

PRAKTIKUM:

Versuch **SURF**

Oberflächenspannung an Grenzflächen

Schlüsselwörter: Oberflächenspannung, Fehlerrechnung, lin. Regression, Tenside

1.) Versuchsausstattung

- Tensiometer K6 mit Zubehör
- Thermostat
- Maßkolben
- Fit (Spülmittel)
- wässrige Lösungen 0,1M
 - Natriumdodecylsulfat
 - Ethanol
 - Natriumchlorid

2.) Aufgabenstellung

Für Wasser ist die Oberflächenspannung bei 20°C und in Abhängigkeit von der Temperatur im Bereich von 20°C bis 60°C experimentell zu bestimmen.

Für verschiedene wässrige Lösungen mit sind die Oberflächenspannungen zu ermitteln und mit der von reinen Wasser zu vergleichen. Der Einfluss Grenzflächenaktiver Verbindungen ist zu Diskutieren.

3.) Grundlagen

In einer Flüssigkeit wirken zwischen den Molekülen anziehende und abstoßende Kräfte geringer Reichweite. Innerhalb des Wirkungsradius der Kräfte stellt sich ein Gleichgewichtsabstand R zwischen zwei benachbarten Molekülen derart ein, dass die Summe der Kräfte verschwindet. Wird der Abstand zwischen den beiden Molekülen größer, überwiegen die anziehenden Kräfte, wird er dagegen kleiner, die abstoßenden Kräfte. Innerhalb einer Flüssigkeit wird ein beliebiges Molekül daher von allen benachbarten Molekülen, die sich im Wirkungsbereich seiner Molekularkräfte befinden, angezogen. Infolge einer homogenen und isotropen Verteilung der benachbarten Moleküle wird die Resultierende aus allen auf dieses Molekül wirkenden Anziehungskräften Null.

Für Moleküle einer Grenzschicht, deren Größe der des Wirkungsbereiches der molekularen Wechselwirkung entspricht, verschwindet dagegen die resultierende Kraft im Allgemeinen nicht.

Wirken die Anziehungskräfte zwischen den Teilen eines Stoffes spricht man von Kohäsionskräften, wirken sie zwischen den Teilen zweier verschiedener Stoffe von Adhäsionskräften.

Sind die Kohäsionskräfte zwischen einem Molekül in einer Grenzschicht der betrachteten Flüssigkeit größer als die Adhäsionskräfte zu den Molekülen der angrenzenden Schicht, so bildet sich eine Resultierende Kraft F , die senkrecht zur Oberfläche der Grenzschicht in das

Innere der Flüssigkeit wirkt. Im Ergebnis erhält man eine Flüssigkeit, die bestrebt ist, ihre Oberfläche zu dem angrenzenden Stoff zu minimieren.

Um die Grenzfläche zwischen den beiden Stoffen um eine beliebige Fläche ΔA zu vergrößern, muss der Flüssigkeit die Arbeit

$$\Delta W = \sigma \Delta A \quad (1)$$

zugeführt werden. Verkleinert sich dagegen die Oberfläche um ΔA wird diese Arbeit frei. Der Proportionalitätsfaktor σ wird Oberflächenspannung genannt, seine Einheit ist $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$.

Im anderen Fall, die Kohäsionskräfte zwischen einem Molekül in einer Grenzschicht der betrachteten Flüssigkeit sind kleiner als die Adhäsionskräfte zu den Molekülen der angrenzenden Schicht, bildet sich ebenfalls eine senkrecht zur Oberfläche der Grenzschicht wirkende Kraft, die allerdings aus der Flüssigkeit heraus wirkt. Die Oberfläche der Grenzschicht wird maximiert.

3.1. Prinzip der Messung der Oberflächenspannung mit der Ringmethode nach Du Noüy

Die Ringmethode nach Du Noüy - auch Abreißmethode - dient zur Untersuchung der Oberflächenspannung von Flüssig-Gasförmigen- und Flüssig-Flüssig-Systemen. Dabei wird ein Platin-Iridium-Ring definierter Geometrie in die zu untersuchende Flüssigkeit eingetaucht und anschließend langsam wieder herausgezogen. Die dabei entstehende Kraft wird mit einer Torsionswaage gemessen. Gesucht ist die maximal entstehende Kraft bei der die Flüssigkeit gerade nicht vom Ring abreißt.

