

# Grenzschnierung und Coulomb'sches Gesetz.

Von Dr. Bochmann, Physik.-Techn. Reichsanstalt.

Nachdem zunächst gezeigt wurde, daß mit dem Verfahren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Reibungsmessungen im Zustande der Grenzschnierung unbeeinflusst durch die Zähigkeit durchgeführt werden können, interessierte einmal die Frage, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um Zähigkeitseinflüsse auszuschalten und andererseits die Frage, welche Gesetze für die Reibung im Zustande der Grenzschnierung gelten, vor allem, ob das Coulomb'sche Gesetz Gültigkeit hat.

Zu diesem Zwecke wurden Untersuchungen an mehreren Oelen verschiedener Zähigkeit durchgeführt, die sich jedoch hinsichtlich ihrer Grenzflächenwirkung möglichst gleichartig verhielten. Ihre Zähigkeiten liegen bei 20°C zwischen 154 und 4350 cSt: Die Untersuchungen erfolgten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, vom Druck und von der Rauigkeit der Gleitflächen.

In Bild 1 ist die Reibungszahl für die beiden Oele mit einer Zähigkeit von 154 und 4350 cSt über der Gleitgeschwindigkeit aufgetragen - die anderen Oele sind der Übersichtlichkeit wegen unberücksichtigt geblieben. Wie schon aus den beiden vorhergehenden Berichten bekannt ist, ändert sich in einem Bereich kleinster Geschwindigkeiten die Reibungszahl unter dem Einfluss der die Schmierfähigkeit bestimmenden Oeleigenschaften mit der Geschwindigkeit; bei Schmiermitteln mit grenzflächenaktiven Eigenschaften ergibt sich eine steigende, bei Schmiermitteln ohne solche Eigenschaften eine fallende Charakteristik, wie in diesem Fall. Lässt man nun diesen Geschwindigkeitsbereich ausser Betracht, so sieht man z.B. aus der obersten Kurve, daß die Geschwindigkeit im Zustand der Grenzschnierung keinen Einfluss auf die Grösse der Reibung hat. Es sei noch darauf hingewiesen, daß das auch der Fall ist, wenn das Schmiermittel eine steigende Charakteristik ergibt; die hier beschriebenen Erkenntnisse sind für alle Arten von Schmiermitteln gültig. Weiterhin sind

in diesem Bild Kurven für verschiedene Drucke aufgezeichnet; die Änderung des Druckes wurde durch verschieden gewählte Belastungen erzielt. Bei dem niedrigen Druck von  $25 \text{ kp/cm}^2$  liegt die Reibungszahl für das zähere Öl niedriger als für das dünnere Öl. Das heisst, bei Verwendung des zäheren Öles wird infolge seiner grösseren Zähigkeit ein grösserer Druckanteil hydrodynamisch aufgenommen und die Reibungszahl erreicht dadurch einen niedrigeren Wert als bei dem dünnen Öl. Es herrscht also der Zustand der Teilschmierung. Dieser Zustand herrscht auch bei der Messung an dem dünnen Öl, die bei dem Druck von  $25 \text{ kp/cm}^2$  durchgeführt wurde; denn bei Erhöhung des Druckes liegt auch die Reibungszahl höher (oberste Kurve). Bei diesem höheren Druck, hier  $200 \text{ kp/cm}^2$ , ergeben nun beide Öle die gleiche Reibungszahl; ein Zähigkeitseinfluss ist also nicht mehr vorhanden. Durch die Erhöhung des Druckes ist der Zustand der Teilschmierung in den der Grenzschmierung übergegangen.

