

Geheime Kommandosache

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 493

T-123

Versuche mit dem Ringverfahren bei verschiedenen

Verdichtungsverhältnissen

Übersicht: Es wird zunächst festgestellt, dass R 300 und Gasöl im Dieselbetrieb gleiche Leistungen ergeben, wenn durch entsprechende Auswahl der Düsen dafür gesorgt wird, dass die Einspritzzeit etwa gleich dem Zündverzögerung ist. Die Verbrennung von R 300 (CaZ 188) geht langsamer vor sich als die von Gasöl (CaZ 40), sodass die Verbrennung bereits v.o.T. eingeleitet werden muss und zwar umso früher, je höher das Verdichtungsverhältnis ist.

Im Klopfverhalten ist das Ringverfahren dem Otto-Verfahren bei Verdichtung 1:8 gleich, bei höheren Verdichtungsverhältnissen jedoch merklich überlegen. Wählt man praktisch in Frage kommende unveränderliche Einstellungen von Vorzündung und R-Einspritzung, so kann bei  $\lambda = 0,7$  eine Mehrleistung von 30% auch bei Verdichtung 1:8 beobachtet werden.

Wird das Ringverfahren bei hohen Verdichtungsverhältnissen durchgeführt, so ist Gasöl ebensogut wie R 300 als R-Stoff geeignet. Dieselmotoren können erheblich in den Leistungen gesteigert werden, wenn sie nach dem R-Verfahren mit hochklopfesten Kraftstoffen betrieben werden.

Abgeschlossen am: 13. Februar 1942 Gr.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. F. Penzig

*[Handwritten signature: Penzig]*

Die vorliegende Ausfertigung 18 enthält

14 Textblätter

13 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		Argus, Berlin, Dr. Christian	11		Luftkriegsakademie Gatow,
2		BMW, München, Dr. Löhner			Prof. Dr. Holfelder
3	✓	BMW, Spandau, Dr. Stieglitz	12		RLM, GL/A-M, DI. Keilpflug
4		DB., Stuttgart, Dr. Schmidt	13		RLM, Abt. LC 2, DI. Gebhardt
5		DVL, Dipl. Ing. Caroselli	14		RLM, Abt. LC 3, Dr. Stiebling
6		DVL, Dr. v. Philippovich	15		TH. Berlin, Prof. Dr. Triebnigg
7		E'stelle Rechlin, DI. Lange	16		TH. Dresden, Prof. Dr. List
8	✓	Hirth, Stuttgart, Dr. Bentele	17		Dir. Dr. Müller-Cunradi
9		Junkers, Dessau, Dr. Gerlach	18		Dipl. Ing. Penzig
10		Junkers, Dessau, Dr. Lichte	19		Techn. Prüfstand
			20		DB., Stuttgart, DI. Hofmann
			21		
			22		
			23		
			24		
			25		

29505

**Inhaltsverzeichnis**

**Einleitung**

**A. Versuche nach dem Dieselverfahren**

**1.) Auswahl der Düsen**

**a) Versuchsbedingungen**

**b) Ergebnisse**

**2.) Vergleich zwischen R 300 und Gasöl im Dieselbetrieb**

**a) Versuchsbedingungen**

**b) Ergebnisse**

**3.) Versuche bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen im Dieselbetrieb**

**a) Versuchsbedingungen**

**b) Ergebnisse**

**B. Versuche nach dem Ringverfahren**

**1.) Versuche mit verschiedenen R-Stoffdüsen**

**a) Versuchsbedingungen**

**b) Ergebnisse**

**2.) Vergleich über das Klopfverhalten des Otto- und Ring-Verfahrens**

**a) Versuchsbedingungen**

**b) Ergebnisse mit R 300 bei verschiedenen Verdichtungen**

**c) Ergebnisse der Vergleichsversuche von R 300 und Gasöl als R-Stoff**

Versuche mit dem Ringverfahren bei verschiedenen

Verdichtungsverhältnissen

Einleitung

Die Versuche mit dem Ringverfahren waren bisher stets bei einer Verdichtung von 1:8 durchgeführt worden. Dieses Verdichtungsverhältnis lässt sich an vorhandenen Baumustern durch Auswechseln der Kolben leicht einrichten, es stellt keine zu hohen Anforderungen an die Klopfestigkeit des Otto-Kraftstoffes und an die bisher erreichte Zündwilligkeit der R-Stoffe.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass im jetzigen Stand der Entwicklung die Klopfneigung eines nach dem Ringverfahren arbeitenden Motors dem des Otto-Motors etwa gleich ist. Es war nun zu untersuchen, ob beide Arbeitsverfahren sich auch bei höheren Verdichtungsverhältnissen annähernd gleich verhalten oder ob das eine oder das andere im Vorteil ist. Es stand allerdings von vorneherein fest, dass höhere Verdichtungsverhältnisse auch höhere Ansprüche an die Klopfestigkeit der Kraftstoffe stellen und somit bei höheren Verdichtungsverhältnissen keinesfalls höhere Leistungen zu erwarten waren. Anlass zu diesen Versuchen war auch die Beobachtung von Daimler-Benz, dass ein Diesel-Flugmotor bei einer Verdichtung von 1:14 mit B 4 kloppfrei betrieben werden konnte.

Untersuchungen über die Zündwilligkeit von üblichen Dieselkraftstoffen und den sehr zündwilligen R-Stoffen hatten stets einen stark voneinander abweichenden Verbrennungsverlauf im Dieselmotor ergeben. Die vorliegenden Versuche hatten auch den Zweck festzustellen, ob ein grundsätzlicher Unterschied in der Zündung von Otto-Gemischen durch Gasöl gegenüber Zündung durch R-Stoff besteht.

A. Versuche nach dem Dieselverfahren

Die Versuche bei höheren Verdichtungsverhältnissen machten es möglich, R-Stoff und Gasöl unmittelbar bei den gleichen Versuchsbedingungen vergleichen zu können. Es wurden deshalb vorerst Vergleichsversuche ohne Otto-Kraftstoff, also bei reinem Dieselbetrieb durchgeführt, um festzustellen, wie weit Leistung und Verbrauch eines Dieselmotors von der Zündwilligkeit des Kraftstoffes abhängig ist.

1.) Auswahl der Düsen

Es war zunächst notwendig, geeignete Düsen zu ermitteln, da die üblichen R-Stoffdüsen für nur kleine Mengen bestimmt sind, während der Dieselbetrieb bis zur vollen Last untersucht werden sollte.

a) Versuchsbedingungen

Wegen Neueinrichtung der Einzylinder-Prüfstände mussten die Versuche an einem I.G.-Prüfdiesel durchgeführt werden. Der Motor arbeitete unter folgenden Bedingungen:

Hubraum	1 ltr.
Verdichtungsverhältnis	1:8 bis 1:19
Kühlstofftemperatur	80°
Drehzahl	1400
Lufttemperatur	20°
Luftdruck	frei ansaugend
Einspritzpumpe	PE 1b mit Nocken use.
Kraftstoffmenge	Kolben 8 mm $\phi$
Voreinspritzwinkel	13 bis 150 mm <sup>3</sup> je Arbeitsspiel
Einlass	Bestwert
Auslass	öffnet 0° v.o.T., schliesst 43 n.u.T.
Gemischbildung	öffnet 48v.u.T., schliesst 10 n.o.T.
	Vergaser mit Verstelldüse

Es wurden folgende Düsen benutzt:

Bosch-Zapfendüse DN 4 S 1	(40° Zerstäubungswinkel)
" -Lochdüse DLOS 103	(0,3 Loch- $\phi$ )
Abspritzdruck	160 at

Als Kraftstoff wurde verwendet:

Dieselmotorkraftstoff II (DK II)	Cetanzahl 40
R-Stoff (R 300)	Cetanzahl 186

Ausser Leistung und Verbrauch wurde auch der Druckverlauf im Zylinder und der Nadelhub beobachtet, um den wahren Einspritzbeginn ermitteln zu können. Der Voreinspritzwinkel wurde jeweils für die beste Leistung eingestellt, wobei zum Teil harter Motorengang in Kauf genommen wurde.

b) Ergebnis der Düsen-Versuche

Die Versuche wurden lediglich bei dem Verdichtungsverhältnis 1:14 durchgeführt. Die Ergebnisse sind auf Blatt 1 dargestellt.

Die ohne Rücksicht auf die Rauchgrenze erzielbaren Höchstleistungen liegen bei einem Nutzdruck von 5 bis 6 kg/mm<sup>2</sup>. Der günstigste Verbrauch liegt bei etwa 3000 kcal/PS. Da der Motor nicht mit der für normalen Betrieb vorgesehenen Vorkammer, sondern mit einer nicht besonders durchgebildeten Strahleneinspritzung arbeitete, können die Ergebnisse als zulässig angesehen werden.

Die besten Werte wurden mit Gasöl erzielt (Blatt 1). Es ist hier ziemlich gleichgültig, ob die Zapfen- oder die Lochdüse verwendet wird. Bei R 300 ist jedoch die Lochdüse wesentlich ungünstiger. Diese Feststellung hat jedoch nur Bezug auf den hier untersuchten Dieselbetrieb, da die beim Ringverfahren im Leerlauf angewandten Mengen in einem Bereich liegen, in dem, wie eingetragen, sich keine Unterschiede zwischen den Stoffen und den Düsen ergeben.

Die Ursachen für den starken Einfluss der Düsenart auf den Betrieb mit R 300 geht aus Bild 2 hervor. Es ist dort das Öffnen und Schliessen der Düsennadel dargestellt in Abhängigkeit von der Kraftstoffmenge, also auch von der Leistung. Da die Bewegung der Düsennadel das sicherste Merkmal für Anfang und Ende der Einspritzung darstellt, kann aus den Auftragungen ersehen werden, wie lange die Einspritzung dauert und wann sie beginnt und endet. Gleichzeitig ist auch der Zeitpunkt des Druckanstieges dargestellt, sodass man sehen kann, welcher Anteil des Kraftstoffes noch nach Beginn der Verbrennung in den Zylinder gelangt.

