

Bewertung von Dieselkraftstoffen.

von Dr.Ing.habil.F.Kneule.

Inhaltsverzeichnis.

I.	Bewertung im Einzylindermotor.	S. 22
1.	Zündverzug und Cetanzahl.	S. 22
2.	Der Klopfvorgang des Dieselmotors. . .	S. 33
3.	Anwendungsbeispiele der Klopfmessmethode im Dieselmotor	S. 44
II.	Bewertung im Mehrzylindermotor.	S. 53

Bewertung von Dieselkraftstoffen

I. Bewertung im Einzylindermotor.

1. Zündverzug und Cetanzahl.

Viele Jahre hindurch betrachtete man den Zündverzug hauptsächlich vom physikalischen Standpunkt aus, indem man die Zeit berechnete, die bei einem bestimmten Temperaturgefälle zwischen Luft und Brennstoff nötig wäre, um den Brennstofftropfen aufzuheizen und zu verdampfen. Rechnerische und experimentelle Untersuchungen ergaben jedoch, dass diese rein thermischen Vorgänge nicht die alleinigen Ursachen für den Zündverzug sein können.

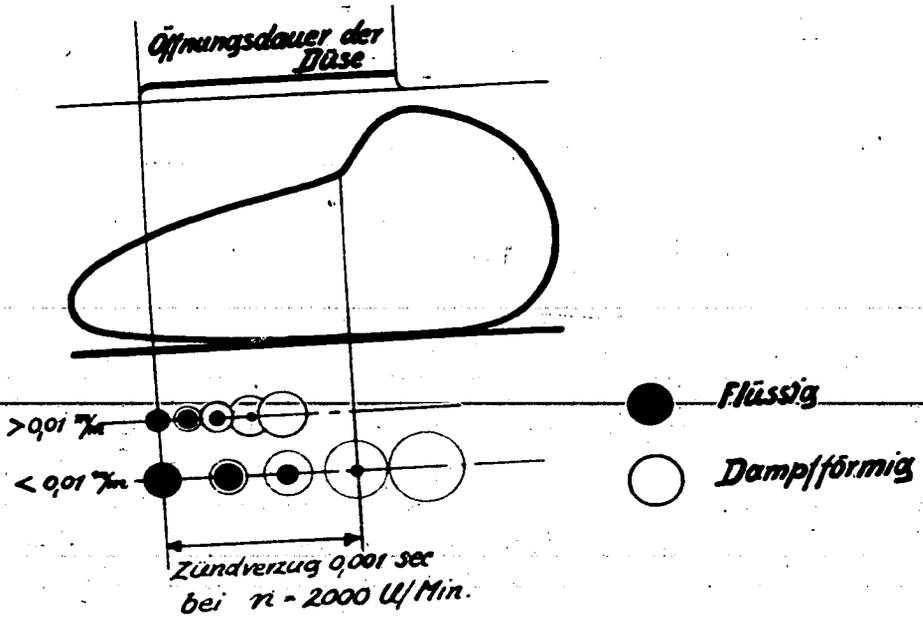
Für normale Verhältnisse schwankt der Tropfendurchmesser des Brennstoffstrahles zwischen 0.004 und 0.5 mm. Die Verdampfungszeit eines mittleren Tropfens errechnet sich nach *W e n t z e l* (1)¹⁾ bei einer Temperatur von 550°C (es entspricht dies einem Verdichtungsverhältnis von ca. 16 : 1) zu 0.0006 sec. Dies bedeutet, dass bei einem Zündverzug von 0.001 sec., wie er in schnelllaufenden Motoren bei Verwendung eines normalen Gasöles üblich ist, alle Tropfen der genannten Grösse und darunter vollständig verdampft wären, während die nicht so häufig auftretenden grösseren Tropfen wenigstens zum Teil in Dampfform übergegangen sind. s. Abb. 1.

Die Verdampfung beginnt nach derartigen Berechnungen bereits 0.000 00 2 sec. nach der Einspritzung, d.h. praktisch beim Einspritzbeginn.

1) Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Schrifttum am Schlusse der Arbeit.

Abb.1

Verdampfung der Kraftstofftropfen.



Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Zündverzögerung fast nur durch den " Zerfall der Moleküle " d.h. durch den Verlauf der chemischen Reaktion bedingt ist. Diese Auffassung wird bestätigt:

- a) durch Zündverzögerungsmessungen mit Kraftstoffen unterschiedlicher Molekülstruktur (z.B. paraffinisch, aromatisch usw.) bei gleichen Betriebszuständen,

- b) durch die Form der über der Temperatur aufgetragenen Zündverzugskurven, die den später besprochenen Charakter einer e-Funktion aufweisen, eines kennzeichnenden Merkmals oxydativer Reaktionen,
- c) durch die neueren Anschauungen über den Reaktionsmechanismus, insbesondere die Erkenntnisse über Kettenreaktionen, die von der gastheoretisch begründeten Voraussetzung ausgehen, dass ein chemischer Umsatz nur stattfinden kann, wenn ein Zusammenstoß eines Brennstoff - und Sauerstoffmoleküls stattfindet und wenn die betreffenden Moleküle genügend hohe Energie haben.

Auf Grund dieser Vorstellungen wird der Zündverzug heute ~~allgemein in einen physikalischen (endothermen) Teil und in einen chemischen (exothermen) Teil unterteilt~~, die sich jedoch infolge der Wechselwirkung der Vorgänge überschneiden können.

Der physikalische Teil besteht im Wesentlichen in der Zerstäubung des Kraftstoffes, in der Erhitzung der zerstäubten Teilchen, einer teilweisen Verdampfung derselben und schnell nachfolgender Erhitzung durch Wärmeübertragung von Seiten der verdichteten Luft. Während die für die Zerstäubung erforderliche Zeitdauer im Wesentlichen von der Viskosität des Kraftstoffes und den äusseren Bedingungen der Einspritzvorrichtung abhängt, wird die Erhitzungszeit der zerstäubten Brennstoffteilchen und -dämpfe in der Hauptsache durch die Temperatur der verdichteten Luft sowie durch die für die Wärmeübertragung massgebenden Strömungsverhältnisse bestimmt.

Der chemische Teil wird bestimmt durch die Art der zur Einleitung der Zündung erforderlichen Umwandlungsvorgänge, wobei wir nach einem Vorschlag von A.W. Schmidt

(2) die chemische Beschaffenheit des Brennstoffes als "Zündwilligkeit" bezeichnen wollen. Die Zündung wird stets dort auftreten, wo die Verdampfung und die Aufspaltung des Brennstoffes am weitesten fortgeschritten sind. Nachdem dies am Strahlrand durch das Verdampfen einerseits, die bessere Zerstäubung andererseits zu erwarten ist, kann die Entflammung in diesen Zonen angenommen werden. Diese Annahme wurde auch tatsächlich bestätigt sowohl durch unmittelbare Flammenphotographie, als auch durch Abtasten des Brennstoffstrahles mittels mehrerer Ionisationsstrecken. (3).

Diese Tatsache lässt sich gleichzeitig mit der Auffassung vereinbaren, dass man nach A.W. Schmidt die Reaktion unter dem Gesichtswinkel eines Grenzflächenvorganges betrachtet. Mit zunehmender Feinheit der Tröpfchen vergrößert sich die Oberfläche, die von denjenigen Atomen gebildet wird, die Kräfte nach aussen hin zu betätigen vermögen. Je grösser die je Raumeinheit vorhandene Zahl von Oberflächenatomen ist, die dem Reaktionspartner zugänglich sind, desto rascher wird der Stoff eine gewünschte chemische Verbindung eingehen können.

Wie schon erwähnt, kommt der chemische Charakter des Zündverzuges augenscheinlich in der starken Temperaturabhängigkeit zum Ausdruck, die innerhalb eines bestimmten Bereiches durch die für chemische Reaktionsvorgänge geltende Gleichung

$$z = C \cdot e^{\frac{E}{RT}} \quad 1)$$

gegeben ist.

Ohne die grundsätzliche Gültigkeit dieses Gesetzes auch für den Zündvorgang im Motor zu berühren, muss man hier noch weitere Einflussgrössen (z. B. den Verdichtungsdruck)

1) Hierin bedeuten: z = Reaktionszeit, E = Aktivierungsenergie, R = Gaskonstante, T = abs. Temperatur, C = Konstante.

und Konstanten in die Gleichung einführen, die dem verwickelten Wechselspiel von Strahleinspritzen und Zerstäuben, Aufheizen und Verdampfen einerseits und von chemischen Reaktionen andererseits Rechnung tragen.

Eine experimentelle Erfassung dieses Gesetzes kann am ehesten durch Versuche in Bomben angestrebt werden, weil hier Druck und Temperatur eindeutig festgelegt sind und die Messungen auch bis in Gebiete sehr niedriger Temperaturen (bis etwa 350°C herunter) ausgedehnt werden können, deren Anwendung sich in einem Motor verbieten würde. Abb. 2 enthält derartige Versuchsergebnisse. Der überragende Einfluss, den die Temperatur auf den Zündverzug ausübt und der sich aus der starken Abhängigkeit der chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten von der Temperatur erklärt, kommt hier deutlich zum Ausdruck.

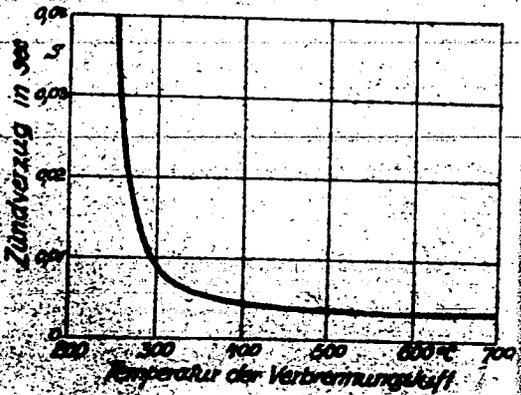


Abb. 2
Zündverzug von Gasöl in Abhängigkeit von der Verbrennungslufttemperatur nach Bombenversuchen von R. Müller. (5)

Von verschiedener Seite wurde schon versucht, die Temperaturabhängigkeit der Zündverzögerung und zwar sowohl von Gasen als auch von flüssigen Kraftstoffen durch eine Formel, entsprechend der empirisch gefundenen e-Funktionen wiederzugeben. Die Übereinstimmung derartiger Formeln mit den Zündverzögerungsmessungen ist für Gase besser als für flüssige Kraftstoffe, weil der thermische Anteil des Zündverzögerung bei Gasen weniger oder gar nicht in Erscheinung tritt, s. F.A.F. Schmidt.(4)

Im Bereiche der höheren Temperaturen, wie sie auch im laufenden Motor auftreten, biegen die Zündverzögerungskurven bei flüssigen Kraftstoffen, s. Abb. 2, stärker ab, als nach dem Verlauf der e-Funktion anzunehmen wäre. Diese Abweichung kann vielleicht damit begründet werden, dass hier infolge der sehr hohen Reaktionsgeschwindigkeiten der Einfluss der chemischen Vorgänge gegenüber dem thermischen Teil, also dem zur Zündaufbereitung des Gemisches erforderlichen Verdampfungsvorgang, etwas zurücktritt.

Auf Grund der motorischen Versuche, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, wird allgemein das Zündverhalten als wichtigstes Kennzeichen für die Beurteilung eines Dieselmotorkraftstoffes angegeben. Ähnlich wie bei vielen Laboratoriumstesten gibt es aber auch auf dem Gebiet der motorischen Prüfung noch kein Verfahren, das in Fachkreisen allgemeine Anerkennung und Anwendung gefunden hätte. Die Schwierigkeiten bestehen darin, dass man auch an diese motorischen Methoden die Anforderungen hoher Genauigkeit, Wiederholbarkeit, Einfachheit und rascher Durchführbarkeit stellt, deren gemeinsame Erfüllung nur schwer erreichbar ist.

