

# Praktikum Physikalische Chemie I

## Oberflächenspannung (Tensiometrie)

Datum: 10.07.2009  
Gruppe: 117  
Felix Jörg, Christian Niedermeier  
Betreuer: Christiane Heuber

### 1 Aufgabenstellung

In diesem Versuch soll die Oberflächenspannung von bidestilliertem Wasser, Leitungswasser und von verschiedenen konzentrierten Tensidlösungen und daraus die kritische Micellenkonzentration des Tensids bestimmt werden. Des Weiteren soll der Alkoholgehalt verschiedener alkoholhaltiger Getränke über die Oberflächenspannung mit Hilfe einer zuvor erstellten Messkurve verschiedener Alkoholkonzentrationen ermittelt werden.

### 2 Theorie

An der Oberfläche von kondensierten Phasen tritt die Oberflächenspannung  $\gamma$  auf. Sie ist definiert als die Arbeit  $\Delta W$ , die zur Vergrößerung einer Oberfläche nötig ist, dividiert durch die zusätzlich entstandene Oberfläche  $\Delta A$

$$\gamma = \frac{\Delta W}{\Delta A} \quad (1)$$

Die Einheit ist also  $\left[ \frac{J}{m^2} \right] = \left[ \frac{N}{m} \right]$ .

Die Oberflächenspannung kommt durch anziehende Kräfte in der kondensierten Phase zustande. In Abbildung 1 sind schematisch die auf ein Flüssigkeitsmolekül wirkenden Kräfte eines Teilchens an der Oberfläche einer Flüssigkeit (rechts) und eines Moleküls, das komplett von anderen Molekülen umgeben ist (links), dargestellt. Da die Kräfte zwischen Flüssigkeitsmolekülen stärker sind, als die zwischen Teilchen aus der Gasphase und einem Flüssigkeitsmolekül, wird das Teilchen an der Oberfläche von der restlichen Flüssigkeit

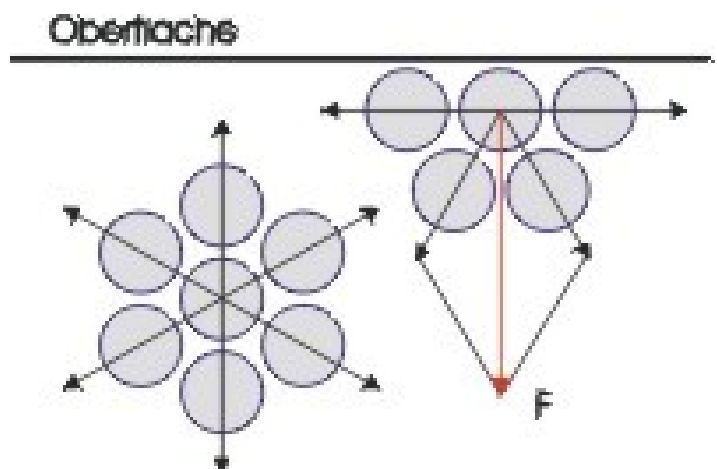


Abbildung 1: Schematische Darstellung der anziehenden Kräfte auf ein Flüssigkeitsmolekül.

„festgehalten“.

Durch die Zugabe von grenzflächenaktiven Substanzen wie z.B. Tensiden, kann die Oberflächenspannung von Wasser gesenkt werden. Tenside ordnen sich an der Oberfläche so an, dass der langkettige, lipophile Teil aus der Flüssigkeit heraus in die Luft gestreckt wird und der hydrophile „Kopf“ sich an der Oberfläche der Flüssigkeit anlagert. Die Anordnung der Wassermoleküle wird so gestört und die Oberflächenspannung sinkt. Oder anders gesagt: die Anlagerung der Tensidmoleküle an der Oberfläche ist energetisch günstig, wodurch die Oberflächenenergie gesenkt wird.

In diesem Versuch wird das Tensid Natriumdodecylsulfat (SDS) verwendet.

