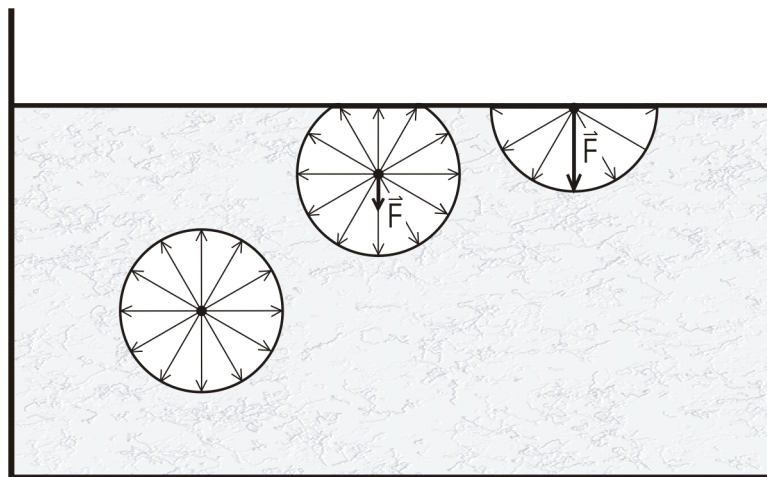


Oberflächenspannung

Versuchsinhalt

Zwischenmolekulare Kräfte, Grenzflächenenergie, Energieerhaltungssatz, Kapillarwirkung, Wirkung von Ionen und Tensiden, Benetzung, Lotus-Effekt



Experimente

Die Oberflächenspannung des Wassers wird bestimmt, indem man einen Ring aus dem Wasser zieht und die Kraft misst, die nötig ist, um zusätzliche Oberfläche in Form einer zylinderförmigen Flüssigkeitslamelle zu erzeugen (Abreißmethode).

Aus der Steighöhe des Wassers in verschiedenen dicken Kapillaren wird ebenfalls dessen Oberflächenspannung bestimmt.

Der Einfluss von Substanzen, die die Oberflächenspannung erhöhen (Ionen) bzw. verringern (Tenside) wird mit der Abreißmethode untersucht.

Das Benetzungsverhalten von Wasser auf verschiedenen Oberflächen wird durch Bestimmung des Kontaktwinkels untersucht.

Inhalt

I) THEORIE	3
1. Einführung	3
2. Wechselwirkungen zwischen Molekülen	3
3. Oberflächenspannung - Oberflächenenergie	5
4. Wirkung von Fremdstoffen auf die Oberflächenspannung	5
a) Kochsalz - Wasser	6
b) Tensid - Wasser	6
5. Grenzflächenspannung und Kontaktwinkel	6
II) METHODIK	7
1. Abreißmethode	7
2. Kapillarmethode	9
III) VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	10
1. Oberflächenspannung von Wasser, Ethanol und Kochsalzlösung (Abreißmethode)	10
2. Oberflächenspannung von Tensidlösungen (Abreißmethode)	11
3. Oberflächenspannung von Wasser und einer SDS-Lösung (Kapillarmethode)	11
4. Benetzung von Oberflächen	12
IV) ANHANG: DATEN ZUR KRITISCHEN MIZELLCONZENTRATION (CMC)	13

Stichworte zur Vorbereitung

Adhäsionskräfte, Kohäsionskräfte, Oberflächenspannung, Oberflächenenergie, Wechselwirkung zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit, Abreißmethode, Kapillarmethode, Tenside, CMC, Benetzung, Kontaktwinkel, Lotuseffekt

Literatur zum Versuch

- Adam, G., Läger, P., Stark, G: Physikalische Chemie und Biophysik, Springer-Verlag
- Gerthsen: Physik, Springer-Verlag, verschiedene Auflagen
- W. Walcher: Praktikum der Physik, Teubner Studienbücher

I) Theorie

1. Einführung

In unserer Umgebung gibt es zahlreiche Effekte, aus denen die Wirkung der Oberflächenspannung ersichtlich wird. So kennt man viele Insekten (z.B. den Wasserläufer), die sich auf der Wasseroberfläche fortbewegen können, ohne unterzugehen.

Für Transportvorgänge in Pflanzen ist der Kapillareffekt von Bedeutung. Das Aufsteigen von Flüssigkeiten in dünnen Kapillaren ist wiederum durch die Oberflächenspannung verursacht.

Mit einem einfachen Versuch kann man sich von der Wirkung der Oberflächenspannung überzeugen: Mit einiger Vorsicht gelingt es, eine Nadel auf einer Wasseroberfläche zum Schwimmen zu bringen. Drückt man dann auf das eine Ende der Nadel, so dass ihre Spitze durch die Wasseroberfläche hindurch stößt, so gleitet die ganze Nadel durch das entstandene "Loch" in der Wasseroberfläche hindurch.