Den Druck und die Druckverteilung kann man nun auch dadurch beeinflussen, daß man nicht die Belastung, sondern die Rauigkeit der Gleitflächen verändert, wobei natürlich die früher erwähnte gleichmässige Rauigkeitsverteilung gewahrt bleiben muss. Es wurden deshalb Messungen bei konstanter Belastung, aber verschiedener Rauigkeit der Gleitflächen durchgeführt. Und zwar betrug die nach dem Lichtschnittverfahren von Prof. Schmaltz ermittelte Profilhöhe etwa 2 bzw.  $5 \mu$ . Im Bild 2 sind die mit diesen Flächen erzielten Ergebnisse dargestellt, wobei der auf die Gesamtfläche bezogene Druck von  $50 \text{ kp/cm}^2$  so gewählt wurde, daß Grenzschmierung noch nicht mit Sicherheit zu erwarten war. Bei dem zäheren Öl liegt bei Verwendung der glatteren Fläche die Reibungszahl niedriger als bei Verwendung der rauheren Fläche. Das beruht darauf, daß der tatsächlich an den tragenden Rauigkeitsspitzen herrschende Druck bei der glatteren Fläche geringer ist, da ja bei ihr mehr Rauigkeitsspitzen zur Berührung und damit zur Druckübertragung kommen als bei der rauheren Fläche. Bei dem geringeren Druck kommt es nun leichter zu einer teilweisen hydro-

dynamischen Schmierung, die Reibungszahl liegt niedriger als bei der rauheren Fläche. Diese Messungen sind also im Zustand der Teilschmierung durchgeführt worden. Betrachtet man dagegen die Kurven für das dünnere Öl, so sieht man, daß in diesem Fall für beide Rauigkeiten und damit auch für beide Drucke die Reibungszahl die gleiche Größe besitzt. Es herrscht also nicht mehr der Zustand der Teilschmierung, sondern der der Grenzschmierung.

Das zeigt sich noch deutlicher aus den Ergebnissen, die im 3. Bild dargestellt sind. Es sind für verschiedene Drucke im Bereich von 10 bis 200 kp/cm<sup>2</sup> für die beiden Rauigkeiten die Reibungszahlen aufgetragen für eine gleichbleibende Geschwindigkeit aus dem Bereich, in dem die Reibungszahl unabhängig von der Geschwindigkeit ist; gewählt wurde 4 cm/s. Man erkennt folgendes: Sämtliche Kurven für die Reibungszahl erreichen mit zunehmenden Druck einen gleichbleibenden Wert, der auch bei höheren als den hier angegebenen Drucken nicht überschritten wird. Bei dem dünneren Öl wird dieser Wert schneller erreicht als bei dem zäheren Öl, bei diesem wieder bei der größeren Rauigkeit schneller als bei der glatteren Fläche. Das heißt, sobald kein Zähigkeitseinfluss mehr festzustellen ist, also im Zustand der Grenzschmierung ist die Größe der Reibungszahl unabhängig vom herrschenden Druck.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß sich die Werte für die Reibungszahl bei Veränderung der Flächengröße und - wie bisher auch - Berechnung des Druckes aus Belastung je Einheit der Gesamtfläche vollkommen auf die in diesem Bild gezeigten Kurven einordnen.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- 1.) Es werden Anhaltspunkte gegeben, welche Drucke bei einer bestimmten Rauigkeit der Reibungsmeßflächen gewählt werden müssen, um Einflüsse der Schmiermittelzähigkeit auf das Ergebnis von Reibungsuntersuchungen mit Sicherheit auszuschließen und damit den Zustand der Grenzschmierung zu erreichen.

Es genügen auch für ausserordentlich zähe Schmiermittel und sehr geringe Rauigkeiten Drucke von  $200 \text{ kp/cm}^2$  bezogen auf die gesamte Reibungsfläche. Dieser Druck reichte selbst bei salbenartigen Stoffen aus, um den Zustand der Grenzschmierung zu erreichen. Gegebenenfalls kann man die Tatsache, daß keinerlei Zähigkeitseinflüsse mehr vorhanden sind, dadurch nachprüfen, daß man den Druck verändert, wobei die Reibungskraft konstant bleiben muß.

