

## Oberflächenspannung

### Theorie

Oberflächenspannung entsteht durch das Streben einer Flüssigkeit in den energieärmsten Zustand, was einer möglichst glatten Oberfläche mit kleinster möglicher Ausdehnung entspricht. Die Ursache hierfür ist die gegenseitige Anziehung der Moleküle innerhalb der Flüssigkeit und fehlende Anziehung jenseits der Oberfläche. Die aus diesem Effekt resultierende Kraft ist stark genug um leicht und flache Gegenständen auf der Oberfläche der Flüssigkeit „schwimmend“ zu halten.

### Durchführung

Als ersten Schritt eichten wir die Torsionswaage, in dem wir zu erst einmal genügend Massenstücke auflegten bis der Zeiger auf Null stand. Anschließend erhöhten wir die Masse in der Waagschale in 100mg Schritte langsam und notierten die Position des Zeigers auf der Skala. Aus diesen Werten errechneten wir uns anschließend durch eine lineare Regression einen Umrechnungsfaktor von Skalenteile in Masse und verwendeten ihn für die Messung. Danach maßen wir mittels der Schublehre den Außendurchmesser des Ringes und auch Dicke des Ringes. Als wir damit fertig waren, starten wir begannen wir mit der eigentlichen Messung. Hierzu füllten wir die Petrischale mit Wasser und hebten das Schraubgestell soweit an bis, der an der Waage befestigte Ring ins Wasser eingetaucht war. Danach senkten wir das Gestell behutsam unter ständiger Beobachtung der Waagskala bis der Ring von der Wasseroberfläche abriss. Dies wiederholten wir 5 Mal.

### Messdaten

#### *Eichung der Waage*

Nullpunkt bei 2,1g

Masse [g] (zusätzlich zur Nullpunktsmasse)	Wert auf der Skala
0,1	0,4
0,2	0,85
0,3	1,25
0,4	1,7
0,5	2,1
0,6	2,55
0,7	2,95
0,8	3,35
0,9	3,8
1	4,15
1,1	4,55
1,2	4,9
1,3	5,3
1,4	5,65

*Abrisskraftmessung*

Skalenteile	Masse [g]	Kraft [N]
4,7	1,140040653	0,0111838
4,65	1,127912561	0,01106482
4,65	1,127912561	0,01106482
4,65	1,127912561	0,01106482
4,7	1,140040653	0,0111838

*Ringgröße*

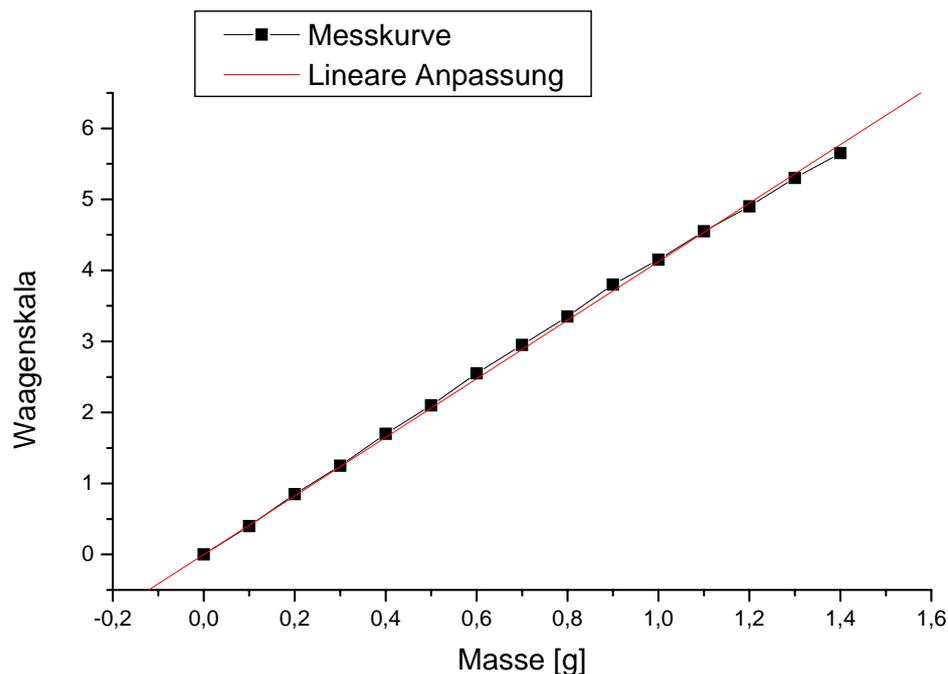
Dicke des Ringes: 0,00045m

Ringaußendurchmesser: 0,0242m

Genauigkeit der Schublehre 0,00005m

**Auswertung**

Die Werte der Eich Tabelle wurden in ein Diagramm eingetragen und die resultierende Kurve wurde dann mit einer Gerade, welche durch den Nullpunkt geht, approximiert. Die Steigung dieser Gerade wurde dann der Umrechnungsfaktor von Skalenteilen in Gramm. Es ergab sich hierdurch ein Wert von **4,12266**. Also entspricht eine Masse von 1g einen Wert von 4,12266 auf der Skala.



