

115

J. D. ...
Prüfung
3. März 1961

9. ...
...

001357



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN UND
FAHRZEUGMOTOREN
TECHNISCHE HOCHSCHULE STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung
des Selbstzündungs-Betriebs im ge-
mischverdichtenden Motor

FKFS 392



001358

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbst-
zündungsbetriebs im gemischverdichtenden
Motor.

Uebersicht:

Bei gegebenem mittlerem Arbeitsdruck ist eine Erhöhung der Hubraumleistung durch Steigerung der Motordrehzahl möglich, was für gleichbleibende mittlere Kolbengeschwindigkeit eine Verkleinerung des Einzelzylinders und eine Vergrößerung der Zylinderzahl zur Folge hat. Die Verkleinerung des Hubraums ergibt Schwierigkeiten, besonders auch hinsichtlich der Zündanlage, da diese in Gewicht und Abmessungen einen immer grösseren Anteil an der gesamten Motoranlage einnimmt. Der Wegfall der Zündanlage durch Anwendung des Selbstzündungsverfahrens würde also besondere Vorteile bringen.

Für die Selbstzündung kommen nur zündwillige Kraftstoffe mit entsprechend geringer Klopfestigkeit in Betracht. Da bekanntlich bei der Synthese die Kraftstoffausbeute mit abnehmender Klopfestigkeit zunimmt, lag der Gedanke nahe, Synthese-Kraftstoffe im Selbstzündungsverfahren zu erproben.

Vom Selbstzündungsbetrieb ist mithin eine wirtschaftlichere Verwendung von Kraftstoffen niedriger Oktanzahl, ein vereinfachter Motoraufbau und eine Steigerung der Schnellläufigkeit zu erwarten.

Die Untersuchungen, die auf Vorversuchen im Auftrag des Reichsverkehrsministeriums aufbauen, dienen dem Zweck, die für Selbstzündung erforderlichen Betriebsbedingungen von der Kraftstoff- und Motorseite her weiter-



001359

gehend zu klären, den Verbrennungsablauf bei Selbstzündung zu erforschen und damit die Grundlagen des motorischen Betriebs mit Selbstzündung zu erarbeiten.

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Institutsleiter:

W. Kamm
W. Kamm.

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des Reichsamts für Wirtschaftsausbau durchgeführt. Die erwähnten Vorarbeiten im Auftrag des Reichsverkehrsministeriums werden in der Deutschen Kraftfahrtforschung als Zwischenbericht veröffentlicht.

Bearbeiter: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001360

Gliederung:

1. Stand der Erkenntnisse
2. Voraussetzung für Selbstzündung bei Gemischverdichtung
3. Durchführung der Versuche
4. Ergebnisse der Untersuchungen
 - a) Schaffung eines Selbstzündungsbetriebs
 - b) Versuche zur Anpassung des Kraftstoffs an die Selbstzündung
 - c) Verringerung der Klopfneigung
 - d) Einfluss der Gemischzusammensetzung
 - e) Versuche zur Verbreiterung des Gebiets der kloppfreien Selbstzündung
 - f) Betriebsverhalten bei kloppfreier Selbstzündung
 - g) Anfahrversuche
 - h) Untersuchung des Druckverlaufs und der Strahlung
5. Beurteilung der Ergebnisse
 - a) Glüh-, Restgas- und Selbstzündung
 - b) Die weiteren Aufgaben
6. Zusammenfassung.

Der Bericht umfasst: 27 Seiten Beschreibung
13 Bilder.

Abteilungsleiter:

L. Huber
L. Huber.

Bearbeiter:

H. Ernst / E. Dörr
H. Ernst/E. Dörr.

Stuttgart, den 29.3.1941.

FKFS-Nr. 392



1. Stand der Erkenntnisse.

001361

Selbstzündungsvorgänge ergeben sich nicht nur bei der dieselmotorischen Verbrennung, sondern u.U. auch bei der Umsetzung des Kraftstoffes im Ottomotor. Während jedoch beim Dieselbetrieb die Selbstzündung Voraussetzung für den Verbrennungsablauf ist, erscheint die Selbstzündung beim Ottomotor in Form des unerwünschten und störenden Klopfvorgangs. Diese bei beiden Verfahren auftretenden Erscheinungen sind ähnlich.

Die Umsetzung des Kraftstoffs gliedert sich allgemein in die zur Zündung führenden Vorgänge und die restliche Umsetzung des Gemischs. Der Umsetzungsvorgang beginnt schon bei Druck- und Temperaturverhältnissen unterhalb der Entzündungstemperatur [1]. Die Reaktionen laufen dabei bei kleinen Umsetzungsgeschwindigkeiten ab. Die freiwerdenden Wärmemengen können zunächst an die umgebenden Schichten abgeleitet werden und brauchen somit nicht zu einer Entzündung des Gemisches zu führen. Erfolgt jedoch der Umsatz unter Verhältnissen, bei denen der Wärmeverlust der erzeugten Wärmemenge gleich ist, so ist nach van't Hoff die Entzündungstemperatur erreicht. Damit kann eine fortschreitende Selbsterwärmung des Gemisches eintreten, die ihrerseits wieder zu beschleunigter Umsetzung führt. An örtlich überhitzten Stellen kann schliesslich Explosion einsetzen (Wärmeexplosion). Von diesen Zündstellen breitet sich eine Verbrennungsfront hoher Temperatur mit grosser Brenngeschwindigkeit und Umsetzungsbeschleunigung aus.

Neben dieser Wärmeexplosion kann bei der Reaktion von Kohlenwasserstoffverbindungen immer eine sogenannte Kettenreaktion mit Kettenverzweigung nachgewiesen werden, d.h. ein Freiwerden aktiver Atome und Radikale, die ihrerseits wieder weiter reagieren und damit den Umsetzungsprozess beschleunigen. Von wenigen aktiven Ausgangsstoffen

Ernst/Dörr Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr.1063



001362

kann damit ein sehr grosser Umsatz bewältigt werden. Reine Kettenreaktionen treten ebenso wie reine Wärmeexplosionen selten auf. Die in Bombenversuchen und auch im Motorbetrieb nachgewiesenen sogenannten "kalten Flammen" werden als reine Kettenreaktionen gewertet.

Bei den motorischen Verbrennungsvorgängen ist die Wärmeexplosion immer mit Kettenreaktionen verbunden.

Die Selbstzündung im Ottomotor ist auf andere Ursachen zurückzuführen als die bei der Dieselerbrennung. Der Kraftstoff im verdichteten Kraftstoffluftgemisch ist vor der durch einen Zündfunken erfolgenden Entzündung praktisch verdampft. Von der Zündstelle breitet sich die Verbrennungsfront mit verhältnismässig geringer Geschwindigkeit aus. Dabei steigt im unverbrannten Teil der Ladung die Temperatur als Folge der durch die Verbrennung hervorgerufenen Druckerhöhung, wobei das Restgemisch eine sehr lebhaft oxydation erfährt. Geht diese Oxydation in Selbstzündung über, bevor die von der Zündstelle ausgehende Verbrennungsfront den Restteil der Ladung durchheilt hat, so brennt der Restteil praktisch gleichzeitig ab und erreicht örtlich hohe Drücke und Temperaturen.

Als Folge dieser Druckanstiegigkeiten entsteht eine Stosswelle, die mit Geschwindigkeiten über der Schallgeschwindigkeit den Verbrennungsraum durchheilt, verbunden mit dem als Klopfen bezeichneten Geräusch. Voraussetzung für das Zustandekommen des Klopf- bzw. Selbstzündungsvorganges ist also eine Vorreaktion im unverbrannten Restteil der Ladung.

Da bei der Dieselumsetzung der Kraftstoff in die verdichtete Luft eingespritzt wird, überlagern sich hier Zerstäubung, Verdampfung und Umsetzung des Kraftstoffes, wodurch für diese Selbstzündung ein verwickelter chemisch-physikalischer Vorgang entsteht. Die Verdampfung des Kraftstoffstrahls setzt bei den früh eingespritzten Randteil-

Ernst/Dörr	Tag: 29.3.41	Erstellt für	Erstellt durch	A.Nr. 1063
------------	--------------	--------------	----------------	------------



001363

chen ein, da hier die kleinste Tropfengeschwindigkeit und der kleinste Tropfendurchmesser vorhanden sind. Diese verdampften Teilchen werden zuerst aktiv und leiten durch Zusammenstoß mit den Sauerstoffmolekülen der Luft den chemischen Umsatz ein; dann verbrennt mit sehr kurzer Zündzeit der bis dahin eingespritzte Kraftstoff, worauf der restliche in der Einspritzung befindliche Kraftstoff entsprechend der Einspritzgesetzmässigkeit vollends ab-
brennt.

Auch beim Dieselmotor kann Klopfen einsetzen und zwar dadurch, dass der Kraftstoff einen zu grossen Zündverzögerung besitzt. Dann ist beim Beginn der Entzündung schon so viel Kraftstoff eingespritzt, dass das plötzliche Abbrennen dieser verhältnismässig grossen Kraftstoffmengen zu sehr steilem Druckerhöhung und damit zum Klopfen führt.

