaser. Die Eigenschaften der verwendeten Kraftstoffe sind in den Tabellen III und IV enthalten.

Tabelle III:
Eigenschaften der im Versuch verwendeten pflanzlichen Öle

Zündöl: Kurzbezeichnung:	a	b	c	d
Eigenschaften:				
Wichte (37,8° C)	0,925	0,917	0,920	0,934
Asche (Gew.-%)	0,11	0,01	0,06	0,03
Verkokbarkeit (Conradson) (Gew.-%)	0,13	0,34	0,41	1,34
Unt. Heizwert (kcal/kg)	8560	8900	9020	8620

Tabelle IV:
Eigenschaften der im Versuch verwendeten Dieselöle und des Alkohols

	Dieselöl Klasse A	Dieselöl Klasse B	Äthyl-Alkohol
Eigenschaften:			
Wichte (23,9° C)	0,84	0,87	0,78
Zetanzahl	45	40	—
Zähigkeit-Redwood I sec. (37,8° C)	35	45	—
Siedepunkt (° C)	—	—	78
Verkokbarkeit (Conradson) (Gew.-%)	0,05	1,0	—
Schwefelgehalt (Gew.-%)	0,3	1,2	—
Wassergehalt (Vol.-%)	ohne	0,05	< 0,5
Rückstand (Gew.-%)	ohne	0,01	—
Aschegehalt (Gew.-%)	ohne	0,1	—
Unt. Heizwert (kcal/kg)	10 320	10 060	6 430

⁰) Weitere Angaben über den Versuchsmotor sind in der früheren Arbeit [1] gegeben.

2.2 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden regelmäßig mit einem etwa halbstündigen Anfahren mit Dieselöl eingeleitet, das die Kühlwasserauslaßtemperatur auf 80° C brachte. Dabei war der Einspritzzeitpunkt auf 24° C vor oberem Totpunkt festgelegt. Nach Umschalten auf einen Versuchs-Kraftstoff wurde der Motor in vorher bestimmter Höhe belastet und nach erreichtem Gleichgewicht bei der Nenndrehzahl von 1500 U/min wurden die genannten Ablesungen, auch des Brennstoffverbrauches, vorgenommen. Nun wurde schrittweise Alkohol zugegeben, wobei der Regler die Zufuhr von Zündöl jeweils selbsttätig verminderte. Für jede Alkoholmenge, die gemessen wurde, wurden die oben genannten Messungen für die vorher einregulierte und gleichbleibende Last wiederholt. Mit zunehmender Alkoholaufnahme wurde schließlich ein instabiler Grenzzustand erreicht, bei dem der Motor häufig aussetzte, wobei damit die höchstmögliche Alkoholzufuhr erreicht war.

Das Verfahren wurde für verschiedene Belastungen, die sich meist von leichter bis zu höchstmöglicher Überlast erstreckten, wiederholt.

2.3 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt und lassen die folgenden Schlüsse zu:

Pflanzliche Zündöle erlauben bei Vollast höhere Alkoholanteile — bis zu 93% — am gesamten Kraftstoffverbrauch im Vergleich mit Dieselöl, gestatten jedoch darüber hinaus, die Belastung bis um 60—65% normaler Vollast, wohl auf Grund der besseren Luftausnutzung, die von etwa 60% bis zu 95% gesteigert wurde, zu erhöhen. Hierbei verbessert sich der thermische Wirkungsgrad, während die Auspuffgstrübung nur unerheblich ansteigt. Jenseits normaler Vollast fällt mit erhöhter Alkoholaufnahme die Abgastemperatur und -trübung bei gleichzeitiger leichter Erhöhung des Wirkungsgrades ab. — Bei Teillast wirkt sich Alkohol in umgekehrter Weise aus: Abgastemperatur und -trübung steigen an und der Wirkungsgrad fällt.

Bei Betrieb mit Alkohol war die Brennkammer wesentlich sauberer als für reinen Dieselbetrieb üblich ist. Der Betrieb mit pflanzlichen Ölen allein ist nur oberhalb 1/3 normaler Vollast empfehlenswert und dabei weicher als mit Dieselöl. Unterhalb dieses Wertes setzt rußende Verbrennung ein.