Durch statistische Auswertung erhielten wir aus den Messwerten für die Abrisskraft eine Kraft, welche die Oberfläche auf den Ring ausübt, von **(11,112 ± 0,065)mN**. Durch Einsetzen in die Formel:

$$\sigma = F / (\pi * 2 (d - r))$$

wobei  $F$  die Kraft,  $d$  der Außendurchmesser des Ringes,  $r$  die Dicke des Ringes und  $\sigma$  die Oberflächenspannung ist. Es folgt daraus ein Wert für die Oberflächenspannung von  $0,073768 \text{ N/m}$  und durch das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz ergibt sich eine dazugehöriger Fehler von  $0,000490 \text{ N/m}$ . Als beträgt die Oberflächenspannung von Wasser gemäß unserer Messung  **$(73,8 \pm 0,5) \text{ mN/m}$** .

### Interpretation

Bezüglich der Eichung der Waage ist folgendes zu erwähnen, nämlich, dass sie durch das Auflegen bzw. Entfernen von Massenstücke immer leicht in Schwingung versetzt wurde. Dies erschwerte teilweise das ablesen, denn er war nicht einfach diese Schwingung zu dämpfen, da Schwingverhalten auf Grund der Konstruktion der Apparatur, der eines dreifach gekoppelten Pendel entsprach und somit sehr chaotisch war. Doch offensichtlich gelang das Ablesen, zumindest unter Betrachtung der fast perfekt linearen Messkurve, den Umständen entsprechend gut. Unser gemessener Wert für Oberflächenspannung von  $73,8 \text{ mN/m}$  entspricht relativ gut dem Literaturwert von  $72,75 \text{ mN/m}$ , welcher bei  $20^\circ\text{C}$  gilt, was ungefähr unserer Raumtemperatur entsprach. Leider fällt der Literaturwert nicht in unseren Vertrauensbereich von  $\pm 0,5 \text{ mN/m}$ . Dies kann vielleicht mit einer kleinen Verunreinigung unserer Probe zusammenhängen.

## *Dynamische Viskosität*

### Theorie

Die Viskosität gibt die Zähigkeit (Dickflüssigkeit) von Fluiden an. Die dynamische Viskosität ist eine Materialkonstante, welche die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeitsschichten bei einer bewegten Störung angibt. Die Strömungsgeschwindigkeit um eine Störobjekt (bei unserem Versuch eine sich in der Flüssigkeit bewegende Kugel) nimmt dann auf Grund der inneren Reibung (Reibung unter den Flüssigkeitsteilchen) mit zunehmender Entfernung vom Objekt ab. Für die Berechnung der Zähigkeit  $\eta$  eines Fluids kann man das Stokessche Gesetz

$$\eta = (m - \rho \cdot V) \cdot g / (6 \cdot \pi \cdot r \cdot \kappa \cdot s / t)$$

wobei  $m$  die Masse der Kugel,  $\rho$  die Dichte des Fluids,  $V$  das durch die Kugel verdrängte Volumen,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $r$  der Kugelradius,  $s$  die beobachtete Fallstrecke,  $t$  die gestoppte Fallzeit und  $\kappa$  der Korrekturfaktor ist. Der Korrekturfaktor ist dazu da um die endliche Dicke des Gefäßes in der Berechnung zu berücksichtigen und die Formel dafür hat folgende Form

$$\kappa = (1 + 2,1 \cdot r/R)$$

Hier ist  $r$  wieder der Kugelradius und  $R$  der Gefäßradius. Die Viskosität einer Flüssigkeit hängt nicht unwesentlich auch von ihrer Temperatur ab. Bei Flüssigkeiten nimmt die Viskosität mit steigender Temperatur ab, während bei Gasen das umgekehrte Phänomen zu beobachten ist.

