

A 91

**Bericht Nr. 562**

**Der Falexölprüfer im Vergleich  
mit Vierkugelmachine und  
Almen-Wielandmaschine**

9376



**Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau**

**Nr. 562**

Der Falexölprüfer im Vergleich mit Vierkugelmachine  
und Almen-Wielandmaschine.

Übersicht:

Der Falexölprüfer ist ein Gerät zur Prüfung von Hochdruckschmiermitteln. Er arbeitet bei Versuchsbedingungen, die milder sind als die der Vierkugelmachine, aber etwas schärfer als die der Almen-Wielandmaschine. Das Prüfverfahren nach der Bedienungsanleitung setzt voraus, daß ein gewisses Mindesthochdruckverhalten des Schmierstoffes vorhanden ist. Es kann also nicht jeder beliebige Schmierstoff geprüft werden. Es werden außer der Originalmethode noch zwei weitere Prüfverfahren versuchsweise angewandt, von denen das letztere gestattet, jeden Schmierstoff zu prüfen. Die Ergebnisse daraus sind denen der Almen-Wielandmaschine ähnlich, stehen aber im Gegensatz zu den Ergebnissen der Vierkugelmachine. Da letzteres Gerät mit Prüfelementen arbeitet, die hinsichtlich des Werkstoffes dem der Zahnräder am nächsten stehen, dürfte der Vierkugelmachine wohl der Vorzug gebühren.

Abgeschlossen am: 1.2.1944.L.

Bearbeiter: Dipl. Ing. Halder

*Halder*

Die vorliegende Ausfertigung enthält

9 Textblätter

13 Bildblätter

**Verteiler**

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger

9377

Der Falaxölprüfer im Vergleich mit Vierkugelmaschine und Almen-Wielandmaschine.

A. Zweck der Versuche:

Vom Heereswaffenamt wurde dem Technischen Prüfstand Oppau ein Falaxölprüfer zur Verfügung gestellt. Es sollte untersucht werden, in welchem Verhältnis die damit erzielten Werte zu den Ergebnissen der bisher bekannten Hochdruckölprüfmaschinen stehen.

B. Versuchseinrichtung und Durchführung.

1.) Falaxölprüfer:

Die Falax-Maschine ist eine genaue Nachbildung eines amerikanischen Gerätes, des Faville-Levally-Ölprüfers. Sie wurde vom Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre an der Technischen Hochschule in Aachen gebaut. Von diesem Institut liegt eine genaue Beschreibung und Bedienungsanleitung vor. Im folgenden soll ein kurzer Auszug daraus gegeben werden.

Die Prüfelemente, auf die noch näher eingegangen wird, befinden sich in einem rechteckigen Behälter, der zur Aufnahme des Prüföls bestimmt ist und elektrisch beheizt werden kann. Die Prüfzelle steht senkrecht und wird über ein Zahnradgetriebe und einen Motor von oben angetrieben (Bild 1). Die zwei Prüfbüchsen, die gegen die Welle gepreßt werden, sind in zwei schwenkbaren Gehäusen untergebracht, die mit zwei Belastungsarmen in Verbindung stehen (Bild 2). Die Enden dieser Arme werden durch die Belastungseinrichtung (Bild 3, 4, 5 u. 6) gegeneinander gepreßt. Dies geschieht durch Druck einer Feder, die sich in einem Gehäuse befindet. Die Feder erhält ihre Spannung durch Verdrehen eines Belastungsrades und damit der Zugstange, die an den Enden mit Rechts- bzw. Linksgewinde versehen ist. Die Zusammendrückung der Feder wird mit Hilfe einer Meßuhr bestimmt. Man erhält daraus ein Maß für die Größe der eingeleiteten Kraft.

Das Drehmoment an den Prüfbüchsen wird hydraulisch gemessen; die um die Welle drehbaren Teile sind durch einen Hebelarm auf einer Druckdose abgestützt; der entstehende Öldruck wird am Manometer abgelesen und ist ein Maß für das vorhandene Drehmoment. Die Prüfelemente sind auf Bild 4 dargestellt und bestehen aus einer Prüfzelle von 6 mm  $\phi$  und 31 mm Länge und zwei Prüfbüchsen. Die

Prüfwelle wird mit Hilfe eines Messingstiftes in der Antriebsspindel befestigt, der beim Erreichen eines entsprechend hohen Drehmomentes vor allem beim "Fressen" abgeschert wird. Die beiden Prüfbuchsen sind zylindrische Körper, die auf den der Welle zugewandten Stirnflächen eine rechtwinkelige Einfräsung besitzen. Die Welle läuft also zwischen vier ebenen Flächen, die um jeweils  $90^\circ$  gegeneinander versetzt sind. Während die Wellen aus gezogenem ungehärtetem Rundstahl bestehen, sind die Prüfbuchsen gehärtet und an ihren ebenen Flächen geschliffen. Die verwendeten Prüfelemente wurden von der Firma Voigt & Co., Deutsch-Ossig, bezogen. Die Kräfteverteilung an den Belastungsarmen und an den Prüfelementen zeigen Bild 5 und 6. Eine Federkraft  $F$  erzeugt also entsprechend dem Übersetzungsverhältnis (23:207-1:9) eine Kraft  $Q$  von der Größe  $9 \times F$ . Die auf jede Prüfbuchse wirkende Kraft  $Q$  ergibt an den beiden Gleitstellen je eine Normalkraft  $S = \frac{Q}{2} \sqrt{2}$ . Daraus lassen sich die Reibungskräfte und das Drehmoment ermitteln. In der Beschreibung- und Bedienungsanleitung ist bei allen Belastungsangaben und Sichkurven eine Kraft  $P = 2 S$  angewandt worden. Diese Kraft tritt jedoch gar nicht auf, denn sie wurde als Summe der Absolutwerte der Normalkräfte  $S_1$  und  $S_2$  bzw.  $S_3$  und  $S_4$  und nicht durch vektorielle Addition erhalten. Die Technische Hochschule Aachen hat diesen Wert aus der amerikanischen Bedienungsanleitung übernommen und aus Gründen der leichteren Vergleichsmöglichkeit beibehalten. Im folgenden wird anstelle der Kraft  $P$  der Wert  $\bar{S} = \frac{P}{2}$  eingeführt. Man hat damit den Vorteil, eine tatsächlich auftretende Kraft, nämlich die Belastung einer Gleitstelle, vor sich zu haben. Durch Verdopplung der Zahlenwerte kann jederzeit die Vergleichsmöglichkeit mit dem amerikanischen Muster hergestellt werden.

Bei der Durchführung der Versuche wurde zunächst nach amerikanischem Vorbild entsprechend der Bedienungsanleitung verfahren. Es wird dabei ein Vorversuch von 15 Minuten Dauer durchgeführt, der den Zweck hat, das Gerät auf die Betriebstemperatur zu bringen. Dann werden neue Prüfelemente eingebaut und neues Öl eingefüllt. Der Versuch beginnt mit einer Belastung von  $S = 112,5$  kg auf eine Dauer von 3 Minuten, (s. Bild 7), dann wird von Minute zu Minute die Belastung gesteigert, bis ein Betrag von 340 kg erreicht ist. Von da an bleibt die Belastung konstant, und es werden im Abstand von 6 Minuten Messungen vorgenommen. Bestimmt wird Öltemperatur, Drehzahl, Drehmoment und Verschleiß. Die Messung des letzteren geschieht folgendermaßen:

Der Abrieb verursacht eine Entlastung der Prüfelemente, sodaß zur Erhaltung gleichen Druckes die Feder durch Verstellen des Belastungsrades immer wieder neu

9348/1

gespannt werden muß. Die Verdrehung des Belastungsrades ist ein Maß für den Verschleiß und man erhält so eine Möglichkeit der laufenden Messung desselben. Nach 63 Minuten ist der Versuch beendet, die Prüfelemente werden ausgebaut und an diesen die Länge  $l$  (s. Bild 6) bestimmt. Die Verkürzung dieses Maßes ( $\Delta l$ ) gegenüber der vor Beginn des Versuches festgestellten Länge stellt den genauen Wert dar und bildet eine Kontrolle der laufenden Messungen. Die von den Amerikanern eingeführte und in der Betriebsanleitung festgelegte Versuchsmethode setzt voraus, daß der Schmierstoff bei dieser hohen Belastung einen Dauerversuch von einer Stunde überhaupt zuläßt, ohne an den Prüfelementen Fressen zu erzeugen. Da sich gezeigt hat, daß die Mehrzahl der in Deutschland üblichen Getriebeöle dieser Beanspruchung nicht gewachsen ist, wurde die Versuchsbedingung entsprechend abgeändert. Anstelle der Dauerbelastung von  $S = 340$  kg trat eine solche von 150 kg, die ebenfalls wie nach Betriebsvorschrift in den ersten 6 Minuten erreicht wurde (s. Bild 7). Diese Versuchsmethode erwies sich jedoch ebenfalls nicht als vollbefriedigend, sodaß noch ein dritter Weg beschritten wurde. Hierbei wurde mit einer stufenweise zunehmenden Belastung gearbeitet. Der Versuch begann mit 50 kg, dann wurde die Belastung von Minute zu Minute um rund 12,5 kg gesteigert, was jeweils einer Meßuhranzeige von 0,05 mm entspricht. Man erhält so die Belastung bei der an den Prüfelementen Fressen eintritt. Bei jeder Belastungsstufe wird das Drehmoment abgelesen, aus dem sich dann die Reibungszahl errechnen läßt. Auf diese Weise konnte für jedes Öl eine Bewertung erhalten werden.

