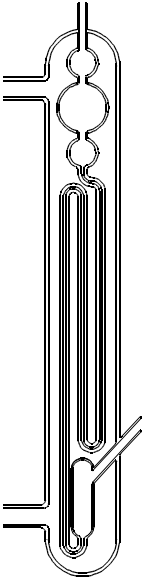


23. Mai 2000	Physikalisch-Chemisches Praktikum		Versuch Nr. 4																												
Thema:	Viskosität von Flüssigkeiten																														
	Aufgabenstellung: Viskosität verschiedener Methanol/Wasser-Gemische bei 30, 40 und 50° C 2. Ermittlung der Platzwechsellenergien für die verschiedenen Mischungen																														
Material:	Viskosimeter, Thermostat, Thermometer 0-50° C (0,1 °C Teilung), Stoppuhr, 6 Bechergläser (250 ml), 1 Becherglas (100 ml), 1 Wasserstrahlpumpe, 1 Silikonschlauch, 1 Vollpipette (10 ml)																														
Substanzen:	demineralisiertes Wasser, Methanol; Probenlösungen: 6 Wasser - Methanol - Gemische à 50 ml mit 0, 20, 40, 60, 80, 100 Massen-% Methanol																														
Ablauf:	<ol style="list-style-type: none"> 1: Herstellung der oben aufgeführten Gemische 2: Thermostat auf 30° C einregeln 3: 10 ml der ersten Mischung mit der Pipette in das untere Vorratsgefäß füllen und Temperatenausgleich abwarten 4: Auslaufzeit für das Volumen der mittleren Kugel dreimal bestimmen 5: Flüssigkeit mit dem Silikonschlauch aus dem Vorratsgefäß saugen und die nächste Mischung einfüllen 6: Wenn alle Mischungen bei 30° C vermessen wurden, ist der Versuch (Punkte 2 und 3) bei 40° C und bei 50° C zu wiederholen <p>Datensammlung: <i>Viskosität von Wasser:</i> $\eta = 0,7975$ mPas bei 30° C <i>Dichte verschiedener Wasser/Methanol-Gemische:</i></p> <table border="1" data-bbox="1055 751 1809 1015" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;">$w_{\text{MeOH}} / \%$</th> <th style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;">30° C</th> <th style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;">$\rho / \text{g/cm}^3$ 40° C</th> <th style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;">50° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0,9957</td><td>0,9923</td><td>0,9881</td></tr> <tr><td>20</td><td>0,9628</td><td>0,9582</td><td>0,9526</td></tr> <tr><td>40</td><td>0,9285</td><td>0,9220</td><td>0,9148</td></tr> <tr><td>60</td><td>0,8870</td><td>0,8795</td><td>0,8709</td></tr> <tr><td>80</td><td>0,8381</td><td>0,8291</td><td>0,8204</td></tr> <tr><td>100</td><td>0,7819</td><td>0,7723</td><td>0,7627</td></tr> </tbody> </table> <p><i>Angaben aus:</i> Landolt-Börnstein, Zahlenwerte aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik, Technik, 6. Auflage, II. Band, 1. Teil, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1969.</p>		$w_{\text{MeOH}} / \%$	30° C	$\rho / \text{g/cm}^3$ 40° C	50° C	0	0,9957	0,9923	0,9881	20	0,9628	0,9582	0,9526	40	0,9285	0,9220	0,9148	60	0,8870	0,8795	0,8709	80	0,8381	0,8291	0,8204	100	0,7819	0,7723	0,7627	
$w_{\text{MeOH}} / \%$	30° C	$\rho / \text{g/cm}^3$ 40° C	50° C																												
0	0,9957	0,9923	0,9881																												
20	0,9628	0,9582	0,9526																												
40	0,9285	0,9220	0,9148																												
60	0,8870	0,8795	0,8709																												
80	0,8381	0,8291	0,8204																												
100	0,7819	0,7723	0,7627																												
Lernziel: <ul style="list-style-type: none"> - Mechanismus der inneren Reibung bei Flüssigkeiten - Intermolekulare Wechselwirkungen und ihr Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften von Flüssigkeiten 	Diskussionspunkte: <ul style="list-style-type: none"> - Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur und von der Konzentration bei einer Mischung 	Auswertung: <ul style="list-style-type: none"> - Die Bestimmung der Viskositäten erfolgt relativ zur Viskosität des Wassers bei 30° C - Auftragung der Viskositäten gegen den Massenanteil von Methanol - Auftragung von $\ln \eta$ gegen $1/T$ und Ermittlung von η_∞ und der Platzwechsellenergie ε 																													

