

A 39

Bericht Nr. 501

Die Spitzendrücke beim Ringverfahren

8577



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

Geheime Kommandosache

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 501

Die Spitzendrücke beim Ringverfahren

Übersicht: Bei Einstellung auf günstigste Leistung sind die Höchstdrücke beim Otto- und beim Ringverfahren gleich gross. Beim Otto-Verfahren steigen die Höchstdrücke ständig mit der Vorsündung, während sie beim Ringverfahren bei einer grösseren Voreinspritzung als zur Bestleistung erforderlich ist, wieder absinken.

Diagramme zeigen, dass beim Ringverfahren durch Einsetzen des Druckanstieges im oberen Totpunkt und durch langsame Druckabnahme im Dehnungshub ein Leistungsgewinn gegenüber dem Otto-Verfahren vorliegt.

Eine Untersuchung der Kühlstoffwärme ergibt, dass diese beim Otto-Verfahren bis zu 25% grösser ist, als beim Ringverfahren.

Abgeschlossen am: 25. Mai 1942 Gr.

Bearbeiter: Obering. Penzig

Die vorliegende Ausfertigung 18 enthält

8 Textblätter

9 Bildblätter

Verteiler

Nr.	an	Empfänger	Nr.	an	Empfänger
1		BMW München, Dr. Löhner	14		TH. Dresden, Prof. Dr. List
2		BMW Spandau, Dr. Stieglitz	15		Dir. Dr. Müller-Cunradi
3		DB., Stuttgart, Dr. Schmidt	16		Obering. Penzig
4		DVL, Dr. v. Philippovich	17-25		Techn. Prüfstand
5		E'stelle Rechlin, DI. Lange			
6		Hirth, Stuttgart, Dr. Bentel			
7		Junkers, Dessau, Dr. Gerlach			
8		Junkers, Dessau, Dr. Lichte			
9		Luftkriegsakademie Gatow, Prof. Dr. Holfelder			
10		RLM, GL/A-M, DI. Keilpflug			
11		RLM, Abt. LC 2, DI. Gebhardt			
12		RLM, Abt. LC 3, Dr. Stiebling			
13		TH. Berlin, Prof. Dr. Triebnig			

8578

Einleitung

Bei motorischen Arbeitsverfahren ist neben dem erzielbaren Arbeitsdruck auch der bei der Verbrennung auftretende Höchstdruck von Bedeutung. Von dem Ausmass dieser Kraft ist die Bemessung der Kolben, Pleuel und Lager abhängig.

Bekanntlich sind die Spitzendrücke des Dieselmotors sehr hoch und zwar nicht allein als Folge der hohen Verdichtungsdrucke, sondern auch wegen der Plötzlichkeit, mit der die Verbrennung einsetzt. Bei der Entwicklung des Dieselmotors war man deshalb stets bemüht, eine weichere Verbrennung, beispielsweise durch Anwendung von Vorkammern, zu erzielen. Trotzdem aber war es notwendig, einen besonderen Lagerstoff, die Bleibronze, zu entwickeln. Beim Ringverfahren wird die Zündung eines Otto-Gemisches durch eine Dieselverbrennung eingeleitet. Es liegt also die Frage nahe, ob die Spitzendrücke denen des Otto- oder des Dieselmotors entsprechen werden. In letzterem Falle würde dies die Umstellung vorhandener Otto-Flugmotoren auf das Ringverfahren erschweren.

Ausser einer Untersuchung der Spitzendrücke war auch eine Nachprüfung der Wärmebilanz notwendig.

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden an einem I.G.-Versuchsmotor (Nr.2) mit Zylinder 6001 unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

Drehzahl	2000
Verdichtungsverhältnis	1:8
Nockenwelle	Fv 4 B d A 1 B
Öffnungszeiten	Es 25 v.o.T. Es 75 n.u.T. As 53 n.u.T. As 25 n.o.T.
Ladelufttemperatur	80°
Ladedruck	760 mm Hg
Kühlwassertemperatur	80°
Öltemperatur	80°
Kraftstoff	75% CV2b + 25% ET 110
Kr.-Düse	960/22.9/41 (L'Orange)
R-Düse	DV 2312/1 (Loch 0,3; 30° gg. Abgasventil)
R-Stoffmenge	22 mm ³ /Spiel
Zündkerse	DM 225 T 1

Die Kraftstoffdüse befand sich an der hierfür vorgesehenen Stelle, die beiden Zündkerzen, wie üblich, der Düse gegenüber. Beim Ringverfahren wurde eine Zündkerze durch einen Blindstopfen, die andere durch die R-Düse ersetzt. Der Quarzgeber befand sich neben der Kraftstoffdüse in einer besonderen Bohrung.

Es wurde zunächst versucht, einen möglichst genauen Nachweis über die Höchstdrucke in Abhängigkeit von der Drehzahl zu erbringen. Es wurde hierbei so verfahren, dass je Arbeitsspiel eine unveränderliche Wärmemenge zugeführt und durch Verstellen der Voreinspritzung die beste Leistung bei verschiedenen Drehzahlen eingestellt wurde. Die bei Wiederholung der Versuche beobachteten Abweichungen waren aber infolge der gefühlsmässigen Einstellung der Voreinspritzung so gross, dass keine sichere Beurteilung möglich war. Die Versuche wurden deshalb auf eine Drehzahl beschränkt und bei unveränderter Kraftstoffmenge der Einfluss der Vorzündung bei Otto bzw. Voreinspritzung beim Ringverfahren auf Leistungen und Spitzendrücke beobachtet. Der Einfluss verschiedener Drehzahlen und Temperaturen auf die Höchstdrucke bedarf besonderer Untersuchungen.

Im Gegensatz zum Dieselmotor, wo die Abweichungen der einzelnen Verbrennungsvorgänge nur sehr gering ist, weichen beim Otto- und beim Ringverfahren die einzelnen Diagramme oft erheblich voneinander ab. Um die Verbrennungsabläufe beurteilen zu können, ist es notwendig, eine grosse Anzahl von Diagrammen aufzunehmen, um so ein Bild von den Streuungen zu bekommen.

