

**Nur zum Dienstgebrauch
im Geschäftsbereich des Empfängers**

G 15

000481

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 939

Zündwilligkeit von Dieselmotoren im Motor

F. Seeber Slowak

Verfaßt bei

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.

Institut für Betriebstofforschung

Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen bei
der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.
Berlin-Adlershof / Fernruf 63 62 11

000482

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Geschäftsbereich des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Geschäftsbereichs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise), sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Geschäftsbereichs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Verschuß zu halten. Panzer-
verschuß nicht erforderlich.

000483

Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen

im Motor.

Vorsicht: Es wurden die verschiedenen Verfahren zur Messung der Zündfähigkeit von Dieselkraftstoffen miteinander verglichen. Um die Zündwilligkeit nach den einzelnen Meßverfahren am klarsten zu beurteilen, wurden die Richkurven der Standard- bzw. der Bezugskraftstoffe miteinander in Beziehung gesetzt.

Der Bericht umfaßt:
51 Seiten mit
26 Abbildungen und
1 Zahlentafel.

INSTITUT FÜR BETRIEBSTOFFFORSCHUNG
DER
DEUTSCHEN VERSUCHSANSTALT FÜR LUFTFAHRT, E.V.

Die Bearbeiter

J. Seiber-Slovak

Seiber/Slowak

A. Philippovich

ges. v. Philippovich

Berlin-Adlershof, den 31.5.38

BSf 500/29

Gliederung: I. Anlaß zur Untersuchung

II. Physiko-chemisches Prüfverfahren zur Bestimmung der Zündeigenschaften.

1. Dieselindex
2. Flammenlänge
3. Parachor
4. Siedekennziffer

III. Motorische Prüfverfahren

A. Beschreibung der Prüfmotoren

1. CFR-Motor

- a) mit Dieselkolben, "Critical Compression Ratio-Messung" (Startprüfung)
- b) mit Wirbelkammer, "Required Compression Ratio" (Zündverzugsprüfung)

2. Einzylinder-Dieselmotor der OLEX, Bauart Körting

3. Einzylinder-Deutz-Dieselmotor des Heereswaffenamtes

4. Einzylinder-Viertakt-Dieselmotor mit veränderlicher Verdichtung

B. Beschreibung der Prüfverfahren

1. Bestimmung der Zündwilligkeit im Otto-Motor

2. Prüfung der Zündwilligkeit im Dieselmotor

- a) Ermittlung der ersten Zündung bei Verdichtungsänderung (CFR-Diesel-Motor)
- b) Wirbelkammer-CFR-Motor, Zündverzugs-Prüfung

3. Festlegung der ersten Zündung bei Drosselung der Ansaugluft

- a) Körting-Motor (entspricht dem Verfahren von Stansfield)
- b) HWA-Deutz-Motor

4. Prüfverfahren im Einzylinder-Diesel-Motor der DVL u. Darstellung des Entwicklungsganges zu den einzelnen Prüfverfahren

- a) Eichkraftstoffe
- b) Drehzahl- u. Motorbelastung
- c) Kühlwasser-, Schmieröl- und Ansauglufttemperatur
- d) Verdichtungsverhältnis
- e) Einspritzzeitpunkt

5. Beschreibung der einzelnen Verfahren mit Betriebsbedingungen

a) Zündverzugsverfahren (entspricht dem Vorschlag von Boerlage und Broeze)

b) Aussetzer-Verfahren

c) Verfahren der ersten Zündung
 A) Drosselung
 B) Verdichtungsveränderung

C. Einfluß von Zündbeschleunigern

IV. Folgerungen aus diesen Versuchen

I. Anlaß zur Untersuchung.

Die Frage nach einer geeigneten motorischen Prüfweise für Dieselkraftstoffe ist durch die Zunahme der dieselbetriebenen Flugzeuge dringlich geworden. Es sollte daher ähnlich wie bei den Vergaserkraftstoffen - (Oktananzahlbestimmung im CFR-Motor) - versucht werden, bei festgelegten motorischen Prüfbedingungen in verschiedenen Einzylinder-Dieselmotoren Dieselkraftstoffe durch Vergleich mit Bezugskraftstoffen auf ihr motorisches Verhalten zu prüfen. Als Maß der Verbrennungseigenschaften der Dieselkraftstoffe sollte neben der ersten Zündung oder dem ersten Aussetzen vor allem der Zündverzug sowie der Maximaldruck dienen.

II. Physico-chemische Prüfverfahren zur Bestimmung der Zündeigenschaften.

Das Problem der Zündfähigkeit von Dieselkraftstoffen wurde im Jahre 1933 von A.E. Becker und H.R. Stacey auf dem Petroleum-Weltkongreß in London in dem Vortrag "Messung der Zündfähigkeit von Dieselölen" erstmalig in Verbindung mit der motorischen Prüfung im CFR-Motor nach dem Motorverfahren behandelt. Die motorische Prüfung war durch die Ermittlung des kritischen Verdichtungsverhältnisses (Verfahren nach Pope und Murdock) gekennzeichnet.¹⁾ Schon

1) SAE-J, Bd. 30, März 1932, S. 136, "Über das Verhalten u. die Zündung von Dieselölen in Abhängigkeit von der Verdichtung."

damals wurde auf verschiedene Zusammenhänge der motorischen Kennzeichnung und einiger physikalischer und chemischer Werte hingewiesen, wie z.B. Anilinpunkt, Selbstentzündungstemperatur und Jodzahl. Diese Übereinstimmungen veranlaßten A.E. Becker und H.G.M. Fischer zur Kennzeichnung der Zündfähigkeit von Dieselmotorkraftstoffen ein Laboratoriumsvorgehen zu entwickeln, das unter dem Namen "Diesel-Index" ¹⁾ bekannt wurde. Zu gleicher Zeit wurde auch eine Überprüfung der Zusammenhänge von laboratoriumsmäßiger und motorischer Prüfung von Dieselmotorkraftstoffen ²⁾ in der DVL durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen wurden besonders der Zündwert nach Jentzsch, der Kenn-Zündwert, die Dichte, der Anilinpunkt, das Molekulargewicht und die Flammenlänge von verschiedenen Dieselmotorkraftstoffen in Verbindung mit den im Motor bestimmten Cetanzahlen gesetzt. Die Cetanzahlen wurden, da die DVL damals noch keinen Diesel-CFR-Motor besaß, in Delft bestimmt. Die beste Übereinstimmung wurde s.Zt. zwischen Motor-Cetanzahlen und Flammenlänge gefunden.

1. Dieselindex.

Der von A.E. Becker und H.G.M. Fischer zur Kennzeichnung der Zündfähigkeit von Dieselmotorkraftstoffen in Vorschlag gebrachte "Diesel-Index" hat folgende Definition:

$$(1) \text{ Diesel-Index} = \frac{\text{Anilinpunkt (in } ^\circ\text{F)}}{100} \cdot \text{API-Dichte}$$

Diese beiden physikalischen Konstanten, die durch einfache Laboratoriumsmessungen zu bestimmen sind, sollen eine ausreichende Kennzeichnung der Verbrennungseigenschaften von Dieselmotorkraftstoffen erlauben. Da die Bezugsgrößen in amerikanischen Einheiten ausgedrückt sind, wurde die Formel (1) in das in Deutschland übliche Maßsystem umgerechnet. Die Umrechnungsfaktoren sind folgende:

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}$$

$$\text{Dichte in API-Graden} = \frac{141,5}{d_{15,6}} - 131,5$$

Somit lautet die Formel:

$$(2) \text{ Diesel-Index} =$$

- 1) SAE-Journ., Bd. 35, 1934, Nr. 4 "Vorschlag zur Kennzeichnung d. Zündfähigkeit von Dieselölen". A.E. Becker u. H.G.M. Fischer
 2) PB 105 DVL-Bericht über die laboratoriumsmäßige Prüfung v. Dieselmotorkraftstoffen auf ihre motorische Eignung. v. Philippovich, Mayer-Bugström

$$\frac{9}{5} \cdot \text{Anilinpunkt in } ^\circ\text{C} + 32) \left(\frac{141,4}{\frac{1}{4} + 0,0032} - 131,5 \right)$$

100

Die Prüfung der Bezugskraftstoffmischungen (Erdölprodukte) nach verschiedenen Verfahren ist in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Daraus geht hervor, daß die Diesel-Index-Eichkurve in ihrem Verlauf wesentlich von den anderen Eichkurven abweicht.

Interessant ist es jedoch, daß die im DVL-Bericht PB 105 (Kf 501/7) untersuchten Dieselkraftstoffe nach ihren im Delfter Prüfmotor gefundenen Cetenzahlen und dem jeweils dazugehörigen Dieselindex in einer einfachen Beziehung zueinander stehen (Abb.1).

2. Flammenlänge.

Das Meßverfahren zur Bestimmung der Flammenlänge von Dieselkraftstoffen wurde in der DVL entwickelt. Zur Messung dient eine Dochtlampe, die im PB-Bericht 105 (s.Bl.4, Anm.2) beschrieben ist. Die Ablesungen erfolgten, nachdem der Docht soweit zurückgedreht worden war, daß die vorher schwach rußende Flamme gerade nicht mehr rußte. Die Flammenlänge wurde an einer Millimeterglasskala unter Benutzung eines Spiegels abgelesen. In Zahlentafel 1 sind die erzielten Werte zusammengestellt. Aus Abb.2 ersieht man, daß bei Ceten- und Cetan gemischen die Flammenlänge nur in gewissen Bereichen dem Ceten- bzw. Cetangehaltverhältnis gleich sind.

3. Parachor.

Eine weitere Möglichkeit der Kennzeichnung von Dieselkraftstoffen bietet das von R.Heinze und M.Marder entwickelte Untersuchungsverfahren ¹⁾. Mit Hilfe des Parachors können die Cetenzahlen von Dieselkraftstoffen bei der Kenntnis der Eichkurve des betreffenden Prüfmotors ermittelt werden. Die Gleichung für den Parachor lautet:

$$(3) \quad p = \frac{1}{d} \cdot \delta^{3/4}$$

wobei unter p der spezifische Parachor, d die Dichte und δ die Oberflächenspannung zu verstehen sind. Nach mündlichen Mitteilungen von Dr. Marder ist bei der Cetenzahl Bestim-

- 1) a) Eine Laboratoriumsmethode zur Bestimmung der Motoreignung leichter Kraftstoffe, Angew.Chemie 48,335 (1935)
 b) Heinze u. Marder, Brennstoff-Chemie, 1937, 16, 286-290
 c) " " " " , Öl u. Kohle, Erdöl u. Teer, 11(1935)724

zung von Dieselkraftstoffen \sqrt{S} zu vernachlässigen, da die Oberflächenspannung keinen wesentlichen Einfluß darauf aufweist. Das Untersuchungsverfahren beruht daher allein auf der Inbeziehungsetzung der Dichte und der Cetenzahl, wobei die Werte der Eichkurve auf die Siedekennziffer 290 bezogen sind. Kraftstoffe, deren Siedekennziffer darunter oder darüber liegen, werden mit Hilfe eines Korrekturfaktors auf die SK 290 umgerechnet. Die bei der Bestimmung von Abadan- und S-300-Gemischen erhaltenen Werte sind in Zahlontafel 1 aufgeführt und zeigen einen den motorisch gefundenen Eichkurven ähnlichen Verlauf.

4. Siedekennziffer.

Die Siedekennziffer stellt angenähert die mittlere Siedetemperatur eines Kraftstoffes dar. Auf der Tagung¹⁾ der Gesellschaft für Braunkohle- u. Mineralölforschung der T.H. Berlin (26.6.36) berichtete R.Heinze über die Brauchbarkeit der Siedekennziffer zur Kennzeichnung der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen. Nach Versuchen des Braunkohleforschungsinstitutes Berlin zeigte es sich, daß die Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen proportional der Siedekennziffer ist.

R.Heinze schließt aus diesem Ergebnis, daß die Zündwilligkeit von Fraktionen von Dieselkraftstoffen mineralischer Herkunft mit steigender Siedekennziffer zunimmt. Dies wird mit einem Beispiel eines Braunkohle-Dieselkraftstoffes belegt:

Fraktion mit der Siedekennziffer	206	Cetenzahl	38
"	"	"	56
"	319	"	56

Aus diesem Versuchsergebnis läßt sich folgern, daß es zweckmäßig ist, möglichst hochsiedende Fraktionen als Dieselkraftstoffe zu verwenden.

III. Motorische Prüfverfahren.

=====

Allgemein kann bei der motorischen Prüfung von Dieselkraftstoffen von zwei grundsätzlich verschiedenen Verfahren gesprochen werden und zwar Prüfung in fremd ange-

1) s. Brennstoff-Chemie, Bd. 17, 1936, Nr. 17, S. 274

triebenen und in eigen angetriebenen Dieselmotor. Auf der Tagung der Institution of Petroleum Technologists ¹⁾ von 8. bis 11. Mai 36 in Haag wurde von G.D.Boorlage und seinen Mitarbeitern auch über die Eignung einzelner Prüfmotoren verschiedener Bauart berichtet. Nach den Ergebnissen dieser Messungen eignet sich zur Prüfung der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen jeder Prüfmotor, solange Dieselkraftstoffe normaler Beschaffenheit geprüft werden. Diese Vergleichsmessungen wurden im Gardener-, Thomassen-, Ricardo- und CFR-Motor durchgeführt.

