

BAG No. 3896

HANNOVER

7. REPORTS OF

LUBRICATING

CONFERENCES

Nur für den Dienstgebrauch

G 35

BAG Takt

3896 HANNOVER

Deutsche Luftfahrtforschung

Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 715

Versuche an einem Vierkugel-Ölprüfgerät

Krienke

Verfaßt bei

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.

Institut für Betriebsstoffforschung

Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalfliegermeisters (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.

Versuche an einem Vierkugel-Ölprüfgerät.

Übersicht: Zur Prüfung von Höchstdruck-Schmiermitteln entwickelte Boerlage ein Vierkugel-Ölprüfgerät. In der DVL wurde ein derartiges Gerät nachgebaut; die nachstehend beschriebenen Versuche sollten dessen Brauchbarkeit und Verwendungsbereich erproben.

Es wurden die Freßverzögerungszeiten und die Verschleißwerte eines reinen Mineralöles, eines Fettöles und des mit einem Schwefelzusatz versetzten Mineralöles ermittelt und dabei eindeutige und bemerkenswerte Unterschiede gefunden.

- Gliederung:
- I. Zweck der Versuche
 - II. Durchführung der Versuche
 - A. Prüfgerät und Prüfkörper
 - B. Prüfverfahren
 - C. Untersuchte Schmierstoffe
 - III. Ergebnisse der Versuche
 - A. Freßverzögerungswerte
 - B. Verschleißwerte
 - C. Deutung der Ergebnisse
 - IV. Zusammenfassung

Der Bericht umfaßt:

18 Seiten mit
8 Abbildungen

Institut für Betriebstofforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, *MV.*

Der Bearbeiter:

C.F. Krienke

C.F. Krienke

Berlin-Adlershof, den 25. März 1943

BSf 334/5,1

I. Zweck der Versuche.

Die Mehrzahl der vielen bekanntgewordenen Ölprüfgeräte arbeitet bei der Prüfung von Schmierstoffen unter Voraussetzungen, welche nicht geeignet sind, wiederholbare und einwandfreie Werte zu ergeben. Es ist dies zumeist auf die zahllosen, den Schmierzustand beeinflussenden Größen zurückzuführen, welche entweder in ihrer Bedeutung noch nicht erkannt sind oder mit den vorhandenen Mitteln nicht ausgeschaltet werden können.

Das von Boerlage bei der Bataaf'schen Petroleum Maatschappij in Delft für die Prüfung von Höchstdruckschmiermitteln entwickelte Vierkugelgerät (1) zeichnet sich dadurch aus, daß die Frage der Herstellung von gleichen, d.h. austauschbaren Prüfkörpern durch die Verwendung von Präzisions-Kugellagerkugeln verhältnismäßig gut gelöst ist. Auch die Beschaffungskosten dieser Prüfkörper dürften kaum zu unterbieten sein. Ferner ist durch die Lagerung einer angetriebenen Kugel auf drei festgeklemmten Kugeln eine ziemlich gut wiederholbare geometrische Form der Schmierstelle erreicht.

Diese Eigenschaften und andere Gründe hatten in der DVL zum Nachbau eines derartigen Vierkugelgerätes geführt, dessen Brauchbarkeit und Anwendungsbereich für die Prüfung von Schmierstoffen zu erproben war. Es sollten dabei auch Schmieröle ohne Hochdruckzusätze untersucht werden, obgleich bekannt war, daß die Arbeiten anderer Stellen mit diesem Prüfgerät bisher eigentlich nur bei der Prüfung von Ölen mit Hoch- oder Höchstdruckzusätzen bemerkenswerte und eindeutige Unterschiede ergeben hatten.

(1) G.D. Boerlage, Four ball testing apparatus for extreme-pressure-lubricants, Engineering, Bd.136 (1933) 14.Juli, S.46/47

II. Durchführung der Versuche.

A. Prüfgerät und Prüfkörper.

Das in der DVL gebaute und verwendete Vierkugelölprüfgerät enthält als Schmierstelle die Berührungspunkte bzw. Berührungsflächen von 4 Kugeln als Prüfkörper. Von diesen pyramidenförmig angeordneten Kugeln (Abb.1) werden 3 mittels eines konischen Klemmringes durch eine Überwurfmutter in einem Versuchstopf festgehalten, welcher auch zur Aufnahme des zu prüfenden Schmierstoffes dient. Die vierte Kugel wird in einem Futter festgeklemmt, welches über eine Spindel mit der Welle des antreibenden Elektromotors (Nennzahl $n = 1400$ U/min) fest verbunden ist. Die Abb.2 zeigt die wichtigsten Bauteile des Vierkugelgerätes.

