

*Technischer Prüfstand*

**Nur für den Dienstgebrauch**

M 1 - 7

FK

# Deutsche Luftfahrtforschung

**Forschungsbericht Nr. 1679**

**Der Einfluß der Betriebsbedingungen  
auf die Kolbentemperatur**

Glaser

Verfaßt bei

**Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.**  
Institut für Betriebsstofforschung  
Berlin-Adlershof

1.536

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen  
der Luftfahrtforschung des Generalluftzeugmeisters (ZWB)  
Berlin-Adlershof

### **Zur Beachtung!**

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstbereich des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstbereichs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstbereichs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß mit Patentschloß zu halten.

Der Einfluß der Betriebsbedingungen auf die Folbentemperatur.

---

Übersicht: Das Verfahren zur Messung der Kolbentemperatur am laufenden Motor ist in der DVL in erster Linie zur besseren Überwachung der maßgebenden Temperaturen bei der Betriebstoffdauerprüfung (Untersuchung der Betriebstoffe auf ihre Neigung zur Rückstandsbildung, Kolbenringstecken) entwickelt worden. Es liegt daher nahe, zu untersuchen, inwieweit die äußeren Betriebsbedingungen die Vorgänge im Inneren des Motors - insbesondere die Kolbentemperatur - beeinflussen. Deshalb wurden an denjenigen Motoren, die bisher in der DVL für Ringsteckversuche herangezogen worden sind, die einzelnen Einflüsse untersucht; ein Vergleich mit den Ergebnissen früherer Versuche bestätigte die Annahme, daß der Vorgang des Ringsteckens in erster Linie von der Temperatur in der Ringnut abhängig ist.

- Gliederung:
- I. Zweck der Untersuchungen
  - II. Kolbentemperaturmeßverfahren
  - III. Betriebsbedingungen und Versuchsdurchführung
    - 1. BMW 132-Ölprüfmotor
    - 2. NSU-Motor
    - 3. PKW-Motor
  - IV. Meßergebnisse
    - 1. Leistung
    - 2. Drehzahl
    - 3. Zündung
    - 4. Kraftstoffverbrauch
    - 5. Kühl- bzw. Zylinderwandtemperaturen
    - 6. Öltemperatur
    - 7. Ölumlaufrnengen und Öldruck
    - 8. Ansauglufttemperatur
    - 9. Seitliches Ringspiel
  - V. Schlußfolgerungen
  - VI. Zusammenfassung
  - VII. Schrifttum

Der Bericht umfaßt:

47 Seiten mit  
47 Abbildungen und  
3 Tabellen

Institut für Betriebstofforschung  
der  
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter:

*W. Glaser*  
W. Glaser

Berlin-Adlershof, den 23. Februar 1943  
BSf 462/4

6538

## I. Zweck der Untersuchungen.

---

Die Anwendung eines geeigneten Meßverfahrens zur Überwachung der Kolbentemperaturen am laufenden Motor ist in einem vor kurzem herausgegebenen Bericht (1) ausführlich behandelt worden. Da es hierbei gelungen ist, zuverlässige Messungen auch während längerer Betriebszeiten vorzunehmen, besteht die Absicht, diese Meßmethode zur stündigen Überwachung des Motorzustandes bei den Betriebstoffdauerprüfläufen - den sogenannten Ringsteckläufen - in der DVL mit heranzuziehen. Dabei liegt es nahe, zunächst einmal zu untersuchen, inwieweit die Kolbentemperatur durch die Änderung der einzelnen Betriebsbedingungen beeinflusst wird. Das Ergebnis derartiger Untersuchungen dürfte ein wertvoller Hinweis dafür sein, auf welche Betriebsbedingungen besonders geachtet werden muß, wenn der Temperaturzustand des Kolbens stets gleichgehalten werden soll.

## II. Das Kolbentemperaturmeßverfahren.

---

Das Verfahren zur Messung der Kolbentemperatur ist in einem gesonderten Bericht (1) ausführlich beschrieben worden. Deshalb soll hier nur noch kurz darauf eingegangen werden:

Die Drähte eines im Kolben eingebauten Thermoelementes werden isoliert zu den am unteren Kolbenrand befindlichen Kontakten geführt, die in der Nähe des unteren Totpunktes auf Gegenkontaktfedern schleifen. Diese Gegenkontakte sind über ein empfindliches Lichtmarkengalvanometer mit einem zweiten Thermelement verbunden, das durch eine elektrische Heizung auf jede beliebige Temperatur gebracht werden kann. Die Temperatur dieses Gegenelementes wird durch ein weiteres Thermelement in der üblichen Weise gemessen, sodaß die Temperatur direkt an einem Kreisprofilinstrument abgelesen werden kann. Besteht zwischen der Temperatur der Meßstelle im Kolben und der des Gegenelementes kein Unterschied, so fließt zwischen beiden Stellen kein Strom. Zur Messung muß daher lediglich die Temperatur des Gegenthermelementes derart geregelt werden, daß das Galvanometer den Strom Null an-

zeigt. Ist dies erreicht, so kann die gemessene Temperatur direkt an dem Kreisprofilinstrument abgelesen werden. Des besseren Verständnisses wegen ist in Abb.1 das Schema der gesamten Anlage dargestellt.

Der Einbau des Thermoelementes im Kolben, die Ausführung der Kontakte und Gegenkontaktfedern, sowie der Aufbau des Gerätes zur Angleichung des Gegenthermoelementes ist in dem oben angeführten Bericht bis ins einzelne beschrieben, sodaß an dieser Stelle hierauf nicht mehr eingegangen werden soll.

### III. Betriebsbedingungen und Versuchsdurchführung.

---

Da das Kolbentemperaturmeßverfahren ja in erster Linie bei Versuchen über die Rückstandsbildung in der Kolbenringnut angewendet werden soll, wurde der Einfluß der Betriebsbedingungen an denjenigen Motoren untersucht, die auch für Ringsteckversuche herangezogen worden sind.

Allgemein muß erwähnt werden, daß bei den nachfolgend geschilderten Versuchen alle Betriebsbedingungen so konstant als möglich gehalten worden sind und nur derjenige Ausgangswert geändert wurde, dessen Einfluß auf die Kolbentemperatur bestimmt werden sollte. Selbstverständlich haben gewisse Änderungen oft zwangsläufig eine Erhöhung oder Senkung eines anderen Ausgangswertes zur Folge. Dies wurde jedoch weitestgehend von Fall zu Fall wieder ausgeglichen, um im Versuchsergebnis nach Möglichkeit nur den einen Einfluß allein erfassen zu können. So wurde z.B. bei den Untersuchungen über die Bedeutung der Zündung die Zylinderwandtemperatur durch entsprechende Kühlung stets gleichgehalten. Mit der Änderung der Drehzahl steigt oder fällt auch die Leistung; deshalb muß die Drossel entsprechend geöffnet oder geschlossen werden, wenn die Leistung stets gleich bleiben soll. Dies hat wiederum eine Änderung des Füllungsgrades und der Ansaugverhältnisse zur Folge. Daher mußten zur Untersuchung des Drehzahleinflusses zwei Abhängigkeiten gefahren werden: einmal bei konstanter Drosselstellung und

daher verschiedener Leistung und das andere Mal bei konstanter Leistung bei veränderlicher Drosselstellung. Ähnliche Doppelabhängigkeiten traten noch in einigen anderen Fällen auf; sie werden später noch näher besprochen werden. Sehr oft mußte der Kraftstoffverbrauch für jeden Meßwert erneut eingestellt werden; dies machte meist auch ein Nachregulieren der Ausgangstemperaturen erforderlich. Diese gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Bedingungen erschwerte ganz besonders die exakte Versuchsdurchführung, so daß die Konstanz der einzelnen Ausgangsbedingungen z.T. nur in bestimmten, allerdings ziemlich engen Grenzen eingehalten werden konnte. Im übrigen ist der Verlauf der einzelnen Untersuchungen aus den entsprechenden Kurvenblättern zu erschen, ein Eingehen auf alle Bedingungen in einzelnen erübrigt sich daher. Für alle Versuche wurden folgende Betriebsstoffe verwendet:

Kraftstoff: VT 702. + 0,12 Vol.-% BZ  
Schmierstoff: Rotring D-Sichöl

### 1. BMW 132-Ölprüfmotor

Am wichtigsten für alle späteren Untersuchungen sind die Versuche am BMW 132-Ölprüfmotor. Es handelt sich hierbei um einen aus Teilen des BMW 132-Flugmotors zusammengebauten Einzylindermotor, der z.Zt. auch für die Prüfung von Flugmotorenschmierölen auf ihre Neigung zum Ringstecken verwendet wird. Die Daten dieses Motors sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Da ja die Untersuchungen in erster Linie zur weiteren Verbesserung der motorischen Schmierstoffprüfung vorgenommen werden sollten, wurden die Ausgangsbedingungen entsprechend den Betriebsbedingungen bei den Ringsteckprüfläufen (2) gewählt. Sie sind ebenfalls in Tabelle 1 zusammengestellt.

Um die Zylinderwandtemperaturen nach Möglichkeit gleichhalten zu können, wurde die Temperatur der Nichteßstelle überwacht und konstant gehalten. Es handelt sich hierbei um die Temperatur eines Zündkerzenringes, der auf der Windschattenseite an der Bohrung für die Einspritzdüse als

Dichtring für ein DVL-Verbrennungsraumthermoelement (3) eingebaut war. Diese Meßstelle wurde gewählt, da entsprechende Vorversuche gezeigt hatten, daß die thermische Beanspruchung des Zylinders von hier aus am besten überwacht werden kann. Die Ausgangstemperatur an dieser Meßstelle wurde im Vergleich zu den Ringsteckläufen wesentlich niedriger gehalten ( $220^{\circ}\text{C}$  statt  $265^{\circ}\text{C}$ ), um nicht durch vorzeitiges Festgehen der Ringe das Versuchsergebnis zu beeinflussen.

Aus Abb.2 bis 10 ist der Verlauf der einzelnen Abhängigkeiten zu ersehen. Inwieweit hierbei die Kolbentemperatur beeinflusst wurde oder noch durch andere Faktoren geändert worden ist, wird später noch von Fall zu Fall besprochen werden. Wie bereits vorstehend mitgeteilt, wurde der Einfluß der Drehzahl in zwei verschiedenen Abhängigkeiten untersucht.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Zündung und der Zylinderwandtemperatur schwankt die Leistung um etwa  $\pm 1$  PS. Da bei stets gleicher Leistung die Kolbentemperatur um  $\pm 1,4^{\circ}\text{C}$  höher oder niedriger wäre (vgl. die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Leistung in Abb.2 und 33), wurde in Abb.5 und 7 noch eine korrigierte Kurve eingezeichnet, bei der die Leistungsänderung berücksichtigt ist. Der Kraftstoffverbrauch (vgl. Abb.6) hat zwar ebenfalls eine geringe Leistungsschwankung zur Folge, jedoch ist sie zu klein, um den Verlauf der Kolbentemperaturkurve merklich zu ändern.

Der Einfluß der Öltemperatur konnte leider nur in einem verhältnismäßig kleinen Gebiet (zwischen  $95$  und  $110^{\circ}\text{C}$ ) bestimmt werden. Eine Untersuchung bei niedrigeren oder höheren Temperaturen hätte zusätzliche Heiz- bzw. Kühlanlagen am Prüfstand erforderlich gemacht, was aus Mangel an Zeit und Material nicht möglich war. Jedoch ist das Verhalten der Kolbentemperatur eindeutig erkennbar, sodaß außerhalb des untersuchten Gebietes eine geradlinige Verlängerung der Kurve angenommen werden kann.

Der Einfluß des Öldruckes und der Ölumlaufrmenge ist im Rahmen anderer Versuche untersucht worden; aus diesem

Grunde liegt hier die Drehzahl ebenso wie die Richttemperatur höher als bei den anderen Versuchen. Aus Abb.9 ist zu ersehen, daß bei dem sehr niedrigen Öldruck von 1,2 atü die Leistung sehr stark abfällt; ein Konstanthalten derselben durch Drosselöffnen hätte nicht zum Erfolg geführt. Deshalb erübrigt es sich, auch hier die Kolbentemperatur entsprechend zu korrigieren.

Die verschiedene Ölumlaufrmenge wurde durch Änderung des Öldruckes erreicht. Abb.10 ist daher versuchstechnisch der Abb.9 gleichzusetzen. Es soll aus ihr lediglich der Einfluß der Ölumlaufrmenge in Zusammenhang mit dem Öldruck hervorgehen.

## 2. NSU-Motor

Für die Versuche im kleinen Viertaktmotor wurde der luftgekühlte 500 ccm-Motorradmotor der Vereinigten Fahrzeugwerke A.-G., Neckarsulm, Type NSU 501/OS verwendet. In Tabelle 2 sind die Motordaten und die Betriebsbedingungen zusammengestellt, bei denen die später besprochenen Messungen vorgenommen wurden.

Obwohl der Motor seine beste Leistung bei einer Drehzahl von etwa 3500 U/min hat, wurden alle Untersuchungen bei 2000 U/min durchgeführt, da diese Drehzahl auch bei den Ringsteckversuchen angewendet wird. (Es hat sich nämlich gezeigt (4), daß bei hoher Drehzahl ein zu schnelles Ausschlagen der Kolbenringnuten eintritt, sodaß das seitliche Kolbenringspiel, das großen Einfluß auf das Ringstecken hat, sich während des Versuches änderte und daher nicht beherrscht werden konnte. Bei geringeren Drehzahlen tritt diese Störung nicht auf).

Da bei diesem Motor der Zylinderkopf abnehmbar ist und daher der Wärmefluß zwischen Zylinder und Kopf sich von Lauf zu Lauf ändert, wurde hier die Richttemperatur auf der Stößelseite (senkrecht zur Windrichtung) zwischen der ersten (obersten) und zweiten Kühlrippe gemessen. Frühere Versuche, bei denen 4 Thermolemente in Windrichtung

und senkrecht hierzu gleichmäßig über den Umfang des Zylinders verteilt waren, haben gezeigt, daß die an der Stößel-seite liegende Meßstelle am meisten von den Betriebsbedingungen beeinflusst wird, also die beste thermische Überwachung des Zylinders ermöglicht. Die Messung an dieser Stelle erfolgte durch drei eng nebeneinander angebrachte Thermoelemente, deren Mittelwert bei den Versuchen konstant gehalten wurde.

Aus Abb.11-21 ist der Verlauf der einzelnen Untersuchungen zu ersehen. Dabei wurde, soweit es möglich war, ebenso wie beim BMW 132-Ölprüfmotor vorgegangen. Bei der Untersuchung des Drehzahleinflusses (Abb.12 u.13) zeigte sich ein zunächst nur schwer erklärbarer Verlauf der Kolbentemperatur. Um jedoch nachzuweisen, daß er mit der verhältnismäßig hohen Vorzündung in Zusammenhang steht, wurden dieselben Untersuchungen bei einer Vorzündung von  $32^\circ$  nochmals wiederholt (vgl. Abb.14 u.15). Die Bedeutung der Vorzündung wird später bei der Besprechung der Versuchsergebnisse (Abschn. IV, 2) noch ausführlich behandelt werden.

Bei den Versuchen mit veränderter Vorzündung (Abb.16) ist bei etwas höherer Zylinderwandtemperatur gefahren worden. Sie ist jedoch ebenso wie bei den anderen Versuchen immer gleichgehalten worden, sodaß dieser Irrtum für das Versuchsergebnis ohne Bedeutung ist. - Die Leistung schwankt bei dieser Untersuchung um  $0,2 \text{ PS}_e$ ; nach Abb.11 werden die Kolbentemperaturen hierdurch nur äußerst wenig geändert. Eine Korrektur der in Abhängigkeit von der Zündung erhaltenen Kolbentemperaturkurve ist daher überflüssig.

Dasselbe kann beim Einfluß der Zylinderwandtemperatur (Abb.18) festgestellt werden: Auch hier ist eine Abänderung der erhaltenen Kurve nicht notwendig. - Um später dieses Meßergebnis mit dem der anderen Motoren vergleichen zu können, ist in Abb.18 noch der Verlauf der Kerzenringtemperatur eingezeichnet. Da bei diesem Prüfstand der Wärmefluß vom Zylinderkopf zum eigentlichen Zylinder sehr ungünstig ist, liegen die Temperaturen an dieser Meßstelle sehr hoch.

Der Einfluß der Öltemperatur wurde durch entsprechendes Aufheizen des in den Motor eintretenden Öles untersucht (Abb.19).

Die Ölumlaufrmenge (vgl. Abb. 20) konnte durch Verstellen des Öldruckreglers geändert werden. Der Öldruck schwankte hierbei nur in sehr geringen Grenzen, sodaß der an sich schon sehr niedrige Wert (0,15 atü) sich bei diesen Untersuchungen kaum änderte.

An diesem Motor wurde auch der Einfluß des seitlichen Ringspieles untersucht: Da hierbei für jede Messung der erste Ring mit anderem Spiel in die Nut eingepaßt werden mußte, wurde diese Untersuchung im Rahmen verschiedener Ringsteckläufe vorgenommen. Und zwar wurde jedesmal die Ringsteckzeit bei gleicher Kolbentemperatur bestimmt. Um dies zu erreichen, mußte bei jedem Spiel eine andere Zylinderwandtemperatur eingestellt werden (vgl. Abb.21). Das Ergebnis dieser Messungen, nämlich die Tatsache, daß der Wärmefluß zwischen Zylinder und Kolben durch das seitliche Ringspiel beträchtlich geändert wird, ist bereits an anderer Stelle bekanntgegeben und erklärt worden (5); es wird in Abschn.IV, 8, noch näher behandelt werden.

Interessant ist hierbei auch die Feststellung, daß die Leistung geradlinig mit dem Ringspiel steigt. Diese Tatsache mag vielleicht mit der Kolbenringreibung und der Wärmeabfuhr durch dieselben zusammenhängen; eine eindeutige Erklärung hierfür kann jedoch vorerst noch nicht gegeben werden. Es ist selbstverständlich, daß der geradlinige Verlauf der Abhängigkeit nur innerhalb der hier dargestellten Grenzen möglich sein kann; es muß bei noch größerem seitlichen Ringspiel ein Flacherwerden der Kurve eintreten oder ein plötzliches starkes Abfallen, denn von einem bestimmten Spiel ab wird der Ölfilm nicht mehr den Raum zwischen Ring und Nut ausfüllen können, also nicht mehr abdichten, sodaß starker Gasdurchtritt und damit Leistungsabfall auftreten muß. Ob hierin vielleicht ein Weg zur motorischen Prüfung der Filmhaftung verschiedener Öle zu sehen ist, sei dahingestellt.

Um den Einfluß des seitlichen Ringspieles auf die Kolbentemperatur bei konstanter Zylinderwandtemperatur und gleicher Leistung zu bestimmen, müssen die Werte für die Kolbentemperatur entsprechend korrigiert werden: Die nachstehende Aufstellung gibt über die einzelnen diesbezüglichen Maßnahmen Aufschluß.

<u>Ringspiel</u>	mm	0,05	0,08	0,10	0,13
<u>Ausgangswerte</u>					
Leistung	PS <sub>e</sub>	8,54	8,86	9,11	9,41
Zylinderwandtemp.	°C	283	268	271	275
Kolbentemp.	"	273	274	273,5	274
<u>Kolbentemp. b. konstanter</u>					
Leistung	°C	273	273,5	272,5	272,5
Zylinderwandtemp.	°C	273	285	282,5	280,5
Leistung u. Zyl. wandtemp.	°C	273	284,5	281,5	279,5

Dieses Ergebnis ist in Abb. 45 graphisch dargestellt und wird, wie oben erwähnt, später ausführlich behandelt.

### 3. DKW-Motor

Da an kleinen Zweitaktmotor sowohl in der DVL (6) als auch von anderer Stelle (7) Ringsteckversuche durchgeführt worden sind, wurden an dem DKW-Motor EW 301 die einzelnen Abhängigkeiten untersucht. Dieser Motor ist ein flüssigkeitsgekühltes Einzylinderaggregat von 300 cm Hubvolumen mit Gemischschmierung und Kurbelgehäuseaufladung (Umkehrspülung), das von der Auto-Union als ortsfester Motor geliefert wird. Die Betriebsdaten sind aus Tabelle 3 zu ersehen. Um bei den Ringsteckversuchen den Motor thermisch möglichst hoch belasten zu können, wurde als Kühlmittel Triäthylenglykol verwendet, das einen Siedepunkt von etwa 240°C hat. Trotzdem wurde hier die Kühltemperatur in den meisten Fällen ziemlich niedrig gehalten, um das bei Zweitakttern sehr leicht in Erscheinung tretende Ringstecken zu vermeiden.