Von allen bisher geübten motorischen Prüfmethoden für die

Ermittlung des Zündverhaltens von Dieselmotoren¹⁾ haben sich am besten die Zündverzugsverfahren durchsetzen können, die aus dem Grunde unweigerlich den Vorzug verdienen, weil sie den tatsächlichen Betriebsbedingungen am nächsten kommen.

Die heute gebräuchlichen Verfahren der Zündverzugsmessung unterscheiden sich mehr oder weniger nur noch in der Art der Gebereinrichtung für die Anzeige des Einspritzbeginnes und des Verbrennungsanfanges.

Die verwendeten Prüfmotoren sind fast durchwegs mit unmittelbarer Strahleinspritzung ausgerüstet und ermöglichen die Einstellung von hohen und auch sehr niedrigen Verdichtungsverhältnissen, weil die Prüfbedingungen bewusst scharf ausgewählt sein sollen. Es ist dann die Gewähr gegeben, daß ein so geprüfter Kraftstoff auch in anderen Motoren mit Vorkammer, Luftspeicher oder Wirbelkammer, die gegenüber den Zündigenschaften der Kraftstoffe unempfindlicher sind, keine Schwierigkeiten machen wird.

a) Das Verfahren mit veränderlicher Verdichtung bei gleichbleibendem Zündverzug wird in Amerika von Schweitzer und Hetzel angewandt. In Deutschland entwickelte auf der gleichen Grundlage die I.G. Farbenindustrie das sog. I.G.-Verfahren, bei welchem als Versuchsmotor der von Wilke und Köhler entwickelte I.G.-Prüfmotor und als Anzeigegerät ein piezoelektrischer Indikator in Verbindung mit einem Wasser-ringübertrager benutzt wird.(7)

Durch Vergleich mit Cetan, nördlings Cetan, als zündwilligen und α - Methylnaphthalin als zündträgen Bezugskraftstoff lässt sich die Cetan- bzw. Cetanzahl des untersuchten Kraftstoffes bestimmen.

1) Eine Zusammenstellung und Beurteilung der bisher angewendeten motorischen Verfahren für die Feststellung des Zündverhaltens befindet sich in "Öl und Kohle" 1938 S.1034 A.W.Schmidt und F. Kneule, Beitrag zur motorischen Bewertung von Dieselmotoren.(6)

Abb. 3, 4 und 5 zeigen die Ergebnisse einer Eichung am I.G.-Prüfdieselmotor. Da Einspritzbeginn auf 20° KW vor oberem Totpunkt und Zündverzug mit 18° KW eingestellt wird, setzt der Druckanstieg 2° vor o.T. ein, wodurch sich die für die Diagrammgestaltung günstigsten Verhältnisse ergeben. Die Prüfdrehzahl beträgt 1000 U/Min.

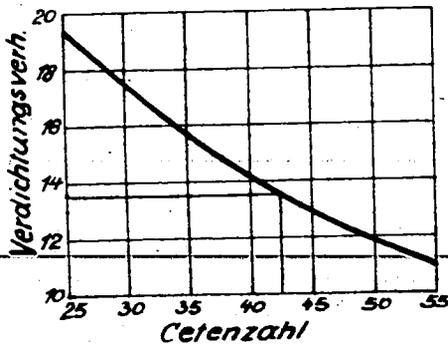


Abb. 3
Cetanzahl in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis bei gleichbleibendem Zündverzug, im I.G.-Motor gemessen.

Da die Verschiebung des Zylinders ebenso wie die Cetanzahl etwa hyperbolische Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis zeigt, ist die Skaleneinstellung am Schneckenrad für die Verdichtungsänderung praktisch linear abhängig von der Cetanzahl. Die täglichen Eichkurven verschieben sich damit höchstens parallel, Abb. 5.

Die Methode des gleichbleibenden Zündverzuges bei veränderlicher Verdichtung bietet den Vorteil, einen grossen Messbereich bei annähernd gleicher Messemfindlichkeit zu erhalten.

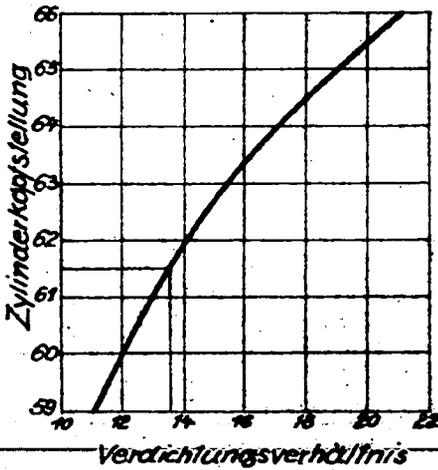


Abb. 4

Eichkurve für Zylinderkopfstellung und Verdichtungsverhältnis beim I.G.-Motor.

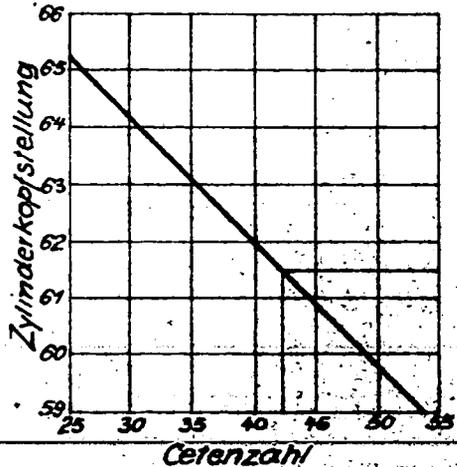


Abb. 5

Drehzahl in Abhängigkeit von der Zylinderkopfstellung beim I.G.-Motor "Eichlinie".

b) Das zweite Prüfverfahren lässt das Verdichtungsverhältnis ungeändert und bewertet den Kraftstoff nach der Länge seines Zündverzuges.

Die Entwicklung dieser Methode reicht bis in den Beginn der 30-iger Jahre zurück und wurde wohl zuerst von Boerlage und Broeze, in Deutschland von A.W.Schmidt und Slowak begonnen.

Abb. 6 zeigt Druckverlaufslinien, die der Verfasser an einem mit unmittelbarer Strahleinspritzung ausgerüsteten Einzylindermotor, Bauart Kamm, bei $n = 1500$ U/min. mit verschiedenen Kraftstoffen aufgenommen hatte.

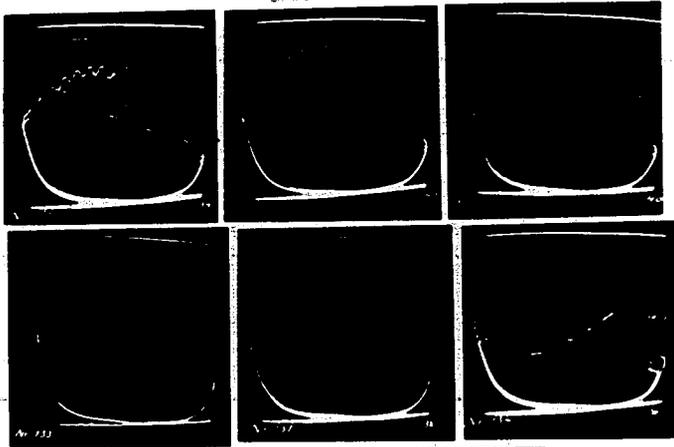


Abb. 6

Druckverlaufslinien von Dieselkraftstoffen bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen
101, 118, 128, und 133 Braunkohlenderivate.
131 Gemischdieselmkraftstoff
134 Erdölderivat.

Es wurden hier vier Braunkohlendieselmkraftstoffe untersucht, die aus verschiedenen Herstellungsverfahren stammten, ferner ein Gemischdieselmkraftstoff aus Steinkohlenteeröl und Fischer-Tropsch-Kraftstoff sowie ein Erdölderivat.

Am besten kommt die Beeinflussung des Zündverzuges durch die Qualität der Kraftstoffe zum Ausdruck, wenn die gemessenen Zündverzögerungen in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis aufgetragen werden, Abb.7.

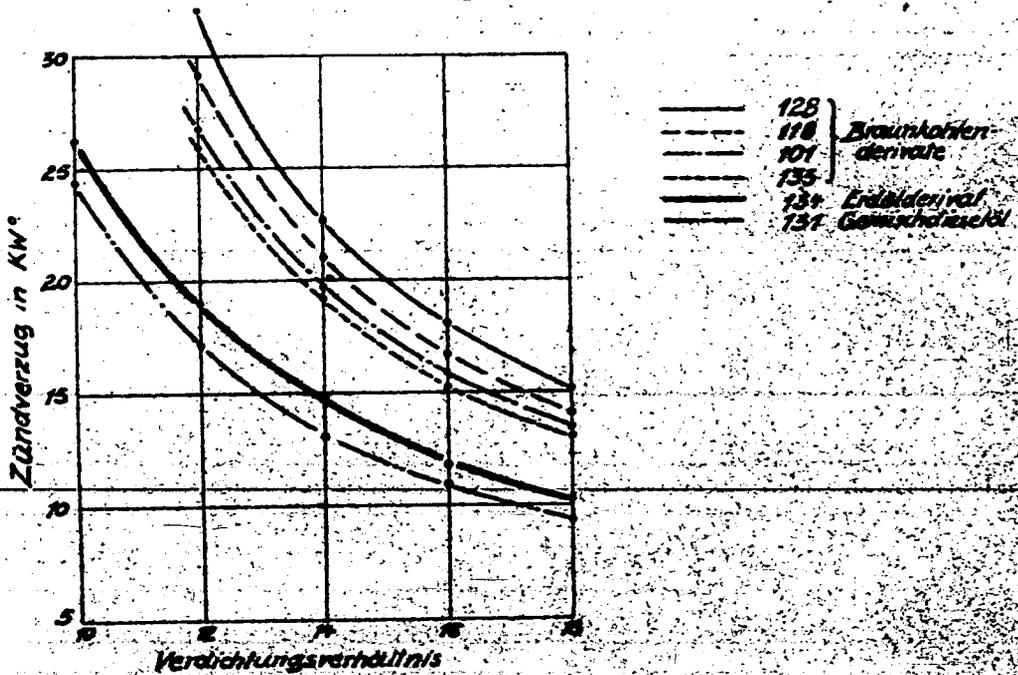


Abb. 7

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sämtliche untersuchten Braunkohlenderivate nur bis zu einem Verdichtungsverhältnis von 12 : 1 herunter einen störungsfreien Betrieb ohne Aussetzer ermöglichten, während das Erdölderivat und der Gemischdieselmot auch bei 10 : 1 noch zündfähig blieben.

Rein messtechnisch ist dieses Verfahren schwieriger zu beherrschen als das erstgenannte I.G.-Verfahren; denn einerseits kann das Ende des Zündverzuges bei konstantem Einspritzbeginn je nach der Güte des Kraftstoffes vor oder nach dem oberen Totpunkt liegen, womit diese Stelle in einem Druckdiagramm nicht immer mit ausreichender Genauigkeit feststellbar ist. Andererseits nimmt der Zündverzug mit höherer Cetenzahl verhältnismässig immer weniger ab, so dass besonders bei hohen Cetenzahlen eine sehr grosse Messgenauigkeit bei der Zündverzugsbestimmung erforderlich ist.

Als grundsätzlicher Vorteil ist jedoch der Umstand zu werten, dass die Methode den praktischen Motorbedingungen am besten entspricht, da die Messung bei den in den üblichen Gebrauchsmotoren herrschenden Verdichtungsverhältnissen erfolgt.

Durch die Kurvenmethode wird ausserdem noch dem Verlangen Rechnung getragen, in analoger Weise wie bei den Leichtkraftstoffen auch bei der Prüfung der Dieselmotoren vom "Einpunktverfahren" abzugehen und die Untersuchung unter Änderung der Betriebsbedingungen, insbesondere des Temperaturzustandes im Motor vorzunehmen.

