

Technische Methoden zur Bestimmung der  
Schmierfähigkeit von Ölen. +)

Von Prof. E. Heidebroek, T.H. Dresden.

+) (Der vollständige Bericht erscheint demnächst als Zwischenbericht Nr. 104 der Deutschen Kraftfahrtforschung.)

Einleitung.

Der technische, angewandte Schmiervorgang ist immer an die konstruktiven, technologischen und kinematischen Verhältnisse gebunden, unter denen er vor sich geht. Durch diese ist in der Regel ein bestimmter Strömungsvorgang gegeben, dessen hydrodynamische Zustände für die Belastungsfähigkeit an den Grenzen maßgebend sind und die Schmierphase bestimmen, in der sich die Vorgänge abspielen.

Bei der unendlichen Vielseitigkeit der praktischen Aufgaben ist eine Ordnung nach den wichtigsten Grundaufgaben notwendig. Solche sind zunächst:

- 1) Die Gleitreibung an Lagern und ebenen Gleitflächen.  
Kennzeichen: kontinuierliche Strömung, gute Schmiegun~~g~~, relativ geringe Belastung.
- 2) Die Wälzreibung an Zahnflanken, Wälzlagern etc.  
Kennzeichen: periodischer, diskontinuierlicher Angriff, verbunden mit Abreißvorgängen, schlechte Schmiegun~~g~~, hohe Hertz'sche Pressungen bis zu  $10.000 \text{ kg/cm}^2$ .

Die Messung der Schmierfähigkeit muß unter möglichst wirklichkeitsgetreuen Verhältnissen, d.h. an Geräten erfolgen, die praktischen Zuständen möglichst nahekommen. Infolgedessen werden folgende Meßverfahren angewendet:

### 1. Gleitlager-Prüfmaschine.

Im Gebiet der Grenzreibung werden Reibungsziffern und Filmtemperaturen und Ölmengen bei konstantem Eintrittsdruck, Temperatur, Lagerspiel und Lagerschalen-Werkstoff unter wechselnden Belastungen und Geschwindigkeiten bis zu 3 m/sec sorgfältig gemessen und über der Geschwindigkeit aufgetragen, d.h. über  $\frac{\eta \cdot v}{p}$ , wenn  $\eta$  und  $p$  konstant bleiben (Abb.1).

Der Verlauf der  $\mu$ -Kurven zeigt den Einfluß der Belastung auf die Misch- bzw. Grenzreibungswirkung. Wesentlich ist die Feststellung der erreichbaren Mindestgeschwindigkeit vor dem Blocken der Maschine (Filmzusammenbruch). Die Ergebnisse werden in Übersichten für verschiedene Öle, darunter ein Eichöl, nach Abb.2 zusammengestellt. Die Weite des engsten Spaltes  $h_0$  wird hydrodynamisch berechnet, die Mindestgeschwindigkeit  $n_0$  gemessen. Es ergibt sich daraus eine Tragfähigkeits-Kennziffer

$$F_t = \frac{\text{Const} \cdot h_0}{n_0}$$

Bezieht man diesen Wert auf die "tragende" Ölmenge  $Q_0$  im Scheitel des Druckberges, d.h. dividiert man  $F_t$  durch  $Q_0$ , so ergibt eine einfache Rechnung eine neue Kennziffer

$$F_q = \frac{\text{Const}}{n_{\text{min}}^2}$$

d.h. die auf die (durch den engsten Spalt hindurchgepreßte) Ölmenge bezogene Tragfähigkeit. Da der konstante Beiwert die Meßapparatur charakterisiert, können die obigen Kennziffern nur als Vergleichswerte, etwa bezogen auf ein Eichöl, benutzt werden.

Die zweite Kennziffer hat den Vorteil, daß sie die "Ölschlüpfigkeit" der vorliegenden Werkstoff-Ölpaarung berücksichtigt und nur von gemessenen Werten ausgeht. In Abb.3 sind für eine Reihe von 8 Ölen die Werte von  $F_t$  und  $F_q$  neben der Zähigkeit  $\frac{\text{kg sec}}{\text{cm}^2}$  bei  $30^\circ$  aufgetragen. Die Abb. zeigt, daß die Kennziffern, deren Maßstäbe angeglichen sind, sehr

genau mit der Zähigkeit konform gehen, bei der vorliegenden Ölreihe also diese Übereinstimmung sowohl für die Richtigkeit der Methode wie für die Genauigkeit der Messungen zeugt.

