

Nur zum Dienstgebrauch  
im Geschäftsbereich des Empfängers

G.3

000254

**Deutsche Luftfahrtforschung**

**Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 485**

*Versuche mit der in der DVL entwickelten Prüfmaschine  
H. Schökel*

**Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.**

**Institut für Betriebstofforschung**

**Berlin-Adlershof**

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen bei  
der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.

Berlin-Adlershof Fernruf 63 82 11

20

000255

**Zur Beachtung!**

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstgebrauchs 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 Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Verschuß zu halten. Panzer-verschuß nicht erforderlich.

000256

Versuche mit der in der DVL entwickelten  
Ölprüfmaschine.

Übersicht: Mit der in der DVL entwickelten Ölprüfmaschine wurden Schmierfähigkeitsprüfungen zur Erprobung der Maschine und Festlegung des Versuchsganges gemacht. Als Schmierstoffe wurden mehrere in ihrer Viskosität verschiedene Öle benutzt. Bei den Untersuchungen und der Auswertung wurde versucht, die Abhängigkeit der Lagertemperatur und des Reibungskoeffizienten von der Laufzeit und der jeweiligen Zähigkeit der Öle zu bestimmen. In einer weiteren Versuchereihe wurde die Reproduzierbarkeit der Messungen untersucht.

Der Bericht umfaßt:  
16 Seiten mit  
7 Abbildungen und  
2 Zahlentafeln.

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

Der Bearbeiter:

*H. Schökel*  
H. Schökel

Berlin-Adlershof, den 16.11.37.

Bsf. 501/29

- Gliederung:
- I. Zweck der Arbeit
  - II. Die Ölprüfmaschine.
    - a) Aufbau der Maschine
    - b) Meßverfahren
  - III. Prüfergebnisse
    - a) Untersuchung von 5 Schmierölen sehr verschiedener Viskosität
    - b) Untersuchung von 10 Flugmotorenölen
    - c) Nachprüfung der Versuche
    - d) Schlüsse aus dem Verfahren
  - IV. Zusammenfassung

I. Zweck der Arbeit.

Die heute übliche Untersuchung der Schmieröle im Laboratorium erfaßt eine ihrer wichtigsten Eigenschaften "die Schmierfähigkeit" überhaupt nicht. Es gibt zwar eine Reihe von Ölprüfmaschinen, die der Prüfung dieser Eigenschaft dienen sollen, in ihren Ergebnissen voneinander aber so stark abweichen, daß sich bisher keine allgemein durchsetzen konnte. Um die Voruntersuchungen, die zum Studium der Arbeitsweise und Auswahl von Ölprüfmaschinen erforderlich sind, nicht mit den verhältnismäßig hohen Anschaffungskosten solcher Maschinen zu belasten, wurde auf der DVL selbst ein entsprechendes Gerät entwickelt.

II. Die Ölprüfmaschine.

a) Aufbau der Maschine:

Der Aufbau der Maschine ist im Bericht FB 326<sup>+)</sup> beschrieben. Hier soll deshalb nur kurz darauf eingegangen werden.

Ein Gleichstrom-Nebenschlußmotor, der in sehr weiten Grenzen regelbar ist, treibt die senkrecht stehende Prüf- welle. Diese hängt in einem Schulterkugellager und wird in der Mitte durch ein Pendelkugellager abgestützt. Das untere fliegende Ende der Welle ist als Gleitlagerwelle ausgebildet

<sup>+) H. Wenzel, "Entwicklung einer Ölprüfmaschine", 30.4.35.</sup>

und dient als Prüfzapfen. Da die Welle bei einer Zerstörung des Lagers nicht beschädigt werden soll, ist hierfür als Werkstoff Chromnickelstahl, VCN 35, gewählt worden. Das Material wurde auf  $90 \text{ kg/mm}^2$  Festigkeit vergütet und die Welle dann geschliffen. Als Prüflager dient ein geteiltes Gleitlager mit 48mm Bohrung und 30mm Breite. Die Stahllagerschalen wurden mit einer Weißmetallegerung, bestehend aus 86,5% Bankzinn, 7,5% Antimon und 6% Elektrolytkupfer, ausgegossen. Das Lager wurde sehr sorgfältig eingeschabt mit anschließender längerer Einlaufzeit. Entsprechend den Gesetzen der hydrodynamischen Schmiertheorie wurde auf Schmiernuten verzichtet, nur an den Teilfugen des Lagers wurden im Winkel zur Belastungsrichtung keilförmige Schmierfalten eingearbeitet. Um eine Biegung der Welle, einseitige Belastung der Wälzlager und damit vermehrte Reibung auszuschalten, wurde das Prüflager selbsteinstellend ausgebildet. Zu diesem Zweck liegt das Lager in einem Lagerhalter, der gleichzeitig die gesamte Schmiermittelmenge und die Belastungsvorrichtung aufnimmt. Um die Selbsteinstellung zu ermöglichen, ruht der Lagerhalter auf einer Grundplatte und ist nach allen Seiten hin frei beweglich. Zur Belastung wird eine geeichte Schraubenfeder benutzt, die ihre Kraft mittels Druckstift direkt auf das Lager überträgt.

