

Knoch, Anastasiya

10.11.2015

Petri, Guido

(Gruppe C11)

Praktikum „Physikalische Chemie“

III Phasen und Grenzflächen

„Oberflächenspannung“

## 1. Aufgabenstellung

Es soll mit Hilfe der Kapillarmethode die Oberflächenspannung für die Tensid-Lösungen unterschiedlicher Konzentration bei konstanter Temperatur bestimmt werden. Über die maximale Steigung der Gibbssche Adsorptionsisotherme wird die maximale Oberflächenkonzentration des Tensids bestimmt. Mit diesem Wert wird der mittlere Abstand der Tensidmoleküle an der Oberfläche errechnet und mit dem hypothetischen Abstand der Moleküle im Inneren der Lösung bei minimalen und maximalen Konzentrationen verglichen.

## 2. Theoretische Grundlagen

Ein Molekül im Inneren einer Flüssigkeit wird von allen Seiten von Nachbarmolekülen angezogen. Zum Beispiel in Wasser sorgt dafür die Wasserstoffbrückenbindung der partiell geladenen Wassermoleküle. Bei Molekülen, die sich an der Grenzfläche Flüssigkeit/Luft befinden, fehlt ein Teil dieser Nachbarmoleküle. Deshalb entsteht an der Flüssigkeitsoberfläche eine ins Innere gerichtete Kraft und als Folge davon besitzen diese Moleküle eine höhere potenzielle Energie als die Moleküle im Inneren der Flüssigkeit. Für eine Vergrößerung der Oberfläche einer Flüssigkeit muss Arbeit geleistet werden, damit die Moleküle aus dem Innern der Flüssigkeit an die Oberfläche gebracht werden können. Falls Temperatur und Druck konstant sind, ist die Arbeit zur Vergrößerung der Oberfläche um  $dA$  proportional der Änderung  $dG$  der freien Enthalpie:  $dG \approx \sigma \cdot dA$ . Mit Einführung einer Proportionalitätskonstante  $\sigma$  erhält man folgende Gleichung:

$$dG = \sigma \cdot dA \quad (1)$$

$\sigma$  entspricht der Oberflächenspannung und hat die Einheit  $\text{J/m}^2$ . Die Oberflächenspannung einer Lösung ist von der Konzentration des gelösten Stoffes abhängig. Stoffe, die sich in der Oberfläche anreichern, verändern die Oberflächenspannung einer Lösung. Zu solchen Stoffen gehören Tenside, Fettsäuren und langkettige Alkohole, deren Moleküle aus einer hydrophilen Kopfgruppe und einer hydrophoben Kette bestehen.

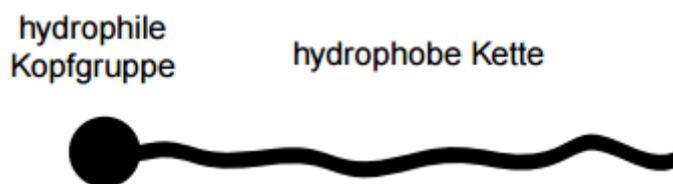


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer grenzflächenaktiven Substanz

Bei dieser Anlagerung der Tensiden an der Oberfläche einer Lösung, zum Beispiel Wasser, werden die hydrophile Teile im Wasser und die hydrophoben Ketten in die Luft bleiben.

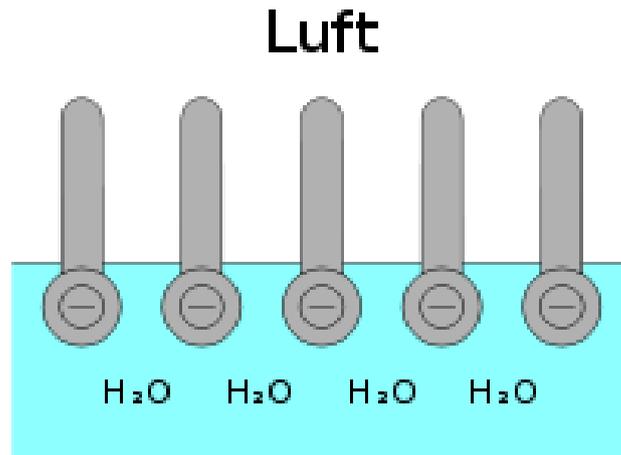


Abbildung 2: Anlagerung der Tensiden an der Oberfläche

Die Gibbsche Adsorptionsisotherme beschreibt den Zusammenhang zwischen der Adsorption eines oberflächenaktiven Stoffes an der Oberfläche und der Änderung der Grenzflächenspannung  $d\sigma$  bei konstanter Temperatur:

$$d\sigma = -\Gamma \cdot d\mu \quad (2)$$

hier ist  $\Gamma$  die Grenzflächenkonzentration des gelösten Stoffes in  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$ ;  $\mu$  ist das chemische Potenzial des gelösten Stoffes in  $\text{J}/\text{mol}$ . Im Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Gasphase für näherungsweise ideal verdünnte Lösung kann folgende Gleichung benutzt werden:

$$d\sigma = -\Gamma \cdot R \cdot T \cdot d\ln c \quad (3)$$

Hierbei ist  $\Gamma$  – Grenzflächenkonzentration,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$ ;  $c$  – Konzentration der Lösung,  $\text{mol}/\text{l}$ ;  $R$  – Gaskonstante,  $\frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$ ;  $T$  – Standardtemperatur,  $\text{K}$ .

