

A 50

Bericht Nr. 512

**Gerät zur Messung der Schmierfähigkeit
bei Grenzreibung**

8918



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 512.

Gerät zur Messung der Schmierfähigkeit bei Grenzreibung.

Übersicht: Es wird ein Gerät beschrieben, das bei geringer Streuung die Messung der Reibungszahl bei Grenzschmierung gestattet. Es ist in seinem Aufbau sehr einfach, leicht zu bedienen und daher besonders für Kurzprüfungen geeignet. Das Gerät gestattet eine gute Unterscheidung der einzelnen Schmierstoffe und gibt die Möglichkeit, die Wirkung von Zusätzen verschiedener Art zu untersuchen.

Abgeschlossen am: 20. August 1942.L.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Halder.

Die vorliegende Ausfertigung enthält

8 Textblätter

6 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		Fl. Oberstabsing. Mücklich RLM, GL/A-M	10		Dir. Dr. Müller-Cunradi
2		Dr. Wajtnitzki, RLM, GL 5/II	11		Dr. Wietzel, Ammon-Labor
3		Dr. K.O. Müller, OKH, Wa Prüf 6 (IV b)	12		Prof. Dr.-Ing. Wilke
4		Chem.-Phys. Versuchsanstalt der Marine, Kiel-Dietrichs- dorf.	13		Obering. Penzig
5		Prof. Dr.-Ing. Heidebroek	14		Dipl.-Ing. Lauer
6		WVL, Berlin-Adlershof	15		Dipl.-Ing. Halder
7		Phys. Techn. Reichsanstalt, Berlin.	16-20		Techn. Prüfstand Oppau
8		Zahnraiffabrik Friedrichs- hafer.			
9		Dr. Zorn, Letuna Werke			

8919

Gerät zur Messung der Schmierfähigkeit bei Grenzreibung

Zweck der Versuche.

Es wurde beim Techn. Prüfstand ein Gerät entwickelt, das die Ermittlung der Reibungszahl bei Grenzreibung gestattet. Auf diesem Gerät sollten verschiedene Schmierstoffe geprüft werden, um so ein Urteil über seine Brauchbarkeit zu erhalten.

Versuchsanordnung.

Der grundsätzliche Aufbau des Gerätes geht aus Bild 1, 2 und 3 hervor.^{x)} Es besteht in seinen Hauptteilen aus einer geschliffenen und polierten Stahlrolle mit einem Durchmesser von 40 mm und einer Breite von 20 mm. Diese Stahlrolle kann durch einen Elektromotor über ein Schneckengetriebe in langsame Drehung versetzt werden.

Auf der Unterseite dieser Rolle ist eine Messingkette gelegt, die an einem Ende durch ein Gewicht belastet werden kann und mit dem anderen Ende über eine Hebelübersetzung (1 : 2) mit einer Waage in Verbindung steht. Die hier verwendete Kette ist eine einfache Gliederkette von 12 cm Länge, die gemäß einer spektroskopischen Analyse aus einer Legierung von Kupfer mit etwa 20% Zink besteht. Bei einem Umschlingungswinkel von 180° berührt die Kette mit 26 Kettengliedern die Rolle auf einer Länge von 63 mm.

x) Die Anregung zur Entwicklung dieses Gerätes gab der von Charron beschriebene Fettigkeitsmesser.

(Publications Scientifiques et Techniques de Ministère de l'Air.

Kette und Rolle sind in das Prüföl getaucht, das durch eine elektrische Heizung erwärmt werden kann. Zur Messung der Öltemperatur im Behälter dient ein Thermometer. Wichtiger ist jedoch die Bestimmung der Temperatur der Rollenoberfläche, da der dünne Schmierfilm zwischen Kette und Rolle annähernd diese Temperatur annehmen wird. Diese Messung geschieht mit Hilfe eines Thermoelementes, das von innen an die Oberfläche der Rolle geführt wird. Die am Millivoltmeter abgelesene Temperatur wird bei den in Bild 7 bis 13 dargestellten Messungen zugrunde gelegt und ist dort als „Öltemperatur“ bezeichnet. Diese Temperatur liegt im Höchsfalle etwa 10°C unter der Ölbadtemperatur.

