

Erwärmung, Reibung und Abnutzung im Zustand
der Grenzschnierung und ihre Beziehung zur
Schmierfähigkeit.

Von Reg.-Rat Dr. Kluge, Physik.-Techn.Reichsanstalt

Die Technik geschmierter Gleitflächen hat ganz allgemein eine ausserordentlich grosse Bedeutung. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt hat sich daher auch der schmiertech-nischen Forschung bereits seit mehreren Jahren besonders an-genommen. Nachdem die früheren Untersuchungen der Reichsanstalt mehrere erfolgreiche Beiträge für die Erforschung der hydrody-namischen Lagerschnierung erbrachten, erstrecken sich die neu-eren Untersuchungen der Reichsanstalt ausschliesslich auf den Zustand der Grenzschnierung und der in der Grenzschnierung wirksam werdenden Schmierfähigkeit. Die Abgrenzung der neueren Arbeiten auf den Zustand der Grenzschnierung entspricht inso-fern den tatsächlichen praktischen Bedürfnissen, als die Gesetz-mässigkeiten der hydrodynamischen Schnierung genau bekannt sind, während das Verhalten eines Schmiermittels im Zustand der Grenz-schnierung noch in mancher Richtung zu klären ist.

In diesem Zusammenhang sei kurz vermerkt, daß bei der hydro-dynamischen Schnierung oder Vollschnierung die Zähigkeit als einzige Einflussgrösse des Schmiermittels wirksam wird, während im Zustand der Grenzschnierung keinerlei Zähigkeitseinfluss vorhanden ist. Dieses unterschiedliche Verhalten bezüglich des Zähigkeitseinflusses ist darauf zurückzuführen, daß die Be-lastung bei Vollschnierung mit hydrodynamisch gebildeten Druk-ken im Gleichgewicht steht, während sie bei Grenzschnierung unmittelbar von einer Gleitfläche zur anderen mit fester Be-rührung der Gleitflächen übertragen wird. Im Zustand der Teil-schnierung ist nun teils feste Berührung der Gleitflächen teils hydrodynamische Filmbildung vorhanden. In Bild 1 sind diese verschiedenen Zustandbegriffe zur Klarstellung in die Strie-beck'sche Reibungskurve eingetragen. Die nachstehend beschrie-benen Messungen der Reichsanstalt führen unter anderem zu ei-ner Ergänzung der Striebeck'schen Reibungskurve bei kleinsten Gleitgeschwindigkeiten.

Es ist nun seit langem bekannt, daß Öle gleicher Zähigkeit an hoch beanspruchten Lagerstellen eine ganz verschiedene Reibung ergeben können. Es sei nur auf das günstige Verhalten der fetten Öle im Gegensatz zum Verhalten der reinen Mineralöle hingewiesen. Die moderne Schmiermittelforschung erklärt dieses unterschiedliche Verhalten durch die zwischen dem Schmiermittel und dem Lagerwerkstoff wirkenden Grenzflächenkräfte, ohne daß bisher genauere Kenntnisse über den eigentlichen Mechanismus der Grenzschmierung vorliegen. Die Wirkung der genannten Grenzflächenkräfte fasst man unter dem Begriff der Schmierfähigkeit zusammen. Die technische Bedeutung der Grenzschmierung ergibt sich andererseits daraus, daß sie beim An- und Auslauf hochbeanspruchter Lager und an den Umkehrpunkten hin und hergehender Gleitflächen wie bei der Kolbenringreibung auftreten kann.

