

Grundpraktikum M5 Oberflächenspannung

Julien Kluge

21. Mai 2015

Student: Julien Kluge [REDACTED]

Partner: [REDACTED]

Betreuer: Dr. Mykhaylo Semtsiv

Raum: 314

Messplatz: 2

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsdurchführung	2
2.1	Bügelmethode	2
2.2	Kapillarsteighöhenmethode	2
3	Mess-/Fehlerwerte und Auswertung	2
3.1	Bügelmethode	2
3.1.1	Bestimmung der Kraftfunktion $F_i = f(A_i)$	2
3.1.2	Kraft-/Sigtabestimmung	3
3.2	Kapillarsteighöhenmethode	3
4	Fehler-/Ergebniseinschätzung	3
5	Anlagen	5
5.1	Abbildungen	5
5.2	Aufgenommene Messwerte	6
6	Quellen	6

1 Abstract

Eine Flüssigkeit besteht aus Molekülen, welche eine untereinander auftretende Anziehungskraft haben. Diese resultiert aus intermolekularen Kräften wie Van-de-Waals Kräften, Wasserstoffbrückenbindungen oder ionische Anziehung. An der Flüssigkeitsoberfläche entsteht aufgrund einer fehlenden Gegenkraft damit eine nach innen gerichtete Kraft, welche eine Oberflächenspannung erzeugt.

Für Wasser errechnet sich nach zwei unterschiedliche Methoden, folgende Oberflächenspannungen:

- Über die Bügelmethode:

$$\sigma_{24.7^\circ\text{C}} \approx (68.56 \pm 0.14)10^{-3}\text{N/m}$$

$$\sigma_{2.3^\circ\text{C}} \approx (71.06 \pm 0.14)10^{-3}\text{N/m}$$

- über die Kapillarmethode:

$$\sigma_{24.7^\circ\text{C}} \approx (71.32 \pm 1.56)10^{-3}\text{N/m}$$

2 Versuchsdurchführung

2.1 Bügelmethode

Bei der Bügelmethode wurde an einer mechanischen Kraftkompensationseinrichtung, bestehend aus Feder und verstellbarer Länge an einer Mikrometerschraube, ein Drahtgestell befestigt, welches in die Testflüssigkeit abgesenkt werden konnte. Dabei war der Behälter der Flüssigkeit in der Höhe variabel verstellbar. Nun wurde durch langsames Herausziehen, eine Flüssigkeitslamelle zwischen Draht und Flüssigkeitsoberfläche gebildet, welche ihrerseits eine Kraft auf die Kompensationseinrichtung ausgeübt hat. Durch Verstellen der Messschraube wurde nun die Gegenkraft justiert, um die zuvor ermittelte Nulleinstellung a_0 beizubehalten.

Bei Reißen der Lamelle, wurde die aktuelle Stellung a_i der Schraube abgelesen und mit

$$A_i = a_i - a_0 \quad (1)$$

wurde somit eine Höhendifferenz ermittelt. Durch eine zuerst durchgeführte Eichung des Gerätes mit einer Messreihe die mithilfe einer Testmasse (Reiter) erfolgte, kann nun somit die Kraftfunktion $F_i = f(A_i)$ ermittelt werden, woraus die Oberflächenspannung berechnet werden kann. Das gesamte Experiment wurde bei zwei Temperaturen durchgeführt.

2.2 Kapillarsteighöhenmethode

Bei der Kapillarsteighöhenmethode wurde, wie aus den Namen zu schließen, die Steighöhe der Flüssigkeit in einer Kapillare gemessen. Dazu wurde sie in ein Gestell geklemmt, welches soweit in die Flüssigkeit gesenkt wurde, dass der Nullpunkt, der sich am Gestell befindlichen Skale, das Wasser berührt. Die Steighöhe konnte nun einfach abgelesen werden. Im vornherein wurde der Radius der Kapillare mit einem Mikroskop mehrfach gemessen und der Endwert über ein arithmetisches Mittel bestimmt. Nun konnte mithilfe von

$$h = \frac{2\sigma}{\rho_{\text{fluid}} \cdot g \cdot r} \quad (2)$$

und einer Regression, die Oberflächenspannung σ bestimmt werden.

