

Dichte von Körpern, Oberflächenspannung von Flüssigkeiten

Aufgabenstellung:

- A) Die Masse m , das Volumen V und in weiterer Folge die **Dichte** $\rho = m/V$ von Körpern ist zu bestimmen.
- B) Die **Oberflächenspannung** σ von reinem Wasser und Wasser versetzt mit Spülmittel ist mit der Abreißmethode zu messen.

Experimentelle Vorgangsweise:

A) Archimedische Waage

Die zur Verfügung stehende Waage wird zunächst exakt austariert. Dann wird die Masse m_k der 5 Probekörper (Blei, Kupfer, Messing, Stahl, Plexiglas) durch Abwägen bestimmt. Wie groß ist der absolute Meßfehler Δm_k bei der Massenbestimmung? Wie groß ist der relative Fehler $\Delta m_k/m_k$?

Das Volumen $V_k = a_x a_y a_z$ der Probekörper wird durch Abmessen der Seitenlängen a_i mit der Schublehre festgestellt.

Die Noniusskala auf der Schublehre erlaubt eine Ableseunsicherheit von ± 0.05 mm.

Der Gerätefehler der Schublehre ist ± 0.05 mm.

Gesamtfehler $\Delta a_i = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler} \Rightarrow$ hier $a_x \approx a_y \approx a_z = a_k \Rightarrow$ relativer Fehler: $\Delta V_k/V_k = 3 \Delta a_k/a_k$.

Das Volumen V_k wird auch mit Hilfe des Archimedischen Prinzips ermittelt. Beim Eintauchen des Körpers in Wasser ergibt sich ein Gewichtsverlust ΔG_k , der gleich dem Gewicht G_{H_2O} des verdrängten Wassers ist (Erdbeschleunigung $g = 9.81(1)$ m s⁻²). Daraus kann die Masse m_{H_2O} des verdrängten Wassers bestimmt werden. Bei bekannter Massendichte ρ_{H_2O} des Wassers ($\rho_{H_2O} = 0.998(1)$ g cm⁻³ bei 20°C) ergibt sich daraus das Volumen V_{H_2O} des verdrängten Wassers und damit das Volumen V_k des Körpers.

Wie groß ist in diesem Fall der relative Fehler des Volumens $\Delta V_k/V_k$? $\Rightarrow \Delta V_k/V_k = \Delta m_{H_2O}/m_{H_2O} + \Delta \rho_{H_2O}/\rho_{H_2O}$

B) Oberflächenspannung von Flüssigkeiten

Die Oberflächenspannungen σ 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 eingetauchtem 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:

zu A): Die Dichte $\rho_k = m_k/V_k$ der Probekörper soll nach den beiden Methoden bestimmt werden.

Die relativen Meßfehler $\Delta m_k/m_k$ und $\Delta V_k/V_k$ sind zu bestimmen \Rightarrow Indirekte Messung der Dichte $\rho_k = m_k/V_k \Rightarrow$ Fehlerfortpflanzung \Rightarrow relativer Fehler der Dichte: $\Delta \rho_k/\rho_k = \Delta m_k/m_k + \Delta V_k/V_k$.

Das Ergebnis ist zu diskutieren. Welche der beiden Methoden ist die genauere? Stimmen die Werte der nach beiden Methoden ermittelten Dichten innerhalb der jeweiligen Grenzen überein? Welcher Vorteil hat die Methode nach Archimedes?

Zu B):

Bei der Abreißmethode ergibt sich die Oberflächenspannung σ aus $\sigma = F / 2l$, 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 σ 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.

Weiterführende Literatur:

- **W. Hellenthal:** *Physik für Mediziner und Biologen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart
- **A. Trautwein, U. Kreibig, E. Oberhauser, J. Hüttermann:** *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*, Walter de Gruyter Berlin
- **H. Tritthart:** *Medizinische Physik und Biophysik*, Schattauer Stuttgart
- **G. Adam, P. Läuger, G. Stark:** *Physikalische Chemie und Biophysik*, Springer Verlag
- **W. Walcher:** *Praktikum der Physik*, Teubner Studienbücher Stuttgart

Schlagworte:

- Masse und Gewicht
- Impuls, Kraft, Druck, hydrostatischer Druck
- Archimedisches Prinzip (Auftrieb)
- Oberflächenspannung, Oberflächenenergie
- Kapillareffekt
- Benetzende und nichtbenetzende Flüssigkeiten
- Lennard-Jones-Potential

WEB-Links

- Dichte: http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=29
- Physikalische Eigenschaften der Elemente, am Beispiel Blei:
<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Pb/phys.html>
- Auftrieb: <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/buoyantForce/buoyantForce.html> bzw. <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node23.html>
- Schiebellehre: <http://www.phy.ntnu.edu.tw/~hwang/ruler/vernier.html>
- Oberflächenspannung: <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node42.html#SECTION00330000000000000000>
- Auswertung: Mittelwert und Standardabweichung:
<http://www.sbg.ac.at/bio/people/musso/lehre/messmethoden/teil4/statistische-abweichungen.htm>

Anwendungsbispiel für die physikalischen Größen Dichte und Oberflächenspannung

- Zentrifugation nach einem Dichtegradienten zur Auftrennung von Zellbestandteilen.
- Beispiel Blutsenkung: <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node23.html>
- Medizinische Relevanz der Oberflächenspannung: <http://iva.uni-ulm.de/PHYSIK/VORLESUNG/fluidemedien/node43.html#SECTION003301000000000000>
- Enzymkinetische Praktika. Auftrennung von Proteinen.
- SCHARDAKOFF-Methode zur Bestimmung des osmotischen Wertes des Cytoplasmas.
- Osmometer, die nach dem Prinzip der Oberflächenspannung arbeiten.
- siehe auch dtv-Atlas zur Ökologie, Deutscher Taschenbuch Verlag:
 - Wasser als ökologischer Faktor
 - Leben in Wasser