



Versuchsanleitung

Oberflächenspannung I

Nummer: 08a
Kompiliert am: 29. März 2023
Letzte Änderung: 29.03.2023
Beschreibung: Bestimmung der Oberflächenspannung verschiedener Flüssigkeiten nach der Methode von Du Noüy.
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-la-phys/>

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	2
2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung	2
2.1 Theorie	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag	2
3 Kurze Zusammenfassung der Theorie	2
4 Versuchsdurchführung	4
4.1 Abreißmethode (<i>Du Noüy</i>)	4
4.2 Häufige Fehler	4
5 Versuchszubehör	4
6 Hinweise zur Ausarbeitung	4
6.1 Versuchsspezifisch	4
6.2 Allgemein	5
Literatur	6

1 Einführung

Die Oberflächenspannung ist neben Dichte und Viskosität die dritte wesentliche Eigenschaft von Flüssigkeiten. Die Oberflächenspannung beruht auf der gegenseitigen Anziehung der Moleküle. Innerhalb einer Flüssigkeit kompensieren sich die Anziehungskräfte infolge der allseitig gleichen Beeinflussung. An der Oberfläche hingegen werden attraktive Kräfte auf der Volumenseite durch die angrenzende Gasphase praktisch nicht erwidert, so dass eine senkrecht zur Oberfläche und zum Volumen hin gerichtete Kraft resultiert. Deshalb neigen Flüssigkeiten dazu, eine möglichst kleine Anzahl von Molekülen an der Oberfläche zu haben. Dies stellt eine Minimierung der Oberfläche dar, d.h. sie bilden bevorzugt eine Kugel.

In diesem Versuch soll die Oberflächenspannung mithilfe der Methode nach *Du Noüy* ermittelt werden.

2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

2.1 Theorie

- Zwischenmolekulare Kräfte und molekulare Modelle von Flüssigkeiten [BS08, Dem15]
- Spezifische Oberflächenenergie und Oberflächenspannung [BS08]
- Randwinkel und Benetzung [BS08]
- Änderung der Oberflächenspannung bei Lösungen [BS08]
- Normaldruck bzw. Krümmungsdruck (Young-Laplace-Druck mit Herleitung) [Dem15]
- Methoden zur Bestimmung der Oberflächenspannung (hier speziell die Abreiß- und die Blasendruckmethode) [Wal06]
- Weitere Literatur: [Mes06]

2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Blasenbildung, Schaumbildung
- Be-/Entnetzung: Flotation (Trennung von feinkörnigen Metallen)
- Ostwald-Reifung
- Superfluidität (He)
- Tenside, kolloidale Lösungen, Mizellen
- Kapillarelektrometer

3 Kurze Zusammenfassung der Theorie

Die Oberflächenspannung entsteht dadurch, dass Moleküle bzw. Atome durch Symmetriebrechung an der Oberfläche eine gerichtete Ad- bzw. Kohäsionskraft senkrecht zur Oberfläche

erfahren, also typischerweise in das Medium hinein. Dies kann auch so aufgefasst werden, dass die Bildung der Oberfläche Energie kostet. Dies entspricht der Energie pro Molekül bzw. Atom, die benötigt wird, das Molekül entgegen dieser Kraft aus dem Volumen des Mediums an die Oberfläche zu *heben*. Die Einheit der Oberflächenspannung σ ist also $[\sigma] = \text{J}/\text{m}^2 = \text{N}/\text{m}$. Letztere Identität ist deswegen interessant, weil sich die Oberflächenspannung tatsächlich auch so äußert, dass tangential zur Oberfläche eine Kraft pro Längeneinheit entsteht, die oberflächenverringert wirkt. Das heißt, spannt man eine Lamelle eines Fluids auf, so wird eine Kraft $F = 2\sigma l$ benötigt, diese aufgespannt zu halten, wobei l die Länge des Randes der Lamelle ist (Herleitung dieser Kraft siehe z.B. [Dem15]).

Diese Kraft gibt uns eine einfache Möglichkeit, die Oberflächenspannung experimentell zu bestimmen. Wir ziehen im homogenen Gravitationsfeld mit Schwerebeschleunigung g einen Ring bestehend aus einem Material, das sehr gut vom Fluid benetzt wird, aus der waagerechten Oberfläche. Dabei bildet sich in erster Näherung ein aufrechter Zylindermantel des Fluids, der an dem Ring mit Umfang $2\pi r$ haftet. Folglich wird eine zur Gewichtskraft zusätzliche Kraft $F_z = 4\pi r \sigma$ benötigt, diesen Ring zu halten, da die Lamelle nach unten zieht, und zwar an der Innen- und Außenseite des Zylindermantels. Übersteigt also die Gewichtskraft des am Ring hängenden Zylindermantels/Fluids die Oberflächenspannung, kann diese ihn nicht mehr halten und er reißt ab.

