

Bericht *Untersuchung über die Ursache
der Freilung von Indikator-Diagrammen
an Automaten.*

Technischer Prüfstand Op.

Nr. *375.*

Verfasser *Dr.-Ing. Weinhart*

Tag *23. Februar* 1939

F27

I-97

Gesehen von der Direktion

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
29087			

B e r i c h t

Untersuchung über die Ursache der Streuung von Indikator-Diagrammen an Ottomotoren.

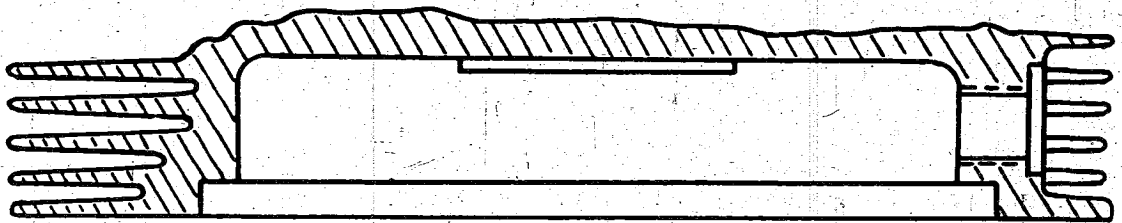
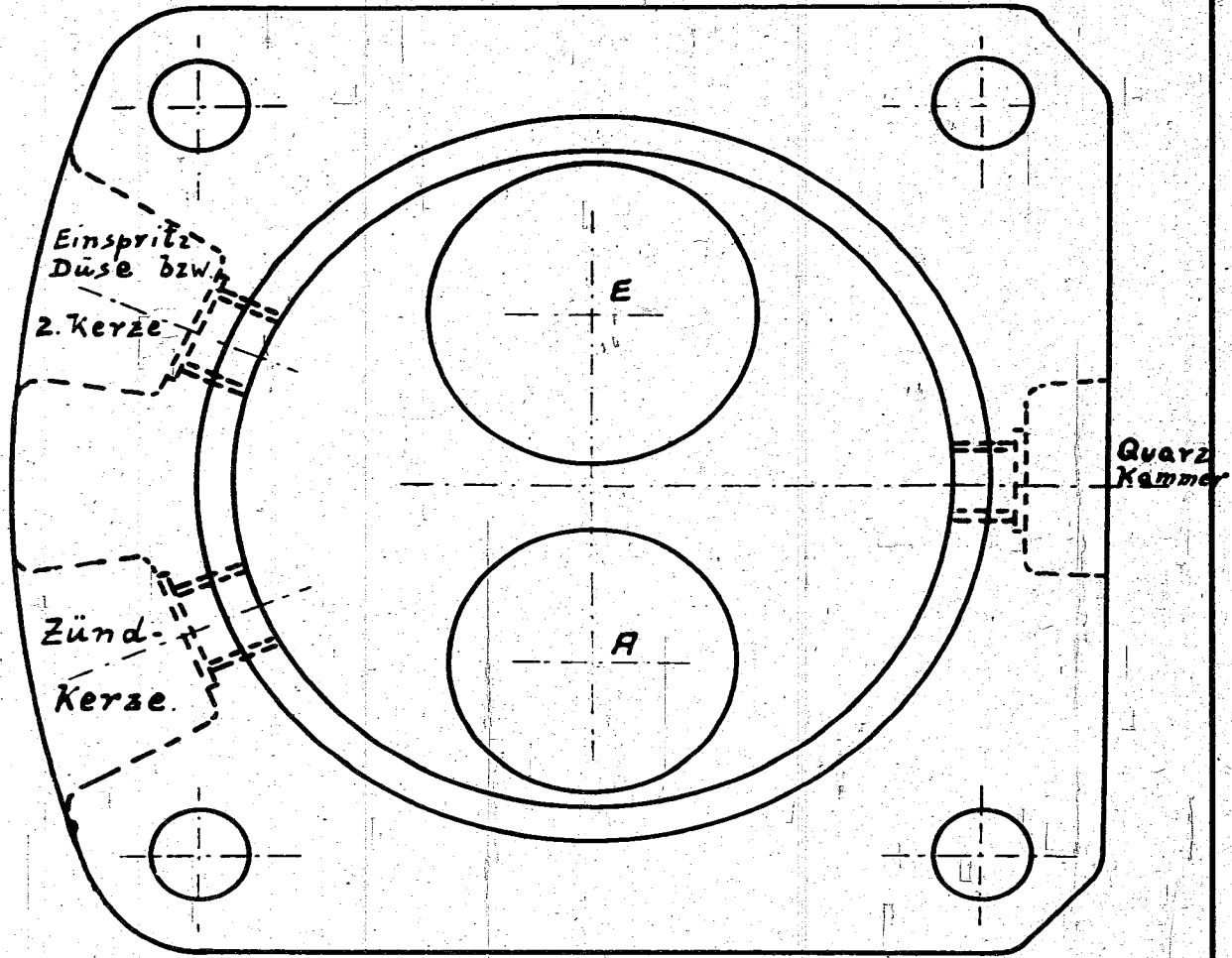
Einleitung

Indiziert man bei konstanten Betriebsverhältnissen im Verbrennungsraum eines Ottomotors aufeinanderfolgende Arbeitspiele, so wird man feststellen, daß die Diagramme nicht deckungsgleich ausfallen, insbesondere zeigt der Höchstdruck bei reschlaufenden Motoren erhebliche Unterschiede. Am deutlichsten ist diese Erscheinung auf versetzten Diagrammen oder auf Kurbelweg-Druck-Schaubildern ersichtlich, bei denen die Verbrennungsperiode im gedehnten Abzassen-Naßstab herausgegriffen werden kann. Diese Streuungen im Druckverlauf haben auf die indizierte Leistung keinen wesentlichen Einfluß, da die Kolbengeschwindigkeit während dieser Zeit klein ist, dagegen nehmen sie die Möglichkeit, den Motor bis nahe an die Klopfgrenze anzusetzen, da immer einzelne Arbeitstakte ins Klopfgebiet fallen. Es ist nun die Aufgabe der vorliegenden Messungen, die Ursache dieser Streuungen festzustellen und die Abhängigkeit der Größe der Streuung von den verschiedenen Betriebsverhältnissen zu ermitteln.

Für die Messungen stand ein FKFS-Einsylinder Motor mit Hirth-EM 504 A 2 - luftgekühltem Zylinder zur Verfügung. Abb. 1 zeigt seinen Zylinderkopf.

Nachstehend die Motorendaten, wie sie bei den vorliegenden Messungen ein-

Abb. 1



Zylinderkopf des Hirth-Motors.

29089 M 1:1

gehalten wurden:

Hubvolumen	996 cm ³
Hub	115 mm
Zylinderdurchmesser	105 mm
n	2360 U/min
n norm	
M	24 PSe im Flugmotor.
M norm	

Konstant gehalten wurden:

ε	1:6
t am Zündkerzensitz	210°C
t des Ölsumpfes	50°C
Zündung	35 v.o.T.
Beginn der Einspritzung	50 n.o.T.
Kraftstoff	Stanavo bezw. Benzol

Verändert wurden:

- Drehzahl n (U/min)
- Drehmoment M (kg an einem Hebelarm der Wasserbremse von 716,2 mm)
- Luftüberschußzahl
- Zahl der Zündkerzen.

Diese Größen wurden auch als Parameter in den Auswertungen angegeben.

Gemessen wurde:

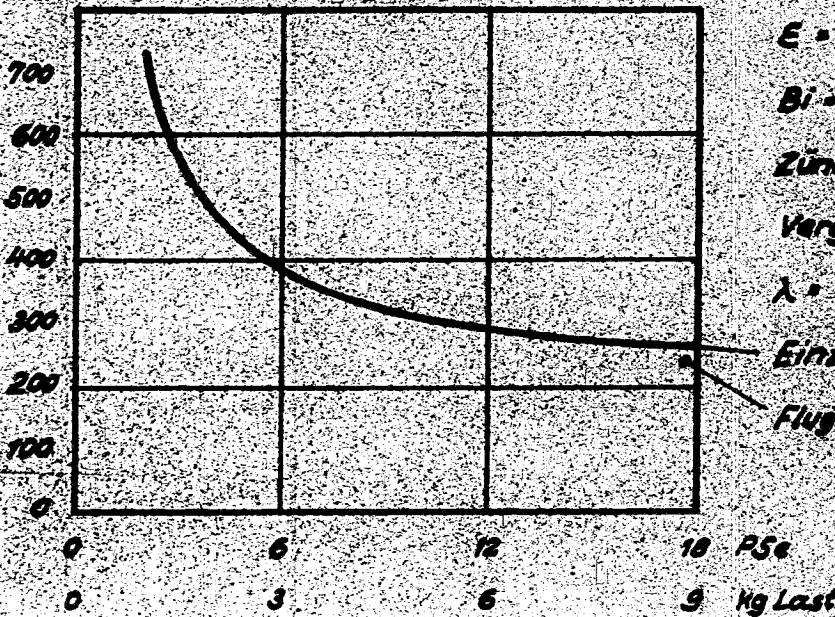
Der zeitliche Verlauf des Zylinderdruckes mehrerer aufeinander folgender Spiele.