Das Öl, das zur Untersuchung in die Maschine gegeben wird, füllt die Zwischenräume zwischen Lager und Lagerhalter aus. Beim Betrieb wird nun das Öl an den Lagerspalten in das Lager gesaugt und an den Stirnflächen wieder ausgepreßt. Es fließt dann wieder dem Lagerspalt zu, sodaß ein Kreislauf entsteht. Durch diesen ununterbrochenen Kreislauf der sehr geringen Ölmenge, etwa 15 ccm, wird das Öl immer wieder zur Schmierung herangezogen. Infolge des geteilten Lagers bildet sich auf der Lauffläche ein Schmierfilm, dessen Stärke nur vom Öl abhängig ist, da Drehzahl und Belastung gleichgehalten werden.

b) Meßverfahren.

Gemessen wird bei einem Lauf die eingestellte Belastung, Drehzahl, Leistungsaufnahme des Motors und die Temperatur im Prüflager. Die Belastung läßt sich mit Hilfe der geeichten Feder und einer Schublehre auf  $\pm 1\%$  Fehler einstellen. Die Drehzahl wird mit einem Fliehpandengerät gemessen, das direkt mit dem Motor gekuppelt ist. Die Leistungsaufnahme des Motors wird durch Volt- und Ampèremeter bestimmt. Verwendet wurden Drehspulinstrumente mit veränderlichem Bereich, sodaß die Ablesungen mit genügender Genauigkeit erfolgen konnten. Um die Reibungsleistung des Prüflagers selbst zu bekommen, wurde von der Gesamtleistung  $N$ , die die Instrumente anzeigen, die Leerlaufleistung der Maschine  $N_L$  abgezogen. Als Leerlaufleistung wird die Leistung angenommen, die im Motor und in den beiden Wälzlager ohne Belastung bei der Betriebsdrehzahl verbraucht wird. Diese Annahme erscheint zulässig, da die Wälzlager ja im Prüflauf bei belastetem Prüflager nicht mit belastet werden. Aus der Reibungsleistung des Prüflagers ergibt sich dann die Reibungszahl nach der Formel  $\mu = \frac{N_R \cdot 10^2 \cdot 2}{P \cdot d \cdot \omega}$  darin bedeutet:

$N_R$  = Reibungsleistung des Prüflagers in kW =  $N - N_L$

$P$  = Belastung in kg

$d$  = Durchmesser der Welle in m

$\omega$  = Winkelgeschwindigkeit =  $\frac{\pi \cdot n}{30}$

Die Lagertemperatur wird 3mm unter der Lauffläche durch Quecksilberthermometer gemessen. Es wird allerdings infolge des einseitigen Wärmefflusses nicht die gerade im Ölfilm herrschende Temperatur ermittelt, sondern eine Temperatur, die etwas tiefer liegt. Dieser Fehler kann aber bei den Versuchen übersehen werden, da die Öle nur untereinander verglichen werden sollen. Die bei der Auswertung noch benötigte Zähigkeit ergeben die Viskositäts-Temperaturkurven der einzelnen Öle.

III. Prüfergebnisse.

a) Untersuchung von 5 Schmierölen sehr verschiedener Viskosität:

Vor Beginn der Untersuchung werden 15 ccm von dem zu untersuchenden Öl in die Maschine eingebracht und die Belastungsfeder gespannt. Die Maschine wird im Leerlauf auf die gewünschte Drehzahl gebracht, dann erst wird das Lager innerhalb von 1 Minute belastet. Die erste Ablesung erfolgt, wenn das Thermometer 45°C erreicht hat und wird dann in Zeitabständen von 3 Minuten wiederholt.

Es wurden drei Versuchsreihen aufgestellt. Nach jedem Versuch wurde die Welle, das Lager und der Lagerhalter sehr sorgfältig mit einem Benzin-Benzolgemisch gereinigt und getrocknet. Nach verschiedenen Vorversuchen, bei denen sich als günstigste Belastung 200 kg = 14 kg/cm<sup>2</sup> bei einer Drehzahl von n = 2000 U/Min. ergab, wurden 5 in ihrer Viskosität sehr verschiedene Öle geprüft: Spindelöl mit der geringsten Zähigkeit, leichtes Maschinenöl, Zylinderöl, HDL-Öl und Brightstock mit der höchsten Zähigkeit (Zahlentafel 1).

