

# Bestimmung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten

## Stichworte zur Vorbereitung:

Oberflächenenergie, Oberflächenspannung, Kapillarität, benetzende und nicht benetzende Flüssigkeiten, Kohäsion, Adhäsion, Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung.

## 1 Grundlagen

Zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit wirken in einem kleinen Bereich um jedes Molekül anziehende Kräfte. Ihr Wirkungsbereich wird auch Wirkungssphäre genannt.

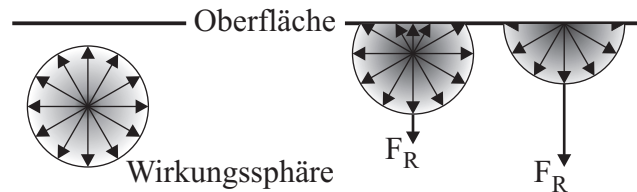


Abbildung 1: Moleküle in einer Flüssigkeit und ihre Wirkungssphäre. Befindet sich ein Molekül an der Oberfläche, so entsteht eine ins Innere der Flüssigkeit gerichtete Kraft am Molekül.

Befindet sich ein Flüssigkeitsmolekül im Inneren einer Flüssigkeit, so heben sich die Kräfte auf, da allseitig gleich große Gegenkräfte, die von den Molekülen in der Umgebung herrühren, wirksam sind. Befindet sich jedoch ein Molekül an der Oberfläche einer Flüssigkeit oder in einem Abstand unter der Oberfläche, der geringer als die Wirkungssphäre ist, so resultiert eine am Molekül angreifende, in das Innere der Flüssigkeit gerichtete Kraft. Da die Flüssigkeitsmoleküle leicht zu verschieben sind, werden die Moleküle der nach innen gerichteten Kraft so lange nachgeben, bis die Oberfläche den kleinstmöglichen Wert annimmt.

Sollen Moleküle aus dem Inneren der Flüssigkeit an die Oberfläche gebracht werden, d.h. soll die Oberfläche einer Flüssigkeit vergrößert werden, so ist Arbeit zu verrichten. Diese Arbeit ist spezifisch für jede Flüssigkeit, und kann zur Bestimmung der Oberflächenspannung der Flüssigkeit herangezogen werden.

Legt man auf die Oberfläche einer Flüssigkeit einen sehr dünnen Draht der Länge  $l$  derart, daß er vollständig von der Flüssigkeit benetzt wird, so bildet sich um den Draht eine Flüssigkeitshaut (siehe Abb. 2).

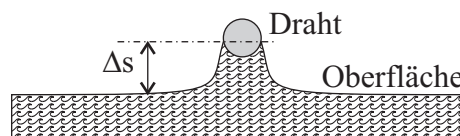


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines aus einer Flüssigkeit gehobenen benetzten Drahtes.

Hebt man den Draht um eine Strecke  $\Delta s$  hoch, so haftet die Flüssigkeit am Draht, und die Oberfläche der Flüssigkeit wird um den Betrag  $\Delta A = 2l\Delta s$  vergrößert. Um diese Oberflächenvergrößerung durchführen zu können, ist eine Arbeit  $\Delta W$  erforderlich:

$$\Delta W = \sigma \Delta A = \sigma 2l\Delta s \quad (1)$$

Die zur Oberflächenvergrößerung erforderliche Arbeit hängt also außer von der Oberflächenvergrößerung auch von einer für die Flüssigkeit charakteristische Größe ab. Diese Größe,  $\sigma$ , nennt man Oberflächenspannung (auch spezifische Oberflächenenergie oder Grenzflächenenergie). Sie hat die Dimension Arbeit/Fläche oder Kraft/Länge. Ihre Einheit ist:

$$[\sigma] = \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (2)$$

Die Arbeit  $\Delta W$  ist genauso groß wie die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um die Flüssigkeitsschicht senkrecht zu heben, nämlich:

$$\Delta W = F\Delta s \quad (3)$$

Durch Gleichsetzen erhält man eine Bestimmungsgleichung für die Oberflächenspannung:

$$\sigma = \frac{F}{2l} \quad (4)$$

Zwischen den Molekülen verschiedener Körper wirken, wie zwischen den Molekülen desselben Körpers auch anziehende Kräfte (Adhäsionskräfte). Bei benetzenden Flüssigkeiten sind die Adhäsionskräfte viel stärker als die Kohäsionskräfte. Daher versucht die Flüssigkeit (z.B. Wasser) eine möglichst große Berührungsfläche gegen die Moleküle eines anderen Körpers (z.B. Glas) zu haben. Taucht man daher ein Kapillarrohr in eine benetzende Flüssigkeit der Dichte  $\rho$ , so steigt die Flüssigkeit an der Rohrwand hoch, was eine Vergrößerung der Oberfläche der Flüssigkeit mit sich bringt. Da Flüssigkeiten weiters das Bestreben haben, ihre Oberfläche möglichst klein zu halten, steigt sie nur um ein Stück  $h$  (entgegen der Schwerkraft) über den äußeren Wasserspiegel.