Da die bisherigen Versuche bei konstantgehaltener Kühlmittelaustrittstemperatur gefahren wurden, diente dieser Meßwert auch jetzt wieder als Richtwert. Die Kerzenringtemperatur wurde in allen Fällen ebenfalls gemessen, wurde jedoch nicht zur Gleichhaltung der thermischen Belastung des Motors herangezogen, da nach den bisherigen Untersuchungen noch ein völlig unklarer Zusammenhang zwischen Kühl- und Kerzenringtemperatur bestand. Die nachfolgend behandelten Versuche zeigen jedoch, daß bei diesem Motor bisher nicht die richtige Bezugstemperatur für die Überwachung gewählt worden ist.

Da der Betriebsstoffverbrauch nicht regulierbar war, mußten stärkere Schwankungen desselben in Kauf genommen werden. Wie aus Abb.27 hervorgeht, ist jedoch kein allzu großer Einfluß auf die Kolbentemperatur festzustellen, so daß eine entsprechende Korrektur der Kurven nicht erforderlich war. Schon die in Abb.22 dargestellte Abhängigkeit von der Leistung zeigt, daß bei gleicher Kühlmitteltemperatur die Kerzenringtemperatur mit der Leistung stieg. Hieraus geht hervor, daß der thermische Zustand des Motors keineswegs durch Überwachung der Kühlmitteltemperatur beherrscht werden kann. Trotzdem wurde die Kühlstoffaustrittstemperatur als Ausgangswert beibehalten, da ja gerade die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von den bisher eingehaltenen Bedingungen bei den Ringsteckversuchen bestimmt werden sollte.

Dieselbe Feststellung konnte bei der Untersuchung des Einflusses der Drehzahl gemacht werden (vgl. Abb.23). Da hierbei der Verlauf der Kolbentemperaturkurve zunächst ziemlich unklar und durch die Kerzenringtemperatur überdeckt zu sein schien, wurde dieser Einfluß später erneut untersucht. Um die neueren Erkenntnisse über den thermischen Zustand des Motors besser zu verwerten, wurde nunmehr je ein Thermolement auf der Auspuff- und der Zündseite des Zylinders in Höhe des oberen Umkehrpunktes des ersten Kolbenringes derart angebracht, daß die Meßstelle etwa 1,6 mm hinter der Zylinderwand lag. Aus Abb.24 geht

die Richtigkeit der vorher bestimmten Abhängigkeit klar hervor: Bei gleicher Zylinderwandtemperatur bleibt auch die Kolbentemperatur unverändert, während die zum Gleichhalten der Zylinderwandtemperatur notwendige Kühlmittelaustrittstemperatur tatsächlich zunächst mit wachsender Drehzahl steigt, um dann wieder abzufallen. D.h. bei konstanter Kühltemperatur würde die Kolbentemperatur zunächst fallen und dann bei weiterer Drehzahlerhöhung wieder steigen, was vorher (Abb.23) festgestellt worden war. - Bei konstanter Leistung und veränderter Drosselstellung tritt diese Tendenz trotz gleicher Zylinderwandtemperatur wieder ohnehin etwas zu Tage.

Weiter zeigen diese Versuche, daß der Verlauf der Kerzenringtemperatur mehr den Charakter der Kühltemperatur annimmt als den der Kolbentemperatur. Zur Beherrschung des thermischen Verhaltens des DKW-Motors ist daher die Temperaturmessung an der Zylinderwand unbedingt erforderlich.

Die in Abb.26 dargestellte Abhängigkeit von der Vorzündung zeigt ebenfalls, daß die Kerzenringtemperatur mehr beeinflusst wird als die Kolbentemperatur. Dies ist auch verständlich, wenn man bedenkt, daß der Zylinderkopf durch eine wärmeisolierende Dichtung von dem Zylinder getrennt ist, und daß der Kopf den größeren Teil des Verbrennungsraumes umschließt. - Weiter ist bemerkenswert, daß beim Zweitakter die Leistung bei weitem nicht so sehr von der Zündung beeinflusst wird als beim Viertakter. Da Zweitaktmotoren der hier verwendeten Art bei verschiedenem Verbrauch außerordentlich leistungsempfindlich sind, mußte die Drossel bei der Untersuchung des Einflusses des Betriebsstoffverbrauches beträchtlich verändert werden, wenn stets bei gleicher Leistung gefahren werden sollte (vgl. Abb.27).

Um die Bedeutung der Temperatur der den Verbrennungsraum umgebenden Teile näher zu untersuchen, wurden die verschiedensten Abhängigkeiten gefahren: Abb.28 zeigt den Einfluß der Kühlmittelaustrittstemperatur bei Umlaufkühlung, Abb.29 bei Thermosyphonkühlung. Die letztere Abhängigkeit

wurde der Abb.30 entnommen, in der die Bedeutung der Zylinderwandtemperatur für die Temperatur des Kolbens dargestellt ist. Um auch die Bedeutung der Kerzenringtemperatur näher zu beleuchten, ist in Abb.31 die entsprechende Abhängigkeit bei Umlaufkühlung dargestellt. Schließlich wurden noch Messungen bei verschiedener Ansauglufttemperatur durchgeführt (vgl. Abb.32). Hierbei ist deutlich zu erkennen, daß mit steigender Lufttemperatur der Füllungsgrad und damit auch die Leistung sinkt. Ob damit auch das Abfallen der Kerzenringtemperatur in Zusammenhang steht, sei dahingestellt. Jedenfalls geht auch aus dieser Abbildung hervor, daß die Messung am Kerzenring kein Urteil über die Kolbentemperatur zuläßt.

#### IV. Meßergebnisse.

-----

Während bisher der Verlauf und die Art der Versuche an den einzelnen Motoren behandelt worden ist, soll im folgenden das Verhalten der Kolbentemperatur bei den verschiedenen Betriebsbedingungen im allgemeinen besprochen werden. Es wird versucht werden, die bei den 3 Motoren gefundenen Meßergebnisse miteinander in Einklang zu bringen bzw. da, wo dies nicht erreichbar ist, die Unterschiede zu erklären. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sind die Abhängigkeiten nochmals in gleichem Maßstab in den Abb. 33 bis 45 aufgetragen. Da in bestimmten Fällen die Motoren in ganz verschiedenen Gebieten arbeiten (z.B. Verbrauch beim Zweitakter, Leistung) wurde für die Abszisse ein Maßstab gewählt, der einen Vergleich ermöglichte.

##### 1. Leistung

Abb.33 zeigt, daß sowohl beim BMW 132 wie beim DKW die gleiche Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Leistung besteht. Die leichte Krümmung der Kurve beim BMW 132 ist allerdings noch nicht völlig erklärlich; vielleicht ist dies darauf zurückzuführen, daß die Lage der Richtmeßstelle

bei diesem Motor eine absolut zuverlässige Beherrschung der Zylinderwandtemperatur noch nicht zuleist.

Da der MSU-Motor bei einer Drehzahl arbeitete, die weit unter der seiner Bestleistung entsprechenden lag, ist der Temperaturanstieg nicht so steil, wie bei den beiden anderen Motoren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Kolbentemperatur gradlinig mit der Leistung und zwar um  $\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ . je  $\frac{1}{100}$  der vollen Leistung ansteigt.

## 2. Drehzahl

In Abb. 34 und 35 ist der Einfluß der Drehzahl bei den einzelnen Motoren zusammengestellt. Leider ist keine gleichartige Abhängigkeit für alle Motoren festzustellen. Allerdings ist die Drehzahl auch diejenige Betriebsbedingung, bei deren Änderung der Verbrennungsablauf und damit auch die thermische Beeinflussung der den Verbrennungsraum umgebenden Teile am meisten verschoben wird. Da die Ventilöffnungszeiten, die Ventilüberschneidung und damit auch der Füllungsgrad in direktem Zusammenhang mit der Drehzahl stehen, kann bei jedem Motor nur bei einer bestimmten Umdrehungszahl ein Bestwert der Leistung erreicht werden. Darüber oder darunter liegende Drehzahlen müssen daher eine Erhöhung der inneren Wärmebelastung bringen. Dies trat besonders deutlich beim BMW 132 in Erscheinung. Bei konstanter Drosselstellung steigt entsprechend der Drehmomentenkurve mit der Drehzahl auch die Leistung (vgl. Abb. 3); wie im vorhergehenden Abschnitt festgestellt wurde, wird mit wachsender Leistung auch die Kolbentemperatur erhöht. Dies ist jedoch nur in verhältnismäßig engen Grenzen der Fall; jenseits dieses Gebietes wirken sich die der Drehzahl nicht mehr entsprechenden Steuerzeiten und Überschneidungen aus, was sich durch eine zusätzliche Erhöhung der Temperaturen bemerkbar macht. Wie Abb. 34 zeigt, tritt beim BMW 132 tatsächlich bei etwa 1900 U/min ein Minimum der Kolbentemperatur auf. Bei höherer Drehzahl macht sich die steigende Leistung bemerkbar, wäh-

rend der Temperaturanstieg bei geringer Drehzahl auf die ungünstigeren Steuerzeiten zurückzuführen sein dürfte.

Die Feststellung, daß beim BMW die Kolbentemperatur trotz konstantgehaltener Leistung mit der Drehzahl ebenfalls steigt (vgl. Abb.35) ist nicht ohne weiteres erklärbar, vielleicht wächst hier der Füllungsgrad mit steigender Drehzahl mehr als durch entsprechendes Schließen der Drossel wieder rückgängig gemacht werden kann. Die Tatsache, daß bei etwa 2200 U/min, der Drehzahl, bei der die Bestleistung erreicht wird (vgl. Abb.3), scheinbar ein Höchstwert der Kolbentemperatur auftritt, bekräftigt diese Annahme.

Da die Ringsteckversuche im MSU-Motor bei  $38^{\circ}\text{C}$  Vorzündung gefahren worden sind, wurde zunächst auch die Abhängigkeit der Kolbentemperatur bei diesem Zündzeitpunkt untersucht. Es zeigte sich bei konstanter Drosselstellung das zunächst verblüffende Ergebnis, daß trotz der mit der Drehzahl steigenden Leistung die Kolbentemperatur sinkt. Bedenkt man jedoch, daß dieser Motor für eine günstigste Drehzahl von etwa 3600 U/min gebaut ist, so kann die Vorzündung von  $38^{\circ}\text{v.o.T.}$  bei der niedrigen Drehzahl von etwa 2000 U/min als viel zu hoch angesehen werden; hohe Vorzündung bringt aber, wie Abb.36 zeigt, auch hohe Kolbentemperatur mit sich. Mit steigender Drehzahl wirkt sich die Vorzündung von  $38^{\circ}$  immer weniger ungünstig aus, d.h. es würde dieselbe Wirkung erreicht, wenn bei gleicher Drehzahl die Zündung allmählich zurückgestellt würde. Verringerung der Vorzündung hat jedoch eine Senkung der Kolbentemperatur zur Folge.

Um die Richtigkeit dieser Annahme zu beweisen, wurde die Kolbentemperatur in Abhängigkeit von der Drehzahl noch bei einer Zündung von  $32^{\circ}\text{v.o.T.}$  untersucht. Bei diesem Wert hat der Motor bei 2000 U/min seine beste Leistung (vgl. Abb.16). Da dieser Zündzeitpunkt für den untersuchten Drehzahlbereich als nicht mehr zu hoch galt, mußte hier entsprechend der Leistungssteigerung (bei konst. Drosselstellung) ein Ansteigen der Kolbentemperatur auftreten. Wie Abb.34 zeigt, ist dies tatsächlich der Fall.

Bei konstant gehaltener Leistung (Abb.35) tritt sowohl bei 38° wie auch bei 32° Vorzündung ein der Drosselstellung entsprechendes Abfallen der Kolbentemperatur mit steigender Drehzahl auf. Und zwar ist der Abfall bei 38° steiler als bei 32° Vorzündung, was nach den obigen Ausführungen durchaus erklärlich ist.

Beim Zweitakter mit Schlitzsteuerung werden die Füllung, Spülung, die Einström- und Ausströmzeiten und Ähnliches ebenso durch die Drehzahl beeinflusst wie beim Viertakter. Interessant ist, daß sich die Kolbentemperatur bei Drehzahlen zwischen 2500 und 3000 U/min und bei konstanter Drosselstellung überhaupt nicht ändert (vgl. Abb.34). Bei gleichgehaltener Leistung fällt die Kolbentemperatur zunächst mit wachsender Drehzahl, um von 2800 Umdrehungen ab wieder zu steigen (vgl. Abb.35). Auch diese Abhängigkeit zeigt, daß da, wo der günstigste Füllungs- und Spülwirkungsgrad, also auch die beste Leistung auftritt, die niedrigsten Kolbentemperaturen erreicht werden.

### 3. Zündung

Wie schon in einer früheren Arbeit festgestellt worden ist (8), steigen die Verbrennungsraumtemperaturen nahezu linear mit der Vorzündung an. Es ist deshalb durchaus verständlich, daß diese Abhängigkeit in ähnlicher Art auch bei der Untersuchung der Kolbentemperatur gefunden wurde (vgl. Abb.36). - Die Tatsache, daß die für den NSU-Motor gültige Kurve leicht gekrümmt ist und bei geringer Vorzündung in ihrer Steilheit der Abhängigkeit im DKW-Motor ähnelt, während sie bei hoher Vorzündung mit der Kurve des BMW 132 parallel läuft, läßt darauf schließen, daß die Abhängigkeit bei geringer thermischer Belastung allgemein weniger steil ist als bei hoher Beanspruchung des Motors. (Diese Erscheinung mag auch mit der am Schluß des Abschnittes 5 behandelten höheren thermischen Beanspruchung des Zylinderkopfes beim NSU in Zusammenhang stehen).

#### 4. Kraftstoffverbrauch

Abb. 37 zeigt die Abhängigkeit der Kolbentemperatur vom Kraftstoffverbrauch für die drei untersuchten Motoren. Um auch den Zweitaktmotor mit Gemischschmierung in den Vergleich miteinbeziehen zu können, wurde der Verbrauch prozentual aufgetragen und zwar entsprechen 100% demjenigen Verbrauch, bei dem die beste Leistung erreicht wird. - Das Ergebnis bestätigt die allgemeinen Erwartungen: Die Kolbentemperatur zeigt ein ähnliches Verhalten, wie die früher untersuchte Verbrennungsraumtemperatur (8): Mit sinkendem Verbrauch steigt zunächst die Kolbentemperatur, um dann von einem gewissen Grenzwert ab wieder zu fallen.

#### 5. Kühl- bzw. Zylinderwandtemperatur

Um die Motoren thermisch zu überwachen, wurden im allgemeinen die Kerzenringtemperaturen und bei flüssigkeitsgekühlten Motoren die Kühlmitteltemperaturen gemessen und konstant gehalten. Abb. 38 zeigt jedoch, daß nur beim BMW 132 und beim DKW mit Umlaufkühlung eine geradlinige Abhängigkeit zwischen Kolben- und Kerzenringtemperatur besteht. Dies hängt damit zusammen, daß beim NSU und DKW der Zylinderkopf abnehmbar ist und deshalb ein kontinuierlicher Wärmefluß zwischen Zylinderkopf und Zylinderwand nicht vorhanden ist. Auch die Kolbentemperaturabhängigkeit von der Kühlmittelaustrittstemperatur beim DKW ergibt weder bei Umlauf- noch bei Thermosyphonkühlung einen geradlinigen Verlauf. Abb. 39 zeigt sogar, daß sich die beiden Kühlungsarten sehr verschieden auswirken: Während bei Umlaufkühlung die Kolbentemperatur um etwa  $0,4^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{C}$  Kühlmitteltemperatur ansteigt, ist eine Beeinflussung bei Thermosyphonkühlung im normalen Betriebsbereich kaum festzustellen; hier tritt erst bei sehr hohen Kühlmittelaustrittstemperaturen ein größeres Ansteigen der Kolbentemperatur auf.

Bei Motoren mit abnehmbarem Zylinderkopf ist also eine Überwachung der Kolbentemperatur durch Messung der Temperatur am Zündkerzenring oder der Kühlmitteltemperatur nicht möglich. Aus diesem Grunde wurde bei diesen Motoren (NSU u.

DKW) die Zylinderwandtemperatur in der Nähe des oberen Totpunktes des ersten Kolbenringes beobachtet. Abb.40 zeigt, daß von dieser Meßstelle aus eine sehr gute Beherrschung der Kolbentemperatur möglich ist.

Der beim NSU auftretende etwas steilere Anstieg der Kurve bei hohen Zylindertemperaturen ist auf den Aufbau des Motors zurückzuführen: Da der Zylinderkopf wesentlich heißer wird als der eigentliche Zylinder (vgl. Abb.38) wirkt sich die höhere Temperatur dieses Teiles des Verbrennungsraumes auch auf den Kolbenboden aus, sodaß seine Temperatur mehr ansteigen muß als der Zylinderwandtemperatur entspricht.

#### 6. Öltemperatur

Abb.41 zeigt den Einfluß der Öltemperatur. Beim BMW 132 steigt die Kolbentemperatur um etwa  $0,3^{\circ}$  je  $^{\circ}$  Öltemperatur. Beim NSU-Motor ist die Ölumlaufigeschwindigkeit zu gering ( $\sim 20$  Ltr/h), sodaß von einer Kolbenkühlung durch das Öl nicht gesprochen werden kann. Die leichte Krümmung der Kurve ist auf die Veränderung der Leistung zurückzuführen (vgl. Abb.19).

#### 7. Ölumlaufmengen und Öldruck

Wie aus Abb. 42 hervorgeht, kann beim BMW 132 die Ölumlaufmenge auf die Hälfte des üblichen Wertes herabgesetzt werden, ohne daß die Kolbentemperatur dadurch beeinflusst wird. Erst von etwa 40% der normalen Menge ab steigt die Kolbentemperatur. Dies ist darauf zurückzuführen, daß als Folge der Wirkung des Ölabstreifringes nur eine bestimmte Menge Öl zwischen Kolben und Zylinder gelangt, sodaß eine Erhöhung der Umlaufmenge sich hier nicht mehr auswirken kann. (Selbstverständlich ist eine weitere Kühlung des Kolbens möglich, wenn dafür gesorgt wird, daß das Öl in erhöhtem Maße in das Kolbeninnere geschleudert wird.) Sinkt jedoch die Umlaufmenge unter einen gewissen Wert (40%), so gelangt nicht mehr die normale Menge zwischen Kolben und Zylinder, sodaß die Wärmeabfuhr und bei noch geringerer Beaufschlagung auch die

Schmierung beeinträchtigt wird. Eine Folge hiervon ist der Anstieg der Kolbentemperatur.

Beim NSU-Motor wurde ein nicht so weites Gebiet untersucht; es ist jedoch anzunehmen, daß hier das Gleiche auftritt.

Da die Ölumlaufrmenge vom Öldruck und umgekehrt abhängig ist, hat die Änderung des Öldruckes dieselben Folgen.<sup>\*)</sup> Der normale Öldruck ist beim NSU-Motor bereits sehr niedrig (0,15 atü), seine Änderung bei den verschiedenen Ölumlaufrmengen war daher zu gering und nicht genau meßbar.

### 8. Ansauglufttemperatur

Die am DKW-Motor durchgeführten Untersuchungen über den Einfluß der Ansaugluft zeigen, daß ein geradliniger Anstieg der Kolbentemperatur um  $0,07^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{C}$  Ansaugluft besteht (vgl. Abb. 44).

### 9. Seitliches Ringspiel.

Ein außerordentlich interessantes Ergebnis brachte die Untersuchung des seitlichen Ringspieles. Abb. 45 zeigt, daß der Wärmeübergang hierdurch wesentlich beeinflußt wird: Bei sehr geringem Spiel liegt nahezu metallische Berührung zwischen dem Ring und der Kolbennut vor; der Wärmeübergang muß daher sehr gut sein. Wird das seitl. Ringspiel größer, so dient das zwischen Ring und Nut befindliche Öl als Isolator, sodaß zunächst mit größer werdendem Spiel die Wärme immer schlechter abgeführt wird; daher steigt bei gleichgehaltener Zylinderwandtemperatur die Temperatur des Kolbens. Bei noch größerem Spiel wird der freie Raum so groß, daß das Öl nicht mehr an den Oberflächen haftet, sondern zwischen Ring und Nut hindurchzufließen beginnt. Hierbei kann das vorbeiströmende Öl einen Teil der Kolbenwärme abführen, sodaß nunmehr die Kolbentemperatur mit steigendem seitlichen Ringspiel wieder sinkt.

<sup>\*)</sup> (s. Abb. 43)

## V. Schlußfolgerungen.

---

Die hier geschilderten Untersuchungen zeigen, daß trotz äußerlich gleicher Betriebsbedingungen die Kolbentemperatur sehr verschieden sein kann; insbesondere muß festgestellt werden, daß sie nur dann durch Überwachung der Zylindertemperatur während ein und desselben Laufes beherrscht werden kann, wenn die Messung an einer Stelle erfolgt, von der aus ein kontinuierlicher Wärmefluß zur Zylinderwand angenommen werden kann. Trotzdem können sich die Verhältnisse im Inneren des Motors im Laufe der Zeit, insbesondere nach Unterbrechungen wesentlich ändern, sodaß mit der Messung bestimmter Zylindertemperaturen allein ein Urteil über die dabei auftretende Kolbentemperatur nicht möglich ist. Hier ist auch der Grund zu suchen, weshalb die Kolbentemperatur in ihrer Gesamtheit trotz gleicher äußerer Bedingungen bei einigen Versuchen höher liegt als bei den anderen (vgl. z.B. die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Leistung und in Abhängigkeit vom Verbrauch beim BM 132). Welche Faktoren hierbei eine Rolle spielen, ist an anderer Stelle bereits ausführlicher behandelt worden (5), sodaß es sich erübrigt, hier nochmals darauf einzugehen.

