

**Bericht Nr. 442**

**Anwendung des Ringverfahrens  
am BMW-Zylinder 132 N**



8500

Bericht Nr. 442

Betr.: Anwendung  
des Ringverfahrens  
am BMW-Zylinder 132 N.

Geheime Kommandosache!

1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 88 R St G B.
2. Nur von Hand zu Hand oder an perfönl. Eingeladene in doppeltem H. f. f. gegen Entgelt oder sonstig zu veräußern.
3. Gefährdung ist St G B durch Verleumdung oder Verleumdungsversuch bei Veröffentlichung unter Verantw. d. d. mehr als 1000 RM.
4. Verleumdung jeder Art ist strafbar.
5. Veröffentlichung unter Verantw. d. d. mehr als 1000 RM.
6. Verleumdung jeder Art ist strafbar.

Übersicht: Das Ringverfahren zeigt auch im BMW-Zylinder die gleichen Vorteile, insbesondere im Teillastgebiet, wie bei anderen untersuchten Flugmotorenzylindern. Reine Gemischregelung bei gleichbleibender Drehzahl bis auf Leerlauf ist möglich, hierbei bleiben die spez. Verbräuche zwischen etwa 90 und 50% annähernd konstant auf dem Mindestwert 1850 koal/PS<sub>h</sub> (Otto-Betrieb 1900 koal/PS<sub>h</sub>). Start mit R-Stoff bei Raumtemperatur ist ohne Zündkerze möglich. Der Einfluss der Zylindertemperatur auf Leistung und Verbrauch zeigt, dass Kühltluftregelung notwendig ist. Im Drehzahlbereich unter 1000 Umdr./Min. ist es dem Verbrauch nach günstiger, nur R-Stoff einzuspritzen. Eine Versetzung der R-Stoff-Düse in eine Kersenbohrung verbessert etwas das Anlassverhalten, bringt aber keine Vorteile in Leistung und Verbrauch. Der Voreinspritzwinkel kann im Gegensatz zu wassergekühlten Zylindern über den ganzen Lastbereich (bei gleicher Drehzahl) konstant gehalten werden, ferner kann bei reichlicher R-Stoffeinspritzung (unter Vorsicht auf besonders niedrige Vollast-Verbräuche) über den ganzen Bereich mit der gleichen R-Stoffmenge gefahren werden.

Dieser Bericht ist unser Eigentum, alle Rechte aus dem Urheberrechtsgesetz vom 19.6.1901 stehen uns zu. Der Inhalt darf weder im Ganzen noch in Einzelheiten vervielfältigt oder dritten Personen ohne unsere ausdrückliche Genehmigung mitgeteilt werden.

Abgeschlossen am 1. Dezember 1940

Bearbeiter: Leib Leib

Die vorliegende Ausfertigung g 20 enthält

8 Textblätter

6 Bildblätter

8501

Verteiler

| Nr. | am | Empfänger                     | Nr.   | am | Empfänger                         |
|-----|----|-------------------------------|-------|----|-----------------------------------|
| 1   |    | Argus, Berlin, Dr. Christian  | 10    |    | Junkers, Dessau, Dr. Lichte       |
| 2   |    | BMW, München, Dr. Löhner      | 11    |    | Luftkriegsakademie, Gataw,        |
| 3   |    | BMW, Spandau, Dr. Stieglitz   |       |    | Prof. Dr. Holfelder,              |
| 4   |    | Daimler-Benz, Stuttgart,      | 12    |    | RLM, GL 5/II, D.I. Keilflug       |
|     |    | Dr. Schmidt                   | 13    |    | RLM, Abt. LC 3, Dr. Stiebling     |
| 5   |    | DVL, Dipl. Ing. Caroselli     | 14    |    | T. H. Berlin, Prof. Dr. Triebnigg |
| 6   |    | DVL, Dr. v. Philippovich      | 15    |    | Dir. Dr. Müller-Cunwadi           |
| 7   |    | E'stelle Rechlin, D.I. Lange  | 16    |    | Dipl. Ing. Pensig                 |
| 8   |    | Hirth, Stuttgart, Dr. Seyerle | 17-20 |    | Techn. Prüfstand Oppau            |
| 9   |    | Junkers, Dessau, Dr. Gerlach  |       |    |                                   |

I n h a l t:

Zweck der Versuche

Durchführung der Versuche

Ergebnis der Versuche

- a) Vergleich zwischen Ring- und Otto-Verfahren
- b) Wirkungsgrade
- c) Einfluss der Kühllufttemperatur
- d) Einfluss der Drehzahl
- e) Anlasverhalten
- f) Einfluss des Einspritzortes.

B e r i c h t  
über

Anwendung des Ringverfahrens am BMW-Zylinder 132 N.

Zweck der Versuche.

Es war im Versuch das Otto-Verfahren dem Ringverfahren gegenüberzustellen hinsichtlich Leistung, Verbrauch, günstigste R-Stoff-Menge und Wirkungsgrad. Die Anlassbedingungen des Motors bei Ringbetrieb waren festzustellen, sowie die Abhängigkeit verschiedener Betriebsdaten von der Drehzahl zu untersuchen.

Durchführung der Versuche.