Das den Motor tragende Gehäuse besitzt in seinem unteren Teile eine Führung für einen kolbenförmigen Bolzen, welcher mittels einer Hebelanordnung von unten her belastet werden kann. Derselbe gibt die Belastung nach oben an eine Bodenplatte weiter, welche wiederum den Versuchstopf mit den drei festgeklemmten Kugeln trägt. Der Belastungshebel erlaubt die Anwendung von konstanten Belastungen bei verschiedenen Hebelarmenlängen, sowie von einer veränderlichen, d.h. zunehmenden Belastung durch Aufnahme eines Belastungsbehälters, welcher für Wasserzulauf eingerichtet ist.

Die während des Prüflaufes auf den festgeklemmten Kugeln gleitende obere Kugel ergibt ein Reibungsmoment, welches den Versuchstopf und den daran befestigten Hebelarm zu verdrehen sucht, wobei letzterer wiederum das Moment auf eine Indikatorfeder überträgt. Die Längenänderung der Feder kann während des Prüflaufes in Abhängigkeit von der Zeit mittels eines Indikators aufgezeichnet werden.

Ein am Gehäuse verstellbar angebrachter Auslöseschalter wird durch einen am Versuchstopf sitzenden Stift betätigt, wenn das Reibungsmoment und damit die Verdrehung einen bestimm-

ten Wert erreicht hat. Durch Unterbrechung der Stromzufuhr wird dann der Antriebsmotor abgeschaltet und der Prüflauf beendet.

Bei den ersten Tastversuchen, mit dem in der DVL gebauten Vierkugelgerät hatte sich gezeigt, daß die Frage der Zentrierung der oberen Kugel auf den drei festgeklemmten Kugeln von ausschlaggebender Bedeutung ist. Es ist dies vor allem ein Problem der möglichst spielfreien Führung der antreibenden und völlig schlagfrei laufenden Spindel, sowie der möglichst vollkommenen Zentrierfähigkeit der festgehaltenen Kugeln, also des Kugeltopfes bzw. der Bodenplatte. Die erste Forderung wurde erfüllt durch eine geeignete Ausführung der Spindellagerung. Das Bestreben, der zweiten Anforderung zu genügen, führte nach einer Reihe von Versuchen zu der Erkenntnis, daß weder Führungs konstruktion noch sich irgendetwie einstellende Bauteile in der Lage sind, den Zentrierbewegungen zeitlich unmittelbar nachzukommen. Es wurde daher diejenige Bauform gewählt, welche dem Kugeltopf die weitestgehende seitliche Bewegungsfreiheit läßt.

Es kann hier vermerkt werden, daß an anderer Stelle in gleicher Erkenntnis dieser wichtigen Voraussetzungen die angeschnittenen Probleme auf eine andere Weise ebenfalls vollkommen gelöst worden sind. 1)

Als Prüfkörper wurden bei den zu besprechenden Versuchen Präzisionskugeln von 12,0 mm Durchmesser aus gehärtetem Wälzlager-Chromstahl benutzt, deren Rockwellhärte etwa 65 beträgt. 2)

Die Abb. 3 zeigt das in der DVL gebaute Vierkugelgerät vor Beginn eines Prüflaufes.

B. Prüfverfahren.

Das Vierkugelgerät soll nach Ansicht seiner Erfinder geeignet sein, Höchstdruckschmiermittel zu prüfen. Da diese Schmiermittel vor allem das Auftreten von Freßerscheinungen verhindern sollen, wurde von ihnen als Meßgröße diejenige Be-

- 1) bei der Fa. Rhenania-Ossag, Hamburg
- 2) von der Firma Kugelfischer, Schweinfurt

lastung bei stufenweiser Erhöhung ermittelt. Bei weicherer Belastung tritt zum ersten Male innerhalb einer Minute eine sehr starke und plötzliche Reibungs- und auch Verschleißzunahme, d.h. Fressen, eintritt. Dieses Verfahren wurde verfeinert, indem während des Einminutenlaufes das Reibungs-Zeitdiagramm aufgenommen und aus ihm die Zeit bis zum Anstieg des Reibungsbeiwertes entnommen wird. Diese sogenannte Freßverzögerungszeit ergibt, in Abhängigkeit von der Belastung aufgetragen, eine dem geprüften Schmierstoff kennzeichnende Kurve.

Außerdem wird nach dem Laufe die Größe der Verschleißkalotten bestimmt und auch diese unter Berücksichtigung der Abhängigkeit von der Belastung bewertet.

Bemerkenswert ist noch, daß bei den Messungen erst die Last aufgebracht und dann der Motor auf seine Drehzahl gebracht wurde, um nach einer Minute wieder abgeschaltet zu werden.

Die in gleicher Weise in der DVL durchgeführten Versuche ergaben sehr große Streuungen. Da angenommen wurde, daß dies z.T. auf die schlechte Wiederholbarkeit des Vorganges beim Anfahren, d.h. auf das fast ruckartig beginnende Aufeinandergleiten der infolge der hohen spezifischen Flächenpressung verformten Stahlkugeln zurückzuführen sei, wurde eine Versuchsreihe gefahren, während der die Last bei laufender Kugelführung aufgebracht wurde. Das Streufeld war hierbei etwas schmaler geworden und daher wurde dieses Verfahren für alle hier beschriebenen Versuche beibehalten.