Als Ergebnis früherer Untersuchungen über den Einfluß der Betriebsbedingungen auf den Vorgang des Kolbenringsteckens (9) wurde die Vermutung ausgesprochen, daß die Laufzeit bis zum Ringstecken bei Verwendung gleicher Betriebsstoffe lediglich eine Funktion der Temperatur in der Kolbenringpartie sei. Der Einfachheit halber sind die damaligen Versuchsergebnisse in Abb.46 nochmals zusammengestellt. Die im jetzigen Bericht geschilderten Versuche über die Kolbentemperatur bestätigen diese Annahme: Alle Einflüsse, die bei den damaligen Versuchen eine Verkürzung der Ringsteckzeiten zur Folge hatten, zeigen hier eine entsprechende Erhöhung der Kolbentemperatur. Die Bedeutung des seitlichen Ringspieles für das Ringstecken hängt von zwei Faktoren ab: 1. von dem Raum, der von den Rückständen ausgefüllt werden muß und 2. von der Beeinflussung des Wärmeüberganges vom Kolben zum

Ring. Wie erst vor kurzem festgestellt wurde (5), ist bei gleicher Kolbentemperatur die Laufzeit bis zum Ringstecken nahezu linear vom seitl. Ringspiel abhängig (vgl. Abb.47). Wird bei Ringsteckversuchen die Kolbentemperatur nicht überwacht, sondern nur eine bestimmte Zylinderwandtemperatur gleichgehalten, so wird die Steilheit der Kurve "Ringsteckzeit in Abhängigkeit vom seitlichen Ringspiel" allein von der Art des Wärmeüberganges zwischen Kolben und Ring beeinflusst, je nachdem mit wachsendem Spiel die Kolbentemperatur entsprechend Abb.45 steigen oder fallen würde. Ähnliches gilt für den Öldruck: Bei den damaligen Versuchen hatte der Öldruck einen sehr großen Einfluß auf die Ringsteckzeit, während die neueren Untersuchungen einen anders gearteten Einfluß auf die Kolbentemperatur zeigen. Die Erklärung für diesen Unterschied ist in der völlig anders gearteten Kolbenbauart zu suchen: Bei den damaligen Gleitschuhkolben (BMW VI) lag der Ölblestreifring oberhalb der Kolbengleitfläche, beim BMW 132 liegt ein Ring oben und einer am unteren Rand des Kolbens. Außerdem war die Gleitfläche des BMW VI-Kolbens nur etwa halb so groß als die des jetzt verwendeten Motors. Da also damals wesentlich weniger Wärme vom Kolbenhemd zur Zylinderwand übergang, mußte die Kühlung des Kolbens in verstärktem Maße durch das Öl erfolgen, sodaß sich auch der Einfluß des Öldruckes stärker auswirkte.

Die aus einigen Kurven der Abb.46 ersichtliche Erhöhung der Ringsteckzeiten bei weiterer Steigerung der Beanspruchung ist nicht auf eine entsprechende Umkehr des Kolbentemperatur, sondern auf das Verhalten des Schmierstoffes hinsichtlich seiner Neigung zur Rückstandsbildung zurückzuführen.

Leider ist es aus Gründen, die in einem anderen Bericht (1) ausführlich behandelt worden sind, noch nicht gelungen, die Temperatur in der Kolbenringnut selbst zu messen. Dieses Ziel müßte jedoch in Zukunft angestrebt werden, wenn eine einwandfreie Prüfung und Bewertung von Schmierstoffen im Motor - unabhängig von seiner Bauart - erreicht werden soll. Die hier behandelten Kolbentemperaturabhängigkeiten

dürften jedoch einen wesentlichen Fortschritt bei der Lösung dieser Aufgabe bedeuten.

#### VI. Zusammenfassung.

-----

Mit Hilfe des in der DVL zur Anwendung gekommenen Meßverfahrens wurde bei drei verschiedenen Motoren dem BMW 132-Einzylinder, einem 500ccm NSU-Motor und einem Zweitakter von 300ccm die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von den einzelnen Betriebsbedingungen untersucht. Die Aufstellung auf Seite 22 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Versuchsergebnisse. Es wird festgestellt, daß sich die einzelnen Einflüsse z.T. überdecken, und daß die Temperatur des Kolbens nur in bestimmten Fällen durch sorgfältigste Überwachung äußerer Bedingungen beherrscht werden kann. Zum Schluß werden die Ergebnisse mit früheren Feststellungen über die Abhängigkeit der Ringsteckzeiten von den einzelnen Betriebsbedingungen in Verbindung gebracht und damit die Annahme bekräftigt, daß bei Verwendung gleicher Betriebsstoffe die Laufzeit bis zum Ringstecken allein von der Temperatur in der Kolbenringpartie abhängig ist.

#### VII. Schrifttum.

-----

- 1) W.Glaser, Messung der Kolbentemperatur am laufenden Motor; DVL-Bericht UM 695, 20.10.42
- 2) H.Schökel, Die Schmierstoffprüfung im BMW 132 F-Einzylinder-Motor; DVL-Bericht UM 574, 18.4.39
- 3) Vgl. Werbeschrift "DVL-Thermoelement"
- 4) Fr.Schaub, Bericht der Ruhrbenzin A.-G. Nr.P 108, 10.1.41
- 5) W.Glaser, Die Überwachung der Kolbentemperatur bei der Betriebstoffdauerprüfung; Jahrbuch 1942 der deutschen Luftfahrtforschung, S. 162/168
- 6) W.Glaser, Das DVL-Durchbläsverfahren zur Prüfung des Dauerhaltens von Betriebsstoffen, DVL-Bericht FB 1244, 17.7.40
- 7) H.Wenzel, Prüfung von Flugmotorenölen im DKW-Motor, TB.Nr.10, 20.3.41
- 8) W.Glaser, Motorische u.atmosphärische Einflüsse auf die Temperaturmessung am Einzylinderversuchsmotor, Jahrb. d.Luftfahrtforschung 1937, S.II 247/251 (vgl. auch DVL-Bericht FB 736, 30.12.36)
- 9) W.Glaser, Der Einfluß d.Betriebsbedingungen auf das Kolbenringstecken bei der Betriebstoffdauerprüfung, Luftfahrtforschung Bd.16(Lfg.8) S.438/446

Übersicht über die Kolbentemperaturbeeinflussung bei den einzelnen Betriebsbedingungen.

- Leistung:** Geradlinige Abhängigkeit; Anstieg um  $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$  je  $\frac{1}{100}$  der Volleistung.
- Drehzahl:** Bei den einzelnen Motoren verschieden; je nachdem durch Änderung der Drehzahl der günstigste Wert hinsichtlich Steuerzeiten, Vorzündung; und als Folge davon der Leistung und Füllung angestrebt wird, nähert sich die Kolbentemperatur einem Minimum.
- Zündung :** Geradliniges Ansteigen mit der Vorzündung; bei geringer thermischer Belastung (DKW) etwa  $0,8^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{Vorzündung}$ , bei hoher Belastung (BMW) etwa  $1,75^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{Vorzündung}$ . NSU liegt je nach thermischer Beanspruchung dazwischen.
- Kraftstoffverbrauch:** Kurvenverlauf entsprechend Abhängigkeit der Verbrennungsraumtemperatur vom Verbrauch: Mit sinkendem Verbrauch steigt die Kolbentemperatur, um jenseits eines bestimmten Höchstwertes wieder abzufallen.
- Kühlmitteltemperatur:** ermöglicht nur unsichere Rückschlüsse auf die Kolbentemperatur. Hohe Kühlmitteltemperaturänderungen beeinflussen die Kolbentemperatur nur um wenige  $^{\circ}\text{C}$ .
- Kerzenringtemperatur:** Nur geradlinige Abhängigkeit, wenn Wärme fluß zwischen Zylinderkopf und Zylinder nicht gestört ist; etwa  $0,9^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{C}$  Kerzenringtemperatur.
- Zylinderwandtemperatur:** Geradlinige Abhängigkeit, günstigste Meßstelle zur Überwachung der Kolbentemperatur; etwa  $0,5^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{C}$  Zylinderwandtemperatur.
- Öltemperatur:** Bei hoher Umlaufmenge steigt Kolbentemperatur geradlinig um etwa  $0,3^{\circ}\text{C}$  je  $^{\circ}\text{C}$  Öltemperatur an.
- Ölumlaufmenge:** Mit steigender Umlaufmenge fallende Kolbentemperatur. Von einem Mindestwert ab kein Einfluß mehr.
- Öldruck:** Entsprechend Ölumlaufmenge.
- Seitl. Ringspiel :** Bei sehr geringen Werten steigt Kolbentemperatur mit dem Spiel, erreicht bei Vergrößerung des Spieles einen Höchstwert, um jenseits dieser Grenze wieder abzufallen.

Tabelle 1

Motor- und Betriebsbedingungen für die Untersuchungen am BMW 132 N-Ölprüfmotor.

Zylinder	BMW 132 Baureihe N
Kolben	" " " "
Bohrung	155,5 mm
Hub	162 "
Hubvolumen	3076 ccm
Verdichtung	1:6,5
Leistung	59 ± 1 PS <sub>e</sub>
Drehzahl	2050 ± 10 U/min
Kraftstoffverbrauch	210 ± 2 g/PS <sub>e</sub> h
Zündzeitpunkt	40° ± 0,5° v.o.T.
Öldruck	5,4 ± 0,1 atü
Öltemperatur Eintr.	114 ± 3°C
Austr.	116 ± 3°C
Kerzenringtemp. (Richttemp.)	220 ± 2°C

Tabelle 2

Motor- und Betriebsbedingungen für die Untersuchungen am NSU-Motor.

Motor	NSU 501/OS
Bohrung	80 mm
Hub	99 "
Hubvolumen	494 ccm
Verdichtung	1:6
Leistung	8,6 ± 0,2 PS <sub>e</sub>
Drehzahl	2000 ± 20 U/min
Kraftstoffverbrauch	225 ± 5 g/PS <sub>e</sub> h
Zündzeitpunkt	38° ± 0,5° v.o.T.
Öldruck	0,12 ± 0,01 atü
Öltemperatur Eintr.	90 ± 1°C (Vorheizung)
Austr.	77 <sub>1</sub> ± 2°C
Zylinderwandtemp. (Richttemp.)	252 ± 1 u. 264 ± 1°C <sup>2)</sup>

1) Lage der Meßstelle siehe S.6

2) vgl. Abb.16

Tabelle 3

Motor- und Betriebsbedingungen für die Untersuchungen am DKW-Motor.

Motor	DKW EW 301
Bohrung	74 mm
Hub	68 mm
Hubvolumen	292,5 ccm
Verdichtung	1:5,65
Leistung	4,5 ± 0,1 PS <sub>e</sub>
Drehzahl	3000 ± 30 U/min
Kraftstoff-Öl-Verhältnis	20 : 1
Betriebstoffverbrauch	380 ± 20 g/PS <sub>e</sub> h
Zündzeitpunkt	30° v.o.T.
Kühlmittelaustrittstemp. (Richttemp.)	90 (100)°C
Zylinderwandtemp. (Richttemp.)	1) 213°C
Kühlmittel	Triäthylenglykol

1) Diese Richttemp. wurde bei der Untersuchung der Drehzahl verwendet.

Kolben Lichtmarken-  
Galvanometer  
Gegenstrom-  
gerät  
Kreisprofilgerät zur  
Temperaturanzeige

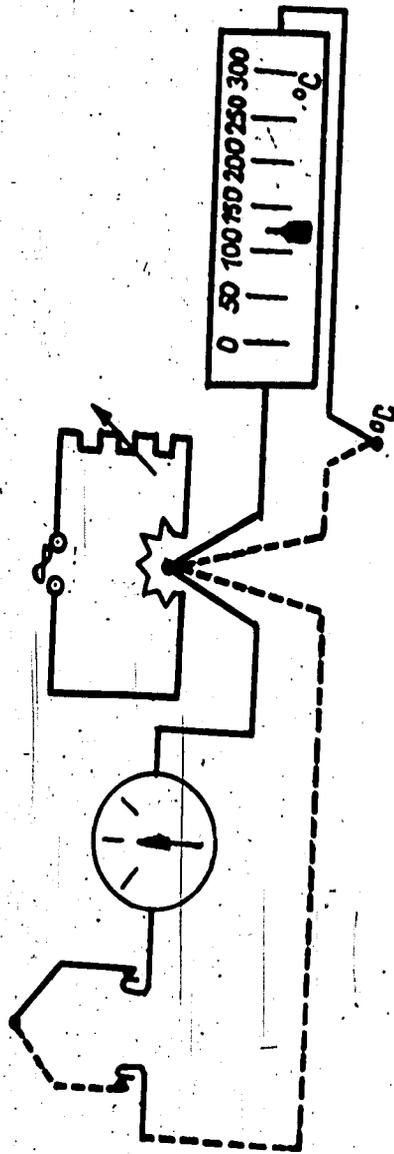


Abb.1: Schematische Darstellung der Kolbentemperaturmeßanlage.

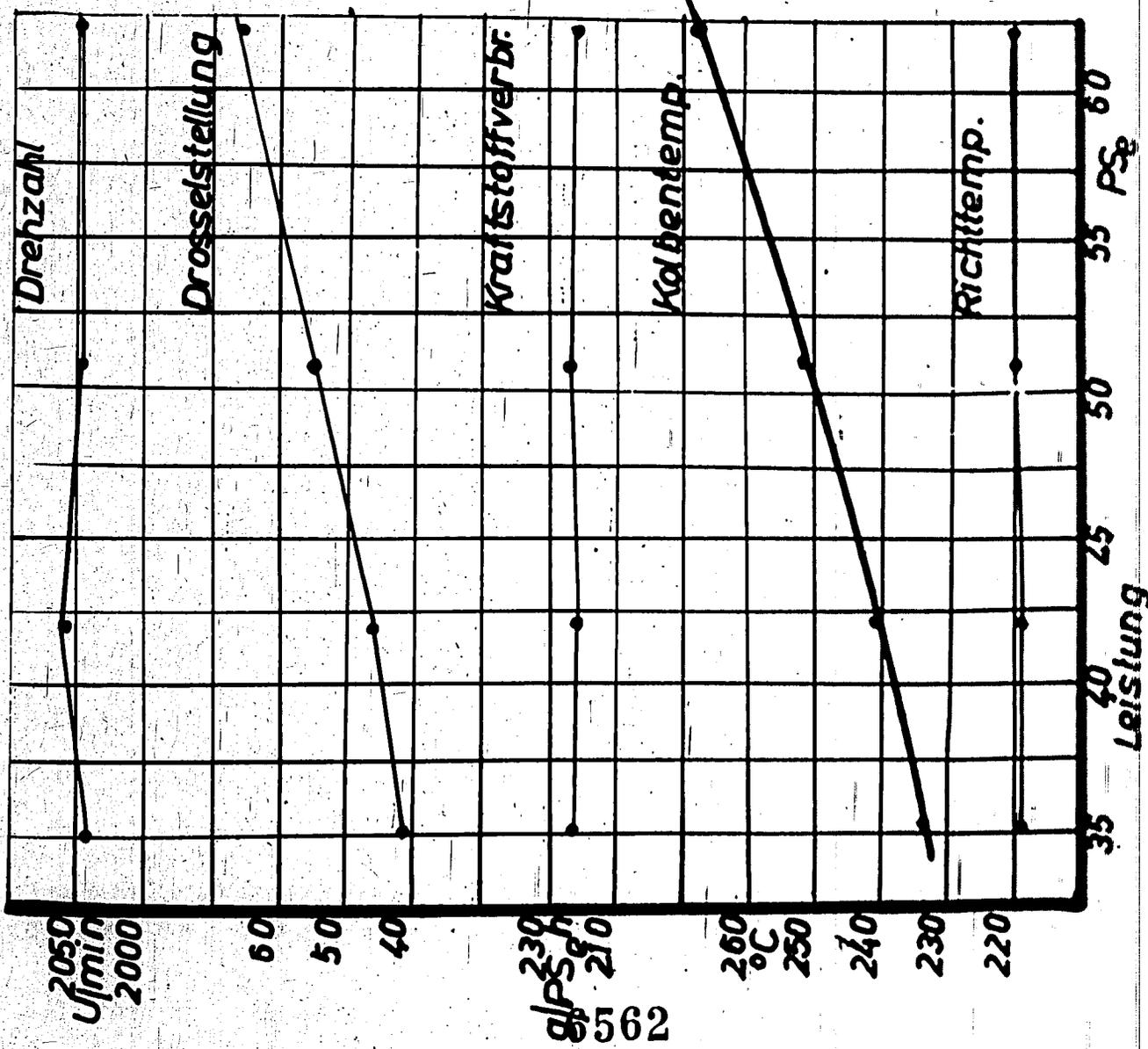


Abb. 2: BMW 132: Einfluss der Leistung.

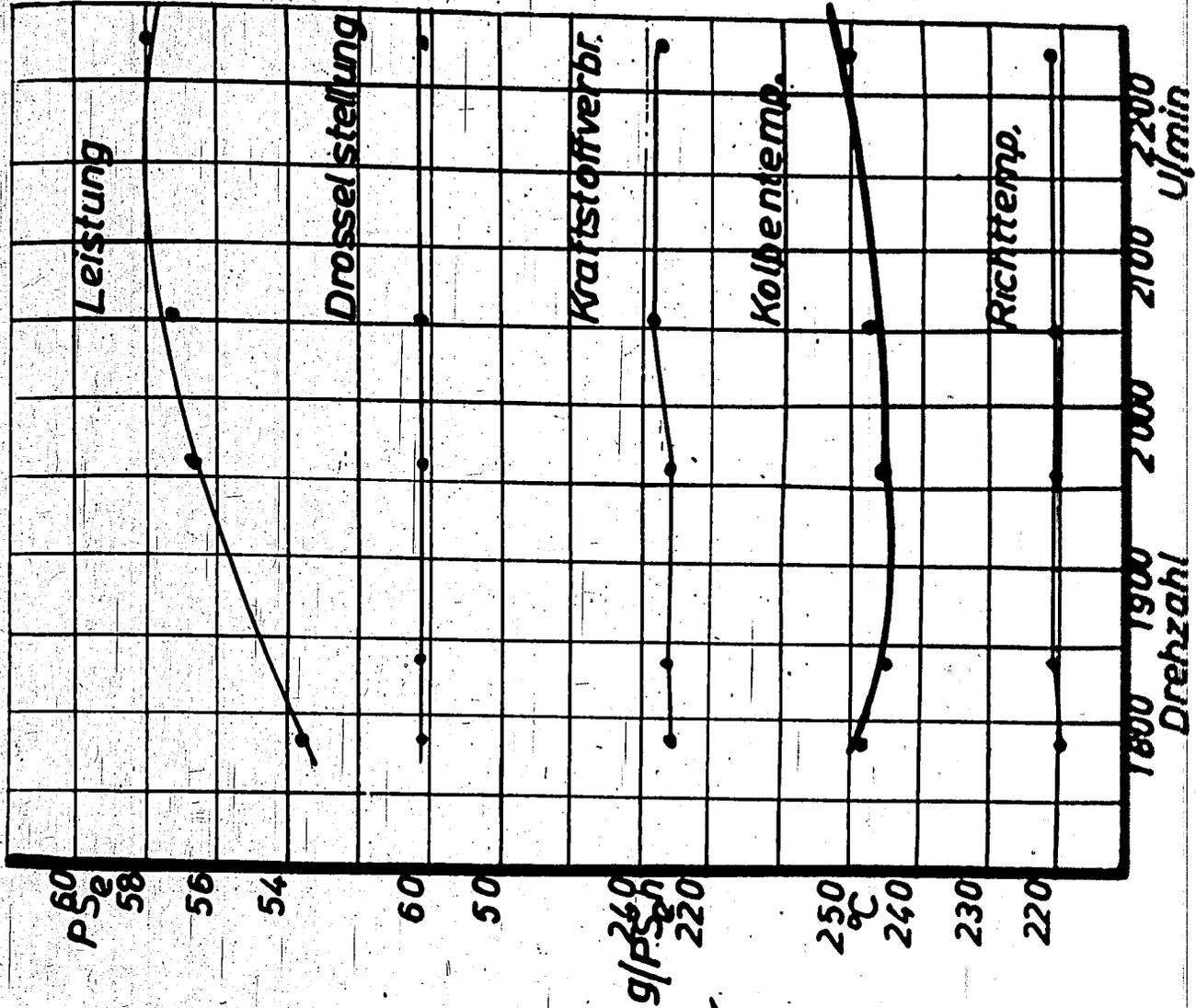


Abb. 3: BMW 132: Einfluss der Drehzahl bei konstanter Drosselstellung.