Auch die Wirkung von Waschmitteln hängt mit der Oberflächenspannung zusammen. Gibt man z.B. in dem oben beschriebenen Experiment mit der schwimmenden Nadel etwas Spülmittel ins Wasser, so kann man beobachten, dass die Nadel untergeht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Wasch- und Reinigungsmittel Tenside enthalten, die die Oberflächenspannung des Wassers stark erniedrigen. Im Wasser können sich Aggregate aus Tensidmolekülen bilden („Micellen“), die in ihrem Inneren wasserunlösliche (hydrophobe) Substanzen aufnehmen können.

2. Wechselwirkungen zwischen Molekülen

Zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit wirken Kräfte, die mit dem Abstand sehr schnell abklingen. Deshalb kann man näherungsweise eine Reichweite L der Kraft angeben. Diese Reichweite ist abhängig von der Art der Kraft, sie liegt aber in der Regel in der Größenordnung von Nanometern (10^{-9} m).

Im wesentlichen treten folgende Kräfte in Flüssigkeiten auf:

- Ionische Coulombkräfte
- Dipol-Dipol-Kräfte
- Van der Waals Kräfte
- Wasserstoffbrücken

Die stärksten Kräfte, die auftreten können, sind die **ionischen Coulombkräfte**. Sie resultieren aus der Anziehung bzw. Abstoßung von geladenen Molekülen. Ihr Potential ist proportional zu $1/r$, deshalb haben sie im Vergleich zu den anderen Kräften eine große Reichweite. Sind keine Ladungen vorhanden, so verschwinden die ionischen Coulombkräfte und die Wechselwirkung beruht auf **Dipol-Dipol-Kräften**, falls die Moleküle ein permanentes Dipolmoment haben. Diese Kräfte sind kleiner als die der Coulombwechselwirkung und das Potential ist proportional zu $1/r^6$.

Haben die Moleküle kein permanentes elektrisches Dipolmoment (z.B. Cl_2 Moleküle), so kann dennoch eine Dipol-Dipol-Wechselwirkung über die **Van der Waals Kräfte** erfolgen. Diese Wechselwirkung kann man sich vereinfacht so vorstellen, dass durch die Elektronenbewegung in einem Molekül Fluktuationen der Ladungsdichte entstehen und so ein zeitweiliges Dipolmoment auftritt, das wiederum in Nachbar-Molekülen ein Dipolmoment induzieren kann. Das Potential der Van der Waals Wechselwirkung ist ebenfalls proportional zu $1/r^6$. Die genauere Erklärung ist nur mit Hilfe der Quantenmechanik möglich.

Als **Wasserstoffbrücke** bezeichnet man die anziehende Wechselwirkung zwischen zwei Molekülen oder weit entfernten Molekülteilen, die um ein Wasserstoffatom 'konkurrieren'. Dabei ist typischerweise das H-Atom an ein stark elektronegatives Atom eines Moleküls gebunden, was zu einer positiven Partialladung am Wasserstoff führt. Durch die anziehende Wechselwirkung mit freien Elektronenpaaren eines Atoms des Bindungspartners wird die eigentliche 'Brücke' gebildet, die typischerweise gepunktet dargestellt wird. Wasserstoffbrückenbindungen sind zwar schwächer als kovalente Bindungen, beeinflussen aber wesentlich die Eigenschaften von Stoffen: So sind sie verantwortlich für die große Oberflächenspannung und den hohen Siedepunkt von Wasser, aber auch für die Ausbildung der Struktur von Proteinen und Nukleinsäuren.

Um den Effekt der Oberflächenspannung besser zu verstehen betrachtet man die in Abb. 1 schematisch dargestellten Moleküle. Das linke Molekül befindet sich im Inneren der Flüssigkeit und wird von allen Richtungen gleich stark angezogen. Die resultierende Kraft auf das Molekül ist daher Null. Das mittlere Molekül ist nicht mehr von allen Seiten von anderen Molekülen umgeben, so dass auf das Molekül eine ins Innere der Flüssigkeit wirkende Kraft resultiert. Diese resultierende Kraft ist in der äußersten Molekülschicht der Flüssigkeit am größten (rechtes Molekül) und nimmt nach innen sehr rasch ab.

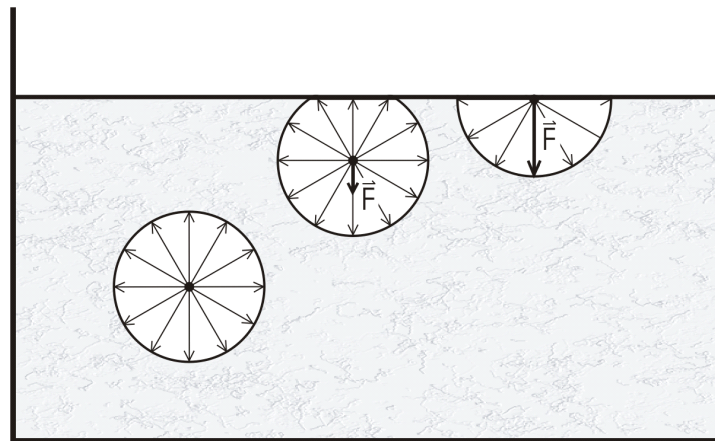


Abb.1: Zwischenmolekulare Kräfte auf Moleküle in einer Flüssigkeit

Direkt an der Oberfläche greifen auch Kräfte der Dampfphase an. Sie bewirken aber nur eine geringe Kraft nach außen.