In der DVL wurden zur Durchführung der vorliegenden Versuchsreihen der DVL-Einzylinder-Dieselmotor und der CFR-Dieselmotor alter Bauart verwendet, die nachstehend beschrieben sind.

A. Beschreibung der Prüfmotoren.

1. CFR-Motor (Hersteller Waukesha Motor Co., Waukesha Wisconsin USA)

a) Mit Dieselkolben. Critical Compression Ratio-Messung (Startprüfung)

Der bekannte, zur Prüfung von Leichtkraftstoffen für Otto-Motoren entwickelte amerikanische Einzylinder-Viertakt-CFR-Motor kann dank seiner kräftigen Bauweise die beim Betriebe als Dieselmotor erhöhten Belastungen aufnehmen. Daher verwendeten die Amerikaner diesen Motor auch zur Prüfung von Dieselkraftstoffen.

Seine Hauptabmessungen sind folgende:

Bohrung $3\frac{1}{4}'' = 82,6 \text{ mm } \emptyset$

Hub $4\frac{1}{2}'' = 114,3 \text{ mm}$

Hubraum = 613 ccm

Verdichtungsverhältnis von $\xi = 6$ bis 21 veränderlich

Der Motor ist durch Keilriementrieb mit einer Synchron-Drehstrommaschine gekuppelt und kann mit 600 oder 900 U/Min. betrieben werden.

Zum Betriebe als Dieselmotor wird derselbe mit einem Kolben versehen, der im Kolbenboden eine dem Strahle der verwendeten Bosch-Zapfendüse DN 30 S 3 angepasste kegelförmige Vertiefung besitzt. Die Zündkerze des Motors wird

1) The Correlation of Tests in the Ignition Quality of Diesel Fuels, Carried out at Delft and Sunbury, Journ. of the Inst. of Petr. Techn. Vol.22, 1936, Nr.153

beim Dieselmotor gegen ein Bosch-Einspritzventil ausgetauscht, welches den Kraftstoff aus einer von der Pleuellwelle angetriebenen Bosch-Einspritzpumpe erhält.

b) Mit Wirbelkammer, Required Compression Ratio (Zündverzugsprüfung)

Houordings wurde von der Herstellerin des CFR-Motors (Waukesha Motor Company) außerdem ein Zylinder mit einer im Kopf befindlichen Wirbelkammer geschaffen. Letztere hat zylindrische Form und ihr Inhalt und damit das Verdichtungsverhältnis des Motors ist durch einen in ihr verschieblichen Kolben veränderlich ¹⁾.

2. Einzylinder-Dieselmotor der OLEX, Bauart Körting.

Die "OLEX" Berlin verwendet zur Dieselmotorprüfung einen stationären Körting-Viertakt-Dieselmotor, der mit direkter Einspritzung arbeitet. Seine Abmessungen sind folgende:

Bohrung	= 185 mm ϕ
Hub	= 250 "
Hubraum	= 6720 ccm

Verdichtungsverhältnis: 11,2

Der Motor arbeitet mit einer Bosch-Mehrlochdüse.

3. Einzylinder-Deutz-Dieselmotor des Heereswaffenamtes (A 1 M 317)

Das Heereswaffenamt benutzt zur Kraftstoffprüfung einen einfach wirkenden Viertakt-Einzylinder-Deutz-Dieselmotor, der durch Umbau mit Bosch-Einspritzpumpe und 3-Lochdüse, also direkter Einspritzung arbeitet.

Bohrung	= 120 mm ϕ
Hub	= 170 "
Hubraum	= 1920 ccm

Verdichtungsverhältnis: 14,5:1

4. Einzylinder-Viertakt-Dieselmotor mit veränderlicher Verdichtung (Konstruktion Slowak)

Hierüber wurde erstmalig auf der Tagung der Mineralogisch-technischen Gesellschaft am 27. April 1934 zu Berlin ²⁾ berichtet.

²⁾ s.a. Öl u. Kohle 1934, Heft 12, S. 524/527
¹⁾ ATZ 1936, Heft 2, S. 29/30

Die Abmessungen betragen:

Bohrung	110 mm ϕ	000487
Hub	170 "	
Hubraum	1615 ccm	

Verdichtungsverhältnis einstellbar zwischen 4 u. 20 durch Verschieben des Zylinders im Betriobe.

Einspritzorgane: Fabrikat Bosch

Verschiedene Arbeitsverfahren sind durch Austauschmöglichkeit des Zylinderkopfes bezw. Umbau möglich:

a) direkte Einspritzung in scheibenförmigen Verbrennungsraum durch zentral gelegene Mehrlochdüse.

Abgeschirmtes Einlaßventil zwecks Wirbelbildung.

Einspritzspitzendruck 180 atü

Einspritzbeginn 18° vor Totpunkt.

b) direkte Einspritzung in kegelförmigen, dem Strahl einer Bosch-Zapfendüse angepaßten Verdichtungsraum. Zur Erzielung rauchfreier Verbrennung ist eine "Luftkammer" im Zylinderkopf vorgesehen, welche nach erfolgter Zündung die Durchwirbelung des Zylinderinhaltes bewirkt.

Einspritzspitzendruck 140 atü

Einspritzbeginn 18 bis 22° vor Totpunkt

c) Vorkammerverfahren.

Durch Umbau kann der unter a) verwendete Zylinderkopf mit einer parallel zur Zylinderachse seitlich im Zylinderkopf eingebauten Vorkammer versehen werden.

Bosch Zapfendüse

Einspritzspitzendruck 100 atü

Einspritzbeginn 12 bis 15° vor Totpunkt

d) Wirbelkammerverfahren.

In dem dafür bestimmten Zylinderkopf ist eine zylindrische scheibenförmige Wirbelkammer vorgesehen, in welche eine Bosch-Zapfendüse einspritzt.

Einspritzspitzendruck 130 atü

Einspritzbeginn 14° vor Totpunkt.

B. Beschreibung der Prüfverfahren.

1. Bestimmung der Zündwilligkeit im Otto-Motor.

Mit den Dringlichwerden der Zündwilligkeitsbestimmung von Dieselkraftstoffen wurde etwa im Jahre 1932 in Ermangelung eines geeigneten Prüfmotors von Dumanois der Vorschlag gemacht, Dieselkraftstoffe im CFR-Vergaser-(Zünder) Motor nach ihrer Klopfneigung zu bestimmen.

Dumanois geht dabei von der begründeten Ansicht aus, daß die Klopfestigkeit (Octanzahl) im umgekehrten Verhältnis zur Zündfreudigkeit eines Dieselkraftstoffes steht. Da es kaum möglich ist, im Vergasermotor selbst bei starker Vorwärmung mit reinen Dieselkraftstoffen zu arbeiten, prüft man die zu untersuchenden Kraftstoffe in einer Mischung mit einem bekannten Benzin hoher Octanzahl. 20 Raumteile Dieselkraftstoff werden mit 80 Raumteilen Benzin gemischt und im CFR-Motor nach den Research- oder Motor-Verfahren auf ihre Octanzahl geprüft. Je höher die dabei gefundene Octanzahl liegt, umso weniger eignet sich der Kraftstoff zum Betriebe im Dieselmotor. Weil die auf diese Weise gefundene Octanzahl von der Qualität des beigemischten Benzins abhängig ist, vergleicht man den zu prüfenden Dieselkraftstoff mit einem Gemisch aus Ceten und Alpha-Methyl-Naphthalin. Er gibt z.B. eine Mischung aus 65 Raumteilen leicht zündenden Cetens ($C_{16}H_{32}$) und 35 Raumteilen schlecht zündendem Alpha-Methyl-Naphthalin ($C_{11}H_{10}$) in Mischung mit dem betreffenden Benzin dieselbe Octanzahl, so teilt man dem zu prüfenden Dieseltreibstoff die Cetenzahl 65 zu. Eichkurven für dieses Verfahren siehe in Abb. 3 bzw. Zahlentafel 1.

Obwohl dieses Verfahren der Kraftstoff-Prüfung Ergebnisse liefert, die mit den im folgenden beschriebenen Prüfverfahren erzielten verhältnismäßig gut vergleichbar sind, ist man doch in neuerer Zeit fast ausschließlich zu Prüfverfahren übergegangen, bei welchen der Kraftstoff im Dieselmotor selbst untersucht wird.

2. Prüfung der Zündwilligkeit im Dieselmotor.

a) Ermittlung der ersten Zündung bei Verdichtungsänderung (CFR-Diesel-Motor)

Nach dem Vorschlage von Pope und Murdock (Waukesha Motor Comp.) wird der CFR-Motor, dessen Dieselkolben eine

konische Aussparung besitzt, zur Bestimmung des sogenannten kritischen Verdichtungsverhältnisses (critical compressive ratio) eines Dieselkraftstoffes benutzt.

Betriebsbedingungen:

Drehzahl $n = 600$ U/Min
Kühlmanteltemp.: $210^{\circ}\text{F} = 99^{\circ}\text{C}$
Ansauglufttemp.: 100 " = $37,8^{\circ}\text{C}$
Schmieröltemp.: 130 " = $54,4$ "
Einspritzdruck : 1000 lb/sq. in = $70,3$ atü
Einspritzbeginn: 12° Kurbelwinkel vor Totpunkt
Einspritzmenge pro Arbeitsspiel: $0,023$ ccm

Letztere soll im Betriebe einen mittleren effektiven Druck von $p_{mo} = 3,87$ kg/cm² ergeben.

Durchführung einer Kraftstoffprüfung:

Der Motor wird, ohne Brennstoff einzuspritzen, (das vor der Kraftstoffdruckleitung befindliche Überströmventil ist geöffnet) bei zunächst niedrig eingestellter Verdichtung und konstant gehaltener Ansauglufttemperatur elektrisch angetrieben. Durch Schließen des Überströmventiles läßt man dann den zu prüfenden Brennstoff 3 Sekunden lang einspritzen. Ist dabei eine Zündung (am Geräusch und am Auspuff) nicht festzustellen, so wiederholt man bei durch Zylinderverstellung erhöhtem Verdichtungsverhältnis das kurzzeitige Einspritzen so oft bis eine Zündung erfolgt.

Nun sucht man durch Mischen von Ceten ($\text{C}_{16}\text{H}_{32}$) und Alpha-Methyl-Naphtalin ($\text{C}_{11}\text{H}_{10}$) ein Gemisch zu finden, das bei gleichem Verdichtungsverhältnis zündet. Dieses versuchsweise in Amerika eingeführte Prüfverfahren ist von verschiedener Seite beanstandet worden. Vor allem ist der Einwand begründet, daß dieses Verfahren nur eine Startprüfung sei und den im Betriebe anders gearteten Wärmezustand des Motors nicht berücksichtigt. Eine Eichkurve ist in Abb. 3 zu finden.

b) Wirbelkammer-CFR-Motor, Zündverzugs-Prüfung:

Neuerdings wurde daher von der Herstellerin des CFR-Motors ein neuer Zylinder mit einer im Kopf desselben befindlichen zylindrischen Wirbelkammer geschaffen ¹⁾.

1) s.a. ATZ Heft 2, 1936, Bd.39, S.29/30

Durch einen in der Wirbelkammer verschiebbaren Kolben kann ihr Inhalt und damit das Verdichtungsverhältnis des Motors geändert werden.

Das nach verschiedenen Versuchen jetzt übliche Prüfverfahren mit diesem Zylinder sei im folgenden beschrieben¹⁾

Arbeitsbedingungen des Motors:

- 1) Drehzahl 900 ± 30 U/Min.
- 2) Kühlwassertemperatur konstant innerhalb $210^{\circ}\text{F} \pm 1^{\circ}\text{F}$ ($\frac{5}{9}^{\circ}\text{C}$)
- 3) Ansauglufttemperatur $100 \pm 0,5^{\circ}\text{F}$ ($37,8^{\circ}\text{C}$)
- 4) Schmieröltemperatur $140 \pm 10^{\circ}\text{F}$ ($60^{\circ} \pm 5$ $5/9^{\circ}\text{C}$)
- 5) Einspritzbeginn 18° Kurbelwinkel v.o.T.
- 6) Einspritzdüsenöffnungsdruck 1500 ± 100 lb/sq.in ($105,5 \pm 7$ atü)
- 7) Einspritzmenge pro Arbeitspiel $0,02$ ccm $\pm 10\%$

Der Motor läuft bei den Kraftstoffprüfungen mit eigener Kraft. Als Gütemaßstab für den Kraftstoff wird sein Zündverzögerung benutzt. Man versteht darunter die Zeit, gemessen in Grad Kurbelwinkel, vom Beginn des Öffnens der Düsenadel bis zum Beginn des durch die Zündung verursachten Druckanstieges im Zylinder.

