

Bestimmung der Oberflächenspannung

nach der Abreißmethode

1 Ziel

Ziel dieses Versuchs ist die Untersuchung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten. Dabei soll mit Hilfe der Abreiß- oder Bügelmethode deren Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis für ein Wasser-Ethanol-Gemisch und von der Temperatur von Olivenöl bestimmt werden.

2 Motivation

Oberflächenspannung ist ein alltägliches, natürliches Phänomen mit weit reichenden Konsequenzen. Sie taucht in der Tröpfchenform von Flüssigkeiten auf Oberflächen oder von fallenden Regentropfen auf. Ein sehr bekanntes Beispiel sind auch Wasserläufer, die problemlos über Wasseroberflächen laufen können. Da die Oberflächenspannung von Flüssigkeitsgemischen von dem Mischungsverhältnis abhängt, ergibt sich die Konsequenz, dass in stark verschmutzten Tümpeln oder Seen die Oberflächenspannung zu gering ausfällt und hier keine Wasserläufer leben können.

3 Theorie

An der Oberfläche von Flüssigkeiten und Festkörpern treten Kräfte auf, die bestrebt sind, die Oberfläche zu verkleinern. In der Natur ist die Existenz dieser Kräfte am auffälligsten bei Flüssigkeiten zu beobachten, da Flüssigkeitsmoleküle gut gegeneinander beweglich sind. Entsprechend geben sie der Wirkung dieser Kräfte nach und bilden Oberflächen kleinstmöglicher Größe aus (z.B. die Wassertropfenform).

3.1 Kohäsion und Adhäsion

Wir unterscheiden zwei Arten von Kräften:

Kohäsionskräfte sind Anziehungskräfte zwischen den Atomen oder Molekülen ein und desselben Stoffes

Adhäsionskräfte sind Anziehungskräfte zwischen verschiedenen Atomen oder Molekülen verschiedener fester oder flüssiger Körper

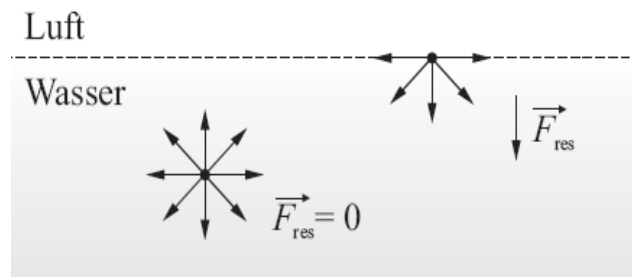


Abb. 1: Kohäsionskräfte in Flüssigkeiten

Ursachen dieser (makroskopischen) Kräfte sind auf mikroskopischer Ebene z.B. van-der-Waals- Wechselwirkungen, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen oder Wasserstoffbrückenbindungen. Diese Kräfte fallen mit dem Abstand sehr schnell ab, so dass in diesem Modell nur die nächsten Nachbarmoleküle wechselwirken.

Wir betrachten die auf zwei Moleküle einer Flüssigkeit wirkenden Kräfte: Das eine Molekül liege im Inneren der Flüssigkeit und das andere an der Oberfläche, die wir als Grenzschicht einer Flüssigkeit zur Luft annehmen (siehe Abb. 1). Im Flüssigkeitsinneren wirken ausschließlich Kohäsionskräfte; diese gleichen sich im zeitlichen Mittel aus, da keine Richtung vor einer anderen bevorzugt wird. Auf ein Molekül im Inneren wirkt also im zeitlichen Mittel keine resultierende Kraft \vec{F}_{res} .

Auf das Oberflächenmolekül wirkt streng genommen neben der Kohäsionskraft auch noch die Adhäsionskraft zwischen Flüssigkeit und Luft. Da diese jedoch vernachlässigbar klein ist, beschränken wir uns hier auf die Kohäsionskräfte. Diese wirken ausschließlich in die Flüssigkeit hinein bzw. an ihrer Oberfläche entlang, heben sich also nicht vollständig gegeneinander auf. Im Unterschied zum Flüssigkeitsinneren haben wir an der Oberfläche also eine nicht verschwindende resultierende Kraft, welche sozusagen die Oberfläche über der Flüssigkeit spannt.

