

Materialwissenschaftliches Praktikum

Oberflächenspannung und Benetzung

Versuch MP 12

09-2023

1. Versuchsziel und Aufgabenstellung

Die Oberflächenspannung von Wasser soll in Abhängigkeit des Tensidgehaltes bestimmt werden. Die Benetzung unterschiedlicher Materialien mit Wasser, bzw. Wasser mit Tensiden soll untersucht werden.

2. Versuchsdauer

5*45 min

3. Grundlagen

Grundsätzlich gibt es zwei Betrachtungsweisen zur Charakterisierung von Grenzflächen. Zum einen wird die mechanische Kraft bzw. Spannung betrachtet, die sich auf die Bindungskräfte zwischen den Atomen und Molekülen bezieht und zum anderen stehen thermodynamische Energiebetrachtungen nach den Fundamentalgleichungen von Gibbs und Helmholtz im Vordergrund.

Die Kräftebetrachtung geht von der Vorstellung aus, dass die Atome im Innern eines Materials vollständig von anderen Bausteinen umgeben sind, und damit Bindungskräfte in jeder Richtung abgesättigt sind. Die Resultierende aller auf ein solches Atom einwirkenden Kräfte ist Null, siehe Abbildung 1. Auf ein Atom an der Oberfläche wirken jedoch nur Kräfte aus dem Innern des Materials. Die Resultierende aller auf das Oberflächenatom ausgeübten Anziehungskräfte hat einen endlichen Wert und ist nach innen gerichtet. Wird ein Atom an die Oberfläche gebracht, so muss man diese Kräfte überwinden; es wird also eine Arbeit verrichtet. Bezieht man diese Arbeit auf die Flächeneinheit der Oberfläche, so ergibt sich die Oberflächenenergie mit der Dimension $[J/m^2]$.

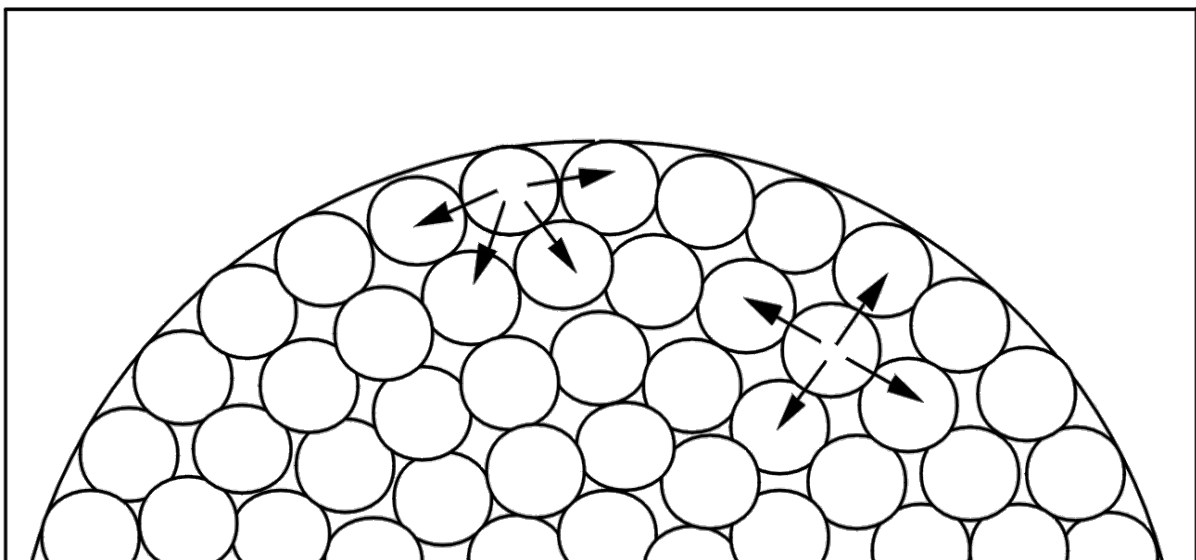


Abbildung 1: Kräftegleichgewicht im Innern und an der Oberfläche einer Flüssigkeit

In Flüssigkeiten sind die Moleküle frei beweglich, der Zusammenhalt beruht überwiegend auf van-der-Waals'schen-Kräften, die jedoch an Oberflächenmolekülen unsymmetrisch verteilt sind. Zur Überwindung der nach innen gerichteten Kräfte muss Arbeit aufgebracht

werden. Daher hat ein Oberflächenmolekül eine größere potentielle Energie als die Moleküle im Innern der Flüssigkeit. Bei stabilem Gleichgewicht der gesamten Flüssigkeit ist ihre potentielle Energie, zu der auch die Oberflächenenergie zu rechnen ist, minimal. Ein stabiles Gleichgewicht stellt sich dann ein, wenn die Oberfläche ihre kleinstmögliche Ausdehnung hat, weswegen frei schwebende Tröpfchen kugelförmig sind. Durch energetische Betrachtungen kann gezeigt werden, dass die freie Helmholtz'sche Oberflächenenergie pro Flächeneinheit der Oberflächenspannung der Flüssigkeit entspricht.