Ergebnisse

a) Spitzendrücke

Die Versuche wurden sowohl beim Otto- wie auch beim Ringverfahren mit demselben Luftüberschuss von 0,92, also bei Vollast durchgeführt. Es entsprach dies einer Wärmezufuhr von etwa 132×10^3 kcal/h. Beim Ringverfahren betrug die R-Stoffmenge $22 \text{ m}^3/\text{Spiel}$, was 7,7 Vol-% der Kraftstoffmenge entsprach.

Auf Blatt 1 sind nebeneinander die Ergebnisse der Otto- und der Dieselversuche dargestellt. Die höchsten erzielbaren Leistungen waren in beiden Fällen die gleichen. Sie erreichten etwa $9,8 \text{ kg/cm}^2$. Offenbar infolge einer ziemlich langen Leitung zwischen Dämpfungsbehälter und Zylinder erreichte der betreffende Prüfstand nicht die gleichen Leistungen wie andere.

Die Spitzendrücke sind aus Diagrammen ausgemessen, bei denen je 30 Arbeitsspiele übereinander geschrieben waren. Da die einzelnen Arbeitsspiele stets verschiedene Verbrennungsverläufe haben, ergibt sich für die Höchstdrücke ein gewisser Bereich, dessen Grenzen eingetragen sind. Es darf hierbei nicht vergessen werden, dass hierdurch nicht erfasst wird, wo in diesem Bereich die meisten Höchstdrücke auftreten. Der Mittelwert liegt also nicht in der Mitte zwischen beiden Grenzen. Eine genaue Erfassung des wahren Mittelwertes muss durch weitere Versuche geschehen.

Bei den hier gezeigten Versuchen kann lediglich beurteilt werden, ob die auftretenden Höchstwerte des Spitzendruckes bei beiden Verfahren verschieden sind. Die besten Nutzdrücke wurden unter folgenden Bedingungen erreicht:

Verfahren	Vorzündung	Nutzdruck	Spitzendruck	d
Ottomotor	40°	9,8	38,5 - 52,5	14,0
Ringmotor	50°	9,6	43 - 52	9,0
"	70°	9,7	44 - 55	11,0
"	80°	9,7	41 - 51	10,0

Die Unterschiede zwischen Höchst- und Tiefstwert, bezogen auf den Höchstwert wurden als Streuung ebenfalls auf Blatt 1 dargestellt. Es geht daraus hervor, dass der Ringmotor gleichmässiger läuft. Seine geringste Streuung liegt bei 18% gegenüber 25% beim Ottomotor.

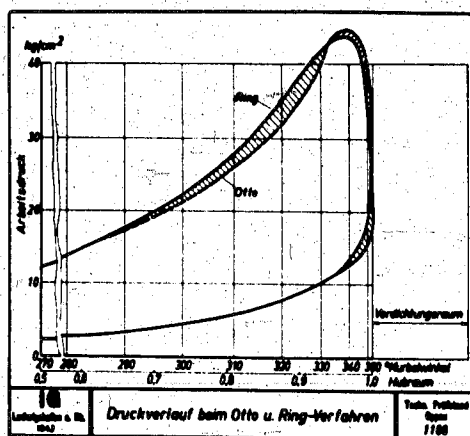
Es ist bemerkenswert, dass beim Ringverfahren der Höchstdruck dem Nutzdruck etwa verhältig ist. Wenn also durch Übermässig zeitiges Einspritzen der Nutzdruck abfällt, so folgt ihm der Spitzendruck. Beim Ottomotor dagegen steigt der Spitzendruck ständig an und zwar auch dann,

wenn infolge übermässiger Vorzündung der Nutzdruck wieder abfällt. Ein weiterer Unterschied beider Verfahren besteht aber noch darin, dass beim Ringverfahren der Nutzdruck viel weniger durch Änderung der Voreinspritzung beeinflusst wird, wie dies beim Ottoverfahren durch die Vorzündung der Fall ist. Die Voreinspritzung kann beispielsweise zwischen 50 und 80° variiert werden, ohne dass, wie die Zahlentafel zeigt, der Nutzdruck merklich beeinflusst wird. Für die Regelung ergibt sich somit die wichtige Folgerung, dass die Voreinspritzung nicht so sorgfältig eingestellt zu werden braucht, wie die Vorzündung beim Otto-Motor. Ausserdem bringt eine Überschreitung der Grenze keine Gefahr für das Triebwerk.

Auf Blatt 2 sind einige Diagramme dargestellt, und zwar zugleich mit den schon aus Blatt 1 bekannten Kurven der Höchstdrücke. Hierzu ist zu bemerken, dass nur jeweils eine besonders kennzeichnende Aufnahme zu jedem gemessenen Punkt dargestellt ist. Die auf dieser Aufnahme ersichtliche Streuung stellt also nicht den gesamten, durch die Grenzkurven dargestellten Streubereich dar. Auf Blatt 3 sind die höchsten bei jedem Messpunkt aufgetretenen Diagramme zusammengestellt, die als Grenzwerte des Beobachteten einen gewissen Vergleich zwischen Otto- und Ringverfahren zulassen. Aus diesen Darstellungen geht ein grundsätzlicher Unterschied hervor. Beim Otto-Verfahren beginnt die Verbrennung bereits weit vor dem Totpunkt, wobei die Verdichtungsline allmählich in die Verbrennungsline übergeht. Beim Ringverfahren dagegen setzt die Verbrennung mit einem deutlichen Knick nahe dem Totpunkt ein. Der Voreinspritzwinkel hat hierauf einen bemerkenswert geringen Einfluss, der sich auch in der erwähnten geringen Änderung des Nutzdruckes mit dem Voreinspritzwinkel äussert. Die sogenannte Druckgeschwindigkeit kann, wie Blatt 4, 5 und 6 zeigen, beim Ringverfahren grösser sein (vgl. beispielsweise auf Blatt 4 die Kurve für 40° Vorzündung beim Ottoverfahren mit der Kurve für 50° Voreinspritzung beim Ringverfahren auf Blatt 5). Beim Otto-Verfahren steigt bei der übermässigen Vorzündung von 50° die Druckgeschwindigkeit weiter an und übertrifft die beim Ringverfahren überhaupt mögliche. Bei 60° Vorzündung wurde dagegen wieder ein Abfallen beobachtet. Beim Ringverfahren geht, wie in Blatt 6 gesondert dargestellt, die Druckgeschwindig-

keit bei grösserem Voreinspritzwinkel als 60° wieder erheblich herunter. Bei dem leistungsmässig einwandfrei zulässigen Voreinspritzwinkel von 70° (vgl.Blatt 1) wird dieselbe Druckgeschwindigkeit erzielt, wie beim Otto-Verfahren mit seiner günstigsten Zündung von 40° .