Es wird weiter gezeigt, daß beim Übergang von der Grenzschmierung zur Teilschmierung die Reibungszahl kleiner wird, was darauf beruht, daß ein Teil des auf den Gleitflächen ruhenden Druckes hydrodynamisch aufgenommen wird. Dieser Anteil und damit die Verringerung der Reibungszahl ist umso größer, je zäher das Schmiermittel ist. Es können deshalb Messungen im Zustand der Teilschmierung keinesfalls zur Bewertung der Schmierfähigkeit herangezogen werden, da ja der Zähigkeitseinfluss je nach der Zähigkeit des untersuchten Schmiermittels verschieden ist.

2.) Zu den Gesetzmässigkeiten, die im Zustand der Grenzschmierung gelten, ist zu sagen, daß Abhängigkeiten der Grenzreibungszahl von der Geschwindigkeit, vom Druck und der durch die Rauigkeit bestimmten Druckverteilung nicht bestehen. Das Coulomb'sche Gesetz gibt nun an, daß die Reibungskraft proportional der Belastung ist. Es sagt dagegen nichts aus über die Abhängigkeit der Reibung von der Geschwindigkeit, vom Druck und von der Druckverteilung. Oder mit anderen Worten, die Reibung ist bei strenger Gültigkeit des Coulomb'schen Gesetzes von der Geschwindigkeit, dem Druck und der Druckverteilung unabhängig. Hierbei ist es gleichgültig, ob der Druck oder die Druckverteilung durch Veränderung der Belastung, der Flächengröße oder der Flächenbearbeitung beeinflusst wird. Aus den hier dargestellten Versuchen ergibt sich nun, daß diese Bedingungen erfüllt sind, das heisst, für die Grenzreibung gilt das Coulomb'sche Gesetz.

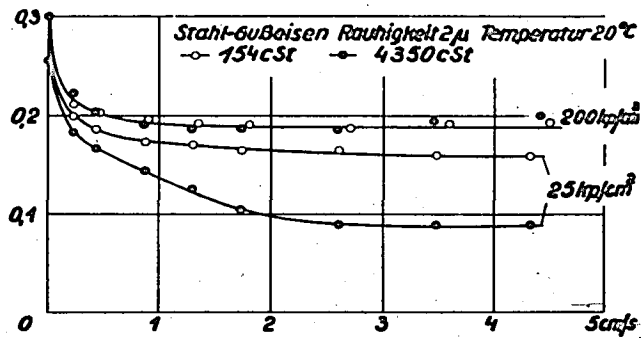


Abb. 1

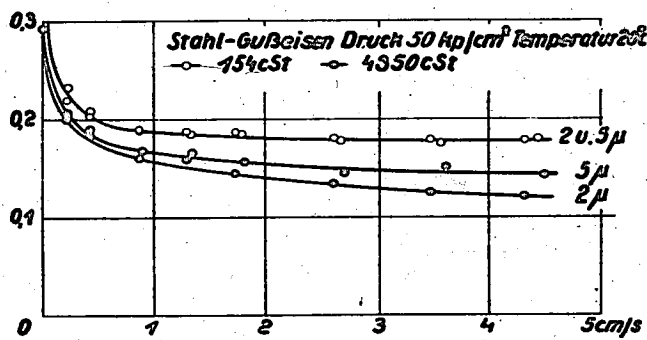


Abb. 2

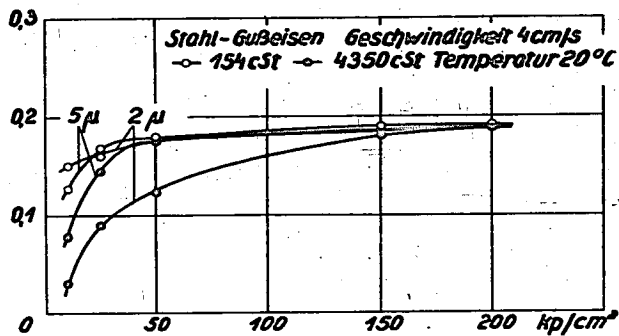


Abb. 3