

5 Kapillarität und Viskosität

Kapillarität und Viskosität begegnen uns im täglichen Leben in vielfältiger Form. So sorgt die Kapillarität dafür, dass in Pflanzen das Wasser und die darin enthaltenen Nährstoffe von den Wurzeln in die Blätter transportiert werden. Eine unerwünschte Folge der Kapillarität ist, dass Feuchtigkeit in den Aussenwänden von Häusern aufsteigt, wenn dies nicht durch eine geeignete Isolierschicht verhindert wird. Die Viskosität ist zum Beispiel ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des Motoröls beim Kraftfahrzeug. Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität machte es früher erforderlich, im Sommer und im Winter verschiedene Motoröle zu verwenden. In den folgenden Versuchen werden einfache Messverfahren vorgestellt, mit denen man quantitative Aussagen über die Kapillarität und die Viskosität gewinnen kann.

5.1 Stichworte

Kapillarität, Oberflächenspannung, Adhäsion, Kohäsion, Innere Reibung (Viskosität) von Flüssigkeiten, dynamische Viskosität, Hagen-Poiseuillesches Gesetz, laminare Strömung, Mohrsche Waage, Archimedisches Prinzip.

5.2 Literatur

NPP: 10; BS-1: Kap. VI; Wap: 2.3, 2.5, 2.6; Wep, Gerthsen; Dem-1; Geschke.

5.3 Zubehör

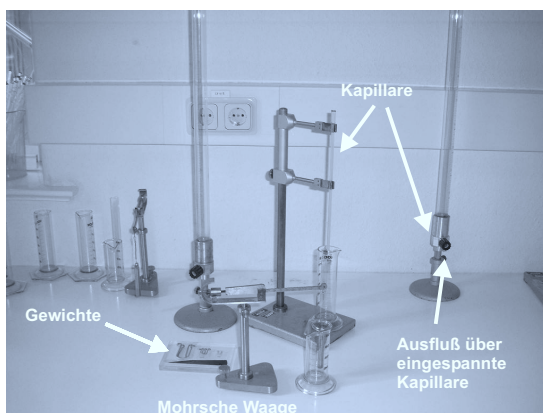


Bild 5.1: Der Versuch »Kapillarität und Viskosität«.

Bild 5.1 zeigt ein Foto des Versuches mit Zubehör: *Kapillarität*: 3 Kapillaren mit verschiedenen Kapillarradien (grün, rot, blau), destilliertes Wasser, Methanol, Ethylenglykol, Mohrsche

Waage, Messmikroskop, Wasserstrahlpumpe, Lösungsmittel, Bechergläser. *Innere Reibung*: Glasgefäß mit Stativ, dieselben Kapillaren wie für die Kapillaritätsmessung, destilliertes Wasser, Überlaufvorrichtung, Maßstab, Schieblehre, Stoppuhr, Thermometer.

5.4 Grundlagen

Thema dieses Versuches sind die Wechselwirkungen zwischen Flüssigkeitsmolekülen bzw. die daraus resultierenden Phänomene *Oberflächenspannung* und *dynamische Viskosität*. Die Oberflächenspannung σ einer Flüssigkeit kann im Vorgang der Kapillarität beobachtet werden, die dynamische Viskosität η bestimmt das Fließverhalten einer Flüssigkeit, deren Dynamik durch innere Reibung bestimmt wird.

Die Funktionsweise der Mohrschen Waage zur Dichtebestimmung mache man sich anhand Bild 5.2 klar.¹

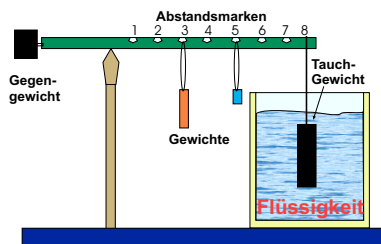


Bild 5.2: Prinzip der Mohrschen Waage.

Nach STOKES erfährt eine Kugel mit Radius r in einer Flüssigkeit mit der Viskosität η , die mit der Geschwindigkeit v an ihr vorbei fließt, eine Kraft von

$$F = 6 \pi \eta r v. \quad (5.1)$$

Neben diesem Stokes-Gesetz eignet sich auch das Gesetz nach HAGEN-POISEUILLE für die Bestimmung der (dynamischen) Viskosität.

Die Viskosität nimmt für alle Flüssigkeiten mit zunehmender Temperatur sehr stark ab (exponentiell). Gase verhalten sich gerade umgekehrt. Bei Messungen der Zähigkeit ist daher auf eine genaue Temperaturbestimmung und Temperaturkonstanz zu achten.

5.5 Fragen

5.5.1 Oberflächenspannung

1. Welche Wechselwirkungen treten zwischen Flüssigkeitsmolekülen auf? Erläutern Sie bitte die Begriffe van-der-Waals-Wechselwirkung und Dipol-Dipol-Wechselwirkung. Diskutieren Sie in diesem Zusammenhang kurz die verwendeten Flüssigkeiten.
2. Warum folgt aus diesen Wechselwirkungen eine Oberflächenspannung?
3. Erläutern Sie die Begriffe Adhäsion und Kohäsion.

¹ Was war nochmal das Archimedische Prinzip?