Gibt man immer mehr Tensid zum Wasser hinzu, so ist irgendwann die gesamte Oberfläche damit bedeckt. Die kritische Mizellenbildungskonzentration (cmc) ist erreicht. Es können sich keine Tensidmoleküle mehr an der Oberfläche anlagern, also „klumpen“ die überschüssigen zusammen, indem sich die lipophilen Teile aneinander lagern und somit Kügelchen entstehen, deren Oberfläche aus den hydrophilen Enden der Tenside besteht. Die Oberflächenspannung sinkt dann bei weiterer Zugabe nicht mehr.

Eine andere Möglichkeit zur Senkung der Oberflächenspannung von Wasser ist die Zugabe von Verbindungen die sich mit Wasser mischen. In diesem Versuch ist es Ethanol. Es liegt allerdings jetzt nicht mehr nur eine Veränderung der Oberfläche vor, sondern im gesamten Volumen werden die Wechselwirkungen zwischen den Wasserteilchen, also die Wasserstoffbrückenbindungen, geschwächt. Zu einem Ethanolmolekül kann nämlich nur noch eine H-Brücke gebildet werden und nicht zwei, so wie zwischen Wasserstoffmolekülen.



Abbildung 2: Messring nach Lecomte De Noüy.

Zur Messung der Oberflächenspannung wird in diesem Versuch ein Ring-Methoden-Tensiometer nach Lecomte De Noüy verwendet. In Abbildung 2 ist dieser abgebildet. Der Ring wird unter die Flüssigkeitsoberfläche gedrückt und herausgezogen. Der Messapparat ist so konstruiert, dass der Messring an einem Hebelarm aufgehängt ist, der wiederum fest an einen Torsionsdraht angeklemt ist. Der Ring wird aus der Flüssigkeit herausgezogen, indem das Gefäß mit der Flüssigkeit abgesenkt wird. Der Hebelarm wird dadurch nach unten ausgelenkt. Durch Verdrillen des Torsionsdrahtes kann eine Gegenkraft aufgebracht werden, die den Hebelarm wieder in die Waagerechte bringt. An dem Rad das zum Verdrillen gedreht werden muss ist eine Skala angebracht, die so geeicht ist, dass die Oberflächenspannung direkt in mN/m abgelesen werden kann.

### 3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Vor jeder Messung wurde der Metallring in Aceton und bidestilliertem Wasser gereinigt und danach sehr kurz über dem Bunsenbrenner ausgeglüht. Auch die Glasgefäße wurden mit Aceton und einem Zellstofftuch ausgerieben, sorgfältig mit Wasser ausgespült und ausgeglüht, um die Messwerte verfälschende Verunreinigungen so gut wie möglich zu vermeiden.

### 3.1 Bestimmung der Oberflächenspannung von Wasser

Die Oberflächenspannung von Leitungswasser kann mit 72 mN/m bestimmt werden. Für bidestilliertes Wasser ergibt sich ein Wert von 71 mN/m. Das entspricht Abweichungen vom Literaturwert (72,75 mN/m) von 1,03% bzw 2,41%.

### 3.2 Oberflächenspannung von Wasser mit SDS und Bestimmung der cmc

Um verschieden konzentrierte Lösungen von SDS herzustellen wird eine Stammlösung der Konzentration 0,25 mol/L verwendet, die von der vorherigen Gruppe hergestellt wurde. Die Stammlösung wird nach dem Versuch wieder für die nächste Gruppe angesetzt. Bei einer Molaren Masse von  $M = 288,38 \text{ g/mol}$  für SDS benötigt man als Einwaage für 25 mL Lösung:

$$m = n \cdot M = c \cdot V \cdot M = 0,25 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L} \cdot 288,38 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 1,8 \text{ g}$$

Für 14 verschiedenen Probelösungen wurden jeweils 10 mL angesetzt. Die Zusammensetzungen sowie die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgelistet. In Diagramm 1

Tabelle 1: Probelösungen mit verschiedenen SDS Konzentrationen:

Lösung	$c_{\text{SDS}}$ [mol/L]	$V_{\text{Stamm}}$ [mL]	$V_{\text{Wasser}}$ [mL]	$\gamma$ [mN/m]	$\log(\gamma)$ [mN/m]
1	2,50E-004	0,01	9,99	67	1,8261
2	5,00E-004	0,02	9,98	(68)	(1,8325)
3	1,00E-003	0,04	9,96	63	1,7993
4	2,00E-003	0,08	9,92	58	1,7634
5	3,00E-003	0,12	9,88	54	1,7324
6	4,00E-003	0,16	9,84	49	1,6902
7	5,00E-003	0,20	9,80	(38)	(1,5798)
8	6,00E-003	0,24	9,76	41	1,6128
9	7,00E-003	0,28	9,72	40	1,6021
10	8,00E-003	0,32	9,68	37	1,5682
11	9,00E-003	0,36	9,64	38	1,5798
12	1,00E-002	0,40	9,60	37	1,5682
13	2,00E-002	0,80	9,20	38	1,5798
14	5,00E-002	2,00	8,00	37	1,5682

Die Auftragung der Oberflächenspannung gegen die Konzentration von SDS ist in Abbildung 3 zu sehen. Der siebte Wert wird als Messfehler interpretiert und deshalb nicht eingezeichnet. Die Kurve fällt am Anfang stark ab, bevor sie dann abflacht und gegen einen konstanten Wert läuft. Dann ist die kritische Micellenkonzentration erreicht. Selbst durch Zugabe von sehr viel Tensid lässt sich die Oberflächenspannung nicht weiter senken (letzter Messpunkt). Es lässt sich ablesen, dass die Oberflächenspannung nicht unter den Wert von ca. 37 mN/m fällt. Das ist ab einer cmc von ca. 0,008 mol/L der Fall.

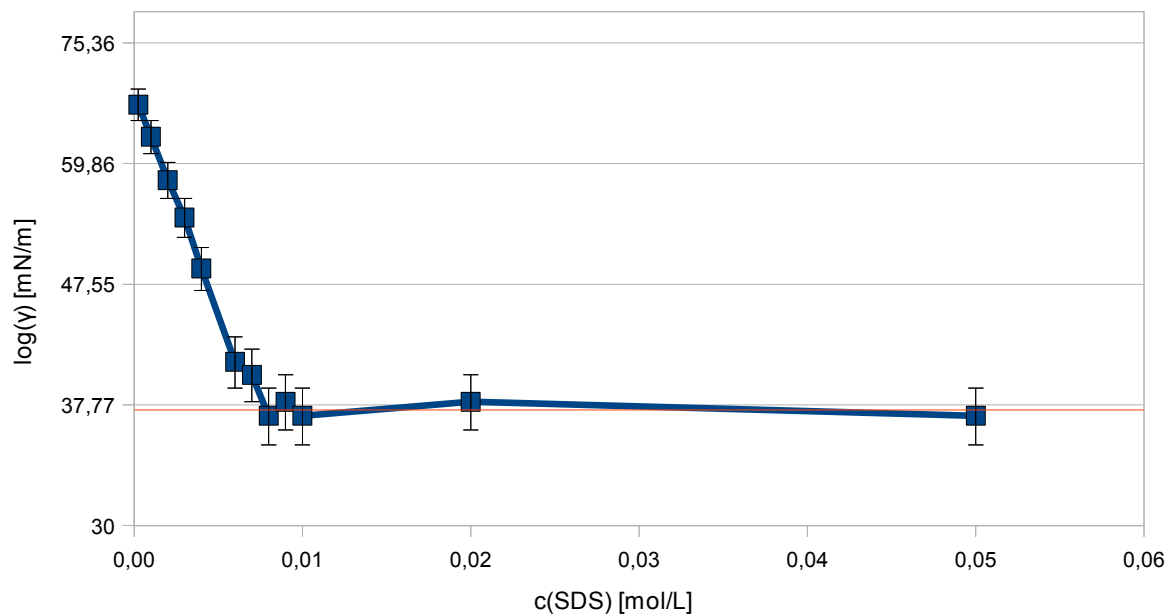


Abbildung 3: Oberflächenspannung von Wasser bei Zugabe von SDS.

