

Versuch M9 für Physiker

Oberflächenspannung

I. Physikalisches Institut, Raum 103
Stand: 20. April 2016



generelle Bemerkungen

- bitte Versuchsaufbau (rechts, links) angeben
- bitte Versuchspartner angeben
- bitte Versuchsbetreuer angeben
- bitte nur handschriftliche Auswertung

1 Einleitung

2 Vorbereitung (zu Hause)

Was Sie zur Vorbereitung lernen sollten (Literatur im Anhang):

- Zwischenmolekulare Kräfte (Ursachen, Reichweiten)
Spezifische Oberflächenenergie und Oberflächenspannung (Definition, Einheiten, Größenordnungen)
Kapillarkräfte, benetzende und nicht benetzende Flüssigkeiten
U-Rohr-Manometer, hydrostatischer Druck
Auftrieb, spezifisches Gewicht, Dichte
Einfluss geringer Verunreinigungen auf Oberflächenspannung und Dichte
- Die in Abschnitt 4 beschriebenen Herleitungen sollten von den Praktikanten verinnerlicht werden.

3 Versuchsaufbau und -beschreibung

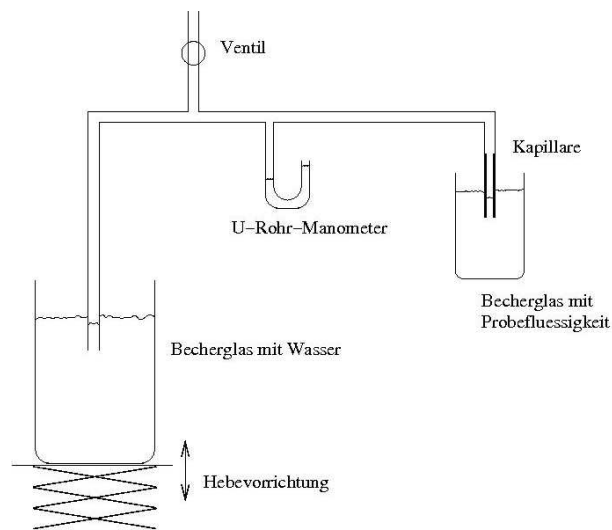


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus

In einem kleinen Becherglas befindet sich eine unbekannte Testflüssigkeit (rechts im Bild), dessen Oberflächenspannung σ ermittelt werden soll. Dazu steckt man eine Glaskapillare mit Innenradius r in diese Testflüssigkeit. Man kann die Steighöhe der Flüssigkeit in der Kapillaren unter Normaldruck (Atmosphärendruck) bestimmen, indem man das Ventil öffnet, oder man kann bei geschlossenem Ventil den Luftdruck in der Kapillaren mit Hilfe des

mit Wasser gefüllten Becherglases (links im Bild) erhöhen. Den Luftdruck in dem Röhrensystem kann man am U-Rohr-Manometer ablesen.

Zubehör:

- 3 kleine Bechergläser (für Probenflüssigkeit), 1 grosses Becherglas (für Wasser)
- 1 Kapillare
- Messapparatur zur Bestimmung der Oberflächenspannung
- Kathetometer zum Messen der Steighöhe in der Kapillaren
- Wasserstrahlpumpe zum Reinigen und Trocknen der Kapillaren
- Elektrische Waage zum Bestimmen des Kapillarengewichtes

4 Benötigte Formeln

4.1 Steighöhe in Kapillaren

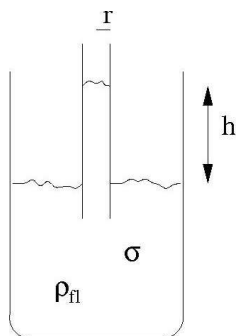


Abbildung 2: Steighöhe in Kapillaren

Die Probenflüssigkeit mit der Oberflächenspannung σ und der Dichte ρ_{fl} habe in der Kapillaren mit Radius r die Steighöhe h (siehe Skizze). Mit der Definition der Oberflächenspannung $\sigma = \frac{dE}{dA}$ (man benötigt die Energie dE um die Oberfläche um dA zu vergrössern) und dem Energiesatz kann man σ folgendermassen bestimmen:

