

Über die innere Reibung von zähen und plastisch-festen Substanzen und die Grenzen des Poiseuilleschen Gesetzes.

Von Heinrich Glaser.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Nachdem über innere Reibung von zähen Körpern schon eine Reihe von Untersuchungen nach den verschiedensten Methoden vorlagen, hat R. Reiger nachgewiesen, daß sich die Poiseuillesche Methode der Strömung durch Röhren ebenfalls sehr gut zur Bestimmung des Koeffizienten der inneren Reibung zäher und plastisch-fester Substanzen verwenden läßt¹⁾.

Ich habe die Untersuchungen von R. Reiger weitergeführt und besonders die Grenzen festgelegt, innerhalb deren das Poiseuillesche Gesetz sicher gilt. Substanzen verschiedener Zähigkeit stellte ich mir dadurch her, daß ich zu Terpentinöl Zusätze von Kolophonium in verschiedener relativer Menge machte. Es war daher zunächst von Interesse, die flüssige Komponente meiner Gemische in Hinsicht auf ihr Verhalten zu prüfen, das sie bei der Untersuchung nach der Poiseuilleschen Methode zeigt.

¹⁾ Siehe hierüber: R. Reiger, Über die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes bei zähflüssigen und festen Körpern. Ann. d. Phys. 1906, S. 985 ff. — In neuester Zeit hat auch R. Ladenburg eine Arbeit veröffentlicht „Über die innere Reibung zäher Flüssigkeiten und ihre Abhängigkeit vom Druck“. Münchener Dissert. 1906. Er stellt seine Versuche an nach der Stokesschen Methode der fallenden Kugeln, teilweise auch nach der Poiseuilleschen Methode, wobei er eine Mischung von Kolophonium und Terpentinöl untersucht, deren Zähigkeit er von der Größenordnung $1 \cdot 10^3$ findet (in C.G.S.-Einheiten).

I. Terpentinöl.

Ich untersuchte zunächst die innere Reibung von Terpentinöl bei Temperaturen von 0° bis 85°, und zwar mittels des von G. Haffner¹⁾ beschriebenen Apparates. Die Berechnung des Koeffizienten der inneren Reibung erfolgte nach der bekannten Formel von Poiseuille, die Korrektion der abgelesenen Ausflußzeiten nach Hagenbach²⁾. Die Resultate (in C.G.S.-Einheiten) gibt nachfolgende Tabelle. Bemerken möchte ich noch, daß nach Kohlrausch die Zähigkeit des Wassers bei 0° = 0,01797 ist, bei Terpentinöl dagegen = 0,02248 ist.

τ°	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$\eta \cdot 10^{-5}$	2248	1981	1783	1626	1487	1364	1272	1163	1071
τ°	45	50	55	60	65	70	75	80	85
$\eta \cdot 10^{-5}$	989	926	879	821	772	728	696	671	648

Hierin bedeutet τ = Temperatur in Celsiusgraden, η = Koeffizient der inneren Reibung. Die erhaltenen Werte stimmen gut überein mit den von Garvanoff³⁾ veröffentlichten, die jedoch nur von 20° bis 80° reichen, von 10° zu 10° fortschreitend. Die Abweichung beträgt 4 bis 8%, die als gering bezeichnet werden kann, da Terpentinöl durchaus kein wohl definierter Körper ist.

Danach untersuchte ich, wieweit das Poiseuillesche Gesetz für Terpentinöl gilt, nachdem ich bisher unter Bedingungen gearbeitet hatte, unter denen seine Gültigkeit unzweifelhaft feststand. Ich untersuchte den Einfluß der Durchflußgeschwindigkeit, des Radius und der Länge der Durchflußröhre.

Um den Einfluß der Durchströmgeschwindigkeit festzustellen, variierte ich den Druck in den mir erreichbaren Grenzen von 5 bis 240 cm Wassersäule, ohne jedoch einen Einfluß der vergrößerten Durchflußgeschwindigkeit auf die innere Reibung

¹⁾ G. Haffner, Über die innere Reibung von alkoholischen Lösungen. Erlanger Dissert. 1903.

²⁾ Hagenbach, Über die Bestimmung der Zähigkeit. Pogg. Ann. Bd. 109, S. 358 ff.

³⁾ Garvanoff. Wien. Ber. 103, II. A., S. 873 ff.

konstatieren zu können: die Ausflußzeiten blieben immer dem jeweils angewandten Druck umgekehrt proportional¹⁾.

Dann ließ ich den Druck und den Radius der Röhre konstant und änderte die Länge derselben. Hierbei stellte ich fest — was auch schon Poiseuille beobachtet hatte —, daß unter einer bestimmten Länge, ca. 8 cm, die Ausflußzeiten zu groß werden, also das Poiseuillesche Gesetz nicht mehr gilt. Auch die Hagenbachsche Formel reicht nicht mehr zu einer Korrektur der Ausflußzeiten.

Bei der nunmehr vorgenommenen Veränderung der Rohrweiten bei konstanter Länge und Druck fand ich in Übereinstimmung mit O. Reynolds²⁾, daß bei weiten Röhren die Ausflußzeiten zu groß werden, also der Reibungskoeffizient ebenfalls zu groß erscheint, eine Erscheinung, die nach Reynolds auf Wirbel zurückzuführen ist, die in weiten Röhren auftreten und den Ausfluß verzögern. Als obere Grenze des Röhrendurchmessers fand ich ca. 0,08 cm.

