UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Didaktik

Seminar „Übungen im Vortragen –PC“

Oberflächen-Spannung

Franziska Griesbach, WS 11/12; Philipp Dick, SS 20

Gliederung

1 Die Kugelform als Idealvorstellung 2
2 Entstehung der Oberflächenspannung 2
3 Thermodynamische Begründung der Kugelform 4
4 Young-Laplace-Gleichung 5
5 Zugabe von Tensiden 6
5.1 Aufbau eines Tensids 6
5.2 Wirkungswiese auf Oberflächen-Spannung 6
6 Experimente 7

***Einstieg 1**: Vater wäscht sich mit Seife die Hände im Garten-Teich. Wasseroberflächen-Bewohner (z. B. Wasser-Läufer), die sich eigentlich problemlos auf der Oberfläche fortbewegen können, sind kurze Zeit später nicht mehr zu sehen. Was ist hier passiert?*

Abb. 1: Wasser-Läufer können sich problemlos auf der Oberfläche fortbewegen [8]

***Einstieg 2**: Seifenblasen bereiten vielen Kindern eine große Freude, doch selbst Erwachsene können sich daran noch erfreuen. Für die extra Portion an Spannung kann hier gerne mal mit Trockeneis experimentiert werden oder es wird versucht, die runden Blasen in andere Formen zu verwandeln. Doch hier wird einem schnell ein Strich durch die Rechnung gemacht, denn spätestens bei würfelförmigen ist Schluss. Anstatt von geraden*

Seiten bilden sich gewölbte Formen, die noch dazu der Gravitation trotzen. Ein Phänomen, das genauer betrachtet werden sollte…

Abb. 2: Gekrümmte Oberflächen statt gerader Seiten.

1 Die Kugelform als Idealvorstellung

Beim Erzeugen von Seifenblasen kann festgestellt werden, dass unabhängig von der Größe der Blase, diese immer dazu bestrebt ist eine Kugelform anzunehmen. Somit muss die Kugel im Vergleich zu anderen geometrischen Formen einen Vorteil bieten. Hierzu kann zum Vergleich beispielsweise ein Würfel herangezogen werden. Bei einem festen Volumen kann über die jeweilige Formel zur Berechnung des Volumens, die zugehörige Kantenlänge bzw. der zugehörige Radius berechnet werden. Aus dieser Kenngröße kann im Anschluss die Oberfläche ermittelt werden. Somit kann für verschiedene Volumina eine zugehörige Oberfläche berechnet werden.

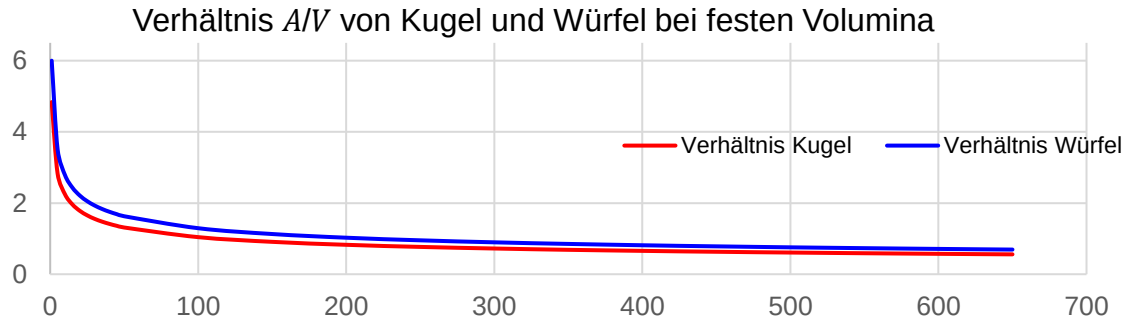

Abb. 3: Diagramm zum Verhältnis Oberfläche/Volumen von Kugel und Würfel bei festen Volumina.