3.2 Spezifische Oberflächenenergie

Soll ein Flüssigkeitsteilchen aus dem Inneren der Flüssigkeit an die Oberfläche gebracht werden, muss aufgrund der beschriebenen Kräfte dafür Arbeit die ΔW verrichtet werden. Durch dieses Teilchen wird die Flüssigkeitsoberfläche A um ΔA vergrößert. Der Quotient

$$\sigma = \frac{\text{Arbeit zur Bildung der neuen Oberfläche}}{\text{Zunahme der Oberfläche}} = \frac{\Delta W}{\Delta A} \quad (1)$$

heißt *spezifische Oberflächenenergie* oder auch *Oberflächenspannung*.

3.3 Abhängigkeit der Oberflächenspannung vom Mischungsverhältnis zweier Flüssigkeiten

Bei der Mischung zweier Flüssigkeiten reichert sich die Flüssigkeit mit der kleineren Oberflächenspannung in der Grenzschicht an, d.h. man erhält eine Mischung zweier Flüssigkeiten mit einem räumlich inhomogenen Mischungsverhältnis. Der Grund hierfür ist die Verringerung der Oberflächenenergie und somit der Gesamtenergie des Systems. Aufgrund des räumlich variierenden Mischungsverhältnisses erhalten wir keinen linearen Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung σ_{Misch} und Konzentration c (siehe Abb. 2).

Stattdessen gilt nach Szyskowski

$$\sigma_{\text{Misch}}(c) = \sigma(0) - A \cdot \log(1 + B \cdot c). \quad (2)$$

mit folgenden Bezeichnungen:

σ_{Misch} : Oberflächenspannung der Mischung

c : Konzentration der Flüssigkeit mit der geringeren Oberflächenspannung

A, B : Konstanten (A wenig und B stark stoffabhängig)

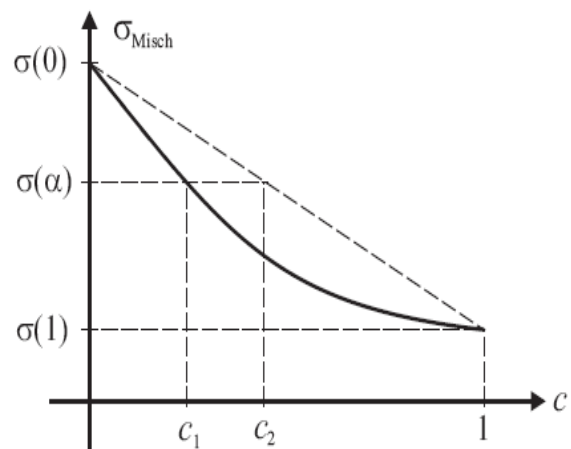


Abb. 2: Oberflächenspannung in Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses

3.4 Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung

Wird eine Flüssigkeit erwärmt, nimmt die kinetische Energie der Moleküle zu. Dadurch muß weniger Arbeit ΔW zugeführt werden, um ein Teilchen an die Oberfläche zu bringen. Die Oberflächenspannung nimmt ab, um bei der vom Stoff abhängigen kritischen Temperatur T_k für alle Flüssigkeiten den Wert 0 zu erreichen. Die kritische Temperatur T_k ist diejenige Temperatur eines Stoffes, oberhalb der nicht mehr zwischen Gasphase und Flüssigkeit unterschieden werden kann.