In Abb.4 sind die durch das Lager gepumpten Ölmen- gen für zwei verschiedene Schalen-Werkstoffe (WM 80 und Kunstharz-Preßstoff) bei gleichem Lagerspiel und für die gleichen Ölarten gegenübergestellt. Um die annähernd glei- chen Ölmen- gen zu erzielen, mußte bei WM 80 mit 3,5 at Ein- trittsdruck gegen 1 at bei Kunstharz gefahren werden. Re- duziert man für WM 80 den Öldruck auf 1 at, so sinkt die Öl- menge auf die gestrichelte untere Kurve. Die verschiedene Ölschlüpfigkeit der beiden Paarungen besteht für alle Öl- arten, ebenso die starke Abnahme der Ölmenge bei höherer Zähigkeit.

## 2. Zahnradversuche.

Das im Institut entwickelte Zahnradprüfgerät (vgl. Heft 25 und 59 der D.K.F.) gestattet, im Oszillografen an belasteten Zahnradern die Größe der tangential zur Zahnflan- ke auftretenden Reibungskraft (Reibungs-Amplitude), die der Reibungsziffer entspricht, und die Lebensdauer eines dosier- ten, einmal aufgetragenen Ölfilms zu messen. Abb.5 zeigt das Laufbild für ein Normalöl zunächst bei Tauchschmierung, dann bei dosierter Schmierung nach 2 Minuten Laufzeit, das noch mit jenem völlig identisch ist, ferner das Auftreten von Reibungssprüngen, zunächst an einzelnen, dann an allen Zähnen. Da diese mit dem Auftreten von Reibrost verbunden sind, kündigen sie den Verbrauch des dosierten Ölfilms an.

Abb.6 zeigt den schnellen Verschleiß einer reich- lichen Dosierung mit verseiften konsistenten Fetten, Abb.7 die Abdämpfung der Reibungsschwingungen und die lange Le- bensdauer bei einem hochmolekularen synthetischen Öl.

In Abb.8 sind die Lebensdauerwerte dosierter Filme bei einer Ölreihe A - F und verseiften Fetten G - K einan- der gegenübergestellt. Abb.9 zeigt die Reibungsamplituden

im Vergleich mit der Zähigkeit und belegt die stets beobachtete Tatsache, daß bei Zahnradbelastung, also überlagerter Wälz- und Gleitreibung die Reibungsziffern mit zunehmender Zähigkeit abnehmen.

Besonders deutlich konnten diese Erscheinungen bei einer Ölreihe beobachtet werden, die dadurch entsteht, daß bei einem neuartigen synthetischen Schmierstoff, der vollkommen wasserlöslich ist, durch verschieden starke Wasserbeimengungen eine ganze Reihe genau definierter Schmierstoffe hergestellt wird. Deren Zähigkeit nimmt mit zunehmendem Wassergehalt erst stärker, dann weniger ab. Abb.10 zeigt demgegenüber die Zunahme der Reibungsamplituden mit zunehmendem Wassergehalt, also abnehmender Zähigkeit. In Abb.11 sind die Lebensdauerwerte unter den gleichen Mischungsverhältnissen gegenübergestellt. Abb.12 zeigt den Einfluß eines Benzinzusatzes auf die Vergrößerung der Reibungsamplituden, und zwar oben bei einem Kohlenwasserstoff-Öl normaler Zähigkeit, unten bei einem neuen synthetischen Schmierstoff etwa gleicher Zähigkeit. Dessen Schmierfähigkeit erweist sich als völlig unempfindlich gegen Verschlechterung durch Benzinzusatz gegenüber der bekannten großen Empfindlichkeit normalen Öles.