3 Mess-/Fehlerwerte und Auswertung

3.1 Bügelmethode

3.1.1 Bestimmung der Kraftfunktion $F_i = f(A_i)$

Der erste Durchgang wurde wie bereits erwähnt, mit einer Testmasse (Reiter) durchgeführt, welcher in unterschiedlichen Positionen auf der Kompensationseinrichtung positioniert worden ist. Dabei galt die Formel 1 und

$$F_i = \frac{i}{10} \cdot m \cdot g \quad (3)$$

Es wurde eine lineare Regression ausgeführt mit $F_i = f(A_i) = a \cdot A_i + b$. Die Ausführung mit den Messdaten ist in Abb. 1 zu sehen.

Der Parameter b ist mit $b \approx (7.68 \pm 1.46) \cdot 10^{-5}$ vernachlässigbar. Somit bestimmt sich die Kraftfunktion zu

$$F(A) = 0.9949 \cdot A \quad (4)$$

3.1.2 Kraft-/Sigmabestimmung

Die im Script hergeleitete Formel

$$F = 2l \cdot \sigma \quad (5)$$

$$\sigma(F(A)) = \frac{F(A)}{2l} \quad (6)$$

gibt nun die Möglichkeit mit der Kraftfunktion 4 Sigma zu berechnen. A wurde über ein arithmetisches Mittel der Werte a_i mit der Nulleinstellung a_0 errechnet. Nimmt man nun einen Ablesefehler von $u_A = 10\mu\text{m}$ an, so ergibt sich:

$$A = \frac{1}{n} \sum_i^n (a_i - a_0) = \sum_i^n \frac{a_0^-}{n} + \sum_i^n \frac{a_i}{n} \quad (7)$$

$$u_A = \sqrt{\sum_{i=0}^n \left(\frac{\partial A}{\partial a_i} \cdot u_{a(i)} \right)^2} = \sqrt{2 \left(\frac{1}{n} \cdot u_A \right)^2} = \sqrt{2} \frac{u_A}{n} \quad (8)$$

Aus der Formel 6 wird nun die Oberflächenspannung mit gegeben A und der Formel 4 ermittelt.

Mit allen Messwerten und Unsicherheiten ergibt sich für die Oberflächenspannungen für die unterschiedlichen Temperaturen:

1. bei Raumtemperatur ($T \approx 24.7^\circ\text{C}$): $\sigma \approx (68.56 \pm 0.14)10^{-3}\text{N/m}$
2. bei Temperatur nahe dem Gefrierpunkt ($\bar{T} \approx 2.3^\circ\text{C}$): $\sigma \approx (71.06 \pm 0.14)10^{-3}\text{N/m}$

3.2 Kapillarsteighöhenmethode

Die ermittelten Höhen, wurden für ihre jeweilige Kapillare, im arithmetischen Mittel genommen und sind somit im Zusammenhang zu ihrem Radius r darstellbar.

Mit diesen Messwerten gilt der Zusammenhang von Formel 2 wonach nun mit $h = f\left(\frac{1}{r}\right)$ eine Regression durchgeführt werden kann. Dabei wurde die Dichte des Wassers mit $\rho_{\text{wasser}} \approx (997.25 \pm 0.20)\text{kg/m}^3$ abgeschätzt. Die Erdbeschleunigung wurde, wie auch zuvor über Quelle 2 bestimmt. Für die Unsicherheiten von h galt somit:

$$u_h = \sqrt{\left(\frac{2}{\rho^2 \cdot r \cdot g} \cdot u_\rho \right)^2 + \left(\frac{2}{\rho \cdot r^2 \cdot g} \cdot u_r \right)^2 + \left(\frac{2}{\rho \cdot r \cdot g^2} \cdot u_g \right)^2}$$

Die Regression mit den Messwerten ist in Abb. 2 abgebildet.

Somit ergibt sich die Oberflächenspannung zu:

$$\sigma \approx (71.32 \pm 1.56)10^{-3}\text{N/m}$$

4 Fehler-/Ergebniseinschätzung

Vergleicht man die Werte der Bügelmethode und die der Kapillarmethode mit dem Literaturwert aus Quelle 3 sieht man, dass die Bügelmethode weiter neben dem Literaturwert von circa $\sigma \approx 72.75 \cdot 10^{-3}\text{N/m}$ entfernt ist, als der von der Kapillarmethode. Dafür ist der Fehler der Bügelmethode weitaus kleiner. Trotz dessen erreicht nur die Kapillarmethode mit ihren Unsicherheiten den Literaturwert.

Die Diskrepanzen in den Größenordnungen der Fehler, ist dadurch erklärbar, dass bei der

Bügelmethode meist sehr genau gemessen wurde und an der guten Regression, welche einen kleinen Fehler für die Kraftfunktion erzeugt. Dagegen ist die Regression bei der Kapillarsteighöhenmethode relativ schlecht und es wurde sehr grob gemessen.