Im Rahmen der zur Untersuchung der Grenzschmierung eingeleiteten Arbeiten der Reichsanstalt war zunächst die Aufgabe gestellt, einwandfreie Messunterlagen zur Schmierfähigkeitsbewertung von Schmiermitteln zu schaffen. In diesem Zusammenhang wurden neue Verfahren zur Messung der Temperatur unmittelbar in der Gleitfläche, sowie zur Messung der Reibung und der Abnutzung ausgearbeitet. Diese Verfahren kommen in einer ebenfalls neu entwickelten Versuchsanordnung zur Anwendung, die den Zustand der Grenzschmierung in reinster Form herzustellen erlaubt, sodaß bei den Messungen Zähigkeitseinflüsse ausgeschaltet sind und sodaß allein die für die Schmierfähigkeit verantwortlichen Grenzflächenwirkungen zwischen Schmiermittel und Lagerwerkstoff zum Ausdruck kommen. Im folgenden soll nun gezeigt werden, daß die Anwendung der genannten Verfahren vergleichsweise eine zahlenmassige Bewertung von Schmiermitteln hinsichtlich der Schmierfähigkeit zulässt. Ausserdem konnten einige grundsätzlich neuartige Erkenntnisse über die Grenzschmierung gewonnen werden. Um die erzielten Fortschritte möglichst klar herauszuarbeiten, seien vorerst die messtechnischen Merkmale der neuen Messeinrichtung kurz beschrieben.

Besonders bemerkenswert ist das günstige thermische Verhalten der verwendeten Gleitanordnung. Als solche dient eine

umlaufende ebene Scheibe, gegen die ein dünner stabförmiger Prüfkörper gedrückt wird. Die kleine Abmessung dieses Prüfstabchens bedingt nur eine Erwärmung von einigen °C, die sich ausserdem in wenigen Sekunden entsprechend den jeweiligen Versuchsbedingungen einstellt. Die Versuchstemperatur wird also durch den Gleitvorgang praktisch nicht beeinflusst, sodaß z.B. die Reibung allein in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit untersucht werden kann, ohne daß sich wie an einem Lager gleichzeitig die Versuchstemperatur als weitere Einflussgrösse wesentlich ändert. Andererseits bedingt die schnelle Einstellung der stationären Erwärmung eine kurze Messzeit und damit eine geringe Veränderung der Gleitflächen während des Versuches. Auch die anderen Messgrössen sind entsprechend den Abmessungen des Prüfstabchens ziemlich klein. So beträgt z.B. die Reibungskraft bei den im allgemeinen angewandten Versuchsbedingungen nur etwa 50g. Es hat sich daher als zweckmässig erwiesen, die Messwerte zur besseren Anzeige in elektrische Messgrössen umzuformen und im Bedarfsfalle anschliessend noch zu verstärken. Hierdurch können von den kleinen Messwerten der Erwärmung, Reibung oder Abnutzung elektrische Messleistungen abgeleitet werden, die auch zur Aussteuerung eines Schreibgerätes ausreichen.

In Bild 2,3 und 4 ist der Aufbau der Versuchsanordnung mit allen Einzelheiten dargestellt. Die erwähnte umlaufende ebene Scheibe ist mit einer fein einstellbaren Lagerung ausgeführt. Der Prüfstab ist in einem einarmigen Hebel mit Kardanlagerung angeordnet derart, daß er ohne Zwang mit einstellbarem Druck auf der Scheibe ruht und daß er durch die Reibungskraft seitlich ausgelenkt werden kann. Die Reibungskraft wird hierbei auf ein als Kraftmesseinrichtung wirkendes Pendel mit grosser Schwingungsdauer übertragen. Durch die grosse Schwingungsdauer des Pendels ist jede störende Resonanzlage zwischen der Kraftmesseinrichtung und der Gleitanordnung vermieden. Ausserdem sind die Abmessungen des Pendels (Rückstellkraft) so gewählt, das die Verschiebung des Prüfstabchens bei einer Reibungskraft von 50 g nur etwa 10 μ beträgt, sodaß die Gleitgeschwindigkeit während der Mess-

einstellung hierdurch praktisch nicht beeinflusst wird. Wie schon erwähnt, wird für die Anzeige des Pendelausschlages ein elektrisches Verfahren mit nachfolgender Verstärkung verwendet. Die Umformung des Pendelausschlages in eine elektrische Messgrösse erfolgt hierbei ähnlich wie an einer elektrischen Tastlehre durch induktive Beeinflussung von zwei in einer Brückenschaltung angeordneten Drosselspulen. Es besteht im Rahmen dieser Ausführungen leider nicht die Möglichkeit auf Einzelheiten der elektrischen Anzeige einzugehen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Entwicklung der elektrischen Schaltung durch die Forderung einer linearen und gut wiederholbaren Eichkurve besonders beeinflusst wurde. Für die Reibungsmessungen liess sich hierdurch eine Messgenauigkeit von etwa 2 % erreichen.