Die resultierende Kraft F zieht das Molekül nach innen. Die unter dem Molekül liegenden Moleküle drücken jedoch mit der gleichen Kraft $-F$ nach oben. Es herrscht Kräftegleichgewicht. Steht über der Flüssigkeit nicht die Dampfphase, sondern eine andere Flüssigkeit oder die Gefäßwand, so spricht man von einer **Grenzflächenspannung**. Verantwortlich hierfür sind die sogenannten Adhäsionskräfte.

Kohäsionskräfte sind Kräfte zwischen gleichen Teilchen. Sie wirken im Inneren einer Flüssigkeit. **Adhäsionskräfte** sind Kräfte zwischen verschiedenen Materialien, hier also an den Grenzflächen.

3. Oberflächenspannung - Oberflächenenergie

Wegen der senkrecht zur Oberfläche auf die Grenzschichtmoleküle wirkenden Kräfte muss Arbeit verrichtet werden, wenn Moleküle an die Oberfläche gebracht, diese also vergrößert werden soll. Ist zur Bildung einer neuen Oberfläche ΔO eine Energiezufuhr ΔW erforderlich, so nennt man den Quotienten

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta O} \quad (1)$$

die **spezifische Oberflächenenergie** oder auch **Oberflächenspannung**.

Die Einheit der Oberflächenspannung ist folglich:

$$[\sigma] = \frac{J}{m^2} = \frac{Nm}{m^2} = \frac{N}{m}$$

Die Grenzschicht verhält sich wie eine Haut, die über dem Flüssigkeitsinneren gespannt ist. Die Stärke der Oberflächenspannung hängt von der Wechselwirkung der Moleküle untereinander und damit von den auftretenden Kohäsionskräften ab.

Zum Beispiel beträgt der Literaturwert der Oberflächenspannung von Ethanol etwa nur 1/3 des Wertes von Wasser (siehe Tabelle). Das Dipolmoment von Wasser ist etwa gleich groß wie das von Ethanol. Wasser bildet jedoch im zeitlichen Mittel 3-4 Wasserstoffbrücken, hingegen Ethanol nur 2. Somit sind die Anziehungskräfte der Ethanolmoleküle wesentlich geringer als die der Wassermoleküle.

In Tabelle 1 sind einige Werte für die Oberflächenspannung von verschiedenen Stoffen bei unterschiedlichen Temperaturen aufgeführt.

Tab.1: Oberflächenspannung verschiedener Flüssigkeiten

Temperatur	10°C	25°C	50°C	75°C	100°C
	σ (mN/m)	σ (mN/m)	σ (mN/m)	σ (mN/m)	σ (mN/m)
Flüssigkeit					
Wasser	74.23	71.99	67.94	63.57	58.91
Quecksilber	488.55	485.48	480.36	475.23	470.11
Methanol	23.23	22.07	20.14	-	-
Ethanol	23.22	21.97	19.89	-	-
3M NaCl-Lsg		82			

(Quelle: David R. Lide (Ed.): CRC Handbook of Chemistry and Physics. 75th Edition. Boca Raton, Florida, CRC Press 1994)

4. Wirkung von Fremdstoffen auf die Oberflächenspannung

Befinden sich Fremdstoffe in der Flüssigkeit, so werden die Wechselwirkungen der Moleküle untereinander beeinflusst. Somit ändert sich auch die Oberflächenspannung. Dieser Einfluss soll an zwei Beispielen diskutiert werden.

a) Kochsalz - Wasser

Kochsalz liegt in der Form von Ionen (Na^+ und Cl^-) vor, die von einer Hydrathülle umgeben sind. Die Coulombkräfte der Ionen erhöhen die Kohäsionskräfte und die Oberflächenspannung steigt somit an (in unserem Fall von 72 mN/m auf 82 mN/m). Es muss mehr Energie aufgewendet werden, um die Wassermoleküle an die Oberfläche zu bringen.

b) Tensid - Wasser

SDS (Natriumdodecylsulfat) ist ein anionisches Tensid. Dieses und ähnliche Tenside finden sich in jeder Seife und in jedem Spülmittel.