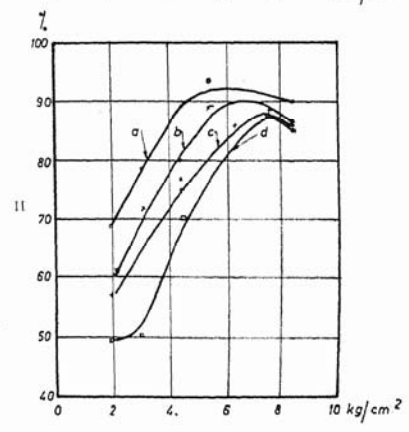
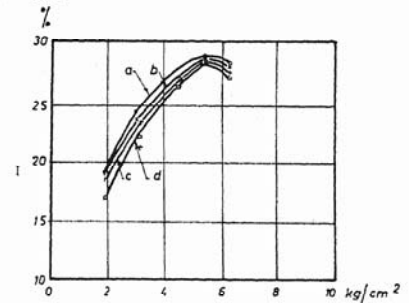


Bild 2. (I): Thermischer Wirkungsgrad — Prozent — ohne Alkoholzufuhr, und (II): höchster Alkoholanteil am gesamten Kraftstoffverbrauch — Prozent — für verschiedene pflanzliche Zündöle a bis d, s. Tabelle II, in Abhängigkeit vom mittl. eff. Druck — kg/cm² — „Petter“-Motor, Verd.-Verh. 16,5:1, 1500 U/min.

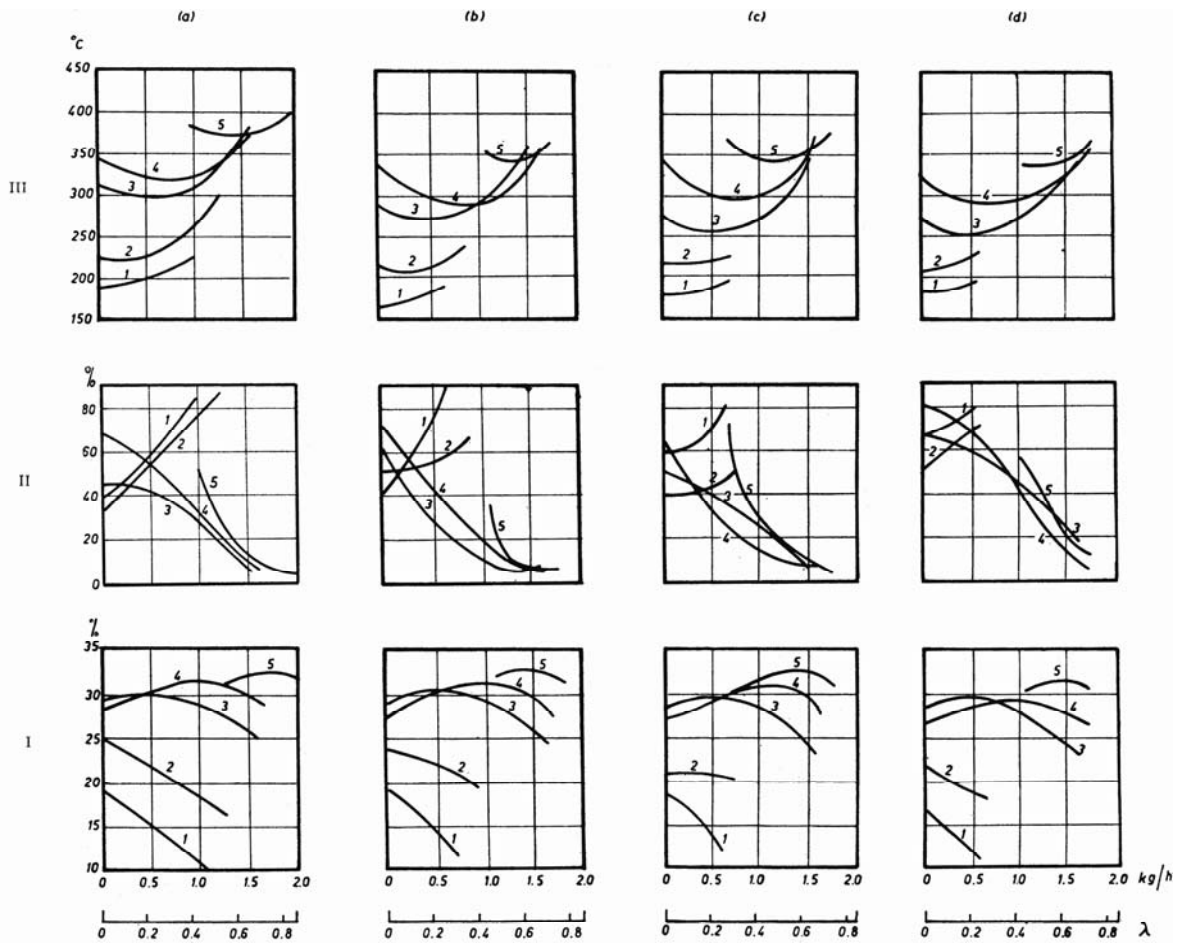


Bild 3. (I): Thermischer Wirkungsgrad — Prozent — (II): Abgastrübung — Prozent — und (III): Abgastemperatur — °C — in Abhängigkeit von der Alkoholaufnahme — kg/h und λ — für organische Zündöle a, b, c und d — s. Tabelle II — bei verschiedenen Belastungen: 1:1,9 kg/cm²; 2:3,1 kg/cm²; 3:5,4 kg/cm²; 4:6,4 kg/cm² und 5:8,3 kg/cm². Normaler Vollastwert: 5,4 kg/cm². Petter Motor, Verd.-Verh. 16,5:1, 1500 U/min.