2. Der Klopfvorgang des Dieselmotors.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Prüfung des Zündverhaltens nicht in allen Fällen eine ausreichende Bewertungsgrundlage darstellt, sondern dass in besonderen Fällen der Kraftstoff auch noch durch den auf die Zündung folgenden Verbrennungsablauf charakterisiert wird. Der nach der Zündung einsetzende Verbrennungsvorgang ist von grundsätzlicher Bedeutung; denn von ihm hängt der Druckverlauf, die Grösse der Diagrammfläche und damit die Arbeitsleistung

der Maschine ab.

Die Brenngeschwindigkeit ist gewöhnlich kurz nach der Zündung am grössten und strebt nach Durchlaufen des Höchstwertes mit bis auf Null abklingender Geschwindigkeit ihrem Ende zu. Je frühzeitiger im Arbeitshub des Kolbens dieser Höchstwert erreicht wird, um so besser wird die durch die Verbrennung ausgelöste Wärme im Arbeitsprozess ausgenützt und mit einem um so höheren Wirkungsgrad ist der Energieumsatz in der Maschine verknüpft.

Die Forderungen gehen dahin, dass die Brenngeschwindigkeiten im Zylinder nicht zu gering sein dürfen, um zu langes Nachbrennen zu vermeiden; sie dürfen aber auch nicht so hohe Werte annehmen, dass zu plötzliche Drucksteigerungen und damit unzulässig hohe Zünddrücke und harter Gang auftreten.

~~Die Umsetzungsgeschwindigkeiten werden beim Dieselmotor so wohl durch die chemische Reaktionsfähigkeit des Kraftstoffes als auch durch die äusseren Bedingungen der Gemisch-aufbereitung (konstruktive Gestaltung des Brennraumes, Einspritzverfahren, Betriebsbedingungen) bestimmt. Hält man die äusseren Bedingungen konstant, so kann man aus der Umsetzungsgeschwindigkeit Rückschlüsse auf die chemischen Eigenschaften verschiedener Kraftstoffe ziehen.~~

Die erste Phase der Umsetzung wird durch die Geschwindigkeit der Drucksteigerung nach der ersten Zündung, d. i. durch die Steilheit der Zünddrucklinie im Indikatordiagramm bestimmt. Die mit dem Zündvorgang verbundene chemische Umsetzung beginnt unter der Einwirkung der hohen Temperaturen im Verbrennungsraum wahrscheinlich mit der Aotrennung atomaren Wasserstoffes (8), weshalb die erste Verbrennung durch hohe Umsetzungsgeschwindigkeit ausgezeichnet ist. Hinzu kommt, dass die ersten Teilchen des eingespritzten Brennstoffstrahles in eine sauerstoffreiche

Atmosphäre gelangen und dabei leicht den notwendigen Sauerstoff aufnehmen können, den sie zur vollkommenen Verbrennung benötigen. Die erste Stufe der Verbrennung geht deshalb rasch vor sich.

Da der primär abgespaltene Wasserstoff unmittelbar verbrennt, verarmt der Brennstoff dauernd an Wasserstoff und der Verbrennungsvorgang gewinnt immer mehr den Charakter der Kohlenstoffverbrennung. Da diese langsamer verläuft, neigt das System mit fortschreitender Verarmung an Wasserstoff zu unvollkommener Verbrennung, wenn nicht in allen Teilen des Verbrennungsraumes für Sauerstoffüberschuss gesorgt wird.

Die Drucksteigerungsgeschwindigkeit und das damit verbundene Klopfgeräusch der Maschine wird mit steigendem Zündverzug stärker. Eine Erklärung hierfür ist darin zu suchen, dass die Geschwindigkeit der Verbrennung um so höher wird, je vollständiger die Durchmischung von Brennstoff und Luft im Zeitpunkt der Entzündung ist.

Bei steigendem Zündverzug nimmt die für die Durchmischung verfügbare Zeit und somit die Vollständigkeit dieser Durchmischung zu, ein Umstand, der auf die Entzündungsgeschwindigkeit fördernd wirkt. Hinzu kommt, dass bei grösseren Zündverzügen der Brennstoff länger erwärmt wird, weshalb die Mitteltemperatur der zu Beginn der Entzündung im Zylinder befindlichen Brennstoffmenge bei den grösseren Zündverzügen höher wird. Durch die längere Erwärmungszeit wird nach Wentzel (1) die Bildung eines Kraftstoffdampf-Luftgemisches ermöglicht, das infolge seiner besseren Homogenität eine grössere Brenngeschwindigkeit zulässt als ein Tröpfchengemisch. Letzteres entwickelt eine trägere Umsetzungsgeschwindigkeit als ein reines Dampf-Luftgemisch, in dem der Dampf mit der Luft diffundieren kann. Die Verbrennung findet nicht mehr in einem Tröpfchen-Luftgemisch statt,

sondern beginnt in einer explosiven Gasmischung und pflanzt sich infolgedessen in einer weit grösseren Masse fort. Eine übermässige Drucksteigerung ist die Folge, welche das wohlbekannte "Klopfen" verursacht.

Die Stärke des Klopfens ist von der Kraftstoffmenge abhängig, die bis zum Augenblick der Zündung in den Zylinder eingebracht worden ist. Ein kleiner Betrag kann eine geringe oder auch keine Klopfwirkung haben. Wenn es sich aber um eine beträchtliche Menge handelt, ist Klopfen unvermeidlich.

Bezüglich des Klopfens stellen demnach Vergasermotoren und Dieselmotoren entgegengesetzte Anforderungen an den Kraftstoff. Bei Vergasermotoren verbrennt das Gemisch um so heftiger, neigt also um so mehr zum Klopfen, je reaktionswilliger der Brennstoff ist. Bei Dieselmotoren dagegen bewirkt ein reaktionswilliger Brennstoff einen kleinen Zündverzug und verhindert das Entstehen grösserer Gemischmengen von Brennstoffdampf und Luft, die stossartig verbrennen.

Aus obigen Überlegungen geht hervor, dass sowohl der Zündverzug, als auch das Dampfbildungsvermögen m.a.W. die Flüchtigkeit ¹⁾ in einem ursächlichen Zusammenhang mit dem Klopfen stehen müssen.

Was den Zündverzug betrifft, könnte man nun annehmen, dass die ideale Bedingung darin zu sehen sei, den Zündverzug soweit als nur irgend möglich herabzudrücken, vielleicht sogar vollständig zu vermeiden. Die ersten Kraftstofftröpfchen würden demzufolge zünden, sobald sie die Düsenmündung verlassen haben. Durch entsprechende Regelung des Einspritzvorganges könnte dann das Mass des Druckanstieges leicht in den gewünschten Grenzen gehalten werden.

Praktische Messungen haben gezeigt, dass mit sehr zündfreudigen Kraftstoffen, z. B. Kogasin II, wohl ein guter weicher Lauf der Maschine erreicht wird, der erzielbare mitt-

¹⁾ Hierauf hat insbesondere Dicksee (9) hingewiesen.

lere Druck darunter einen geringeren Teil zuzuführen, als bei Betrieb mit normalen Kraftstoffen. Dann würden diese Kraftstoffe hätten, der überhaupt keinen Zündvorzug aufwies und nicht gedessen sich sofort nach Verlassen der Düse entzünden würde, so würde sich nach Ricardo die ganze Verbrennungsenergie hauptsächlich in der Nähe der Düsenladung abspielen, der Brennstoffstrahl aber ohne keine Gelegenheit gegeben, sich in der gesamten Verbrennungsraum auszubreiten und mit Sauerstoff zu versorgen, bevor die Verbrennung beginnt. Ein beträchtlicher Teil der verflüchtigen Brennstoffe würde zur Verbrennung nicht herangezogen werden. Es ist also ein Zündvorzug wirklich notwendig, um dem Kraftstoff die Möglichkeit der Vermischung mit der Verbrennungsluft zu geben.

Für jeden gegebenen Motor gibt es eine optimale Zündverzögerungszeit, welche zur Durchmischung gerade ausreicht, um eine genügend kurze Durchlaufzeit bei gleichzeitig guter Verbrennungsausnutzung zu erzielen.

Diese optimale Zündverzögerungszeit ist naturgemäß von der Drehzahl abhängig und muss, in absteigender Linie (sec.) gehalten, mit steigender Drehzahl kleiner und kleiner werden, von der rein molekularen Seite her (Temperatur, Dichte und Mischung der Verbrennungsluft sowie Mischung heißer Endgastteile) kann auf Grund der heute vorliegenden Forschungsresultate der Zündvorzug für unsere handelsüblichen Kraftstoffe wohl nicht mehr wesentlich verkleinert werden. Da jedoch der Zündvorzug auch als chemisches Problem anzusehen ist, kann erwartet werden, dass uns die chemische Forschung Mittel an die Hand gibt, um die heute noch bestehenden Zündverzögerungsgrenzen des Dieselmotors überschreiten zu können. Von diesem Gesichtspunkt aus können wir nach A. V. Schmidt den Dieselmotor-Dieseldieselkraftstoff als einen Kraftstoff der Zukunft bezeichnen,

1) siehe A. V. Schmidt, Probleme der Kraftstoffwirtschaft, Brennstoff- und Wärmewirtschaft, Jahrb. 26 (1929) S. 21.

der sich erst in solchen Motoren voll und ganz auswirken kann, die im Drehzahlgebiet von 5000 U/Min. und darüber arbeiten.¹⁾

Auf Grund der Annahme, dass hohe Drucksteigerungsgeschwindigkeit und das damit verbundene Klopfen des Dieselmotors mit dem Entstehen grösserer Gemischmengen aus Brennstoffdampf und Luft zusammenhängen, muss man auch der Siedekurve eines Kraftstoffes eine entsprechende Bedeutung zumessen. Ein Kraftstoff mit niedrigem Siedeverlauf wird während gleicher Zeitdauer (Zündverzug) in grösserem Ausmass verdampfen und infolgedessen stossartiger verbrennen als ein Kraftstoff, dessen Siedekurve höherliegt.

Von verschiedenen Seiten (11 u.12) wurde bereits darauf hingewiesen, dass zwischen Zündverzug und Druckanstieg nicht immer ein eindeutiger Zusammenhang besteht, sondern dass es Fälle gibt, bei denen verschiedene Kraftstoffe trotz gleichen Zündverzuges etwas verschiedenartigen Druckanstieg und damit unterschiedliches Klopfen aufweisen können.

Zur Ermittlung dieser Zusammenhänge wurden im hiesigen Versuchslaboratorium für Mineralöle Arbeiten begonnen, über deren methodische Durchführung und Zielsetzung im folgenden kurz berichtet werden soll.

Zunächst wurden vom Verfasser aus den für die Zündverzugs-messung dienenden Druckverlaufslinien der Abb. 6 die Druckanstiegswinkel entnommen und über dem jeweiligen Zündverzug aufgetragen, wodurch die Kurven schar der Abb.9 erhalten wurde.

In Abb. 8 ist an dem Beispiel des Gemischdieselmotors 133 gezeigt, wie die Ermittlung dieser Druckanstiegswinkel erfolgte.

¹⁾ siehe A.F. Schmidt, Probleme um Dieselmotoren, Brennstoff- und Wärmewirtschaft, Jahrg. 20 (1938) S. 24.

die dünn ausgezogenen Linien verbunden, wodurch sich eine Parameter-Kurvenschar für das Verdichtungsverhältnis ergibt.