Ferner ergaben sich bei den Ausmessungen der Verschleißkalotten nach Einminutenläufen Werte, welche so überaus stark streuten, daß sie keine kurvenmäßige Auswertung erlaubten. Daher wurde in der DVL der Lauf nur bis zum Freßbeginn durchgeführt unter Benutzung des bereits erwähnten Auslöseschalters, welcher durch Mitnahme des Kugeltopfes infolge erhöhter Reibung vom Prüfgerät selbst geschaltet wurde. Um Zeit zu sparen, wurde im allgemeinen auf eine Diagrammaufnahme verzichtet und nur die Zeit vom Lastaufbringen bis zum Reibungs- und Verschleißanstieg, welcher sich durch das auto-

matische Ausschalten einwandfrei anzeigt, gestoppt.

Zur Abgrenzung der in der DVL gewählten Versuchsdurchführung gegenüber den von anderen Stellen geübten Verfahren sei darauf hingewiesen, daß durch entsprechende Indikatorfederauswahl und Kontakteinstellung die Beendigung des Prüflaufes beim ersten eindeutigen Reibungsanstieg angestrebt wurde. Dies geschah auf Grund folgender Überlegungen:

Das Aussehen der Verschleißkalotten zeigt bei Abbruch eines Laufes vor Erreichen des sogenannten Freßbeginnes eine sehr kleine, etwa der Größe der Hertz'schen Abplattung entsprechende Abriebstelle. Ihr Oberflächenzustand läßt erkennen, daß es sich bisher um eine durchaus gleichmäßige Abtragung von Werkstoffteilchen gehandelt hat. Dagegen zeigen die Verschleißkalotten von Läufen, welche bereits beim leisesten Reibungsanstieg abgebrochen wurden, ein hiervon vollkommen abweichendes Laufbild: Abgesehen von dem grossen Unterschied in der Kalottengröße zeigt sich bei diesen Prüfkugeln ein äußerst ungleichmäßiges Verschleißbild mit deutlichen Riefen und starker Gratbildung. Dieser Zustand entspricht mehr Vorgängen der Metallbearbeitung, wie sie sich beim Drehen und vor allem beim Fräsen abspielen.

Als Freßbeginn wurde daher der Beginn derartiger Verschleißvorgänge gewertet, denn dieselben können nicht mehr als "normale" Abnutzung angesprochen werden. Wird dieser Punkt aber absichtlich überfahren, so ergibt sich manchmal oder bei bestimmten Schmierstoffen meistens eine Verringerung des Reibungsmomentes bis nach einer gewissen Zeit ein erneuter starker Reibungsanstieg eintritt. Häufig bringt dieser Augenblick ein Verschweißen der Prüfkugeln. Dies wurde bei dem in der DVL angewendeten Prüfverfahren, welches beim ersten, wenn auch kleinen Reibungsanstieg den Lauf beendet, in keinem Fall beobachtet.

Das Vermessen der Verschleißkalotten geschah mittels Ausmessen von Länge und Breite unter einem Oberflächenmikroskop.

C. Untersuchte Schmierstoffe.

3890 HANNOVER

Zur Klärung der Frage, ob das Vierkugelgerät auch geeignet ist, Unterschiede zwischen Schmierstoffen aufzuzeigen, welche keine Hoch- oder Höchstdruckzusätze enthalten, wurden zwei Öle geprüft, die keine derartigen Zusätze aufweisen. Die Vermutung, daß ein eindeutiger Unterschied beim Vergleich eines reinmineralischen Schmieröles mit einem reinen Fettöl am größten sein müßte, führte zur Wahl des reinmineralischen Flugmotorenschmieröles "Rotring D"¹⁾ als Norm- und Vergleichsöl, sowie des als fast reines Fettöl (Verseifungszahl 155,6 mg KOH/g) anzusprechenden Motorenöls "Kompressol weiß"²⁾.

Versuche der I.G. Farbenindustrie haben ergeben, daß der Vorgang im Vierkugelgerät nicht als reine Grenzschmierung anzusehen ist, sondern im Gebiet der Teilschmierung abläuft. Hierbei wirkt sich die Viskosität des jeweils untersuchten Stoffes auf das Versuchsergebnis aus. Bei den beiden gewählten Schmierölen ist ein derartiger Viskositätseinfluß weitgehend ausgeschaltet, da deren Zähflüssigkeiten mit 18,0⁰E bei 50⁰C für Rotring D und 17,9⁰E bei 50⁰C für Kompressol weiß dicht beisammen liegen.

