

Statische Reibung und Schmierfähigkeit.

Von Dr.-Ing. A. Bartel, KWI, Berlin-Dahlem.

Fast man bei den Stribeck'schen Kurvenschaaren die maßgebenden Komponenten ω, η, q zu einem dimensionslosen Sammelwert $\frac{\omega \eta}{q}$ gegen μ zusammen, so entsteht aus ihnen eine Kurve (Bild 2a und 2b), die charakteristisch ist für das verwendete Schmiermittel, d.h. für ein und dasselbe Lager ist die Reibungszahl μ eine eindeutige Funktion des Ausdruckes $\frac{\omega \eta}{q}$. Dieser Zusammenhang zeigt das bei Zähigkeitsströmung geltende Ähnlichkeitsgesetz, d.h. man ist damit in der Lage, durch die Wahl eines Schmiermittels mit geeigneter Zähigkeit für jede Drehzahl und für jede Lagerbelastung immer dieselbe Reibungszahl zu erhalten, wenn nur der Ausdruck $\frac{\omega \eta}{q}$ derselbe bleibt, d.h. bei doppelt so großer Drehzahl ist ein halb so zähes Schmiermittel zu nehmen, und wird etwa die Belastung auf das Dreifache erhöht, so muß auch die Zähigkeit dreimal so groß sein. Jede Flüssigkeit, gleichgültig ob Öl, Wasser oder Luft etc., erscheint demnach für das Gebiet der Flüssigkeitsreibung vom Standpunkt der Mechanik aus als Schmiermittel geeignet, wenn es bei der seiner Zähigkeit entsprechenden Drehzahl und Lagerbelastung verwendet wird. Dies wurde durch Versuche bestätigt ²⁾, bei denen im Gebiet der Flüssigkeitsreibung mit Rizinusöl, Paraffinöl, Glycerin und destilliertem Wasser geschmiert wurde und mit allen diesen Flüssigkeiten dieselbe Reibungszahl erzielt werden konnte. (Abb. 1) Diese Versuche bestätigen in hervorragender Weise die Tatsache, daß lediglich die Zähigkeit im Gebiete der Vollschrnerung als maßgebende Größe des Schmierstoffes auftritt.

Die Eignung dieser Flüssigkeiten als Schmiermittel ändert sich jedoch ganz erheblich für das Gebiet der gemischten Reibung. Die gemischte Reibung ist dadurch gekenn-

2) Habilitationsschrift A. Klemencic, Graz 1937

zeichnet, daß sich die zu schmierenden Gleitflächen bereits stellenweise unmittelbar berühren. Daher muß beim Übergang von der Vollschrnierung zum Gebiet der gemischten Reibung das an der späteren Berührungsfläche haftende Schmiermittelmolekül offensichtlich verdrängt werden, damit es zur metallischen Berührung kommen kann, die schließlich zum groben Verschleiß und Fressen führt. In welcher physikalischen Form diese Trennung der Schmiermittelpartikel vom Metall vor sich geht, ob durch mechanische Trennung oder allenfalls durch Verdampfen, ist vorerst für die kommenden Fragen belanglos und überdies ungeklärt. Durch Versuche ist aber erhärtet worden, daß man von demjenigen Schmiermittel im Gebiete der gemischten Reibung einen niedrigeren Reibungskoeffizienten erhält, welches an seiner metallischen Unterlage besser haftet. Es tritt hier neben der Zähigkeit eine lange nicht definierbare Eigenschaft des Schmierstoffes zu tage, die den Beinamen "Schmierfähigkeit", "oiliness" usw. erhielt.

Um nun das abwegige Verhalten von Schmierstoffen im Gebiete der gemischten Reibung näher zu erfassen, wurde an grundsätzlich verschieden gebauten Ölen das Reibungsverhalten studiert. In diesem Zusammenhang sei zunächst erörtert: Paraffinöl - als Vertreter der Gruppe der inaktiven, apolaren, gesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen - Rizinusöl als Vertreter der sogenannten fetten Öle, welches ein bekannt gut schmierendes Öl ist und ausgesprochen aktive Bezirke im Molekülbau hat und Glyzerin, welches normalerweise zum Schmieren von Metallteilen nicht verwendet wird. Da aber seine Zähigkeit von derselben Größenordnung war, wie die des Paraffinöles und deshalb eine entsprechend gute Verwendbarkeit bei reiner Flüssigkeitsreibung zu erwarten war, konnte auch sein abwegiges Verhalten im Falle der gemischten Reibung einwandfrei festgestellt werden (Abb.2). Es zeigte sich nämlich, daß sich die gemessenen Werte der statischen Reibung, die als Endzustand der abnehmenden Gleitbewegung charakterisiert sei, wie 1:2 verhalten. Es bestand