In dem Versuch wird die Kapillarmethode verwendet. Dabei wird eine Kapillare in eine Flüssigkeit eingetaucht. Im Inneren der Kapillare entsteht eine gekrümmte Grenzfläche, als Folge nimmt die freie Enthalpie ab und die Oberfläche hat eine natürliche Tendenz, sich zu verkleinern. Wenn die Flüssigkeit in der Kapillare über das Flüssigkeitsniveau ansteigt und dabei eine konkave Oberfläche hat, ist das eine benetzende Flüssigkeit (zum Beispiel Wasser). Der Grund des Anstieges der Flüssigkeit in der Kapillare liegt daran, dass es einen Druckunterschied zwischen  $P_{\text{ausßen}}$  und  $P_{\text{innen}}$  bei der Krümmung des Meniskus entsteht.

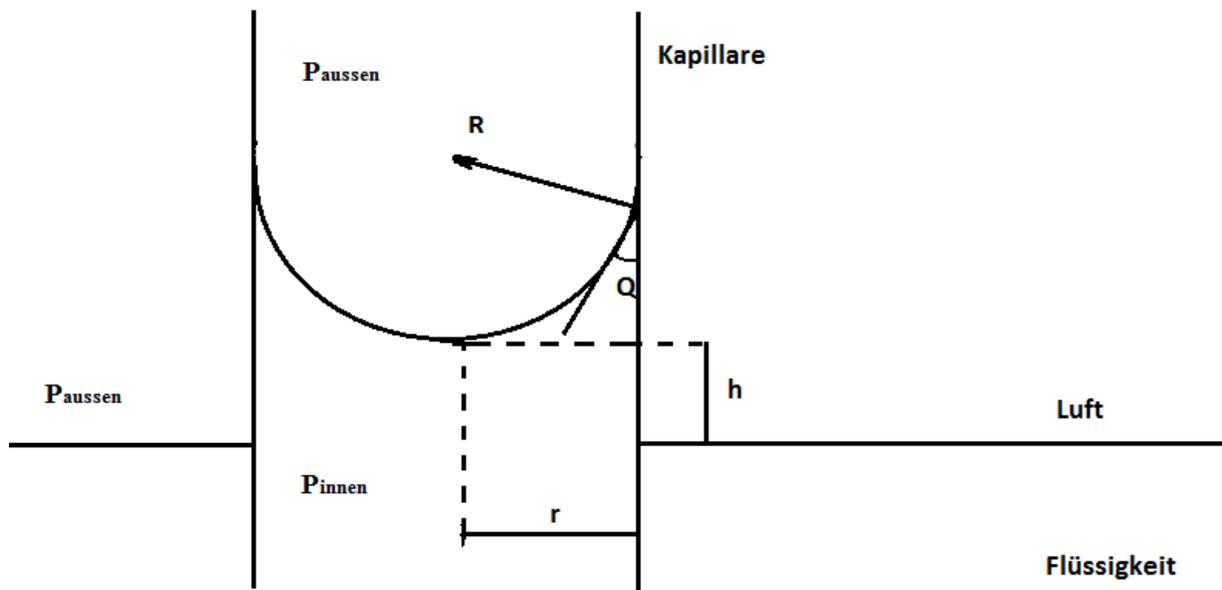


Abbildung 3: Ansteigen der Flüssigkeit in Kapillar

In der Abbildung 3 wird ein Anstieg der Flüssigkeit in der Kapillare für eine benetzende Flüssigkeit dargestellt, wobei  $R$  - Krümmungsradius,  $r$  – Radius der Kapillare,  $h$  – Steighöhe,  $\theta$  - Benetzungswinkel. Für benetzende Flüssigkeiten ist der Kontaktwinkel  $\theta$  kleiner  $90^\circ$ . Im vorliegenden Fall wird von vollständige Benetzbarkeit ausgegangen und somit ist  $\theta = 0^\circ$ . Für eine nicht benetzende Flüssigkeit (zum Beispiel Quecksilber) ist die Steigung der Flüssigkeit in der Kapillare niedriger und die Oberfläche konvex. Der Kontaktwinkel ist dann  $\theta = 90^\circ - 180^\circ$ .