Diese und andere Versuche beweisen die besondere Brauchbarkeit des Zahnradprüfgerätes als Ölprüfmaschine, aber vor allem die Tatsache, daß die Beanspruchung des Ölfilms bei wälzender Reibung mit schlechter Schmiegung und hoher Pressung ganz anders geartet ist als im Gleitlager-Versuch. Ein und die selbe Ölreihe kann im Vergleich auf der Lagerprüfmaschine (s.o.) einen der Zähigkeit konformen Verlauf der Kennziffern ergeben, im Zahnradversuch aber ein völlig gleiches Verhalten der Lebensdauerwerte und Reibungsamplituden trotz stark verschiedener Zähigkeit. Die molekular-mechanischen Eigenschaften der Vergleichsöle sprechen also auf die Beanspruchung bei Gleitbewegung ganz anders an als auf diejenige bei Wälzbewegung, auch wenn beide im Gebiet der Misch- oder Grenzreibung durchgeführt werden

oder anders ausgedrückt gewisse strukturelle Eigenschaften sind wirksam bei kontinuierlicher Gleitbewegung und andere bei der Wälz- bzw. Abreißbewegung periodischer Art.

Effekte der oben gezeigten Art konnten bisher nur mit den hier geschilderten Methoden verdeutlicht werden. Dadurch ergeben sich aussichtsreiche Hinweise, um in Verbindung mit der Ölsynthese diese im gewünschten Sinne zu steuern.

### 3. Abreißversuche

Die in Heft 2 der "Forschung Bd.12, 1941, S.74-87 und Heft 59 der D.K.F." beschriebenen Abreißversuche dienen der Aufgabe, für die Festigkeit dünner Ölfilme zwischen ruhenden Flächen Gesetzmäßigkeiten zu finden, nachdem sie vorher durch Belastung in den Zustand einer Kontakt-Orientierung gebracht sind. Abb.13 zeigt das Schema des Abreißgerätes für Zug-Versuche; in entsprechender Weise können auch Schubversuche ange-

stellt werden. Die Abreißzähigkeit  $\eta_z = \sigma_z \cdot t = \text{const}$   
 $\frac{\text{kg sec}}{\text{m}^2}$  ist eine der Viskosimeterzähigkeit äquivalente Größe.