In Festkörpern jedoch ist die Beweglichkeit der Bausteine erheblich eingeschränkt. Würde man die Oberfläche einer Flüssigkeit erhöhen, so könnten Atome die unterhalb der Oberfläche liegen in die "Lücken" treten, d. h. die Anzahl der Atome bezogen auf die Oberfläche bliebe gleich. Eine (elastische) Verformung eines Festkörpers würde quasi eine Dehnung der Oberfläche bewirken, wobei bei vergrößerter Oberfläche die Anzahl der Atome konstant bliebe. Die Oberflächenspannung ist daher größer als die Oberflächenenergie, weswegen in Festkörpern im Gegensatz zu Flüssigkeiten Oberflächenenergie und Oberflächenspannung nicht identisch sind. Somit ist erklärlich, dass es mehrere Methoden gibt, die Oberflächenenergie von Flüssigkeiten zu bestimmen - indem deren Oberflächenspannung ermittelt wird -, Oberflächenenergien von Festkörpern der experimentellen Bestimmung jedoch weniger zugänglich sind.

Methode des hängenden Tropfens

Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Beziehung zwischen dem Krümmungsdruck ΔP und der Oberflächenspannung beschrieben durch die Laplace Gleichung:

$$\Delta P = \gamma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

(1)

Würde auf beiden Seiten einer Flüssigkeitsoberfläche derselbe Druck herrschen, so wäre diese Fläche eben. Durch Anlegen eines Differenzdruckes kommt es jedoch zur Auswölbung (Krümmung) dieser Oberfläche. Der Vergrößerung der Oberfläche steht jedoch die Oberflächenspannung entgegen. Die Krümmung der Oberfläche kann durch Hauptkrümmungsradien beschrieben werden, die in senkrecht zueinander liegenden Ebenen liegen, siehe Abb. 2.

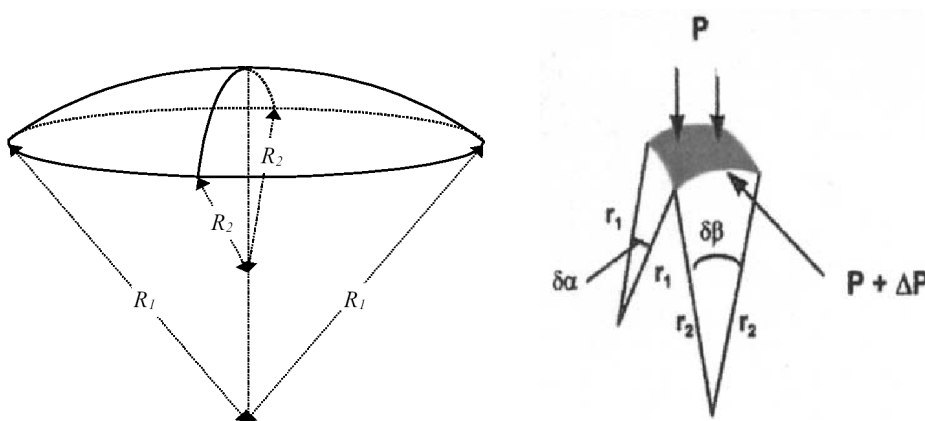


Abbildung 2: Beispiele für Oberflächensegmente und Krümmungsradien

Lässt man nun einen Tropfen aus einer Hohlzylinder austreten, so wird dieser Tropfen durch sein Eigengewicht in die Länge gezogen. Seine Form wird dabei von der Oberflächenspannung beeinflusst, siehe Abb. 3.

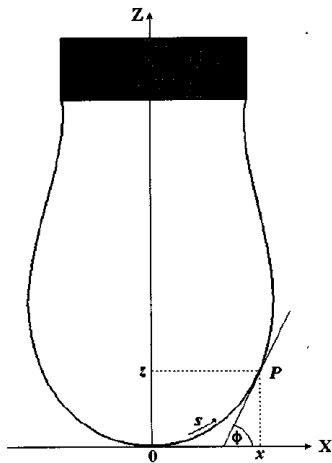


Abbildung 3: Darstellung eines hängenden Tropfens

Der Druckunterschied zwischen dem Scheitelpunkt (S) und einem Punkt P entlang der Tropfenoberfläche, gegeben durch die Koordinaten x und z lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben

$$\Delta P_S - \Delta P_P = z - \Delta \rho * g \quad (2)$$

Somit gilt im hydromechanischen Gleichgewicht folgende Beziehung.

$$\frac{d\phi}{ds} = 2k_s - \frac{z\Delta\rho * g}{\sigma} - \frac{\sin\phi}{x} \quad (3)$$

wobei k_s die Krümmung am Scheitelpunkt bezeichnet, $\Delta\rho$ die Dichtedifferenz zwischen der Flüssigkeit und dem Umgebungsmedium

Mit Kenntnis der Tropfenkontur kann nun über ein iteratives Verfahren die Oberflächenspannung ermittelt werden.