Eine graphische Betrachtung des Verhältnisses von Volumen zu Oberfläche wie in *Abb. 3* zeigt nun deutlich, dass das Verhältnis bei einer Kugel stets am geringsten ist. Somit kann geschlussfolgert werden, dass Kugeln im Vergleich zu ihrem Volumen immer eine geringe Oberfläche aufweisen. Genau wegen dieser geringen Oberfläche streben Flüssigkeiten die Kugelform an. Der Grund hierfür wird in der Teilchenebene sichtbar.

2 Entstehung der Oberflächenspannung

Da eine geringe Oberfläche erstrebt wird, muss es einen Unterschied zwischen einem Teilchen an der Grenzfläche (Oberfläche) und einem Teilchen im Inneren geben. Wird zunächst ein Teilchen im Inneren genauer betrachtet, so kann festgestellt werden, dass

dieses komplett von anderen Wassermolekülen umgeben ist. Diese ziehen sich aufgrund der Kohäsionskräfte an.

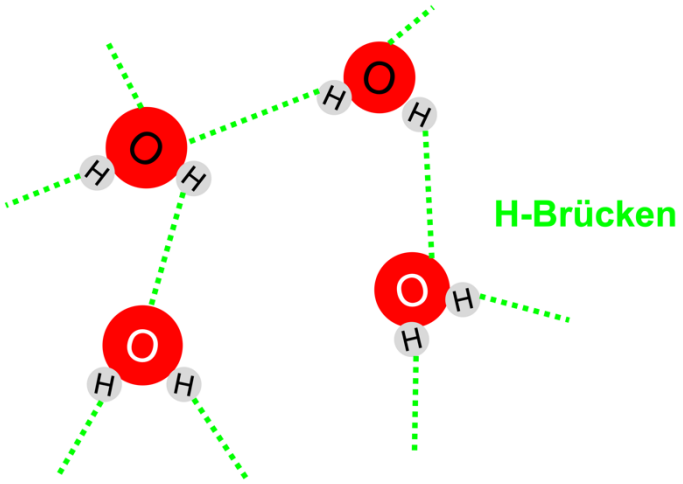

Abb. 4: starke Kohäsionskräfte zwischen den Wasser-Molekülen aufgrund von Wasserstoffbrücken-Bindungen

Da auf der gegenüberliegenden Seite auch gleich starke Wechselwirkungen ausgeübt werden, heben sich hier in alle Raumrichtungen die Kräfte auf. An der Oberfläche ist dies allerdings nicht der Fall. Die benachbarten Teilchen an der Grenzfläche heben sich zwar gegenüberliegend auf, die benachbarten Teilchen im Inneren allerdings nicht. Da die Wechselwirkungen zu den Gasteilchen sehr viel geringer sind, entsteht eine Kraft, die auf ein Teilchen an der Oberfläche wirkt. Diese ist dabei senkrecht zur Oberfläche ins Innere gerichtet.

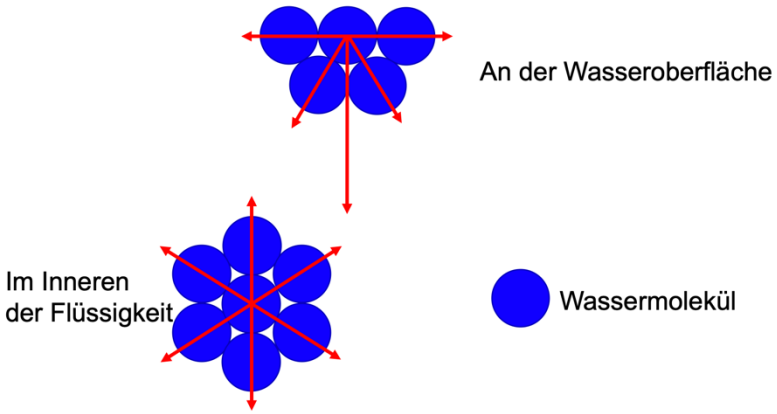

Abb. 5: Kräftediagramm zur Oberflächenspannung.