Zum Indizieren wurde der I.G.-Piezo-elektrische Motorindikator mit Kathodenstrahl-Oszillograph und Hier'scher Quarzdruckkammer verwendet, zur Ablenkung der I.G.-Wasserring, welcher sich für diesen Zweck besonders vorteilhaft verwenden ließ, da man einen Verbrennungsausschnitt von 90° Kw. über die gesamte Diagrammbreite dehnen kann. Die Abb.2 zeigt den effektiven Kraftstoffverbrauch, der niederste Wert liegt bei 18 PSe und beträgt 265 g/PSh. Außerdem ist noch der Verbrauch des 4 Zylinder-Flugmotors angegeben, dessen Zylinder hier verwendet wurde; er beträgt 240 g/PSh.

Verbrauchskurve

gr. Bi
PSe/h

Abb. 2



$n = 2000 \text{ U./min.}$

$E = 1.6$

Bi - Stanavo

Zündg. = 35° v. OT

Vergaserbetrieb

$\lambda = \sim 0.9$

Einzyylinder

Flugmotor

In den photographischen Abzügen Abb. 3-5 sind einige besonders charakteristische Aufnahmen wiedergegeben, auch ein Kompressions-Diagramm (Abb. 6), bei dem sich die übereinander photographierten 9-10 Spiele vollständig decken; damit ist sowohl das einwandfreie Arbeiten des Indikators als auch des Motors bewiesen. Die Streuungen stehen also ausschließlich in Zusammenhang mit der Zündung, Gemischbildung oder Verbrennung.

Die Unregelmäßigkeiten im Druckverlauf können zunächst durch eine nicht vollständig gleichmäßige Zündungseinleitung bedingt sein. Es wurde deshalb die Magnetzündung sicherheitshalber gegen eine Batteriezündung ausgetauscht. Mit einer Glimmalampe, die mit der Zündkerze in Reihe geschaltet wurde (und somit vom gleichen Strom durchflossen wird), wurde eine Marke am Schwungrad beobachtet. Bei jedem Aufleuchten der Glimmalampe erschien die Marke nahezu an gleichem Ort. Diese Schaltung der Glimmalampe unterscheidet sich absichtlich von der gebräuchlichen Anordnung mit dem Matraskop, bei dem die Glimmalampe parallel zur Kerze geschaltet wird und somit bei Erreichung ihrer Zündspannung aufleuchtet,

welche aber durchaus nicht mit der Überschlagespannung der Kerse übereinstimmen muß. Da der Spannungsanstieg sehr rasch ist, kann der Fehler zwar nicht groß sein und die neue Anordnung würde nicht genügend gerechtfertigt sein, wenn nicht damit die zweite und unangenehmere Störung des Ansetzens der Zündung behoben wäre, welche von der zusätzlichen Belastung des Zündkreises herrührt. Außerdem zeigen die Aufnahmen der Zündmarke am Kathodenstrahl-Oszillographen das gleichmäßige Arbeiten (Abb.7) sowie die Druck-Zeit-Diagramme, auf denen sich die Zündmarken von etwa 15 Spielen vollständig decken. Der Einfluß der Zündung ist also ausgeschaltet.

Ein zweiter Einfluß auf die Streuung kann von einer ungleichmäßigen Gemischbildung herrühren, sei es im Vergaser oder durch die Einspritzung. Deshalb wurde ein "idealer Vergaser" gebaut, der ein vollständig homogenes Kraftstoff-Luftgemisch liefert.

In einem Sättigungsapparat (Abb.8) wird die Verbrennungsluft bei konstantem höherem Druck und bei konstanter Temperatur mit Kraftstoffdampf gesättigt und vor Eintritt in den Motor gedrosselt. Da der zur gemessenen Temperatur gehörige Partialdruck des Kraftstoffdampfes bekannt ist (soweit es sich um reine Stoffe handelt), läßt sich zu jeder Temperatur auch der nötige Partialdruck der Luft berechnen, welcher einem gewünschten Luftüberschuß entspricht. Die Abb.9 zeigt den Zusammenhang zwischen Temperatur t , Gesamtdruck p und Luftüberschußzahl λ für Benzol. Vorausgesetzt ist nur vollständige Sättigung, was bei reichlicher Dimensionierung praktisch erreichbar ist. Eine Kontrolle im Betrieb bietet die Abgas-Analyse und die Anspufftemperatur. Von letzterer wurde hier Gebrauch gemacht.

Versuchsergebnisse:

Als Maß für die Streuung der Arbeitsspiele wurde die Streuung des Höchstdruckes genommen. Von jedem Betriebszustand wurden unmittelbar nacheinander 3. Aufnahmen mit je 10-15 Spielen gemacht und zunächst der arithmetische Mittelwert der Höchstdrücke sämtlicher auf diesen 3 Aufnahmen vorhandenen Druckkurve gebildet. Als Abzisse wurde dann die prozentuale Abweichung des jeweiligen Höchstdruckes zu diesem Mittelwert aufgetragen (Abb. 10 - 23). Die Ordinaten stellen den prozentualen Anteil der Spiele dar, welche in ein bezeichnetes Druckgebiet fallen. Der Parameter ist in den Auswertungen gesondert angegeben.

Besprechung der Versuchsergebnisse:

Betrachten wir nun die Abb. 10 und 11, welche also die Ergebnisse mit dem "idealen Vergaser" darstellen, so sehen wir, daß die Streuung keineswegs Null geworden ist, wie man von einem solchen Vergaser in Verbindung mit einer gleichmäßig arbeitenden Zündungseinleitung erwarten könnte. Es fällt bei Vollast erst rund die Hälfte der Spiele in ein Druckgebiet von $\pm 5\%$ um den Mittelwert. Erst die Verminderung der Drehzahl, wie die Abb. 12 zeigt, bringt eine wesentliche Verbesserung. Da aber der Vergaser oder die Einspritzpumpe nur noch schlechtere Gemische herstellen können, stellen also diese Kurven mit dem Sättigungsapparat die Grenze des Erreichbaren dar. Wir müssen daraus weiterhin den Schluß ziehen, da sämtliche Betriebsverhältnisse unverändert blieben, daß nur noch die Zufälligkeiten in der Flammenausbreitung eine Änderung Druckkurven verursachen konnten.

Diesen Zufälligkeiten in der Flammenausbreitung überlagert sich noch die unkontrollierbare Vermischung mit den im Zylinder befindlichen Restgasen. Dazu müßte ein Zweitaktmotor mit überreichlicher Spülung oder ein Auspuff

ins Vakuum angewandt werden.

Mit den Ergebnissen des Sättigungsbetriebes (kurz mit S bezeichnet) können wir nun die Besonderheiten der übrigen Gemischbildner studieren. So zeigen bei Vollast und normaler Drehzahl die 3 Gemischbildner untereinander keinen wesentlichen Unterschied. Die auf der Abb. 13 ersichtlichen Differenzen liegen wohl innerhalb der Meßgenauigkeit. Wie wir später sehen, übt die Luftüberschußzahl einen wesentlichen Einfluß auf die Größe der Streuung aus; da aber beim Sättigungs- als auch beim Einspritzbetrieb (E) die Luftüberschußzahl nur durch Vergleich mit der Auspufftemperatur festgestellt wurde, ist diese nicht übermäßig genau, und es ist somit erklärbar, daß der Einspritzbetrieb scheinbar dem Sättigungsbetrieb überlegen ist. Dagegen zeigen die Versuche mit Teillast größere Unterschiede und schlechtere Werte für den Einspritz- (Abb. 14) und Vergaserbetrieb (V), Abb. 15. Schließlich wurden noch E und V gesondert untersucht und die Abhängigkeit der Streuung von Luftüberschuß, Zahl der Zündkerzen, der Last und der Drehzahl ermittelt. Dabei ist eine große Änderung der Streuung mit der Last beim E auffällig, Abb. 16. Diese Erscheinung steht im Einklang mit der Beobachtung, daß bei Teillast in der Entlüftungsleitung der Brennstoffpumpe Gasblasen aufsteigen. Mechanische Unvollkommenheiten der Pumpe sind ausgeschlossen, ebenso das Eindringen von Luft in den Ausengraum. Ja der Brennstoffdruck vor der Pumpe bis zu 4 atü erhöht wurde, ohne daß diesem Uebelstand abgeholfen werden konnte. Das Gas kann demnach nur während des Saughubes der Pumpe aus dem Brennstoff ausgasen und durch den Überströmkanal ins Pumpengehäuse gelangen. Dieses Überströmen findet aber nur bei Teillast statt, so daß damit diese Erscheinung erklärt werden kann.

Bei den V-Versuchen (Abb. 17) fällt der Linienszug für 6 kg Last durch seine abnormale große Streuung heraus. Diese Last bedingt gerade eine Vergaserstellung, ^{bei} der der Übergang zur zweiten Hauptdüse (im zweiten Ansaugkanal des Zwei-

düsen-Vergasers) vorübergehend eine schlechte Zerstäubung verursacht. Auch bei der abnormalen Drehzahl von 600 Touren (Abb.22) bei großer Last ist deshalb eine geringe Verschlechterung in der Gemischbildung möglich.