Der Beginn des Öffnens der Düsenadel wurde früher mit Hilfe des Einspritzventilfühlstiftes auf einen Unterbrecher übertragen, in dessen Stromkreis eine Zündspule liegt. Der durch die Unterbrechung beim Anheben der Düsenadel in der Zündspule entstehende Hochspannungsstromstoß bringt eine mit Kurbelwellengeschwindigkeit vor einer Gradeinteilung umlaufende Glimmlampe zum Aufleuchten.

Genauere Untersuchungen zeigten, daß infolge von Einstellungsungenauigkeiten und Funkenbildung am Unterbrecher der Einspritzbeginn mit dieser Vorrichtung nur sehr ungenau festgestellt werden kann.

Es wird deshalb neuerdings vom Einspritzventilfühlstift ein magnetisches Lautsprechersystem spielfrei betätigt und die von letzterem erzeugte Spannung steuert eine Thyatron-Röhre, die wiederum über einen Transformator die

1) Cetane Rating of Diesel Fuels, by P.H. Schweitzer u.T.B. Hetzel, SAE Journ. Bd. 38, May 1936, S. 206/215

erwähnte Glühlampe speist.

Unter der Annahme eines Zündverzuges der Glühlampe von 10^{-4} sec. beträgt das gegenüber der Düsenadelbewegung verspätete Aufleuchten der Glühlampe bei einer Motordrehzahl von $n=900$ U/Min.

$$\frac{900}{60} \cdot 360 \cdot 10^{-4} = 0,54^\circ \text{Kurbelwinkel,}$$

ist also verhältnismäßig gering.

In ähnlicher Weise wird der im Zylinder vor sich gehende, durch die Zündung ausgelöste Druckanstiegsbeginn gemessen. Die Bewegung einer von den Zylindergasen beeinflussten Membran wird auf ein zweites Lautsprechersystem übertragen, welches ebenfalls auf die Thyatronröhre arbeiten kann.

Bei den Kraftstoffprüfungen wird nun zur Vereinfachung der Messung die Verdichtung durch Verändern des Wirbelkammerinhaltes so hoch gewählt, daß der Druckanstiegsbeginn stets im oberen Totpunkt erfolgt, der Zündverzug also immer 18° Kurbelwinkel groß ist. Dieser im Vergleich mit üblichen Schnellläufer-Dieselmotoren große Zündverzug wird von verschiedener Seite beanstandet, ist aber wohl zur Erreichung eines meßbar steileren Druckanstieges und damit zur Verwendung obigen Meßverfahrens nötig.

3. Festlegung der ersten Zündung bei Drosselung der Ansaugluft.

a) Körting-Motor (entspricht dem Verfahren von Stansfield)

Die "OLEX", Berlin, verwendet zur Dieselkraftstoffprüfung einen stationären Körting-Motor, der von einem Elektro-Motor mit

$$n = 300 \text{ U/Min.}$$

angetrieben wird. Betriebsbedingungen nach Angabe der OLEX:

Kühlwassertemperatur	45°C
Ansauglufttemperatur	40°
Einspritzdruck	100 atu
Einspritzbeginn	44° v.o.T.
Verdichtungsverhältnis	11,2:1
Verdichtungsdruck	28,5 atu

Der Motor saugt die Luft aus einem Beruhigungskessel an; durch Betätigen eines den Kessel mit der Außenluft verbindenden Drosselhahnes kann man jeden gewünschten Ansaugdruck erzeugen. Letzterer wird an einem Queckeilber-U-Rohr gemessen.

Zur Kraftstoffprüfung wird nun bei zunächst hohem Ansaugunterdruck durch kurzes Schließen eines an der Einspritzleitung befindlichen Überström-Ventiles Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt. Erfolgt dabei keine Zündung, so wird der Ansaugunterdruck etwas verringert und das Einspritzen wiederholt, bis eine am Geräusch erkennbare Zündung erfolgt.

Durch Suchen eines Ceten-Alpha-Methyl-Naphthalin-Gemisches, welches beim gleichen Unterdruck zündet, wird der zu prüfende Kraftstoff nach seiner Zündwilligkeit, ausgedrückt in Cetenzahlen, bewertet. Da der Motor für eine Drehzahl von $n=600$ U/Min. gebaut ist, so wird bei der geringen Drehzahl von $n=300$ U/Min. bei den Messungen stets die größtmögliche Menge an Kraftstoff eingespritzt.

b) HWA-Deutz-Motor.

Im Deutz-Einzyylinder-Motor des Heereswaffenamtes wird in fast gleicher Art der Kraftstoff nach seiner Zündwilligkeit geprüft.

Betriebsbedingungen:

Drehzahl	$n=1000$ U/Min.
Einspritzdruck	100 atü
Einspritzbeginn	30° v.o.T.
Einspritzmenge	0,140 ccm pro Arbeitsspiel
Kühlwassertemperatur	45° C
Ansauglufttemperatur	45° "

Der Motor, ursprünglich eine Vorkammer-Maschine, wurde für die Kraftstoffprüfungen in einen Strahleinspritzmotor mit Bosch 3-Lochdüse umgebaut. (Nach den obigen, vom Heereswaffenamt gemachten Angaben hätte der Motor einen Verbrauch von etwa 300 g/PSH; d.h. die Kraftstoffprüfungen werden bei Überlast des Motors vorgenommen).

Bei den Messungen wird der Motor elektrisch mit 1000 U/Min. angetrieben, ohne zunächst Kraftstoff einzuspritzen. Die Drosselung der Ansaugluft erfolgt mit einer im Saugrohr befindlichen Klappe. An der Bosch-Einspritzpumpe befindet sich eine von Hand betätigte Vorrichtung, die es gestattet, eine einmalige Einspritzung stattfinden zu lassen. Am Saugrohr ist ein Quecksilber-U-Rohr angeschlossen, welches einen der Drosselklappenstellung entsprechenden bestimmten Unterdruck anzeigt. Bei der Kraftstoffprüfung wird der Unterdruck festgestellt, bei dem der Kraftstoff bei einmaligem Einspritzen gerade noch zündet. In gleicher Weise, wie oben beschrieben, sucht man darauf ein Ceten-Alpha-Methyl-Naphthalin-Gemisch, welches dieselben Zündigenschaften besitzt.

B. 4. Prüfverfahren im Einzylinder-Diesel-Motor der DVL und Darstellung des Entwicklungsganges zu den einzelnen Prüfverfahren.

Der in den Jahren 1932/33 an der Technischen Hochschule Breslau im Versuchslaboratorium für motorische Eignung flüssiger Brennstoffe und Schmiermittel von Dipl.-Ing. H. Slowak entwickelte Einzylinder-Diesel-Prüfmotor mit veränderlicher Verdichtung wird von der DVL zur Prüfung der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen benutzt (s. Abb. 4). Dazu wurden zunächst verschiedene, schon bekannte Prüfverfahren mit diesem Motor erprobt und miteinander auf Zweckmäßigkeit, Bequemlichkeit und leichte Wiederholbarkeit verglichen, sowie Eichkurven zwischen Ceten-(Cetan)-Alpha-Methyl-Naphthalin-Gemischen und sog. Substandard-Bezugskraftstoffen aufgestellt.

Das in letzter Zeit mehr in den Vordergrund tretende Prüfverfahren des Zündverzuges wurde unter Verwendung des DVL-Höchstdruckmessers in eine für praktische Zwecke brauchbare Form gebracht.

a) Eichkraftstoffe:

In Anlehnung an die im Ausland verwendeten Eichkraftstoffe wurde als leicht zündender Vergleichskraftstoff Ceten ($C_{16}H_{32}$), als schlecht zündender Alpha-Methyl-Naphtha-

lin ($C_{10}H_{17}CH_3$) gewählt. Beide Stoffe sind für die häufiger vorkommenden Betriebsprüfungen im Gebrauch zu teuer und es mußten daher billigere, in stets gleicher Beschaffenheit erhältliche Bezugskraftstoffe gewählt werden. Die DVL benutzt dafür ein von der Olex geliefertes, gut zündendes persisches Gasöl "Abadan-Gasöl" und als schwer zündenden Bezugskraftstoff einen im Handel unter der Bezeichnung "S 300" bekannten Kraftstoff. Mit diesen beiden Bezugskraftstoffen kann man durch entsprechendes Mischen Dieselkraftstoffe prüfen, deren Zündwilligkeit im Bereiche von etwa 25 bis 75 Cetenzahlen liegen.

Dieselmotoren mit höherer Zündwilligkeit als Abadan-Gasöl kann man in Ermangelung geeigneter, stets in gleicher Güte erhältlicher Bezugskraftstoffe nur durch direkten Vergleich mit Ceten-Gemischen bewerten.

Als ungesättigte CH-Verbindung zeigt Ceten, wenn es längere Zeit mit Luft in Berührung kommt, die Neigung, sich in seinem Zündwert zu verändern. Es wird deshalb in Amerika neuerdings das voll abgesättigte Cetan ($C_{16}H_{34}$) als leicht zündender Eichkraftstoff verwendet. Die Entwicklung neuer Dieselmotoren führt zu immer kleineren Zündverzügen, so gibt es bereits mehrere synthetische Stoffe, die besser als Ceten sind.

Aus diesem und dem weiter oben angeführten Grunde wäre es erwünscht, auch in Deutschland das Ceten durch das alterungsbeständige und besser zündende Cetan zu ersetzen. Versuchsergebnisse, die mit den Eichkraftstoffen erhalten wurden, sind in Abb. 23 dargestellt.

b) Drehzahl und Motorbelastung:

Aus Abb. 5 erkennt man, daß bei einer Drehzahlsteigerung des Motors von 400 auf 1200 U/Min. der mit Hilfe des Höchstdruckmessers und einer später beschriebenen Vorrichtung gemessene Zündverzug von etwa 9,5 auf nur 11,5° Kurbelwinkel steigt. In Zeit umgerechnet, wird der Zündverzug mit steigender Drehzahl sogar kleiner. Bei Anwendung des

ebenfalls weiter unten beschriebenen Zünd-Aussetzer-Verfahrens erhält man bei steigender Drehzahl eine nur wenig abfallende Grenzverdichtung, bei der die Zündung aussetzt (Abb.6). Aus beiden Abbildungen ergibt sich, daß zur Aufstellung von Prüfverfahren für Dieselkraftstoffe die Anwendung einer besonders hohen Drehzahl nicht erforderlich ist. Es wurde deshalb zur Schonung des Prüfmotors, wie auch besonders aus Gründen der bequemerer Meßmöglichkeiten (geringere Nebengeräusche, schwingungsfreies Arbeiten des Einspritzsystemes) für die Dieselkraftstoffprüfungen eine Drehzahl von $n = 700$ U/Min. gewählt. Bei dieser Drehzahl arbeitet die Bosch-Einspritzvorrichtung unter den gewählten Bedingungen praktisch schwingungsfrei, sodaß man stets gleichen Einspritzbeginn erreicht.

Die Belastung des Motors wurde nur soweit getrieben, daß praktisch eine vollkommene Verbrennung vorhanden war. Der erzielte mittlere wirksame Kolbendruck beträgt dabei nur $3,25 \text{ kg/cm}^2$, wobei zu berücksichtigen ist, daß der mechanische Wirkungsgrad des Motors infolge von verschiedenen konstruktiven Maßnahmen übliche Durchschnittswerte nicht erreicht. Aber auch bei höherer Motorbelastung, $p_e = 4,45 \text{ kg/cm}^2$ weichen die Eichkurven nur unwesentlich von den bei einem Mitteldruck von nur $3,25 \text{ kg/cm}^2$ gefundenen ab (Abb.7). Schließlich ersieht man aus Abb.8 die Änderung des Zündverzuges bei verschiedenen Motorbelastungen und Verdichtungsverhältnissen.

c) Kühlwasser-, Schmieröl- und Ansauglufttemperatur:

Zur Erzielung reproduzierbarer Werte war die genaue Einhaltung der dem praktischen Betriebe entsprechend gewählten Betriebstemperaturen notwendig. Es wurden folgende Temperaturen für die Zündverzugsbestimmungen der Dieselkraftstoffe festgelegt:

Kühlwasseraustritt	$70^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$
" " eintritt etwa	65 "
Ansauglufttemperatur	$35^{\circ} \pm 1 "$
Schmieröltemperatur	$45^{\circ} \pm 5 "$

Aus den Abb. 9 und 10 erkennt man die Notwendigkeit, die Kühlwasser- und Ansauglufttemperaturen genau innezuhalten, da z.B. bei steigenden Temperaturen das Grenzverdichtungsverhältnis, bei dem gerade noch Zündungen auftreten, wesentlich absinkt. In ähnlicher Weise sinkt der Zündverzögerung mit steigenden Temperaturen.

d) Verdichtungsverhältnis:

Zur Kontrolle der Stetigkeit des Anstieges der Verdichtungsdrucke als Funktion des Verdichtungsverhältnisses wurden mit Hilfe des Höchstdruckmessers die in Abb. 11 wiedergegebenen Kurven bei Verwendung verschiedener Arbeitsverfahren aufgestellt. Bei diesen Messungen wurde der Motor von einer Pendeldynamo angetrieben.