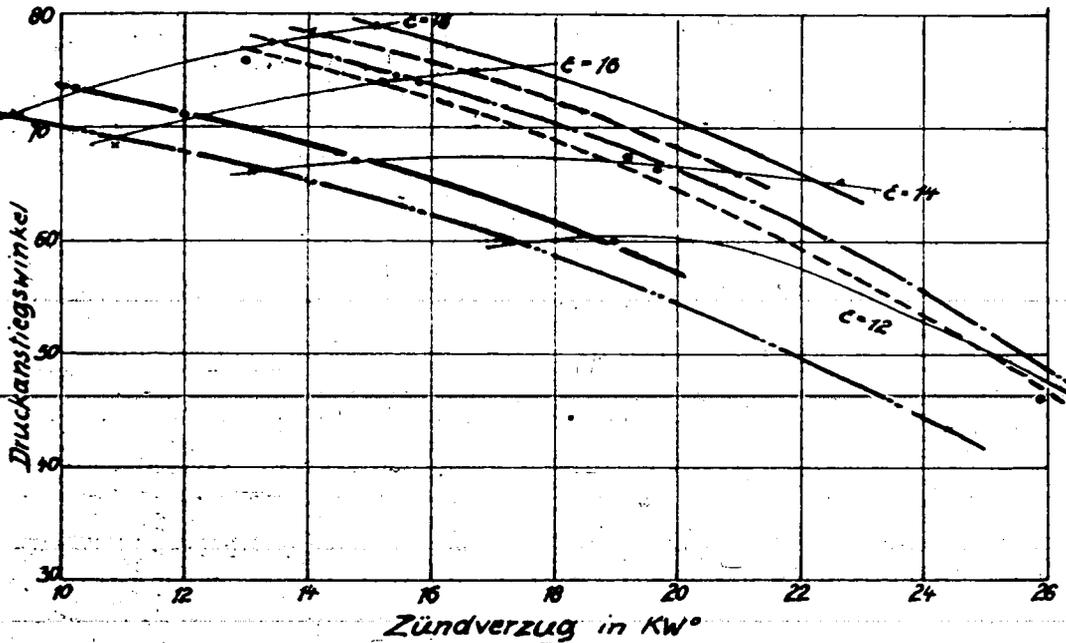


Abb.9 Druckanstiegswinkel in Abhängigkeit vom Zündverzug, entnommen aus den Druckverlaufslinien der Abb. 6.

Der Verlauf der Hauptkurvenschar bestätigt die an sich bekannte Tatsache, dass bei konstantem Einspritzbeginn der Druckanstieg mit abnehmendem Zündverzug einen steileren Verlauf annimmt, weil bei frühem Einsetzen der Zündung der Druckanstieg nicht allein von der durch die Verbrennung

freigewordenen Wärmeenergie, sondern auch noch von der Volumenverminderung des Brennraumes beeinflusst wird, die infolge der Kolbenbewegung entsteht. Für die verschiedenen untersuchten Kraftstoffe ergibt sich lediglich eine graduelle Verschiebung der Werte, während die Tendenz der Kurven gleichbleibt.

Von besonderem Interesse ist weiterhin der Verlauf der Kurven gleichen Verdichtungsverhältnisses (dünn ausgezogen). Während im Bereich der hohen Verdichtungsverhältnisse 18 : 1 und 16 : 1 der Druckanstieg in Richtung des zündträgeren Kraftstoffes steiler wird, bewegt er sich im Bereich kleinerer Verdichtungsverhältnisse (12 : 1) im umgekehrten Sinn. Bei 14 : 1 weisen sämtliche untersuchten Kraftstoffe ungefähr einen konstanten Wert des Druckanstieges auf. Diese Zusammenhänge sind ohne weiteres zu erklären, wenn man bedenkt, dass sich hier die chemisch-physikalischen Kraftstoffeigenschaften den durch die Kolbenbewegung verursachten motorischen Einflüssen überlagern. Erfolgt die Zündung vor dem oberen Totpunkt, so wird die durch die Verbrennungsenergie bewirkte Drucksteigerung infolge der Verkleinerung des Brennraumes noch weiter verstärkt. Bei einer nach dem oberen Totpunkt einsetzenden Zündung bewirkt die durch den abwärtsgehenden Kolben verursachte Vergrößerung des Brennraumes eine Verlangsamung des Druckanstieges.

Um die durch die Kolbenbewegung verursachten motorischen Einflüsse soweit als möglich auszuschalten, wurde daher vom Verfasser eine zweite Versuchsreihe gefahren, bei welcher der Einspritzpunkt jeweils 1. verän- dert wurde, dass die Zündung stets im O.T. oder in unmittelbarer Nähe desselben erfolgte, siehe Zahlentafel 1.

Zahlentafel 1

Versuch Nr.	Kraftstoff	Zünd-	Druck-	Höchst-	Klopf- ampli- tude
		verzög	anstieg	druck	
		^o KW	^o	atü	mm
1	-	Motor fremd angetrieben		32	4
2	80% Kog. + 20% M.	3,1	62	39	19
3	60% " + 40% "	5,4	74	39,5	28
4	50% " + 50% "	8,0	79	45,5	34
5	" 131% "			38,5	23
6	40% " + 60% "	9,7	80	47	36
7	41% " + 5% AN	unregelmässige Zündungen			
8	41% " + 12% "	9,3	75	44,5	20
9	41% " + 8% "	12	78,5	-	25
10	41% " + 30% Kog.	14	83	51	37
11	41% " + 40% "	10,4	81	47,5	34

Nach einem Vorschlag von Prof. A.W.Schmidt wurde gleichzeitig auch das Klopfgeräusch als "stehendes Bild" mit aufgenommen, was sich durch Verwendung des Nier'schen Doppelstrahloszillographen mittels einer besonderen Schaltung ermöglichen liess. Es erforderte dies allerdings, dass der Einspritzzeitpunkt nun nicht mehr auf dem zweiten Strahl, sondern auf der Druckverlaufslinie selbst markiert wurde, siehe Abb. 10.

In Abb. 10 sind einige kennzeichnende Diagramme der Versuchsreihe von Zahlentafel 1 wiedergegeben. Um eine "Bezugskurve" zu erhalten, wurden Mischungen aus Kogasin II und α - Methyl-naphthalin verwendet. Ferner wurde ein sehr

Abb. 10 Druckverlaufslinien und Klopfgeräusche, aufgenommen am Prüfdiesel Bauart A.W.Schmidt-Slowak, bei einer Drehzahl von 750 U/min u. einem Verdichtungsverhältnis von 14:1.

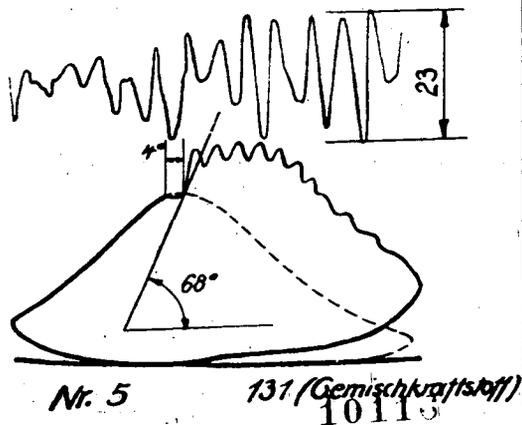
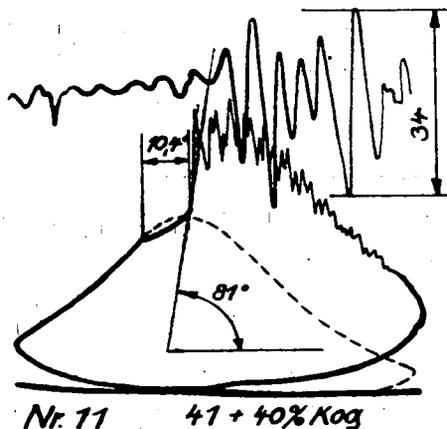
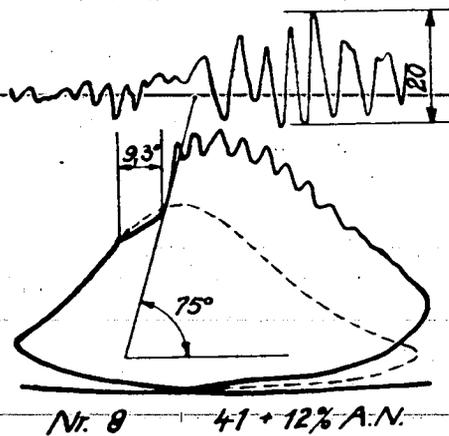
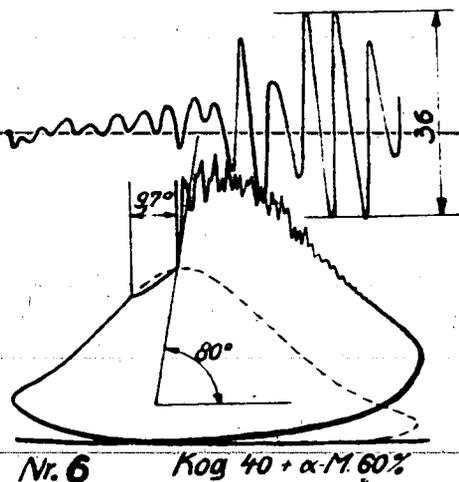
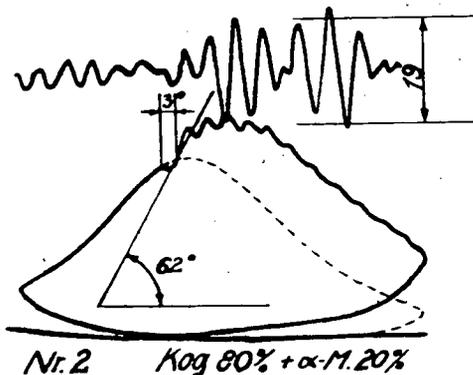
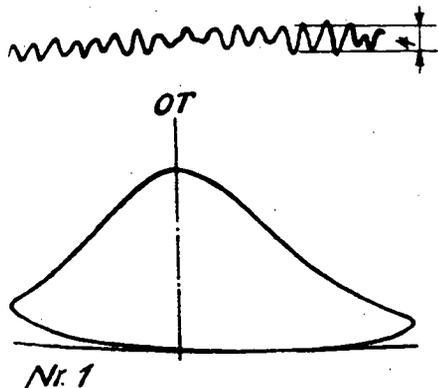
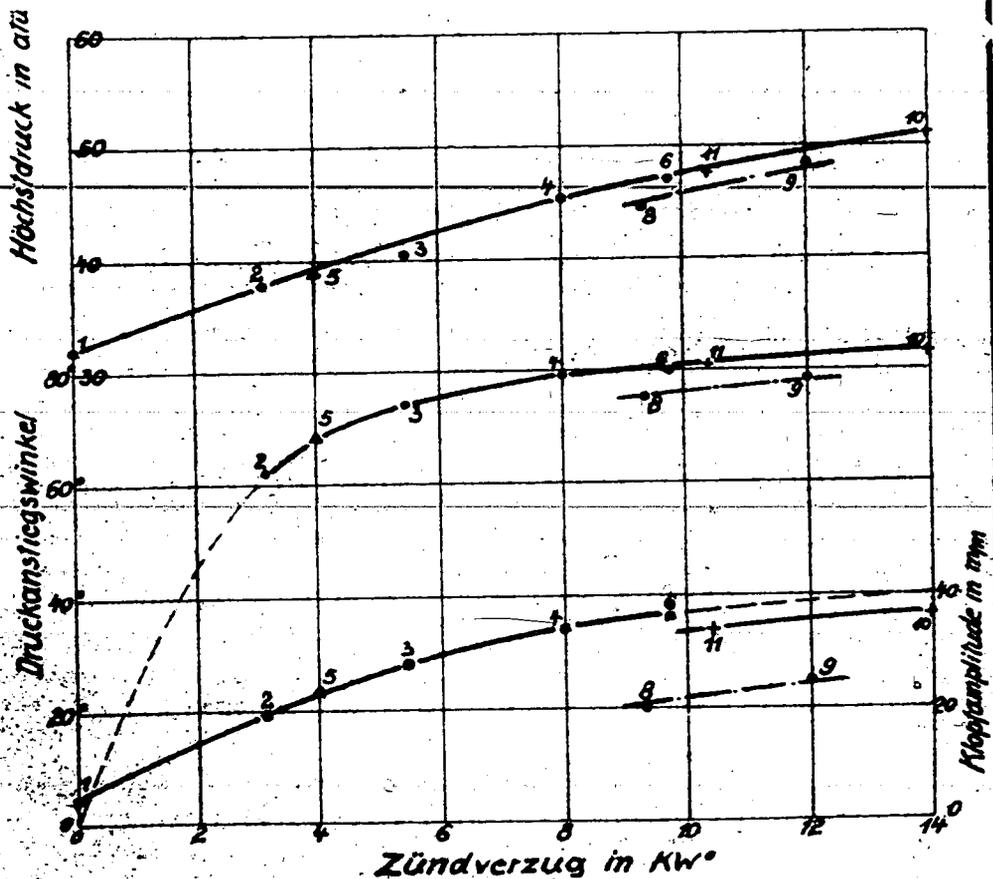


Abb. 11. Höchstdruck, Druckanstieg und Klopfamplitude in Abhängigkeit vom Zündverzug, entnommen aus Zahlentafel 1.