Dagegen zeigen die Abb.18 und 19 für den V. den gewaltigen Einfluß der Luftüberschußzahl. Die Abb.20 zeigt aber auch, daß die Zündung mit 2 Zündkerzen die Streuungen wesentlich herabzusetzen vermag. Auch beim Sättigungsbetrieb, Abb.21, sehen wir diese Tendenz, nur kann dort der Einfluß nur noch klein sein, da der Wert für die Konzentration der Spiale bereits sehr groß ist. In beiden Fällen wären noch bessere Resultate zu erzielen, wenn die Zündkerzen nicht wie hier (aus versuchstechnischen Gründen) nebeneinander ständen, sondern im Verbrennungsraum gegenüber. Die Abb.22 zeigt schließlich noch den Einfluß der Drehzahl beim Vergaserbetrieb. Auf die Abweichung der Kurve mit $M = 6 \text{ kg}$ und 2000 U/min wurde bereits hingewiesen. Die Abb.23 zeigt den Einfluß bei Einspritzbetrieb.

Zusammenfassung:

In einem Einzylinder-Flugmotor auf dem Prüfstand wurden die Faktoren untersucht, die für die Streuung der Indikatorgramme maßgebend sind. Es zeigte sich, daß eine Verkleinerung der Luftüberschußzahl von 1,0 auf 0,9, eine Verkleinerung der Drehzahl, eine Vermehrung der Last und eine Vergrößerung der Zahl der Zündkerzen sowohl beim Vergaser- als auch beim Einspritzbetrieb sich auf die Streuung vermindern auswirkt. Die Größe der Streuung wird zahlenmäßig angegeben.

Durch Versuche mit einem Gemischbildner, welcher ein vollständig homogenes Brennstoff-luft-Gemisch liefert, konnte gezeigt werden, daß ein Mindestmaß der Streuungen immer vorhanden ist und von den Unregelmäßigkeiten der Flammenausbreitung im Verbrennungsraum herrührt.

Anlagen: 2 Skizzen
2 Blatt Diagramme
7 Kurvenblätter.

