

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen am Rhein
Technischer Prüfstand
Bericht Nr. 414

CK.

U. 13

Der Otto-Diesel-Motor

Vortrag
von Dipl. Ing. F. Penzig

11287

Vertrag Nr. 441

Geheim!

- 1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 10 des RStGB.
- 2. Verbreitet nur schriftlich bei Bedarfserfordernis als „Einschreiben“.
- 3. Aufzeichnung unter Verantwortung des Empfängers unter geheimer Aufsicht.

Vortrag über den

OTTO-DIESEL-Motor.

Vertrag, gehalten am

1. Februar 1940

an Reichsluftfahrtministerium.

Zusammenfassung.

Einleitung.

A. Vergleich des Otto- und des Diesel-Verfahrens.

1.) Otto-Verfahren.

2.) Diesel-Verfahren.

B. Das Otto-Diesel-Verfahren.

1.) Allgemeines.

2.) Die Einzelheiten des Otto-Diesel-Verfahrens.

a) Zündverzug.

b) Zündstoff.

c) Zünddüse.

e) Zündölmenge.

f) Regelung des Otto-Dieselmotors.

g) Vergleich Ottomotor und Otto-Dieselmotor.

h) Überladbarkeit des Otto-Dieselmotors.

C. Verwendung von Sicherheitskraftstoffen im Otto-Diesel-Verfahren.

1.) Güte des Otto-Gemisches.

2.) Sicherheitskraftstoffe.

D. Schlußbetrachtung.

Gasrichtführung nach Art des Dieselmotors, wobei die Mischung von den Kraftstoffen im Saug- oder Verdichtungsraum.

Zündung nach Art des Dieselmotors durch Einspritzung eines sehr kleinen Zündölmengen in das Otto-Gemisch.

Diese als Otto-Diesel-Verfahren bezeichnete Arbeitsweise wird durchgeführt bei den geringen Verdichtungsgraden des Ottomotors und bedingt hierdurch die Anwendung von Zündölen, die um Mehrfachen zündwilliger sind als übliche Diesellole. Hierin unterscheidet sich das neue Verfahren von dem Betrieb von Dieselmotoren, denen zur Gasolerepulsion Treibgas zugeführt wird.

Es wird gezeigt, daß die neue Betriebsweise folgende Vorteile bietet:

- 1.) Leistungsregelung nicht durch Drosselung, sondern durch Änderung des Luftüberschusses. Dadurch werden bei Teillast günstige Verbräuche erzielt.
- 2.) Unempfindlichkeit der Zündleistung gegen Rückstände der Antiklopffmittel und keine Beeinträchtigung des Funkverkehrs.
- 3.) Geringere Anforderung an die Klopfestigkeit von Kraftstoffen gegenüber einem Ottomotor bei gleichem Verdichtungsverhältnis ϵ .
- 4.) Geringere Abhängigkeit der Überladdbarkeit von Kraftstoffen vom Mischungsverhältnis. Diese Erscheinung ist besonders ausgeprägt bei aromatischen Kraftstoffen.
- 5.) Geringe Empfindlichkeit gegen die Güte der Gemischbildung. Das Verfahren ist also zur Verwendung von hochsiedenden Sicherheitskraftstoffen, wie Tz 900, geeignet.

Das Verfahren kann an vorhandenen Motorenbaumustern durchgeführt werden. Es ist der Einbau von Kolben für Verdichtung $\epsilon=10$ und die Anordnung einer zweiten Pumpe für kleine Zündölmengen erforderlich, sowie einer Einspritzdüse anstatt

Auf diese bei jeder Gelegenheit die Unterstützung von Kindern ermöglicht
werden die notwendigen Schritte zu tun, die für die Entwicklung sind.
das die Beteiligung der Flugstufen-Finden an der weiteren Entwicklung zweck-
mäßig ist.

Einleitung.

Die heutigen Flugmotoren sind Otto- und Dieselmotoren. Wenn wir nach den Unterscheidungsmerkmalen dieser beiden Motoren fragen, so finden wir, daß es durchaus nicht einfach ist, eine Antwort zu geben. Das Verdichtungsverhältnis ist nicht charakteristisch, denn es gibt Otto-Motoren mit sehr hohen Verdichtungsgraden und es ist das Bestreben der Dieselmotoren-Entwicklung, sich niederen Werten zu nähern. Die Gemischbildung findet bei beiden Motoren durch Einspritzen des Kraftstoffes statt und nicht einmal der Zeitpunkt des Einspritzens ist eigentümlich, denn beispielsweise der Hesselman-Motor, eine Sonderbauart des Otto-Motors, spritzt den Kraftstoff fast so spät ein wie der Dieselmotor. Auch die Verbrennung eines Dieselmotors ist heute eine Gleichraum-Verbrennung wie beim Otto-Motor und als entscheidendes Merkmal bleibt lediglich die Art der Zündung bestehen.

So nahe die Verwandtschaft beider Motoren also ist, so bietet doch gerade die Art der Zündung die Möglichkeit, ein neues Arbeitsverfahren zu entwickeln, das die Eigenarten beider Motorenarten miteinander verbindet. Dadurch entstehen aber neue Gesichtspunkte für die Beziehung Kraftstoff und Motor, die, soweit sie bis jetzt bekannt sind, im Folgenden beschrieben werden sollen.

Um zu erkennen, warin das neue Arbeitsverfahren von dem jetzt üblichen abweicht, möchte ich zunächst kurz auf das Otto- und auf das Diesel-Verfahren eingehen und dabei in großen Umrissen deren Eigenschaften schildern.

A. Vergleich des Otto- und des Diesel-Verfahrens.

1.) Otto-Verfahren.

Die wesentlichsten Merkmale des Otto-Verfahrens, die ihm seit der Zeit seiner Entstehung anhängen, sind die Abhängigkeit von den Zündgrenzen der Kraftstoff-Luftgemische und die Zündquelle in Gestalt eines elektrischen Funkens.

... Luftstoffzufuhr ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...

Man muß also die Datenergänzung ergänzen durch eine Konzentrations, also durch Drosselung (Bild 968). Der Mangel dieses Verfahrens liegt einmal darin, daß im Diagramm eine kurve ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...
... Luftüberschuß ...

... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...
... Zündung ...

Die Ungleichmäßigkeit der Gasbildung ist besonders groß bei der Verwendung hochsiedender Kraftstoffe, die erst während des Verdichtungsablaufes in dem Zylinder gebraucht werden können, um Niederschläge während des Durchlaufes zu vermeiden (Kesselsatz). Die infolge der kurzen Zeit nur unvollständige Gasbildung zwingt dazu, Zündkerzen mit weit vortretenden Elektroden zu verwenden, da erfahrungsgemäß die Gasbildung an der Wand des Verbrennungsraumes besonders ungünstig ist. Es versteht sich wohl von selbst, daß derartige Zündkerzen für hohe Belastungen ungenügend sind.

Was nun die Betriebsicherheit der elektrischen Zündung anbelangt, so leiden die Elektroden bekanntlich sehr unter den Rückständen der Antiklopfmittel. Zündkerzen sind deshalb leider als Verbrauchsgegenstände und nicht als Bauteile anzusehen, die sie wohl sein sollten und als welche man Einspritzdüsen wohl bereits ansprechen kann. Nimmt man noch hinzu, daß die gesamte mit Hochspannung arbeitende Zündeinrichtung elektrisch sehr sorgfältig abgeschirmt werden muß, um Störungen des Funkverkehrs zu vermeiden, so ist der Wunsch erklärlich, die Zündung schon aus diesem Grund auf anderem Weg zu bewirken.

2.) Diesel-Verfahren.

Betrachten wir nun den Dieselmotor, so können wir als wesentlichsten Vorteil eine gewisse Unabhängigkeit von Luftüberschuß feststellen, denn selbst die kleinste eingespritzte Kraftstoffmenge wird einwandfrei verbrennen, wenn nur die Temperatur der Luft entsprechend hoch ist. Es setzt dies allerdings voraus, daß die Verdichtung lediglich zum Zweck dieser Temperaturerzeugung auf etwa 1:14 bis 1:18 getrieben wird. Der thermische Wirkungsgrad läßt dies zwar noch lohnend erscheinen, da er auch in diesem Bereich noch ansteigt (Lichtbild 895). Praktisch verhält es sich nun allerdings so, daß bei den auftretenden hohen Drücken der mechanische Wirkungsgrad sinkt und so jeder Vorteil aufgehoben wird. Es läßt sich zeigen (Bild 922), daß die Leistung eines Diesel-

zeit, einen Luftüberschuss von wenigstens 20 % zu haben, da sonst die kurze Zeit des Luftverbruchs nicht ausreicht, jeden Kraftstoffteilchen die dazugehörige Sauerstoffmenge zuzuführen (Lichtbild 910). Der Dieselmotor ist also dem Ottomotor um etwa 20 % in der erzielbaren Höchstleistung unterlegen. Umgekehrt übertrifft bei geringeren Belastungen der dann mit hohem Luftüberschuss arbeitende Dieselmotor den durch Drosselung geregelten Ottomotor an Wirtschaftlichkeit.

B. Das Otto-Diesel-Verfahren.

1.) Allgemeines.