Zahlentafel 1

Untersuchte Stoffe

Bezeichnung	Eing.-Nr.	Dichte 6,20°C	Zähigkeit in Cp			
			20°C	50°C	100°C	150°C
Spindelöl	6/35	0,890	42	11,7	3,17	-
Leichtes Maschinenöl	8/35	0,918	293	46,5	7,4	2,56
Zylinderöl	9/35	0,918	803	94	11,8	3,47
HDL-Öl		0,943	1077	134	17,2	4,68
Brightstock	10/35	0,905	1790	202	22	6,02

Die Öle wurden nun solange gefahren bis die Lagertemperatur sich nicht mehr änderte.

Auf Grund der Versuche ergibt sich für jedes Öl aufgetragen über der Laufzeit eine Temperaturkurve, deren Steigung und Endpunkt eine Eigenart des betreffenden Öles ist (Abb. 1). Die Erreichung des Endpunktes, d.h. der Temperatur, bei der die Reibungswärme mit der Wärmeabfuhr im Gleichgewicht

steht, tritt bei den einzelnen Ölen fast zu derselben Zeit ein und zwar nach etwa 60 Minuten. Die Abweichungen im Temperaturanstieg und die verschiedene Temperaturhöhe ist im Gebiet der flüssigen Reibung durch die Zähigkeit der einzelnen Öle erklärt. Das Spindelöl mit der geringsten Zähigkeit gibt als Endtemperatur nur  $80^{\circ}\text{C}$ , während das Brightstock mit der größten Zähigkeit  $122^{\circ}\text{C}$  erreicht. Setzt man nun in einem Kurvenblatt anstatt der Lagertemperatur die Reibungszahl  $\mu$  als Ordinate ein, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie vorher (Abb. 2). Die so entstandenen Reibungskurven zeigen wieder, daß das Spindelöl die geringste Anlauf- und Endreibung hat, während das Brightstock die höchste Reibungszahl aufweist.

Um nun eine direkte Vergleichsmöglichkeit für die einzelnen Öle zu haben, ist es zunächst notwendig, den Einfluß der Zähigkeit auszuschalten, d.h. die Reibungszahl der Öle muß jeweils bei einer Temperatur betrachtet werden, die einer bestimmten Zähigkeit entspricht. Trägt man somit als Ordinate in einem Kurvenblatt die Reibungszahl  $\mu$  auf und als Abzisse die kinematische Zähigkeit in Centipoisen, so erhält man das in Abb. 3 dargestellte Bild. Bei gleicher Zähigkeit von z.B. 15 Cp erreicht das Spindelöl eine größere Reibungszahl als das HDL-Öl. (Das Spindelöl wird ja im allgemeinen auch nicht zur Schmierung höher belasteter Lager verwendet). ~~Vergleicht man die reinen Maschinenöle miteinander, so sieht man~~ daß das leichte Maschinenöl, das eine flachere Viskositätskurve und auch eine geringere Endtemperatur im Lager ergeben hatte, bei gleicher Zähigkeit eine größere Reibungszahl aufweist als das Zylinderöl. Daraus geht hervor, daß die Schmierwirkung eines Öles im Gebiet der flüssigen Reibung nicht nur von der Zähigkeit des Öles, wie vorher angenommen, abhängig ist.

Tritt metallische Reibung ein, so müßte die Reibungskurve, was aus dieser Arbeit nicht hervorgeht, nach der Seite der größten Reibung abbiegen. Man kann nun daraus folgern, daß jenes Öl für ein dem Versuchslager ähnliches Lager das bessere ist, das bei der gleichen Zähigkeit die kleinste Reibungszahl ergibt und bis zur Erreichung des Beharrungszustan-



des im Lager als Kurve eine Gerade bildet.

b) Untersuchung von 10 Flugmotorenölen:

Um die erste Versuchsreihe nachzuprüfen und die Gültigkeit der Versuchsergebnisse so verschiedener Öle auf eine enger begrenzte Ölgruppe zu übertragen, wurden nun Versuche mit 10 Flugmotorenölen angestellt. Von diesen 10 Ölen waren zwei gefettet und eines ein reines Fettöl.

Zahlentafel 2

Untersuchte Flugmotorenöle.

Bezeichnung.	Eing.- Nr.	Dichte b. 20°C	Zähigkeit in Cp			
			20°C	50°C	100°C	150°C
Stanavo 120	Lg 1	0,891	1202	165	20,9	6,58
" 120	193/35	0,890	1016	152	19,7	6,07
Grünstreif	181/34	0,884	1260	162	20,3	6,0
Rotring	160/35	0,882	811	115	16,4	5,5
Valvoline XH	165/35	0,890	1047	147	21,4	6,68
Aero XX	170/35	0,893	988	159	22,2	6,13
Mobilöl Aero H	Lg 4	0,890	1127	157	20,9	6,68
Aero Shell mittel	Lg 2	0,919	978	124	16,7	4,13
Aero Shell schwer	183/34	0,902	1134	147	20,0	6,1
Speedwell WJ	Lg 3	0,958	940	126	16,1	5,45