M *Neunkirch*

29095

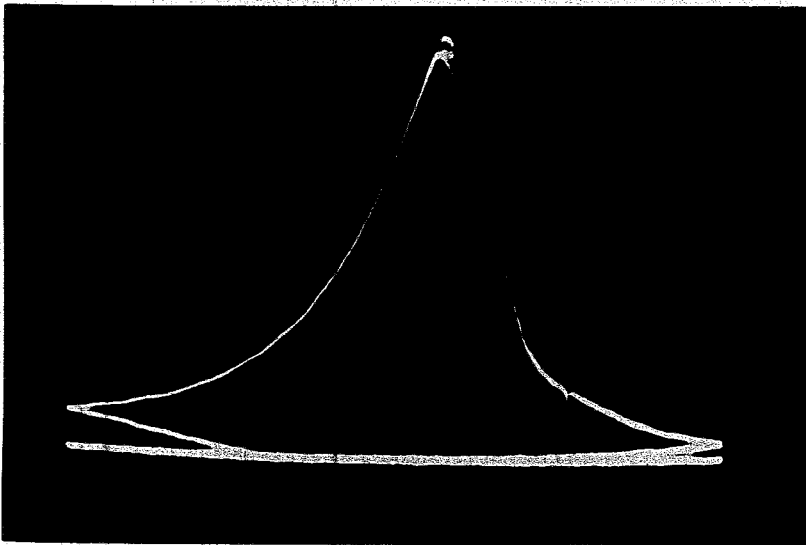


Abb. 3

Sättigungsapparat

Vollast

$\lambda \sim 0,9$

$n = 2000 \text{ U./min.}$

Umlauf-
richtung

Zündmarke

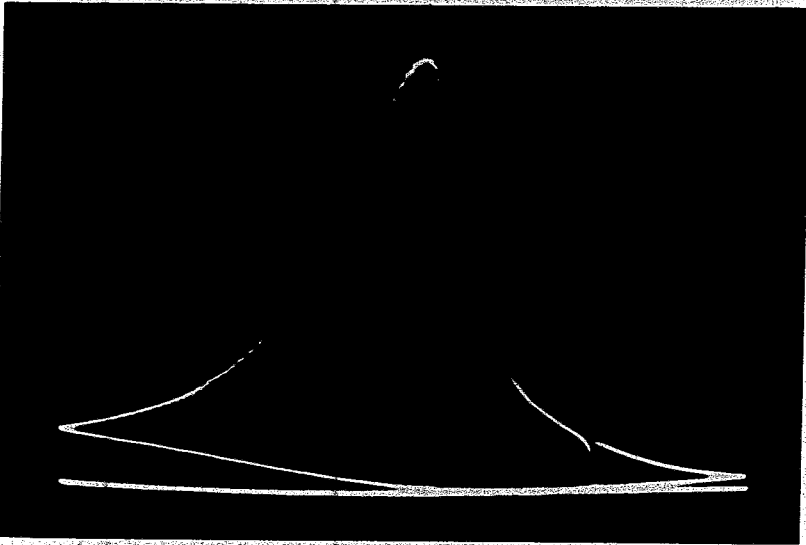


Abb. 4a

Vergaser

Vollast

$\lambda = 0,9$

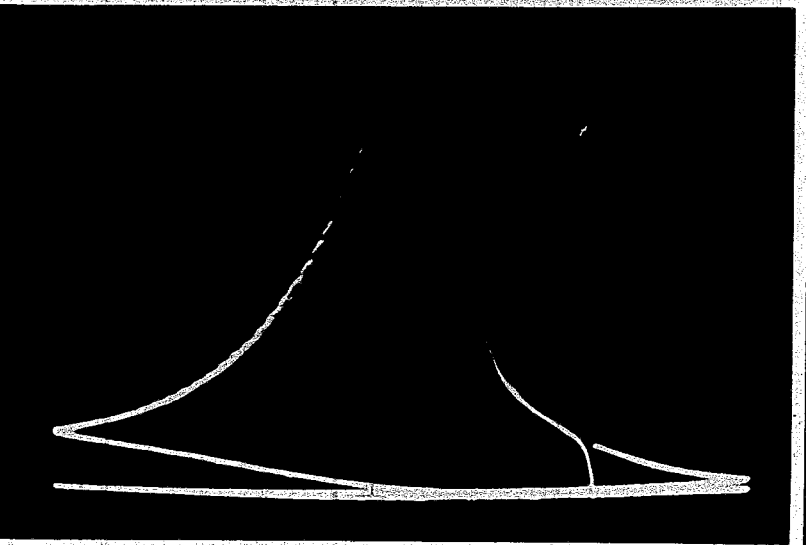


Abb. 4b

Vergaser

Vollast

$\lambda = 1,0$

29096