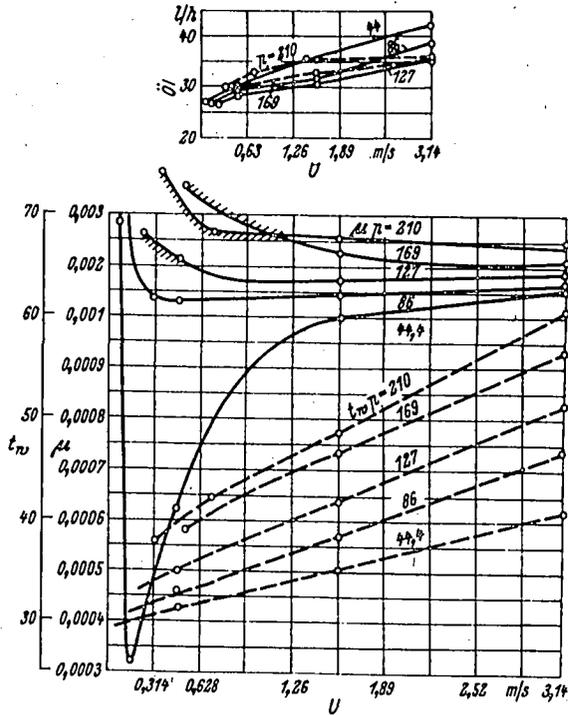
Der Quotient

$$\frac{\eta_z}{\eta} = \psi_z \text{ bzw. } \frac{\eta_s}{\eta} = \psi_s$$

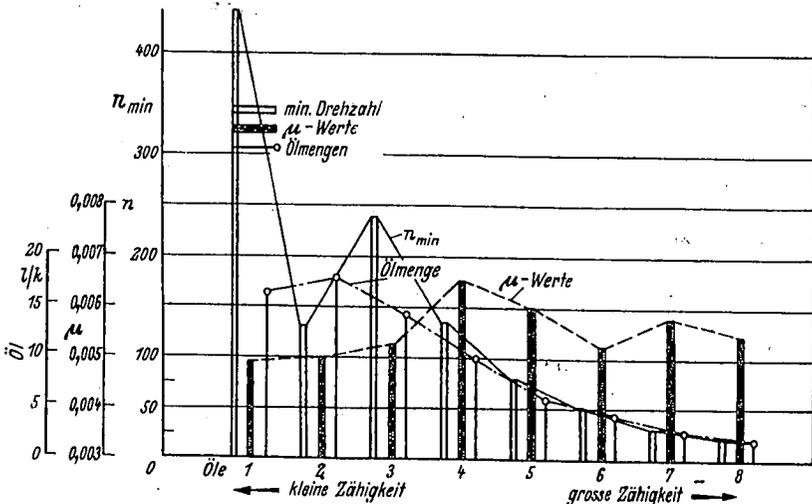
liefert eine dimensionslose, temperatur-unabhängige Kennziffer für jedes Öl. Deren Zusammenhang mit den früher beschriebenen Methoden wird noch weiter erforscht. Die Versuche sind außerordentlich empfindlich gegenüber dem mikrogeometrischen Oberflächenzustand der Abreißplatten. Da dieser noch nicht quantitativ exakt bestimmt werden kann, sind die Versuche zunächst nur als Vergleichswerte für bestimmte Ölreihen auswertbar, aber deswegen sehr brauchbar, weil sie mit einer ganz geringen Menge eines zunächst nur laboratoriumsmäßig herstellbaren Versuchsstoffes durchgeführt werden können.

Gewisse Zusammenhänge mit der Gruppe der Zahnradversuche sind unverkennbar; mit der Zähigkeit haben die Meßwerte keinen gesetzmäßigen Zusammenhang (Abb.14). Die Ölreihe z.B., deren Kennziffern für Gleitbeanspruchung in Abb.3 der Zähig-

keit genau konform erscheinen, ergibt in den Kennziffern fast völlige Unabhängigkeit von der Zähigkeit, ebenso wie die Lebensdauerwerte und Reibungsamplituden in der Zahnrad-Mischreibung. Da die Wälzbewegung, kinematisch betrachtet, immer mit einem Andrücken und Abheben der Berührungsflächen verbunden ist, ist ihre Verwandtschaft mit dem Modell-Abreißversuch einleuchtend. Daraus erhellt aber auf's Neue die Notwendigkeit, die Ölprüfung auf die v e r s c h i e - d e n e n Methoden zu erstrecken, die jeweils dem technischen Anwendungsfall sinngemäß entsprechen. Erst dadurch gelangen wir zu der Erkenntnis, daß für den "Werkstoff Öl" verschiedene Beanspruchungsarten möglich und bedeutungsvoll sind und bei der technischen Anwendung berücksichtigt werden müssen.