Wie sehr die Verbrennungsdrucke mit steigendem Verdichtungsgrad zunehmen, erkennt man aus Abb. 12, die beim Steigern des Verdichtungsgrades von z.B. $\epsilon = 14$ auf $\epsilon = 16$ ein Ansteigen des Höchstdruckes von 42,8 atü auf 47,8 atü erkennen läßt.

Die Verwendung eines besonders gut zündenden Kraftstoffes, welcher z.B. bei einem Verdichtungsverhältnis von $\epsilon = 12$ anstelle $\epsilon = 14$ verwendbar wäre, würde eine Senkung des Höchstdruckes um 14,3% ergeben. Die sehr geringe Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauches vom Verdichtungsver-

hältnis ist wohl aus der verhältnismäßig kleinen Belastung von $p_e = 3,25 \text{ kg/cm}^2$ und der Motorkonstruktion zu erklären.

Abb.13 zeigt das geringe Absinken der Auspuffgastemperatur und das Ansteigen der mittleren Zylindortemperatur mit steigender Verdichtung. Die Temperaturen wurden mit den von der DVL entwickelten Thermoelomenten gemessen.

e) Einspritzzeitpunkt:

In welchem Maße der Zündverzug durch verschiedenen Einspritzbeginn beeinflusst wird, ist in Abb.14 dargestellt. Gleichzeitig wurde auch der Einfluß der Verdichtungsänderung bei verschiedenem Einspritzbeginn ermittelt.

5. Beschreibung der einzelnen Verfahren mit Betriebsbedingungen.

a) Zündverzugsverfahren (entspricht dem Vorschlag von Boerlage und Broeze):

Zur Feststellung des Einspritzbeginnes wurde von der Fa. Bosch eine Kontaktvorrichtung herausgebracht (Abb.15), die auf den Düsenhalter aufgeklemt wird und beim Öffnen der Düse eine Stromunterbrechung hervorruft. Der Kontakt soll so eingestellt werden, daß bei geschlossener Düse zwischen der Kontaktfeder und dem Düsenadelfühlstift ein geringes Spiel von etwa $5/100 \text{ mm}$ vorhanden ist, um an den Kontakten sicheren Stromfluß herzustellen. Im Stromkreis dieser Kontakte liegt die primäre Wicklung einer Zündspule. Beim Öffnen der Düsenadel erzeugt der in der Sekundärwicklung der Zündspule entstehende Strom einen Funken, der zur Beleuchtung

einer mit der Motorhubelwelle unlaufenden Gradscheibe dient. Auf diese Weise soll man die Kurbelwellenstellung beim Einspritzbeginn feststellen können.

Leider arbeitet diese Vorrichtung aus verschiedenen Gründen ungenau. Die Düsenadel hebt sich beim Einspritzen nur wenige zehntel Millimeter und daher tritt in der Anzeige eine erhebliche Verzögerung ein. Diese ist begründet:

- 1) im Spiel zwischen Kontaktfeder und Düsenadelfühlstift;
- 2) in der elastischen Nachgiebigkeit der Kontaktfeder;
- 3) in der unvermeidlichen Funkenbildung an den Kontakten infolge des starken Primärstromes;
- 4) in der Selbstinduktion der Zündspule.

Es wurde deshalb dieses Anzeigeverfahren verlassen und der in Abb.16 gezeigte Einspritzkontakt entwickelt. Letzterer stellt erst beim Öffnen der Düsenadel Stromschluß her. Zur Anzeige wird eine kleine, am Schwungrad des Motors befestigte Glimmlampe mit einem Stromverbrauch von nur 3 mA benutzt. Die Funkenbildung an den Kontakten ist sehr gering, sodaß es gelingt, den Abstand zwischen dem gefederten Kontaktstift und dem als Gegenkontakt benutzten verlängerten Druckstift (Fühlstift) des Düsenhalters bis auf etwa $2/100\text{mm}$ zu verringern. Immerhin erfordert die Einstellung dieses Kontaktes einige Aufmerksamkeit und es wurde deshalb untersucht, ob das von Schweitzer und Hetzel angegebene Verfahren unter Zuhilfenahme eines Lautsprechersystemes und einer gittergesteuerten Thyatron-Röhre bessere Ergebnisse liefert und für den praktischen Betrieb einfach genug ist.

Bei Verwendung des Lautsprecher-Magnet-Systemes als Geber zur Steuerung des Gitters der Thyatron-Röhre, welche ihrerseits die Glimmlampe am Motor-Schwungrad speist, zeigte es sich, daß der Einspritzbeginn auch bei genauester Einstellung der Gittervorspannung der Thyatron-Röhre stets 2 bis 3° Kurbelwinkel später angezeigt wurde als mit der mechanischen Kontaktvorrichtung nach Abb.16. Der Grund hierfür liegt darin, daß zur Erzeugung einer ausreichenden Steuerspannung der Anker des Magnetsystemes eine gewisse Geschwindigkeit besitzen muß, die ihm durch die Düsenadel erst nach einer be-

stimmten Öffnungszeit erteilt wird.

Eine wirklich genaue Bestimmung des Öffnungsbeginnes der Einspritzpumpe dürfte nur unter Verwendung optischer Mittel möglich sein. - Es soll noch erwähnt werden, daß der Einspritzkontakt nach Abb.16 auch zur Bestimmung der Einspritzdauer benutzt werden kann.

Die verwendete Glühlampe (Osram Signal-Glühlampe) sitzt in einem Gehäuse, dessen Deckel mit einem schmalen Schlitz versehen ist, um genaue Ablesungen an der vor der Lampe befestigten Gradteilung zu ermöglichen. Der Stromkreislauf ist folgender:

Trocken-Batterie (120 bis 150 V)

Umschalter

Einspritzkontakt oder Höchstdruckmesser

Motorrasse

Glühlampe

Schleifring am Schwungrad

Trockenbatterie (s.a. Abb.17)

Vergleichsmessungen zwischen der von Bosch gelieferten Einrichtung und der eben beschriebenen ergaben eine verspätete Anzeige der Boschvorrichtung von etwa 9° Kurbelwinkel bei einer Drehzahl von 600 U/Min. Der Beginn des Druckanstieges im Zylinder wird mit Hilfe des Höchstdruckmessers festgestellt. Zunächst wird bei laufendem Motor und kurzzeitig abgeschalteter Einspritzung der im Zylinder erreichte Verdichtungsdruck gemessen. Darauf stellt man den Gegendruck am Höchstdruckmesser um mindestens 1 atü höher ein, sodaß die Glühlampe nicht mehr aufleuchtet. Dann wird nach Wiedereinschalten der Einspritzung die Glühlampe aufleuchten, wenn der Zylinderdruck den eingestellten Gegendruck überschreitet. An der Gradteilung wird die dazugehörige Kurbelwellenstellung festgestellt.

Es muß zugegeben werden, daß man auf diese Weise stets einen zu großen Zündverzug feststellt. Die Gründe hierfür sind:

1) Der den Verdichtungsdruck überschreitende Gegenruck. Je nach der Steilheit des Druckanstieges wird der Höchst- druckmesser entsprechend später Kontakt geben.

2) Trägheit des Höchstdruckmessers selbst.

Der Fehler, den man auf diese Weise begeht, ist aber nicht so groß wie man vermuten möchte. Er kann selbst bei einem sehr gut zündenden Kraftstoff mit flachem Druckanstieg in- bezug auf die Zündfähigkeitsbewertung des Kraftstoffes kaum einen Einfluß haben, da nach dem üblichen Verfahren (Ver- gleichsmessungen) der zu prüfende Kraftstoff mit zwei im Zündverhalten sehr ähnlichen verglichen wird, also bei al- len 3 Kraftstoffen mit annähernd dem gleichen Fehler gemes- sen wird.

Es hat sich auch, wie Abb. 18 zeigt, herausgestellt, daß man, um größere Meßgenauigkeit zu erzielen, gut zündende Dieselkraftstoffe zweckmäßig bei niedrigen Verdichtungsver- hältnissen prüft, wo die Zündverzögerungen größer sind. Mit steigen- dem Zündverzögerung ist aber stets auch ein steilerer Druckan- stieg verbunden und der unter 1) (Blatt 22) erwähnte Fehler bleibt klein.

Meßgenauigkeit bei Verwendung eines festen Verdichtungs- verhältnisses:

Während nach Abb. 18 in der Gegnd von 30 Cetan- zahlen die Änderung des Zündverzögerung 3,3 K₁ auf 10 Cetan- einheiten beträgt, ist diese Änderung des Zündverzögerung bei gut zündenden Kraftstoffen von etwa 60 Cetanzahlen nur noch 0,8°K₁/10 Cetaneinheiten groß.

Unter der Berücksichtigung der Tatsache, daß bei der Feststellung des Zündverzögerung Meßfehler bis 0,5°K₁ un- terlaufen können, würden bei Kraftstoffen mit Cetanzahlen von etwa 60 ohne mehrfache Messungen Meßfehler bis etwa 6 Cetanzahlen entstehen, während bei schlechteren Kraft- stoffen mit Cetanzahlen um 40 dieser Meßfehler nur ± 2 Cetaneinheiten beträgt.

Erniedrigt man dagegen bei der Prüfung gut zün- dender Kraftstoffe das Verdichtungsverhältnis entsprechend.

+) bei einer Verdichtung von $\epsilon = 14$

so kann man es stets erreichen, daß man sich in einem Bereich steileren Zündvorzugsanstieges mit größerer Leßge- nauigkeit bewegt. Abb. 19 zeigt, daß auch bei dem im Zylinderinhalt wesentlich kleineren CFR-Wirbelkammer-Motor der Zünd- verzug in Abhängigkeit von der Cetanzahl, abgesehen von der absoluten Größe, ähnlich verläuft.

Der Einwand, daß man mit der Änderung des Verdich- tungsverhältnisses die Zerstäubungs- und Verbrennungsver- hältnisse im Motor grundlegend verändert, hat für die Meßergebnisse keine Bedeutung, da der zu prüfende Kraft- stoff stets mit im Zündverhalten ähnlichen Bezugskraftstoffen unter gleichen Bedingungen verglichen wird. Eichkurven für "Zündverzug" bei Verdichtungsveränderung sind für Ceten- wie Cetanzahlen in Abb. 20 und 21 dargestellt.

b) Aussetzer-Verfahren:

Neben der Zündverzugsmessung wurde das wohl zuerst von Stansfield angegebene Aussetzer-Verfahren im Diesel- Motor der DVL erprobt.

An dem mit bestimmter Belastung ($p_e = 3,25 \text{ kg/cm}^2$) laufenden Motor wird die Verdichtung durch Hochschrauben des Zylinders soweit erniedrigt bis die Zündungen auszu- setzen beginnen. Das dabei eingestellte Verdichtungsverhält- nis wird als Vergleichsmaßstab benutzt. Nach der Ablesung wird die Verdichtung sofort jedesmal um ein bestimmtes Maß erhöht bis der Motor wieder einwandfrei arbeitet; erst dann kann die nächste Messung erfolgen. Um Meßfehler zu verhüten, wird diese Prüfung mehrmals in bestimmten Zeitabständen wie- derholt.

Durch Aufstellen von Eichkurven hat sich gezeigt, daß bei methodische Arbeiten dieses Verfahren recht gut reproduzierbare Meßergebnisse liefert, obwohl man z.B. in Amerika mit dem CFR-Motor mit vertieften Dieselkolben keine guten Erfahrungen damit gemacht haben soll.

Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber den Zünd- verzugsmessungen liegt in seiner größeren Einfachheit. Man sollte vermuten, daß man nach dem Aussetzer-Verfahren beim

Aufstellen einer Eichkurve (s. Abb. 22) zwischen Coten-Gemischen und den Bezugskraftstoffen dieselben Werte wie beim Verfahren der ersten Zündung erhält. Doch ist dies nicht der Fall; die Aussetzer-Eichkurve gibt stets etwas niedrigere Coten-Werte an.

Es soll erwähnt werden, daß es auch versucht wurde, das Aussetzer-Verfahren bei festem Verdichtungsverhältnis durch Drosselung der Ansaugluft durchzuführen. Es zeigt sich aber, daß dann die Zündungen unter starker Rauchbildung infolge Sauerstoffmangels bei starkem Leistungsabfall des Motors allmählich schwächer werden und es schwierig ist, den genauen Punkt des Aussetzens festzustellen. Vor allem steigt bei zunehmender Drosselung die Ansauglufttemperatur durch Wärmeaufnahme aus dem Saugrohr in schlecht kontrollierbarer Weise an.

c) Verfahren der ersten Zündung:
α) Drosselung

Auch bei dem Verfahren der ersten Zündung mit Drosselung der Ansaugluft tritt bei den gut zündenden Dieselkraftstoffen eine erhebliche Veränderung des Kraftstoff-Luftverhältnisses ein, welches sicherlich auf das Zündverhalten einen Einfluß ausübt.