Soll die Flüssigkeitssäule der Höhe h und Masse m um ein Stück dh weiter angehoben werden, so braucht man die Energie $dE_{pot} = mgdh = \rho_{fl}\pi r^2 hgdh$. Da die Flüssigkeitsoberfläche des innen benetzenden Films um $dA = 2\pi r dh$ kleiner wird, gewinnt man die Energie $dE_o = \sigma 2\pi r dh$. Die Höhe h stellt sich so ein, dass $E(h)$ ein Minimum wird, d.h. $d/dh(E_{pot} - E_o) = 0$. Daraus folgt

$$\sigma = \frac{1}{2}\rho_{fl}rhg. \quad (1)$$

Mit diesem Zusammenhang kann man die Oberflächenspannung σ aus der Steighöhe h unter Atmosphärendruck bestimmen (d.h. bei geöffnetem Ventil).

4.2 Gegendruckmethode

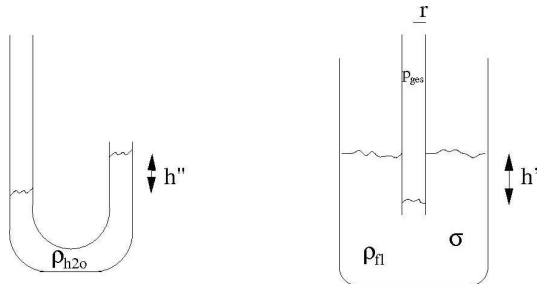


Abbildung 3: Gegendruckmethode

Durch Anlegen eines Luftdruckes p_{ges} in der Kapillaren kann man dessen Flüssigkeitsspiegel unter die Flüssigkeitsoberfläche drücken (siehe Skizze). Den Luftdruck über der Flüssigkeitssäule kann man am U-Rohr-Manometer ablesen als $p_{ges} = \rho_{h2o}gh''$. Es gilt

$$p_{ges} = p_{kap} + p_{hyd}, \quad (2)$$

wobei $p_{hyd} = \rho_{fl}gh'$ der Druck aufgrund des Höhenunterschiedes h' in der Kapillaren ist (hydrostatischer Druck), und $p_{kap} = \frac{2\sigma}{r}$ der Kapillardruck aufgrund der Oberflächenspannung. Diesen Kapillardruck kann man sich veranschaulichen als den Druck, der die Flüssigkeitssäule bei $h' = 0$ weiter nach oben treiben will (wie in Abb. 2). Fasst man diese Formeln zusammen, so ergibt sich

$$\sigma = \frac{1}{2}rg (\rho_{h2o}h'' - \rho_{fl}h'). \quad (3)$$

5 Durchführung (im Praktikum)

1. Bestimmung des Radius einer Kapillaren:

Wählen Sie eine beliebige Kapillare aus. Saugen Sie destilliertes Wasser in die Kapillare, messen sie die Länge des Wasserfadens mit einem Massstab, wobei kein Wasser aus der Kapillare tropfen darf, und wiegen sie die Kapillare (ausser abtrocknen!). Aus dem Gewicht des Wasserfadens und seiner Länge erhalten Sie den Innenradius r der Kapillare. (Eventuell ist es günstiger, die Kapillare durch Eintauchen in einen hinreichend hohen, mit destilliertem Wasser gefüllten, Zylinder zu füllen.)