Die Versuche wurden am I.G.-Versuchsmotor Nr.1, versehen mit einem BMW-Zylinder 132 N, durchgeführt. Die Hauptdaten des Motors sind 155 mm Durchmesser, 162 mm Hub, 3,08 l Inhalt. Die Hauptkraftstoffdüse sass im Windschatten an der von der Herstellerfirma dazu vorgesehenen Stelle; verwendet wurde die für den Zylinder serienmässig angeordnete Boschdüse. Die R-Stoff-Düse sass unter  $45^{\circ}$  Neigung gegen die Horizontale in der Hauptebene des Zylinders (s.Bildblatt 1, Skizze A). Der R-Stoff wurde durch eine Graetzin-Zahnradpumpe "ZE 35 mul" mit einem Überdruck von 1 at der Einspritzpumpe zugeführt. Die Leitungsdurchmesser von Einspritzpumpe zur Düse betrugen für Benzin und R-Stoff 1,5 mm. Die Zündung wurde für den Otto-Versuch unverändertlich auf  $30^{\circ}$  v.o.T. festgehalten, der Voreinspritzwinkel bei Ringbetrieb wurde jeweils auf den Bestwert eingestellt. Die Benzin-Einspritzung war auf  $30^{\circ}$  n.o.T. fest eingestellt. Die Belastung des Motors erfolgte durch eine Krupp-Wasserbremse, deren Drehmoment auf einer Zeigerwaage abgelesen wurde. Die Meßstelle für die Zylinderkopf-Temperatur lag in gleicher Höhe mit der Hauptkraftstoffdüse und etwa  $15^{\circ}$  seitlich nach dem Auspuffrohr hin. Um bei den Versuchen Klopferscheinungen, die in einer besonderen Versuchsreihe untersucht werden sollen, auszuschalten, wurde als Hauptkraftstoff B T 110 verwendet. Im einzelnen gelten folgende Daten:

|                         |                                                                                        |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Hauptkraftstoff:        | ET 110 ( $H_u = 10500$ kcal/kg. $\gamma = 0,715$ kg/l<br>theor.Luftbed. = 15 kg/kg.)   |
| Hauptkraftstoffdüse:    | Bosch-Zapfendüse DE 40 N60 M6                                                          |
| Hauptkraftstoffpumpe:   | Bosch PZ 1/100 V 635a                                                                  |
| R-Stoff                 | R 300 ( $H_u = 6880$ kcal/kg. $\gamma = 0,91$ kg/l<br>theor.Luftbed. = 9,35 kg/kg.)    |
| R-Stoff-Düse:           | Bosch- DV 2313/2 (Zapfendüse, 20° Kegelw.)                                             |
| R-Stoff-Pumpe:          | Bosch PE 1B, 6 mm Kolben- $\phi$ .                                                     |
| Verdichtung:            | 1:8                                                                                    |
| Ventilzeiten:           | Einl.öffn.20° v.o.T. Ausl.öffn.76° v.u.T.<br>Einl.schl.77° n.u.T. Ausl.schl.21° n.o.T. |
| Zylinderkopf-Temp.      | 220°C                                                                                  |
| Druck an der Drosselkl. | 760 mm Hg.                                                                             |
| Öltemperatur:           | 90°C                                                                                   |
| Drehzahl:               | 2000 U/min.                                                                            |

### Ergebnis der Versuche.

#### a) Vergleich zwischen Ring- und Otto-Verfahren.

Bildblatt 2 zeigt die Gegenüberstellung von Otto- und Ringverfahren. Es wurde jeweils bei offener Drosselstellung und gleichbleibender Drehzahl die Menge des eingespritzten Hauptkraftstoffes verändert. Es ergibt sich, dass für den Otto-Betrieb bei einem Luftüberschuss von 1,35 ein Rundlaufen des Motors nicht mehr möglich ist, während man den Ringversuch bis auf Leerlauf herunterregeln kann. Die Höchstleistungen des Otto-Betriebes und Ring-Betriebes sind praktisch gleich. Die stark ausgezogene Kurve ist bei einer über den ganzen Bereich fast konstanten R-Stoff-Menge erhalten worden. (Der kleine Anstieg der eingespritzten R-Stoff-Menge in ganz magerem Gebiet ist dadurch erklärlich, dass das ausserordentlich arme Otto-Gemisch eine grössere Wärmemenge zur Entzündung benötigt.) In einem Wiederholungsversuch wurde nun die eingespritzte R-Stoff-Menge von Halblast an gesteigert. Dadurch infolge der vollkommeneren Verbrennung eine weniger starke Abnahme der Leistung mit steigendem Luftüberschuss erreicht wird; dementsprechend liegen auch die spezifischen Verbräuche niedriger als beim ersten Versuch. Eine Vergrösserung der R-Stoff-Menge im fetten Gebiet bringt dagegen keine Leistungssteigerung. Der günstigste Voreinspritzwinkel lag über den ganzen Versuchsreich un-

änderlich bei etwa 50 bis 53° Kw.v.o.B. Die Differenz zwischen beiden Versuchen im fetten Gebiet ist unbedeutend, da der Motor hier für eine Verschiebung des Voreinspritzwinkels um 10-15° ziemlich unempfindlich ist. Die Auspufftemperaturen sind beim Otto-Versuch um wenig von dem Ring-Versuch unterschieden.

Auf Bildblatt 3, Abb.1, ist der Arbeitsdruck in Abhängigkeit vom Verbrauch für das Ringverfahren und mehrere Drosselkurven für den Otto-Betrieb aufgetragen. Durch diese Schar von Otto-Kurven ist bei einem Luftüberschuss von  $\lambda = 1$  eine verbindende Kurve gelegt, die etwa den praktisch günstigsten Bedingungen des Otto-Betriebs entspricht (gestrichelte Linie). Der Vergleich der beiden Kurven zeigt das günstigere Verhalten des Ring-Betriebes bezüglich Verbrauch im Teillastgebiet. Im fetten Gebiet liegen die Werte für das Ringverfahren in unbedeutendem Masse unter denjenigen des Otto-Verfahrens. Bei Halblast beträgt die Verbrauchsverminderung im günstigsten Fall 15%.

b) Wirkungsgrade.

