

Die Prüfung von Schmierölen durch Reibungs- und Verschleißversuche an Motoren.

Von Dr.-Ing.C.Krienke, DVL, Berlin-Adlershof.

- Gliederung:
- I. Anlaß der DVL-Versuche
  - II. Motorische Reibungs- u. Verschleißversuche fremder Stellen
  - III. Motorische Reibungs- u. Verschleißversuche der DVL
  - IV. Zusammenfassung
  - V. Schrifttum

I. Anlaß der DVL-Versuche.

=====

Jede Maschine und damit auch jeder Verbrennungsmotor besitzt Bauteile, welche sich an Gleitstellen gegeneinander bewegen. Die an diesen Stellen - trotz Vorhandenseins von Schmierstoffen - auftretenden Reibungs- und Materialverluste sind für die Größe der Wirkungsgrade, sowie für die Lebensdauer von Motoren und deren Bauteilen von so großer Bedeutung, daß es erforderlich ist, ihre genaue Größe zu kennen. Dies bedingt eine saubere und einwandfreie Erfassung von Reibungs- und Verschleißgrößen an Motoren bzw. an deren Bauteilen, welche bisher nur selten gelungen ist, da sich meistens Einflüsse verschiedenster und vielfältigster Art auswirkten und so die Ergebnisse verzerren. Ein Amerikaner<sup>1)</sup> kennzeichnete daher mit der jenseits des großen Teiches üblichen Übertreibung diese Sachlage folgendermaßen: "Über den Motorenverschleiß liegen so wenig zuverlässige Erkenntnisse vor, daß Verschleiß in eine Kategorie mit Religion und Politik gehört". Hinzu kommt, daß gerade "bei der Weiterentwicklung des modernen Flugmotors das Problem der geschmierten Oberfläche die Konstruktion beherrscht und zum Hauptbegrenzungsfaktor der Motorenentwicklung wird".<sup>2)</sup> Da ferner die wenigen bekanntgewordenen Erfahrungen und Ergebnisse über die praktische Bewährung von Schmierölen im Mo-

tor reichlich unklar sind und andererseits die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Schmierölprüfgeräten noch keineswegs restlos geklärt ist, wurde vermutet, daß motorische Prüfstandsversuche zu besonders wertvollen Erkenntnissen führen müßten. Dieser Tatbestand war daher der Anlaß, in der DVL motorische Prüfstandsversuche durchzuführen, um bei Verwendung verschiedener Schmieröle einwandfreie Reibungs- und Verschleißwerte zu ermitteln und damit die Schmiereignung der untersuchten Öle bewerten zu können.

## II. Motorische Reibungs- und Verschleißversuche fremder Stellen.

Vor einer Besprechung der DVL-Versuche seien die Ergebnisse der von anderen Stellen durchgeführten Reibungs- und Verschleißversuche kurz erwähnt. Diese Versuche sollten entweder Aufschluß geben über die Auswirkungen irgendwelcher Einflüsse oder aber über die Schmiereignung von Werkstoffen, Schmierstellen oder Schmiermitteln.

So untersuchte Williams<sup>3)</sup> den Einfluß der Motortemperatur auf den Zylinderverschleiß und Beck und Bopp<sup>4)</sup> ebenfalls die Auswirkungen der Temperatur, sowie der Starthäufigkeit auf den Kolbenringverschleiß. Übereinstimmend wurde bei sehr niedrigen Zylinderwandtemperaturen ein Ansteigen des Verschleißes festgestellt.

Die Schmiereignung von Werkstoffen und den Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit untersuchte Englisch<sup>5)</sup> und fand dabei, daß die Härte von Zylinderlaufbüchsen in keinem direkten Verhältnis zu ihrem Verschleißverhalten steht. Versuche von Bridgeman und Leidig<sup>6)</sup> bestätigten dies und ergaben weiterhin, daß die günstige Wirkung großer Oberflächen-güte eine Grenze hat, indem sich bei weiterer Steigerung sogar ein Aufrauchen ergeben kann.

Der Einfluß der Schmierölviskosität auf die Motorleistung wurde auf dem I.G.-Farben-Motorenprüfstand Oppau<sup>7)</sup>, sowie auch von Paul<sup>8)</sup> untersucht und von beiden Stellen wur-

den bei Ölen mit sehr verschiedenen Viskositäten beachtliche Leistungsunterschiede gemessen. Zur Frage der Auswirkung verschiedener Viskositäten auf den Kolbenring- und Zylinderverschleiß fand Williams<sup>9)</sup> eine nur sehr geringfügige Verschleißabnahme bei steigender Ölviskosität.

Den Einfluß der Schmierölalterung auf den laufenden Verschleißvorgang suchte Beck<sup>10)</sup> zu erfassen und folgert auf Grund seiner Ergebnisse, "daß die im motorischen Betrieb eintretende Ölalterung zunehmend eine Verschleißerhöhung bedingt."

Dauerversuche von Bopp<sup>11)</sup> an der gleichen Forschungsstelle mit Schmierölen von gleicher Viskosität bei 50°C sollten den Einfluß ihrer verschiedenen Herkunft auf den Verschleiß klären. Sie ergaben aber keine eindeutigen oder sehr großen Unterschiede. Der Zusatz von Rizinusöl und kolbidalem Graphit führte nur am 1. Kolbenring zu einer gewissen Verschleißabnahme.

Messungen von Boerlage und Gravesteyn<sup>12)</sup> ergaben unter normalen Bedingungen praktisch keinen Unterschied im Verschleiß bei Verwendung verschiedener Markenöle.

In einer Arbeit von Vogelpohl<sup>13)</sup> findet sich in einer Fußnote, nach Ruegenberg, der Hinweis auf Untersuchungen von Fenning, wobei sich beim Betrieb mit einem fettigen Öl gegenüber einem entsprechenden Mineralöl keinerlei Unterschiede im Kolbenringverschleiß ergeben haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die bisher bekannt gewordenen Ergebnisse von Reibungs- und Verschleißversuchen die Frage der Schmiereignung von Schmierölen unter Ausschluß des Viskositätseinflusses nicht restlos zu klären vermochten. Umsomehr sind weitere Arbeiten in dieser Richtung erforderlich.

### III. Motorische Reibungs- und Verschleißversuche der DVL.

Von den jetzt zu besprechenden DVL-Versuchen können in Anbetracht der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit und

des großen Umfanges der Untersuchungen nur die wichtigsten Punkte der Durchführung und der Messungen erwähnt werden, um dafür mehr Versuchsergebnisse in Form von Lichtbildern zeigen zu können.