In Bild 1186 ist ein Otto-Diagramm bei 40° Vorzündung und ein Ringverfahren-Diagramm bei 70° Voreinspritzung zusammengestellt, wobei zwei Diagramme mit zufällig annähernd gleichen Höchstdruck aus-
gesucht wurden. Der Einsatz der Verbrennung beim Otto-Verfahren vor dem oberen Totpunkt bedeutet eine zusätzliche Verdichtungsarbeit, die sich in einer Verlustfläche gegenüber dem Ringverfahren auswirkt.



Eine zweite Verlustfläche des Otto-Verfahrens tritt dadurch ein, dass im Dehnungshub der Druck schneller absinkt als dies beim Ringverfahren der Fall ist. Diese Erscheinung ist nicht nur bei diesen beiden Diagrammen, sondern ganz allgemein festzustellen. Soll also im Otto-Verfahren dieselbe Leistung wie im Ringverfahren erzielt werden, so kann dies nur durch einen höheren Spitzendruck bewirkt werden. Die wahren Mittelwerte der Spitzendrucke müssen also beim Otto-Verfahren höher sein als beim Ringverfahren. Bei Versuchen, bei denen der R-Stoff nicht quer durch den Verbrennungsraum, sondern in eine

Vorkammer gespritzt wurde, trat die dem Otto-Verfahren eigentümliche Diagrammform auf. Um über diese Fragen völlige Klarheit zu schaffen, sind weitere eingehende Untersuchungen notwendig.

b) Kühlstoffwärme

Aus dem verschiedenartigen Verbrennungsablauf des Otto- und des Ringverfahrens ist zu vermuten, dass Unterschiede auch in der Wärmebilanz auftreten, und die beispielsweise im Kühlwasser abzuführenden Wärmemengen verschieden gross sein würden.

Auf diesen Punkt hat bereits BMW Spandau hingewiesen (III M - Bericht Nr.464 vom 9.9.1941). Bei Untersuchungen an luftgekühlten Motoren ergab sich, dass die Kühlung beim Ringverfahren offensichtlich zu kräftig wirkte. So stellte sich beispielsweise heraus, dass an einer mit "Zylinderkopfmittle" bezeichneten Messstelle bei Otto-Betrieb 220° , beim Ringverfahren jedoch nur 180° beobachtet wurden. Durch Entfernung von Kühlrippen im Gewicht von nicht weniger als 1,7 kg je Zylinder gelang es, die Kopftemperaturen auf das bei Otto-Betrieb übliche Mass zu steigern.

Es wurde zunächst versucht, durch Abgas-Analysen einen etwaigen Unterschied im Verbrennungsverlauf zu ermitteln. Die Ergebnisse sind auf Blatt 7 zusammengestellt und lassen erkennen, dass die Versuchspunkte beider Arbeitsverfahren mit befriedigender Genauigkeit auf den gemeinsamen Kurven liegen.

Eine Untersuchung der Kühlstoffwärmen ist auf Blatt 8 dargestellt. Es wurde hier ein Zylinder DB 6001 unter ähnlichen Bedingungen wie im vorhergehenden Abschnitt verwendet. Der Prüfstand war jedoch ein anderer, so dass höhere Leistungen erzielt wurden. Der Umlauf der Kühlstoffmenge wurde soweit gedrosselt, wie dies aus Sicherheitsgründen möglich war und hierdurch ein Temperatursprung von etwa 10° erreicht. Auf Blatt 9 ist die Leistung der zur Kühlung benutzten I.G.-Pumpe im Vergleich zu einer Kühlstoffpumpe des Baumusters DB 601 sowie eine von Daimler-Benz mitgeteilte Kurve dargestellt.

Die im Kühlstoff abgeführte Wärme ist bei Höchstleistung beim Otto-Verfahren erheblich grösser als beim Ringverfahren. Bezeichnet man die Kühlstoffwärme des Ringverfahrens an dieser Stelle mit 100%, so beträgt die Wärmeabfuhr beim Ringverfahren 125%. Bezogen auf die gesamte zugeführte Wärme ist die Kühlstoffwärme beim Otto-Verfahren etwa 3% grösser als beim Ringverfahren. Den höchsten Anteil der Kühlstoffwärme erreicht das Ringverfahren bei hohem Luftüberschuss, was offenbar auf langsame Verbrennung zurückzuführen ist.

Die Messpunkte bei 1,53 und bei 1,92 wurden durch eine genauere Untersuchung, die jedoch nicht dargestellt ist, einwandfrei als fehlerhaft erkannt und sind deshalb für die Lage der Kurve nicht herangezogen worden.

Die gleichfalls gemessenen Abgas- und Öltemperaturen geben keinen Anhalt dafür, dass die verminderte Kühlstoffwärme durch erhöhte Abgas-temperatur ausgeglichen wird.

Die Ursachen der verminderten Kühlstoffwärme sind noch nicht aufgeklärt. Die Erscheinung ist umso merkwürdiger, als die im vorigen Abschnitt beschriebene Diagrammform auf ein gewisses Nachbrennen im Dehnungshub schliessen lässt. Es ist beabsichtigt, eingehendere Untersuchungen über den Verbrennungsablauf durchzuführen und hierbei auch die Frage der Kühlstoffwärme zu klären.

