

Versuch 108

Oberflächenspannung II (Maximalblasendruckmethode)

Aufgaben

1. Bestimmen der Oberflächenspannung von destillierten Wassers
2. Bestimmen der Oberflächenspannung von verschiedenen Tensidlösungen

Grundlagen

Kohäsion und Adhäsion

Zwischen Atomen eines Stoffes bzw. eines Stoffgemischs bestehen Wechselwirkungskräfte zwischen den Teilchen, z.B. starke Culombkräfte (Ionenverbindungen und Ionenlösungen), elektrische Dipolkräfte oder auch einfache van- der- Waalskräfte (molekulare Substanzen ohne Dipolcharakter der Teilchen). Damit wirkt auf jedes Teilchen innerhalb der Substanz (Kohäsion) in jede Richtung im Mittel die selbe Kraft, auf die Teilchen am Rand aber wirken diese Kohäsionskräfte auf einer Seite verständlicherweise natürlich nicht. Dafür treten Wechselwirkungskräfte mit der Umgebungssubstanz auf (Adhäsion). Dadurch ergeben sich zwei oft beobachtet Effekte der Oberflächenbildung von Flüssigkeiten:

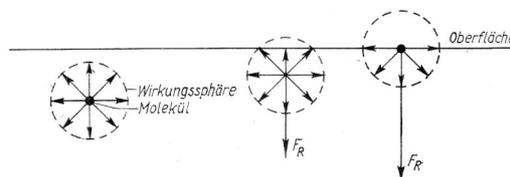
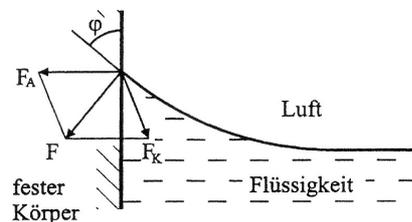
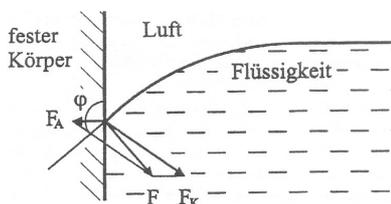


ABB. I.1: Interne Kräfte zwischen Teilchen einer Substanz (Kohäsion) führen am Rand zu resultierenden Kräften, welche in die Flüssigkeit zeigen (oder aus ihr heraus.)

1. Die Kohäsionskräfte F_K sind größer als die Kräfte der Adhäsion F_A an einer begrenzenden Fläche
2. Die Kohäsionskräfte F_K sind kleiner als die Kräfte der Adhäsion F_A an einer begrenzenden Fläche



Dann ergibt sich an den Rändern der Grenzfläche auf ein Teilchen des Stoffes eine resultierende Kraft F , welche in die Flüssigkeit hinein gerichtet ist. Die Flüssigkeit wird als **nicht benetzend** bezeichnet.

Ist der Winkel $\varphi = \pi$ bzw. $F_A \ll F_K$, spricht man von **vollständiger Nichtbenetzung**.

Sind hingegen die adhäsiven Kräfte größer als die kohäsiven, so wirkt auf Teilchen am Rand der Grenzfläche eine resultierende Kraft zum angrenzenden Medium, die Flüssigkeit wirkt **benetzend**.

Vollständig benetzend nennt man Grenzflächen, bei denen $\varphi = 0$ bzw. $F_A \gg F_K$ ist.

Spezifische Oberflächenenergie

Sehr gut lässt sich dies durch die spezifische Oberflächenenergie σ beschreiben:

$$\sigma = \frac{dE}{dA}$$

Dabei ist E die Oberflächenenergie, welche dadurch entsteht, dass bei einer Vergrößerung der Oberfläche A Teilchen aus dem Inneren an die Oberfläche bewegt werden müssen, bzw. wieder in das Innere zurückgedrängt werden müssen.

Dabei aber nimmt die Oberflächenenergie proportional zur thermodynamischen Energie zu, oder anders: die thermodynamische Arbeit, die an dem füllenden Gas verrichtet wird, ist die Arbeit, welche zur Verformung der Oberfläche benötigt wird. Infinitesimal ausgedrückt also:

$$dE = W_{th} = p dV = p A dr = p 4\pi r^2 dr$$

Versuchsprotokolle

Andererseits ist aber laut der obigen Definition dE auch:

$$dE = \sigma dA = \sigma \frac{dA}{dr} dr = 8\pi r \sigma dr$$

Setzt man dies gleich, erhält man:

$$p = \frac{2\sigma}{r}$$

Maximalblasendruckmethode

Bei einer Blase entsteht damit folgende Möglichkeit, die spezifische Oberflächenenergie zu bestimmen, in dem man eine quasistabile Blase erzeugt. Wenn man beachtet, dass nur Blasen mit dem Kapillarenradius maximal stabil sind (da der Kapillarenradius dabei der minimal mögliche Radius ist), kann man in die Gleichung diesen einsetzen und durch Ermittlung des Drucks aus der Differenz des Innen- und des Schweredruckes des Wassers gewinnt man:

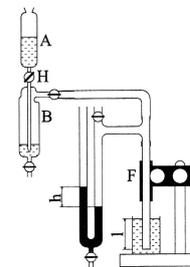
$$\frac{r}{2}(p_L - p_S) = \sigma$$

Übersteigt der Druck den stabilen Druck der Blase, so löst sich diese von der Kapillare ab und führt zu einem Druckabfall. Der Druck baut sich erneut auf.