Es zeigt sich nun, dass bei R 300 unter Verwendung der Lochdüse sehr zeitig mit dem Einspritzen begonnen werden muss, um die auf Blatt 1 dargestellten Leistungen zu erzielen. Der Kraftstofffluss durch die enge Bohrung ist offenbar stark gehemmt, sodass das Einspritzen der verhältnismässig grossen Mengen eines Kraftstoffes von geringem Heizwert ziemlich lange dauert. Nimmt man etwa gleichmässige Fördermenge an, so sieht man, dass bis zum Druckanstieg nur etwa  $1/3$  der Kraftstoffmenge sich im Zylinder befindet, ein zweites Drittel bis zum Totpunkt in die Verbrennung gespritzt und das letzte Drittel schliesslich erst während des Dehnungshubes in den Zylinder gelangt. Hieraus ist die schlechte Leistung der Lochdüse bei Dieseltrieb mit R 300 erklärlich. Das Nachbrennen ist aus dem Verhalten der Abgastemperatur (Blatt 1) zu erkennen, die trotz schlechter Leistung ziemlich hoch liegt.

Mit der Zapfendüse gelingt es zunächst, den gesamten Kraftstoff bis zum Totpunkt einzuspritzen, wobei die Verbrennung mit etwa der Hälfte der R-Stoffmenge einsetzt. Der Einspritzbeginn kann wesentlich später verlegt werden, was auch den Zündverzug merklich verkürzt. Die Abgastemperatur liegt verhältnismässig hoch und zwar als Folge der trägen Verbrennung höher als bei Gasöl. Leistung und Verbrauch erreichen nahezu die Werte von Gasöl.

Aus diesen beiden Versuchsreihen ergibt sich bereits eine Schlussfolgerung für das Anlassen. Das Anlassen des R-Motors erfolgt nach dem Dieselfahren und zwar mit einer möglichst grossen R-Stoffmenge, da die geforderte Leistung anfänglich hoch und die Verbrennung bei kalter Maschine noch unvollkommen ist. Es bestätigen sich nun die praktischen Erfahrungen, dass die für den Betrieb günstigen engen Lochdüsen für das Anlassen nicht geeignet sind, da sie das Einbringen verhältnismässig grosser R-Stoffmengen in kurzer Zeit nicht zulassen. Es muss also stets danach gestrebt werden, mit möglichst weiten Düsen auszukommen bzw. die Düsen zu verwenden, die bei kleinen Mengen einen geschlossenen Strahl von grosser Eindringtiefe, bei grossen Mengen für das Anlassen eine weite Öffnung mit möglichst guter Zerstäubung liefern. Bosch wurde veranlasst, sich mit dieser Frage zu befassen.

Bei Gasöl ergaben die auf Blatt 1 und 2 dargestellten Versuche, dass die günstigste Leistung offensichtlich dann erzielt wird, wenn der Druckanstieg nahe dem Totpunkt erfolgt. Der Voreinspritzwinkel ist deshalb trotz der niederen Cetanzahl etwa derselbe wie bei R 300. Es liegt dies auch daran, dass bei dem träge verbrennenden R 300 die Entzündung beträchtlich vor oberem Totpunkt eingeleitet werden muss. Bei der Zapfendüse und Gasöl liegen Druckanstieg und Einspritzende etwa im Totpunkt. Es wurden deshalb mit dieser Düse die besten Werte erzielt. Bei der Lochdüse muss der Beginn des Druckanstieges vor o.T. gelegt werden, da der Anteil des Kraftstoffes, der bei der engen Düse erst während des Dehnungshubes in den Zylinder gelangt, sonst zu gross wird und schlechte Verbrennung verursacht. Bei Teillast wirkt sich die grössere Dauer der Einspritzung bei der Lochdüse offensichtlich vorteilhaft auf die Verbrennung aus, was an den günstigen Verbräuchen und geringen Abgastemperaturen erkennbar ist (Blatt 1). Im Vergleich zu R 300 ist festzustellen, dass durch die Lochdüse bis zum Beginn des Druckanstieges etwa die Hälfte des Kraftstoffes eingespritzt werden kann, da der Heizwert des Gasöles beträchtlich über dem des R 300 liegt.

## 2.) Vergleich zwischen R 300 und Gasöl im Dieselbetrieb

Es wurden nun Versuchsreihen gefahren um einen guten Vergleich zwischen dem Verbrennungsablauf eines mit R 300 und eines mit Gasöl getriebenen Dieselmotors zu ermöglichen.

### a) Versuchsbedingungen

Nachdem festgestellt war, dass Dieselbetrieb nur mit der Zapfendüse bei R 300 durchgeführt werden konnte, wurden die folgenden Versuche zwar mit den Versuchsbedingungen unter A 1 a, jedoch nur mit der Zapfendüse DM 4 S. 1 und einem Verdichtungsverhältnis von 1:16 durchgeführt.

### b) Ergebnisse

Auf den Blättern 3 und 4 sind einige Verbrennungsdiagramme dargestellt und zwar gleichzeitig mit den dazugehörigen Vermagerungsschleifen. Versuche dieser Art wurden, wie später noch erwähnt, mit verschiedenen Ver-

dichtungsverhältnissen durchgeführt. Hieraus wurden die Versuche für Verdichtung 1:16 ausgesucht, da hier die Aufnahmen am besten gelungen waren. Die Verhältnisse liegen bei den übrigen Verdichtungsverhältnissen übrigens grundsätzlich ähnlich.

Bei Gasöl DK II (Blatt 3) ist der Druckanstieg ausserordentlich heftig, da sich der gesamte Kraftstoff im Augenblick der Entzündung im Zylinder befindet. Die Leistung und der Verbrauch sind befriedigend, doch muss dies mit hartem Lauf erkauft werden, wie er praktisch nicht durchführbar ist. Die Diagramme zeigen deshalb sehr heftige Schwingungen, sodass häufig Störungen am Quarzgeber auftraten.

Die beste Leistung wird offensichtlich dann erreicht, wenn der Höchstwert des Druckes im Totpunkt oder kurz danach liegt. Obgleich nun auch bei R 300 sich im Totpunkt die gesamte Kraftstoffmenge im Zylinder befindet, ist die Verbrennung sehr weich (Blatt 4). R 300 verbrennt offensichtlich sehr viel langsamer als Gasöl. Wie erwähnt, tritt bei Gasöl sehr schnelle Verbrennung ein wenn diese im Totpunkt einsetzt, und es würde heftiges Klopfen ergeben, wenn sie, wie bei R 300 notwendig, bereits v.o.T. eingeleitet würde. Die Verbrennung während des Verdichtungshubes bedeutet Verluste, sowohl in thermischer wie mechanischer Hinsicht, sodass bei R 300 nicht die gleichen Leistungen wie bei Gasöl erzielbar sind.

Beim Ringverfahren spielt die träge Verbrennung von R 300 nur beim Anlassen, Leerlauf und Warmlaufen eine Rolle. Man könnte nun folgern, dass für den Dieselmotor eine gewisse Zeit für die Gemischbildung notwendig sei und dass diese bei Kraftstoffen hoher Zündwilligkeit nicht gegeben ist, weil die Verbrennung einsetzt, bevor der gesamte Kraftstoff sich im Zylinder befindet. Die Verbrennung setzt also mit einer kleinen Energiemenge ein und der Druckanstieg verläuft nach Massgabe des Einspritzgesetzes. Dass diese Annahme nicht richtig ist, beweisen Versuche, bei denen durch einen grösseren Pumpenstempel auch bei R 300 eine kurze Einspritzzeit erzielt wurde. Die gesamte Kraftstoffmenge befand sich dann vor der Verbrennung im Zylinder. Trotzdem verlief die Verbrennung langsamer als wenn die gleiche Energiemenge in Form von Gasöl ebenfalls vor Verbrennungsbeginn eingespritzt wurde.



Der Grund für die trägere Verbrennung kann also nur im Aufbau der Stoffe gesucht werden. Möglicherweise verläuft die Oxydation des R 300 über zahlreiche Zwischenstufen, bei denen vielleicht häufig Kettenabbrüche auftreten oder auch sehr zeitig  $\text{CO}_2$  oder  $\text{H}_2\text{O}$  entstehen, die die Verbrennung hemmen.

### 3.) Versuche bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen

Nachdem durch die bisher beschriebenen Versuche festgestellt worden war, welche grundsätzlichen Unterschiede im Betrieb eines Dieselmotors mit Gasöl und mit R 300 auftreten, sollte nun untersucht werden, wie sich verschiedene Verdichtungsverhältnisse auf das Verhalten dieser beiden Kraftstoffe auswirken.

#### a) Versuchsbedingungen

Die Versuche wurden unter den in Abschnitt A 1 a angeführten Bedingungen durchgeführt, jedoch nur mit der Zapfendüse DM 4 S 1. Das Verdichtungsverhältnis wurde von 1:8 bis 1:19 verändert, doch war bei Gasöl ein Betrieb erst ab 1:11 möglich.

#### b) Versuchsergebnisse

Aus den auf den Blättern 5 und 6 dargestellten Versuchen ist zu ersehen, dass die besten Leistungen mit Gasöl (Blatt 5) erzielt werden. Die höchsten Leistungen allerdings bei Verdichtungsverhältnissen von 1:11 bezw. 1:12, die praktisch nicht mehr in Frage kommen, da der Motor hiermit nicht mehr angelassen werden kann.

Die erzielbare Höchstleistung nimmt infolge steigender Reibungsverluste mit zunehmendem Verdichtungsverhältnis ab (Blatt 5 und 6). Gasöl ergibt bei 1:11 unsichere Zündungen, sodass ausnahmsweise mit der höheren Verdichtung 1:12 höhere Leistungen erzielt werden. Bei beiden Kraftstoffen liegt der günstigste Wert etwa bei 3000 kcal/PS<sub>h</sub>. Dieser Wert wird nur von R 300 (Blatt 6) bei 1:8 nicht erreicht.

Auf den Blättern 5 und 6 sind auch Zündverzögerungen bei verschiedenen Verdichtungsgraden dargestellt. Da die Einstellung des für die Leistung

günstigsten Voreinspritzwinkels gefühlsmässig erfolgte, sind die Streuungen ziemlich gross. Es wurden deshalb die Kurven in ihrer wahrscheinlichsten Lage eingetragen.