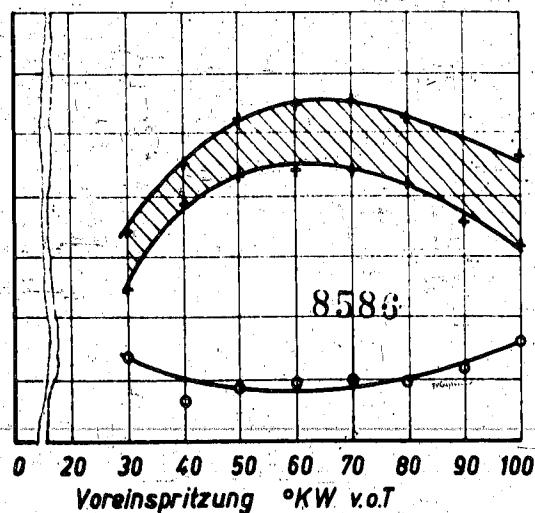
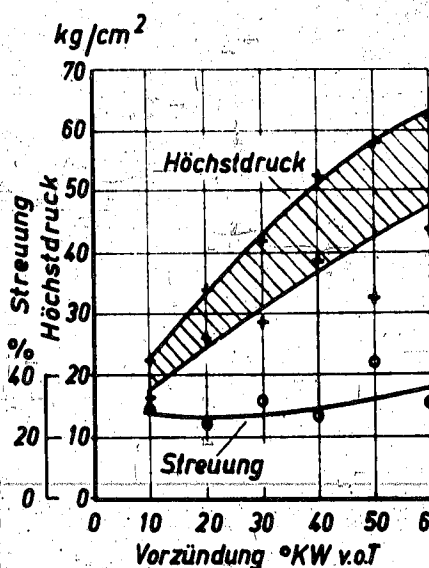
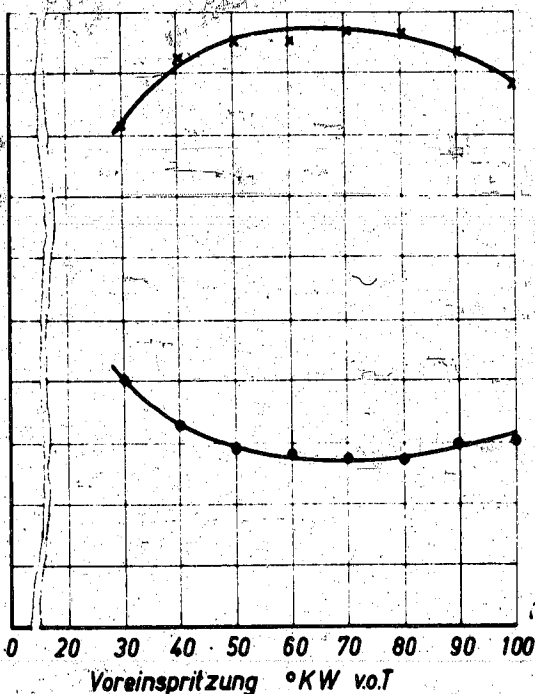
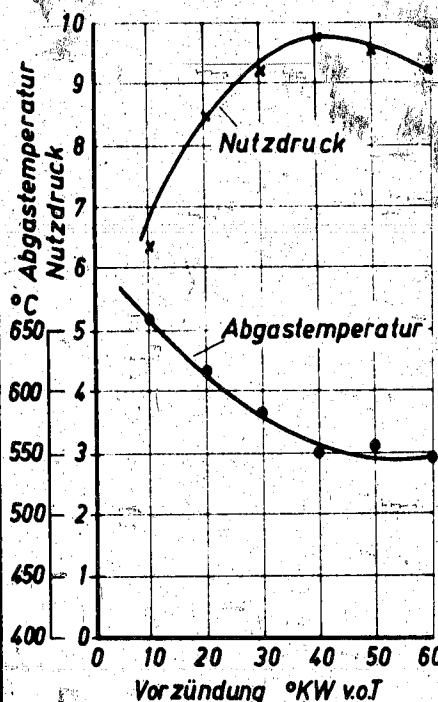
Vergleich der Höchstdrücke beim Otto u. Ring-Verfahren in Abhängigkeit von Vorzündung bzw. Voreinspritzung