also gleiche Viskosität, aber verschiedene Schmierfähigkeit.
Die drei Reibungsbeiwerte der obigen Öle verhalten sich im Bereiche der statischen Reibung wie 1:2:4. (Abb.2 und 1a). Die jederzeit reproduzierbaren Werte bilden eine volle Bestätigung der bereits 1908 von Boys und später von Woog aufgestellten Behauptung, daß die Begriffe Zähigkeit und Schmierfähigkeit eines Öles zu trennen sind. So erklärt sich auch der Grund, daß eine große Anzahl viskoser Flüssigkeiten, wie Melasse und Zelluloselösung, keinen Wert als Schmiermittel haben, da ihnen die "Schmierfähigkeit" fehlt.

Die Messung der "Reibungskraft der Ruhe" als Reziprokom der Schmierfähigkeit birgt in sich eine Fülle meßtechnischer Vorteile, man ist darüber hinaus imstande, Zusammenhänge mit dem Haftvermögen von Öl an Metallen zu finden, wie es die beiliegenden Kurven veranschaulichen. Die Methode hat den grundlegenden Vorteil, daß sie den tatsächlichen Verhältnissen und Erfordernissen der Praxis, die sich wegen einer Fülle von Schwierigkeiten einer meßtechnischen Erfassung bisher entzogen haben, am besten gerecht wird. Gegenüber den Hardy'schen und Woog'schen Versuchen wird hier die statische Reibung als Endzustand auslaufender Bewegung betrachtet, sodaß bei der Vermessung bereits die verschiedensten Vorbeanspruchungen im Ölfilm stattgefunden haben, nämlich durch vorausgegangene reine Flüssigkeitsreibung und durch die ungeklärten Beanspruchungen bei der gemischten und Grenzreibung. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß hier die Vorgeschichte des Schmierfilms mit in die Messung eingeht, was auch den tatsächlichen Vorgängen am meisten entspricht.

Die hier gezeigten Ergebnisse der experimentellen Erfassung des Koeffizienten der statischen Reibung, angewendet als Kennzeichen der Schmierfähigkeit der öligen Zwischenlage, wurde in einer Zusatzarbeit zur Habilitationsschrift A.Klemencic, Graz 1937, zum ersten Mal erwähnt und fand eine experimentelle Ausdehnung auf das Gebiet kleinster Gleitge-

geschwindigkeiten in der Anordnung eines Traglagerversuchstandes durch A. Bartel.³⁾ In dieser Arbeit wird das Scheergefälle, das für eine Beanspruchung des Filmes maßgebend ist, experimentell derart verringert, daß die Wirkung der Haftreibung bei 1/15000 U/min festzulegen ist, während bei der Arbeit Klemencic 1/10 U/min als letzte Drehzahlmessung vermerkt wurde. Dadurch ergeben sich bei der Arbeit Bartel um 40% höhere Werte der statischen Reibung, was überdies eine willkommene Ausweitung des Meßbereiches bedeutet. Darüber hinaus wurde das Temperaturverhalten der statischen Reibung bis zu extremen Bedingungen erfaßt. Dabei bestätigte sich zunächst, daß zunehmende Kettenlänge des Schmierstoffes reibungsvermindernd wirkt.

Weiter ergab sich, daß mit steigender Temperatur die Haftfestigkeit der Versuchssole Individualitäten zeigt, derart, daß "Temperaturkurven der statischen Reibung" gefunden wurden (Vgl. Bilder 2c, 2d, 3, 4 und 4a).

Die statische Reibung stellt ein Integralverfahren dar, bei dem unter Berücksichtigung der maßgebenden Komponenten (wie Temperatur, Metallart, d.h. Werkstoffpaarung, etc.) die Schmierfähigkeit ermittelt werden kann, da die Vorgeschichte des Ölfilmes durch Beanspruchung mit in das Meßverfahren eingeht und geringste Veränderungen, sei es auf Seiten des Schmierstoffes durch physikalisch-chemische Angriffe, sei es auf Seiten des Metalls durch mechanisch-technologische Angriffe, sich bemerkbar machen (Abb. 5). Eine Reproduzierbarkeit der Meßwerte ist in jedem Falle gegeben.

Alle Schmierprobleme laufen letzten Endes auf ein Haftvermögen des Schmiermittels an seiner Unterlage aus. Das bei den Versuchen experimentell als günstig festgelegte Scheergefälle (kleinste Gleitgeschwindigkeit) war stufenlos erreicht und betrug bei einer Motoruntersetzung von 1:15000 auf einem Zapfen von 25mm Durchmesser rund 1/40000m/sec. Die statische Reibung ist jener Anteil der Schubkräfte, bei dem die Haftkräfte zwischen den zusammengepreßten Teilen meßtechnisch einen Grenzwert erreichen.

