

# M5 OBERFLÄCHENSPANNUNG

## PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

**Grundbegriffe: Kohäsion, Adhäsion, Kohäsionsdruck, Oberflächenenergie, Oberflächenspannung, Kapillarität.**

Zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit wirken anziehende Kräfte, die einen Wirkungsradius von größenordnungsmäßig  $10^{-8}$  m haben. Im Innern der Flüssigkeit ist jedes Molekül allseitig von Nachbarmolekülen umgeben, so dass sich die Kräfte im zeitlichen Mittel aufheben. An der Oberfläche jedoch fehlt eine nach außen gerichtete Anziehungskraft, bzw. sie ist, bedingt durch die Moleküle des angrenzenden Gases, wesentlich schwächer. An den Molekülen in der Oberfläche einer Flüssigkeit (Dicke  $\approx 10^{-8}$  m) greift eine senkrecht ins Innere der Flüssigkeit gerichtete resultierende Kraft an. Der Quotient aus dieser Kraft pro Fläche wird Binnen- oder Kohäsionsdruck genannt. Gegen diesen Kohäsionsdruck muss Arbeit verrichtet werden, um Moleküle aus dem Innern an die Oberfläche zu bringen. Die Moleküle an der Flüssigkeitsoberfläche haben daher eine höhere potentielle Energie (Oberflächenenergie). Die Zunahme der Oberflächenenergie  $\Delta W$  ist der Oberflächenvergrößerung  $\Delta A$  proportional:

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

wobei die Materialkonstante  $\sigma$  spezifische Oberflächenenergie heißt.

Das stabile Gleichgewicht entspricht einem Minimum der potentiellen Energie, deshalb versucht eine Flüssigkeit ihre Oberfläche auf ein Minimum zusammenzuziehen. Dieses Verhalten der Flüssigkeit kann man durch eine tangential zur Oberfläche gerichtete Kraft  $F_t$  deuten, die an einer in der Oberfläche liegenden Linie senkrecht zu dieser Linie angreift. Verschiebt man diese Linie der Länge  $l$  um eine zu ihr senkrechte Strecke  $\Delta s$ , dann vergrößert man die Oberfläche um  $\Delta A = l \Delta s$ , und es wird die Arbeit  $\Delta W = F_t \Delta s$  verrichtet. Damit ergibt sich aus (Gl. (1))

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F_t \Delta s}{l \Delta s} = \frac{F_t}{l}. \quad (2)$$

Die spezifische Oberflächenenergie  $\sigma$  ist gleich dem auf die Länge der Linie bezogenen Betrag der Oberflächenkraft. Deshalb wird sie auch als Oberflächenspannung bezeichnet. Spezifische Oberflächenenergie und Oberflächenspannung sind physikalisch identische Größen (SI-Einheit:  $1 \text{ J/m}^2 = 1 \text{ N/m}$ ).

Zur Messung der Oberflächenspannung werden hier zwei Methoden behandelt.

### 1. Bügelmethode:

Die Messanordnung besteht aus einer mechanischen Kompensationseinrichtung. In die Messflüssigkeit im Glasschälchen Sch (Abb. 1) taucht ein Drahtbügel mit dem Messdraht D der Länge  $l$  ein. Der Drahtbügel hängt an dem Balken B einer Waage. Wird das Glasschälchen abgesenkt, so bleibt eine Flüssigkeitslamelle L an dem Messdraht hängen, die versucht, den Drahtbügel nach unten zu ziehen, um die Oberfläche zu verkleinern. Diese in die Flüssigkeit gerichtete Kraft wird



## VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Für Aufgabe 1 wird die nur mit dem Messbügel belastete Waage mit Hilfe der Messschraube abgeglichen. Die Stellung  $a_0$  der Messschraube wird als Bezugspunkt für die weiteren Messungen notiert. Anschließend wird ein Reiter mit der Masse  $m$  nacheinander in die Kerben  $i = 1$  bis 9 (und zurück) des Waagebalkens gesetzt und jeweils nach erneutem Abgleich die Stellung  $a_i$  der Messschraube notiert. Beispiel: Liegt der Reiter in der 6. Kerbe, dann beträgt die Kraft:  $F_6 = 0,6 \cdot m \cdot g$  und der Ausschlag ist:  $a'_6 = a_6 - a_0$ . Zur Dämpfung störender Schwingungen des Waagebalkens kann die Aufnahme der Eichkurve  $a'_i = f(F_i)$  mit dem in die Messflüssigkeit eingetauchten Messbügel (s. Aufgabe 2) ausgeführt werden.