Die einzelnen Versuche wurden ebenso ausgeführt wie die vorher beschriebenen. Um eine gute Übereinstimmung zu haben und nicht auf Zufallswerte angewiesen zu sein, wurde jeder Versuch 2 bis 3mal gemacht. Die Ergebnisse sind in zwei Reibungszahl- Zähigkeits-Schaubildern niedergelegt (Abb. 4 u. 5). Sie zeigen, daß die Kurven der sieben nicht gefetteten Flugmotorenöle linear verlaufen. Die Reibungszahlen der Öle weichen bei gleicher Zähigkeit bis zu 15% voneinander ab. Die gefetteten Öle bilden leicht gekrümmte Kurven und zwar so, daß die Reibungszahl bei hoher Zähigkeit - also zum Beispiel beim Anlaufen der Maschine - kleiner ist als die eines ent-

sprechenden reinen Maschinenöles. Die Kurve des reinen Fettöles, in diesem Falle Speedwell, ist stärker gekrümmt, damit bestätigt sich die bekannte Tatsache, daß ein gefettetes Öl für ein hoch belastetes Lager und im Anfahren günstiger ist als ein reines Mineralöl.

c.) Nachprüfung der Versuche:

Um den gesamten Versuchsgang und die Ergebnisse zu überprüfen, wurden zum Schluß die Werte von 3 Ölen nochmals bestimmt. Die Nachprüfung bestand in einer Wiederholung des Prüflaufes mit dem betreffenden Öl in gleicher Weise wie eingangs beschrieben. Bei dem Vergleich der jetzt gewonnenen Kurve mit der ersten Kurve desselben Öles zeigt sich nun eine bedeutende Abweichung und zwar eine bis zu 12% vermehrte Reibung. (Abb. 6). Dieser Fehler zwischen zwei zeitlich auseinander liegenden Versuchen ist für ein Prüfverfahren zu groß. Aus den Kurven der Flugmotorenöle ersieht man, daß innerhalb dieser Streuung die Kurven aller 10 Öle liegen. Diese großen Streuungen sind wahrscheinlich auf eine Veränderung der Lageroberfläche zurückzuführen. Deshalb wurde noch eine dritte Versuchsreihe angeschlossen, bei der durch entsprechende Auswertung versucht werden sollte, die durch die Maschine verursachten Fehler auszuschalten.

Die Veränderung der Lageroberfläche zwischen zwei aufeinander folgenden Versuchen ist klein und kann, wie die ersten Läufe beweisen, vernachlässigt werden. Vergleicht man nun nicht wie vorher die einzelnen Versuchsläufe untereinander, sondern mit einem Bezugsöl, das jeweils als Zwischenversuch gefahren wird, so müßte sich dadurch eine Vergleichsmöglichkeit der verschiedenen Öle untereinander ergeben.

Für diese Versuchsreihe wurde als Vergleichsöl Grünstreif (184/34) und als Prüföle die beiden Schmierstoffe HDL-Öl und Zylinderöl (9/35) gewählt.

Bei der Auswertung wurde in Abb. 7 das Bezugsöl als Abzisse genommen und die Zähigkeit in Cp darauf abgetragen, die Ordinate gibt dann als Teilung die Differenz der Rei-

bungszahlen von Prüföl und Bezugsöl bei gleicher Zähigkeit an. Es müßten nun die Kurven verschiedener Läufe eines Prüföles, bezogen auf den dazu gehörenden Lauf des Bezugsöles, zusammenfallen, da, wie oben gesagt, die Fehler, veranlaßt durch die Veränderung der Lageroberfläche, vernachlässigt werden können. Als Kennzahl für die einzelnen Öle läßt sich ~~der Steigungswinkel und die Lage der Kurven verwenden.~~ Die Abb.7 zeigt jedoch, daß die Streuungen in gleichem Umfange weiterbestehen. Um sie zu erklären, wurde zunächst eine Nachprüfung der Meßgenauigkeit vorgenommen. Von der Lieferfirma der elektrischen Meßgeräte wird für diese Instrumente ein Fehler von + 1,5% angegeben, die von dem Elektromotor dem Netz entnommene Leistung schwankt ebenfalls um +5% infolge verschiedener Belastung durch andere Maschinen, außerdem kommt noch eine veränderliche Trägheit der Temperaturmessung hinzu. Addieren sich nun im ungünstigsten Falle alle Fehler, so würde sich eine Kurve ergeben, die noch ungünstiger liegt wie die in Abb.7 dargestellte.

