

Physikpraktikum für Naturwissenschaftler

Versuch: Oberflächenspannung

Durchgeführt am 08. November 2018

Betreuerin: Sabrina Hartmann

Gruppe 13

Felix Burr: felix.burr@uni-ulm.de

Johannes Spindler: johannes.spindler@uni-ulm.de

Wir bestätigen hiermit, das Protokoll selbstständig erarbeitet zu haben und in genauer Kenntnis über dessen Inhalt zu sein.

Felix Burr

Johannes Spindler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Oberflächenspannung von Wasser, Ethanol und Kochsalzlösung (Abreißmethode)	3
2.1	Versuchsdurchführung	3
2.2	Messwerte und Ergebnisse	4
2.2.1	Messungen bei Wasser	4
2.2.2	Messungen bei reinem Ethanol	4
2.2.3	Messungen bei Kochsalzlösung mit 3 mol/l	5
2.3	Fehlerrechnung	5
2.3.1	Standardabweichung und Größtfehler von σ bei Wasser	5
2.3.2	Standardabweichung und Größtfehler von σ bei Ethanol	5
2.3.3	Standardabweichung und Größtfehler von σ bei Kochsalzlösung	6
2.4	Ergebnisdiskussion	6
3	Oberflächenspannung von Tensidlösungen	7
3.1	Versuchsdurchführung	7
3.2	Messwerte und Ergebnisse	7
3.3	Ergebnisdiskussion	8
4	Oberflächenspannung von Wasser und einer SDS-Lösung (Kapillarmethode)	9
4.1	Versuchsdurchführung	9
4.2	Messwerte und Ergebnisse	10
4.3	Ergebnisdiskussion	11
5	Benetzung von Oberflächen	13
5.1	Versuchsdurchführung	13
5.2	Ergebnisdiskussion	13

1 Einleitung

Wer einen Wassertropfen am Ende einer Wasserhahns hängen sieht, bemerkt, dass sich dieser wie eine gedehnte Membran unter Spannung verhält und sich zu einer Kugel formt. Diese Spannung entsteht durch ionische Coulombkräfte, Dipol-Dipol-Kräfte und Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen in Flüssigkeiten und wird als Oberflächenspannung bezeichnet.

Im Folgenden werden verschiedene Methoden zur Bestimmung der Oberflächenspannung verschiedener Flüssigkeiten angewandt und deren Ergebnisse diskutiert.

2 Oberflächenspannung von Wasser, Ethanol und Kochsalzlösung (Abreißmethode)

2.1 Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau, wie er in Abbildung 1 gezeigt wird, besteht aus einem Behälter mit Flüssigkeit, das auf einem Podest mit verstellbarer Höhe steht. An einer Federwaage über diesem hängt ein Ring mit scharfer Schneide. Dessen Radius r wird mit einer Schieblehre bestimmt. Das Podest wird zu Beginn so eingestellt, dass der Ring in der Flüssigkeit hängt, dann wird es heruntergefahren. Dabei bildet sich eine Flüssigkeitslamelle am Rand des Rings. Die Skala der Federwaage muss dabei im Auge behalten werden. Schließlich wird die Kraft F in dem Moment abgelesen, indem die Lamelle abreißt, was diesem Vorgehen den Namen Abreißmethode gibt.

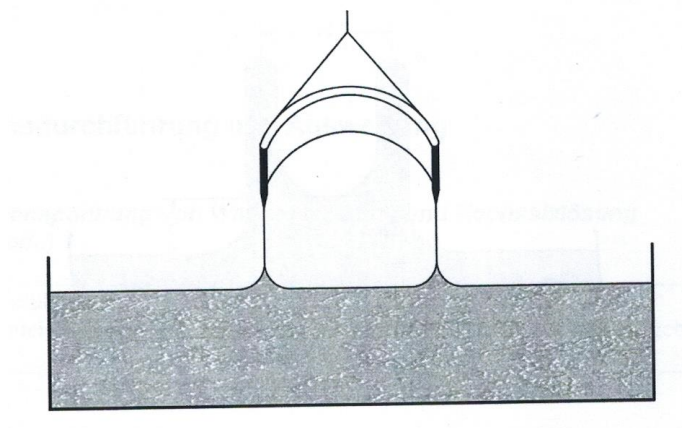


Abbildung 1: Der Versuchsaufbau zur Abreißmethode (aus der Versuchsanleitung)