## 2.) Vierkugelmachine:

Über Aufbau und Wirkungsweise des Vierkugelapparates der Rhenania-Ossag gibt die Beschreibungs- und Bedienungsanleitung dieser Firma nähere Auskunft. Es werden nach dieser Methode bei verschiedenen Belastungen Läufe von einer Minute Dauer ausgeführt und hernach die Durchmesser der an den drei unteren Kugeln entstehenden Kalotten ausgemessen. Von einer bestimmten Belastung an tritt Verschweißen der Kugeln ein. Diese Schweißbelastung wird für jedes Öl ermittelt.

## 3.) Almen-Wielandmaschine:

Die Almen-Wielandmaschine arbeitet mit Lager aus weichem Einsatzstahl und mit einer Welle von 6,3 mm  $\phi$  aus ungehärtetem Werkzeugstahl. Das Lagerspiel beträgt 0,2 mm. Die Lager werden auf hydraulischem Wege gegen die Welle gedrückt,

die mit 200 U/min umläuft. Die Belastung wird durch auflegen von Gewichten stufenweise nach je einer halben Minute gesteigert, bis die Grenze der Belastbarkeit der Maschine erreicht ist oder bis "Fressen" an den Lagern eintritt. Bei jeder Belastungsstufe wird die Reibungskraft am Wellenumfang gemessen und daraus die Reibungszahl errechnet. Nähere Beschreibung der Almen-Wielandmaschine finden sich in den Druckblättern der Optimol-Gesellschaft, außerdem in der Literatur. +)

#### 4.) Gegenüberstellung der drei Geräte.

Mit diesen drei Geräten wurden Vergleichsversuche vorgenommen. Die besonders charakteristischen Merkmale dieser Apparate sind in Bild 8 übersichtlich dargestellt. Man kann daraus entnehmen, daß die Falxmaschine sich in jeder Hinsicht zwischen Almen-Wielandmaschine und Vierkugelapparat einordnet. Die Almen-Wielandmaschine arbeitet mit den kleinsten Gleitgeschwindigkeiten, mit dem weichsten Werkstoff und mit den kleinsten spez.Flächendrücken. Die Versuchsbedingungen der Vierkugelmaschine liegen gerade entgegengesetzt. Diese starken Unterschiede führen dazu, daß zwischen beiden Geräten nur sehr mangelhafte Übereinstimmung festgestellt werden kann. Die Tatsache, daß die Betriebsbedingungen des Falxprüfers gerade zwischen denen der beiden anderen Geräten liegt, gibt vielleicht die Möglichkeit, die fehlende Verbindung herzustellen und die Ursache der schlechten Übereinstimmung aufzuklären.

#### 5. Versuchsergebnisse.

Folgende Schmierstoffe wurden geprüft:

Schmierstoff	Zähigkeit est		V J
	38°C	99°C	
Valvoline Hypoid-Getriebeöl Nr.362	256,5	17,2	73
Veedol Hypoid-Getriebeöl Nr.363	561	42,5	119
Wehrm.-Einheitsöl Nr.1057 + 10% Chlophen Nr. A 30	96	8,8	43
Getriebeöl der Wehrm. Winter Nr.1032	132,0	10,6	48
Rotring Eichöl Nr.891	245,3	18,7	92
Rüböl	56,9	10,60	144

+ ) Kadmer, Schmierstoff und Maschirenschmierung.

9379/1

Zunächst wurden die zu prüfenden 6 Öle nach der in der Betriebsanleitung vorgeschriebenen Methode untersucht. Dieses Prüfverfahren konnte jedoch nur bei 3 Ölen angewandt werden. Die anderen ergaben schon vor Erreichen der vorgeschriebenen Prüflast Fressen an den Prüfelementen. Die Ergebnisse in Bild 9, 10, 11 und 12 zeigen eine gute Unterscheidungsmöglichkeit zwischen den 3 Schmierstoffen. Die Streuung, die beobachtet wird, ist nicht größer als bei anderen Prüfmaschinen ähnlicher Art. Die Zunahme der Öltemperatur nach (Bild 9) Beginn der eigentlichen Messung ist noch ziemlich beträchtlich. Der Beharrungszustand ist trotz der Anfahrzeit von 18 Minuten also noch nicht erreicht. Hierauf dürfte wohl das Absinken des Reibungsmoments zurückzuführen sein. Der Verschleiß der Prüfelemente, der sich aus der während des Versuches zugestellten Zähnezahl ergibt, (Bild 11), ist in allen Fällen kleiner als die durch unmittelbare Messung sich ergebenden Werte (Bild 12). Dies ist darauf zurückzuführen, daß bereits zu Beginn der eigentlichen Messung, also während der ersten 18 Minuten, Verschleiß eintritt, der aber hierbei nicht mitgemessen wird. Da auf diese Weise nur besonders geartete Schmierstoffe geprüft werden können, wurde nunmehr bei der niederen Dauerbelastung von  $S = 150$  kg geprüft. Nach dieser Methode wurden 4 Öle untersucht, von denen eines, nämlich Wehrmacht-Getriebeöl (Winter) (Nr. 1032), wegen vorzeitigem Fressens ausfiel. Die Ergebnisse sind auf Bild 13, 14, 15 und 16 dargestellt und sind besonders bemerkenswert durch die sich ergebenden Bewertungen der Öle. Es fällt z.B. auf, daß Rotring-Öl, ein gewöhnliches Flugmotorenöl, hinsichtlich Reibung, Verschleiß und Betriebstemperatur, besser bewertet wird als Valvoline Hyp.-Getr.-Öl. Ebenso erscheint es sehr merkwürdig, daß das Wehrmachts-Getriebe-Öl (Winter) überhaupt versagt. Es erscheint daher angebracht, sowohl diese Versuchsmethode als auch die Originalmethode mit den Ergebnissen anderer Prüfmaschinen zu vergleichen. In Bild 17 sind die Ergebnisse der Vierkugelmachine mit diesen 6 Ölen dargestellt. Darnach wird Valvoline-Getr.-Öl als bestes Hochdruckschmiermittel bewertet, in kurzem Abstand folgt Veedol-Hyp.-Getr.-Öl, während Wehrm.-Einh.-Öl + 10% Clophen A 30 keinerlei Hochdruckeigenschaften zeigt. Nach den Ergebnissen des Falxprüfers müßten diese Öle nach der Originalversuchsmethode gerade in der umgekehrten Reihenfolge bewertet werden (s. Bild 9 bis 12). Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Ölen, die bei niedriger Dauerlast geprüft wurden. Während das Wehrm.-Getr.-Öl (Winter) im Falxölprüfer völlig versagte, zeigt es in der Vierkugelmachine beachtliche Hochdruckeigenschaften und ist sowohl dem Rotring als auch dem Rüböl überlegen.

Weiterhin kann man beobachten, daß das Öl mit den besten Hochdruckeigenschaften, nämlich Valvoline-Hyp.-Getr.-Öl auch bei dieser Prüfmethode in der Falxmaschine hinsichtlich Temperatur, Reibung und Verschleiß, ungünstig abschneidet. Da sich die Ergebnisse zwischen Vierkugelmachine und Falx-Ölprüfer allzu stark widersprechen, wurde versucht, durch Änderung der Versuchsbedingungen am Falxölprüfer eine Verbesserung in dieser Hinsicht zu erzielen.

Nach dieser Methode wurde nicht mit gleichbleibender Dauerlast, sondern ähnlich wie bei der Almen-Wielandmaschine, mit stufenweise zunehmender Belastung gearbeitet. (s. Bild 7). Nach diesem Verfahren lassen sich Ergebnisse nach Bild 18 und 19 erzielen; der Vorteil dieses Verfahrens besteht vor allem darin, daß jedes Öl geprüft werden kann. Die Bewertung erfolgt durch die gemessene Reibungszahl und vor allem durch die Belastung, bei der Fressen eintritt. Allerdings ist hierbei die Streuung ziemlich groß, eine Tatsache, mit der bei solchen Messungen immer gerechnet werden muß. Die Reibungszahlen liegen auffallend niedrig. Bei Valvoline Hyp.-Getriebeöl sind starke Schwankungen in der Reibungsanzeige zu beobachten. Dies dürfte vermutlich auf das Ablösen von Metallteilchen, das periodenweise erfolgt, zurückzuführen sein. Nach diesem Verfahren ergaben die beiden Hypoid-Getr.-Öle und Wehrm.-Einh.-Öl + Zusatz kein Fressen. Zieht man noch die Reibungszahl zur Bewertung heran, so müssen Veedol-Hyp.-Getr.-Öl und Wehrm.-Einh.-Öl + 10% Clophen A 30 am besten bewertet werden, dann folgen Valvoline Hyp.-Getr.-Öl, Rüböl, Rotring Sichelöl und zuletzt Wehrm.-Getr.-Öl (Winter).