Es zeigt sich zunächst, dass bei R 300 eine eindeutige Abhängigkeit des Zündverzuges vom Verdichtungsverhältnis nicht vorhanden ist. Im Gegensatz hierzu ist bei Gasöl eine eindeutige Verminderung des Zündverzuges mit steigendem Verdichtungsverhältnis zu beobachten. Der Grund liegt darin, dass bei Gasöl die Zündung im Totpunkt erfolgt und sich deshalb die vom Verdichtungsverhältnis abhängige Verdichtungsendtemperatur stark auswirkt. Bei R 300 muss der langsamen Verbrennung wegen die Zündung bereits im Verdichtungshub erfolgen. Der Zündverzug liegt also in einem Gebiet, in dem sich die Temperaturen der Ladung bei verschiedenem Verdichtungsverhältnis nicht so sehr unterscheiden wie nahe dem Totpunkt. Ein Vergleich der aufgenommenen Diagramme zeigte, dass beim Gasöl der Druckanstieg am besten im Totpunkt erfolgt, während bei R 300 offensichtlich der Verbrennung umso zeitiger eingeleitet werden muss, je höher das Verdichtungsverhältnis ist.

## B. Versuche nach dem Ringverfahren

Nachdem die Verhältnisse bei reinem Dieselbetrieb geklärt waren, wurden die bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen im Ringverfahren erzielbaren Leistungen und Verbräuche ermittelt.

### 1.) Versuche mit verschiedenen R-Stoffdüsen

Während beim Dieselbetrieb für die Auswahl der Düse massgebend war, dass auch grössere Kraftstoffmengen in kurzer Zeit in den Zylinder gelangen, so war beim R-Betrieb nötig, diejenige Düse zu ermitteln, die mit möglichst kleinen R-Stoffmengen und geringen Zündverzügen arbeitet.

#### a) Versuchsbedingungen

Die Versuchsbedingungen waren die gleichen wie unter A 1 a angegeben. Es wurde das für das Ringverfahren übliche Verdichtungsverhältnis von 1:8 gewählt. Die R-Stoffmenge betrug 20 und 35 mm<sup>3</sup> R 300 je Arbeitsspiel.

Als Kraftstoff wurde B 4 benutzt. Die Leistung wurde durch Änderung der Kraftstoffmenge erzielt. Bei den Versuchen ergab sich, dass bei dem kleinen Zylinder ohne Luftvorwärmung gefahren werden konnte im Gegensatz zu den bisherigen Versuchen an Flugmotorenzylindern, wo stets eine Lufttemperatur von  $80^{\circ}$  eingestellt wurde.

b) Ergebnisse

Der Vergleich der Düsen ergab folgendes:

Bei der Zapfendüse ist die Eindringtiefe offensichtlich ungenügend, wenn die Menge  $20 \text{ mm}^3$  je Spiel betrug (Blatt 7). Leistung und Verbrauch werden wesentlich günstiger, wenn die Menge auf  $35 \text{ mm}^3$  erhöht wird. Die grössere Menge des R-Stoffes ist jedoch nicht die Ursache, denn die Lochdüse erreicht auch mit der kleineren Menge von  $20 \text{ mm}^3$  die günstigsten Werte dieser Versuchsreihe. Bei  $35 \text{ mm}^3$  unterschieden sich die beiden Düsenarten nicht. Es bestätigt sich also, dass beim Ringverfahren die hart arbeitende Lochdüse die bessere ist, zum mindesten dann, wenn kleine R-Stoffmengen angewandt werden sollen. Für das Anlassen ist jedoch, wie bei den Dieselversuchen gezeigt, die weichere Düse vorteilhafter.

Die schlechte Verbrennung bei der Zapfendüse mit kleiner R-Stoffmenge wirkt sich bei Vollast in einer Steigerung der Abgastemperatur aus, die entsprechend der stark abfallenden Leistung bei Überlast ebenfalls kleiner wird. Der Zündverzug ist bei der Lochdüse allerdings beträchtlich grösser, sodass die Zapfendüse in dieser Beziehung günstiger ist, sofern man auf Anwendung kleiner Mengen verzichtet. Trotzdem wurde bei den weiteren Versuchen die Lochdüse verwendet. Gleichzeitig aufgenommene Diagramme zeigen, dass bei  $20 \text{ mm}^3$  bei Verwendung der Zapfendüse die Verbrennung nur bei geringen Benzönmengen sicher erfolgt. Schon bei einem Nutzdruck von  $5 \text{ kg/cm}^2$  an treten in steigendem Masse Aussetzer auf, die bei  $35 \text{ mm}^3$  je Spiel völlig verschwinden.

## 2.) Vergleich über das Klopfverhalten des Otto- und Ring-Verfahrens

Bei vergleichenden Versuchen über das Klopfverhalten muss darauf geachtet werden, dass sowohl beim Otto-, wie auch beim Ringverfahren die jeweils günstigsten Bedingungen gewählt werden. Bei den ersten tastenden Versuchen (Bericht 394) war das Otto-Verfahren bei  $32^\circ$  Vorzündung verglichen worden mit dem Ringverfahren unter solchen Bedingungen, dass der Druckanstieg im Totpunkt erfolgte. Dieses Verfahren ist anfechtbar, da die Klopfgrenze stark vom Zeitpunkt abhängt, in dem die Verbrennung eingeleitet wird. Die vorliegenden Versuche wurden deshalb in anderer Weise durchgeführt.

### a) Versuchsbedingungen

Es wurde die Aufgabe gestellt, mit dem wenig klöpffesten Kraftstoff B 4 jeweils den Höchstwert an Leistung bei verschiedenen Mischungsverhältnissen herauszuholen. Die Zündung bzw. der Voreinspritzwinkel wurde immer so eingestellt, dass entweder die Höchstleistung oder die Klopfgrenze erreicht wurde. Dasjenige Verfahren, das die höhere Leistung zuließ, musste das bessere sein. Die Versuche wurden bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen durchgeführt, wobei sowohl R 300 als auch Gasöl als R-Stoff verwendet wurde. Als R-Stoff-Düse wurde die Lochdüse DLOS 103, als Zündkerze N 240 T 1 bei einem Verdichtungsverhältnis von 1:8 verwendet, während bei Verdichtungen 1:10 und 1:12 das Muster W 300 G und bei noch höheren Verdichtungsverhältnissen W 380 G benutzt wurde. Die R-Stoffmenge betrug unverändert  $20 \text{ mm}^3$  je Spiel. Die übrigen Bedingungen sind im Abschnitt B 1 a bzw. A 1 a angeführt.

### b) Ergebnisse mit R 300 bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen.

Bei einem Verdichtungsverhältnis von 1:8 (Blatt 8 unten) trat weder beim Otto- noch beim Ringverfahren Klopfen bei Verwendung von B 4 ein. Es sind also erst bei höheren Verdichtungen Vergleiche über das Klopfverhalten möglich.

Bei dem Verdichtungsverhältnis 1:10 (Blatt 8 oben) ist das Ringverfahren eindeutig überlegen. Dies tritt bei 1:12 (Blatt 9 unten) und 1:14 (Blatt 9 oben) noch deutlicher hervor. Bei 1:16 und 1:18 (Blatt 10 oben)

versagt der Otto-Betrieb vollkommen, da zu starkes Klopfen auftritt. Es muss beachtet werden, dass bei höheren Verdichtungsgraden die Kerzen - zündung nicht mehr einwandfrei arbeitet, weil die notwendigen Durchbruchspannungen von den üblichen Zündgeräten nicht geliefert werden und die Isolatoren besonders an den Zündkerzen nicht mehr ausreichen. Bei den Versuchen konnten hörbare Aussetzer nicht festgestellt werden, doch zeigen die Diagramme, dass die Zündung mit zunehmendem Verdichtungsverhältnis unsicher wird. Die gleichzeitig aufgenommenen Diagramme zeigten übrigens stets eine ruhigere Verbrennung beim Ringverfahren.

Auf Blatt 10 sind nochmals alle Versuche, jedoch ohne die mit Verdichtungsverhältnis 1:16 und 1:18 ausgeführten, zusammengefasst.

Zur Ergänzung ist auf Blatt 11 ein Versuch im DB 6001 dargestellt, bei dem das Klopfverhalten von B 4 mit Hilfe der zulässigen Überladung festgestellt worden. Hierbei wurde die für den DB-Motor übliche Vorzündung von  $38^\circ$  beim Ringverfahren die in fast allen Fällen zweckmässigste Voreinspritzung von  $70^\circ$  angewandt. Vergleicht man die beiden Arbeitsverfahren unter diesen aus der Praxis stammenden Voraussetzungen, so ergibt sich auch beim Verdichtungsverhältnis 1:8 eine Überlegenheit des Ringverfahrens. Die Mehrleistung liegt hier im Gebiet der Startleistung, sie beträgt 30% gegenüber dem Otto-Verfahren. Bei den im Bericht Nr.394 beschriebenen Versuchen war unter Verwendung eines luftgekühlten Flugmotorenzylinders (BMW 132) die Mehrleistung hauptsächlich bei Reisleistung aufgetreten. Allerdings war dort mit veränderlicher Voreinspritzung gearbeitet worden.

c) Ergebnisse der Vergleichsversuche von R 300 und Gasöl als R-Stoff

Es war nun noch wichtig zu untersuchen, ob Gasöl gegenüber R 300 einen Unterschied im Klopfverhalten des damit gezündeten Otto-Gemisches besitzt.

Wie im Abschnitt 13 gezeigt wurde, zündet Gasöl im Dieselmotor noch bei einer Verdichtung von 1:12. Wird die Verdichtungsendtemperatur aber durch den im Saughub eingespritzten Otto-Kraftstoff gesenkt, so ist eine

Zündung nicht mehr möglich. Die Versuche wurden deshalb mit einer Verdichtung von 1:14 durchgeführt.