Um die Auswirkungen eines Zusatzes gegenüber dem reinen Schmieröl zu erproben, wurde als weiterer Schmierstoff das Schmieröl Rotring D mit einem Schwefelzusatz versehen und untersucht. Um nur die Schwefelwirkung zu erfassen, wurde der gepulverte Schwefel in einer Menge von etwa 5% bei Zimmertemperatur mittels eines Mörsers in dem Öl verrührt und nicht, wie sonst üblich, erst bei höheren Temperaturen in Fettöl gelöst. Wie zu erwarten war, setzte sich allerdings bald ein großer Teil des suspendierten Schwefels wieder ab, sodaß über die Größe des wirksamen Schwefelzusatzes keine genauere Angabe gemacht werden kann. Auch eine geringe Viskositätszunahme mußte in Kauf genommen werden.

1) von der Intave, Hamburg

2) von der Fa. Arens, Köln

III. Ergebnisse der Versuche.

A. Freßverzögerungswerte.

Bereits die Vorversuche hatten gezeigt, daß die Wiederholbarkeit der Freßverzögerungszeiten nur als recht mäßig zu bezeichnen ist. Da bisher durch keinerlei Maßnahmen eine wesentliche Verbesserung zu erzielen war, wurde die Prüfung in der Weise durchgeführt, daß bei jeder Belastung mehrere Versuche gefahren wurden, um deren Ergebnisse mitteln zu können. Und zwar waren jeweils mindestens 5 Läufe erforderlich, damit die arithmetischen Mittelwerte einen gleichmäßigen Kurvenverlauf ergaben. Die Abb.4 zeigt die Einzelwerte einer Reihe von je 5 Versuchsläufen mit dem Vergleichsöl Rotring D.

Das durch gestrichelte Hüllkurven gekennzeichnete Streugebiet ist nicht immer so breit wie bei diesem Schmierstoff, zeigt aber immer im niedrigen Belastungsgebiet eine besonders schlechte Wiederholbarkeit.

Die Mittelwerte aus den Prüfläufen der drei untersuchten Schmierstoffe bringt die Abb.5.

B. Verschleißwerte.

Die Feststellung von Verschleißwerten geschah durch Ausmessung der Größe der Verschleißkalotten an den drei festgeklemmten Kugeln. Da diese bei den weitaus meisten Läufen keine kreisförmigen, sondern eher elliptische Verschleißflächen zeigten, wurde in der DVL nicht der mittlere Durchmesser (2), sondern das Produkt aus größter Breite x größter Länge bestimmt und die Werte für die drei Kugeln gemittelt.

Die Abb.6 bringt diese bei der Prüfung von Rotring D gewonnenen Werte. Trotz der zu beobachtenden Streuung ergeben die Mittelwerte aus jeweils 5 Läufen wieder einen einigermaßen stetigen Kurvenverlauf.

(2) H.Blok, "Seizure-delay" method for determining the seizure protection of E-P-lubricants. SAE-Journ.Bd.44(1939) Nr.5, S.193

In der Abb.7 sind neben den Werten von Rotring D auch die von Kompressol weiß und von Rotring D + Schwefel eingetragen. Und zwar zeigen die miteinander verbundenen Punkte die Ergebnisse mehrerer Versuchsreihen.

Da für jeden untersuchten Schmierstoff zwischen der Verschleißgröße und der Belastung, sowie zwischen der Freßverzögerungszeit und der Belastung eine bestimmte Beziehung besteht, muß auch zwischen der Verschleißgröße und der Freßverzögerungszeit eine feste Beziehung vorhanden sein. Diese ist in der Abb.8 dargestellt mit den zusätzlich eingetragenen Werten weiterer Prüfläufe, welche den gefundenen Kurvenverlauf erhärten.

C. Deutung der Ergebnisse.

Aus Abb.5 ist zu erschen, daß die Prüfung der drei Schmierstoffe mit dem Vierkugelgerät eindeutige Unterschiede ergab. So zeigt das Fettöl Kompressol weiß gegenüber dem reinen Mineralöl Rotring D ein wesentlich günstigeres Verhalten inbezug auf seine Freßverzögerungszeiten. Leider sind gerade in dem Gebiet, in welchem die Wiederholbarkeit verhältnismäßig gut ist, nämlich bei höheren Belastungen, die Unterschiede geringer. Dagegen liegen die Werte von Rotring D + Schwefel auch bei hohen Belastungen wesentlich über denen des reinen Rotring D und betragen bei fast allen Belastungen annähernd das Zehnfache.

Für eine zahlenmäßige Auswertung der Kurven war von Boerlage und seinen Mitarbeitern die sogenannte 2 $\frac{1}{2}$ -Sekunden-Freßlast gewählt worden. Aus der Abb.5 ist zu erschen, daß diese Wahl sehr zweckmäßig ist, da sich im 2 $\frac{1}{2}$ -Sekunden-Gebiet verhältnismäßig große Unterschiede, aber trotzdem noch einigermaßen wiederholbare Werte ergeben. Die Versuche an dem Vierkugelgerät der DVL ergaben für

Rotring D	83 kg Freßlast (vgl. Pfeile in Abb.5)
Kompressol weiß	128 " "
Rotring D + Schwefel	200 " "

Es kann hier vermerkt werden, daß die Untersuchung von Rotring D in der holländischen Proefstation Delft als Mittelwert von drei Versuchsreihen eine 2 $\frac{1}{2}$ -Sekunden-Belastung von 78 kg ergab. Jedoch ist hierbei zu berücksichtigen, daß die Delfter Versuche mit $\frac{1}{2}$ Zoll-Stahlkugeln durchgeführt wurden, ganz abgesehen davon, daß möglicherweise wesentliche Unterschiede in der Versuchsdurchführung bestehen.