³⁾ Dissertation A. Bartel, Graz 1939

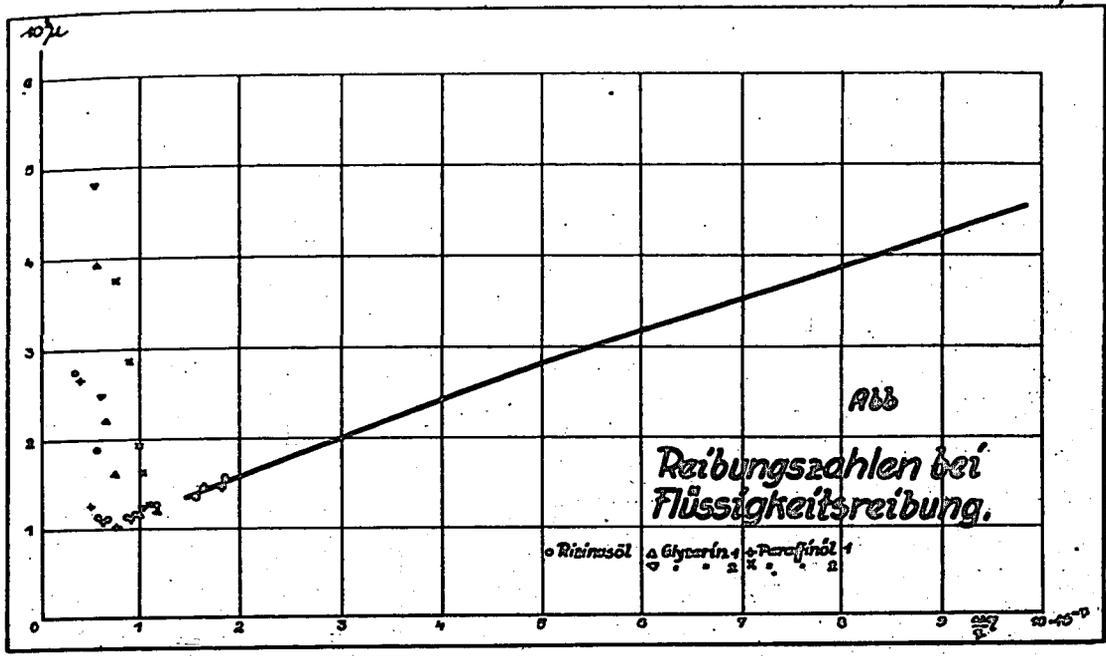


Abb. 1: Reibungszahlen bei Flüssigkeitsreibung.

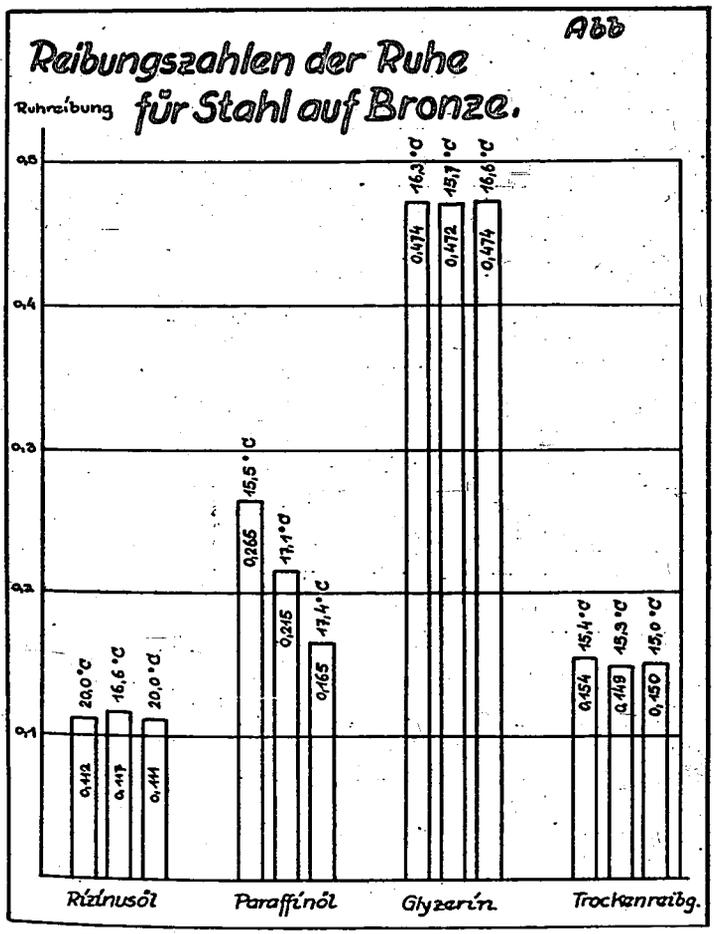


Abb. 1a: Reibungszahlen der Ruhe für Stahl auf Bronze.