In Abb. 24 sind die im Diesel-Versuchsmotor mit einem im Zylinderkopf eingebauten, trägen Thermoclement gemessenen mittleren Verdichtungs Temperaturen in Abhängigkeit vom erreichten Verdichtungsdruck gezeigt und man erkennt, daß trotz stets gleich hoher Ansaugtemperaturen (auch bei Verwendung eines Unterdruckkessels vor dem Saugrohr) die mittleren Zylindertemperaturen höher als bei Verdichtungsänderung liegen. Diese Verhältnisse ließen den Versuch einer Errechnung der im Zylinder auftretenden Verdichtungshöchstemperaturen berechtigt erscheinen. Eichkurven für "Erste Zündung" bei Drosselung der Ansaugluft sind in Abb. 23 aufgezeichnet.

+) bei Drosselung

3) Verdichtungsveränderung

Unter Berücksichtigung der mit einem Drehkolbenmotor festgestellten wirklichen Ansaugluftmenge, der Größe des Verdichtungsraumes und des mit dem Höchstdruckmesser gemessenen Verdichtungsenddruckes wurden die dazu gehörigen Temperaturen für beide Verfahren (Änderung des Verdichtungsverhältnisses und Drosselung) errechnet und in Abb. 24 eingetragen. Während die durch Verdichtungsänderung errechnete Temperaturkurve den erwarteten mit den Verdichtungsenddrücken ansteigenden Verlauf zeigt, ergibt die für die Drosselung errechnete Temperaturkurve bei fallenden Verdichtungsenddrücken, also stärkerer Drosselung, wider Erwarten ansteigende Temperaturen. Es sei erwähnt, daß gerade bei letzterer Temperaturerrechnung infolge gewisser nötiger Annahmen größere Fehlergrenzen zugestanden werden müssen.

Prüft man dann aber nach diesen beiden Verfahren Kraftstoffgemische im Motor auf ihren Zündverzug, so zeigt sich nach Abb. 25, daß z.B. ein Gemisch aus 60% Ceten und 40% Alpha-Methyl-Naphthalin bei Prüfung mit Verdichtungsänderung bei einem Druck von 21,5 atü zündet, während dasselbe Gemisch bei Drosselung bei 15,3 atü bzw. 17,5 atü zündet.

Wenn nun derselbe Kraftstoff bei Drosselung bei niedrigerem Druck zündet als bei Verdichtungsänderung, so muß sicherlich die Verdichtungstemperatur bei Drosselung wesentlich höher als bei Verdichtungsänderung sein, um die zur Zündung nötige Aufheizung des Kraftstoffes trotz geringerer Luftdichte zu ermöglichen. - Auch bei Erniedrigung der Kühlwassertemperatur auf 45°C liegen die Prüfdrucke für Dieselkraftstoffe höheren Zündverzuges wesentlich tiefer als bei Prüfung mit Verdichtungsänderung. Die Prüfung mit Ansaugluftdrosselung entfernt sich daher noch weiter vom praktischen Betriebszustande als die durch Verdichtungsänderung, und es ist zu befürchten, daß bei Kraftstoffen mit ungewöhnlichen Eigenschaften leicht Fehler unterlaufen.

Eichkurven für "die erste Zündung" bei Verdichtungsveränderung s.a. Abb. 3.

C. Einfluss von Zündbeschleunigern.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit von Zündbeschleunigern bei Erdöl-Dieselmotoren wurden verschiedene Abadan-S 300-Gemische mit Äthylnitrat-Zusätzen auf ihre Zündwilligkeit untersucht. Die Zusätze betragen jeweils 1, 2, 4 und 6 Vol.-%. Das Ergebnis dieser Prüfungen ist in Abb.26 wiedergegeben.

Es bewirkt bei einem Abadan S 300-Gemisch mit der Cetenzahl 51 (Abadanzahl 60) ein Zusatz von

1	Vol.-% Äthylnitrat	eine Cetenzahlerhöhung	v. 16 Ceteneinheiten
2	"	"	"
4	"	"	"
6	"	"	"

" 21,5 "

" 31 "

" 37 "

Diese Prüfungen wurden nach dem DVL-Aussetzer-Verfahren durchgeführt.

IV. Folgerungen aus diesen Versuchen.

1. Die chemisch physikalischen Beurteilungsverfahren, wie der Diesel-Index und die Flammenlänge ergeben keinen einwandfreien Vergleich mit den motorisch gefundenen Werten. Die Parachorbestimmung bewertet die geprüften Gemische besonders in dem höheren Cetenzahlbereich zu gut. Jedoch besteht zwischen der Parachorbestimmung und der im Diesel-Motor gefundenen Bewertung eine gewisse Parallelität.
2. Die Bestimmung im CFR-Vergaser-Motor nach Dumanois bei $n = 900$ oder 600 U/Min. ergibt die niedrigsten Cetenzahlen. Auch die im CFR-Diesel-Motor (alte Bauart) erfolgte Beurteilung nach der ersten Zündung gibt kein einwandfreies Bild.

Die im DVL-Motor nach den 3 Verfahren (Zündverzug, Aussetzer, 1. Zündung) ermittelten Werte stimmen trotz der Verschiedenheit der Verfahren sehr gut überein. Sehr Ähn-

liche Ergebnisse werden im Hürting-Motor der Olex (Berlin) gefunden.

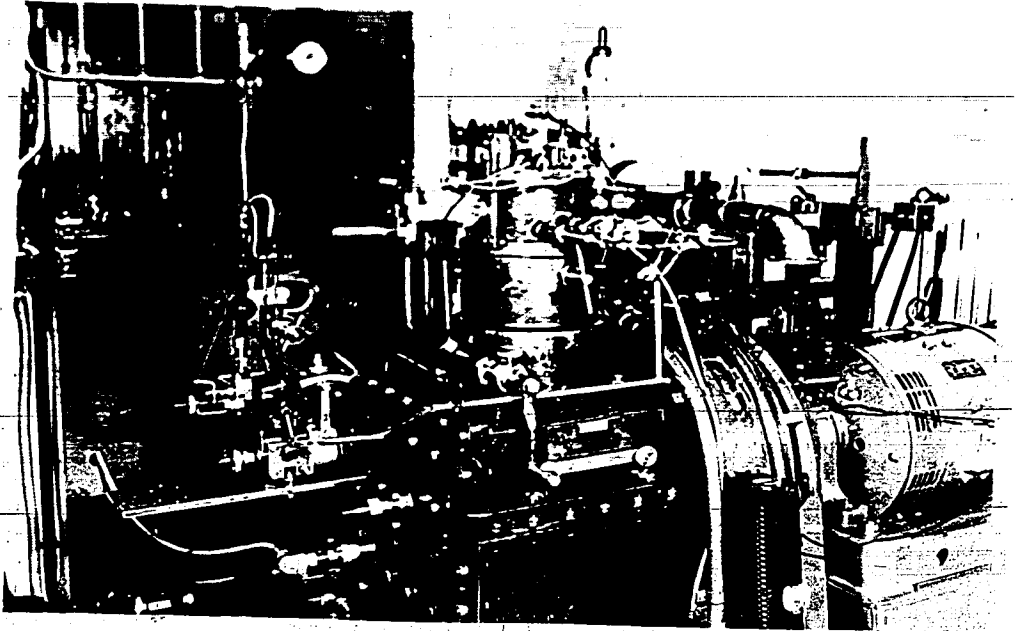
Die Bewertung von Dieselmotoren mit Cetan-Gemischen vergrößert den Prüfbereich von Dieselmotoren.

Durch die Verwendung von Zündbeschleunigern ist eine Verbesserung der motorischen Eigenschaften von Dieselmotoren möglich.

Nach den Ergebnissen dieser motorischen Untersuchungen wird empfohlen, Dieselmotoren für den Flugbetrieb im DVL-Einzylinder-Dieselmotor entweder nach dem Zündverzugs- oder dem Aussetzer-Verfahren zu prüfen.

Bei der Prüfung von Dieselmotoren für den Höhenflug ist es allerdings möglich, daß das Drosselverfahren infolge der Abnahme der Luftdichte mit der Höhe die Höhenflugverhältnisse besser berücksichtigt.

000500



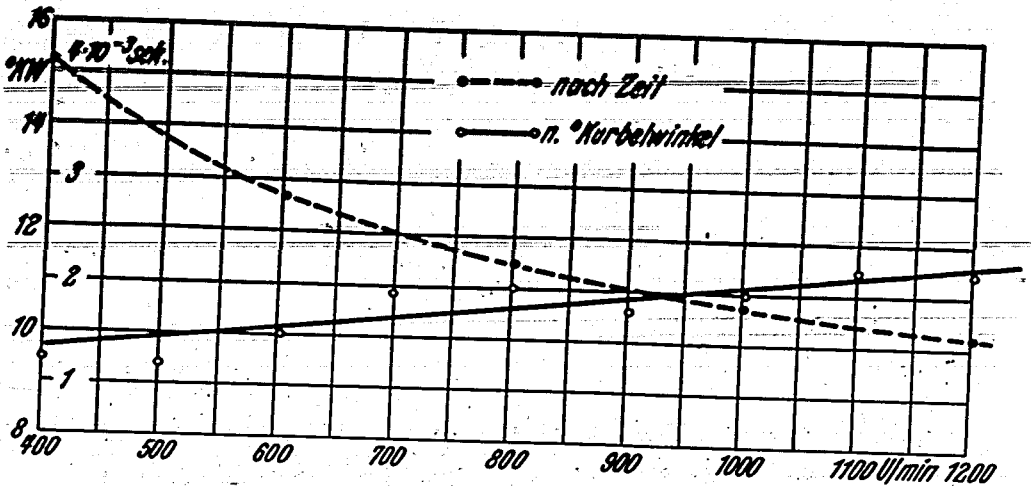


Abb.5 Zündverzögerung in Abhängigkeit von der Drehzahl

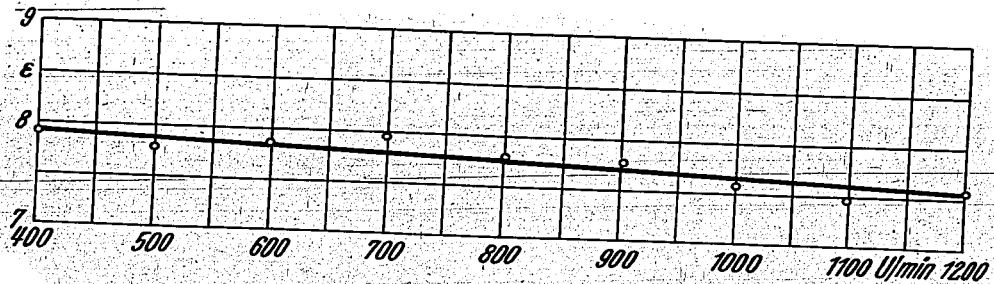


Abb.6 Grenzverdichtung in Abhängigkeit von der Drehzahl mit Zylinderkopf II und Abadan-Gasöl gemessen.

Kühlwasseraustritt 70°C Einspritzbeginn 17° v. Tpkt.
Ansaugluft 35°C Einspritzdruck 130 atü
p_{me} = 3,25 kg/cm²

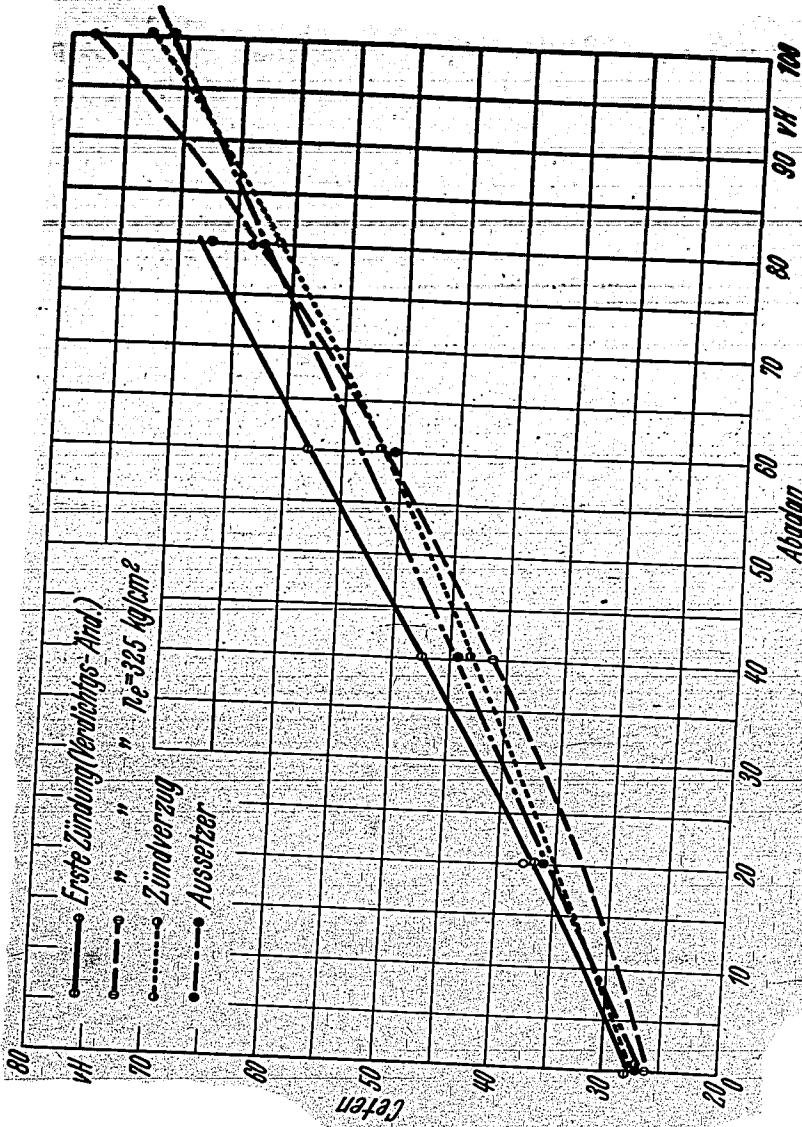


Abb. 7 Eichkurven bei höherer Motorbelastung, $p_m = 4,45 \text{ kg/cm}^2$
Prüfmotor: Einzylinder-Diesel der DVL
Zyl.Kopf 1. 3-Lochdüse DL 170,
EB=180; $t_K = 70^\circ$; $t_1 = 350$; $n = 700/\text{min}$