#### A. Durchführung der Versuche.

Eine kritische Beurteilung der von fremden Stellen ermittelten Versuchsergebnisse hatte zu der Erkenntnis geführt, daß für erfolgsversprechende diesbezügliche Versuche eine viel genauere Konstanthaltung aller Betriebsbedingungen und eine noch schärfere Ausschaltung von Fremdeinflüssen erforderlich ist. Da bei den DVL-Versuchen als einzig Veränderliche sich die Schmiereigenschaften verschiedener Schmieröle von möglichst gleicher Viskosität auswirken sollten, mußte darauf geachtet werden, daß außer den Betriebsbedingungen die Schmiereigenschaften der Werkstoffe und der Schmierstellen konstant gehalten wurden.

Dieser Forderung konnte nur beim Prüfstandsversuch am Einzylindermotor weitgehend nachgekommen werden, und es wurden daher in der DVL die Versuche an drei Einzylindermotoren, davon an einem großen Flugmotoren-Einzylinder, durchgeführt.

Für die Festlegung der Meßgrößen war die Überlegung maßgebend, daß die für die Schmierung eines Flugmotors kritischste Stelle durch die von den Kolbenringen bestrichene Zylinderlauffläche gegeben ist. Die entsprechende Überlegung bzgl. der Versuchsbedingungen führte zur Erkenntnis, daß der an dieser Stelle auftretende Schmierzustand der Teilschmierung durch seinen Anteil an Hochtemperatur-Grenschmierung gekennzeichnet ist. Daher wurde als entscheidende Versuchsbedingung die höchste thermische Beanspruchung des Zylinders gewählt, welche am luftgekühlten Flugmotor beim Abflug und beim Steigflug dadurch auftritt, daß in diesen beiden Fällen der Motor Volleistung

abgeben muß bei einer durch den Ausfall der vollen Wirkung des Flugwindes nur ungenügenden Kühlung.

Auch alle anderen Versuchsbedingungen entsprachen den in Bezug auf Schmierung schärfsten im Betrieb vorkommenden Verhältnissen.

Als Meßgrößen wurden die Reibungsleistungen und die Verschleißwerte von Zylinder, Kolben und Kolbenringen ermittelt und auf Grund dieser Ergebnisse die reibungs- und verschleißverhindernden Eigenschaften der untersuchten Schmieröle beurteilt.

Um diese Eigenschaften deutlich und unverzerrt zur Auswirkung kommen zu lassen, wurden Fremdeinflüsse, wie Ölverschmutzung durch von außen kommende Fremdkörper, das Auftreten von Korrosionserscheinungen während des Betriebes und vor allem während des Stillstandes, sowie der Einfluß von Kraftstoffüberschuß im Verbrennungsraum und andere Einflüsse weitgehend ausgeschaltet.

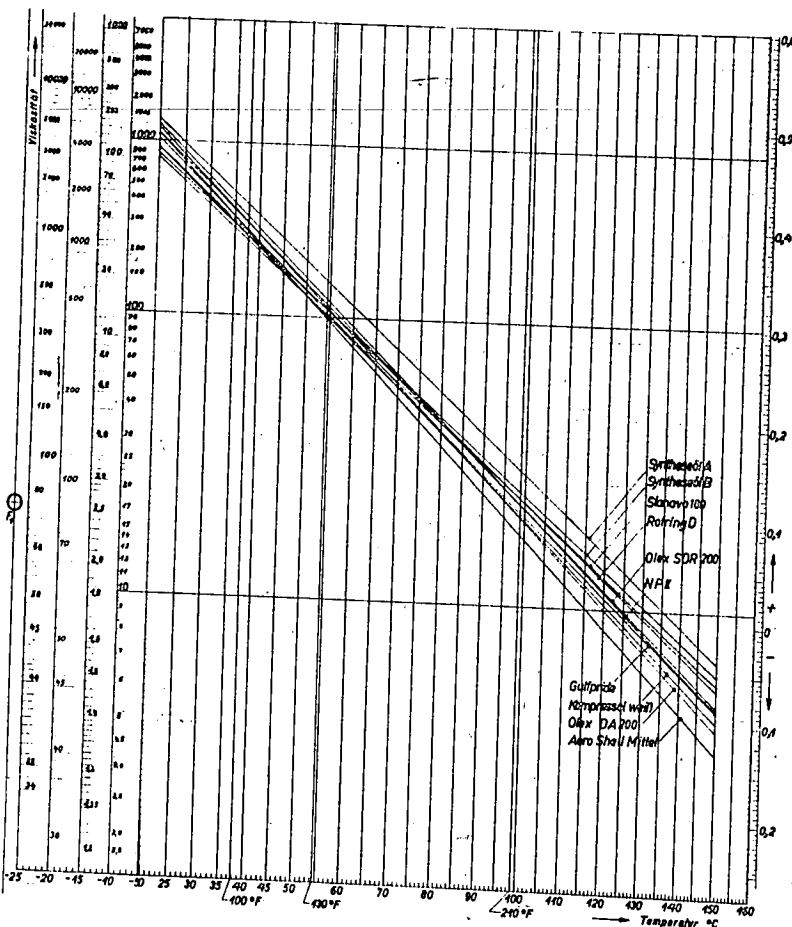
Dagegen muß betont werden, daß die Versuchsergebnisse nicht den Augenblickszustand eines Schmieröles kennzeichnen, sondern daß diese den Einfluß der laufenden Ölveränderung durch die Bildung von Oxydationsprodukten im Öl und ebenfalls den Einfluß des laufenden Motorverschleißes enthalten.

Den Fragen der Motorreinigung und des Austausches von Bauteilen, sowie deren Einlauf mußte besondere Aufmerksamkeit zugewendet werden.

An Meßgeräten wurde selbstverständlich alles eingesetzt, um mit Hilfe genauester Meßverfahren eine höchstmögliche Zuverlässigkeit der Messungen zu erreichen.

Wie bereits erwähnt, sollte durch die Untersuchung von Schmierölen mit annähernd gleicher Viskosität der Einfluß einer unterschiedlichen Zähflüssigkeit ausgeschaltet werden. Die gewählten und untersuchten Öle gehören fast alle der Viskositätsklasse 17 bis 19<sup>0</sup>E bei 50<sup>0</sup>C an, ent-

sprechend der Viskosität des heute gebräuchlichsten Flugmotorenschmieröles Rotring D. Für derartige Versuche ist allerdings nicht die Viskosität bei 50°C, sondern diejenige bei den an den Schmierstellen auftretenden Temperaturen von entscheidender Bedeutung. Diese lagen bei den scharfen Versuchsbedingungen im Gebiet von etwa 150 bis 300°C. Die auf dem Viskositäts-Temperaturblatt nach Ubbelohde eingetragenen Werte (Abb.1) zeigen, daß bei 150°C mit Ausnahme von zwei synthetischen Schmierölen die Viskositäten aller untersuchten Öle bei etwa 1,4 bis 1,5<sup>o</sup>E liegen. Die vorhandenen Unterschiede sind übrigens nicht größer als die bei einer Meßtemperatur von 100°C zulässigen Meßtoleranzen von ± 10%.