### 3. Beschreibung der Apparatur und der Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau ist auf der Abbildung 2 vorgestellt.

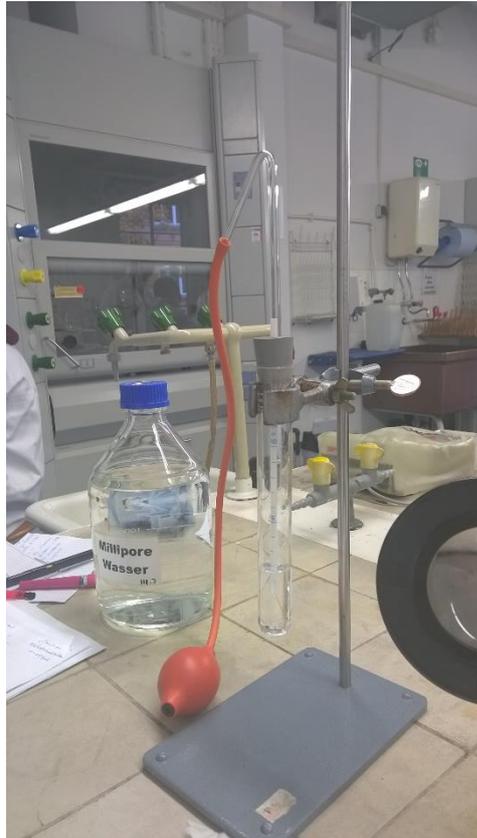


Abbildung 4: Versuchsaufbau für die Messung der Oberflächenspannung

Auf einem Stativ wird ein Reagenzglas mit der Flüssigkeit befestigt. Im Reagenzglas befindet sich ein Stopfen, durch welchen eine Kapillare und ein Blaseball eingesetzt wird. Für den Versuch werden noch 3 Bechergläser, ein langes Lineal und ein Pipettensatz (5 ml, 10 ml, 15 ml) benötigt. Vor den Versuchsbeginn ist es wichtig darauf zu achten, dass die Kapillare und das Gefäß sauber sind, sonst werden die Ergebnisse verfälscht. Zuerst wird die Kapillare mit etwas Milli-Q Wasser gespült. Der Rest des Milli-Q Wassers wird aus der Kapillare mit einem Papiertuch entfernt. Der Versuch beginnt mit der Messung der Steighöhe des Wassers, um den Radius der Kapillare berechnen zu können. Das Reagenzglas wird mit 20 ml Milli-Q Wasser aufgefüllt und die Kapillare wird eingetaucht. Wegen der Druckunterschiede steigt das Milli-Q Wasser in der Kapillare auf. Die Steighöhe wird mit der Hilfe des Lineals gemessen. Mit Hilfe des Blaseballs wird ein Überdruck erzeugt, was die Steighöhe des Milli-Q Wassers in der Kapillare erhöht. Nach dem Druckausgleich wird die Steighöhe dann nochmal abgelesen. Die dreimalige Durchführung des Versuches ergibt sechs Werte für die Steighöhe des Milli-Q Wassers. Dann wird der Versuch mit 8 Tensidlösungen durchgeführt, die verschiedene Konzentrationen besitzen. Die Lösungen werden mit einer Verdünnungsreihe vorbereitet. Die

erste Lösung besteht aus 20 mL des reinen Tensids, in diesem Fall Ethylenglykolmonobutylether, und 80 mL Milli-Q Wasser. Aus dieser Lösung werden 25 mL entnommen, um den Versuch durchzuführen, und die restlichen 25 mL werden auf 100 mL mit Milli-Q Wasser aufgefüllt, um die nächste Lösung zu machen. 5 mL der entnommenen Menge werden für das Spülen der Apparatur verwendet, die restlichen 20 mL für die Messung. Folgende Tabelle 1 wurde erstellt:

Tabelle 1: Messwerte für die Steigung der Tensidlösungen und Fehler der Steighöhe

| Tensid-Lösung  | Höhe der Lösungssäule h in mm |     |    |    |    |    | Mittelwert $\bar{h}$ in mm | Relativer Fehler der Steighöhe der Tensid-Lösungen $\delta h$ |
|----------------|-------------------------------|-----|----|----|----|----|----------------------------|---|
|                |                               |     |    |    |    |    |                            |   |
| 1              | 33                            | 34  | 34 | 34 | 34 | 34 | 33,83                      | 0,030   |
| 2              | 33                            | 33  | 36 | 35 | 34 | 34 | 34,17                      | 0,029   |
| 3              | 34                            | 34  | 34 | 35 | 34 | 36 | 34,50                      | 0,029   |
| 4              | 37                            | 38  | 38 | 37 | 37 | 37 | 37,33                      | 0,027   |
| 5              | 43                            | 43  | 43 | 43 | 42 | 42 | 42,67                      | 0,023   |
| 6              | 45                            | 45  | 46 | 46 | 46 | 47 | 45,83                      | 0,022   |
| 7              | 49                            | 50  | 50 | 50 | 49 | 50 | 49,67                      | 0,020   |
| 8              | 57                            | 57  | 55 | 54 | 55 | 55 | 55,5                       | 0,018   |
| Milli-Q Wasser | 79                            | 101 | 83 | 84 | 84 | 86 | 86,17                      | -   |