000502

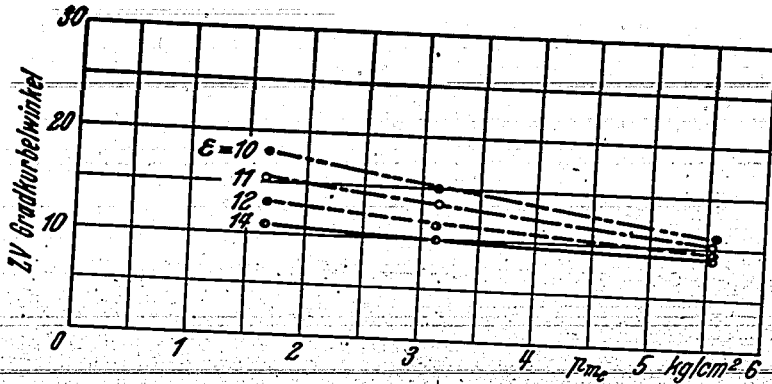


Abb.8 Änderungen des Zündverzuges bei verschiedenen Motorbelastungen und Verdichtungen.

Prüfmotor: Einzylinder-Diesel der DVL
-Z.K.I DL 170, 170atü; $n = 700$ Upm;
 $t_k = 70^\circ$; $t_l = 35^\circ$.

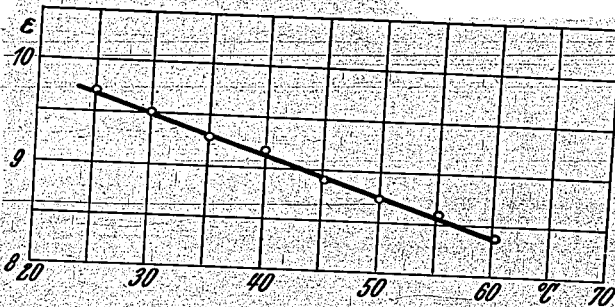


Abb.9 Grenzverdichtung in Abhängigkeit von der Ansauglufttemperatur. Drehzahl $n = 700$ U/min
Kühlwasser 70° ; "Erste Zündung" Abadan Gasöl. ZK II.
Einspritzmenge entspricht $p_{me} = 3,25$ kg/cm²

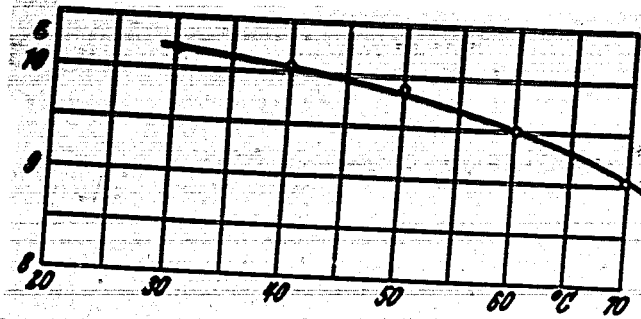


Abb. 10 Grenzverdichtung in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur. Drehzahl $n = 700$ U/min. Ansaugluft 35° "Erste Zündung" Abadan Gasöl Z.K. II. Einspritzmenge entspricht $P_{m_0} = 3,25$ kg/cm²

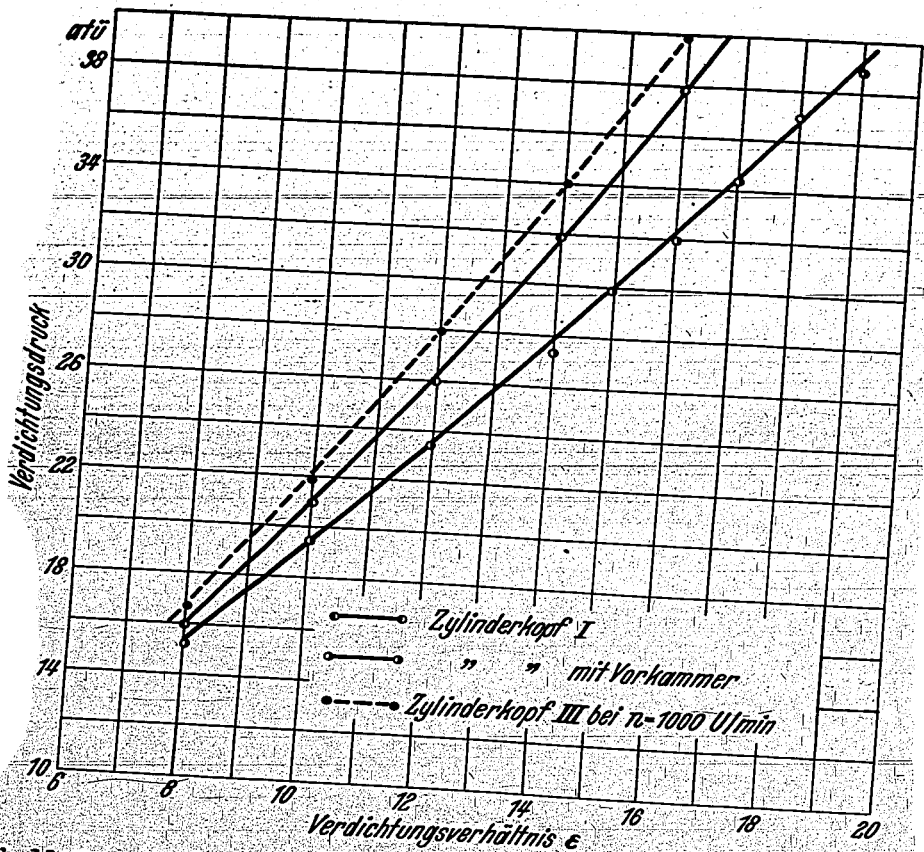


Abb. 11 Verdichtungsdrücke abhängig vom Verdichtungsverhältnis
 Prüfmotor: Einzylinder-Diesel der DVL
 Fremdantrieb $n = 700$ U/min; $t_w = 70^\circ$; $t_1 = 35^\circ$

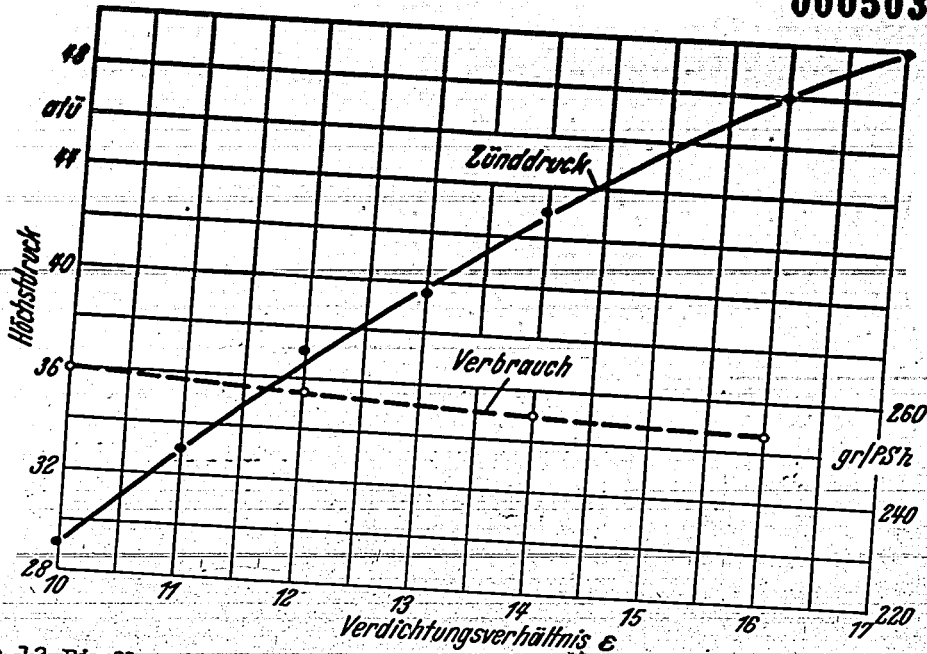


Abb. 12 Einfluss des Verdichtungsverhältnisses auf die Zünddrücke und den Verbrauch

Zylinderkopf II; $n = 700$ U/min; $p_{me} = 3,25$ kg/cm²
Derop Gasöl $t_k = 70^\circ$; $t_l = 35^\circ$

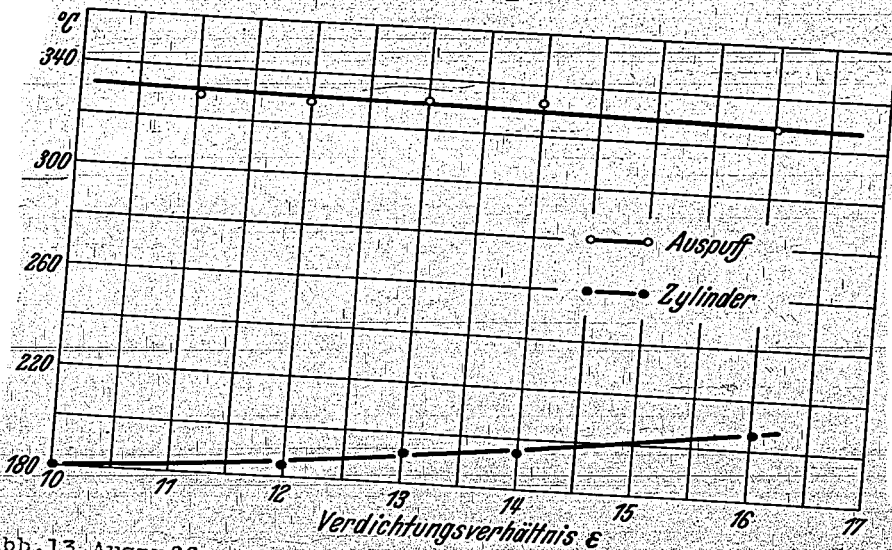
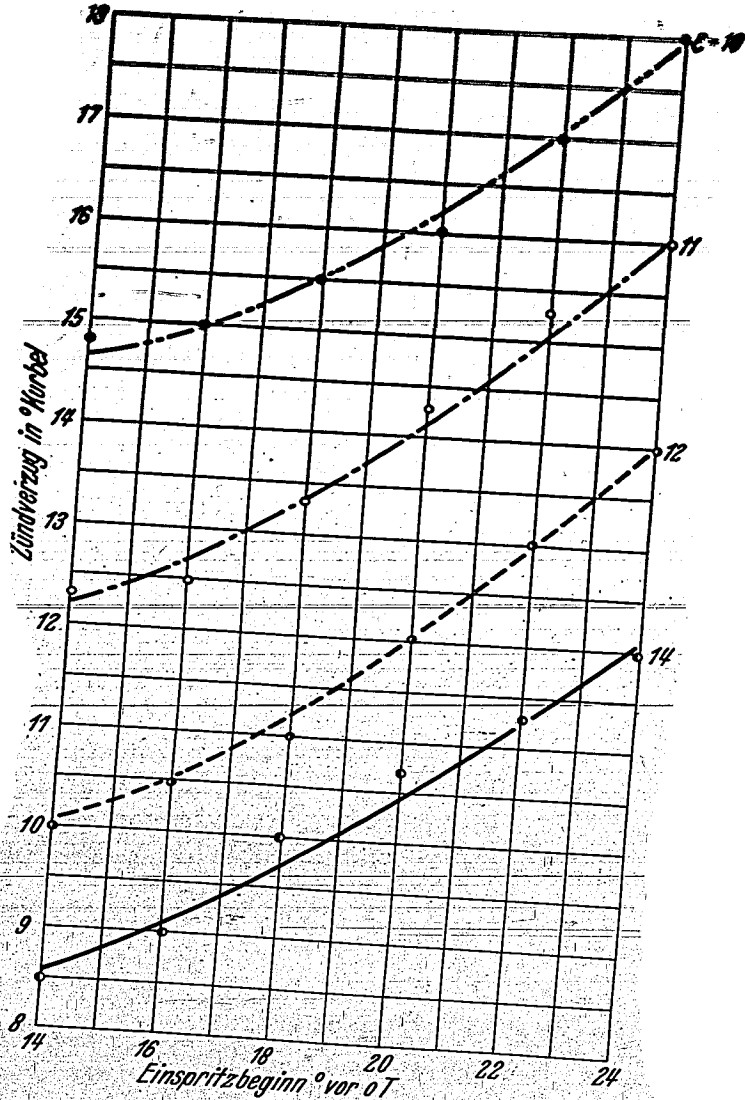


Abb. 13 Auspuff- und mittlere Zylindertemperaturen in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis.