Bei den Versuchen wurde die Lochdüse angewandt, sodass, wie schon im Abschnitt A a) gezeigt, mit R 300 (Blatt 12 unten) geringere Leistungen im Dieselbetrieb erreicht wurden wie mit Gasöl (Blatt 12 oben). Von verschiedenen Punkten der Dieselkurve aus, die 13, 20, 35 und 60 mm<sup>3</sup>/Spiel entsprachen, wurden durch Zusatz von B 4-Kurven im Ringverfahren gefahren. Bei Annäherung an die Klopfgrenze wurde das Klopfen durch Späteinspritzung des R-Stoffes vermieden. Die Kurven wurden ungefähr bis zu dem Punkt gefahren, in dem die Einspritzung nahe dem Totpunkt erfolgen musste.

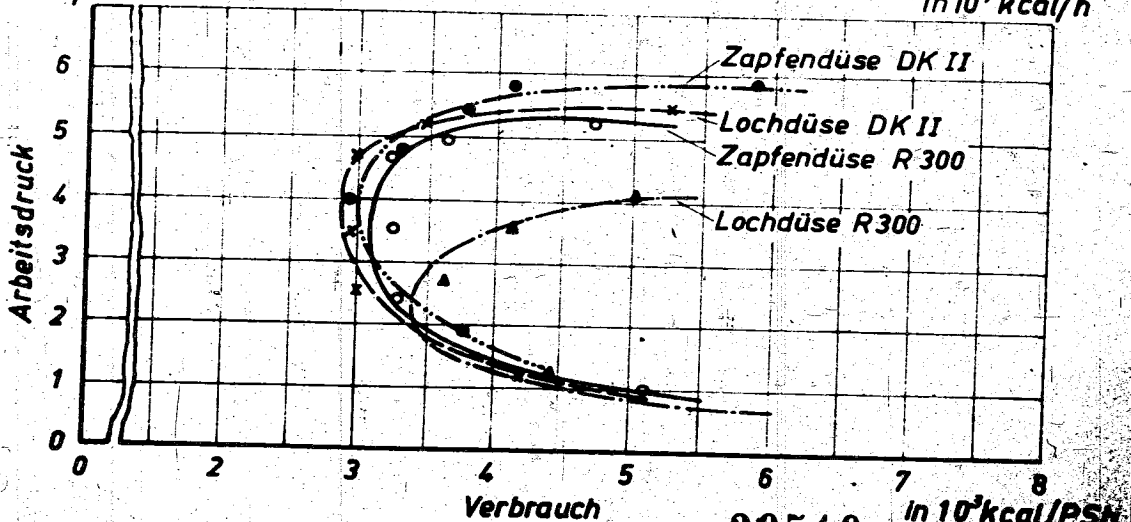
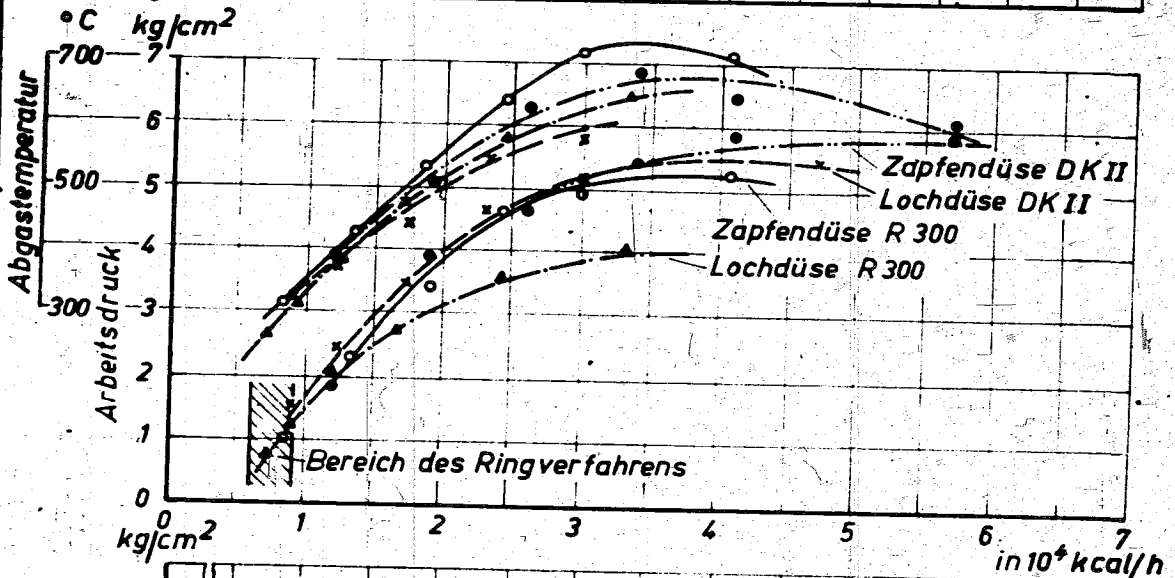
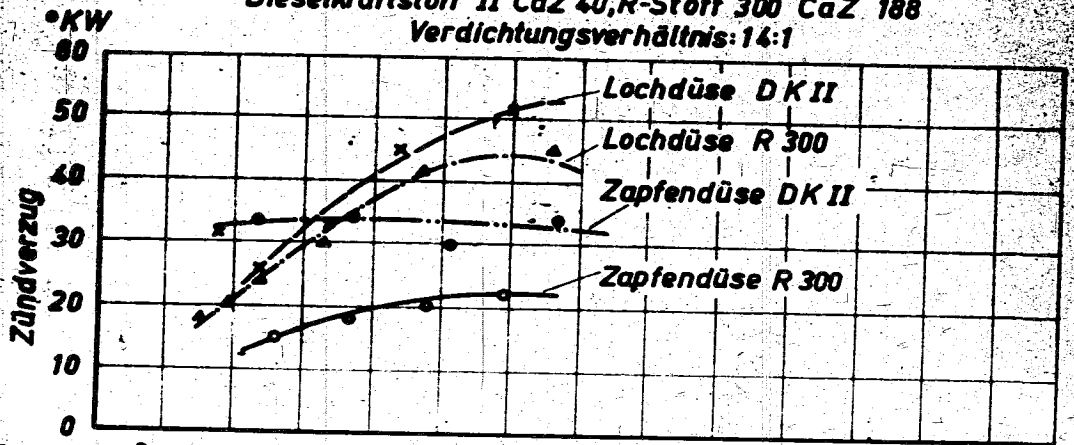
Es zeigt sich, dass mit beiden R-Stoffen praktisch dieselbe Leistung und die gleichen Verbräuche erzielt werden. Bei Gasöl mit 60 mm<sup>3</sup>/Spiel durchgeführte Versuche zeigen deutlich, dass die des Klopfens wegen erreichbare Höchstleistung mit zunehmender R-Stoffmenge absinkt. Es ist also möglich, wie angedeutet, eine Grenzkurve zu ziehen, die von der höchsten im Ringverfahren mit der günstigsten R-Stoffmenge erzielbaren Leistung ausgeht und in die Kurve des reinen Dieselbetriebes einmündet. Die Versuche wurden auch mit klopfesterem Kraftstoff durchgeführt, wobei selbstverständlich höhere Leistungen erzielt werden konnten; so zeigt Bild 13 ein Beispiel, bei dem der Nutzdruck des Dieselmotors von etwa 5 auf 9 kg/cm<sup>2</sup> gesteigert wurde. Bei einem sorgfältig durchgebildeten Dieselmotor liegen die Nutzdrucke etwa bei 6 bis 7 at, trotzdem können durch Einspritzung von Otto-Kraftstoff Mehrleistungen von 20% erwartet werden. Ob sie anwendbar sind hängt vom Triebwerk, insbesondere vom Kolben ab und vor allem davon, dass ein Kraftstoff von so hoher Klopfestigkeit zur Verfügung steht, dass er auch bei dem Verdichtungsverhältnis eines Dieselmotors nicht klopft.

