

Die Grundlagen des Schmiervorganges.

Von Dr.-Ing. Vogelpohl, T.H. Berlin.

Aufgabe der Schmierung ist, die Reibung in der laufenden Maschine zu vermindern. Die sich als Widerstand der Bewegung entgegengesetzende Reibung ist eine Kraft, eine rein mechanische Größe. Die Klärung des Vorganges, wie bei Anwendung eines Schmiermittels die Verminderung der Reibung zustande kommt, ist daher eine Angelegenheit der Mechanik, deren Lehren aber auf den Schmiervorgang nicht immer richtig angewendet werden. Zwischen der Beobachtung und deren vermeintlicher Deutung seitens der Mechanik entstanden große Lücken, im Wissen über den Schmiervorgang. Diese hat die Chemie auszufüllen versucht.

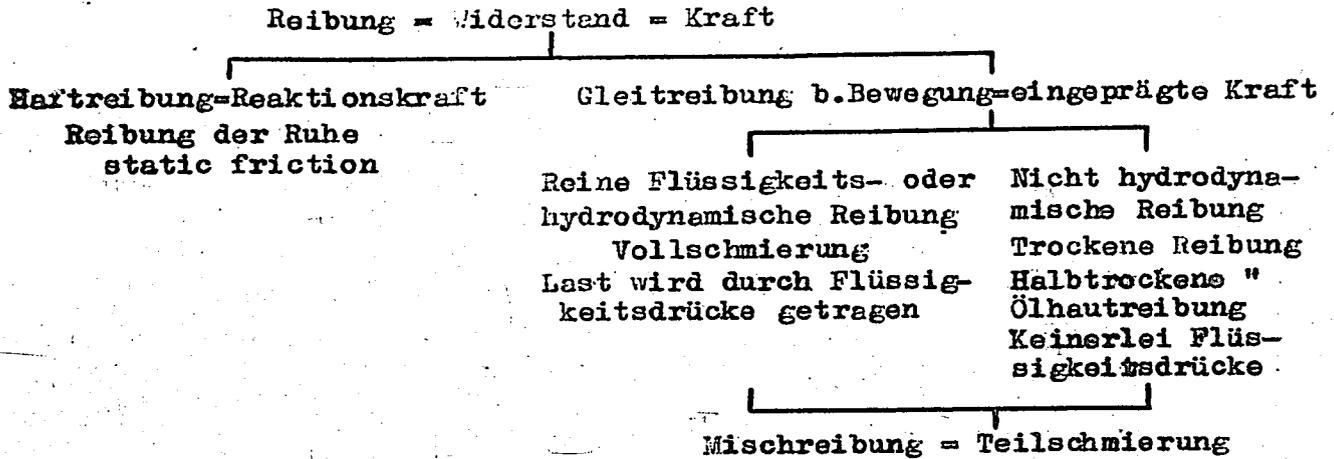
Die reibungsmindernden Eigenschaften sollten neben der Zähigkeit von besonderen Eigenschaften des Schmiermittels abhängen, die in ihrer Gesamtheit als Schmierfähigkeit, Schlüpfrigkeit oder Schmierwert (franz. onctuosité, engl. oiliness) bezeichnet werden. Letzteres Wort wurde 1900 von Archbutt und Deeley geprägt. Bis heute, nach 40 Jahren, ist es noch nicht gelungen, ein Maß dafür oder auch nur den Begriff selbst eindeutig festzulegen.

Die Aufgabenstellung der einzelnen am Problem der Schmierung interessierten Gebiete, wie sie sich etwa gegenwärtig darstellt, ist aus nachstehender Übersicht zu ersehen:

Die Klärung d. Vorganges	ist Aufgabe der	denn es handelt sich um
der Reibungsverminderung (d. eigentl. Schmierens)	Mechanik	Kraftwirkungen, die von physik. Kenngrößen abhängen
d. selbsttätigen Versorg. d. Gleitstelle m. d. Schmiermittel	physikalischen Chemie	Oberflächenkräfte, Kapillarwirkungen, Adsorptionserscheinungen.
a) mengenmäßig b) in Bezug auf die innere physik. Beschaffenheit		
der seitl. Beständigkeit unter Betriebsbedingungen (Alterungseigenschaften)	Chemie	Veränderungen der chemischen Beschaffenheit des Schmiermittels und der Oberflächen.