Abbl4 Beeinflussung des Zündverzuges durch Veränderung des Einspritzzeitpunktes bei verschiedenen Verdichtungen.
Z.K.I. DL 170; $p_{me} = 5,25 \text{ kg/cm}^2$; $n = 700 \text{ U/min}$;
 $t_k = 70^\circ$; $t_l = 350$, Kraftstoff: Abadan

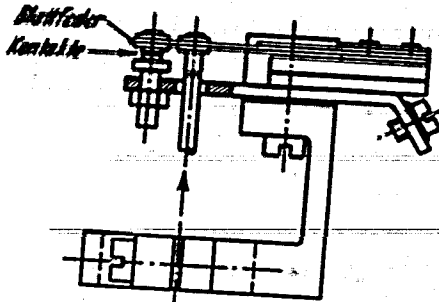


Abb.15 Bosch Kontakt

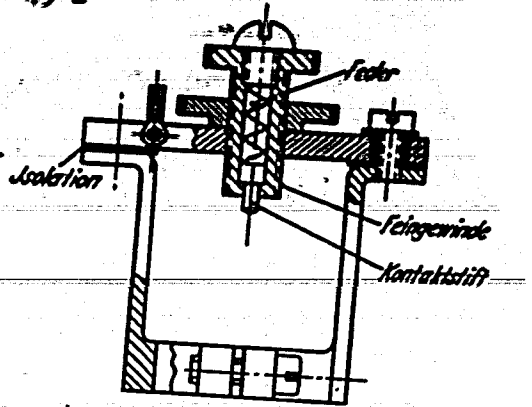


Abb.16 Einspritz-Kontakt

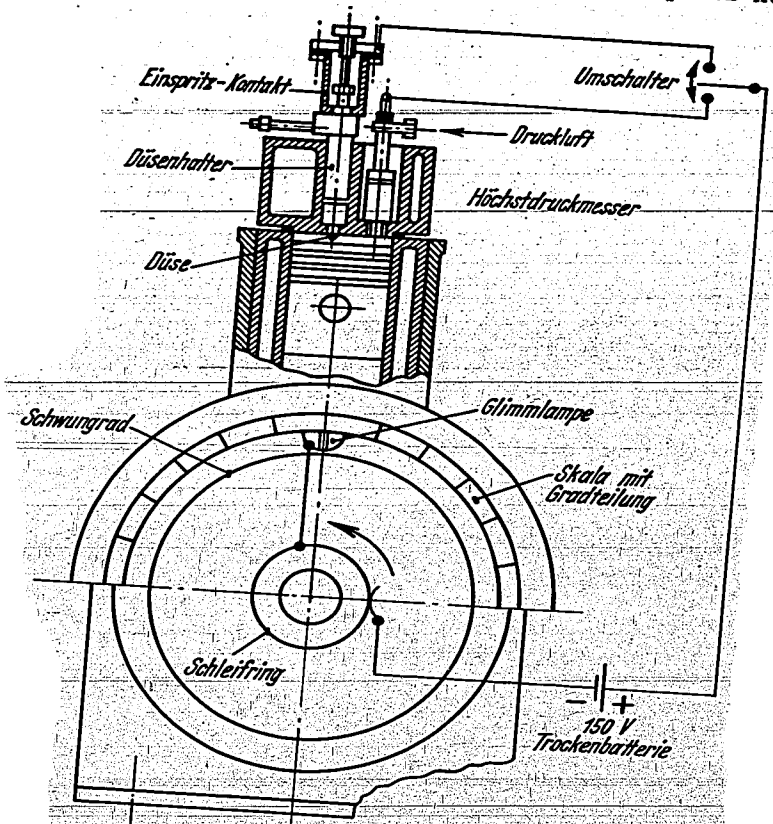


Abb.17 Schaltplan zur Zündverzugs-Messung

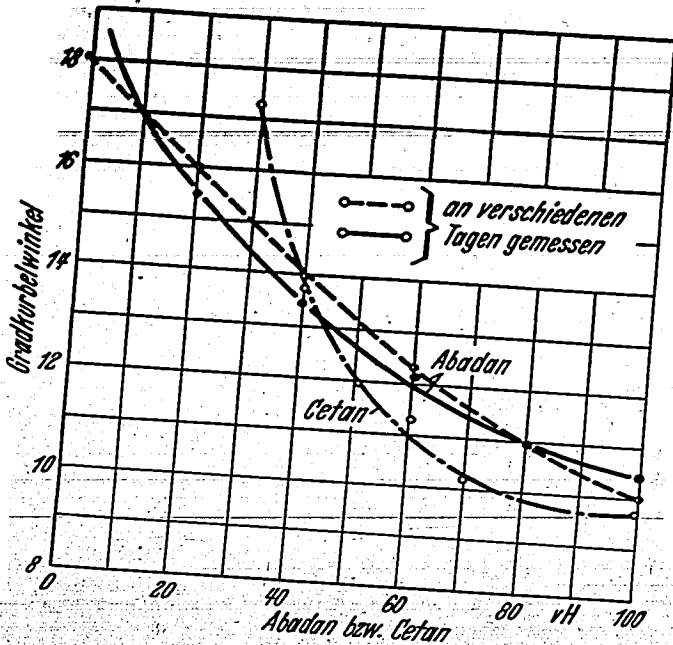


Abb.18 Zündverzug in Abhängigkeit v. d. Abadan (Cetan)-Zahl
Zylinderkopf I 3-lochdüse
 $t_k = 70^\circ$; $t_l = 35^\circ$; $\epsilon = 14$; $EB = 18^\circ$.

000505

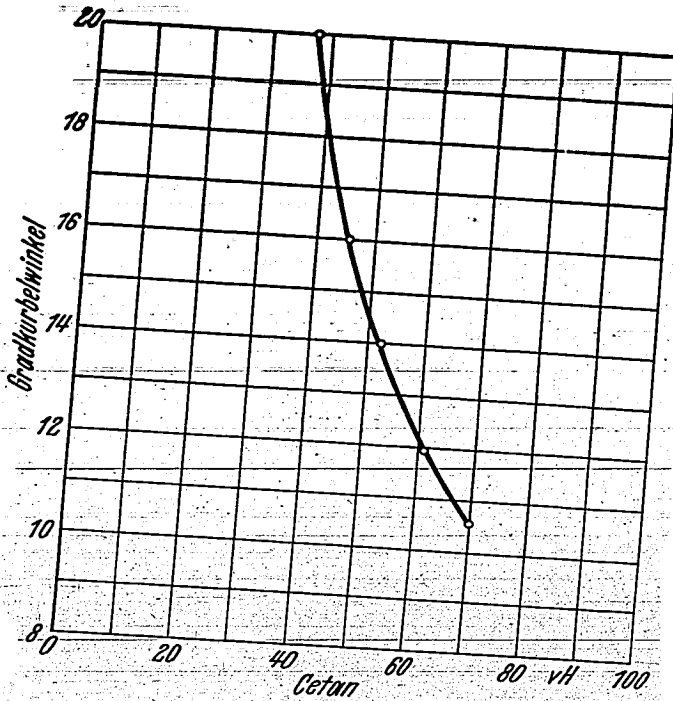


Abb.19 Zündverzug in Abhängigkeit von der Cetan-Zahl
C.F.R. Wirbelkammer-Motor. $\xi = 15$ EB = 14°
 $n = 900$ Upm aus S.A.E. Journal Mai 36 S.209, Fig.6
"Cetane Rating of Diesel Fuels" v.Schweitzer u.Hetzel.

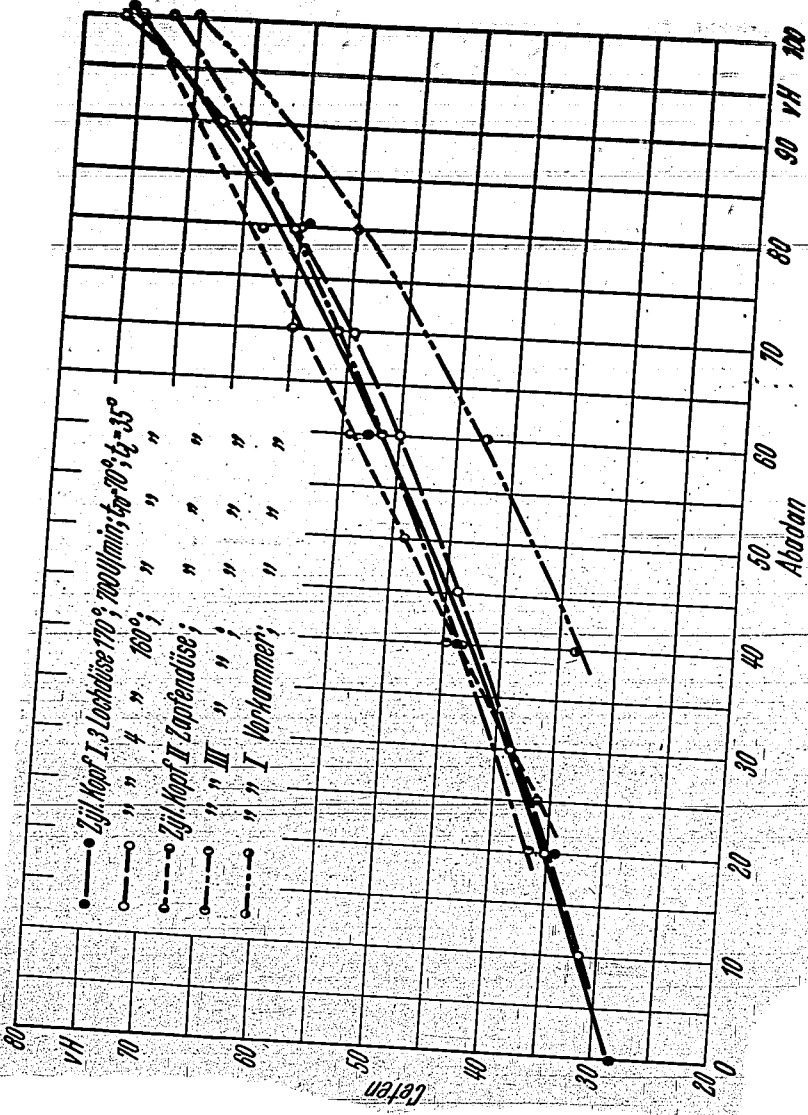


Abb. 20 Eichkurven für "Zündverzögerung"-Verfahren bei Verdichtungsänderung (Gefenwerte)

000506

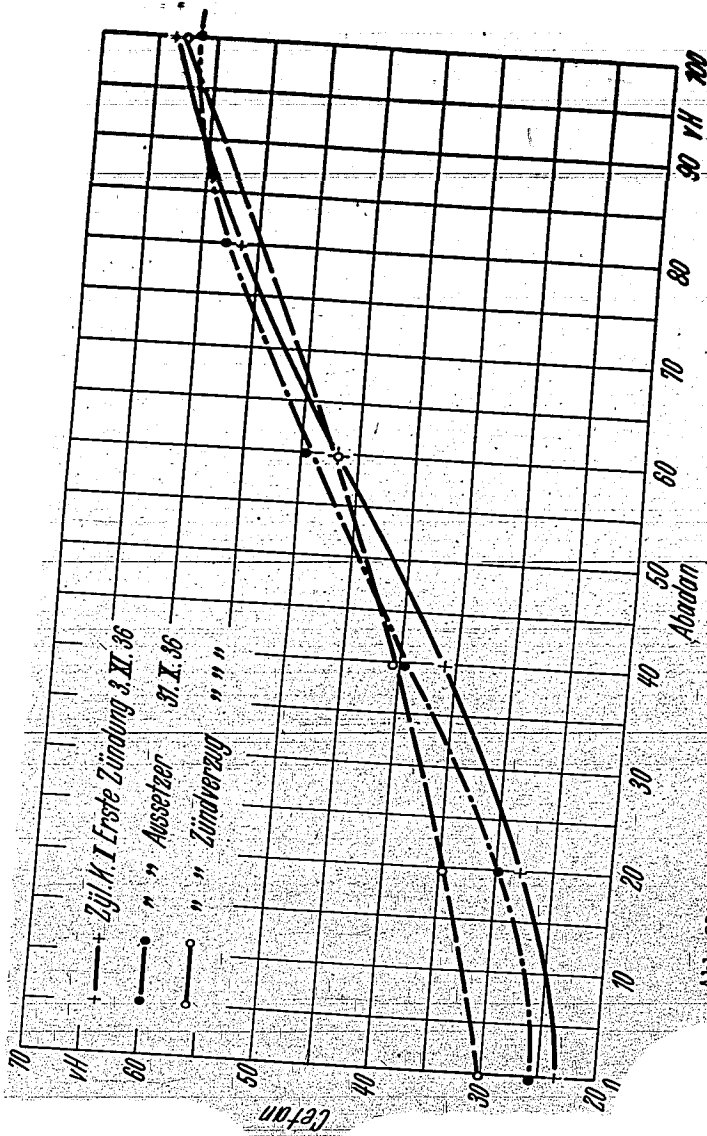


Abb. 21 Eichkurven für "Zündverzög"-Verfahren bei Verdichtungsänderung (Cetanwerte)