Die gleiche Messgenauigkeit konnte auch bei der Messung der Erwärmung in der Gleitfläche erzielt werden. Sie wird thermoelektrisch aus der unmittelbar zwischen den Gleitflächen auftretenden Thermospannung ermittelt.

Ausser der Reibung und Erwärmung kann nun unter den gleichen günstigen Bedingungen auch die Abnutzung der Gleitflächen an der Versuchseinrichtung der Reichsanstalt gemessen werden. Sie wird aus der Verkürzung des Prüfstäbchens ermittelt und beträgt unter normalen Messbedingungen während einer Laufzeit von 5 Minuten nur wenige $1/100$ mm. Die Messung dieser kleinen Verkürzung erfolgt in ähnlicher Weise wie der Pendelausschlag nach einem elektrischen Verfahren mit nachfolgender Verstärkung. Die elektrische Schaltung wird hierbei z.B. durch die kleine Winkeldrehung der Kardanlagerung angesteuert, wie sie sich infolge der Verkürzung des Prüfstäbchens einstellt.

Neben den vorstehend beschriebenen messtechnischen Merkmalen der neuen Versuchseinrichtung der Reichsanstalt ist das in diesem Zusammenhang entwickelte Verfahren für die Bearbeitung der Gleitflächen von besonderer Bedeutung. Nach den Erfahrungen der Reichsanstalt ist es für die Herstellung des Zustandes der Grenzschmierung nicht ausreichend, bei kleinen Geschwindigkei-

3800 H. NNOVI

ten und bei grossen Belastungen zu arbeiten. Vielmehr muss die Druckverteilung möglichst gleichmässig sein. D.h. die beiden Gleitflächen müssen jeder Zeit in allen Flächenelementen genau aufeinander passen. Bei dem angewandten Bearbeitungsverfahren wird dies in recht vollkommener Weise dadurch erreicht, daß die Oberfläche der Scheibe in sehr viele gleichmässig verteilte Rauigkeitsspitzen gleicher Größe aufgelöst wird. Die Belastung wird also von diesen gleichmässig verteilten Spitzen getragen. Hierbei ist wesentlich, daß die Druckverteilung auch dann erhalten bleibt, wenn die einzelnen Spitzen an ihrem aussersten Ende nach längerer Laufzeit etwas angeschliffen sind. Diese besonderen Merkmale hinsichtlich der Druckverteilung lassen sich bei keinem anderen Bearbeitungsverfahren erreichen. Insbesondere zeigen diese meistens deutlich Bearbeitungsspuren in einer ausgezeichneten Richtung, was von vornherein eine gleichmässige Druckverteilung ausschliesst. In Bild 5 sind zur weiteren Erklärung dieser Unterschiede einige Mikraufnahmen von feinstbearbeiteten Flächen dargestellt.

Versuche

Im folgenden seien einige Versuche beschrieben, die die Leistungsfähigkeit der neuen Messeinrichtung deutlich zeigen. Hierbei sind entsprechend der besonderen Bedeutung der Kolbenringreibung nur Versuche an dem Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen beschrieben. Zunächst soll gezeigt werden, daß die Versuchsanordnung der Reichsanstalt Messungen im Zustand der Grenzschmierung ermöglicht. In Bild 6 sind Vergleichsmessungen an zwei Schmierölen mit sehr grossem Zähigkeitsunterschied dargestellt. Es handelt sich hierbei um zwei synthetische Öle ohne irgendwelche grenzflächenaktive Zusätze, deren Zähigkeiten sich etwa wie 1/30 verhalten. Wenn also im Zustand der Grenzschmierung kein Einfluss der Zähigkeit vorhanden sein soll, müssten beide Öle bei gleicher Schmierfähigkeit die gleiche Reibung ergeben. Der Versuch hat diese Auffassung bestätigt. Nicht nur die Reibung sondern auch die ihr entsprechende Erwärmung ist