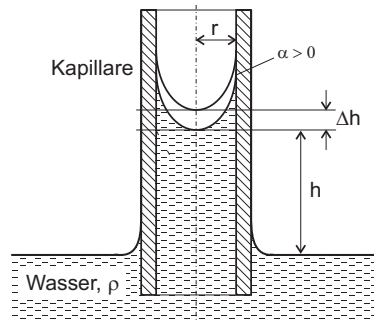


Abbildung 3: Zur Bestimmung der Oberflächenspannung aus der Steighöhe einer Flüssigkeit in einer Kapillare.

Nimmt man nun an, daß die um die Höhe  $h$  gehobene Flüssigkeit um eine kleine Höhe  $\Delta h$  verschoben werde, so liegt das Stück  $2r\pi\Delta h$  der inneren Rohrwandung, das eben noch von einer Flüssigkeitsoberfläche bedeckt war, nun im Inneren der Flüssigkeit. Dadurch wird ein dieser Oberflächenverkleinerung entsprechender Energiebetrag ( $2r\pi\Delta h\sigma$ ) frei. Diese Energie dient zur Hebung des Gewichtes der Flüssigkeit in der Kapillare. Mit der Masse der gehobenen Flüssigkeit ( $m = r^2\pi\Delta h\rho$ ) ergibt sich für die beim Heben geleistete Arbeit  $A$  (potentielle Energie):

$$A = mgh = r^2\pi h\rho g\Delta h \quad (5)$$

Die Flüssigkeit steigt, bis die frei werdende Oberflächenenergie gerade noch ausreicht um diese Arbeit zu leisten. Dann ist:

$$2r\pi\Delta h\sigma = r^2\pi h\rho g\Delta h \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{r h \rho g}{2} = \frac{r h \gamma}{2} \quad (7)$$

## 2 Versuchsaufbau

### 2.1 Bestimmung der Oberflächenspannung nach der Abreißmethode

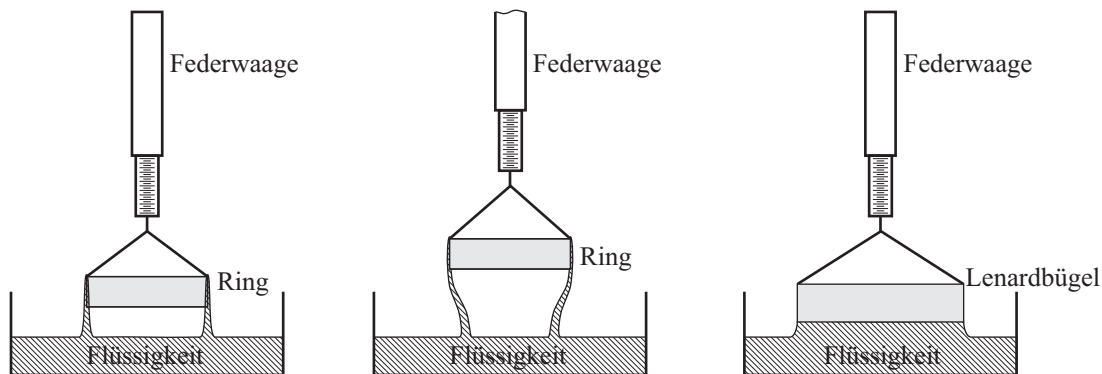


Abbildung 4: Bestimmung der Oberflächenspannung nach der Abreißmethode mit einem Ring (links große – mitte geringe Oberflächenspannung), und mit einem Lenard-Bügel (rechts).

Bei langsamem, ruckfreiem Heben des Ringes bzw. Bügels aus der Flüssigkeit bildet sich eine Flüssigkeitslamelle, die schließlich abreißt. Die unmittelbar vor dem Abreißen angezeigte Kraft wird abgelesen. Die Messungen sind je fünf mal für Wasser und Seifenlösung zu wiederholen.

Anmerkung zum Experiment mit dem Ring: Bei Flüssigkeiten mit geringer Oberflächenspannung läßt sich die Lamelle weit ausziehen. Sie hat dann keine zylindrische Form mehr, sondern schnürt sich ein (Abb. 4), und reißt an der Stelle mit dem kleinsten Umfang. Zur Bestimmung der Oberflächenspannung kann dann nicht der Schneidenumfang, sondern der Umfang der Lamelle an der engsten Stelle eingesetzt werden. Eine exakte Auswertung wird in diesem Fall sehr kompliziert.

### 2.2 Bestimmung der Oberflächenspannung aus der kapillaren Steighöhe

Der Kapillarradius wird indirekt bestimmt: Der Außendurchmesser der Kapillare wird mit einer Schiebelehre gemessen. Betrachtet man die Kapillare durch das Kathetometer, so können Außen- und Innendurchmesser in internen Skalenteilen des Kathetometermaßstabes angegeben werden. Der Innendurchmesser der Kapillare kann dann durch Schlußrechnung bestimmt werden.

Anmerkung: Um zu vermeiden, daß der Wert der Steighöhe zu klein gemessen wird, taucht man die Kapillare erst tief in die Flüssigkeit ein, und zieht sie dann heraus. Man wartet nun, bis sich die Steighöhe nicht mehr ändert.

## 3 Aufgaben

Bestimmung der Oberflächenspannung von Wasser und einer Seifenlösung:

1. Mit der Bügelmethode nach Lenard bzw. mit dem Ring.
2. Aus der Steighöhe in einer Kapillare.