Durch das einseitige, in das Innere der Flüssigkeit gerichtete Ziehen entsteht eine "**elastische Haut**", auf der sich beispielsweise die Wasser-Läufer fortbewegen können.

Soll nun die Oberfläche σ um den Faktor $d\sigma$ vergrößert werden, so muss eine Kraft überwunden werden die proportional zu dieser Oberflächenänderung ist

$$dw = \gamma \, d\sigma \quad (1)$$

Stellt man sich die Oberflächenvergrößerung bei einer kleinen Pfütze vor, so ändert sich diese um den Flächeninhalt zweier Rechtecke (aufgrund der Vorder- und Rückseite).

$$dw = \gamma * 2lh \quad (2)$$

Demzufolge kann die Proportionalitätskonstante γ als eine Spannung betrachtet werden, die dem Herausziehen entgegenwirkt und wird somit als Oberflächenspannung bezeichnet. Diese hat die Einheit $\frac{N}{m}$ und gibt somit die Kraft pro Meter an, die aufgebracht werden muss.

3 Thermodynamische Begründung der Kugelform

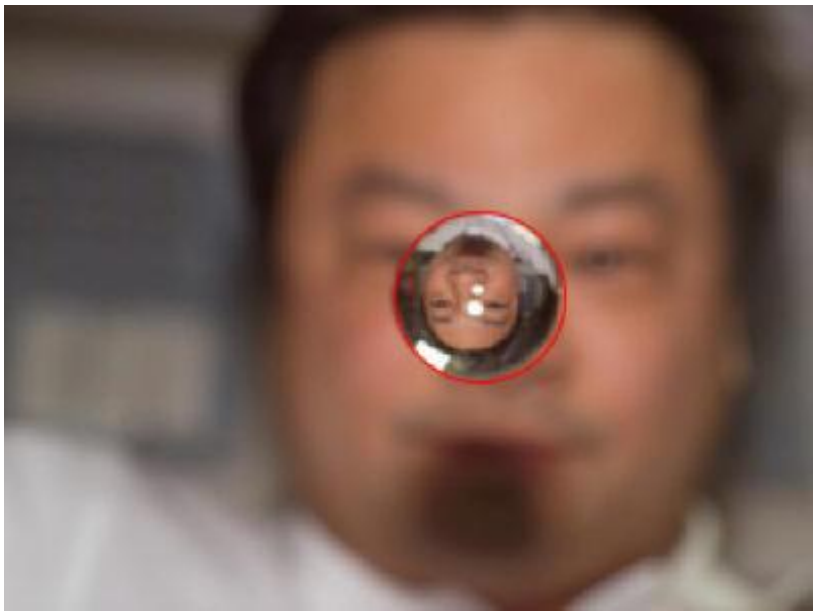

Abb. 6: Im Vakuum und ohne Gravitation nimmt ein Wasser-Tropfen eine Kugel-Form an. [3]

Der Energie-Gewinn bei der Verkleinerung der Oberfläche kann mit Hilfe der freien Enthalpie „G“ erklärt werden:

$$G = f(T, p, A)$$

G= freie Enthalpie; T: Temperatur; p: Druck; A: Oberfläche

Die frei Enthalpie „G“ bzw. die Änderung der freien Enthalpie „ΔG“ ist abhängig von drei Variablen (Temperatur, Druck und Oberfläche):

$$\Delta G = \left(\frac{\delta G}{\delta T}\right)_{p,A} dT + \left(\frac{\delta G}{\delta p}\right)_{T,A} + \left(\frac{\delta G}{\delta A}\right)_{p,T} dA$$

Unter isothermen und isobaren Bedingungen (p, T= const.), ist die Änderung der freien Enthalpie „ΔG“ nur noch von der Änderung der Oberfläche „dA“ abhängig:

$$\Delta G = \left(\frac{\delta G}{\delta A}\right)_{p,T} dA$$

Wird die Oberfläche vergrößert, ist der Wert für die Änderung der freien Enthalpie „ΔG“ positiv (unfreiwilliger Prozess). Wird die Oberfläche hingegen verkleinert, ist der Wert für die Änderung der freien Enthalpie „ΔG“ negativ (freiwilliger Prozess). Das bedeutet, dass das System mit der geringsten Oberfläche realisiert wird. Die Folge ist die Kugel-Gestalt eines Wasser-Tropfens, da die Kugel die Form mit der geringsten Oberfläche bei größtem Volumen ist.