Experimentell findet man in einem weiten Temperaturbereich (Abb. 3) die folgende lineare Abhängigkeit für die molare Oberflächenspannung σ_m :

$$\sigma_m(T) = k_\sigma (T_{\text{lin}} - T), \quad (4)$$

wobei σ_m etwas umständlich über das Molvolumen V_m definiert ist: $\sigma_m = \sigma \cdot V_m^{2/3}$. Die *Eötvössche Regel* besagt, dass der Temperaturkoeffizient k_σ für fast alle Flüssigkeiten gleich groß ist:

$$k_\sigma \approx 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}^{2/3}} \quad (5)$$

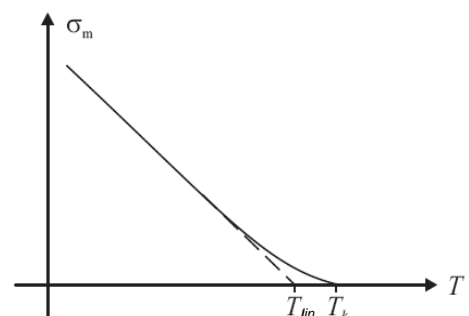


Abb. 3: Molare Oberflächenspannung in Abhängigkeit der Temperatur

4 Abreißmethode

In dem durchzuführenden Experiment wird ein Metallring (im Weiteren als Messring bezeichnet) mittels eines Kraftmessers vorsichtig aus der zu untersuchenden Flüssigkeit herausgezogen. Wie in Abb. 4 schematisch dargestellt, haftet dabei die Flüssigkeit durch Adhäsion am Metallring und es bildet sich ein Flüssigkeitsfilm.

Dadurch vergrößert sich die Oberfläche, was die Arbeit

$$\Delta W = F \cdot s \quad (6)$$

erfordert. F ist hierbei die Kraft, mit der der Metallring aus der Flüssigkeit gezogen wird, und s die Höhe des Flüssigkeitsfilms. In erster Näherung können wir die Kraft F entlang des Weges s als konstant annehmen. Wir messen diejenige Kraft F , bei der die Flüssigkeitsoberfläche unter dem Metallring reißt.

Die Vergrößerung der Oberfläche beträgt

$$\Delta A = 2 \cdot 2\pi \cdot R \cdot s \quad (7)$$

Da sich am Ring zwei Oberflächen, eine an der Innenseite des Flüssigkeitsfilms und die zweite an der Außenseite, muss der Faktor 2 eingefügt werden. R bezeichnet hier genau genommen den Mittelwert von Außen- und Innenradius des Ringes.

Korrekturen der gemessenen Kraft durch das Gewicht der angehobenen Flüssigkeitsmenge sind vernachlässigbar, da der Ring unten eine scharfe Schneide besitzt und der Flüssigkeitsfilms dadurch sehr dünn ist. Damit erhalten wir für die spezifische Oberflächenenergie

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F \cdot s}{2 \cdot 2\pi \cdot R \cdot s} = \frac{F}{4\pi \cdot R} \quad (8)$$

Hier zeigt sich, dass für die Bestimmung der Oberflächenspannung nur die Messung der Abreißkraft F nötig ist, was sich als sehr praktisch erweist.

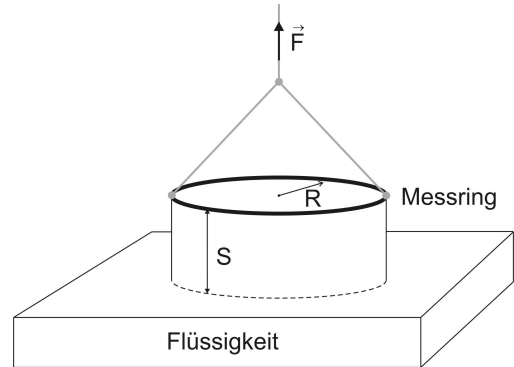


Abb 4: Messring mit der durch Adhäsion vergrößerten Oberfläche

5 Experiment

5.1 Material und Versuchsaufbau

Ein Torsionskraftmesser (Messgenauigkeit 0,1 mN) misst die Kraft F , die benötigt wird, mit dem Messring (Durchmesser $D = 2R = 19,65$ mm) die Oberfläche einer Flüssigkeit zu deformieren (siehe Abb. 4). Als Flüssigkeiten stehen Olivenöl, entmineralisiertes Wasser und Ethanol zur Verfügung.