Zündung im O.T.



zündträges Steinkohlenteeröl Nr. 41 mit verschiedenen zündungsfördernden Zusatzmitteln gefahren. und zwar einmal mit Amylnitrit (in Zahlentafel 2 mit AN bezeichnet), das anderemal mit Kogasin II. Nr. 131 stellt den schon früher erwähnten handelsüblichen Mischkraftstoff aus Steinkohlenteeröl und Kogasin dar. Versuch Nr. 1 zeigt den Druckverlauf und das Maschinengeräusch bei fremd angetriebener Maschine, also ohne Zündung.

In Abb. 11 sind die Ergebnisse der Versuchsreihe von Zahlentafel 1 kurvenmässig aufgetragen. Die mit den Mischungen aus Kogasin und α - Methylnaphthalin erhaltene Kurve zeigt einen im Bereich niedriger Zündverzögerungen steil ansteigenden Verlauf, der allmählich verflacht und schliesslich asymptotisch einem Grenzwert zustrebt, der im vorliegenden Fall bei ca. 85° liegen dürfte. Die Grösse dieses Grenzwertes hängt naturgemäss von der gewählten Drehzahl ab und würde nur bei sehr niedrigen Drehzahlen den theoretischen Wert von 90° erreichen können, der einer plötzlichen Verbrennung bei konstantem Volumen entspräche.

Die Kurven für den Höchstdruck und die Klopfamplitude haben einen gleichmässiger ansteigenden Verlauf. Mit Ausnahme der Versuchspunkte 8 und 9 fügen sich sämtliche Versuchswerte in den Kurvenverlauf gut ein.

Von besonderem Interesse ist nun die Feststellung, dass sich der Zusatz von Amylnitrit zu Kraftstoff Nr. 41 auf etwas andere Art auszuwirken scheint, als der Zusatz von Kogasin; denn trotz gleichen Zündverhaltens ergibt der Zusatz von Amylnitrit einen langsameren Druckanstieg, der sich auch durch ein bedeutend schwächeres Klopfgeräusch bemerkbar macht. Eine Heransichung der Siedeeigenschaften vermag in diesem Falle keine ausreichende Erklärung zu geben, da die Siedekennziffern der betreffenden Stoffe (Kraftstoffnummer 41 : 247° und Kogasin II : 256° Siedekennziffer)

sich zu wenig voneinander unterscheiden. Eine Begründung für dieses abweichende Verhalten glaubt der Verfasser darin sehen zu können, dass bei Zusatz des wasserstoffreichen Kogasins der primär abgespaltene Wasserstoff schlagartig verbrennt. Zusatz von Amylnitrit dagegen erleichtert wohl infolge Peroxydbildung an der Oberfläche der Moleküle die Entzündung, die dadurch ausgelöste Wärmeenergie erreicht aber nicht das Mass der durch die Wasserstoffverbrennung beim Kogasinzusatz freigewordenen Wärmemenge. Die Art des Druckanstieges wird vielmehr bestimmt durch die schwerere Aufspaltung der im Steinkohlenteeröl enthaltenen ringförmigen Körper, wodurch sich ein langsamerer Druckanstieg und weicherer Motorlauf ergibt.

3. Anwendungsbeispiele der Klopfmessmethode im Prüfdieselmotor.

Der in der letzten Zeit stärker fühlbar werdende Mangel an Dieselmotorkraftstoffen legt den Gedanken nahe, nach weiteren Erzeugungsmöglichkeiten zu suchen und hierzu auch die Steinkohlenteerderivate stärker heranzuziehen, als es bisher der Fall war. Da die letzteren für die unmittelbare Verwendung in den schnellaufenden Fahrzeugdieselmotoren nicht geeignet sind, ergibt sich die Aufgabe, eine Verbesserung ihrer Zünd- und Verbrennungseigenschaften durch Vermischung mit zündungsfördernden Beimengungen herbeizuführen, wofür besonders der Fischer - Kraftstoff Kogasin II brauchbar erscheint. Im folgenden seien nun Versuchsreihen besprochen, mit denen geprüft wurde, in welcher Höhe die genannten Beimengungen vorgenommen werden müssten, um einen einwandfreien Motorlauf zu gewährleisten.

Im vorliegenden Fall handelte es sich um ein nach dem Verfahren der Innenabsaugung gewonnenen Steinkohlenteeröl, das mit R.V.-Grundkraftstoff bezeichnet sei.

Zunächst haben wir die Cetanzahlen dieses R.V.-Grundkraftstoffes sowie Mischungen desselben mit verschiedenen Zusätzen von Kogasin ermittelt. Die Abb. 12¹⁾ zeigt die Eichkurve, die wir mit verschiedenen Eichmischungen aus Cetan und α -Methylnaphthalin erhalten haben. Durch Eintragung der für die geprüften Kraftstoffe gefundenen Werte lassen sich an Hand dieser Eichkurve sofort die Cetanzahlen ablesen, die in nachstehender Zahlentafel 2 zusammengestellt sind:

Zahlentafel 2

Kraftstoff	Cetanzahl
R.V.-Kraftstoff	29
" " + 10 % Kogasin	34
" " + 20 % "	39
" " + 30 % "	45
" " + 40 % "	50

Die Werte lassen ersehen, dass der reine R.V. Kraftstoff im Gegensatz zu sonstigen Steinkohlenteerderivaten eine verhältnismässig hoch liegende Cetanzahl, nämlich 29, aufweist.

1) Sämtliche folgende Abbildungen 12 - 19 sind in der Anlage am Schluss des Berichtes enthalten.

Bei einer Beurteilung der mit den Kogasinzusätzen erhaltenen Cetanzahlen ist die Tatsache zu berücksichtigen, dass die an Dieselkraftstoffe gestellten Anforderungen im Laufe der letzten Jahre gesunken sind, weil man erkannt hat, dass unsere heutigen Fahrzeugdieselmotoren fast durchweg mit weniger zündwilligen Kraftstoffen noch anstandslos betrieben werden können, als es vor etwa 10 Jahren der Fall war. Während man früher Cetanzahlen von ca. 55 bis 60 forderte, wie man sie von den Erdölderivaten her gewohnt war, kommt man heute im Fahrzeugbetrieb mit 35 bis 40 Cetanzahl aus, was sich auf die Erzeugungsmöglichkeiten ausserordentlich fördernd ausgewirkt hat.

Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, kann ein Zusatz von 20 - 30 % Kogasin zu dem R.V.-Grundkraftstoff als ausreichend angesehen werden.

In Abb. 13 sind Druckverlaufslinien wiedergegeben, die wir nach dem Verfahren von A.W. Schmidt für den R.V.-Kraftstoff und verschiedene Mischungen desselben mit Kogasin photographisch aufgenommen haben. Am besten kommt die Beeinflussung des Zündverzuges durch die Qualität der Kraftstoffe zum Ausdruck, wenn die gemessenen Zündverzögerungen in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis aufgetragen werden, siehe Abb. 14.

Bemerkenswert ist hier zunächst die Tatsache, dass der reine R.V. Kraftstoff bei einem Verdichtungsverhältnis von 12 : 1 nicht mehr zum Zünden gebracht wurde und einen aussetzerfreien Betrieb nur noch bis zu 14 : 1 herunter ermöglichte. Die Auswirkung der Kogasinzusätze kommt augenfällig dadurch zum Ausdruck, dass die Kraftstoffmischungen nunmehr auch bis 12 : 1 herunter einen einwandfreien motorischen Betrieb erlaubten.

Trägt man die Zündverzögerungen in Abhängigkeit vom Prozentsatz der Beimischung auf, so ist zu ersehen, dass die Verbesserung derselben nicht im gleichen Verhältnis mit der zugemischten Menge

Kogasin wächst, sondern dass die Zündverzögerungswerte bei erhöhtem Zusatz asymptotisch einem Grenzwert zustreben, der je nachdem eingestellten Verdichtungsverhältnis verschiedene Grösse aufweist.

Vergleichsweise wurde auch ein handelsüblicher Gemischkraftstoff sowie ein persisches Gasöl (Abadan) untersucht, deren Messwerte ebenfalls in Abb. 13/14 eingetragen sind. Während der R.V.-Kraftstoff mit einem Zusatz von 40% Kogasin dem handelsüblichen Gemischkraftstoff praktisch gleichkommt, könnten die ausserordentlich günstigen Zündeigenschaften des persischen Öles erst dann erreicht werden, wenn ca. 70 - 80% Kogasin zugemischt wird.

Prüfung auf Motorklopfen.

Abb. 15 a / b zeigt verschiedene Druckverlaufsdiagramme, die wir sowohl mit dem reinen R.V.-Kraftstoff, als auch mit Kogasinmischungen aufgenommen haben. Mit Rücksicht auf eine gute Anschaulichkeit der Klopfausschläge wurde hier der Zeitmaßstab etwas anders gewählt, als es bei den früheren Untersuchungen der Abb. 10 der Fall war. Der Einspritzpunkt wurde jeweils so eingestellt, dass die Zündung stets im oberen Totpunkt erfolgte. Diese Massnahme war wie schon erwähnt, notwendig, um die durch die Kolbenbewegung verursachten motorischen Einflüsse soweit als möglich auszuschalten.

In der Zahlentafel 3 sind die erhaltenen Ergebnisse zahlenmässig zusammengestellt, in Abb. 16 graphisch aufgetragen. Da wir jeden Versuch aus Gründen der Messgenauigkeit doppelt durchgeführt haben, beschränkten wir uns darauf, die Messungen nur bei zwei Verdichtungsverhältnissen, nämlich 14 : 1 und 18 : 1 vorzunehmen.