3. Versuche über motorische Einflüsse

Die Absicht dieser Versuche war, den Einfluß verschiedener Brennkammerformen und anderer motorischer Bau- und Betriebsgrößen wie Verdichtungsverhältnis und Luftvorwärmung auf die Ausnutzbarkeit von Alkohol und auf das betriebliche Verhalten des Vergaser-Diesel-Verfahrens festzustellen. Neben dem oben erwähnten Modell „Petter“ wurde dabei ein Versuchsmotor der Bauart „Ricardo E-6“ mit einer Wirbelkammer „Comet Mark II“ verwendet, dessen Einzelheiten früher [1] erwähnt wurden.

3.1 Versuche mit dem „Petter“-Motor

Die Kraftstoffe, die bereits vorher verwendet wurden, nämlich Alkohol und pflanzliche Öle, wurden nun ergänzt durch die beiden Dieselöle der Klasse A und B, deren Eigenschaften in der Tabelle IV zusammengestellt sind. Die Versuchsordnung und -durchführung blieb erhalten. Die Änderung des Verdichtungsverhältnisses von 12,2:1 bis zu 17,5:1 geschah durch Einlegen verschieden hoher Zylinderkopfdichtungsringe. Schließlich wurde die Luft vor Eintritt in den Motor, der dabei das normale Verdichtungsverhältnis von 16,5:1 aufwies und mit $\frac{3}{4}$, Voll- und 25% Überlast betrieben wurde, elektrisch mit Leistungen von 0–300 W in Schritten von je 50 W erwärmt. Für jede dieser Wärmezufuhren wurde die größt- und bestmögliche Alkoholzugabe bestimmt. Um den Druckverlauf beobachten zu können, wurden mit einem „Farnborough“-Gerät Indikator diagramme bei $\frac{3}{4}$, Voll- und

25% Überlast bei verschiedengroßem Alkoholzuluß aufgenommen.

3.2 Versuche mit dem „Ricardo“-Motor

Dieser Motor ist durch die Wirbelbrennkammer (Bild 1b) charakterisiert und bietet den Vorteil, daß sein Verdichtungsverhältnis geändert werden kann. Die Versuche an ihm beschränkten sich auf die Feststellung der Folgen dieser Änderung auf die mögliche Alkoholaufnahmefähigkeit über einem Bereich des Verdichtungsverhältnisses von 21,22:1 bis zu 17:1. Der Versuchsablauf sah daher wie beim „Petter“-Motor eine stufenweise Erhöhung der Alkoholzufuhr vor, bis das Auftreten von Klopfen zum Abbruch zwang. Bei den Versuchen wurde die Drehzahl bei 1500 U/min belassen.

3.3 Versuchsergebnisse

Ergebnisse mit dem „Petter“-Motor sind in Bild 4 bis 10 dargestellt, die in Bild 11 und 12 von den Versuchsergebnissen mit dem „Ricardo“-Motor ergänzt werden. Aus ihnen können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

Abgesehen von den nur kleinen Unterschieden zwischen leichten und schwereren Dieselölen, besonders hinsichtlich der Abgastrübung — Bild 4 und 5 — kann festgestellt werden, daß der höchstmögliche Alkoholzusatz mit fallendem Kompressionsverhältnis sinkt — Bild 6 bis 8, 11 und 12 —. Dabei steigt die Abgastemperatur und -trübung in beiden Motorenmustern. Bei höheren Kompressionsverhältnissen

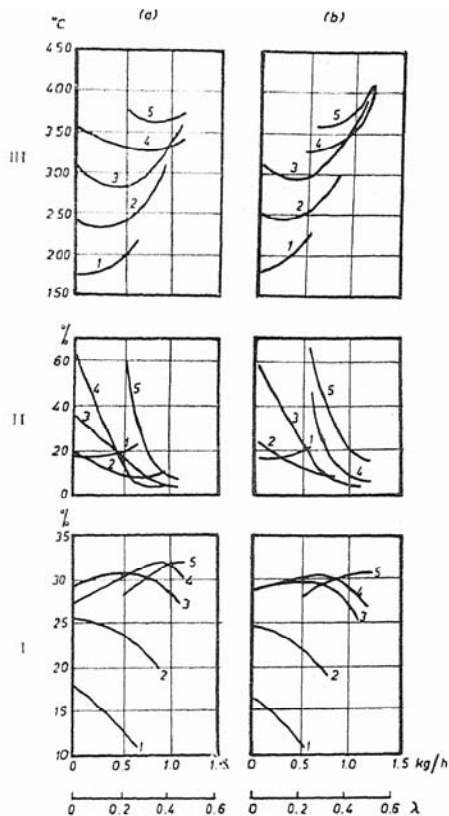


Bild 4. Darstellungen I, II und III und andere Versuchsbedingungen wie in Bild 3, jedoch für mineralische Zündöle (a): Dieselöl Klasse A, und (b): Dieselöl Klasse B — s. Tabelle IV — bei verschiedenen Belastungen 1:1,6 kg/cm²; 2:3,5 kg/cm²; 3:5,4 kg/cm²; 4:6,7 kg/cm² und 5:7,9 kg/cm². Normaler Vollastwert bei eben sichtbarem Auslaß: 5,4 kg/cm².