Mögliche Fehler für die Bügelmethode liegen zum Beispiel, in dem sich biegenden Draht wodurch die Länge l vergrößert wurde. Außerdem schwankte die Temperatur, besonders nahe des Gefrierpunktes, was zu einer schwankenden Oberflächenspannung geführt hat, da der Zusammenhang gilt $T \sim \sigma$. Ebenfalls war der Ablesefehler recht groß, da zwar die Messschraube sehr genau eingestellt werden konnte, entgegen dessen der Zeiger für die Nulleinstellung nicht genau erkennbar war.

Für die Kapillarmethode ist der Ablesefehler an der Skale sehr groß ($> 0.1\text{cm}$) genauso wie der Fehler des genauen Radius. Dies ist insbesondere in Abb. 2 erkennbar. Der zweite Messwert dort hatte einen Fehler für den Radius der kleiner als die Ablesegenauigkeit war, wodurch er in der Rechnung null wurde. Der Gesamtfehler war damit ebenfalls fast null was den weiteren Rückschluss zulässt, dass die Fehler für die Erdbeschleunigung und die der Dichte des Wassers vernachlässigbar waren. Eine weitere Fehlerquelle war die Reinheit der Kapillare. Sie dürfte aufgrund leichter Verschmutzungen das Ergebnis systematisch nach unten korrigiert haben, was sich mit dem Vergleich des Literaturwertes deckt.

5 Anlagen

5.1 Abbildungen

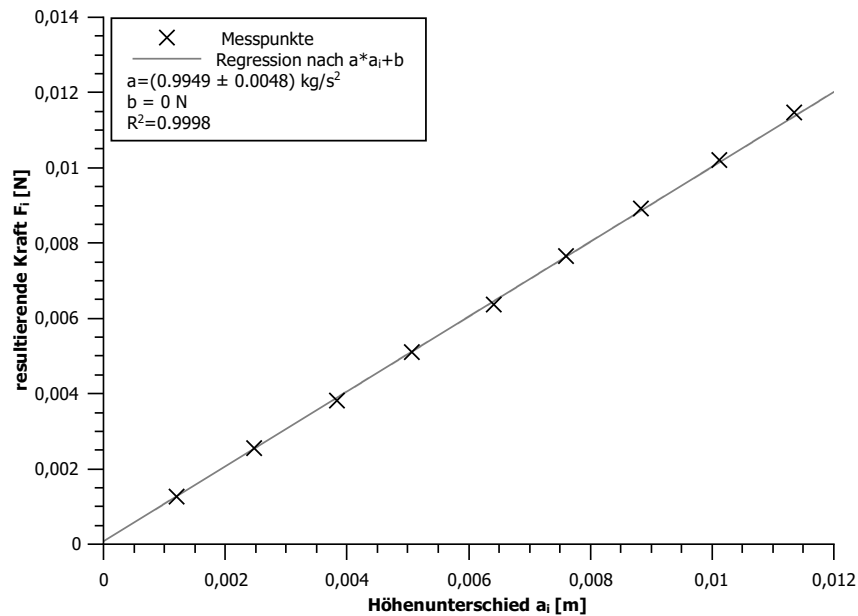


Abbildung 1: Resultierende Kraft F_i aus dem Höhenunterschied $A_i = a_i - a_0$ mit linearer Regression für den Zusammenhang $f(A_i) = F_i$