Benetzung

Benetzung beschreibt den Vorgang, wie sich eine Flüssigkeit auf einem festen Substrat ausbreitet. Im Alltag ist der Unterschied zwischen guter und schlechter Benetzung z. B. beobachtbar, wenn ein Tropfen Leitungswasser auf einen Teller gegeben wird, im Vergleich dazu wenn dieses Wasser zunächst mit einem Spülmittel versetzt wird. Ein anderes Beispiel ist das Abperlverhalten von Regenwasser auf einem verwitterten Autolack im Vergleich zu einer frisch gewachsenen Motorhaube. - Dies sind die beiden technischen Möglichkeiten zur Veränderung des Benetzungsverhaltens: entweder man verändert die Oberflächenenergie der Flüssigkeit oder die des Substrats.

Diese Phänomene zeigen, dass eine Flüssigkeit, deren energetisch günstigster Zustand eine Kugel sein sollte, doch dazu neigt, diese Gestalt aufzugeben und mit dem Substrat eine gemeinsame Grenzfläche zu bilden. Die Ursache ist darin zu sehen, dass das System als Ganzes versucht, seinen Energieinhalt zu minimieren. Ist die Flüssigkeit frei schwebend, so findet die Minimierung durch Bildung einer Kugel statt. Dem Festkörper gelingt dies aufgrund der mangelnden Beweglichkeit seiner Bausteine nicht. Sobald er jedoch mit einer Flüssigkeit in Berührung kommt, werden die Bindungskräfte seiner Oberfläche - wenn auch unvollständig - durch die Moleküle der Flüssigkeit abgesättigt. Ebenso kann die Bildung einer Grenzfläche mit dem Festkörper auch aus der Sicht der Oberflächenatome der Flüssigkeit energetisch günstiger sein. Zusammen betrachtet kann also der Energieinhalt der Grenzfläche niedriger sein als jener, der in beiden Oberflächen zusammengenommen enthalten ist. Aus diesem Grunde würden Festkörper und Flüssigkeit versuchen, ihre gemeinsame Grenzfläche zu maximieren, d. h. die Flüssigkeit würde das Substrat vollständig benetzen. Allerdings bleibt der Phasenübergang von der Flüssigkeit zur Gasphase nach wie vor erhalten. In dem Maße, wie die Grenzfläche mit dem Substrat gebildet wird, vergrößert sich auch die Oberfläche der Flüssigkeit und damit deren Energieinhalt. Es ergeben sich also zwei gegenläufige Effekte: Reduzierung des Energieinhalts durch Bildung einer gemeinsamen Grenzfläche und Energieerhöhung durch Vergrößerung der Flüssigkeitsoberfläche. Hierauf beruht ein etabliertes Messverfahren zur Quantifizierung der Benetzung: die Methode des liegenden Tropfens, oder auch "sessile drop" Methode genannt. Stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den beiden beschriebenen konkurrierenden Vorgängen ein, so ergibt sich eine für die energetischen Verhältnisse charakteristische Tropfenform der Flüssigkeit auf dem Substrat, welche durch den Benetzungswinkel (Randwinkel) charakterisiert wird. Das Ausmaß an Benetzung ist daher abhängig von der Oberflächenenergie der Flüssigkeit (γ_{lv}), der des Substrats (γ_{sv}) sowie der Energie der sich bildenden Grenzfläche (γ_{sl}). l steht für liquid, s für solid und v für vapor, also die drei Phasen, wobei sich an dem Punkt, an denen alle drei Phasen existieren, diese im Gleichgewicht sind und durch den Gleichgewichtswinkel charakterisiert werden. Qualitativ lässt sich die Benetzung in schlecht ($> 90^\circ$), gut ($< 90^\circ$) und totale Benetzung einteilen, siehe Abbildung 4.

