

**Nur für den Dienstgebrauch**

**G 35 A 27**

**000446**

# **Deutsche Luftfahrtforschung**

**Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 726**

**Messung von Reibungskoeffizienten am PTR-Gerät  
Eckardt/Krienke**

Verfaßt bei

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

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

000447

### **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.

Messung von Reibungskoeffizienten am PTR-Ga

Bericht: An dem von der PTR mit Unterstützung der entwickelten und im Institut BS neu aufgestellten Ölprüfstandes Reibungsmessungen ausgeführt. Durch Änderung der Versuchsbedingungen konnte die Streugrenze der Messungen erheblich verbessert werden. Danach wurde der Reibungskoeffizient gemessen. Die Messungen wurden bei einer Temperatur von 20°C durchgeführt.

Gliederung:

- I. Versuchsgerät
- II. Verbesserung der Messung
- III. Messung der Reibungskoeffizienten
- IV. Zusammenfassung

Zur gefl. Beachtung!

In letzter Zeit mehrten sich die Rückläufer der Empfänger, die zurückgeschickt werden. Um dies zu vermeiden wird nochmals höflich gebeten, die Unterzeichnung einzusenden.

Institut für Betriebstoffforschung  
der  
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.

Die Bearbeiter:

H. Eckardt

G.F. Krienke

C.F. Krienke

Berlin-Adlershof, den 10. Juli 1943.

BSf 334/8/1

Zu getll. Beachtung!

In letzter Zeit mehren sich die Fälle, daß seitens der Herren Berichts-  
empfänger die Empfangsbescheinigungen für Forschungsberichte verspätet  
zurückgesandt werden. Um Arbeitskräfte, Arbeitszeit und Papier einzusparen,  
wird nochmals höflich gebeten, die Empfangsbescheinigungen sofort nach  
Unterzeichnung einzusenden.

Zentrale für wissenschaftliches  
Berichtswesen der Luftfahrtforschung  
des Generalluftzeugmeisters (ZWB)

000448

Messung von Reibungskoeffizienten am PTR-Gerät

Übersicht: An dem von der PTR mit Unterstützung der DVL ent-  
wickelten und im Institut BS neu aufgestellten Ölprüfgerät wur-  
den Reibungsmessungen ausgeführt. Durch Änderung der ursprüng-  
lichen Versuchsbedingungen konnte die Streugrenze der Ergeb-  
nisse verbessert werden. Danach wurde für eine Anzahl von Stoffen  
der Reibungskoeffizient gemessen, für zwei Öle auch bei höhe-  
rer Temperatur.

Gliederung:

- I. Versuchsgerät und Leistungsfähigkeit
- II. Verbesserung der Reproduzierbarkeit durch  
Änderung der Versuchsbedingungen
- III. Messung der Reibungskoeffizienten verschie-  
dener Flüssigkeiten nach dem Sektor-Ver-  
fahren
- IV. Zusammenfassung

Der Bericht umfaßt:  
15 Seiten mit  
6 Abbildungen und  
1 Zahlentafel

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

Die Bearbeiter:

H. Eckardt

C. F. Krienke

C. F. Krienke

Berlin-Adlershof, den 10. Juli 1943  
BSf 334/8/1

## I. Versuchegerät und Leistungsfähigkeit.

Das für die Untersuchungen verwendete Gerät ist von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR) zur Bestimmung des Reibungswertes von Schmierstoffen entwickelt worden. Auf einer vor den einzelnen Versuchen gelüfteten, ebenen Platte gleitet auf einer dünnen Schicht des zu untersuchenden Öles ein Stahlstift; die Kraft, mit der die sich gleichmäßig drehende Platte den Stift mitzunehmen versucht, wird gemessen und dient als Maß für den Reibungswert zwischen Platte und Stift in der zu untersuchenden Ölschicht. Das Gerät, sowie das Meßverfahren ist an anderer Stelle bereits ausführlich beschrieben worden,<sup>1)</sup> sodaß es sich erübrigt, hier noch näher darauf einzugehen.

Für das in der DVL neu in Betrieb genommene Gerät war zunächst die Meßgenauigkeit festzustellen. Es wurden hierfür die beiden in ihrem chemischen Aufbau stark unterschiedlichen Motorenöle Rotring D als rein mineralisches Öl und Kompressol als stark gefettetes Öl, beide von gleicher Viskosität ( $18^{\circ}\text{E}/50^{\circ}\text{C}$ ), benutzt.

In zahlreichen Läufen stellte sich heraus, daß trotz genauer Einhaltung der von der PTR angegebenen Versuchsbedingungen die Reproduzierbarkeit sehr schlecht war, wie es die auf Abb. 1 u. 2 dargestellten Kurven zeigen. Vor allem im Gebiet höherer Geschwindigkeiten streuten die verschiedenen Läufe mit gleichem Öl sehr stark.

## II. Verbesserung der Reproduzierbarkeit durch Änderung der Versuchsbedingungen.

Es ergab sich aus dem Vorstehenden die Aufgabe, durch Änderung der Versuchsbedingungen (wie Druck, Zustand des Ölfilms, Plattenmaterial, Schleifmittel, Plattenreinigung, Wirtdänge) die Streugrenzen einzuzüngen.

