

## V107: Das Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler

**Ziel:** Es soll die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität von destilliertem Wasser mit der Kugelfallmethode bestimmt werden.

**Stichworte:** Auftrieb, laminare Strömung, (Nicht-) Newtonsche Flüssigkeit, Reynoldszahl, Stokes'sche Reibung, Viskosität

### Theoretische Grundlagen

Bewegt sich ein Körper durch eine Flüssigkeit, so wirkt auf ihn eine Reibungskraft  $\vec{F}$ , die von der Berührungsfläche  $A$  und der Geschwindigkeit  $v$  abhängt. Die Eigenschaften der Flüssigkeit werden durch eine Materialkonstante, die *dynamische Viskosität*  $\eta$ , beschrieben, die stark Temperaturabhängig ist. Eine Methode die Viskosität von Flüssigkeiten zu bestimmen, ist die Verwendung eines *Kugelfallviskosimeters*. Hierbei fällt eine Kugel mit Radius  $r$  in einer Flüssigkeit deren Ausdehnung hinreichend groß ist, sodaß sich keine Wirbel ausbilden. Die *Stokes'sche Reibung*<sup>1</sup> ist dann durch

$$F_R = 6 \pi \eta v r \quad (1)$$

gegeben, wobei  $v$  die Fallgeschwindigkeit ist. Beim Fallen einer Kugel in einer zähen Flüssigkeit wirken auf die Kugel neben der Reibungskraft  $\vec{F}_R$  die Schwerkraft  $\vec{F}_g$  und der Auftrieb  $\vec{F}_A$ , wobei die Auftriebskraft und die Reibungskraft der Schwerkraft entgegengerichtet sind. Die Reibung nimmt beim Fallen mit zunehmender Geschwindigkeit zu, bis sich ein Kräftegleichgewicht einstellt und sich die Kugel mit konstanter Geschwindigkeit weiter bewegt.

Beim *Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler* läßt man eine Kugel in einem Rohr fallen, bei der der Kugeldurchmesser nur geringfügig kleiner als der Rohrdurchmesser ist. Beim senkrechten Fall würde die Kugel während des Fallens unkontrolliert an die Rohrwand stoßen. Um dies zu vermeiden wird das *Fallrohr um wenige Grade geneigt*, sodaß die Kugel an der Rohrwand hinabgleitet und sich keine Wirbel ausbilden können. Die Viskosität  $\eta$  läßt sich dann aus der Fallzeit  $t$ ; aus der Dichte der Flüssigkeit  $\rho_{Fl}$  und der Dichte der Kugel  $\rho_K$  mit einer empirischen Formel bestimmen. Die Proportionalitätskonstante  $K$  ist eine Apparaturkonstante und enthält sowohl die Fallhöhe als auch die Kugelgeometrie.

$$\eta = K (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot t \quad (2)$$

Die Viskosität vieler Flüssigkeiten ist stark temperaturabhängig. Sie läßt sich für viele Flüssigkeiten durch die *Andradesche Gleichung*

$$\eta(T) = A \exp\left(\frac{B}{T}\right) \quad (3)$$

beschreiben.  $A$  und  $B$  sind dabei Konstanten.

---

<sup>1</sup>Hierbei handelt es sich um die Reibung der einzelnen Flüssigkeitsschichten.

## Vorbereitung

- Wann bezeichnet man eine Strömung als 'laminar'? **keine sichtbaren Turbulenzen, keine Vermischung der Schichten**
- Informieren Sie sich mit Hilfe der Literaturhinweise über die dynamische Viskosität von destilliertem Wasser als Funktion der Temperatur.

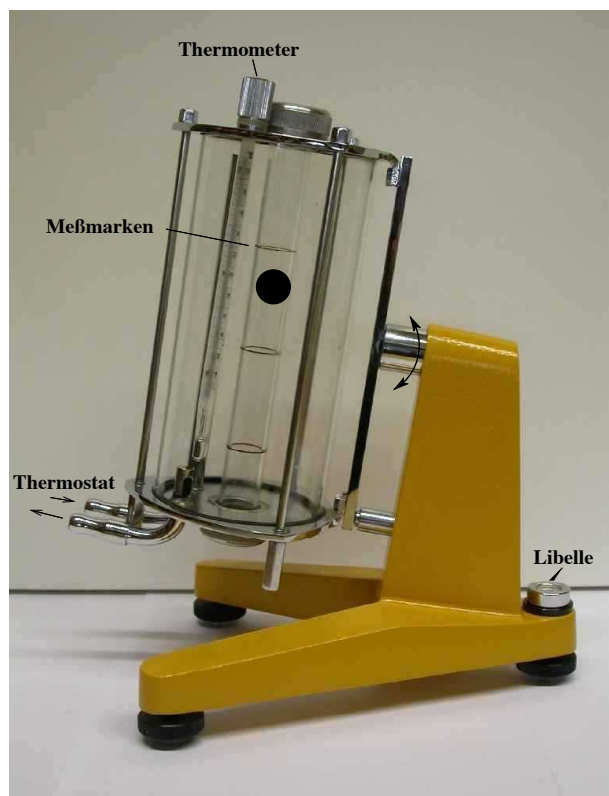
## Aufgaben

- Überprüfen Sie mit Hilfe der Reynoldsschen Zahl, ob die Strömung laminar ist.
- Bestimmen Sie die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von destilliertem Wasser.