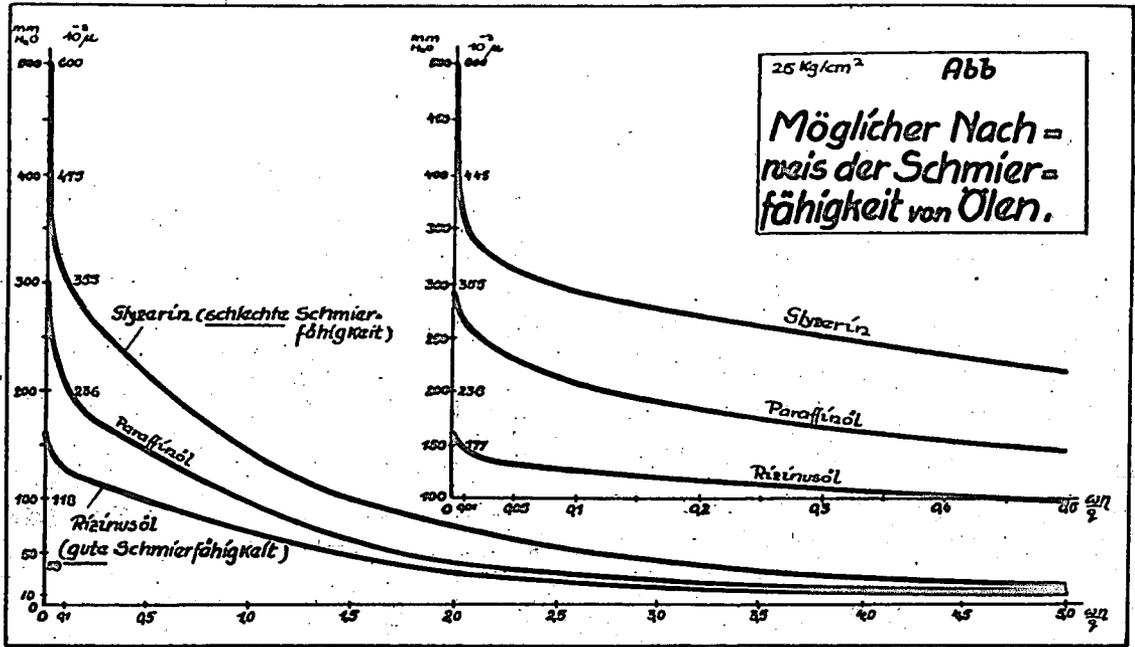


Abb.2: Möglicher Nachweis der Schmierfähigkeit von Ölen.