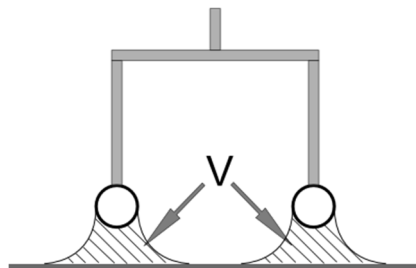


Abb. 01: Ringmethode (Querschnitt)

Beim Herausheben des Ringes aus der Flüssigkeit wirkt neben der Kraft die durch die Oberflächenspannung σ hervorgerufen wird auch die Gewichtskraft des durch den Ring herausgehobenen hydrostatisch wirksamen Flüssigkeitsvolumens. Unter der Annahme, dass von dem Ring eine zylinderförmige Flüssigkeitslamelle hochgezogen wird, wobei sowohl von der Innen-, als auch von der Außenseite des Zylinders eine neue Oberfläche gebildet wird, gilt für die Kraft F_{\max} :

$$F_{\max} = 2(2\pi R)\sigma \quad (2a)$$

Damit gilt:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{4 \cdot \pi \cdot R} \quad (2b)$$

mit:

σ ... Oberflächenspannung in $[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}]$

F_{\max} ... maximale Kraft beim Herausziehen des Rings [N]

R ... mittlerer Radius des Rings [m]

In Abb.01 ist erkennbar, dass in der Realität die Flüssigkeit nicht in Form eines Zylindermantels aus der Probe herausgezogen wird, sondern eine Krümmung aufweist. Infolgedessen ist eine Korrektur der Messwerte notwendig.

$$\sigma = \sigma^* * K \quad (3a)$$

mit:

σ ... Oberflächenspannung in [N*m⁻¹]
 σ^* ... gemessene Oberflächenspannung in [N*m⁻¹]
K ... Korrekturfaktor

Der Korrekturfaktor K ist von Harkins und Jordan [3] als Funktion von R³/V, R/r und D-d

$$K = f(R^3/V, R/r, D-d) \quad (3b)$$

mit:

R ... mittlerer Ringradius = 9.545 mm (für KRÜSS K6)
r ... Radius des Drahtquerschnittes = 0.185mm (für KRÜSS K6)
V ... angehobenes Flüssigkeitsvolumen

$$V = \frac{4\pi R}{(D-d)g} \sigma^* \quad (3c)$$

D ... Dichte von bidestilliertem Wasser
d ... Dichte der flüssigen Phase
R/r = 51.6 (für KRÜSS K6)

veröffentlicht worden.