Resultate: Die innere Reibung von Terpentinöl nimmt, wie bei vielen anderen Flüssigkeiten, stetig mit steigender Temperatur ab, ohne Maxima und Minima aufzuweisen. Seine Zähigkeit bei 0° verhält sich zu der des Wassers von 0° wie 5 : 4.

Die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes hängt in erster Linie ab vom Radius der angewandten Durchflußröhre; erst in zweiter Linie von deren Länge und ev. von sehr hoher Durchflußgeschwindigkeit.

II. Gemische von Terpentinöl mit Kolophonium.

Ich steigerte jetzt die Zähigkeit meiner Versuchssubstanz durch Zusatz von Kolophonium. Untersucht wurden Gemische

¹⁾ Anders verhält es sich natürlich, wenn man die zu untersuchende Substanz selbst unter sehr hohem Druck setzt. Warburg und Babo, Wied. Ann. Bd. 17 (1882), S. 390, haben gefunden, daß die Zähigkeit von Kohlensäure unter hohem Druck (105 at) steigt. Dagegen fand W. C. Röntgen, Wied. Ann. Bd. 22 (1884), S. 510, für Wasser die umgekehrte Erscheinung, ebenso Warburg und Sachs, ebenda S. 518, die außerdem für Benzol und Äther eine Zunahme der Zähigkeit feststellten. Später fand W. C. Röntgen, Wied. Ann. 1891, S. 98 ff., daß auch bei plastisch-festen Körpern durch hohen Druck eine Steigerung der Zähigkeit stattfindet; er stellte bei Marineleim unter 500 at Druck eine Zunahme der Zähigkeit um 20% gegen Atmosphärendruck fest.

²⁾ O. Reynolds. Trans. Lond. Roy. Soc., CVXXIV, S. 935—983.

mit 30, 60, 70, 80 und 90% Kolophoniumgehalt. Reines Kolophonium konnte ich nicht untersuchen, da es beim Erkalten in den Röhren sprang und so seine Homogenität einbüßte. Dagegen konnte ich durch Extrapolation seinen Reibungskoeffizienten wenigstens der Größenordnung nach bestimmen.

Untersucht wurden die Gemische von 30 und 60% nach der Haffnerschen Methode, die höherprozentigen nach der von R. Reiger¹⁾ angegebenen. Besondere Sorgfalt wurde auf die Reinigung des Kolophoniums und die Bereitung der Lösungen verwandt. Da die innige Vermischung von Kolophonium und Terpentinöl erst bei ca. 180° eintritt, mußte vor allem darauf gesehen werden, ein Verdampfen der leicht flüchtigen Bestandteile zu verhindern.

In der nachfolgenden Tabelle gebe ich einige Werte wieder, die ich bei den verschiedenen Konzentrationen für den Koeffizienten der inneren Reibung gefunden habe.

Die Versuche, welche oft sehr lange dauerten, bis zu mehreren Wochen bei sehr engen Röhren und hohen Konzentrationen, fanden im Keller statt, wo eine Temperatur von 7,1° in dem sorgfältig isolierten Versuchsraum konstant herrschte.

Konzentration in %	0	30	60	70	80	90	100
η	$1945 \cdot 10^{-5}$	$1508 \cdot 10^{-4}$	$3,43 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^3$	$9,2 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{18}$

Weiter prüfte ich wie bei Terpentinöl das Poiseuillesche Gesetz. Dazu wählte ich die 80%ige Lösung. Ich fand, daß genau wie bei Terpentinöl der Radius der Röhre in erster Linie in Betracht kommt. Einen Einfluß der Länge oder der Durchflußgeschwindigkeit konnte ich überhaupt nicht feststellen. Ebenso war es unmöglich, eine obere Grenze für den Durchmesser zu ermitteln, da bei allen Weiten, die ich erhalten konnte, bis 3 cm, das Gesetz noch galt, jedenfalls infolge Ausbleibens von Wirbeln in der zähen Substanz. Dagegen trat mit abnehmendem Durchmesser ein Ansteigen des Wertes für η auf, so daß die Annahme berechtigt erscheint, daß bei sehr engen Röhren das

¹⁾ S. a. a. O., Anm. 1906, S. 985 ff.

Poiseuillesche Gesetz nicht mehr gilt. So war z. B. für eine Lösung von 80% Kolophoniumgehalt bei einer Temperatur von 11,8⁰¹) der Reibungskoeffizient η :

$$\text{bei } D = 0,3 \text{ cm } \eta = 4,8 \cdot 10^5$$

$$D = 0,2 \text{ cm } \eta = 4,6 \cdot 10^5.$$

Bei $D = 0,06$ cm stieg er auf $\eta = 7,9 \cdot 10^5$, und bei $D = 0,036$ cm auf $\eta = 23 \cdot 10^5$, während bei $D = 0,02$ cm nach 3 Wochen überhaupt noch kein Fließen eingetreten war. Die untere Grenze liegt nach obiger Versuchsreihe bei einem Durchmesser von ca. 0,2 cm. Weitere Versuche hierüber sind im Gang, die ich zusammen mit den quantitativen Resultaten meiner Arbeit einer späteren Veröffentlichung vorbehalte.

Erlangen, Physikalisches Institut, Oktober 1906.

¹) Diese Versuche wurden im Sommer angestellt, daher die höhere Temperatur!

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [38](#)

Autor(en)/Author(s): Glaser Heinrich

Artikel/Article: [Über die innere Reibung von zähen und plastischfesten Substanzen und die Grenzen des Poiseuilleschen Gesetzes. 147-151](#)