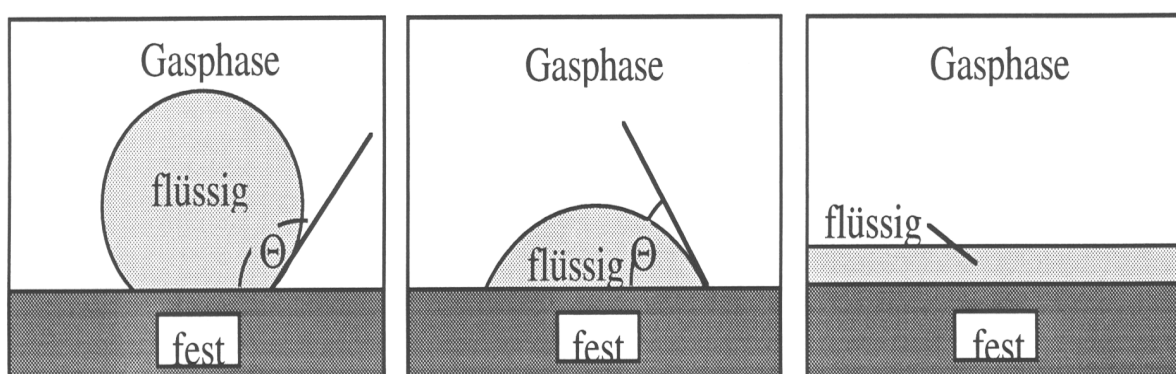


Abbildung 4: schlechte, gute und totale Benetzung

Quantitativ kann die Benetzung durch die vektorielle Addition der Energiebeiträge beschrieben werden, siehe Abbildung 5. Im Gleichgewicht ergibt sich:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \Theta \quad (4)$$

Weiterhin gilt:

$$W_{Ad} = \gamma_{sl} - \gamma_{sv} - \gamma_{lv} \quad (5)$$

womit sich die Adhäsionsarbeit ergibt zu:

$$W_{Ad} = - \gamma_{lv} (1 + \cos \Theta) \quad (6)$$

Mit γ_{sl} Grenzflächenenergie zwischen Flüssigkeit (l) und Festphase (s)

γ_{sv} Oberflächenenergie der Festphase

γ_{lv} Oberflächenenergie der Flüssigphase

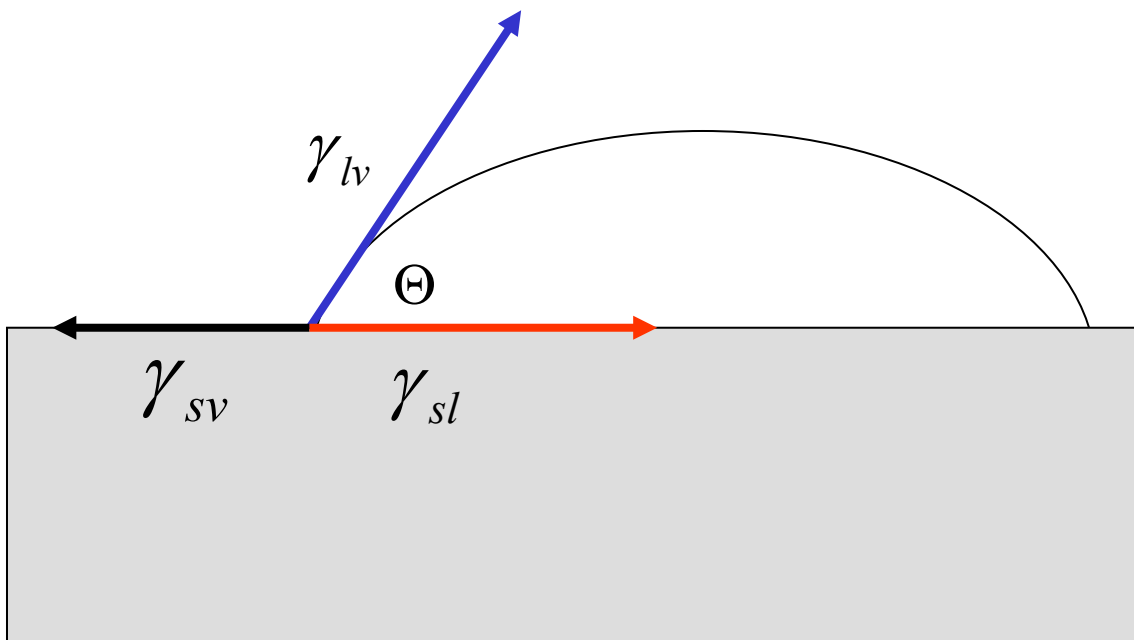


Abbildung 5: Mehrphasengleichgewicht und Benetzung

Die Adhäsionsarbeit muss negativ sein, wenn sich eine gemeinsame Grenzfläche bilden soll. Das heißt, es muss Energie frei werden, damit sich aus zwei Oberflächen eine gemeinsame Grenzfläche bildet.

Betrachtet man Gleichung 5 und unterstellt, dass die Oberflächenenergie der Flüssigkeit sehr klein ist, so wird das Ausmaß an frei werdender Adhäsionsarbeit in erster Linie durch die Oberflächenenergie des Substrats bestimmt. Dies bewirkt, dass niedrig energetische Flüssigkeiten sehr gut mit hochenergetischen Substraten benetzen. Obwohl bei völliger Benetzung (Spreitung des Tropfens, siehe Abbildung 4) die Oberfläche der Flüssigkeit sehr groß wird, ist deren Energieinhalt vergleichsweise gering zu der Reduzierung an

Oberflächenenergie des Festkörpers. So benetzen Polymere niedriger Oberflächenenergie Metalle oder Keramiken meist recht gut.