**Abb.1:** Viskositäts-Temperaturabhängigkeit der untersuchten Schmieröle.

BAG  
3896

Targe  
HANNO

B. Versuchsergebnisse und deren Auswertung.

Die Ergebnisse der sehr umfangreichen Versuche sollen weniger besprochen, sondern an Hand von Abbildungen mehr gezeigt werden. Die Abbildungen bringen zuerst die Ergebnisse der Verschleißversuche an den beiden kleineren Motoren. So ist aus der Abb.2 zu ersehen, daß sich die Größe des Verschleißes am Siemens-Ölprüfmotor mit einer Zunahme der Kerzenringtemperatur nicht eindeutig änderte.

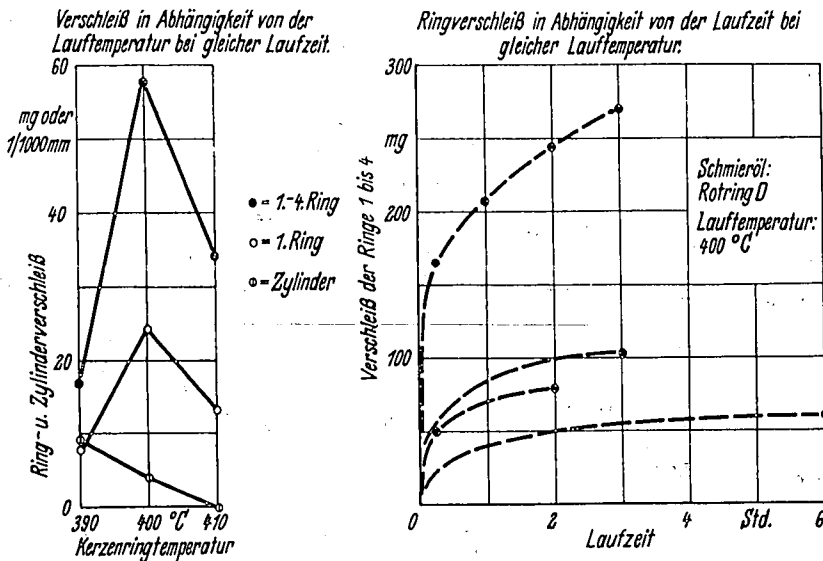


Abb.2: Verschleißversuche am Siemens-Ölprüfmotor.

Auch die Ergebnisse von Läufen mit verschiedener Laufzeit befriedigten nicht, und dies gilt auch für die Prüfläufe mit verschiedenen Ölen unter gleichen Bedingungen (Abb.3).

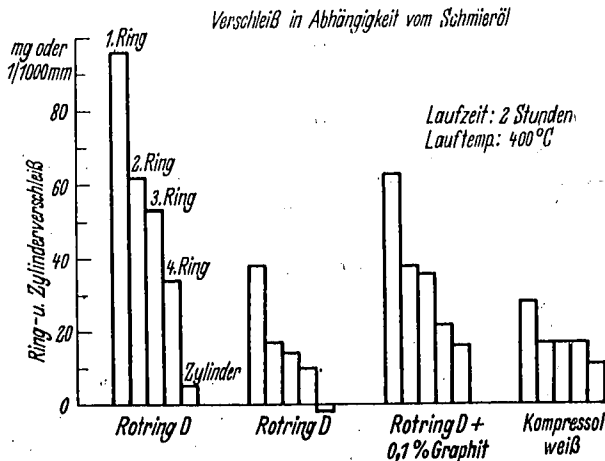


Abb.3: Verschleißwerte aus Prüfläufen mit verschiedenen Schmierölen am Siemens-Ölprüfmotor.

Ein ähnliches, ebenfalls negatives Ergebnis hatten die Versuche am NSU-Einzylinder-Motor. Die Wiederholbarkeit war schlecht und die Unterschiede bei Verwendung verschiedener Schmieröle waren sehr klein (Abb.4).

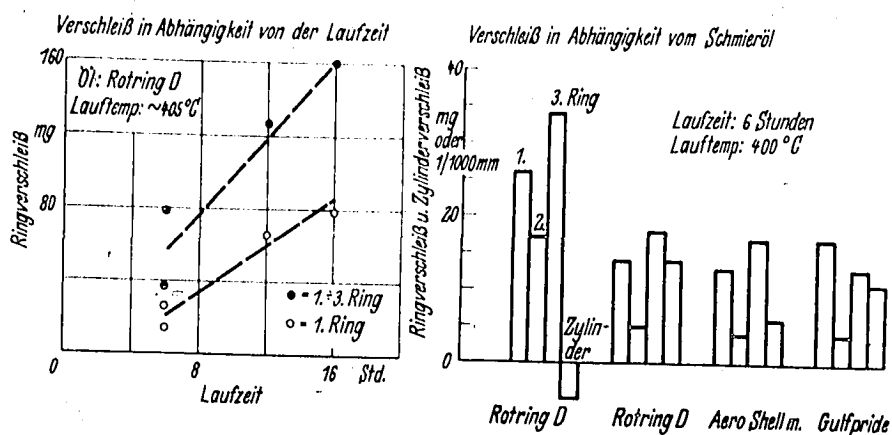


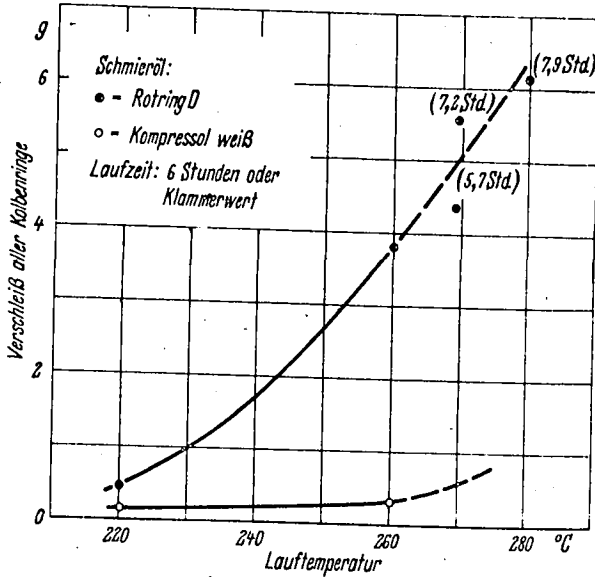
Abb.4: Ergebnisse von Verschleißversuchen am NSU-Motor.