## Durchführung

Wir führten die Zähigkeitsmessung auf 2 verschiedene Arten durch: Einerseits mittels Fallversuchen von kleinen Metallkugeln in der Probeflüssigkeit und andererseits durch Verwendung des Höppler-Viskosimeters. Die Durchführung des Fallversuches war relativ einfach, da man nur Metallkugeln in einen mit Glycerin gefüllten Behälter fallen lassen musste. Dann war die Fallzeit zwischen zwei auf dem Glas vorgegebenen Markierungen zu stoppen. Hier war es wichtig um die korrekte Fallzeit zu erhalten senkrecht auf die Markierung zu blicken und beide Male am oberen Ende der Markierung die Zeitmessung zu beginnen bzw. zu beenden. Dies führten wir mit 2 verschiedenen Kugeln je 10 Mal durch. Anschließend verwendeten wir das ebenfalls mit Glycerin gefüllte Höppler-Viskosimeter um die Zähigkeit der Flüssigkeit bei Zimmertemperatur und in einem Wärmebad zu bestimmen. Hierzu musste man nur die Abrollzeit der Kugel zwischen den beiden äußeren Markierungen am Viskosimeter stoppen und durch Einsetzen in eine vorgegebene Formel sich dann die Zähigkeit errechnen.

## Messdaten

### Eigenschaften des Gefäßes und der Flüssigkeit

Temperatur	21 °C
Gefäßradius	0,015 m
Dichte der Flüssigkeit	1225 ± 5 kg/m <sup>3</sup>
Fallstrecke	0,15 ± 0,0005 m

### Eigenschaften der Kugeln

	Kugel1	Kugel2
Radius [m]	0,000595	0,000794
Genauigkeit Radius [m]	0,00001	0,00002
Masse [kg]	0,0000066	0,0000161
Genauigkeit Masse [kg]	0,0000001	0,0000001

### Fallzeiten

Messung	Fallzeit Kugel 1 [s]	Fallzeit Kugel 2 [s]
1	5,38	3,01
2	5,29	3,19
3	5,35	3,03
4	5,33	3,11
5	5,35	2,95
6	5,3	3,08
7	5,33	3,24
8	5,29	2,97
9	5,33	3,03
10	5,35	3,07
Mittelwert	<b>5,33</b>	<b>3,068</b>
Standardabweichung	0,029439203	0,091990338

*Höppler-Viskosimeter bei Zimmertemperatur*

Temperatur	20 °C
Fallzeit	227,66 s
K	9,208E-08 Pa *s * m <sup>3</sup> / (kg *s)
$\rho_k$	8131 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_f$	1125 kg/m <sup>3</sup>
Genauigkeit $r_f$	5 kg/m <sup>3</sup>

*Höppler-Viskosimeter im Wärmebad*

Temperatur	40 °C
Fallzeit	71,9 s
K	9,208E-08 Pa *s * m <sup>3</sup> / (kg *s)
$\rho_k$	8131 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_f$	1125 kg/m <sup>3</sup>
Genauigkeit $r_f$	5 kg/m <sup>3</sup>

**Auswertung**

Beim Kugelfallexperiment erhält man durch simples Einsetzen in die Formel für den Korrekturfaktor und anwenden der Fehlerfortpflanzung folgende Werte für die Kugeln vom Typ Kugel1:  $(1,0833 \pm 0,0014)$  und für den Typ Kugel2:  $(1,11116 \pm 0,0028)$ . Um die Zähigkeit  $\eta$  zu erhalten muss man die jeweiligen Fallzeiten in weiter oben genannte Form des Stokesschen Gesetzes einsetzen. Hieraus erhält man dann bei den Kugel1 Kugeln einen Wert von 0,15834645 Pa\*s und für die Kugeln von Typ Kugel2 0,163259913 Pa\*s. Für die Fehlerfortpflanzung muss man hier ein sehr aufwändiges Gaußsches Fehlerfortpflanzungsgesetz anwenden und es gibt sich dann für Kugeln des Typs Kugel1 ein Fehler von 0,005213663 Pa\*s und für die vom Typ Kugel2 0,008219228 Pa\*s. Also erhält man als Endergebnis aus diesem Versuch Werte für die Zähigkeit von  $(158 \pm 5)\text{mPa*s}$  (Kugel1) bzw.  $(163 \pm 8)\text{mPa*s}$  (Kugel2). Man kann auch das gewogenen Mittel aus diesen beiden Messungen ausrechnen und erhält  $(161 \pm 3)\text{mPa*s}$ .

Für die Berechnung der Zähigkeit aus der gemessenen Rollzeit der Kugel im Höppler-Viskosimeter braucht man nur die bekannten Werte in folgende Formel einsetzen:

$$\eta = K * (\rho_k - \rho_f) * t$$

Man erhält somit einen Wert für die Zähigkeit von Glycerin von  $(146,87 \pm 0,10)\text{mPa*s}$  bei 20°C und eine Wert von  $(46,38 \pm 0,03)\text{mPa*s}$  bei 40°C.