# Dieselversuche mit verschiedenen Düsen

Zapfendüse DN 4 S 1, Lochdüse DLOS 103

Dieselmotorkraftstoff II CaZ 40, R-Stoff 300 CaZ 188

Verdichtungsverhältnis: 14:1

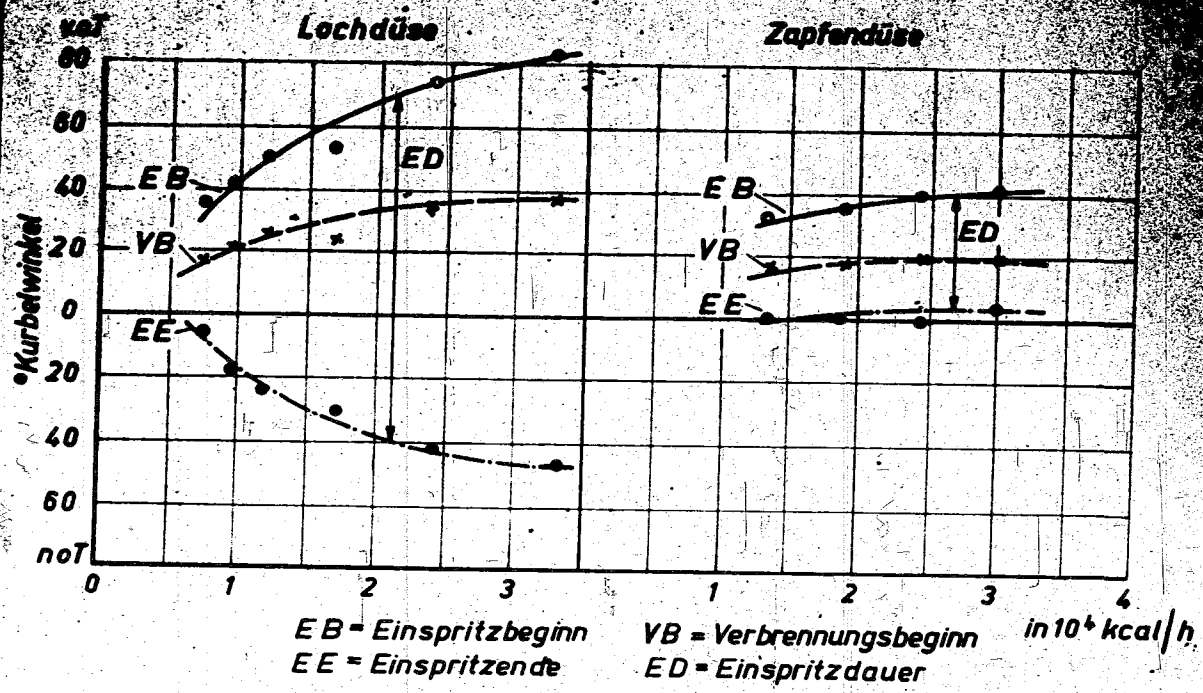


29519

in 10<sup>4</sup> kcal/PSH

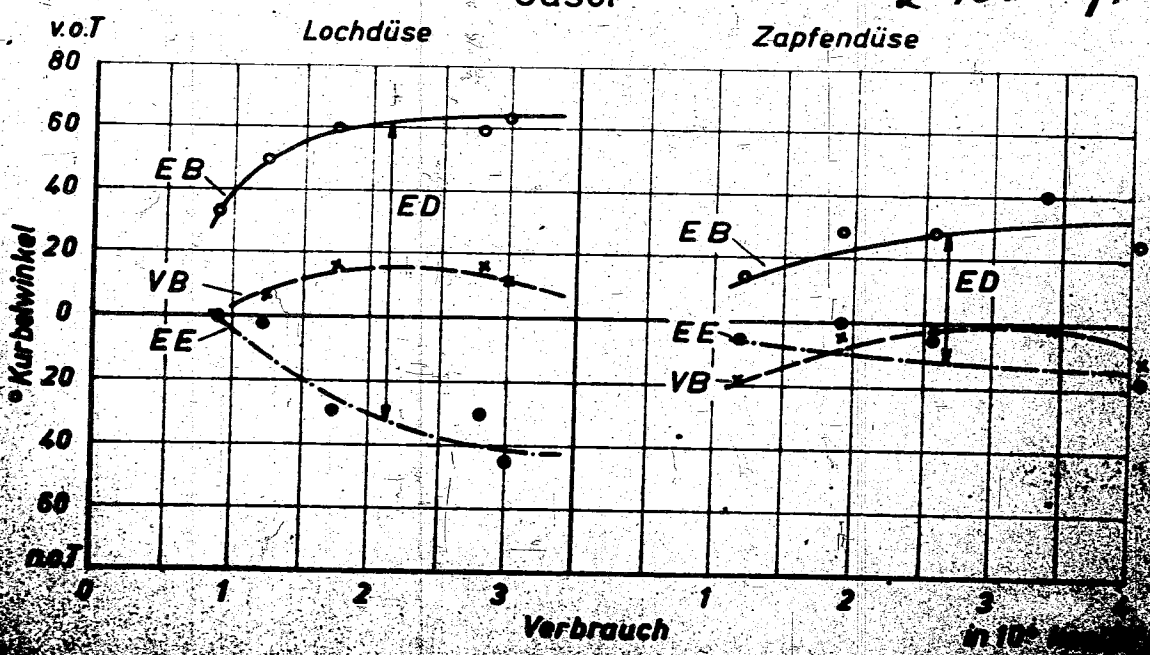
# Einspritzverhältnisse bei verschiedenen Düsen und Kraftstoffen