**Abb.1:** Reibungsziffern, Filmtemperaturen und Ölmengen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit



**Abb.2:** Mindestdrehzahl, Ölmenge und Reibungsziffern von verschie- der zähen Ölen

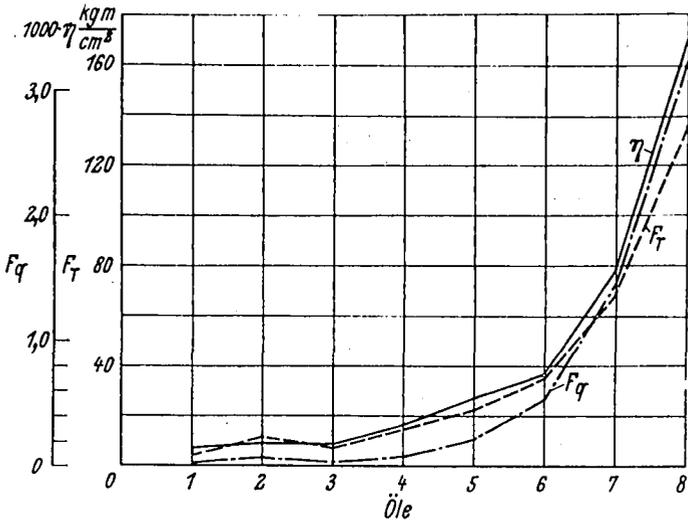


Abb.3: Kennziffern verschiedener Öle

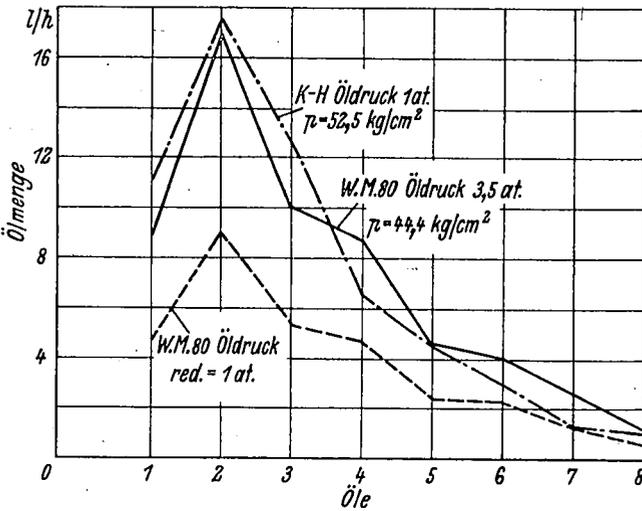
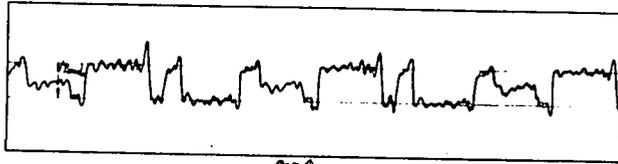


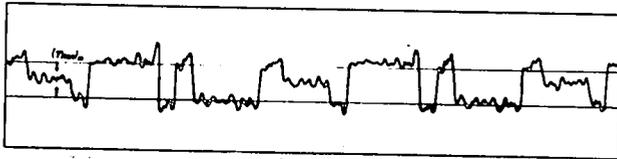
Abb.4: Durch das Lager gepumpte Ölmengen

Laufbilder bei Ölschmierung

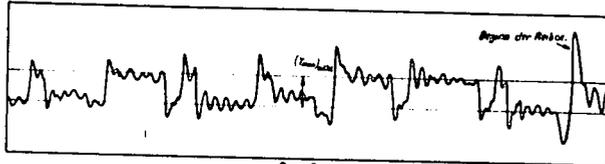
Schmerzmittel: G.A.  
Drehzahl:  $n = 1000 \text{ 1/min}$   
Getriebeöl: M. Q. 15 PS



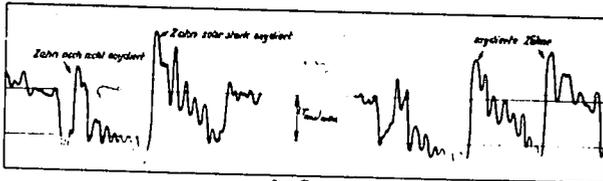
**022.9**  
Laufbild bei Tauchschrägung



**022.8**  
Laufbild bei 90°-Bewehrungsrichtung  
Laufzeit: 2 Min



**022.6**  
Beginn der Ringabdichtung (Rz.-Punkt)  
Laufzeit: 10 Min

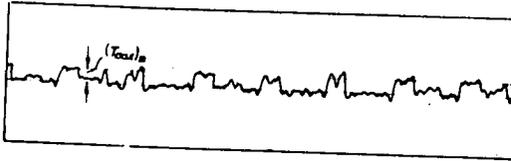


**022.7**  
Freigewordene Ringabdichtung  
Laufzeit: 35 Min

Abb. 5: Laufbilder bei Ölschmierung

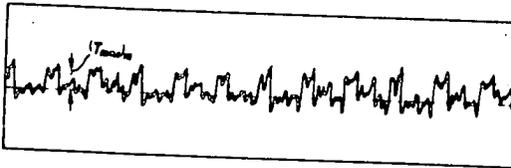
Laufbilder bei reichlicher Fettschmierung

Schmiermittel: Fett H  
Schmiermenge: 30 ccm  
Drehzahl:  $n = 1004 \text{ min}^{-1}$   
Getriebeleistung:  $N = 0,39 \text{ PS}$