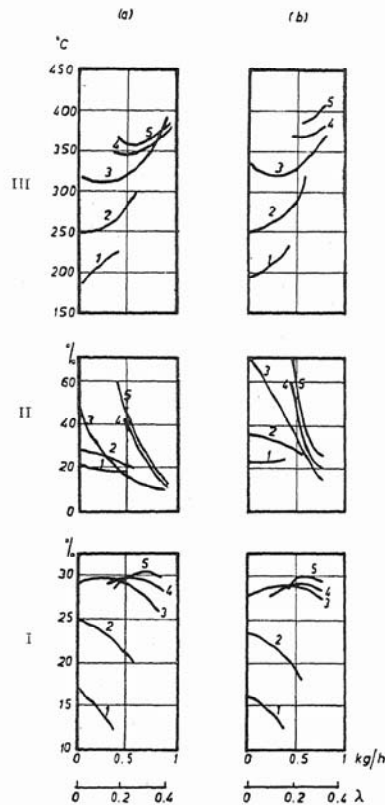


Bild 5. Darstellungen I, II und III und andere Versuchsbedingungen wie in Bild 4, jedoch bei Verdichtungsverhältnis 14,7:1, bei verschiedenen Belastungen 1:1,6 kg/cm²; 2:3,5 kg/cm²; 3:5,4 kg/cm²; 4:6,7 kg/cm² und 5:7,3 kg/cm².

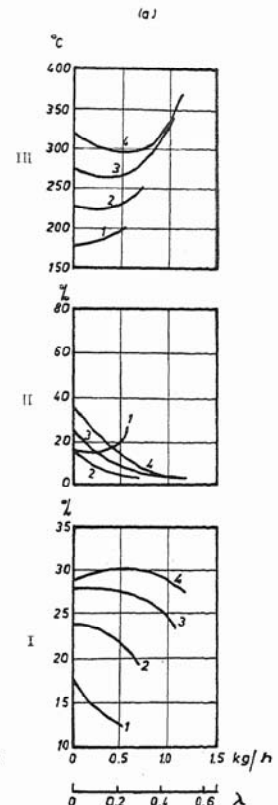


Bild 6. Darstellungen I, II und III und andere Versuchsbedingungen wie in Bild 4, jedoch mit Verdichtungsverhältnis 17,5:1, bei verschiedenen Belastungen 1:1,4 kg/cm²; 2:2,67 kg/cm²; 4:3 kg/cm² und 3:5,4 kg/cm². Dieselöl Klasse A.

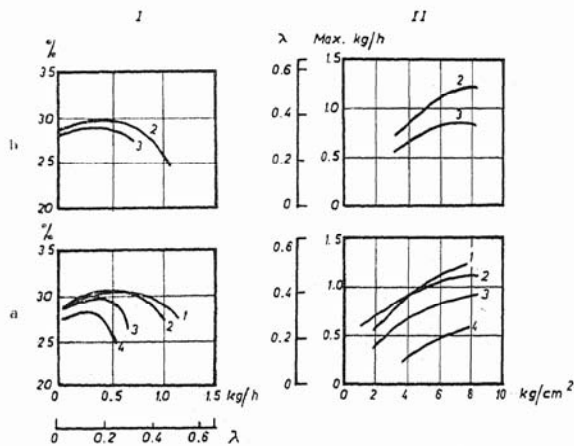


Bild 7. I: Thermischer Wirkungsgrad — Prozent — bei normaler Vollast in Abhängigkeit von der Alkoholaufnahme — kg/h und λ — und II: höchste Alkoholaufnahme — kg/h und λ — abhängig vom mittl. Druck — kg/cm² — für (a): Dieselöl der Klasse A und (b): Dieselöl der Klasse B, bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen: 1: 17,5:1; 2: 16,5:1; 3: 14,7:1 und 4: 13,3:1. „Petter“-Motor, 1500 U/min.

werden höhere mittlere Drücke mit höheren Alkoholanteilen erreicht, wobei freilich eine Grenzbelastung erreicht wird, die sich beim „Petter“-Motor durch aussetzende Zündung und im „Ricardo“-Motor durch eine an Dieselklopfen erinnernde Erscheinung anzeigte. Im allgemeinen werden vom erstgenannten Motor bessere Ergebnisse erzielt, nämlich höhere Alkoholaufnahme mit höheren mittleren Drücken.