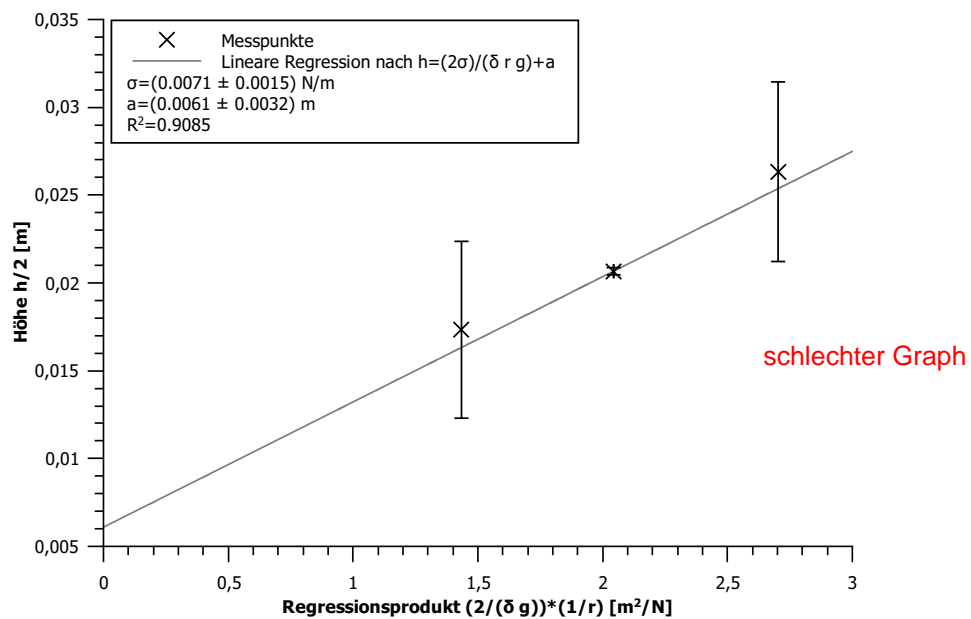


Abbildung 2: Lineare Regression zur Bestimmung von σ aus $h = \frac{2\sigma}{\rho_{\text{fluid}} \cdot g \cdot r}$

5.2 Aufgenommene Messwerte

MS Oberflächenspannung

Reitermasse $m = (1,300 \pm 0,002) \text{ g} = (0,001300 \pm 0,000002) \text{ kg}$

Drahtlänge $l \approx (50,3 \pm 0,1) \text{ mm}$

Messplatz 2

Nullreihe:

$a_0 = 3910 \mu\text{m}$	$a_3 = 7750 \mu\text{m}$	$a_6 = 11520 \mu\text{m}$	$a_9 = 15270 \mu\text{m}$
$a_1 = 5720 \mu\text{m}$	$a_4 = 9990 \mu\text{m}$	$a_7 = 12750 \mu\text{m}$	
$a_2 = 6400 \mu\text{m}$	$a_5 = 10330 \mu\text{m}$	$a_8 = 14040 \mu\text{m}$	

1. Reihe $24,7^\circ\text{C}$

$a_0 = 3920 \mu\text{m}$	$a_1 = 3750 \mu\text{m}$	$a_2 = 3780 \mu\text{m}$	$a_3 = 3790 \mu\text{m}$
$a_4 = 10750 \mu\text{m}$	$a_5 = 10280 \mu\text{m}$	$a_6 = 10890 \mu\text{m}$	$a_7 = 10950 \mu\text{m}$
$a_8 = 3830 \mu\text{m}$	$a_9 = 3860 \mu\text{m}$		
$a_{10} = 10260 \mu\text{m}$	$a_{11} = 10920 \mu\text{m}$		

2. Reihe $T = 17^\circ\text{C}$

$a_0 = 3730$	$a_1 = 3750$	$a_2 = 3820$	$a_3 = 3960$	$a_4 = 3920$	$a_5 = 3950$
$a_6 = 1090$	$a_7 = 10650$	$a_8 = 10990$	$a_9 = 77510$	$a_{10} = 70610$	$a_{11} = 10930$

2. Reihe $T = 19^\circ\text{C}$

$a_0 = 3730$	$a_1 = 3750$	$a_2 = 3820$	$a_3 = 3960$	$a_4 = 3920$	$a_5 = 3950$
$a_6 = 1090$	$a_7 = 10650$	$a_8 = 10990$	$a_9 = 77510$	$a_{10} = 70610$	$a_{11} = 10930$

Kapillare

1. $1,8 \text{ cm}$	2. $2,1 \text{ cm}$	3. $2,4 \text{ cm}$
2. $1,7 \text{ cm}$	2. $2,0 \text{ cm}$	2. $2,7 \text{ cm}$
3. $1,8 \text{ cm}$	2. $2,2 \text{ cm}$	2. $2,6 \text{ cm}$
4. $1,7 \text{ cm}$	2. $2,1 \text{ cm}$	2. $2,7 \text{ cm}$
5. $1,7 \text{ cm}$	2. $2,0 \text{ cm}$	2. $2,8 \text{ cm}$
6. $1,7 \text{ cm}$	2. $2,0 \text{ cm}$	2. $2,6 \text{ cm}$

20.05.15
Grunn

6 Quellen

1. Script zum Grundpraktikum (Formeln, Versuchsbeschreibung)
2. PTB Wert der Erdbeschleunigung
abgerufen: 21.05.2015 16:10 - <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>
3. chemie.de Wert der Oberflächenspannung σ von Wasser
abgerufen: 21.05.2015 18:21 - <http://www.chemie.de/lexikon/Oberflaechenspannung.html>