Beim Ottomotor liegt somit die Ursache der Selbstzündung (Klopfen) in einer zu grossen Zündwilligkeit (zu rasches Abbrennen des Ladungsrestes), beim Dieselmotor dagegen in einer zu geringen Zündwilligkeit des Kraftstoffes. Aus diesem Grunde verwendet man auch zur Verringerung der Klopfneigung eines Ottokraftstoffes Zusätze, die infolge ihrer kettenabbrechenden Wirkung die Zündwilligkeit des Kraftstoffes herabsetzen.

2. Voraussetzungen für Selbstzündung bei Gemischverdichtung.

Die zu erwartenden Umsetzungsvorgänge bei Selbstzündung mit Gemischverdichtung lassen sich in ihrer Gesamtheit weder mit der üblichen Diesel-, noch mit der Ottoverbrennung vergleichen.

Mit dem Ottoverfahren ist die Gemischaufbereitung gemeinsam. Beim Ottomotor wird aber die Verbrennung durch einen Zündfunken eingeleitet. Die Flamme breitet sich von der Zündstelle nicht infolge einer selbsttätigen Reaktion

Ernst/Dörr	Tag: 29.3.41	Ersetzt für	Ersetzt durch	A.Nr. 1063
------------	--------------	-------------	---------------	------------



001364

des Gemisches, sondern infolge der durch das Fortschreiten einer dünnen Flammenfront gegebenen chemischen Umsetzung aus. Erst wenn Selbstzündung des unverbrannten Restgemisches (Klopfen) eintritt, sind ähnliche Verhältnisse vorhanden, wie sie für das Selbstzündungsverfahren in Frage kommen.

Das Restgemisch brennt im Ottomotor bei Selbstzündung praktisch gleichzeitig ab. Da bei gemischverdichtender Selbstzündung für das ganze Gemisch die Voraussetzungen gegeben sein müssen, die für eine plötzliche Verbrennung erforderlich sind, sind hierbei eine ähnlich rasche Umsetzung des Gemisches und damit auch Klopferscheinungen zu erwarten.

Der Vergleich mit der Dieselverbrennung führt zu ähnlichen Schlussfolgerungen. Nimmt man an, der eingespritzte Kraftstoff habe im Dieselmotor einen grösseren Zündverzug als der Einspritz- und Verdampfungszeit des gesamten Strahls entspricht, so dass also vor der Entzündung der gesamte Kraftstoff diffundiert und verdampft ist, so liegen ähnliche Verhältnisse vor, wie bei der gemischverdichtenden Selbstzündung. Für einen so grossen Zündverzug ergeben sich aber nach den allgemeinen Erfahrungen im Dieselmotor infolge der plötzlich verbrennenden grossen Kraftstoffmenge sehr harter Gang, starker Druckanstieg und dabei heftige Klopferscheinungen.

Sowohl der Vergleich mit der Otto-, als auch mit der Dieselverbrennung lässt somit klopfende Verbrennung bei gemischverdichtender Selbstzündung erwarten.

Wenn auch eine restlose Beseitigung des Klopfbetriebs bei Selbstzündung zunächst nicht möglich erscheint, so ist doch bekannt, dass hohe Brenn- und Reaktionsgeschwindigkeiten Voraussetzung für Klopferscheinungen sind. Eine Herabsetzung dieser Geschwindigkeiten müsste somit auch zu einer Verringerung des Klopfens führen.

Arbeiter: Ernst/Dörr	Tag: 29.3.41	Ersatz für	Ersatz durch	A.Nr. 1063
----------------------	--------------	------------	--------------	------------



3. Durchführung der Versuche.

001365

Zur Klärung der Selbstzündungsverhältnisse wurden praktische Versuche an zwei Motoren von 200 und 700 cm³ Hubraum durchgeführt:

Der 200 cm³-Motor war ein luftgekühlter Einzylindermotor und wurde üblicherweise als Ottomotor im Viertakt betrieben. Der Verbrennungsraum war halbkugelig mit hängenden Ventilen.

Der 700 cm³-Motor war ein wassergekühlter Einzylindermotor, der mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis als Dieselmotor verwendbar ebenfalls im Viertakt arbeitete mit seitlich stehenden Ventilen.

Mit diesen beiden Motoren konnten die Einflüsse der Kopfform, der Drehzahl, der Zylindergrösse und der Art der Motorkühlung untersucht und verglichen werden. Dabei wurden das Betriebsverhalten, die Leistungs- und Verbrauchswerte, der Druckverlauf und der Einfluss der Gemischzusammensetzung bei Selbstzündung untersucht. Die Art der Durchführung der Versuche war die übliche mit den gebräuchlichen Hilfseinrichtungen.

Die bei den späteren Untersuchungen hauptsächlich verwendeten Kraftstoffe haben folgende Kennwerte (Zahlentafel 1).

Zahlentafel 1 - Kennwerte der verwendeten Kraftstoffe

Kraftstoff	Siedekennzahl	Cetan- zahl	Oktan- zahl	Wichte
Primärbenzin	73	34	50,5	0,666
RCH-Diesel- Kraftstoff	240,5	78	(-80)	0,766
Mischung: 60 RT Primär- benzin 40 RT RCH-Diesel- kraftstoff	129	49	~+5	0,708

Erstellt von: Ernst/Dürr	Tag: 29.3.41	Ersetzt für	Ersetzt durch	A.Nr. 1063
-----------------------------	-----------------	-------------	---------------	------------



001366

4. Ergebnisse der Untersuchungen.

a) Schaffung eines Selbstzündungsbetriebs.

Der 200 cm³-Motor wurde bei seiner üblichen Verdichtung von 6,3 mit Kerzenzündung warm gefahren. Mit Leunabenzin und 3% Aethylnitrat als Kraftstoff konnte die Zündung bei einer Temperatur am Zündkerzensitz von rund 230° abgeschaltet werden und der Motor mit der gleichen Leistung von 4,5 PS bei Verbräuchen von 400 g/PSH weiter betrieben werden. Der Betrieb war klopfrei, doch war der Motor nur in einem sehr kleinen Belastungs- und Drehzahlbereich betriebsfähig. Die Motor Temperatur erhöhte sich dabei teilweise bis zum Glühen des Kerzensitzes, so dass mit grosser Wahrscheinlichkeit Glühzündung vorhanden war.

Bei höheren Verdichtungen (7,7 und 10,2) war ebenfalls nur bei Zusatz von Aethylnitrat Selbstzündung zu erreichen. Die Temperatur, bei der die Kerze abgeschaltet werden konnte, wurde dabei nach kürzerer Laufzeit erreicht. Vor und nach dem Ausschalten der Zündkerze lief der Motor klopfend. Er erreichte ebenfalls hohe Temperaturen und musste mit einem Gebläse stark gekühlt werden. Die Verbräuche lagen im Mittel mit 400 bis 500 g/PSH verhältnismässig hoch, während die Leistung wenig unterhalb der Leistung mit dem gleichen Kraftstoff im Ottobetrieb lag. Immerhin war aber der Motor regelbar und sprach auf einen Drehzahlbereich von 2500 bis 5000 U/min an. Wurde die Drossel noch weiter geöffnet, so stellte sich ein sehr hartes Klopfen ein, das den Motor innerhalb weniger Sekunden über die höchstzulässigen Temperaturen erhitzte. In einem solchen Bereich konnte trotz stärkster Kühlung nicht gefahren werden.

Der Betrieb ergab somit die kennzeichnenden Merkmale eines wesentlich gesteigerten Ottoklopfbetriebs. Beim Ausbau der Kolben nach mehrstündigem Betrieb zeigten sich die bekannten Klopfanfressungen mit z.T. fingerstarken

Erstellt von: Ernst/Dörr	Tag: 29.3.41	Ersatz für	Ersetzt durch	A.Nr. 1063
--------------------------	--------------	------------	---------------	------------



001367

Aushöhlungen am Kolbenboden, Bild 1. Ausserdem könnten häufig Ringbrüche und Lagerbeschädigungen festgestellt werden. Durch entsprechende Behandlung der Kolbenoberflächen und Einbau von Soncerringen wurde zunächst versucht, diesen Schwierigkeiten entgegenzuwirken. Die Versuche erbrachten aber keine wesentliche Verbesserung.

b) Versuche zur Anpassung des Kraftstoffs an die Selbstzündung.

Die in der Synthese anfallenden Kraftstoffe von verhältnismässig niedriger Oktanzahl, mit höherer Zündwilligkeit als der Ottokraftstoff und niedriger Siedekennzahl sind weder für den Otto- noch für den Dieselmotor geeignet. Diese Kraftstoffe schienen aber gerade infolge dieser Eigenschaften zur Verwendung im vorgesehenen Selbstzündungsbetrieb besonders geeignet, da einerseits die niedrige Siedekennzahl eine leichte Zerstäubung und Verdampfung gewährleistet, andererseits eine gute Zündwilligkeit für Selbstzündung erwünscht ist.

Die in Frage kommenden Kraftstoffe (Zahlentafel 1), wurden durch Erprobung im Motorbetrieb auf ihre Selbstzündungseignung untersucht⁺).

Zunächst wurde das Verhalten des Primärbenzins ohne jeden Zusatz untersucht. Bei einer Verdichtung von 7,7 konnte auch bei sehr hohen Betriebstemperaturen ein Selbstzündungsbetrieb nicht erzielt werden.

