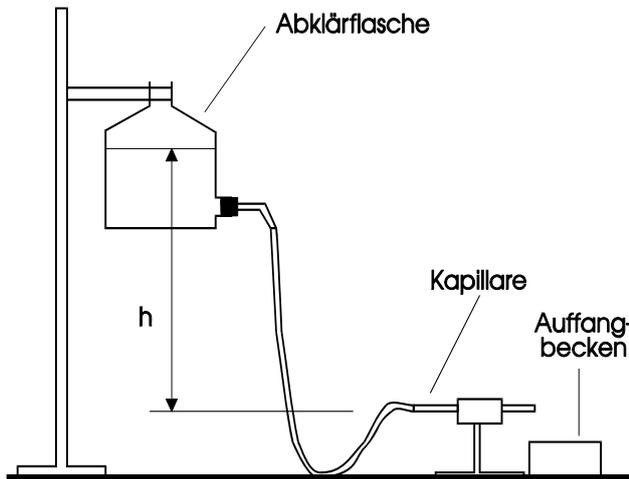


Mechanik:

Hagen-Poiseuille-Gesetz

Aufgabenstellung:

In diesem Versuch sind die Durchflußrate durch Kapillarröhrchen mit gegebenem Durchmesser als Funktion der Höhe der Flüssigkeitssäule, und der Flußwiderstand als Funktion des Kapillarradius zu bestimmen.



Versuchsaufbau zum Hagen-Poiseuille Gesetz

Experimentelle Vorgangsweise:

Hagen-Poiseuille: Aus einer Abklärflasche, welche einen Flüssigkeitsspiegel in der Höhe h relativ zu einem Kapillarröhrchen besitzt ($h = 70, 50, 30$ cm), wird ein Volumen V von bis zu 70 ml Wasser in ein Gefäß abgelassen. Die Zeit t (mindestens 5 s), die zum Ablassen des Volumen V notwendig ist, wird mit einer Stoppuhr gemessen. Daraus kann die Volumdurchflußrate bzw. Flüssigkeits-Stromstärke $I = V/t$ bestimmt werden. Die Messunsicherheiten ΔV und Δt sollen abgeschätzt werden. Diese Prozedur

wird mit 4 Kapillarröhrchen mit Innendurchmesser $d = 3.5, 2.4,$ und 1.4 mm, jeweils für die Höhen $h = 70, 50,$ und 30 cm durchgeführt. Es ist günstiger bei einem gegebenen Kapillarröhrchen die Höhe h der Kapillare zu verändern als umgekehrt bei einer festen Höhe h die Kapillarröhrchen auszutauschen. **Es ist zu beachten, daß beim Wechsel der Kapillarröhrchen keine Luftblasen im Schlauch entstehen, da sich ansonsten kein kontinuierlicher Flüssigkeitsstrom einstellt.**

Auswertung:

Die Volumdurchflußraten I und ihre Unsicherheiten ΔI (da $I = V/t = V t^{-1}$ die Form eines Potenzproduktes hat ->

aus Fehlerfortpflanzung $\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta t}{t}$) sind in einem Diagramm als Funktion der Höhe h mit dem

Kapillardurchmesser d als Parameter zu zeichnen.

Die Druckdifferenz Δp zwischen den Enden der Kapillare ist die treibende Kraft zur Überwindung der Reibungskraft. Wenn die Kapillare waagrecht steht, ist Δp gleich dem hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule der Höhe h

$$\Delta p = \rho g h$$

mit ρ ... Flüssigkeitsdichte ($\rho = 0.998(1) \text{ g cm}^{-3}$ bei 20°C), g Erdbeschleunigung ($g = 9.81(1) \text{ m s}^{-2}$).

Damit kann der Flußwiderstand

$$R = \Delta p / I$$

für unterschiedliche Kapillarradii $r = d/2$ bestimmt werden. Für die Höhen h wird der dekadische Logarithmus des Flußwiderstandes R als Funktion des dekadischen Logarithmus des Kapillarradius r gezeichnet. Laut Hagen-Poiseuille-Gesetz sollte bei laminarer Strömung der folgende theoretische Zusammenhang gelten:

$$R = \frac{\Delta p}{I} = \frac{8\eta l}{\pi r^4} \propto r^{-4}.$$

Die Steigungen der in die Datenpunkte gelegten Ausgleichgeraden sind zu berechnen. Stimmt die theoretische und die experimentelle Radius-Abhängigkeit überein? Mögliche Meßfehler sind abzuschätzen und die Ergebnisse sind zu diskutieren.

Weiterführende Literatur:

- 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; Hydrodynamik; Strömungsrichtung und Strömungsstärke; Laminare und turbulente Strömungen, Reynolds-Zahl; Hagen-Poiseuille-Gesetz;
 - Kap. 1.5.3 Häufig vorkommende Verteilungsfunktionen; Normalverteilungsfunktion; Kap. 1.5.5 Regressionsgerade; 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);
- A. Trautwein, U. Kreibig, E. Oberhauser, J. Hüttermann: *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*, 5. Auflage 2000, Walter de Gruyter Berlin
 - Kap. 5.3 Makroskopische mechanische Eigenschaften von Flüssigkeiten; Kap. 5.3.2 Hydrostatik; Kap. 5.3.2.2 Druck in Flüssigkeiten; 5.3.3 Hydrodynamik; Kap. 5.3.3.1 Die Kontinuitätsgleichung; Kap. 5.3.3.2 Zäh 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.

Siehe auch

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

WEB-Links

- Gesetz von Hagen-Poiseuille: <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node33.html#SECTION00322120000000000000>
- 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.