R. 900



Gasöl

29520 / i





29520

Verbrennungsdruck-  
Nadelhub

**Dieselverfahren**  
Verdichtungsverhältnis: 16:1  
Kraftstoff: Dieselkraftstoff II

Techn. Prüfstand  
Oppau

Blatt 3

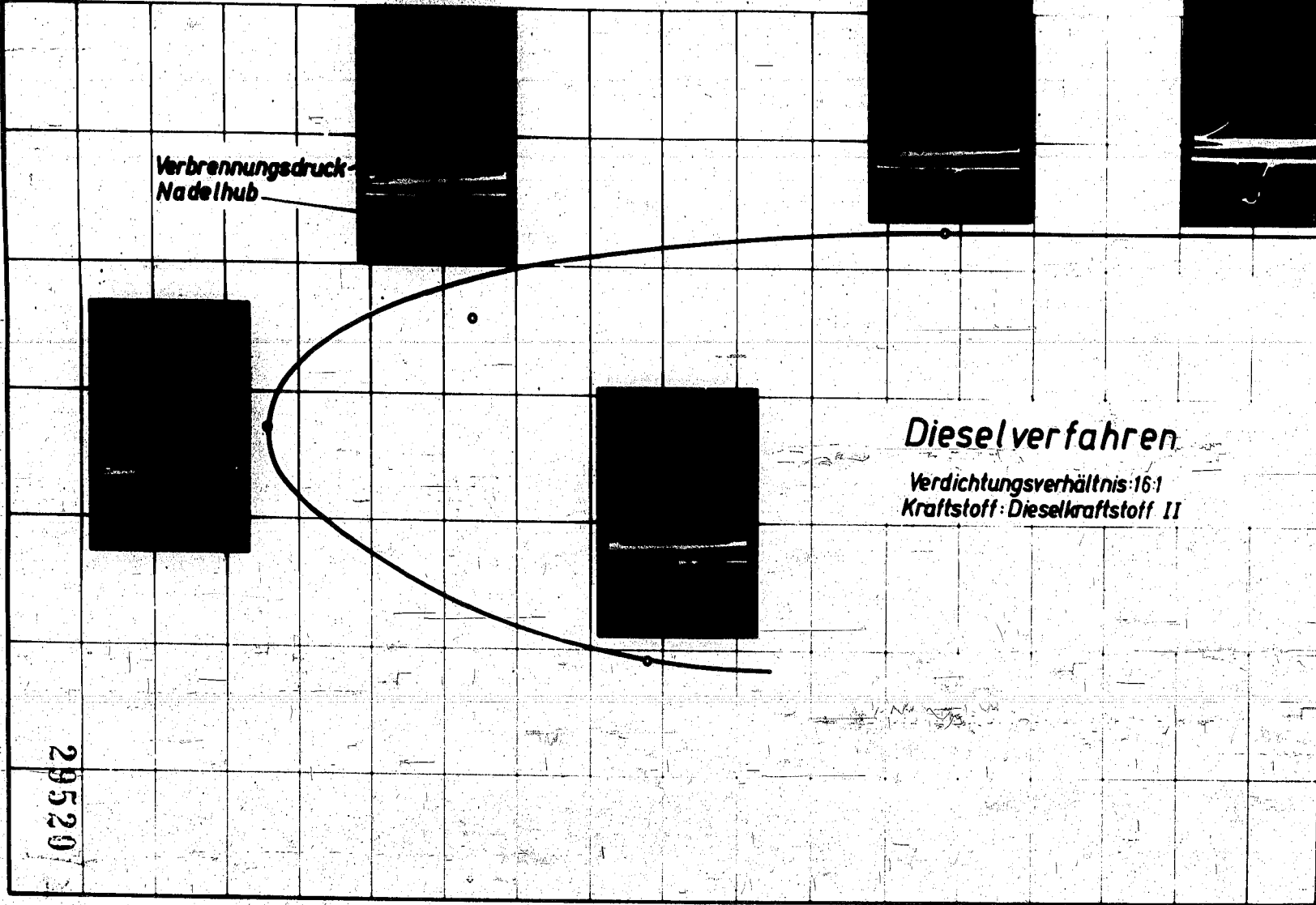
3000

3500

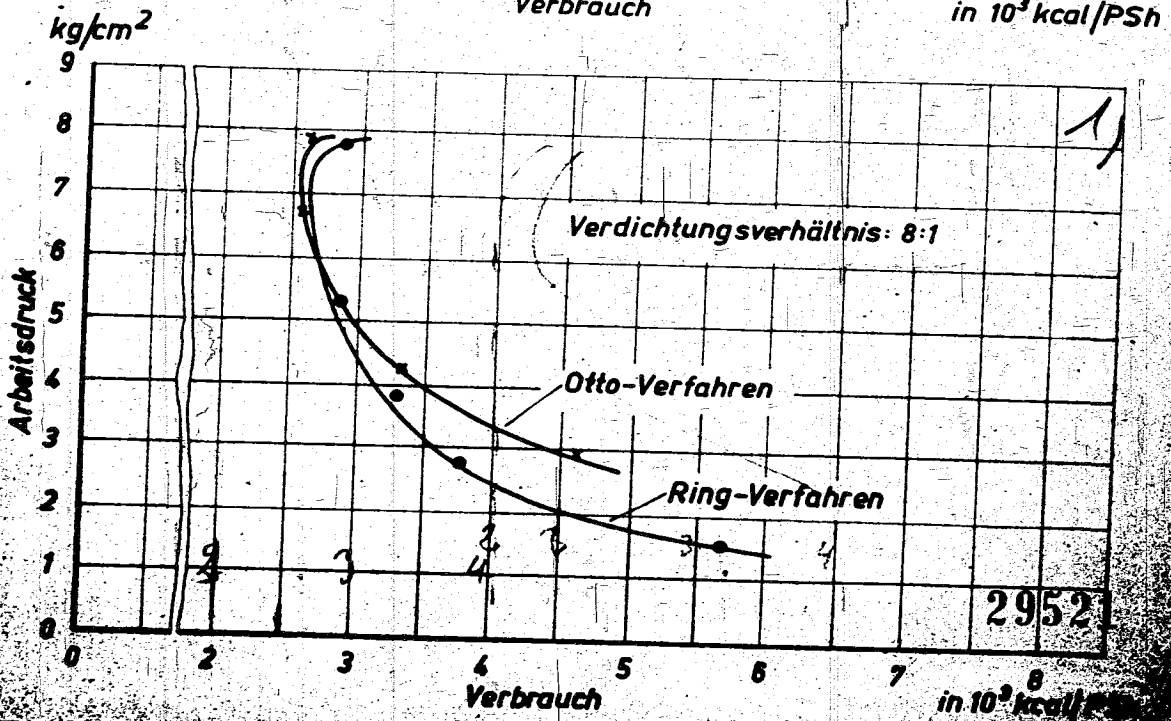
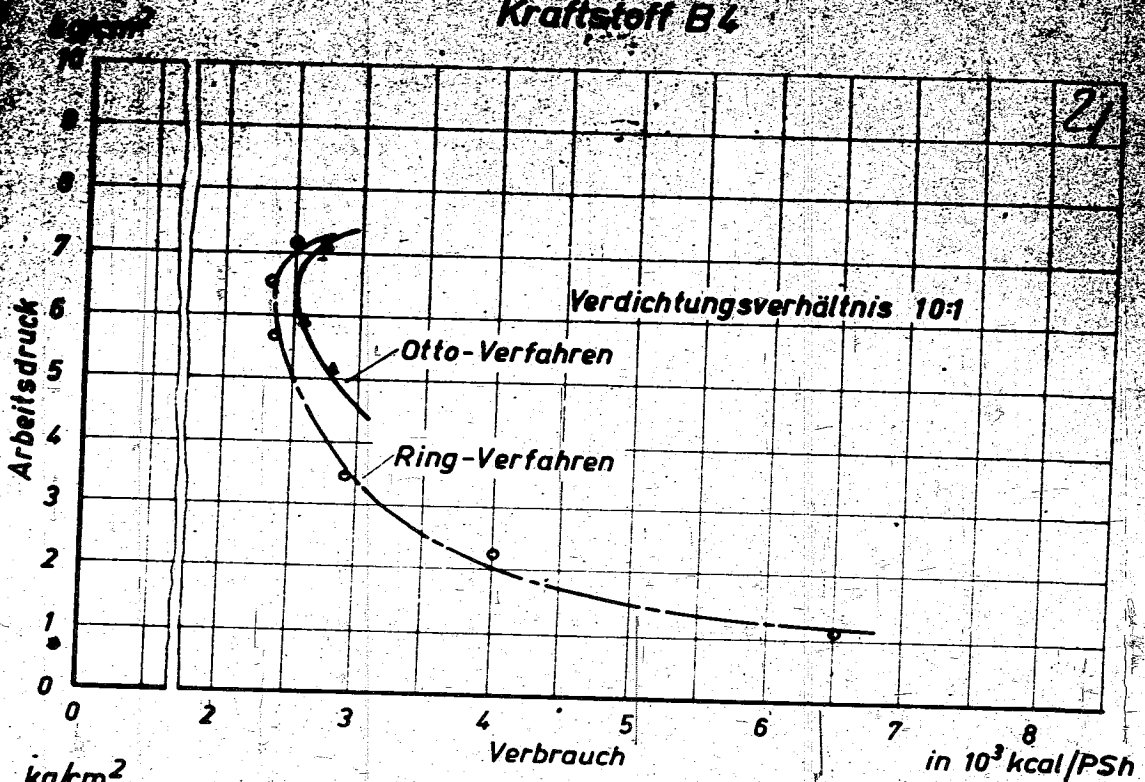
Verbrauch

4000

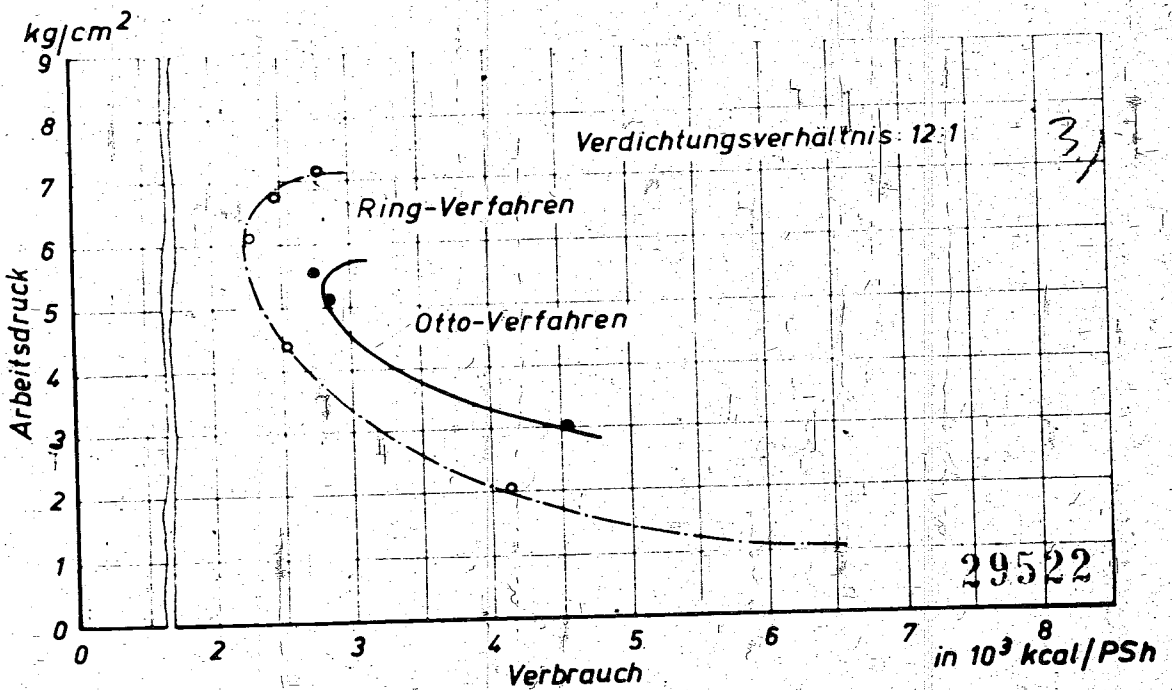
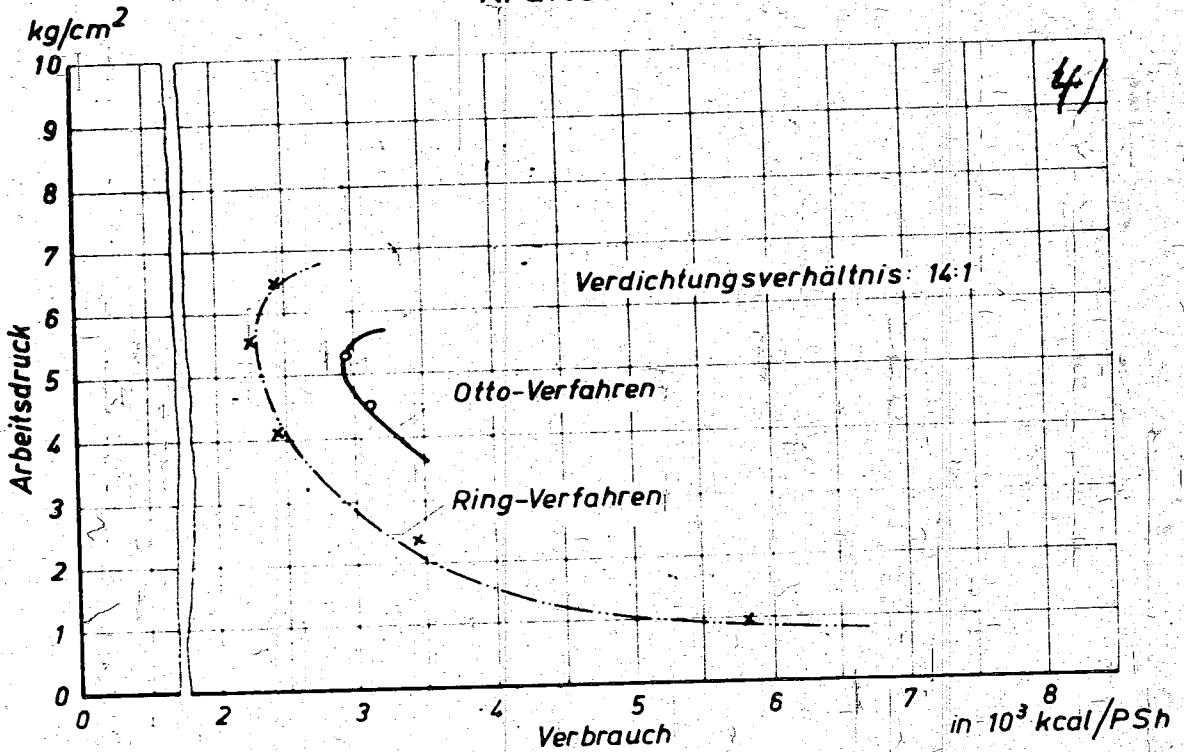
4500  
kcal/PS h



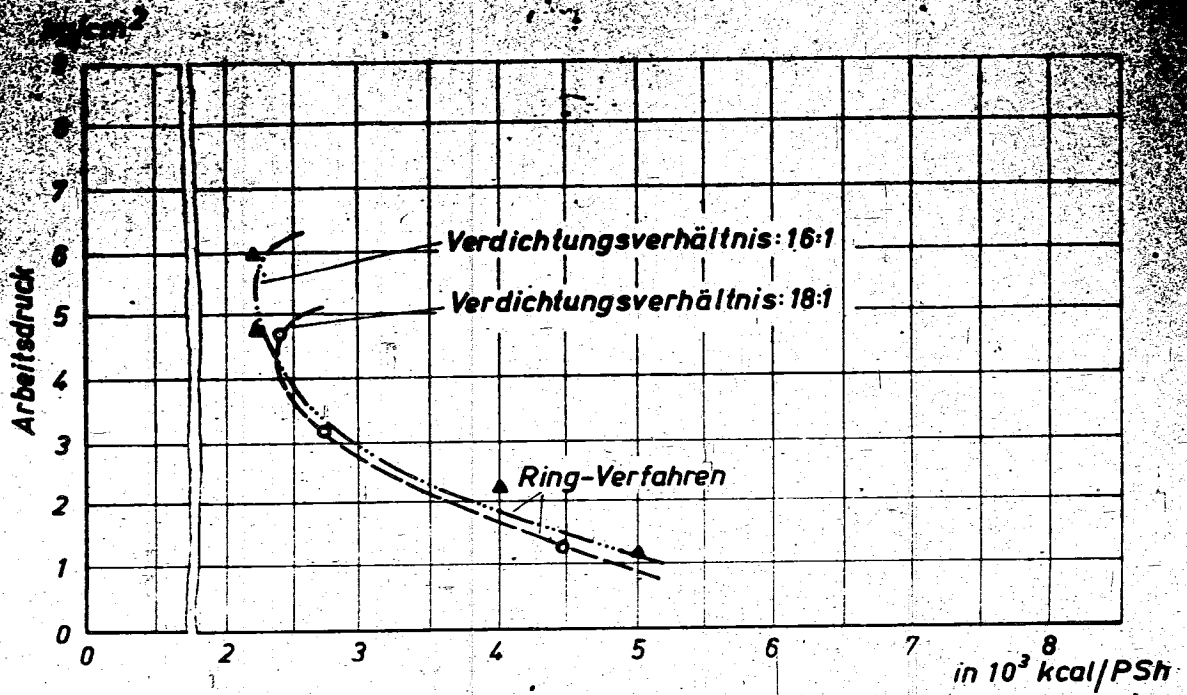
Vergleich zwischen Otto-u. Ringverfahren  
 bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen  
 Kraftstoff B4