Zur Messung dieses Benetzungswinkels gibt es verschiedene Methoden. Grundsätzlich entspricht der Winkel der Steigung der Flüssigkeitskontur am Gleichgewichtspunkt. Man könnte somit an diesen Punkt eine Tangente anlegen, der Winkel, der von der Tangente zur Horizontalen gebildet wird, wäre dann der Benetzungswinkel. Dieses Verfahren wird Tangentenmethode genannt.

In der Praxis ist es jedoch häufig nicht ganz einfach jenen Gleichgewichtspunkt zu bestimmen und die Tangente anzulegen. Demzufolge ist dieses Verfahren mit einigen – benutzerabhängigen – Fehlern behaftet. Daher wird bei Systemen mit Computerunterstützter Bildverarbeitung versucht die Kontur des Tropfens mathematisch zu beschreiben und aus der sich ergebenden Funktion die Ableitung am Kontaktpunkt gebildet. Grundsätzlich sind hier eine Reihe von Verfahren denkbar. Bei der in diesem Versuch verwendeten Software soll auf vier Methoden eingegangen werden.

Tangentenverfahren 1:

Hier wird das gesamte Profil eines liegenden Tropfens an eine allgemeine Kegelschnittgleichung angepasst. Die Ableitung dieser Gleichung an der Basislinie ergibt die Steigung im Dreiphasenkontaktpunkt.

Tangentenverfahren 2:

Von dem Profil eines liegenden Tropfens wird der Teil in der Nähe der Basislinie an eine Funktion der Gestalt

$$y = a + bx + cx^{0.5} + d/\ln x + e/x^2 \quad (7)$$

angepasst. Auch hier wird der Kontaktwinkel aus der Steigung am Dreiphasenpunkt ermittelt.

Höhen-Breiten-Verfahren

Bei dieser Methode wird der Tropfen als Kugelabschnitt angenähert. Diese Annäherung ist umso genauer, je flacher der Tropfen ist. Diese Method ist für Benetzungswinkel $<90^\circ$ anwendbar.

Young-Laplace (Sessile Drop Fitting)

Eine andere Methode ist die Kontur mit einer Differentialgleichung anzunähern, die ebenfalls auf der Young Laplace Gleichung beruht. Wie beim hängenden Tropfen gilt auch beim liegenden Tropfen:

$$\Delta P = \gamma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

und für jeden Punkt A mit den Koordinaten x und z auf der Kontur des Tropfens:

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{g\rho z}{\gamma} + C \quad (8)$$

Wobei wiederum r den Dichteunterschied zwischen Flüssigkeit und Umgebungsmedium, z , den horizontalen Abstand von der Horizontalen, g die Oberflächenspannung der Flüssigkeit bezeichnet, sowie C einer Differentiationskonstante. Ähnlich wie beim hängenden Tropfen kann durch ein iteratives Vorgehen und durch Vergleich mit der gemessenen Tropfenkontur diese durch die Differentialgleichung angenähert werden und somit der Schnittpunkt mit dem Substrat und somit auch die Steigung an diesem Punkt ermittelt werden. Diese Methode ist daher wesentlich unabhängiger vom Benutzer, benötigt jedoch die Zusatzinformationen der Oberflächenspannung der Flüssigkeit, deren Dichte sowie die geometrischen Abmessungen des Tropfens (x , z). Dieses Verfahren ist geeignet für Kontaktwinkel, die über 30° liegen.

4. Versuchsaufbau

Der Versuch wird durchgeführt am Kontaktwinkelmessgerät

DSA 10 Mk2 der Firma Krüss

Ferner stehen zur Verfügung: 1 Messschieber, Thermometer, Destilliertes Wasser, Spülmittel, verschiedene Messzylinder.

5. Versuchsdurchführung

a) Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung soll mittels der Methode des hängenden Tropfens in Abhängigkeit der Spülmittelkonzentration bestimmt werden. Zu diesem Zweck sollen Konzentrationen mit 0,5 %, 0,1 %, 0,05%, 0,01%, 0,001 % hergestellt und vermessen werden. Bei jeder neuen Konzentration ist auf eine gründliche Reinigung der Messmittel zu achten.

Die zu prüfende Flüssigkeit wird in eine Spritze mit einer Hohnadel gefüllt. Die Spritze wird in die dafür vorgesehene Halterung des Gerätes eingesetzt. Durch manuellen Druck wird die Flüssigkeit aus der Spritze gepresst. Der sich bildende, an der Hohnadel hängende Tropfen nimmt eine charakteristische Form und Gestalt an, aus der sich die Oberflächenspannung der Flüssigkeit bestimmen lässt.