### a) Druck:

Die starke Weigung einiger Kurven deutete darauf hin, das der Druck mit  $135 \text{ kg/cm}^2$  nicht ausreichte, um hydrodynamisch

1) V. Vieweg, J. Kluge, Elektronenmechanisches Verfahren zur Messung der Reibungskraft im Zustand der Grenzreibung, ZWB-Bericht FB 1478 (1.8.41)

nische Schmierung auszuschließen. Bei reiner Grenzreibung muß nach den bisherigen Erfahrungen der Reibungskoeffizient für alle Geschwindigkeiten gleich bleiben, die Kurve also horizontal verlaufen. Diese Voraussetzung wurde schon besser erfüllt durch Steigerung des Druckes auf  $320 \text{ kg/cm}^2$ . Die Kurven in Abb. 3 u. 4 verlaufen wesentlich flacher als die vorher in Abb. 1 und 2 gezeigten, wodurch auch die Streuungen im Gebiet höherer Geschwindigkeiten eingeeignet werden.

#### b) Zustand des Ölfilms:

Weiter erwies sich der Zustand des Ölfilms als wichtig. Dicke, fließende Filme ergaben, besonders bei Rotring, niedrigere Reibungswerte als dünne. (Vgl. Abb. 1 bis 4). Die Ursache liegt vielleicht darin, daß bei dicken Filmen doch noch stellenweise hydrodynamische Schmierung eintritt. Sehr dünne, nicht gewischte Filme hingegen haben teilweise sehr hoch liegende Reibungswerte, die beim Aufbringen des Ölflechtes sofort auf normale Niveaus absanken. Es ergibt sich hieraus, wie in vielen Versuchen bestätigt wurde, daß es, besonders bei dickflüssigen Ölen, von Wichtigkeit ist, die Laufspur des Stiftes durch Aufsetzen des Wischers dauernd neu mit Öl zu versorgen, da sich sonst u.U. partielle Trockenreibung durchsetzt. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß der Wischer, vor allem nach der Benutzung für ein Fettöl, äußerst sorgfältig mit geeigneten Lösungsmitteln gereinigt werden muß.

Unter Berücksichtigung der bis hierhin gemachten Erfahrungen ergaben sich in zwei Serien von Kontrollläufen für Rotring und Kompressol folgende Streugrenzen (vgl. Abb. 5).

	Rotring	Kompressol
bei 1 cm/sec $\mu$ :	0,18-0,20	0,15 - 0,16
bei 8 cm/sec $\mu$ :	0,17-0,19	0,145- 0,155
Streubreite bei 1 cm/sec	+ 5%	+ 3%
" 8 cm/sec	+ 6%	+ 4%

- 2) Vgl. a) J. Kluge, Erwärmung, Reibung u. Benutzung im Zustand der Grenzschmierung u. ihre Beziehung zur Schmierfähigkeit  
 b) Bochmann, Grenzschmierung u. Coulombsches Gesetz  
 Bericht über die Schmierstoff-Tagung, 1. Teil: Reibung u. Verschleiß, Kalteverhalten v. 11./12.12.41, S. 91-106 u. S. 113/118

g) Plattensorte:

Da die Kurven inner noch nicht völlig horizontalen Verlauf zeigten und da demnach noch keine reine Grenzreibung vorlag, wurde eine andere Plattensorte (G 19) anstelle der vorher benutzten (T 3) bei der PTR angefordert. Jedoch ergab auch diese Maßnahme noch nicht die gewünschte Wirkung.

d) Schleifmittel:

Erst das auf Vorschlag der PTR angewendete Schleifmittel (Optolit 6 anstelle von Optolit 2) führte zum Erfolg. Auf der nunmehr sichtbar rauheren Oberfläche ergab sich für Rotring D u. das jetzt angewendete gefettete M1. zero Shell mittel horizontaler Verlauf bei Geschwindigkeiten über 2,5 cm/sec. (Abb. 6 u. 7). Die Streugrenzen änderten sich wie folgt:

	Rotring	ASM
bei 2,5 cm/sec	0,172-0,182	0,168-0,180
" 18 cm/sec	0,172-0,182	0,168-0,180
Streubreite	+ 3%	+ 4%

Somit war es möglich, unter sorgfältiger Beachtung der bisherigen Erfahrungen reine Grenzschmierung reproduzierbar zu erhalten, wobei die Streugrenzen auf + 3 bis 4% gesenkt werden konnten.

e) Reinigung:

Bezüglich der Reinigung hat sich erwiesen, daß das Schleifen mit Optolit 6 nach jedem Lauf nicht erforderlich ist, sondern daß eine gründliche Behandlung mit geeigneten leicht-flüssigen Lösungsmitteln (Benzin bzw. Benzol und, falls dies nicht ausreicht, destillierter und über Aluminiumoxyd gereinigter Petroläther) völlig genügt. Es wurde z.B. die Platte nacheinander mit Rotring - Fettöl - Rotring beschickt (mit jedesmaliger Zwischenreinigung), wonach der letzte Rotringwert der gleiche war wie der erste. Auch der Zusatz von Autokollag oder Trikresylphosphat zeigt keine Nachwirkung.

### 2. Stiftläufer

Als Stiftläufer wird zweckmäßigerweise ca. 2 mm genormt. Bei kürzerem Stift kriecht leicht Öl in die Halterung, bei längerem Stift tritt Durchbiegung ein, was zu einer Querschnittsänderung der Gleitfläche und damit zur Änderung des spezifischen Druckes führt.