Der Grund für die nicht sehr aufschlußreichen Ergebnisse der Versuche an den beiden kleineren Prüfmotoren ist wohl in erster Linie in der sehr kleinen Größenordnung des Verschleißes zu suchen, da sich unter diesen Verhältnissen bereits eine mehr oder weniger scharfe Reinigung gefahrener Ringe bei den geringen Gewichtsverlusten überaus stark auswirkt. Auch die Herstellungsgenauigkeit der kleinen Kolbenringe ist nur als mäßig zu bezeichnen. In Anbetracht dieser Sachlage wurden in der DVL alle weiteren Versuche am großen BMW 132-Flugmotoren-Einzylinder durchgeführt. Hier liessen sich infolge der größeren Abmessungen aller Teile die Betriebsbedingungen besser einregeln und konstant halten. Außerdem sind die Bauteile äußerst gleichmäßig hergestellt und die Größenordnungen der Reibungs- und Verschleißwerte liegen wesentlich höher als bei den kleineren Motoren.

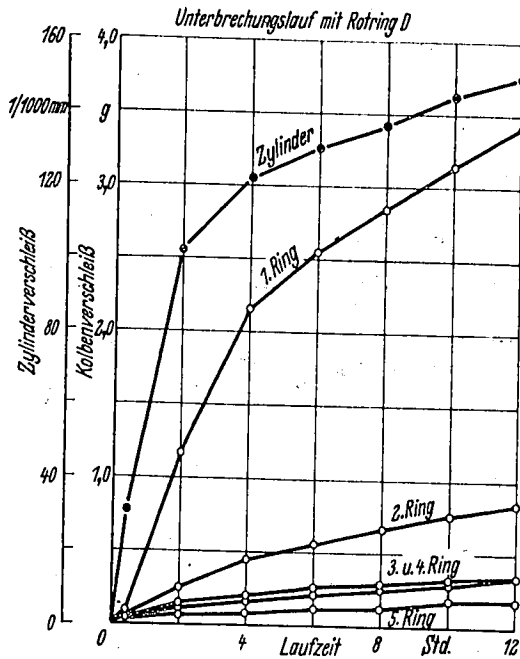
Zuerst sollen die Ergebnisse von Verschleißmessungen am BMW 132-Einzylinder gezeigt werden. Abb.5 bringt die Abhängigkeit des Verschleißes von der Lauftemperatur, und Abb.6 zeigt die Abhängigkeit des Verschleißes der ein-



zelnem Bauteile von der Laufzeit.

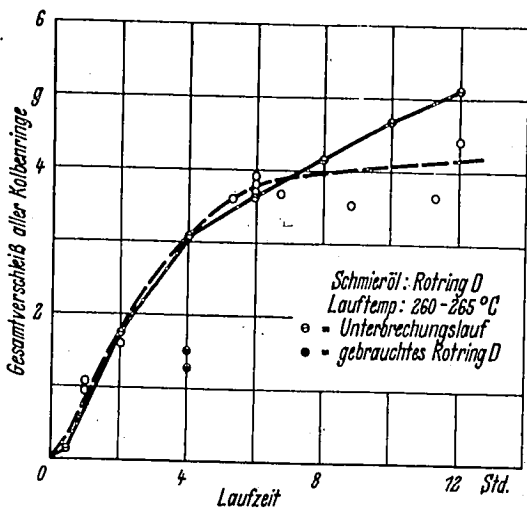


**Abb. 5:** Verschleiß in Abhängigkeit von der Lauftemperatur.



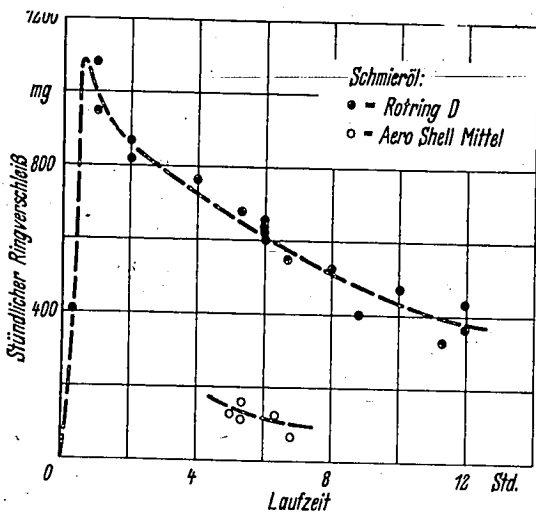
**Abb. 6:** Verschleiß in Abhängigkeit von der Laufzeit.

Das nächste Bild (Abb. 7) zeigt die gleiche Abhängigkeit für den Gesamtverschleiß aller Kolbenringe.

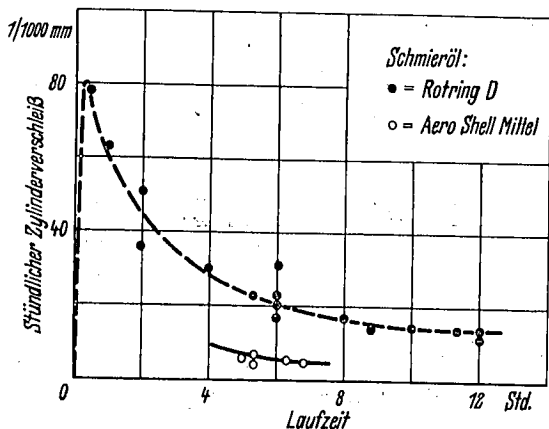


**Abb.7:** Verschleiß in Abhängigkeit von der Laufzeit.

Noch aufschlußreicher ist die entsprechende Darstellung der Abhängigkeit des stündlichen Kolbenring- u. Zylinderverschleißes von der Laufzeit. (Abb.8 und 9)



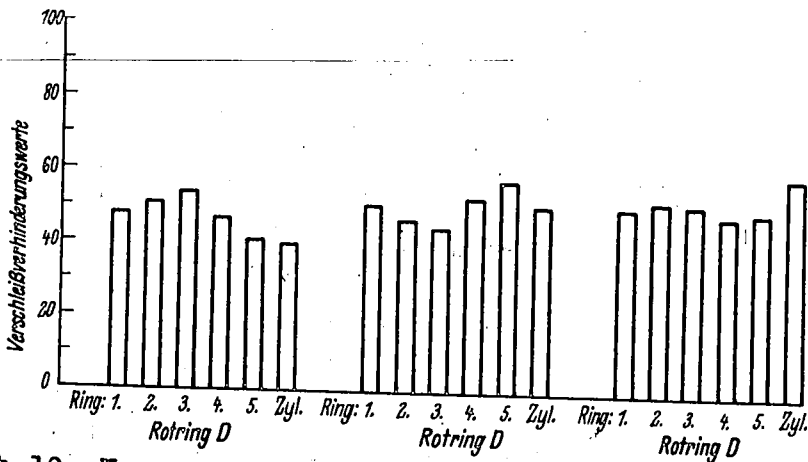
**Abb.8:** Stündl. Ringverschleiß in Abhängigkeit von der Laufzeit.