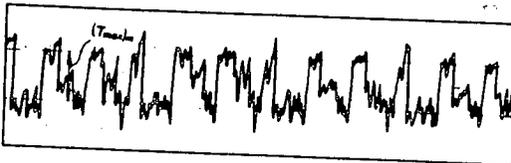
Osz. 1

Aufnahme bei Laufbeginn



Osz. 2

Aufnahme nach 1 Min Laufzeit



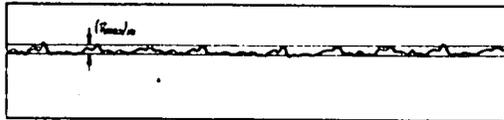
Osz. 3

Aufnahme nach 3 Min Laufzeit

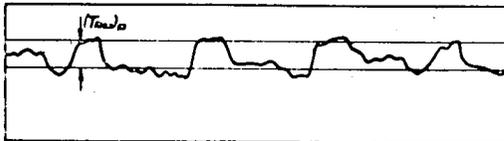
Abb. 6: Laufbilder bei reichlicher Fettschmierung

Glättende Wirkung des Öls F

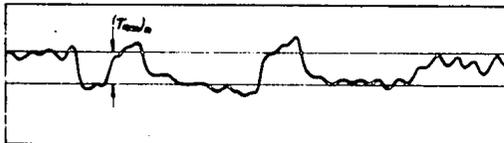
Schmiermenge : 5 ccm  
Drehzahl  $n = 100 \frac{1}{\text{min}}$   
Antriebslast  $H = 0,20 \text{ PS}$



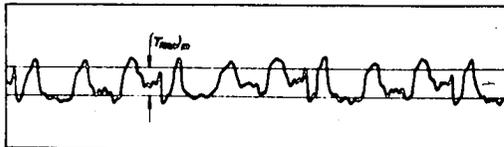
Ölz. 12  
Laufzeit : 2 Min



Ölz. 13  
Laufzeit : 15 Min



Ölz. 14  
Laufzeit : 45 Min



Ölz. 15  
Schmiermenge : 1 ccm , Betriebsverhältnisse wie oben  
Laufzeit : 2 Min  
(Die Aufnahme zeigt die Schwingungen in gedrungener Form)