wobei Tensidlösung 1 die erste und Tensidlösung 8 die letzte Lösung ist. Aus der Skalierung der Kapillare wurde bestimmt: 1  $\mu$ l entspricht 1,1 cm. Für die Berechnung des relativen Fehlers der Steighöhe wird der Ablese-Fehler des Lineals ( $\Delta h = \pm 1\text{mm}$ ) berücksichtigt. Die berechneten relativen Fehler der Steigung werden in der Tabelle 1 dargestellt.

Beispielrechnung für die erste Lösung:  $\delta h_1 = \frac{\Delta h}{h_1} = \frac{1\text{mm}}{33,83\text{mm}} = 0,030$

Der Mittelwert des relativen Fehlers der Steighöhe der Tensid-Lösungen  $\delta h_{\text{mittel}} = 0,025$ .

## 4. Auswertung der Messergebnisse

### Berechnung des Radius der Kapillare

Zuerst wird der Wert der Radius mit Hilfe der gemessenen Steighöhe von Wasser bestimmt.

Die Oberflächenspannung  $\sigma$  kann durch die Gleichung 4 berechnet werden:

$$\sigma = \frac{ghr\rho}{2\cos\theta} \quad (4)$$

wobei  $g$  - Erdbeschleunigung,  $\frac{m}{s^2}$ ;  $h$  - mittlere Steighöhe in der Kapillare,  $m$ ;  $r$  - Radius der Kapillare,  $m$ ;  $\rho$  - Dichte der Flüssigkeit,  $\frac{g}{cm^3}$ ;  $\theta$  - Kontaktwinkel.

Durch Umformen der Gleichung 1 und mit der Annahme, dass der Kontaktwinkel  $0^\circ$  ist, folgt folgende Formel (Gl. 5) für die Radiusberechnung:

$$r_1 = \frac{\sigma \cdot 2}{gh\rho} \quad (5)$$

dabei ist die Oberflächenspannung von Wasser  $72,75 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$  und die Dichte  $0,99823 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

$$r_1 = \frac{\sigma \cdot 2}{gh\rho} = \frac{0,07275 \frac{N}{m} \cdot 2}{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,086 \text{ m} \cdot 998,23 \frac{kg}{m^3}} = 1,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Dann wird der Radius der Kapillare zusätzlich aus der Skalierung bestimmt. Die Volumeneinheit der Kapillare ( $1 \pm 0,5$ )  $\mu\text{l}$  entspricht ( $1,1 \pm 0,1$ )  $\text{cm}$ . Da die Kapillare die Form eines Zylinders hat, kann der Radius der Kapillare durch die Gleichung 6 ausgerechnet werden:

$$r_2 = \sqrt{\frac{V_s}{\pi \cdot h_s}} \quad (6)$$

Hier ist  $V_s$  - die Volumeneinheit der Kapillare in  $\text{m}^3$  und  $h_s$  - die Höhe der Volumeneinheit in  $\text{m}$ .

$$r_2 = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3}{3,14 \cdot 0,011 \text{ m}}} = 1,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Aus den beiden Werten für den Radius wird ein Mittelwert gebildet und für die weitere Auswertung verwendet. (Gl. 7):

$$\bar{r} = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (7)$$

Der Mittelwert ist dann:  $\bar{r} = 1,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Bei der Berechnung der Radiusfehler wird der Mittelwert des relativen Fehlers der Steighöhe der Tensid-Lösungen ( $\delta h_{\text{mittel}} = 0,025$ ) berücksichtigt. Dazu wird noch der Volumenfehler der Kapillaren ( $\Delta V = 0,5 \mu\text{l}$ ) und der Fehler des Lineals ( $\Delta h = 1 \text{ mm}$ ) mitberechnet. Der relativen Fehler der Kapillarenradius ist dann:  $\delta r = \delta h_{\text{mittel}} + \delta h + \delta V = 0,025 + \frac{1 \text{ mm}}{110 \text{ mm}} + \frac{0,5 \mu\text{l}}{10 \mu\text{l}} = 0,025 + 0,0091 + 0,05 = 0,0841$

Der absolute Fehler des Kapillarenradius:  $\Delta r = 0,0841 \cdot 1,72 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,4465 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ .

### Konzentrationsberechnung für die Tensid-Lösungen

Zunächst wird die Konzentration der Tensid-Stammlösung berechnet. Für die Tensid-Stammlösung wurden folgende Daten angegeben: Massenanteil der Stammlösung  $\geq 99\%$ , Molare Masse 118,17 g/mol, Dichte 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Die Masse der Lösung wird durch die Gleichung 8 berechnet:

$$m_{\text{lös}} = V \cdot \rho \quad (8)$$

wobei V ist entnommene Volumen der Stammlösung und entspricht 20 ml,  $\rho$  ist die Dichte der Tensid-Lösung.

Die Masse der entnommenen 20 ml der Stammlösung ist dann:

$$m_{\text{lös}} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 900 \text{ kg/m}^3 = 0,018 \text{ kg} = 18 \text{ g}$$

Dann wird die Konzentration der Tensid-Lösung ausgerechnet (Gl. 9):

$$c = \frac{m_{\text{lösung}}}{M \cdot V} \quad (9)$$

hierbei ist  $m_{\text{lösung}}$  die Masse der 20 ml der Stammlösung, M - Molare Masse der Stammlösung und V - das Volumen der Stammlösung (20ml).

Die Konzentration der 20 ml der Tensid-Lösung nach der Gleichung 9 ergibt sich zu:

$$c = \frac{18 \text{ g}}{118,17 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,02 \text{ l}} = 7,61 \text{ mol/l}$$

Die Konzentrationen der Lösungen in der Verdünnungsreihe werden mit dem Verdünnungsgesetz (Gl. 10) ausgerechnet:

$$c_{\text{unv}} \cdot V_{\text{unv}} = c_{\text{v}} \cdot V_{\text{v}} \quad (10)$$

dabei ist  $c_{\text{unv}}$  die Konzentration der unverdünnten Lösung mol/l;  $V_{\text{unv}}$  ist das Volumen der unverdünnten Lösung, l;  $c_{\text{v}}$  ist die Konzentration der verdünnten Lösung, mol/l;  $V_{\text{v}}$  ist Volumen der verdünnten Lösung, l.

Für die Bestimmung der Konzentration der ersten Tensid-Lösung  $c_1$  werden in die Gleichung 10 die folgende Werte eingesetzt:  $c_{\text{unv}} = 7,61 \text{ mol/l}$ ;  $V_{\text{unv}} = 20 \text{ ml} = 0,02 \text{ l}$ ;  $V_{\text{v}} = 100 \text{ ml} = 0,1 \text{ l}$ . Für alle weiteren Lösungen wird  $V_{\text{unv}} = 75 \text{ ml} = 0,075 \text{ l}$  für die Berechnung der Konzentration benutzt. Die ausgerechneten Werte für die Konzentration der Tensid-Lösung werden in Tabelle 2 eingetragen.

Tabelle 2: Berechnete Konzentrationen der Tensid-Lösung und Konzentrationsfehler

| Nummer der Tensid-Lösung | Konzentration der Tensid-Lösung c in mol/l | Relativer Fehler $\delta c$ | Absoluter Fehler $\Delta c$ in mol/l |
|--------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1                        | 1,522                                      | 0,006                       | $\pm 0,00913$                        |
| 2                        | 1,142                                      | 0,010                       | $\pm 0,01142$                        |
| 3                        | 0,856                                      | 0,014                       | $\pm 0,01198$                        |
| 4                        | 0,642                                      | 0,018                       | $\pm 0,01156$                        |
| 5                        | 0,482                                      | 0,022                       | $\pm 0,01060$                        |
| 6                        | 0,361                                      | 0,026                       | $\pm 0,00939$                        |
| 7                        | 0,271                                      | 0,030                       | $\pm 0,00813$                        |
| 8                        | 0,203                                      | 0,034                       | $\pm 0,00690$                        |

Bei der Berechnung des relativen Konzentrationsfehlers für die erste Tensid-Lösung wird der Messkolbenfehler ( $\pm 0,2$  ml) und der Pipettenfehler berücksichtigt, da sie den Fehler des Volumens und als Folge den Fehler der Konzentration liefern. Für die Herstellung der ersten Tensid-Lösung wurden 20 ml und 25 ml Pipetten benötigt, die jeweils den Fehler  $\pm 0,04$  ml haben. Nach der Rundung des relativen Fehlers der 25 ml Pipette wurde angenommen, dass alle Geräte einen relativen Fehler  $\delta V_{\text{ges}}$  gleich 0,002 haben. Somit ist der relative Konzentrationsfehler der ersten Tensid-Lösung:  $\delta c_1 = \delta V_1 = 0,002 \cdot 3 = 0,006$ . Der absolute Fehler ist dann:  $\Delta c_1 = \delta c_1 \cdot c_1 = 0,006 \cdot 1,522 \text{ mol/l} = 0,00913 \text{ mol/l}$ . Beim Herstellung aller weiteren Tensid-Lösungen wurde nur zwei Geräte benötigt: eine Messkolbe und 20 ml Pipette. Deswegen der relative Fehler bei der 2. Lösung:  $\delta c_2 = 0,002 \cdot 5 = 0,01$  und bei der 3. Lösung:  $\delta c_3 = 0,002 \cdot 7 = 0,014$  und so weiter. Die Ergebnisse der Fehlerrechnung der Konzentration werden in der Tabelle 2 dargestellt. Der Mittelwert des relativen Fehlers der Konzentration:  $\overline{\Delta c} = \pm 0,00989 \text{ mol/l}$ .