SDS besitzt eine Sulfatgruppe als hydrophilen Kopf sowie einen hydrophoben Schwanz in Form einer Kohlenwasserstoffkette (Abb. 2a). Gibt man etwas SDS in Wasser, so verteilen sich die SDS-Moleküle nicht nur in der Lösung, sondern lagern sich bevorzugt, mit dem hydrophilen Kopf ins Wasser zeigend, in die Oberfläche ein („oberflächenaktive Substanzen“). Diese Veränderung der Wasseroberfläche führt zu einer Verminderung der Oberflächenspannung.

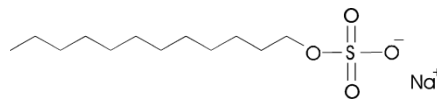


Abb.2a: Strukturformel des SDS-Moleküls

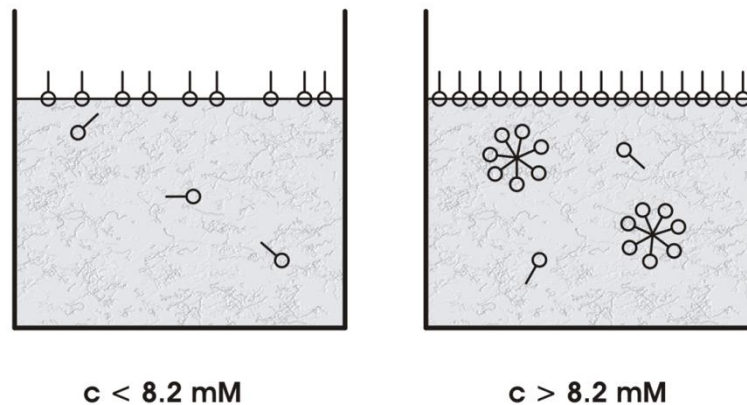


Abb.2b: Schematische Darstellung der Verteilung von SDS in Wasser

Erhöht man die Konzentration von SDS in der Lösung, so erhöht sich auch die Dichte der Moleküle an der Oberfläche und die Oberflächenspannung sinkt (Abb. 2b).

Ab einer bestimmten kritischen Konzentration können die SDS-Moleküle zu sogenannten Micellen aggregieren. In den Micellen lagern sich die hydrophoben Ketten zusammen, sodass der energetisch ungünstige Kontakt der hydrophoben Kohlenwasserstoffketten mit dem Wasser vermieden wird. Erhöht man nun die SDS-Konzentration weiter, so bilden sich immer mehr Micellen. Die Zahl der SDS-Moleküle an der Oberfläche und damit die Oberflächenspannung bleibt aber konstant. Die kritische Konzentration, bei der die Micell-Bildung einsetzt wird als **CMC** (critical micell concentration) bezeichnet und liegt für SDS bei 8.2 mM.

5. Grenzflächenspannung und Kontaktwinkel

Bis jetzt wurde nur die Phasengrenze Flüssigkeit - Luft betrachtet. Grenzt eine Flüssigkeit an einen festen Körper (z.B. Gefäßwand), so ist zu berücksichtigen, dass die Moleküle im festen Körper nicht verschiebbar sind. Die an der Wand befindlichen Flüssigkeitsmoleküle erfahren eine Kraft sowohl von den umgebenden Flüssigkeitsmolekülen als auch von der festen Wand.

Der Winkel, den die Oberfläche der Flüssigkeit mit der Gefäßwand bildet, wird als Kontaktwinkel bezeichnet. Der Kontaktwinkel φ (Abb.3) ist ein Maß für die Benetzbarkeit der Oberfläche, die davon abhängt, ob die Kohäsionskräfte, d.h. Kräfte zwischen den Flüssigkeitsteilchen, oder die Adhäsionskräfte, d.h. Kräfte zwischen Flüssigkeit und Wand, stärker sind.

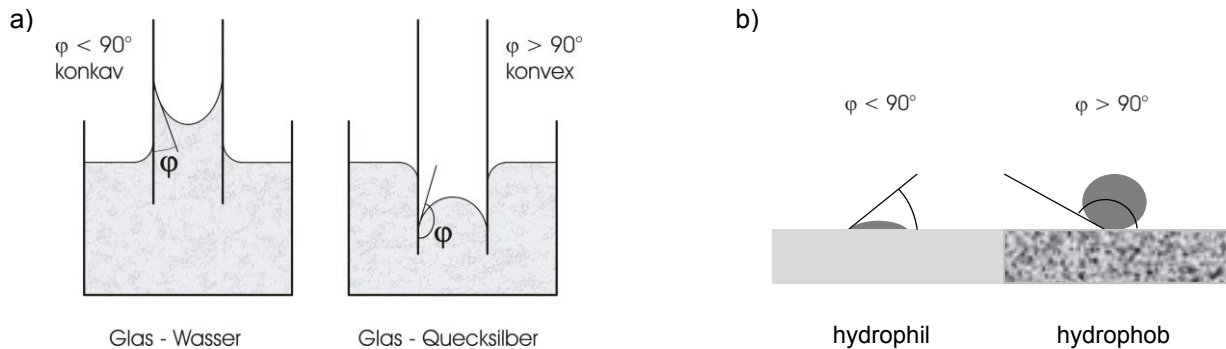


Abb.3: Kontaktwinkel für a) Flüssigkeit in einer Kapillare, b) Tropfen auf einer Oberfläche