Durchführung

Versuchsobjekte

Apparatur (siehe Aufbauskitze), Vorratsgefäß Wasser (A), Druckgefäß (B), Steuerhahn (H), Feintrieb mit Kapillare (F)



erwartete Ergebnisse

- Spezifische Oberflächenspannung von Wasser an Luft: 0,0725 N/m
- Tenside machen das Wasser „weich“, d.h. sie lösen die Oberflächenspannung von Wasser

mögliche systematische Fehler

- Bei der Verdünnung sich fortpflanzende Mischfehler
- Oberflächenbeeinflussung durch den Kontakt an der Kapillare (Wasser wirkt an Metall benetzend, d.h. Blasen lösen sich erst spät ab und so ist der maximale Druck etwas nach oben verfälscht.)

Versuchsablauf

- Messung des Kapillarenradius
- Messung der Oberflächenspannung von dest. Wasser
- Messung der Oberflächenspannung der Spülmittellösungen

Fehlerquellen

$$\Delta c, \Delta p, \Delta r, \Delta h, \Delta \rho$$

Versuchsprotokolle

Messwerte

Radius der Kapillaren

$$d_{R4} = 70LE$$

$$d_{R6} = 90LE$$

$$100LE = 1,3mm$$

Destilliertes Wasser

$$h_{Druck_0} = 15,3cm$$

	$r_{Kapillare}$ [mm]	$h_{Eintauch}$ [mm]	$h_{Eintauchtiefe}$ [mm]	h_{Druck} [cm]
R4	0,455	109,3	107,5	17,4
			106,6	17,8
			103,0	18,0
			100,0	18,1
			97,0	18,2
			95,0	18,4
R6	0,585	109,1	107,9	16,8
			105,0	17,0
			102,0	17,1
			100,0	17,2
			97,0	17,4
			95,0	17,5

Lösungen

$$h_{Druck_0} = 15,3cm$$

Konzentration [%]	$h_{Eintauch}$ [mm]	$h_{Eintauchtiefe}$ [mm]	h_{Druck} [cm]
2	93,3	90,0	16,6
		87,5	16,7
		85,0	16,8
		101,5	16,6
1	103,4	97,5	16,8
		95,0	16,9
		102,5	16,7
		105,0	16,8
0,5	105,0	97,5	16,9
		90,0	16,8
		87,5	17,0
		85,0	17,1
0,25	92,3	72,5	17,0
		70,0	17,2
		67,5	17,4
		95,0	17,2
0,125	75,0	92,5	17,3
		90,0	17,4
		96,8	17,3
		90,0	17,4

Auswertung

$$\sigma = \frac{r}{2}(p_L - p_S) = \frac{r}{2}(\Delta h_{Druck} \rho_{H_2O} g - \Delta h_{Eintauch} \rho_{Lösung} g)$$

Durch Extrapolation von $\Delta h_{Eintauch}$ auf 0 folgt:

$$\sigma = \frac{r}{2}(p_L - p_S) = \frac{r}{2}(\Delta h_{Druck} \rho_{H_2O} g)$$

dabei sind:

$$\Delta h_{Eintauch} = h_{Eintauch} - h_{Eintauchtiefe}$$

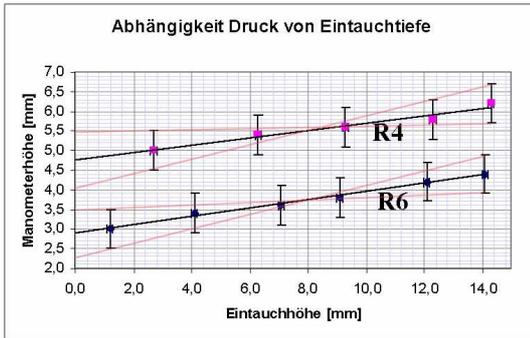
$$\Delta h_{Druck} = 2 \cdot (h_{Druck} - h_{Druck_0})$$