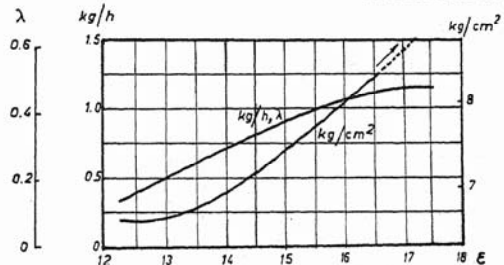


Bild 8. Höchste Alkoholaufnahme — kg/h und λ — und mittl. eff. Druck — kg/cm² — des „Petter“-Motors für verschiedene Verdichtungsverhältnisse mit Dieselöl Klasse A. „Petter“-Motor bei 1500 U/min.

Erwärmung der Luft führt zu erhöhter Alkoholaufnahme — Bild 9a — und besserer Kraftstoffausnutzung — Bild 9b — bei höherer als $\frac{1}{2}$ normaler Vollast. Die Indikatordiagramme — Bild 10 — zeigen schließlich, daß bei dieser Belastung der Kompressionsdruck erniedrigt, und der Zündverzug des eingespritzten Kraftstoffes verlängert wurde.

4. Auswertung und Deutung

4.1 Einfluß des Zündöles

Die Verwendung pflanzlicher Öle als Vergaser-Dieselverfahren führt zu zufrieden allgemein besserem Betrieb, und erlaubt Alkoholanteile am gesamten Kraftstoffbed Überlastbarkeit zulassen als mit Dieselöl ist: Bild 4. Dies gilt jedoch nur für einen

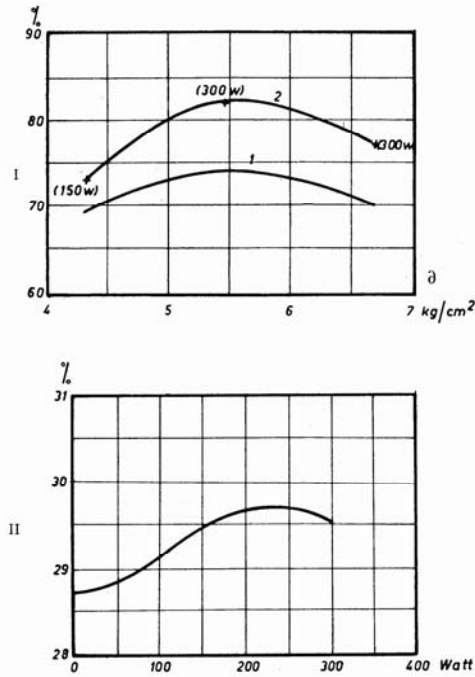


Bild 9. I: Höchste Alkoholaufnahme — Prozent des Gesamtkraftstoffbedarfs in Abh. von mittl. eff. Druck — kg/cm² — 1: ohne äußere Wärmezufuhr, und 2: mit Wärmezufuhr von 150 und 300 W. II: Thermischer Wirkungsgrad bei gleichbleibendem mittl. eff. Druck von 5,4 kg/cm² und gleichem Alkoholzusatz von 72% des gesamten Kraftstoffbedarfs. „Petter“-Motor mit 16,5:1 Verd.-Verh., 1500 U/min, Dieselöl Klasse A.

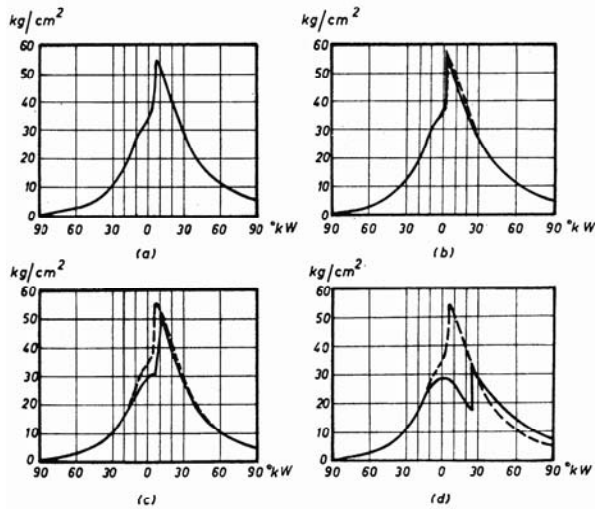


Bild 10. Indikatoridiagramme: „Petter“-Motor mit 16,5:1 Verd.-Verh., 1500 U/min, Dieselöl Klasse A, bei gleichbleibendem mittl. eff. Druck von 5,4 kg/cm²: (a): Ohne Alkoholzugabe, (b): Mit Alkoholzufuhr von 0,362 kg/h entspr. $\lambda = 0,15$, (c): Mit Alkoholzufuhr von 0,825 kg/h entspr. $\lambda = 0,35$, und (d): Mit Alkoholzufuhr von 0,95 kg/h entspr. $\lambda = 0,40$.