### III. Messung der Reibungskoeffizienten verschiedener Flüssigkeiten nach dem "Sektor-Verfahren".

Trotz sorgfältiger Berücksichtigung der neuen Versuchsbedingungen waren die Streugrenzen immer noch zu groß, um die kleinen Reibungsunterschiede zwischen verschiedenen Ölen derselben Art im Rinzellauf wiederholbar messen zu können. Es wurde daher ein vereinfachtes, vergleichendes "Sektor-Verfahren" ausgearbeitet. Hierbei wird die Platte zur Hälfte mit Rotring D als Vergleichsöl und zur anderen Hälfte mit dem zu prüfenden Öl beschickt. Zwischen beiden Halbkreisen bleiben zwei kurze Strecken unbenetzt, um ein Verschleppen des einen Öles in das andere hinein zu verhindern. Aus dem gleichen Grund ist darauf zu achten, daß kein Öl an Stift entlang in den Halter hinaufkriecht, was besonders bei dicken Ölen leicht auftreten kann. Als Prüfgeschwindigkeit kommt 2 bis 4 cm/sec ( $n = 300$  bis  $600$  U/min) in Betracht. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten macht sich die Krümmung zum Haftreibungswert hin störend bemerkbar, bei höheren Geschwindigkeiten reicht die Zeit nicht aus, um das Fendel auf dem jeweiligen Sektor zur Ruhe kommen zu lassen.

Es wurden nun für eine Reihe von Stoffen die Reibungskoeffizienten gemessen und die Ergebnisse in Zahlent. 1 zusammengestellt. Es geht hieraus hervor, daß es möglich ist, auch kleine Unterschiede zwischen den Reibungskoeffizienten verschiedener Öle festzustellen, man muß sich jedoch klar darüber bleiben, daß die ermittelten Werte nur relative sind, die erst unter Berücksichtigung der Streuung von 3 bis 4% als absolut gelten können.

Erwähnt seien noch die Ergebnisse, die mit verdunstendem Benzin, Benzol und Petroläther erhalten wurden. Auf Abb. 8

sind die Galvanometerausschläge in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Bemerkenswert an den Kurven ist das Ansteigen des Reibungswertes unmittelbar nach dem Anbringen des Prüfstoffes auf die trockene Platte. Eine Erklärung hierfür steht noch aus, während der folgende Abfall des Reibungswertes auf die Anreicherung an schweren, besser schmierenden Bestandteilen infolge Verdunstens der leichteren zu erklären ist. Anschließend nimmt die Reibung wieder zu, da der Trockenreibungsanteil sich gegen die minimalen Gleite zunehmend durchsetzt.

Schließlich wurde noch untersucht, ob am PTR-Gerät auch Erscheinungen zu beobachten sind, wie die von Tabor<sup>3)</sup> festgestellte plötzliche Änderung der Adhäsion bei Überschreiten einer bestimmten, für jedes Öl eigenen, kritischen Temperatur. In orientierenden Versuchen mit provisorischer Heizung wurde bei Temperaturen bis + 80°C für Rotring D und für Derop-Dieselöl keine Änderung des Reibungskoeffizienten beobachtet.

#### IV. Zusammenfassung.

Es wurde festgestellt, daß sich die Reibungskoeffizienten zahlreicher mineralischer Motorenschmieröle gleicher Viskosität, aber verschiedener Herkunft nur wenig unterscheiden (innerhalb der Meßgenauigkeit des Gerätes). Zusätze, wie Graphit, Trikresylphosphat und Kalciumchlorstearate bewirkten keine Veränderung der Reibungskoeffizienten, während gefettete Öle niedrigere Werte zeigen. Temperatursteigerung bis 80°C wirkte sich auf die Reibungskoeffizienten von Rotring D und Derop-Dieselöl nicht meßbar aus.

3) Tabor, D., Effect of temperature on lubricating films, Nature, Bd. 143 (1940) S. 308

000451

Zahlentafel 1

Reibungskoeffizienten

(gemessen)

(umgerechnet auf  
Rotring = 0,175)

Olein	0,138	gegen Rotring	=0,182	0,131
Rotring+Le-Olein	0,145	"	" =0,183	0,137
Kompressol	0,14-0,16	"	" -	-
Derop-Dieselöl	0,153	"	" -	-
AS: 18/39	0,158	"	" =0,172	0,161
AS: 358/40	0,158	"	" =0,170	0,163
AS: 183/39	0,163	"	" =0,170	0,168
LA 200	0,169	"	" =0,178	0,166
LP II	0,171	"	" =0,176	0,170
ED 24	0,167	"	" =0,172	0,170
SDR	0,170	"	" =0,175	0,170
	0,170	"	" =0,172	0,173
Brightstock	0,175	"	" =0,177	0,173
	0,173	"	" =0,173	0,175
Rotring+Calcium- dichlorstearat	0,178	"	" =0,178	0,175
Grünring	0,169	"	" =0,169	0,175
Rotring+Auto- kollag	0,187	"	" =0,187	0,175
Stanavo 100	0,176	"	" =0,172	0,179
Gulfpride	0,172	"	" =0,167	0,180
Glycerin	0,217	"	" =0,172	0,220
Petroleum	0,18-0,19	"	" -	-
Petroläther	ca. 0,23	"	" -	-
Dest. Wasser	" 0,29	"	" -	-
Trockenreibung	0,30-0,35	"	" -	-