Ist der Kontaktwinkel zum festen Material $\varphi < 90^\circ$, so bezeichnet man die Flüssigkeit als benetzend (z.B. Wasser auf Glas), ist $\varphi > 90^\circ$ spricht man von einer nicht benetzenden Flüssigkeit (z.B. Quecksilber auf Glas). Von vollständiger Benetzung spricht man, wenn der Kontaktwinkel φ Null wird. Bei vollständiger Benetzung (z.B. bei Wasser auf sauberem Glas) nimmt man an, dass eine dünne Flüssigkeitsschicht den festen Körper vollständig überzieht.

Bringt man dagegen einen Wassertropfen auf eine hydrophobe (unpolare) Oberfläche auf, so wird die Kontaktfläche zwischen Wassermolekülen und Oberfläche minimal. Eine kleine Kontaktfläche geht mit einem großen Kontaktwinkel einher (Abb. 3b). Für glatte hydrophobe Oberflächen kann ein Kontaktwinkel von maximal 120° erreicht werden, auf strukturierten hydrophoben Oberflächen kann der Kontaktwinkel jedoch bis zu 170° betragen. Man bezeichnet diese Oberflächen als 'superhydrophob'.

Die strukturierte Oberfläche ist auch Ursache für den '**Lotuseffekt**'. Die Blätter der Lotuspflanze (ebenso bei anderen Pflanzen wie Kapuzinerkresse, Frauenmantel oder Kohlrabi) zeigen eine komplexe Oberflächenstruktur: Auf der hydrophoben mikrostrukturierten Cuticula befindet eine Schicht nanoskaliger Waskristalle. Durch diese Doppelstrukturierung steht sowohl für Wassertropfen als auch für 'Schmutz'-Partikel nur eine äußerst kleine Kontaktfläche (die 'Spitzen' der Nanokristalle) zur Verfügung. Aus diesem Grund kann ein Wassertropfen, der über die Oberfläche rollt, Schmutzpartikel mitnehmen, selbst wenn diese kaum wasserlöslich sind.

Dieser 'Selbstreinigungseffekt' wird inzwischen in technischen Produkten (z.B. Fassadenfarbe, Glasbeschichtung) eingesetzt und veranschaulicht damit die Idee der Bionik: Das Konzept der nanostrukturierten Oberflächen, von der Natur vor Jahrmillionen entwickelt, dient als Leitlinie zur Entwicklung technischer Anwendungen.

II) Methodik

1. Abreißmethode

Ein Ring vom Durchmesser $2r$ mit scharfer Schneide, der an einer Federwaage hängt, ist von der Flüssigkeit, deren Oberflächenspannung gemessen werden soll, vollständig benetzt, so dass an der

Schneide ein zylindrischer Flüssigkeitsfilm vom Durchmesser $2r$ hängt (Abb. 4). Die Dicke des Flüssigkeitsfilms kann hier vernachlässigt werden.

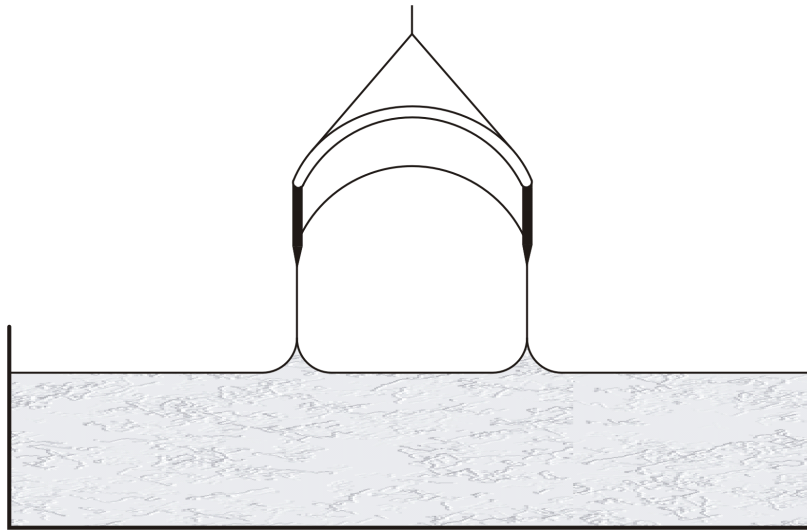


Abb.4: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Oberflächenspannung

Zieht man den Ring um die Höhe Δh aus der Flüssigkeit, so muss man hierfür eine bestimmte Arbeit ΔW aufbringen. Gleichzeitig erzeugt man eine Oberfläche ΔO , wobei zu beachten ist, dass der Oberflächenzuwachs aus der Innen- und der Außenhaut der zylindrischen Flüssigkeitslamelle besteht.

