

Nur für den Dienstgebrauch

G 35

.000254

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1442

**Thermoelektrisches Meßverfahren
zu vergleichenden Reibungsuntersuchungen
von Schmiermitteln im Zustand der Grenzschmierung**
Vieweg, Kluge, Maske

Verfaßt bei

Physikalisch-Technische Reichsanstalt

Laboratorium für Schmiertechnik

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

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 Stahlblechverschluß mit Patentschloß zu halten.

Thermoelektrisches Messverfahren zu vergleichenden
Reibungsuntersuchungen von Schmiermitteln im Zustand
der Grenzschmierung.

Übersicht: Es wird über ein Messverfahren berichtet, bei dem die Erwärmung unmittelbar in der Gleitfläche eines geschmierten Werkstoffpaares als Maß für die Reibungsleistung ermittelt wird. Die Versuchsbedingungen sind im einzelnen so gewählt, daß reine Grenzschmierung vorliegt. Das Verfahren zeichnet sich durch eine grosse Messgenauigkeit aus. Dies wird an einigen besonders kennzeichnenden Beispielen erläutert.

- Gliederung:
1. Grundsätzliches über Schmiermittelreibung und Schmierfähigkeit.
 2. Beschreibung des Verfahrens
 3. Bearbeitung der Gleitflächen
 4. Mechanischer Aufbau der Versuchsanordnung.
 5. Durchführung der Versuche und Versuchsergebnisse
 6. Schlussfolgerung

Der Bericht umfasst:

26 Seiten mit

8 Abbildungen

Physikalisch-Technische Reichsanstalt
Laboratorium für Schmiertechnik

Bearbeiter:

V. Vieweg, J. Kluge, F. Maske

Berlin-Charlottenburg, den 20. Juli 1941

BSa: 332/9,2

Grundsätzliches über Schmiermittelreibung und Schmierfähigkeit.

Die Forschung über die Schmiermittelreibung kann bereits auf eine lange Geschichte zurückblicken. Die Entwicklung führte vom Coulomb'schen Gesetz über den Newton'schen Ansatz zu den Vorstellungen und Gesetzen über die hydrodynamische Schmierung und schließlich zu den ausserordentlich vielseitigen Untersuchungen über die Schmierfähigkeit. Allgemein wird heute bei geschmierten Flächen zwischen dem Zustand der Grenzschmierung, Teilschmierung und Vollschrnerung unterschieden. Demgemäß spricht man von Grenzreibung, Mischreibung und Flüssigkeitsreibung. Hier bei stellt die Teilschmierung ihrem Wesen nach nicht einen neuen Zustand dar. Vielmehr bestehen im Zustand der Teilschmierung Grenzreibung und Flüssigkeitsreibung nebeneinander.

Die Grenzschmierung und Vollschrnerung unterscheiden sich hinsichtlich der gültigen Gesetze grundsätzlich voneinander. Der Unterschied kommt am deutlichsten darin zum Ausdruck, daß die Belastung im Zustand der Grenzschmierung durch Grenzschichten mit molekularen Abmessungen auf die Gleitflächen übertragen wird, während sie im Zustand der Vollschrnerung mit den hydrodynamisch gebildeten Drücken im Gleichgewicht steht. Dementsprechend ist im Zustand der Vollschrnerung allein die richtige Auswahl der Schmiermittelzähigkeit bzw. die richtige Konstruktion des Lagers für den Schmiervorgang ausschlaggebend. Im Zustand der Grenzschmierung dagegen hat die Zähigkeit keinen Einfluss, es kommen vielmehr die Grenzflächenwirkungen zwischen dem Lagerwerkstoff und dem Schmiermittel zur Geltung. Man fasst alle diese Wirkungen in dem Begriff der Schmierfähigkeit zusammen.

Forscher und Ingenieure sind nun seit einer Reihe von Jahren in gleicher Weise bemüht gewesen diesen Begriff durch Versuche mit entsprechendem technischen und

physikalischen Sinn zu erfüllen. Auch sind die verschiedensten Vorschläge zur Messung der Schmierfähigkeit gemacht worden.¹⁾ Die Versuche, die Schmierfähigkeit allein auf Grund physikalisch-chemischer oder rein chemischer Messungen zu bewerten, führten bis jetzt zu keinem befriedigenden Ergebnis, weil es hierbei nicht möglich ist, alle bei dem Schmiervorgang auftretenden Einflüsse zu berücksichtigen. So handelt es sich z.B. bei den Untersuchungen der Grenzflächenspannung, der Adsorptionswärme, der Haftfestigkeit usw. um eine einzelne vom Schmiermittel benetzte Fläche und nicht wie bei dem Schmiervorgang um ein Werkstoffpaar. Ausserdem fehlt bei diesen Versuchen die durch den Gleitvorgang bedingte Scherbeanspruchung.

Um den tatsächlich auftretenden Bedingungen des Schmiervorganges gerecht zu werden, wurde verschiedentlich versucht, die Schmierfähigkeit durch Reibungs- oder Temperaturmessungen an besonderen Prüflagern oder Prüfmaschinen mit den verschiedensten Gleitanordnungen zu erfassen. Auf Grund der langjährigen Erfahrungen der Reichsanstalt ist hierzu festzustellen, daß bei einem Lager, aber auch bei den anderen bisher vorgeschlagenen Gleitanordnungen kein einheitlicher Schmierzustand vorhanden ist. Vielmehr handelt es sich hierbei auch bei grossen Belastungen und kleinen Geschwindigkeiten meistens um Messungen im Zustand der Teilschmierung. Andererseits ist bei denjenigen Versuchseinrichtungen, die angeblich im Zustand der Grenzschmierung arbeiten, zum mindesten kein Nachweis hierfür erbracht worden. In fast allen diesen Fällen insbesondere in einem Lager wird ein Teil der Belastung durch hydrodynamische Drucke aufgenommen, sodaß die Messungen zähigkeitsbedingt sind. Dies ist unter anderem daran zu erkennen, daß bei derartigen Messungen eine ausserordentlich kleine Reibungszahl (0,01 und weniger) festgestellt wurde²⁾. Nach Messungen der Reichsanstalt, über die später

1) V. Vieweg: Die Schmierfähigkeit und ihre Messung. Ringbuch der Luftfahrttechnik IV C 13.

2) V. Vieweg a.a.O. G. Vogelwohl: Zur Klärung des Gleitreibungsvorganges. Oel und Kohle 37, (1939) S. 720-728

noch berichtet wird, ist jedoch die Reibungszahl im Zustand der Grenschmierung 0,1 bis 0,3. Es kommen somit bei Messungen an Lagern usw. neben Zähigkeitseinflüssen bestensfalls nur grosse Unterschiede in der Schmierfähigkeit zur Wirkung, wie sie z.B. vergleichsweise bei einem fetten Oel und bei einem reinem Mineralöl auftreten. Ausserdem ist der Schmierzustand z.B. in einem Lager beim Lauf dauernden Veränderungen unterworfen, sodaß wiederholbare Messungen kaum möglich sind. Jedenfalls muss grundlegend festgestellt werden, daß Reibungsmessungen im Zustand der Teilschmierung infolge der überlagerten Zähigkeitseinflüsse eine Schmierfähigkeitsbewertung nicht zulassen. Nur im Zustand der Grenschmierung allein können einwandfreie Untersuchungen der Schmierfähigkeit durchgeführt werden, und nur dann kann die gemessene Reibung oder Temperatur zur Bewertung der Schmierfähigkeit herangezogen werden.