Das Gerät arbeitet folgendermaßen: Die durch Gewicht belastete Kette wird auf halben Umfang von unten gegen die Rolle gepreßt. Durch die Drehung derselben wird die Kette je nach Schmierwirkung des Öls mehr oder weniger stark in der Drehrichtung mitgenommen und dadurch ein entsprechender Ausschlag an der Waage verursacht. Da bei den Versuchen sehr geringe Umfangsgeschwindigkeit eingehalten wird und zwischen Kette und Rolle nur punktförmige Berührung stattfindet, arbeitet das Gerät im Gebiet der Grenzreibung. Es ist von Interesse, die Verteilung des Druckes längs der Kette näher zu kennen. Es wurde für eine Belastung von 400 g der Druck der einzelnen Kettenglieder errechnet und in Bild 4 und 5 schematisch dargestellt. Der Rechnung wurde dabei eine Reibungszahl von $\mu = 0,1$ bzw. $0,2$ zugrunde gelegt. Man erkennt, daß die Druckverteilung entlang der Kette entgegen der Drehrichtung langsam ansteigt, wobei die Druckzunahme bei hoher Reibungszahl rascher erfolgt als bei niedriger. Öle mit guter Schmierfähigkeit werden also bei etwas geringeren mittleren Drücken geprüft als solche mit schlechter Schmierfähigkeit. Diese Erscheinung und die Tatsache der ungleichmäßigen Verteilung der Belastung ist jedoch kein grundsätzlicher Fehler des Gerätes. Messungen bei Grenzreibung folgen dem Coulombschen Gesetz, d.h. die

Reibungszahl ist von der Belastung unabhängig ($\mu = \frac{R_1}{N_1} = \frac{R_2}{N_2} = \frac{R_3}{N_3} = \dots$).

Solange die Messungen im Gebiet der Grenzreibung bleiben, ist die auftretende Verschiedenheit der Belastung belanglos.

Ein Nachteil des Gerätes ist jedoch der, daß über die spezifischen Flächendrücke keine genaue Angabe gemacht werden kann. Es wurde versucht, durch Rechnung die spezifischen Flächendrücke wenigstens annähernd zu erfassen. Dies geschah auf Grund folgender Überlegung: Jedes Kettenglied berührt die Rolle an zwei Punkten. An diesen Punkten sind die Krümmungsradien im Mittel etwa gleich der einer Kugel mit einem Durchmesser von 1 mm. Denkt man sich ein Kettenglied durch zwei solche Kugeln ersetzt, so kann man für jede Kugel die spezifische Belastung nach Hertz berechnen. Unter der Annahme, daß auf einer Kugel ein Gewicht von 30 g lastet, errechnet sich daraus eine spezifische Belastung von 6500 kg/cm^2 . Man erhält auf diese Weise einen Anhaltspunkt, in welcher Größenordnung die spezifischen Flächendrücke zu erwarten sind.

Versuchsdurchführung.

Vor jedem Versuch wurde die Rolle von dem anhaftenden alten Öl befreit. Dies geschah durch Waschen mit Benzin und durch Behandlung mit Polierrot. Für jedes Öl wurde eine neue Kette verwendet. Bei einer normalen Ölprüfung begann der Versuch mit einer Messung bei Raumtemperatur. Es wurde dabei nicht die Reibungskraft im Augenblick des Anfahrens, also die Haftreibung, bestimmt wie bei Charron, sondern die Messung erfolgte bei gleichförmiger Drehung der Rolle, also bei Gleitreibung. Die Rolle hatte dabei eine Drehzahl von $n = 0,76 \text{ Umdr./min}$, was einer Umfangsgeschwindigkeit von $v = 0,16 \text{ cm/sec}$ entspricht. Nach erfolgter Messung wurde das Öl langsam durch eine für alle Versuche gleichbleibende Heizleistung erwärmt. Nach einer Temperaturerhöhung von etwa $8 - 10^\circ\text{C}$ wurde jeweils eine Messung durchgeführt. Zwischen den einzelnen Messungen blieb der Antriebsmotor für die Rolle stillgesetzt, um unnötigen Verschleiß der Kette zu vermeiden. So wurde verfahren, bis das Öl

eine Temperatur von rd. 100°C angenommen hatte und dann der Versuch abgebrochen. Bei einer Wiederholung wurde das Öl erneuert, die Kette gewendet und der Versuch wieder bei Raumtemperatur begonnen. Die Messungen erfolgten also stets bei steigender Temperatur. Eine Kette wurde nur zweimal verwendet, nämlich auf jeder Seite je einmal und nur für ein und dasselbe Öl. Eine Reinigung der Kette war also nicht erforderlich.

Aus dem gemessenen Ausschlag an der Waage errechnet sich die Reibungszahl wie folgt:

Berechnung der Reibungszahl

S_1 = Kettensug in Drehrichtung in g

S_2 = " " " " g

G = Belastung in g

A = Ausschlag an der Waage in g

α = Umschlingungswinkel

μ = Reibungszahl.