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta O} = \frac{F \cdot \Delta h}{2 \cdot 2\pi r \cdot \Delta h} = \frac{F}{4\pi r} \quad (2)$$

Die Oberflächenspannung ist hier der Quotient aus der zur Erzeugung neuer Oberfläche notwendigen Kraft F geteilt durch die doppelte Randlänge der erzeugten Flüssigkeitslamelle. Der Faktor 2 beschreibt, dass auf beiden Seiten der Lamelle Oberfläche gebildet werden muss.

Beim Experiment ist zu beachten, dass die Federwaage sowohl die Gewichtskraft des Ringes als auch die Zugkraft aufgrund der Oberflächenspannung anzeigt.

Da man die (maximale) Kraft bestimmt, die unmittelbar vor dem Abreißen der Lamelle wirkt, wird dieses Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenspannung als **Abreißmethode** bezeichnet.

2. Kapillarmethode

Eine weitere Methode die Oberflächenspannung zu bestimmen ist, die Steighöhe in einer dünnen Kapillare zu messen (Abb. 5).

Eine Flüssigkeit steigt so lange in einer Kapillare nach oben, bis die durch die Oberflächenspannung verursachte nach oben gerichtete Kraft durch die Gewichtskraft der gehobenen Flüssigkeitssäule ausgeglichen wird. Im speziellen Fall einer wässrigen Flüssigkeit in einer Glaskapillare ist die Kapillare vollständig von einem Flüssigkeitsfilm überzogen (vollständige Benetzung).

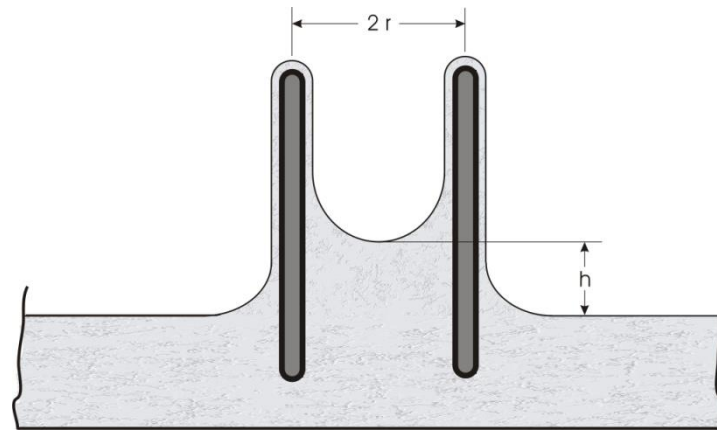


Abb.5: Aufsteigen einer Flüssigkeit in einer Kapillare

Ein Aufsteigen von Flüssigkeit in der Kapillare auf die Höhe h ist deshalb mit einer Verkleinerung der energiereichen Wasser-Luft-Grenzfläche verbunden und führt zu einer Verringerung der Grenzflächenenergie um

$$\Delta E_{\text{obf}} = 2\pi r h \sigma$$

Andererseits muss für das Anheben der Flüssigkeitssäule Arbeit gegen die Schwerkraft verrichtet werden

$$\Delta E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot mgh = \frac{1}{2} \cdot \rho g \pi r^2 h^2$$

(Der Faktor $\frac{1}{2}$ rührt daher, dass der Schwerpunkt der Wassersäule nur um $h/2$ angehoben wird)

Die Flüssigkeitssäule steigt nun so lange an, bis die Verringerung der Oberflächenenergie beim Aufsteigen durch den Aufwand an potentieller Energie aufgewogen wird.

Das System ist dann im Gleichgewicht, die Gesamtenergie minimal. Man erhält die Gleichgewichtsbedingung, wenn man die Gesamtenergie nach der Steighöhe ableitet und die Steighöhe sucht, für die diese Ableitung verschwindet.

$$\frac{dE_{\text{ges}}}{dh} = \frac{d}{dh} \left(\frac{1}{2} \rho g \pi r^2 h^2 - 2\sigma \pi r h \right) = 0$$

Die Oberflächenspannung σ kann daher aus der die Steighöhe in einer Kapillare bestimmt werden (für eine vollständig benetzende Flüssigkeit):

$$\sigma = \frac{1}{2} \rho g h r \quad (3)$$

Das gleiche Resultat erhält man auch, wenn man ein Kräftegleichgewicht ansetzt zwischen der nach oben gerichteten Kraft, die durch die Oberflächenspannung verursacht wird und der Gewichtskraft der gehobenen Flüssigkeitssäule.

III) Versuchsdurchführung und Auswertung

1. Oberflächenspannung von Wasser und Ethanol (Abreißmethode)

Achten Sie auf sauberes Arbeiten (Reinigung von Spateln vor Einwaage,...).
Kleinste Verunreinigungen mit Tensiden (wie z.B. SDS) können die Ergebnisse deutlich verfälschen.