~~Da die Unterschiede in der Schmierfähigkeit, als Reibungszahl über der Zähigkeit aufgetragen, bei Flugmotorenölen nur 15% betragen (Abb.4), muß also die Genauigkeit bei der Ermittlung der Reibungszahl gesteigert werden.~~

d) Schlüsse aus dem Verfahren:

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß das angewendete Verfahren zur Bestimmung der Reibungszahl bei Flugmotorenölen, obwohl die Werte der einzelnen Produkte sehr eng zusammenliegen, nach Abstellung der Meßfehler nicht unbrauchbar ist. Es käme hierfür eine Maschine mit waagerechter Welle in Frage, deren Lauffläche glashart ist, um die Abnutzung gering zu halten. Das Prüflager erforderte Feinstbearbeitung, um ein Einlaufen zu vermeiden. Für jeden Prüflauf wäre ein neues Halblager zu benutzen. Damit das Lagerspiel jedesmal gleich ist, müßten die Lager mit Edelpassung hergestellt werden. Die Reibungsmessung durch Bestimmung der Leistungsaufnahme müßte durch eine Messung mittels Reibungswaage ersetzt werden.

#### IV. Zusammenfassung.

=====

In der vorliegenden Arbeit werden eine in der DVL entwickelte Ölprüfmaschine und Versuche mit dieser Maschine beschrieben. Es wurden zuerst 5 in der Viskosität sehr verschiedene Schmieröle geprüft. Die Auswertung der Versuche im Reibungs-Viskositäts-Schaubild ergab eine verschiedene Bewertung der Öle. Die Versuche wurden mit 10 Flugmotorenölen, von denen drei gefettet waren, wiederholt. Die gefetteten Öle hatten beim Anfahren in der belasteten Maschine eine kleinere Reibungszahl als ein entsprechendes Mineralöl. Eine Nachprüfung der Versuche zeigte Fehler, die auf die mangelnde Messgenauigkeit bei der Bestimmung der Reibungszahl zurückzuführen sind. Um die Fehler auszuschalten, wäre die Verwendung einer abgeänderten Ölprüfmaschine mit Reibungswaage erforderlich. Ein Versuch, durch Vergleich mit einem Bezugsöl die Unterschiede im Zustand der Maschine auszuschalten und damit eine bessere Übereinstimmung zu erreichen, war nicht erfolgreich.