Eine Verbindung zwischen den beiden beschriebenen Motorarten ist man offenbar insoweit möglich, als man den Motor nach Art eines Ottomotors ein Gemisch bilden und verdichten läßt, um es dann durch eine später einsetzende Diesel-Verbrennung zu entzünden. Wir haben also gewissermaßen zwei Motoren in einem vor uns. Bis zum Verdichtungsgrade arbeitet er als Ottomotor und anschließend gleichzeitig als Dieselmotor, wobei der Ottomotor die Zündkerze entbehren kann, weil der sich entflammende Dieselmotorkraftstoff nach dem Otto-Gemisch entzündet. Das gesamte Verfahren kann deshalb als Otto-Diesel-Verfahren bezeichnet werden. Der Vorteil dieses Arbeitsverfahrens ist leicht einzusehen. Es ist möglich, ähnlich wie beim Dieselmotor, nur mit Gemischregelung auszukommen, da die Diesel-Verbrennung genügend Wärme entwickelt, um auch sehr arme Otto-Gemische zu entzünden. Bei ganz geringen Belastungen, wie z.B. Leerlauf, arbeitet der Motor ausschließlich nach dem Diesel-Verfahren. Weiterhin gestattet die Gemischbildung nach Otto eine gleichmäßige Verteilung des Kraftstoffes in der Luft, so daß kein überschüssiger Sauerstoff wie beim Dieselmotor erforderlich ist. Es ist also praktisch die gleiche Leistung wie beim Ottomotor erzielbar. Anstelle der einen oder der beiden Zündfunken treten die zahlreichen Zündkerne des Dieselmotorkraftstoffes und anstelle von Zündmagnet und -kerze tritt eine Einspritzpumpe mit Düse.

Wie Ihnen bekannt sein wird, sind in letzter Zeit, auch im Ausland, Ver-

Die Ihnen bekannt sein wird, sind in letzter Zeit, auch in Ausland, Versuche gemacht worden, Dieselmotoren mit einem Gas-Luft-Gemisch zu speisen. In Deutschland hat dieses Verfahren seit Beginn des Krieges unter dem Druck des Dieselölmangels bereits verschiedentlich Anwendung gefunden, und ^{auch} wir haben derartige Versuche durchgeführt. Wir haben mehrere Dieselfahrzeuge auf einen gemischten Betrieb eingestellt, bei dem der Motor bei Leerlauf und geringer Belastung wie üblich mit Gasöl betrieben wird. Bei höheren Belastungen wird dann der Luft Treibgas beigegeben. Dieses Verfahren kann nur als Notbehelf angesehen werden, da immer noch beträchtliche Mengen Gasöl verbraucht werden und auch die Wirtschaftlichkeit durchaus zu wünschen übrig läßt. Die Erfahrungen sind jedenfalls so, daß unter normalen Verhältnissen diese Betriebsweise nicht in Frage kommt. Wesentlich ist jedoch, daß hier von hochverdichtenden Dieselmotoren ausgegangen wird, der ^{zusätzlichen} auf Betrieb mit Otto-Kraftstoff umgestellt wird, wobei er nach wie vor ein hochverdichtender Dieselmotor bleibt.

Im Gegensatz hierzu geht das Otto-Diesel-Verfahren. das Gegenstand dieses Vortrages ist, von Ottomotor aus, in dem trotz niederer Verdichtung gleichzeitig ein Diesel-Prozeß durchgeführt werden soll. Die niedere Verdichtung und die daraus folgende Notwendigkeit, besonders sündwillige Dieselöle zu verwenden, ergibt, zusammen mit den besonderen Erfordernissen des Flugmotors, soviel neue Gesichtspunkte, daß man wohl von einem neuen Verfahren sprechen kann.

Bei der Betrachtung über das Diesel-Verfahren wurde gezeigt, daß es zweckmäßig ist, mit möglichst niederen Verdichtungsverhältnis zu arbeiten. Nun wissen wir aber von Dieselmotor her (Lichtbild 880), daß vom Verdichtungsverhältnis der Zündversaug sehr stark abhängig ist. Es ist dies besonders im Bereich niederer Verdichtungen der Fall, wo bei gewöhnlichem Gasöl die Zündversüge so stark anwachsen, daß mit ihnen praktisch nicht gearbeitet werden kann. Der Otto-Dieselmotor muß nun aber mit möglichst niederen Verdichtungsgraden betrie-

ten werden, einerseits, weil hohe Spitzenkräfte unzureichend sind, andererseits weil nicht zu hohe Forderungen an die Klopffestigkeit des Otto-Kraftstoffes gestellt werden dürfen.

Diese Notwendigkeit, niedere Verdichtungsverhältnisse anzuwenden, bedingt die Entwicklung von Dieselmotoren ganz besonders hoher Zündwilligkeit. Zunächst mit dem Versuchslaboratorium Oppau, später auch in Zusammenarbeit mit anderen Stellen unseres Werkes, wurden diese Voraussetzungen für die Durchführbarkeit des Otto-Diesel-Verfahrens geschaffen. Wie später noch näher ausgeführt werden wird, wurden mehrere Wege erfolgreich beschritten, so daß jetzt der Betrieb des Otto-Dieselmotors bei einer Verdichtung von 1:8 durchgeführt werden kann, die auch beim Ottomotor gelegentlich verwendet wird. In Folgenden sollen nun die bemerkenswerten Einzelheiten und Eigenschaften des Otto-Diesel-Verfahrens besprochen werden.

2.) Die Einzelheiten des Otto-Diesel-Verfahrens.

a) Zündverzögerung.

Obgleich der OTTO-Dieselmotor aus dem Ottomotor heraus entstanden ist, verhält er sich in vielen Eigenschaften, so z.B. der Zündung, ganz ähnlich wie der Dieselmotor. So zeigt sich z.B. (Lichtbild 911), daß, wie beim Dieselmotor, so auch beim Otto-Diesel der Zündverzögerung mit abnehmendem Verdichtungsverhältnis ansteigt. Dieselbe Erscheinung macht sich auch bemerkbar, wenn die Temperatur der Ansaugluft gesenkt wird. Mit zunehmendem Zündverzögerung findet die Einspritzung in immer kühleres Gasgemisch statt, so daß der Zündverzögerung unter 50° Lufttemperatur außerordentlich steil ansteigt (Lichtbild 913). Die Anwendung hoher Zündverzögerung ist aber nicht zulässig, da sich während der langen Aufbereitungszeit der Zündstoff über den ganzen Zylinder verteilt und eine Raumexplosion eintritt. Beim Otto-Diesel-Motor ist noch zu beachten, daß die Verdichtungsendtemperatur niedriger liegt als bei der Verdichtung reiner Luft, denn der eingebrachte Otto-Kraftstoff verbraucht beim Verdampfen Wärme und senkt so

mit die Temperatur. Wir finden deshalb (Lichtbild 912), daß der Zündverzug mit steigender Kraftstoffmenge, also mit zunehmender Belastung zunimmt.

Stellt man nun die Frage, ob der Zündverzug lediglich von der Höhe der Temperatur am Verdichtungsende abhängt, so ist dies zu verneinen (Bild 914). Auf diesem Bild ist dargestellt, wie der Zündverzug von der Temperatur am Verdichtungsende abhängt. Verschiedene Temperaturen wurden einmal dadurch hervorgerufen, daß bei einem festen Verdichtungsverhältnis von 1:8 die Temperatur der Ansaugluft verändert wurde, zum anderen wurde bei fester Lufttemperatur von 80° das Verdichtungsverhältnis geändert. Geht man vom Schnittpunkt beider Kurven aus, der 80° Lufttemperatur, Verdichtungsverhältnis 1:8 und somit eine Endtemperatur von 380° bedeutet, so erkennt man, daß eine Senkung der Endtemperatur durch Verminderung von ξ sehr viel stärker auf den Zündverzug einwirkt als eine Minderung der Ansauglufttemperatur. Das heißt also, daß der Druck eine sehr wesentliche Rolle spielt.

Der Versuch zeigt auch (Bild 915), daß der Zündverzug mit zunehmendem Ladedruck ~~zunehmendem Druck~~ merklich abnimmt. Bei dem hier dargestellten Versuch ist allerdings nicht wie bisher mit Zündung genau in o.T., sondern mit der günstigsten Einstellung gearbeitet worden. Dieser Voreinspritzwinkel stimmt nicht genau mit dem Zündverzug überein. Der Einfluß des Druckes ist jedoch unverkennbar.

Beim Einspritzen des Zündöles in das Ottogemisch ist eine teilweise Vermischung von Otto- mit Dieselmotorkraftstoff unvermeidlich und zweifellos geht dabei ein Teil der Zündwilligkeit verloren. Tatsächlich steigt auch der Zündverzug, sobald dem Otto-Kraftstoff Bleitetraäthyl beigegeben wird. Die auf Bild 916 dargestellten Ergebnisse sind ziemlich überraschend. Es ergibt sich nämlich, daß bei der Verwendung von Iso-Oktan der Zündverzug größer als bei Benzol ist, obwohl man aus der höheren Klopfestigkeit des Benzols eigentlich das Umgekehrte erwarten müßte. Wie schon gesagt, ist auch die Wirkung von Bleitetraäthyl

stetlich erkennbar. Sie ist jedoch sehr gering und steht in gar keinem Verhältnis zur Steigerung der Klopfintensität, die diese Zusätze auf den Otto-Kraftstoff ausüben.

B.) Zündstoff.

Wenden wir uns nunmehr dem Zündstoff selbst zu, so ist einleuchtend, daß es sich hier um einen Stoff handeln muß, der um ein Mehrfaches zündwilliger sein muß, als die sonst gebräuchlichen Diesellole. Die Entwicklung der Zündöle, die unsere eigentliche Aufgabe darstellt, beschreitet hier zwei Wege:

1.) Entwicklung von Zusatzstoffen, die gewissermaßen den Gegensatz zu den Antiklopfmitteln, wie etwa Bleitetraäthyl, darstellen. Sie sollen die Wirkung haben, in kleinen Mengen einem schon möglichst zündwilligen Dieselloil zugesetzt, dessen Zündwilligkeit erheblich zu erhöhen.

2.) Entwicklung umrauschter Stoffe, die eine sehr viel höhere Zündwilligkeit haben als die bekannten Diesellole.

Sind die Zündöle erster Art also vergleichbar mit geblaiten Benzinen, so die zweiten mit hochwertigem Stoffen, etwa wie Iso-Ortan oder Cetan.