Zylinder DB 6001 Verdichtungsverhältnis: 1:8

Drehzahl=2000 U/min $\lambda = 0.92$

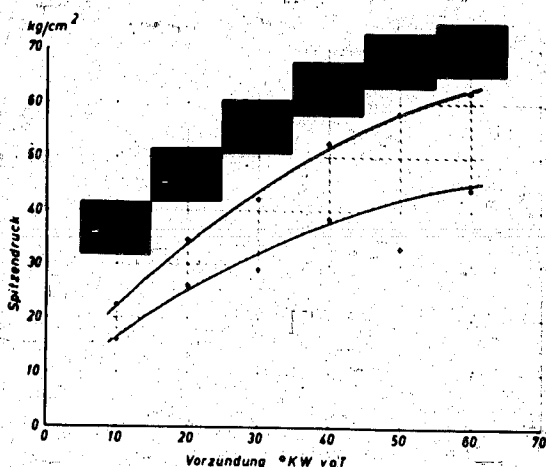
Otto-Verfahren

Ring-Verfahren

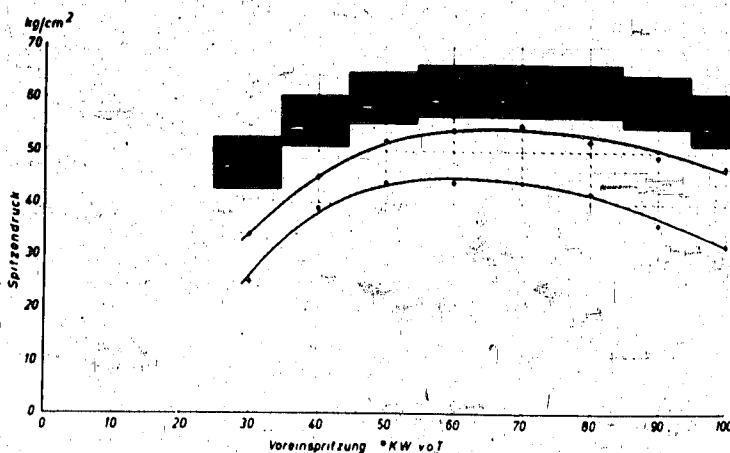


Einfluß der Vorzündung bei Voreinspritzung auf den Verbrennungsablauf

Otto-Verfahren

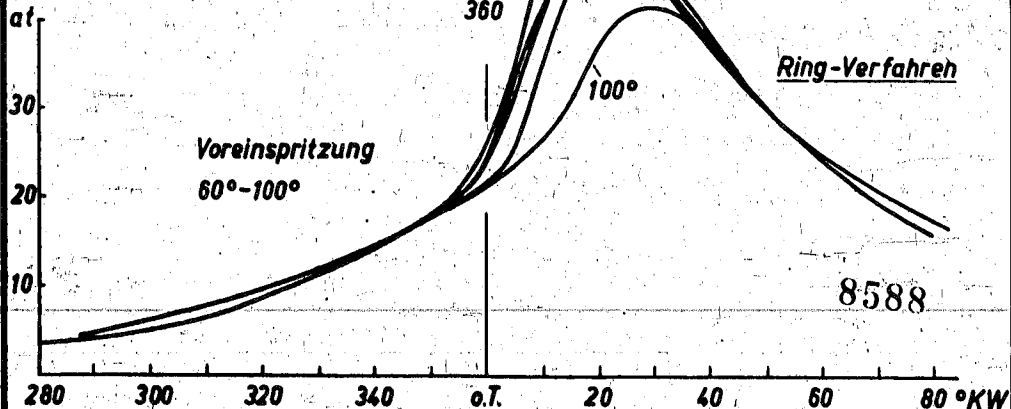
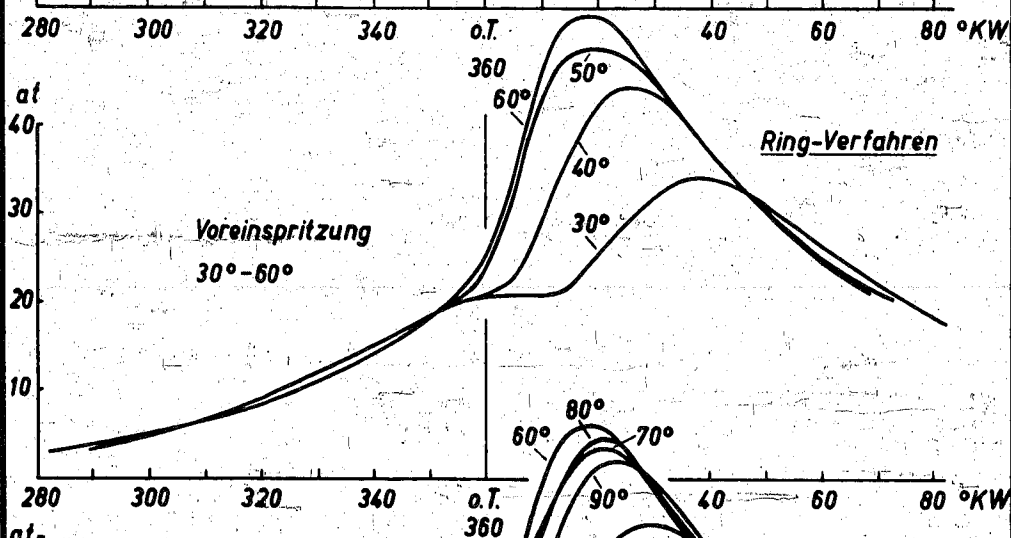
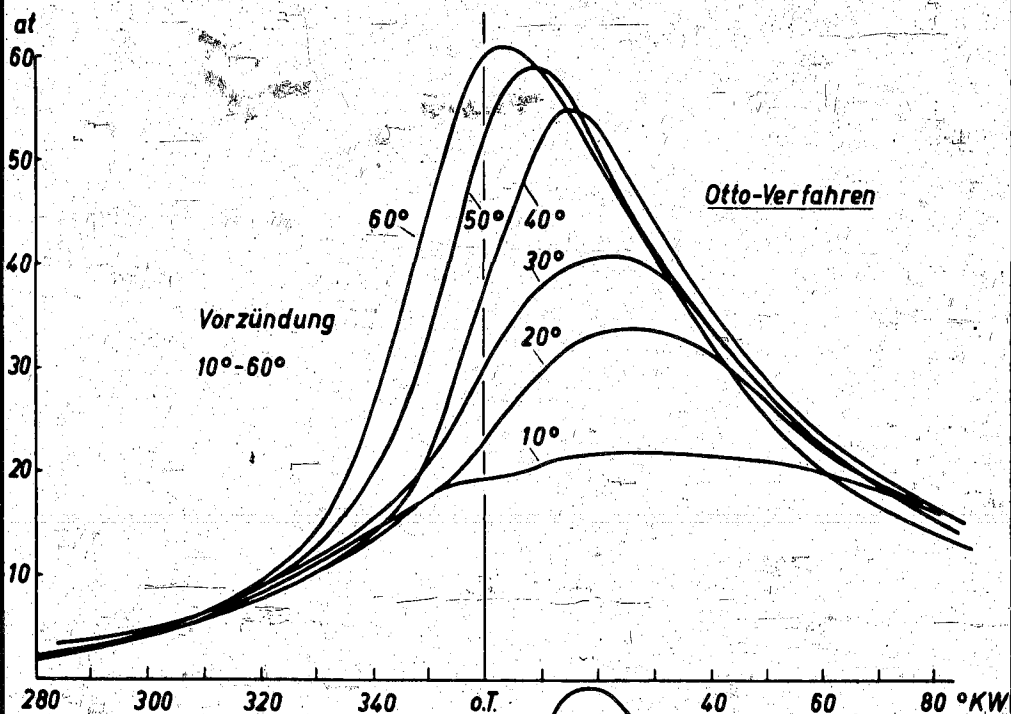