Zahlentafel 3

Kraftstoff Verdichtungsverh.	Klopfausschlag mm		Leistung PS	
	14 : 1	18 : 1	14 : 1	18 : 1
R.V.-Kraftstoff	73	51	4,9	3,65
" " +10% Kog.	64	39,5	4,6	3,6
" " +20% "	52	30	4,05	3,5
" " +30% "	48,5	27	3,8	3,4
" " +40% "	39,5	24	3,55	3,3
pers. Gasöl	24	18	3,5	3,25
handelsübl. Gemisch- kraftstoff	25	21	3,3	3,1

Aus der graphischen Darstellung der Abb. 16 ist zu entnehmen, dass sich der Kogaszusatz nicht nur in einer Verbesserung des Zündverhaltens, sondern auch in einer starken Verminderung des Klopfens, und zwar bei beiden Verdichtungsverhältnissen, auswirkt. Es bestätigt sich damit wieder die bereits bekannte Tatsache, dass mit kleineren Zündverzügen im allgemeinen auch ein weicherer Motorlauf verbunden ist. Für jede Mischung ist das Klopfgeräusch bei dem hohen Verdichtungsverhältnis von 18 : 1 geringer als bei dem niedrigen von 14 : 1. Man darf jedoch daraus nicht den Schluss ziehen, dass es nun in jedem Falle günstiger wäre, ein möglichst hohes Verdichtungsverhältnis anzuwenden. Vergleicht man nämlich die bei beiden Verdichtungsverhältnissen erhaltenen Leistungswerte, so muss man feststellen, dass hohes Verdichtungsverhältnis gegenüber dem niedrigen einen Leistungsabfall bedeutet, der besonders deutlich, bei den schlechteren Kraftstoffen in Erscheinung tritt. Die Ursache hierfür ist in dem schlechteren mechani-

schen Wirkungsgrad zu suchen, der mit den hohen Verdichtungsdrücken verknüpft ist.

Um eine Vergleichsbasis mit Kraftstoffen anderer Zusammensetzung zu schaffen, haben wir auch diese Versuche mit dem bereits oben genannten Abadan sowie dem handelsüblichen Gemischkraftstoff durchgeführt. Die beiden genannten Kraftstoffe liegen bezüglich ihres Klopfverhaltens günstiger als die untersuchten Mischungen des R.V.-Kraftstoffes mit Kogasin, ergeben aber gleichzeitig auch die geringste Leistung. Dieses Ergebnis lässt sich mit der bekannten Tatsache vereinbaren, dass mit dem zündwilligsten Kraftstoff, den uns heute die Technik zur Verfügung stellt, nämlich mit Kogasin II, wohl ein guter weicher Lauf der Maschine erreicht wird, die

erzielbare Leistung dagegen einen geringeren Wert aufweist, als bei Betrieb mit üblichen Kraftstoffen. Wenn man aus einem gegebenen Dieselmotor eine genügende Leistung herausholen will, so muss ^{man} eben eine gewisse Klopfstärke zulassen und hat lediglich dafür zu sorgen, dass dieselbe noch in den für den praktischen Betrieb zulässigen Grenzen bleibt. Es darf sich dann naturgemäss nicht um eigentliches Klopfen handeln, sondern nur um einen mehr oder weniger rauhen Gang.¹⁾

Nach Klärung der Verbesserungsmöglichkeiten des R.V.-Kraftstoffes durch verschiedene Zusätze von Kogasin stand noch die Frage offen, inwieweit die motorischen Eigenschaften des R.V.-Kraftstoffes durch Abtrennung gewisser Siedeabschnitte beeinflussbar sind. Diese Angelegenheit schien deshalb bedeutungsvoll, weil sie in unmittelbarem Zusammenhang mit der Ausbeute, dem Raffinationsgrad und damit letzten Endes mit

1) Es ist beabsichtigt, diesem ausserordentlich wichtigen Punkt durch weitere Versuche besonderes Augenmerk zuzuwenden und ähnliche Untersuchungen vor allem auch an Mehrzylindermotoren durchzuführen.

den Erzeugungskosten des Kraftstoffes steht.

Zu diesem Zweck wurden vom R.V.-Grundkraftstoff, dessen Siedebereich zwischen 200 und 320° lag, die Siedeabschnitte 200 - 250, 200 - 270 und 200 - 290 abgetrennt und hinsichtlich ihrer Cetanzahl geprüft. Die gefundenen Werte lassen ersehen, dass sich bei sämtlichen Fraktionen keine ins Gewicht fallenden Unterschiede der Cetanzahlen ergaben.

Zwecks weiterer Klärung dieser Frage wendeten wir schliesslich auch unser neues Klopfmessverfahren an, indem wir die Klopfstärke und die Leistung bei zwei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen ermittelten. Bei einer Betrachtung der in Abb. 17 und 18 dargestellten Ergebnisse fällt zunächst die Tatsache auf, dass bei 14 : 1 ebenfalls keine Unterschiede bezüglich der Klopfausschläge vorhanden sind, dass sich dagegen bei 18 : 1 die drei Fraktionen hinsichtlich ihrer Klopf Eigenschaften recht unterschiedlich verhalten. Die Fraktion 200 - 290 nähert sich am stärksten dem Verhalten des R.V.-Kraftstoffes, während die niedrigen Fraktionen mit fallendem Siedeendpunkt eine steigende Klopfneigung aufweisen.

Diese Ergebnisse bestätigen, dass die Cetanzahlbestimmung allein nicht immer eine ausreichende Bewertung darstellt.

Die Tatsache, dass bei 14 : 1 keine wesentlichen Unterschiede erkennbar sind, lässt sich mit den Ergebnissen der Cetanzahlbestimmung insofern vereinbaren, als das Verdichtungsverhältnis, das bei der Cetanzahlbestimmung eingestellt werden musste, in der Nähe von 14 : 1 lag.

Die Cetanzahlbestimmung allein berücksichtigt also nur die bei bestimmten Verdichtungsgraden vorhandenen Verhältnisse.

Aus diesen letzten Versuchen ist für diesen speziellen Fall die Folgerung zu ziehen, dass eine Abtrennung der schweren Siedeanteile keine Verbesserung des Kraftstoffverhaltens

mit sich bringt, dass dagegen niedrigsiedende Anteile das Klopfverhalten ungünstig beeinflussen.

II. Bewertung im Mehrzylindermotor.

Bei der Prüfung im Einzylindermotor geht man von dem Bestreben aus, den Kraftstoff so scharf zu fassen, als es nur möglich ist und die Eigenart der Maschine davon zu trennen. Man hat daher als Verbrennungsverfahren die unmittelbare Strahleinspritzung gewählt, weil hier die grösste Abhängigkeit des Zündverzuges vom Einspritzgesetz zu beobachten ist.

Nun gibt es aber eine Reihe von Brennverfahren, die den Nachteil eines ungünstigen Zündverzuges zu verwischen in der Lage sind. Wenn von zwei verschiedenen Maschinen des praktischen Betriebes die eine einen Kraftstoff gegebener Cetanzahl noch verarbeiten kann, während die andere mit Störungen behaftet ist, so liegt dieser Unterschied in der Bauart der Maschine begründet. Ein Kraftstoff bestimmter Cetanzahl kann also in Motoren verschiedener Bauart ein unterschiedliches Verhalten aufweisen.

Für die Praxis ist die Frage wichtig, welche Mindestansprüche ein bestimmter Motor an einen Kraftstoff stellt.

Die Verwendung eines Kraftstoffes, der eine höhere Cetanzahl besitzt als für den betreffenden Motor notwendig wäre, ist unangebracht, weil der Kraftstoff mit der höheren Cetanzahl mehr Geld kostet und obendrein sogar die Leistung dieses Motors verringern kann. Zwecks Erzielung einer günstigsten Leistungsausbeute müssen wir auch beim Dieselmotor nahe an die Klopfgrenze herangehen. Diese Verhältnisse drängen also dazu, in ähnlicher Weise wie beim Vergasermotor auch dem

Dieselmotor eine Bewertungszahl zu erteilen, die den Vergleich verschiedener Motorbauarten ermöglicht.

Da sich beim Mehrzylinderomotor die Anwendung des Indikators für die einzelnen Zylinder aus naheliegenden Gründen verbietet, ja in den meisten Fällen ohne umständliche Änderungen gar nicht möglich ist, wurde auf Anregung von Prof. A.W.Schmidt die Anwendungsmöglichkeit der elektro-akustischen Methode auch für diesen Fall geprüft.

Wie aus der unteren Kurve der Abb. 11 ersichtlich ist, besteht für einen gegebenen Kraftstoff ein bestimmter Zusammenhang zwischen Zündverzug und Klopfgeräusch und zwar dergestalt, dass verschiedene Kraftstoffe trotz gleichen Zündverzuges unterschiedliches Klopfgeräusch aufweisen können.¹⁾ Im Klopfgeräusch kommt also nicht nur der Zündverzug, sondern vor allem der unmittelbar nach der Zündung einsetzende Verbrennungsablauf zum Ausdruck.

Welche Bedeutung derartigen Klopfmessungen am Dieselmotor zugemessen werden muss, erhellt aus der Tatsache, dass im praktischen Betrieb nicht nach dem Zündverzug, sondern letzten Endes stets darnach gefragt werden wird, ob der Motor mit diesem oder jenem Kraftstoff "klopft". Mit dem Klopfen hängt die Betriebssicherheit, der durch Instandsetzungen bedingte Aufwand und die Lebensdauer der Maschine eng zusammen.

Versuche, die an einem vierzylinderigen Vorkammermotor Abb. 19 durchgeführt wurden, brachten nun tatsächlich das Ergebnis, dass hier Geräuschbilder erhalten wurden, die in gleicher Weise wie beim mehrzylinderigen Vergasermotor das Klopfverhalten der einzelnen Zylinder erkennen liessen. Während sich z. B. das Geräuschbild beim Betrieb mit einem sehr zündwilligen Kraftstoff kaum wesentlich von demjenigen der fremd angetriebenen Maschine unterschied, traten beim Be-

1) Anmerkung: Diese Zusammenhänge gelten nur, solange die Zündung vor oder in der Nähe des oberen Totpunktes erfolgt.

trieb mit schwereren Kraftstoffen erheblich grössere Klopfamplituden auf. Ausserdem zeigte sich auch hier, dass nicht alle Zylinder gleichmässig klopfen.

Diese letztere Tatsache kann durch Zusammenwirkung verschiedener Faktoren erklärt werden:

- a) ungleichmässige Luftfüllung der einzelnen Zylinder infolge der konstruktiven Gestaltung der Ansaugleitung,
- b) ungleichmässige Pumpenförderung,
- c) Unterschiede im Einspritzzeitpunkt,
- d) Unterschiede im Verdichtungsverhältnis, hervorgerufen durch Ölkohlebildung oder Durchblasen der Kolbenringe,
- e) ungleichmässige Kühlwassertemperatur.

S c h r i f t t u m .

- (1) W. Wentzel, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens 1935 S. 105.
- (2) A.W.Schmidt, Brennstoff-und Wärmewirtschaft 1938 S.20.
- (3) H. Herele, Forschung Jan./Febr. 1939.
- (4) F.A.F.Schmidt, Forschungsheft d.VDI. Nr. 392.
- (5) R. Müller, Kraftfahrtechnische Forschungsarbeiten H.3
- (6) A.W.Schmidt und F.Kneule, Öl und Kohle 1938 S. 1034.
- (7) W.Wilke, Z.VDI. 1938 S.1135.

- (8) Erichsen, Forschungsheft des VDI Nr. 377.
- (9) Dicksee, Inst.of Autom.Engrs.,Adelphi 1932.
- (10) Nägel, Deutsche Kraftfahrtforschung, Zwischenbericht Nr. 36.
- (11) W.Lindner, Brennstoff-und Wärmewirtschaft 1937 S.1.
- (12) W.Wilke, MTZ 1939, Heft 2.