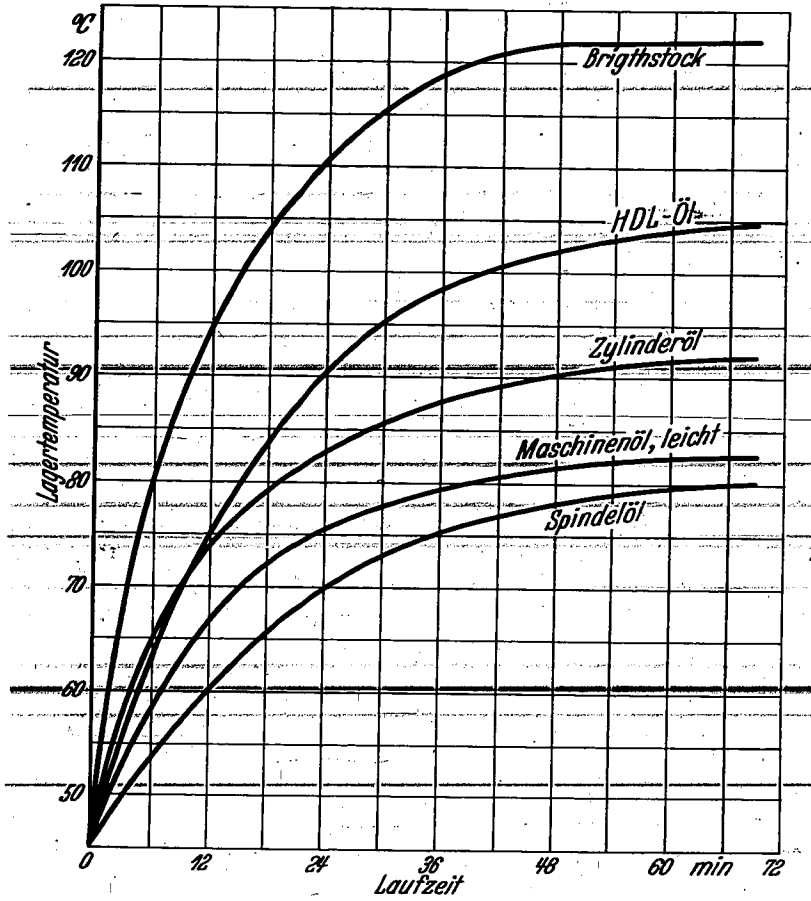


Abb.1 Lagertemperatur in Abhängigkeit von der Laufzeit

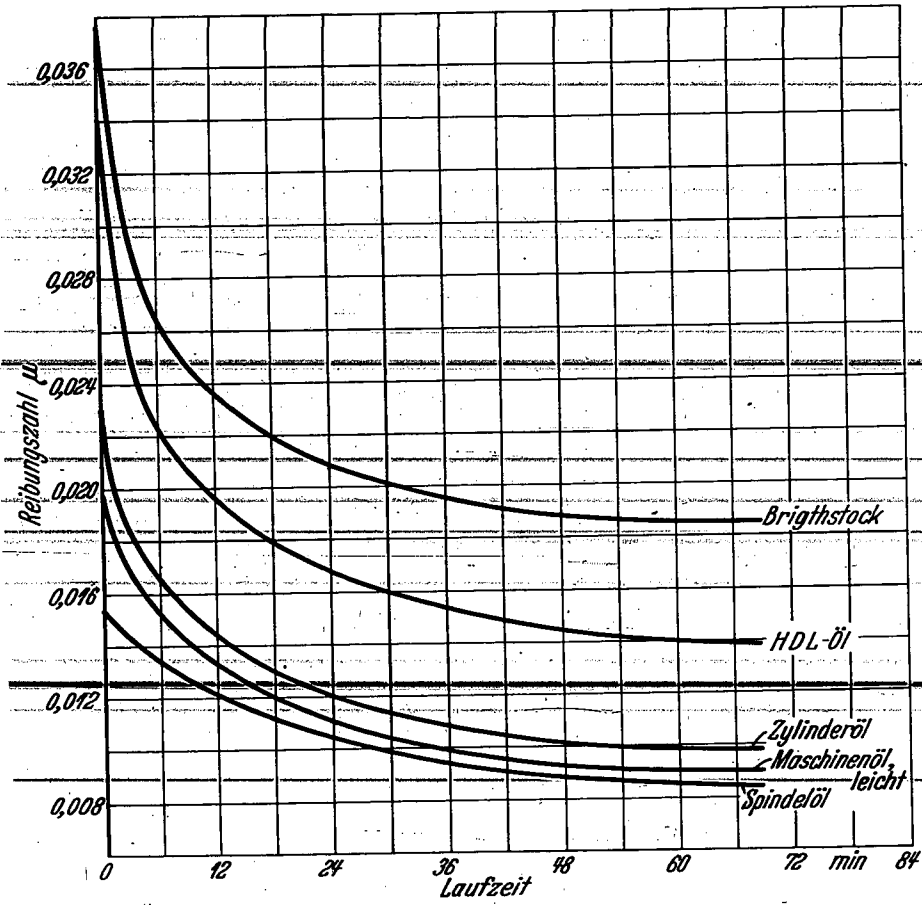


Abb.2 Reibungszahl  $\mu$  in Abhängigkeit von der Laufzeit

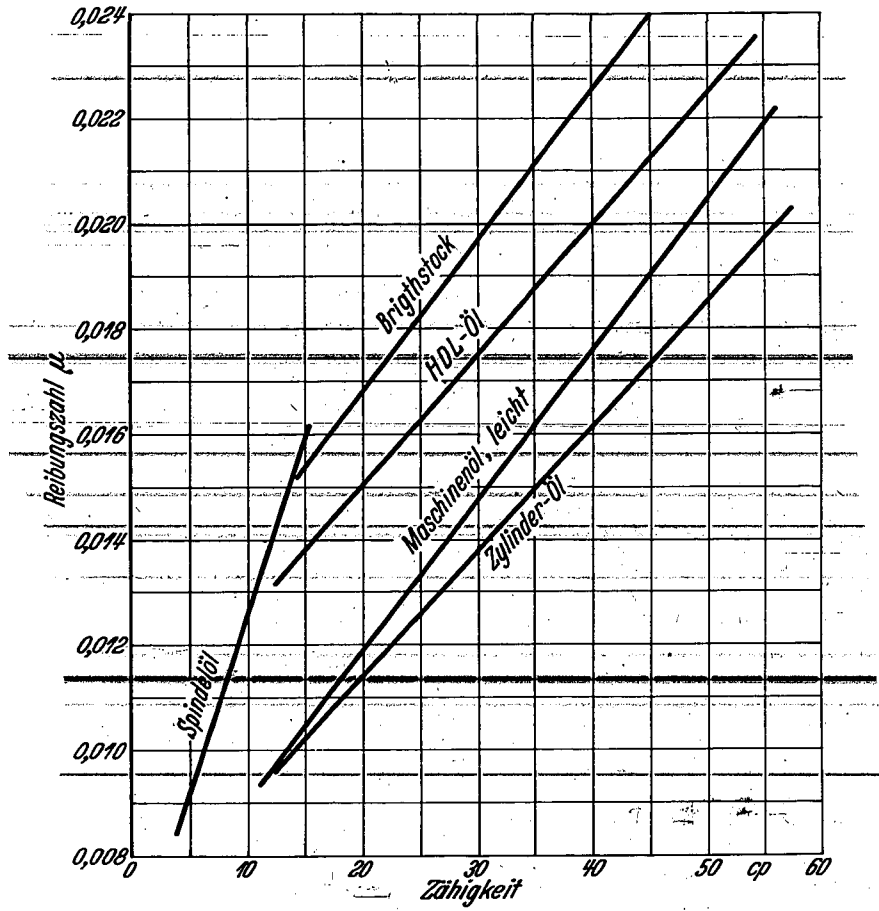