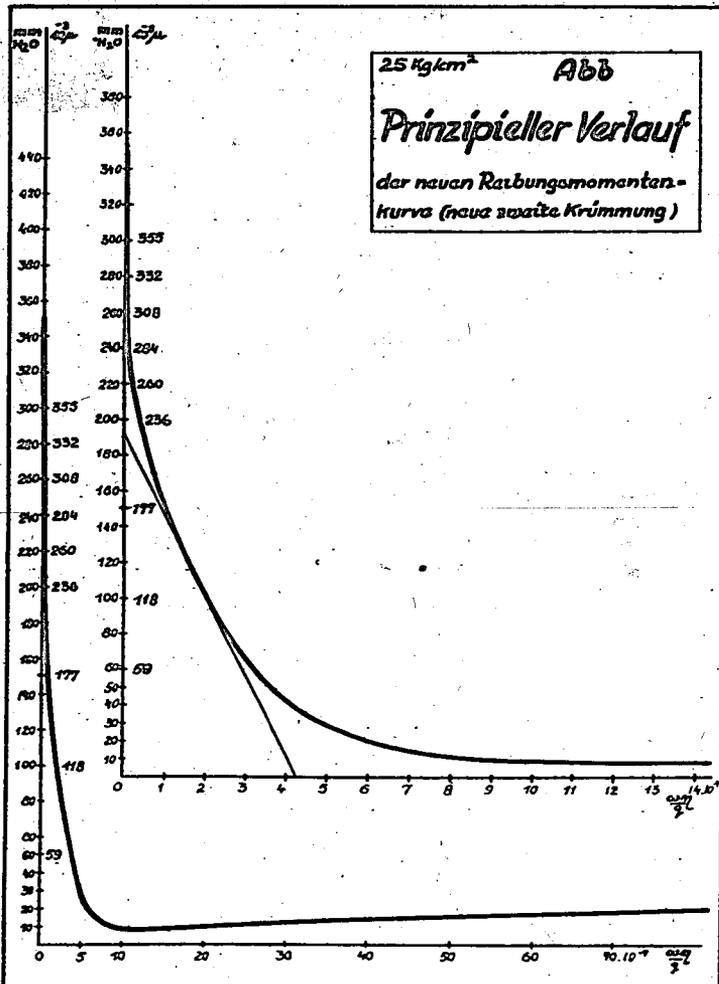


Abb.2a: Prinzipieller Verlauf der neuen Reibungsmomentenkurve (neue zweite Krümmung)