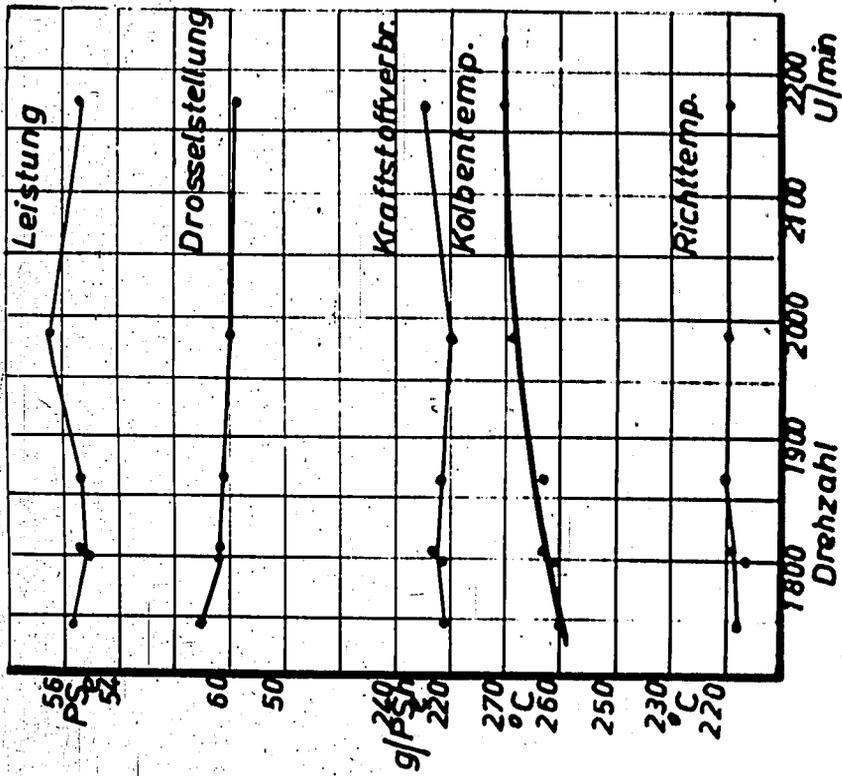


Abb. 13: Einfluss der Drehzahl bei konstanter Leistung.

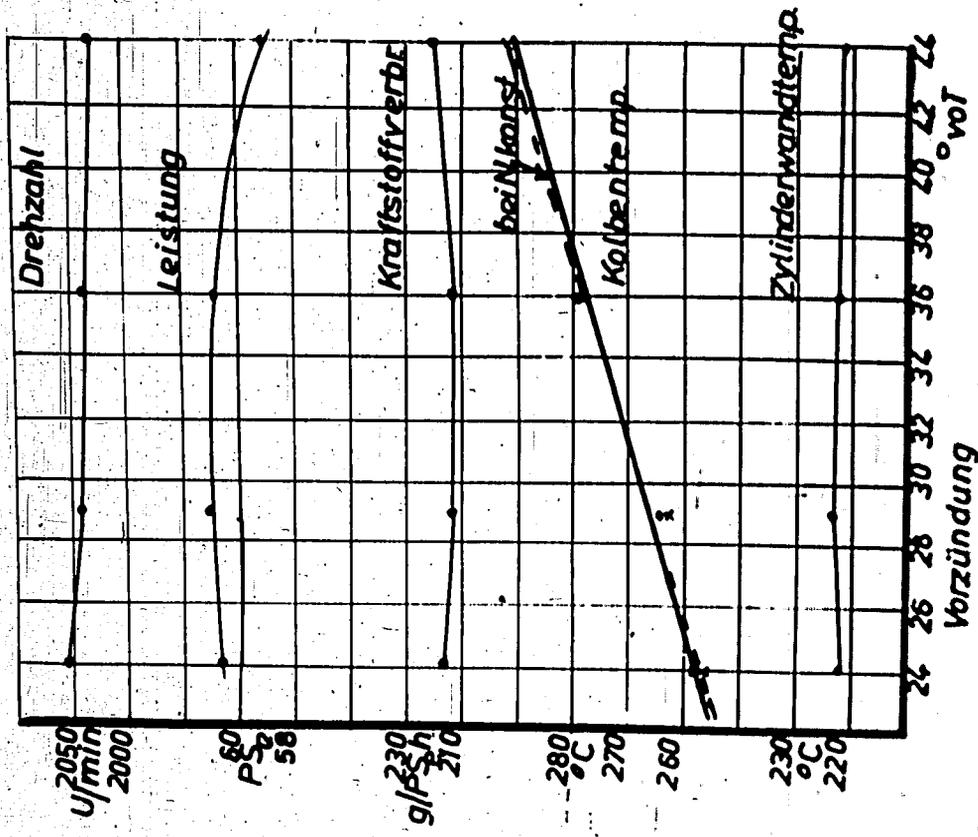


Abb. 12: Einfluss der Vorzündung.

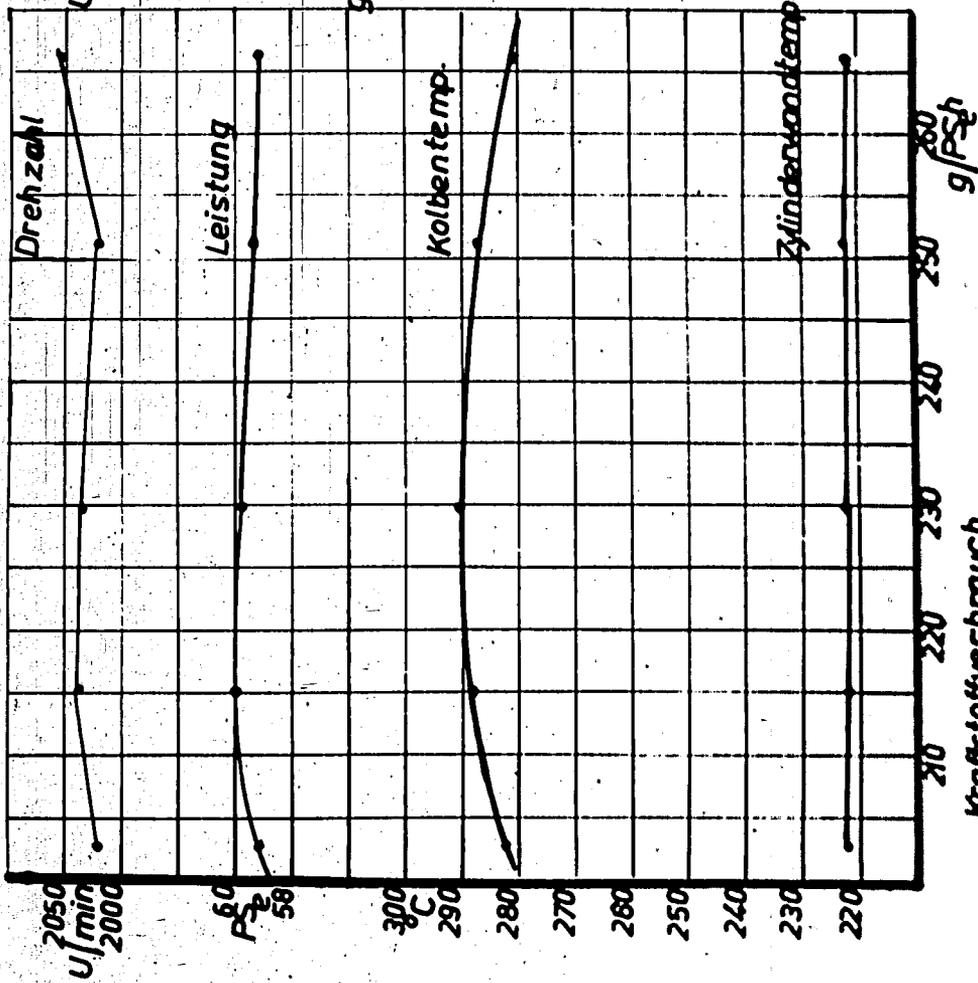


Abb. 6: Dfz 12: Einfluss des Kraftstoffverbrauches.

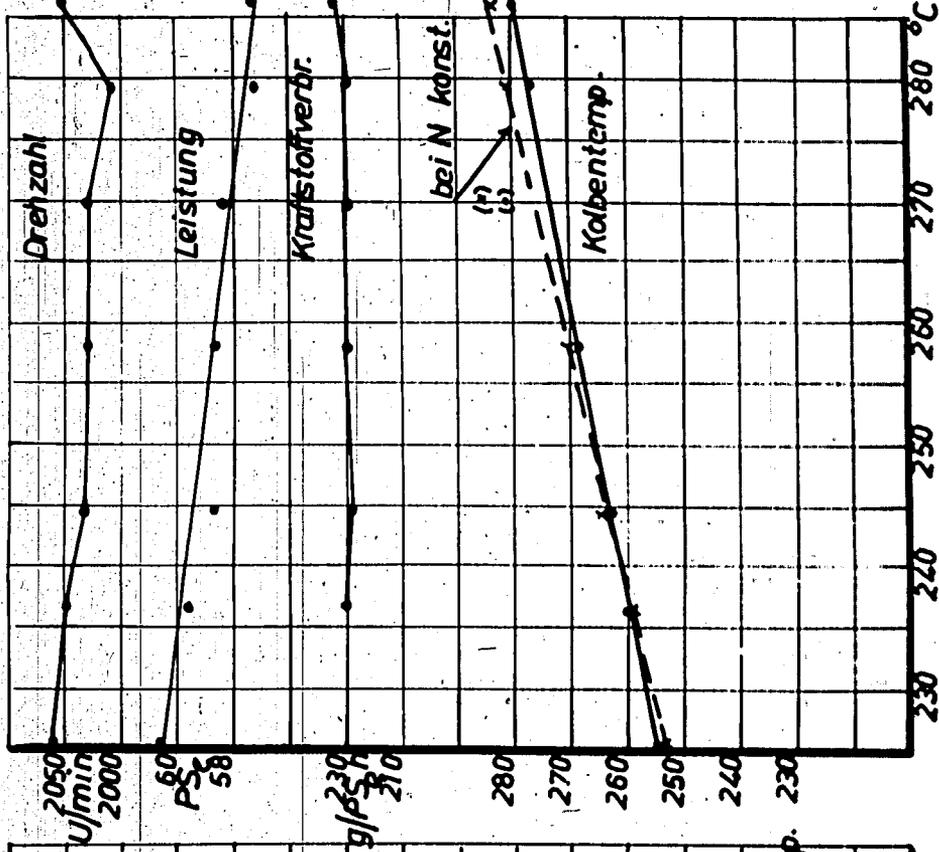


Abb. 7: Dfz 12: Einfluss der Zylinderwandtemperatur.