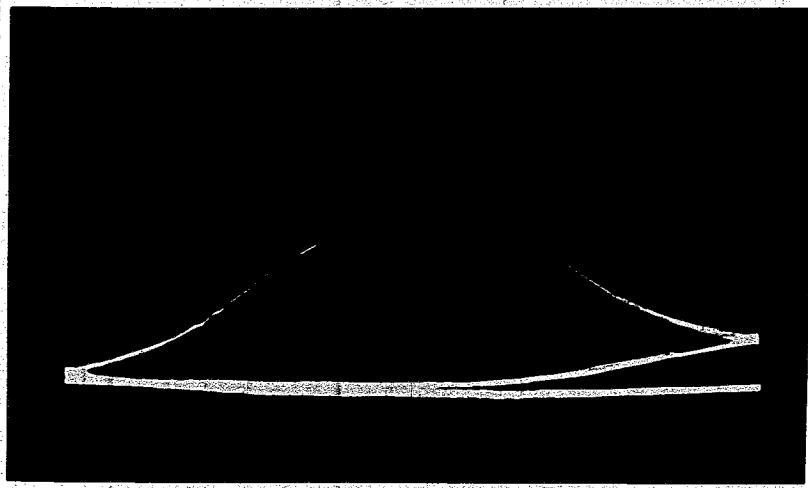


Abb. 5

Sättigungsapparat

$\frac{1}{8}$ Last

Umlauf-
richtung

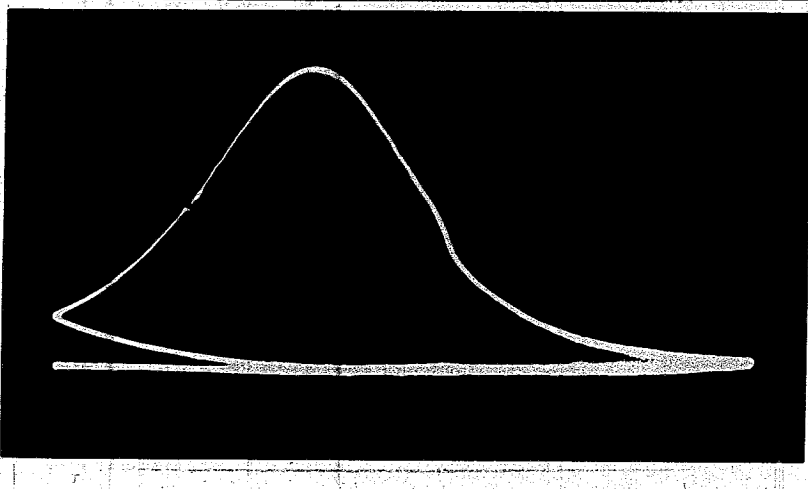


Abb. 6

Kompressions-
diagramm

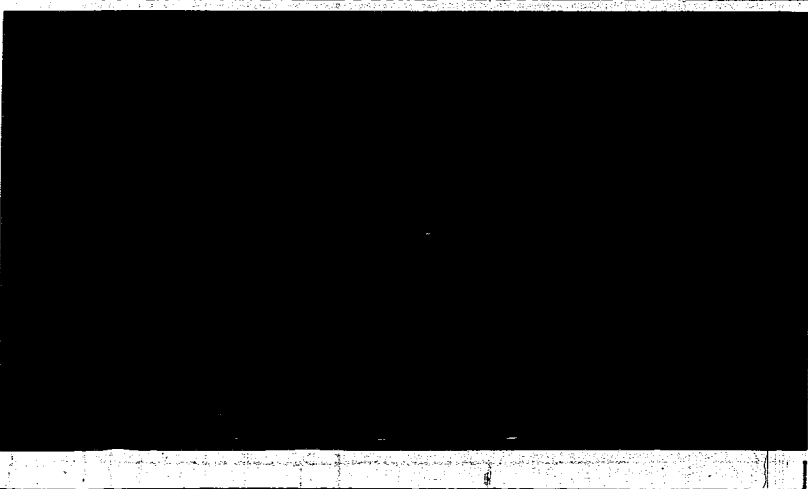


Abb. 7

Zündmarken

29097

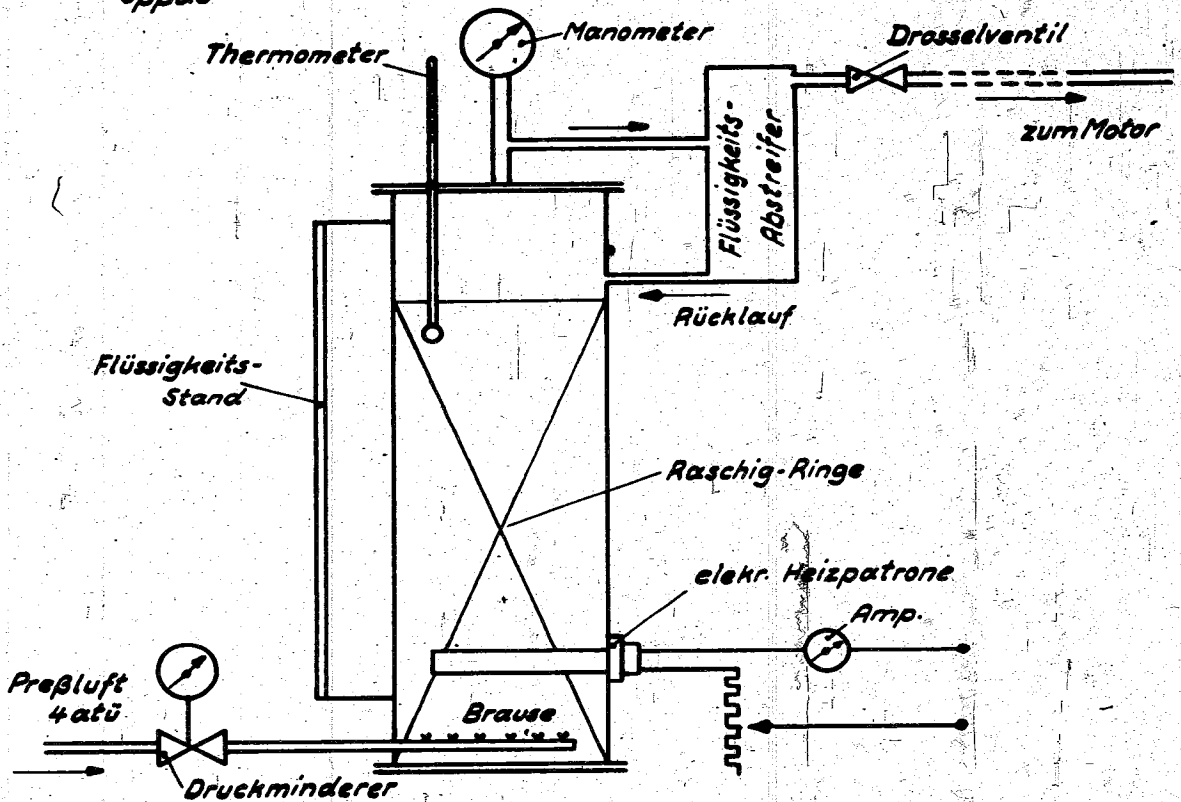
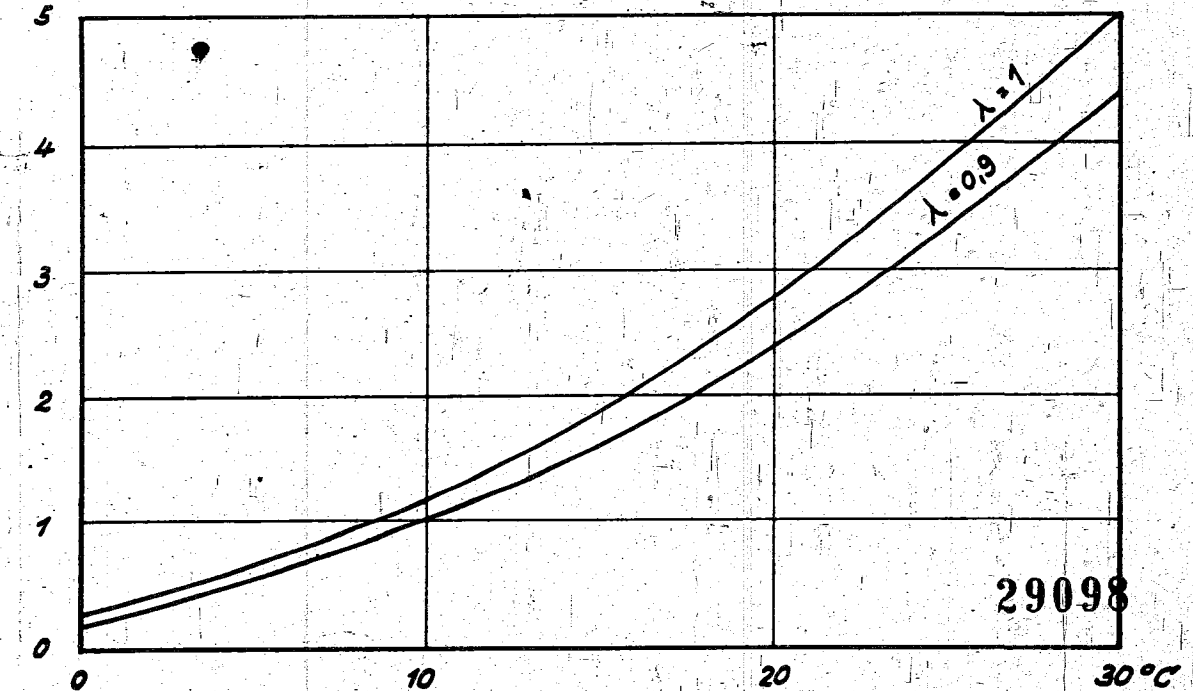
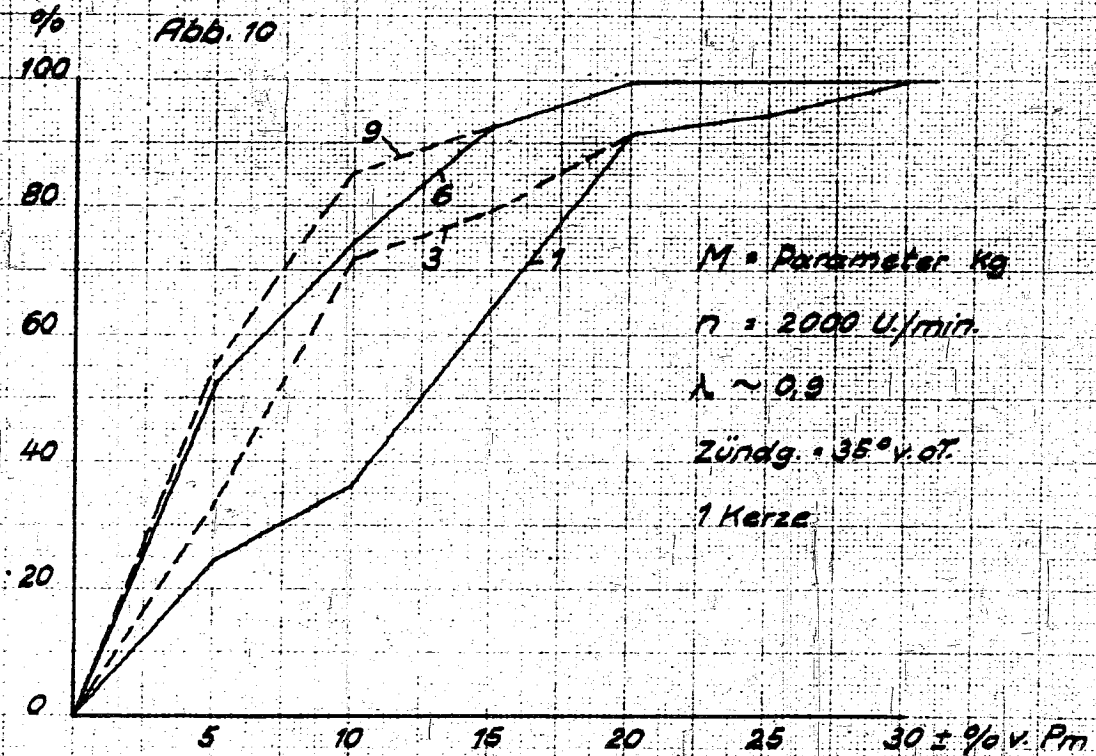