Die Oberflächenspannung σ ist allgemein definiert als

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

wobei ΔO eine hinzugewonnene Flüssigkeitsoberfläche und ΔW die dafür benötigte Energie ist. Beim Ansteigen der Lamelle um die Höhendifferenz Δh muss entgegen der abgelesenen Kraft F gearbeitet werden, welche die Resultierende aus oben erwähnten zwischenmolekularen Kräften und der Gewichtskraft ist.

$$\Delta W = F \cdot \Delta h \quad (2)$$

Es bildet sich eine röhrenförmige Lamelle mit vernachlässigbarer Dicke. Sei A die Außenfläche dieser Lamelle (die Innenfläche ist wegen geringer Dicke auch A), dann ist die zugewonnene Oberfläche ΔO gegeben durch

$$\Delta O = 2A = 2(2\pi r \cdot \Delta h) = 4\pi r \cdot \Delta h \quad (3)$$

In Gleichung 1 eingesetzt ergibt das für die Oberflächenspannung

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

2.2 Messwerte und Ergebnisse

Ringdurchmesser 6,5cm, also $r = 0,0325m$

Raumtemperatur: $21,9^\circ C$

2.2.1 Messungen bei Wasser

Tabelle 1: Kraft F und Oberflächenspannung σ bei Wasser

Messung	F [mN]	σ [N/m]
1	24,0	0,0588
2	24,0	0,0588
3	25,5	0,0624
Mittelwert	24,5	0,0600

2.2.2 Messungen bei reinem Ethanol

Tabelle 2: Kraft F und Oberflächenspannung σ bei Ethanol

Messung	F [mN]	σ [N/m]
1	7,0	0,0171
2	7,0	0,0171
3	7,0	0,0171
Mittelwert	7,0	0,0171

2.2.3 Messungen bei Kochsalzlösung mit 3 mol/l

Tabelle 3: Kraft F und Oberflächenspannung σ bei Kochsalzlösung

Messung	F [mN]	σ [N/m]
1	22,0	0,0539
2	20,0	0,0490
3	19,0	0,0465
Mittelwert	20,3	0,0498

2.3 Fehlerrechnung

Aus Gleichung 4 folgt für σ , das von den Messgrößen F und r abhängt, der Größtfehler

$$\Delta\sigma = \left| \frac{\partial\sigma}{\partial F} \right| \Delta F + \left| \frac{\partial\sigma}{\partial r} \right| \Delta r = \left| \frac{1}{4\pi r} \right| \Delta F + \left| \frac{F}{4\pi} \right| \left| -\frac{1}{r^2} \right| \Delta r = \frac{1}{4\pi r} \Delta F + \frac{F}{4\pi r^2} \Delta r$$

Da die Skala auf dem Kraftmesser in Abständen von einem Milli-Newton aufgetragen ist und zum Messen des Ringradius eine Schieblehre verwendet wurde, werden $\Delta F = 1\text{mN}$, $\Delta r = 0,05\text{mm}$ als Größtfehler angenommen.

2.3.1 Standardabweichung und Größtfehler von σ bei Wasser

Aus Tabelle 1 folgt eine Standardabweichung von 0,0021. Mit den Mittelwerten $F = 24,5\text{mN}$, $\sigma = 0,0600\text{N/m}$ ergibt sich der Größtfehler von σ :

$$\Delta\sigma = \frac{1}{4\pi \cdot 0,0325\text{m}} 0,0010\text{N} + \frac{0,0245\text{N}}{4\pi(0,0325\text{m})^2} 5 \cdot 10^{-5}\text{m} = 0,00254\text{N}$$

$$\sigma = 0,0600\text{N} \pm 0,00254\text{N}$$

Der ermittelte Wert liegt damit deutlich außerhalb des Größtfehlerintervalls $[0,06945\text{N/m}, 0,07453\text{N/m}]$ um den Literaturwert $0,07199\text{N/m}$ (Begründung in der Ergebnisdiskussion).