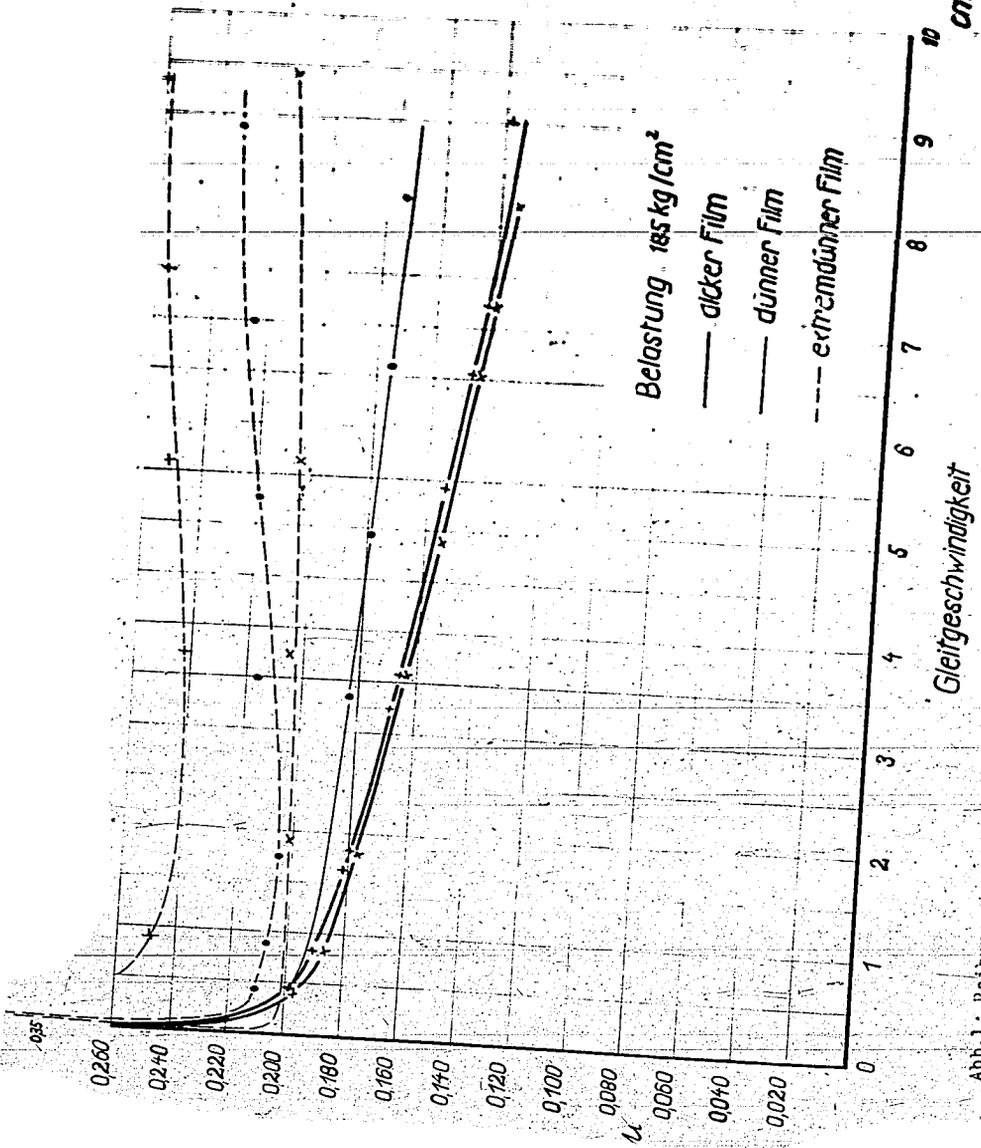


Abb. 1: Reibungswerte von Rotiruz D in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit

# Gleitgeschwindigkeit

Abb.1: Reibungswerte von Retri; D in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit

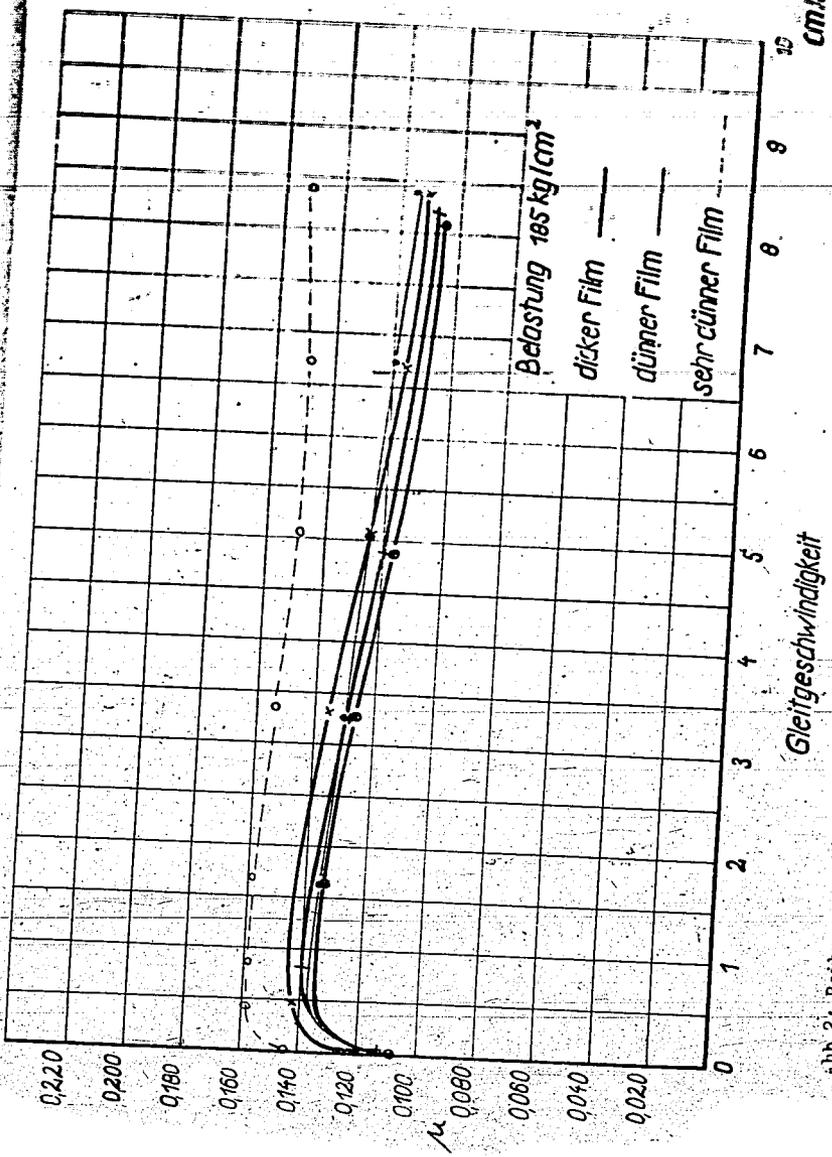


Abb.2: Reibungswerte von Kompressol in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit

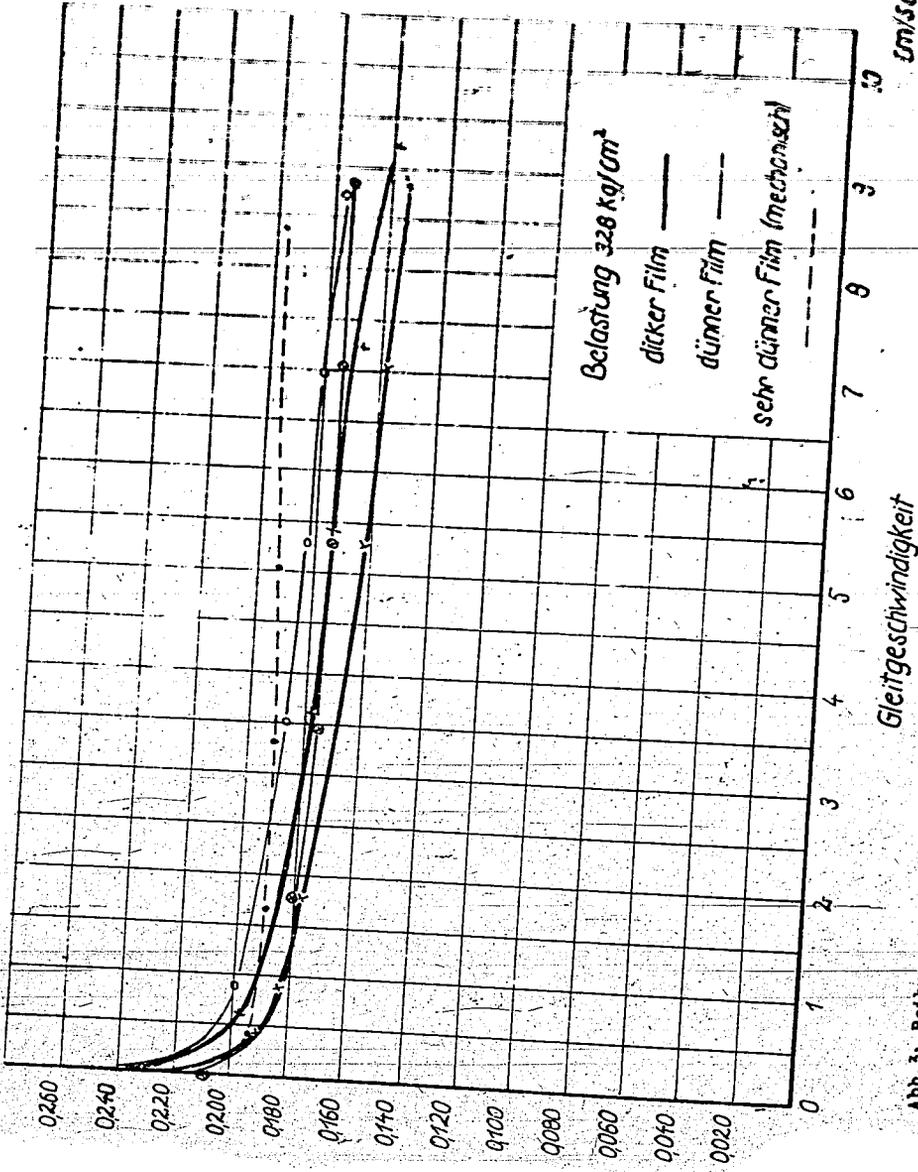


Abb. 3: Reibungswerte von Rotring D in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit bei erhöhter Belastung