Bei Zusätzen von Aethylnitrat arbeitete der Motor mit Eigenzündung, doch waren verhältnismässig hohe Zumischungen notwendig; bei 5% Aethylnitrat konnte auch bei mittleren Temperaturen gefahren werden. Bei geringeren Zusätzen war dies praktisch nicht möglich.

⁺) Die Kraftstoffe für die Untersuchungen wurden von der Ruhrbenzin A.G., Oberhausen-Holten, kostenlos zur Verfügung gestellt. Das Institut dankt auch an dieser Stelle für das grosse Entgegenkommen.

Befehl:	Ernst/Dörr	Tag:	29.3.41	Ersetzt für	Ersetzt durch	A.Nr. 1063
---------	------------	------	---------	-------------	---------------	------------



001368

Offenbar war die Verdichtung 7,7 zu niedrig. Bei Erhöhung der Verdichtung auf 10,2 war ohne jeden Zusatz ein Betrieb möglich, allerdings nur bei hohen Betriebstemperaturen, so dass auch hier Aethylnitratzusätze zur Verwendung kamen. Die Zusätze konnten entsprechend geringer gehalten werden. Mit 0,5 bis 2% Zusatz liess sich ein Selbstzündungsbetrieb ohne weiteres durchführen.

Geringe Zusätze von Dieselöl brachten keine Verbesserung. Weitere Untersuchungen mit verschiedenen Mischungen können hier übergangen werden, da keinerlei Verbesserungen erzielt wurden. Die bisherigen Ergebnisse liessen vermuten, dass die Ursache des ungünstigen Betriebsverhaltens in der zu geringen Zündwilligkeit des Primärbenzins zu suchen ist.

Für die weiteren Versuche gelangten daher Gemische von Primärbenzin mit RCH-Dieselmkraftstoff, einem zündwilligeren höhersiedenden Kraftstoff, zur Verwendung. Die Untersuchungen wurden wieder mit der Verdichtung 7,7 begonnen.

Bei einem Zusatz von 2% Aethylnitrat wurden verschiedene Mischungen Primärbenzin-RCH-Dieselmkraftstoff erprobt. Sie brachten bei geringen Anteilen von RCH-Kraftstoff keine feststellbaren Verbesserungen, doch zeigte sich, dass mit Erhöhung des RCH-Kraftstoffgehalts Selbstzündungsbetrieb leichter erreicht wurde. Bei 40% RCH-Kraftstoffanteilen war der Betrieb gut, so dass bei dieser Mischung der Aethylnitratgehalt auf 0,5% gesenkt werden konnte. Mit weiterer Erhöhung des RCH-Dieselmkraftstoffgehalts (50 bis 80%) wurden die Betriebseigenschaften bei Selbstzündung wieder ungünstiger, infolge der schlechten Verdampfungseigenschaften dieses Dieselmkraftstoffs.

Daraus wurde geschlossen, dass bei Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses auch ohne Aethylnitrat gefahren werden kann. Zuerst wurden bei $\epsilon = 10,2$ wieder Gemische mit niedrigen Anteilen an RCH-Dieselmkraftstoff erprobt.

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersetzt für

Erstellt durch

A Nr.1063



001369

Auch hier zeigte sich erst bei 30 % Anteil von RCH-Dieselmotorkraftstoff ohne Zusatz von Aethylnitrat ein brauchbarer Betrieb; bei 40 % RCH-Dieselmotorkraftstoff ergaben sich günstige Verhältnisse, die auch bei Zusatz von Aethylnitrat nicht verbessert werden konnten.

Wurden die Anteile an RCH-Kraftstoff noch mehr erhöht, so wurden die Betriebseigenschaften wieder ungünstiger. Erwähnenswert ist noch, dass eine weitere Erhöhung der Verdichtung bei diesem Motor auf 11,9 wohl gute Betriebseigenschaften, aber keine genügende Leistung mehr ergibt.

Die günstigsten Selbstzündungsverhältnisse lagen somit bei einer Mischung von 60 % Primärbenzin und 40 % RCH-Kraftstoff. Mit dieser Mischung wurden die weiteren Untersuchungen durchgeführt.

Bei allen bis jetzt untersuchten Mischungen wurde kein klopfreier Betrieb erzielt.

Die weiteren Untersuchungen konnten damit in zwei Richtungen angesetzt werden:

1.) Belassung des Klopfbetriebs und Versuche zur Behebung der Klopf Auswirkungen.

2.) Untersuchung aller in Frage kommenden Massnahmen, um einen klopfreien Selbstzündungsbetrieb zu erzwingen.

In Bild 2 sind die bei der günstigsten Mischung gemessenen Leistungs- und Verbrauchswerte eingezeichnet, ausserdem zum Vergleich die im Ottobetrieb mit Kerzenzündung bei einer Verdichtung von 6,3 sich ergebenden Werte. Die im Selbstzündungsbetrieb ermittelten Leistungen liegen demnach unter den Ottobetriebswerten; der Verbrauch ist mit rd. 370 g/PSh bei 5000 U/min ebenfalls ungünstiger als der Verbrauchswert bei Betrieb mit Kerzenzündung.



001370

c) Verringerung der Klopfneigung.

Obwohl nach den heutigen Erkenntnissen nicht damit zu rechnen war, dass sich eine Kraftstoffmischung finden liesse, die kloppfreien Selbstzündungsbetrieb ergibt, wurde doch bei den Untersuchungen immer wieder versucht, durch Wahl verschiedenster Mischungen und Veränderungen am Verbrennungsraum, Erfassung der Temperatur- und Verdichtungs-einflüsse möglichst kloppfrei zu fahren oder das Klopfen zu verringern.

Der für Selbstzündung besonders geeigneten Mischung aus 60 R.T. Primärbenzin und 40 R.T. RCH-Diesekraftstoff wurden geringe Zusätze von Eisenkarbonyl als Klopfbremse beigegeben und diese Zusätze dann erhöht. Dabei zeigte sich, dass bei Zusätzen bis zu 0,25% Eisenkarbonyl ein Selbstzündungsbetrieb noch möglich war, bei dem aber immer noch hartes Klopfen auftrat. Bei 0,5% Eisenkarbonyl liess das Klopfen nach, doch war damit bereits die Selbstzündungsgrenze erreicht. Für noch grössere Zusätze von Eisenkarbonyl war Selbstzündung nicht mehr möglich. Die Grenze der Zündwilligkeit war unterschritten.

Das gleiche Ergebnis erhielt man auch bei anderen Mischungen, z.B. bei einer Mischung Aethylnitrat-Primärbenzin. Auch hier war bei Zumischung von 0,5% Eisenkarbonyl kein Betrieb möglich. Wird der Gehalt an Eisenkarbonyl verringert, so tritt in dem Augenblick Klopfen auf, in dem wieder Selbstzündung möglich ist. Die Versuche, von der Kraftstoffseite her das Klopfen zu unterbinden, wurden damit abgebrochen.

Schliesslich wurden noch einfache Veränderungen am Verbrennungsraum vorgenommen mit dem Ziel, durch Zerklüftung des Verbrennungsraumes die Klopfneigung zu verringern.

Im Kolbenboden wurde eine Aussparung ausgefräst und am Zylinderkopf ein Stift, der als glühende Zündstelle dienen sollte, in den Verbrennungsraum eingeschraubt mit der Absicht, auf diese Weise eine Verlangsamung des Ab-

Verf.: Ernst/Dörr	Tag: 29.3.41	Erstellt für	Erstellt durch	A.Nr. 1063
-------------------	--------------	--------------	----------------	------------



001371

brennens zu erreichen. Irgendwelche nennenswerten Verbesserungen wurden dabei nicht erzielt.

d) Einfluss der Gemischzusammensetzung.

Eingangs wurde festgestellt, dass die Ursache des Klopfens in der plötzlichen Umsetzung des Kraftstoffluftgemisches zu suchen ist. Versucht man, durch Klopfbremsen die Umsetzung des Gemisches zu verlangsamen, so führt dies zu einer Verringerung der Zündneigung ohne Beseitigung der Klopferscheinungen. Daraus ergibt sich, dass die Zündneigung als solche nicht verschlechtert werden darf, wenn mit Selbstzündung gefahren werden soll. Weitere Versuche wurden daher nur noch mit zündwilligen Kraftstoffen durchgeführt.

Die Untersuchungen über das Klopfen führten zu der Erkenntnis, dass Klopfen mit entsprechend erhöhter Umsetzungsgeschwindigkeit vor sich geht. Eine Verringerung der Umsetzungsgeschwindigkeit muss also zwangsläufig zu einer Verminderung des Klopfens führen. Damit bestand eine weitere Möglichkeit darin, bei Belassung einer Kraftstoffmischung mit guten Zündeigenschaften zu versuchen, die Verbrennungsgeschwindigkeit zu verringern. Bekanntlich wird die Umsetzungsgeschwindigkeit wesentlich von der Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches beeinflusst. Als nächster Schritt wurde daher bei gemischverdichtender Selbstzündung mit dem obigen Kraftstoffgemisch der Einfluss der Kraftstoff-Luft-Gemischzusammensetzung auf das Klopfverhalten festgestellt.