Um nun dem dringenden Bedürfnis nach einwandfreien Messverfahren zur Untersuchung der Schmierfähigkeit abzuhelfen, wurde in der Reichsanstalt auf Grund langjähriger Erfahrungen auf dem Gebiet der Oel- und Lagerforschung zunächst eine Messanordnung geschaffen, die den reinen Zustand der Grenschmierung herzustellen erlaubt und die genaue wiederholbare Messungen ermöglicht. Neben der besonderen Wahl der Gleitanordnung ist hierfür vor allem der mechanisch einwandfreie Aufbau dieser Anordnung sowie das gewählte Bearbeitungsverfahren der Gleitflächen ausschlaggebend.

Das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Verfahren bewertet die Schmierfähigkeit durch Messungen der Reibungsleistung und Temperatur. Es wird hierbei unmittelbar die Temperatur bezw. Erwärmung in der Grenzfläche ermittelt. Dieses Verfahren wurde bereits im Jahre 1936 ausgearbeitet³⁾. Die etwa zu gleicher Zeit in England durchgeführten Untersuchungen über die Oberflächentemperatur von gleitenden Metallen⁴⁾ dienten mehr der allgemeinen Erforschung

3) Von den Verfassern wurden 1936 Schutzrechte für das Verfahren angemeldet.

4) F.P. Bowden und K.E.W. Ridler. Physical Properties of Surfaces. III The Surface Temperature of Sliding Metals. The Temperatur of Lubricated Surfaces. Proc. Roy. Soc. London (A) 154, (1936) S. 640 - 656.

der Oberflächenvorgänge bei gleitender Reibung. Eine quantitative Bewertung der Schmierfähigkeit auf Grund von Erwärmungsmessungen konnte offenbar noch nicht erfolgen, da die Voraussetzungen für eine entsprechend gute Wiederholbarkeit, wie sie in der vorliegenden Arbeit besprochen werden, insbesondere hinsichtlich der Bearbeitung der Gleitflächen nicht erfüllt sind.

Über die Messungen der Reichsanstalt wird erst jetzt im einzelnen berichtet, nach dem sich das beschriebene Verfahren längere Zeit bewährt hat. Andererseits ergaben sich aus diesen Messungen grundsätzliche Folgerungen über den Schmiervorgang, für die wegen ihrer Neuartigkeit eine weitere Bestätigung durch unmittelbare Messung der Reibung und der Abnutzung abgewartet werden sollte. Es wurden daher in letzter Zeit an der Reichsanstalt je ein weiteres Verfahren zur Messung der Reibungskraft und der Abnutzung im Zustand der Grenzschmierung ausgearbeitet, über die später in einigen weiteren Arbeiten fortlaufend berichtet werden soll.

2. Beschreibung des Verfahrens

Die grundsätzliche Wirkungsweise des genannten Verfahrens beruht darauf, daß zwischen metallischen Gleitflächen bei Erwärmung eine thermoelektrische Spannung entsteht. Da sich die Gleitflächen bei Grenzschmierung elektrisch gut leitend berühren, kann auf diese Weise die in der Gleitfläche infolge der Reibung entstehende Erwärmung thermoelektrisch ermittelt werden. Und zwar nimmt die thermoelektrische Spannung linear mit der Erwärmung in der Grenzfläche zu. Sie hängt also sowohl von der Reibungskraft als auch von der Gleitgeschwindigkeit ab und ist der Reibungsleistung proportional. Wie die in dieser Arbeit gebrachten Versuchsergebnisse zeigen, läßt das beschriebene Verfahren deutlich die Einflüsse der Schmierfähigkeit eines Schmiermittels in seinem Reibungsverhalten erkennen. Es ist hiernach möglich, die Reibungsleistung bzw. die Erwärmung in der Grenzfläche und die von ihr abhängige thermoelektrische Spannung zwischen den Gleitflächen für eine vergleichende Bewertung

von Schmiermitteln hinsichtlich ihrer Schmierfähigkeit zu verwenden. Nachdem bereits bei früheren Versuchen der Reichsanstalt die thermoelektrische Spannung zwischen den Gleitflächen eines Lagers zur Untersuchung der Grenzschmierung herangezogen wurde ⁵⁾, bestand Aussicht, derartige thermoelektrische Messungen auch auf andere Gleitanordnungen anzuwenden. Hierbei war durch einen möglichst einwandfreien und einfachen Aufbau der Gleitanordnung eine entsprechend grössere Messgenauigkeit zu erwarten.

Als Grundanordnung dient daher bei diesem Verfahren eine umlaufende ebene Scheibe und ein ruhender zylindrischer stiftförmiger Prüfkörper, der mit einstellbarem Druck gegen die Scheibe gedrückt wird. Das zu untersuchende Schmiermittel wird in dünner Schicht auf die ebene Scheibe aufgebracht. Gemessen wird die infolge der Reibung unmittelbar in der Grenzfläche der Gleitkörper auftretende Temperaturänderung (Erwärmung). Diese Erwärmung ist ein Maß für die Reibungsleistung. Wird die Erwärmung durch die Gleitgeschwindigkeit dividiert, so ist der erhaltene Wert auch ein Vergleichsmaß für die Reibungskraft. Durch die kleinen Abmessungen des Stiftes stellt sich auf diesem nahezu sofort der den jeweiligen Gleitbedingungen entsprechende Erwärmungszustand ein, wodurch eine kurze Versuchsdauer bedingt ist. Der Bearbeitungszustand der Gleitfläche wird daher während der Messung nur wenig geändert. Wie später noch gezeigt wird, ist diese kleine Änderung des Bearbeitungszustandes ohne Einfluss auf die Reibungsmessungen. Die Erwärmung selbst beträgt nur wenige Grad Celsius, sodaß die Versuchstemperatur praktisch unverändert bleibt. Es ist somit z.B. möglich die Reibung unter sonst gleichen Bedingungen allein in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit zu untersuchen, ohne daß sich wie in einem Prüflager gleichzeitig die Temperatur als weitere wichtige Einflussgröße der Schmierung ändert.

5) V. Vieweg und J. Kluge Arch. Eisenhüttenwes. 2 (1929) S. 808; Über Messungen der Schmierfähigkeit von Oelen in Lagern.