bei beiden Oelen gleich. Hiermit ist aber auch bewiesen, daß die Messeinrichtung bei den gewählten Versuchsbedingungen im Zustand der Grenzschnierung arbeitet, und daß die Grenzreibung von der Schmiermittelzähigkeit unabhängig ist. Ausserdem konnte bei weiteren Untersuchungen der Reichsanstalt gezeigt werden, daß die Reibungszahl, soweit Grenzschnierung vorliegt, vom Druck und von der Flächenrauigkeit unabhängig ist. Nähere Einzelheiten hierüber werden in einem der folgenden Berichte gebracht. Jedenfalls sind in Zukunft bei Grenzreibungsmessungen keinerlei Angaben über den Druck und die Rauigkeit erforderlich. Es verbleiben somit für die Grenzreibung nur die Einflussgrößen: Geschwindigkeit, Temperatur und Werkstoffpaar der Gleitanordnung. Ausserdem ist bemerkenswert, daß die Grenzreibung mit Ausnahme ihres Verhaltens bei kleinsten Gleitgeschwindigkeiten von der Gleitgeschwindigkeit nicht beeinflusst wird. Dementsprechend nimmt die Erwärmung linear mit der Gleitgeschwindigkeit zu. Durch eine besondere Eichung der als Thermoelement dienenden Gleitanordnung konnte gezeigt werden, daß die Erwärmung bei dem beschriebenen Gleitversuch nur wenige °C beträgt, womit auch das erwähnte günstige thermische Verhalten der Messeinrichtung bewiesen ist.

In Bild 7 ist nun ein Versuch beschrieben, der in anschaulicher Weise zeigt, wie schnell sich die Messwerte der Reibungswärme entsprechend den jeweiligen Versuchsbedingungen einstellen. Die umlaufende Scheibe ist bei diesem Versuch längs der Gleitbahn abwechselnd mit einem reinen Mineralöl und einem Fettöl benetzt. Der zeitliche Verlauf der Erwärmung zeigt dementsprechend einen periodischen Wechsel. Jedesmal, wenn der mit Fettöl benetzte Flächenteil der Scheibe das Prüfstäbchen erreicht, fällt die Reibung sofort ab um wieder auf den Reibungswert für das Mineralöl anzusteigen, wenn der mit Fettöl benetzte Flächenteil unter dem Prüfstäbchen vorbeigelaufen ist. Den gleichen periodischen Verlauf zeigt auch die Reibungskraft.

Weiterhin interessiert die Frage wie sich die neue Versuchseinrichtung bei der Bewertung von technischen Schmiermitteln

hinsichtlich der Schmierfähigkeit verhält. Es wurden daher vergleichsweise Reibungs- und Abnutzungsmessungen an mineralischen und fetten Schmiermitteln im Zustand der Grenzschmierung durchgeführt. Als erstes Beispiel zeigt das Bild 8 die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Grenzreibungszahl für ein reines Mineralöl ohne Zusätze und für ein Fettöl. Beide Öle zeigen ein grundsätzlich verschiedenes Reibungsverhalten. Die Reibungszahl für das fette Öl ist durchweg kleiner als die Reibungszahl für das Mineralöl. Besonders deutlich ist jedoch das unterschiedliche Verhalten bei kleinsten Gleitgeschwindigkeiten und bei der Haftreibung. In diesem Zusammenhang wurde bei den Arbeiten der Reichsanstalt der Begriff der "Charakteristik der Grenzreibung" eingeführt. Diese "Charakteristik der Grenzreibung" ist jedoch nicht zu verwechseln mit der üblichen Reibungscharakteristik nach Striebeck. Sie ergänzt vielmehr die Striebeck'sche Reibungskurve für den Bereich kleinster Gleitgeschwindigkeiten und für die Haftreibung. Das Mineralöl ergibt also an dem Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen eine fallende Charakteristik der Grenzreibung und das fette Öl eine steigende Charakteristik der Grenzreibung. Ähnliche Feststellungen konnten auch an zahlreichen anderen Schmiermitteln verschiedener Schmierfähigkeit gemacht werden. In jedem Fall zeigt das Schmiermittel mit der besseren Schmierfähigkeit an dem Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen eine steigende Charakteristik der Grenzreibung und eine kleinere Grenzreibungszahl, während das Schmiermittel mit der schlechten Schmierfähigkeit eine fallende Charakteristik der Grenzreibung und eine grössere Reibungszahl ergibt. Wie die in Bild 9 dargestellten Versuche zeigen, ist diese Gesetzmässigkeit auch bei nichtflüssigen Schmiermitteln wie Lanolin und Vaseline vorhanden. Das Lanolin entspricht hierbei dem fetten Öl und die Vaseline dem reinen Mineralöl. In jedem Fall steht die Einordnung verschiedener Schmiermittel nach ihrem Verlauf der Grenzreibungscharakteristik im Einklang mit der bei dem technischen Betrieb ermittelten Schmiereignung. Somit kann die mit der Versuchsanordnung der Reichsanstalt ermittelte Charakteristik der Grenzreibung zur Schmierfähigkeitsbewertung verwendet werden. Einen weiteren wichtigen Beitrag zu dieser Frage bringt der anschliessende Bericht über die Grenzreibungszahl an chemisch definierten Flüssigkeiten.