Vorhanden sind Stoffe beider Art. In größerem Maße angewandt, wurde bisher ein Zusatzstoff, der dem KGH-Dieselloil, das bekanntlich eine sehr hohe Cetanzahl hat, beigegeben wurde. Macht man sich die Vorstellungen zunutze, die uns die neuere Forschung übermittelt, so kann man sich die Wirkung solcher Zusätze etwa folgendermaßen erklären (Bild 894). Schwerzündende Stoffe erreichen eine Umsetzungsgeschwindigkeit, bei der Entflammung eintritt, erst nach längerer Zeit als leicht zündende, deren Umsetzung rasch in Gang kommt. An meisten Zeit beansprucht in jedem Fall der Beginn der Umsetzung, und man kann sich nun vorstellen, daß hier die kleine Menge des Zusatzstoffes durch ihren raschen Zerfall einen kräftigen Anstoß gibt, der ausreicht, um den Zündverzug wesentlich abzukürzen.

Stoffe solcher Art sind beispielsweise die Nitrate und die Peroxyde, es ist

... nicht gelöst, es ist möglich zur Steigerung der Zundwilligkeit zu konstanten ...
 ... sich als unbeständig, haben in zu geringen Anteilen löslich, Ull-
... fähige Haupt-, vielerlei schädliche Vorforeinungsprodukte, ^{oder} ... vollen Anteile ent-

Es gelang nun, ein Peroxyd zu finden, das diese Nachteile nicht aufweist.
 Voraussetzung ist allerdings, das das Öl, mit dem es gemischt wird, keine un-
 gesättigten Körper enthält. Die wichtigsten Eigenschaften des neuen Peroxyds
 sind folgende:

Farbe:	weißlich
Löslichkeit:	in jedem Verhältnis mit Kohlenwasserstoff- gen mischbar
Dichte:	5 cst bei 20°
spez. Gewicht:	1,07
Dampfdruck:	geringer als der von Dieselöl
Heizwert:	etwa 6000 kcal/kg
Luftbedarf:	8 kg/kg.

In reiner Form kann das Peroxyd nur mit besonderer Vorsicht gehandhabt wer-
 den. Mischungen mit Dieselöl in gleichen Teilen sind jedoch völlig ungefähr-
 lich. Bei den Versuchen wurde meist ein Zusatz von 10% als ausreichend gefun-
 den. Wir sind damit beschäftigt, die Wirkung höherer Zusätze zu untersuchen.

Die Wirkung erkennen wir auch im alte-Dieselmotor der Zündzweige durch Zer-
Kopplung des Zusatzes erheblich herabgesetzt. Die Leistung wird jedoch kaum
 beeinflusst. Der Zusatz verändert die Eigenschaften des Dieselöls wesentlich
 nur in Bezug auf die Cetanzahl, die von 50 auf etwa 200 heraufgesetzt wird.
Bild 92 zeigt, das der Zusatz "D" erheblich wirksamer ist als beispielsweise
 Amylnitrit.

Nachteilig ist vorläufig noch die geringe Kältebeständigkeit des als Grund-
 öl benutzten KCH-Dieselöls, das unterhalb von -10° Kristalle auszuscheiden be-
 ginnt. Wir sind bestrebt, andere Öle hierfür heranzuziehen.

Eine endgültige Lösung des Zündproblems erwarten wir auf dem zweiten Weg
 Kristalle eines Gemisches tritt hier ein einheitlicher Stoff von großer Zünd-

Möglichkeit. Über die Vorteile, die aus dieser Einfachlichkeit zu erwarten sind, werde ich später noch etwas sagen. Die Entwicklung befindet sich in vollem Gange und es wurden bereits eine ganze Anzahl geeignete Stoffe gefunden. Sobald eine gewisse Übersicht über die zahlreichen sich hier bietenden Möglichkeiten gewonnen ist, wird eine Auswahl zu treffen sein, und zwar in erster Linie in Bezug auf die Herstellbarkeit in größerem Maße.

A.) Zünddüse.

Die Menge, in der das Zündöl angewandt werden muß, um ein Otto-Gemisch zu entzünden, und der Zündverzögerung, der hierbei auftritt, hängen auch von der Art der verwendeten Einspritzdüse ab. Auch auf diesem Gebiet sind die Versuche noch im Gange; es hat sich aber immer wieder gezeigt, daß eine feine Zerstäubung nicht vorteilhaft ist. Wir erzielten gute Ergebnisse mit einer selbstgebauten einfachen Lochdüse, die einen nahezu glatten Strahl lieferte. Für diese Erscheinung kann man zwei Dinge zur Erklärung heranziehen. So findet einmal, wie erwähnt, unvermeidbar eine gewisse Vermischung von Otto- und Dieselmotortreibstoff statt, und zwar wird dies umso mehr der Fall sein, je feiner der Dieselmotortreibstoff verteilt wird. Im Gebiet ^{eines} ~~wahrscheinlich~~ geschlossenen Strahles dagegen wird der Anteil des Otto-Motortreibstoffes verhältnismäßig gering sein. Ein weiterer Grund wird darin liegen, daß feinverteilte Zündöltröpfchen ihre bei der Umsetzung erzeugte Wärme sofort an das Otto-Gemisch abgeben, während bei einem geschlossenen Strahl die Wärme zusammengehalten wird. Der von Zündbeschleuniger eingebrachte Sauerstoff ist zwar recht wenig, er vermag nur etwa 1,5 % des Luftbedarfes zu decken. Immerhin wird er in der ersten Zeit den Anlauf der wärmeempfindlichen Umsetzung begünstigen.

Einen gewissen Beweis für das Gesagte liefert der im nächsten Bild

dargestellte Versuch (Bild 921). Es wurde hier die Ute der Kerntabung danach Veränderung des Abspritzdruckes beeinflusst, und es zeigt sich, daß der günstigste Wert für die hier benutzte Düse bei etwa 110 at liegt. Wurde der Abspritzdruck gesteigert und damit die Kerntabung verbessert, so stieg der Kündverzögerung wurde er niedriger eingestellt, so sank offenbar die Kündringtiefe und die Kerntabung wurde so schlecht, daß der Kündverzögerung auch hier anstieg.

G.) Zündölmenge.

Wie Ihnen bereits Bild 917 zeigte, ist die Menge des Zündöls fast ohne Einfluß auf die Leistung des Motors, selbst wenn dieser, wie bei diesen Messungen, mit Luftüberschuß arbeitete. Wie wir später sehen werden, bedeutet dies, daß das Zündöl fast ohne Drucksteigerung verkohlt. Vermindert man die Zündölmenge unter einbestimmtes Maß, so tritt zunächst eine Vergrößerung des Zündverzögerung und schließlich Aussetzen auf. Der Grund liegt nicht so sehr darin, daß eine Mindestmenge an Energie zugeführt werden muß, als vielmehr darin, daß die Bemessung und Strahlbildung so kleiner Mengen, - es handelt sich um 8 bis 10 mm³ - unvollkommen wird. Einen Beweis dafür bilden die Erfahrungen bei Überladung, wo dieselben kleinen Mengen zur Zündung ausreichen, obgleich sie dann nur 2 % des Kraftstoffes und weniger betragen, während sie bei normalem Ansaugdruck etwa 4 % ausmachen.

Es ist also notwendig, eine Entwicklung anzusetzen für Pumpen und Düsen, die kleine Mengen zuverlässig zu liefern und zu bemessen vermögen. Dabei muß gleichzeitig auf gute Kühlung geachtet werden, denn die kleinen Ölmenngen vermögen auch nur kleine Wärmemengen abzuführen. Wir haben in letzter Zeit mit Bohrdüsen gearbeitet, die äußerlich der Düse DE 40 N 60 M 6 gleichen, jedoch mit nur einer Bohrung von 0,25 mm versehen sind. In der Pumpe benutzen wir einen 5 mm-Kolben. Wie die Versuche beweisen, arbeitet diese Anordnung befriedigend, obgleich der wirksame Hub kaum einen Millimeter beträgt.

f. Einstellung des Otto-Siedelmotors.

bedeutet so die Einzeleile des Otto-Siedelmotors im Vergleich zu dem Siedelmotor mit dieser Antriebsart und dabei wird auf die Einzeleile des Siedelmotors hingewiesen, das der Wanderverzug der Einzeleile ist die Einzeleile. Dies gilt jedoch nur für den Fall, daß man die Einzeleile der Einzeile erfolgreich lastet, es ist nun besonders bei diesen Einzeile vorstellhaft, die Einzeile bereits vor dem oberen Totpunkt einzuleiten, was sich beim Otto-Motor bekannt ist. Wir sehen nun auf Bild 926, daß der Voreinspritzwinkel, der nun nicht mehr gleichbedeutend mit dem Zündverzög ist, bei allen Belastungen an Winkel bei 45° liegt. Diese Tatsache ist für die Regelung vorteilhaft, da man mit einer festen Einstellung des Voreinspritzwinkels auskommen kann. In Einzeile zeigte der Voreinspritzwinkel bei allen Versuchen die Eigentümlichkeit im Bereich von $\Lambda = 0,8-1,2$ etwas anzusteigen, um dann bei $\Lambda = 1,6$ wieder auf den ursprünglichen Wert herunterzugehen. Möglicherweise hängt dies mit der Bauart des bemittelten Zylinders und seiner Otto-Einspritzung zusammen. Interessant ist, daß oberhalb $\Lambda = 2,0$ der Voreinspritzwinkel steigt und es gleichzeitig notwendig wird, etwas mehr Zündöl zu geben. Die Ursache liegt darin, daß das Ottoöl in diesem Bereich so nager wird, daß eine Verdünnung der Zündanlage notwendig ist, damit im Lauf schließlich der Motor als reiner Dieselmotor nur mit Zündöl allein laufen kann.