2. Bestimmung der Oberflächenspannung der 3 Probeflüssigkeiten:

(a) **Reinigung:** Reinigen Sie das Probenglas und die Kapillare sorgfältig mit der zur Verfügung stehenden Reinigungsflüssigkeit und trocknen sie alles gut ab! Saugen sie hierzu die Reinigungsflüssigkeit mit der Wasserstrahlpumpe aus dem Becherglas durch die Kapillare. Trocknen sie die Kapillare durch ansaugen von genügend Luft! Achtung: Alle ausgegebenen Flüssigkeiten (einschliesslich der Reinigungsflüssigkeit) dürfen nicht in die Vorratsflaschen zurück gegossen werden. Schütten sie alle Flüssigkeiten nach Gebrauch in die hierfür vorgesehene Flasche 'Gebrauchte Lösungsmittel'.

(b) **Messung der Steighöhe in der Kapillaren:** Stecken sie die Kapillare **vorsichtig** in den Schlauch der belüfteten Messapparatur und klemmen Sie es in die Halterung ein. Füllen Sie etwas Probenflüssigkeit in das kleine (saubere) Becherglas, stellen Sie dieses unter die Kapillare und justieren Sie Becherglas und Kapillare so, dass Sie den Flüssigkeitsspiegel in dem Becherglas und in der Kapillaren mit dem Kathetometer gut ablesen können.

Das Kathetometer ist ein sehr empfindliches Messgerät! Betätigen Sie die Verstellschrauben bitte gefühlvoll und wenden Sie am Endanschlag der Schrauben keine Gewalt an!

Schliessen sie das Belüftungsventil, geben sie durch Anheben des Standzylinders einen Druck auf die Apparatur und stellen sie fest, ob die Apparatur dicht ist (U-Rohr-Manometer)! Belüften sie die Apparatur wieder und messen Sie die Steighöhe h der Probenflüssigkeit in der Kapillaren.

(c) **Kompensation des Kapillardrucks mittels eines Gegendruckes:** Schliessen Sie anschliessend das Belüftungsventil und drücken Sie die Flüssigkeitssäule in der Kapillaren ca. 5-10 mm unter das Flüssigkeitsniveau des Becherglases (wie in Abb. 3 gezeigt). Den Druckanstieg in dem Röhrensystem bewirken Sie mit der Hebevorrichtung und dem Wasserglas. Lesen sie am U-Rohr-Manometer den Druck ab (h'') und messen Sie den den Höhenunterschied h' bei der Testflüssigkeit.

6 Auswertung und Diskussion (im Praktikum / zu Hause)

Berechnen Sie aus den mit den zwei Messmethoden erhaltenen Ergebnissen die Oberflächenspannung der 3 Probenflüssigkeiten. Geben Sie Ihre Resultate in übersichtlicher Tabellenform an, in der Sie den Kapillarenradius und die Nummer der Flüssigkeiten angeben. Machen Sie auch eine Fehlerrechnung! Vergleichen Sie die zwei Messmethoden!

Tabelle 1: Dichten der Versuchflüssigkeiten

Flüssigkeit	Dichte [g cm ⁻³]
5	0.805
11	0.790
13	0.791
15	0.998

7 Literatur

- Fehlerrechnung:
http://www.astro.uni-koeln.de/teaching_seminars/AP/
<http://www.ph2.uni-koeln.de/fileadmin/Lehre/Anfaengerpraktikum/Fehler.pdf>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kathetometer>
- Meschede und Gerthsen: Physik, Springer, Berlin, 21. Aufl., 2002, Kapitel 3
http://www.ub.uni-koeln.de/digital/e_books/springer_links/index_ger.html
- Tipler: Physik, Heidelberg, Spektrum, Akad. Verlag, 1994, Kapitel 11
- Demtröder: Experimentalphysik 1, Springer, 2001, Kapitel 6
http://www.ub.uni-koeln.de/digital/e_books/springer_links/index_ger.html
- Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik I
- Walcher: Praktikum der Physik, Teubner

8 Sicherheitshinweise

Bitte beachten Sie die allgemeinen Sicherheitshinweise, die in der Praktikumseinleitung dargelegt wurden. Bitte auch Vorsicht beim Umgang mit den Chemikalien.