Nach der bekannten Formel für Reibung bei Umschlingung^{x)} gilt

$$\frac{S_2}{S_1} = e^{\mu \alpha}$$

Ferner ist

$$S_1 = G$$

$$S_2 = 2 A$$

$$\alpha = \pi$$

Daraus ergibt sich:

$$\frac{2 A}{G} = e^{\mu \pi}$$

$$\mu = \frac{1}{\pi} \ln \frac{2 A}{G}$$

$$\mu = \frac{10 \log \frac{2 A}{G}}{1,366}$$

x) „Hütte“ 27. Auflage Bd. I, S. 403.

Folgende Öle wurden mit und ohne Zusatz geprüft:

Öl Bezeichnung	Bemerkung	Zähigkeit cSt	
		38°C	99°C
Shell A B 11	Mineralöl	14,9	3,19
Rotring Richöl	Flugmotorenöl	275	20,46
TZ 900/2	synth.Schmieröl	197	15,8
Esolub-Einfahröl	-	62,8	8,9
Wehrmacht -Einheitsöl	Mineralöl	101,9	10,4
H 8	synth.Kohlen- wasserstofföl	60	8,55
H 32	" "	247,3	23,2
H 140	" "	1104,5	57,3
H 426	synth.Ester	50,7	6,57
Knochenöl	-	45,7	9,02
Ruböl	-	44,8	10,0
Risimusöl	-	296,4	20,0
Elacol 4	synth.Ester	27,05	4,92
LK 2200	wasserl.synth. Schmierstoff	116,8	13,9

Versuchsergebnisse.

Es sollte zunächst untersucht werden, ob das Gerät im Gebiet der Grenzschmierung arbeitet. Wie aus allen Messungen (s.Bild 6 bis 13) hervorgeht, liegen die Reibungszahlen über 0,1, sodaß der Fall der Grenzschmierung gegeben ist.^{x)} In diesem Schmierzustand muß das Coulombsche Gesetz Geltung

x) Philippovich VDI Zeitschrift Bd.86 Nr.25/26, 27.Juni 1942.

besitzen, wonach die Reibungszahl von der Belastung unabhängig ist. Wie man aus Bild 6 entnehmen kann, ist diese Bedingung mit großer Annäherung erfüllt. Dies ist also ein zweiter Beweis für das Vorhandensein von Grenzschmierung.

Von besonderem Interesse ist der Verlauf der Reibungszahlen in Abhängigkeit von der Temperatur. Da ein Einfluß verschiedener Belastung, wie oben dargelegt wurde, nicht vorhanden ist, genügt es, wenn nur eine Belastung gewählt wurde. Sie betrug bei allen weiteren Versuchen 400 g.

Wie Bild 7 zeigt, steigt die Reibungszahl mit zunehmender Temperatur bei den einzelnen Ölen verschieden stark an. Als besonders temperaturempfindlich erweisen sich Kohlenwasserstofföle, wie z.B. Wehrmachtseinheitsöl, im Gegensatz zu Produkten anderer Zusammensetzung, wie z.B. das wasserlösliche LK 2200.

Bild 8 zeigt den Verlauf der Reibungszahl von drei synthetischen Kohlenwasserstoffölen ähnlicher Zusammensetzung. Die Produkte unterscheiden sich vor allem durch die Zähigkeit und durch die Molekülgröße. Diese drei Öle ordnen sich entsprechend ihrer Zähigkeit ein, wobei das dünnflüssigste Produkt die höchsten Reibungszahlen ergibt. Es erhebt sich die Frage, ob sich hier tatsächlich ein Zähigkeitseinfluß geltend macht oder ob sich hier die verschiedenen Molekülgröße auswirkt. Eine eindeutige Antwort kann darauf noch nicht gegeben werden. In Bild 6 ist ferner noch das Ergebnis mit einem synthetischen Ester H 426 dargestellt. Der Verlauf der Reibungszahl fällt fast genau mit dem des H 8 zusammen.

In Bild 9 sind Tier- und Pflansenöle zusammen mit einem synthetischen Ester „Elaol 4“ dargestellt. Bei diesen Schmierstoffen fällt nicht nur die niedrige Reibungszahl, sondern der mit steigender Temperatur mehr oder weniger abfallende Verlauf der Kurven auf. Ob hier eine chemische Veränderung des Öles infolge der höheren Temperatur mitspricht, bedarf noch der Untersuchung.

Besonders interessant ist das Verhalten der verschiedenen Schmierölsätze, z.B. gibt Ölsäure in einer Menge von 2% als Zusatz zu Rotring Eichöl

eine ganz beträchtliche Verbesserung der Reibungszahl, die sich besonders im Gebiet höherer Temperaturen auswirkt. (Bild 10).