Abb. 12

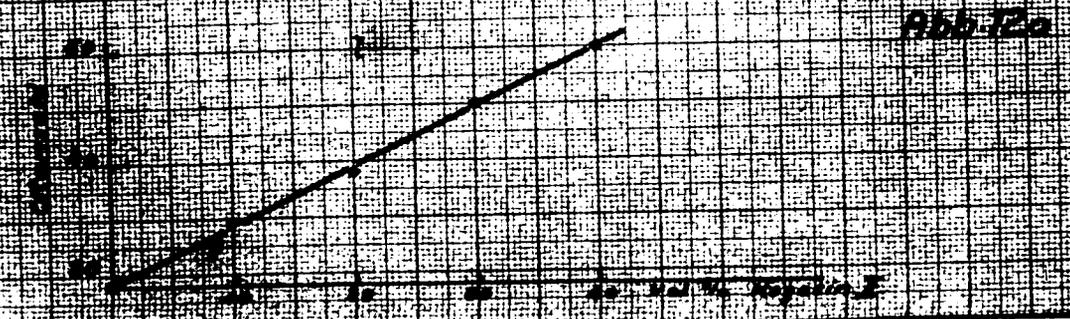
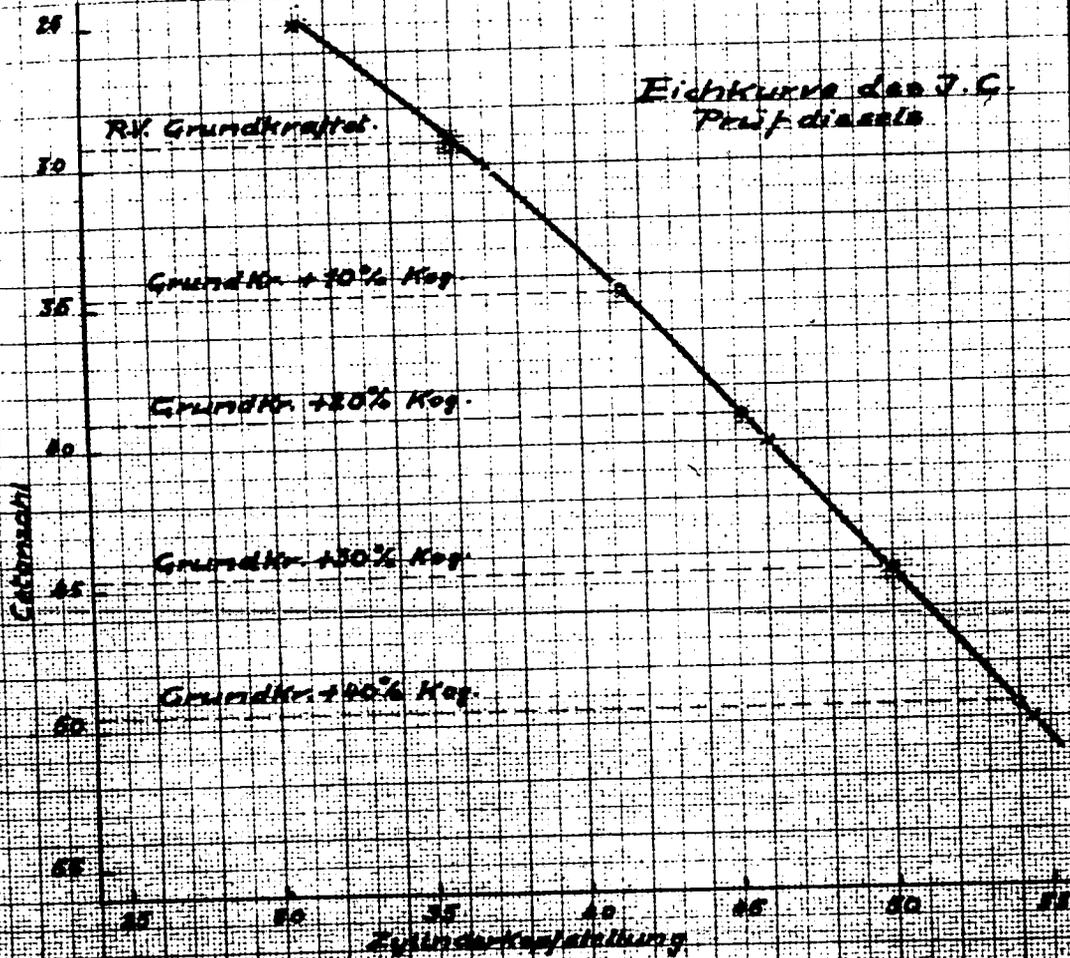


Abb. 12a

Cetanzahl Bestimmung
Zu Zahl.Taf. 2

Zu Nr. 10130

27. II. 49.

Datum

Dr. Kneile

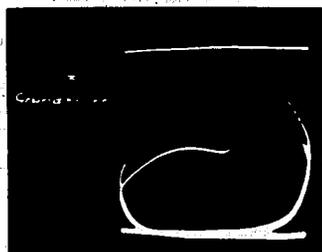
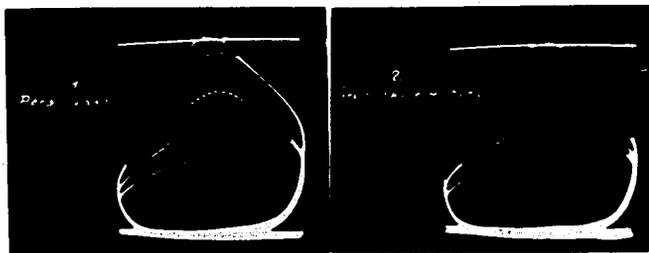
H. Frensch

(Unterschrift)

Professoren

T.H. München

Institut f. Chem. Technol.



Druckverlaufslinien bei verschiedenen Verlastungs-
Verhältnissen.

----- Handelsüblicher Gemischdiel-Kraftstoff
 - - - - - Petrisches Gasöl

Abb. 14

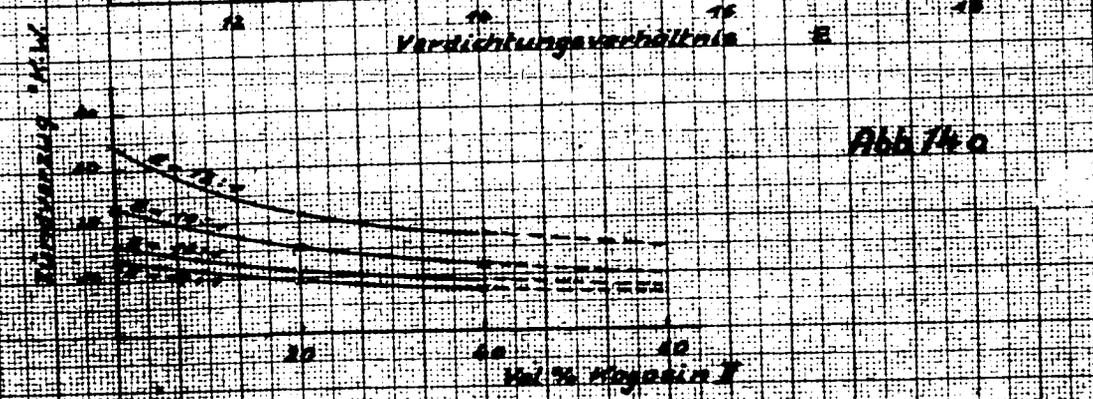
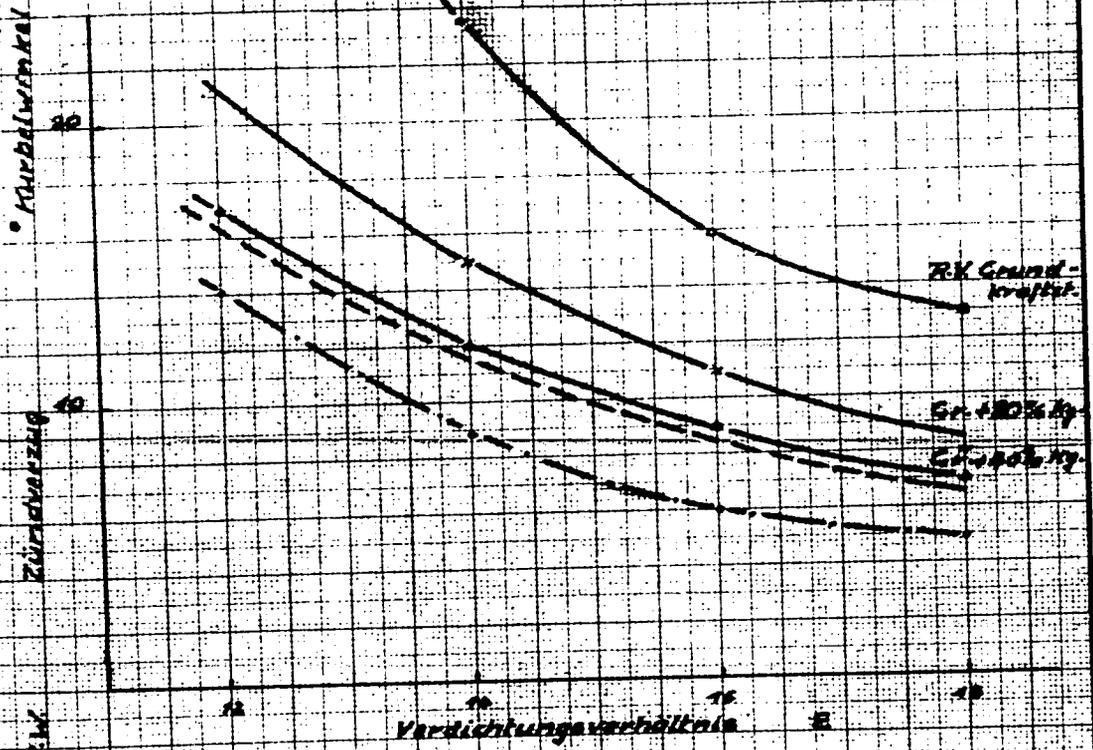


Abb. 14a

Zündverzögerungskurven
 hierzu Abb. 13

Zu Nr. 10132

28. II. 41.
 Datum

Friedmann

TH München Institut f. Chem. Technol.

Dr. Kucüle
 1. Finck
 Unterschrift

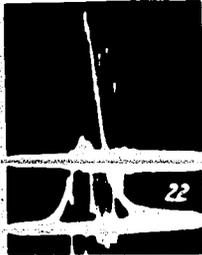
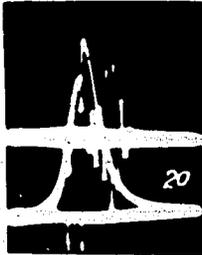
Druckverlauf und Klopfbeschlag

Verdichtungsverhältnisse

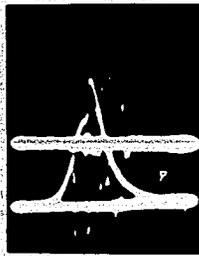
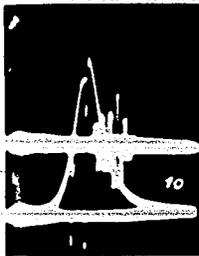
18 s 1

14 s 1

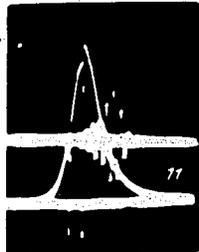
Kraftstoff



Schlin. Völklin. n
Grundkraftstoff

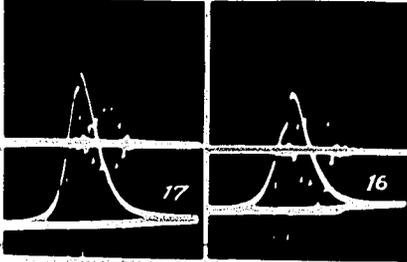


Grundkraftstoff
+ 20% Komprim.

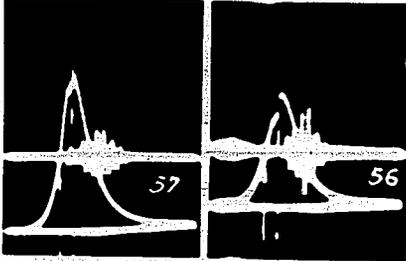


Grundkraftstoff
+ 30% Komprim.