**Interpretation**

Unsere Messergebnisse für die Viskosität Glycerin sind zueinander konsistent. Bei dem Fallversuchen liegt jeder Wert jeweils noch im Vertrauensbereich des anderen. Obwohl das Ergebnis welches mittels des Höppler-Viskosimeters gemessen wurde doch um 15mPa\*s von den der Fall versuche abweicht und auch nicht mehr im Vertrauensbereich der anderen Messungen liegt ist dennoch ungefähr in der gleichen Größe. Vermutlich ist der kleine Unterschied in einer kleinen Temperaturunterschied(wir haben für beide Versuche verschiedene Geräte zur Temperaturmessung verwendet) zu finden, da ich annehme, dass hier

schon auf Grund der gleichen Dichte das gleiche Glycerin verwendet wurde. Die Literaturwerte für die Zähigkeit von Glycerin streuen leider sehr, die meisten liegen irgendwo zwischen 100-700mPa\*s. Vermutlich wurde hier unterschiedliche Reinheitsgrade von Glycerin herangezogen und eventuelle auch unterschiedliche Werte für „bei Zimmertemperatur“. Jedenfalls liegen unsere Werte, welchen wir bei ca. 20°C erhielten schön in diesem Bereich. Wenn man das Glycerin in ein Wärmebad gibt, ist dann der Wert für Zähigkeit wie zu erwarten war deutlich geringer und zwar ungefähr um einen Faktor 3, bei einer Temperaturdifferenz von 20K.

## Hygrometrie - Luftfeuchtigkeitsbestimmung

### Theorie

Im Gasgemisch wie der Luft nennt man den Druck einer Komponente Partialdruck. Der Gesamte Druck ist gleich der Summe aller Partialdrücke.

$$p = \sum p_i$$

In einer Volumseinheit des Gases vorhandene Menge einer Komponente ist die Zahl der Mole pro Volumseinheit (=Konzentration).

$$c_i = n_i / V \quad \text{Dalton Gesetz} \quad c_i \approx p_i \quad \text{für ideales Gasgemisch}$$

Für Wasserdampf – Luft wird die absolute Luftfeuchtigkeit angegeben. 1 mol H<sub>2</sub>O = 18g

### Temperaturdifferenz

T ... Temperatur des trockenen Raumes

T<sub>f</sub> ... Temperatur des feuchten Thermometers

$$\Delta T = T - T_f$$

P<sub>D</sub> ... Partialdruck

P<sub>s</sub> ... Sättigungsdampfdruck

f<sub>a</sub> = absolute Luftfeuchtigkeit

f<sub>r</sub> = relative Luftfeuchtigkeit

$$K_1 = 0,50 \text{ Torr K}^{-1} = 66,661185 \text{ Pa K}^{-1}$$

$$K_2 = 0,64 \text{ gm}^{-3} \text{ K}^{-1} = (0,64 \text{ e}^{-3}) \text{ kg m}^{-3}$$

$$P_D = P_s - (0,50 \text{ Torr K}^{-1}) \Delta T$$

$$f_a = f_s - (0,64 \text{ gm}^{-3} \text{ K}^{-1}) \Delta T$$

$$f_r = (f_a / f_s) 100\%$$

## Verwendete Geräte

Thermometer  
Digitalhygrometer  
Ventilator

## Durchführung

Es ist die absolute und relative Luftfeuchtigkeit und der Partialdruck zu des Wasserdampfes mit dem August'schen Aspirationspsychrometer zu messen.

Von zwei Quecksilberthermometern, wird die Kugel des Ersten mit einem Strumpfe umhüllt. Dieser wird feucht durch einen untenstehenden Wasserbehälter in dem es eingedunkelt wird. Die Kugel wird nicht ins Wasser eingetaucht. Die Temperatur wird abgelesen. Es wird mit einem Ventilator ein Luftstrom erzeugt, solange bis beide Temperaturen konstant sind. Dann wird erneut die Temperatur abgelesen nachdem sich ein Gleichgewicht eingestellt hat. Die Temperaturdifferenz kann berechnet werden.

## Auswertung

Relative Luftfeuchte im Raum zu Beginn:  $f_r = 38\%$  mit Digitalhygrometer gemessen.