Auf Blatt 3, Abb.2, sind die thermischen Wirkungsgrade der beiden Verfahren, entnommen aus den Versuchen des Blattes 2, aufgetragen. Auch hier zeigt sich die Überlegenheit des Ringverfahrens gegenüber dem Otto-Verfahren: im günstigsten Fall bei Halblast um etwa 12%. Es ist hier zu berücksichtigen, dass die Werte aus den effektiven Leistungen, berechnet sind. Zur Berechnung des Wirkungsgrades der verlustlosen Maschine ist das Gleichraumverfahren zu Grunde gelegt. Nach der Gleichung für den Wirkungsgrad  $\eta_{th}$  bei diesem Verfahren ergibt sich bei  $\gamma_{\text{eff}} = 1,35$   $\eta_{th} = 51,7$ . Der gemessene Wirkungsgrad  $\eta_{\text{eff}}$  beträgt max. 34,5% für das Ringverfahren (s. Blatt 3, Abb.2). Rechnet man mit einem mechanischen Wirkungsgrad  $\eta_m = 80\% - 75\%$ , den man für den Zylinderomotor annehmen kann, so käme man auf einen indizierten Wirkungsgrad von  $\eta_i = 43\%$  bis 46% und hiermit auf einen thermodynamischen Wirkungsgrad von 83-89%.

c) Einfluss der Kühllufttemperatur.

Bei den bisherigen Versuchen wurde die Zylindertemperatur durch Regelung der Kühlung auf einen unveränderten Wert (220°C) eingestellt. Es erhob sich nun die Frage, inwieweit sich die Verhältnisse ändern, wenn die Leistung bei unverändertem Staudruck der Kühlluft vermindert wird. Auf

Blatt 4 ist nun der Verlauf von Leistung und Verbrauch bei abnehmender Zylindertemperatur dargestellt. Es wurden hier bei Vollast der Staudruck der Kühlluft so eingestellt, dass die Zylinderkopftemperatur  $240^{\circ}\text{C}$  betrug. Während der dann folgenden Regelung mit abnehmender Leistung wurde dieser Staudruck beibehalten, sodass die Zylindertemperatur mit steigendem Luftüberschuss sank. Temperatur und Druck der Verbrennungsluft wurden dabei mit  $80^{\circ}\text{C}$  bzw. 760 mm Hg konstant gehalten. Man sieht, dass von etwa  $3/4$ -Last an abwärts die Leistung stärker abnimmt als bei geregelter Zylindertemperatur. Bemerkenswert ist, dass im Verlauf des Versuchs der Voreinspritzwinkel von  $3/4$ -Last an erst langsam zurückgeht, um bei dem letztmöglichen Versuchspunkt (entsprechend einer Zylindertemperatur von  $110^{\circ}\text{C}$ ) auf  $20^{\circ}$  v.o.T. zu sinken, d.h. man muss den Einspritzzeitpunkt des R-Stoffes immer näher an den Totpunkt, wo die höchste Temperatur vorhanden ist, verlegen, damit Zündung eintritt. Nach den Erfahrungen des ersten Versuches (Blatt 2) wurde die R-Stoff-Menge allmählich auf etwa das doppelte der anfänglichen Menge gesteigert. Das Ergebnis zeigt somit, dass es zweckmässig ist, eine Regelung der Kühlung vorzusehen, wie dies bei neueren Baumustern übrigens bereits geplant ist.

#### d) Einfluss der Drehzahl.

Bei dieser Versuchsreihe (vergl. Kurvenblatt 5) wurde bei abnehmender Kraftstoffmenge die Einstellung der Wasserbremse unverändert gelassen und die im vorausgegangenen Abschnitt geforderte Regelung der Kühlluft angewandt, sodass die Zylindertemperatur unverändert  $220^{\circ}\text{C}$  betrug. Geht man vom überfetteten Gemisch von einem  $\lambda = 0,75$  aus, so steigt mit wachsendem  $\lambda$  die Leistung und Drehzahl an, um bei  $\lambda = 0,95$  den Höchstwert zu erreichen. Bei weiterer Steigerung von  $\lambda$ , womit man in das magerere Gebiet eintritt, sinken Leistung und Drehzahl wieder ab. Der Wärmeverbrauch fällt im überfetteten Gebiet sehr stark und bleibt über einen grossen Drehzahlbereich im mageren Gebiet nahezu unverändert. Das Minimum mit dem bemerkenswerten Wert von 1880 kcal/PS<sub>h</sub> tritt bei einer Drehzahl von etwa 1950 auf. Es gelang, mit Benzin bis auf eine Drehzahl von 750 U/min. herunterzureguln; der Benzinverbrauch betrug zuletzt 0,8 kg/h (= 25 mm<sup>3</sup>/Hub) bei einem Luftüberschuss  $\lambda = 2,8$ . Von etwa 1000 U/min. an abwärts ist es möglich bei gleichen Leistungen nur mit R-Stoff die Maschine zu betreiben; die Maschine läuft dann als Dieselmotor weiter. Dabei zeigt es sich, dass von dieser Drehzahl an der Wärmever-