Die Gemischzusammensetzung ist bei üblichen Vergäsern nur beschränkt veränderlich; zu der für diesen Zweck notwendigen beliebigen Einstellung des Kraftstoff-Luftgemisches für verschiedene Drehzahlen sind sie ungeeignet. Für die Untersuchung des Einflusses des Kraftstoff-Luftgemisches wurde deshalb ein besonderer Vergaser ent-



001372

wickelt, der eine getrennte Regelung des Kraftstoff-Luftgemisches unabhängig vom Betriebszustand des Motors ermöglichte. Der Vergaser wurde zunächst für den seitengesteuerten wassergekühlten 700 cm³-Motor gebaut. Das Mischungsverhältnis wurde durch getrennte Messung der angesaugten Luft mittels Drehkolbengasmeasser und der verbrauchten Kraftstoffmenge mit üblichen Einrichtungen festgestellt. Bei einer Verdichtung von 10 wurde die für Selbstzündung besonders geeignete Mischung aus 60 R.T. Primärbenzin und 40 R.T. RCH-Kraftstoff verwendet.

Im Drehzahlbereich von 800 bis 2400 U/min wurde bei voll geöffneter Drossel der Einfluss des Mischungsverhältnisses auf das Klopfverhalten ermittelt und dabei Leistung und Verbrauch gemessen.

Wie aus Bild 3 zu ersehen ist, konnte der Motor bei Selbstzündung innerhalb eines gewichtsmässigen Mischungsverhältnisses λ von Luft zu Kraftstoff von 6 bis 28 betrieben werden. Dabei zeigten sich folgende beachtenswerten Erscheinungen:

Bei 2200 U/min war unterhalb eines Mischungsverhältnisses von rd. 8 kein Betrieb möglich. In einem Mischungsverhältnis von 8 bis 10 (reiche Einstellung) ergab sich ein praktisch klopfreier Selbstzündungsbetrieb. Bei Verhältniswerten λ zwischen 10 und 25, war die Selbstzündung mit teilweise heftigem Klopfen verbunden. Ein längerer Betrieb war unmöglich, da sich mit dem Klopfen sehr hohe Zylindertemperaturen einstellten, die nach einiger Zeit zum Abstellen des Motors zwangen. Zwischen $\lambda = 25$ und $\lambda = 28$ (arme Einstellung) stellte sich wiederum klopfreier Betrieb ein. Ueber $\lambda = 28$ war der Motor nicht mehr betriebsfähig. Bei niederen Drehzahlen waren die Ergebnisse ähnlich, z.B. lagen bei 1200 U/min die klopfreien Bereiche zwischen $\lambda = 6$ und $\lambda = 7$ und zwischen $\lambda = 24$ und $\lambda = 27$. In den Uebergängen von klopfreiem zum Klopfbetrieb

bearb.: Ernst/Dörr Tag: 29.3.41	Ersatz für:	ersetzt durch:	A.Nr. 1063
------------------------------------	-------------	----------------	------------



001373

war bei geringer Aenderung des Mischungsverhältnisses sofort ein stärkeres Klopfen festzustellen, der Uebergang war also nicht stetig. In Bild 3 sind oben die bei den Messungen festgestellten Verbrauchszahlen und Leistungen eingetragen. Die Leistungen betragen im klopfreien Gebiet bei reicher Einstellung bei 2200 U/min rd. 8 PS, bei armer Einstellung rd. 7 PS. Dies entspricht einer Hubraumleistung von ungefähr 12 PS/l.

Die Verbrauchszahlen des klopfreien kraftstoffreichen Betriebszustands waren mit 400 bis 900 g/PS_h sehr hoch; die des klopfreien armen Zustandes betragen 190 bis 240 g/PS_h. Diese Werte gelten für den Einzylinder-motor mit seinem verhältnismässig schlechten mechanischen Wirkungsgrad. Die Verbrauchszahlen im Klopfbetrieb lagen zwischen denen bei armer und reichem klopfreiem Betrieb.

Die Zylinderkopftemperaturen am Sitz eines in das Kerzengewinde eingeschraubten Bolzens zwischen Ein- und Auslaßventil waren in den klopfreien Bereichen mit 150°C verhältnismässig niedrig. Die Betriebstemperaturen des Kühlwassers des wassergekühlten Versuchszyinders lagen zwischen 60 und 90°C.

Der klopfreie Selbstzündungsbetrieb bei kraftstoffreicher Mischung kommt infolge seines hohen Verbrauchs wirtschaftlich nicht in Frage, ebensowenig der Klopfbereich wegen seiner ungünstigen Betriebseigenschaften (Abfallen der Leistung nach kurzem Betrieb, Klopfanfresungen); lediglich der klopfreie arme Betrieb erscheint für die Verwirklichung des Selbstzündungsbetriebs günstig. Schwierigkeiten bereitet dabei hauptsächlich noch die grosse Empfindlichkeit der klopfreien Selbstzündung auf das Mischungsverhältnis.

e) Versuche zur Verbreiterung des Gebiets der klopfreien Selbstzündung.

Die Ursache der Klopfreiheit im Selbstzündungsbe-



001374

trieb liegt nicht in einer Verringerung der Zündwilligkeit, sondern lediglich in einer Verringerung der Verbrennungsgeschwindigkeit. Eine praktische Anwendung des kloppfreien Selbstzündungsmotors verlangt eine Verbreiterung des kloppfreien Bereichs, daneben aber die Entwicklung eines genau arbeitenden Regelgeräts zur Einstellung der erforderlichen Gemischzusammensetzung.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeiten wurde versucht, von der Motorseite her den kloppfreien Bereich zu verbreitern. Zur Beeinflussung des Verbrennungsablaufs wurde in den seitengesteuerten Motor eine Beikammer aus hitzebeständigem Werkstoff eingesetzt, Bild 4. Diese erste Beikammer hatte einen Inhalt von 6 cm^3 und wurde mit verschiedenen Mündungsquerschnitten erprobt, ebenso eine zweite Kammer mit 12 cm^3 Inhalt.

Die erste Beikammer mit einem Mündungsdurchmesser von 6 mm brachte zunächst keine sichtbare Verbesserung. Erst nach Erweiterung des Mündungsdurchmessers auf 12 mm war eine gewisse Verbreiterung des kloppfreien armen Bereichs festzustellen. Die zweite Beikammer zeigte schliesslich mit einem Mündungsdurchmesser von 12 mm die besten Ergebnisse. Mit dieser Beikammer war ein mehrstündiger Dauerlauf zu erreichen, ohne dass die Gemischeinstellung nachgestellt werden musste; doch blieb auch hier der kloppfreie arme Mischungsbereich noch klein. Grundsätzlich wurde aber eine Verbesserung gegenüber dem Betrieb ohne Beikammer festgestellt, da ohne Beikammer der Betrieb dauernd überwacht und der Vergaser nachgestellt werden musste, während dies bei Anordnung der Beikammer nicht nötig war.

Bei der Schaffung eines betriebsfähigen Motors wäre eine weitere Verbreiterung dieses Bereichs eine wesentliche Erleichterung. Dies soll späteren Untersuchungen vorbehalten sein.



001375

f) Betriebsverhalten bei klopfreier Selbstzündung.
700 cm³-Motor, seitengesteuert, wassergekühlt.

Die beim Anlassen des Motors sich ergebenden besonderen Verhältnisse sind später besprochen. Für den Prüfstandsbetrieb wurde der Motor mit Kerzenzündung hochgefahren, in den klopfreien armen Bereich eingestellt und sofort die Zündung ausgeschaltet; der Motor lief dann ohne Klopfen weiter. Im kalten Zustand des Motors liess sich klopfreier Selbstzündungsbetrieb bei sehr niederen Drehzahlen nur schwer halten. War der Motor betriebswarm, so konnte im ganzen Drehzahlbereich des Motors klopfrei gefahren werden. Wesentliche Veränderungen in der Betriebswärme, ebenso grosse Drehzahlunterschiede erforderten eine entsprechende Nachregelung der Gemischeinstellung.

Die Zylinderkopftemperaturen blieben bei diesem wassergekühlten Motor auch bei längerem Betrieb gleich.

Im Klopfbetrieb war, wie schon erwähnt, die günstigste Verdichtung 10. Für den klopfreien Bereich ergaben sich praktisch die gleichen Verhältnisse. Auch hier war bei Verkleinerung des Verdichtungsverhältnisses auf 8 die Selbstzündungsgrenze erreicht. Bei Erhöhung der Verdichtung war ein Abfallen der Leistung festzustellen, obwohl die Selbstzündungsneigung grösser wurde, was hier auf die Eigenart des Motors zurückgeführt werden kann (seitengesteuerte Ventile).

Bild 5 zeigt die bei klopfreiem Selbstzündungsbetrieb und voll geöffneter Drossel sich ergebenden Leistungs- und Verbrauchswerte. Die Leistung von 7 PS bei 2200 U/min entspricht einer Hubraumleistung von 10 PS/l. Der Verbrauch mit 200 g/PS_h über fast dem ganzen Drehzahlbereich ist für einen Einzylindermotor als günstig zu bezeichnen. Die Werte liegen ungefähr bei den üblichen Dieselwerten. Der Leerlauf war bis auf Drehzahlen von 300 U/min herab klopfest einstellbar und gleichmässig, allerdings war eine



001376

gewisse Mindest-Betriebstemperatur dazu erforderlich.

Irgendwelche Anfressungen, Erosionen oder dergl. am Kolbenboden oder an den Wänden des Brennraums wurden auch nach langen Betriebszeiten (über 100 Stunden) bei klopfreiem Betrieb nicht festgestellt.