000259

Ist nur der stiftförmige Prüfkörper aus Metall, so kann die Erwärmung in der Grenzfläche der Gleitkörper nicht mehr in der vorstehend beschriebenen Weise bestimmt werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, diese Erwärmung auch aus dem Temperaturverlauf längs des Stiftes zu ermitteln. Und zwar genügt bei Vergleichsmessungen an dem gleichen Werkstoffpaar die Temperaturmessung an einer an sich beliebigen aber bestimmten Stelle des Stiftes. Für solche indirekten Messungen wird an dem Stift seitlich ein Konstantandraht angelötet, der mit dem Metallstift zusammen ein Thermoelement bildet. Grundsätzlich kann die genaue Grösse der Erwärmung in der Grenzfläche eines beliebigen Werkstoffpaares aus der Erwärmung an zwei Messtellen des Stiftes berechnet werden. Hierbei muss nur berücksichtigt werden, daß die Temperatur längs des Stiftes exponentiell verläuft. Es gilt dementsprechend für die Erwärmung $(\Delta t)_x$ an einer beliebigen Stelle x des stiftförmigen Körpers folgende Beziehung.

$$(\Delta t)_x = (\Delta t)_0 e^{-cx}$$

Hierbei ist $(\Delta t)_0$ die gesuchte Erwärmung der Grenzfläche und C eine Konstante. Ist nun $(\Delta t)_1$ die Erwärmung an der Stelle 1 und $(\Delta t)_2$ die Erwärmung an der Stelle 2, so wird die Berechnung besonders einfach. Man erhält

$$(\Delta t)_0 = \frac{(\Delta t)_1^2}{(\Delta t)_2}$$

Es ist allerdings nicht einfach, zwei Messtellen in derartig bestimmter Zuordnung zu schaffen. Die indirekte Bestimmung der Erwärmung in der Grenzfläche aus der Erwärmung an ein oder zwei Stellen des Stiftes ist vor allem dann anzuwenden, wenn z.B. die Scheibe aus Kunststoff besteht, bzw. wenn sich die thermoelektrische Eichkonstante für das als Thermoelement dienende Werkstoffpaar infolge Metallübertragung während des Gleitvorganges verändert.

Je nachdem ob nun die Erwärmung in der Grenzfläche ^{aus} dort entstehenden Thermospannung oder aus dem Temperatur-

verlauf längs des Stiftes ermittelt wird, wird zwischen dem direkten oder indirekten thermoelektrischen Verfahren zur Bestimmung der Reibungsleistung unterschieden. In beiden Fällen ist die thermoelektrische Spannung der Größenordnung nach einige 10^{-5} V. Sie wird durch ein Spiegelgalvanometer von grosser Schwingungsdauer gemessen. Durch Anwendung eines Stromschreibers mit lichtelektrischem Verstärker ⁶⁾ kann diese kleine Spannung auch laufend aufgezeichnet werden, was für die Beobachtung von Einlaufvorgängen usf. von Wichtigkeit ist. Dieser lichtelektrische Verstärker hat ausserdem die wichtige Eigenschaft, daß er die zu messende Spannung selbsttätig kompensiert. Kontaktübergangswiderstände zwischen den Gleitkörpern, wie sie auch im Zustand der Grenzschmierung auftreten, werden somit bei dem direkten Verfahren durch diese selbsttätige Kompensation ausgeschaltet. Andererseits kann durch eine vergleichende Spannungsmessung an dem durch die Gleitkörper gebildeten Thermoelement bei einem parallel geschalteten Widerstand auf den Kontaktwiderstand geschlossen werden. Wird der Parallelwiderstand z.B. so eingestellt, daß die gemessene Spannung auf den halben Wert absinkt, so ist der Kontaktwiderstand gleich diesem Parallelwiderstand. Somit gestattet das direkte thermoelektrische Verfahren ausserdem die Untersuchung von kleinsten Filmdicken mit molekularen Abmessungen, wie sie in der Grenzschmierung auftreten. Bemerkenswert ist, daß diese elektrische Filmuntersuchung nicht unter Verwendung einer fremden Spannungsquelle erfolgt, wie dies bei den ^{sonst} vorgeschlagenen Verfahren üblich ist, wo z.B. aus Widerstandsmessungen auf die Filmdicke geschlossen wird.

3. Bearbeitung der Gleitflächen

Wie oben bereits angedeutet, ist die Bearbeitung der Gleitflächen für einwandfreie Reibungsuntersuchungen von ausschlaggebender Bedeutung. Bei dem Verfahren der Reichsanstalt wird die umlaufende Scheibe unmittelbar in der Versuchsanordnung geläppt, wobei als Gegenscheibe im allgemei-

6) Ludwig Merz: Messung und Aufzeichnung kleinster Spannungen mit einem lichtelektrischen Kompensator VDE Fachber. 1938, S.134 - 137

nen eine Scheibe aus gleichem Werkstoff dient und als eigentliches Schleifmittel künstlicher Korund verwendet wird, der in bestimmter Menge mit Petroleum zu einer Schleifpaste angerührt wird. Ausserdem wird die Schleifdauer einheitlich festgelegt. Wie durch Kontrollmessungen der Rauigkeit festgestellt werden konnte, ist hierdurch ein genau wiederholbarer Oberflächenzustand gewährleistet. Auf diese Weise können z.B. feinstbearbeitete Flächen hergestellt werden, deren Rauigkeit nur etwa $\frac{1}{4}$ beträgt, womit diese Rauigkeit an der Genauigkeitsgrenze der üblichen bekannten Rauigkeitsmessgeräte liegt.

Eine derart feinstbearbeitete Oberfläche hat stets ein mattes Aussehen. Ein Glanz ist nur unter praktisch streifendem Einfall erkennbar. Ihr Aussehen ähnelt etwa Flächen, die nach dem "Superfinish Verfahren" bearbeitet sind. Bemerkenswert ist jedoch ausserdem, daß die nach dem Verfahren der Reichsanstalt bearbeiteten Flächen keinerlei Bearbeitungsspuren erkennen lassen. Es wurde in diesem Zusammenhang für derartige Flächen der Begriff der Rauigkeit geprägt. Im Gegensatz hierzu zeigt z.B. eine in der üblichen Weise feinstgeschliffene Fläche eine geordnete Rauigkeit in Form der Bearbeitungsspuren.