brauch ganz bedeutend niedriger war als bei gleichzeitiger Benzineinspritzung, da die geringen Benzinmengen offenbar unvollkommen verbrannt den Zylinder verlassen. Die Verbräuche liegen bei 800 U/Min. für Betrieb lediglich mit R-Stoff um 24% niedriger. Es kann dies für das Warmlaufen des Motors von Bedeutung sein. Bei Betrieb ohne Benzin gelang es bis auf 640 U/Min. bei einem Verbrauch von etwa 1 kg/h R-Stoff (= 62 mm<sup>3</sup>/Hub.) herunterzugehen. Die Voreinspritzung des R-Stoffes lag bei den hohen Drehzahlen begreiflicherweise früh (75° v.o.T.) um bei 1900 U/Min. den niedrigsten Wert zu erreichen (45° v.o.T.) und mit weiter abnehmender Drehzahl wieder anzusteigen. Es ist dies offensichtlich darauf zurückzuführen, dass die Innenfläche des Verbrennungsraumes kühler ist als bei hohen Drehzahlen und Leistungen. Läuft der Motor nur mit R-Stoff, so muss der Einspritzzeitpunkt auf 40° v.o.T. zurückgestellt werden. Der Liefergrad ist bei kleinen Drehzahlen kleiner als bei hohen. Es dürfte dies von der Ventilüberschneidung herühren. Da das Einlassventil erst bei 77° nach u.T. schliesst, wird bei kleinen Drehzahlen ein Teil der angesaugten Luftmenge wieder durch den Kolben ausgeschohen.

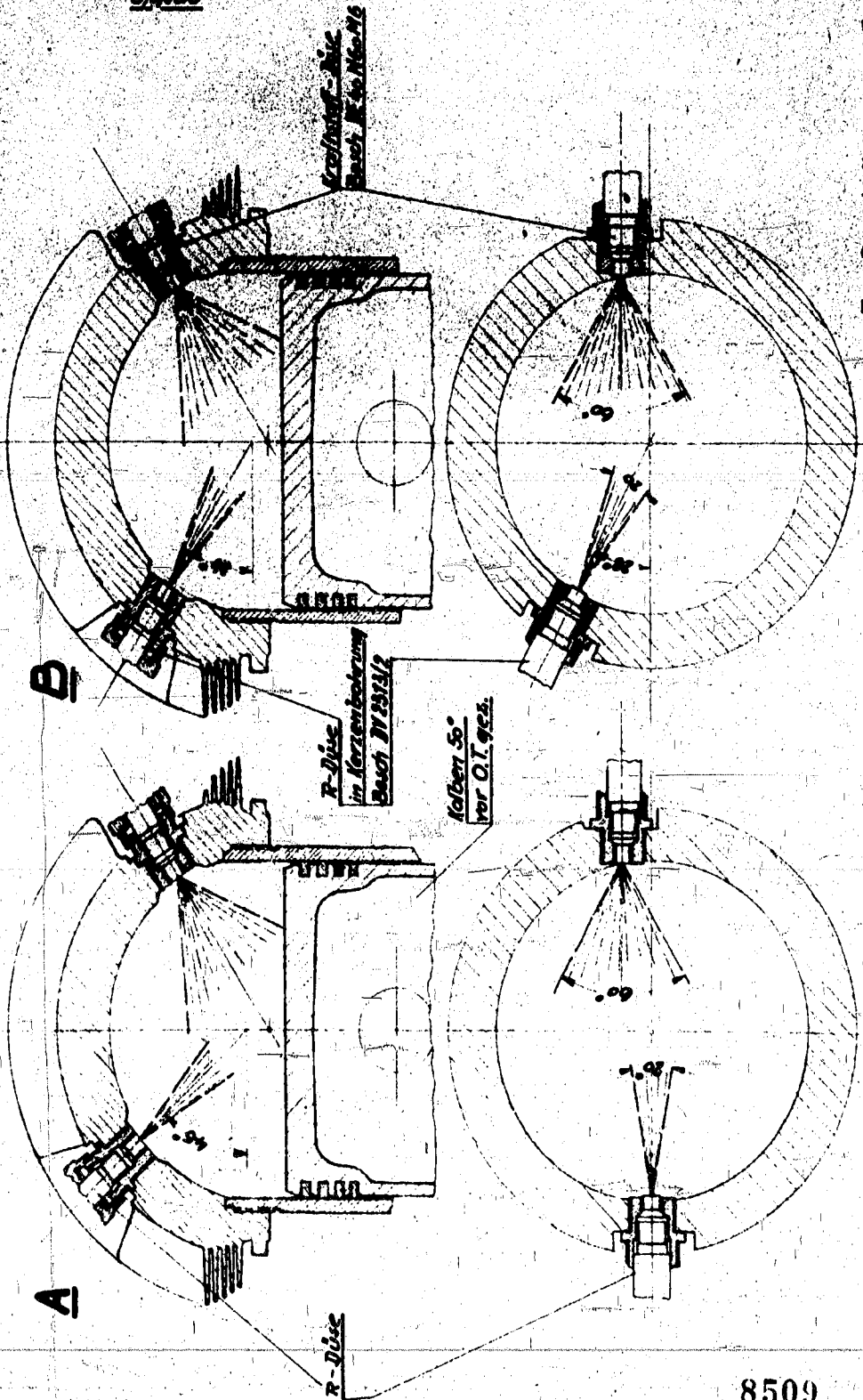
e) Anlassverhalten.