200 cm³-Motor, obengesteuert, luftgekühlt.

Der 200 cm³-Motor konnte ebenso wie der 700 cm³-Motor klopfrei im armen Bereich gefahren werden. Der Betrieb verlangte verhältnismässig hohe Zylinderkopftemperaturen von etwa 220°C am Zündkerzensitz. Der luftgekühlte Motor durfte zur Vermeidung zu starker Abkühlung nur mit Unterbrechungen angeblasen werden.

Nach den bis jetzt vorliegenden Ergebnissen, Bild 6, erreicht der Motor bei 4300 U/min bereits seine Höchstdrehzahl (5000 U/min beim Ottobetrieb); unterhalb 2500 U/min konnte er nicht mehr klopfrei gefahren werden. Die Ursache dieser Erscheinung wurde noch nicht restlos geklärt, sie hängt wahrscheinlich mit der starken Abmagerung des Gemisches zusammen. Die bis jetzt gewonnenen Leistungs- und Verbrauchswerte sind in Bild 6 dargestellt. Aus der Leistungsschaulinie sind ebenfalls die vorläufigen Betriebsgrenzen ersichtlich. Die Höchstleistung beträgt 2,5 PS bei 3700 U/min (Hubraumleistung 12,5 PS/l), der Verbrauch 190 bis 200 g/PS_h im günstigsten Bereich. Er ist wie beim seitengesteuerten Motor, für einen Einzylinder-Motor gering.

g) Anfahrversuche.

Kaltstart bei Selbstzündung kann durch folgende Mittel erreicht werden:

- 1.) Erwärmung des Ansauggemisches oder Erhöhung der Verdichtung.



001377

- 2.) Steigerung der Zündwilligkeit des Kraftstoffes z.B. durch Zusatz von Aethylnitrat beim Anfahren.
Daneben bestehen noch die Hilfsmittel.
- 3.) Anfahren mit Kerzenzündung.
- 4.) Anfahren mit Glühkerzen.

Am untengesteuerten Motor (700 cm³) konnte die Verdichtung bis zu $\epsilon = 17$ gesteigert werden. Bei allmählicher Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses wurden am kalten Motor (+15°C) Startversuche durchgeführt. Diese ergaben für das erprobte Mischungsverhältnis von 60 RT. Primärbenzin und 40 RT. RCM-Kraftstoff einen Kaltstart von einer Verdichtung von 16,5 an. Unterhalb dieses Verdichtungsverhältnisses war der Kaltstart unmöglich. Vorwärmung des Ansauggemisches wurde nicht untersucht. Dagegen konnten beide Motoren in gut warm gefahrenem Zustand bei einer Verdichtung von 10 ohne Zündung angefahren werden.

Die Steigerung der Zündwilligkeit kann durch Zusatz von Aethylnitrat zu dem üblichen Gemisch erreicht werden. Zugaben unter 5% verlangten noch eine Temperatur des Zylinders von 25 bis 30°C, während Zusätze von 5 bis 10% einen Kaltstart ermöglichten.

Der Kaltstart mit Kerzenzündung wurde bei den Versuchen in der Regel angewendet.

Soll auf eine Zündanlage verzichtet werden, so kann - ähnlich wie beim Dieselbetrieb - mittels Glühkerzen angefahren werden. Die Kaltstartversuche mit Glühkerzen gelangen ohne weiteres. Lediglich ein Zurückschlagen der Flammen in den Ansaugkanal war bisweilen festzustellen. Demnach ist das einfachste Mittel der Zusatz von 5 bis 10% Aethylnitrat beim Anlassen. Weitere chemische Mittel dürften entwicklungsfähig sein.



001378

h) Untersuchung des Druckverlaufs und der
Strahlung.

Die heute zur Verfügung stehenden Messgeräte lassen
wesentliche Schlüsse auf den Zündvorgang, den Druckan-
stieg und den weiteren Druckverlauf sowie auf die Strah-
lung im Verbrennungsraum zu.

Der Druckverlauf wurde durch Quarzgeber über Ver-
stärker mittels Schleifenoszillograph bzw. Braunscher
Röhre aufgenommen. Zur Aufnahme der Strahlung wurde am
Verbrennungsraum durch ein Quarzfenster eine Photozelle
angesetzt, mit der die Ausstrahlung, damit auch das erste
aufleuchten der brennenden Gase, mit den anderen Verbren-
nungsvorgängen aufgenommen wurde.

200 cm³-Motor, obengesteuert.

An diesem Motor konnten nur Druckaufnahmen durch-
geführt werden. Der über dem Kurbelwinkel aufgezeichnete
Druckverlauf bei Selbstzündung ist für klopfenden Zu-
stand bei einer Verdichtung von 10,2 aus Bild 7 zu er-
sehen. Kennzeichnend für diesen klopfenden Betriebszu-
stand ist der plötzliche, praktisch senkrechte Druckan-
stieg mit hoher Druckspitze beim Einsetzen der Zündung.
Dies lässt auf ein gleichzeitiges Abbrennen der ganzen
Gemischmenge schliessen,

Einige ⁰KV vor dem Einsetzen des Drucksprungs ist
im Diagramm eine kleine Druckstufe festzustellen, die eine
Vorreaktion im unverbrannten Gemisch vermuten lässt.

Die Aufnahme zeigt ähnliche Merkmale wie Druckauf-
zeichnungen bei klopfendem Ottobetrieb.

Aus Bild 7 bis 10 ist ersichtlich, dass mit späte-
rem Druckeinsatz das Klopfen abnimmt und zuletzt ganz
ausbleibt.



001379

700 cm³-Motor, seitengesteuert.

Am seitengesteuerten Motor wurden neben dem Druckverlauf die Strahlung und der obere Totpunkt aufgenommen. (2000 U/min, $\lambda = 10$, Vollast).

Eine Aufnahme klopfenden Betriebs zeigt Bild 11. Bei der Kurbelstellung 8° v.o.T. beginnt der Druck im Verbrennungsraum steil anzusteigen mit einem höchsten Druckanstieg von rd. 9 at/ $^\circ$ KW und erreicht bei $2,5^\circ$ KW v.o.T. den Höchstdruck von 72 atü. Zwischen etwa $2,5^\circ$ v.o.T. und 9° n.o.T. ist praktisch Gleichdruck vorhanden.

Das Aufleuchten der Flamme im Verbrennungsraum setzt gleichzeitig mit dem steilen Druckanstieg bei 8° v.o.T. ein.

Klopfender Betrieb ergab immer ein helles weisses Licht im Verbrennungsraum, so dass die Aufzeichnung dieser Strahlung leicht durchzuführen war.

Im klopfreifen Bereich bei armer Gemischeinstellung und niedrigem spezifischem Verbrauch, Bild 12, war der Beginn des Druckanstiegs etwas später (9° KW n.o.T) mit ziemlich weichem Uebergang und wesentlich flacherem Druckanstieg (rd. 2,5 at/ $^\circ$ KW). Der Höchstdruck bei 17° KW n.o.T. betrug nur noch rd. 50 atü.

Besonders schwierig war, wie das Bild zeigt, die Aufnahme der Strahlung im klopfreifen Betrieb. Während sich, wie erwähnt, bei Klopfbetrieb eine helle weisse Flamme zeigte, war die Flamme im klopfreifen Bereich mattblau und ergab auch bei grosser Verstärkung des Photozellenstroms zunächst keinen Ausschlag im Aufnahmegerät. Nachdem versucht worden war, durch besondere Zusätze die Leuchtkraft der Flamme zu verstärken und durch Wahl der richtigen Photozelle im festgestellten Spektralbereich zu arbeiten, was jedoch nicht zum Ziel führte, wurde der lichte Durchmesser des Fensters wesentlich vergrössert. Damit gelang schliesslich die Aufnahme der Strahlung. Im klopfreifen kraftstoffarmen Bereich setzt

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41
Tag:

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001380

nach diesen Messungen die Strahlung ebenfalls gleichzei-
tig mit dem Beginn des steilen Druckanstiegs ein und zwar
zwischen 6 und 9° KW n.o.T.

Im klopfreien kraftstoffreichen Betrieb (Bild 13)
setzt der steile Druckanstieg erst bei 22° KW n.o.T., also
verhältnismässig spät ein. Zu gleicher Zeit beginnt auch
die Strahlung im Verbrennungsraum.

Die Druckspitze mit rd. 35 atü liegt bei 30° KW n.
o.T. Bemerkenswert ist ferner eine Vorreaktion vor dem
steilen Druckeinsatz.

Die Flammenfarbe war ebenfalls wie beim klopfreien
armen Betrieb dunkelblau. Der Druckverlauf bei klopfreiem
kraftstoffarmem und klopfreiem kraftstoffreichem Zustand
ist, wie Bild 12 und 13 zeigen, ähnlich.

5.) Beurteilung der Ergebnisse.

a) Glüh-, Restgas- und Selbstzündung.