Man sieht also, daß auch nach dieser Methode keine Ähnlichkeit zu den Ergebnissen an der Vierkugelmachine festgestellt werden kann. Dagegen besteht eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Wielandmaschine, die im Bild 20 und 21 dargestellt sind. Mit Ausnahme von Rüböl, das in der Wielandmaschine sich am günstigsten verhält, bleibt die Gütereihenfolge erhalten.

#### D. Zusammenfassung.

Man kann folgende Regel als geltend betrachten. Milde Hochdruckschmiermittel, wie z.B. Pflanzenöle, verhalten sich unter den Bedingungen der Almen-Wielandmaschine ausgezeichnet. Hoch- und Höchstdruckschmiermittel führen z.T. zum Fressen und ergeben zum mindesten hohe Reibungszahlen; sie zeichnen sich also nicht besonders aus. Beim Übergang auf die Falxmaschine nach der letzten beschrie-

9 380/

benen Methode treten die günstigen Eigenschaften der Hypoidöle etwas stärker hervor, während Rüböl, bei dem Fressen eintritt, schlechter bewertet wird. Während der Sprung von der Wielandmaschine zur Falexmaschine klein ist, hat der Übergang von der Falexmaschine zur Vierkugelmachine eine starke Verschiebung der Bewertungsskala zur Folge. Die Hoch- und Höchstdruckzusätze zeigen erst hier ihre volle Wirkung; das erkennt man aus den ausgezeichneten Ergebnissen der beiden Hypoidöle und in der Tatsache, daß nun auch Wehrmachtsgetriebeöl in den Vordergrund tritt. Milde Hochdruckmittel, wie Rüböl oder Clophen, verlieren hier ihre Wirkung. Zusatzfreie Mineralöle, wie z.B. Rotring Eichöl, zeigen, wie erwartet, in keinem der drei Geräte besonders günstiges Verhalten. Die Ursache dieser stark abweichenden Ergebnisse liegt nicht nur in den verschiedenen Versuchsbedingungen, wie Gleitgeschwindigkeit, spez. Flächendruck usw. begründet, sondern vor allem in der Verwendung verschiedener Werkstoffe. Wie in Bericht Nr.548 gezeigt wird, ist es gerade bei Hochdruckzusätzen (z.B. Schwefelverbindungen) nicht gleichgültig, ob ungehärteter oder gehärteter Stahl verwendet wird. Milde Zusatzstoffe, wie Pflanzenöle, verhalten sich auch bei Höchstbelastung günstig, wenn als Werkstoff ungehärteter Stahl, Gußeisen u.ä. Verwendung finden, sie versagen aber gegenüber gehärtetem Stahl. Bei Hypoidölen liegen die Verhältnisse entgegengesetzt. Die Verschiedenheit des Werkstoffs der Prüfelemente der 3 Maschinen ist daher bei ihrer Beurteilung von großer Wichtigkeit.

Um ein Urteil zu gewinnen, welche von diesen drei Prüfmaschinen für die Bewertung von Getriebschmiermitteln am geeignetsten ist, muß man sich über die Abnutzung an Zahnradflanken im klaren sein. Man kann drei Verschleißerscheinungen an Zahnrädern beobachten, nämlich Grübchenbildung, Metallabtragung und Fressen. Die Grübchenbildung soll hier außerhalb der Betrachtung bleiben, da mit den drei Prüfmaschinen, die nur mit reiner Gleitreibung arbeiten, ein solcher Effekt nicht erzielt werden kann. Die Metallabtragung erfolgt langsam und stetig und hinterläßt glatte technisch noch brauchbare Flächen. Wesentlich gefährlicher ist der Verschleiß durch Fressen. Er tritt ein bei hoher Belastung des Getriebes, hinterläßt stark zerrissene und zerklüftete Zahnflanken und führt zu einer raschen Zerstörung der Zahnräder. Das Fressen ist also die wesentlich unangenehmere Verschleißform, sodaß man sich bemüht, diese durch Verwendung von Hochdruckschmiermitteln zu vermeiden. Ihre Wirkung beruht wahrscheinlich darauf, daß sie unter der hohen thermischen Beanspruchung an der Schmierstelle mit dem Metall chemisch reagieren; es bilden sich vermutlich Metallsalze, die durch Reibung entfernt werden und immer wieder neu entstehen. Die so ständig vorhandene Schutzschicht verhindert zwar ein Fressen, muß aber zu einer erhöhten Metallabtragung führen. Mit

anderen Worten: Der Verschleiß durch Pressen wird, als das größere Übel, durch Verschleiß in Form von stetigem Metallabtrag ersetzt. Dieser Metallabtrag ist auch dann vorhanden, wenn das Getriebe niedriger belastet ist. Hochdruckschmiermittel, wie Hypoid-Getriebeöle, werden sich daher bei niedriger Belastung hinsichtlich Abrieb schlechter verhalten als Schmierstoffe ohne solche Zusätze. Aus diesem Grund werden in der Faalexmaschine nach der Originalmethode gerade die Öle schlecht bewertet, die in der Vierkugelmachine gute Hochdruckeigenschaften zeigen. Man kann hier annähernd ein reziprokes Verhältnis feststellen. Die Faalexmaschine nach der Originalmethode setzt ein bestimmtes Mindesthochdruckverhalten voraus. Von den Schmierstoffen, die den Bedingungen genügen, wird aufgrund des Dauerlaufes dasjenige Öl als Bestes bewertet, das die geringste Reibungszahl, die niedrigste Temperatur und den geringsten Verschleiß liefert. Gegen dieses Verfahren ist nichts einzuwenden, wenn der Beweis erbracht wird, daß dieses Mindesthochdruckverhalten dasselbe ist, wie es auch ein Zahnradgetriebe verlangt. Es bestehen aber schon große Differenzen beim Vergleich zwischen Vierkugelmachine und Faalexölprüfer, sodaß zu vermuten ist, daß auch zwischen Faalexölprüfer und dem praktischen Fall große Unterschiede in der Bewertung auftreten werden. Diese Annahme gründet sich vor allem darauf, daß der Werkstoff der Prüfelemente bei der Faalexmaschine mit dem der Zahnräder nicht übereinstimmt. Daher erscheint die Vierkugelmachine als geeigneteres Prüfgerät für Hochdruckschmieröle. Die Almen-Hielandmaschine scheidet in dieser Hinsicht vollkommen aus. Ein weiterer Vorteil der Vierkugelmachine ist die leichte Beschaffungsmöglichkeit und die große Gleichmäßigkeit der Prüfelemente. Der Vorwurf, daß die Vierkugelmachine mit übermäßig hohen Belastungen arbeitet, mag vielleicht bei der hier gewählten Methode der Rhenania-Ossag seine Berechtigung haben, es ist jedoch möglich, durch Veränderung der Drehzahl und der Gewichtsbelastung die thermische und mechanische Beanspruchung an der Schmierstelle zu senken.