Übersaus interessant sind die Kurven der Abb.7 mit der gleichen Bewertungsreihenfolge, wie sie die Freßverzögerungsmessungen ergeben. Im Gegensatz zu diesen Messungen zeigt aber der Verlauf der Verschleißkurven kein übereinstimmendes Bild. Wohl weisen Rotring D und Kompressol weiß einen ähnlichen Verlauf auf, nämlich einen Anstieg der Verschleißgrößen mit zunehmender Belastung, aber Rotring D + Schwefel zeigt ein völlig abweichendes Verhalten, indem sich eine nahezu konstante Verschleißgröße, unabhängig von der Belastung ergab.

Die Abb.8 läßt noch besser erkennen, daß der Schwefelzusatz den Verschleißvorgang, wie er sich beim reinen Mineralöl abspielt, vollkommen zu ändern vermag. Während die Kalotten bei Rotring D + Schwefel eine nahezu konstante Größe aufweisen, zeigt Rotring D bei einer größeren Freßverzögerungszeit, welche einer niederen Belastung entspricht, kleinere Kalotten und umgekehrt.

Auffallend ist nun, daß die Werte eines Fettöles Kompressol weiß ebenfalls auf der Kurve von Rotring D liegen und dies auch für alle sonst in Tastversuchen geprüften Öle verschiedenster Herkunft mit und ohne Fettgehalt, aber ohne sonstige Zusätze, gilt. Das bedeutet, daß diese Schmierstoffe bei einer bestimmten Freßverzögerungszeit eine ganz bestimmte Kalottengröße ergeben. Der Ölunterschied wirkt sich nur in der Weise aus, daß sich diese Freßverzögerungszeit bei ganz verschiedenen, die Öle kennzeichnenden Belastungen einstellt. Anders gesehen liegen für ein bestimmtes Belastungsgebiet die Verschleißwerte bei guten Ölen auf dem unteren flachen Teil

der Kurve und bei weniger freßverzögernd wirkenden Ölen verschieben sich dieselben auf den linken steilen Kurvenast mit seinen größeren Verschleißwerten.

Die überaus guten, weit kleineren Verschleißgrößen, die sich bei der Prüfung von Rotring D mit Schwefelzusatz ergaben, müssen eine grundsätzlich andere Ursache haben als das günstige Abschneiden des Fettöles Kompressol weiß. Als Beweis für diese Behauptung mag die Tatsache dienen, daß die Kalotten von Rotring D+Schwefel eine ganz bestimmte Erscheinung zeigten, nämlich die Bildung einer schwärzlichen Verbindung, wahrscheinlich Schwefeleisen, vorzugsweise an den Kalottenrändern, aber auch in Form eines dünnen Überzuges.

Nicht unerwähnt soll die Tatsache bleiben, daß vor allem die Verschleißwerte und deren kurvenmäßiger Verlauf stark abhängig sind von den jeweils benutzten Prüfkugeln. Einzelversuche mit 12,7 mm-Kugeln anderer Herkunft ergaben jedenfalls keine vergleichbaren Ergebnisse.

Die weitere Erforschung dieser Zusammenhänge dürfte manche wertvolle Erkenntnis bringen. Allerdings ist die Frage der Bedeutung der mit Vierkugelprüfgeräten gewonnenen Ergebnisse für die Schmierungsfragen der Praxis noch nicht restlos geklärt.

IV. Zusammenfassung.

Es wurde über Versuche an einem in der DVL gebauten Vierkugel-Ölprüfgerät berichtet. Die Prüfung eines reinen Mineralöles, eines fast reinen Fettöles und des mit einem Schwefelzusatz versehenen Mineralöles ergab beträchtlich streuende Ergebnisse. Trotzdem ließen die durch Mittelwertbildung von jeweils 5 Ergebnissen gefundenen Werte eindeutige und wiederholbare Unterschiede in den Freßverzögerungszeiten und auch in den Verschleißgrößen erkennen.

Aus den Verschleißmessungen ist zu entnehmen, daß die durch Zusatz von Schwefel erreichte günstige Wirkung

auf grundsätzlich andere Art zustande kommt als das gegenüber reinem Mineralöl bessere Verhalten von Fettöl.

Die Frage der Bedeutung und Übertragbarkeit der Prüfergebnisse muß noch weiter geklärt werden.