4 Young-Laplace-Gleichung

Durch die Krümmung der Oberfläche kommt es zur Druckerhöhung. Deshalb wird nun die Druckerhöhung im Inneren der Kugel betrachtet.

Wird die Oberfläche und damit der Radius um einen kleinen Betrag geändert ($dr > 0$, klein) so ändert sich die Oberfläche um

$$d\sigma = 4\pi\,(r + dr)^2 - 4\pi r^2 = 4\pi r^2 + 8\pi r dr + 4\pi(dr)^2 - 4\pi r^2 = 8\pi r dr \quad (3)$$

und da $dr > 0$, aber „klein“ ist, fallen quadratische Terme mit $(dr)^2$ weg. In Gleichung 1 eingesetzt ergibt dies somit

$$dw = \gamma\, 8\pi r dr \quad (4)$$

Da die Arbeit über $dw = pdV$ ausgedrückt werden kann, gilt unter Betrachtung der Änderung des Volumens um

$$dV = \frac{4}{3}\pi(r + dr)^3 - \frac{4}{3}\pi r^3 = 4\pi r^2 dr \quad (5)$$

folgender Zusammenhang durch einsetzen in (4):

$$p\, 4\pi r^2 dr = \gamma\, 8\pi r dr$$

$$p = \frac{2\gamma}{r} \quad (6)$$

Geht man nun von einer nicht idealen Kugelform und somit zwei Krümmungsradien r_1 und r_2 aus, so gilt die Young-Laplace-Gleichung ($r_1 \neq r_2$):

$$p = \gamma * \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

Somit kann erkannt werden, dass bei kleinen Blasen (kleiner Radius) der Druck höher ist, was erklärt, dass diese schneller platzen als große Blasen, wenn man zum Beispiel an ein Schaumbad denkt.

5 Zugabe von Tensiden

5.1 Aufbau eines Tensids

Ein Tensid besteht aus einem hydrophoben Teil (Bsp.: Alkyl-Kette) und einem hydrophilen Teil (Bsp.: Carboxylat im Gegen-Kation).