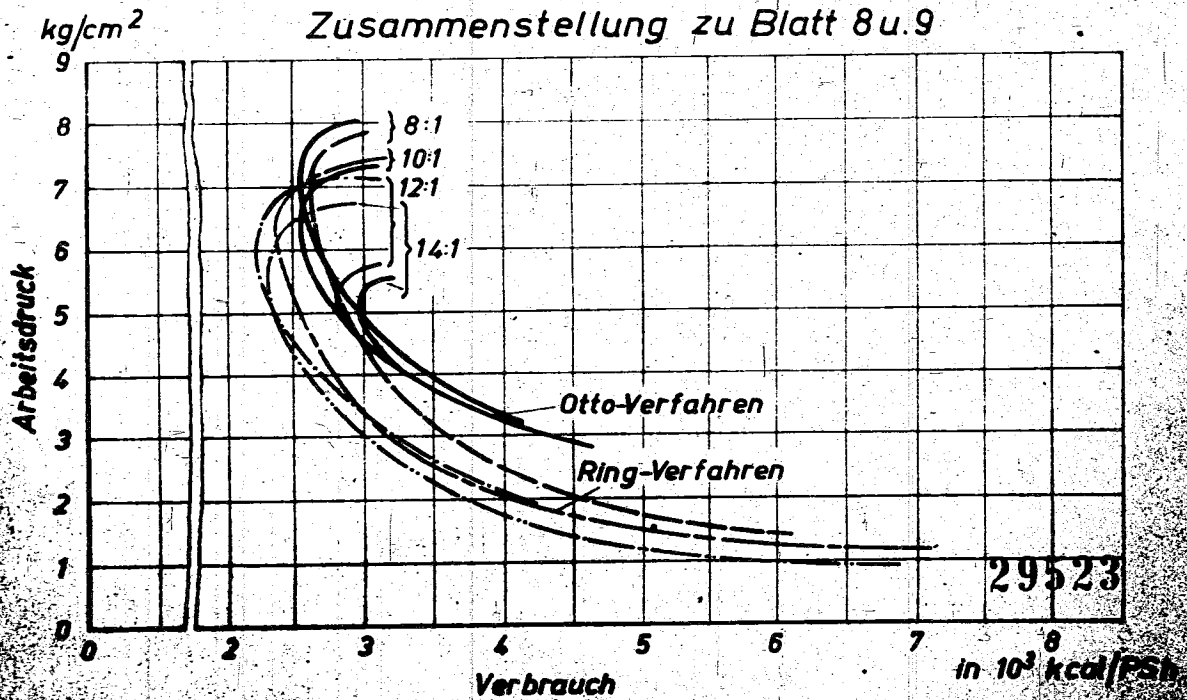
# Vergleich zwischen Otto- u. Ringverfahren bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen Kraftstoff B4



# Vergleich zwischen Otto-u. Ringverfahren bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen Kraftstoff B4



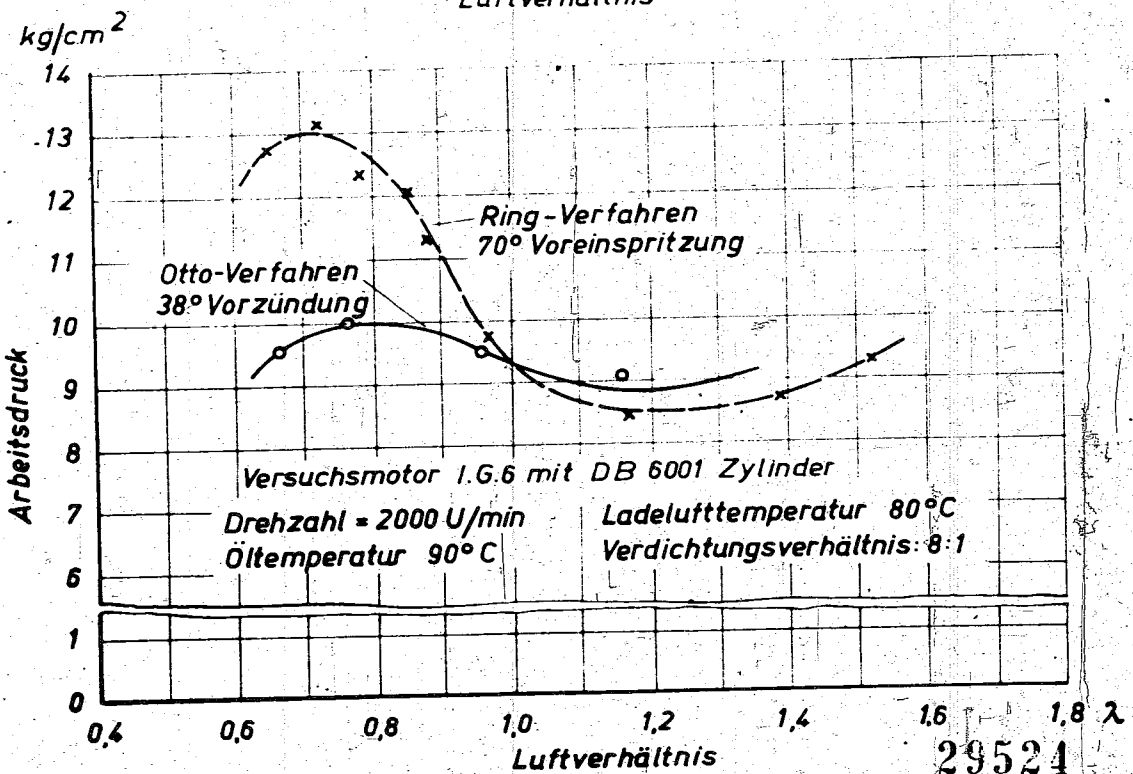
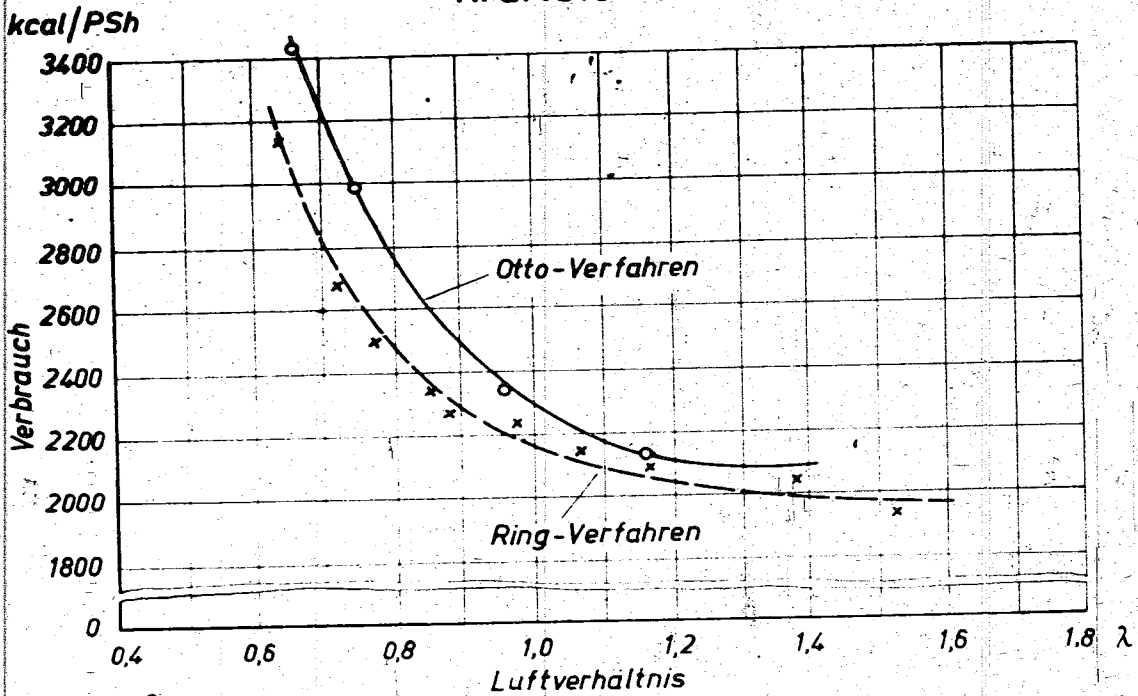
Zusammenstellung zu Blatt 8 u. 9