Die unterschiedliche Schmierfähigkeit von mineralischen und fetten Schmiermitteln kommt nun nicht nur bei der Grenzreibung sondern auch bei der im Zustand der Grenzschmierung ermittelten Abnutzung zum Ausdruck. Die Abnutzung wird hierbei, wie schon erwähnt, aus der Verkürzung des Prüfstäbchens bestimmt. Die Versuche ergaben einen bisher unbekanntem Einfluss der Schmierfähigkeit auf die Abnutzung im Zustand der Grenzschmierung. Entgegen allen Erwartungen führt z.B. ein Fettöl zu einer grösseren Abnutzung als ein reines Mineralöl. In Bild 10 ist der zeitliche Verlauf der Abnutzung für ein Fettöl und Mineralöl dargestellt. Ein ähnliches Verhalten wurde auch an anderen Schmiermitteln unterschiedlicher Schmierfähigkeit festgestellt. Auch die bereits genannten Stoffe Lanolin und Vaseline ordnen sich bezüglich der Abnutzung so ein, daß das Lanolin als Fett tierischer Herkunft die grössere Abnutzung ergibt, vergl. Bild 11.

Diese Beobachtungen sind zunächst nicht ohne weiteres mit dem unterschiedlichen Verschleissverhalten insbesondere der beiden untersuchten Öle bei ihrer praktischen Verwendung als Motorschmiermittel in Einklang zu bringen. Es ist vielmehr allgemein bekannt, daß der Verschleiss bei der Kolbenringschmierung mit einem fetten Öl kleiner ist als mit einem reinen Mineralöl. Die weiteren Untersuchungen führten schließlich zu der Feststellung, daß es sich bei der im Zustand der Grenzschmierung beobachteten Abnutzung nicht um einen Verschleiss im üblichen Sinne sondern um eine gleichmässige Abtragung des Lagerwerkstoffes handelt, die zu einem mehr oder weniger guten Einlauf der Gleitfläche führt. Durch Untersuchungen an verschiedenen Schmiermitteln, deren praktisches Verschleissverhalten genau bekannt ist, konnte gezeigt werden, daß die im Zustand der Grenzschmierung beobachtete Abnutzung anderen Gesetzen folgt als der sogenannte Verschleiss. Zwischen beiden besteht jedoch ein innerer Zusammenhang.

Ein grosser Verschleiss entsteht offenbar dann, wenn einzelne Stellen einer Lagerfläche bei fester Berührung derart hohe Last-

anteile aufnehmen müssen, daß der hierdurch hervorgerufene Beanspruchungszustand die Festigkeit des Lagerwerkstoffes überschreitet; bzw. wenn an diesen starkbeanspruchten Stellen so hohe Temperaturen entstehen, daß Pressen auftritt. In beiden Fällen wird die Gleitfläche durch Herausreißen grösserer Metallteilchen allmählich zerstört. Ein gutes Schmiermittel kann nun, insofern eine Zerstörung der Gleitfläche mit entsprechendem Verschleiss verhindern, da der eigentlich tragende Anteil der Lagerfläche durch die erwähnte gleichmässige Abtragung des Lagerwerkstoffes vergrössert wird, wodurch die Druckbeanspruchung an den verschleissgefährdeten Lagerstellen abnimmt. Ein gutes Schmiermittel führt somit in höherem Masse als ein schlechteres Schmiermittel zu einer zusätzlichen chemisch mechanischen Feinstbearbeitung der Lagerfläche, wie sie zur Herstellung und Aufrechterhaltung einer guten Lauffläche mit entsprechend gleichmässiger Druckverteilung erforderlich ist.