#### Bestimmung der Oberflächenspannung für Tensid-Lösungen

Aus den gemessenen Anstiegs- und Fallhöhen wird für jede Tensid-Lösung ein Mittelwert gebildet. Dann wird nach der Gleichung 4 die zugehörigen Oberflächenspannungen berechnet und die Abhängigkeit  $\sigma$  von  $\ln(c/c_E)$  wird graphisch dargestellt.

Die Ergebnisse der  $\sigma$ - und  $\ln(c/c_E)$ -Werte für 8 Tensid-Lösungen werden in der Tabelle 3 dargestellt.

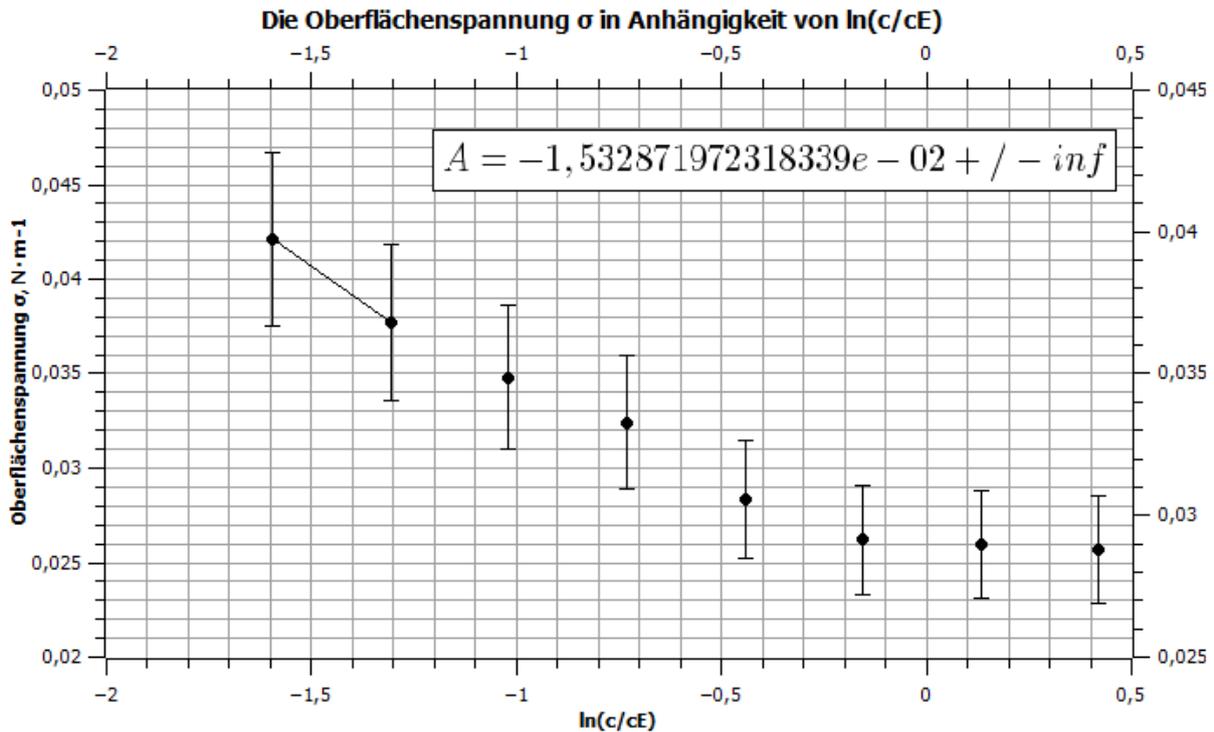
Tabelle 3: Berechnete Werte für die Oberflächenspannung und  $\ln(c/c_E)$  und die absoluten Fehler der Oberflächenspannung

| Tensid-Lösung | Oberflächenspannung $\sigma$<br>in $\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$ | Absoluter Fehler der<br>Oberflächenspannung<br>$\Delta\sigma$ in $\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$ | $\ln(c/c_E)$ |
|---------------|--|--|--------------|
| 1             | 25,69  | $\pm 2,803$  | 0,420        |
| 2             | 25,95  | $\pm 2,831$  | 0,133        |
| 3             | 26,20  | $\pm 2,858$  | -0,155       |
| 4             | 28,34  | $\pm 3,092$  | -0,443       |
| 5             | 32,40  | $\pm 3,535$  | -0,730       |
| 6             | 34,80  | $\pm 3,797$  | -1,019       |
| 7             | 37,71  | $\pm 4,114$  | -1,306       |
| 8             | 42,14  | $\pm 4,597$  | -1,595       |