Zum Anlassen wurde die Maschine von einem Elektro-Motor mit 700 U/Min. geschleppt. Ein Anlassen, wobei gleichzeitig Benzin und R-Stoff eingespritzt wurde, war bei Raumtemperatur unmöglich, und erst bei erhöhter Temperatur konnte der Motor angelassen werden. Der günstigste Voreinspritzwinkel für R-Stoff betrug dabei 40° n.v.o.T. Dagegen war es bei Raumtemperatur ohne weiteres möglich, den Motor zu starten, wenn man zunächst lediglich R-Stoff in einer Menge von über 50 mm<sup>3</sup>/Hub bei offener Drossel einspritzte. Die Maschine erreicht damit eine Drehzahl von 900 U/Min, worauf der Schleppmotor abgeschaltet wurde; allmählich wurde dann Benzin in ganz geringen Mengen dazu eingespritzt. Ging man nun mit der Voreinspritzung für R-Stoff allmählich bis auf etwa 50 bis 60° v.o.T., so konnte man die Benzinmenge allmählich steigern, bis dann normaler Betrieb sich einstellte. Da der Sitz der R-Stoffdüse in der bisherigen Stellung zu der Annahme rechtfertigte, dass ein grösserer Teil des eingespritzten R-Stoffes sich auf dem anfangs kalten Kolbenboden niederschlägt und so die Zündung verzögert, wurde nun die R-Stoffdüse in einer Kerzenbohrung, und zwar in die auf der Einlassseite gesetzt (s. Blatt 1 B). Es ergab sich, dass grundsätzlich die Anlassbedingungen dieselben blei-

ben wie bei der vorherigen Anordnung der Düse, nur ist der Motor im ganzen etwas zündwilliger geworden. Ein Versuch mit einer weicheren Düse mit dem grossen Kegelwinkel von  $45^{\circ}$  (Bosch DV 2313/4, Zapfendüse) an beiden Düsen-orten ergab keine Vorteile, sondern es war im Gegenteil notwendig, mehr R-Stoff je Hub als vorher einzuspritzen. Bei den Versuchen zeigte sich, dass es offenbar vorteilhaft ist, während des Anlassens etwas zu drosseln, um dadurch die Gasmenge, die vom R-Stoff erwärmt werden muss, zu vermindern. Es sei noch bemerkt, dass der Motor bereits während des Schleppens gekühlt wurde, sodass die Zylindertemperatur während des Anlassvorganges nicht über  $25$  bis  $30^{\circ}\text{C}$  stieg. Über die Vorgänge während des Anlassens sollen noch eingehende Versuche unternommen werden.

f) Einfluss des Einspritzortes.

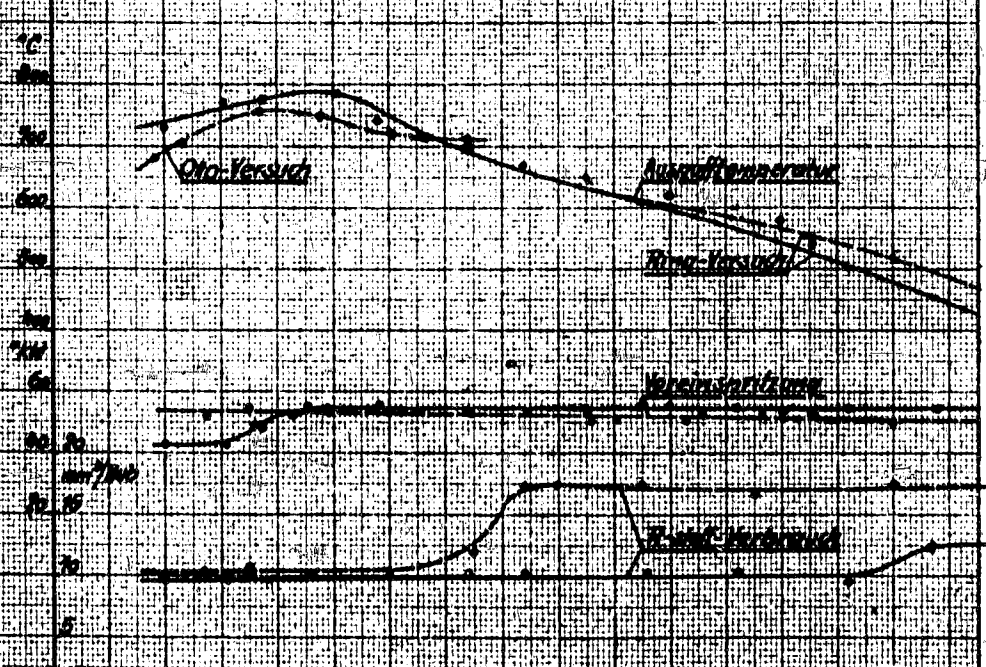
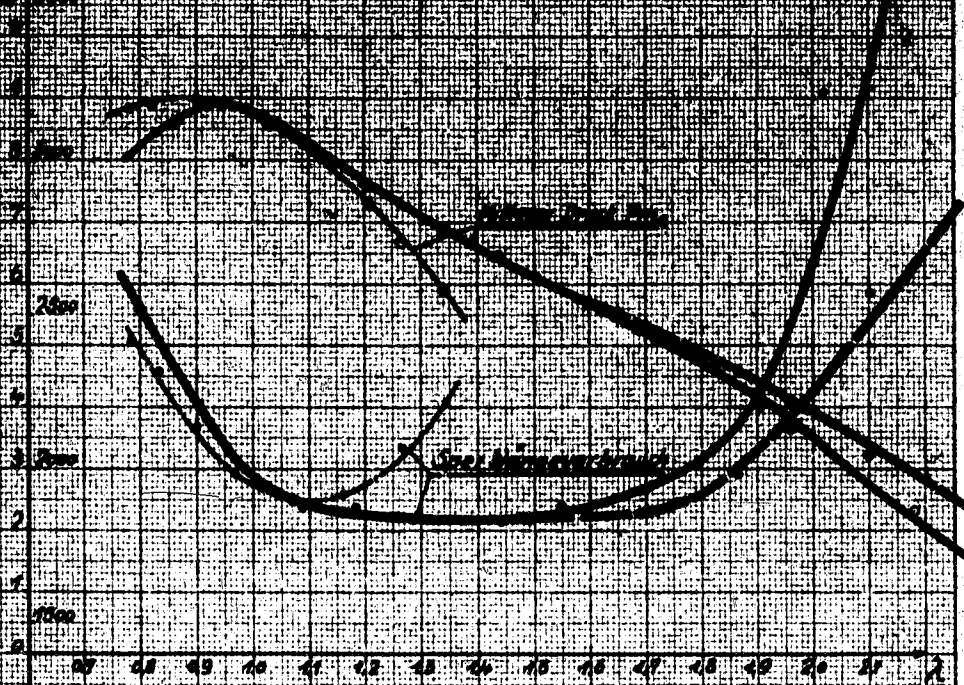
Da die Versetzung der R-Stoff-Düse in die Kerzenbohrung eine Verbesserung des Anlassverhaltens brachte, war es notwendig, in einem neuen Versuch Leistung und Verbrauch mit den früheren Ergebnissen zu vergleichen. Auf Blatt 6 ist dieser Versuch aufgetragen. Wie man im Vergleich zu dem früheren Versuch mit der R-Stoff-Düse in der alten Stellung (gestrichelten Linie) feststellen kann, ergab sich keine Verbesserung. Leistungsmässig trat keine Veränderung auf. Der Verbrauch liegt jedoch um  $80 \text{ kcal/PS h}$ , d.s.  $4\%$  höher als bei dem vorigen Versuch.



