

# Versuch 108

## Oberflächenspannung (Maximalblasendruckmethode)

### 1. Aufgaben

- 1.1 Messen Sie die Oberflächenspannung von Spülmittel-Lösungen unterschiedlicher Volumenkonzentrationen nach der Methode des Maximalblasendrucks. Stellen Sie die Ergebnisse grafisch dar.
- 1.2 Führen Sie eine Vergleichsmessung der Oberflächenspannung von H<sub>2</sub>O mit einer Kapillare anderen Innendurchmessers durch.
- 1.3 Diskutieren Sie die Wirkung von Tensiden auf die Oberflächenspannung von Wasser.

### 2. Grundlagen

Stichworte :

Oberflächenspannung, Adhäsionskraft, Kohäsionskraft, Benetzung, Kapillarität, Viskosität

Auf die Wirkung der Oberflächenspannung sind solche für Flüssigkeiten typische Erscheinungen wie Tropfenbildung, gewölbte Oberflächen und Flüssigkeitshäutchen zwischen Drähten zurückzuführen. Die Oberflächenspannung wird durch Molekularkräfte verursacht, die im Innern der Flüssigkeit nach allen Seiten gleich groß sind. Ist aber der Abstand von der Oberfläche kleiner als der Radius der Wirkungssphäre der Molekularkräfte ( $10^{-9}$  m), so ist die resultierende Kraft von Null verschieden. Um ein Molekül aus dem Flüssigkeitsinnern durch diese Grenzschicht an die Oberfläche zu verschieben, muß Arbeit geleistet werden. Ein Molekül in der Oberfläche hat gegenüber einem Molekül im Innern eine um den Betrag dieser Arbeit größere potentielle Energie. Zur Vergrößerung der Flüssigkeitsoberfläche müssen Moleküle aus dem Innern in die Oberfläche gebracht werden. Die dadurch bedingte Energiezunahme sei  $\Delta E$ . Auf die Flächeneinheit bezogen heißt sie „spezifische Oberflächenenergie“ oder „Oberflächenspannung“  $\sigma$  (siehe auch Versuch 107).

$$\sigma = \frac{\text{Energiezunahme } dE}{\text{Oberflächenzunahme } dA} = \frac{\text{am Rande angreifende Kraft}}{\text{Länge des Randes}} \quad (1)$$

Zur Bestimmung der Oberflächenspannung soll in diesem Versuch die Methode des Maximaldrucks in Gasblasen verwendet werden. Zunächst wollen wir folgende Überlegung anstellen: Der Druck in einer stabilen Gasblase vom Radius  $r$  ist im Gleichgewicht mit dem Druck der umgebenden Flüssigkeit. Jetzt wir wollen die Blase etwas vergrößern. Die dabei zu leistende Arbeit ist  $dW = p dV$ . Da sich bei der Volumenvergrößerung nur der Kugelradius ändern soll, können wir  $dV$  durch  $A \cdot dr$  ersetzen ( $A$  Kugeloberfläche). Damit erhalten wir

$$dW = p \cdot 4\pi r^2 dr \quad (2)$$

Die zur Vergrößerung der Kugel notwendige Arbeit dient der Erhöhung der Oberflächenenergie  $dE$  durch Vergrößerung der Oberfläche um  $dA$ . Aus Gl.(1) erhält man

$$dE = \sigma \cdot dA = \sigma \cdot \left( \frac{dA}{dr} \right) dr \quad (3)$$

also

$$dE = 8\pi \cdot r \cdot \sigma \cdot dr \quad (4)$$

Damit die Blase stabil bleibt, muß die Gleichgewichtsbedingung  $dE = dW$  für die Blase erfüllt sein. Daraus folgt

$$p = \frac{2}{r} \cdot \sigma \quad (5)$$

Der Druck in einer stabilen Gasblase ist also proportional der Oberflächenspannung und umgekehrt proportional dem Blasenradius.

### Meßmethode:

Das Prinzip kann leicht durch Blasen in ein Trinkröhrchen, das in eine Flüssigkeit getaucht wird, demonstriert werden. Bei einem Luftdruck  $p_1$  innerhalb der Kapillare bildet sich eine Grenzfläche flüssig-gasförmig in Form eines Kugelsegments mit dem Radius  $r_1$  (Bild 1a). Bei Erhöhung des Drucks vergrößert sich das Volumen der Blase, wobei sich der Radius bis zum Grenzfall der halbkugelförmigen Blase  $r_2$  (Bild 1b) verringert (!).

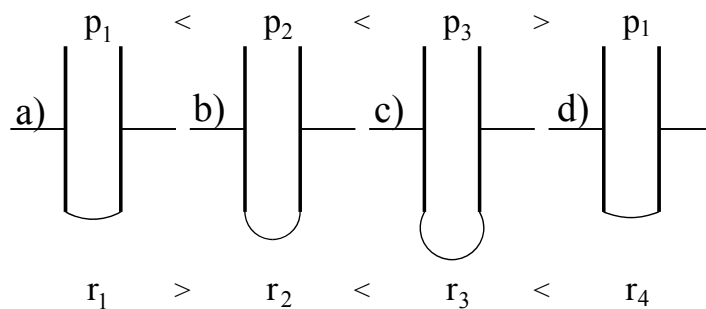


Bild 1: Blasenbildung: Änderung des Krümmungsradius

Weitere Druckerhöhung vergrößert das Volumen der Blase, wobei sich deren Radius wieder vergrößert (Bild 1c). Dieser Zustand ist jedoch instabil, da der aktuelle Druck  $p_3$  größer ist als der Druck, bei dem eine Blase mit dem Radius  $r_3$  existiert. Die Blase löst sich ab und wird vom Auftrieb an die Oberfläche gedrückt (Bild 1d). Bei der Ablösung der Blase sinkt der Druck plötzlich ab, und der beschriebene Vorgang beginnt von neuem, so daß der Vorgang bei kontinuierlicher Luftzufuhr periodisch verläuft.

