

## Mechanik:

# Viskosität und Oberflächenspannung

### Aufgabenstellung:

- A) Im ersten Versuch wird die **dynamische Viskosität**  $\eta$  von Flüssigkeiten mit Hilfe des Haake Kugelfall-Viskosimeters bestimmt.
- B) Im zweiten Versuch ist die **Oberflächenspannung**  $\sigma$  von reinem Wasser und Wasser versetzt mit Spülmittel mit der Abreißmethode zu messen.

### Experimentelle Vorgangsweise:

**A) Viskosität:** Die dynamische Viskosität  $\eta$  von Flüssigkeiten wird mit Hilfe des Haake Kugelfall-Viskosimeters bestimmt. Dabei wird die Fallzeit  $t$  einer genau definierten Kugel in einem vertikal gestellten Glasrohr, gefüllt mit der zu untersuchenden Flüssigkeit (in diesem Fall reines Glycerin), gemessen.

- Das Viskosimeter wird zunächst mittels der drei Nivellierschrauben ausgerichtet.
- Das Instrument wird entarretiert und um  $180^\circ$  umgeschwenkt. Die Kugel fällt dabei in die Anfangslage.
- Dann wird wiederum umgeschwenkt und in Normalstellung fixiert. Die Fallzeit  $t$  und ihre Unsicherheit  $\Delta t$  wird bestimmt.
  - Sobald die untere Kugelperipherie die anvisierte obere Ringmarke, die als Strich erscheinen muß, zu berühren scheint, wird mittels der Stoppuhr der Anfang und ebenso an der unteren Ringmarke das Ende der Fallzeit  $t$  gemessen.
- Die Messung wird 5 mal durchgeführt, damit ein Mittelwert und eine Standardabweichung (95% Konfidenz) bestimmt werden kann.

### **B) Oberflächenspannung von Flüssigkeiten**

Die Oberflächenspannungen  $\sigma$  von reinem Wasser und von Wasser versetzt mit einem Tropfen Spülmittel sind mit Hilfe der sogenannten Abreißmethode zu bestimmen (ein Behälter mit der Flüssigkeit wird so lange langsam abgesenkt, bis der Flüssigkeitsfilm zwischen einem eingetauchten Aluminiumring und der Flüssigkeitsoberfläche reißt).

- *Vor dem Eintauchen* des Aluminiumringes muß der Kraftmesser durch Verschieben der Hülse auf "0" gestellt werden.
- Dann wird der Aluminiumring, welcher an dem Kraftmesser befestigt ist, in die Flüssigkeit getaucht.
- Anschließend wird der Behälter mit der Flüssigkeit so lange langsam abgesenkt, bis der Flüssigkeitsfilm zwischen Ring und Flüssigkeitsoberfläche reißt. Die Kraft  $F$ , die der Kraftmesser beim Abreißen anzeigt, ist zu notieren. Wie groß ist der Ablesefehler?

- Das Experiment wird für jede der beiden Flüssigkeiten fünfmal wiederholt -> Minimierung der statistischen Fehler -> Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung (95% Konfidenz).
- Anschließend Berücksichtigung von systematischen Fehlern  $\Rightarrow$  Wie groß ist der Gerätefehler?  $\Rightarrow$  Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Standardabweichung} + \text{Gerätefehler}$ .
- *Es ist zu beachten, daß der Aluminiumring beim Wechsel der Flüssigkeit zu reinigen ist.*

### Auswertung:

A) Die Berechnung der Viskosität  $\eta$  in Centipoise erfolgt nach der folgenden Formel:

$$\eta = t (\rho_k - \rho_f) K$$

dabei bedeuten

$\eta$  absolute dynamische Viskosität in Centipoise

$t$  Fallzeit der Kugel in Sekunden

$\rho_k$  Dichte der Kugel in  $\text{g/cm}^3$  (7.706  $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_f$  Dichte der Flüssigkeit in  $\text{g/cm}^3$  (1.260  $\text{g/cm}^3$ )

$K$  Kugelkonstante ( $K = 4.46$ )