Bei den eingangs behandelten Messungen kam es ledig-
lich darauf an, überhaupt einmal bei Gemischverdichtung
eine Zündung ohne Zündfunken zu erzielen. Dabei bestand
durchaus die Möglichkeit einer sogenannten Glühzündung.
Unter Glühzündung ist zu verstehen, dass bestimmte Motor-
teile, z.B. die Zündkerzenelektroden, während des Ver-
dichtungsraus noch eine so hohe Temperatur besitzen, dass
von dieser Stelle die Zündung ausgeht. Die ersten Versuche
zur Erzielung einer Selbstzündung mussten bei so hohen
Temperaturen durchgeführt werden, dass zum Teil ein
Glühen einzelner Motorteile beobachtet wurde. In solchen
Fällen ist Glühzündung ähnlich den Verhältnissen bei
Glühkopfmotoren oder beim Glühröhr-Motor Gottlieb Daimlers
anzunehmen.

Wenn bei dieser ausgesprochenen Glühzündung kein
Klopfen auftrat, so kann das einerseits damit erklärt
werden, dass ähnliche Verhältnisse wie bei Kerzenzündung

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41
Typ:

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001381

vorlagen: Ausbreitung der Flamme von der heissen Stelle aus, die mit bestimmter Geschwindigkeit den Verbrennungsraum durchheilt. Andererseits besteht die Möglichkeit, dass die praktisch gleichzeitige Verbrennung des Gemischs erst verhältnismässig spät nach dem oberen Totpunkt auftritt, wenn der Kolben sich unter Brennraumvergrösserung bereits abwärts bewegt. Die später durchgeführten Druckaufnahmen bestätigen, dass dies grundsätzlich möglich ist.

Eine weitere Erklärung des Nachlassens des Klopfens bei sehr hohen Betriebstemperaturen wurde bereits von Dumanois bzw. Serruys gegeben [2]:

Mit starker Erhöhung der Motortemperatur zerfallen die für plötzliches Abbrennen verantwortlichen kettenbildenden Peroxyde schon vor der eigentlichen Verbrennung. Dumanois erzielte in der Tat mit Steigerung der Motortemperatur zunächst eine Verstärkung des Klopfens, das aber mit noch weiterer Temperaturerhöhung nachliess.

Eine Restgaszündung ist bei Viertaktmotoren wohl nicht anzunehmen und dürfte somit für die geschilderten Untersuchungen ausscheiden.

Die bei den späteren Versuchen festgestellten Betriebszustände können somit als reine Selbstzündung bezeichnet werden. Als Beweis lässt sich anführen, dass bei einer Verdichtung von 16,5 ein Kaltstart möglich war und bei der Verdichtung von 10 im betriebswarmem Zustand ein Anfahren bei Selbstzündung ebenfalls gelang. Bei diesen Zuständen, in denen die Verdichtungsendtemperatur wesentlich über der Wandtemperatur liegt, ist nicht mehr damit zu rechnen, dass die Zündung von heissen Wandstellen ausgeht.

Daraus kann geschlossen werden, dass bei den später hergestellten Betriebszuständen reine Selbstzündung vorliegt, die voraussichtlich nicht von der Wand, sondern von den wärmsten mittleren Gastteilen, die am wenigsten Wärme zur Wand ableiten, ausgeht.



001382

b) Die weiteren Aufgaben.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden motor- und insbesondere kraftstoffseitig die Verhältnisse geklärt, die für eine Selbstzündung bei Gemischverdichtung notwendig sind. Die erwarteten Schwierigkeiten, dass ein zu starkes Klopfen infolge der fast gleichzeitigen Verbrennung sich sehr störend auswirkt, konnten behoben werden, indem es gelang, kloppfreien Selbstzündungsbetrieb über einen grösseren Drehzahl- und Lastbereich herzustellen. Ein Hindernis für die Entwicklung eines betriebsfähigen Selbstzündungsmotors besteht noch hauptsächlich in dem verhältnismässig engen Bereich des Mischungsverhältnisses, in dem ein kloppfreier Betrieb möglich ist. Deshalb ist vor allem eine Verbreiterung dieses kloppfreien Bereichs anzustreben. Darüber hinaus muss ein genau arbeitendes Regelgerät zur Steuerung des richtigen Kraftstoff-Luftgemisches entwickelt werden. Neben diesen Arbeiten sind noch die sich bei Betrieb des Mehrzylindermotors ergebenden Fragen, die Anlassfragen und die zur Schaffung eines zuverlässigen Betriebs allgemein nötigen Arbeiten durchzuführen.

Die bis jetzt geklärten Fragen lassen einen späteren praktischen Betrieb bei Selbstzündung erwarten, wenn es gelingt mit dem zu entwickelnden Regelgerät das jeweils richtige Mischungsverhältnis herzustellen.

Der festgestellte Verbrauch von etwa 200 g/PS_h ist für einen Einzylindermotor als niedrig zu bezeichnen und kommt etwa dem Verbrauch des heutigen Fahrzeug-Dieselmotors gleich. Die gemessenen Hubraumleistungen liegen ebenfalls in der Grössenordnung der Werte des Dieselmotors.

Infolge dieses geringen Verbrauchs und der Möglichkeit einer wirtschaftlicheren motorischen Verwertung von niedersiedenden kloppfreundigen Kraftstoffen erscheint die Entwicklung eines Selbstzündungsmotors auch vom wirtschaft-



001383

lichen Standpunkt aus geraten. Sie wird auch geeignet sein, weitere wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen über den Verbrennungsvorgang zu liefern.

Die noch verhältnismässig geringen Hubraumleistungen lassen sich voraussichtlich durch Anwendung der Aufladung und durch höhere Schnellläufigkeit steigern.

6. Zusammenfassung.

Der vorliegende Bericht behandelt grundlegende Untersuchungen über die mit Gemischverdichtung arbeitende Selbstzündung, die als neues motorisches Arbeitsverfahren in Betracht zu ziehen ist.

An zwei verschiedenen Einzylinder-Motoren von 200 und 700 cm³ Hubraum wurden praktische Versuche bei Selbstzündung durchgeführt.

Bei der Erprobung der für Gemischverdichtungs-Selbstzündung sich eignenden Synthese-Kraftstoffe wurde eine Kraftstoffmischung aus 60 RT niedersiedendem Primärbenzin und 40 RT RCH-Dieselmkraftstoff als günstig festgestellt.

Nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse war zu erwarten, dass bei Gemischverdichtungs-Selbstzündung die Umsetzung des Kraftstoffes im Motor fast gleichzeitig, also unter heftigem Klopfen erfolgt.

Die ersten Versuche an den Motoren ergaben in der Tat klopfenden Betrieb.

Eine Untersuchung über die Möglichkeiten zur Unterbindung des harten Klopfens zeigte, dass durch die Wahl von Kraftstoffen, die weniger zündwillig sind, nur die Selbstzündungsneigung verringert wird, während das Klopfen nicht beseitigt werden kann. Änderungen am Verbrennungsraum (Zerklüftung) brachten ebenfalls keine Verminderung oder Beseitigung des Klopfens.

Versuche mit verschiedenen Zusammensetzungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches ergaben indessen für sehr reiche und sehr arme Gemischzusammensetzungen jeweils einen klopffreien Selbstzündungsbereich, während sich bei den

Ernst/Dörr Tag: 29.3.41

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



001384

üblichen Mischungsverhältnissen neftiges Klopfen einstellte.
Zur Verbreiterung des klopfreien armen Bereichs
wurden Beikammern an den Verbrennungsraum angeschlossen,
die eine Verbesserung brachten.

Die im klopfreien armen Bereich gemessenen Lei-
stungs- und Verbrauchswerte entsprachen ungefähr den beim
Fahrzeugdieselbetrieb vorliegenden Werten.

Im klopfenden Bereich war der Druckanstieg sehr
steil mit einem Höchstdruck von 72 atü, bei klopfreiem
betrieb wurde ein flacher Druckanstieg mit weicherem Ueber-
gang und einem Höchstdruck von 52 atü gemessen.

Im klopfreien Kraftstoffarmen Bereich konnte im
ganzen Drehzahlgebiet unter Last und im Leerlauf gefahren
werden. Die Temperaturen an der vermutlich heissesten
Stelle des Zylinders waren während eines Dauerbetriebs
von mehreren Stunden gleich und mit 150°C verhältnismässig
niedrig. Die günstigsten Verhältnisse wurden bei einer
Verdichtung von 10 erreicht. Auch das Anfahren des kalten
Motors ist möglich.

Als weitere Aufgabe ergibt sich die Entwicklung
eines Regelgeräts, das für die verschiedenen Betriebszu-
stände das für klopfreien Betrieb jeweils richtige Mi-
schungsverhältnis herstellt. Diese Aufgabe wird erleich-
tert, wenn es gelingt, durch Massnahmen am Motor den klopf-
freien Bereich zu verbreitern. Eine Steigerung der Hubraum-
leistung ist von der Anwendung der Ueberladung und von
einer Erhöhung der Schnellläufigkeit zu erwarten.

Schrifttum.