Die Messung des Maximaldrucks ermöglicht bei Kenntnis des Kapillarradius die Berechnung der Oberflächenspannung nach Gl.5. Der Vorteil der Methode des Maximalblasendrucks

besteht darin, daß jede Blase eine neue Oberfläche bildet und somit bestimmte systematische Fehler (durch Verunreinigungen o.ä.) reduziert werden können. Zusätzlich ermöglicht diese Methode z.B. die Messung der Oberflächenspannung, die an der Grenzfläche zweier unterschiedlicher Flüssigkeiten vorliegt.

Die Messungen erfolgen mit der in Bild 2 skizzierten Anordnung. Die zu untersuchende Flüssigkeit befindet sich in einem Becherglas. Mit Hilfe eines Feintriebs F wird das Meßröhrchen in die Flüssigkeit eingetaucht. Die langsame kontinuierliche Druckerhöhung in der Kapillare erfolgt durch Wasserzufluß aus dem Behälter A in den Behälter B. Der Wasserzufluß kann durch den Hahn H geregelt werden. Der Maximaldruck in der Kapillare wird mit einem U-Rohr-Manometer gemessen. Der Druck in der Blase ergibt sich aus der Differenz zwischen dem am Manometer gemessenen Druck und dem Schweredruck der Flüssigkeit im Becherglas in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe l:

$$p = h \cdot \rho_M \cdot g - l \cdot \rho_F \cdot g \quad (6)$$

wobei  $\rho_M$  die Dichte der Manometerflüssigkeit (destilliertes Wasser) und  $\rho_F$  die Dichte der zu messenden Flüssigkeit ist. Die Höhendifferenz im U-Rohr-Manometer ist h.

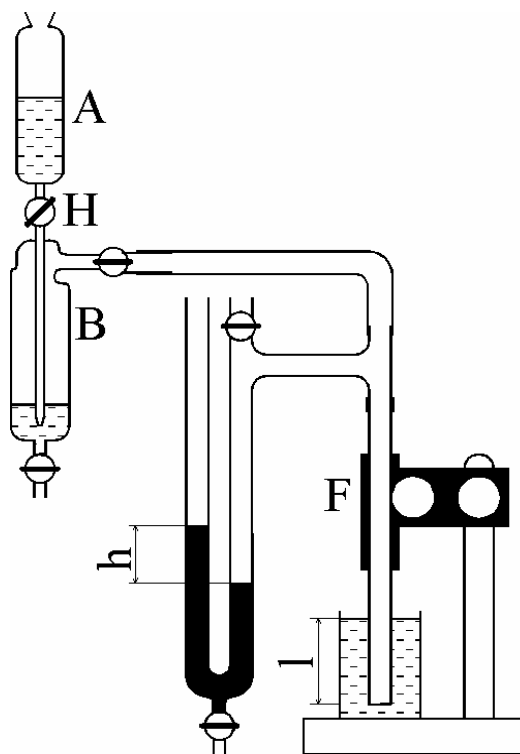


Bild 2: Apparatur zur Messung

Da bei diesem Versuch  $\rho_F \gg \rho_M$  ist, kann die Eintauchtiefe l durch Extrapolation der Kurve  $h(l)$  auf die Eintauchtiefe  $l = 0$  bestimmt. Dazu trägt man die Höhendifferenz h über der Eintauchtiefe l auf. Es ergibt sich eine Gerade mit dem Anstieg  $\rho_F/\rho_M$ . Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der h-Achse sei  $h_0$ . Aus den Gl. 5 und 6 erhält man dann für die Oberflächenspannung

$$\sigma = \frac{r}{2} \rho_M g h_0 \quad (7)$$

### 3. Versuchsdurchführung

#### 3.1 Ansetzen der Lösungen

Eine Ausgangslösung (1 ... 10 %) aus einem handelsüblichen Spülmittel und destilliertem Wasser ist am Versuchsplatz vorhanden. Durch Zugabe von destilliertem Wasser können die erforderlichen geringen Konzentrationen der Versuchslösung hergestellt werden. Die genauen Werte werden vom Assistenten vorgegeben bzw. liegen am Versuchsplatz aus.

#### 3.2 Messung der Kapillarradien

Zur Messung des Innendurchmessers der Kapillaren dient ein Meßmikroskop. Man stellt die Kapillaröffnung im Mikroskop scharf ein und misst den Innendurchmesser mit der Okularskala (mehrmals durchführen und Mittelwert bilden!).

Anschließend wird die Skala mit Hilfe eines Objektmikrometers kalibriert. Bitte beachten:  $r = d/2$  !

#### 3.3 Messung der Oberflächenspannung

Die Kapillare wird am Feintrieb befestigt und grob zur Flüssigkeitsoberfläche justiert. Danach senkt man sie langsam ab, bis sie die Oberfläche berührt. Der Skalenwert auf der Feineinstellung wird notiert (entspricht  $l = 0$ ). Anschließend wird für ca. 5 ... 10 verschiedene Eintauchtiefen die Höhendifferenz an der Manometerskala gemessen. Regulieren Sie den Druck in der Apparatur mit dem Hahn H so, dass möglichst große Zeitabstände (mehrere Sekunden) zwischen den Blasen bestehen!

Die Ermittlung von  $h_0$  erfolgt grafisch oder durch lineare Regression.

#### **Literatur:**

Bakker, G.; Kapillarität und Oberflächenspannung, in: Wien / Harms: „Handbuch der Experimentalphysik“