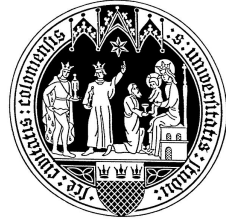


Versuch M9 für Physiker

Oberflächenspannung

Stand: 26. Juni 2023



generelle Bemerkungen

- bitte Versuchspartner angeben
- bitte Versuchsassistenz angeben
- bitte nur handschriftliche Auswertung

1 Einleitung

In diesem Versuch ermitteln Sie die Oberflächenspannungen von drei Testflüssigkeiten mit Hilfe der Kapillarität, häufig auch als Kapillareffekt bezeichnet. Dazu verwenden Sie zwei verschiedene Methoden:

- a) die Steighöhenmethode, bei welcher eine Glaskapillare unter Atmosphärendruck mit der Flüssigkeit in Kontakt gebracht wird, sodass die Flüssigkeit in der Kapillare steigt
- b) die Gegendruckmethode, welche einen Überdruck im Aufbau durch den hydrostatischen Druck eines mit Wasser gefüllten U-Rohr-Manometers veranschaulicht, wobei dieser Druck der Kombination von hydrostatischem Druck und Kapillardruck der Probenflüssigkeit entspricht

Ob eine Flüssigkeit in einer Kapillare steigt, ist abhängig vom Benetzungsverhalten bei Kontakt der Flüssigkeit mit der Oberfläche eines Festkörpers. Dieses Verhalten wird insbesondere durch Adhäsion und Kohäsion beschrieben. Im Fall der Benetzung wird die Schwerkraft überwunden und die Flüssigkeit steigt in einer Kapillare bis zu einem Punkt, welcher von verschiedenen Faktoren abhängt, wie unter anderem der Oberflächenspannung, um welche es in diesem Versuch geht.

2 Vorbereitung (zu Hause)

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

1.
 - 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 (Wichte), Dichte
 - Einfluss geringer Verunreinigungen auf Oberflächenspannung und Dichte
2. Die in Abschnitt 4 beschriebenen Herleitungen sollten von den Praktikanten verinnerlicht werden.

3 Versuchsaufbau und -beschreibung

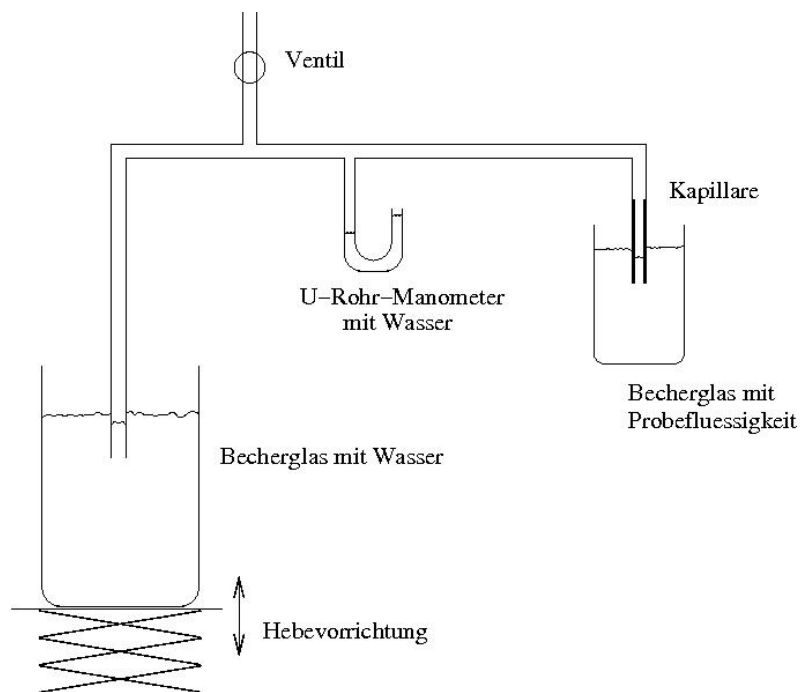


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus

In einem kleinen Becherglas befindet sich eine unbekannte Testflüssigkeit (rechts im Bild), deren Oberflächenspannung σ ermittelt werden soll. Dazu wird die Glaskapillare mit Innenradius r in die Testflüssigkeit gesteckt. Bei geöffnetem Ventil herrscht im System Normaldruck (Atmosphärendruck) und es kann somit die Steighöhe der Flüssigkeit in der Kapillare bestimmt werden. Alternativ kann bei geschlossenem Ventil der Luftdruck im System und somit in der Kapillare mit Hilfe des mit Wasser gefüllten Becherglases (links im Bild) erhöht werden. Der Druck in dem Röhrensystem kann am U-Rohr-Manometer abgelesen werden.