Der relative Fehler der Oberflächenspannung  $\delta\sigma$  besteht aus der Summe von relativen Radiusfehler ( $\delta r = 0,0841$ ) und der Mittelwert des relativen Fehlers der Steighöhe der Tensid-Lösungen ( $\delta h_{\text{mittel}} = 0,025$ ). Relativer Fehler ist dann:  $\delta\sigma = \delta r + \delta h_{\text{mittel}} = 0,0841 + 0,025 = 0,1091$ .

Beispielrechnung der absoluten Fehler der Oberflächenspannung für die erste Tensid-Lösung:  $\Delta\sigma_1 = \delta\sigma \cdot \sigma_1 = 0,1091 \cdot 25,69 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1} = 2,803 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ . Die ausgerechneten Werte der absoluten Fehler der Oberflächenspannung werden in die Tabelle 3 eingetragen und als Fehlerbalken auf dem Graph 1 eingezeichnet.

In QtiPlot wird die Oberflächenspannung  $\sigma$  gegen  $\ln(c/c_E)$  aufgetragen und auf der folgenden Grafik dargestellt:



Graph 1: Graphische Darstellung von Oberflächenspannung  $\sigma$  gegen  $\ln(c/c_E)$

Aus der graphischen Darstellung folgt, dass die Oberflächenspannung mit steigender Konzentration der Tensid-Lösungen abnimmt. Der Grund dafür ist, dass die Tensid-Moleküle beim Lösen in der Flüssigkeit sich an der Oberfläche anreichern. Dabei setzen sie die Oberflächenspannung der Lösung herab. Wird die Konzentration der Tensid-Lösung so hoch, dass sich keine weiteren Moleküle an der Oberfläche anreichern können, erreicht die Oberflächenspannung ein Minimum. Sie ändert sich auch bei weiteren Erhöhung der Konzentration nicht mehr. Das bedeutet, dass der Wert der Oberflächenspannung ein Plateau erreicht und konstant bleibt, was auch auf der oben dargestellten Grafik zu sehen ist. Die Steigung nach Angaben der QtiPlot ist:  $\left(\frac{\partial\sigma}{\partial\ln c}\right) = (-1,53 \cdot 10^{-2})$

#### Berechnung der Oberflächenkonzentration

Durch die abgelesene Steigung wird die Oberflächenkonzentration  $\Gamma$  gemäß der Gibbsschen Adsorptionsisotherme nach der Gleichung 11 berechnet:

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \cdot \left(\frac{\partial\sigma}{\partial\ln c}\right) \quad (11)$$

hier  $R$  – Gaskonstante,  $8,314 \frac{J}{K \cdot mol}$ ;  $T$  – Standardtemperatur,  $298,15 \text{ K}$ ;  $\left(\frac{\partial\sigma}{\partial\ln c}\right)$  - Steigung bei der graphischen Auftragung der Oberflächenspannung über die Konzentration.

Die Oberflächenkonzentration nach der Gleichung 11 ist:

$$\Gamma = -\frac{1}{8,314 \frac{J}{K \cdot mol} \cdot 298,15 \text{ K}} \cdot (-0,0153 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}) = 6,17 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}$$

Es wird kein Fehler der maximalen Oberflächenkonzentration ermittelt ( $\Delta\Gamma = 0$ ).

## Bestimmung der Werte von mittleren Abstand der Tensidmoleküle an der Oberfläche und im Inneren der Lösung

Die Grenzflächenkonzentration muss zuerst in Zahl der Moleküle/Angström umgerechnet werden:

$$\Gamma = 6,17 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} = 6,17 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \left(\frac{10^{-10} \text{ m}}{1 \text{ \AA}}\right)^2 = 6,17 \cdot 10^{-26} \text{ mol} \cdot \text{\AA}^{-2}$$

Dann wird der Molekülanzahl pro Fläche bestimmt:  $\Gamma \cdot N_A = 6,17 \cdot 10^{-26} \text{ mol} \cdot \text{\AA}^{-2} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 0,037 \text{ \AA}^{-2}$

Der Abstand der Moleküle zueinander in der Oberfläche ( $D_0$ ):

$$D_1 = \sqrt{\frac{1}{0,037 \text{ \AA}^{-2}}} = 5,20 \text{ \AA}$$

Dann muss der hypothetische mittlere Abstand der Moleküle im Inneren der Lösung für die höchste Konzentration ( $D_1$ ) und für die niedrigste Konzentration ( $D_8$ ) bestimmen werden. Dafür wird zunächst die Konzentration in mol/Angström umgerechnet:

$$[c] = 1 \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right] \cdot \left(\frac{1 \text{ l}}{0,001 \text{ m}^3}\right) = 1 \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right] \cdot \left(\frac{10^{-10} \text{ m}}{1 \text{ \AA}}\right)^3 = 1 \cdot 10^{-30} [\text{mol} \cdot \text{\AA}^{-3}]$$