Drehzahlmesser

Bild 1

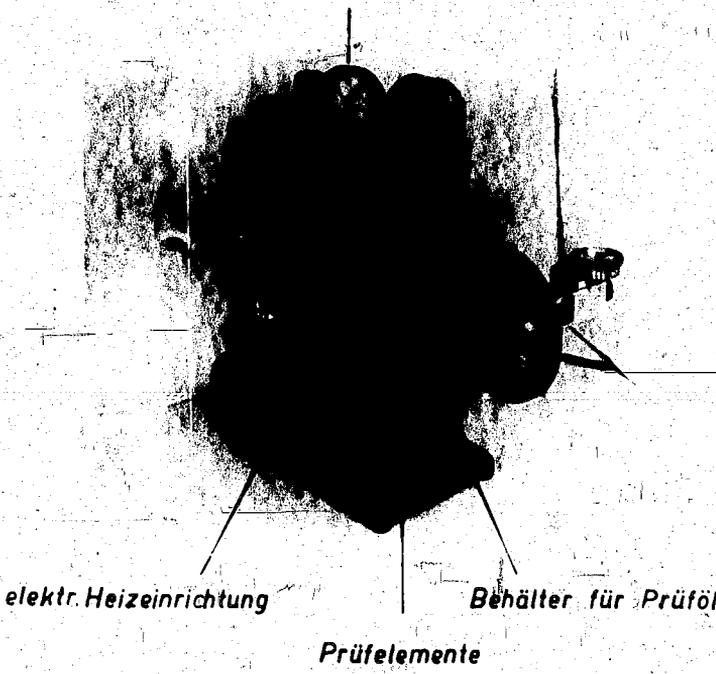


Bild 2

Belastungs-  
arme

Manometer

Belastungs-  
einrichtung

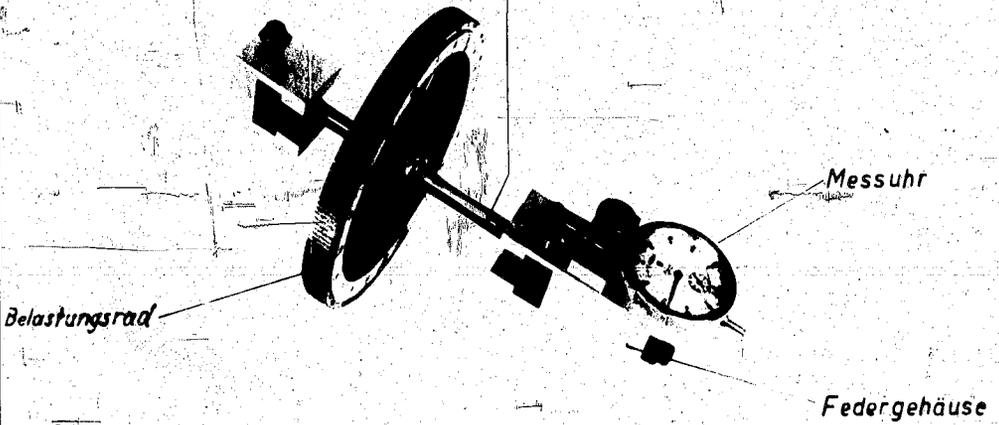
Druckdose

Ansicht des Falaxölprüfers

9382

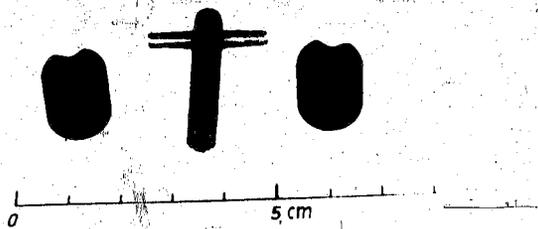
Zugstange

Bild 3



Belastungseinrichtung

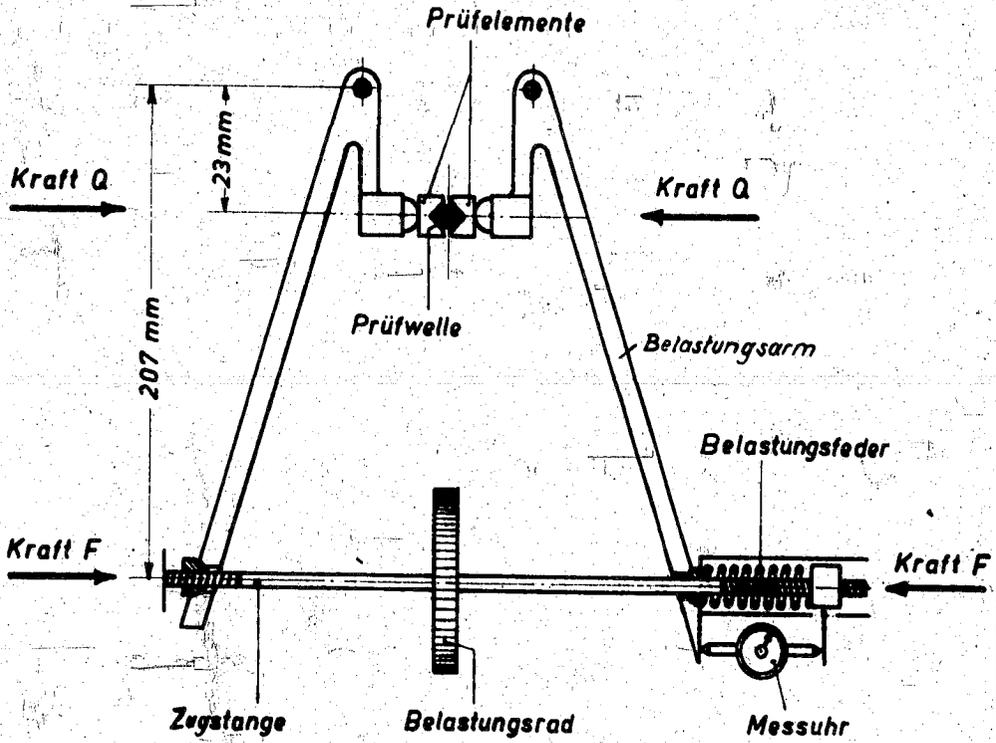
Bild 4



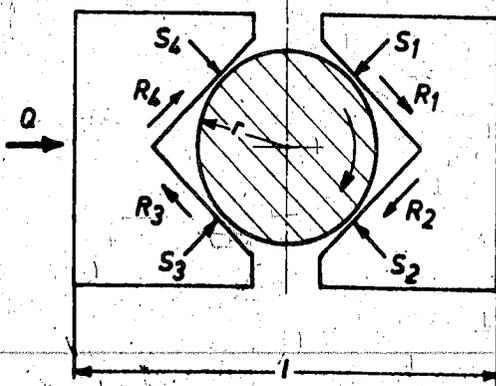
Prüfelemente

9383

### Kräfteverteilung an den Belastungsarmen Bild 5



### Kräfteverteilung an den Prüfelementen Bild 6



Normalkräfte

$$S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = \frac{Q}{2} \cdot \sqrt{2}$$

$$S_1 + S_2 = S_3 + S_4 = Q\sqrt{2} = P$$

Reibungskräfte

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \frac{Q}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \mu$$

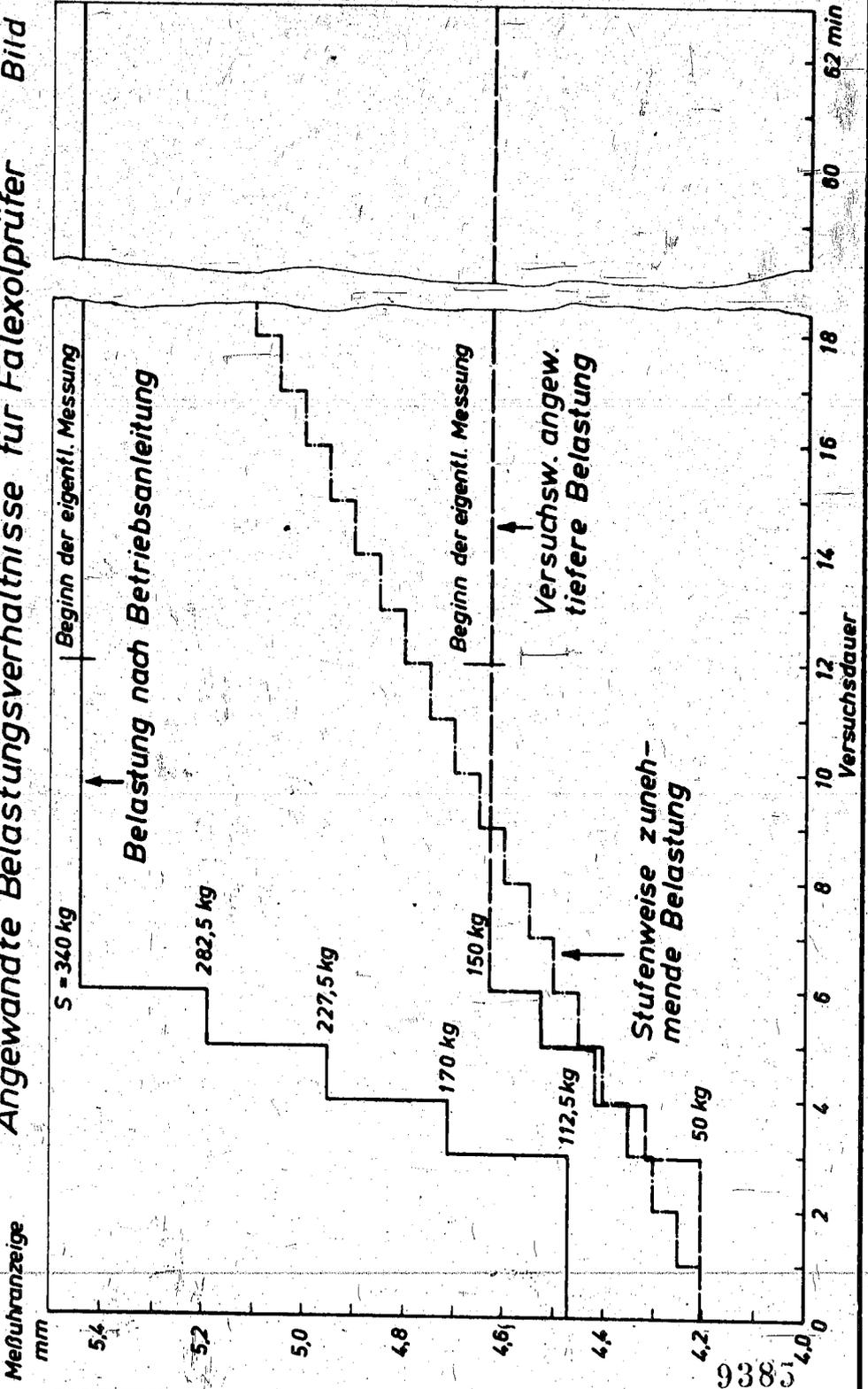
Gesamtdrehmoment

$$M_{\text{ges}} = 2Q \cdot \sqrt{2} \cdot \mu \cdot r$$

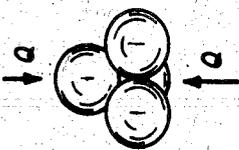
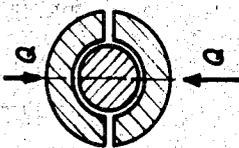
$$= 2 \cdot P \cdot \mu \cdot r$$

$$= 4 \cdot S \cdot \mu \cdot r \cdot 938i$$

Angewandte Belastungsverhältnisse für Falexölprüfer Bild 7



Charakteristische Werte der drei Prüfmaschinen Bild 8



Almen-Wielandmaschine

Vierkugelmaschine

Falexölprüfer

Dim.