Warten Sie bitte auch auf den Verlauf des spezifischen Verbrauches, der bei einem bestimmten Luftüberschuß ein ausgesprochenes Minimum aufweist. Ich möchte Ihnen nämlich einen zweiten Versuch zeigen, der in ganz ähnlicher Weise durchgeführt wurde, lediglich mit dem Unterschied, daß eine andere Düse für das Zündöl angewandt wurde (Bild 930). Sie erkennen, daß jetzt die Verbrauchskurve über einen beträchtlichen Bereich des Luftüberschusses unabhängig von der Leistung auf einem weiten Wert verharrt, um erst später anzusteigen. Eine derartige Verbrauchskurve

kurve, die an den Dieselmotor erinnert, ist aber das, was angestrebt werden muß und es geht daraus die Bedeutung hervor, die der Entwicklung der Zünddüse bei zu messen ist.

Wir sehen also, daß die Leistung reguliert wird durch Mengenverstellung der Kraftstoffpumpe, deren oberer Anschlag durch die Luftwichte im Saugrohr beeinflusst werden muß, um Überfettung zu vermeiden. Im übrigen aber ist, im Gegensatz zum Otto-Motor, die Bemessung des Kraftstoffes unabhängig von der Luftwichte. Die Zündölmenge wird entweder auf einen festen, stets ausreichenden Wert eingestellt, oder von der Mengenverstellung der Kraftstoffpumpe her beeinflusst. Für den Voreinspritzwinkel schließlich gilt das gleiche. Wie die bereits besprochenen Versuche über den Zündversag zeigten, wird er außerdem noch mit zunehmendem Ladedruck, also Luftwichte zu vermindern sein.

Ich möchte der Vollständigkeit halber noch darauf hinweisen, daß es möglich ist, den Motor auch wie bisher als Otto-Motor zu betreiben und lediglich die Zündkerze durch die Zünddüse zu ersetzen. Die Regelung erfolgte dann wie üblich durch Drosselung. Bild 331 zeigt Ihnen die Regelung eines solchen Motors. Zunächst wird die Leistung durch Verdünnung herabgesetzt. Bei einem Luftüberschuß von 1,15 wurde dann begonnen, zu drosseln. Der Luftüberschuß blieb nun nicht fest, wie dies beim reinen Otto-Motor hätte der Fall sein müssen, sondern erhöhte sich, da die Drossel ^{gefühlsmäßig} ~~geschraubt~~ bedient wurde, auf etwa 2,0 im Leerlauf. Diese Regelart bietet keinen besonderen Vorteil, da die Verbräuche nicht so günstig sind, wie beim Otto-Diesel, und ich erwähne sie nur, um zu zeigen, daß man Motoren mit gegebener Regeleinrichtung ohne weiteres auf Zündölbetrieb umstellen kann.

Zum Lauf des Otto-Dieselmotors mit Zündöl allein muß noch etwas gesagt werden, denn es könnte die Frage entstehen, warum der Motor nicht ausschließlich mit dem sehr zündwilligen Zündöl als Dieselmotor betrieben wird. Betrachten wir

bestenfalls Bild 922, das die Leistung des Dieselmotors bei verschiedener Verdichtung darstellte, so sehen wir zwar, daß beim zündwilligen Kraftstoff bei der niedersten Verdichtung gearbeitet werden kann. Wir sehen jedoch gleichzeitig, daß mit zunehmender Zündwilligkeit die Leistung abnimmt. Es ist auch bekannt, daß Dieselmotoren besonders einstellt werden müssen, wenn sie mit reinem RON-Öl gefahren werden sollen. Man Schlüssel zu dieser Erscheinung bringen die Druckaufnahmen Bild 924. Wir sehen dort, daß bei Verwendung sehr zündwilliger Stoffe der Druckanstieg sich verflacht.

Vorerst müssen wir also damit rechnen, daß das Zündöl nur unwirtschaftlich verbrennt. Da wir aber auch hier erst ganz im Anfang der Entwicklung stehen, ist es durchaus möglich, daß man beispielsweise durch geeignete Wahl des Einspritzgesetzes oder durch die Bauart der Düse eine Besserung erzielen kann. Den wesentlichsten Fortschritt erwarten wir auch hier von der chemischen Entwicklung anderer Zündstoffe. Daß wir berechtigt sind, dies zu hoffen, zeigt Ihnen Bild 928, auf dem der Druckverlauf des bisher benutzten, mit Zusatz vermischten Zündöles im I.G.-Prüfdiesel verglichen ist mit einem neuen Stoff von ganz anderem Aufbau. Es handelt sich hier um einen der bereits erwähnten einheitlichen Stoffe. Der Zündverzögerung ist genau der gleiche, die Verbrennung ist jedoch wesentlich besser, denn der Druckanstieg ist steiler und die Arbeitsfläche größer. Die einheitlichen Stoffe werden also die Arbeitsweise des Otto-Diesel-Motors wesentlich verbessern.

g.) Vergleich Otto-Motor und Otto-Dieselmotor.

Wie aus bereits gezeigten Bildern hervorging, bleibt die Höchstleistung des Otto-Dieselmotors vorerst etwas hinter der des Otto-Motors zurück. Beim jetzigen Stand der Entwicklung ist nicht so sehr die Höhe des Unterschiedes, sondern die Frage interessant, ob dieser Unterschied vermeidbar ist. Diese Frage

ist zu bejahen, denn der jetzt bestehende Mangel ist in wesentlichen auf Unvollkommenheiten der Zündbl-Einspritzung zurückzuführen.

Der Teillastverbrauch des Otto-Dieselmotors ist besser als der des Ottomotors, wie dies zu erwarten ist (Bild 922). Die hier gezeigten Kurven unterscheiden sich weniger als bei unseren ersten Versuchen. Beim Bestreben, einen einwandfreien Vergleich zu ermöglichen, gelang es nämlich, durch günstigste Einstellung den Verbrauch des Otto-Motors weiter zu senken. Wir sind aber sicher, daß der Otto-Dieselmotor den eigentlich bestehenden Unterschied von etwa 10% im Laufe der Entwicklung wird vergrößern können.

Für einen Vergleich zweier Motoren ist nicht nur Leistung und Verbrauch, sondern auch der Höchstdruck maßgebend. Auf dem Bild 929 ist oben der Mitteldruck und darunter der Höchstdruck dargestellt. Während der Mitteldruck in üblicher Weise aus dem Drehmoment errechnet wurde, stellen die angegebenen Höchstdrucke Mittelwerte aus einer größeren Anzahl von Indikatordiagrammen dar. Es zeigt sich also, daß beim Otto-Dieselmotor keinesfalls höhere Spitzendrücke auftreten als beim Otto-Motor. Bei dem vorliegenden Versuch waren sie sogar erheblich niedriger, was zum Teil auf die Widerleistung zurückzuführen ist.

Recht interessant ist eine Betrachtung über die Laufregelung, unter der ich die Streuung der Höchstdrücke um ihren Mittelwert verstehe. Wir sehen, daß beim Otto-Motor die Streuung im fetten wie auch im mageren Gebiet mit der Annäherung an die Zündgrenze zunimmt. Auf der mageren Seite wird der Lauf am unruhigsten an der Stelle, an der die Gemischregelung gehört und die Drosselung einsetzt auf. Die Streuung nimmt dann wieder ab in dem Maße, wie der Luftüberschuß beim Drosseln zufällig zurückgeht.

Beim Otto-Dieselmotor muß sich nun die kräftige Zündung durch den Zündstrahl durch einen gleichmäßigeren Lauf, vor allem im Gebiet der armen Gemische bemerkbar machen. Die Diagramme zeigten auch eine Streuung, die geringer war

Du

als die von Otto-Diagrammen bei Luftüberschuß. Der Otto-Diesel läuft also bis zu sehr hohen Luftüberschuß gleichmäßig. Bei dem reichen Gemischen ist vorerst eine etwas größere Stromung festzustellen, die aber sicher vermeidbar ist.

Ueberladbarkeit des Otto-Dieselmotors.

Vom Otto-Motor her wissen wir, daß der an der Klopfgrenze erzielbare Mittel-
druck mit zunehmendem Luftüberschuß zunächst abnimmt, um dann bei etwa 1,1 wie-
der anzusteigen. Dieser Anstieg ist allerdings nur kurz, da bei etwa 1,3 das Ge-
misch nicht mehr stündfähig ist. Beim Otto-Dieselmotor dagegen steigt die Grenz-
kurve stetig weiter an und erreicht höhere Werte als auf der Luftmangelseite
(Bild 927, Kraftstoff C_1). Um die anzuwendenden Ladedrücke nicht zu hoch werden
zu lassen, wurde bei diesen Versuchen mit 100° Lufttemperatur gearbeitet. Trotz-
dem wurde bei Luftüberschuß 3,0 ein Ladedruck von fast 3 ata erreicht, so daß
der Versuch nicht fortgesetzt werden konnte. Es wird Sache der Motorkonstrukteure
sein, Feststellungen, wie weit der Betrieb mit stark überladenen mageren Gemis-
chen wirtschaftlich ist. Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde die Gebli-
leistung nicht berücksichtigt, und es ergab sich, daß der spezifische Verbrauch
im mageren Gebiet fast unverändert niedrig blieb. Die Zylinderkopftemperatur
und die hier nicht dargestellte Abgastemperatur nahmen entsprechend dem gerin-
ger werdenden Gemischheizwert ab. Die Zündölmenge wurde auf einen festen Wert
eingestellt. Die auf den Kraftstoff bezogene Menge nimmt mit wachsendem Luft-
überschuß ab.

Die Überladbarkeit der Kraftstoffe ist beim Otto-Dieselmotor offenbar grö-
ßer als beim Otto-Motor (Bild 925). Ich möchte jedoch darauf hinweisen, daß es
nicht einfach ist, vergleichbare Verhältnisse zu schaffen, da die Klopfgrenze
durch die Wahl der Vorzündung stark beeinflusst wird. Beim Otto-Motor wurde mit
einer festen Einstellung von 32° gearbeitet. Beim Otto-Dieselmotor wurde der
Einspritzwinkel gewählt und festgehalten, der sich an der Klopfgrenze bei Luft-

Überschuß 1 als der beste erwies.