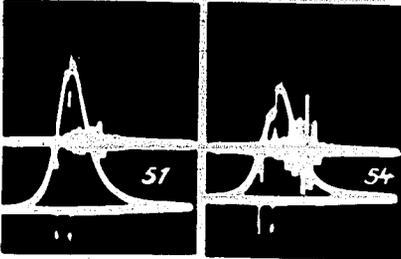
Verdichtungsverhältnis
18 : 1 14 : 1



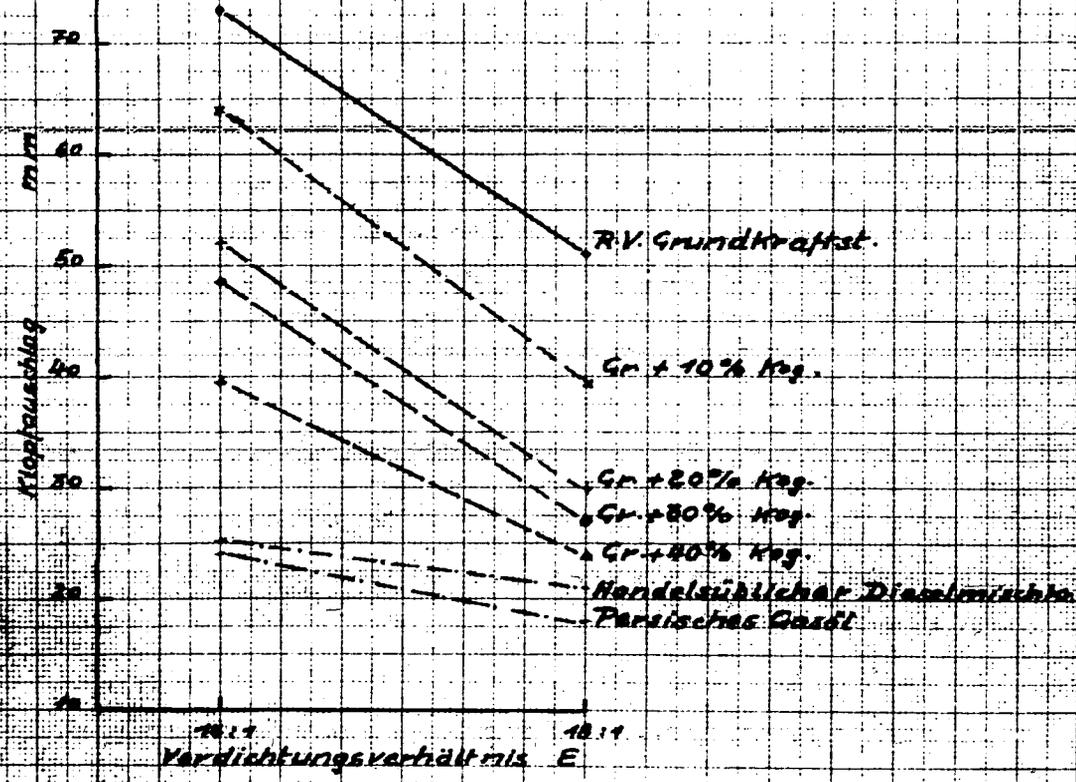
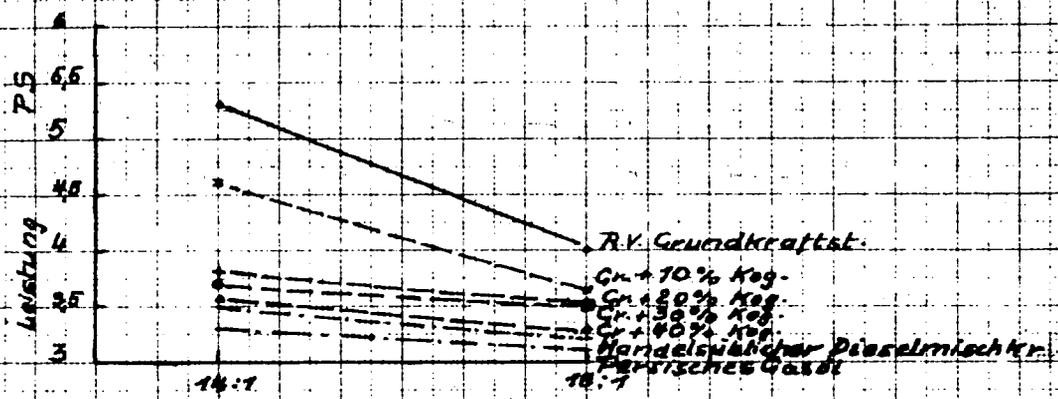
Chromatogramm
+ 1000 cm⁻¹



Fersinol n Gasöl



Handelsüblicher
Gemisch-Diesel-Kraft-
stoff



Klopfausschlag-Leistung
zu Zahl-Tafel 3

Zu Nr. 10132

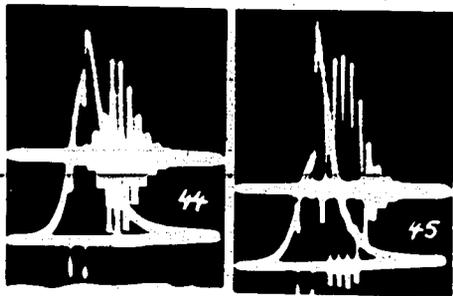
5.3.41.
Datum

Dr. Kneile
H. Frensch

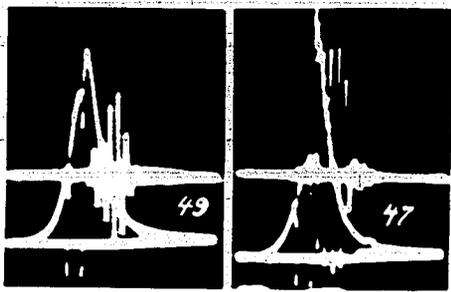
Unterschrift

Freilassen

TH München. Institut f. Chem. Technol.



Fraktion
60° - 70°



Fraktion
60° -

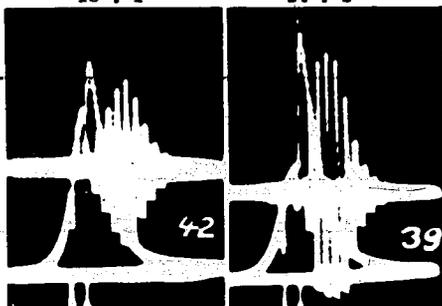
Druckverlauf und Klopfanschlag

Verdichtungsverhältnis

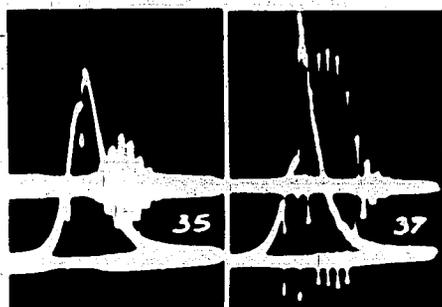
18 : 1

14 : 1

Kraftstoff

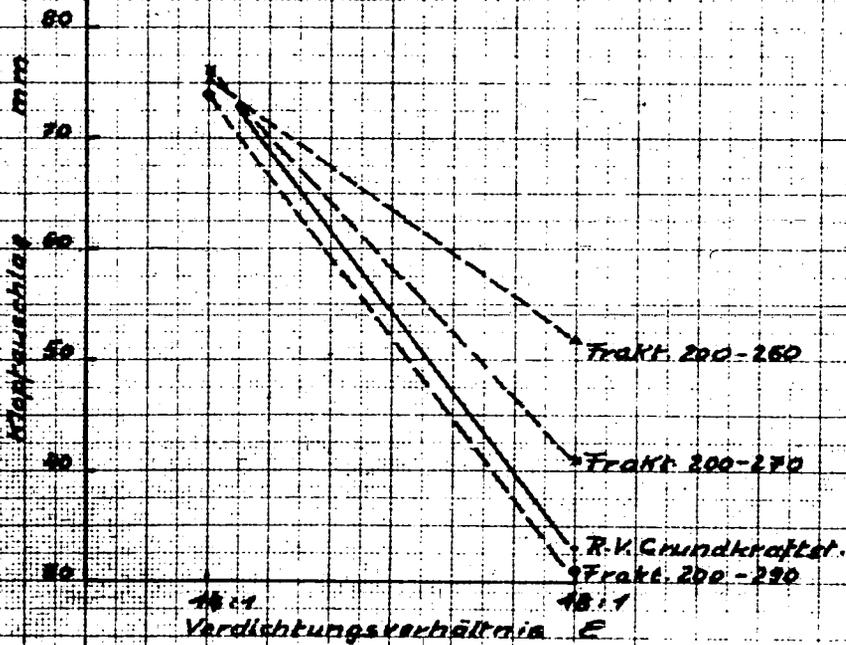
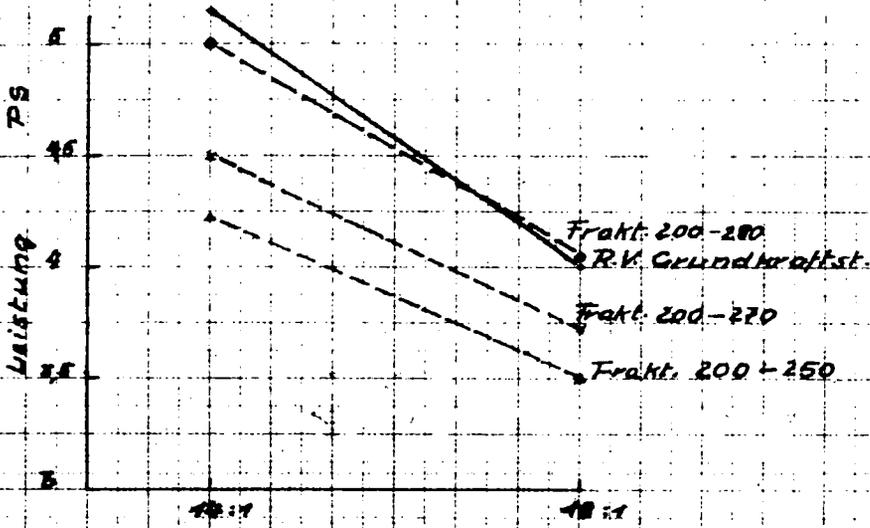


Schlin: Völklinsen
Grundkraftstoff



Fraktion
200° - 190°

Abb. 18



Verdichtungsverhältnis ϵ

Fractionen 250°-290°
Klopfausschlag u. Leistung

Zu Nr. 10133

5.3.41.
Datum

Dr. Kuehle
A. F...
Unterschrift

Frolissen

TH München Institut f. Chem. Technol.

Unterschrift

Laufgeräusche
eines 4-zyl. Vorkammerdiesel-
motors bei Betrieb mit verschie-
denen Kraftstoffen, $n = 920 \text{ U}$



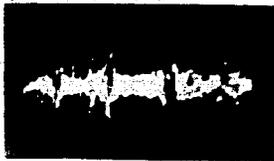
- 1) Geräuschbild der fremdange-
triebenen Maschine



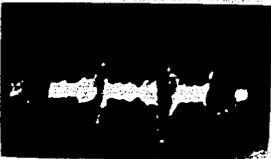
- 2) Betrieb mit einem Erdöl-
dieselmkraftstoff
Cetanzahl 63
Cetanzahl 54



- 3) Betrieb mit einem Gemisch
aus Steinkohlenterröl und
Fischer-Tropsch-Kraftstoff
Cetanzahl 68
Cetanzahl 56,5



- 4) Betrieb mit einem Braun-
kohlendieselmkraftstoff
Cetanzahl 45
Cetanzahl 39



- 5) Betrieb mit einem Hoch-
drucksynthesekraftstoff
Cetanzahl 50
Cetanzahl 43