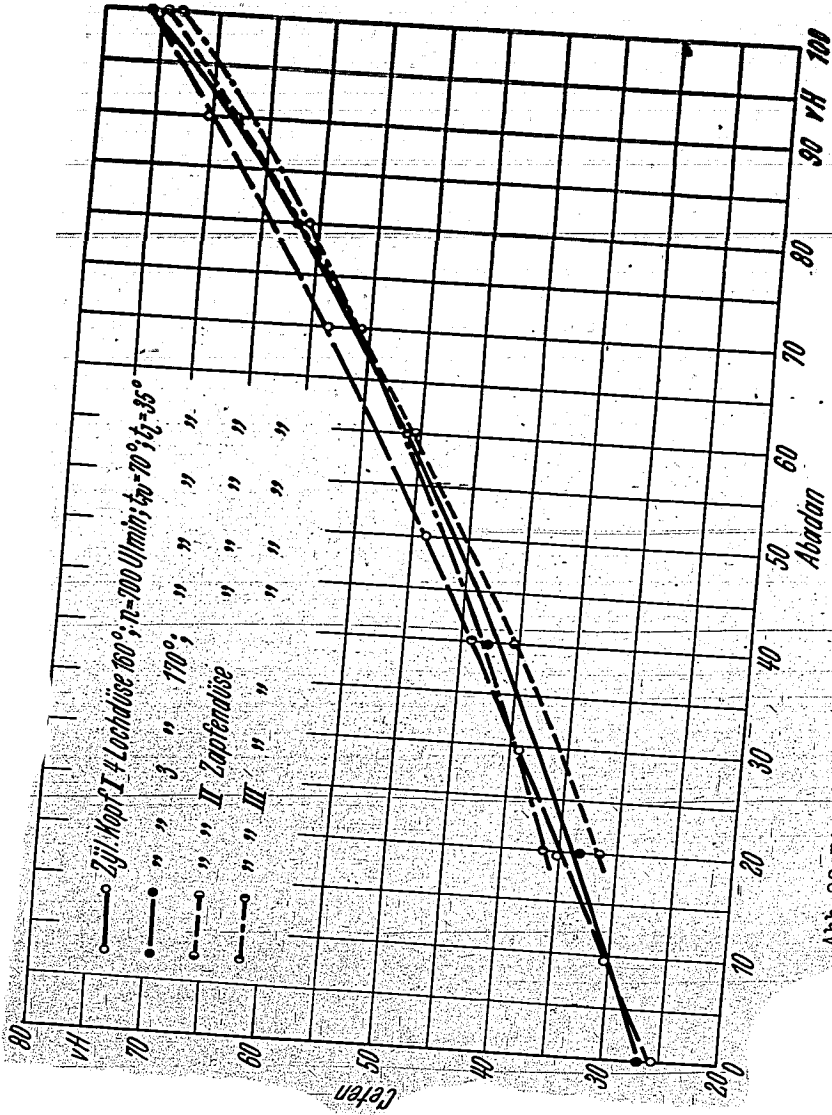


Abb. 22 Eichkurven für Aussetzer-Verfahren bei Verdichtungsänderung (Setenwerte)

000507

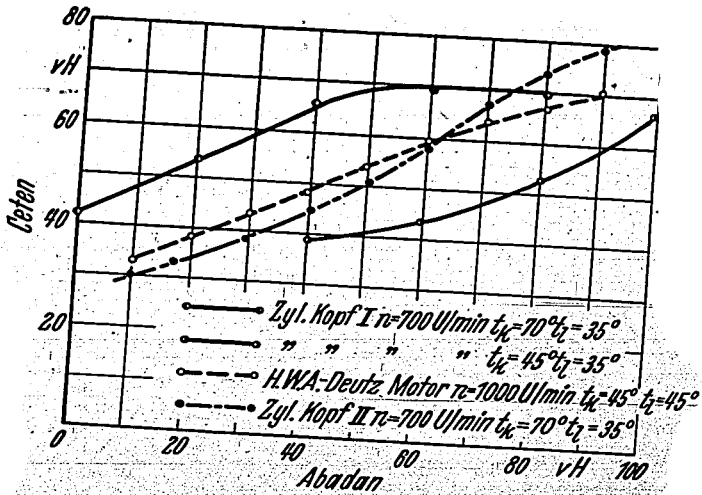


Abb. 23 Eichkurven für Verfahren "Erster Zündung" bei Ansaugluft Drosselung

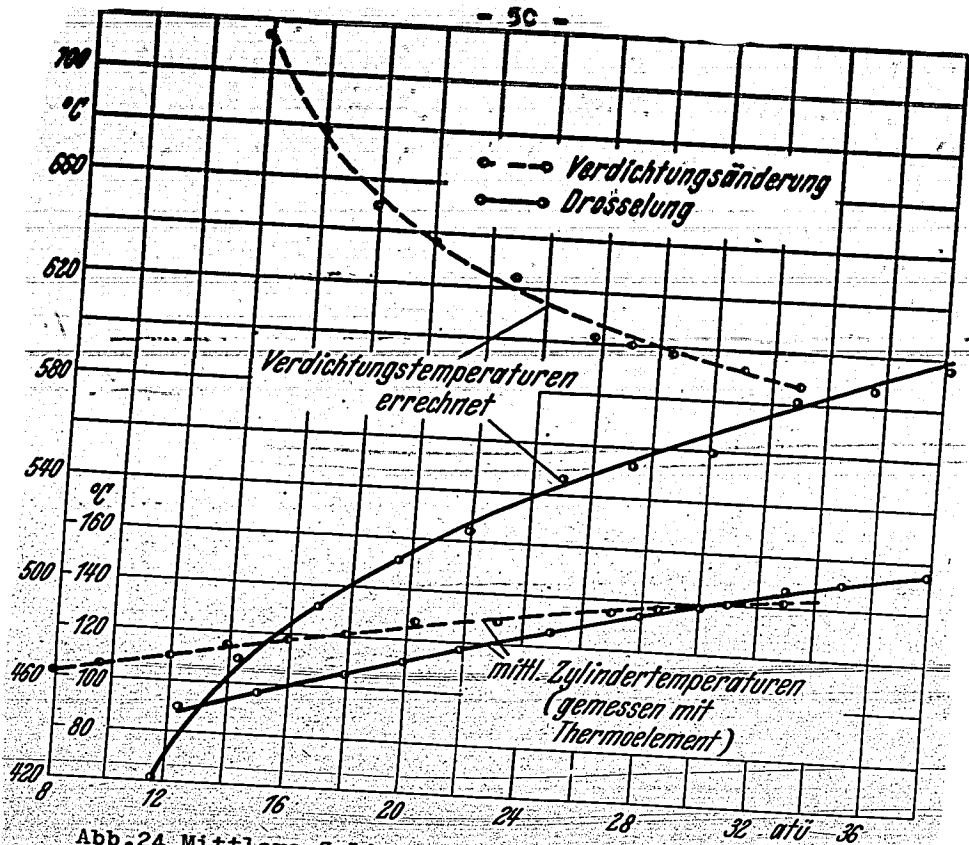


Abb. 24 Mittlere Zylindertemperaturen und errechnete Verdichtungstemperaturen bei Fremdantrieb
 $n=700$ U/min, Zyl.Kopf I; $t_w=70^\circ$; $t_l=35^\circ$.

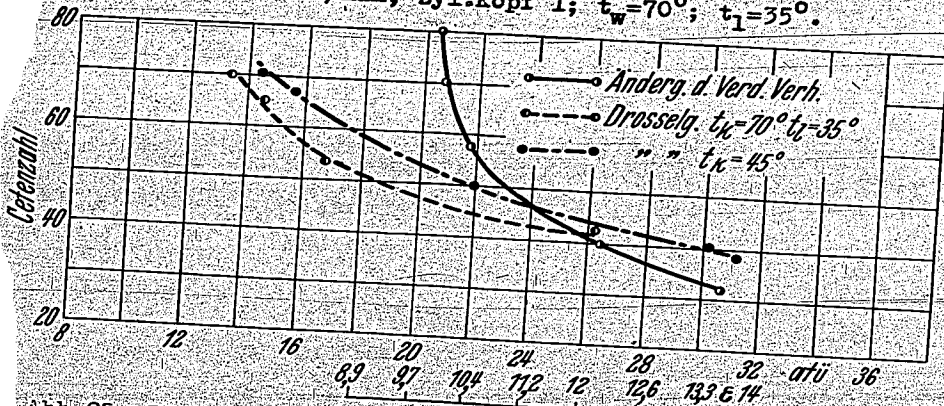


Abb. 25 Zündung von Kraftstoffen verschiedener Cetanzahlen bei Drosselung und Änderung des Verdichtungsverhältnis.

000508

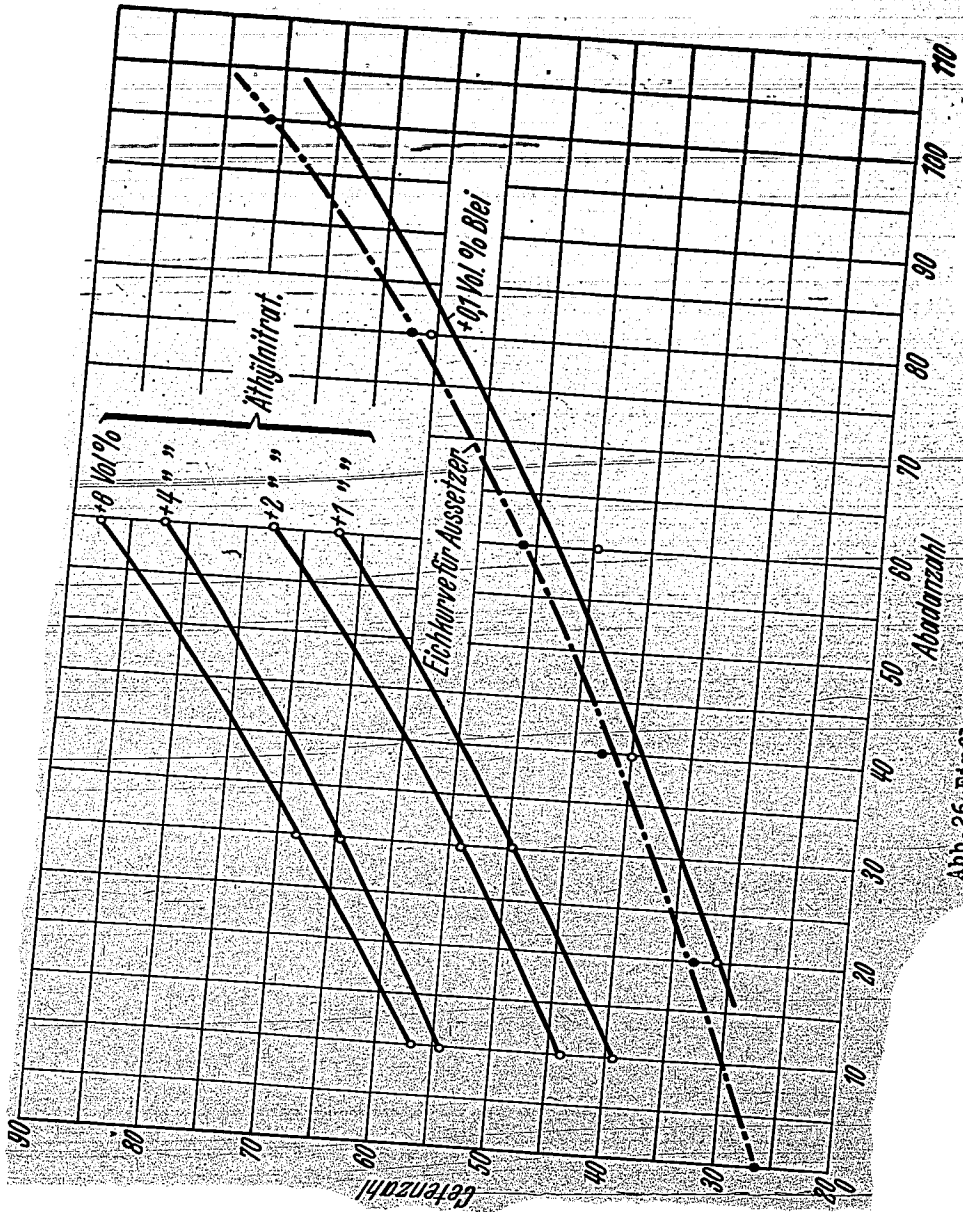


Abb. 26 Einfluss von Zündbeschleunigern.