Theorie zu Versuch Nr. 4:

Viskosität von Flüssigkeiten

Auf einer festen Unterlage befinde sich eine Flüssigkeitsschicht der Dicke x und darüber eine Platte mit der Fläche A , die mit konstanter Geschwindigkeit w_z tangential (in z -Richtung) über die Flüssigkeitsschicht hinweg bewegt wird, s. **Abb. 1**. Hierzu wird eine Kraft F_R benötigt, die ein Maß für die innere Reibung in der Flüssigkeit ist. F_R ist proportional zu A und zu w_z und umgekehrt proportional zu x :

$$F_R = \eta A \frac{w_z}{x} \quad (1)$$

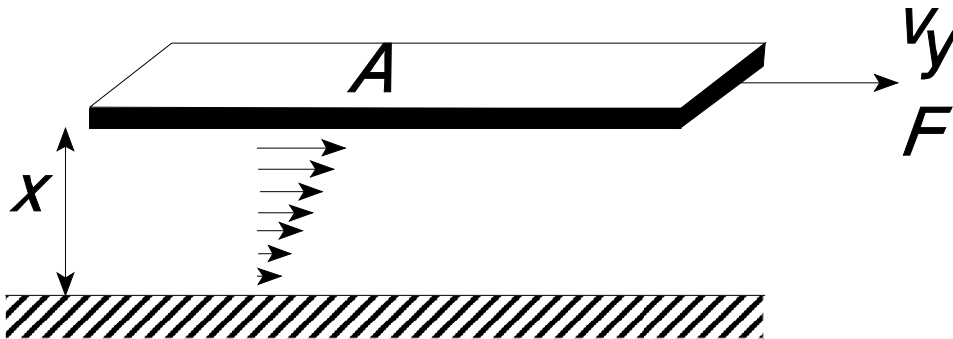


Abb. 1: Zur Herleitung der Gleichung (1).

Der Proportionalitätsfaktor η wird als Viskosität der Flüssigkeit bezeichnet. Wegen der Adhäsion der Flüssigkeit bleibt eine dünne, an der Unterlage haftende Flüssigkeitsschicht in Ruhe, während sich eine entsprechende, an der oberen Platte haftende Flüssigkeitsschicht mit der Geschwindigkeit w_z mitbewegt. Das Verhältnis w_z/x bezeichnet daher einen konstanten Geschwindigkeitsgradienten. In anderen, experimentell besser realisierbaren Fällen hängt der Geschwindigkeitsgradient jedoch von Ortskoordinaten ab, so daß man von der allgemeinen Beziehung

$$F_R = \eta A \frac{dw_z}{dx} \quad (2)$$

Newton'sches Gesetz der inneren Reibung

ausgehen muß.

Bedingung für die Anwendbarkeit des Newton'schen Gesetzes ist die Unabhängigkeit der Viskosität η vom Geschwindigkeitsgefälle und von der Zeit. Dies ist für die meisten einfachen Flüssigkeiten erfüllt. Nimmt die Viskosität mit dem Geschwindigkeitsgefälle dagegen ab, so spricht man von plastischen, bei Zunahme der Viskosität von dilatantem Fließverhalten. Ist das Verhalten zusätzlich von der Zeit abhängig, so spricht man von thixotropen (Abnahme der Viskosität mit der Zeit und dem Geschwindigkeitsgefälle) bzw. rheopexen (Zunahme der

Viskosität mit der Zeit und dem Geschwindigkeitsgefälle) Fließverhalten. Flüssigkeiten für die das Newton'sche Gesetz Gültigkeit besitzt werden als Newton'sche, alle anderen als Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten bezeichnet. *Beispiele* sind Zahnpasta (plastisches Fließverhalten), Stärke-Wasser-Aufschlämmungen (dilatant), Ketchup und Lacke (thixotrop) oder Tensidlösungen (alle Fließformen können auftreten).