Sie schon bei früheren Versuchen gemerkt, verlaufen im Otto-Diesel die Brenskurven der aromatischen Kraftstoffe wesentlich flacher als im Ottomotor. Diese Begünstigung der aromatischen Kraftstoffe führt dazu, daß die Reihenfolge der Bewertung eine andere ist. CV 2 b liegt beim Otto-Diesel stets über C₁. Der besonders flache Verlauf der BT 100-Kurve ist bei beiden Motoren festzustellen.

Ein günstigeres Abpfverhalten des Otto-Dieselmotors ist aus dem Grundsatz der Vielfunktensündung, die das Auftreten großer Restgasmenge verhindert, zu erwarten. Ich bitte aber nicht zu vergessen, daß der Otto-Diesel bei einer Verdichtung von 1/8 arbeitet und deshalb höhere Anforderungen an den Kraftstoff stellt als der niedriger verdichtende Ottomotor. Welchen Einfluß die Entwicklung der Zündöle auf die Überladbarkeit hat, bleibt auch hier abzuwarten.

c) Verwendung von Sicherheitskraftstoffen im Otto-Diesel-Verfahren.

1.) Güte des Otto-Gemisches.

Man kann erwarten, daß sich der Otto-Dieselmotor gegen Mängel der Gemischbildung unempfindlicher verhält als der Ottomotor, da die Zündung nicht mehr abhängig ist von der zufälligen Beschaffenheit des Otto-Gemisches in der Nähe der Zündkerze.

Diese Tatsache kann man dadurch nachweisen, daß man Otto-Gemische verschiedener Güte durch Änderung des Einspritzbeginns herstellt. Ändert man also an einem Ottomotor den Einspritzbeginn und damit die Gemischbildungszeit, so wird man finden, daß späteres Einspritzen die Gemischbildung verschlechtert und daß Aussetzer auftreten, wenn man erst am Ende des Saughubes einspritzt. Der Otto-Dieselmotor dagegen arbeitet auch mit solchen Gemischen zufriedenstellend, die zu ihrer Bildung nur den Verdichtungsdruck zur Verfügung haben. Er läuft sogar mit noch schlechteren Gemischen, wenn auch dann Leistungsverlust eintritt

(Bild 918). Im vorliegenden Fall wurde bei 260° n.o.T., also 100° n.o.T. wieder eine geringe Verbesserung der Leistung festgestellt, was anscheinend

durch das Auftreten von Wirbeln verursacht wird.

Wir können also feststellen, daß der Otto-Diesel-Motor gegen Mangel der Gemischbildung unempfindlicher ist als der Ottomotor. Der Ottomotor wird mit Leichtkraftstoffen betrieben, deren Siedeverhalten mit Rücksicht auf die hohen Ansprüche dieses Motors an die Güte der Gemischbildung festgelegt wurden. Das neue Arbeitsverfahren bietet nun die Möglichkeit, eine größere Freiheit von der Siedelage zu gewinnen. Mit dieser Eigenschaft stellt der Otto-Diesel-Motor einen wesentlichen Fortschritt in der Anwendung höhersiedender Kraftstoffe und damit in der Anwendung der Sicherheitskraftstoffe dar.

2.) Sicherheitskraftstoffe.

Über das Gebiet der Sicherheitskraftstoffe ist in Kürze folgendes zu sagen:

Es ist einleuchtend, daß ein Kraftstoff umso sicherer gegen Entflammung ist, je mehr er in Zähigkeit, Siedeverhalten und Flammpunkt von dem als feuergefährlich bekannten Benzin abweicht. In der Beurteilung der erreichbaren Sicherheit können wir mehrere Stufen unterscheiden. Einen geringen Grad der Sicherheit stellen Stoffe dar, die sich bei Unfällen nicht oder doch nur sögernd entflammen. Man spricht hier von Aufschlagsicherheit. Ein erheblich größeres Maß an Sicherheit müssen Kraftstoffe bieten, die dem Beschuß durch Brandgeschosse ausgesetzt sind. Während der erste Grad für die Handelsluftfahrt von Bedeutung ist, muß von der Luftwaffe ein beschuhsicherer Kraftstoff verlangt werden. Zwischen beiden Gruppen kann man Stoffe einordnen, die zwar nicht unbedingt beschuhsicher sind, andererseits aber auch nicht bei jedem Beschuß in Brand geraten.

Die Beschußversuche, die von der Erprobungsstelle Rechlin durchgeführt wurden, haben nun sehr interessante Ergebnisse gehabt, die in folgender Zahlentafel zusammengestellt sind (Bild 934). In der ersten Gruppe finden wir die

Leichtkraftstoffe. Hier ist besonders wertvoll, daß das Schwerbenzin erz höherer Siedelage und einen sehr hohen Flammpunkt keine Sicherheit bietet. Auch die höhere Zähigkeit ist offenbar nicht ausreichend, um einen Einfließ auszuüben. Trotzdem ist, wenn man von unmittelbarem Beschuß absteht, eine Besserung doch festzustellen, denn wenn man einen mit Kraftstoff getränkten Abestfaden anzündet, so wird man finden, daß die Flamme beim Schwerbenzin sich nur mit einem Zehntel der Geschwindigkeit fortpflanzt, die bei Leichtbenzin auftritt.

Zu der zweiten Gruppe mit teilweiser Beschußsicherheit gehören KT 200 und Gasöl. Die höhere Siedelage und Zähigkeit wirken offenbar günstig. Die Siedelage ist allein nicht maßgebend, denn in der dritten Gruppe finden wir das gleiche Gasöl mit etwas Nachsch-verdickt. Hierdurch wird lediglich das Fließvermögen beeinflusst und doch ist der Erfolg eine völlige Beschußsicherheit. Wollte man nun aber annehmen, daß die Zähigkeit die wichtigste Eigenschaft ist, so steht im Widerspruch hierzu die Tatsache, daß das TZ 900/1,38 noch nicht völlig beschußsicher ist, während das erheblich dünnflüssigere Steinkohlentersöl allein Ansprüchen genügt, und zwar trotz seines geringeren Flammpunktes. Dieses auffällige Verhalten ist anscheinend auf den aromatischen Charakter zurückzuführen, denn bei Versuchen über die Flammgeschwindigkeit läßt sich auch zwischen Benzin und Benzol ein ähnlicher Vorteil der Aromaten beobachten. Sobald die motorische Entwicklung dies gestattet, werden wir also den aromatischen Sicherheitskraftstoffen besondere Aufmerksamkeit widmen müssen.

Das allerdings sehr zähflüssige TZ 900/50 ist völlig beschußsicher. Da aber auch das dünnflüssige nahezu genügt und auch Motorenöl sicher ist, kann man annehmen, daß ein TZ 900/2 ausreichende Sicherheit bietet.

Wir können also zusammenfassend feststellen, daß nicht einzelne, sondern mehrere Eigenschaften maßgebend sind, die richtig aufeinander abgestimmt sein müssen. Sehr hohe Zähigkeit ist offenbar nicht erforderlich und dies ist wohl

das wichtigste Ergebnis der Desakus-Versuche. Für die motorische Anwendung stellt dies eine große Erschwerung dar, denn diese Stoffe zu fördern und zu versäubern, ist außerordentlich schwierig. Starke Verwässerung ist nicht nur schwer anwendbar, sondern schließt auch die Anwendung von Antiklopfmitteln aus.

Wenn wir nun unter den Sicherheitskraftstoffen Ausschau halten nach dem, der bei der motorischen Verwendung zunächst die wenigsten Schwierigkeiten machen wird, so finden wir, daß TZ 900 Eigenschaften besitzt, die es hierfür ganz besonders geeignet machen.

TZ 900 ist ein Stoff, der durch Polymerisation des Isobutylens entsteht, und zwar können aus dem Gas je nach der Behandlung Stoffe ganz verschiedener Zähigkeit vom dünnflüssigen Öl bis zu gummiartigen Massen hergestellt werden. In zähflüssiger Form kann das Polymerisat zum Verbessern von Schmiermitteln benutzt werden und bei geringerer Zähigkeit kann es unmittelbar als Schmierstoff dienen. Eine andere außerordentlich wichtige Eigenschaft, die ihn als Kraftstoff interessant macht, ist die, daß TZ 900 beim Erhitzen über 300° in seine Bauteile zerfällt, und zwar ohne irgendwelche Rückstände zu bilden. Mit dieser Eigenschaft stellt TZ 900 einen ganz seltenen Fall in der Kohlenwasserstoff-Chemie dar. Der Zerfall liefert dünnflüssigere Stoffe und letzten Endes wieder den Ausgangsstoff Isobutylen.

Im Gegensatz hierzu verdampfen gewöhnliche Schweröle unter Rückstandsbildung und verderben den Schmierstoff. Da wir auch bei unseren jetzigen Versuchen stets mit Niederschlägen in den Schmierstoff rechnen müssen, ist die Bedeutung eines Kraftstoffes klar, der keine Rückstände bildet und auch den Schmierstoff nicht verschlechtert.

Wir haben früher umfangreiche Versuche gemacht, TZ 900 außerhalb des Motors in Gas zu zerlegen und dieses dem Motor auszuführen. Es ergab sich, daß ein

solcher Betrieb wohl durchführbar ist, für den Flugmotor aber kaum in Frage kommt.

Es musste also auf die Eigenschaft der Zerlegbarkeit verzichtet und versucht werden, das TZ 900 in verstärkter Form in den Zylinder zu bringen. Es war aber auch mit besonderen Düsen nicht möglich, ein Gemisch von solcher Güte herzustellen, wie dies für eine Zündung durch Zündkerze notwendig ist. X

Auf der Suche nach einem Mittel, das unvollkommene Gemisch doch zu stöden, entstand das Otto-Diesel-Verfahren und damit gelang es, einen Betrieb mit TZ 900 durchzuführen. Hierin liegt wohl der wesentlichste Fortschritt, den dieses Verfahren bringt.