Drehzahl

U/min

Gleitgeschwindigkeit

cm/s

Vickers-Härte der ruhenden Teile

kg/mm<sup>2</sup>

Vickers-Härte der bewegten Teile

kg/mm<sup>2</sup>

Höchstbelastung Q<sub>max</sub>

kg

Durchschnittl. Betriebsbelast. Q<sub>mittel</sub>

kg

mittlerer spez. Flächendruck p

kg/cm<sup>2</sup>

durchschnittl. spez. Flächendruck

kg/cm<sup>2</sup>

für Q = Q<sub>mittel</sub>

200

1450

330

6,6

55,7

10,4

150

750÷850

730÷850

170

750÷850

240÷300

1600

1200

~ 1000

~ 800

~ 200

~ 200

$\frac{Q}{0,596} \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \sqrt{Q}}$

1150<sup>\*)</sup> [2830]

$7000 \sqrt[3]{Q}$

41000

$680 \sqrt{Q}$

9620

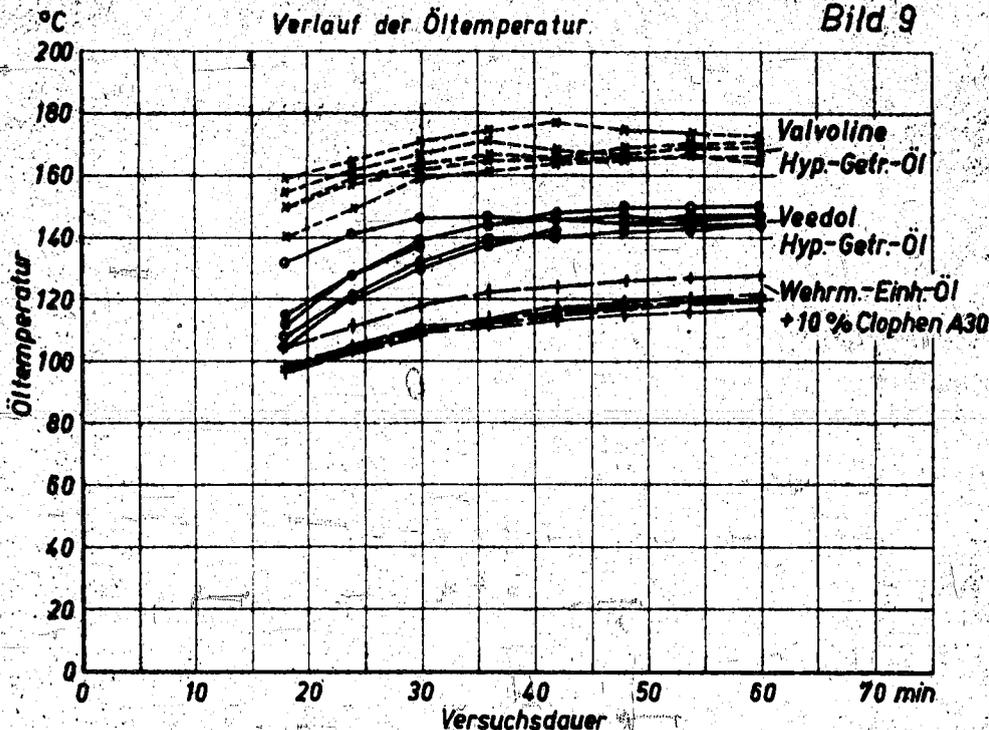
\*) Das Lagerspiel beträgt hier 0,2 mm bei einem Wellen  $\phi$  von 6,3 mm. Es erscheint fraglich, ob bei einem so großen Lagerspiel die Welle auf einer Breite von 6 mm trägt, wie es nach der Betriebsanleitung der Almen-Wielandmaschine angenommen wurde. Die nach Hertz errechneten Klammerwerten dürften den tatsächlichen Verhältnissen näher kommen.