Das Bearbeitungsverfahren der Reichsanstalt stellt in gewissem Sinn noch eine Verfeinerung des "Superfinish Verfahrens" dar. Bei diesem wird ein Schleifstein verwendet, der eine Schleifbewegung mit möglichst vielen Freiheitsgraden ausführt. Bei dem Verfahren der Reichsanstalt dagegen entsprechen die Schleifkörner zwischen den Scheiben in ihrer Wirkung einem Schleifsystem mit unendlich vielen Freiheitsgraden. Jedes einzelne Schleifkörnchen führt zwischen den Scheiben eine Abroll- und Gleitbewegung aus. In Bild 1 sind zur Klarstellung dieser Fragen verschiedene Mikraufnahmen von feinstbearbeiteten Oberflächen dargestellt. Die nach dem Verfahren der Reichsanstalt bearbeiteten Flächen zeigen hiernach einen einheitlichen gleichmässigen Zustand. Eine abgezogene ungeordneten

oder geschliffene Fläche zeigt dagegen auch bei kleinster Rauigkeit deutliche Bearbeitungsspuren in einer ausgezeichneten Richtung. Aus den Aufnahmen in Bild 1 ist ausserdem zu erkennen, daß die Abnutzung auf der umlaufenden Scheibe ausserordentlich klein ist. Bei streifender Beleuchtung ist die Gleitbahn fast garnicht zu erkennen. Offenbar werden nur die härtesten Spitzen durch den Gleitvorgang abgeschliffen. Und zwar sind es die Stellen, die bei einer Beleuchtung senkrecht zur Oberfläche glänzend erscheinen.

Wichtig ist ferner, daß das kristalline Gefüge des Werkstoffes bei einer Bearbeitung nach dem Verfahren der Reichsanstalt erhalten bleibt. Im Gegensatz hierzu wird beim polieren einer Fläche eine amorphe Schicht gebildet (Beilby-Schicht)⁷⁾, die schalenartig über dem kristallinen Werkstoff lagert. Beim Gleitvorgang werden nun einzelne Teile aus der schalenartigen Schicht einer polierten Fläche abblättern und damit zu einer verhältnismässig groben Veränderung der Gleitfläche führen. Hierdurch sind aber einwandfreie und wiederholbare Reibungsuntersuchungen in Frage gestellt, Flächen, die nach dem Verfahren der Reichsanstalt feinstbearbeitet sind, ergeben dagegen beim Gleitvorgang eine allmähliche gleichmässige Werkstoffabtragung.

Bei allen bisher bekannt gewordenen Reibungsuntersuchungen, die zur Bewertung von Schmiermitteln dienen sollten, werden nun polierte Flächen verwendet, oder die verwendeten Flächen haben im obigen Sinn eine geordnete Rauigkeit (Bearbeitungsspuren). Neben den bereits eingangs geschilderten Schwierigkeiten bei der Herstellung des Grenzschmierzustandes sind dies die Hauptgründe dafür, daß die bisher bekannt gewordenen Reibungsuntersuchungen hinsichtlich der Wiederholbarkeit nicht immer befriedigten, und daß somit eine genaue Bewertung von Schmiermitteln auf Grund von Reibungsuntersuchungen nicht möglich war.

4. Mechanischer Aufbau der Gleitanordnung.

Der mechanische Aufbau der Gleitanordnung geht aus dem Bild 2 hervor. Der stiftförmige Prüfkörper ist mit einer Spannanz-

⁷⁾ Ein neues Feinstbearbeitungsverfahren (Superfinish), Automobiltechnische Zeitschrift (1940) S. 596

ge, wie sie in der Werkstatttechnik üblich ist, an einem einseitigen Hebel befestigt. Die Spitzenlagerung dieses Hebels sorgt für die Einhaltung der einmal vorgenommenen Einstellung des Stiftes gegenüber der umlaufenden Scheibe. Die Belastung kann durch Zusatzgewichte auf dem Hebel eingestellt werden. Zur Erzielung einer gleichmäßigen Druckverteilung auf den Gleitflächen müssen diese jedoch einwandfrei aufeinander eingeschliffen sein. Dies geschieht unmittelbar an der Anordnung durch einen besonderen Versuch. Damit nun die Stellung der Gleitflächen gegeneinander bei allen Drehlagen der Scheibe die gleiche ist, darf diese Scheibe beim Umlaufen an der Kesstelle keinen Schlag in der Achsenrichtung ergeben. Die umlaufende Scheibe ist daher auf einer besonders gut gelagerten Schleifspindel befestigt. Ausserdem kann die Messscheibe noch durch eine Justiereinrichtung fein eingestellt werden. Die Justiereinrichtung ist hierfür mit einem membrangelagerten Gewindepapfen und mit mehreren Stellschrauben versehen. Hierdurch liess sich der Schlag an der Kesstelle bei einem Durchmesser der Gleitbahn von 120 mm auf $\frac{1}{4}$ und weniger begrenzen. Durch den vorstehend beschriebenen mechanischen Aufbau ist ausserdem gewährleistet, daß die gegenseitige Stellung der Gleitflächen auch erhalten bleibt, wenn der Stift zur Reinigung der Gleitflächen oder zur neuen Bearbeitung der Scheibe von dieser abgehoben wird. Es genügt dann selbst bei hartem Werkstoffen wie Stahl und Gußeisen ein Einlauf von nur etwa 10 min um die Stiftfläche auf der Scheibe neu einzuschleifen und damit eine eventuell eingetretene kleine gegenseitige Verlagerung der Gleitflächen wieder zu beseitigen.

5. Durchführung der Versuche und Versuchsergebnisse

Nach der Bearbeitung der umlaufenden Scheibe wird das Schleifmittel sorgfältig entfernt und die Fläche durch rückstandsfreies Benzin gereinigt. Das zu untersuchende Schmiermittel wird in dünner Schicht auf die Scheibe aufgetragen und während des Laufes durch ein leicht gegen die Scheibe gedrücktes und ebenfalls gereinigtes Lederläppchen gleich-

mässig verteilt. Wie bereits im vorstehenden Abschnitt gesagt ist, schleift sich der Stift in wenigen Minuten auf die Oberfläche der Scheibe ein. Der sich dann ergebende Messzustand bleibt bei dem Werkstoffpaar Stahl-Guß Eisen auch bei einem Dauerversuch von etwa 2 Std. unverändert erhalten. In Bild 3 ist ein solcher Dauerversuch wiedergegeben. Wenn nun außerdem berücksichtigt wird, daß bei den eigentlichen Versuchen für die Einstellung eines Messwertes und für seine Ablesung nur wenige Sekunden erforderlich sind, so ist der Messzustand auch für mehrere auf der gleichen Gleitbahn hintereinander durchgeführte Messreihen genügend lange erhalten. Bei noch längerem Lauf tritt jedoch nach und nach eine stärkere Glättung der Scheibenfläche ein, sodaß der Zustand der Grenzschmierung allmählich in den Zustand der Teilschmierung übergeht. Dies macht sich in einer Abnahme des Messausschlages bemerkbar, wobei diese Abnahme z.T. auf eine tatsächliche Abnahme der Reibung infolge einer Filmbildung und z.T. auf den Kontaktwiderstand infolge des Schmiermittelfilmes zurückzuführen ist.