Zusammenfassung

Es wird eine neue Versuchseinrichtung beschrieben, mit der unbeeinflusst durch Zähigkeitswirkungen Messungen der Erwärmung, Reibung und Abnutzung im Zustand der Grenzschnmierung durchgeführt werden können. Die an dem Werkstoffpaar Stahl-Gußeisen durchgeführten Messungen ergeben hierbei für ein Schmiermittel guter Schmierfähigkeit eine kleine Grenzreibungszahl mit steigender Grenzreibungscharakteristik und für ein Schmiermittel mit schlechter Schmierfähigkeit eine entsprechend grössere Reibungszahl mit fallender Grenzreibungscharakteristik. Ausserdem ergibt ein Schmiermittel guter Schmierfähigkeit im Zustand der Grenzschnmierung eine grössere Abnutzung und damit einen besseren Einlauf der Gleitfläche als ein Schmiermittel schlechter Schmierfähigkeit. Die im Zustand der Grenzschnmierung beobachtete Abnutzung ist also nicht mit dem Verschleiss zu verwechseln, sie steht jedoch mit dem Verschleiss in einem inneren Zusammenhang.

Bezüglich weiterer Einzelheiten der beschriebenen Versuchseinrichtung wird ausserdem auf folgende in der Deutschen Luftfahrtforschung erschienenen Forschungsberichte hingewiesen:

- FB 1442 V.Vieweg, J.Kluge, F.Maske: Thermoelektrisches Meßverfahren zu vergleichenden Reibungsuntersuchungen von Schmiermitteln im Zustand der Grenzschnmierung.
- FB 1478 V.Vieweg, J.Kluge: Elektromechanisches Verfahren zur Messung der Reibungskraft im Zustand der Grenzschnmierung.

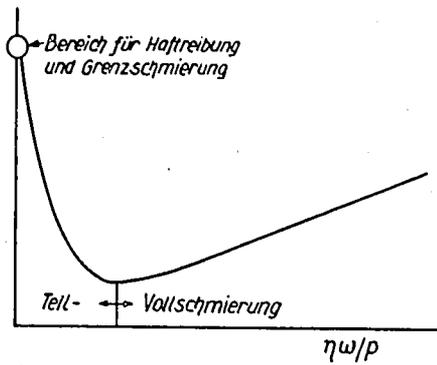


Abb.1: Reibungskurve nach Striebeck.

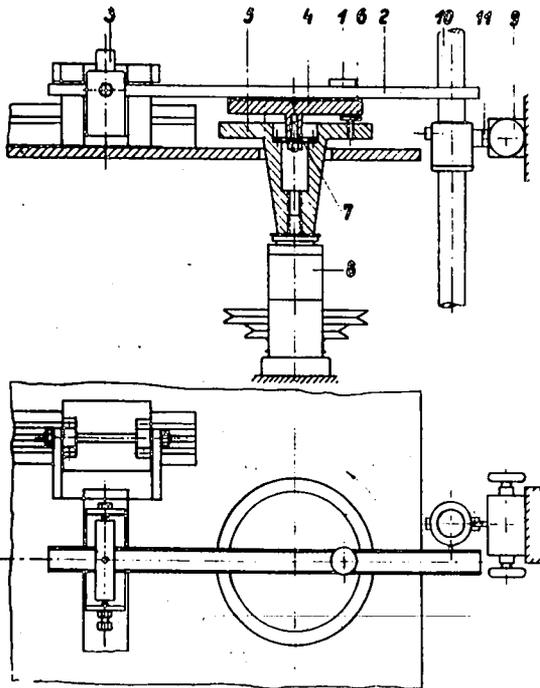


Abb.2: Prüfeinrichtung der Physik.-Techn.Reichsanstalt für Schmierfähigkeitsuntersuchungen