Konzentration [%]		0	0,0625	0,125	0,25	0,5	1	2
r [mm]	0,585	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455
h [cm]	2,9	4,75	3,65	3,00	2,75	2,60	2,40	2,35
ρ_{Wasser} [g/cm ³]	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
σ [N/m]	0,08296	0,10569	0,08122	0,06675	0,06119	0,05785	0,0534	0,05229
Δh [cm]	0,6	0,75	0,45	0,50	0,45	0,50	0,40	0,55
Δr [mm]	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065
$\Delta \sigma$ [N/m]	0,01809	0,0182	0,01117	0,01208	0,01089	0,01195	0,00966	0,01299

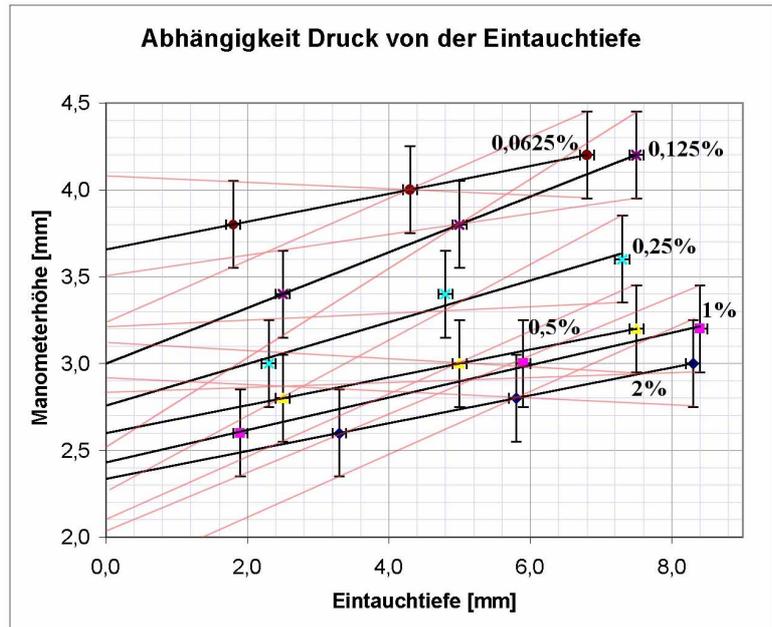
(Diagramme für die Extrapolation: siehe weiter hinten unter Ergebnisse)

Ergebnisse

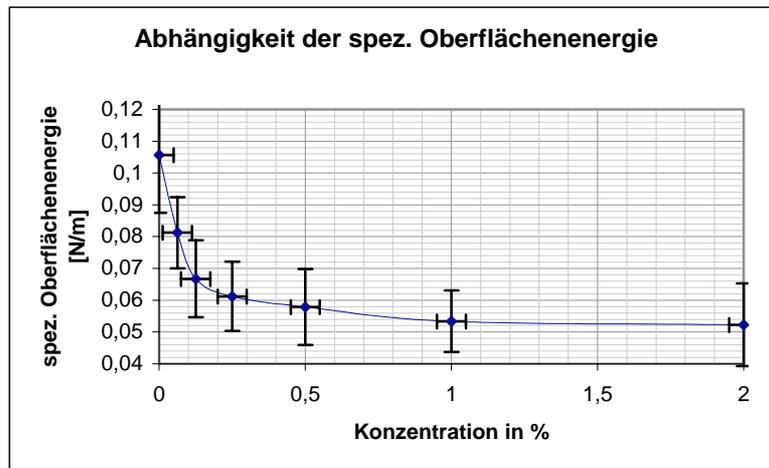
Destilliertes Wasser



Lösungen



Verlaufskurve der spez. Oberflächenenergien



Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen die anfängliche Vermutung, dass Tenside die Oberflächenspannung von Wasser stören. (Büroklammerexperiment) Ferner zeigt sich, dass ebenfalls nicht mit der Devise „Viel hilft viel“ beim Aufwasch geholfen ist, da sich scheinbar recht schnell eine Art „Sättigung“ einsetzt und weiteren Zusatz von Spülmittel sinnlos macht. Erklärbar ist dies damit, dass wohl auch die Tenside leicht benetzend wirken.

Was leider nicht so gut gezeigt werden konnte, ist, dass bei unterschiedlichen Kapillarradien gleiche Oberflächenspannungen zu erwarten sind. Zum Teil liegt es auch an den unterschiedlich großen (da ein unterschiedlich großer Umfang der Öffnung vorliegt) Übergängen Stahl- Luft, zum Teil aber auch an den relativ großen Ungenauigkeiten durch Messfehler und Extrapolation.

Überzeugender Weise aber kommt doch eine optisch recht schön anzuschauende und durchweg evidente Verlaufskurve der spezifischen Oberflächenenergie heraus und der Erwartete Tabellenwert (für 20°C) von 0,0725 N/m liegt in der Nähe und innerhalb der Messungenauigkeiten, somit kann der Versuch im Hinblick auf die Ergebnisse als erfolgreich gewertet werden.

Die abgezeichneten Messwerte sind im Anhang zu finden.

Jena, 02.07.2002