4. Für die Oberflächenspannung σ gilt $dW = \sigma dA$, mit Energiegewinn dW beim Benetzen der Oberfläche dA . Leiten Sie hieraus die kapillare Steighöhe h ab:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}, \quad (5.2)$$

mit Radius der Kapillare r , Dichte der Flüssigkeit ρ und Erdbeschleunigung g .

5. Flüssigkeiten in Kapillaren bilden so genannte Menisken aus, d.h. der Winkel θ zwischen Kapillarwand und Flüssigkeitsoberfläche ist ungleich 90° . Leiten Sie bitte die Formel für den Randwinkel θ

$$\sigma_{23} - \sigma_{13} = -\sigma_{12} \cos \theta \quad (5.3)$$

her. Hierzu sehe man sich den Abschnitt über Kapillarität im Gerthsen an, wo die in Gl. (5.3) eingehenden Größen definiert werden. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist, dass bei genauer Betrachtung alle beteiligten Oberflächen berücksichtigt werden müssen. Diese sind die Oberflächen zwischen Dampf (1) und Flüssigkeit (2), entsprechend einer Oberflächenspannung σ_{12} , zwischen Flüssigkeit (2) und Wand (3), entsprechend σ_{23} , und zwischen Wand (3) und Dampf (1), entsprechend σ_{13} . Im Gleichgewicht herrscht Kräftegleichheit zwischen der wandparallelen Komponente von σ_{12} und dem Gewinn bzw. Verlust an Oberflächenenergie, wenn nicht mehr der Dampf, sondern die Flüssigkeit die Oberfläche berührt.

Erläutern Sie Kapillarszension und Kapillardepression und geben Sie Beispiele.

6. Erklären Sie bitte Aufbau und Prinzip einer Mohrschen Waage!

5.5.2 Dynamische Viskosität

1. Erläutern Sie die Begriffe laminare und turbulente Strömung. Was bedeutet die Reynoldszahl R ?
2. Die Bewegungsgleichung von Flüssigkeiten unter innerer Reibung lautet:

$$F = \eta A \frac{dv}{dz} \quad (5.4)$$

Leiten Sie die HAGEN-POISEUILLE Gleichung der laminaren Rohrströmung her:

$$\dot{V} = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{8\eta l} R^4 \quad (5.5)$$

3. Erklären Sie in diesem Zusammenhang kurz die Bedeutung von Schmiermitteln (siehe z.B. Gerthsen), z.B. im Automotor.

5.6 Durchführung

Die Kapillaren sind gründlich mit Lösungsmittel und destilliertem Wasser zu reinigen und mit der Wasserstrahlpumpe zu trocknen. Der Radius r jeder der drei Kapillaren ist mit dem Messmi-

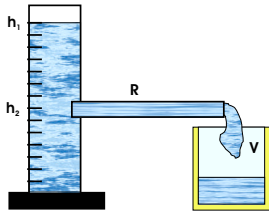


Bild 5.3: Schematische Darstellung zum Hagen-Poiseuilleschen Gesetz.

kroskop mindestens dreimal zu bestimmen.²

1. Kapillarität: Die Kapillaren werden in die drei zu untersuchende Flüssigkeit destilliertes Wasser, Methanol und Ethylenglykol getaucht und dann bis an die Oberfläche herausgehoben. Der Höhenunterschied h_{Kap} der Flüssigkeitsspiegel ist mindestens dreimal zu messen. Die Dichte ρ der Flüssigkeiten wird mit der Mohrschen Waage gemessen. Hierbei ist zu beachten, dass der Probekörper vor dem Eintauchen trocken und sauber ist und dass der Körper ganz in die Flüssigkeit eintaucht.
2. Innere Reibung: Das Volumen des Glasgefäßes zwischen den Strichmarken 50 und 45, die Länge der Kapillaren l und die Temperatur des destillierten Wassers T_W werden gemessen.
 - a. Die Ausflusszeit t_A von destilliertem Wasser zwischen den Strichmarken 50 und 45 des Glasgefäßes wird für die drei verschiedenen Kapillaren bestimmt.
 - b. Die Ausflusszeit $t(h)$ wird in Abhängigkeit von der Höhe h der Wassersäule im Glasgefäß bestimmt (nur für die Kapillare mit kleinstem Durchmesser, aber mindestens 10 Werte für $t(h)$).

5.7 Angaben

Die dynamische Viskosität von Wasser beträgt bei 20°C gerade $\eta = 1,002 \text{ cP}$. Die Einheit [cP] (centiPoise) wurde durch die SI-Einheit [Pa·s] (Pascalsekunden) ersetzt. Für Wasser steigt sie bei 10°C auf $\eta = 1,307 \text{ cP}$ an und fällt bei 50°C auf $\eta = 0,548 \text{ cP}$ ab. Es gilt die Umrechnung $100 \text{ cP} = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

5.8 Auswertung

1. Die Oberflächenspannungen der drei Flüssigkeiten sind aus Messung 1 zu bestimmen.
2. Die Viskosität von destilliertem Wasser ist aus Messung 2a zu bestimmen.
3. Die Höhe der Wassersäule h ist halblogarithmisch über der Ausflusszeit t aufzutragen (nach Messung 2b). Aus der Geradensteigung ist ebenfalls die Viskosität von destilliertem Wasser zu bestimmen.

² Hierbei auf einen möglichen toten Gang achten. d.h. Einstellschraube während einer Messung immer in die gleiche Richtung drehen!