Der Verschleiß kann von allen den Reibungsvorgang bestimmenden Einflüssen abhängen.

Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf die Reibungsverminderung. Die folgende Übersicht gibt eine Einteilung der Reibung vom Standpunkt der Mechanik.



Haftreibung und Gleitreibung sind zwei physikalisch völlig verschiedenartige Vorgänge, was selten beachtet wurde. Aus Haftreibungsmessungen kann man keinen Schluß auf das Verhalten bei Gleitreibung ziehen. Das Wort "Grenzreibung" ist in dieser Darstellung vermieden, dafür wurde "nicht hydrodynamische Reibung" gesagt.

Hydrodynamische und Grenzreibung sind in einem guten Lager stets so verteilt, daß der weitaus größte Teil der Last von Drücken im Schmierfilm getragen wird, die mit dem Manometer meßbar sind. Das beweist der Verlauf der Reibungszahlen in der Umgebung des Reibungsminimums (Abb.1, s.folg.Seite). Aus der gemessenen Gesamtreibungszahl (Kurve a) und der für den rein hydrodynamischen Anteil (Kurve b) ist unter Benutzung der Tatsache, daß die Grenzreibungszahlen rund 1000 größer sind, die Kurve c bestimmt. Sie besagt, daß im vorliegenden Fall bei etwa $n=60$ rd. 0,3% der Lagerlast nicht mehr von Flüssigkeitsdrücken getragen werden. Bei weiter abnehmender Drehzahl steigt jedoch dieser Bruchteil stark an.

a: gemessene Gesamtreibungszahl (Büche)
 $\beta = 69,4 \text{ kg/cm}^2$, $\eta = 0,0059 \text{ kgs/m}^2$, Erdnußöl
 b: Reibungszahl bei reiner Flüssigkeitsreibung $\mu_r = 35\sqrt{\eta\omega/\beta}$
 c: Anteil der Last unter Grenzreibung P_g/P bei $\mu_g = 0,1$

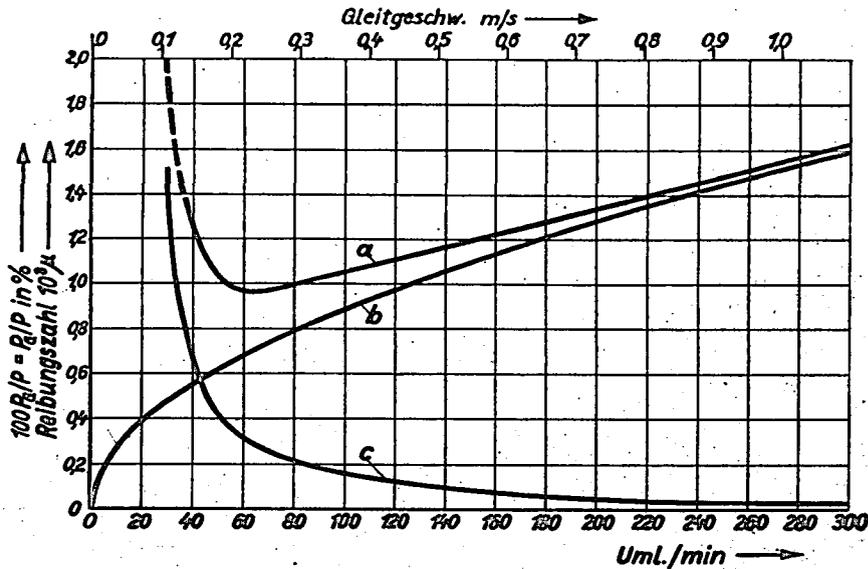


Abb. 1 : Verhalten eines Lagers bei Mischreibung.