# Klopfgrenzkurven

## Vergleich zwischen Otto-u. Ringverfahren

### Kraftstoff B4



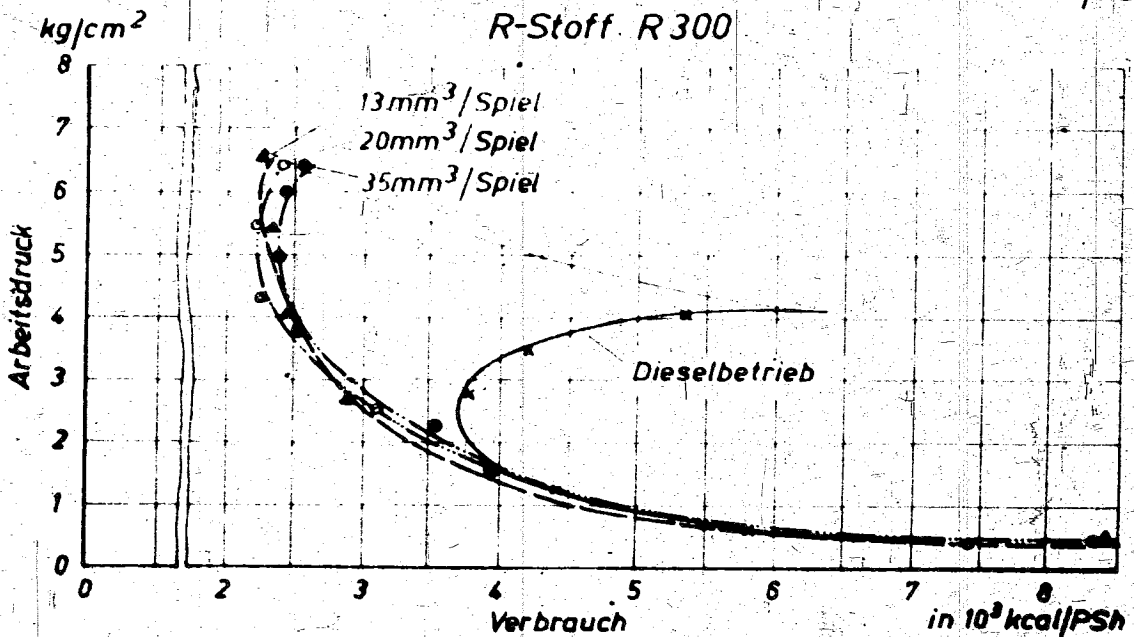
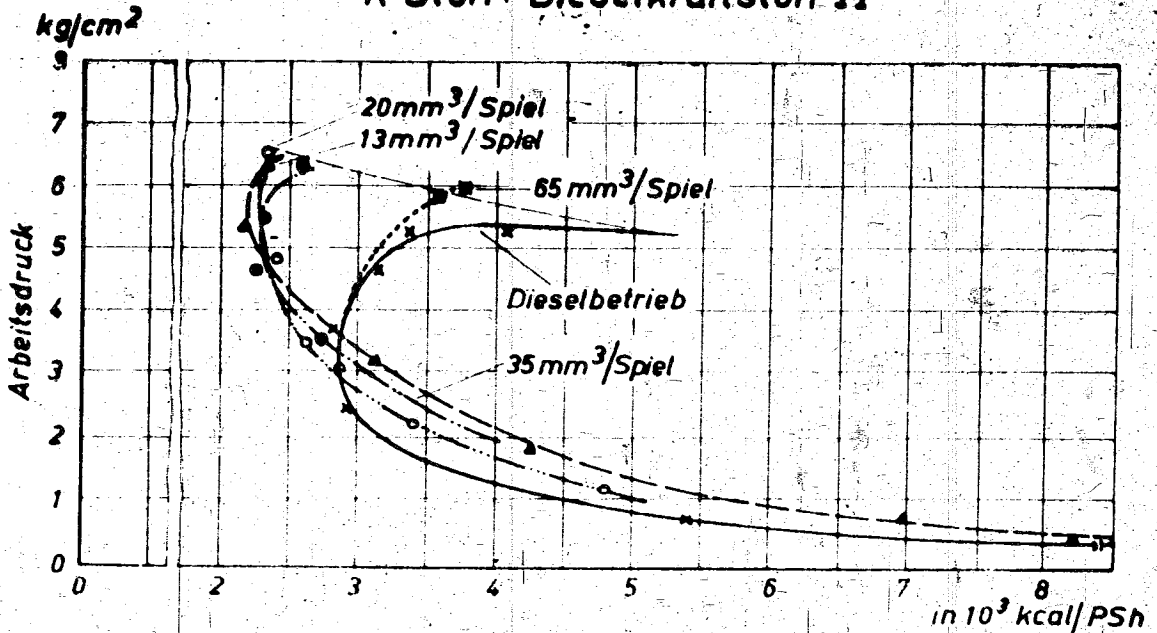
29524

# Ringverfahren mit verschiedenen R-Stoffmengen

Kraftstoff B4 R-Stoff Düse Bosch DLOS 103

Verdichtungsverhältnis: 14:1

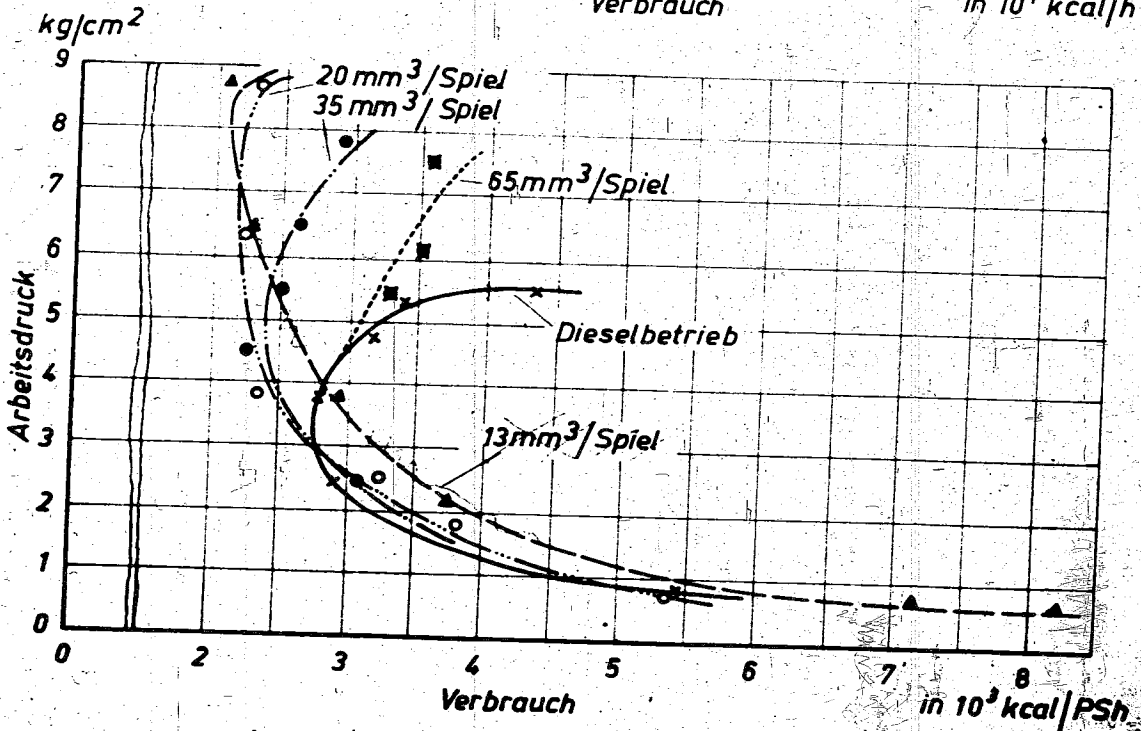
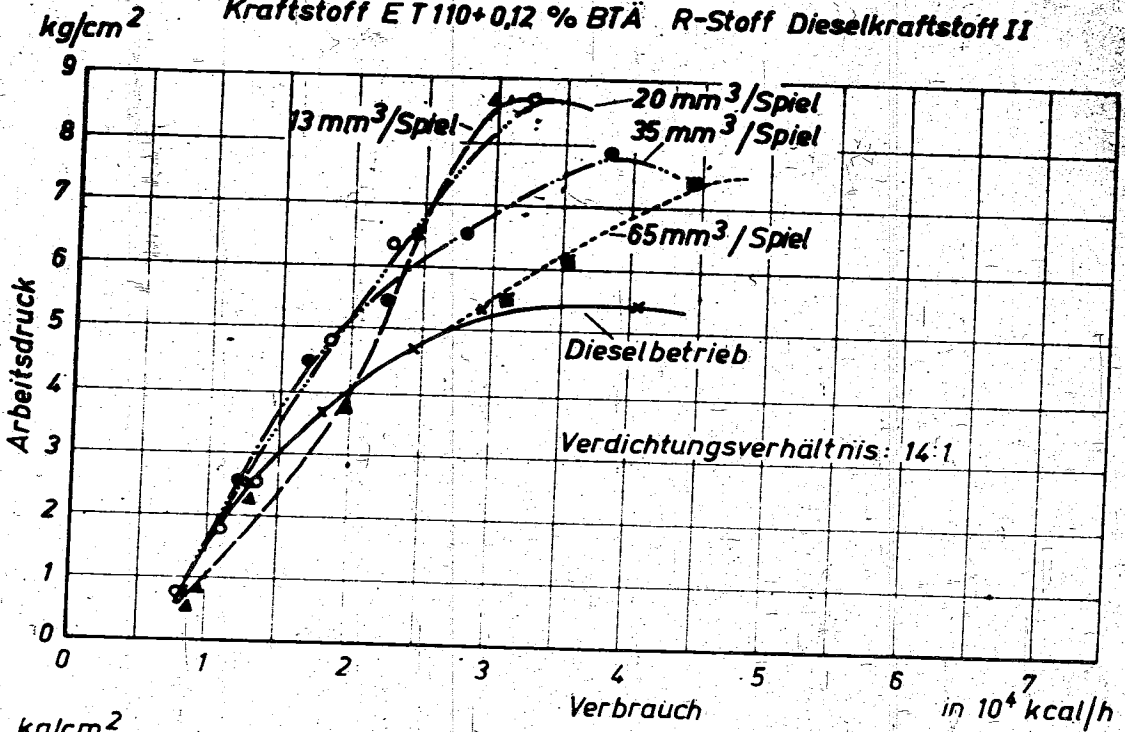
R-Stoff: Dieselkraftstoff II



29525

# Steigerung der Leistung eines Dieselmotors durch Zusatz von Otto-Kraftstoff

Kraftstoff ET 110 + 0,12 % BTA R-Stoff Dieselkraftstoff II



S. G. Prüfstand  $\lambda = 1:14$

29526