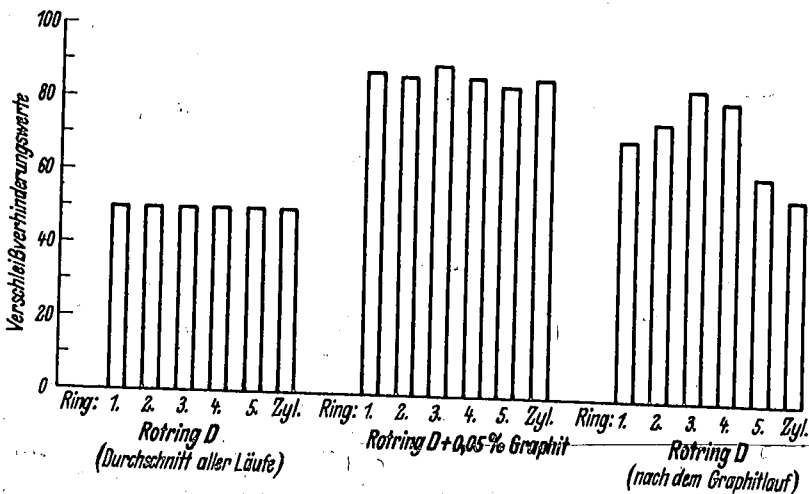
**Abb.9:** Stündl. Zylinderverschleiß in Abhängigkeit von der Laufzeit.

Um für die zahlenmäßige Bewertung einen Vergleichsmaßstab zu besitzen, wurden die Eigenschaften des gebräuchlichsten Flugmotorenöles Rotring D willkürlich mit dem Verschleißverhinderungswert 50 bewertet; dagegen wurde einem gedachten, idealen Schmieröl, welches das Auftreten von Verschleißerscheinungen im Motor vollkommen verhindern würde, der Wert 100 zuerkannt. Aus den jeweils gemessenen Verschleißgrößen wurden nun für alle geprüften Schmieröle die Verschleißverhinderungswerte errechnet und vergleichbar dargestellt.

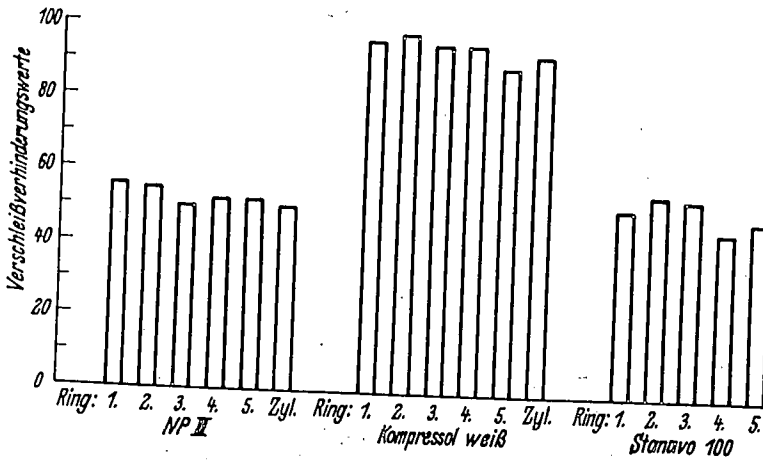
Das nächste Bild (Abb.10) zeigt die Ergebnisse von drei Rotring D-Läufen und die weiteren Bilder (Abb.11 bis 13) bringen eine Darstellung der Verschleißverhinderungswerte einiger untersuchter Schmieröle.



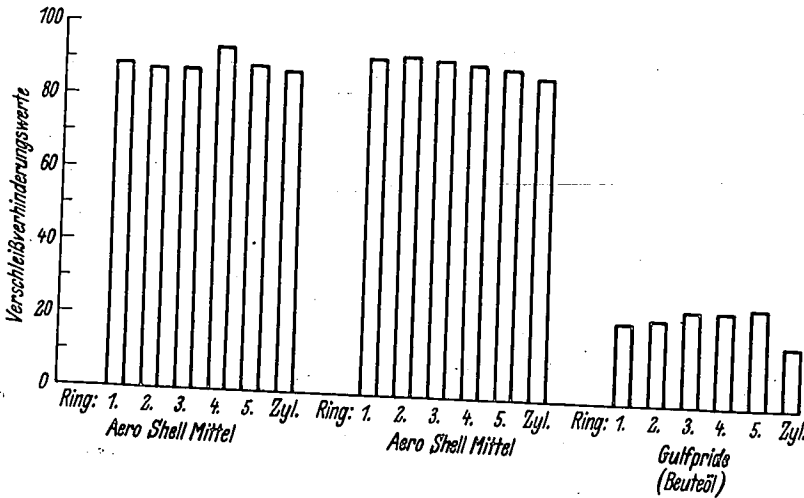
**Abb.10:** Verschleißverhinderungswerte aus Prüfläufen mit Rotring D.



**Abb.11:** Verschleißverhinderungswerte aus Prüfläufen mit Rotring D (Mittelwert) u. Rotring D+ Graphitzusatz.



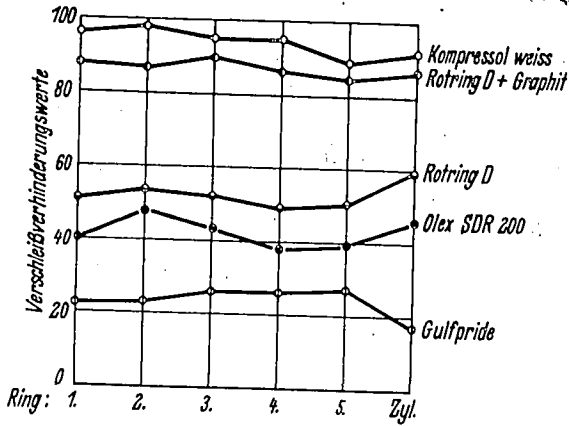
**Abb.12:** Verschleißverhinderungswerte aus Prüfläufen mit versch. Schmierölen.



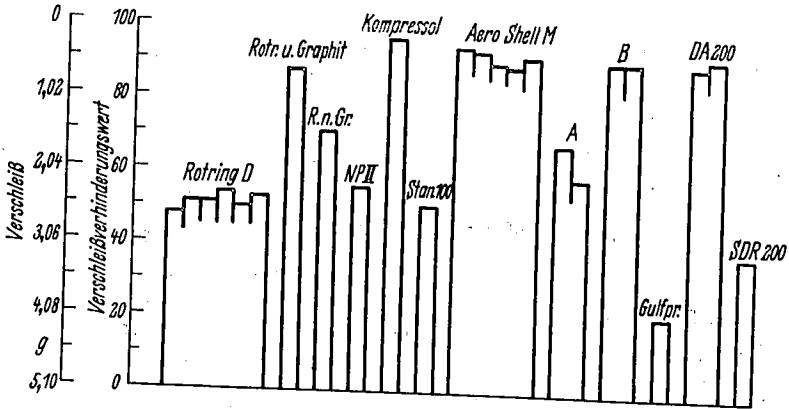
**Abb.13:** Verschleißverhinderungswerte aus Prüfläufen mit versch. Schmierölen.