5.2 Aufgabenstellung

Bestimmen Sie mit Hilfe des oben angegebenen Versuchsaufbaus:

- die Oberflächenspannung eines Wasser-Brennspiritus-Gemisches in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis im Bereich von 0 bis 100 % in 5 %-Schritten (Für die Mischung stehen Pipetten und eine Übersichtstabelle bereit)
- die Oberflächenspannung von Olivenöl in Abhängigkeit von der Temperatur in einem Bereich von 10 bis 30°C in 5°C-Schritten

5.3 Durchführung

Der Messring wird sehr sorgfältig mit Brennspritus entfettet, gründlich in destilliertem Wasser abgespült, abgetropft und mit einem Seidenfaden am linken Arm des Torsionskraftmessers befestigt. Der Zeiger des Kraftmessers wird auf „0“ gestellt und das Gewicht des Messrings mit den Schrauben am Hebelarm kompensiert, so dass sich der Hebelarm im weißen Zwischenfeld der Schneidenanzeige befindet.

In die sorgfältig gereinigte Petrischale wird die zu untersuchende Flüssigkeit gegossen und der Messring vollständig eingetaucht.

Für die Messung wird gleichzeitig die auf einem Stativtisch variabler Höhe postierte Petrischale abgesenkt und der Messring mit dem Torsionskraftmesser hochgezogen. Der Arm des Kraftmessers soll dabei stets waagrecht bleiben. Dabei wird der Flüssigkeitsfilm mit dem Messring hochgezogen. Nach dem Abreißen des Flüssigkeitsfilms wird die benötigte Kraft am Torsionskraftmesser abgelesen. Es ist darauf zu achten, dass während der Messungen keine Erschütterungen auftreten, da dies zu einem vorzeitigen Abreißen des Messringes und damit zu Fehlern bei der Bestimmung der Abreißkraft führen kann.

Zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit ist die Flüssigkeit mit einer Kochplatte zu erhitzen, die Aufnahme der Messwerte erfolgt während der anschließenden Abkühlung. Hierbei ist zu beachten, dass die Abkühlung bei hohen Temperaturen sehr schnell geht und darum die Aufnahme der ersten Daten etwas schwierig ist.

Die Daten werden in übersichtlicher Form schriftlich festgehalten.

Sicherheitshinweis: Bei der Versuchsdurchführung sind Schutzbrillen zu tragen!

5.4 Protokoll

Das Protokoll soll eine knappe Erläuterung der physikalischen Grundlagen und Begriffe enthalten. Das Abschreiben dieser Einführung ist nicht notwendig.

Der Versuchsaufbau und die Durchführung sollen genau beschrieben werden – auch im Hinblick auf mögliche Fehlerquellen.

Die Ergebnisse sollen grafisch dargestellt und mit der Theorie verglichen werden. Sofern die Daten fehlerhaft erscheinen, sollen die Ursachen der Fehler diskutiert werden.

Literatur:

- [1] Walcher, W.: *Praktikum der Physik*, 5. Auflage, Teubner Verlag, Stuttgart (1985)
- [2] Kohlrausch, F.: *Praktische Physik*, Band 1, 23. Auflage, Teubner Verlag, Stuttgart (1985)
- [3] Gobrecht, H.: Bergmann-Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Bd. 1. Walter de Gruyter, Berlin/Neu York (1974)
- [4] Lenk, R.: *Brockhaus abc, Physik*; 2. Auflage. VEB, Leipzig (1986)
- [5] Näser, K.-H.: *Physikalische Chemie für Techniker und Ingenieure*, 17. Auflage. VEB, Leipzig (1986)