Das Ergebnis eines solchen Versuches zeigt Ihnen das nächste Bild (920). Wie beim jetzigen Stand der Dinge nicht anders zu erwarten, ist die erzielte Höchstleistung noch keineswegs befriedigend, sie liegt noch 10 % unter der mit Leichtkraftstoff erreichbaren. Sehr bemerkenswert ist aber das Verhalten des Motors bei armen Gemischen. Bei hohem Luftüberschuß wurde nämlich nicht nur die gleiche, sondern sogar eine höhere Leistung als mit Leichtkraftstoff erzielt. Diese Erscheinung läßt sich nur aus der Eigenschaft des TZ 900, beim Erhitzen zu zerfallen, erklären. Offensichtlich zerfällt das TZ 900, wenn es in die erhitzte Luft eingespritzt wird. Dabei entstehen leicht verdampfbare Stoffe und auch Gas, so daß ein sehr gutes Gemisch entsteht.

Diese überraschende Tatsache, die auch bei Wiederholung bestätigt wurde, drückt sich auch in den Verbrauchszahlen (Bild 919) aus, die im Teillastgebiet für TZ 900 günstiger sind als für Benzin. Bei hohen Belastungen sind freilich die Verbräuche noch recht hoch. Der Fortschritt ist hier in erster Linie von der Zerstäubung zu erwarten, und da bisher noch keine systematischen Versuche mit Düsen für zähe Stoffe unternommen wurden, so ist hier sicher mit Fortschritten zu rechnen. X

Selbst wenn aber mit einem erhöhten Niederschlag von Kraftstoff im Zylinder gerechnet werden müsste, so wäre dies bei TZ 900 unbedenklich, denn der ins Schmieröl gelangende Kraftstoff kann dort schmierend wirken. Wir haben durch Versuche bewiesen, daß TZ 900 ein ausgezeichnetes Schmiermittel ist. Ein Motor, der unter Bedingungen lief, bei denen mit Handelsölen nach spätestens 10 Stunden Ringstecken eintrat, konnte 100 Stunden lang mit TZ 900 als Schmiermittel betrieben werden, ohne daß ein Ring verklebte. Es besteht also die Möglichkeit, einen Motor mit TZ 900 gleichzeitig als Kraftstoff und als Schmierstoff zu betreiben. Wir haben bereits mit Erfolg Versuche durchgeführt, das im Kurbelgehäuse erwärte TZ 900 der Kraftstoffpumpe zuzuführen. Der sich niederschlagende Kraftstoff gelangte wieder ins Kurbelgehäuse zurück und trat erneut seinen Kreislauf an.

Wenngleich hier noch viel Arbeit zu leisten ist, so erkennen Sie auch hier, daß in Verbindung mit dem Otto-Diesel-Verfahren die Aussichten auf einen brauchbaren Betrieb mit Sicherheitskraftstoff durchaus günstig sind.

D. Schlußbetrachtung.

Wenn man nun zum Schluß noch einmal überblickt, was bisher auf dem Gebiet des Otto-Dieselmotors untersucht wurde, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die Grundlagen gesichert sind und immer mehr Fragen auftreten, die über den Rahmen der Kraftstoff-Forschung hinaus gehen und vorwiegend den Motorenbau betreffen. Es ist deshalb wohl an der Zeit, daß sich möglichst viele Stellen mit Versuchs- dieser Art befassen und dabei die großen Erfahrungen in Anwendung bringen, die in der Flugmotorenentwicklung vorliegen. Wir von der Kraftstoffseite werden unsere Aufgaben in erster Linie in der Entwicklung der Zündöle zu suchen haben und uns mit der Kraftstoff-Forschung im Sinne des neuen Arbeitsverfahrens befassen.

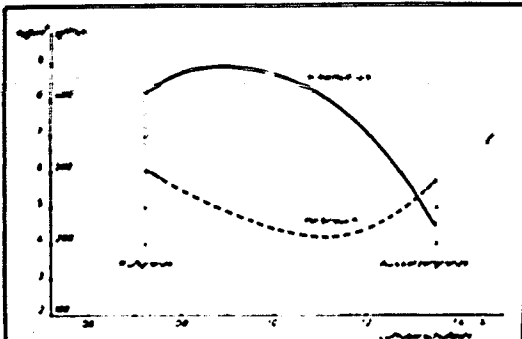
Es wird zweckmäßig sein, zunächst von Einsylinder-Versuchen auszugehen,

bei denen lediglich eine zusätzliche Kampe und Düse, sowie Kolben für Verdichtung 1:8 versuchsweise sind. Dabei werden sich bald Aufgaben für die notwendigen Geräte, wie Hegler, Pumpen und Düsen ergeben, die bei den großen Erfahrungen, die auf diesem Gebiet vorliegen, wohl keine großen Schwierigkeiten machen werden. Sehr wichtig ist auch die eingehende Untersuchung des Anlasses, da die Anwendung einer Zündkerze wenn auch nur/diesem Zweck vermieden werden soll.

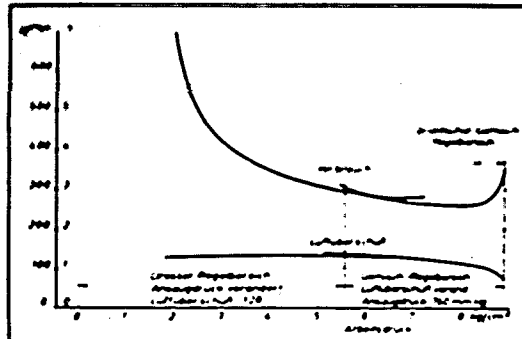
Sobald genügende Erfahrungen in der Handhabung der Einspritzanlage vorliegen, sind auch die Versuche mit Sicherheitskraftstoff in größerem Anmaß als bisher aufzunehmen, wobei die bisherigen Erfahrungen über Förderung und Einspritzung sehr nützlich sein werden. Wahrscheinlich werden hier größere konstruktive Arbeiten als bei Otto-Dieselmotoren mit Leichtölen zu lösen sein. Wie ich bereits ausführte, ist der Widerschlag von Sicherheitskraftstoff unbedenklich, sofern es sich um TZ 900 handelt. Die Entwicklung wird aber bei dieser einen Möglichkeit nicht stehen bleiben können. Bei allen anderen Sicherheitskraftstoffen ist es jedoch nicht zu umgehen, konstruktive Grundsätze anzuwenden, wie sie von Hoeselmann angewandt werden.

Ich hoffe, Ihnen nun in großen Zügen gezeigt zu haben, was getan wurde und was getan werden muß. Was getan wurde, ist das Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen Motorenbau und Chemie. Ich zweifle nicht, daß ähnliche Gedankengänge wie die hier geschilderten, auch an anderen Stellen erwogen wurden, durchführbar geworden sind sie jedoch nur durch das Zusammenwirken dieser beiden Wissensgebiete, für das unser Werk so günstige Voraussetzungen schafft. Wir stellen unsere bisherigen Erfahrungen gerne zur Verfügung und hoffen, daß die weitere Entwicklung auf breiterer Grundlage gute Fortschritte macht.

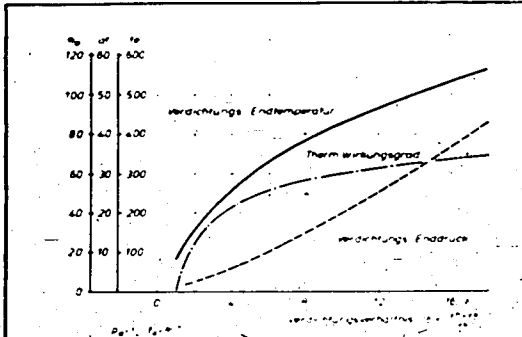
Penning



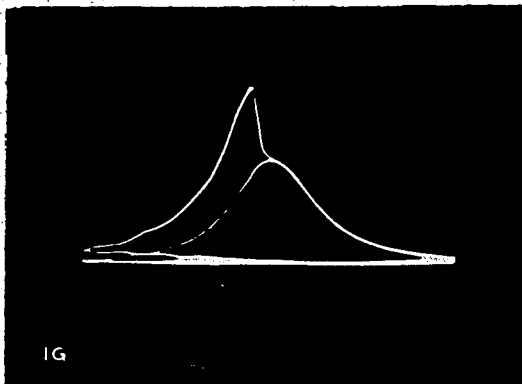
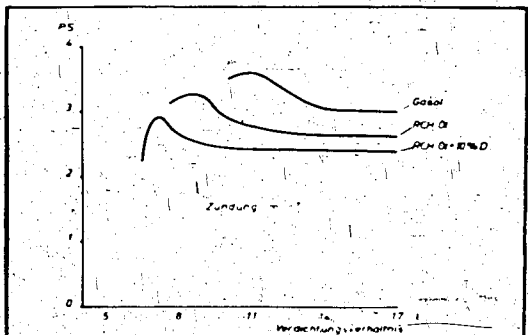
IG Leistungsgrenzen
Otto-Motor
 Grenzen der Geschwindigkeitsregelung
 Buch: Prof. Dr. Ing. H. G. G. 906



IG Leistungsgrenzen
Otto-Motor
 Gemisch-Drosselregelung
 Buch: Prof. Dr. Ing. H. G. G. 907