Abb. 3 Reibungszahl  $\mu$  in Abhängigkeit von der kinematischen Zähigkeit

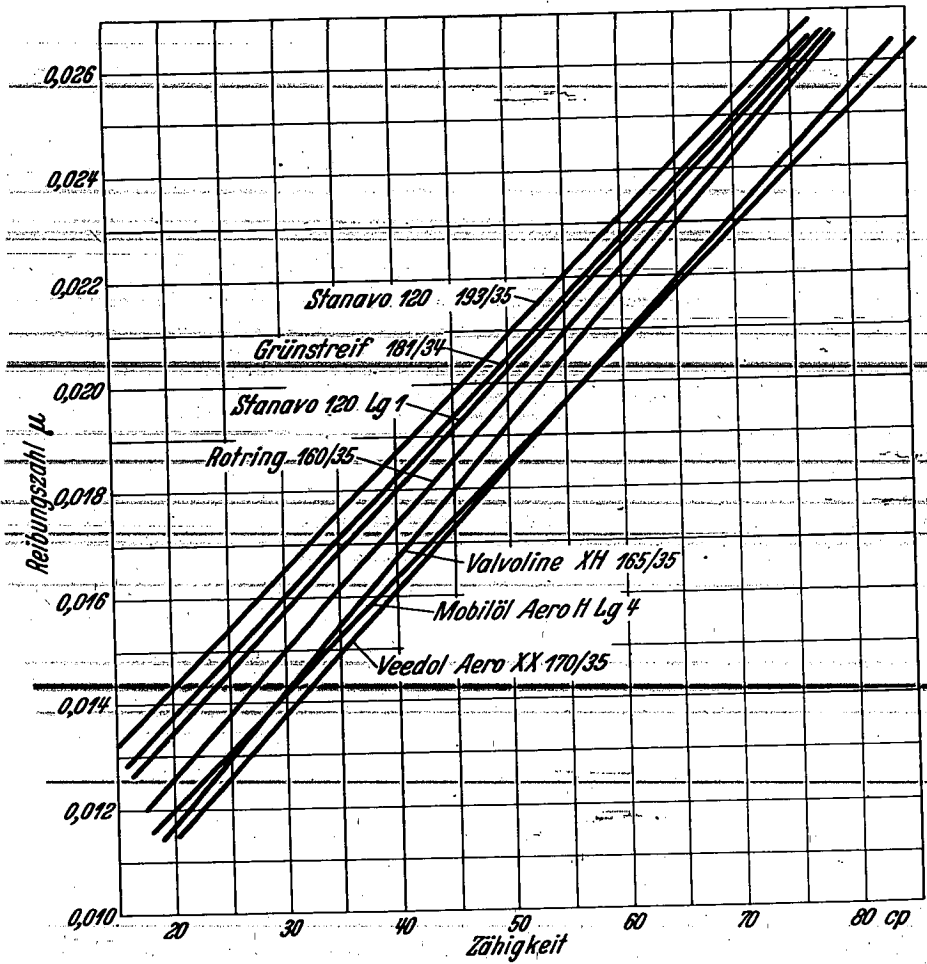


Abb.4 Reibungszahl in Abhängigkeit von der Zähigkeit Mineralöle



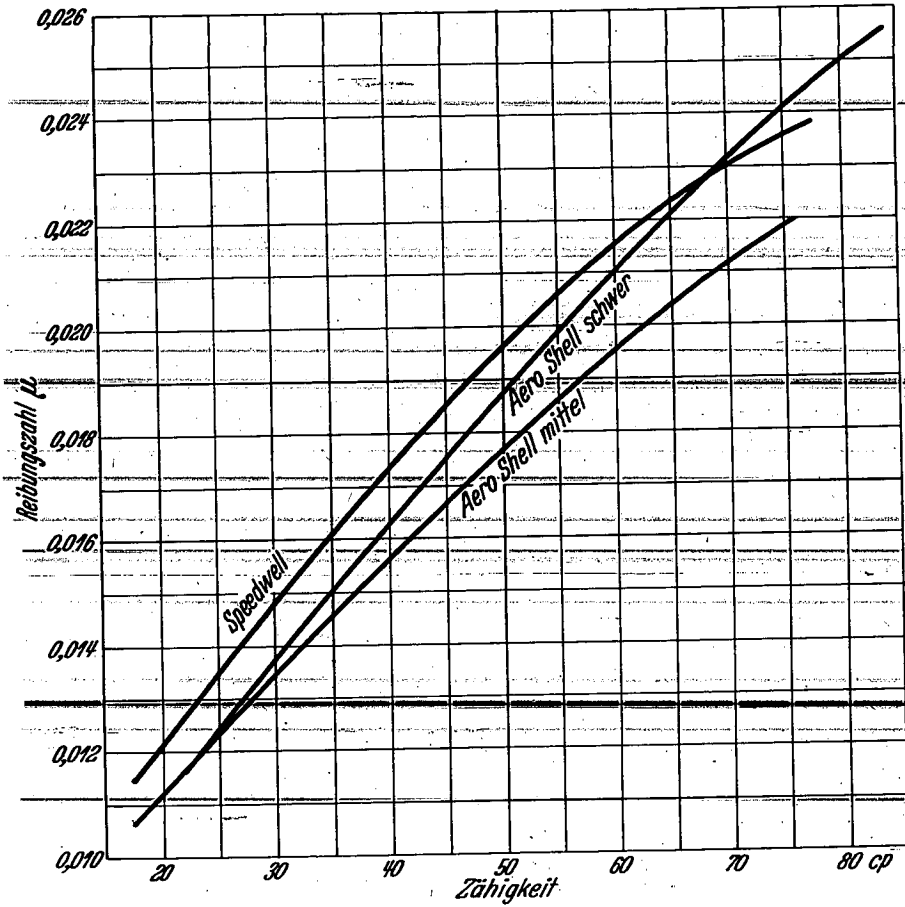


Abb. 5 Reibungszahl  $\mu$  in Abhängigkeit von der Zähigkeit gefettete Öle