8509

# Leistungs- und Drehmomentdiagramm

1. Die Kurve des Drehmomentes ist in der Abbildung dargestellt.  
 2. Die Kurve des Drehmomentes ist in der Abbildung dargestellt.  
 3. Die Kurve des Drehmomentes ist in der Abbildung dargestellt.  
 4. Die Kurve des Drehmomentes ist in der Abbildung dargestellt.  
 5. Die Kurve des Drehmomentes ist in der Abbildung dargestellt.



Zum Bericht Nr. 12 vom 1.1.1930

8510

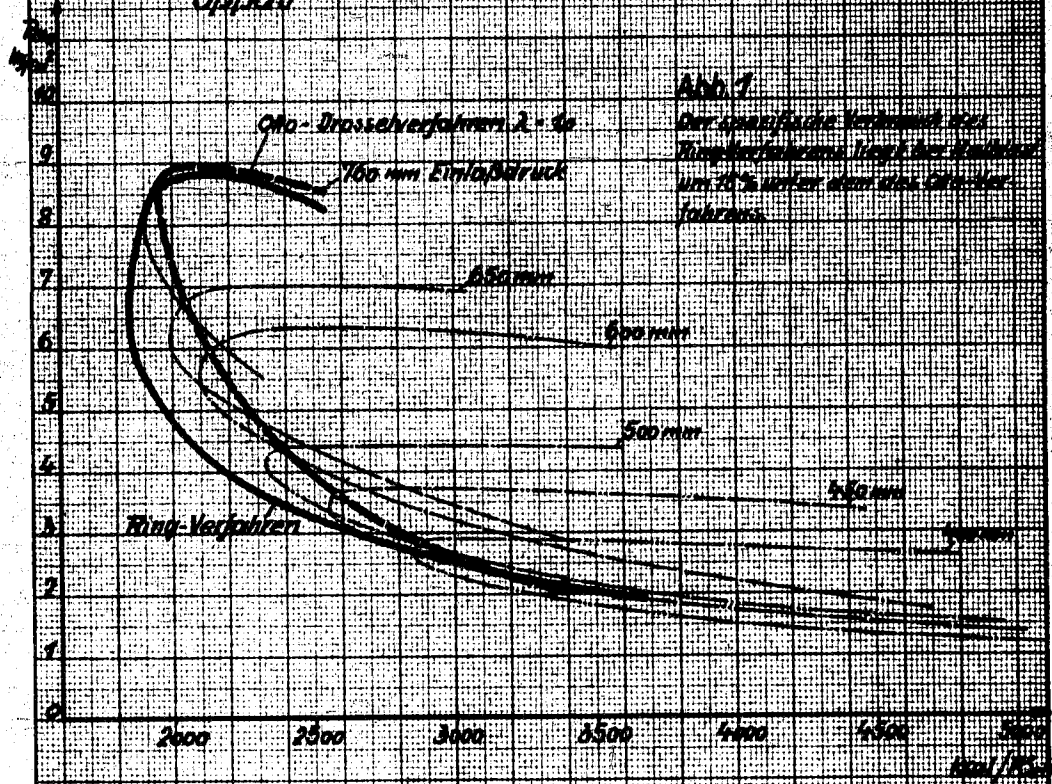


Abb. 1

Der spezifische Verbrauch des Ringverfahrens liegt bei Halblast um 25% unter dem des Ottoverfahrens.