9386

# Versuche im Falexölprüfer nach Betriebsanleitung

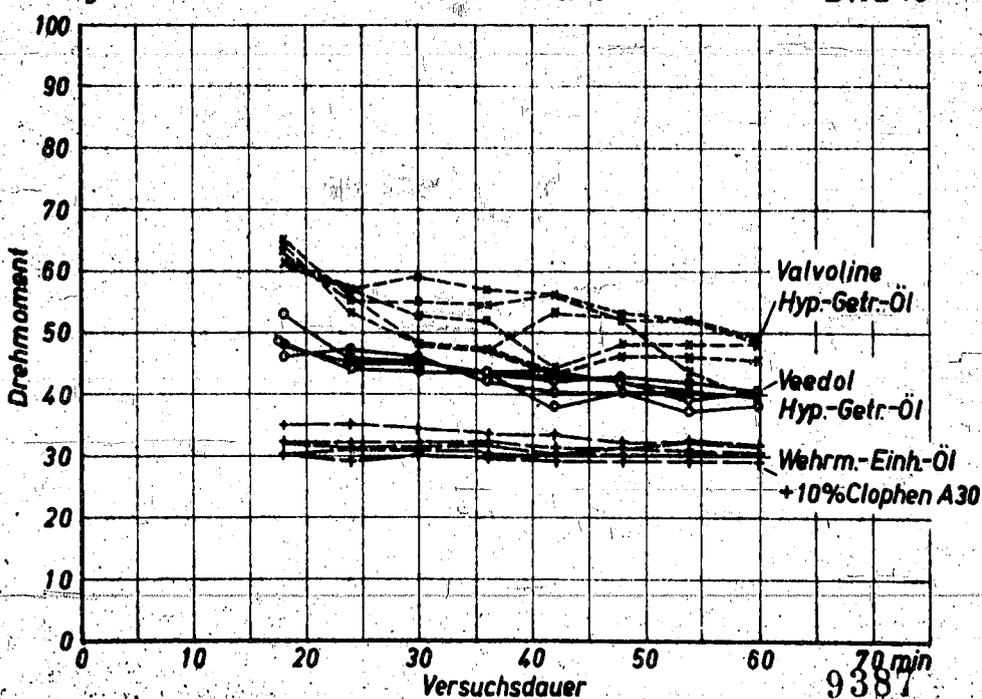
Verlauf der Öltemperatur

Bild 9



Verlauf des Drehmoments

Bild 10



# Versuche im Falexölprüfer nach Betriebsanleitung

Bild 11

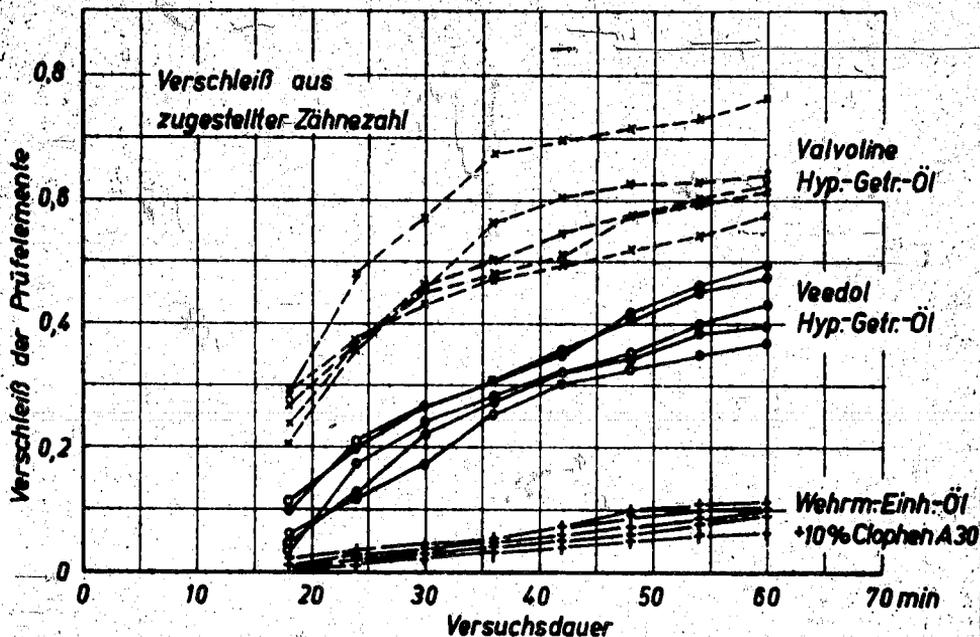
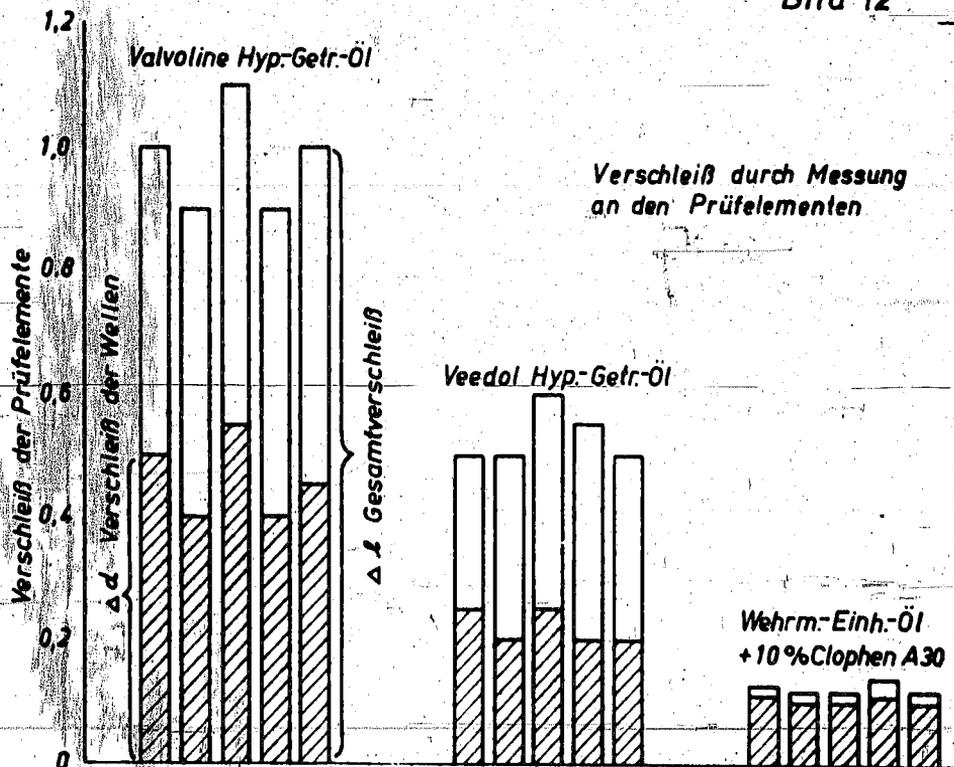


Bild 12



9388

Bild 13

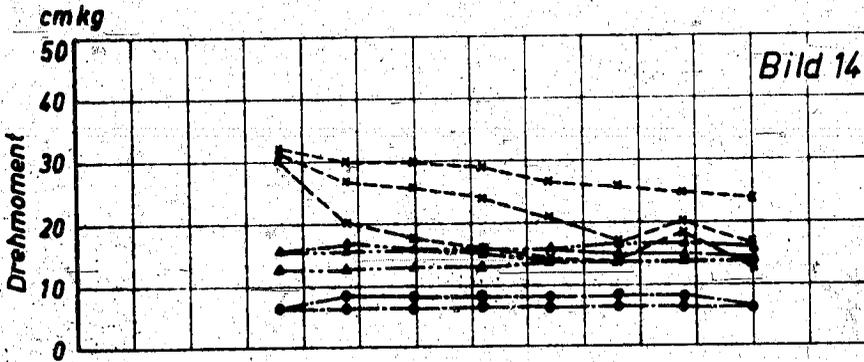
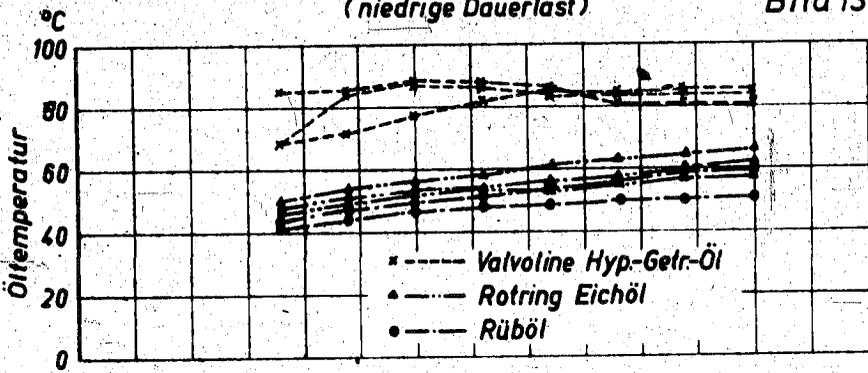


Bild 14

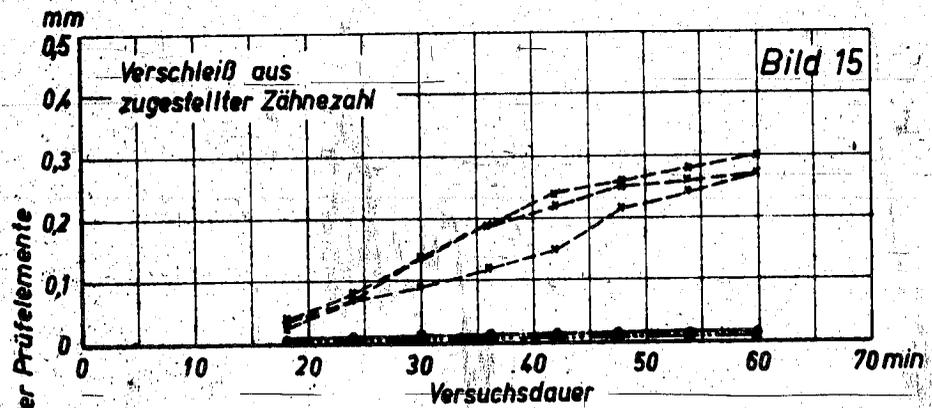


Bild 15

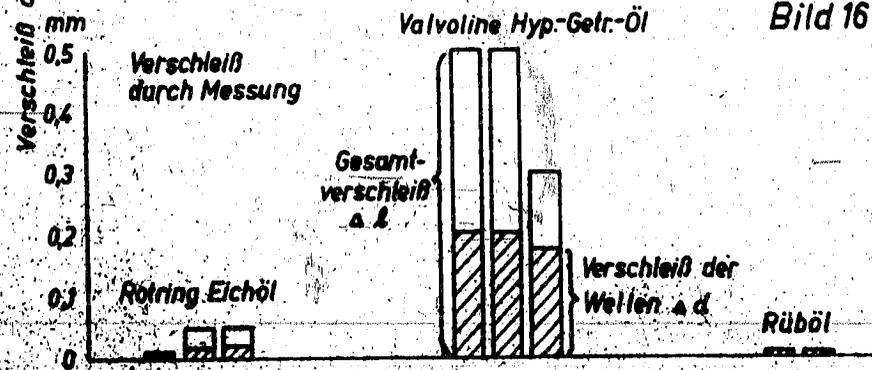
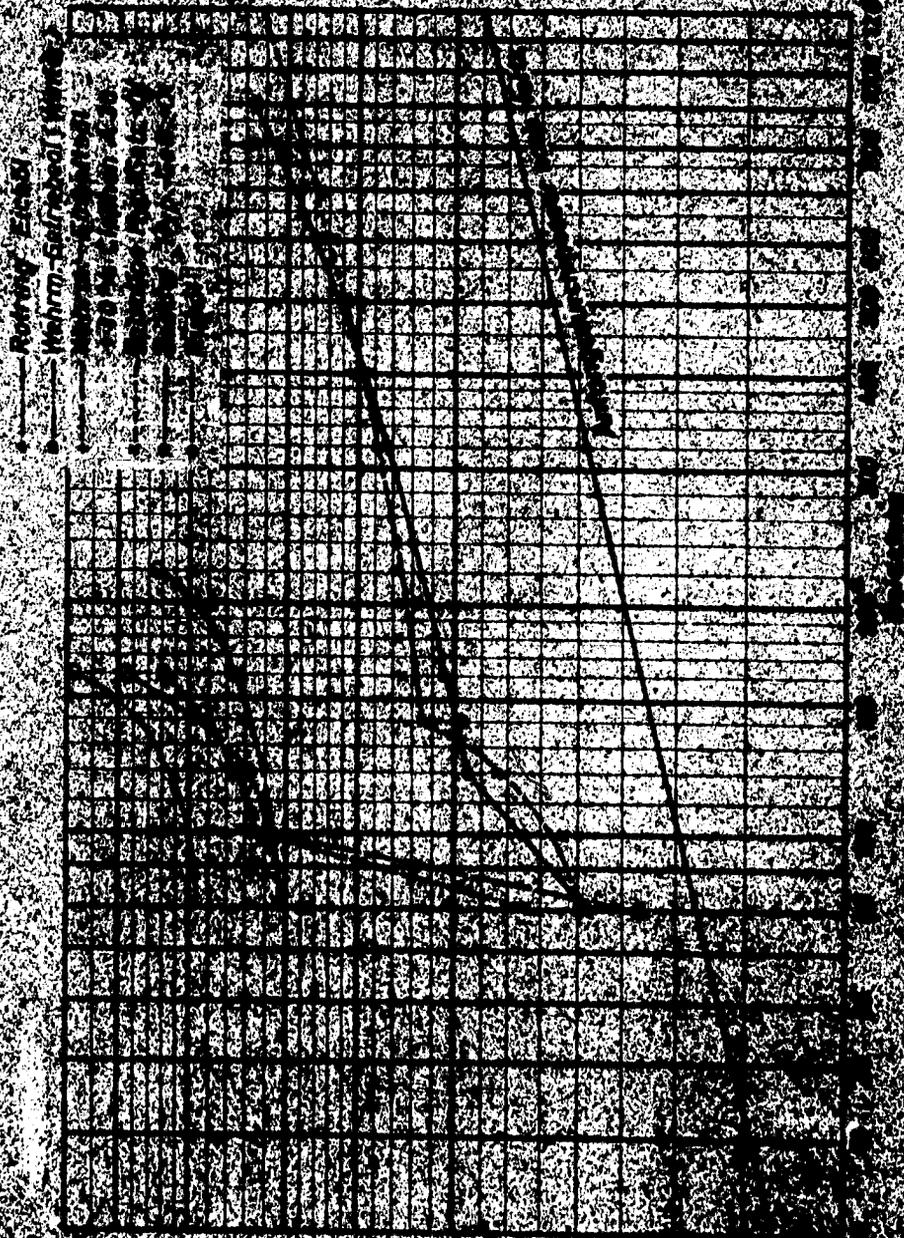