Brennkammer: Die entsprechenden Versuche am „Ricardo“-Wirbelkammermotor verliefen nicht zufriedenstellend.

Die Auslösung des Verbrennungsprozesses beim Vergaser-Dieselfverfahren beruht wohl auf der höheren Zündwilligkeit des eingespritzten Öles, das nach dem Eintritt in das hochverdichtete und erhitzte Alkoholdampf-Luftgemisch zur Selbstentzündung gebracht wird und schließlich zur Entzündung aller Komponenten führt. Dieser Vorgang ist noch ungeklärt und kann vielleicht als eine an einer Vielzahl von Stellen erfolgende Initialzündung verstanden werden, die

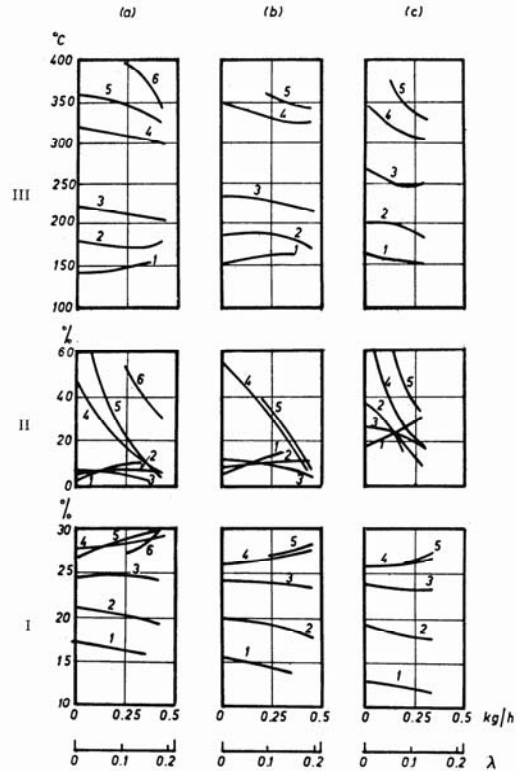


Bild 11. „Ricardo“-Motor: I: Thermischer Wirkungsgrad — Prozent — II: Abgastrübung — Prozent — und III: Abgastemperatur — °C — abh. von Alkoholzufuhr — kg/h und λ — für Verdichtungsverhältnisse a: 21,22:1, b: 20:1, und c: 18:1 bei den folgenden mittl. Drücken: 1: 1,2 kg/cm²; 2: 2,4 kg/cm²; 3: 3,6 kg/cm²; 4: 5,4 kg/cm² (normale Vollast mit eben sichtbarem Auslaß); 5: 7,72 kg/cm², und 6: 7,95 kg/cm² (Grenzwert). Drehzahl 1500 U/min, Dieselöl Klasse A.

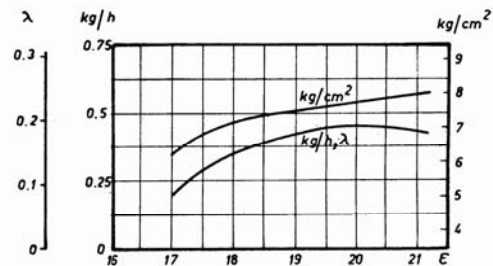


Bild 12. „Ricardo“-Motor: Höchste Alkoholaufnahme — Prozent des Gesamtkraftstoffbedarfs — bei gleichbleibender Belastung von 5,4 kg/cm² (normale Vollast mit eben sichtbarem Auslaß) und höchste mögliche Belastung — kg/cm² — in Abb. vom Verdichtungsverhältnis ϵ . Drehzahl 1500 U/min, Dieselöl Klasse A.

sekundär auch den Alkoholdampf erfaßt, und dabei die übliche klopfende Verbrennung nicht gestattet. Der Alkoholzusatz führt zu einer Erniedrigung der normalen Verdichtungstemperatur und damit auch des Verdichtungsdruckes und bei höheren Alkoholanteilen ist daher die Gefahr größerer Zündverzögerungen und verspäteter Druckanstiege gegeben, die schließlich zu den beobachteten Betriebsstörungen wie Aussetzen der Zündung führen, s. Bild 10. Die Indikatoridiagramme lassen die mit höherer Alkoholaufnahme mehr und mehr verspätet einsetzenden und zu jeweils geringerer Höhe gelangenden Drücke erkennen, wie sie sich jenseits einer besten Alkoholaufnahme ergeben.