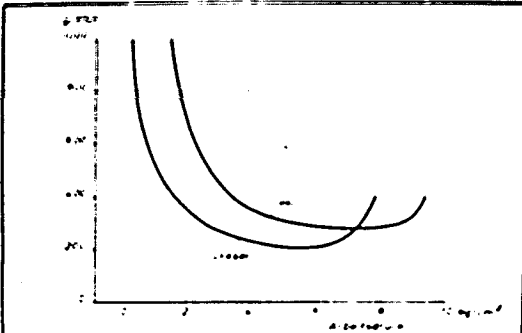


IG Leistungsgrenzen
 Einfluss des Verdichtungsverhältnisses
 Buch: Prof. Dr. Ing. H. G. G. 905

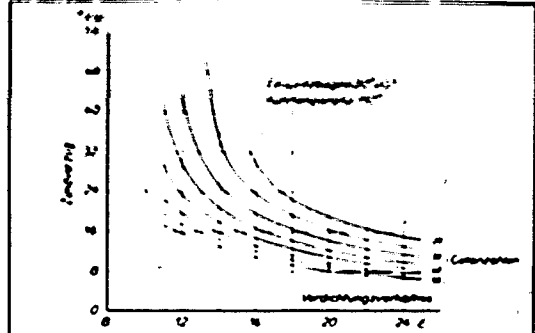


IG Leistungsgrenzen
 Leistung des Dieselmotors
 bei verschiedener Verdichtung
 Buch: Prof. Dr. Ing. H. G. G. 922

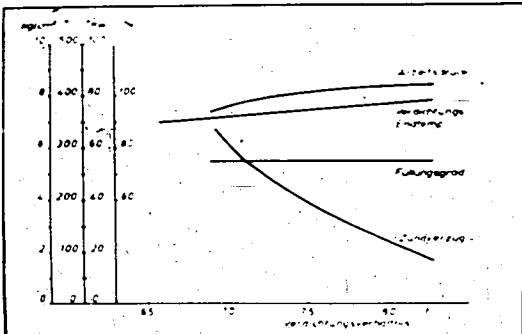
1131



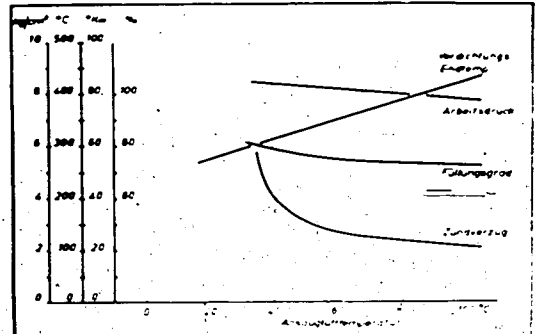
IG Lehrbuch Nr. 222 Vergleich zwischen Otto- u. Dieselmotor Techn. Prof. Dr. Otto 910



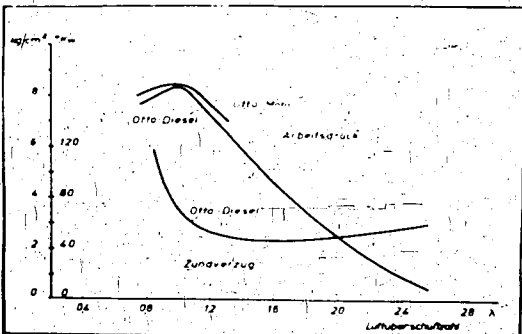
IG Lehrbuch Nr. 222 Zündverzug in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis f. versch. Cetanzahlen Techn. Prof. Dr. Otto 880



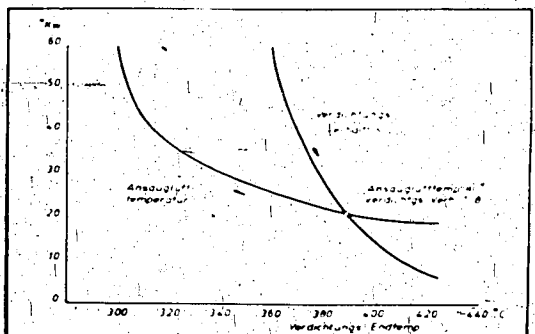
IG Lehrbuch Nr. 222 Zündverzug im Otto-Dieselmotor in Abhängigkeit von der Verdichtung Techn. Prof. Dr. Otto 911



IG Lehrbuch Nr. 222 Zündverzug im Otto-Dieselmotor in Abhängigkeit von der Lufttemperatur Techn. Prof. Dr. Otto 913

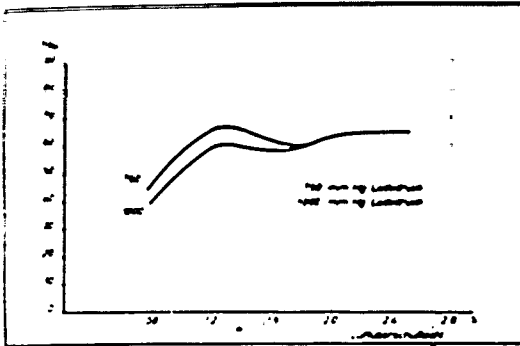


IG Lehrbuch Nr. 222 Zündverzug im Otto-Dieselmotor in Abhängigkeit vom Luftüberschuss Techn. Prof. Dr. Otto 912

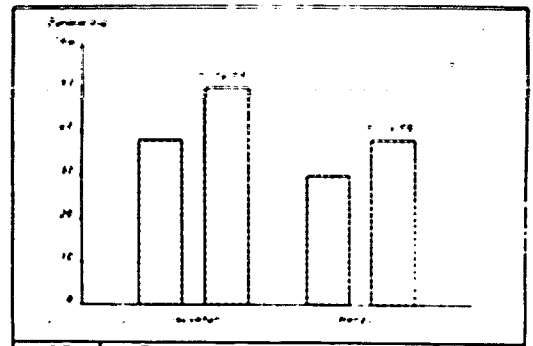


IG Lehrbuch Nr. 222 Otto-Dieselmotor Zündverzug in Abhängigkeit von der Verdichtungs-Endtemperatur Techn. Prof. Dr. Otto 914

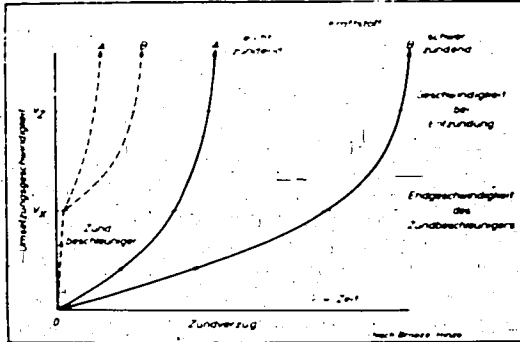
11347



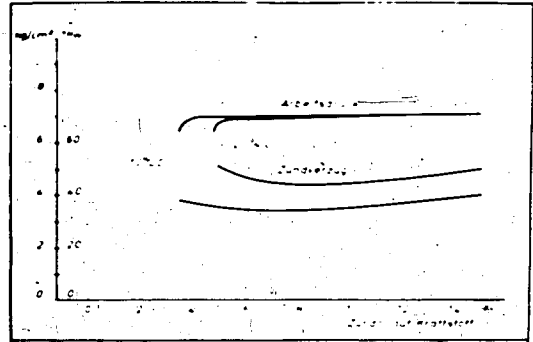
IG Ladedruckverlauf
Voreinspritzwinkel im Otto-Dieselmotor in Abhängigkeit vom Ladedruck
 Seite Pflügend
 Oasen 916



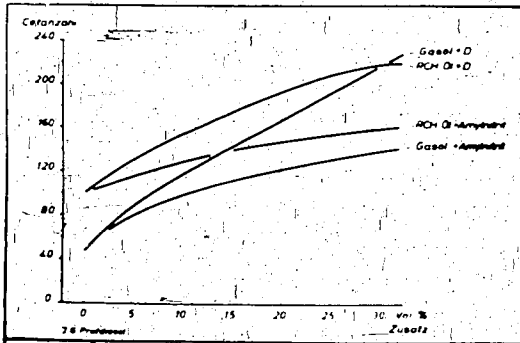
IG Ladedruckverlauf
Einfluß des Otto-Kraftstoffes auf den Zündverzug
 Seite Pflügend
 Oasen 916



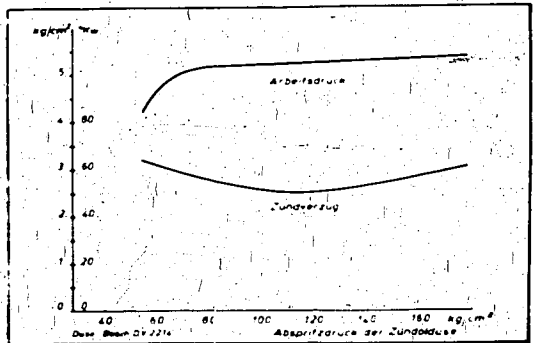
IG Ladedruckverlauf
Einfluß von Zündbeschleunigern auf die Umsetzungsgeschwindigkeit
 Seite Pflügend
 Oasen 916



IG Ladedruckverlauf
Otto-Dieselmotor Wirkung verschiedener Zündle
 Seite Pflügend
 Oasen 917

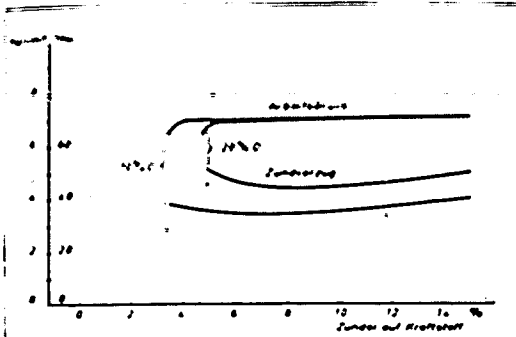


IG Ladedruckverlauf
Erhöhung der Cetanzahl durch Zusätze
 Seite Pflügend
 Oasen 923