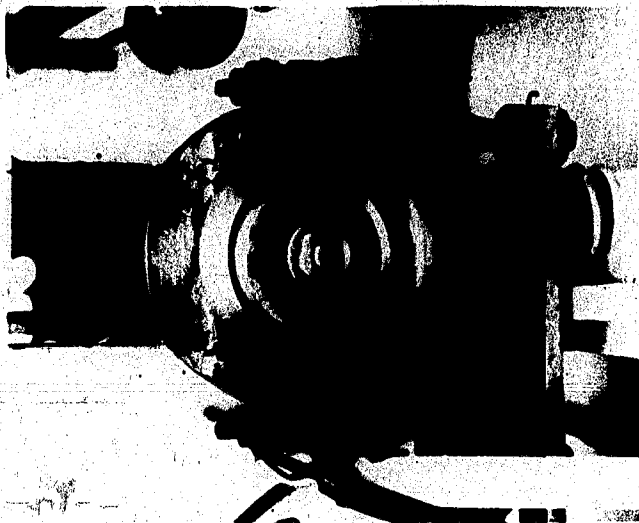
Auf Wehrmachteinheitsöl ist die Wirkung der Ölsäure ganz ähnlich. Die Reibungszahlen liegen entsprechend denen des reinen Öles etwas höher (Bild 11). Daß auch Schwefelprodukte reibungsvermindernd wirken, ist bekannt. Ein Beispiel hierfür gibt Wehrmachteinheitsöl mit 2% eines Schwefelproduktes. Bemerkenswert ist auch die Wirkung des Graphits. Die hier geprüfte Mischung von Mineralöl mit 2% Autokollag ergibt beachtlich niedrige Reibungszahlen.

Bild 12 zeigt Ergebnisse mit Ölmischungen, wie sie in ähnlicher Zusammensetzung als Schneidöle bei der spanabhebenden Metallbearbeitung verwendet werden. Die Praxis begnügt sich für diese Zwecke aus Ersparnisgründen mit einem Zusatz von wenigen Prozent eines Tier- oder Pflanzenöles zu Mineralöl. Daß mit einer solchen Mischung schon eine beträchtliche Verbesserung der Schmierwirkung erzielt werden kann, geht aus Bild 12 hervor. Die Erfahrungen der Praxis werden also durch den Versuch voll bestätigt. Eine derartige Prüfmethode ist demnach von besonderem Wert bei der Untersuchung von Ersatzstoffen für Tier- und Pflanzenöle.

Bild 13 zeigt die reibungserhöhende, also ungünstige Wirkung von Wasserausätzen zu dem wasserlöslichen Schmierstoff LK 2200.

Aufgrund dieser Beispiele kann man sagen, daß das Gerät in diesem Aufbau und nach diesen Versuchsverfahren gut wiederholbare Meßwerte ergibt und eine sehr deutliche Unterscheidung der Schmierstoffe zuläßt. Seine Einfachheit und leichte Handhabung machen es besonders für Kurzprüfungen kleiner Ölproben geeignet.

Bild 3



Ölbehälter mit abgenommenem Deckel,
Kette mit Rolle

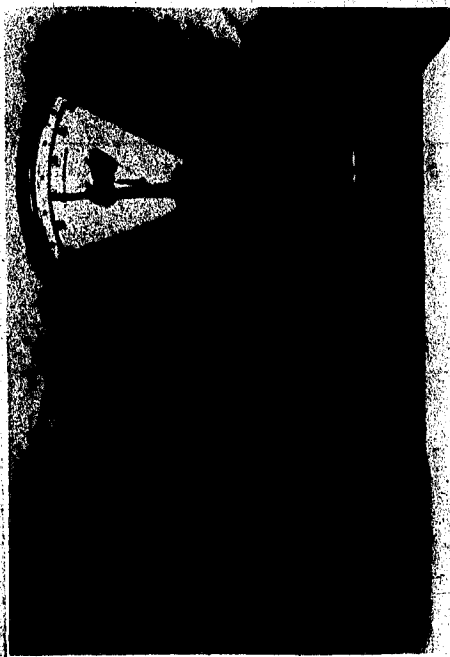


Bild 1 Ansicht der Kettenmaschine

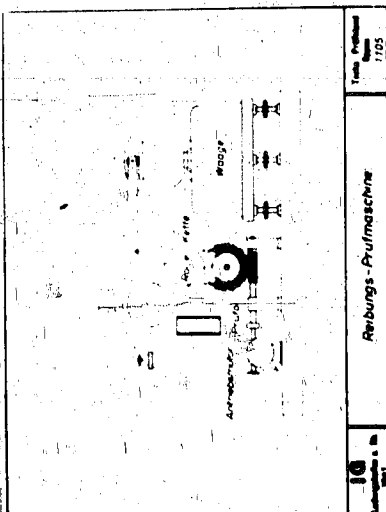


Bild 2 Kettenmaschine, schematisch

Verteilung der Belastung auf die einzelnen Kettenglieder senkrecht zur Rollenoberfläche