### 3.3 Oberflächenspannung von Wasser bei Mischung mit Ethanol

Tabelle 2:  $\gamma$  verschiedener Ethanolgemische:

Lösung	vol% Ethanol	$\gamma$ [mN/m]
1	0	72
2	10	49
3	20	41
4	30	32
5	40	30,5
6	50	28,5
7	60	27
8	70	26
9	80	25
10	90	24
11	100	23

Tabelle 2 enthält die Oberflächenspannungen bei verschiedenen Ethanol-Wasser Gemischen. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse in einem Diagramm eingezeichnet. Die Kurve fällt zunächst exponentiell ab, bei höheren Konzentrationen wird die Steigung linear. Es gibt jedoch keinen Grenzwert wie bei der Tensid-Kurve

Tabelle 3: Oberflächenspannung verschiedener Alkoholika:

Name	$\gamma$ [mN/m]	Vol% gemessen	Vol% angegeben	Abweichung
Pineau de Charentes	41	19,5	17	14,71%
Petite Pêche	40,5	20,5	18	13,89%
Bontego Bay	33	30	37,5	25,00%

In Tabelle 3 sind die alkoholhaltigen Getränke aufgelistet, deren Alkoholgehalt zu bestimmen ist. Die gemessene Oberflächenspannung ist in Diagramm 4 eingezeichnet und der entsprechende Alkoholgehalt abgelesen.

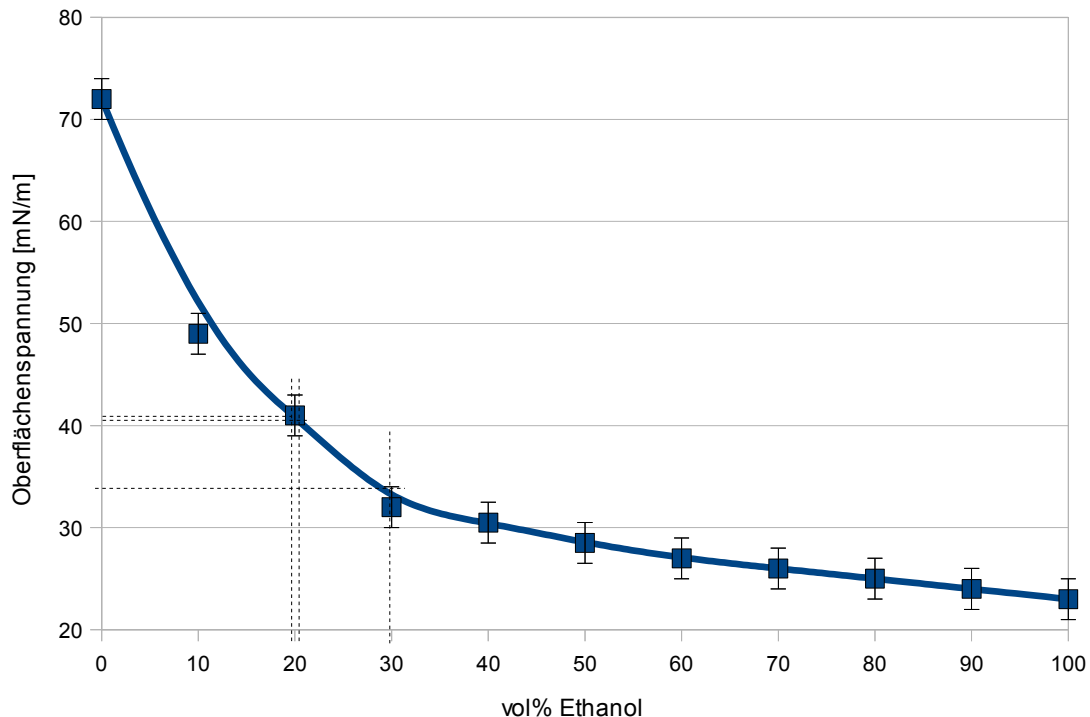


Abbildung 4: Oberflächenspannung verschiedener Ethanolgemische.

## 4 Fehlerbetrachtung

Die Oberflächenspannung ist stark abhängig von geringen Verunreinigungen. Das geht auch aus den Diagrammen hervor, die bei sehr kleinen Konzentrationen am stärksten abfallen. Es gibt verschiedene Wege, wie Verunreinigungen bei diesem Versuch in die Messbehälter kommen können:

- durch das ausbrennen der Gläser bzw. des Ringes können Rußpartikel haften bleiben
- trotz sorgfältigem Ausspülen mit Wasser können Acetonreste an den Gläsern haften
- in den alkoholhaltigen Getränken sind teilweise Geschmacks- bzw. Farbstoffe enthalten, die sich auf die Oberflächenspannung auswirken könnten

Die Ablesegenauigkeit der Skala wird auf 0,5 mN geschätzt. Der größte Fehler beim Messen entsteht jedoch dadurch, dass der Hebelarm eigentlich zu jeder Zeit waagerecht sein müsste. Es wird aber immer der Torsionsdraht gedreht und dann der Trägertisch wieder ein Stückchen abgesenkt. Außerdem wird die Lage des Arms per Augenmaß eingeschätzt. Es gibt zwar eine Markierung, die das erleichtert, eine Wasserwaage wäre jedoch genauer.