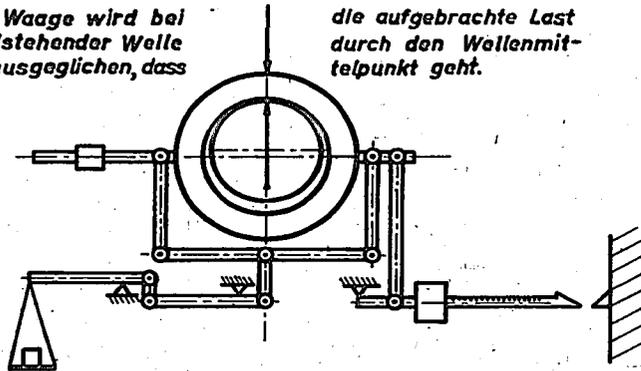
Das Wesen der hydrodynamischen Schmierwirkung wurde im Vortrag durch ein Lager mit Luftschmierung erläutert. In seinen Einzelheiten entsprach das vorgeführte Modell dem von A.Kingsbury 1).

Eindringlich wurde auf den Einfluß der Oberflächenrauigkeit hingewiesen und ein neu-entwickeltes Meßgerät nach Forster gezeigt. Dieses läßt sich erheblich einfacher als die bisher bekannten handhaben. Die Reproduzierbarkeit der vom Gerät aufgezeichneten Profilkurven beim Vorwärts- und Rückwärtsdurchfahren wurde im Lichtbild gezeigt. Ausführlich wird darüber von Herrn Forster in Kürze in "Werkstattstechnik und Werksleiter" berichtet werden.

1) - A.Kingsbury, Journ.Am.Soc.Nav.Engrs. Bd.9 (1897) S.267/292.

Zum Schluß wurde auf eine bisher nur teilweise bekannte Fehlerquelle bei Reibungsmessungen eingegangen. Die übliche Reibungswaage nach dem Sechspunktparallelogramm wird in der Ruhe etwa durch Einlegen einer Schneide so ausgeglichen²⁾, daß bei Belastung kein Drehmoment auftritt. Die Abb.2 (oben) zeigt diesen Zustand.

Die Waage wird bei stillstehender Welle so ausgeglichen, dass die aufgebrachte Last durch den Wellenmittelpunkt geht.



Die vorlagerte Welle übt auf die Schale ein dem Drehsinn entgegengesetztes Moment aus. Zusatzmoment Reibungsmoment

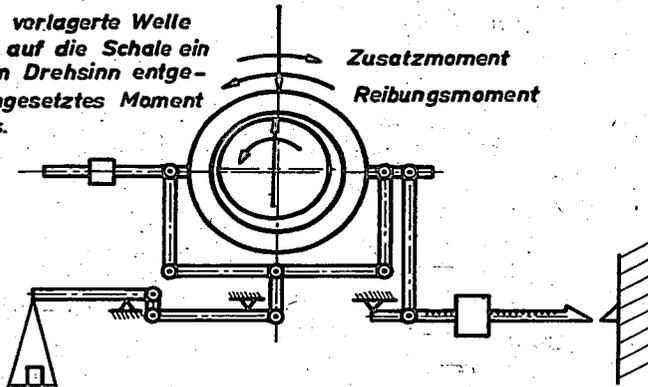


Abb.2: Von der Waage fehlerhaft angezeigtes Reibungsmoment bei reiner Flüssigkeitsreibung.

Die aufgebrachte Last geht dann durch die Mitte der Bohrung, wobei die Reibungswaage auf 0 eingestellt wird. Die Waagenanzeige ist nur dann von Zusatzmomenten frei, wenn die aufgebrachte Last durch die Bohrungsmitte geht. Das ist aber im Betrieb nicht der Fall. Die exzentrische Lage der Welle bei rein hydrodynamischer Schmierung bringt eine Unterstützung der Schale außerhalb der Bohrungsmitte. Dadurch

2) Duffing, Z.VDI Bd.72 (1928) S.496, Abb.6

kommt ein Zusatzmoment in die Wägung hinein mit dem Ergebnis, daß die Reibung von der Waage zu klein angezeigt wird (Abb.2, unten).