Das Einsetzen der genannten Betriebsstörungen hängt, wohl auf Grund der Zündwilligkeit, vom Zündöl ab, wie aus der folgenden Aufstellung der höchstmöglichen Alkoholmengen und der dabei auftretenden Luft: Alkoholverhältnisse hervorgeht:

Zündöle:	Alkohol				
	Zusatz kg/h	Gew.-Anteil am Brennstoff %	Luft: Alkohol- Verhältnis	Relativer A kohol- anteil ⁷⁾	
Pflanzl. Öl	a	1,7	93	13 : 1	0,68
	b	1,68	89	13 : 1	0,68
	c	1,54	87	14,2 : 1	0,63
	d	1,51	87	14,3 : 1	0,62
Dieselöl Kl. A	1,14	74	19,3 : 1	0,46	

Hinsichtlich der thermischen Ausnutzung der Brennstoffe war beobachtet worden, daß sie bei normaler Last und bei Überlastung mit höherer Alkoholaufnahme bis zu einem Bestwert ansteigt, um danach wieder zu fallen. Die allgemeine Erniedrigung der Kreisprozeßtemperaturen, die verringerte Wärmeverluste mit sich bringt, könnte hierfür zunächst verantwortlich sein, während jenseits des Bestwertes die zunehmende Verzögerung und Ausdehnung des Verbrennungsprozesses zu einer fortschreitenden Verschlechterung führt, für die auch die erhöhten Abgastemperaturen Zeugnis ablegen. Das Absinken des thermischen Wirkungsgrades mit niedrigeren Verdichtungsverhältnissen und damit niedrigeren Gastemperaturen mag die gleichen, eben genannten Gründe haben, die auch die gleiche Erscheinung schon bei Teillast hervorbringen.

Die Abgastemperaturen zeigen eine ähnliche Tendenz des Absinkens auf einen niedrigsten Wert, mit nachfolgendem Anstieg bei wachsendem Alkoholzusatz jenseits normaler Vollast. Dies scheint auf die kürzere Verbrennungsperiode bei geringen Zusätzen zu deuten, die volle Expansion und entsprechende Temperaturabnahme erlaubt, während die durch erhöhte Alkoholaufnahme in die Länge gezogene Verbrennung die beobachteten hohen Abgastemperaturen bedingt. Bei niedrigeren mittleren Drücken führt Alkohol zu höheren Abgastemperaturen, wohl wieder auf Grund der damit bedingten Verzögerung des Verbrennungsvorganges.

Für das Abnehmen der Abgastrübung mit Alkoholzusatz jenseits normaler Vollast ist sicher die geringere Zündölmenge verantwortlich wie wohl auch die Wärmeentwicklung der Alkoholverbrennung, die sich in Richtung einer vollkommeneren Verbrennung des Zündöles auswirkt. In ähnlicher Weise und mit der an sich rauchlosen Verbrennung von Alkohol läßt sich auch die deutliche Verringerung von Ablagerungen an Kolben und Brennkammerwänden erklären. Wiederum könnten bei niedriger Belastung die niedrigeren Temperaturen nur eine Teilverbrennung zulassen, die für erhöhte Rauchgastrübung und schlechtere Kraftstoffausnutzung verantwortlich sind.

Die höheren Leistungen — bis zu 60—65% für organische Zündöle, bis zu 35—40% für Dieselöle — werden auf Grund der bis zu 95% gesteigerten höheren Luftausnutzung erzielt. Dies wiederum ist wohl die Folge der verbesserten Verteilung zunächst von Alkoholnebel, später Alkoholdampf in der angesaugten Luft und damit im Verbrennungsraum und der Rückwirkung seiner Verbrennung auf den Verbrennungsvorgang des Zündöles. Dieser Einfluß könnte physikalischer Natur sein, indem die Alkoholverbrennung die Ladung in Bewegung versetzt und so zu höherer Turbulenz führt — ein Umstand, der wegen des höheren Wärmeüberganges auch für den Abfall des Wirkungsgrades verantwortlich sein kann — oder auch chemischer Natur. Ihm sowie der besseren Zündwilligkeit mag die Überlegenheit der organischen über die Dieselzündöle zuzuschreiben sein.

4.2 Einfluß motorischer Größen

Der niedriger verdichtende und mit offener Brennkammer und direkter Einspritzung arbeitende „Petter“-Motor läßt größere Alkoholaufnahmen und damit Leistungssteigerungen

⁷⁾ Unter „relativem Alkoholanteil“ ist das Verhältnis des wirklich vorhandenen Gewichtsverhältnisses von Alkohol zu Luft zum stöchiometrischen Mischungsverhältnis verstanden. Diese Größe wurde mit „z“ bezeichnet.