Die Abb.14 zeigt für einige Öle, daß die Bewertungen auf Grund der Verschleißmessungen an den einzelnen Bauteilen gut übereinstimmen.

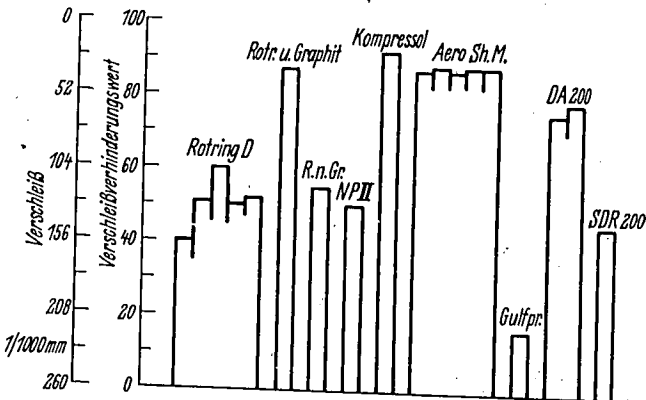
Einen guten Überblick über die Unterschiede der untersuchten Schmieröle bringen die folgenden Bilder mit den aus dem Verschleiß jeweils eines Bauteiles errechneten Werten. (Abb.15 u.16)



**Abb.14:** Verschleißverhinderungswerte von Schmierölen errechnet aus den Verschleißgrößen versch. Bauteile.



**Abb.15:** Verschleißverhinderungswerte von Schmierölen ermittelt aus dem Verschleiß des 1. Kolbenringes.



**Abb.16:** Verschleißverhinderungswerte von Schmierölen ermittelt aus dem Verschleiß der Zylinderlaufflächen.

Eine Bewertung auf Grund des Gesamtverschleißes aller Kolbenringe ergab die bei weitem beste Wiederholbarkeit, sodaß diese Wertung als maßgebend für die endgültige Beurteilung der geprüften Schmieröle angesehen wurde. (Abb.17)

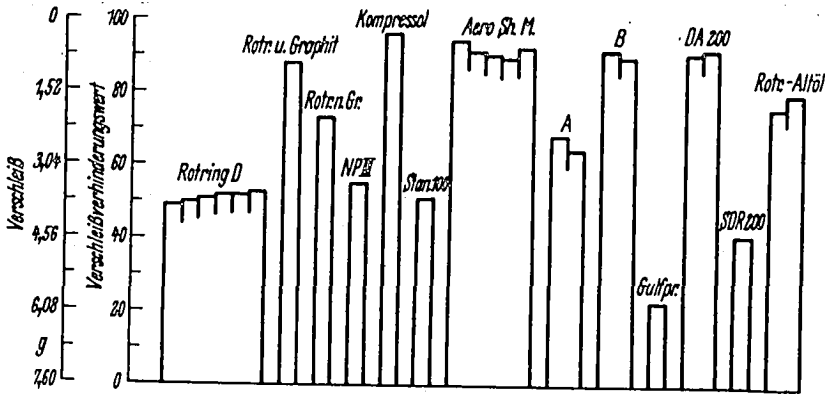
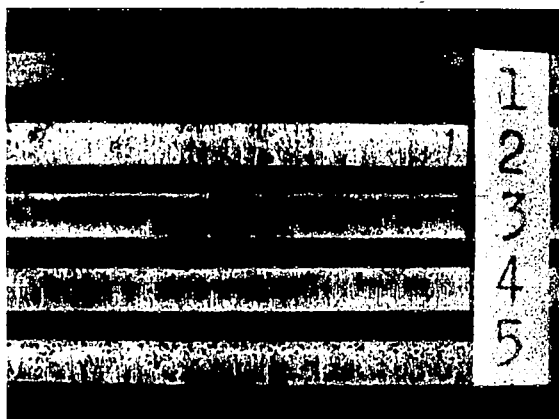


Abb. 17: verschleißverhinderungswerte von Schmierölen, ermittelt aus dem Gesamtverschleiß aller Kolbenringe.

Diese Zusammenstellung zeigt, daß der Zusatz von kolloidalem Graphit zu Rotring D eine Erhöhung des Verschleißverhinderungswertes von 50 auf 88 ergab. Den besten Wert aller untersuchten Schmieröle erzielte mit 96 das als fast reines Rizinusöl zu betrachtende Kompressol weiß. Einen ebenfalls sehr günstigen Wert 91 ergab die Prüfung von Aero Shell mittel, welches einen Pettölgehalt von etwa 4% besitzt. Das Flugmotorenöl Stanavo 100 und das Mischöl NP 2 ergaben, wie ihre Werte 51 und 55 zeigen, nur etwas geringeren Verschleiß als Rotring D. Dagegen liegen die synthetischen Schmieröle A und B mit ihren Werten 66 und 90 recht günstig. Der bei weitem schlechteste Verschleißverhinderungswert 23 war das Ergebnis einer Untersuchung des Beuteöles Gulfpride. Das gewöhnliche Raffinat und Maschinenöl DA 200 bewies mit seinem guten Wert 91, daß milde weiterverarbeitete Rohöle eine bemerkenswert gute Schmiereignung besitzen, wogegen das helle Dieselschmieröl SDR 200 mit dem mäßigen Wert 41 die Folgen einer scharfen Raffination zeigte. Die Verschleißverhinderungswerte vom gebrauchten Rotring D lies-

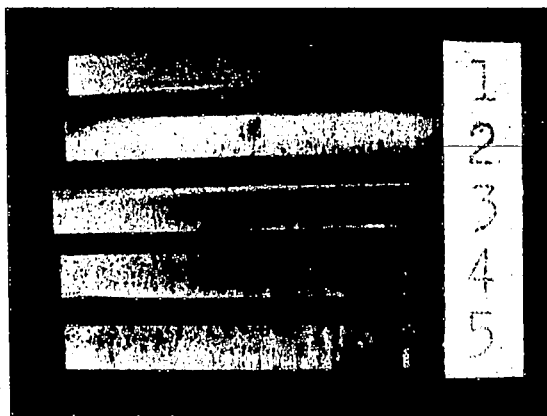
sen erkennen, daß eine Alterung infolge hoher thermischer Beanspruchung die verschleißverhindernden Eigenschaften eines Schmieröles verbessern kann.