2.3.2 Standardabweichung und Größtfehler von σ bei Ethanol

Wie in Tabelle 2 zu sehen ist, wurde in allen drei Messungen derselbe Wert für die Kraft gemessen, weshalb die Standardabweichung Null beträgt. Mit den Mittelwerten $F = 7,0\text{mN}$, $\sigma = 0,0171\text{N/m}$ ergibt sich der Größtfehler von σ :

$$\Delta\sigma = \frac{1}{4\pi \cdot 0,0325\text{m}} 0,0010\text{N} + \frac{0,0070\text{N}}{4\pi(0,0325\text{m})^2} 5 \cdot 10^{-5}\text{m} = 0,00247\text{N}$$

$$\sigma = 0,0171\text{N} \pm 0,00247\text{N}$$

Der ermittelte Wert liegt damit deutlich außerhalb des Größtfehlerintervalls $[0,01950\text{N/m}, 0,02444\text{N/m}]$ um den Literaturwert $0,02197\text{N/m}$ (Begründung in der Ergebnisdiskussion).

2.3.3 Standardabweichung und Größtfehler von σ bei Kochsalzlösung

Aus Tabelle 3 folgt eine Standardabweichung von 0,0037. Mit den Mittelwerten $F = 20,3mN$, $\sigma = 0,0498N/m$ ergibt sich der Größtfehler von σ :

$$\Delta\sigma = \frac{1}{4\pi \cdot 0,0325m} 0,0010N + \frac{0,0203N}{4\pi(0,0325m)^2} 5 \cdot 10^{-5}m = 0,00253N$$
$$\sigma = 0,0498N \pm 0,00253N$$

Der ermittelte Wert liegt damit deutlich außerhalb des Größtfehlerintervalls $[0,07947N/m, 0,08453N/m]$ um den Literaturwert $0,082N/m$ (Begründung in der Ergebnisdiskussion).

2.4 Ergebnisdiskussion

Da die Raumtemperatur $22,9^\circ C$ betrug, werden zum Vergleich die Literaturwerte für die Oberflächenspannung bei $25^\circ C$ aus der Versuchsanleitung herangezogen, die Temperaturabweichung wird vernachlässigt.

Das Messergebnis $\sigma_{Wasser} = 0,0600N/m$ unterschreitet den Literaturwert von $0,07199N/m$ um 16,7%.

Das Messergebnis $\sigma_{Ethanol} = 0,0171N/m$ unterschreitet den Literaturwert von $0,02197N/m$ um 22,2%.

Das Messergebnis $\sigma_{NaCl-Lsg} = 0,0498N/m$ unterschreitet den Literaturwert von $0,082N/m$ um 39,3%.

Da alle drei Messergebnisse unter den Literaturwerten liegen, müssen entweder die Werte für F zu niedrig oder ΔO mit Gleichung 3 überschätzt worden sein. Die Form der Lamelle wurde als zylindrisch angenommen, aber da der Ring nicht perfekt kreisförmig ist und die Wasseroberfläche mit der Lamelle nicht einen rechten Winkel bildet, ist der Zylinder nur eine Annäherung. Außerdem wurde die Dicke der Lamelle vernachlässigt, damit Außen- und Innenfläche als gleich groß angenommen werden können. Beim Messen der Kraft ist das Problem, genau zum Zeitpunkt des Abreißens abzulesen. Außerdem bleiben trotz Säubern des Behälters Verunreinigungen der Flüssigkeiten zurück und bei der Kochsalzlösung kann nicht gewährleistet werden, dass sie genau 3-molar vorbereitet wurde.

3 Oberflächenspannung von Tensidlösungen

3.1 Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau ist derselbe wie im vorherigen Versuchsteil. Diesmal wird als Flüssigkeit eine SDS-Lösung verwendet. Dazu werden 250ml einer 50 mM SDS-Stammlösung angesetzt. Bei der ersten Messung wird die Oberflächenspannung von 500ml Wasser bestimmt, dann wird bei jeder nachfolgenden Messung eine vorgegebene Menge SDS-Stammlösung hinzugefügt und homogen vermischt. In 13 Messungen werden damit SDS-Konzentration und Oberflächenspannung abhängig von der zugegebenen SDS-Menge (zwischen 0ml und 220ml) bestimmt.