Die vorstehend erwähnte kurze Messzeit für die Einstellung und Ablesung eines Messwertes ist nun andererseits der trägheitsfreien Arbeitsweise des beschriebenen Verfahrens äquivalent. In Bild 4 ist zum Nachweis hierfür der zeitliche Verlauf der Reibungsleistung durch ein Schreibgerät aufgeschrieben, wobei die Scheibenfläche mit einer dünnsten Schicht Mineralöl benetzt ist und nur an einer kleinen Stelle der Gleitbahn etwas Ölsäure aufgebracht ist. Der Versuch ergibt eine der Drehzahl entsprechende Periodizität der Reibungsleistung. Jedesmal, wenn die mit Ölsäure benetzte Stelle der Scheibenfläche unter dem Stift weggelitet, sinkt die Reibungsleistung sofort ab, um ebenso schnell wieder anzusteigen, wenn diese Stelle weiter weggelaufen ist. Für diesen Versuch war natürlich das oben erwähnte Lederläppchen entfernt. Das allmähliche Absinken des mittleren Ausschlages ist darauf zurückzuführen, daß der Stift nach und nach auch etwas Ölsäure auf die anderen Teile der Scheibenfläche trägt.

Von den zahlreichen an den verschiedensten Schmiermitteln durchgeführten Messungen seien nun einige besonders kennzeichnende Beispiele beschrieben. In Bild 5 sind zunächst zwei Messreihen wiedergegeben, die einen Beweis für die gute Wiederholbarkeit des Verfahrens erbringen. Die Reibungsleistung ist hierbei wie auch bei den folgenden Messungen in willkürlichen Einheiten aufgetragen. Es ist jedoch jeweils nur ein Vergleich der in einem Bild zusammengefaßten Versuchsergebnisse möglich, da die Empfindlichkeit von Fall zu Fall anders abgepaßt wurde. Die Übereinstimmung der beiden Messreihen in Bild 5 ist außerordentlich befriedigend und beweist, daß der Bearbeitungszustand der Gleitfläche während der kurzen Messzeit der einzelnen Messungen kaum verändert wird, bzw. daß diese Veränderung keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit hat. Bemerkenswert ist dabei, daß zwischen den beiden Messungen verschiedene andere Messungen auf der gleichen Gleitbahn der umlaufenden Scheibe durchgeführt wurden, ohne daß die Scheibe von neuem in der Zwischenzeit bearbeitet wurde. Die gleiche Messgenauigkeit und gute Wiederholbarkeit erhält man aber auch, wenn die Oberfläche der Scheibe vor jedem Versuch neu bearbeitet wird. Eine solche Neubearbeitung empfiehlt sich insbesondere dann, wenn durch das untersuchte Schmiermittel ein chemischer Angriff der Gleitfläche zu befürchten ist. Ausserdem sind in der Abbildung 5 die Erwärmungen in der Gleitfläche angegeben. Sie wurden durch eine besondere Eichung ermittelt und bestätigen die obige Feststellung, daß die Versuchstemperatur durch den Reibungsversuch selbst praktisch nicht verändert wird.

Wie bei der Beschreibung näher ausgeführt wurde, arbeitet das Verfahren im Zustand der Grenzschmierung. Somit muss es möglich sein, auch Schmiermittel mit verschiedener Zähigkeit zu vergleichen, ohne daß die Vergleichsmessungen durch Zähigkeitswirkungen beeinflusst sind. In Bild 6 sind die Messungen von 2 Oelen wiedergegeben, de

ren Zähigkeiten sich etwa wie 1 zu 30 verhalten. Und zwar handelt es sich um synthetische Öle, die sich hinsichtlich ihrer Grenzflächenwirkungen gleich verhalten, so daß bei Messungen im Zustand der Grenzschmierung auch kein Unterschied bezüglich der Reibung zu erwarten war. Die Messungen bestätigen diese Erwartung und ergeben, auch andeutungsweise, keinen Einfluss der Zähigkeit. Ein solcher Einfluss müßte sich aber nach den Erfahrungen der Reichsanstalt in einer zusätzlichen Reibungsverminderung bemerkbar machen; und dies um so mehr, je grösser die Zähigkeit ist. Denn in jedem Fall nimmt die Reibung beim Übergang vom Zustand der Grenzschmierung in den Zustand der Teilschmierung ab. Sie nimmt erst wieder zu, wenn der Zustand der reinen Vollschrnierung einsetzt, erreicht aber niemals die Werte der Grenzschmierung.

Da das Verfahren im Zustand der Grenzschmierung arbeitet, müssen bei den Messungen auch Konstitutionseinflüsse des Schmiermittels auf die Reibung besonders deutlich werden. In Bild 7 sind Vergleichsmessungen an Cetan und an Cetan mit verschieden grossen Zusatz von Palmitinsäure gegenübergestellt. Die bekannte reibungsvermindernde Wirkung des Säurezusatzes ist klar zu erkennen. Hierbei rufen zunächst sehr kleine Zusatzmengen eine grosse Reibungsverminderung hervor. Bei grösseren Zusatzmengen tritt schließlich der bekannte Endzustand bezüglich der Reibung ein. Eine weitere Vergrösserung des Zusatzes ändert die Reibung dann nicht mehr.

Ein weiteren Beweis für die Brauchbarkeit des beschriebenen Verfahrens sind die Messungen, die in Bild 8 wiedergegeben sind. In Übereinstimmung mit den praktischen Erfahrungen ergibt das Fettöl gegenüber dem Mineralöl eine wesentlich kleinere Reibung. Das synthetisch hergestellte Öl verhält sich noch etwas ungünstiger als das untersuchte Mineralöl. Auch diese Beobachtungen decken sich mit den praktischen Erfahrungen, da es sich bei dem synthetischen Öl zunächst um ein Ausgangsöl handelt, was sich erwartungsge-

müß etwa wie ein reines Mineralöl verhalten müßte. Diese Feststellung ist insofern wichtig, als die Messungen in Bild 8 den Schluss zulassen könnten, daß die synthetischen Öle für die Schmierung nicht geeignet seien. Die Erfahrungen der Reichsanstalt an synthetischen Ölen verschiedener Herkunft und mit verschiedenem Anwendungsgebiet haben vielmehr ergeben, daß es heute möglich ist, synthetische Öle mit ausgezeichneten Schmier Eigenschaften herzustellen. Hierauf soll jedoch erst bei späterer Gelegenheit eingegangen werden.

6. Schlussfolgerung

Das beschriebene Verfahren zur thermoelektrischen Messung der Reibungsleistung hat sich bei der Untersuchung von Schmiermitteln hinsichtlich ihres Reibungsverhaltens im Zustand der Grenzschmierung bewährt. Die Messungen lassen einwandfrei den Einfluss der Schmiermittelkonstitution auf die Reibung erkennen. Durch die Ausschaltung jeder hydrodynamischen Filmbildung sind auch Vergleichsmessungen von Schmiermitteln mit grossen Zähigkeitsunterschieden möglich.

Grundsätzlich kann das thermoelektrische Verfahren nur für vergleichende Messungen verwendet werden. Eine quantitative Reibungsmessung, insbesondere eine genaue Angabe der Reibungszahl ist nach dem beschriebenen Verfahren nicht möglich. Für solche Reibungsmessungen wurde daher noch ein besonderes Verfahren entwickelt, das in einem weiteren Bericht beschrieben wird.