Zubehör:

- 1 kleines Becherglas (für die Probenflüssigkeiten)
- 1 großes Becherglas (für Wasser)
- 1 Glasröhrchen mit Kapillare
- Messapparatur zur Bestimmung der Oberflächenspannung
- Kathetometer zum Messen der Steighöhe in der Kapillare
- Wasserstrahlpumpe zum Reinigen und Trocknen der Kapillare
- Elektrische Waage zum Bestimmen der Masse des Wasserfadens

4 Benötigte Formeln

4.1 Steighöhe in der Kapillare

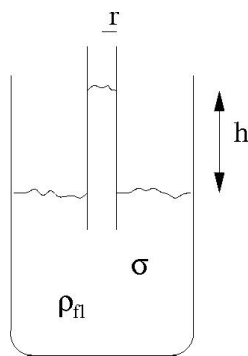


Abbildung 2: Steighöhe in der Kapillare

Die Probenflüssigkeit mit der Oberflächenspannung σ und der Dichte ρ_{fl} habe in der Kapillare 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 $dE_{pot} = mgdh = \rho_{fl}\pi r^2 h g dh$. Da Wasser im Kontakt mit Glas benetzend ist, würde es sich im horizontalen Fall flächig auf diesem ausbreiten, bis ein gewisser Kontaktwinkel zwischen Flüssigkeitsoberfläche und Glas erreicht ist. Dieser energetisch günstigere Zustand entspricht einer Vergrößerung der Oberfläche. Bei einer Glaskapillare „zieht“ sich das Wasser entsprechend in diese hinein und bewirkt somit eine Vergrößerung der Flüssigkeitsoberfläche um die Zylindermantelfläche der Flüssigkeitssäule, also $dA = 2\pi r dh$. Die entsprechende Energie ist $dE_A = \sigma 2\pi r dh$. Die Höhe h stellt sich so ein, dass $E(h)$ ein Minimum wird, d. h. $\frac{d}{dh} E(h) = \frac{d}{dh} (E_A - E_{pot}) = 0$. Daraus folgt

$$\sigma = \frac{1}{2} \rho_{fl} r h g. \quad (1)$$

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

4.2 Gegendruckmethode

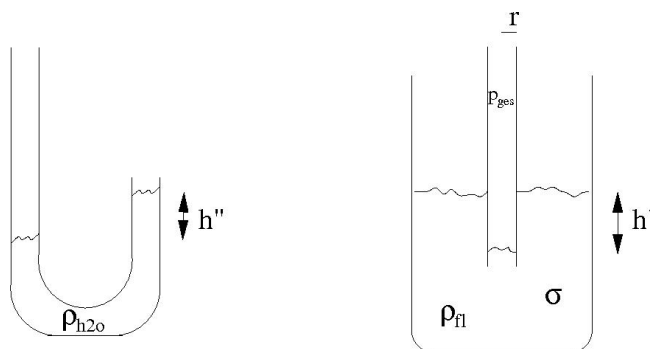


Abbildung 3: Gegendruckmethode

Durch Anlegen eines Luftdruckes p_{ges} in der Kapillare kann man dessen Flüssigkeitsspiegel unter die Flüssigkeitsoberfläche drücken (siehe Skizze). Den Luftdruck über der Flüssig-

keitssäule kann man am U-Rohr-Manometer ablesen als $p_{\text{ges}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}}gh''$. Es gilt

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

wobei $p_{\text{hyd}} = \rho_{\text{fl}}gh'$ der Druck aufgrund des Höhenunterschiedes h' in der Kapillare ist (hydrostatischer Druck), und $p_{\text{kap}} = 2\sigma/r$ 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

$$\sigma = \frac{1}{2}rg(\rho_{\text{H}_2\text{O}}h'' - \rho_{\text{fl}}h'). \quad (3)$$

5 Durchführung (im Praktikum)

Sicherheitshinweise:

Bitte beachten Sie die allgemeinen Sicherheitshinweise, die in der Praktikumseinleitung dargelegt wurden. Bitte auch Vorsicht beim Umgang mit den Chemikalien. Trinken Sie auf keinen Fall die Flüssigkeiten und vermeiden Sie, intensiv daran zu riechen!