Die SDS-Konzentration C_F der Flüssigkeit kann abhängig vom Volumen V_F der Flüssigkeit, dem Volumen V_{SDS} der Stammlösung und der Konzentration C_{SDS} der Stammlösung bestimmt werden durch

$$C_F = \frac{C_{SDS} \cdot V_{SDS}}{V_F} = \frac{0,05 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot V_{SDS}}{0,5\text{l} + V_{SDS}} \quad (5)$$

Die Oberflächenspannung kann wieder mit Gleichung 4 bestimmt werden.

Übersteigt C_F die kritische Micellenkonzentration CMC , kann haben keine weiteren SDS-Moleküle mehr Platz an der Wasseroberfläche und die Oberflächenspannung bleibt konstant. Die CMC soll durch die Messungen abgeschätzt werden.

3.2 Messwerte und Ergebnisse

Die Messwerte für F und σ und die errechnete SDS-Konzentration C_F abhängig vom Volumen V_{SDS} des zugegebenen SDS sind in Tabelle 4 festgehalten. Abbildung 2 zeigt mit den Werten von Tabelle 4 den Zusammenhang zwischen dem Logarithmus von C_F auf der x-Achse und σ auf der y-Achse

Tabelle 4: SDS-Konzentration C_F der Flüssigkeit, Kraft F und Oberflächenspannung σ abhängig von zugegebenem SDS-Volumen V_{SDS}

Messung	V_{SDS} [ml]	C_F [mol/l]	F [mN]	σ [N/m]
1	0	0,0000000	27,0	0,0661
2	1	0,0000998	26,5	0,0649
3	2	0,0001992	24,5	0,0600
4	5	0,0004951	18,0	0,0441
5	10	0,0009804	13,5	0,0331
6	20	0,0019231	15,5	0,0380
7	40	0,0037037	12,0	0,0294
8	60	0,0053571	11,0	0,0269
9	80	0,0068966	10,5	0,0257
10	100	0,0083333	10,0	0,0245
11	120	0,0096774	11,0	0,0269
12	170	0,0126866	11,5	0,0282
13	220	0,0152778	12,0	0,0294

3.3 Ergebnisdiskussion

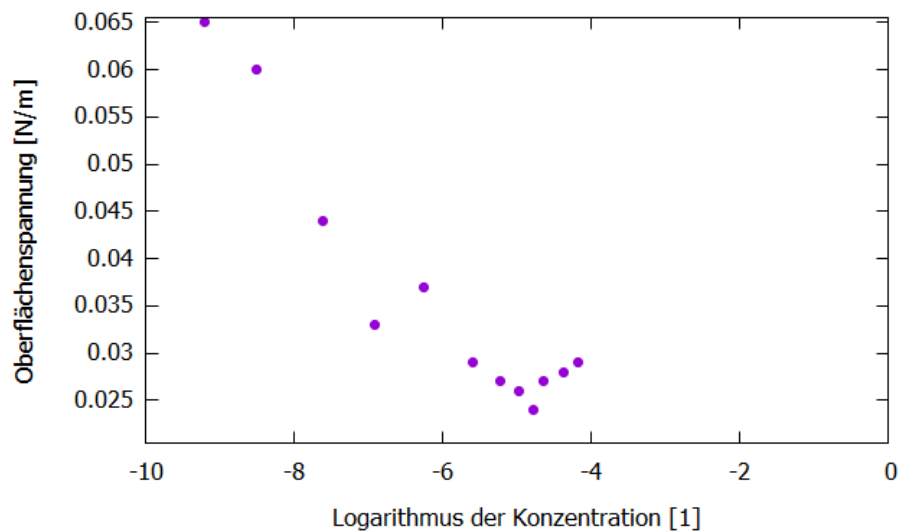


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen $\ln(C_F)$ und σ aus Tabelle 4

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, konzentrieren sich die σ -Werte der Messungen 11 bis 13 um etwa $0,028\text{N/m}$, während σ zwischen den Messungen 1 bis 11 (mit Ausnahme von Messung 6) von $0,066\text{N/m}$ auf $0,024\text{N/m}$ monoton (vermutlich linear) fällt.

Es ist also anzunehmen, dass die kritische Micellkonzentration CMC etwa bei Messung 11 liegt, was dann $CMC \approx 0,0083 \text{ mol/l}$ entspricht. Der Vergleich mit dem Literaturwert von $0,0081 \text{ mol/l}$ ergibt eine Abweichung von 2,5%.