Bei der Strömung einer Flüssigkeit durch ein Rohr nimmt die Strömungsgeschwindigkeit nach einer kurzen Anlaufzeit einen stationären Wert an, da der treibenden Kraft F_p (Druckgefälle) die Reibungskraft F_R entgegengerichtet ist:

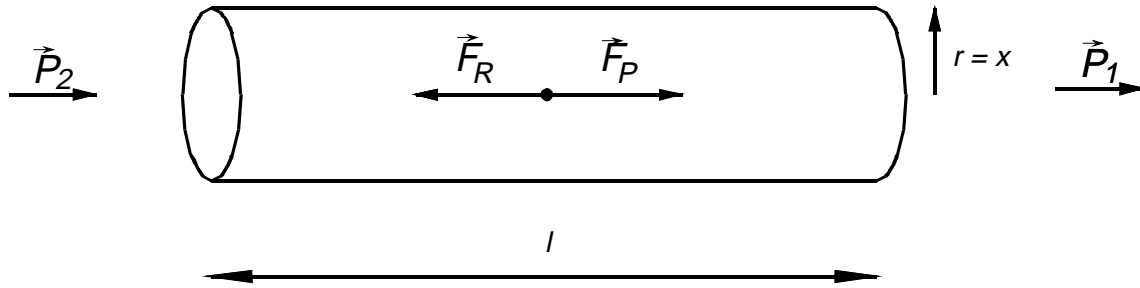


Abb. 2: Kräftegleichgewicht bei Strömung durch ein Rohr.

$$F_R = \eta A_M \frac{dw_z}{dr} = -F_p = -\Delta p A_Q \quad (3)$$

A_M ist die Mantelfläche ($= 2 \pi r l$) und A_Q ($= \pi r^2$) der Querschnitt des Rohres. Damit erhält man aus Gl. (3)

$$dw_z = - \frac{\Delta p r}{2 \eta l} dr \quad (4)$$

Die an die Rohrwand ($r = R$) angrenzenden Flüssigkeitsschicht ist wegen der Adhäsion ebenfalls in Ruhe ($w_z = 0$), in der Mitte der Kapillare ($r = 0$) ist die Geschwindigkeit maximal. Die Strömungsgeschwindigkeit w_z einer beliebigen Flüssigkeitsschicht im Abstand r von der Rohrachse erhält man durch Integration in den Grenzen von $w_z = 0$ bis w_z und $r = R$ bis r

$$w_z = \frac{\Delta p}{4 \eta l} (R^2 - r^2) \quad (5)$$

Pro Zeiteinheit t strömt das Volumen V durch den Querschnitt des Rohres (πR^2)

$$\frac{V}{t} = \int_0^R 2 \pi r w_z dr \quad (6)$$

Einsetzen von (5) liefert das **Hagen-Poiseuille'sche Gesetz** für laminare Strömungen

$$V = \frac{\pi (p_2 - p_1)}{8 \eta l} R^4 t \quad (7)$$

Wenn die Kapillare senkrecht steht, ist die Druckdifferenz durch den hydrostatischen Druck gegeben

$$p_2 - p_1 = \rho g h \quad (8)$$

h ist die Höhe der Flüssigkeitssäule, ρ die Dichte der Flüssigkeit und g die Erdbeschleunigung. Damit erhält man aus (7)

$$V = \frac{\pi \rho g h}{8 \eta l} R^4 t \quad (9)$$

Da R mit der vierten Potenz eingeht muss es sehr genau bekannt sein, wenn man direkt messen will. Deshalb werden hier nur Vergleichsmessungen gemacht gegenüber einer Flüssigkeit deren Viskosität bekannt ist. Es wird die Ausflusszeit für ein festes Volumen gemessen und mit der Ausflusszeit der Flüssigkeit bekannter Viskosität verglichen.

Viskositäten von Flüssigkeiten nehmen meist sehr stark mit der Temperatur ab. Für nicht zu große Temperaturbereiche gilt

$$\eta = \eta_\infty \exp\left(\frac{\varepsilon}{k T}\right) \quad (10)$$

wobei k die Boltzmann-Konstante bezeichnet: η_∞ und ε sind charakteristische Größen der Flüssigkeit. Da der (Selbst-) Diffusionskoeffizient von Molekülen der Flüssigkeit umgekehrt proportional zu η ist, hat ε im wesentlichen die Bedeutung einer Aktivierungsenergie des Diffusions- bzw. Platzwechselfvorgangs.

Literatur

W. M. Kulicke, Fließverhalten von Stoffen und Stoffgemischen, Hüthig und Wepf, Basel, Heidelberg, New York 1986.