zu als der Wirbelkammermotor mit höherer Verdichtung. Dies scheint mit der höheren Strömungsgeschwindigkeit der Ladung in letzterem zusammenzuhängen, da die Begrenzung des Alkoholanteiles vom Verdichtungsverhältnis nicht wesentlich beeinflusst wird, ja sogar mit ihm sinkt. Die höhere Strömungsintensität wird dabei an der Grenze zuverlässigen Betriebes wohl zu hohe Werte des Druckanstieges und des Kraftstoffumsatzes in der Brennkammer ergeben. Ähnliche Beobachtungen konnten auch an einem Mehrzylinder motor mit ähnlicher Wirbelkammer, jedoch mit niedrigerer Verdichtung gemacht werden. — Für beide Brennkammerformen steigt jedoch die Alkoholaufnahmefähigkeit und damit die Überlast mit dem Verdichtungsverhältnis an, wohl aus Gründen, die für die ähnliche Abhängigkeit des thermischen Wirkungsgrades maßgeblich waren. Zusätzliches Erwärmen der Verbrennungsluft hat die gleichen Folgen, die wohl auf den gleichen Ursachen beruhen, die für den Erfolg von Erhöhungen des Verdichtungsdruckes verantwortlich waren.

5. Folgerungen

Grundsätzlich bietet das Verfahren der Vernebelung eines leichten Oles in einem Vergaser in der dem Dieselmotor zufließenden Luft mit Einspritzung eines schwereren Oles zur Einleitung der Verbrennung den Vorteil, daß die an das Vorhandensein einer flüssigen Phase gebundene Entzündungsfähigkeit, wie sie im normalen Dieselmotor besteht, gewahrt bleibt, während die für den weiteren Verbrennungsablauf günstig gasförmige Phase, die im Dieselmotor normal nicht vorkommt, auch vorhanden ist. Die letztere unterdrückt die Rückstandsbildung und schroffe Druckanstiege auf Grund der größeren Zündverzögerung, erlaubt aber bessere Vermischung mit der Luft im Verbrennungsraum und deren weitergehende Ausnutzung.

Die Vorzugsstellung von Alkohol im Rahmen dieser Arbeit beruht auf technischen, örtlich - und herstellungsbedingten Überlegungen, doch sind andere Kraftstoffe nicht grundsätzlich ausgeschlossen.

Während die Forderung auf Ausnutzung pflanzlicher, zeitlich und mengenmäßig kaum begrenzter Kraftstoffe, in größerem oder engerem wirtschaftlichen Rahmen betrachtet, auf das Vergaser-Dieselfverfahren hinführen mag, empfiehlt es sich jedoch, rein technisch betrachtet, durch die Möglichkeit einer erheblichen Leistungssteigerung eines Dieselmotors über die normale Vollerleistung hinaus, die zudem mit nur unerheblichen Zusatzeinrichtungen verfügbar gemacht werden kann.

Die Ausdehnung der Versuche auf Mehrzylinder motoren und abweichende Baumuster sowie die Entwicklung von Regeleinrichtungen sollte daher den weiteren Verlauf der Versuche kennzeichnen.

Schrifttum

- [1] H. A. Havemann, M. R. K. Rao u. a.: Der Betrieb von schnelllaufenden Dieselmotoren mit normalen und schweren Kraftstoffen in Verbindung mit Alkohol, MTZ Jahrg. 15, (1954), Nr. 6, S. 177/185.
- [2] Unesco: Summary of the Report of the Seminar on Production and use of Power Alcohol, (1952).
- [3] Ricardo, Sir. H.: The High Speed Internal Combustion Engine, Blackie & Sons, (1945), S. 3/4.
- [4] Aggerwal u. a.: Indian Vegetable oils as fuels for Diesel engines, Bull. of Ind. Industrial Research Nr. 19, Veröffentlich. des CSIR, New Delhi, (1952).
- [5] Siehe Schrifttum aufgeführt unter Ref. [1].
- [6] Lyn: An experimental investigation into the effect of fuel addition to intake air on the performance of a C.I. engine, Proc. Inst. of Mech. Eng., Bd. 169 (1954), Nr. 9.
- [7] Derry u. a.: The effect of Auxiliary Fuels on the Smoke Limited Power Output, Proc. Inst. of Mech. Engrs., Bd. 168 (1954), 9.
- [8] Clerget: Essais de plusieurs fluides dans les moteurs à injection, Acad. de sci, Comp. Rend., Bd. 196 (1933), S. 1645—1647.
- [9] Maxwell: Power Booster Fuels for Diesel Engines, S.A.E. Journal, Bd. 60 (1952), 6.
- [10] Seddon: Vegetable oils in Commercial Vehicles, Gas and Oil Power, Bd. 136, (1946).
- [11] Julio Laporte: Crude Linseed and Sunflower oils as Diesel Fuel Chem. Abstr., Bd. 38, (1944) S. 467.
- [12] Bharave u. Amrute: Groundnut oil for Diesel Engine Science, Bd. 11, (1942), S. 403.
- [13] Ramachandran: Utilization of Vegetable Oils in Diesel Ignition Engines, Proc. Symposium on Development of Internal Combustion Engines, C.S.I.R., New Delhi, (1954), S. 133—135.