Ungenauigkeiten treten wie im vorherigen Versuch erklärt wegen der Näherung der Oberfläche als Zylinder, wegen Verunreinigungen und Ablesen der Kraft zum falschen Zeitpunkt auf. Zusätzlich kommt hinzu, dass die Zugabe von Stammlösung durch eine Pipette nicht genau ist und das SDS eventuell nicht immer homogen mit dem Wasser vermischt war, wodurch sich eine SDS-Phase auf dem Wasser bildet.

4 Oberflächenspannung von Wasser und einer SDS-Lösung (Kapillarmethode)

4.1 Versuchsdurchführung

Es stehen für den Versuch Glasröhren mit den Kapillardurchmessern 5mm , $3,1\text{mm}$, $1,65\text{mm}$, $1,2\text{mm}$ und $0,83\text{mm}$ zur Verfügung. Diese 5 Röhren werden einmal in ein Wasserbecken und einmal in ein Becken mit der Tensidlösung aus Versuch 3 gestellt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass keine Luftbläschen in den Röhren bleiben. Durch den Kapillareffekt steigt das Wasser in den Röhren um die Steighöhe h , abhängig vom Radius r der Röhre und von der Oberflächenspannung σ (siehe Abbildung 3). Es gilt nämlich der Zusammenhang:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot r \quad (6)$$

Mit zwei unterschiedlichen Methoden wird also h in Wasser und SDS-Lösung gemessen, um deren Oberflächenspannung σ zu berechnen.

Bei Wasser wird ein Fernrohr so eingestellt, dass das Fadenkreuz auf dem Level der Wasseroberfläche ist, der Wert der Fernglas-Skala wird notiert, dann wird das Fadenkreuz auf den Meniskus gerichtet und die Fernglas-Skala abgelesen. Die Differenz zwischen Meniskus und Wasseroberfläche ist die Steighöhe.

Bei der SDS-Lösung wird das Becken samt Röhren und mit einem Lineal fotografiert. Mit der Software kann der Abstand zwischen Meniskus und Flüssigkeitsoberfläche in Pixeln abgemessen werden. Am Lineal kann ebenso ein Abschnitt in Pixeln bemessen werden und damit kann das Verhältnis Pixel pro Meter ermittelt werden. Mit diesem wird dann die Steighöhe in Pixel umgerechnet in Meter.

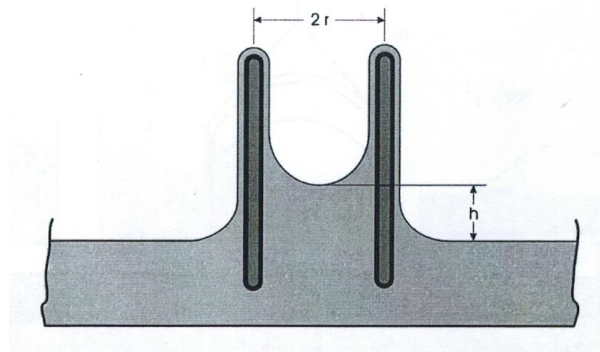


Abbildung 3: Der Versuchsaufbau zur Kapillarmethode (aus der Versuchsanleitung)

4.2 Messwerte und Ergebnisse

Tabelle 4 zeigt die Messungen für die Wasseroberfläche und den Meniskus und daraus folgend die Steighöhe des Wassers, Tabelle 6 zeigt die gemessene Steighöhe der SDS-Lösung

in Pixel, die dann mit dem Verhältnis 5160 Pixel/Meter in Meter umgerechnet wird. In Abbildung 4 ist die Steighöhe gegen den inversen Kapillarradius $1/r$ aufgetragen und mit linearer Regression wird die Oberflächenspannung von Wasser als Geradensteigung ermittelt. Abbildung 5 leistet selbiges für die Oberflächenspannung der SDS-Lösung.