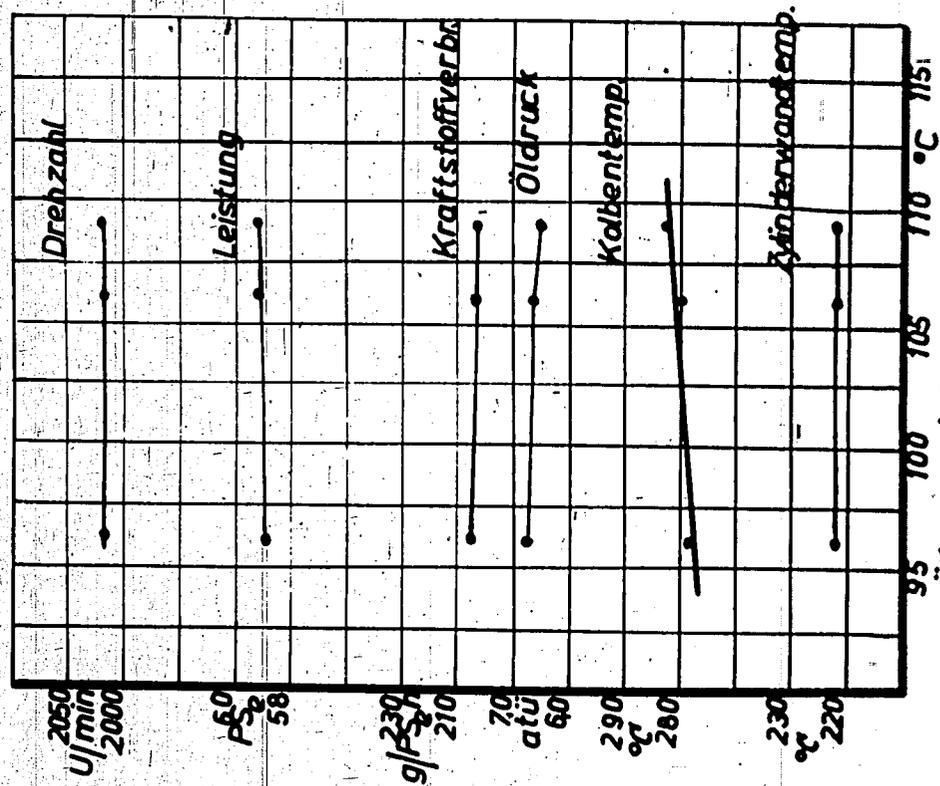


Abb. 6: Öltemperatur

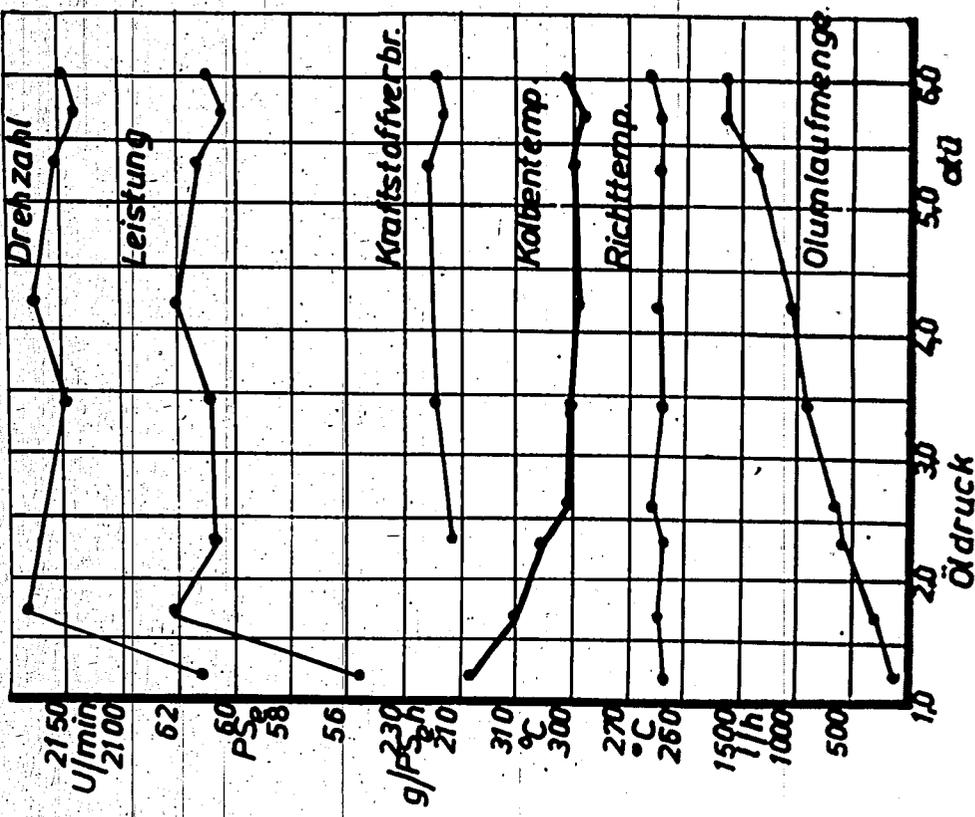
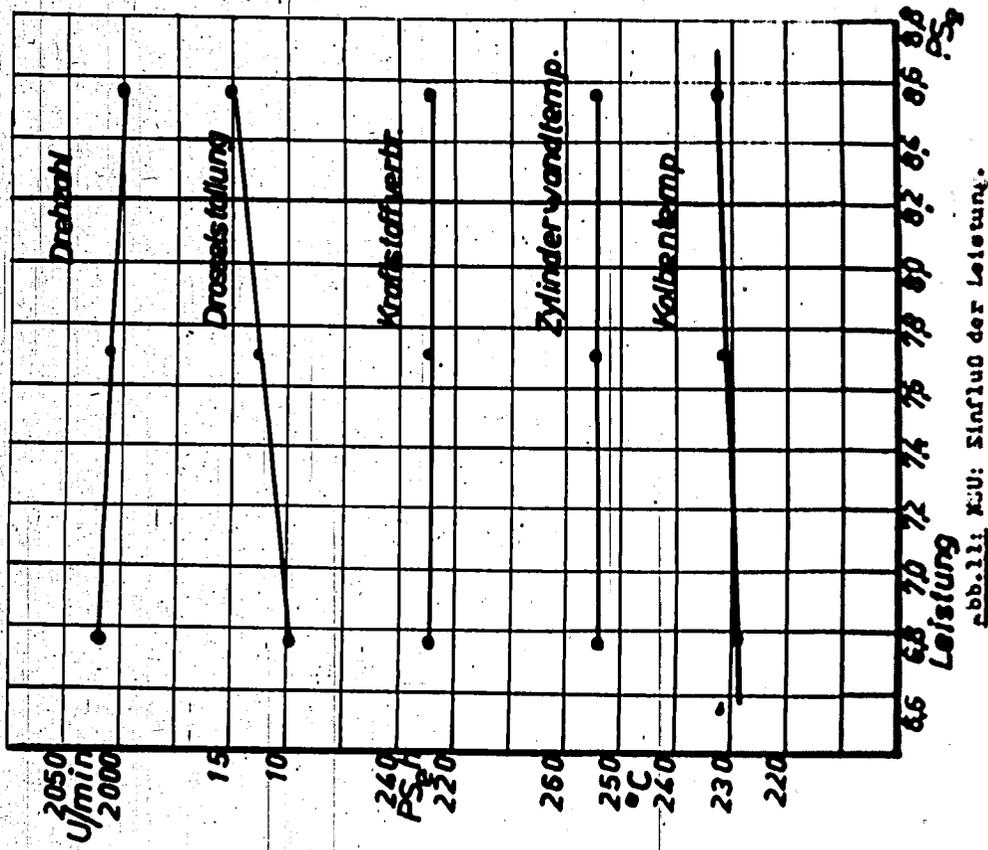
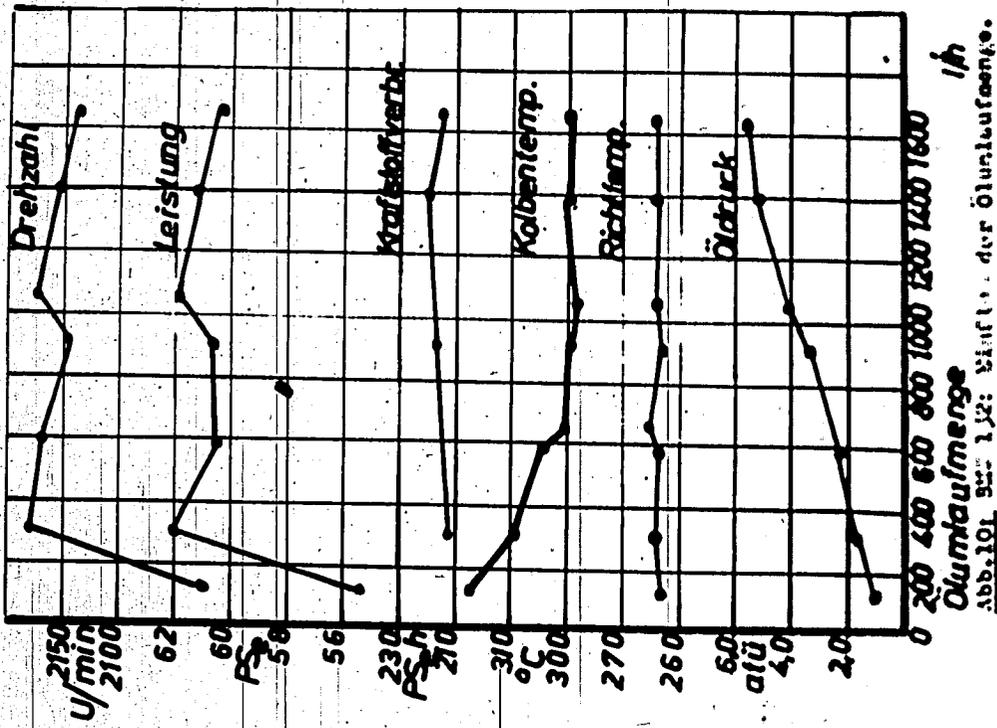
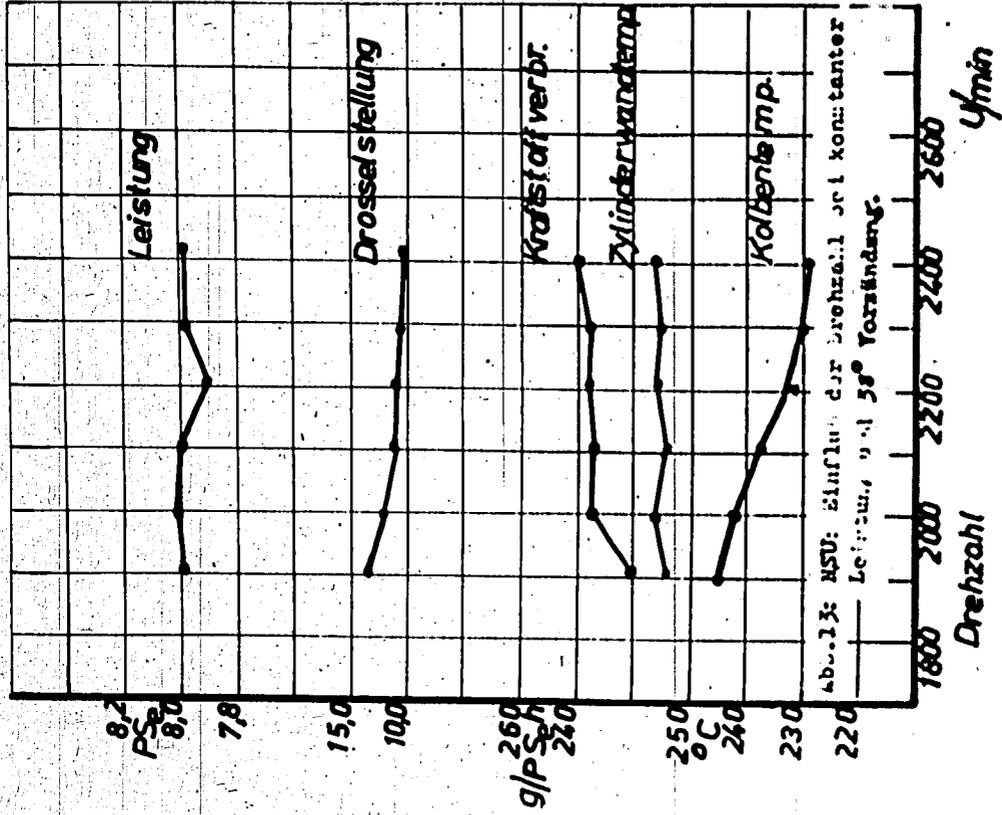
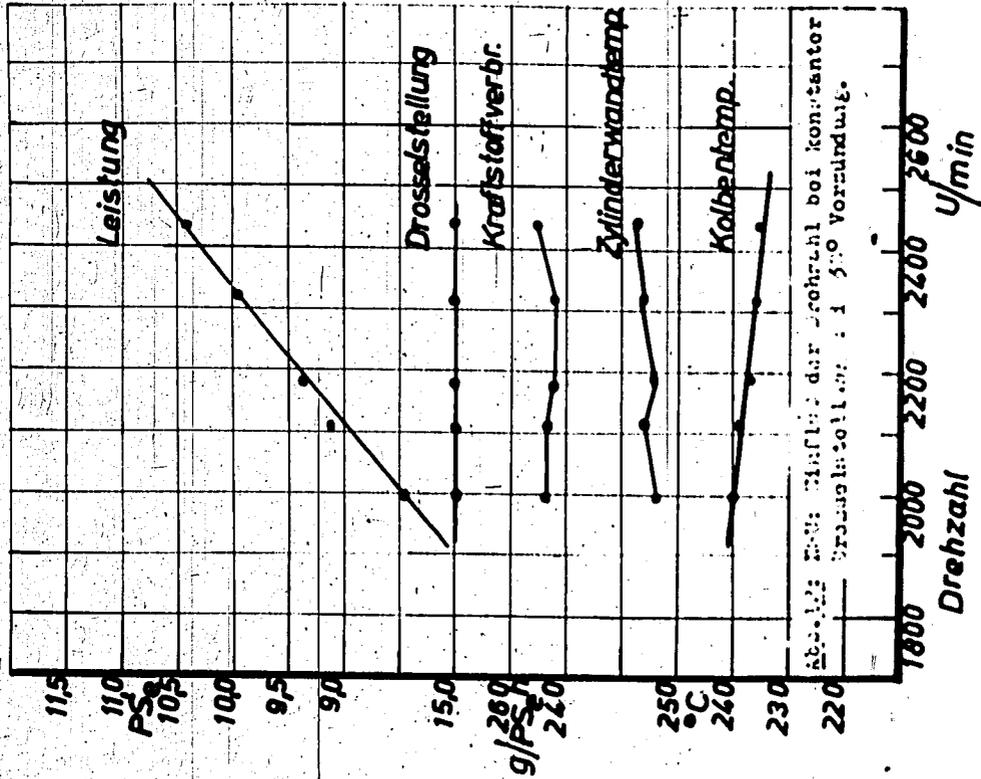
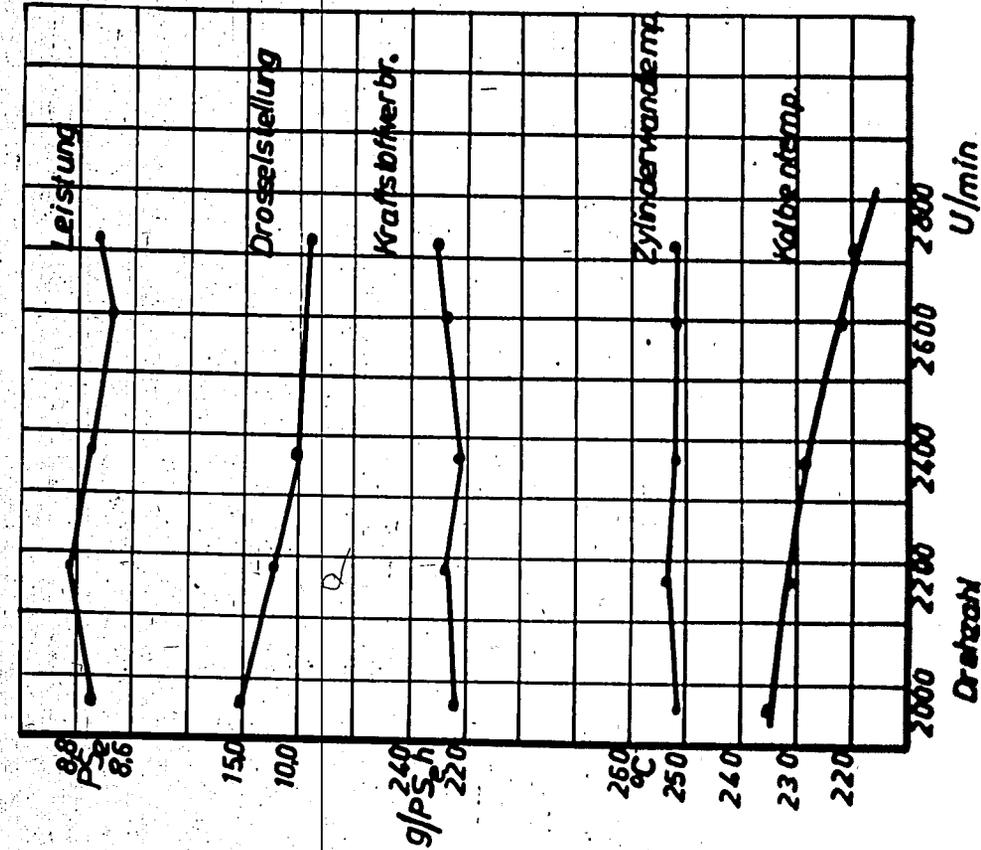
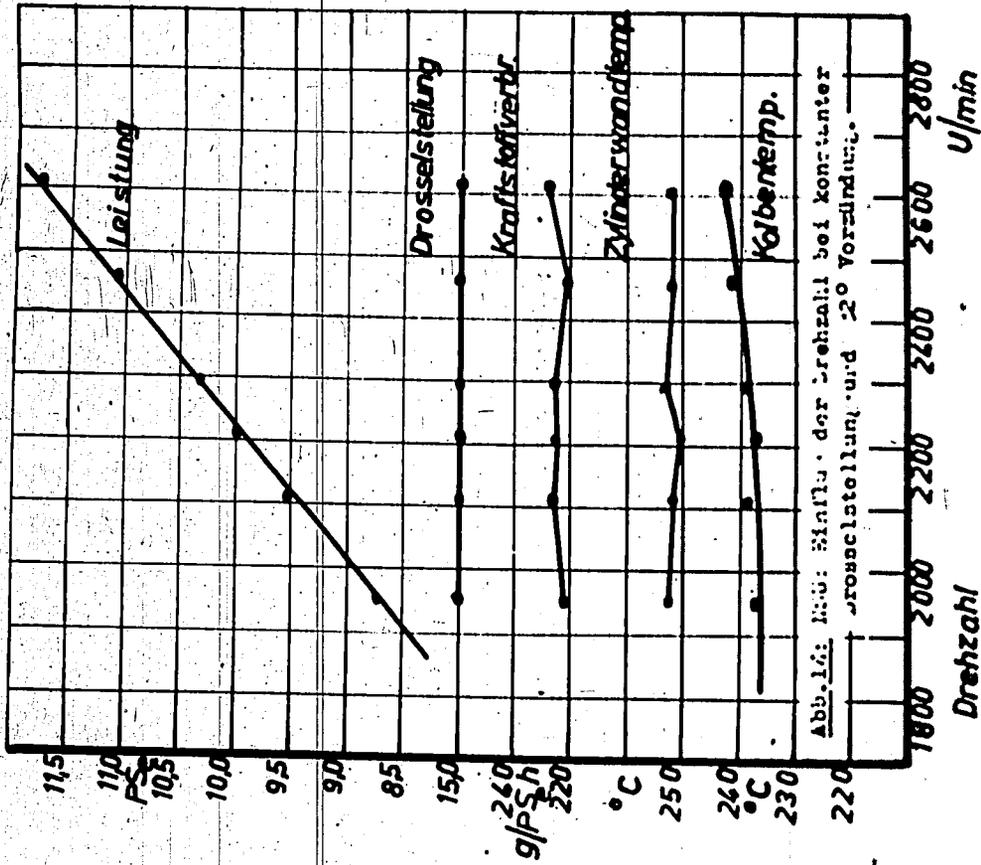
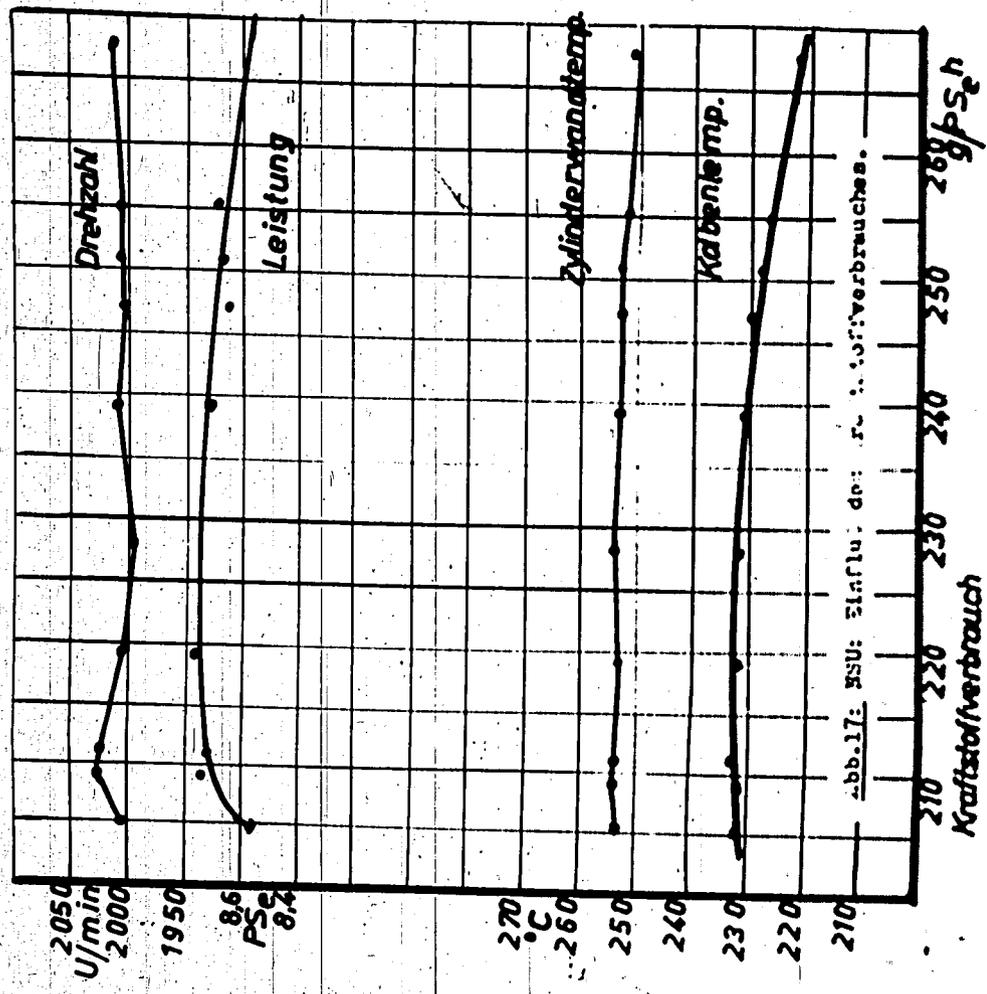
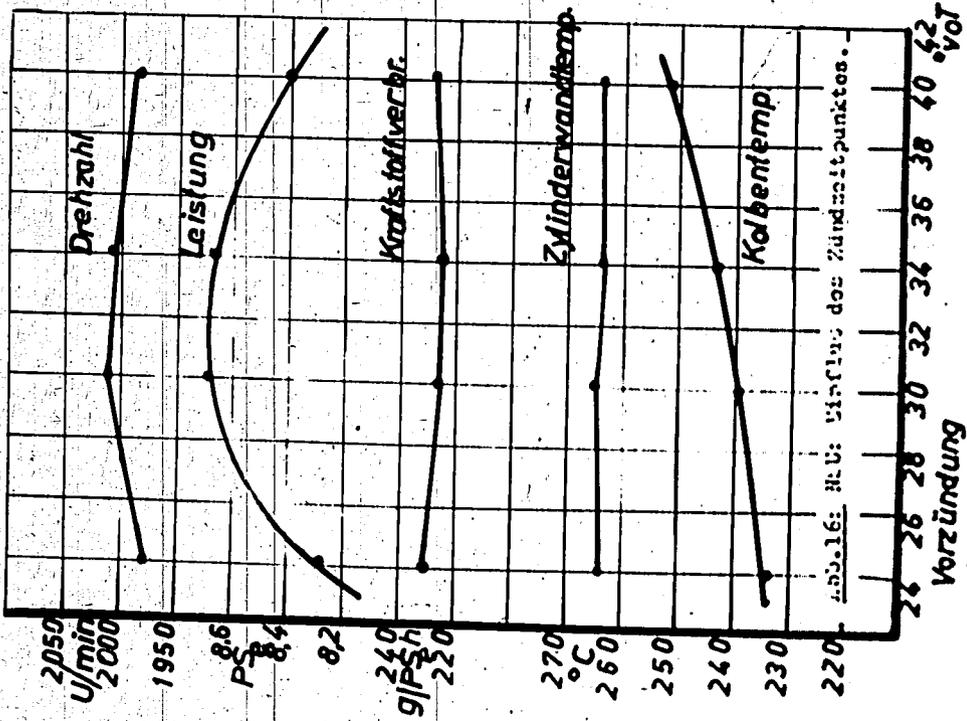


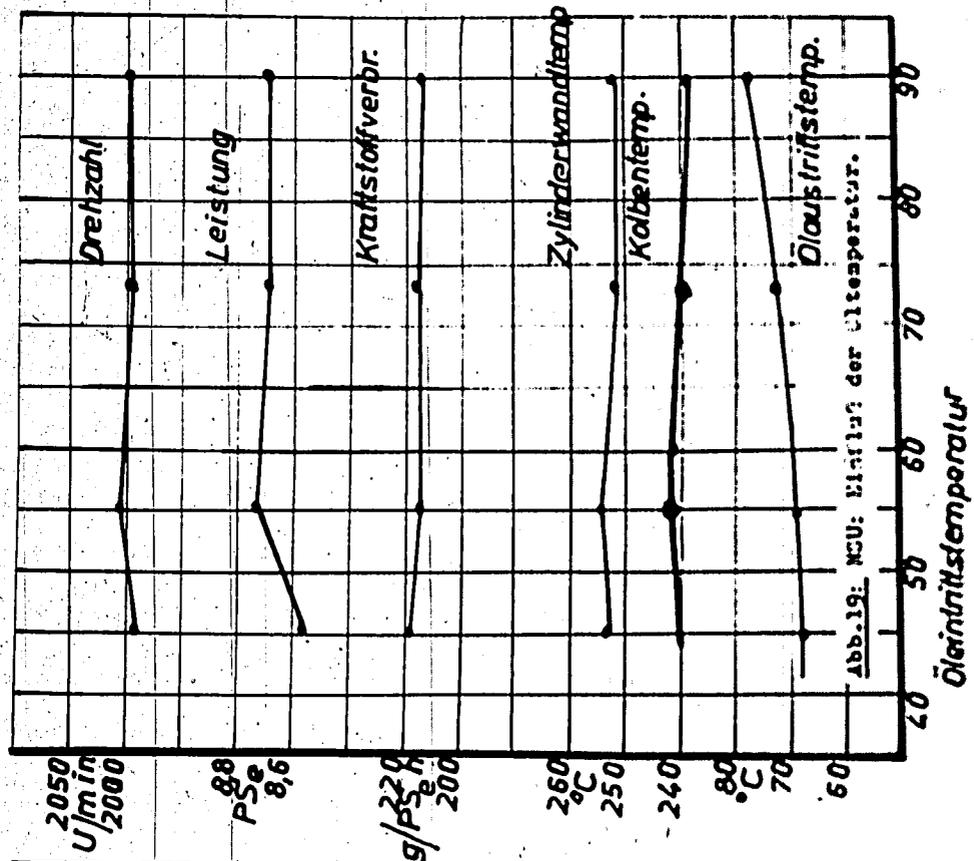
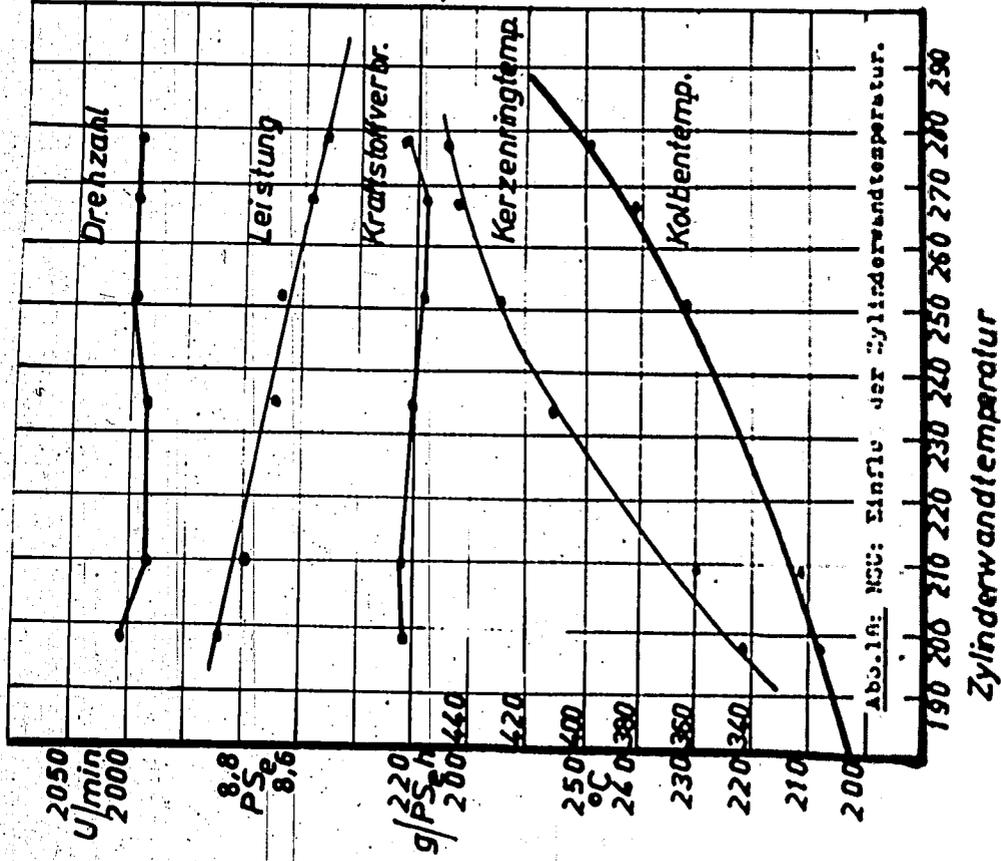
Abb. 9: Öldruck

