

## Viskosität von Flüssigkeiten

### Theorie

Unter dem Begriff Viskosität versteht man die Eigenschaft von Stoffen, der gegenseitigen laminaren Verschiebung zweier benachbarter Schichten einen Widerstand entgegenzusetzen; der Begriff leitet sich vom lateinischen *viscum* (Mistel, Vogelleim) ab. Eine laminare Strömung liegt vor, wenn bei nicht zu hohen Geschwindigkeiten sich die einzelnen strömenden Schichten nicht vermischen, sondern parallel zueinander bewegen. Quantitativ wird dies durch die Reynolds-Zahl beschrieben, die unter einem kritischen Wert bleiben muss. Die Reynolds-Zahl, benannt nach dem englischen Physiker O. Reynolds (1845-1912), ist eine kennzeichnende Größe für den Verlauf von Strömungsvorgängen z.B. in Röhren und ist, mit dem Röhrenradius  $r$  und der mittleren Geschwindigkeit  $\bar{v}$  bzw. der charakteristischen Geschwindigkeit  $w$  und dem Röhrendurchmesser  $d$ , definiert durch:

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot r \cdot \bar{v} \cdot \rho}{\eta} = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

Der bei Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern zu beobachtende Flusswiderstand wurde 1687 von Newton mit der Schubspannung  $\tau$  und der Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$ , dem Geschwindigkeitsgefälle  $dv/dx$  beim Fließen, verknüpft:  $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$ .  $\eta$  wird als dynamische Viskosität definiert und ist für newtonsche Flüssigkeiten bei gegebener Temperatur eine Stoffkonstante mit der SI-Einheit Pascalsekunde; der Kehrwert  $\varphi = \eta^{-1}$  wird Fluidität genannt. Der Quotient aus der dynamischen Viskosität  $\eta$  und der Dichte  $\rho$  wird als kinematische Viskosität  $\nu$  bezeichnet und in der SI-Einheit  $\text{m}^2/\text{s}$  angegeben:  $\nu = \eta/\rho$ . Fast alle Methoden zur Viskositätsbestimmung beruhen darauf, dass der betreffenden Messflüssigkeit eine mit einem bestimmten Gradienten verbundene laminare Bewegung aufgezwungen wird. Dies wird z.B. erreicht durch Ausfließenlassen der in einem Gefäß befindlichen Flüssigkeit aus einer Düse bzw. einer langen Kapillare (Auslauf- bzw. Kapillarviskosimeter), durch Bewegung eines Fallkörpers in der Messflüssigkeit (Fallkörperviskosimeter) oder durch Rotation eines geeigneten Drehkörpers (Rotationsviskosimeter). Die Bestimmung von  $\eta$  erfolgt bei diesem Versuch durch Kapillarviskosimetrie mit Hilfe des von Hagen-Poiseuille aufgestellten Gesetzes, das bei mäßigen Geschwindigkeiten und laminarer Strömung gilt:

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot t}{8 \cdot V \cdot l},$$

wobei  $V$  das durch eine Kapillare fließende Flüssigkeitsvolumen,  $r$  der Kapillarradius,  $l$  die Kapillarlänge,  $t$  die Fließzeit und  $\Delta p$  der Druckabfall innerhalb der Kapillare ist. Für die kinematische Viskosität gilt:

$$\nu = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot g \cdot h \cdot t}{8 \cdot V \cdot l},$$

wobei der schwer zu bestimmende Druckabfall  $\Delta p$  durch die leichter messbaren Größen Fallbeschleunigung  $g$  und hydrostatische Druckhöhe  $h$  ersetzt wird:  $\Delta p = g \cdot h \cdot \rho$ . Bezieht man alle die Messanordnung betreffenden Größen in eine Apparatekonstante  $C$  des betreffenden Kapillarviskosimeters ein, so ergibt sich die Viskosität zu

$$\eta = C \cdot \rho \cdot t.$$

## Versuch

Ziel des Versuches war, die Viskosität einer unbekanntes Flüssigkeit bei 20 °C, 30 °C und 40 °C zu bestimmen. Das dazu hier verwendete Viskosimeter von Wolfgang Ostwald (1883-1943), Mitbegründer der Kolloidchemie, besteht im Wesentlichen aus einem U-Rohr, dessen einer Schenkel als Kapillare ausgebildet ist. Gemessen wurde für die jeweilige Temperatur – temperiert wurde in einem Wasserbad – die Zeit  $t$ , in der der Flüssigkeitsstand der Versuchsflüssigkeit des gefüllten Viskosimeters von einer oberen Markierung  $S_1$  nach einer unteren Markierung  $S_2$  absank. Die Dichte  $\rho$  der Versuchsflüssigkeit wurde für jede Temperatur mit einem Pyknometer ermittelt. Die Apparatekonstante  $C$  wurde durch Eichung mit Ethylacetat als Eichflüssigkeit bei 30 °C bestimmt. Alle relevanten Daten und Diagramme sind im Anhang festgehalten.

Zuerst erfolgte die Volumenbestimmung des Pyknometers mittels Wasser als Eichflüssigkeit bei 20 °C:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / \rho(\text{H}_2\text{O}).$$

Die Dichte der Eichflüssigkeit bei 30 °C wurde durch Referenzwägung mit dem Pyknometer bestimmt; da die Viskosität der Eichflüssigkeit für 30 °C durch Interpolation von Literaturwerten ermittelt wurde, wird hier von einem zu vernachlässigenden Fehler ausgegangen. Die Apparatekonstante wurde mittels der Eichflüssigkeit bestimmt, für deren Ungenauigkeit ist fast ausschließlich die Ungenauigkeit in der Zeitmessung verantwortlich. Der relative Fehler der Viskosität der Probesubstanz, die im Anschluss an die Eichung für verschiedene Temperaturen gemessen wurde, setzt sich wie folgt zusammen:

$$\left| \frac{\Delta \eta_T}{\eta_T} \right| = \left| \frac{\Delta C}{C} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_T}{\rho_T} \right| + \left| \frac{\Delta t_T}{t_T} \right|.$$

Es konnten folgende Viskositäten ermittelt werden:

$$\eta(20 \text{ °C}) = \underline{0,440 \pm 0,006 \text{ Pa}\cdot\text{s}}; \quad \eta(30 \text{ °C}) = \underline{0,396 \pm 0,012 \text{ Pa}\cdot\text{s}}; \quad \eta(40 \text{ °C}) = \underline{0,362 \pm 0,011 \text{ Pa}\cdot\text{s}}.$$

Die Auftragung der dynamischen Viskosität gegen die Temperatur lässt eine lineare Abhängigkeit erkennen, d. h. die Probenflüssigkeit verhält sich unter den Versuchsbedingungen wie eine newtonsche Flüssigkeit.

Den wesentlichen Fehlerbeitrag lieferte die Zeitmessung. Es muss auch bedacht werden, dass nicht im gesamten Wasserbad die gleiche Temperatur herrschte, diese Temperaturabweichungen sind im Vergleich mit den Literaturwerten noch zu berücksichtigen. Marginale Verschiebungen können sich zudem durch die Leichtflüchtigkeit der Substanz und geringe Verschmutzungen des Viskosimeters ergeben haben.