000264

Bild 1

Mikroaufnahmen von feinbearbeiteten Gußeisenflächen

Vergrößerung 15 fach

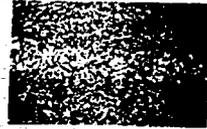
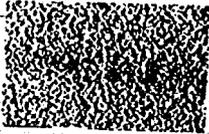


Strichpolitur

Rauhigkeit 1μ

streifende Beleuchtung

senkrechte Beleuchtung

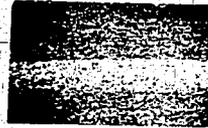


Feinstbearbeitung nach PTR

Rauhigkeit 5μ Korngrösse des Schleifmittels 25-80 μ

streifende Beleuchtung

senkrechte Beleuchtung



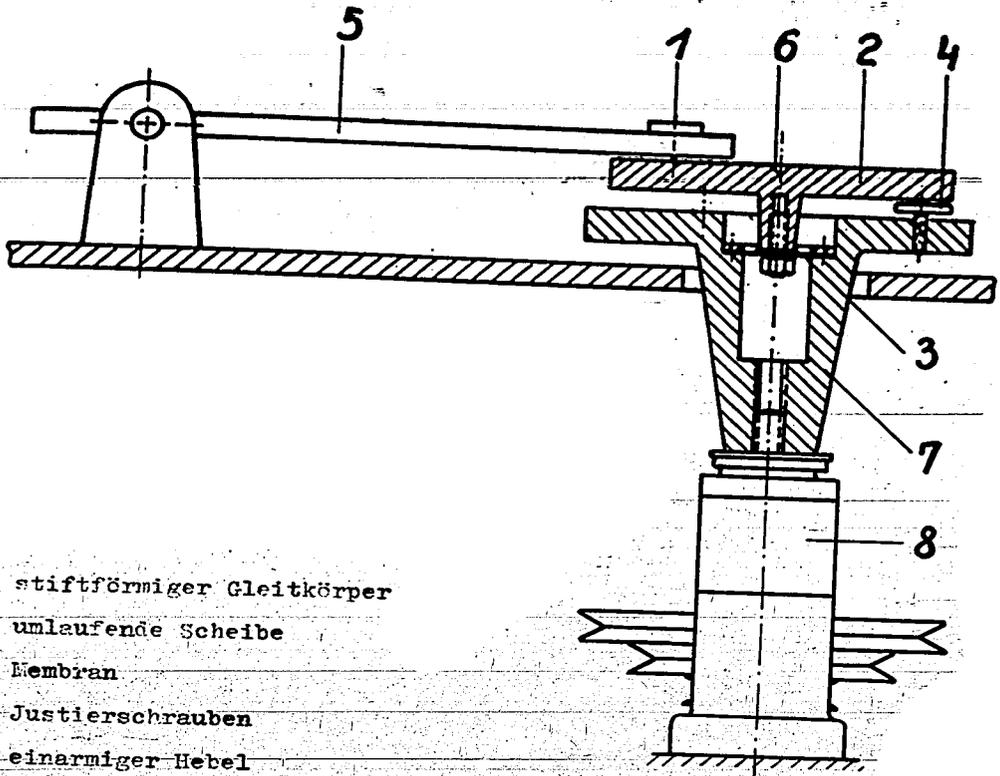
Feinstbearbeitung nach PTR

Rauhigkeit 2μ Korngrösse des Schleifmittels 7-20 μ

streifende Beleuchtung

senkrechte Beleuchtung

000265



- 1 stiftförmiger Gleitkörper
- 2 umlaufende Scheibe
- 3 Membran
- 4 Justierschrauben
- 5 einarmiger Hebel
- 6 Quecksilberkontakt für Anschluss der Messleitung an die umlaufende Scheibe
- 7 Justiereinrichtung
- 8 Spindelkasten

Bild 2

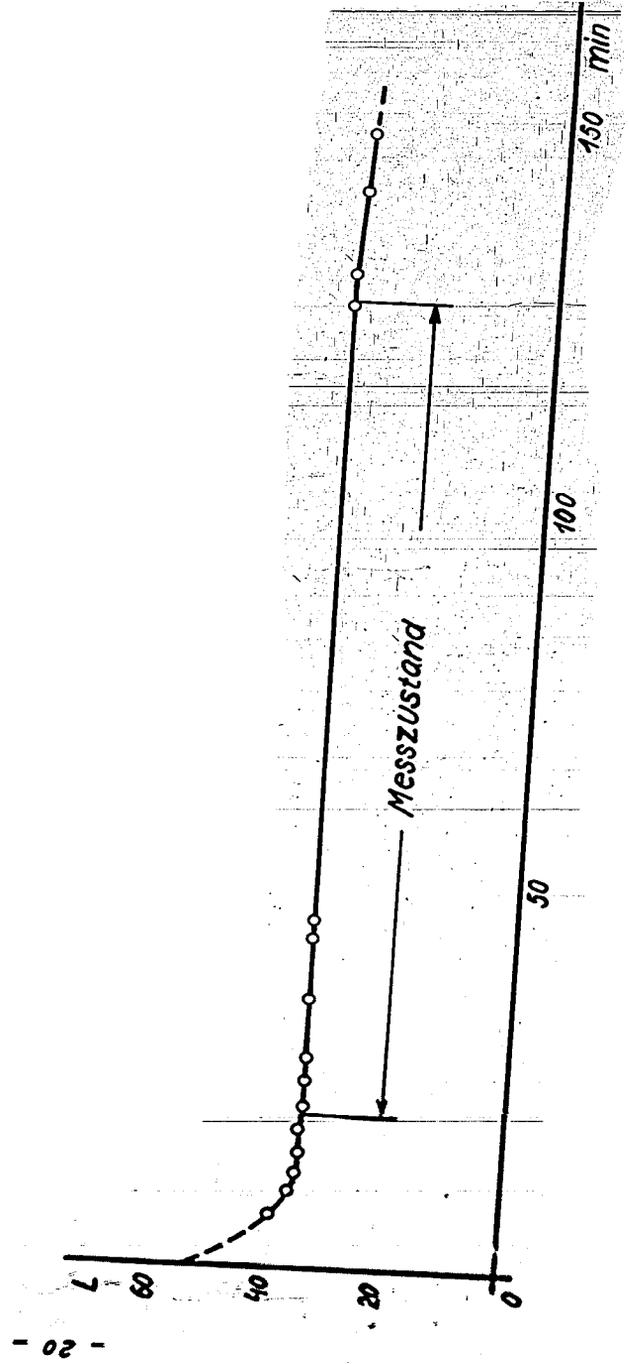
Mechanischer Aufbau der Gleitanordnung

Bild 3

Verlauf der Reibungsleistung bei einem Dauerversuch

Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen
Rauigkeit $\sim 5\mu$
Temperatur 20°C
Belastung 160 kg/cm^2
Stiftdurchmesser $0,62\text{ mm}$
Schmiermittel Mineralöl