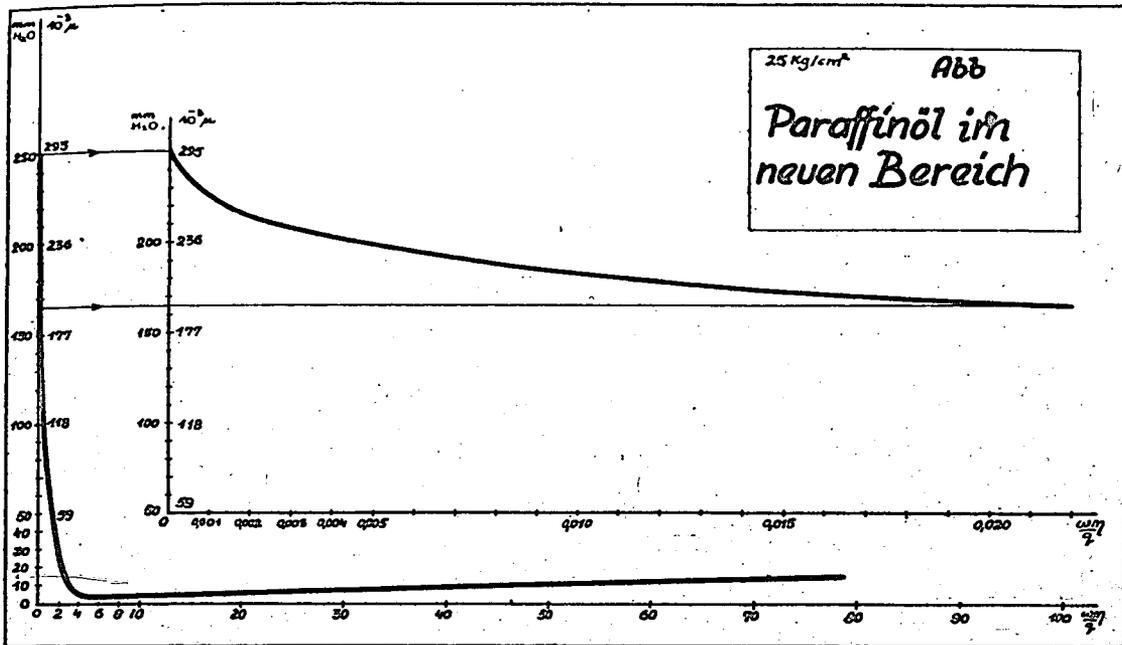


Abb.2b: Paraffinöl im neuen Bereich

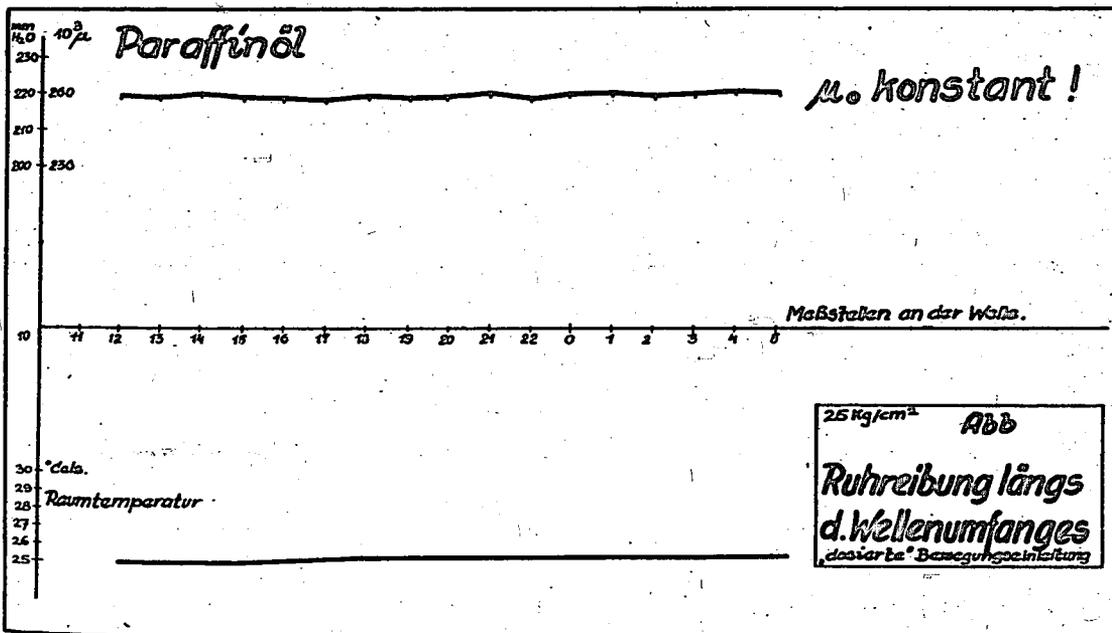


Abb.2c: Ruhreibung längs des Wellenumfanges

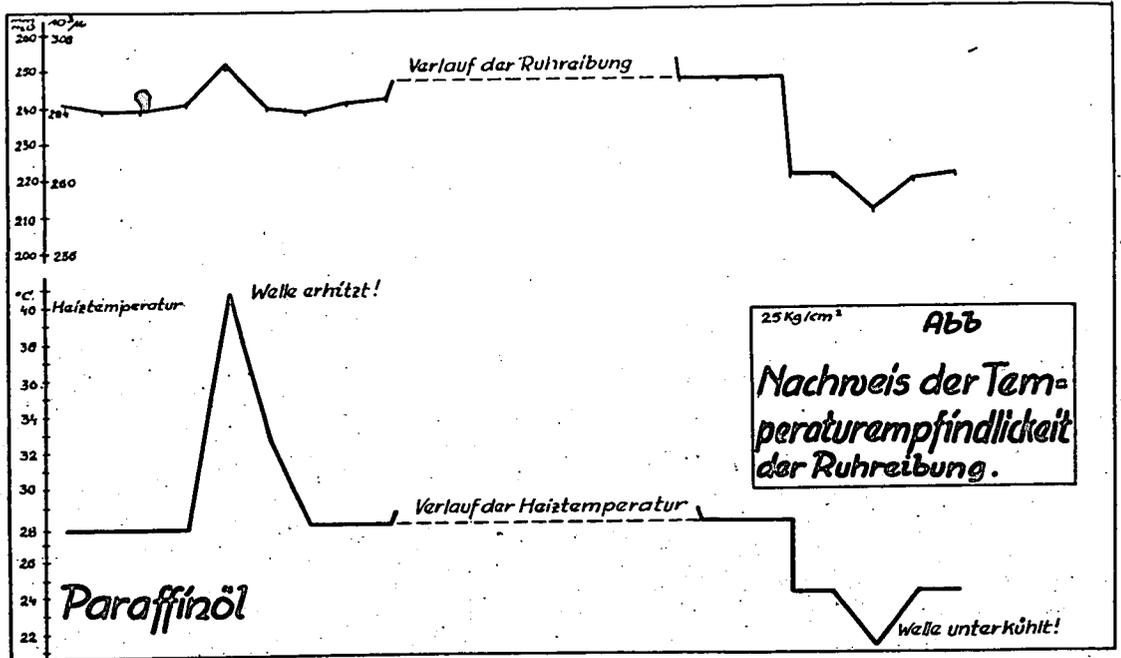


Abb.2d: Nachweis der Temperaturempfindlichkeit der Ruhreibung