Ring-Verfahren

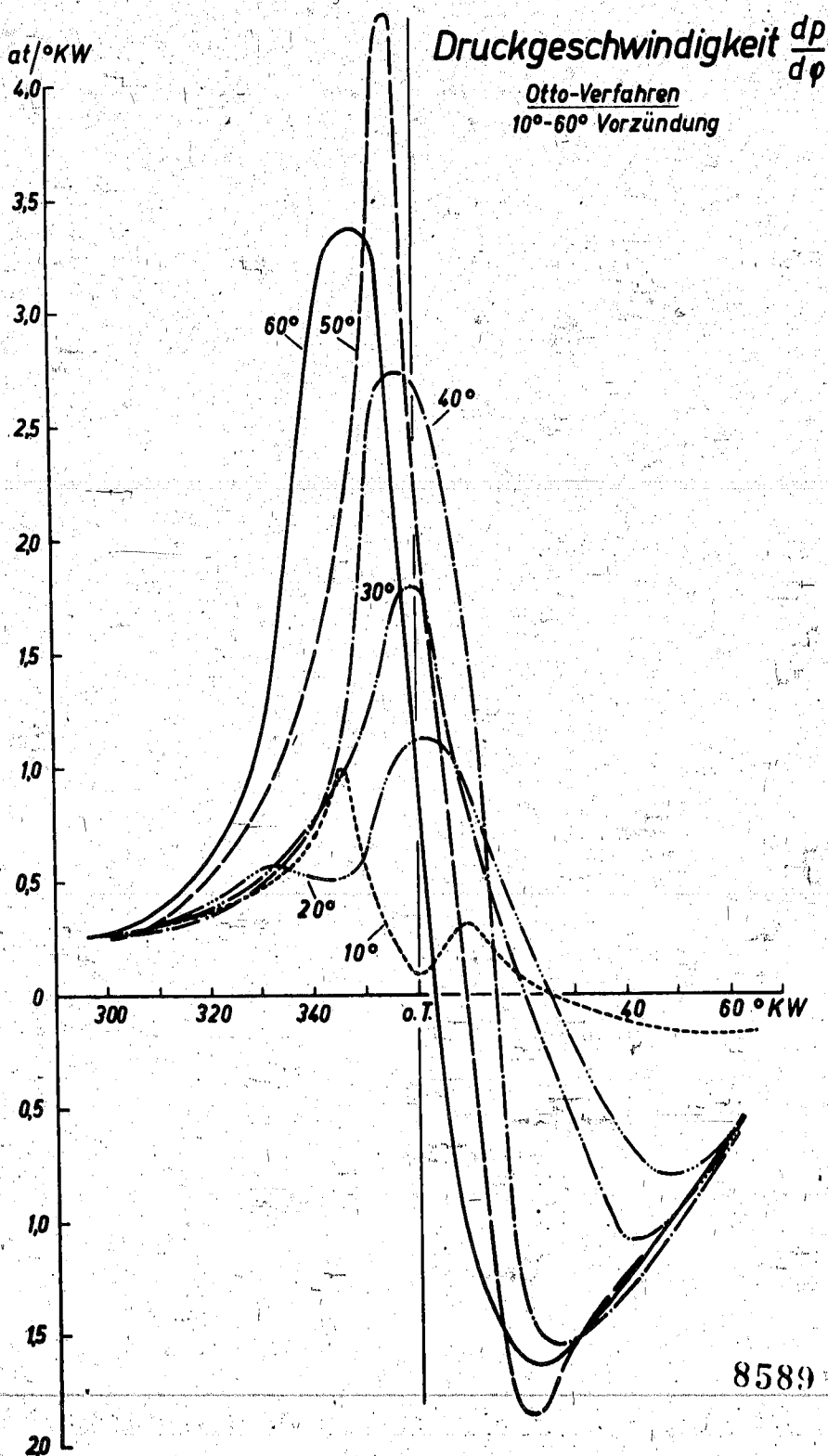


8587

Druckverlauf

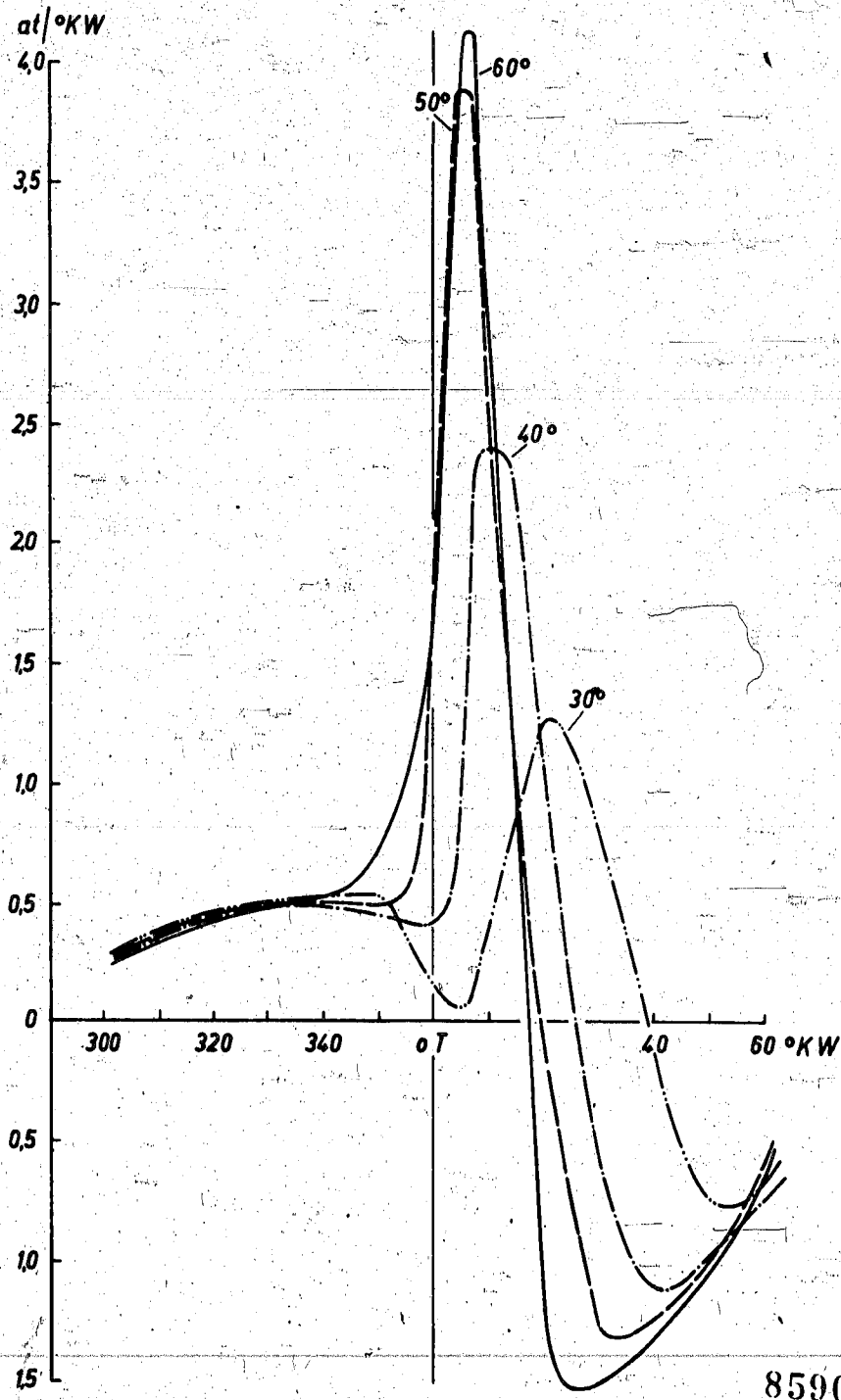


8588



Druckgeschwindigkeit $\frac{dp}{d\phi}$

Ring-Verfahren
30°-60° Voreinspritzung



8590

Druckgeschwindigkeit $\frac{dp}{d\phi}$

Ring-Verfahren
60°-100° Voreinspritzung

at/°KW

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

1,5

1,0

0,5

0

300

320

340

o.T.