Abb. 9

atü

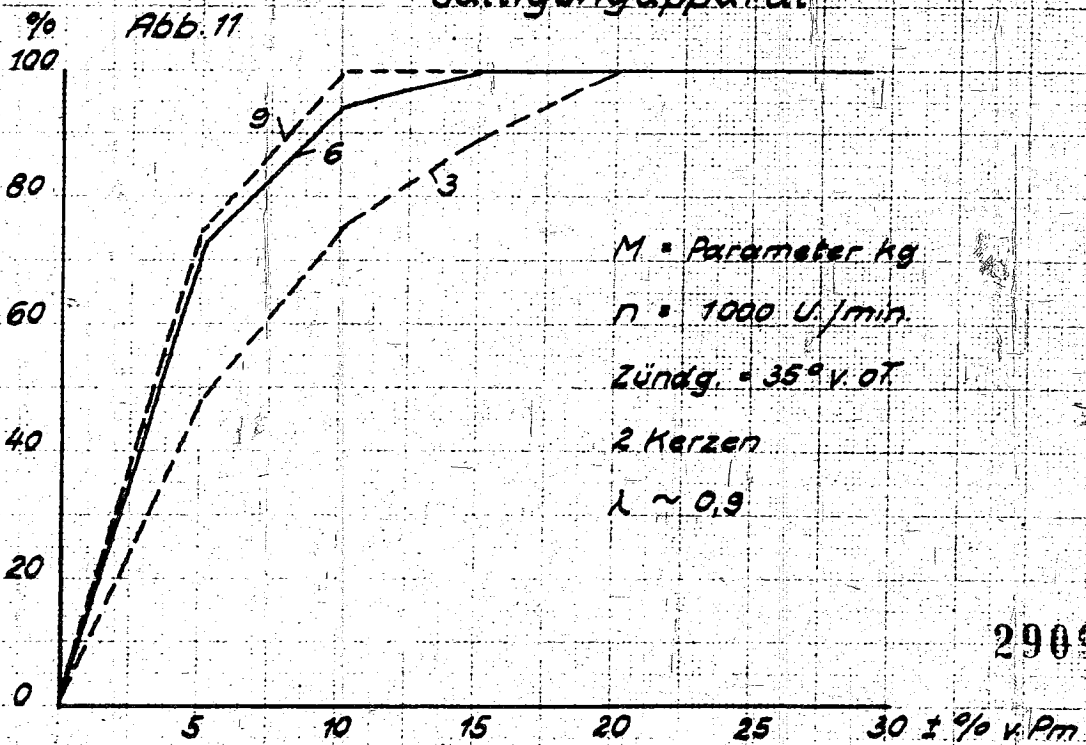


Sättigungsapparat



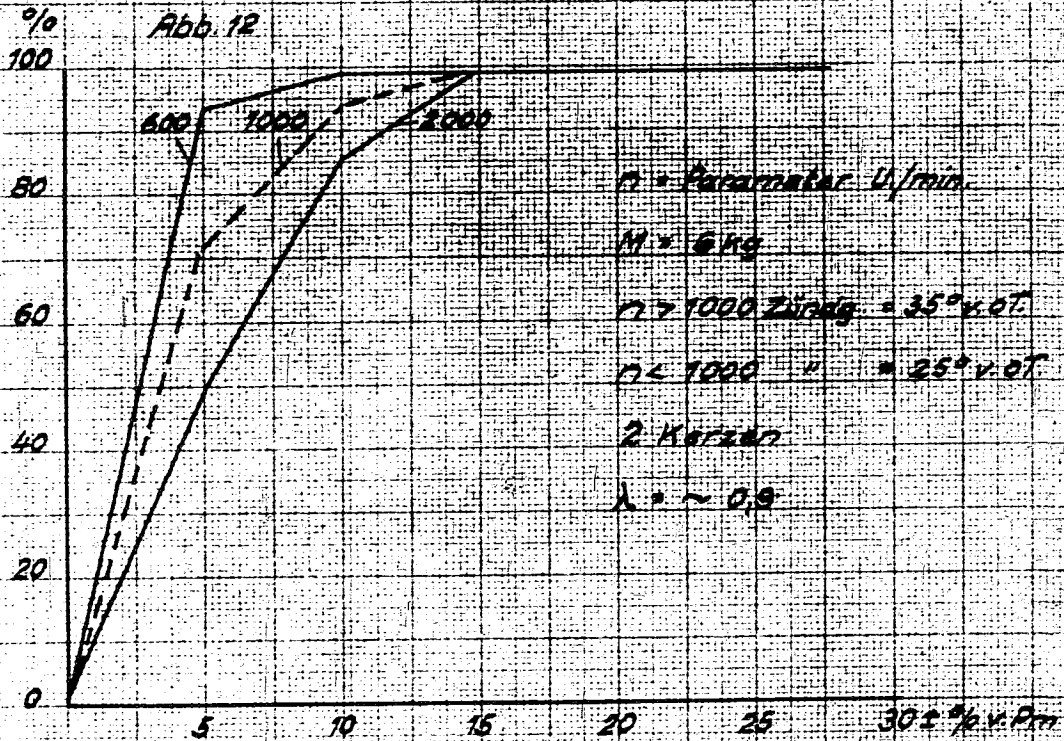
d. Spiele

Sättigungsapparat



29099

Sättigungsapparat



d. Spiele

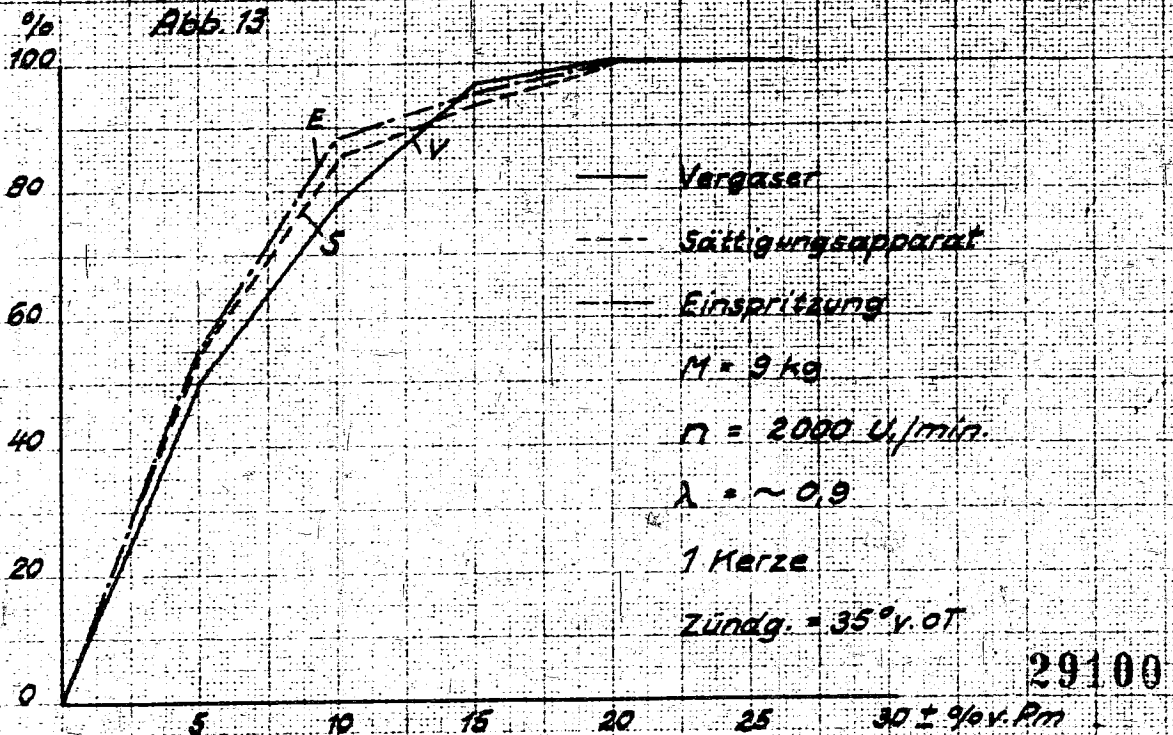
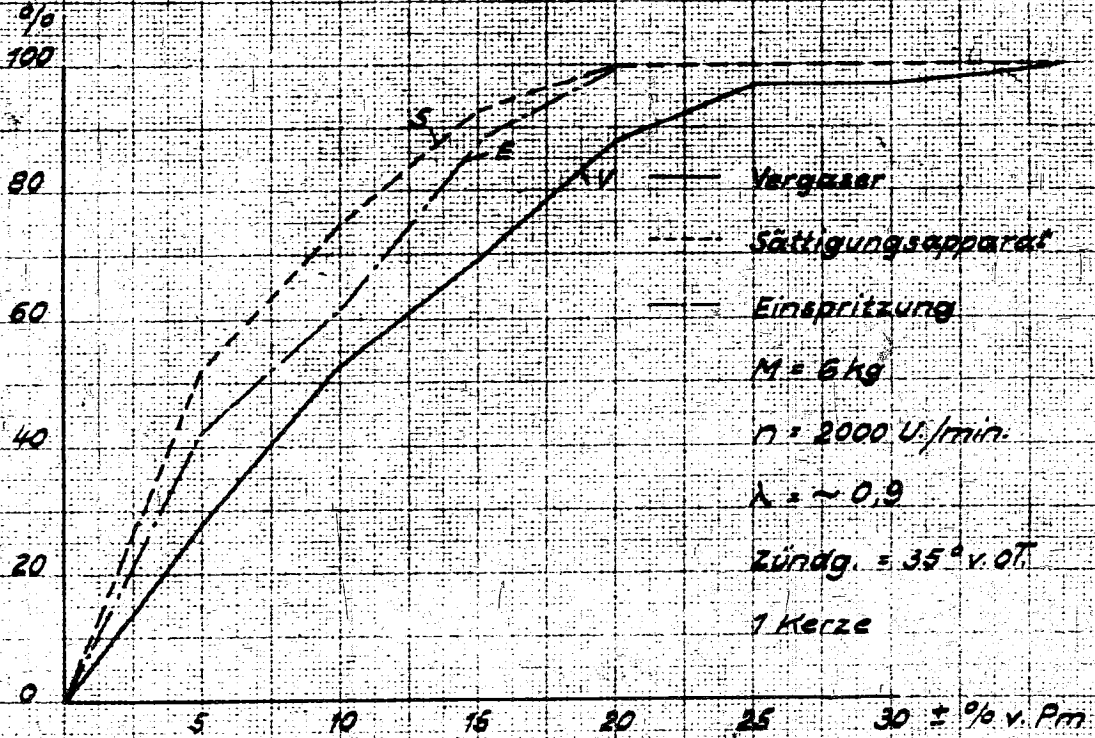
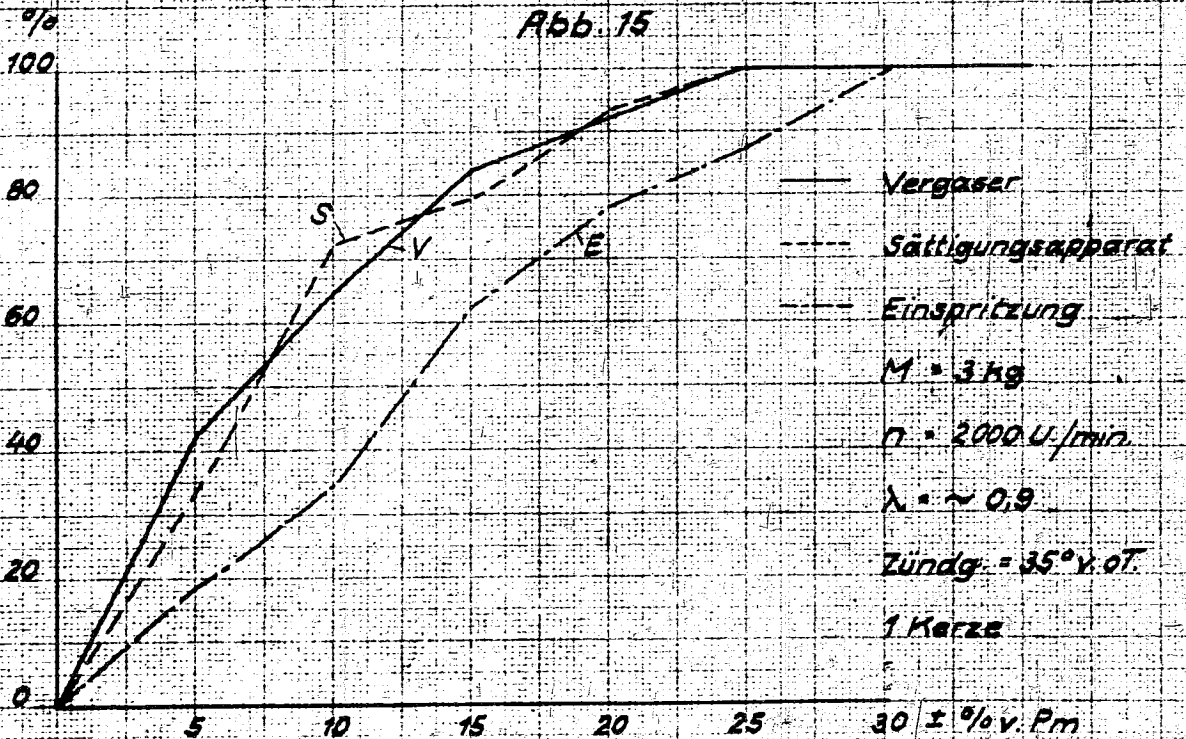