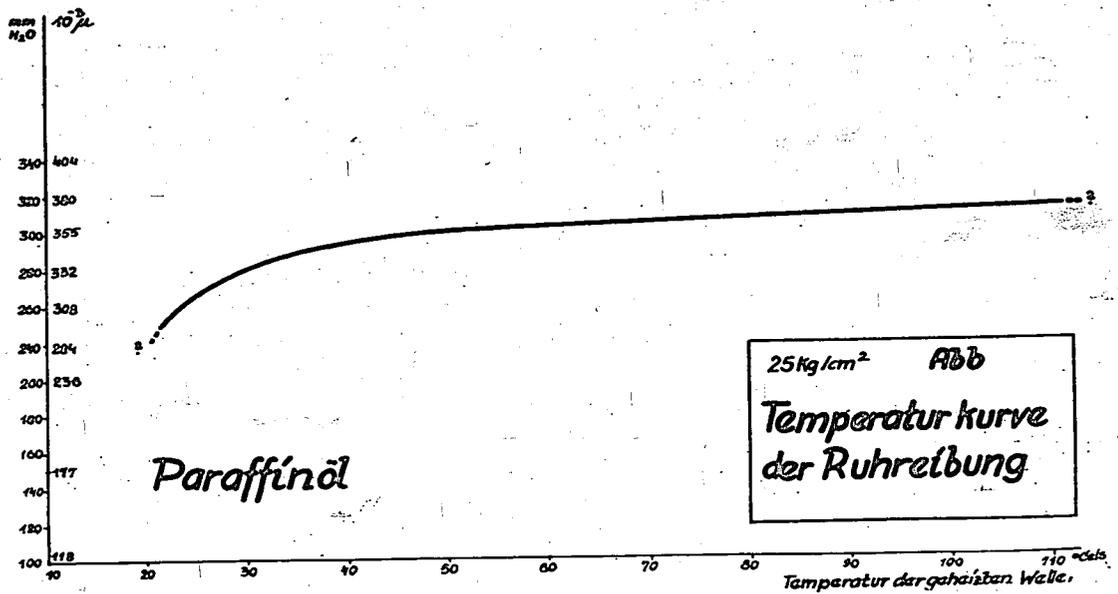


Abb.3: Temperaturkurve der Ruhreibung

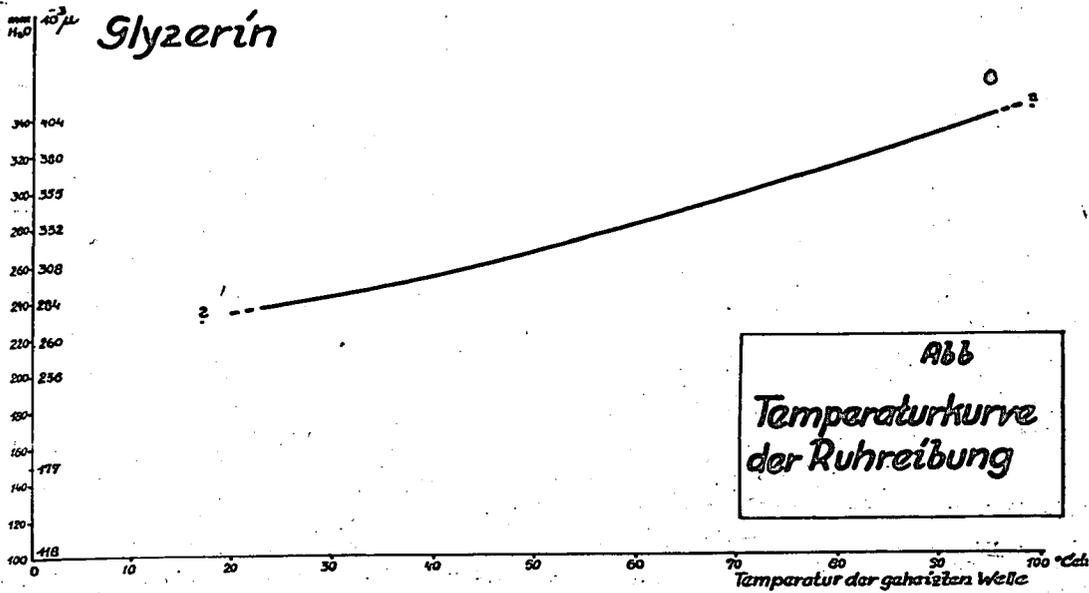


Abb.4: Temperaturkurve der Ruhreibung

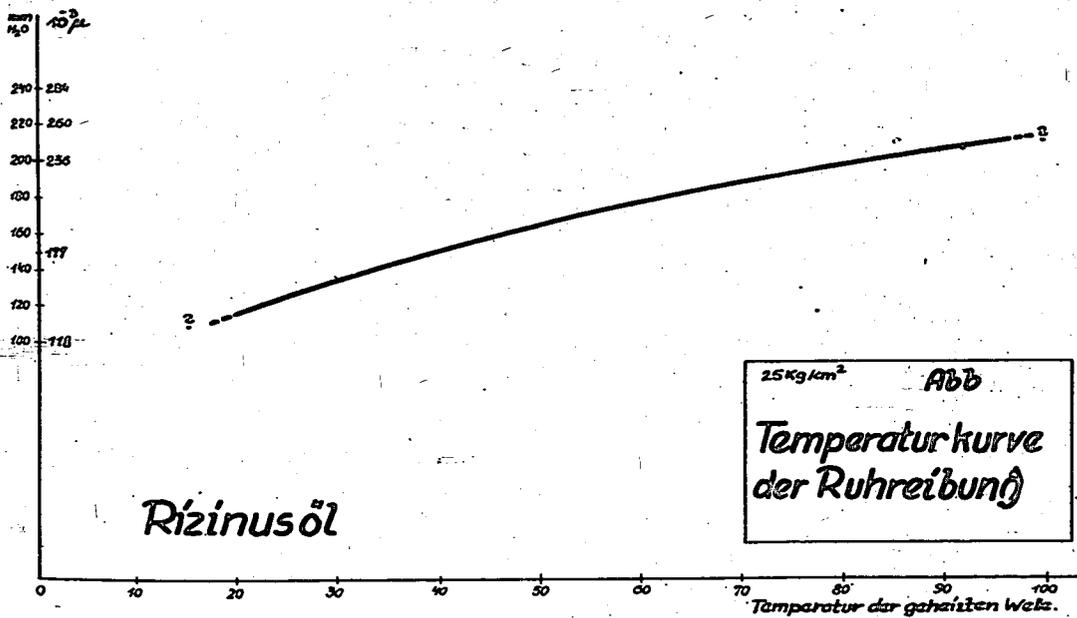