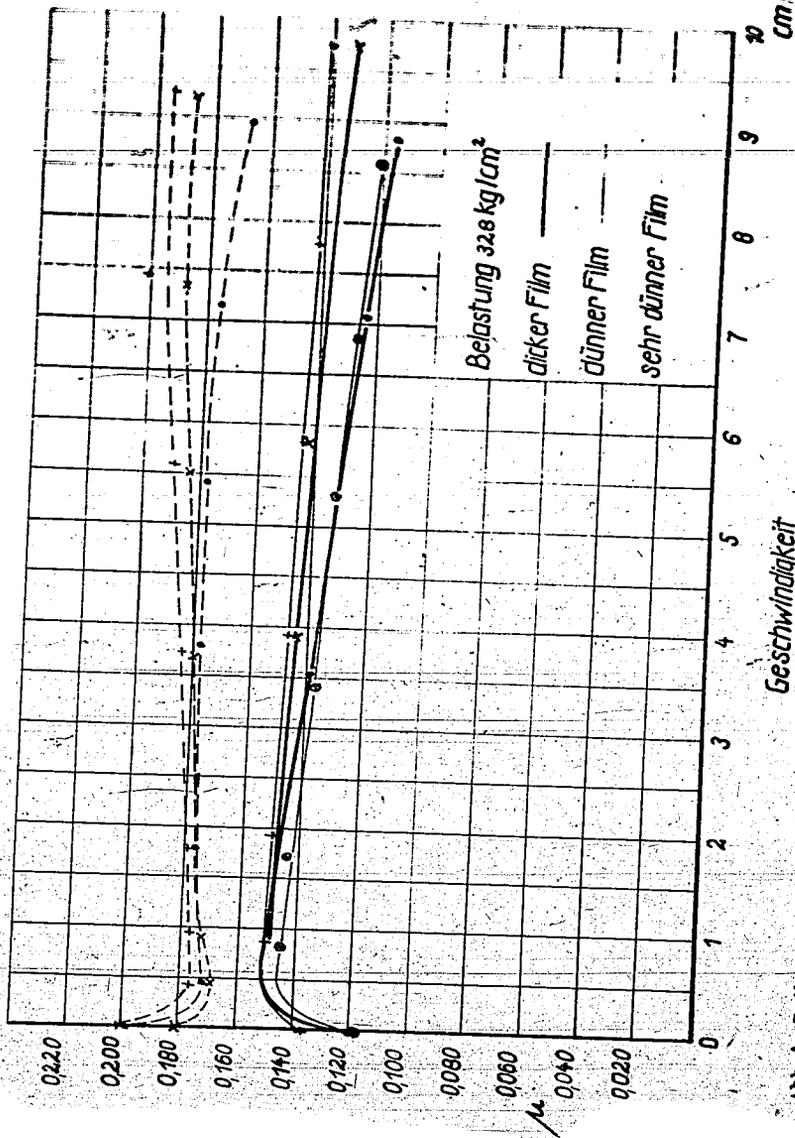


Abb. 4: Reibungswerte von Kompressol in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit bei erhöhter Belastung

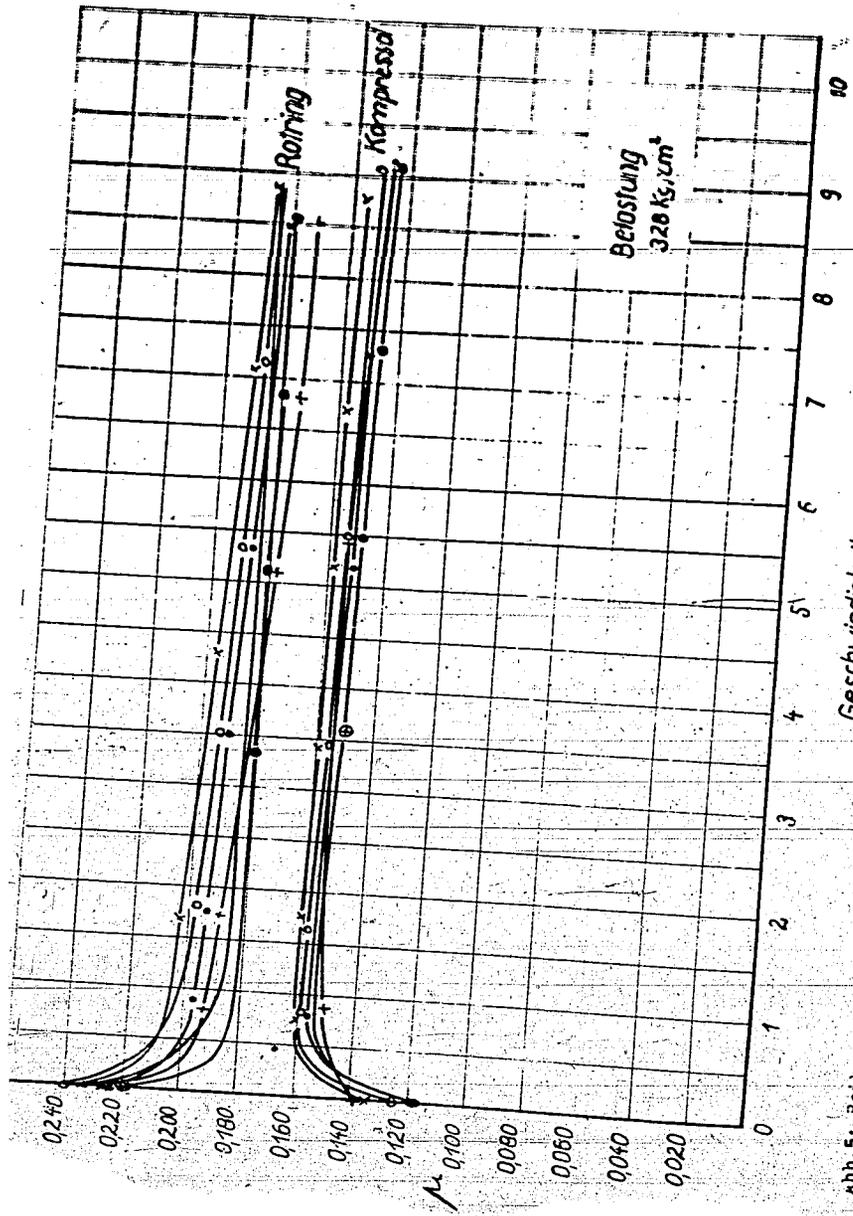


Abb. 5: Reibungskurven von Rotring D und Kompressor zur Beurteilung der Streulänge.  
Geschwindigkeit