4.) Versuchsdurchführung

4.1 Aufbau des KRÜSS Tensiometer K6

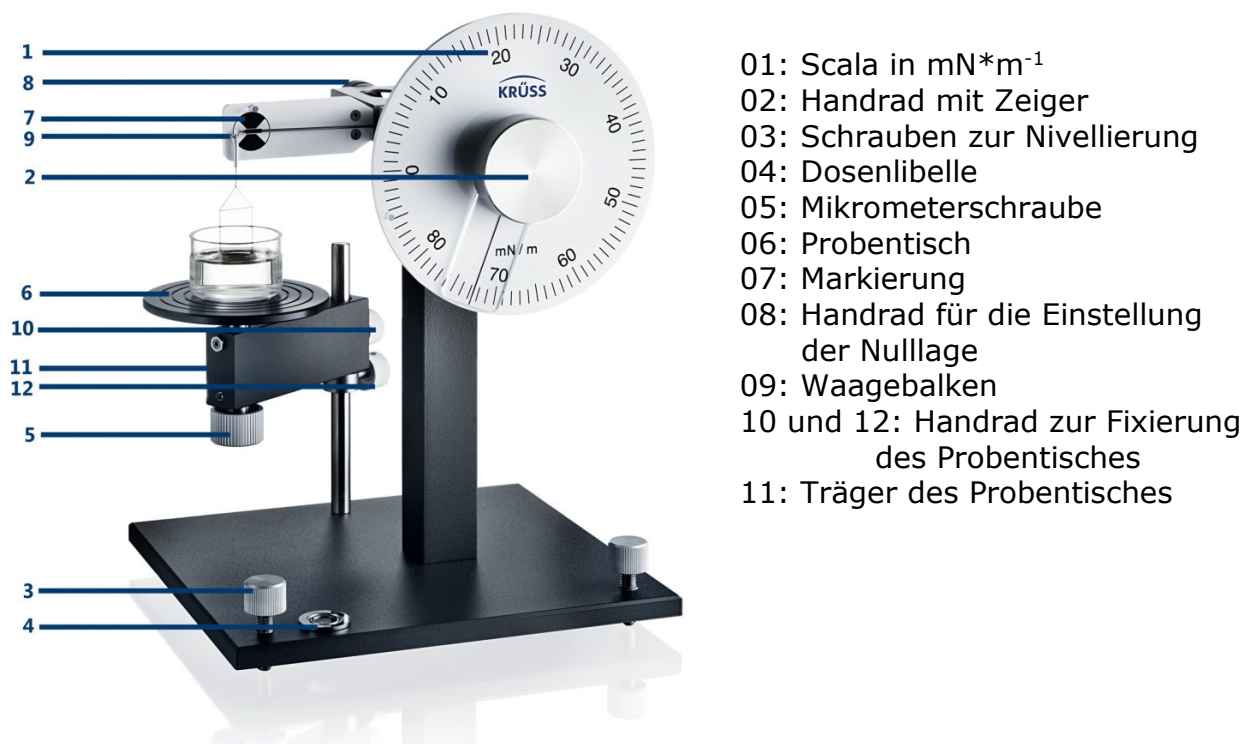


Abb.02: KRÜSS Tensiometer K6

4.2 Vorbereitung der Messung

Das Gerät soll an einem erschütterungsfreien Ort aufgestellt sein. Die Nivellierung ist mittels der Dosenlibelle (4) zu überprüfen und gegebenenfalls mit den Stellschrauben (3) zu korrigieren. Das Glasprobengefäß ist mit etwas Aceton zu spülen und in den Temperiermantel (nicht in der Abbildung 02 enthalten) auf dem Probestisch einzusetzen. Zwischen dem Probestisch (6) und der Oberkante des Probestischträgers ist ein Abstand von ca. 1.5-2cm mit der Stellschraube (5) einzustellen.

Achtung: Da der Pt-Ir-Ring nur mit einer intakten Geometrie - kreisförmiger ebener Ring - richtige Messwerte liefert, ist der Ring vorsichtig aus seiner Holzaufbewahrungsdose zu entnehmen. Es ist zu vermeiden, den Ring auf harte Oberflächen aufprallen zu lassen. Die Geometrie ist zu überprüfen indem der Ring an der Aufhängung um seine Achse gedreht wird. Dabei sollte kein "Schlagen" zu beobachten sein. Der Ring ist am Waagebalken (9) einzuhängen.

4.3 Messung der Oberflächenspannung

Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in das Probengefäß gegeben. Das Probengefäß ist so auszurichten, dass sich der Ring in der Mitte des Probengefäßes befindet. Es sollte solange gewartet werden, bis die Flüssigkeit sich beruhigt hat. Der Probestisch ist soweit anzuheben, bis der Ring ca. 5 mm in die Flüssigkeit eintaucht und mittels den Handrädern (10) und (12) zu fixieren. Die Skale ist mit dem Handrad (2) ist auf null zu drehen. Der Probestisch ist nun soweit abzusenken, bis der Ring gerade so in der Flüssigkeit eingetaucht ist. Der Waagebalken (9) soll sich im weißen Feld der Markierung (7) befinden. Ist dies nicht der Fall kann durch Drehen des Handrades (8) diese Position verändert werden. Damit ist das System messbereit.

Während der Messung soll sich der Waagebalken immer innerhalb der weißen Markierung (7) befinden.