- [1] W. Jost, Explosions- und Verbrennungsvorgänge
in Gasen, Berlin 1939, Julius Springer
- [2] The Science of Petroleum, Bd. 4, S. 3054
C.R. Akad. Sci. Paris Bd. 197 (1933) - S. 224



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTT GART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 1

001385

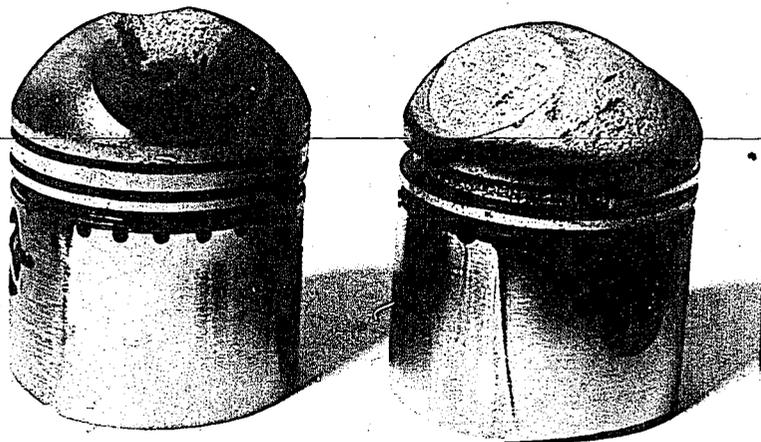


Bild 1 Klopfanswirkungen am Kolben.

Von: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Erzalt für

Erzalt durch

A.Nr. 1063

001386

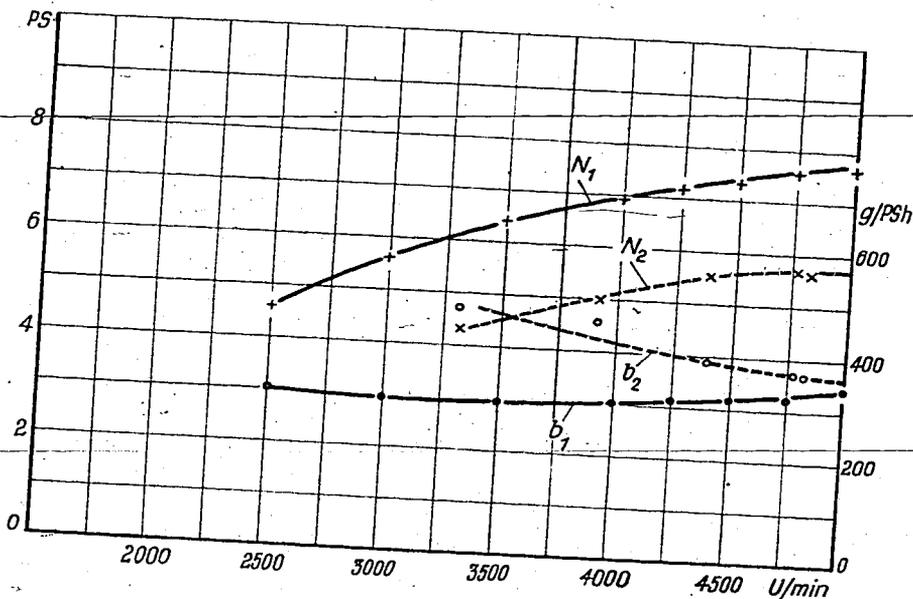


Bild 2 Leistung N und Verbrauch b bei Ottobetrieb (Zeiger 1) und gemischverdichtender Selbstzündung, klopfender Betrieb (Zeiger 2) an 200 cm³-Motor.

- (1) Ottobetrieb üblich, $\epsilon = 6,3$, Kraftstoff Aral
- (2) Klopfende Selbstzündung, $\epsilon = 10,2$, Kraftstoff 60 RT. Primärbenzin + 40 RT. RCH-Dieselmkraftstoff.



001387

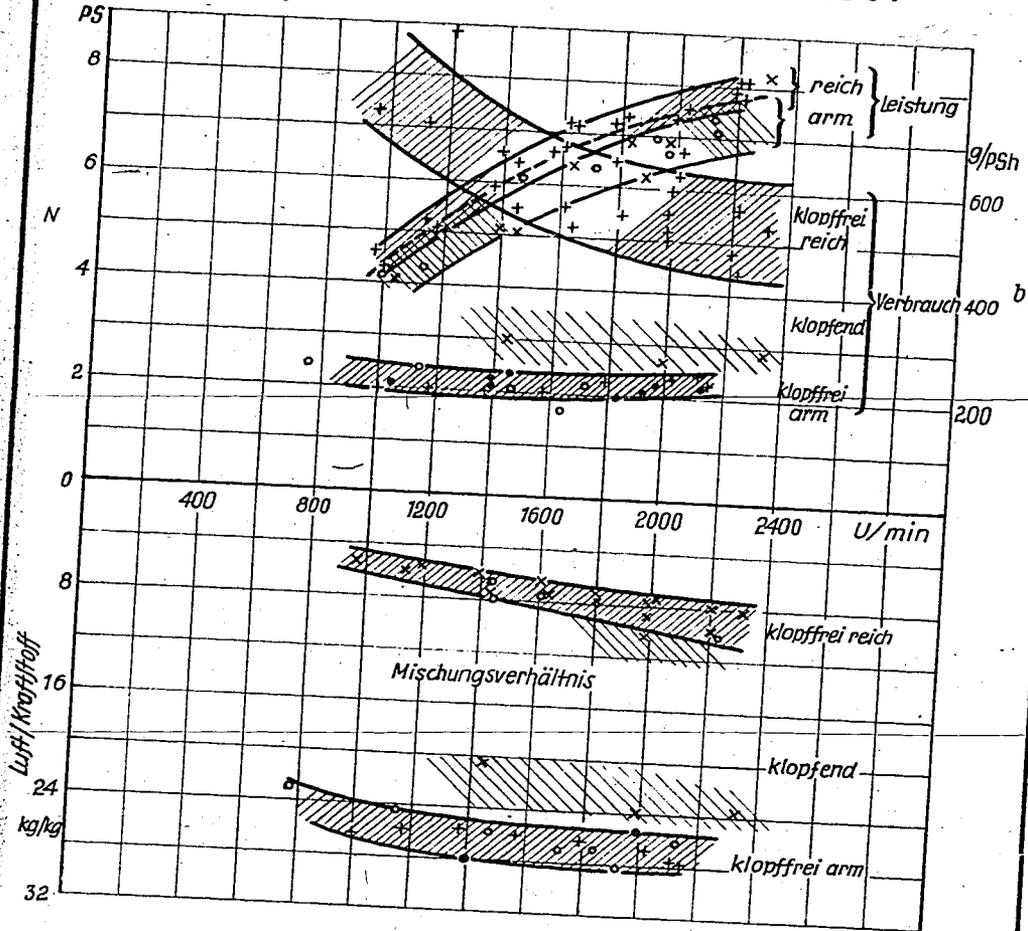


Bild 3 Leistung (PS), Verbrauch (g/PSH) und Mischungsverhältnis bei klopfendem und kloppfreiem Selbstzündungsbetrieb am 700 cm³-Motor, $\epsilon = 10,0$, Kraftstoff 60 RT. Primärbenzin + 40 RT. RCH-Dieselmkraftstoff.



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTT GART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 4

001388

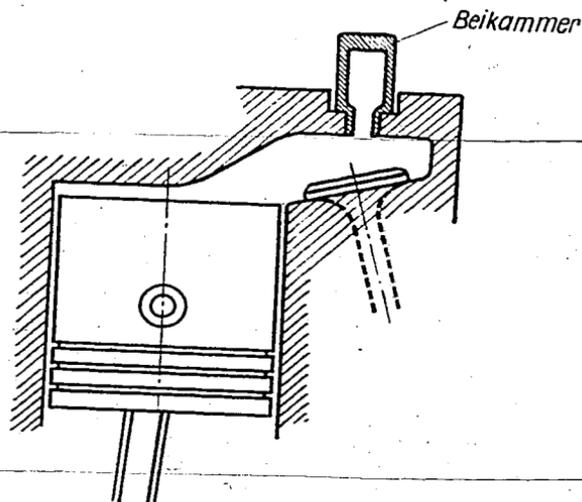


Bild 4 Anordnung der Beikammer .

Befehl: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001389

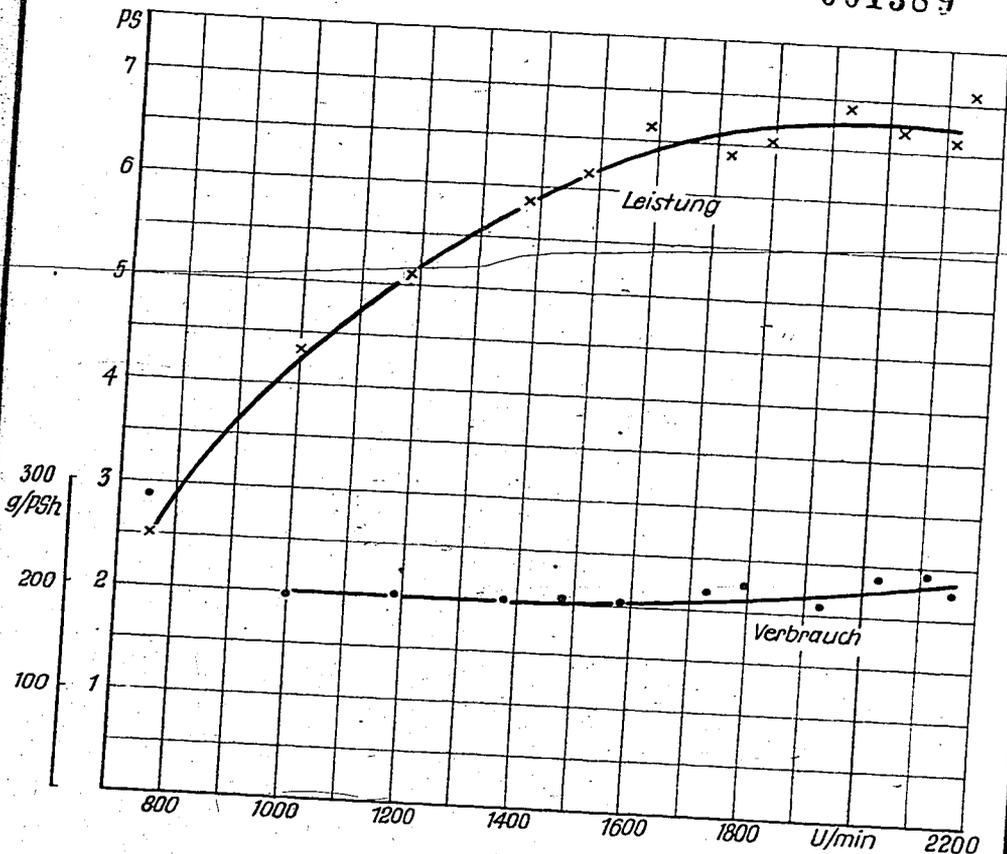


Bild 5 Leistung und Verbrauch am seitengesteuerten
700 cm³-Motor bei klopfreier Selbstzündung
und magerer Gemischeinstellung.