Angenommen sei:

Belastungsgewicht $G=400g$

Reibungszahl $\mu=0,1$ bzw. $0,2$

Auf Grund der Rechnung ergibt sich für die Belastung eines Kettengliedes p [g] folgende Verteilung:

Bild 4

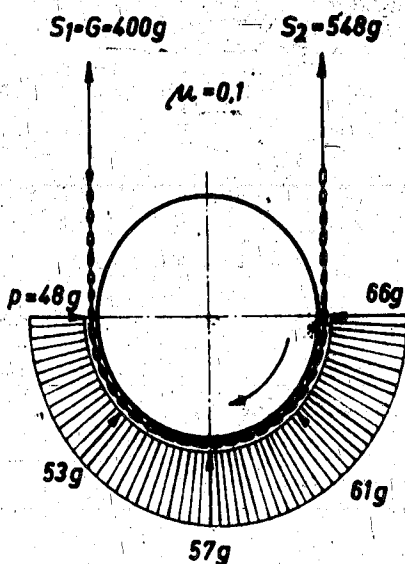
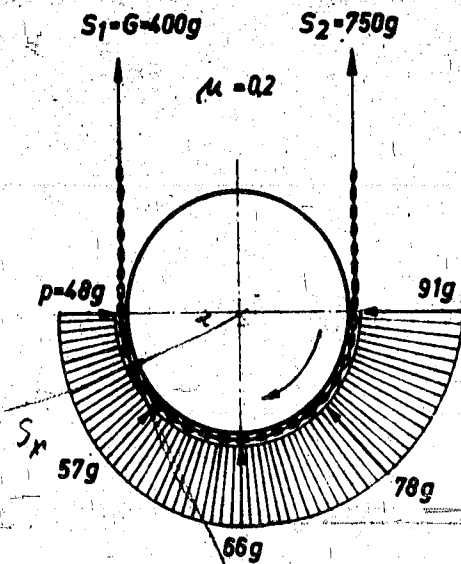