Abb.7: Glättende Wirkung des Öles F

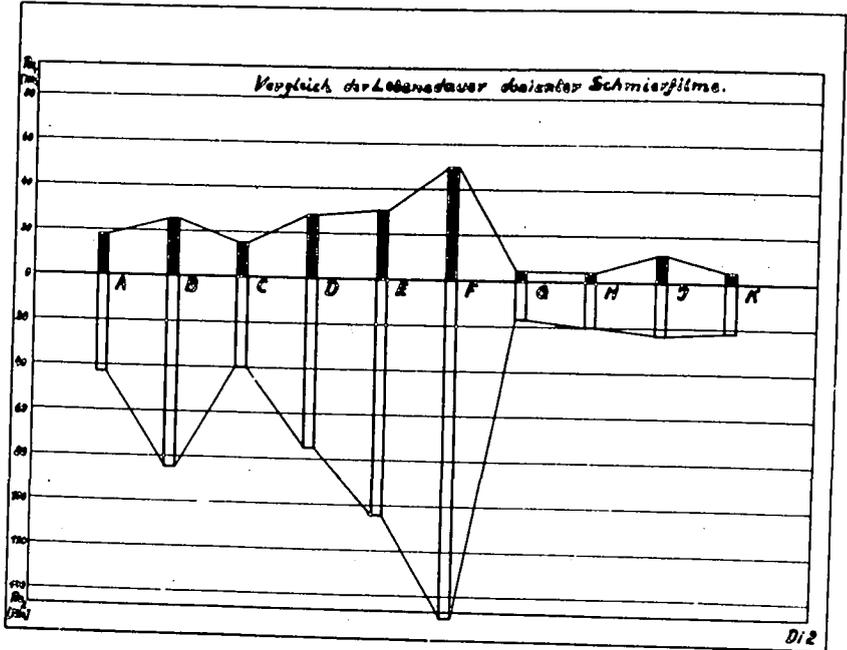


Abb. 8: Vergleich der Lebensdauer dosierter Schmierfilme

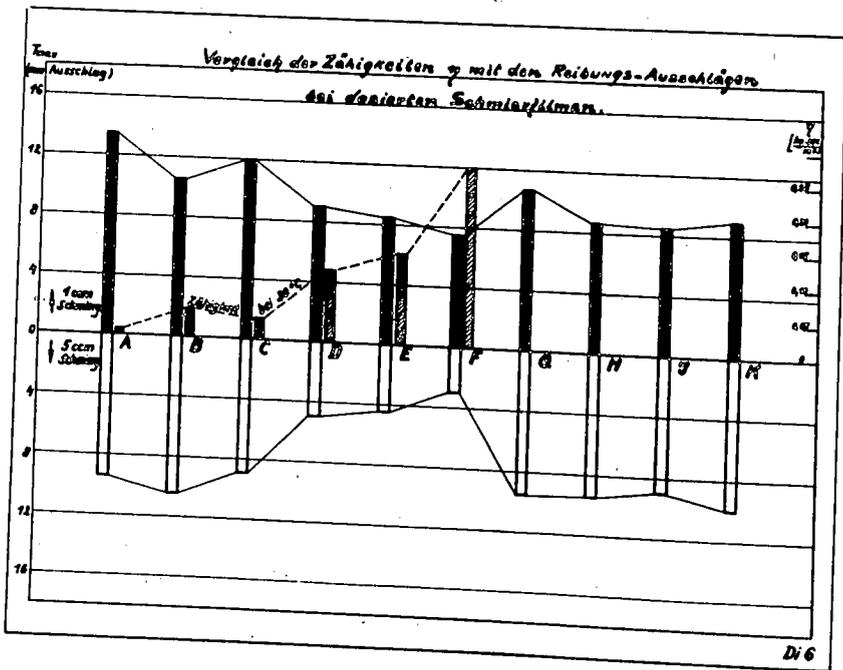


Abb. 9: Vergleich der Zähigkeiten  $\eta$  mit den Reibungs-Ausschlägen bei dosierten Schmierfilmen.

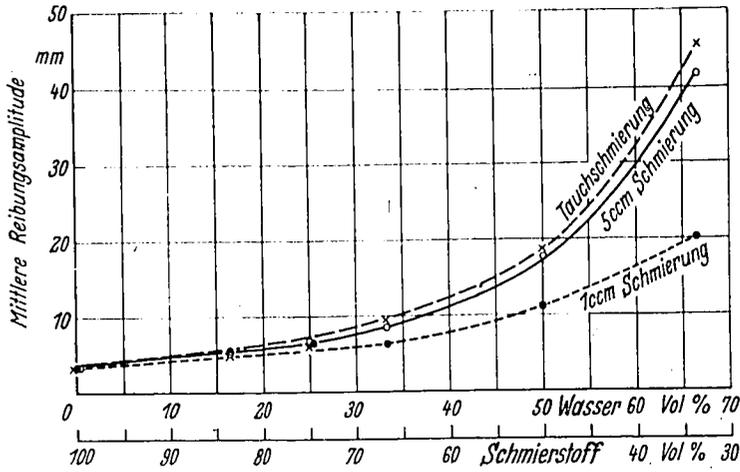


Abb.10: Reibungsamplitude in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