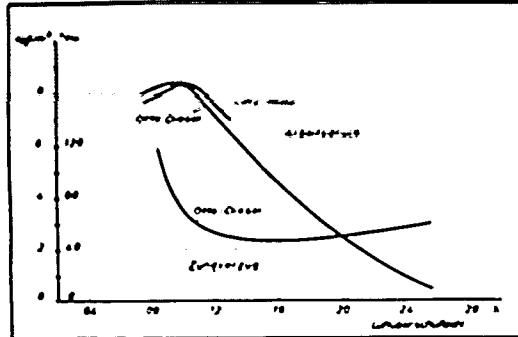


IG Ladedruckverlauf
Zündverzug im Otto-Dieselmotor in Abhängigkeit vom Abspritzdruck
 Seite Pflügend
 Oasen 921

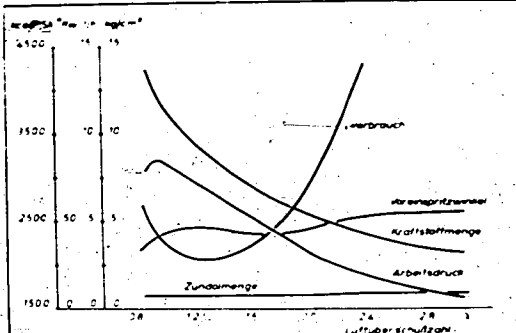
11312



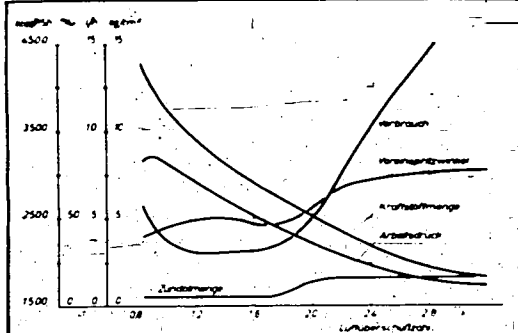
IG Leistungsdiagramm 1910
Otto-Dieselmotor
 Wirkung verschiedener Zündole
 Substanznummer 917



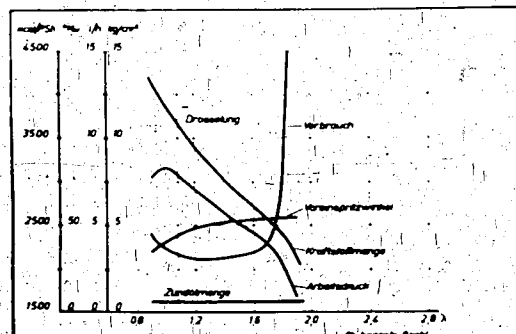
IG Leistungsdiagramm 1911
Zündverzögerung im Otto-Dieselmotor
 in Abhängigkeit vom Luftüberschuß
 Substanznummer 912



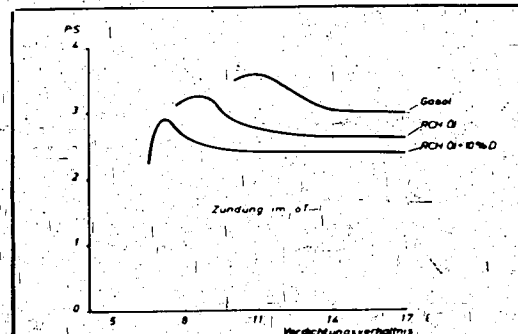
IG Leistungsdiagramm 1912
Regelung des Otto-Dieselmotors
 Substanznummer 926



IG Leistungsdiagramm 1913
Regelung des Otto-Dieselmotors
 Substanznummer 930



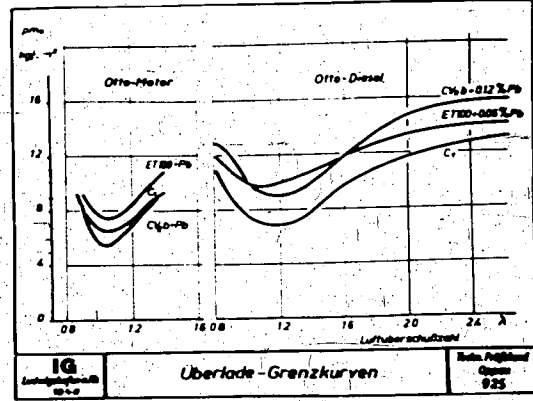
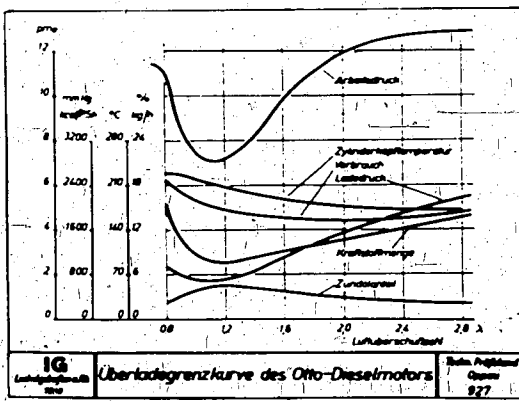
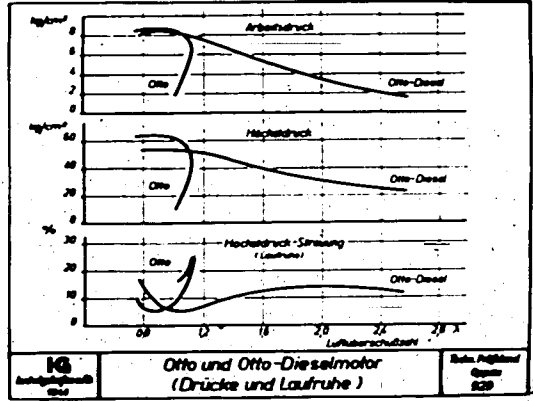
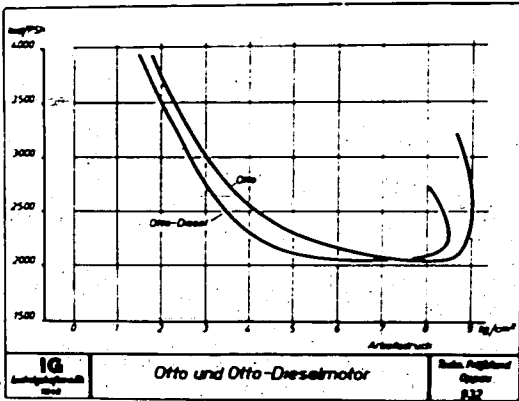
IG Leistungsdiagramm 1914
Regelung des Otto-Dieselmotors
 (mit Drosselung)
 Substanznummer 929



IG Leistungsdiagramm 1915
Leistung des Dieselmotors
 bei verschiedener Verdichtung
 Substanznummer 922

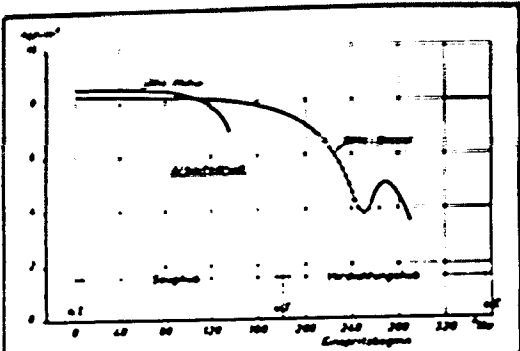
11310

TPrS 621



11320

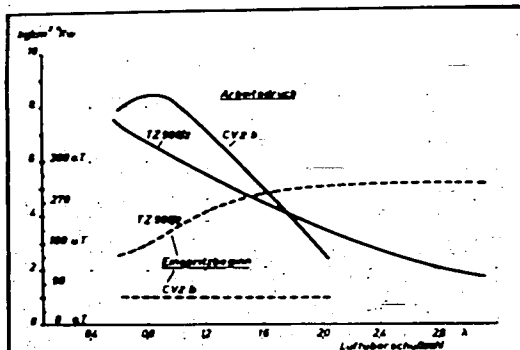
TPrS 622



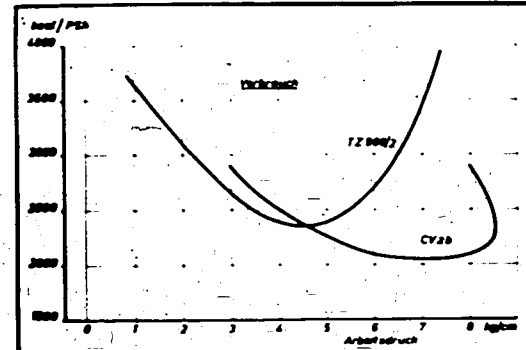
IG **Acetololol** **Otto-Dieselmotor** **Substanzgewicht**
 Antriebsleistung 0,10 **Detail des Einwirkens auf die Gemischbildung** **Spez. 820**

	Sicherheitskoeffizient		Antrieb	Flamme
	0%	100%		
Luftdruck	0	111	1,00	0,1
Sicherheitskoeffizient	0	177	1,00	0,1
11 000	0	100	1,00	0,1
17 200	24	177	1,00	0,1
2000	10	170	1,00	0,1
17 000 / 120	75	—	1,00	0,1
17 000 / 30	100	—	1,00	0,1
Sicherheitskoeffizient	100	240	0,9	0,1
Flamme	100	—	1,00	0,1
Spez. + Werte	100	271	1,00	0,1

IG **Beschuß-Sicherheit** **Substanzgewicht**
 Antriebsleistung 0,10 **Beschuß-Sicherheit** **Spez. 821**



IG **Acetololol** **Otto-Dieselmotor** **Substanzgewicht**
 Antriebsleistung 0,10 **Versuche mit Sicherheitskraftstoff TZ 900/2** **Spez. 820**



IG **Acetololol** **Otto-Dieselmotor** **Substanzgewicht**
 Antriebsleistung 0,10 **Versuche mit Sicherheitskraftstoff TZ 900/2** **Spez. 821**

11321