Durch Drehen des Handrades (2) wird ein Zug auf den Ring ausgeübt. Der Ring hebt sich aus der Flüssigkeit heraus. Dabei wandert der Waagebalken aus der weißen Markierung heraus. Um dies auszugleichen wird der Probestisch vorsichtig abgesenkt. Dies wird solange durchgeführt, bis der Zug am Ring schlagartig die Oberflächenspannung der Flüssigkeit überwindet und nach Oben abreißt. An der Skala kann dann die Oberflächenspannung auf 0.1 mN/m abgelesen werden.

4.4 Kalibrierung des Tensiometer K6

Die Messung der Oberflächenspannung einer Flüssigkeit unterliegt verschiedenen Einflüssen, die bei Nichtbeachtung zu fehlerhaften Ergebnissen führen können. Neben der Geometrie des Rings und der Reinheit des Rings bzw. des Probengefäßes gehören Alter und Temperatur der Grenzfläche dazu. Während der Messungen innerhalb einer Messreihe ist deshalb auf die Konstanz aller die Messung beeinflussender Parameter zu achten.

Vom Hersteller des Tensiometers K6 wurde für doppelt destilliertes Wasser eine Oberflächenspannung gegen Luft bei 20°C von 72.8 mN*m⁻¹ justiert. Ergibt eine Vergleichsmessung einen anderen Wert, so ist ein Apparatekorrekturfaktor K_{Kal} zu ermitteln.

Es gilt:

$$K_{Kal} = \frac{\text{theoretischer Wert}}{\text{abgelesener Wert}} \quad (4a)$$

mit diesem Apparatekorrekturfaktor sind die abgelesenen Werte zu multiplizieren.

Es gilt:

$$\sigma = \sigma^* * K_{Kal} \quad (4b)$$

4.5 Korrektur der Messwerte

Das Tensiometer K6 ist linear kompensiert. Der Korrekturfaktor für die Messung von Wasser bei 20°C beträgt 1 und entspricht damit dem Literaturwert von 72.8mN/m. Unter anderen Messbedingungen muss der Messwert mit dem Korrekturfaktor K multipliziert werden. Formel 4(b) erweitert sich damit zu

$$\sigma = \sigma^* * K_{Kal} * K \quad (4c)$$

Das Tensiometer K6 ist linear kompensiert. Der Korrekturfaktor für die Messung von Wasser bei 20°C beträgt 1 und entspricht damit dem Literaturwert von 72.8mN/m. Unter anderen Messbedingungen muss der Messwert mit dem Korrekturfaktor K multipliziert werden. Dieser Faktor ist der Tabelle 1 im Anhang zu entnehmen. In dieser Tabelle sind die Korrekturen bezüglich R^3/V , R/r bereits enthalten. Da der Dichteunterschied für flüssig/gasförmige Systeme sehr groß ist, wird in guter Näherung nur mit der Dichte der Flüssigkeit gearbeitet und die Dichte des Gases vernachlässigt. Demzufolge ist der Korrekturfaktor K in der Spalte (D-d) der der Dichte der Flüssigkeit am besten entspricht und in der Reihe mit der abgelesenen Oberflächenspannung zu suchen.

Bsp.: Ethanol: Dichte = $0,7893 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (20 °C)
Abgelesene Oberflächenspannung: 19 mN/m
ermittelte Apparatkorrekturfaktor = 0.99

=> (d-d) = 0.8

[mN/m] = 19
=> K=0,918

Damit ergibt sich für die Oberflächenspannung σ nach Formel (4c)

$$\sigma = 19 * 0.99 * 0.918 \text{ mN/m} = 17.3 \text{ mN/m}$$

4.6 Fehlerrechnung

Eine Größe wird im Allgemeinen durch eine Messung mit einer geeigneten Messapparatur bestimmt. Diese Messungen sind durch stets vorhandene Unzulänglichkeiten der Messapparatur, Unvollkommenheit der Sinnesorgane, unkontrollierbare äußere Einflüsse, usw. fehlerhaft. Es ist zu erwarten, dass verschiedene Messungen mit der gleichen Messapparatur unter gleichen Bedingungen ausgeführt, verschiedene Messwerte liefern. Es gilt:

$$\text{wahrer Messwert} = \text{Messergebnis} + \text{wahrer Fehler} \quad (5)$$