Für Aufgabe 2 wird der Messdraht völlig in die Messflüssigkeit eingetaucht, die Waage abgeglichen und der Bezugspunkt  $a_0$  für die Kraftmessung an der Messschraube  $M$  erneut abgelesen. Anschließend wird gleichsinnig die Schale mit der Messflüssigkeit abgesenkt und die Messschraube so verstellt, dass die Waage so gut wie möglich im abgeglichenen Zustand verbleibt. Diese Einstellung erfordert Sorgfalt und sollte langsam erfolgen. Die beim Abreißen der Lamelle erreichte Stellung  $a_i$  der Messschraube wird notiert. Diesen Messprozess - Ermittlung der Nullstellung  $a_0$ , Absenken, Abreißen und Ablesen der Stellung  $a_i$  - wiederhole man mindestens sechsmal ( $n$ ). Der Mittelwert der Differenzen  $\bar{a}' = \frac{1}{n} \sum_i (a_i - a_0)$  ergibt dann mit Hilfe der

Eichkurve (Aufgabe 1) die gesuchte Kraft  $F$ , um die Oberflächenspannung zu berechnen (Gl. (3)).

Wasser von etwa  $0^\circ\text{C}$  erhält man durch Abkühlen des Gefäßes mit destilliertem Wasser im Kältebad, welches unter Verwendung von Schabeeis und Kochsalz angesetzt wird.

Für Aufgabe 3 werden die Kapillaren in die Messflüssigkeit getaucht und die Steighöhe wird an einer Skale abgelesen. Der Nullpunkt der Steighöhenskale kann mit möglichst kleinem Fehler eingestellt werden, wenn man die Metallspitze am unteren Ende der Skale und ihr Spiegelbild an der Wasseroberfläche nutzt. Der Beobachter betrachtet die Oberfläche der Messflüssigkeit schräg von unten und stellt die Höhe der Schale mit der Flüssigkeit so ein, dass sich die Metallspitze gerade mit ihrem Spiegelbild an der „Unterseite“ der Flüssigkeitsoberfläche berührt. Um den Reinheitsgrad der Kapillare zu überprüfen, erzeugt man mit Hilfe eines Gummischlauches am oberen Ende Druckveränderungen in der Kapillare, so dass die Flüssigkeit in der Kapillare schwingt. Im Gleichgewicht muss sich bei ausreichender Reinheit immer die gleiche Höhe einstellen. Auf diese Weise wird die Steighöhe für jede Kapillare sechsmal bestimmt.

Der Durchmesser der Kapillare wird mit einem Mikroskop gemessen. Um Abweichungen vom kreisförmigen Querschnitt berücksichtigen zu können, wird durch Drehen des Okulars der Durchmesser an verschiedenen Stellen gemessen und der Mittelwert berechnet. Aus dem Anstieg

der grafischen Darstellung  $h = f(1/r)$  bestimme man die Oberflächenspannung (vgl. Gl. (6)). Aus dem Fehler des Anstiegs und der Dichte ermittle man den Größtfehler von  $\sigma$ .

### FRAGEN

1. In welcher Weise ist die Oberflächenspannung von der Temperatur abhängig?
2. Warum nehmen Flüssigkeitstropfen oder Gasbläschen Kugelgestalt an?
3. Wie ändert sich die Steighöhe, wenn eine Kapillare in eine nichtbenetzende Flüssigkeit eintaucht?