Das Verhältnis des wirklichen Reibungsmomentes zu dem an der Welle gemessenen nimmt mit wachsender Exzentrizität, obwohl der Hebelarm des Momentes kleiner ist als das Lagerspiel, beträchtliche Werte an. Diese sind bisher nur rechnerisch ermittelt und größenordnungsmäßig durch Versuche von Hanocq ³⁾ bestätigt. Die gerechneten Ergebnisse zeigt Abb.3. Bei großer Exzentrizität, also schwerer Belastung, ist das wirkliche Reibungsmoment um ein mehrfaches größer als das an der Schale gemessene.

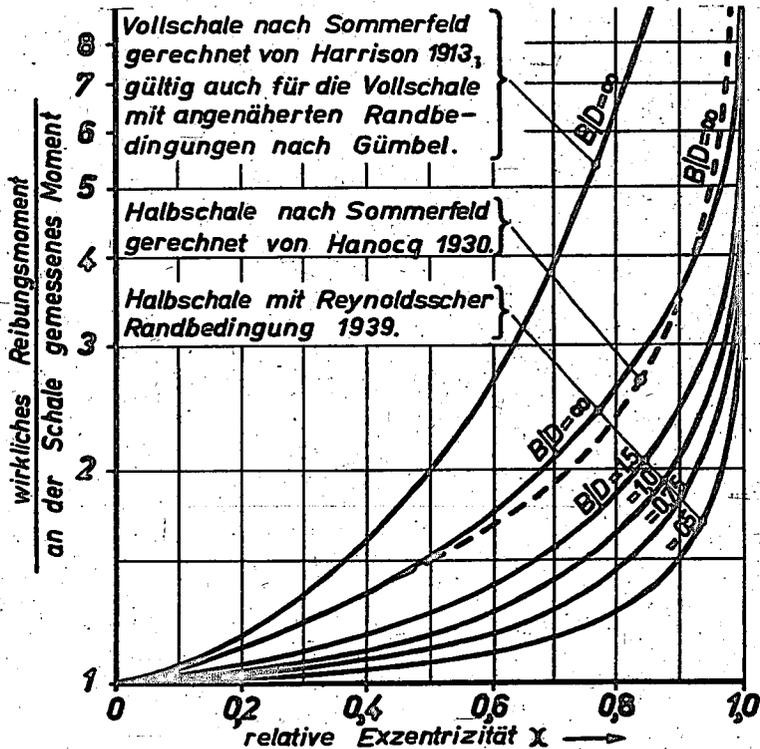


Abb. 3 : Unterschied des an der Schale gemessenen und des wirklichen Reibungsmomentes bei reiner Flüssigkeitsreibung.

Die unrichtige Anzeige der Reibungswaage bei reiner Flüssigkeitsreibung läßt sich bis zu einem gewissen Grade

3) Hanocq, Verh.d.Int.Kongr.Techn.Mech.Stockholm 1930, Bd.1, S.298/306

auf Grund der in Abb.3 mitgeteilten Ergebnisse noch rechnerisch erfassen. Wenn dagegen Laufspiegelbildung bei Mischreibung eintritt, so wird an diesem Laufspiegel ein Teil der Lagerlast übertragen, der ebenfalls ein Zusatzmoment zur Reibung bedingt. Wenn dieser Lastanteil auch klein ist, kann das Moment im Verhältnis zum Reibungsmoment groß werden, da der Hebelarm - die Lage des Laufspiegels - jetzt mit dem Lagerdurchmesser vergleichbar ist und nicht, wie bei hydrodynamischer Reibung, mit dem Lagerspiel.