Eine sehr gute Anschauung von den an den Kolbenringen auftretenden Verschleißerscheinungen vermittelt die Abbildungen 18 bis 21, welche die Kolbenringlaufflächen vor und nach Prüfläufen mit verschiedenen Schmierölen zeigen.



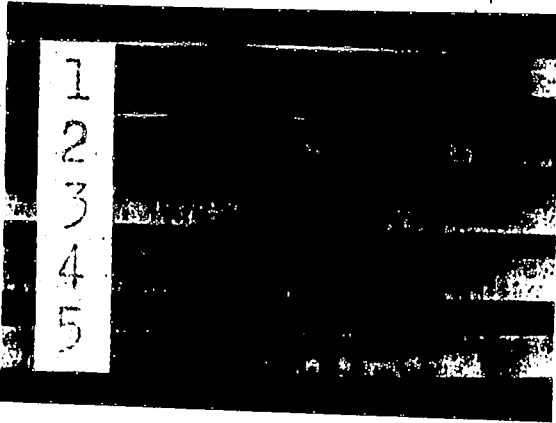
- 1: neuer Ring
- 2: Kompressol weiß
- 3: Rotring D + Graphit
- 4: Rotring D
- 5: Gulfpride

Abb. 18: Lauffläche des 1.(obersten) Kolbenringes



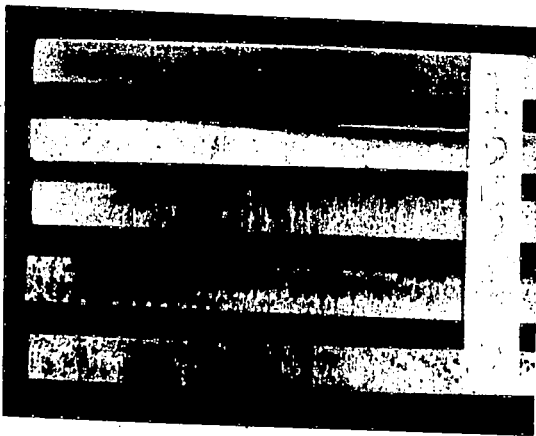
- 1: neuer Ring
- 2: Kompressol weiß
- 3: Rotring D + Graphit
- 4: Rotring D
- 5: Gulfpride

Abb. 19: Lauffläche des 1.Ringes am Stoß.



- 1: neuer Ring (konisch)
- 2: Kompressol weiß
- 3: Rotring D+Graphit
- 4: Rotring D
- 5: Gulfpride

Abb. 20: Lauffläche des 2.Kolbenringes.

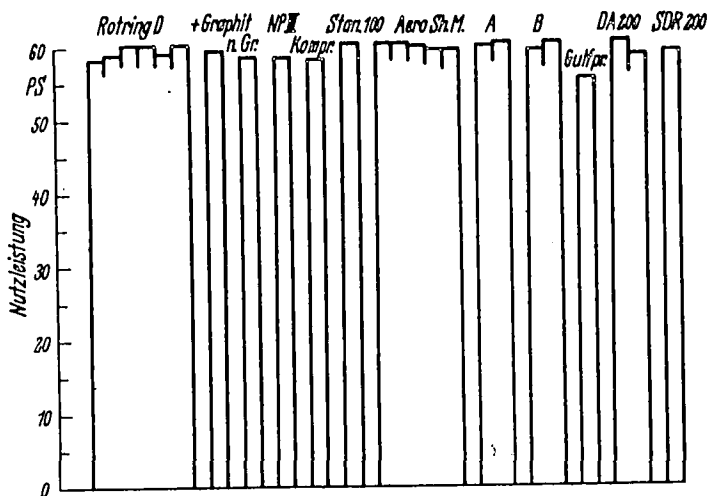


- 1: neuer Ring (konisch)
- 2: Kompressol weiß
- 3: Rotring D+Graphit
- 4: Rotring D
- 5: Gulfpride

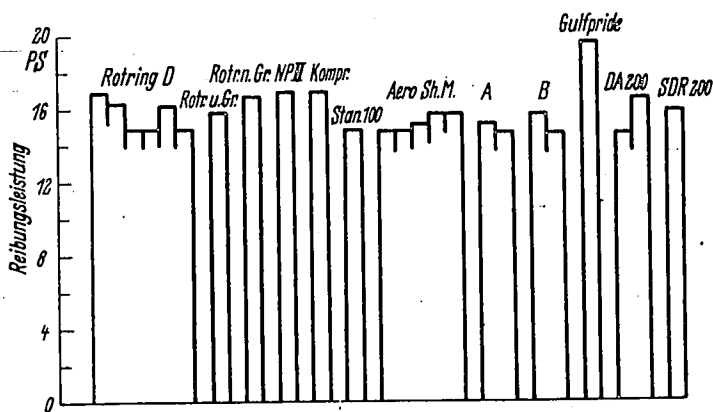
Abb. 21: Lauffläche des 2.Ringes am Stoß.

Anschließend sollen Versuchsergebnisse gezeigt werden, welche über die Abhängigkeit der Reibungsleistung vom verwendeten Schmieröl Aufschluß geben. Die Abb. 22 und 23 bringen die aus den gemessenen Nutzleistungen in Normalleistungen (bei 20°C u. 760 mm QS) umgerechneten Werte und die sich bei einer Beziehung auf die Reibungsleistung ergebenden Unterschiede.





**Abb.22:** Nutzleistungen bei Verwendung verschiedener Schmieröle.



**Abb.23:** Reibungsleistungen bei Verwendung verschiedener Schmieröle.

Die Versuchswerte lassen erkennen, daß die Unterschiede der reibungsvermindernden Eigenschaften gebräuchlicher Flugmotoren- und sonstiger Schmieröle von annähernd gleicher Viskosität mit einer Ausnahme keinen Unterschied in der Motorleistung ergaben, welcher größer ist als die üblichen Betriebsschwankungen in der Größenordnung von wenigen Prozenten.