Bestimmen Sie die Oberflächenspannung von (demineralisiertem) Wasser und von Ethanol mit der Abreißmethode.

Vorbereitungen

- Bestimmen Sie den Durchmesser (Schieblehre) sowie das Gewicht des Ringes.
- Hängen Sie den Ring (möglichst gerade!) an der Federwaage auf und spülen Sie Ring und Glasschale mit demineralisiertem Wasser.

Messung

- Bestimmen oder kompensieren Sie am Kraftmesser die Gewichtskraft des Ringes.
- Füllen Sie die Glasschale mit Flüssigkeit und tauchen Sie den Ring ganz ein.
- Senken Sie den Laborboy langsam ab, so dass der Ring aus dem Wasser gehoben wird
- Lesen Sie die maximale Kraft (vor dem Reißen der Lamelle) an der Federwaage ab.
- Die Messungen sind jeweils dreimal durchzuführen (Mittelwert bilden)

Auswertung

- Berechnen Sie jeweils den Wert der Oberflächenspannung und vergleichen Sie mit den Werten, die aus der Literatur bekannt sind.
- Diskutieren Sie mögliche Fehler: Welchen Einfluss hat die Flüssigkeitslamelle, die am Ring mit hochgezogen wird? Wie könnten sich Verunreinigungen auswirken? Welchen Einfluss hat die Temperatur auf die Oberflächenspannung (Raumtemperatur messen!)

2. Oberflächenspannung von Tensidlösungen (Abreißmethode)

Messen Sie die Veränderung der Oberflächenspannung einer wässrigen Lösung mit steigender Konzentration des Tensids SDS im Konzentrationsbereich 0 – 20 mM SDS.

Messung

- Setzen Sie 250 ml einer 50 mM SDS Stammlösung an (Molare Masse 288.4 g/mol). Bestimmen Sie zunächst nochmals die Oberflächenspannung von reinem Wasser (500 ml) wie oben beschrieben.
- Erhöhen Sie dann vor jeder weiteren Messung die SDS-Konzentration in der Glasschale durch Zugabe eines bestimmten Volumens Ihrer SDS-Stammlösung (+1ml, +1ml, +3ml, +5ml, +10ml, fünfmal +20ml, zweimal +50ml) und versuchen Sie sanft eine homogene Durchmischung zu erreichen. Achten Sie darauf, dass bei der Messung kein Schaum auf der Lösung schwimmt. Schütten Sie die Messlösung nicht weg; sie wird noch für den Versuchsteil 3 benötigt!
- Berechnen Sie die genaue Konzentration Ihrer jeweiligen Messlösung und verwenden Sie diese bei der Auswertung.

Auswertung

- Tragen Sie Oberflächenspannung gegen den Logarithmus der SDS-Konzentration auf. Bestimmen Sie daraus die kritische Micellkonzentration (CMC) von SDS.
- Diskutieren Sie (qualitativ) die Fehler der verschiedenen Messpunkte. Wie könnte die Genauigkeit der CMC-Bestimmung verbessert werden?

3. Oberflächenspannung von Wasser und einer SDS-Lösung (Kapillarmethode)

Die Kapillaren müssen für den Versuch sehr sauber sein (vollständige Benetzung!). Daher werden sie vor jedem Versuch (vom Betreuer) sorgfältig gereinigt und in ein Wasserbad eingelegt, um weiteren Verunreinigungen vorzubeugen. Ob die Kapillaren wirklich sauber sind, kann man daran erkennen, dass das Wasser sofort in den Kapillaren nach oben steigen muss. Auch ist darauf zu achten, dass sich keine Luftblasen in den Kapillaren bilden.

→ **Stellen Sie die Lösung für dieses Experiment her, indem Sie die zuletzt gemessene SDS-Lösung auf die halbe Konzentration verdünnen**

Messung 1

- Hängen Sie einen Satz von 5 Kapillaren (Durchmesser: 0,83 / 1,2 / 1,65 / 3,1 / 5 mm) in einen mit Wasser bzw. SDS – Lösung gefüllten Glastrog.
- Messen Sie mit einem Fernrohr aus ca. 1,5 Meter Abstand die Steighöhen. In diesem Fernrohr befindet sich eine Markierung. Diese Markierung wird an die Unterseite der Wasseroberfläche gefahren und am Nonius des Fernrohrs die Höhe h_1 abgelesen. Danach wird das Fernrohr auf den Meniskus in der Glaskapillare gefahren und die Höhe h_2 abgelesen.