Das Kathetometer ist ein sehr empfindliches Messgerät. Betätigen Sie die Verstellerschrauben bitte gefühlvoll und wenden Sie am Endanschlag der Schrauben keine Gewalt an. Einige Versuchsbestandteile, wie zum Beispiel Vorratsbehälter und Kapillarröhrchen, bestehen aus Glas und sind leicht zerbrechlich, sodass eine hohe Vorsicht erfordert ist. Diese Gegenstände können scharfe Bruchkanten aufweisen — passen Sie hier besonders auf. Falls doch etwas zerbrochen sein sollte, achten Sie darauf sich nicht zu schneiden. Schauen Sie sich vorher die Glasgegenstände des Versuchs genau an und informieren Sie gegebenenfalls die Versuchsassistenz über Beschädigungen. Gehen Sie auch mit der Waage äußerst vorsichtig um.

1. Bestimmung des Radius einer Kapillare:

Wählen Sie eine beliebige Kapillare aus. Saugen Sie entionisiertes Wasser in die Kapillare, messen Sie die Länge des Wasserfadens mit einem Maßstab, wobei kein Wasser aus der Kapillare tropfen darf, und wiegen Sie das Glasröhrchen (außen 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 entionisiertem 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 (siehe Nutzungshinweis beim Waschbecken) 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 Kapillare:** Stecken Sie das Glasröhrchen *vorsichtig* in den Schlauch der belüfteten Messapparatur und klemmen Sie es in die Halterung ein. Füllen Sie etwas Probeflüssigkeit 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 Kapillare mit dem Kathetometer gut ablesen können.

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 mit dem Kathetometer die Höhe des Flüssigkeitsspiegels und die des Flüssigkeitsfadens in der Kapillare, um damit später die Steighöhe h der Probeflüssigkeit bestimmen zu können.

- (c) **Kompensation des Kapillardrucks mittels eines Gegendruckes:** Schließen Sie anschließend das Belüftungsventil und drücken Sie die Flüssigkeitssäule in der Kapillare ein paar Millimeter unter das Flüssigkeitsniveau des Becherglases (wie in Abb. 3 gezeigt). Den Druckanstieg in dem Röhrensystem bewirken Sie mit der Hebevorrichtung und dem Wasserglas. Für die spätere Bestimmung von h'' nutzen Sie die Skala hinter dem U-Rohr-Manometer, indem Sie an dieser möglichst parallaxenfrei die Höhen h_{links} und h_{rechts} ablesen. Nutzen Sie für den Höhenunterschied h' bei der Testflüssigkeit wie zuvor das Kathetometer.

Denken Sie daran sich spätestens am Ende des Versuchs sinnvolle Messungenaugigkeiten für alle Messwerte zu überlegen.

6 Auswertung und Diskussion (zu Hause)

Berechnen Sie aus den mit den zwei Messmethoden erhaltenen Ergebnissen die Oberflächenspannung der 3 Probeflüssigkeiten. Geben Sie Ihre Resultate in übersichtlicher Tabellenform an, in der Sie den Radius der Kapillare und die Nummer der Flüssigkeiten angeben. Denken Sie daran für alle Ergebnisse auch Fehlerrechnungen vorzunehmen. Vergleichen Sie die zwei Messmethoden in der Diskussion und listen Sie (versuchsspezifische) Fehlerquellen auf, welche die Ergebnisse beeinflussen können.

Tabelle 1: Dichten der Versuchsflüssigkeiten

| Flüssigkeit | Dichte [g cm ⁻³] |
|-------------|------------------------------|
| 5 | 0.805 |
| 11 | 0.790 |
| 13 | 0.791 |
| 15 | 0.998 |
| 22 | 1.110 |

7 Literatur

- Fehlerrechnung und allgemeine Hinweise:
<https://www.astro.uni-koeln.de/AP/>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kathetometer>
- Meschede und Gerthsen: Physik, Springer Berlin Heidelberg, 25. Neuaufl. 2015
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45977-5>
- Tipler: Physik, Spektrum, Springer Berlin Heidelberg, 8. Aufl., 2019
- Demtröder: Experimentalphysik 1, Springer, Berlin, 8. Aufl. 2018
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-54847-9>
- Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik I
- Walcher: Praktikum der Physik, Teubner