cm/sec

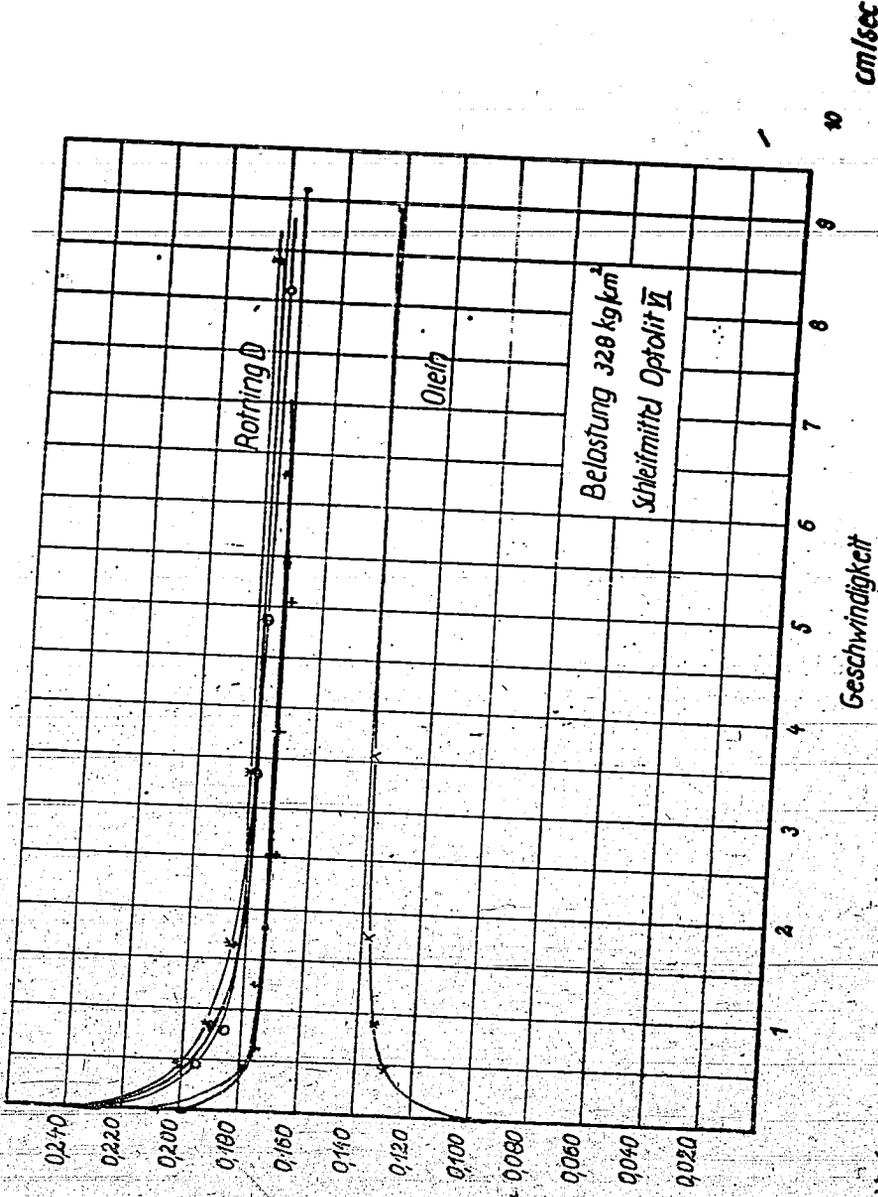


Abb. 55. Reibungskurven von Rohring D und Olein nach Anwendung eines größeren Schleifmittels