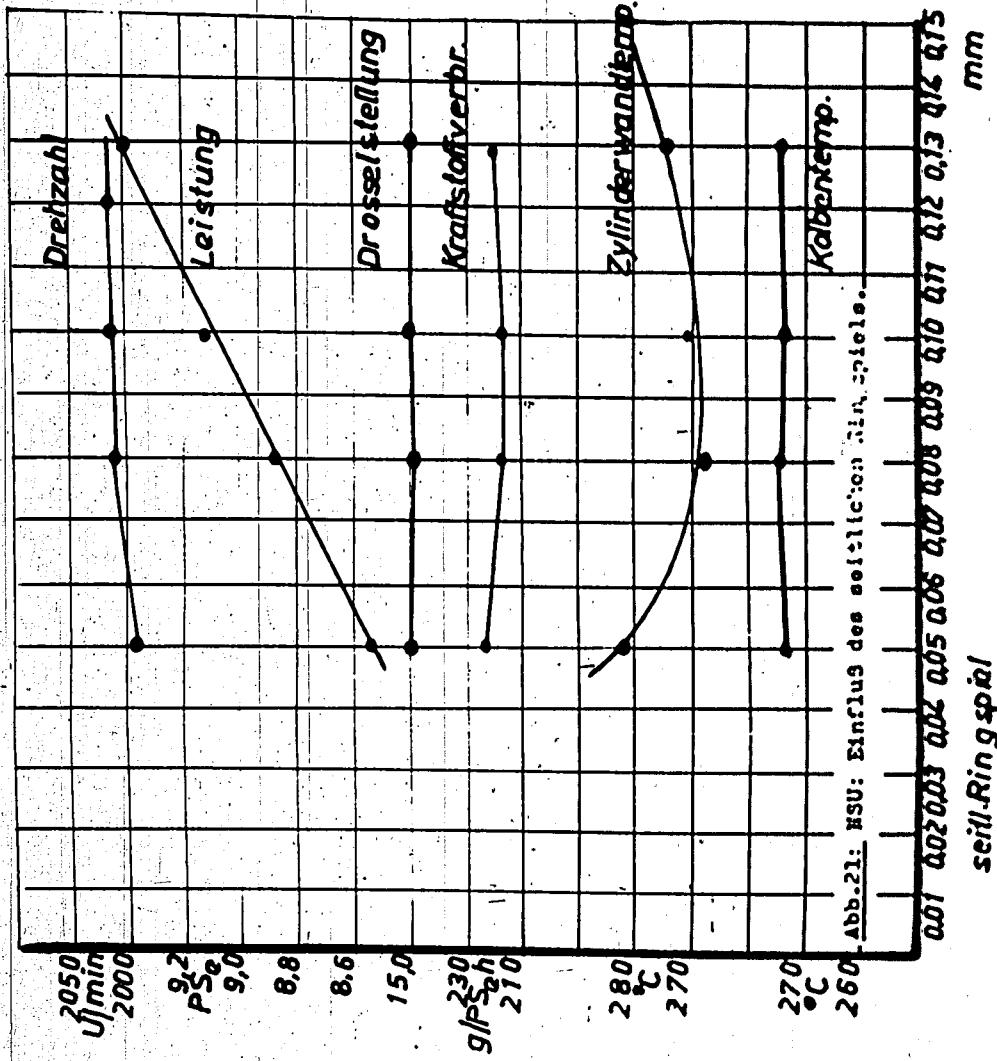
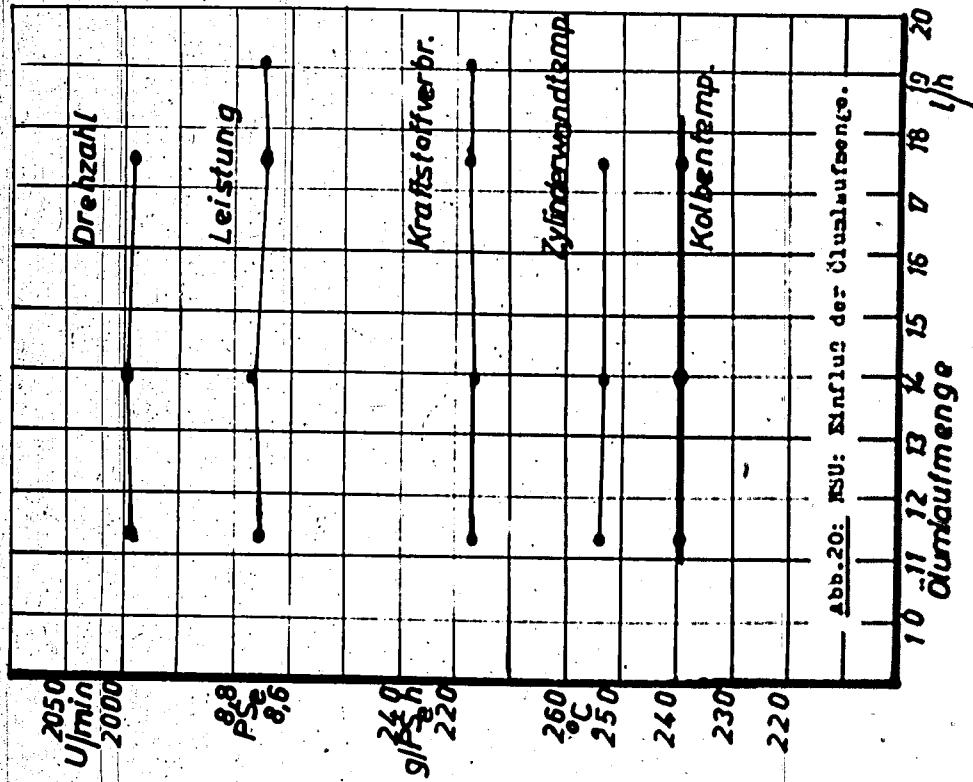












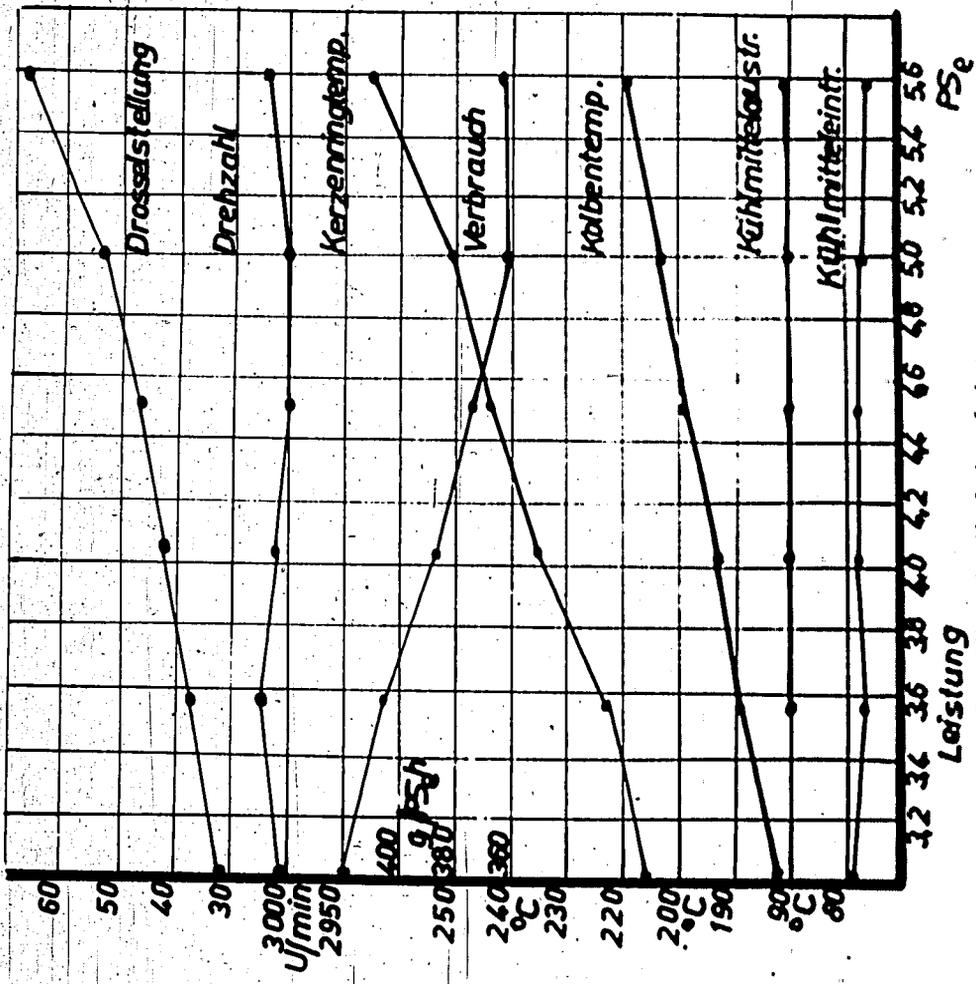


Abb. 22: DK: Einfluss der Leistung.

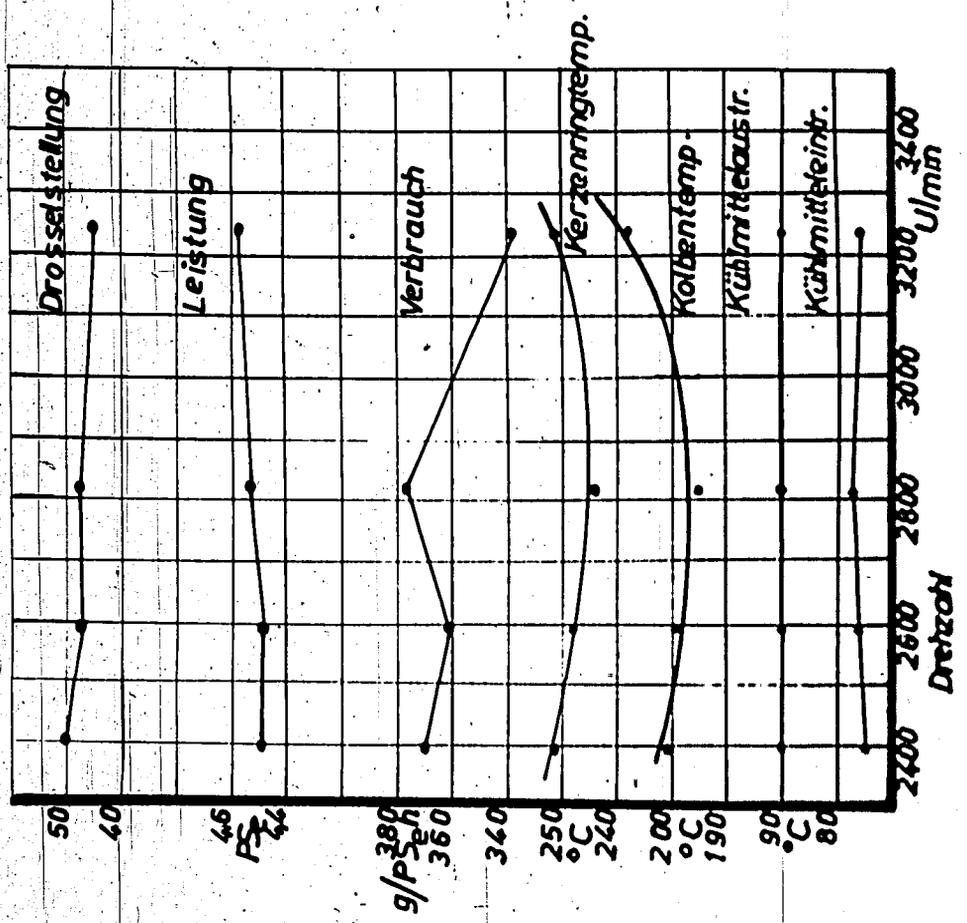
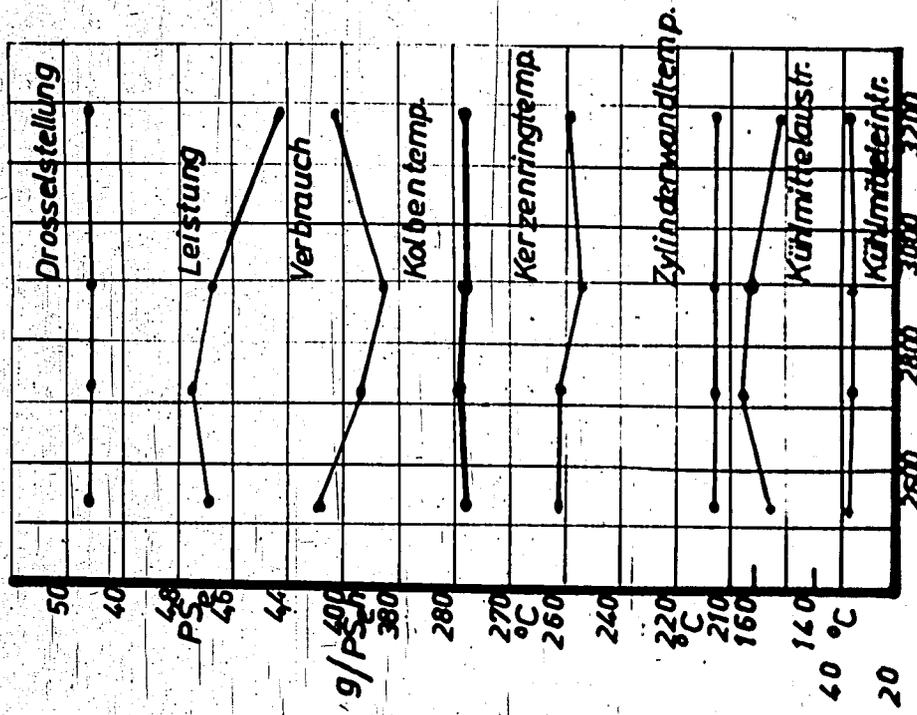
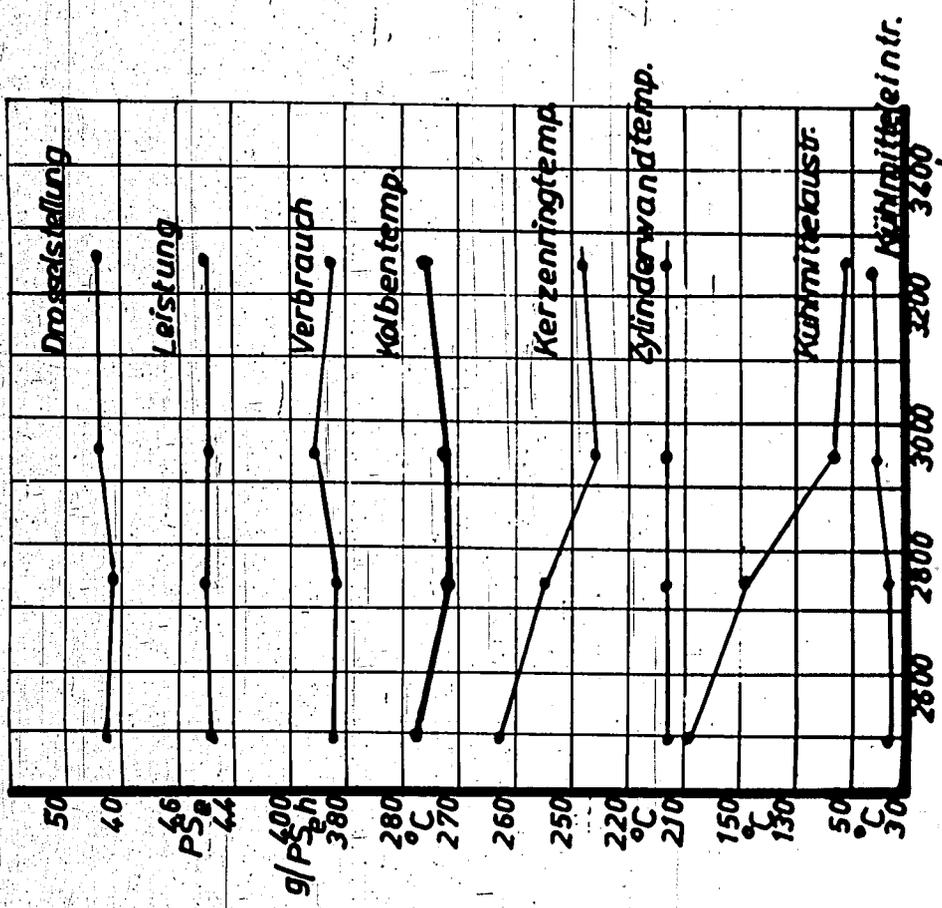


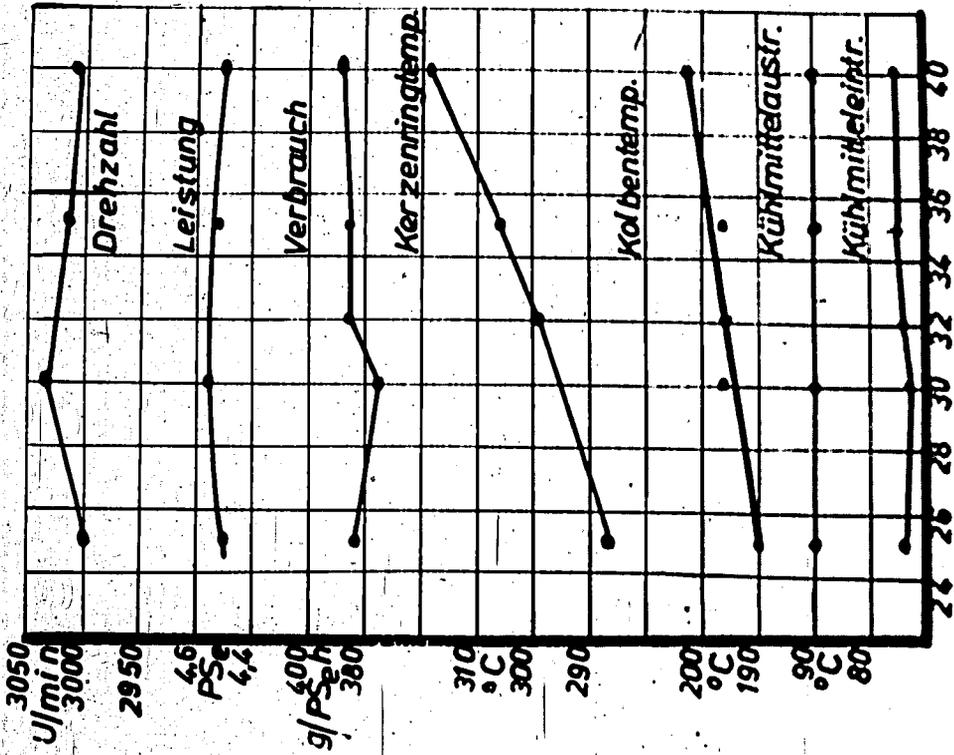
Abb. 23: DK: Einfluss der Drehzahl bei konstanter Kühlmitteltemperatur.



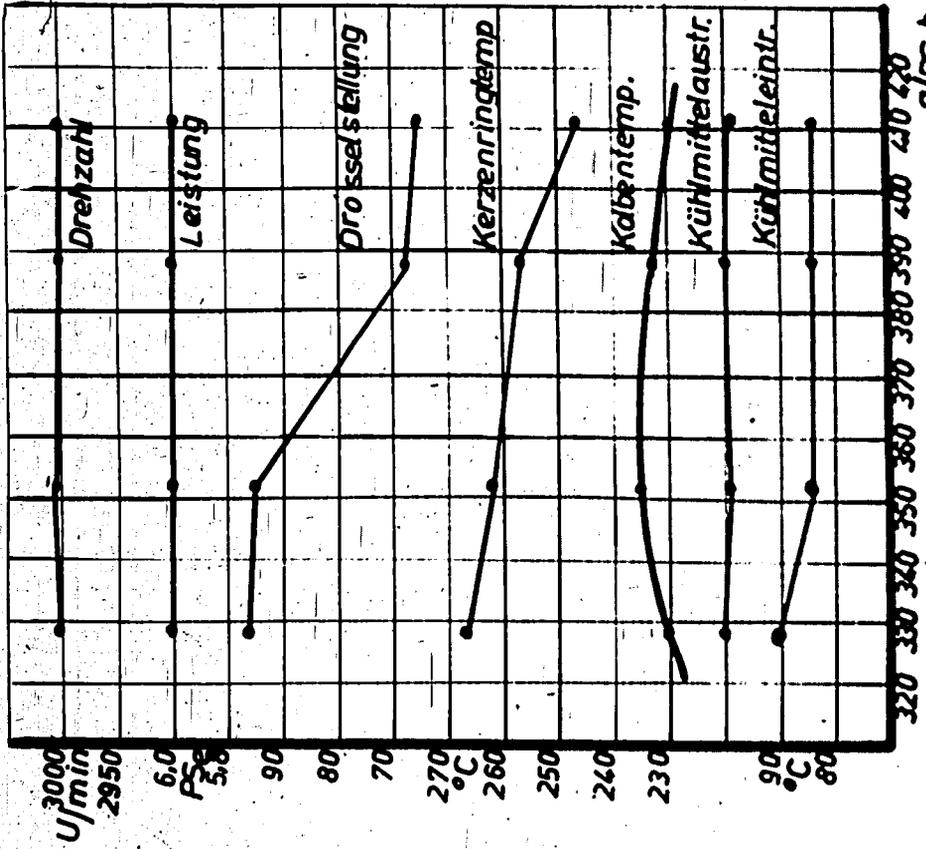
bb.22: DW: Einfluss der Drehzahl bei konstanter Drosselstellung; und Zylinderwandtemperatur.



bb.25: DW: Einfluss der Drehzahl bei konstanter Leistung und Zylinderwandtemperatur.