### Das Höppler-Viskosimeter

Die Abbildung rechts zeigt ein Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler. In einem Glasrohr mit mehreren Meßmarken kann über die Stopfen 1 und 2 die zu untersuchende Flüssigkeit und eine Kugel gefüllt werden. Wenn sich die Kugel im Fallrohr befindet, wird das Viskosimeter mit der dafür vorgesehenen Schraube verschlossen. Zum Temperieren der Flüssigkeit befindet sich das Fallrohr in einem Wasserbad durch das man Wasser mit einer konstanten Temperatur fließen läßt. Die Wassertemperatur läßt sich mit einem **Thermostaten einstellen** und wird an einem Thermometer am Viskosimeter abgelesen. An dem Fallzylinder sind drei Meßmarken angebracht, die die Fallstrecke der Kugel definieren. Die Kugel ist so zu wählen, daß sie vor dem Passieren der ersten Meßmarke eine konstante Geschwindigkeit hat. Nach Passieren der unteren Meßmarke, dreht man das

Viskosimeter um  $180^\circ$  Grad und die Kugel kann ein weiteres Mal die Meßstrecke durchlaufen. Auch hier sollte die Kugel nach Durchlaufen der ersten Meßmarke eine konstante Geschwindigkeit erreicht haben.



## Versuchsdurchführung

- Bestimmen Sie die Dichte der großen und kleinen Glaskugel aus der jeweiligen Masse und dem Volumen.  $\rho_{\text{roh}} = m / ((4/3) \cdot \pi \cdot r^3)$
- Bestimmen Sie die Dichte  $\rho_{\text{Fl}}$  der Flüssigkeit mit einer Mohr-Westphalschen Waage und einem geeigneten Aräometer. Welche Meßmethode ist genauer.
- Überprüfen Sie mit Hilfe der Libelle, ob das Viskosimeter gerade steht und justieren Sie es gegebenenfalls nach.
- Füllen Sie das Viskosimeter mit destilliertem Wasser. Es ist darauf zu achten, daß sich **keine Luftblasen** an der Rohrwand bzw. an der Kugel befinden wenn die Kugel am Viskositätsrohr herabgleitet. Verschließen Sie das Viskosimeter mit der dafür vorgesehenen Schraube. Messen Sie mit der **Stoppuhr die Fallzeit**, die die große Kugel bei Raumtemperatur benötigt, um von der oberen zur unteren Meßmarke zu gelangen. Die Fallstrecke von der oberen zur unteren Meßmarke beträgt  $x = 100 \text{ mm}$ . Hat die Kugel die untere Meßmarke überschritten, drehen Sie das Viskosimeter um  $180^\circ$  Grad und wiederholen die Messung. Führen Sie für die kleine Kugel ( $m_{kl} = 4.4531 \text{ g}$ ) und die **große Kugel jeweils 10 Messungen** durch und bestimmen Sie für die **große Kugel die Apparatekonstante  $K_{gr}$** . Die Apparatekonstante  $K_{kl}$  für die kleine Glaskugel beträgt  $K_{kl} = 0.07640 \text{ mPacm}^3/\text{g}$ .
- Messen Sie die Temperaturabhängigkeit von destilliertem Wasser. Heizen Sie hierzu das Wasserbad langsam auf  $70^\circ \text{ C}$  und messen Sie für mindestens 10 Temperaturen, jeweils zweimal die Fallszeit der großen Kugel.



**Beim Aufheizen die Entlüftungsschraube lockern!**  
**Auf Luftblasen achten!!**



- Stellen Sie das Ergebnis graphisch dar, indem Sie  $\ln(\eta)$  als Funktion von  $1/T$  auftragen. Bestimmen Sie aus der Graphik die Konstanten A und B der Andradeschen Gleichung.
- Überprüfen Sie durch Berechnung der Reynoldsschen Zahl, ob die Strömung laminar ist.

## Literatur

- [1] F. Kohlrausch *Praktische Physik*, Bd.3 , Teubner 1996
- [2] Geschke *Physikalisches Praktikum* Teubner
- [3] Walcher *Praktikum der Physik* Teubner