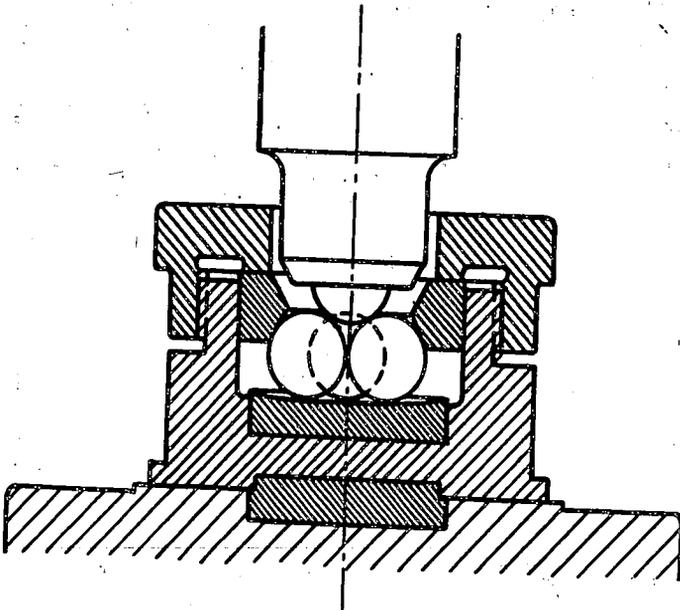


Abb.1: Die Schmierstelle des Vierkugel-Ölprüfgerätes

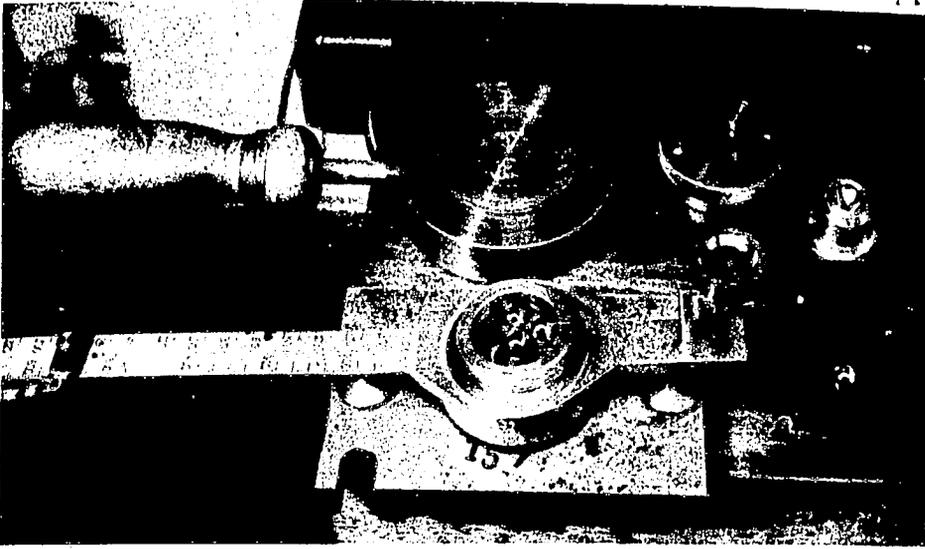


Abb.2. Die wichtigsten Bauteile des Vierkugelgerätes