Für die niedrigste Konzentration ist dann:

$$c_8 = 0,203 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{0,001 \text{ m}^3} = 203 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{10^{-10} \text{ m}}{1 \text{ \AA}}\right)^3 = 203 \cdot 10^{-30} \text{ mol} \cdot \text{\AA}^{-3}$$

$$D_8 = \sqrt[3]{\frac{1}{N_A \cdot c_8}} = \sqrt[3]{\frac{1}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 203 \cdot 10^{-30} \text{ \AA}^{-3}}} = 20,15 \text{ \AA}$$

Für die höchste Konzentration dann:

$$c_1 = 1,522 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{0,001 \text{ m}^3} = 1522 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{10^{-10} \text{ m}}{1 \text{ \AA}}\right)^3 = 1522 \cdot 10^{-30} \text{ mol} \cdot \text{\AA}^{-3}$$

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{N_A \cdot c_1}} = \sqrt[3]{\frac{1}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 1522 \cdot 10^{-30} \text{ \AA}^{-3}}} = 10,29 \text{ \AA}$$

Da für die Berechnung des hypothetischen mittleren Abstandes der Moleküle im Inneren der Lösung die Konzentrationen der Tensid-Lösungen benutzt wurden, soll der Fehler des mittleren Abstandes der Moleküle in Inneren ausgerechnet werden. Mit der Zusammenhang durch die Rechnung mit der Kubikwurzel ist der relative Fehler für die niedrigste Konzentration:  $\delta D_8 = 3 \cdot \delta c = 3 \cdot 0,034 = 0,102$ . Der absolute Fehler ist dann:  $\Delta D_8 = \delta D_8 \cdot D_8 = 0,102 \cdot 20,15 \text{ \AA} = 2,055 \text{ \AA}$ . Für die höchste Konzentration:  $\delta D_1 = 3 \cdot \delta c = 3 \cdot 0,006 = 0,018$  und  $\Delta D_1 = \delta D_1 \cdot D_1 = 0,018 \cdot 10,29 \text{ \AA} = 0,185 \text{ \AA}$ .

### Fehlerbetrachtung

Mögliche auftretende Fehler während des Versuches bestehen hauptsächlich aus optischen Gründen. Die Messung der Höhe der Lösungssäule wurde mit einem Lineal durchgeführt, und

es gab sowohl das Glas um die Kapillare selbst als auch das Glas des Reagenzglases als Linsen zwischen Betrachter und Lösungssäule. Diese Fehler kann nicht unterdrückt werden, jedoch ist es ein systemischer Fehler, und da es in diesem Versuch hauptsächlich über Unterschiede zwischen Zuständen geht, sollten unsere Ergebnisse immer noch richtig sein. Außerdem gab es in der Messung der Milli-Q Wasserlösung eine sehr große Abweichung in einem Wert, nämlich den zweiten (101mm), was jedoch als Ausreißer angenommen wurde und deshalb nicht in den Durchschnitt eingeschlossen wurde.

## **Zusammenfassung**

In dem Experiment wurde gezeigt, wie sich die Oberflächenspannung einer Lösung mit der Konzentration eines Tensides verändert. Mit der Sättigung der Oberfläche mit Tensidmoleküle verändert sich die Oberflächenspannung nicht mehr.

Die mittleren Abstände zwischen Molekülen für die Lösungen höchster und niedrigster Konzentrationen wurden ausgerechnet. Es wurde  $D_1 (10,29 \pm 0,185)$  A und  $D_8 (20,15 \pm 2,055)$  A ermittelt. Bei dem Vergleich ergibt sich, dass für niedrigere Konzentration kleineren Abstände entspricht und für die höchste Konzentration größeren Abstände entspricht, was laut dem logischen Sinn richtig ist. Bei dem Vergleich sieht man, dass der Abstand zwischen Molekülen an der Oberfläche viel kleiner ist als bei maximaler Konzentration im Inneren der Lösung.

## **5. Quellen**

- 1) P. W. Atkins: Physikalische Chemie. 2. Auflage, Wiley-VCH 1996. Kapitel 28 „Die Eigenschaften von Oberflächen“
- 2) H. Försterling, H. Kuhn: Praxis der Physikalischen Chemie. 2. Auflage, VCH 1985. Kapitel 5 „Grenzflächen“
- 3) G. Wedler: Lehrbuch der Physikalischen Chemie, Verlag Chemie. Kapitel 2.7 „Grenzflächengleichgewichte“