Abb.4a: Temperaturkurve der Ruhreibung

Meßtechnische Anwendung des Reibungskoeffizienten als Reziprokom der Schmierfähigkeit :

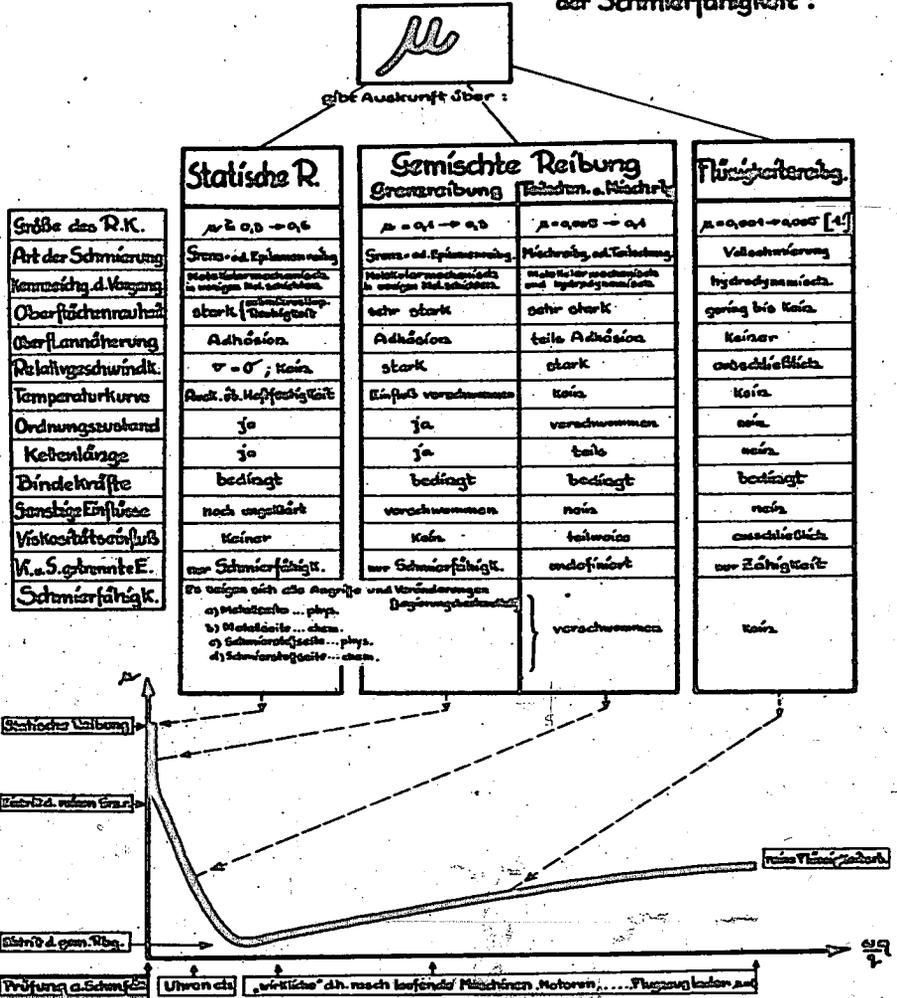


Abb. 5: Meßtechnische Anwendung des Reibungskoeffizienten als Reziprokom der Schmierfähigkeit