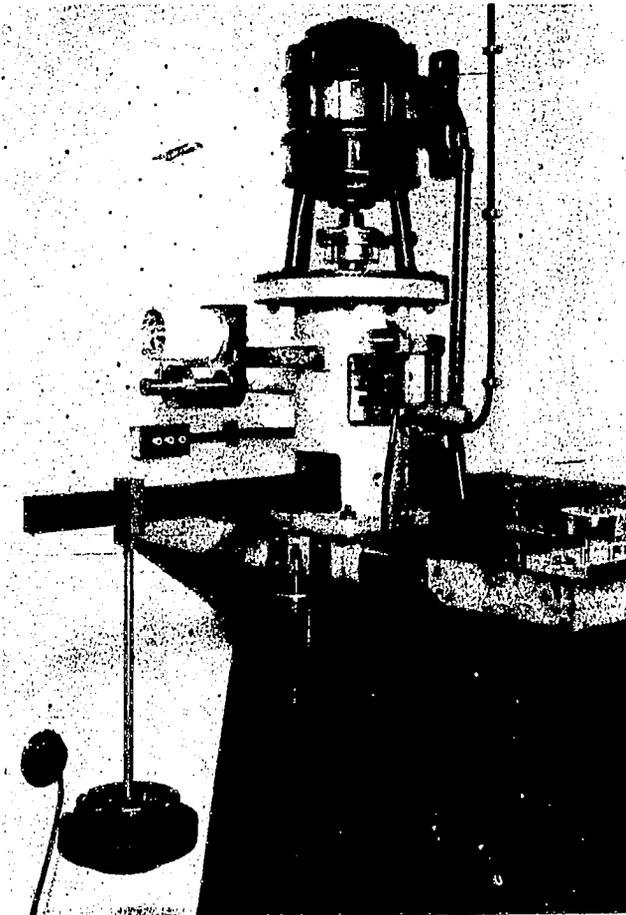


Abb.3: Das Vierkugel-Ölprüfgerät

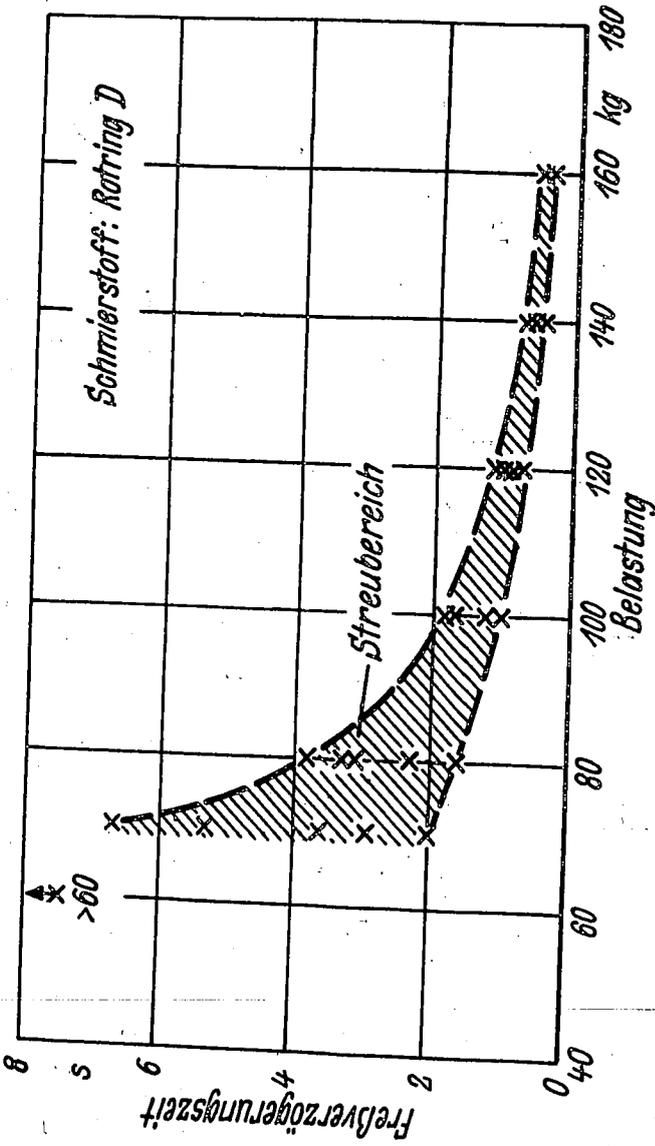
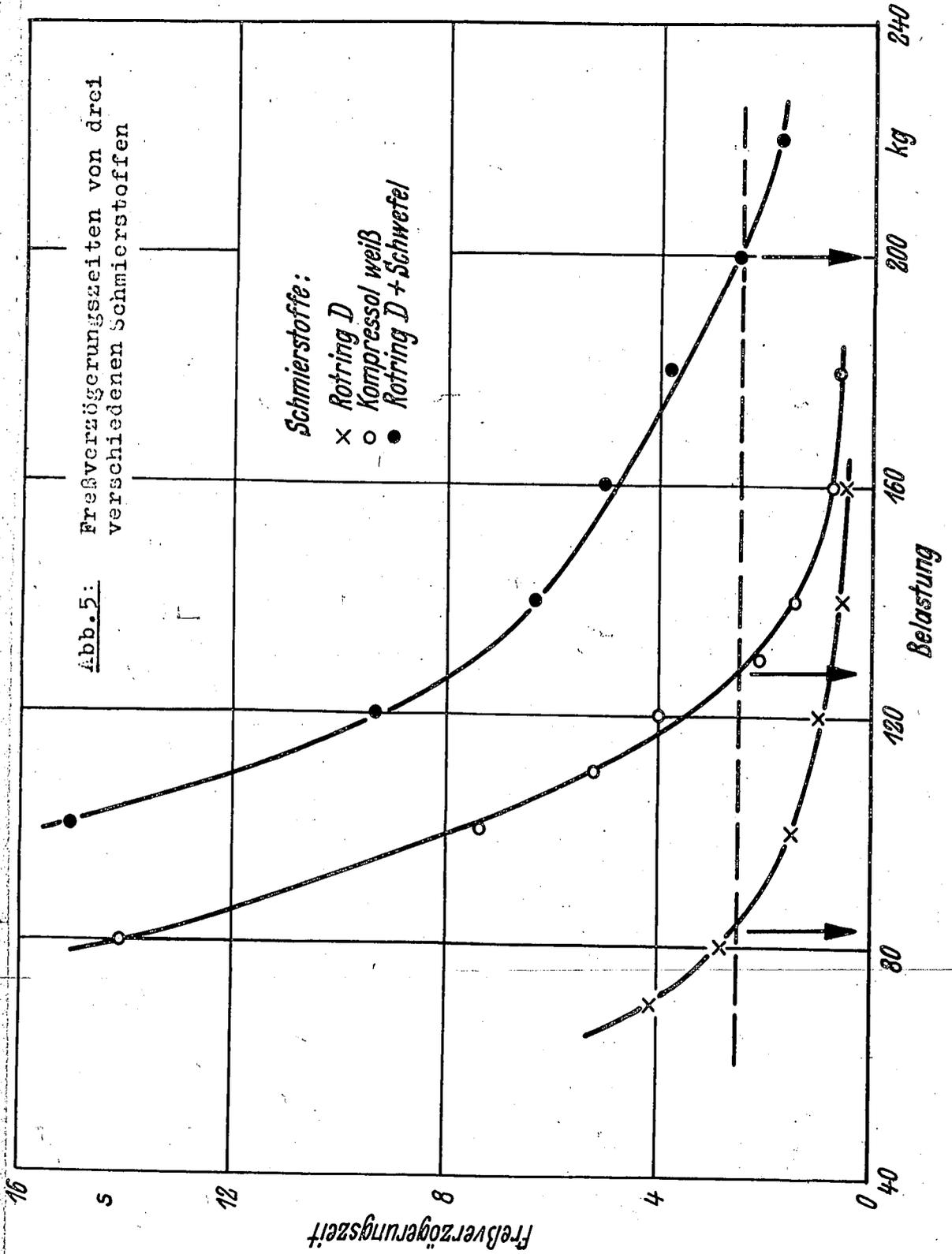