40

60 °KW

0,5

1,0

1,5

60°

90°

80°

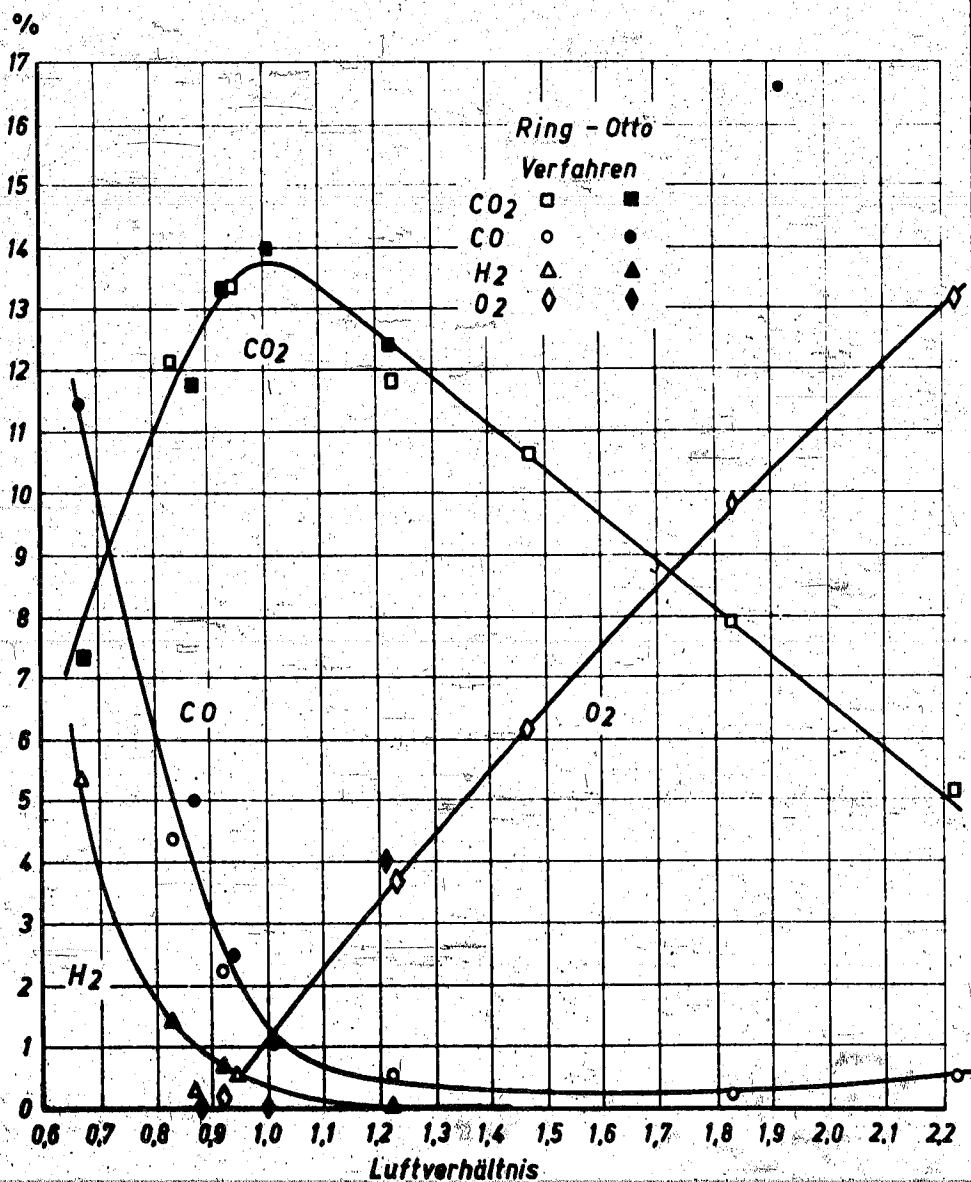
70°

100°

8591

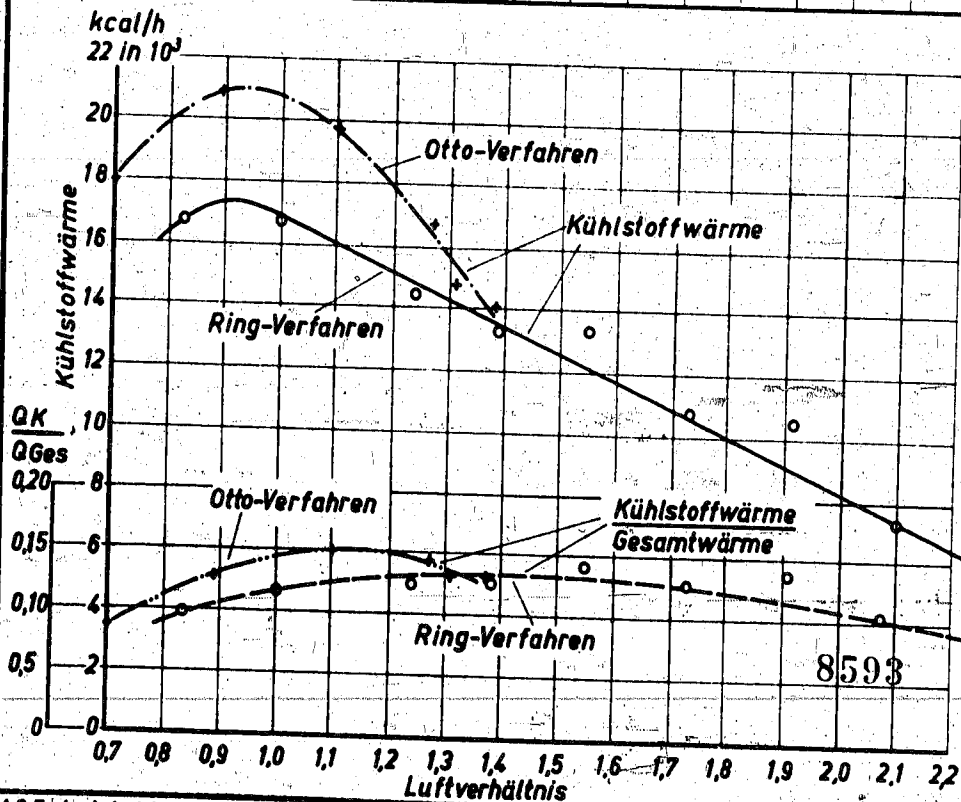
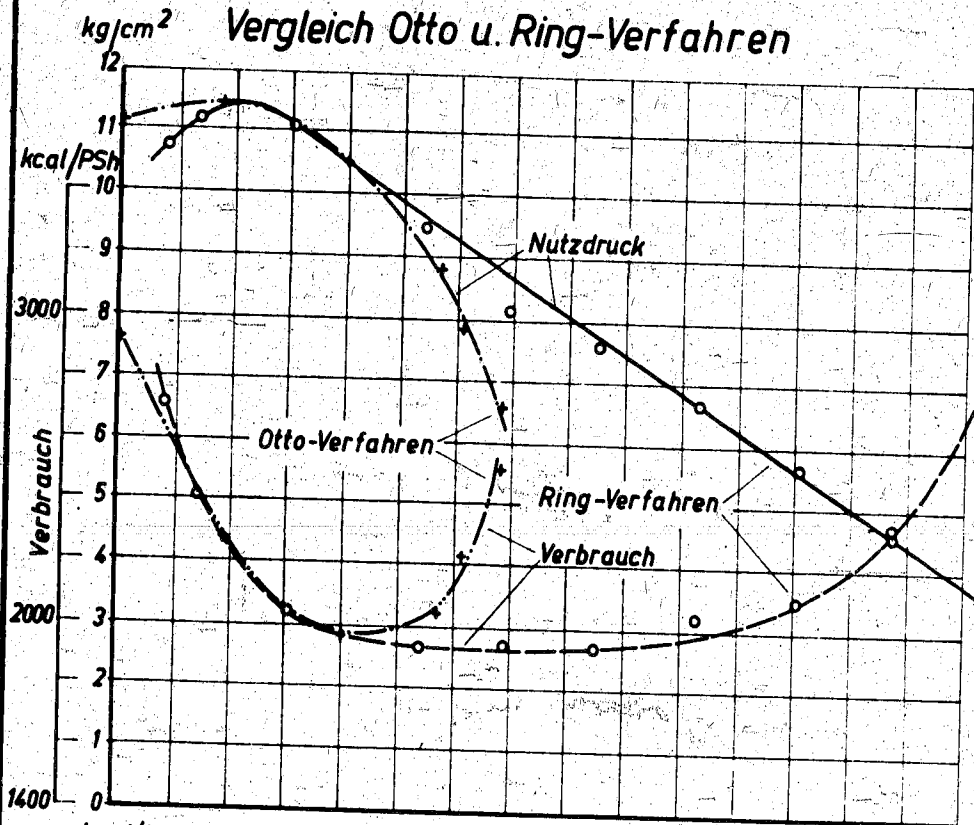