Da der wahre Fehler unbekannt ist, bleibt auch der wahre Messwert unbekannt. Durch eine häufige Wiederholung der Messung lässt sich aber der Messwert als Näherung an den wahren Messwert abschätzen. Wichtig ist damit die Angabe des Messergebnisses als einen Mittleren Wert der Einzelmessungen mit einem Streubereich, um den das Messergebnis infolge der Messfehler schwankt. Es kann zwischen systematischen Fehlern (Angabe des Durchmessers statt des Radius, Fehlanzeige des Messgerätes infolge falscher Eichung, Verunreinigungen, Übersehen von äußeren Einflüssen auf das Messgerät, ...) und zufälligen Fehlern (Schätzfehler bei der Interpolation von Skalenablesungen, Parallaxefehler, Rauschen, Schwankung von Temperatur, Reibung bei mechanischer Bewegung, ...) unterschieden werden. Systematische Fehler beeinflussen bei gleicher experimenteller Anordnung das Messergebnis stets im gleichen Sinn, zufällige Fehler haben dagegen statistischen Charakter und können das Messergebnis sowohl vergrößern als auch verkleinern.

Führt man eine Messung der Größe x n -mal durch, wird man im Allgemeinen nicht zwei "exakt" (exakt im Sinne von: die Anzahl von Nachkommastellen lässt sich beliebig erhöhen) gleiche Messwerte erhalten. Um eine Messreihe zu charakterisieren erscheint es sinnvoll eine Einteilung der einzelnen Messwerte x_i in Klassen mit dem Klassenintervallen Δx durchzuführen, also die Messwerte einzuteilen in Bereiche Δx , $2 \cdot \Delta x$, $3 \cdot \Delta x$, Innerhalb einer Klasse kann dann mehr als ein Messwert liegen. Man erhält eine Häufigkeitsverteilung der Messwerte in den einzelnen Klassen. Die Graphische Darstellung einer solchen Häufigkeitsverteilung über einer Klasseneinteilung wird Histogramm genannt. Man stellt fest, dass die Messwerte um einen bestimmten mittleren Wert häufiger verteilt sind und

zu den Maximal- bzw. Minimalwerten hin abnehmen.

Um nicht immer alle Messwerte in ein Histogramm eintragen zu müssen und trotzdem einen Überblick über das Messergebnis und dessen Streubereich zu erhalten, wird versucht die Häufigkeitsverteilung mit geeigneten Parametern zu beschreiben. Als sinnvoll hat sich ein Positionsparameter x_m der angibt, wo die Verteilung liegt und ein Streuparameter σ , der angibt wie groß die Streubreite der Verteilung ist, herausgestellt. Günstig erscheint die Wahl eines Wertes x_m , für den alle Abweichungen möglichst gering sind. Dabei ist unter der Abweichung die Differenz $x_i - x_m$ des gemessenen Wertes x_i von dem Positionsparameter x_m zu verstehen. Da diese Abweichungen positiv oder negativ sein koennen geht die Summe aller dieser Abweichungen für eine genügend große Anzahl n von Messungen gegen Null. Betrachtet man dagegen die Quadrate dieser Abweichungen A , wird man immer positive Werte, egal wie x_m gewählt wird, erhalten. Außerdem werden durch die Wahl des Quadrates der Abweichung Messwerte mit großen Abweichungen stärker gewichtet als Messwerte in der Nähe von x_m .

$$A = \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \quad (6)$$

Damit A minimal wird muss die Ableitung von A nach x_m gebildet und diese dann 0 gesetzt werden.

$$\frac{dA}{dx_m} \stackrel{!}{=} 0 \quad (7)$$

Als Ergebnis dieser Operation erhält man den Arithmetischen Mittelwert

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

Für eine unendliche Anzahl von Messungen würde sich dieser Arithmetische Mittelwert dem "wahren" Messwert annähern.

Um ein Maß für die Streubreite zu erhalten kann, geht man vom Absoluten Fehler aus. Dieser ist definiert als Abweichung des Einzelmesswertes x_i vom "wahren" Messwert x_w .

$$F_{\text{abs}} = x_i - x_w \quad (9)$$

Um positive und negative Abweichungen zu vermeiden wird wieder quadriert. Mit allen Quadraten dieser Abweichungen wird nun ein neuer Arithmetischer Mittelwert, die Varianz V gebildet.