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| 1 Prüfstab | 7 Membranlagerung |
| 2 Hebel | 8 Spindelkasten |
| 3 Kardangelenk | 9 Meßvorrichtung m.Drosselspulen |
| 4 umlaufende Scheibe | 10 Pendel |
| 5 Justiereinrichtung | 11 Eisenkern |
| 6 Justierschrauben | |

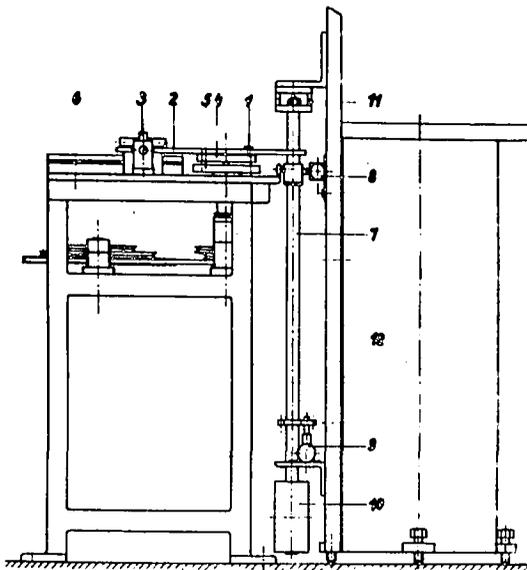


Abb.3: Prüfeinrichtung der Physik.-Techn.Reichsanstalt für Schmierfähigkeitsuntersuchungen

- | | |
|----------------------|------------------------------------|
| 1 Prüfstab | 7 Pendel |
| 2 Hebel | 8 Meßvorrichtung mit Drosselspulen |
| 3 Kardangelen | 9 Dämpfungsvorrichtung |
| 4 umlaufende Scheibe | 10 Pendelgewicht |
| 5 Justiereinrichtung | 11 Pendelaufhängung |
| 6 Versuchstisch | 12 Steinsockel |

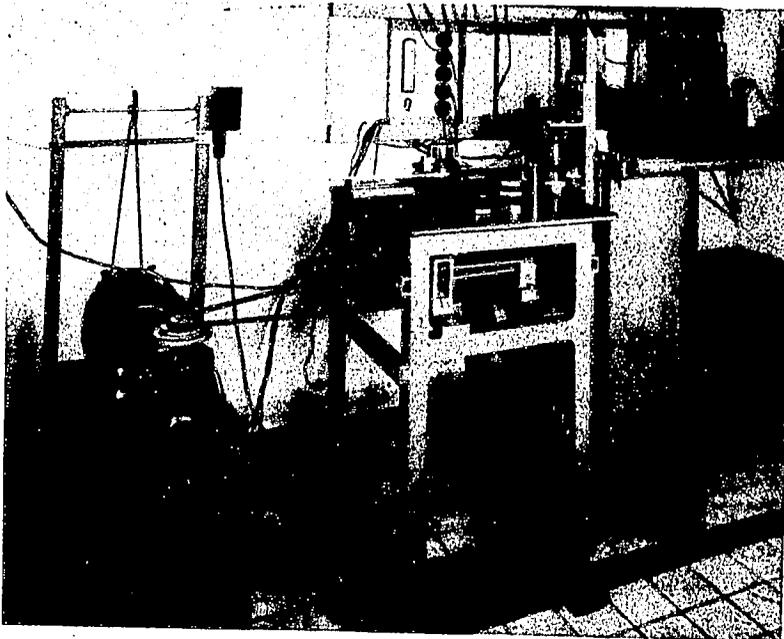


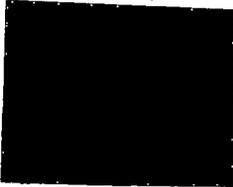
Abb.4: Prüfeinrichtung der Physik.-Techn.Reichsanstalt für Schmierfähigkeitsuntersuchungen.