Bild 5

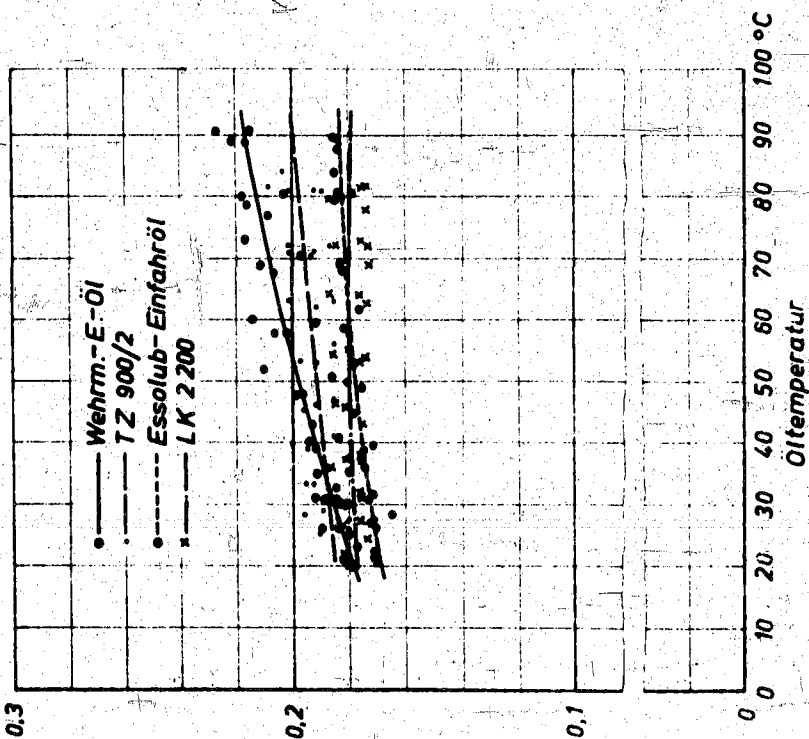


Kräfte-Maßstab: $1mm = 5g$

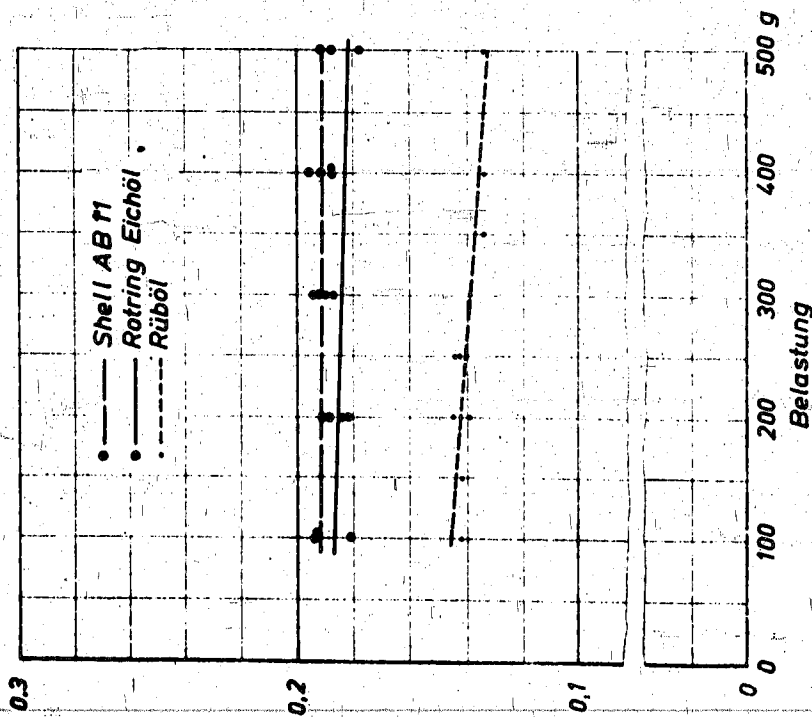
8928

Versuche in der Kettenmaschine

Reibungs-
zahl μ Bild 7



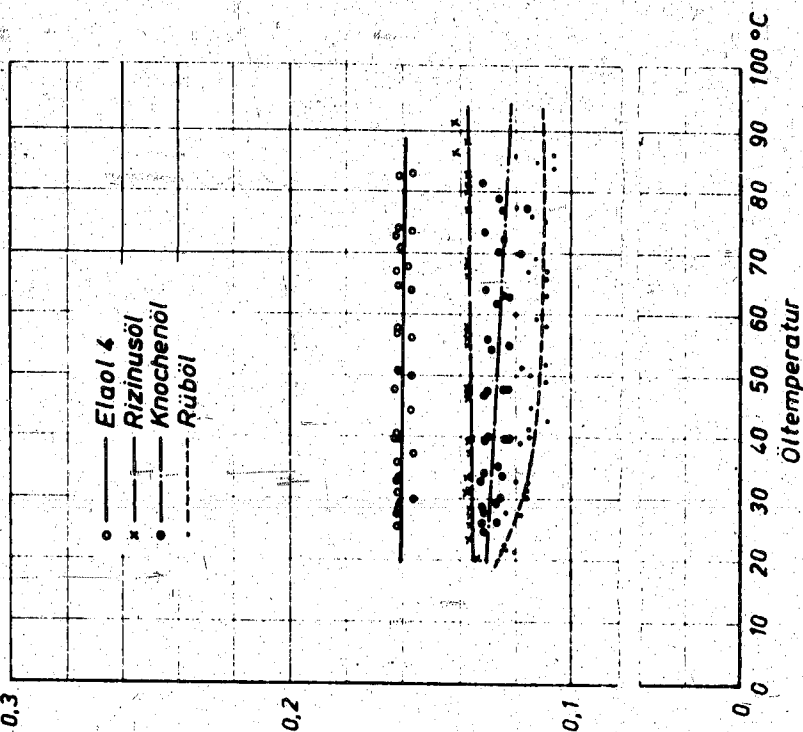
Reibungs-
zahl μ Bild 6