Abgaszusammensetzung

Vergleich Otto u. Ring-Verfahren

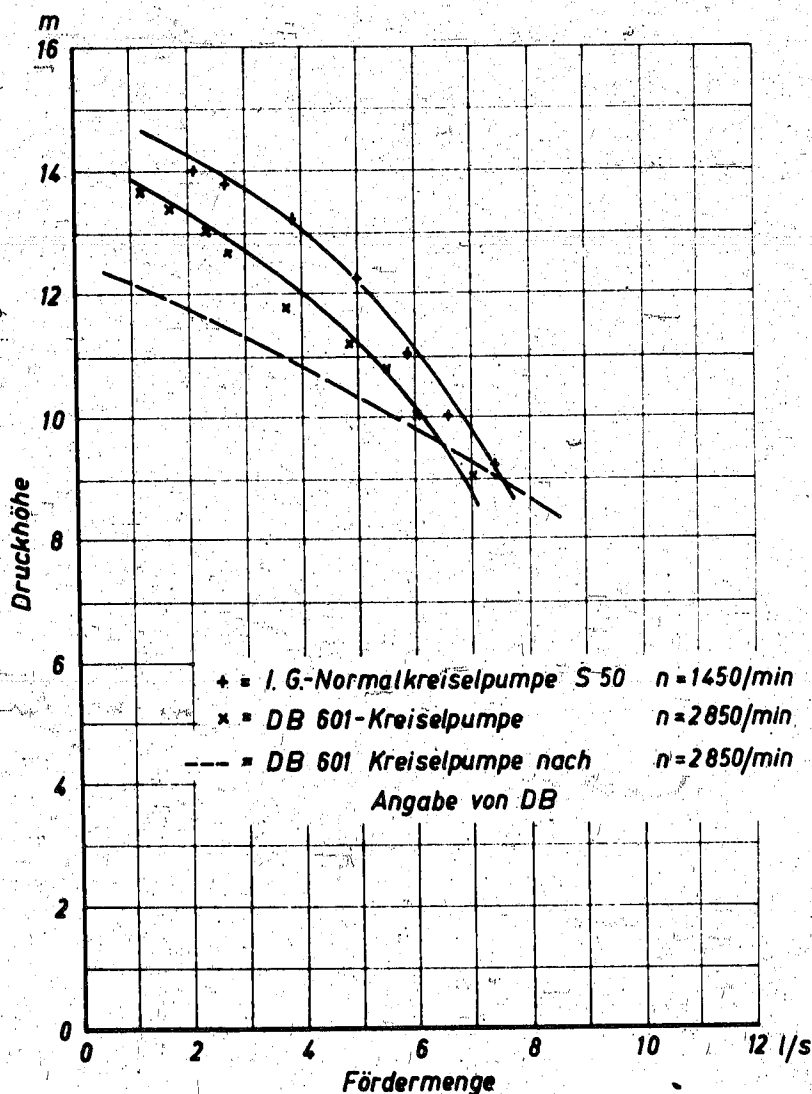


8592

Kühlstoffwärme Vergleich Otto u. Ring-Verfahren



Leistung von Kühlstoffpumpen



8594