Bild 16

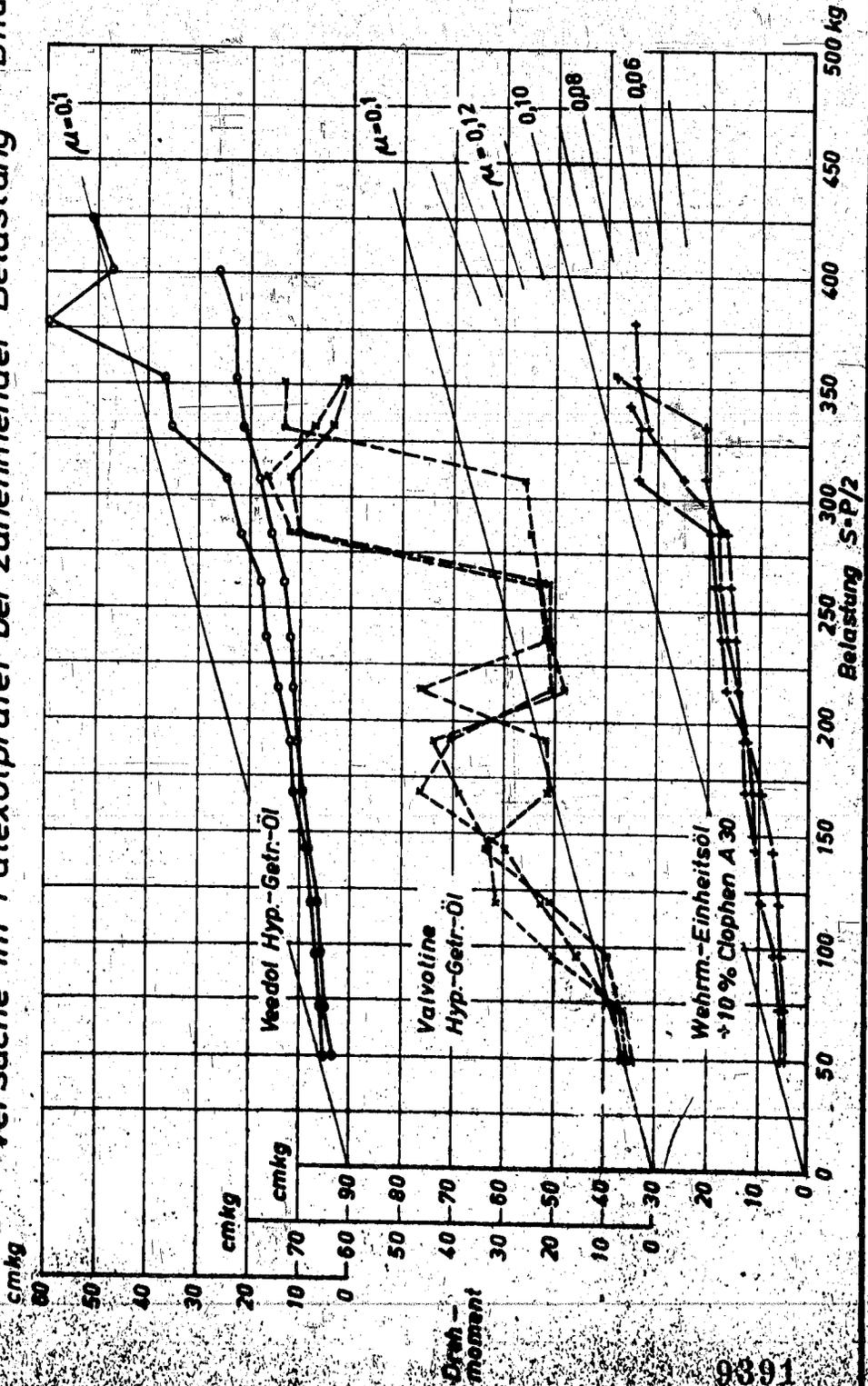
# Versuche in der Kugelmäschine

## Wahlverfahren: Röhren-Übung

### Verbrauchende durch Verschleiß

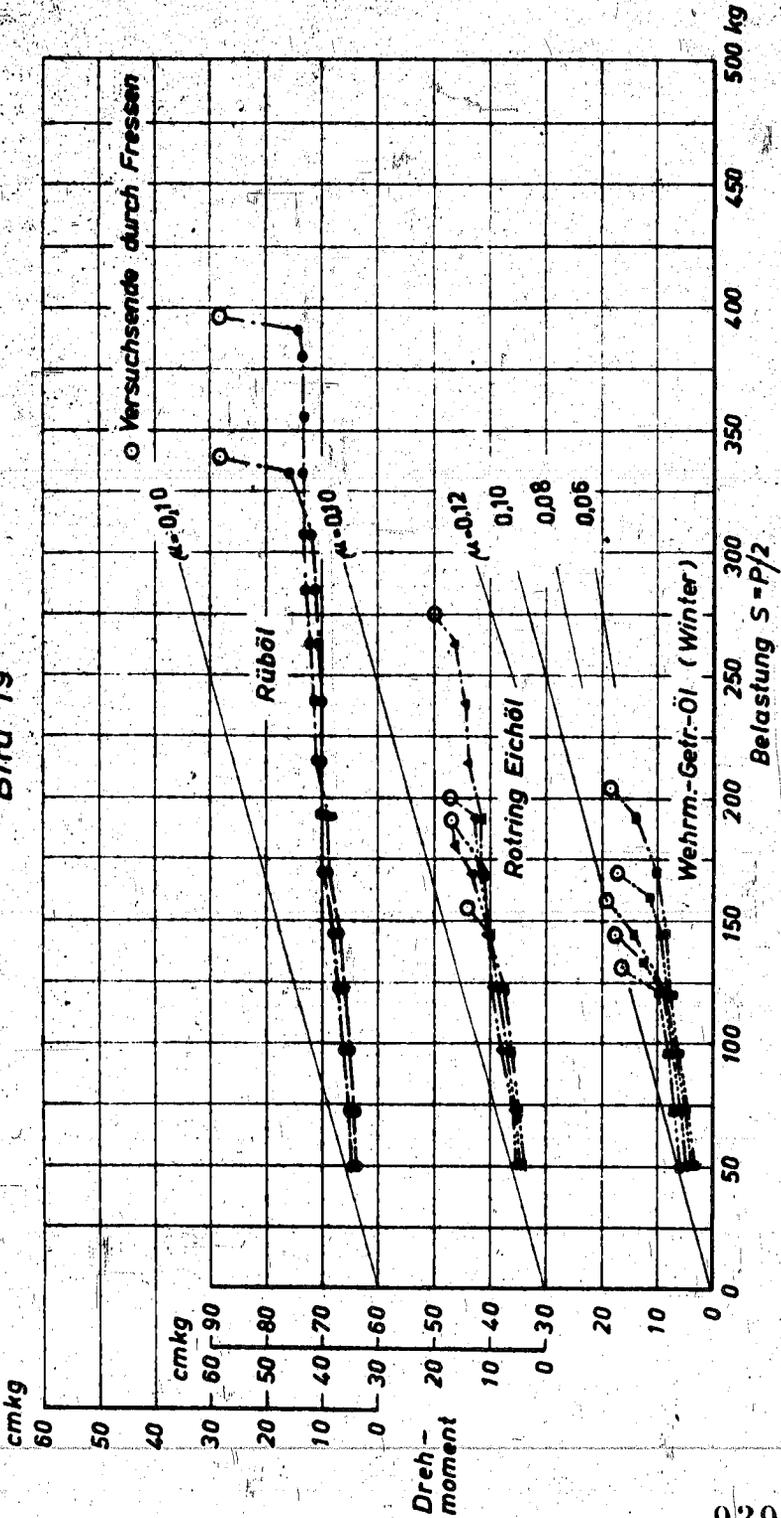


Versuche im Falexölprüfer bei zunehmender Belastung Bild 18