Tabelle 5: Steighöhe von Wasser abhängig vom Kapillardurchmesser

Röhre	Kapillardurchmesser [m]	Wasseroberfläche [m]	Meniskus [m]	Steighöhe [m]
1	0,005	0,01	0,013	0,003
2	0,0031	0,01	0,0184	0,0084
3	0,00165	0,01	0,0277	0,0177
4	0,0012	0,01	0,0349	0,0249
5	0,00083	0,01	0,0465	0,0365

Tabelle 6: Steighöhe von SDS in abhängig vom Kapillardurchmesser

Röhre	Kapillardurchmesser [m]	Steighöhe [pixel]	Steighöhe [m]
1	0,005	20	0,0038
2	0,0031	27	0,0052
3	0,00165	70	0,0136
4	0,0012	73	0,0142
5	0,00083	180	0,0349

4.3 Ergebnisdiskussion

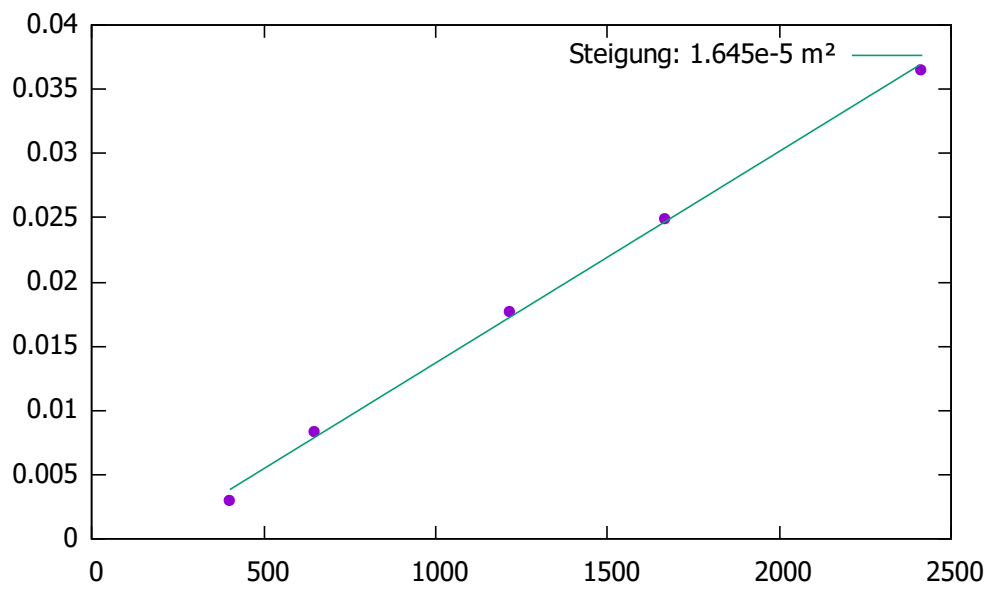


Abbildung 4: Lineare Regression über Tabelle 5

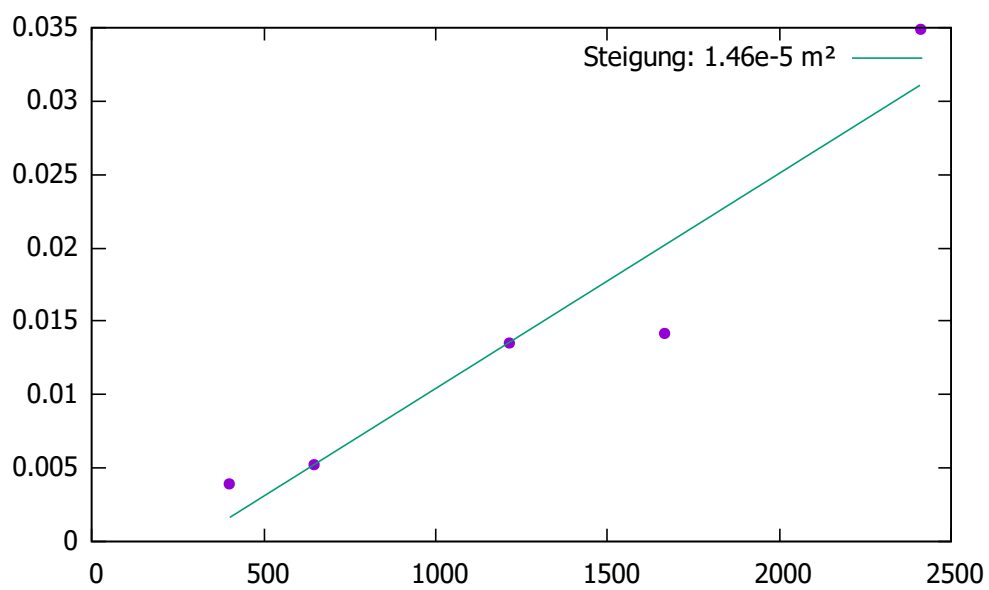


Abbildung 5: Lineare Regression über Tabelle 6

Wie in Abbildung 5 und 6 zu sehen ist, verhält sich das Inverse des Kapillardurchmessers linear zur Steighöhe. Durch die Steigung der Geraden können wir mittels