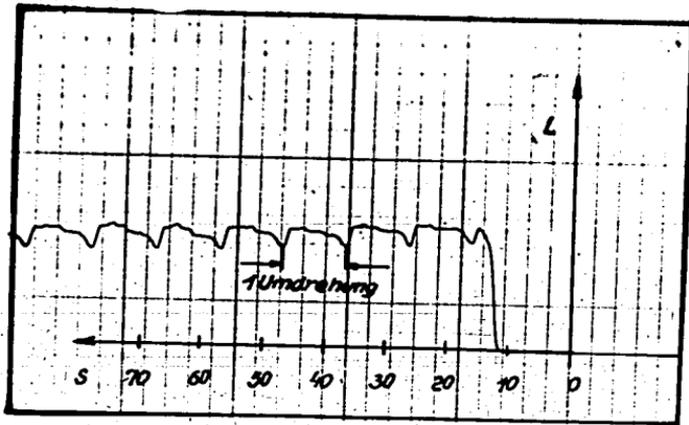
000266



000267

Bild 4

Versuch zum Nachweis der trägheitsfreien
Arbeitsweise des Verfahrens.



reibungsvermindernde Wirkung durch einen Tropfen
Oelsäure auf der umlaufenden Scheibe.

Bild 5

Reibungsleistung L in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit
Wiederholbarkeit