Abb.4 zeigt die beiden möglichen Fälle. Wird bei

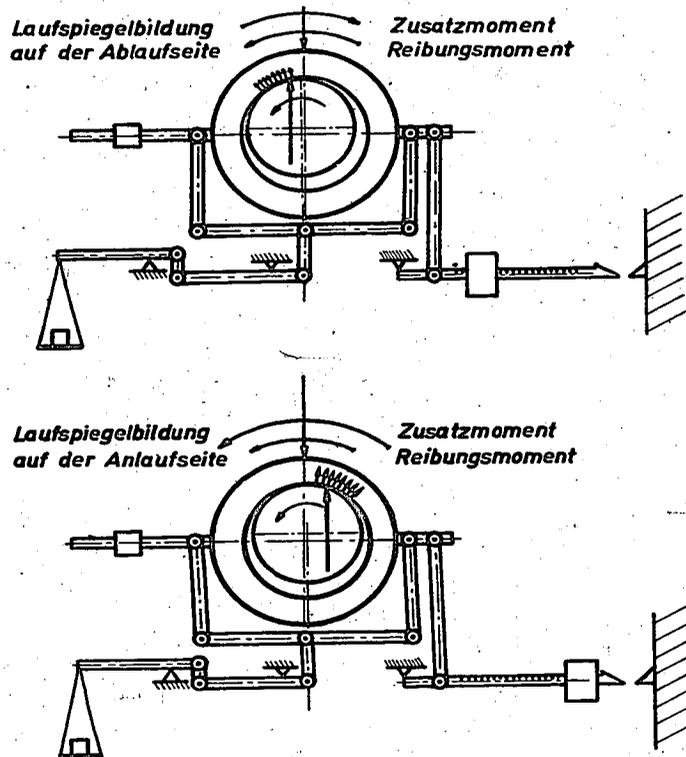


Abb.4: Von der Waage fehlerhaft angezeigtes Reibungsmoment bei Mischreibung.

kleiner Last schnell angefahren und die Last allmählich gesteigert, so ist zuerst reine Flüssigkeitsreibung vorhanden. Mit zunehmender Last wird eine mehr oder weniger große Laufspiegelbildung auf der Ablaufseite eintreten. Dann kann u.U. das dem eigentlichen Reibungsmoment entgegenwirkende Zusatzmoment so groß werden, daß die Waage praktisch kein Moment

mehr anzeigt. Solche Fälle finden sich im Schrifttum. Bei der Beurteilung von Lagerwerkstoffen hat man dann auf besonders gute Laufeigenschaften geschlossen. Allerdings werden die Lager der wirklichen Reibung entsprechend warm.

Die Abb.4 (unten) zeigt den entgegengesetzten Fall, bei dem unter großer Belastung langsam angefahren wird, um sofort im Gebiet der Mischreibung zu arbeiten. Dann bildet sich der Laufspiegel auf der Anlaufseite, Zusatz- und Reibungsmoment haben den gleichen Drehsinn und die Waage zeigt viel zu große Werte an. - Besondere Versuchsreihen sind in Angriff genommen, um die Größenordnung der auf diese Weise möglichen Fehler festzustellen. Es scheint nicht ausgeschlossen, daß so ein mehrfaches - vielleicht sogar das zehnfache - des Reibungsmomentes von der Waage angezeigt werden kann. In diesem Falle tritt nur die der wirklichen Reibung entsprechende geringe Erwärmung ein, die wesentlich kleiner ist als die aus der Messung zu erwartende.

Eine Einrichtung, die derartige Fehlerquellen vermeidet, ist die Vierlager-Zapfenreibungs-Meßvorrichtung, wie sie beispielsweise von S.A.McKee und T.R.McKee⁴⁾ verwendet wurde. Werden die vier Lager gleichartig hergestellt und gleichmäßig belastet, so ergeben sie auch die gleiche Reibung, wenn sie den gleichen thermischen Zustand aufweisen. In der vorliegenden Einrichtung war die Überprüfung des letzteren nicht möglich, da nur in zwei Lagern die Temperaturen gemessen wurden. Haben aber alle vier dieselben Temperaturverhältnisse, so ist die Reibung des Einzellagers gleich einem Viertel der gemessenen Gesamtreibung.

Diese Beispiele sollen zeigen, daß die mechanische Seite des Lagerreibungsproblems noch nicht gelöst und daß bisherigen Messungen mit großer Vorsicht zu begegnen ist. Ein richtiges Verstehen des Schmiervorganges ist nur nach eingehender Klärung der mechanischen Verhältnisse bei der Gleitreibung möglich.

4) S.A.McKee u. T.R.McKee, Journal bearing friction in the region of thin-film lubrication, SAE-Journ.Bd.31(1932) S. 371/77