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_w)^2$$

Da aber x_w nicht erhalten werden kann, wird in guter Näherung mit dem Arithmetischen Mittelwert x_m der einzelnen Messungen x_i gearbeitet.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \quad \text{für } n > 2 \quad (10)$$

mit σ ... Standardabweichung

Bemerkung: (n-1) um den Fall n=1 auszuschließen, die Standardabweichung und damit auch die Streuung wären 0 !

Um wieder zur Dimension des Messwertes zu gelangen muss noch die positiven Quadratwurzel von σ^2 gezogen werden

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \quad \text{für } n > 2 \quad (11)$$

Das Messergebnis wird damit als

$$x = x_m \pm \sigma \quad (12a)$$

angegeben.

Üblich ist auch die Angabe der relativen Standardabweichung σ/x_m * 100 n Prozent

$$x = x_m \pm \left(\frac{\sigma}{x_m} * 100 \right) [\%] \quad (12b)$$

Je mehr Messungen durchgeführt werden und je kleiner die Intervalle Δx gewählt werden, desto mehr nähert sich die Einhüllende der Häufigkeitsverteilung einer Gaußschen Normalverteilung an,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}} \quad (13)$$

wobei mit $f(x) \cdot \Delta x$ die Wahrscheinlichkeit gegeben ist, den Messwert x im Intervall Δx zu finden.

Damit lassen sich Wahrscheinlichkeiten angeben mit denen ein Messwert x in bestimmten Grenzen von σ gefunden werden können.

$$x \in [x_m \pm \sigma] = 68 \%$$

$$x \in [x_m \pm 2 \sigma] = 95 \%$$

$$x \in [x_m \pm 3 \sigma] = 99.7 \%$$

Messwerte die außerhalb von $\pm 3 \sigma$ liegen werden als Ausreißer bezeichnet.

Misst man die Größe y als Funktion von x und stellt die Ergebnisse graphisch in einem Diagramm dar, stellt sich häufig die Frage nach der besten Kurve durch all diese Punkte. Ist aus der Theorie der Funktionszusammenhang zwischen x und y mit ihren Parametern a, b, \dots bekannt, lassen sich aus der Anpassung der Kurve an die Messpunkte diese Parameter bestimmen. Andererseits, sind die Parameter bekannt, lässt sich eine Vorhersage über fehlende Messpunkte treffen.

Im Falle eines linearen Zusammenhangs

$$y = f(x) = a + bx \quad (14)$$

mit $x = x_1 \dots x_n$ und $y = y_1 \dots y_n$.

Dabei sollen die x_i als fehlerfrei gelten. Infolge von Messfehler stimmt der Mittelwert von y_m nicht mit y_i überein

$$\Delta y_i = y_i - y_m \neq 0 \quad (15)$$

Man fordert wieder, dass die Summe der Quadrate der Abweichung Δy_i ein Minimum werden soll

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \text{Min.}!$$

Die notwendigen Bedingungen

$$\partial f / \partial a = 0 \quad (16a)$$

und

$$\partial f / \partial b = 0 \quad (16b)$$

führen zu einem Gleichungssystem mit zwei linearen Gleichungen.

löst man dieses nach a und b auf, erhält man

$$b = \frac{(xy)_m - x_m y_m}{x_m^2 - (x_m)^2} \quad (17a)$$

$$a = y_m - b x_m = \frac{y_m (x_m^2) - x_m (xy)_m}{x_m^2 - (x_m)^2}$$

5.) Aufgaben zur Versuchsauswertung und zum Protokoll

Es sind wässrige Lösungen 0,1M von folgenden Substanzen

- Natriumdodecylsulfat
- Ethanol
- Natriumchlorid

in 100ml Maßkolben herzustellen.

Beachten Sie, dass ihre Messungen Fehlern unterliegen.

Mit bidestilliertem Wasser ist der Apparatekorrekturfaktor bei 20°C zu ermitteln.

Um die Oberflächenspannung von Fit zu ermitteln geben Sie einen kleinen Tropfen dem Wasser im Probengefäß hinzu.

Für 20°C sind die Oberflächenspannungen der obigen Substanzen zu ermitteln.