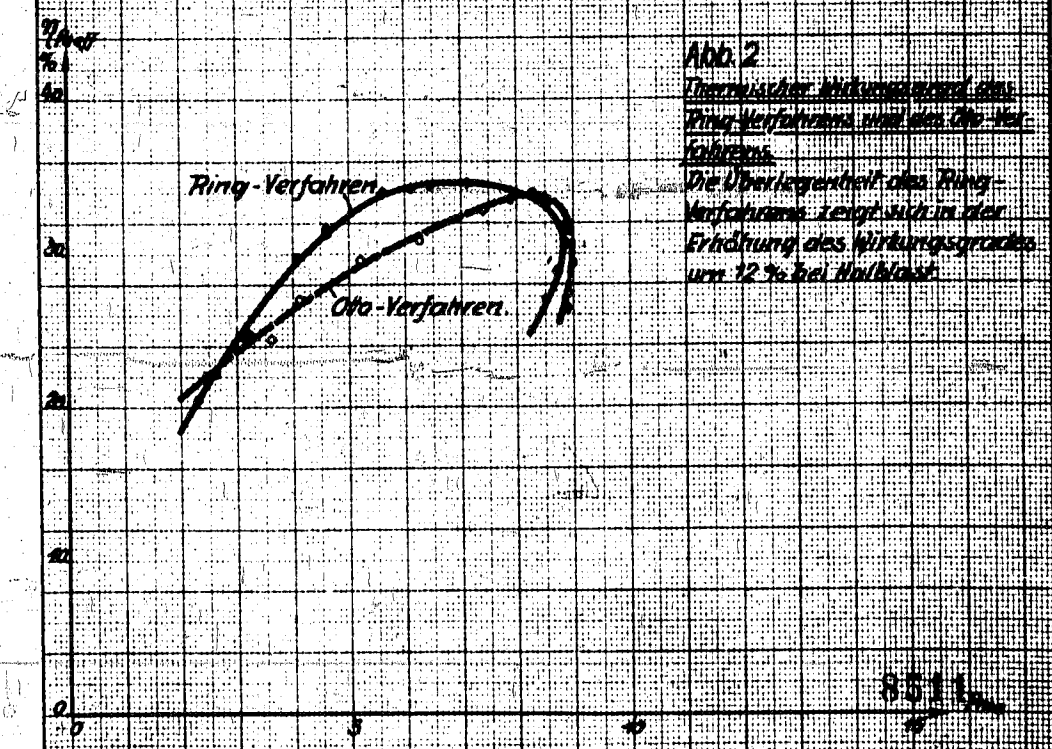
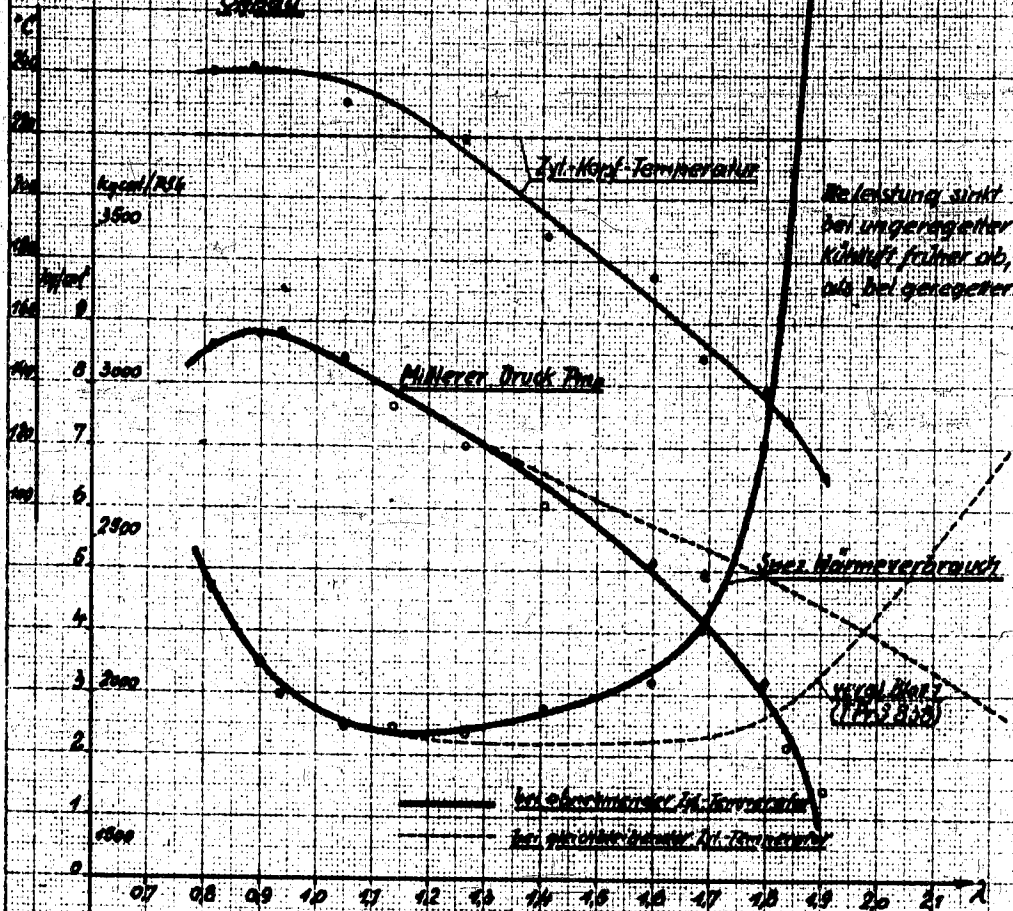
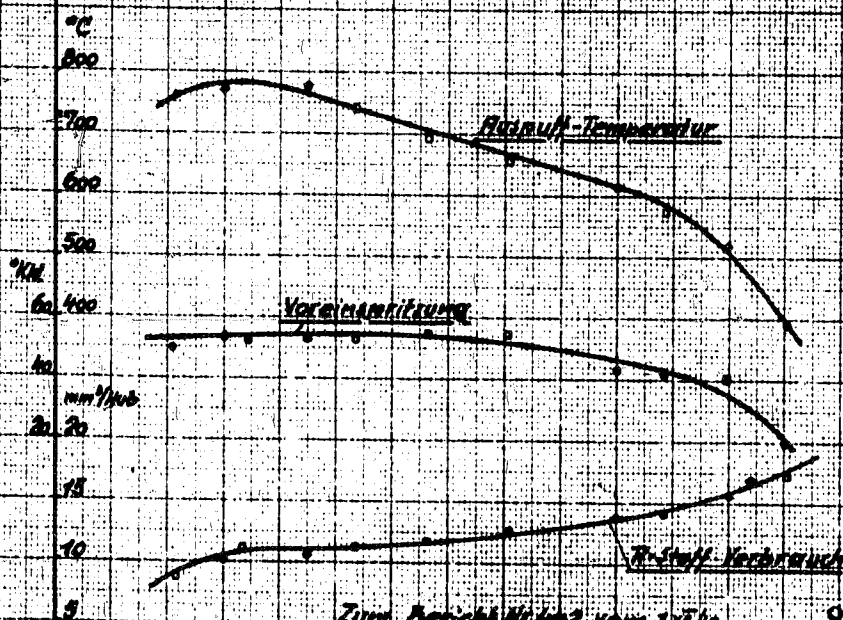