Eine Weitere Fehlerquelle sind die Pipetten. Diese sind zwar geeicht, aber ein gewisser Fehler – vor allem beim Abmessen der Volumina im Mikroliterbereich.

Bei bidestilliertem Wasser und Leitungswasser wurde ungefähr der gleiche Wert festgestellt (72 bzw. 72 mN). Der Literaturwert liegt bei 72,75 mN. Die Abweichung liegt also bei knapp 2 mN. Dieser Fehler wurde in die Diagramm 3 und 4 eingetragen.

## 5 Diskussion der Ergebnisse

Die Oberflächenspannungen für Leitungswasser und bidestilliertes Wasser weichen nur sehr gering und innerhalb der Fehlergrenzen voneinander ab. Die im Leitungswasser vorhandenen Ionen verändern die Oberflächenspannung folglich nur minimal. Dies liegt daran, dass sie viel kleiner sind als die hydrophilen Köpfe der Tensidmoleküle und von einer Hydrathülle umgeben werden. Außerdem lagern sie sich auch nicht an der Oberfläche an, wie die Tensidmoleküle.

Andere Verunreinigungen, die einen Einfluss auf die Oberflächenspannung haben können somit im Leitungswasser auch nicht vorhanden sein.

Bei der Messung bei SDS-Zugabe ergaben sich Unregelmäßigkeiten. Der 7. Messwert ist viel zu niedrig und wurde deshalb auch geklammert. Hier müssen Verunreinigungen vorhanden gewesen sein, denn die Probe wurde erneut gemessen, was das selbe Ergebnis lieferte.

Auch bei den ersten beiden Messwerten müsste ein deutlicherer Unterschied feststellbar sein. Die Schwankungen beim Erreichen der cmc betragen 1 mN, was wiederum auf Messungenauigkeit zurückzuführen ist.

Die Kurve der Alkoholkonzentrationen fällt schön monoton ab (Begründung siehe Theorieteil). Die Bestimmung des Alkoholgehalts der Getränke ist jedoch nur bedingt erfolgreich. Der Alkoholgehalt von „Pineau de Charentes“ liegt 1,5 Vol% über dem Gemessenen Wert, der von „Petite Pêche“ 2,5 Vol%. Der Unterschied von 1 Vol% in der Konzentration stimmt jedoch überein.

Bei „Bontego Bay“ liegt der Gemessene Wert allerdings 7,5 Vol% unter dem angegebenen.

Bei allen drei Proben ist zu bedenken, dass die Flaschen schon älter sind und deshalb Alkohol verdunstet sein kann. Das würde auch erklären, warum die Werte immer zu niedrig sind. Allerdings kann dies auch durch Verunreinigungen bzw. den oben erwähnten Geschmacks- und Farbstoffen liegen. Die große Abweichung bei „Bontego Bay“ kommt auch dadurch zustande, dass die Kurve bei höheren Konzentrationen abflacht und somit ein größerer Ablesefehler entsteht. Verunreinigungen können nicht der Fehler gewesen sein, da es sich um einen klaren Alkohol handelt, also keine Farbstoffe enthalten sind. Außerdem hätte der Wert der Oberflächenspannung bei Verunreinigungen niedriger sein müssen, auf einen höheren Alkoholgehalt geführt hätte. Es muss sich also um einen Messfehler handeln oder die Alkoholkonzentration ist niedriger als angegeben.

## 6 Zusammenfassung

Die cmc von SDS konnte mit 0,008 mol/L bestimmt werden. Die Bestimmung des Alkoholgehalts der Getränke sind Tabelle 3 zu entnehmen.