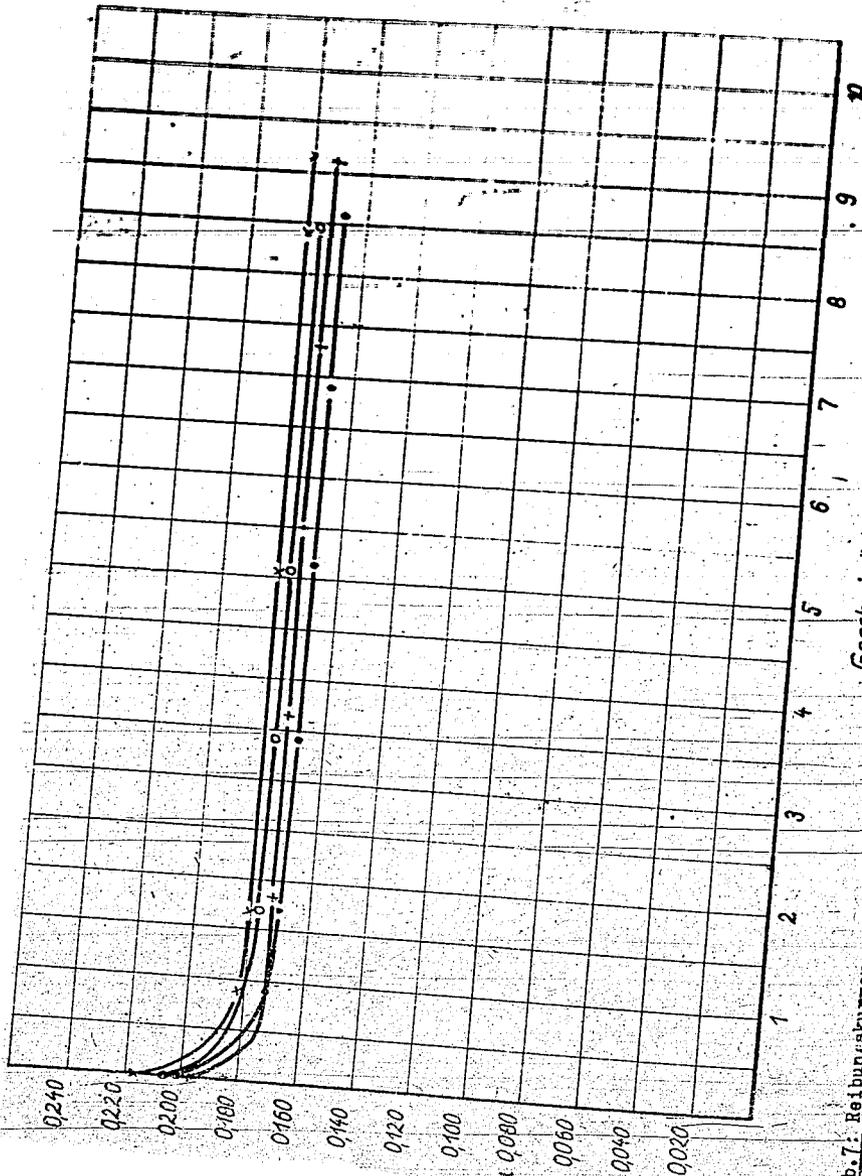


Abb. 7: Heibungskurven von Aero Shell mittel nach Anwendung des Schleifmittels Opolit 6

Geschwindigkeit

CTM/SP

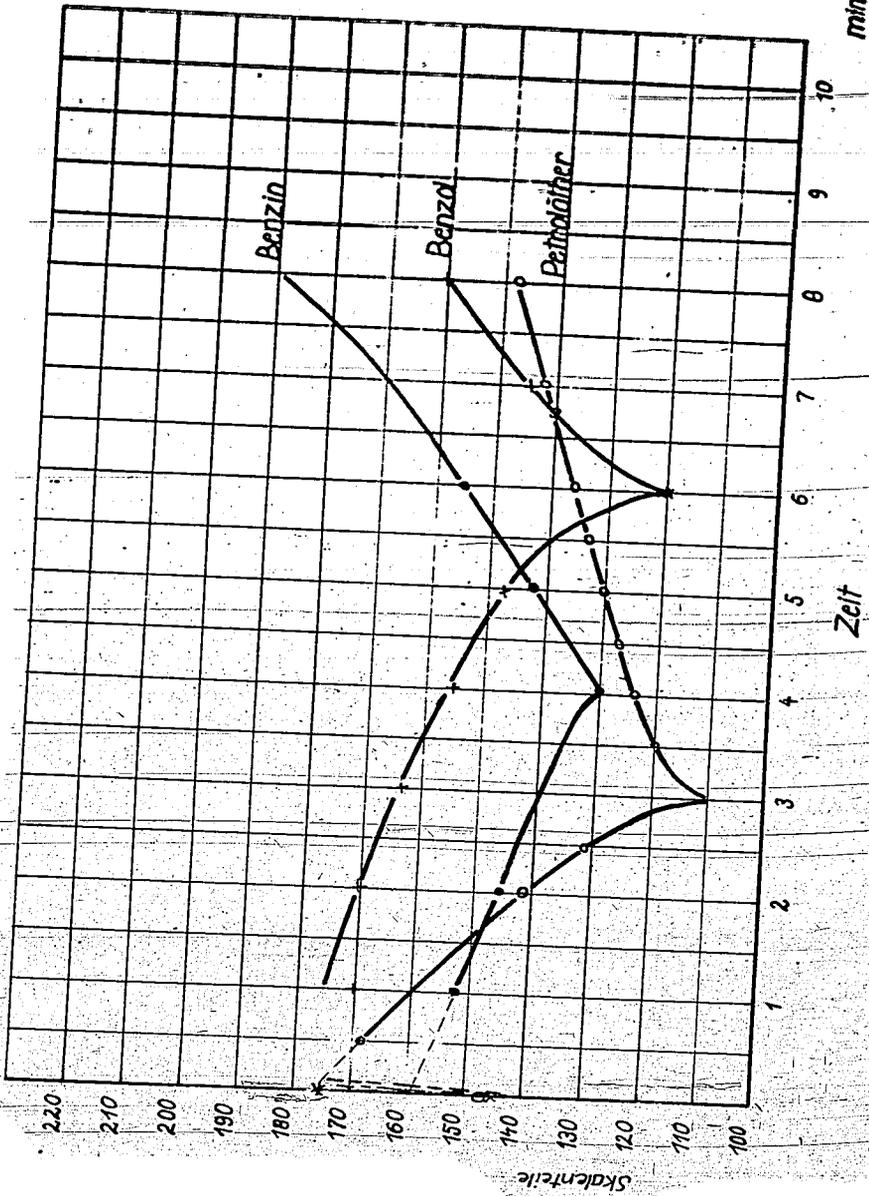


Abb. 6: Reibungsverhalten von Benzol, Benzol u. Petroläther in Abhängigkeit von der Zeit