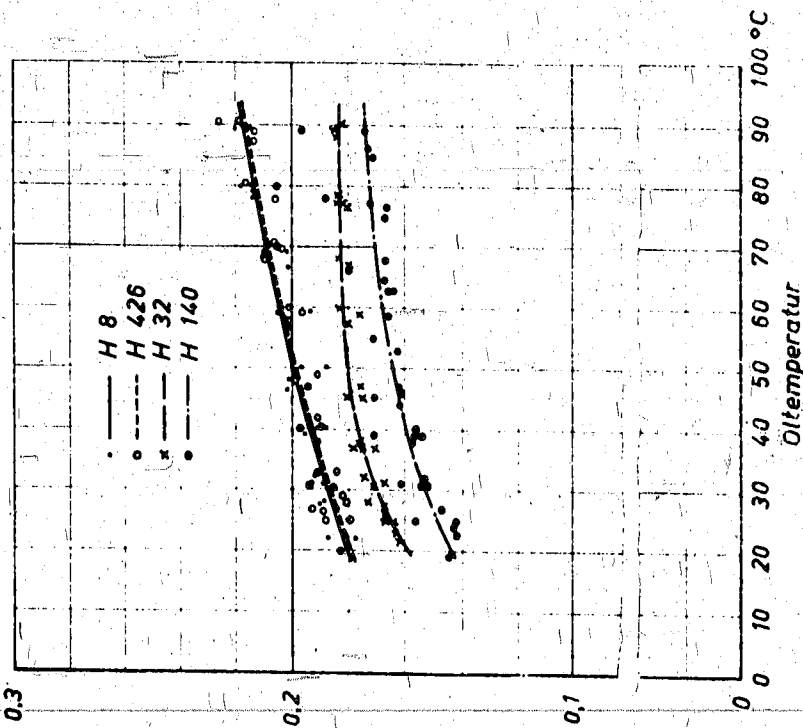
8929

Versuche in der Kettenmaschine

Reibungs-
zahl μ Bild 9



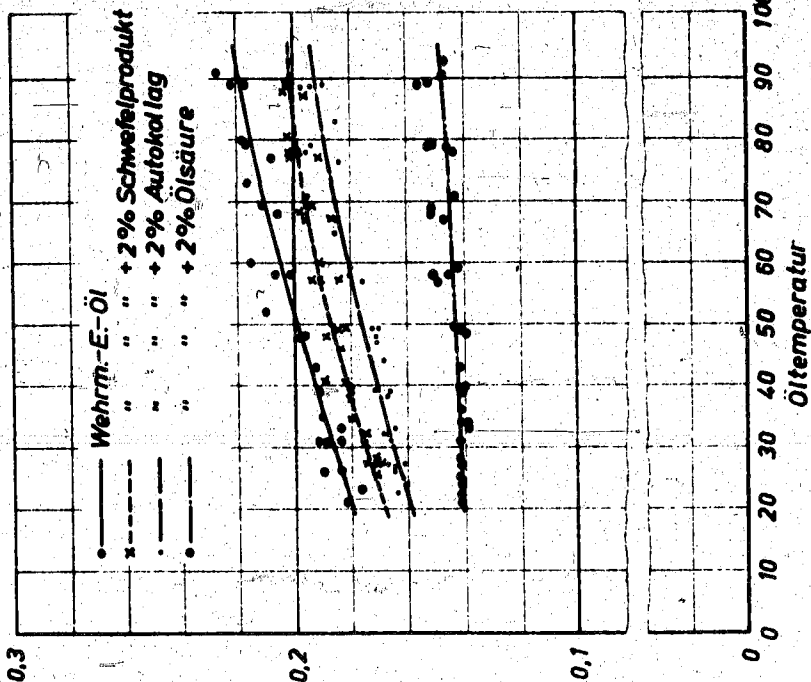
Reibungs-
zahl μ Bild 8



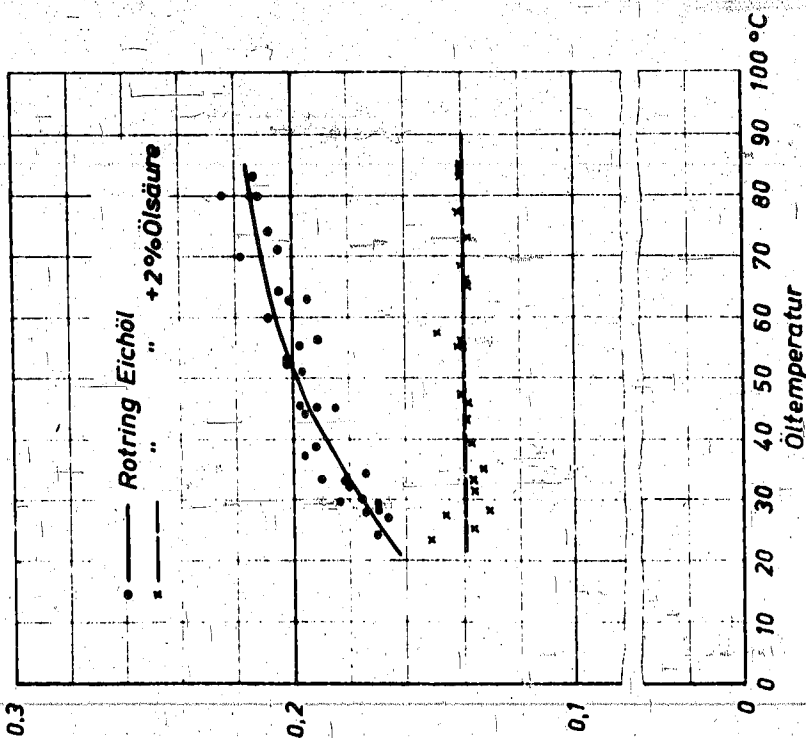
8930

Versuche in der Kettenmaschine