Messung 2

- Dieselben Kapillaren werden nun mit Hilfe einer Kamera mit Notebook und zugehöriger Software ausgemessen. Stellen Sie manuell die Kamera so ein, dass die Kapillaren auf dem Bildschirm gut erkennbar sind. Befestigen Sie neben den Trog ein Lineal (vom Betreuer). Klicken Sie auf das Symbol, um ein Bild davon zu erstellen. Öffnen Sie dieses Bild. Stellen Sie im Fenster über dem Bild von mm auf Pixel um. Mit dem Symbol $| - |$ können Sie nun Linien ziehen. Dabei werden die Längen in Pixel angezeigt. Damit Sie Pixel in mm umrechnen können, messen Sie das neben den Trog angebrachte Lineal aus und berechnen Sie die Kalibrierkonstante in (mm/pixel). Anschließend werden wie in Messung 1 die Steighöhen der Flüssigkeit vom Wasserspiegel bis zum Meniskus ausgemessen und mit Hilfe der Kalibrierkonstante in mm umgerechnet.
- Vergleichen Sie die Ergebnisse der beiden Messverfahren und diskutieren Sie deren Vor- und Nachteile.

Auswertung

- Tragen Sie die Steighöhe h gegen den inversen Kapillarradius $1/r$ auf und bestimmen Sie aus der Geradensteigung die Oberflächenspannung.
- Diskutieren Sie die Fehler für verschiedene Kapillarradien.
- Vergleichen Sie die ermittelten Werte für Wasser und die SDS-Lösung mit den Werten, die Sie mit Hilfe der Abreißmethode erhalten haben.

4. Benetzung von Oberflächen

- Setzen Sie mit einer Pipette einen Wassertropfen auf ein Glasplättchen (Objektträger für die Mikroskopie). Richten Sie die Kamera so aus, dass der Tropfen auf dem Bildschirm gut sichtbar ist. Benutzen Sie, falls nötig einen Sockel (vom Betreuer). Mit dem Winkelsymbol können Sie nun den Kontaktwinkel bestimmen.
- Halten Sie das Glasplättchen mit einer Zange und flammen dieses mit einem kleinen Brenner mit heißer Flamme (starke Luftzufuhr) ab. **Vorsicht Verbrennungsgefahr!**
Setzen Sie erneut einen Wassertropfen auf das Plättchen und bestimmen Sie den Kontaktwinkel.
- Stellen Sie nun den Brenner auf minimale Luftzufuhr ein und halten Sie erneut das Glasplättchen mit einer Zange davor. **Vorsicht Verbrennungsgefahr!** Was beobachten Sie?
Setzen Sie wiederum einen Wassertropfen auf das Plättchen und bestimmen Sie den Kontaktwinkel.

Auswertung

- Beschreiben Sie Ihre Beobachtung und diskutieren Sie die Ursachen für die Veränderung des Kontaktwinkels. Wie kann ein extrem großer Kontaktwinkel erklärt werden?

IV) Anhang: Daten zur kritischen Mizellkonzentration (CMC)

Tabelle 7.4. Tenside verschiedener Strukturklassen mit kritischer Mizellkonzentration (CMC) und mittlerer Zahl N der Tensidmoleküle pro Mizelle in wässriger Lösung bei 25 °C

Tenside/Chemische Formel	CMC mol/l	N
A) Anionische Tenside		
Natriummyristat (Seife) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COO}^- \text{Na}^+$	$8 \cdot 10^{-3}$	–
Natriumoleat $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COO}^- \text{Na}^+$	$1,09 \cdot 10^{-3}$	–
Natriumdodecylsulfat (SDS) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3^- \text{Na}^+$	$8,1 \cdot 10^{-3}$ $1,39 \cdot 10^{-3}$	80 112 (in 0,1 M NaCl)
Natriumdesoxycholat	$5 \cdot 10^{-3}$	4 – 10
B) Kationische Tenside		
Dodecylammoniumchlorid $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$	$1,31 \cdot 10^{-2}$ $7,23 \cdot 10^{-3}$	56 142 (in 0,046 M NaCl)
Dodecyltrimethylammoniumbromid $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{N}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Br}^-$	$1,53 \cdot 10^{-2}$ $1,07 \cdot 10^{-2}$	50 56 (in 0,013 M NaCl)
C) Zwitterionische Tenside		
3-(3-Cholamidopropyl)-dimethylammonio-3-propan-sulfonat (CHAPS)	$5 \cdot 10^{-3}$	10
Lysophosphatidylcholin	10^{-4}	180
D) Nichtionische Tenside		
4-Tert.-Octylphenylpolyethylenglycol-[9/10]-ether (Triton X-100 oder Nonidet P-40)	$3,1 \cdot 10^{-4}$	142
Polyoxyethylen(20)-sorbitanmonooleat (Tween 80)	10^{-5}	–
Digitonin	$7 \cdot 10^{-4}$	60
Octylglucosid $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{C}_6\text{O}_6\text{H}_{11}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	–

Daten aus: Pfüller U (1986) Mizellen-Vesikel-Mikroemulsionen. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 26ff. sowie Hunter RJ (1987) Foundations of Colloid Science, vol 1. Clarendon, Oxford, S 598 f.

Quelle: G.Adam, P.Läuger, G.Stark: Physikalische Chemie und Biophysik, Springer, 1995