Abb. 2

Thermischer Wirkungsgrad des Ringverfahrens und des Ottoverfahrens. Die Überlegenheit des Ringverfahrens zeigt sich in der Erhöhung des Wirkungsgrades um 12% bei Halblast.



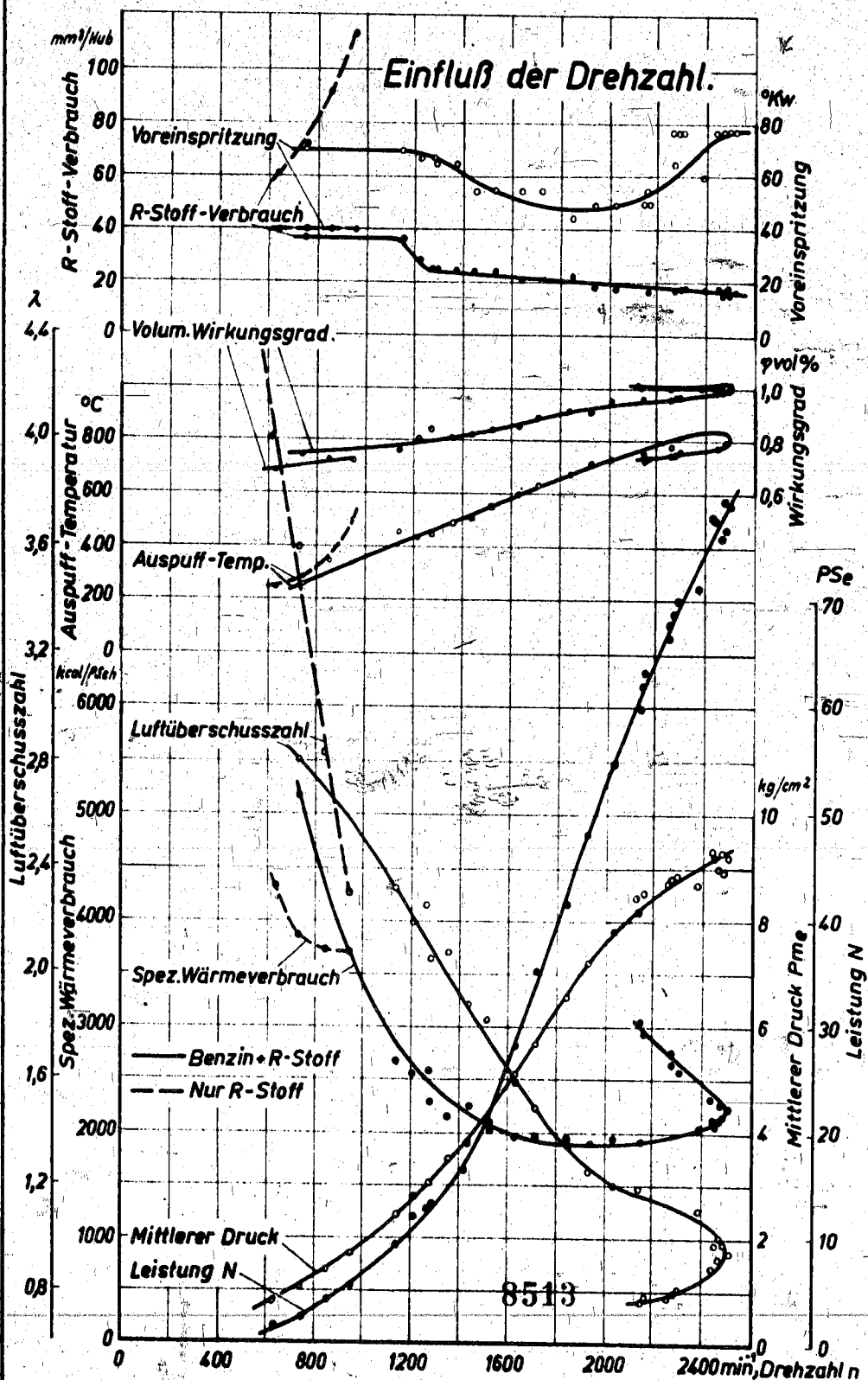
Die Leistung sinkt  
bei ungenügender  
Kühlung früher ab,  
als bei genügender.



Zum Bericht Nr. 42 vom 1.7.60

8512

# Einfluß der Drehzahl.



# Ringversuch R-Düse