Vorzündung  
Abb. 26: D.: Einfluß der : : u. v. v.



Verbrauch  
Abb. 27: D.: Einfluß des : : v. v. v.

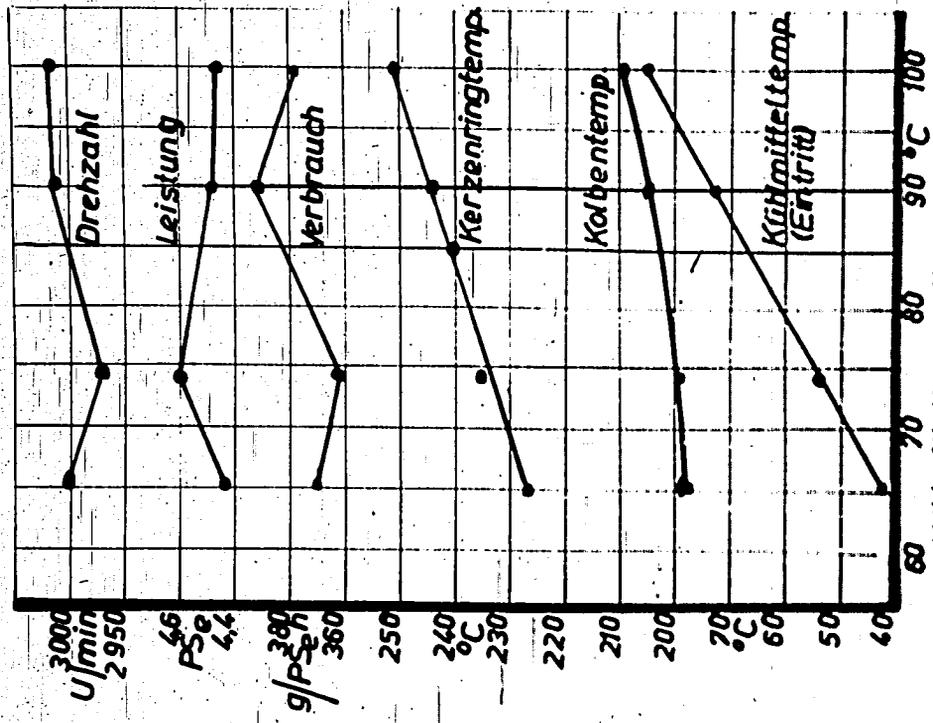


Abb. 20: DK-: Einfluss der Kühlmitteltemperatur bei Umlaufkühlung.

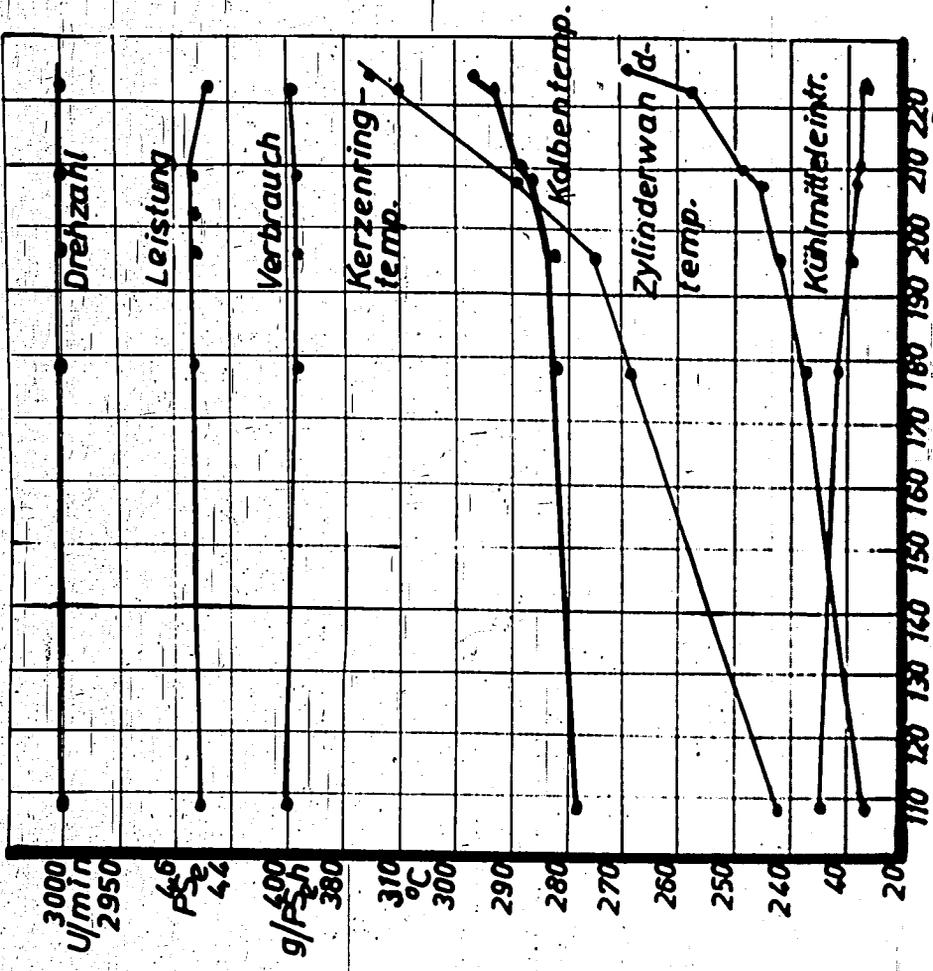
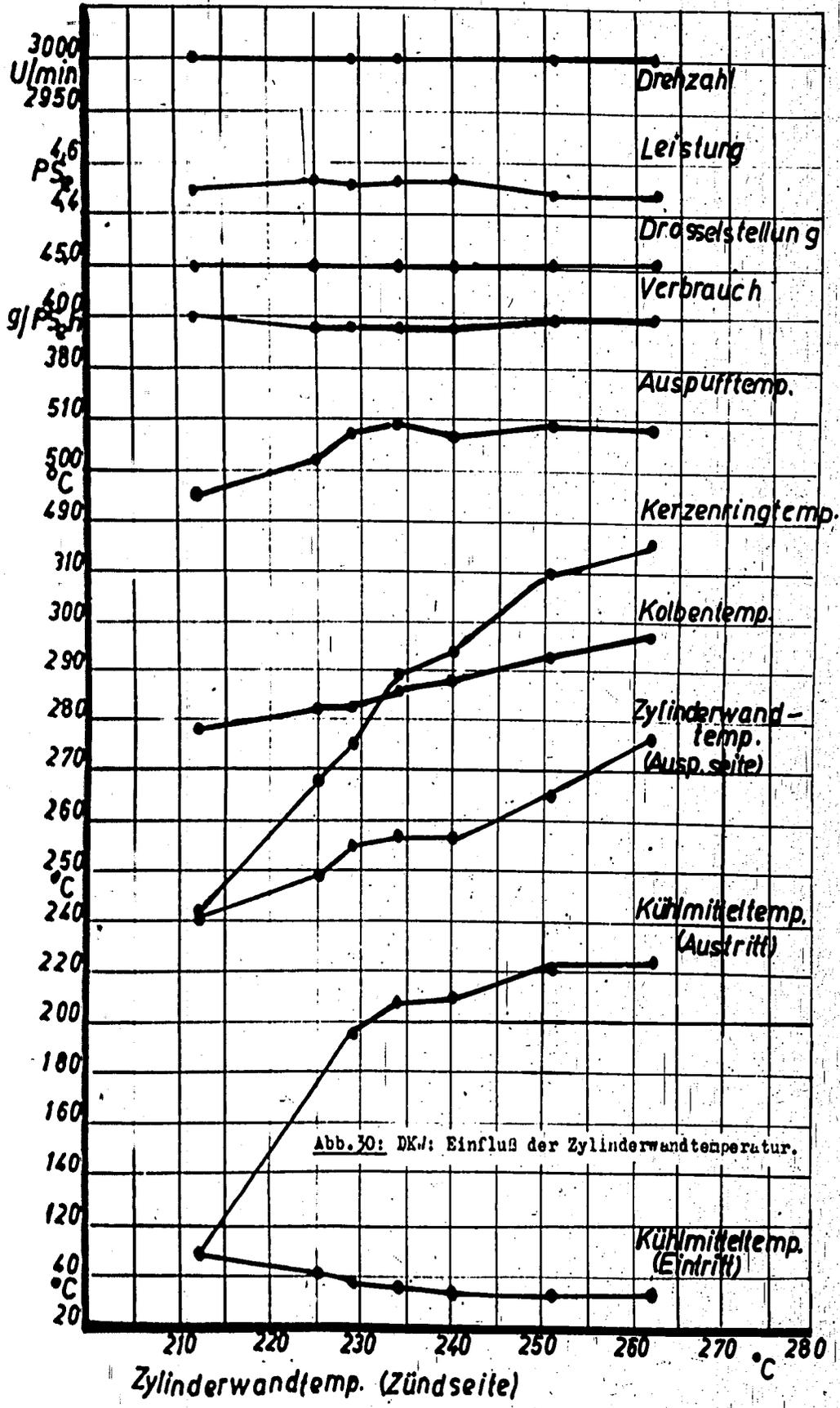
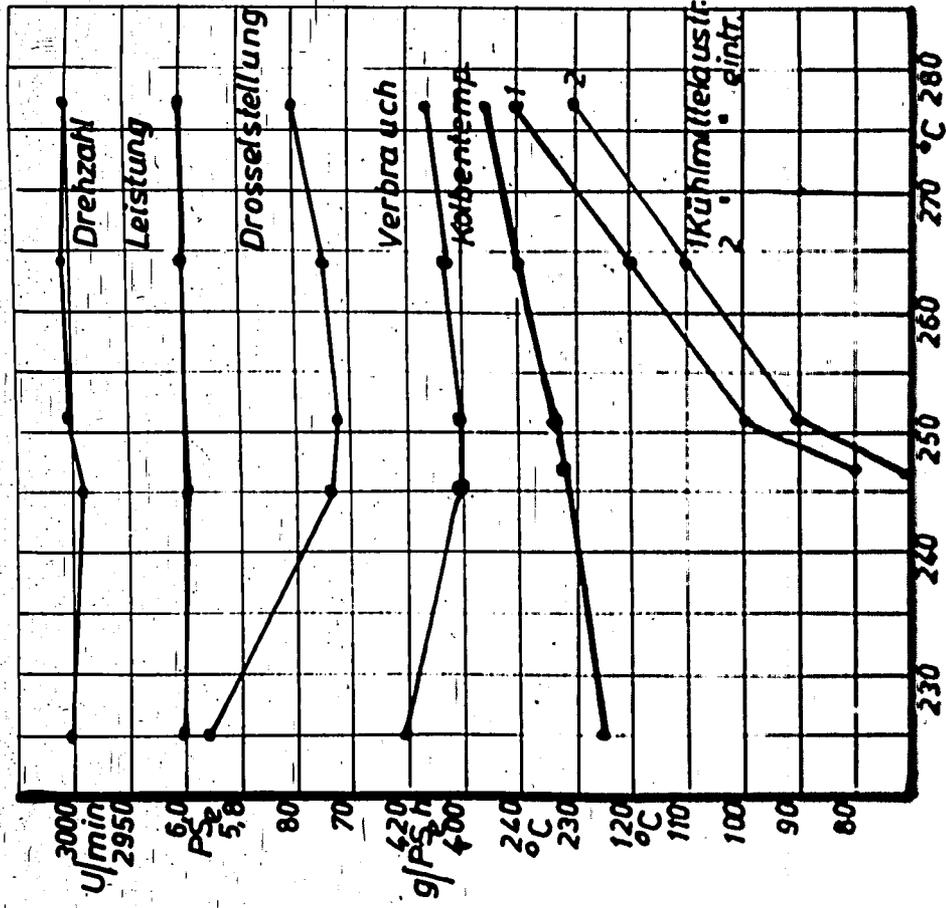


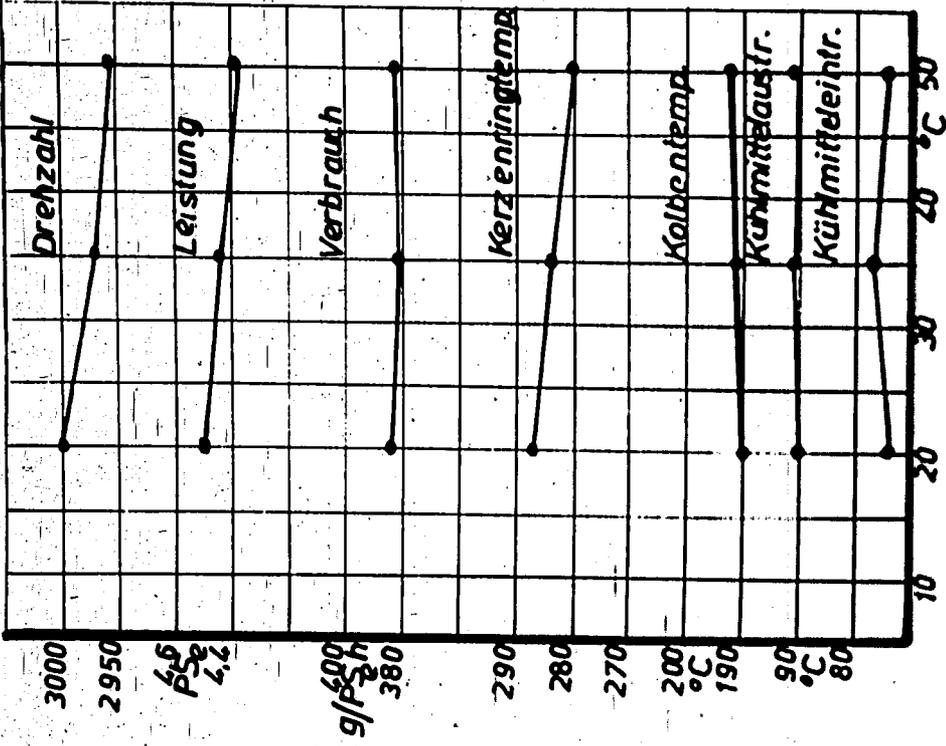
Abb. 21: DK-: Einfluss der Kühlmitteltemperatur bei Thermosyphonkühlung.



6576



Kerzenringtemp.  
Abb. 31: Die Tinte der Kerzenringtemperatur.



Ansauglufttemp.  
Abb. 32: Die Tinte der Ansauglufttemperatur.

Abb. 33: Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Leistung. (vgl. hierzu die Abb. 2, 11 und 22).

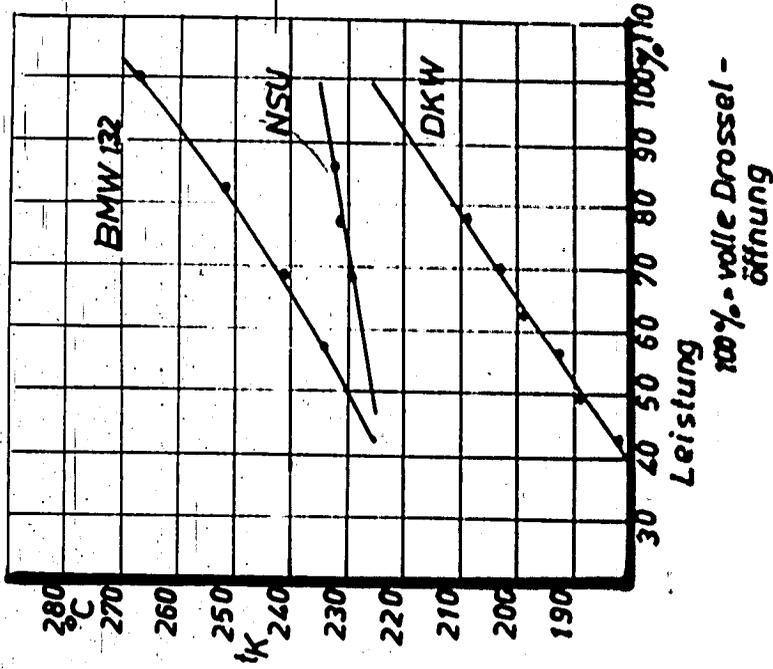


Abb. 34: Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Drehzahl bei konstanter Drosselstellung (vgl. hierzu die Abb. 3, 12, 14 und 24).

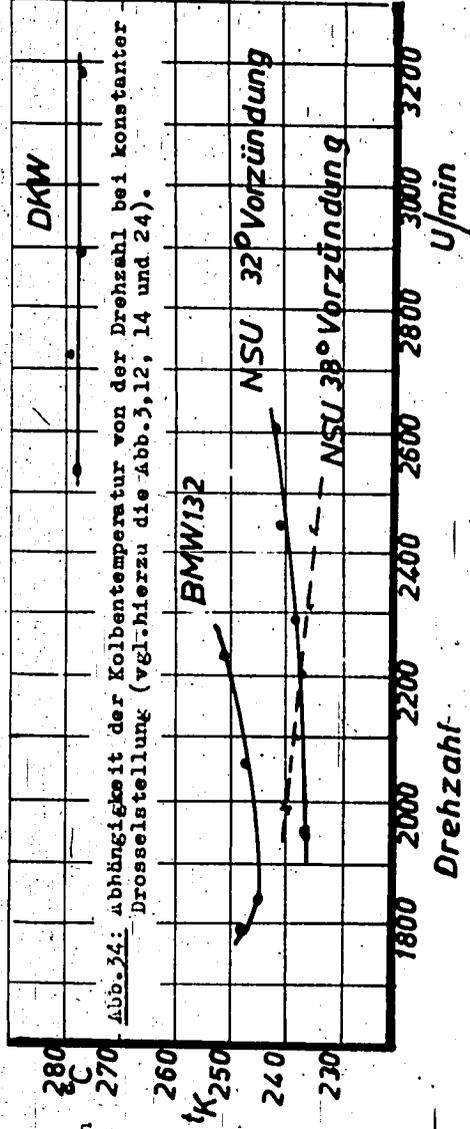
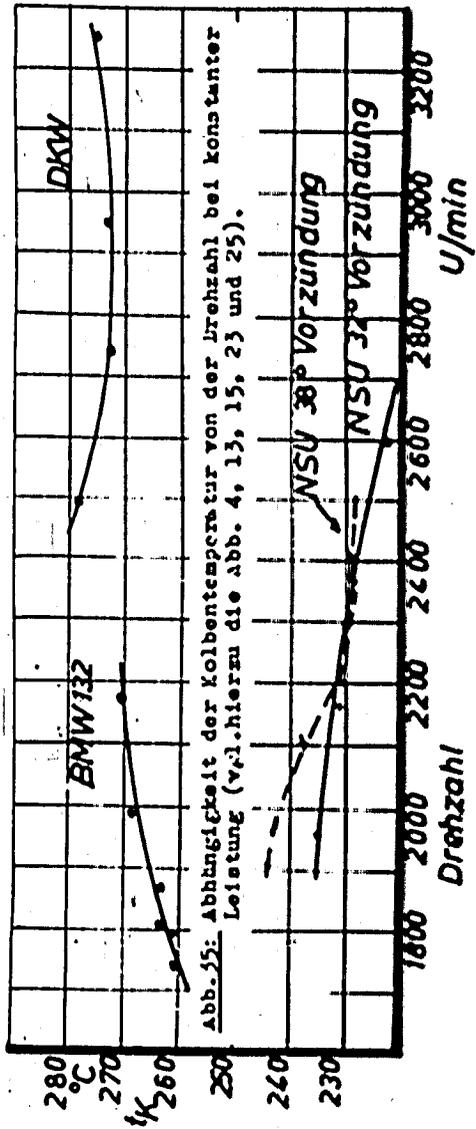


Abb. 35: Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Drehzahl bei konstanter Leistung (vgl. hierzu die Abb. 4, 13, 15, 23 und 25).