Abb. 14



d. Spiele

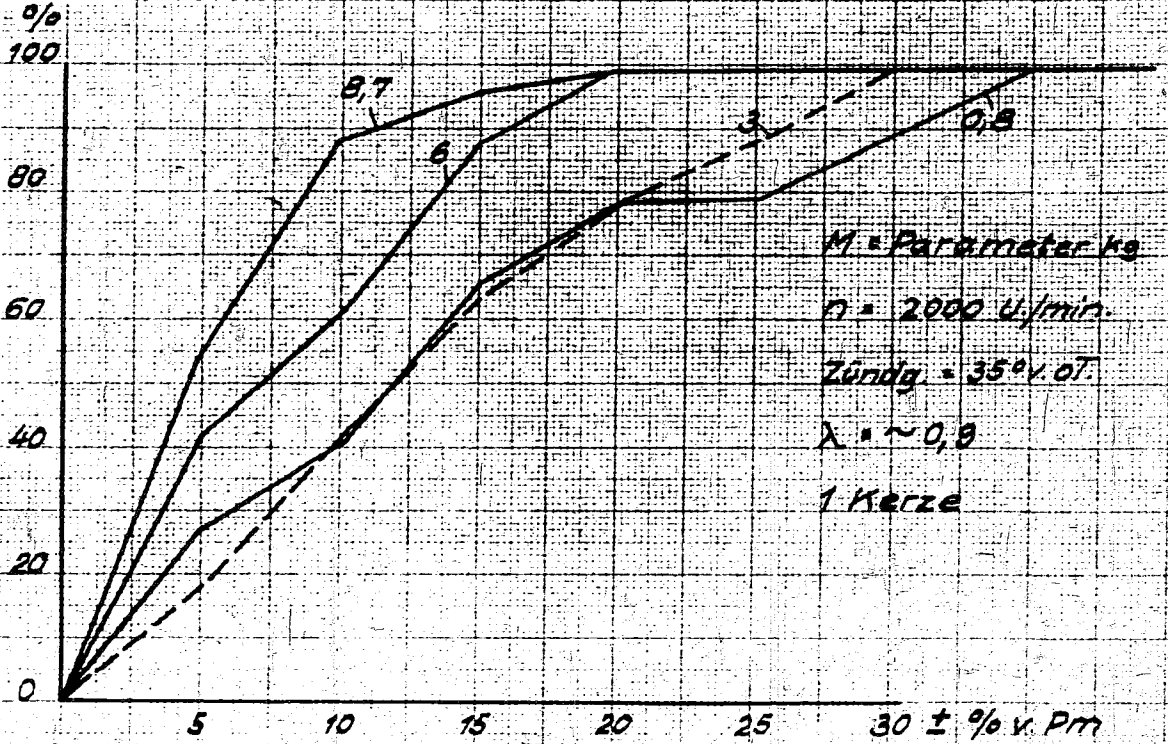
Abb. 15



29101

Einspritzung

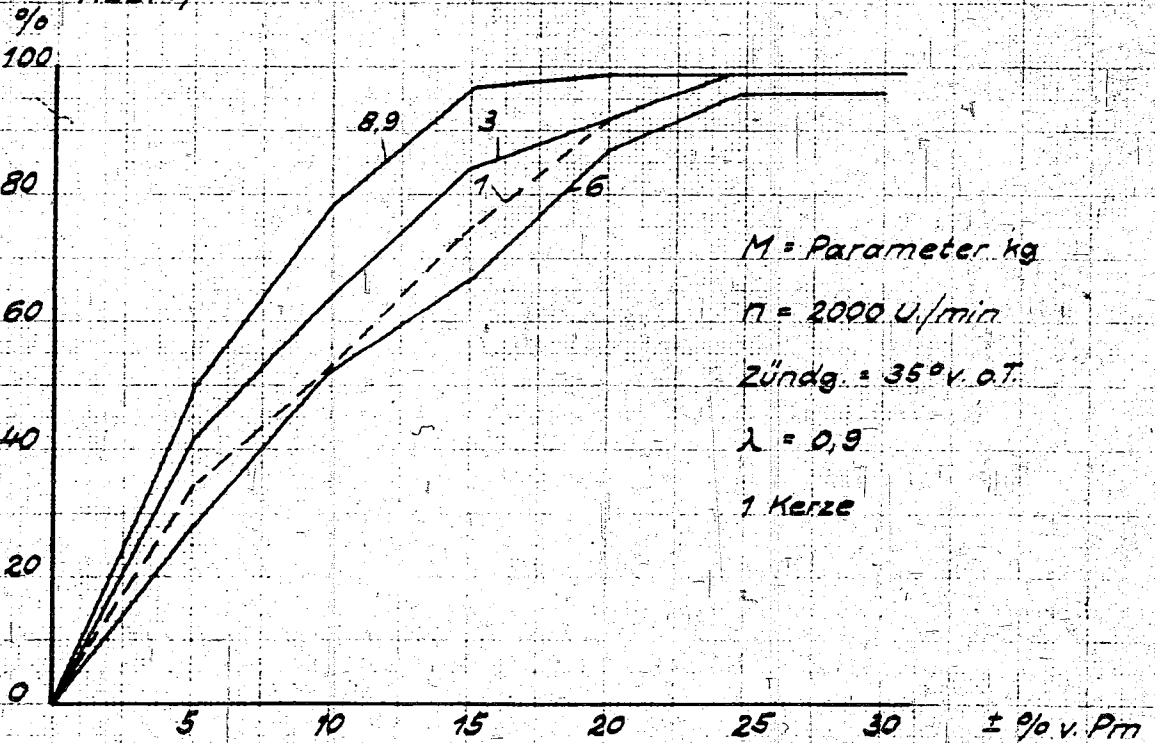
Abb. 16



d. Spiele

Abb. 17

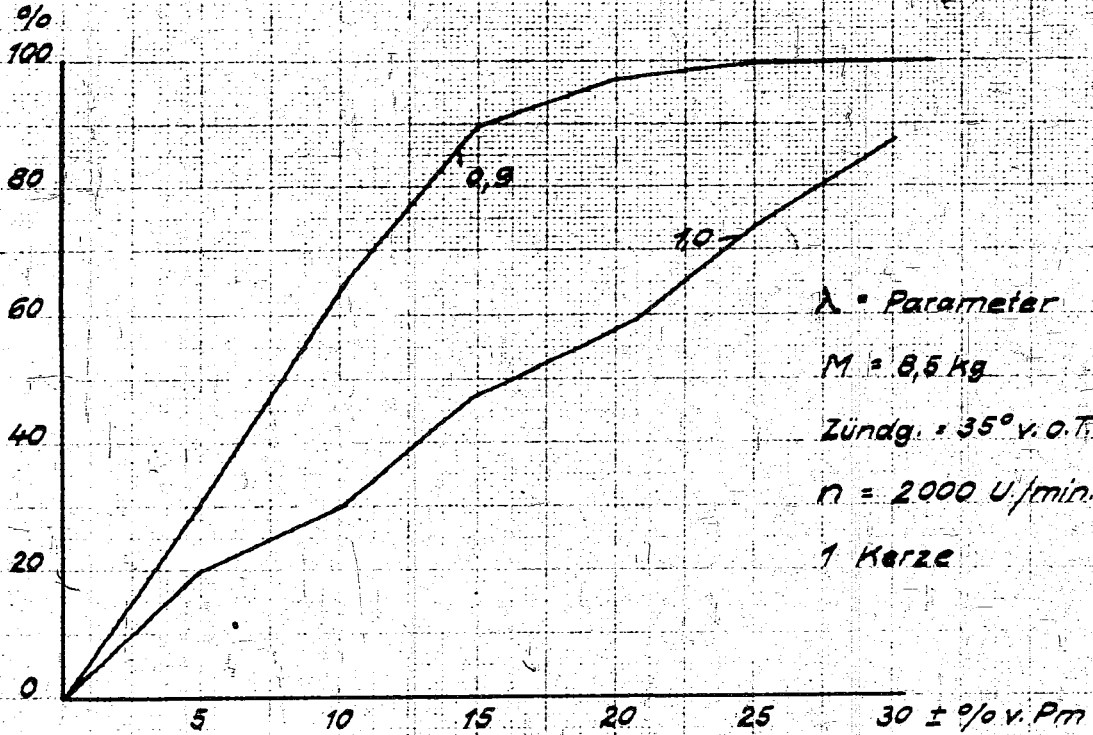
Vergaser



29102

Vergaser

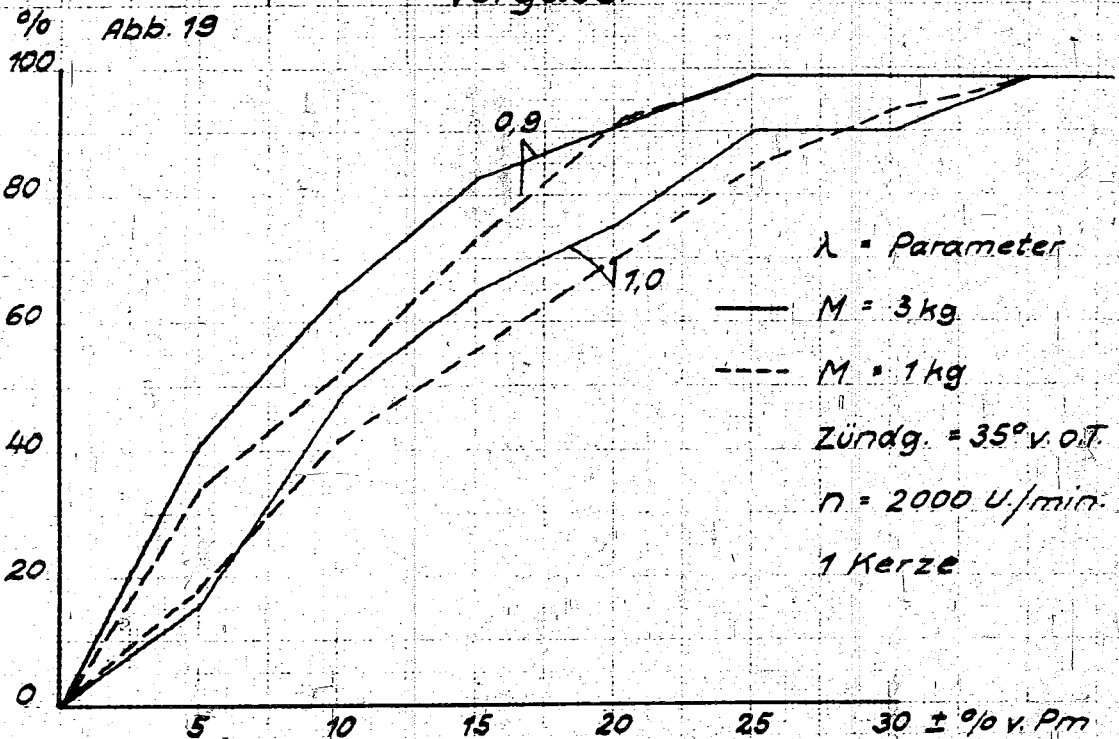
Abb. 18



d. Spiele

Abb. 19

Vergaser

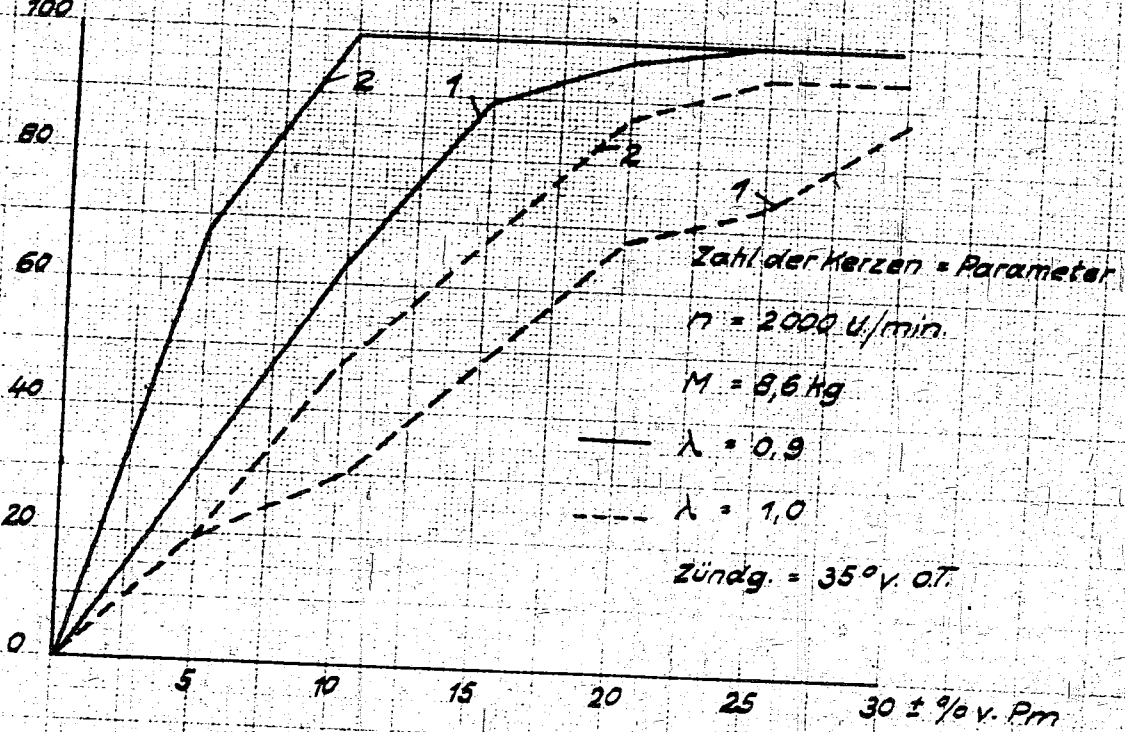


29103

Vergaser.