Da die Beiträge der Unsicherheiten der Dichten und der Kugelkonstante vernachlässigbar sind gegenüber der Unsicherheit der Fallzeit, ist die Unsicherheit  $\Delta\eta$  der Viskosität gegeben durch  $\Delta\eta = \Delta t (\rho_k - \rho_f) K$

*Wichtig: Zur Angabe der Viskosität gehört die Angabe der Messtemperatur !.*

Zu B):

Bei der Abreißmethode ergibt sich die Oberflächenspannung  $\sigma$  aus  $\sigma = F / 2 l$ , wobei  $F$  die am Kraftmesser abgelesene Abreißkraft und  $l = 2 \pi R$  ( $R$  ... Radius des Ringes) der Umfang des Ringes ist.

Sowohl für reines Wasser als auch für Wasser + Spülmittel wird die Oberflächenspannung  $\sigma$  und ihr relativer Fehler  $\Delta\sigma/\sigma = \Delta F/F + \Delta l/l$  (wobei  $\Delta l/l = \Delta R/R$ , wieso?) bestimmt. Die Ergebnisse sind zu diskutieren.

### Vorbereitung:

- H. Tritthart: *Medizinische Physik und Biophysik*, 2001, Schattauer GmbH Stuttgart
  - Kap. 2.2 Struktur der Materie; Flüssigkeiten; Kap. 2.3 Hydrostatik und Hydrodynamik; Hydrostatischer Druck; Oberflächenspannung; Hydrodynamik; Strömungsrichtung und Strömungsstärke; Laminare und turbulente Strömungen, Reynolds-Zahl; Sinkgeschwindigkeit;
  - Kap. 1.5 Statistik; Kap. 1.5.3 Häufig vorkommende Verteilungsfunktionen; Normalverteilungsfunktion; Kap. 1.6 Darstellung von Messwerten.
- W. Hellenthal: *Physik für Mediziner und Biologen*, 7. Auflage 2002, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart
  - Kap. 3.2 Flüssigkeiten; Kap. 3.2.1 Schweredruck, Stempeldruck; Kap. 3.2.4 Reibungsfreie Flüssigkeitsbewegung; Kap. 3.2.5 Viskosität (Zähigkeit, innere Reibung); Kap. 3.2.6 Grenzflächeneffekte;
- A. Trautwein, U. Kreibig, E. Oberhauser, J. Hüttermann: *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*, 5. Auflage 2000, Walter de Gruyter Berlin
  - Kap. 2.1 Die träge Masse; 5.1.1 Bindungsarten; 5.1.2 Molekulares Bild der Aggregatzustände; Kap. 5.3 Makroskopische mechanische Eigenschaften von Flüssigkeiten; Kap. 5.3.1 Grenzflächen; Kap.

5.3.2 Hydrostatik; Kap. 5.3.2.1 Kapillarität; Kap. 5.3.3.2 Zähe Flüssigkeiten; Kap. 5.3.3.2.1 Viskosität; Kap. 5.3.3.2.2 Laminare Strömung; 5.3.3.2.3 Turbulente Strömung; Kap. 5.3.3.2.4 Strömungsgesetze und Blutkreislauf;

- Skriptum *Physikalische Grundlagen der Messtechnik*, Teil 1, 3 und Teil 6.

#### **Weiterführende Literatur:**

- G. Adam, P. Läger, G. Stark: *Physikalische Chemie und Biophysik*, Springer Verlag
- W. Walcher: *Praktikum der Physik*, Teubner Studienbücher Stuttgart

#### **WEB-Links**

- Dichte: [http://www.explorescience.com/activities/Activity\\_page.cfm?ActivityID=29](http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=29)
- Viskosität: <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node32.html>
- Laminare Strömung: <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node31.html>
- Blutsenkung, siehe <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node38.html#SECTION00322150000000000000>

#### **Anwendungsbeispiele für die physikalischen Begriffe *Viskosität* und *Strömungswiderstand***

- Beschreibung der Blutkreislaufes.
- Bestimmung des Molekulargewichtes von Makromolekülen mittels bestimmter Viskosimeter.
- Bestimmung der Aktivität von Enzymen (Stärkestoffwechsel).
- Theorie zum Wassertransport im Xylem grüner Pflanzen.