Reibungs-
zahl μ Bild 11



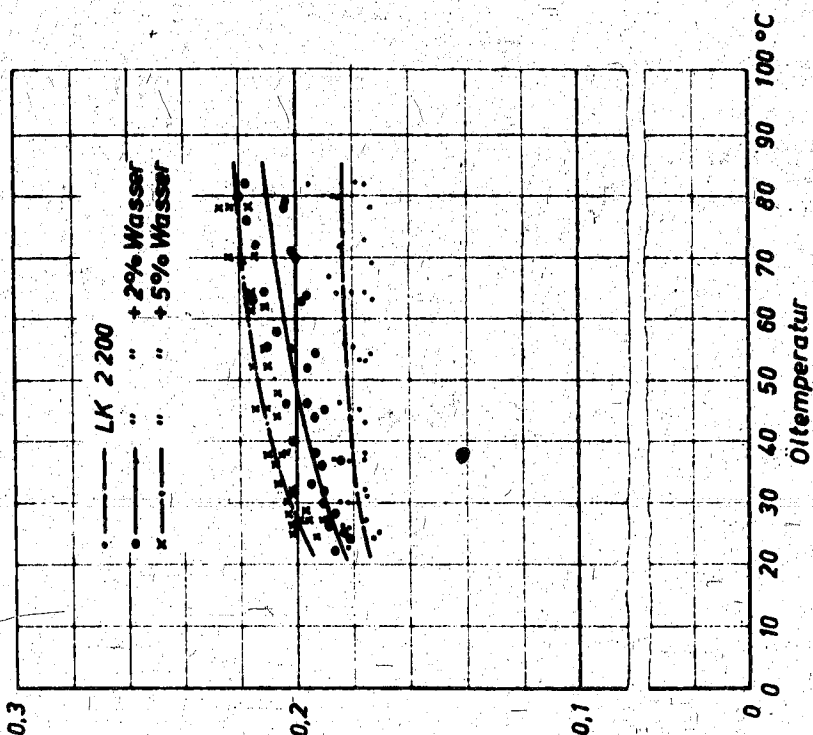
Reibungs-
zahl μ Bild 10



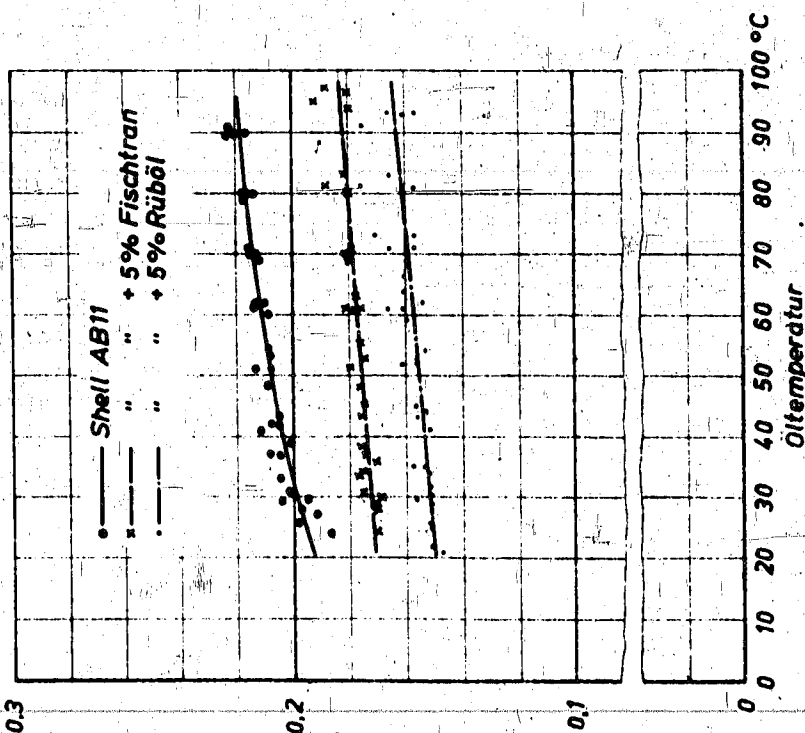
8931

Versuche in der Kettenmaschine

Reibungs-
zahl μ Bild 13



Reibungs-
zahl μ Bild 12



8932