Verkestoffpaar

Stahl-Gußeisen

~5M

Belastung 160 kg/cm²

Rauigkeit

20°C

Stiftdurchmesser 0,62 mm

Temperatur

1. Messung

Schmiermittel Mineralöl

2. Messung

○

+

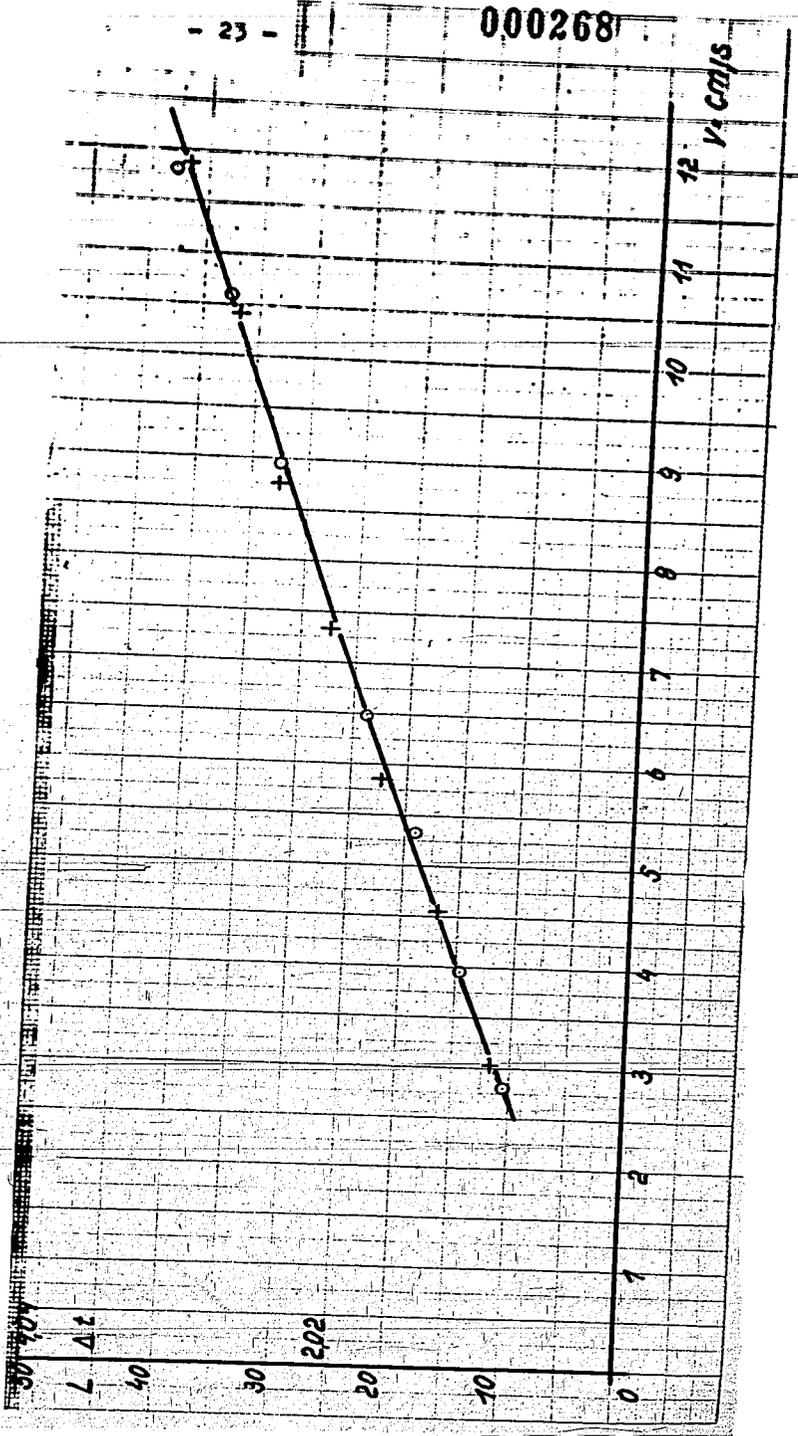


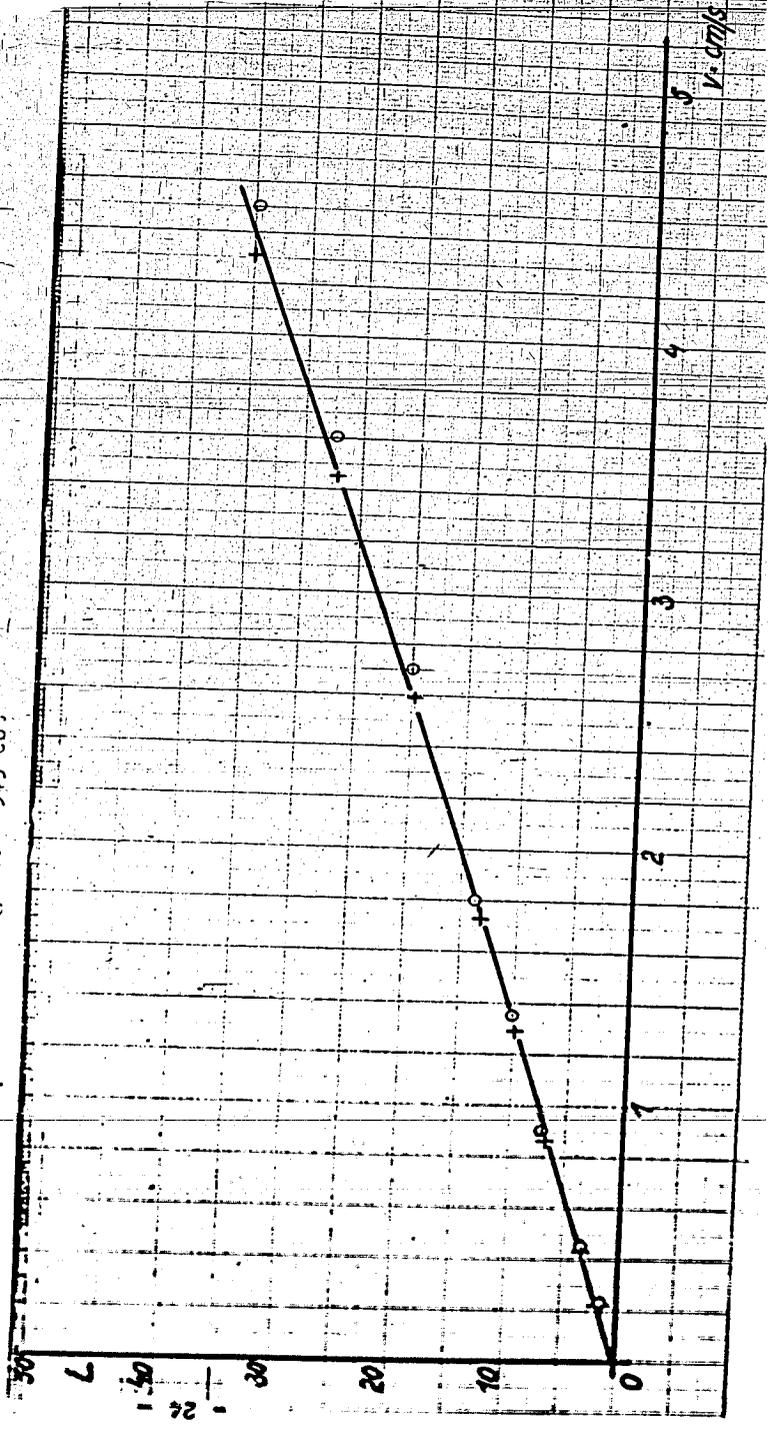
Bild 6

Reibpaar nach I in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit.
Einfluß der Zähigkeit des Schmiermittels.

Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen Belastung 200 kg/cm²
Reinheit 2M Stiftdurchmesser 0,57 mm
Temperatur 20°C

—○— Ölviskosität 154 cSt;
—+— Ölviskosität 340 cSt;

000269



v: cm/s

Bild 7

Reibungszahl L in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit
Reibungsverminderung durch Zusatz von Palmittinsäure

Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen Stiftdrehmesser 0,62 RR
 Rauigkeit $\sim 2\mu$ Temperatur 20° C
 Druck 160 kg/cm²

—○— reines Cetan
 —○— 0,001 % Zusatz
 —○— 0,01 % Zusatz
 —●— 0,1 % Zusatz

000270

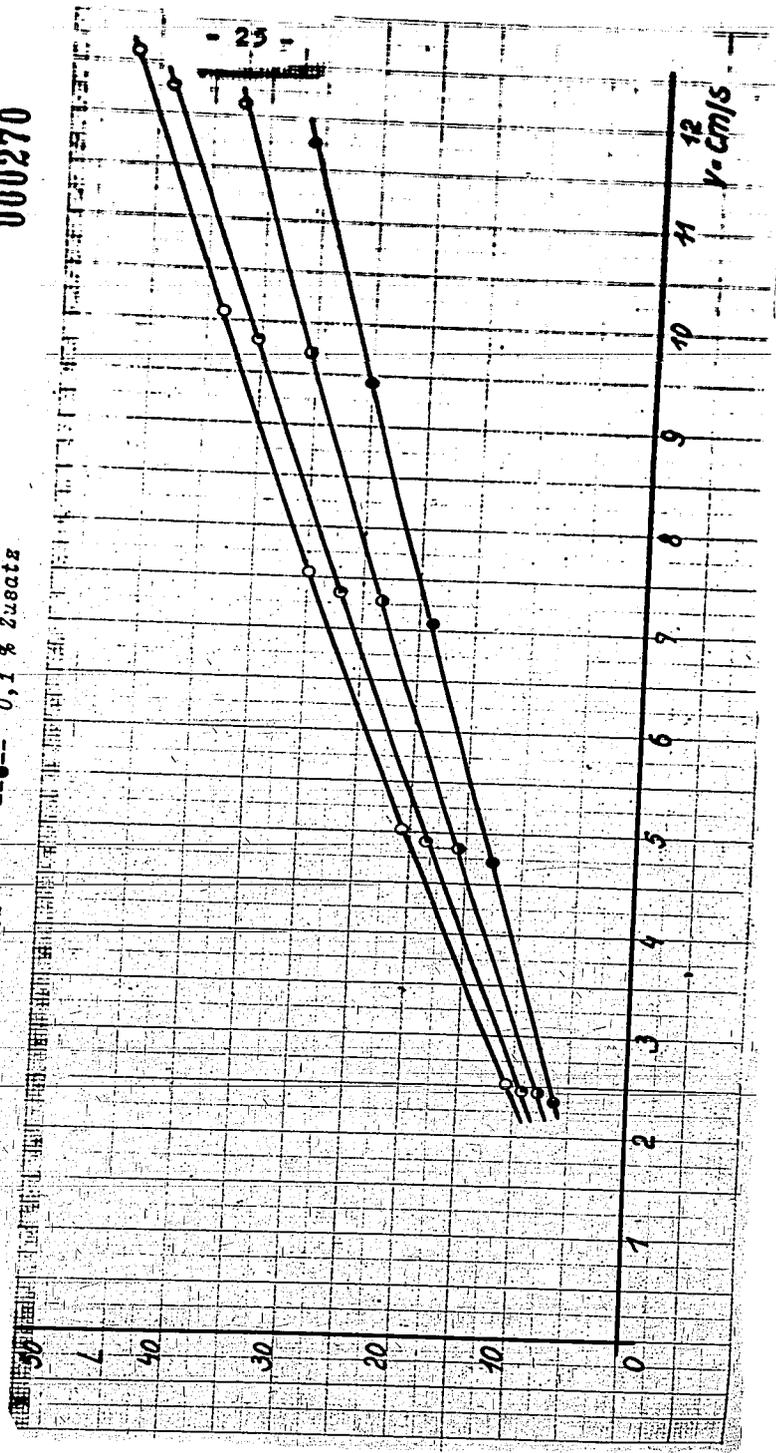


Bild 6

Reibungsleistung L in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit
Einfluß der Konstitution des Schmiermittels

Werkstoffpaar: Stahl-Gußeisen

Rauhigkeit: ~ 5µ

Druck: 160 kg/cm²

Stiftdurchmesser: 0,62 mm

Temperatur: 20° C

000271

- synthet. Öl (Kogasin)
- Kfneratöl
- Fettöl