Bearbeiter: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063

Überprüf. Vervollständ. im Original und abschließende Kopie



001390

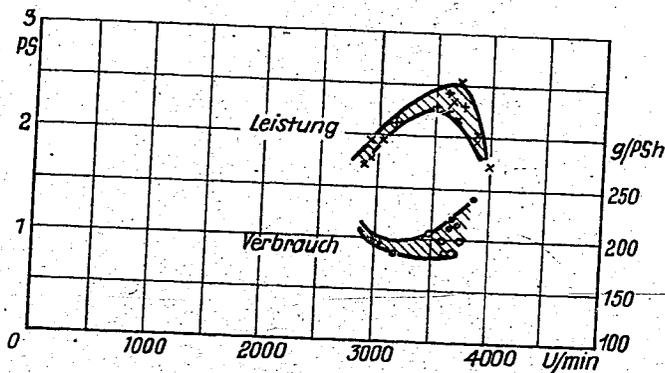


Bild 6 Leistung und Verbrauch an 200 cm³-Motor
bei klopfreier Selbstzündung im mageren
Zustand ($\epsilon = 10,2$, Kraftstoff 60 RT,
Primärbenzin + 40 RT . RCH-Diesekraftstoff).

Bearbeiter: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Erstellt durch

A.Nr. 1063

Unzulässig Verwenden III. Grades und schadenempfindlich



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 7 bis
10

001391

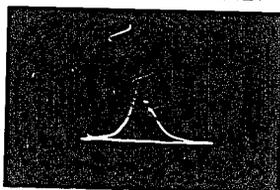


Bild 7 sehr hart klopfend

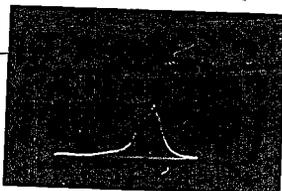


Bild 8 noch klopfend

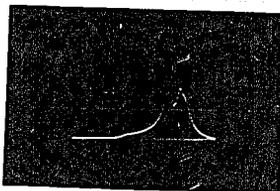


Bild 9 kloppfrei

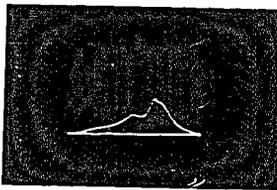


Bild 10 kloppfrei

Bild 7 bis 10 Druckverlauf am 200 cm³-Motor bei
Selbstzündung. Rückgang des Klopfens
mit späterem Druckeinsatz (geringe
Belastung, rd. 3500 U/min).

Bearbeiter: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Erstellt für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063

keine Verwendung ist strober und schadenstypisch



001392

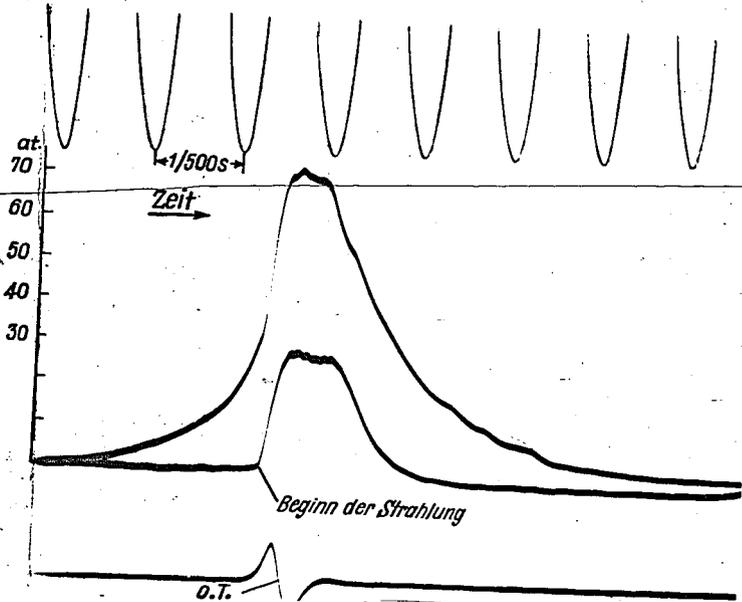


Bild 11 Druck- und Strahlungsaufnahmen bei gemischver-
dichtender Selbstzündung und klopfendem Betrieb
 $\epsilon = 10$, 2000 U/min, Vollast, 700 cm³-Motor.



001393

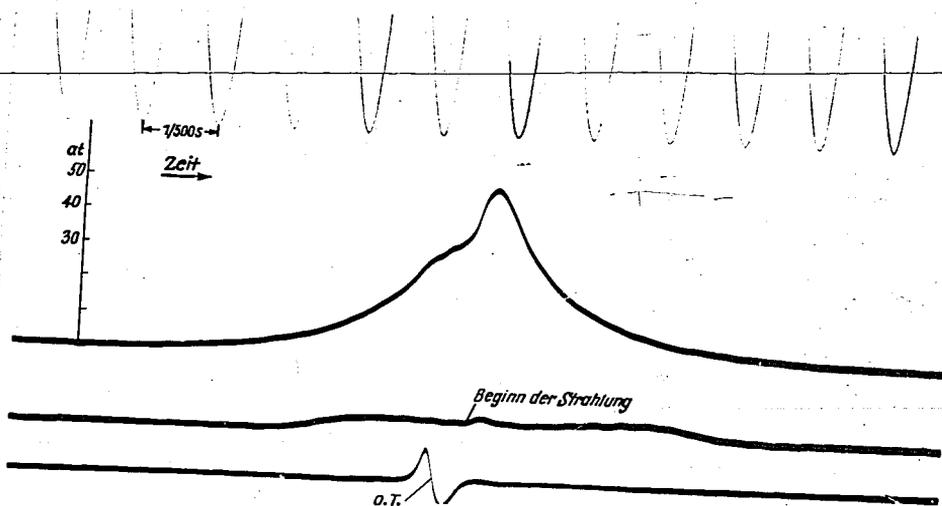


Bild 12 Druck- und Strahlungsaufnahmen bei gemisch-
verdichtender Selbstzündung und kloppfreien
armen Betriebszustand. $\epsilon = 10$, 2000 U/min,
Vollast, 700 cm³ Motor.

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001394

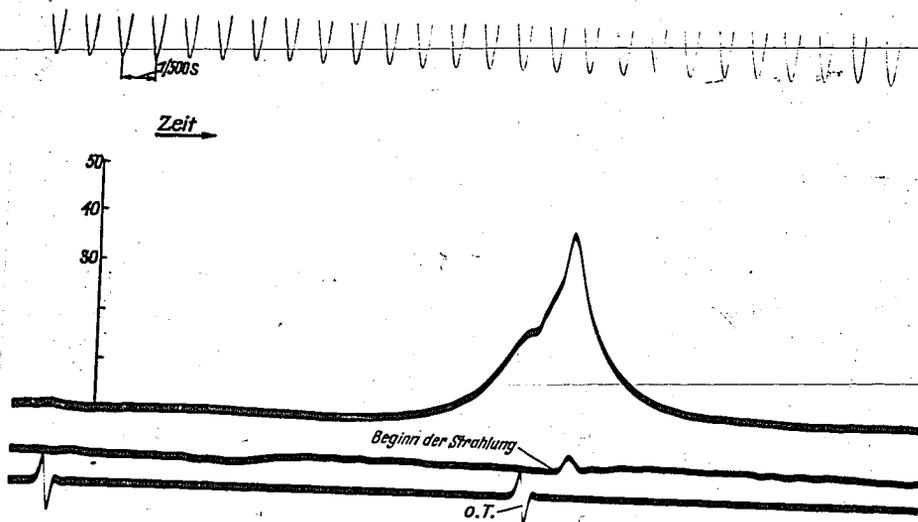


Bild 13 Druck- und Strahlungsaufnahmen bei gemisch-
verdichtender Selbstzündung und klopfreiem
reinem Betriebszustand. $\phi = 10$, 2000 U/min,
Vollast, 700 cm^3 -Motor.