Zur Bestimmung des Tropfenprofils wird der Tropfen mit einer Kamera erfasst und mit Bildverarbeitungsverfahren die Kontur digitalisiert.

Im Einzelnen ist wie folgt vorzugehen:

Nr.	Vorgang
	1. Einschalten des Gerätes
1	Das Gerät (DAS 10 Control unit) muss eingeschaltet sein, bevor die Software Drop Shape Analysis gestartet wird.
2	Start der Software „Drop Shape Analysis“

3	Öffnen Pull-out menu File – Open FG-Window Flyout FG “Acquire” aktivieren
4	Im Fenster DSA Device Control Panel im Untermenü Dosing das Fly out SM einstellen
	2. Einsetzen der Spritze
5	Ermittlung des Außendurchmessers der Nadelspitze mittels Messschieber
5	Spritze blasenfrei befüllen und in Halterung einsetzen. Es ist darauf zu achten, dass die Nadelspitze nicht berührt wird.
	3. Positionierung der Nadel
6	Im Fenster „DSA Device Control Panel“ im Untermenü „Needle-Pos“ anklicken.
7	Mit Rollbalken oder Pfeiltasten der Tastatur Nadelspitze in Bildschirmmitte (horizontal) und oberes Bildschirmviertel (vertikal) positionieren.
	3. Erzeugung eines Tropfens
8	Durch manuellen Druck auf die Spritze einen Tropfen erzeugen, bis dieser von der Spitze abreißt, Im weitem einen Tropfen so einstellen, dass dieser gerade noch nicht abreißt (Erzeugung eines möglichst großen Tropfens).
	Durch drücken der rechten Maustaste erscheint ein kontextsensitives Menü, in welchem die für Tropfenaufnahme und Auswertung wichtigen Programmpunkte aufgeführt sind.
9	Einstellen in Fly-out Drop Type „Pendant Drop“
10	Im Untermenü Subtype die Option „Top-Bottom“ einstellen
11	Mit Zoom Optik Tropfen und Nadel so vergrößern, dass von der Nadel noch 1-2cm auf dem Bildschirm sichtbar sind
12	Im Pullout Menu FG Untermenü Focusing Assistent (oder F8 Taste) öffnen.
13	Durch drehen der Fokusiereinrichtung an der Kamera die Werte für Edge Width minimieren (möglichst kleiner 10)
	Menü schließen.
	4. Speichern des live Bildes
14	Entweder in der Bildschirmleiste auf das Icon „Photokamera“ drücken, oder rechte Maustaste Fly-Out Image Freeze drücken.

15	Im Untermenü Save as Bild in gewünschter Datei abspeichern.
	5. Auswertung
	Setzen der „Limit Lines“
16	Im Fenster FG Drop Window befinden sich drei Linien, zwei blaue und eine rosa Linie.
	Die beiden blauen Linien dienen zur Messung der Breite der Nadel. Die obere Linie ist durch Mausbewegung so weit oben wie möglich zu positionieren, die untere kurz vor Ende der Nadel. Die Rosa Linie soll den Tropfen schneiden. Die Kontur unterhalb dieser Linie wird für die Messung herangezogen, die Linie sollte daher möglichst kurz unter das Ende der Spritze gelegt werden.
	5.1. Einstellung der Versuchsparameter
17	Rechte Maustaste, Untermenü Drop Info öffnen.
18	Im Menü die entsprechenden Versuchsparameter eingeben
	Temperatur
	Needle Diameter
	Dichte der Flüssigkeit (Drop Phase)
	Dichte der Umgebungsphase (i. A. Luft) : 0,0397
	Gegebenenfalls können hier Korrekturen für
	die Erdbeschleunigung (Jena 9,8065)
	Vergrößerungsfaktor
	Aspect ratio (Standard 1)
19	Der Vergrößerungsmaßstab wird automatisch nach dem Verlassen des Fensters und öffnen des Menüs MAG-Determination (rechte Maustaste) gebildet.
	5. 2. Bestimmung der Profillinie
20	durch Pull out Menu „Profile“ Aktivierung „Extraction“_wird die Tropfenkontur in roter Farbe angezeigt.
21	Durch Pull out Menu „Profile“ Aktivierung „Fit“ wird die Young-Laplace Gleichung an das Tropfenprofil angepasst und so die Grenzflächenspannung bestimmt. Der Wert wird in der unteren Leiste des Bildes angegeben.
	Die Messung ist an 5 verschiedenen Tropfen zu wiederholen:
22	Durch aktivieren des Icons Kamera oder.. Wiedererstellen eines Live Bildes. Analog Schritt 8 einen neuen Tropfen erzeugen. Schritte 14 und 15 wiederholen, Schritte 19 bis 21 wiederholen

	Schritt 22 viermal durchführen.
--	---------------------------------

Benetzung

Die Oberfläche des zu vermessenden Festkörpers sollte weitgehend eben sein. Ein Flüssigkeitstropfen von 2-6 mm Durchmesser wird mit Hilfe einer Spritze auf den Festkörper gebracht. Innerhalb dieser Größenordnung ist der zu messende Kontaktwinkel unabhängig vom Durchmesser des Tropfens.