d. Spirale
%
100

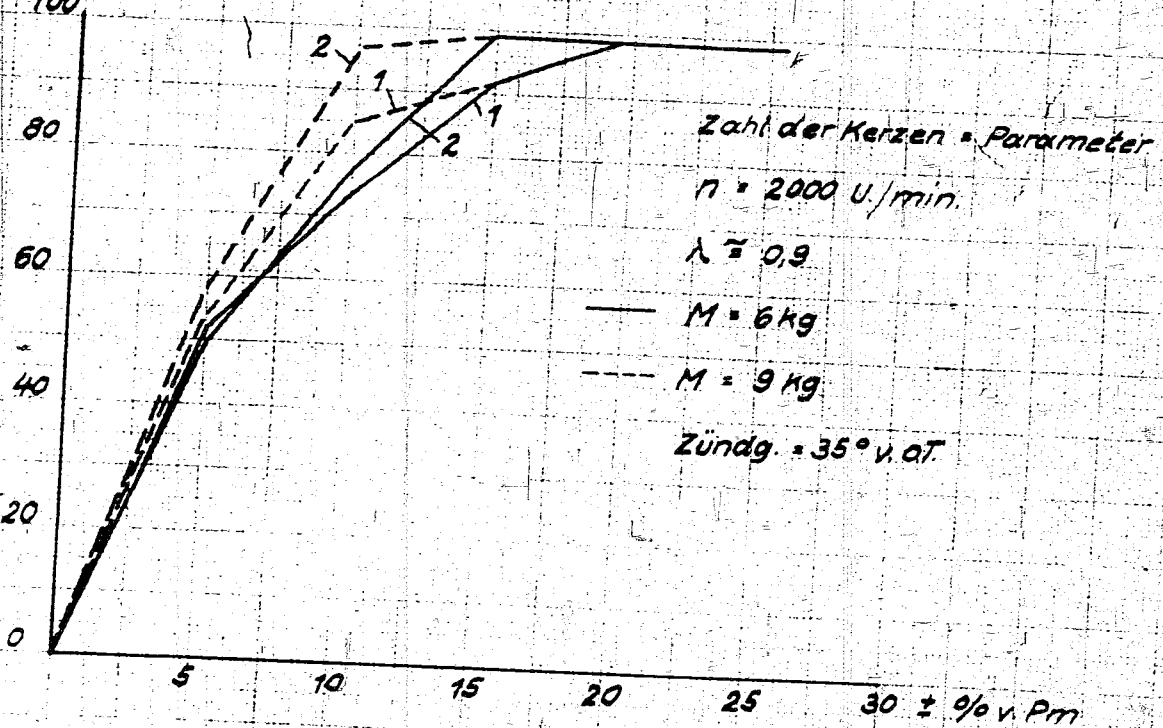
Abb. 20



Sättigungsapparat

d. Spirale
%
100

Abb. 21



29104

d. Spiele Abb. 22

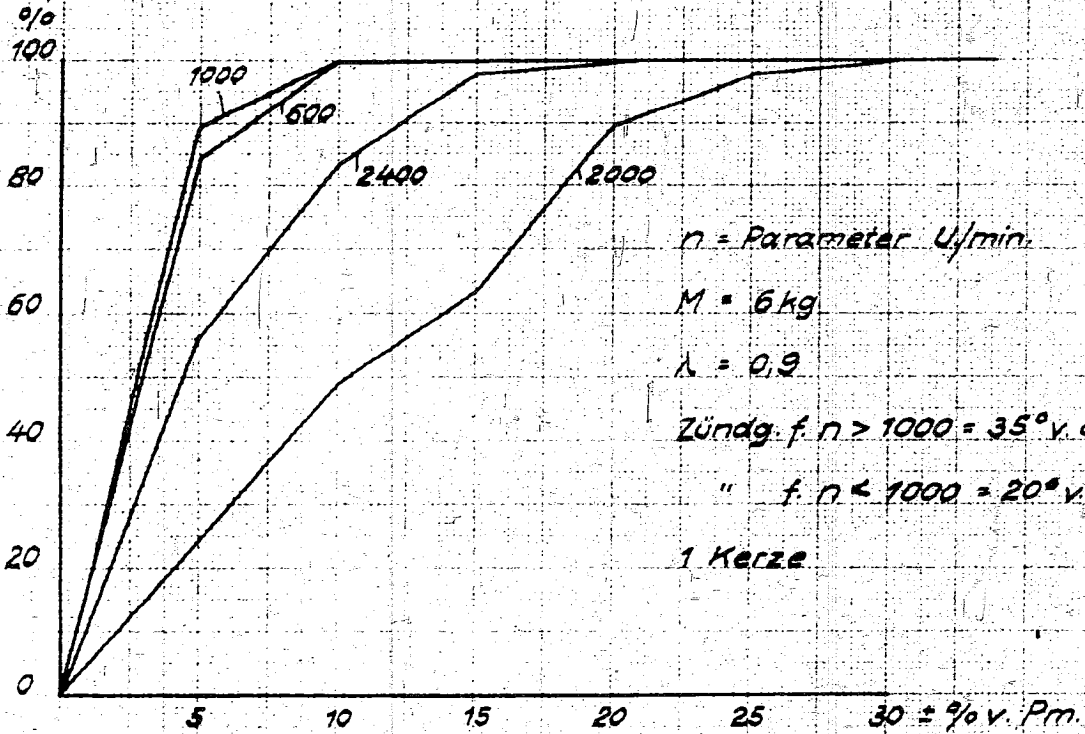
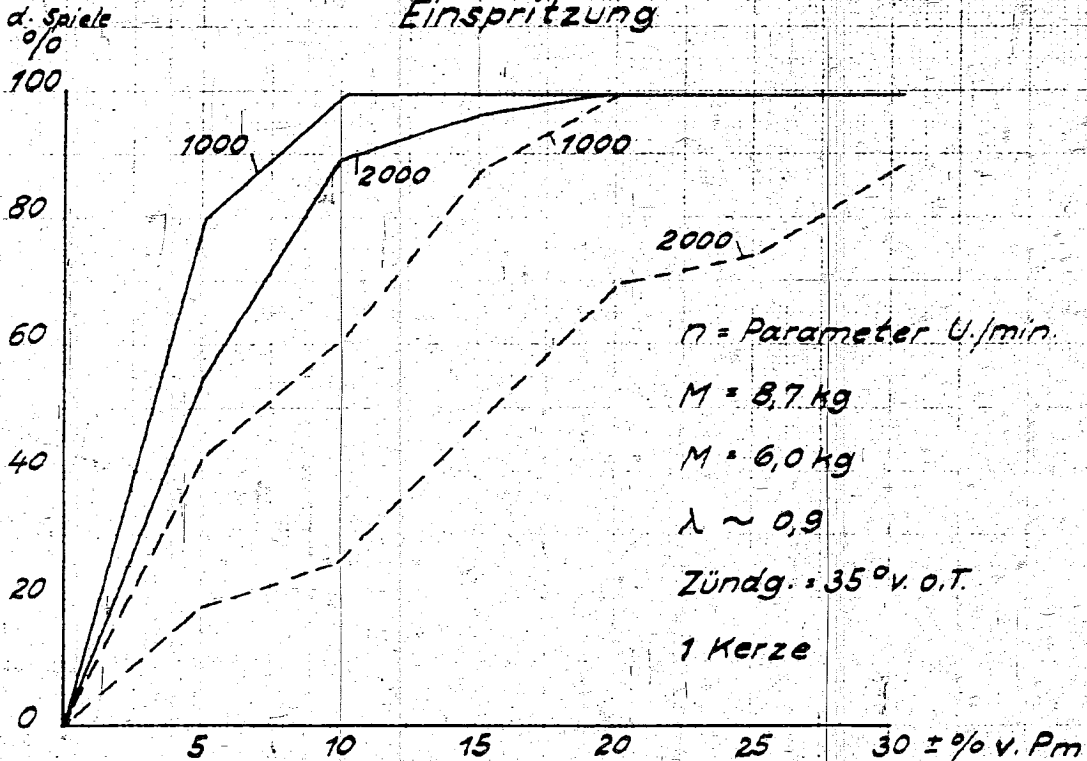


Abb. 23

Einspritzung



29105