Diese Methode ist 1925 von Pierre Lecomte Du Noüy im *Journal of General Physiology* veröffentlicht worden und an Einfachheit nicht zu übertreffen! Man zieht einen Metallring aus einer Flüssigkeit und bestimmt die Maximalkraft, die benötigt wird, den Ring zu halten. Daraus ergibt sich sofort

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{4\pi r}. \quad (1)$$

Die Oberflächenspannung wird davon abhängen, welche Medien aneinander grenzen. Deswegen spricht man allgemeiner von der Grenzflächenspannung, wobei die Grenzflächen beliebige Phasen gegeneinander abgrenzen, also fest, gasförmig oder flüssig. Die Oberflächen-Kräfte $d\vec{F}$ und \vec{F} greifen stets tangential zur Oberfläche und senkrecht zur Grenzlinie an. Daher lautet die Gleichgewichtsbedingung für den Kontaktwinkel φ hier mit den Phasen 1 (fest, eben und horizontal), 2 (flüssig) und 3 (gasförmig) (vgl. nebenstehende Abb. 1)

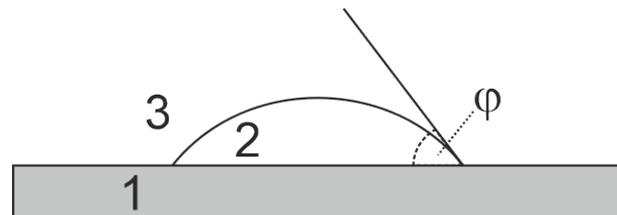


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt schematisch die Bedingungen bei der Bildung eines Kontaktwinkels.

$$\sigma_{12} + \sigma_{23} \cdot \cos(\varphi) = \sigma_{13}. \quad (2)$$

Dies betrifft die horizontale Komponente, die vertikale ist in der Regel irrelevant. Bei einem 'Fettauge' hätte der Tropfen unten keine ebene und horizontale Grenzfläche, sondern eine konvexe. Unter diesen Bedingungen würde man den oberen Winkel ebenfalls gegenüber der Horizontalen messen und entsprechend einen zweiten φ_u für die untere Grenzfläche einführen (der in Abb. 1 $\varphi_u = 0$ ist). Dann erhielte auch σ_{12} einen Kosinus-Faktor, so dass

$$\sigma_{12} \cdot \cos(\varphi_u) + \sigma_{23} \cdot \cos(\varphi) = \sigma_{13}. \quad (3)$$

4 Versuchsdurchführung

4.1 Abreibmethode (*Du Noüy*)

Vor Beginn der Messung sind Gefäße und Aluminiumring gründlich zu reinigen, erst unter laufendem Wasser und dann mit demineralisiertem Wasser. Nach jedem Flüssigkeitswechsel ist der Aluring zu reinigen. Die verschiedenen Konzentrationen erhält man dadurch, dass jeweils die Hälfte der Lösung weggeschüttet und mit demineralisiertem Wasser wieder aufgefüllt wird!

1. Führen Sie jeweils 5 Messungen für demineralisiertes Wasser (400 ml) und für eine Tensidlösung in 6 verschiedenen Konzentrationen (8 – 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 mmol/l) durch. Messen Sie für jede Konzentration fünf Mal die Maximalkraft. Bestimmen Sie auch das Molekulargewicht des Tensides und messen Sie die Menge der ersten Zugabe. Beachten Sie die Kalibrierung der Kraftmessung.
2. Messen Sie zudem die Temperatur der Flüssigkeit und den Durchmesser des Rings.
3. Abschließend lege man die Messgenauigkeit fest.

4.2 Häufige Fehler

- Ring nach jeder Messung reinigen
- Spritzen (Dosierhilfe) nicht verunreinigen

5 Versuchszubehör

- 1 Aluminiumring mit Schneide
- Stativmaterial und Hebebühne
- 1 Federwaage 10p
- Glasschalen, Büretten
- SDS, Kochsalz

6 Hinweise zur Ausarbeitung

6.1 Versuchsspezifisch

- *Bestimmung der Oberflächenspannung nach der Abreibmethode:*
 - Bestimmung der Oberflächenspannung aller Flüssigkeiten mit Größtfehler.
 - Diagramm: x mmol/l Tensidlösung (Oberflächenspannung / (N/m)).
Man beachte: Demineralisiertes Wasser entspricht 0 mmol/l!
 - Vergleich mit theoretischen Erwartungen bzw. theoretischen Werten.
 - Fehlerdiskussion.

6.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

Literatur

- [BS08] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 1: *Mechanik - Akustik - Wärme*. 12. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2008
- [Dem15] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015
- [Mes06] MESCHEDE, Dieter: *Gerthsen Physik*. 23. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2006
- [Wal06] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006