Die Benetzung eines Festkörpers lässt sich durch den Kontaktwinkel beschreiben, den die Flüssigkeit mit der Oberfläche bildet. Ein Kontaktwinkel von 0° bedeutet vollständige Benetzung, ein Kontaktwinkel zwischen 0° und 90 ° gute Benetzung, ein Winkel größer 90° bedeutet schlechte Benetzung.

Der Kontaktwinkel ist jedoch nicht zeitunabhängig, da sich dieser in Abhängigkeit der Flüssigkeit und des Substrats verändern kann, z. B. durch Verdunstung oder Sedimentation.

Das Tropfenprofil wird mit einer Kamera erfasst und mit Bildverarbeitungsverfahren die Kontur digitalisiert. Der Winkel, den die Tropfenkontur am Schnittpunkt mit der Oberfläche bildet wird gemessen. Dabei können verschieden Verfahren benutzt werden, die in der Regel aber von einander abweichende Ergebnisse liefern. In diesem Versuch soll der Benetzungswinkel von destilliertem Wasser auf unterschiedliche Substrate mittels Tangentenverfahren und Fittingverfahren ermittelt werden.

Das Ergebnis ist neben den Parametern des Messverfahrens selbst von einer Reihe anderer Faktoren abhängig: Rauigkeit der Oberfläche, Ebenheit der Oberfläche, Verschmutzung / Kontamination der Oberfläche, Verdampfungsneigung der Flüssigkeit.

Die zu messende Fläche ist vor der Messung mit Alkohol zu reinigen und darf dann nicht mehr berührt werden.

Das Vorgehen ist nahezu analog zur Bestimmung der Oberflächenspannung:

Nr.	Vorgang
	1. Einschalten des Gerätes
1	Das Gerät (DAS 10 Control unit) muss eingeschaltet sein, bevor die Software Drop Shape Analysis gestartet wird.
2	Start der Software „Drop Shape Analysis“
3	Öffnen Pull-out menu File – Open FG-Window, Flyout FG “Acquire” aktivieren
4	Im Fenster DSA Device Control Panel im Untermenü Dosing das Fly out SM einstellen
	2. Einsetzen der Spritze

5	Ermittlung des Außendurchmessers der Nadelspitze mittels Messschieber
6	Spritze blasenfrei befüllen und in Halterung einsetzen. Es ist darauf zu achten, dass die Nadelspitze nicht berührt wird.
	3. Positionierung des Substrats
7	Planparallele Probe auf Probentisch auflegen. Eventuell Parallelität durch geeignetes Aufkitten auf einer Unterlage herstellen.
8	Probenoberfläche durch Drehen der Stellknöpfe in das Kamerabild fahren. Die Oberfläche sollte ca. 5-7 cm des unteren Bildfensters abdecken.
	4. Positionierung der Nadel
9	Im Fenster „DSA Device Control Panel“ im Untermenü „Needle-Pos“ anklicken.
10	Mit Rollbalken oder Pfeiltasten der Tastatur Nadelspitze in Bildschirmmitte (horizontal) positionieren. Vertikal die Nadelspitze auf ca. 1- 1,5 fache des Nadeldurchmessers von der Substratoberfläche positionieren.
	3. Erzeugung eines Tropfens
11	Durch manuellen Druck auf die Spritze einen Tropfen erzeugen. Die Nadel ggf. durch Maustasten aus dem Tropfen herausziehen.
	Durch drücken der rechten Maustaste erscheint ein kontextsensitives Menü, in welchem die für Tropfenaufnahme und Auswertung wichtigen Programmpunkte aufgeführt sind.
12	Einstellen in Fly-out Drop Type „Sessile Drop“
13	Im Untermenü Drop Subtype die Option „Normal Sessile Drop“ einstellen
14	Mit Zoom Optik Tropfen so vergrößern, dass der Tropfen in den Bildschirm etwa zu 80% ausfüllt. Das untere Ende der Spritze muss noch im Bild verbleiben
15	Im Pullout Menu FG Untermenü Focusing Assistent (oder F8 Taste) öffnen.
16	Durch drehen der Fokusiereinrichtung an der Kamera die Werte für Edge Width minimieren (möglichst kleiner 10)
	Menü schließen.
17	Helligkeit einstellen durch die Tasten BILD HOCH / BILD RUNTER, gemäß Seiten 53 und 54 des Bedienerhandbuches.
	4. Speichern des live Bildes
18	Entweder in der Bildschirmleiste auf das Icon „Photokamera“ drücken, oder rechte Maustaste Fly-Out Image Freeze drücken.