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot r \quad (7)$$

Die Oberflächenspannung bestimmen. Bei Wasser haben wir eine Oberflächenspannung von $\sigma = 73,35 \frac{mN}{m}$ ermittelt. Im Vergleich zum Literaturwert von $72,5 \frac{mN}{m}$ weicht der gemessene Wert um 1.16% ab, was vor allem auf den Temperaturunterschied oder potentielle Verschmutzungen des Wassers und des Kapillars zurückzuführen ist. Bei SDS haben wir hingegen eine Oberflächenspannung von $\sigma = 71,40 \frac{mN}{m}$ ermittelt. Im vorhergehenden Versuch erhielten wir dafür einen Wert von $\sigma = 29,4 \frac{mN}{m}$. Was überhaupt nicht mit dem aktuellen Wert übereinstimmt. Eine Erklärung dafür wäre die Möglichkeit, dass die SDS Lösung mit Wasser vertauscht bzw. verwechselt wurde.

5 Benetzung von Oberflächen

5.1 Versuchsdurchführung

In diesem Versuch untersuchen wir die Vernetzung von Oberflächen, indem wir mit einer Pipette einen Wassertropfen auf eine Glasplatte fallen lassen, die einmal kalt (Raumtemperatur) und einmal heiß (erhitzen via Bunsenbrenner) ist. Wir beobachten nun, wie sich der Wassertropfen auf der Oberfläche jeweils verhält.

5.2 Ergebnisdiskussion

Bei dem kalten Glasplättchen beobachten wir, wie der Tropfen sich leicht auf darauf verteilt. Wir messen einen Winkel von $9,71^\circ$ zur Oberfläche. Bei dem erhitztem Glasplättchen können wir dagegen beobachten, dass der Tropfen seine runde Form behält, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Wir messen einen Winkel von $156,49^\circ$.

Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich während des Erhitzens Ruß am Glasplättchen ablagert, was das Plättchen von einer glatten zu einer strukturierten Oberfläche abändert.

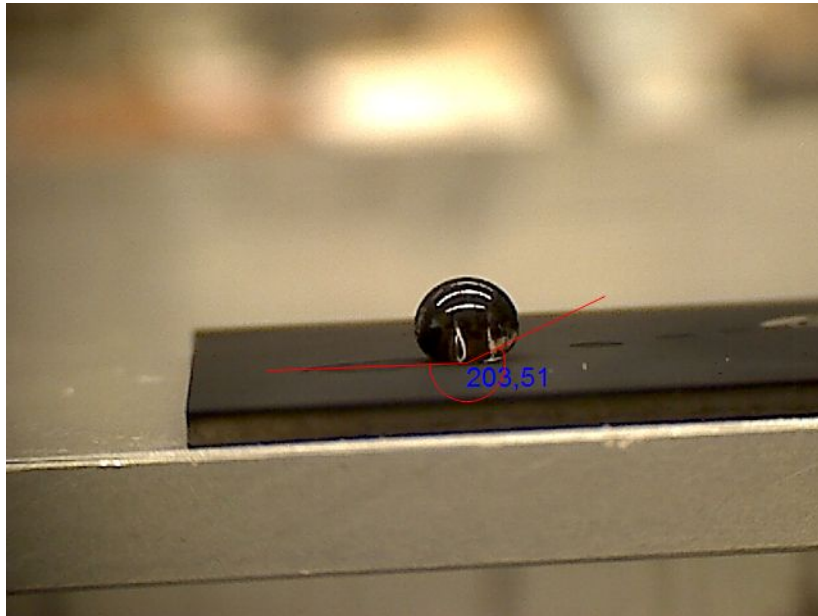


Abbildung 6: Wassertropfen auf erhitzten Glasplättchen
(Eingezeichneter Winkel ungültig)