Korrigieren Sie Ihre Messwerte und führen Sie eine Fehlerbetrachtung durch.

Vergleichen Sie die Messwerte und diskutieren Sie den Einfluss der Substanzen auf die Grenzfläche Flüssigkeit/Luft.

Ermitteln Sie die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung von bidestilliertem Wasser im Bereich von 20°C bis 60°C. Korrigieren Sie auch diese Werte und stellen Sie sie in geeigneter Weise graphisch dar. Überprüfen Sie, ob ein Lineares Modell zur Kurvenanpassung verwendet werden kann. Sollte dies der Fall sein, ermitteln Sie die

Konstanten a und b. Ermitteln Sie die Oberflächenspannung von bidestilliertem Wasser, die sich für eine Temperatur von 90°C ergeben würde.

6.) Literatur

- [1] Atkins/ de Paula: Physikalische Chemie
Wiley-VCH, Weinheim, 2013
- [2] Gottwald/Puff: Physikalisch-chemisches Praktikum
VCH, Weinheim · New York · Basel · Cambridge, 1990
- [3] A METHOD FOR THE DETERMINATION OF SURFACE AND INTERFACIAL TENSION
FROM THE MAXIMUM PULL ON A RING
William D. Harkins, Hubert F. Jordan
J. Am. Chem. Soc., 1930, 52 (5), pp 1751–1772

7.) Sicherheitshinweise

- Die Laborordnung ist jederzeit einzuhalten.
- Die Betriebsanweisungen für die verwendeten Gefahrstoffe sind zu berücksichtigen.
- Der Versuch darf nur nach Einweisung begonnen werden.
- Der Versuch beinhaltet folgende mögliche Gefahrenquellen:
 - # Chemikalien, Gefahrstoffe
 - # Bewegte Bauteile, mechanische Komponenten
 - # Eine Versuchsanlage unter Überdruck
 - # Elektrische Komponenten

Anhang

(D-d) [mN/m]	0,65 Faktor	0,8 Faktor	1,0 Faktor	1,2 Faktor	1,4 Faktor
100	1,070	1,049	1,026	1,011	0,998
97	1,065	1,043	1,023	1,008	0,995
94	1,063	1,040	1,020	1,005	0,993
91	1,058	1,037	1,018	1,003	0,991
88	1,054	1,034	1,014	1,000	0,988
85	1,052	1,031	1,012	0,998	0,986
82	1,049	1,029	1,009	0,995	0,984
79	1,043	1,024	1,006	0,991	0,980
76	1,040	1,023	1,003	0,988	0,977
73	1,037	1,018	1,000	0,986	0,974
70	1,033	1,014	0,996	0,982	0,972
67	1,028	1,011	0,993	0,979	0,968
64	1,023	1,006	0,990	0,976	0,964
61	1,019	1,003	0,985	0,973	0,960
58	1,015	0,999	0,982	0,969	0,956
55	1,012	0,996	0,978	0,964	0,953
52	1,007	0,990	0,974	0,959	0,950
50	1,004	0,988	0,972	0,957	0,945
48	1,001	0,985	0,967	0,954	0,943
46	0,998	0,980	0,964	0,951	0,941
44	0,994	0,978	0,960	0,948	0,938
42	0,990	0,975	0,957	0,944	0,935
40	0,987	0,972	0,954	0,941	0,931
38	0,981	0,968	0,951	0,938	0,929
36	0,979	0,963	0,946	0,935	0,923
34	0,975	0,958	0,942	0,931	0,919
32	0,970	0,954	0,940	0,926	0,915
30	0,964	0,950	0,935	0,921	0,911
28	0,959	0,944	0,930	0,916	0,906
26	0,954	0,940	0,924	0,911	0,904
24	0,949	0,935			
22	0,942	0,929			
20	0,937	0,921			
19	0,933	0,918			
18	0,930	0,914			
17	0,924	0,911			
16	0,920	0,906			
15	0,915	0,902			

Tabelle 01: Korrekturtabelle für Oberflächenspannungsmessungen nach der Ringmethode nach HARKINS und JORDAN [3] für verschiedene Dichtedifferenzen bei 20°C
Ringabmessungen R=9.545mm, R/r = 51.6