9391

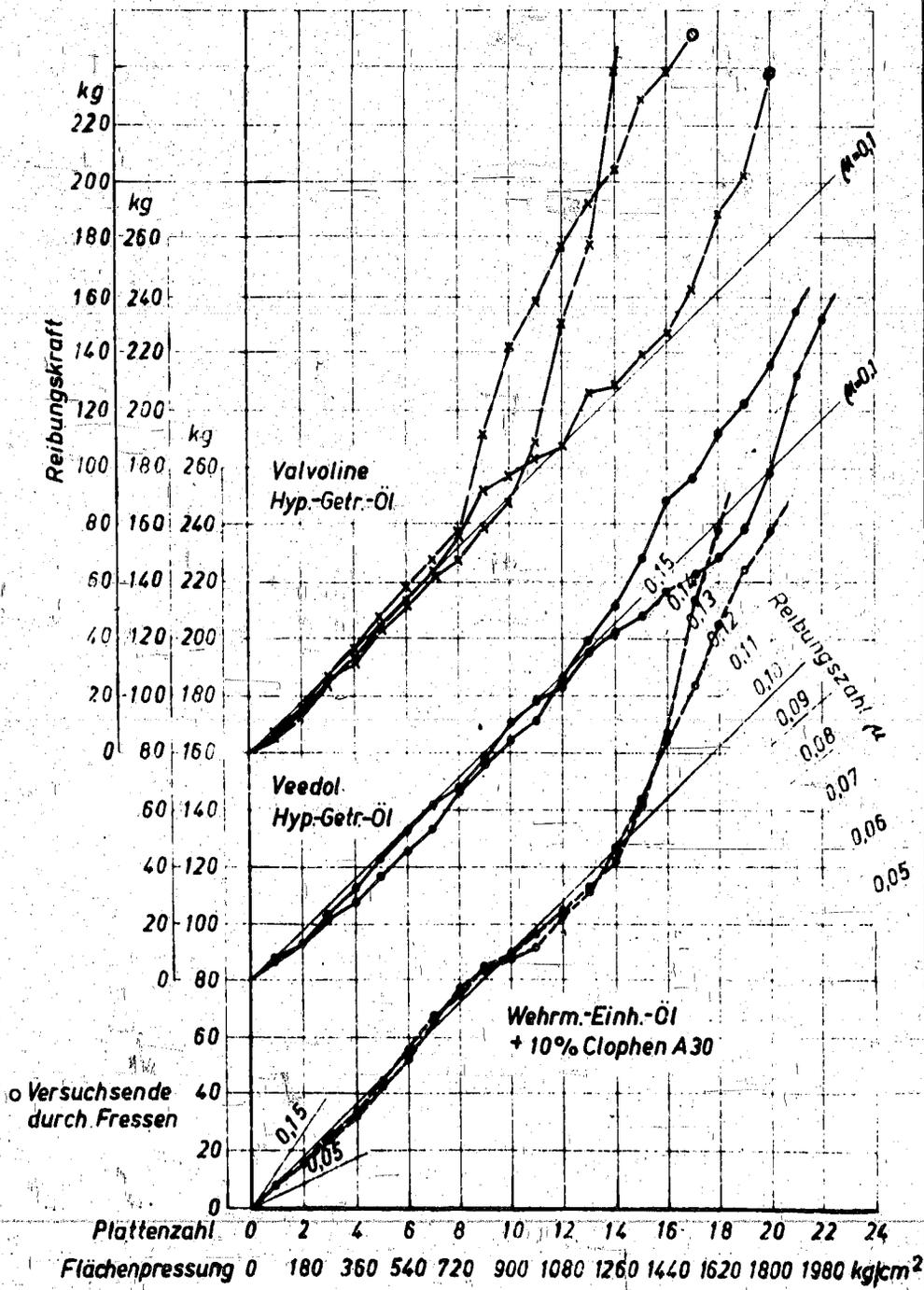
Versuche im Faalexölprüfer bei zunehmender Belastung  
Bild 19



9392

# Versuche in der Wielandmaschine

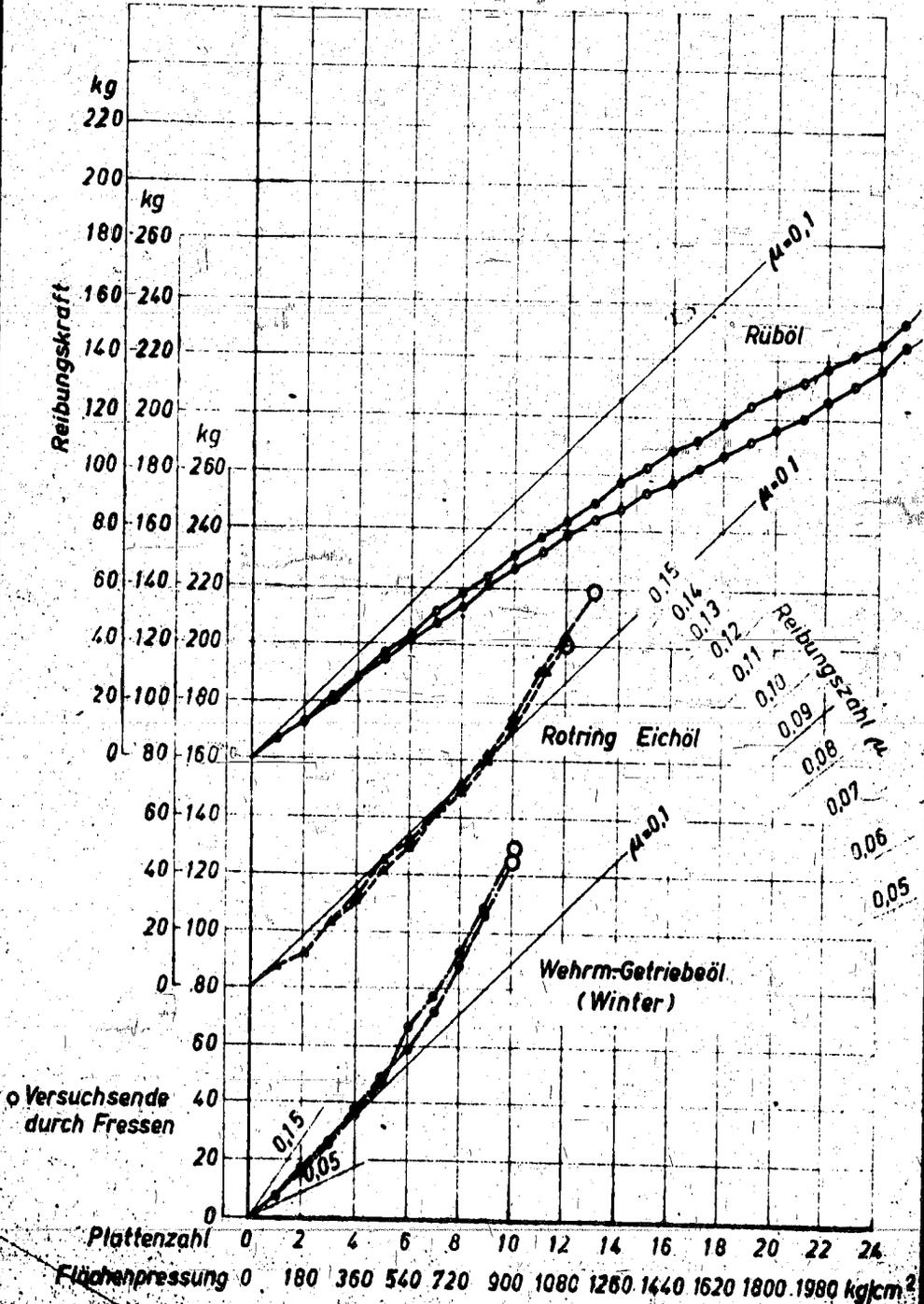
Bild 20



9393

# Versuche in der Wielandmaschine

Bild 21



9394