Raumtemperatur:  $T_{\text{trocken}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta T = 6 \text{ K}$

$T_{\text{trocken}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

$f_s = 18,3 \text{ [g/m}^3\text{]}$

$p_s = 18,6 \text{ [Torr]}$

$T_{\text{feucht}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

$f_a = 12,8 \text{ [g/m}^3\text{]}$

$p_a = 12,8 \text{ [Torr]}$

trockenes Thermometer:  $f_s = 18,3 - (0,64 \text{ gm}^{-3} \text{ K}^{-1}) 6 \text{ K} = 14,46 \text{ [g/m}^3\text{]}$

feuchtes Thermometer:  $f_a = 12,8 - (0,64 \text{ gm}^{-3} \text{ K}^{-1}) 6 \text{ K} = 8,96 \text{ [g/m}^3\text{]}$

$f_r = (f_a / f_s) 100\% = 8,96 / 14,46 * 100 = 61,9 \%$

Dampfdruck:

$P_D = P_s - (0,50 \text{ Torr K}^{-1}) \Delta T = 15,85 \text{ [Torr]}$   
 $= 2113,16 \text{ Pa}$

## Schmelzwärme von Eis

Theorie:

Führt man einem Gas, einer Flüssigkeit, oder Festkörper Wärme zu so resultiert daraus eine Temperaturerhöhung und Volumsvergrößerung oder nur eine Volumsvergrößerung.

$\Delta Q$ ... Wärmemenge

$\Delta T$ ... Temperaturerhöhung

$C$ ... Wärmekapazität

$m$ ...Masse

Jene Wärmemenge die zu einer bestimmten Temperaturerhöhung eines Körpers führt nennt man Wärmekapazität  $C$  oder spezifische Wärme  $c$ .

$$C = \Delta Q / \Delta T$$

Spezifische Wärme  $c$

$$c = C / m = \Delta Q / (m \Delta T)$$

$c_w$ ...spezifische Wärme von Wasser  $c_w = 4,1868 \text{ kJ/kgK}$

Mischmethode zur Messung der spez. Wärme, Voraussetzung  $T_1 > T_2$

$$\Delta Q_1 = c_1 m_1 (T_1 - T_m)$$

$$\Delta Q_2 = c_2 m_2 (T_m - T_2) + W (T_m - T_2)$$

Energieerhaltung: beide Wärmen müssen gleich sein.

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q$$

$\Delta Q$ ... Transferwärmemenge

$W$ ...Wasserwert vom Kalorimeter: (9J/K) Wasserwert  $W = c_k * m_k$

Die vom Kalorimeter inklusive anfänglicher Wassermenge  $m_w$  abgegebene Wärmemenge  $\Delta Q_1$  ist von der Masse  $m_c$  des Eises aufgenommenen Wärmemenge  $\Delta Q_2$  gleich zusetzen um die Schmelzwärme  $S$  zu bestimmen.

$$\Delta Q_1 = (W + m_w c_w)(T_1 - T_m)$$

$$\Delta Q_2 = m_E S + m_E c_w (T_m - T_s)$$

.

## Verwendete Geräte

Kalorimeter  
Eis  
Destilliertes Wasser

## Durchführung

Destilliertes Wasser wird auf ca. 60°C erhitzt. Das erhitzte Wasser wird in das Kalorimeter auf 2/3 aufgefüllt. Im 60 Sekunden Takt wird die Temperatur gemessen. Nach 5 Minuten wird Eis in das Kalorimeter hinzugefügt. Bei konstantem Umrühren wird die Temperatur mit dem Datenlogger ULAB alle 2 Sekunden gemessen, solange bis das Eis vollständig geschmolzen ist.

## Auswertung

Masse Wasser	0,1505 kg
Temperatur Wasser $m_w$	75,6 °C
Masse Eis: $m_e$	0,0416 kg
$T_1$	73 °C
$T_m$	41 °C
$T_s$	0 °C
$W$	9 J/K
$c_w$	4186,8 J/(kg*K)
$\Delta Q_1$	20451,628 J
$S$	319874,27 J kg <sup>-1</sup>

$$\Delta Q_1 = (W + m_w c_w)(T_1 - T_m)$$

$$\Delta Q_1 = 20451,628 \text{ J}$$

Wegen Energieerhaltung wird  $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$  gleichgesetzt und auf Schmelzwärme umgeformt.

$$S = \frac{(W + m_w c_w)(T_1 - T_m)}{m_E} - c_w T_m$$

$$S = (20447,776 / 0,416) - 171658,8 = 319874,27 \text{ J/kg}$$

## Interpretation

$m_E$ ,  $m_w$  wird als fehlerfrei angenommen.

Fehler entstehen durch das Ablesen am Thermometer bzw. die Verzögerung mit der das Thermometer reagiert. Eine Fehlerrechnung wäre nicht zielführend.