19	Im Untermenü Save das Bild in gewünschter Datei abspeichern.
	5. Auswertung
	5.1. Setzen der „Limit Lines“
20	Im Fenster FG Drop Window befinden sich drei Linien, zwei blaue und eine rosa Linie.
	Die beiden blauen Linien dienen zur Messung der Breite der Nadel. Die obere Linie ist durch Mausbewegung so weit oben wie möglich zu positionieren, die untere kurz vor Ende der Nadel. Die grüne Linie ist die Basislinie und kennzeichnet die Probenoberfläche. Die Pfeiltasten dienen der Verschiebung der Basislinie in vertikaler Richtung, die Pfeiltasten und dienen zur Neigung der Basislinie. soll den Tropfen schneiden. Die Kontur unterhalb dieser Linie wird für die Messung herangezogen, die Linie sollte daher möglichst kurz unter das Ende der Spritze gelegt werden.
	5.2. Einstellung der Versuchsparameter
21	Rechte Maustaste, Untermenü Drop Info öffnen.
22	Im Menü die entsprechenden Versuchsparameter eingeben
	Temperatur
	Needle Diameter
	Dichte der Flüssigkeit (Drop Phase)
	Dichte der Umgebungsphase (i. A. Luft) : 0,0397
	Gegebenenfalls können hier Korrekturen für
	die Erdbeschleunigung (Jena 9,8065)
	Vergrößerungsfaktor
	Aspect ratio (Standard 1)
23	Der Vergrößerungsmaßstab wird automatisch nach dem Verlassen des Fensters und öffnen des Menüs MAG-Determination (rechte Maustaste) gebildet.
	5.3. Bestimmung des Kontaktwinkels
24	Untermenü Profile – Contact angle using – gewünschte Variante einstellen: a) Tangente 1, b) Tangente 2 c) Höhe-Breite d) Sessile drop Fitting
25	Der Wert wird in der unteren Leiste des Bildes (rechts) angegeben.
	Die Messung ist an 10 verschiedenen Tropfen zu wiederholen:
26	Durch aktivieren des Icons Kamera oder Flyout FG Acquire. Wiedererstellen eines Live Bildes.

	Durch drehen des Stellrades Tropfen aus Bild fahren, bzw. neue Benetzungsfläche einstellen. Analog Schritt 11 einen neuen Tropfen erzeugen. Ggf. Schritte 14 bis 17 wiederholen Schritte 18 und 19 wiederholen, Schritte 20 bis 25 wiederholen
	Schritt 24 9 mal durchführen.
	Es ist darauf zu achten, dass zwischen dem Absetzen des Tropfens und der Speicherung (Freeze) immer die Gleiche Zeit liegt, Standard 15 Sekunden

6. Auswertung

Die Ergebnisse zur Oberflächenspannung sind tabellarisch festzuhalten, der Mittelwert ist zu bestimmen sowie die Varianz und die minimale und maximale Abweichung

Ferner ist eine Fehlerabschätzung für die Genauigkeit der Einstellung der Spülmittelkonzentration vorzunehmen.

Die Ergebnisse sind graphisch darzustellen (linear und logarithmisch).

Der Einfluss und die Wirkungsweise von Tensiden ist zu diskutieren.

Die Ergebnisse zur Benetzung sind tabellarisch festzuhalten, der Mittelwert ist zu bestimmen, die Varianz und die minimale und maximale Abweichung.
Das Ergebnis ist zu diskutieren.

7. Literatur

Handbuch der Firma Krüss: DAS drop shape analyse

F. K. Hansen, G. Rodsurud: Surface Tension by Pendnt Drop, Colloid interface Sci. 141, No. 1 (191) 1.

D. K. Owens, R. C. Wendt: Estimaition of the Surface Free Energy of Polymers, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 13, 1969, 1741-1747

Fragen

Überlegen Sie, welche Werte sich für die Adhäsionsarbeit ergeben, wenn der Benetzungswinkel 0° beträgt oder wenn er 180° beträgt. Wie ist dies zu interpretieren?

Wie sieht der Benetzungswinkel auf einer Bratpfanne aus Stahl aus und wie auf einer mit Teflon beschichteten Pfanne, begründen Sie.

Spülschwämme sind in der Regel aus einem Polymer. Wasser benetzt jedoch nicht gut mit Polymeren, unter welcher Voraussetzung wird das Wasser dennoch von dem Schwamm aufgesogen?

Warum steigt Wasser in porösem Gestein nach oben, in einer Kiesschicht jedoch nicht?