BAG Target
3890 HANNOVER

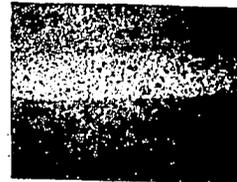
streifend

Beleuchtung

senkrecht



Gußeisenfläche mit Strichpolitur
Rauhigkeit 1μ



Gußeisenfläche nach PTR .bearbeitet,
mit Gleitbahn
Rauhigkeit 2μ

Abb. 5

Vergrößerung 15-fach

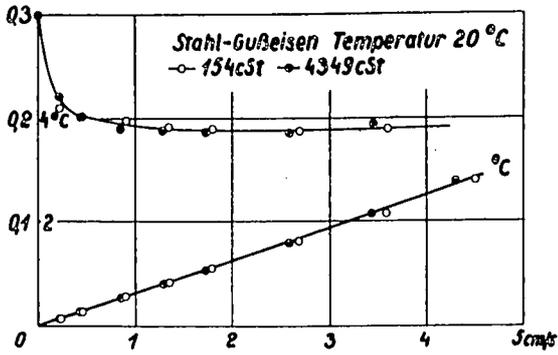


Abb.6: Grenzreibungszahl u. Erwärmung bei versch. Ölviskosität.

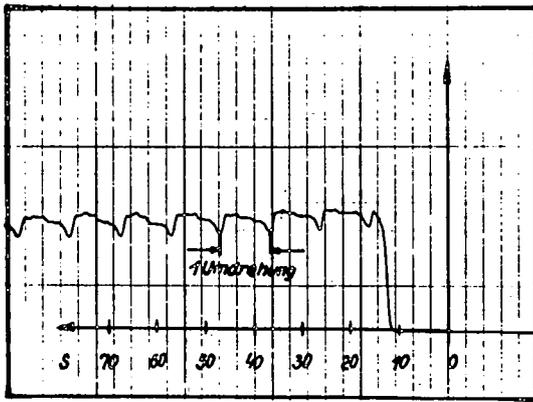


Abb.7: Erwärmung bei wechselnder Grenzschmierung.

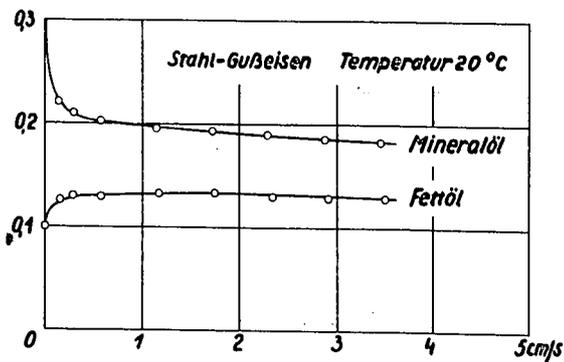


Abb.8: Grenzreibungszahl von Mineralöl und Fettöl.

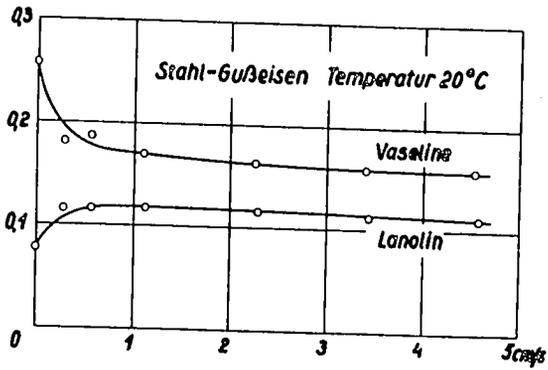


Abb.9: Grenzreibungszahl von Vaseline u. Lanolin.

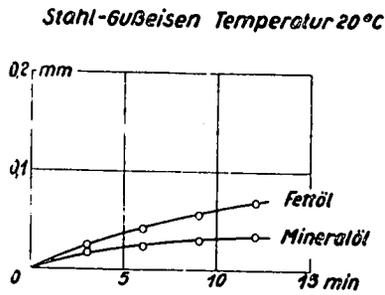


Abb.10: Abnutzung bei Grenzschmierung mit mineralöl und Fettöl.

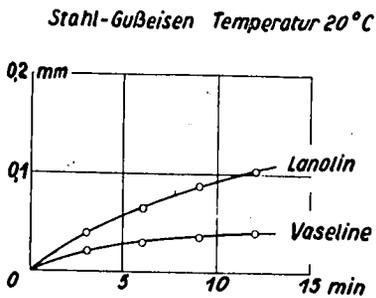


Abb.11: Abnutzung bei Grenzschmierung mit Vaseline und Lanolin.