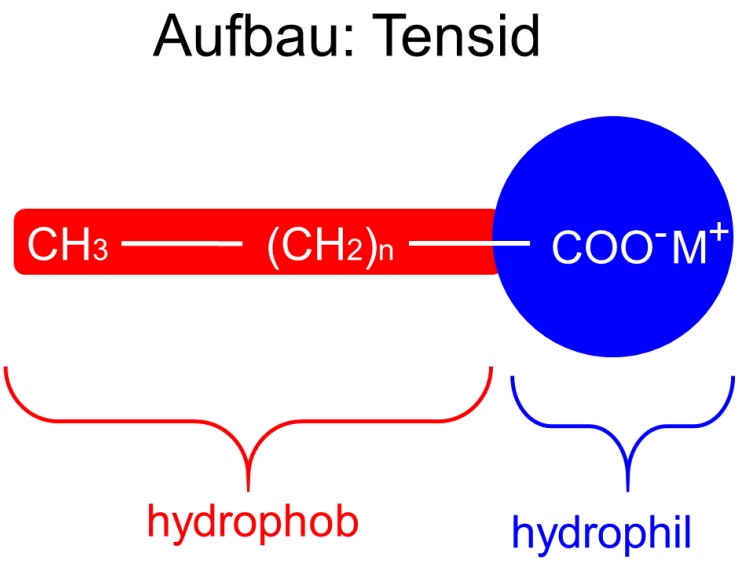

Abb. 7: Beispiel für ein Tensid

5.2 Wirkungswiese auf Oberflächen-Spannung

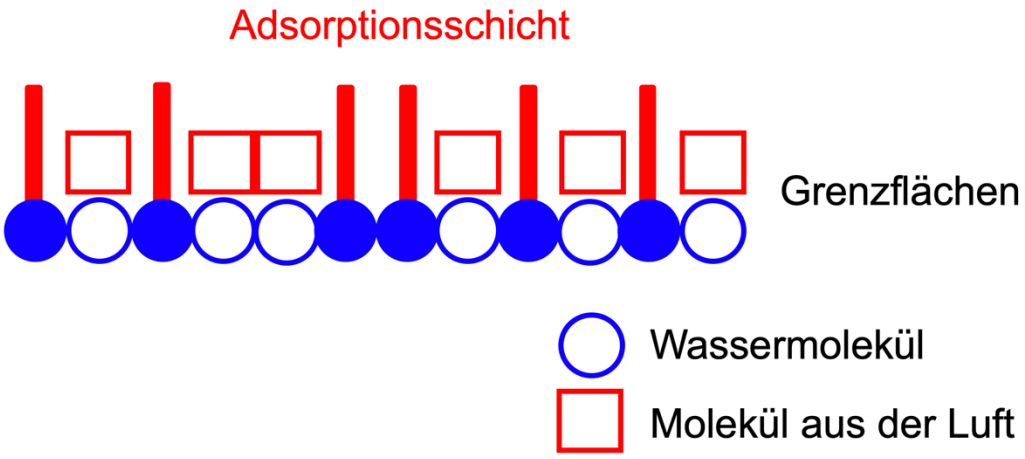

Abb. 8: Ausbildung einer Adsorptionsschicht

Aufgrund ihres amphiphilen Baus ordnen sich Tensid-Moleküle sofort an der Wasser-Oberfläche an. Wechselwirkung Tensid-Wasser-Molekül ist geringer als die zwischen Wasser-Molekülen. Es bildet sich eine „neue" Grenz-Schicht (Adsorptionsschicht). Tiere, die auf der Wasser-Oberfläche leben, gehen unter.

6 Experimente

Experiment 1: Schwimmende Büro-Klammer

Material:

- Büro-Klammer
- Glas
- Wasser
- Pasteur-Pipette, Hütchen
- Spülmittel

Durchführung: Das Glas wird mit Wasser befüllt, bis eine Wölbung zu erkennen ist. Die Büro-Klammer wird vorsichtig auf die „elastische Haut“ des Wassers gelegt. Nun wird tropfenweise Spülmittel hinzugegeben.

Beobachtung: Die Büro-Klammer schwimmt auf der Wasser-Oberfläche. Bei Zugabe von Spülmittel geht sie unter.

Interpretation: Aufgrund der Oberflächen-Spannung des Wassers schwimmt die Büro-Klammer auf der Wasser-Oberfläche. Das Spülmittel setzt die Oberflächen-Spannung herab.

Folge: Die Büro-Klammer geht unter.

Experiment 2: Wie viele Tropfen passen auf eine 1-Cent-Münze?

Material:

- 1-Cent-Münze
- Wasser-Tensid-Gemisch (pro 20 mL ein Tropfen Tensid)
- Pasteur-Pipette, Hütchen
- Wasser

Durchführung: Es wird tropfenweise Wasser auf eine 1-Cent-Münze gegeben. Die Tropfen werden gezählt. Sobald das Wasser über den Rand der Münze läuft, ist der Versuch beendet.

Zum Vergleich wird der Versuch analog mit dem Wasser-Tensid-Gemisch durchgeführt.

Beobachtung: Die Anzahl der reinen Wasser-Tropfen auf der Münze ist deutlich höher als die Anzahl der Tropfen des Wasser-Tensid-Gemisches.

Interpretation: die Oberflächen-Spannung ist bei dem Wasser-Tensid-Gemisch geringer.