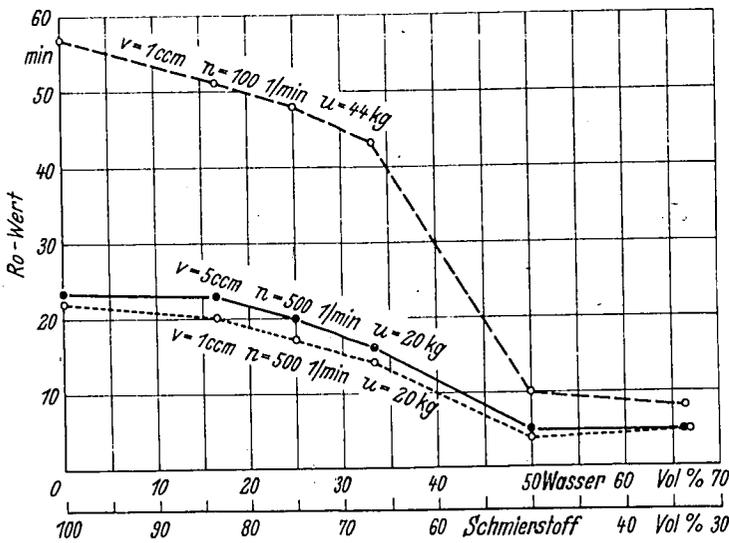


Abb.11: Lebensdauerwerte in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

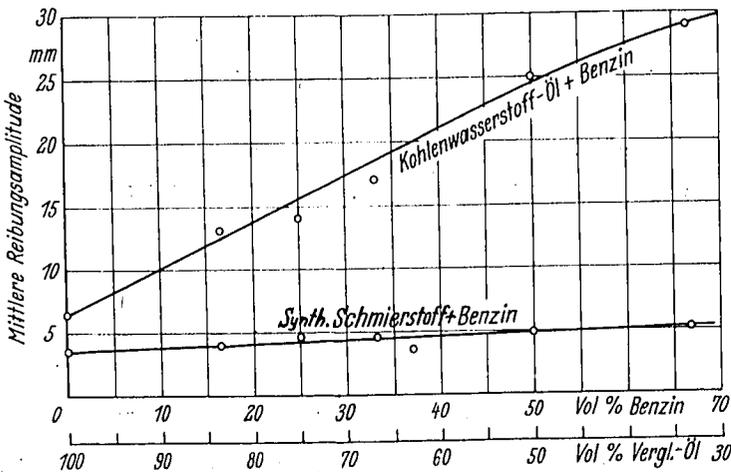


Abb.12: Einfluß von Benzinzusatz.

Schema der Abreibvorrichtung

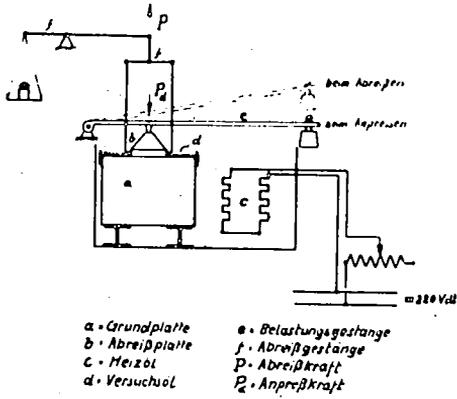


Abb.13: Schema der Abreibvorrichtung

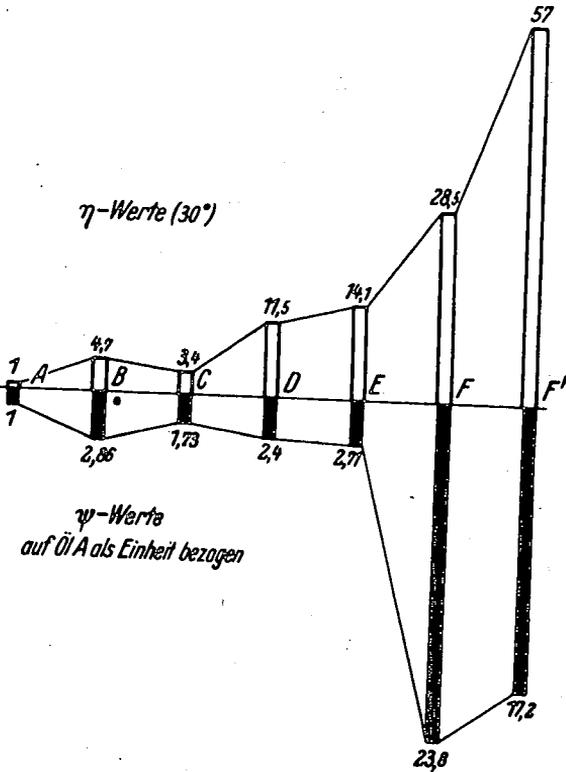


Abb.14: Gegenüberstellung von  $\eta$  und  $\psi$