Dagegen sind die Unterschiede bei den aus dem Zylinder - und Kolbenringverschleiß ermittelten Verschleißverhinderungswerten sehr groß und die Wiederholbarkeit reicht aus, um auf diese Weise Flugmotorenschmieröle hinsichtlich ihrer verschleißverhindernden Eigenschaften prüfen und bewerten zu können. (Abb.24)

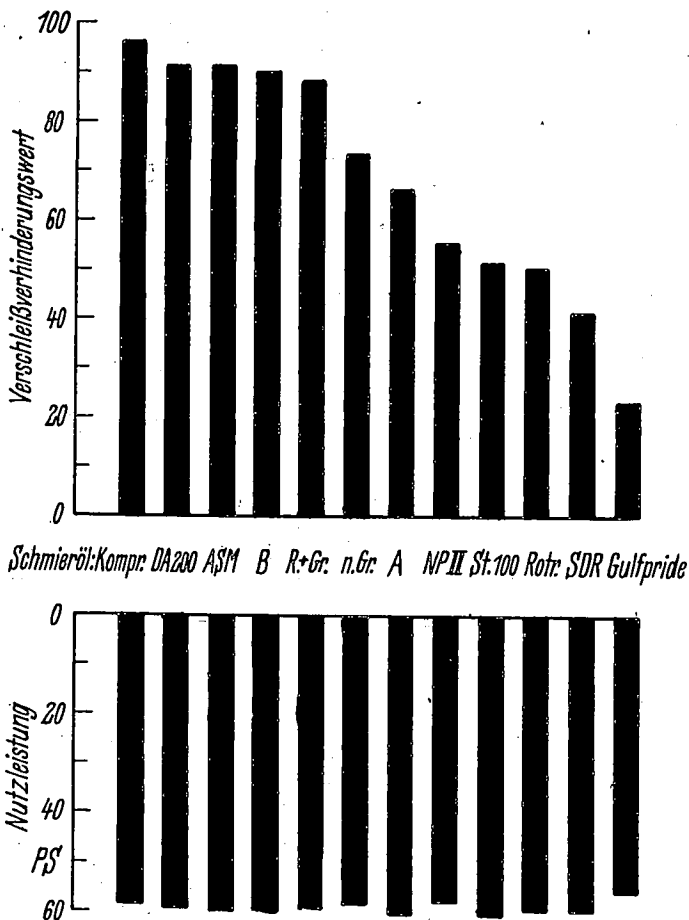


Abb.24: Gegenüberstellung von Verschleißverhinderungswerten und Nutzleistungen.

Durch eine Gegenüberstellung der Verschleißverhinderungswerte und der Ergebnisse von Prüfungen derselben Schmieröle hinsichtlich ihrer Neigung zum Ringfestgehen (Abb.25) kann gezeigt werden, daß sich bei den meisten Schmierölen gute Verschleißverhinderungseigenschaften

und eine gute Temperaturbeständigkeit gegenseitig ausschließen. Eine vielversprechende Ausnahme von dieser Regel macht nur ein synthetisches Schmieröl.

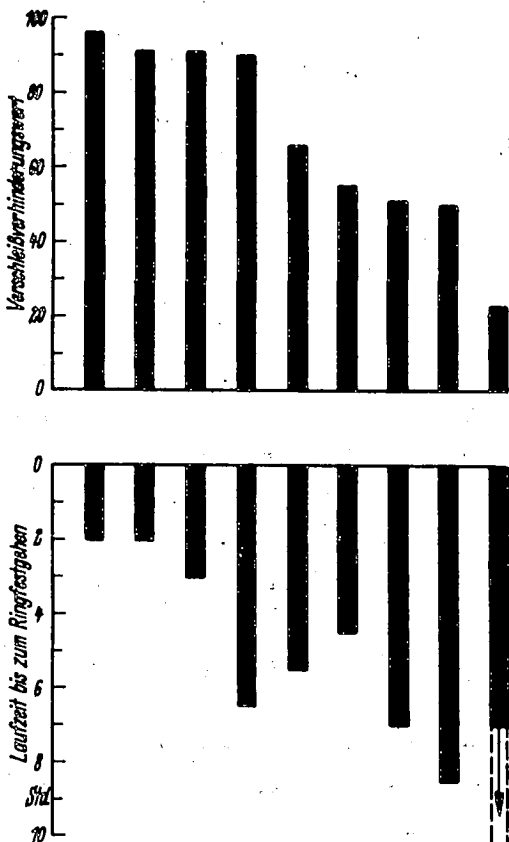


Abb. 25: Gegenüberstellung von Verschleißverhinderungswerten und Temperaturbeständigkeitswerten.

IV. Zusammenfassung.

Die in der DVL an mehreren Einzylinder-Prüfmotoren bei Verwendung verschiedener Schmieröle von annähernd gleicher Viskosität durchgeführten Reibungs- und Verschleißmessungen wurden kurz beschrieben, und an Hand der an großen Flugmotoren-Einzylinder ermittelten Versuchsergebnisse wurde gezeigt, daß es wohl möglich ist, mittels einer derartigen motorischen Prüfung die verschleißverhindernden Eigenschaften von Schmierölen zu bewerten, sowie die Größe der Unterschiede im Reibungsverhalten zu bestimmen.

V. Schrifttum.

- 1) Roensch, MM., Observations on cylinder-bore wear.  
SAE-Journ. Bd.40 (März 37) Nr.3, S.89
- 2) Pye, D.R., Surface films and lubrication. J.Roy.Aeron.Soc.  
Nr.310 (Okt.36) S.754
- 3) Williams, C.G., Cylinder wear in gasoline engines, SAE-  
Journ. (1936) Mai, S.191
- 4) Beck, G. und Bopp, A., Zylinderverschleiß und Ölverände-  
rung bei verschiedenen Betriebsbedingungen,  
Kraftstoff, Oktober/Nov. 1939, S.17
- 5) Englisch, C., Zylinderlaufbüchsen für Fahrzeugmotoren  
und ihre Werkstoffe, ATZ (1941), Heft 12, S.305
- 6) Bridgeman, O.C. u.Leidig, M.L., The effect of oil  
characteristics on wear in aviation engines,  
SAE-Tagung Detroit, Januar 1938, übersetzt in  
Luschau, Bd.4, (1938), Nr.8/9.
- 7) Zorn, H., Die chemische Technologie der Schmieröle.  
Nicht veröffentlichter Bericht, Juni 1938
- 8) Paul, W., Der Einfluß der Zähflüssigkeit verschiedener  
Schmieröle auf die Reibungsverluste eines Otto-  
Motors, Öl und Kohle (1941) Nr.9, S.116
- 9) Williams, C.G., Cylinder wear, Autom.Engr.(1938)  
Nr.374, S.285
- 10) Beck, G., Zylinder- und Kolbenringverschleiß, Dt.Kraft-  
fahrtforschung Heft 29 (1939) VDI-Verlag
- 11) Bopp, A., Zylinderverschleiß und Ölveränderung in Ab-  
hängigkeit vom Schmiermittel, Kraftstoff,  
Januar/Febr. 1940
- 12) Boerlage, G.D., und Gravesteyn, B.J.J., Cylinder wear in  
Diesel engines.SAE-Journ.,(1936) Mai, S.197
- 13) Vogelpohl, G. Zur Klärung des Gleitreibungsvorganges.  
Fußnote 48, Öl u.Kohle, (1939) Nr.37,S.720