Folge: Die Oberfläche auf der Münze reißt schneller, da die Wechselwirkung zwischen den Molekülen geringer ist.

Experiment 3: Erzeugen einer großen Seifenblase

Material:

- Wasser-Spülmittel-Gemisch
- Wasser in großem rundem Gefäß
- Geschirrhandtuch
- Trockeneis

Durchführung: In das große Gefäß mit Wasser wird etwas Trockeneis gegeben. Nun wird das in ein Wasser-Spülmittel-Gemisch getränkte Geschirrhandtuch vorsichtig über das Gefäß gezogen, sodass eine Membran entsteht

Beobachtung: Es bildet sich eine große kugelförmige Seifenblase, die ab einem gewissen Punkt nicht mehr wächst und schließlich platzt.

Interpretation: Das Trockeneis sorgt für eine erhöhte Gasbildung, wodurch die Membran nach oben gedrückt wird. Ist die Blase bis zu einer Halbkugel angewachsen, wird der Druck am größten und die Blase platzt

Folge: Flüssigkeiten bestreben eine Kugelform

Zusammenfassung:

- Flüssigkeiten versuchen, eine möglichst kleine Oberfläche zu erreichen
- an der Oberfläche erzeugt eine resultierende Kraft, die ins Innere der Flüssigkeit gerichtet ist, eine Oberflächenspannung
- Oberflächenspannung ist die Kraft, die dem Vergrößern der Oberfläche entgegenwirkt
- Oberflächenspannung wird durch Kohäsionskräfte der Flüssigkeitsmoleküle hervorgerufen.
- gekrümmte Oberflächen sorgen für eine Druckerhöhung, die bei kleinem Radius die Blase schnell zum Platzen bringt
- Es bildet sich eine „elastische Membran“
- Tenside sind oberflächenaktive Substanzen, die die Oberflächenspannung von Wasser um $\frac{1}{10}$ herabsetzen.

Abschluss 1: *fehlt*

Abschluss 2: *Das Spiel mit der Seifenlauge verhalf dem Architekt Otto Frei zu großem Erfolg. Durch Experimentieren kam er auf die einzigartige Form, die das Dach des Olympiastadions München zu einem markanten Wahrzeichen der Landeshauptstadt macht. Durch die gekrümmten Oberflächen sorgte er für einen großen WOW-Effekt, der durch die wenigen Masten zur Befestigung komplettiert wird. So konnte er wegen der geringen Spannung auf zusätzliche Halterungen verzichten und Dank der kleinen Oberfläche unnötige Materialkosten vermeiden.*

Quellen:

1. Dörfler, Hans-Dieter: Grenzflächen- und Kolloidchemie, VCH-Verlag, Weinheim 1994
2. Moore, Walter J.: Physikalische Chemie, de Gruyter, 4. Auflage, New York 1986
3. http://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6652/10915_read-24811/gallery-1/10164_read-4/; (Zugriff am 04.01.2012)
4. http://friedrich-verlag.de/pdf_preview/d510021_1018.pdf; (Zugriff am 07.01.2012) (Quelle verschollen, 10.07.2020)
5. http://seilnacht.com/waschm/tenside.html (Zugriff am 08.01.2012)
6. http://experimentis.de/PhysikExperimente/Versuche/301Bueroklammer.html; (Zugriff am 08.01.2012)
7. http://www.youtube.com/watch?v=Eo6imkTJaXA; (Zugriff am 08.01.2012)
8. http://www.durchholzerschule.de/Archiv/netdays/netdays2003/wasserlaeufer.jpg; (Zugriff am 04.01.2012)
9. Atkins/de Paula, Physikalische Chemie, 5. Auflage, WILEY-VCH, Weinheim 2013
10. http://www.pci.tu-bs.de/aggericke/PC5-Grenzf/Oberflaechenspannung.pdf, (Zugriff am 15.04.2020)
11. Ciaston/Pibiri, Hausarbeit zur Vorlesung Physikalische Grenzflächenchemie, *Technische Universität Braunschweig* (o.J.)