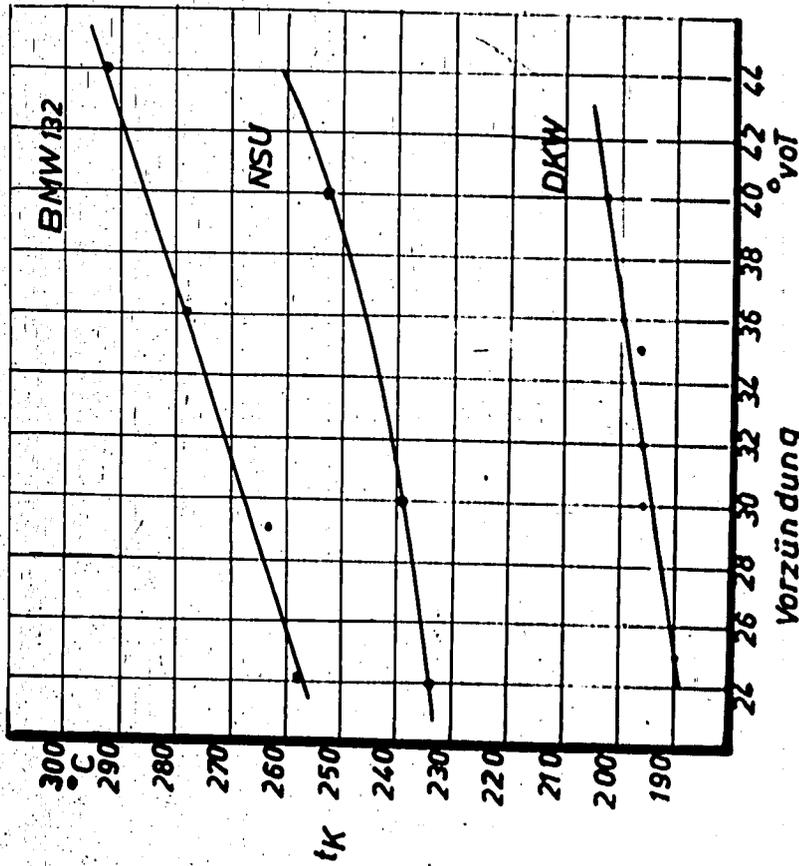


Abb. 56: Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Vorzündung (vgl. hierzu die Abb. 5, 16 und 26).

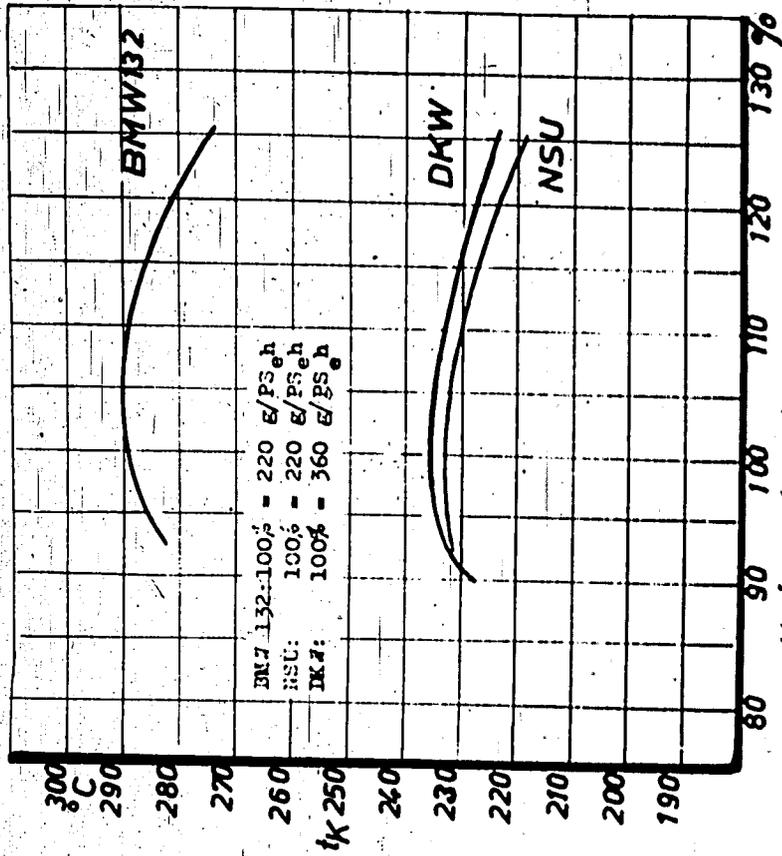


Abb. 57: Abhängigkeit der Kolbentemperatur vom Kraftstoffverbrauch (vgl. hierzu die Abb. 6, 17 und 27).

0.5.50

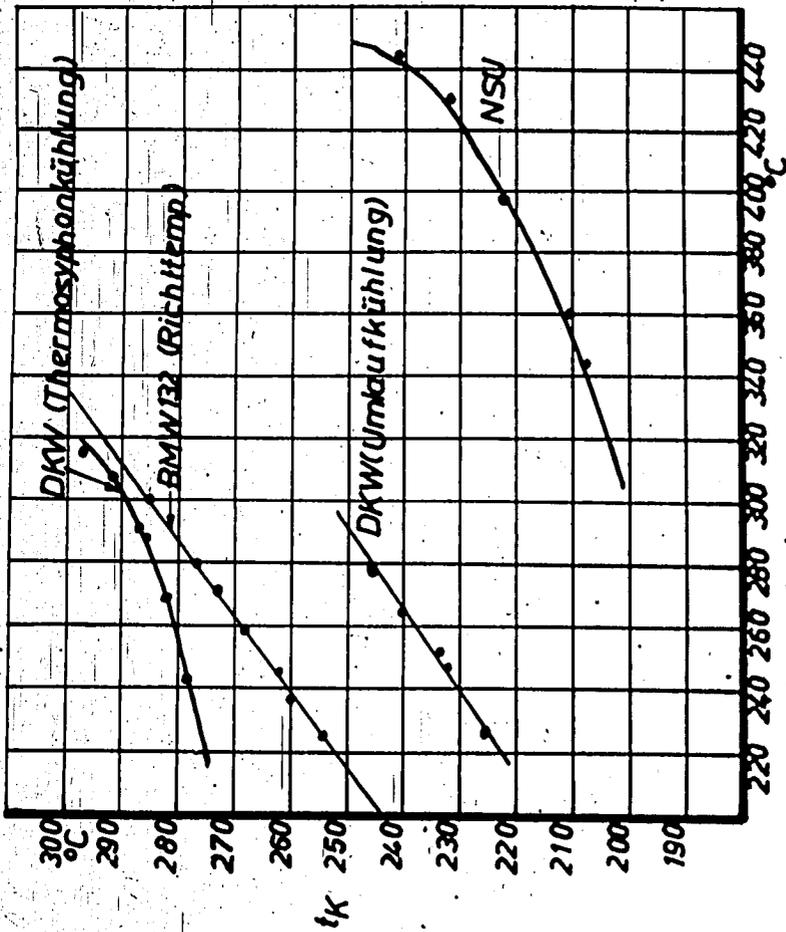


Abb. 58: Abhängigkeit der Kältemitteltemperatur von der Zylinderkammer-temperatur (vgl. hierzu die Abb. 7, 10, 19 und 51).  
 Kerzenringtemp.

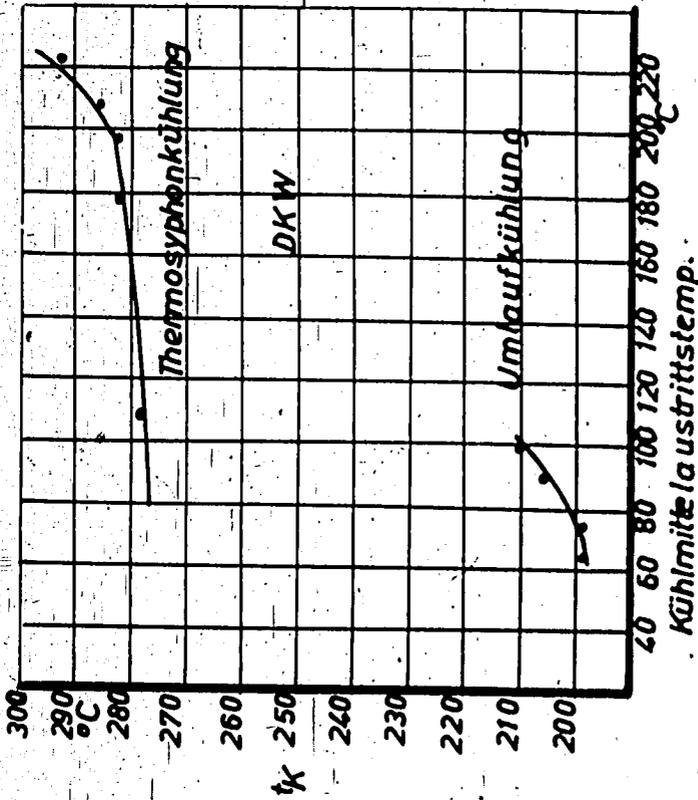


Abb. 59: Abhängigkeit der Kältemitteltemperatur von der Kältemittelaustrittstemperatur (vgl. hierzu die Abb. 29 und 29).

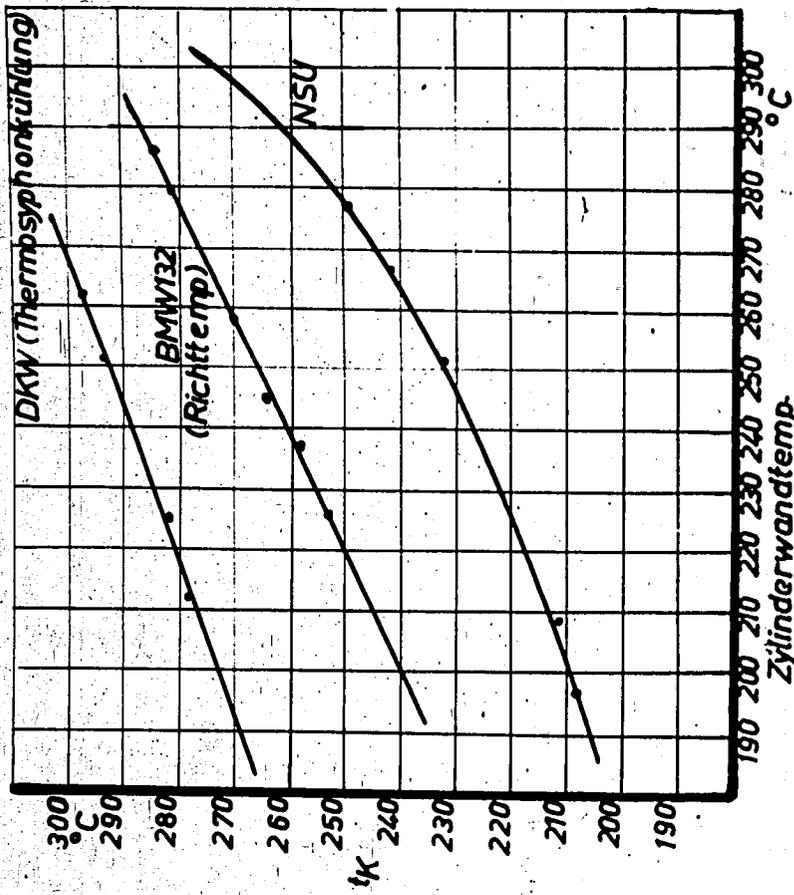


Abb.40: Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Zylinderwandtemperatur (vgl. hierzu die Abb.7. 18 und 30).

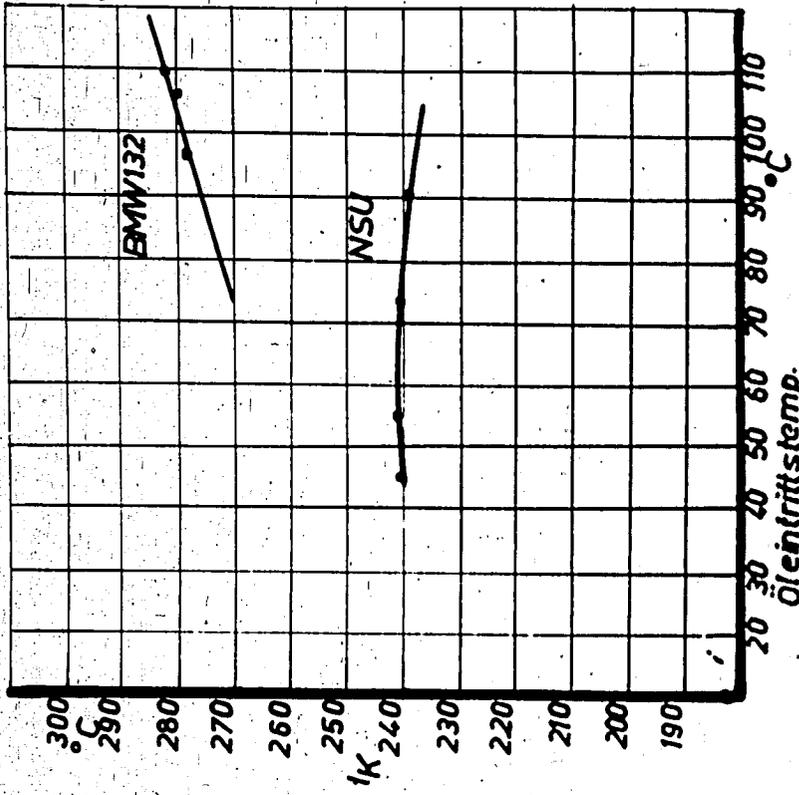
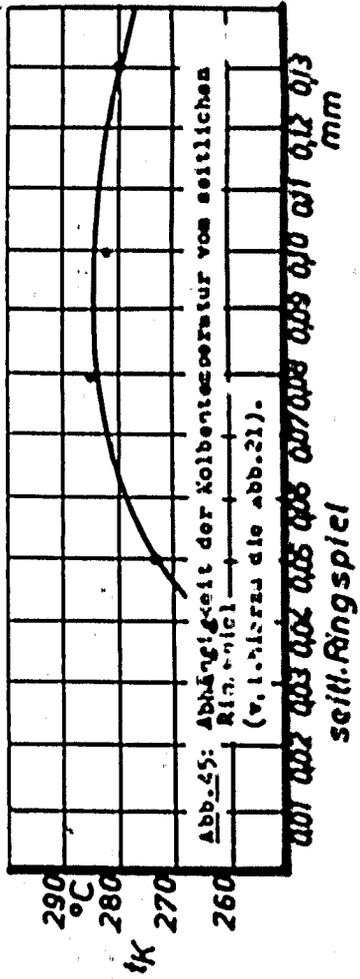
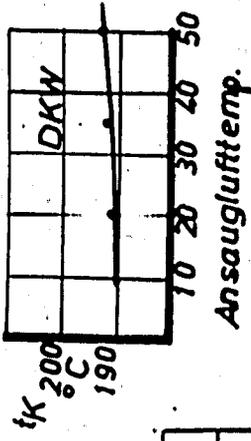
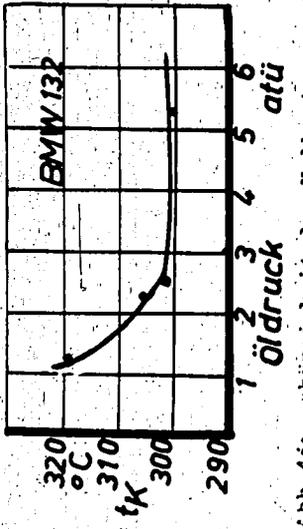
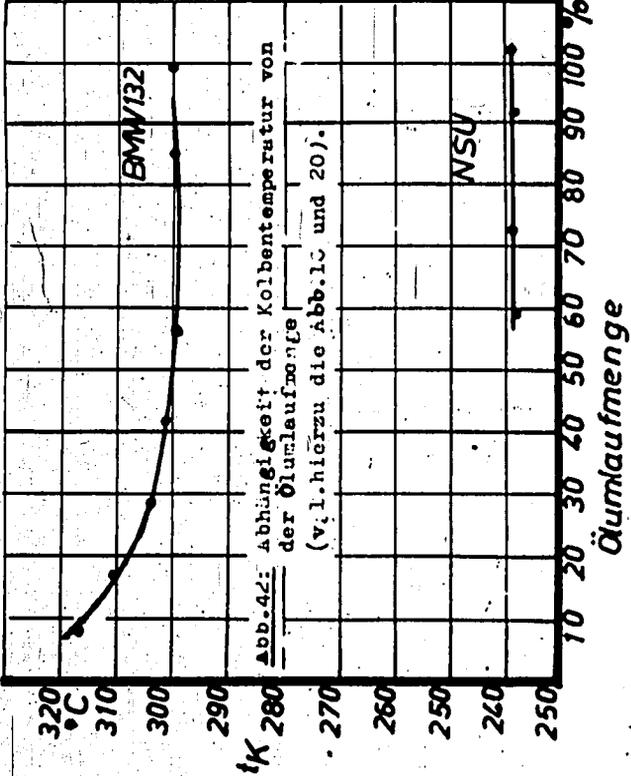


Abb.41: Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der Oleintrittstemp. (vgl. hierzu die Abb.8 und 19).



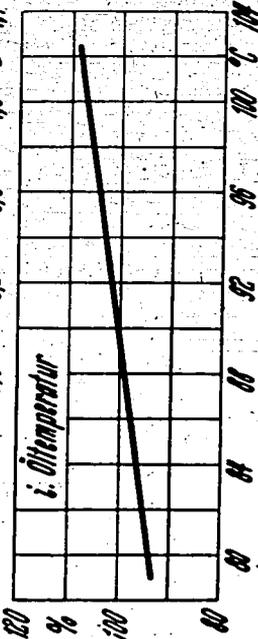
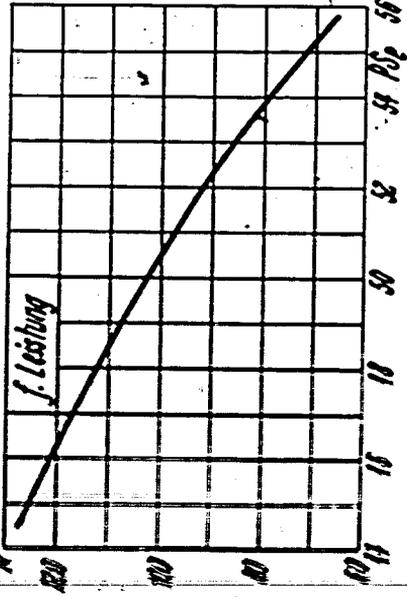
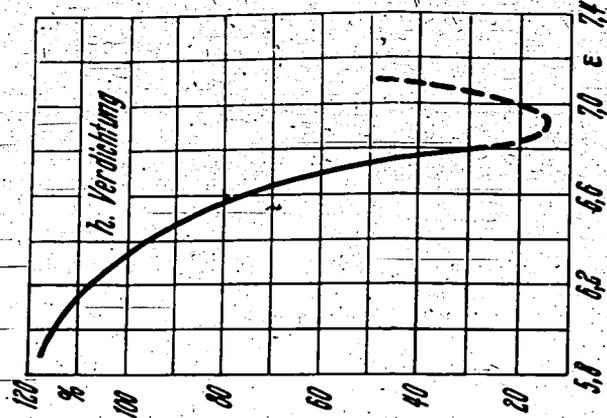
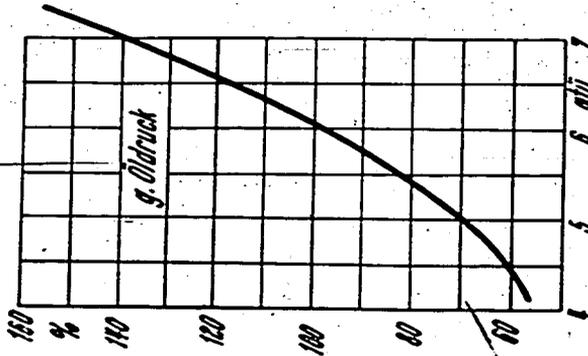
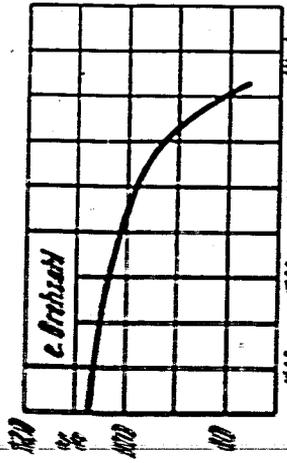
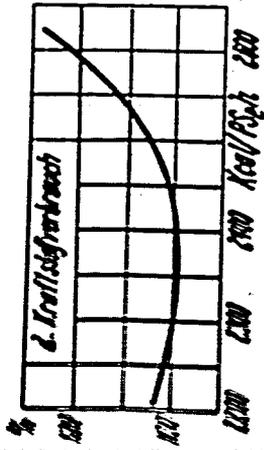


Abb.46: Abhängigkeit der Ringstreckzeit von verschiedenen Betriebsbedingungen im BMW VI (Normalwert = 9 Std. = 100 %).