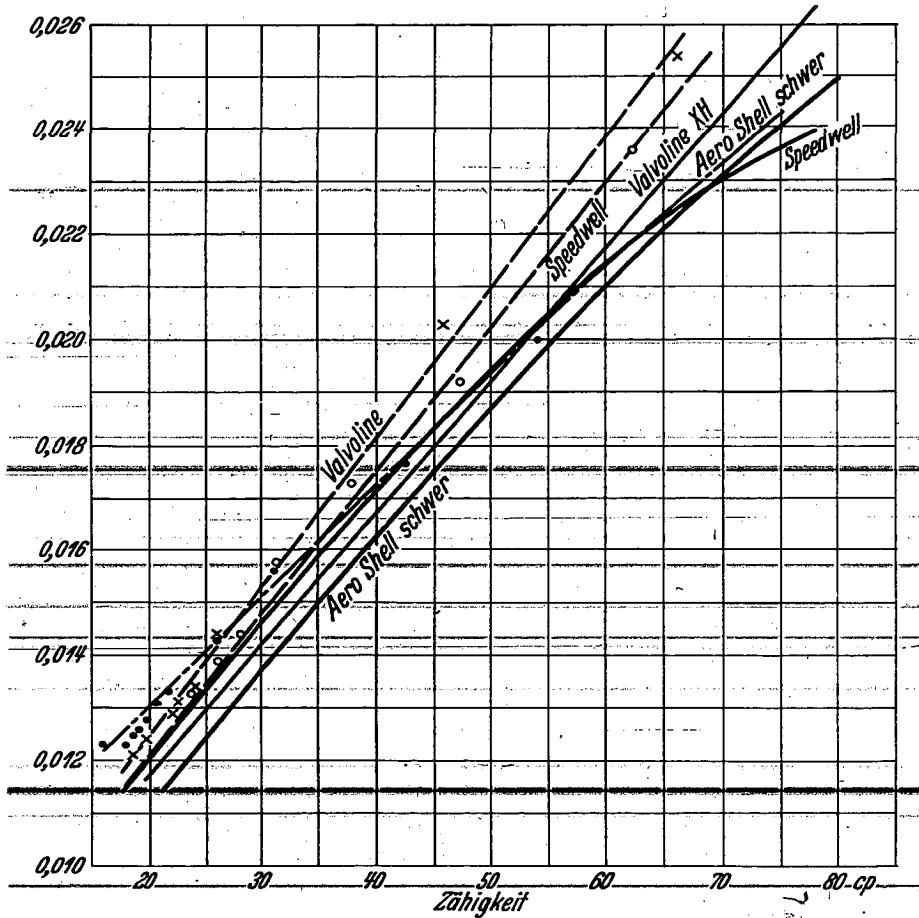


Abb.6 Reibungszahl  $\mu$  in Abhängigkeit von der Zähigkeit (Darstellung der Streuung bei Versuchswiederholung)

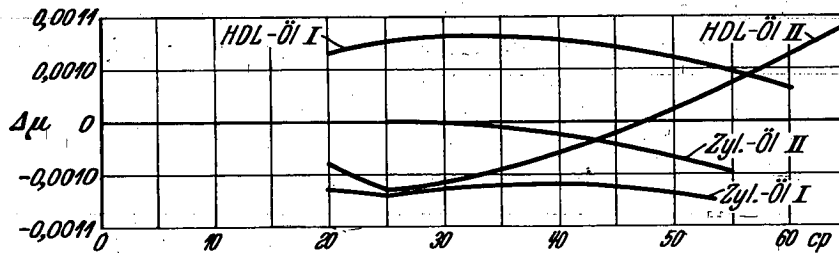


Abb.7 Differenz der Reibungszahl  $\mu$  von HDL-Öl und Zylinderöl bezogen auf Grünstraf