Abb. 4: Freiverzögerungszeiten in Abhängigkeit von der Belastung



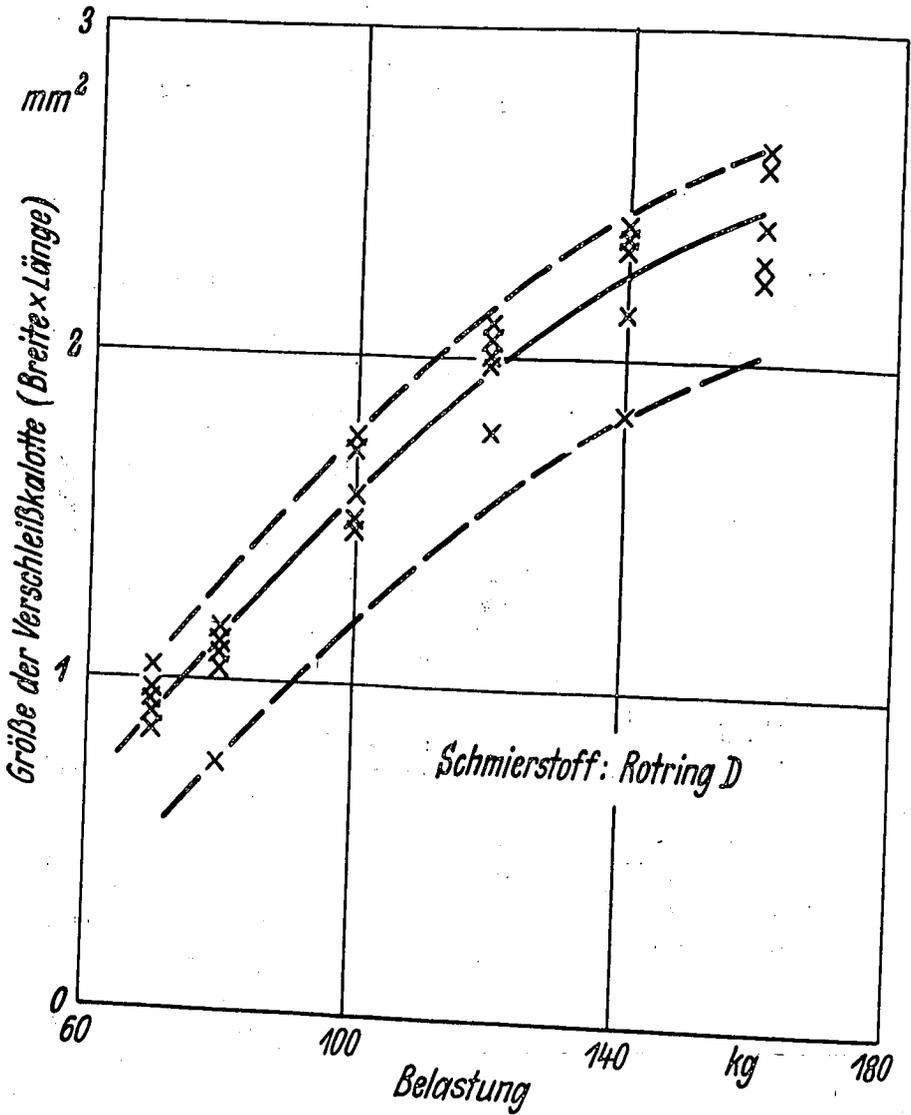


Abb. 6: Größe der Verschleißkalotten in Abhängigkeit von der Belastung

