

Skript Grenzflächenbetrachtungen

Inhalt

	Seite
1. Phasen und ihre Grenzen	2
2. Phasengrenzen und Energie	2
3. Energie und Spannung	4
4. Wechselwirkungen der Moleküle untereinander	4
4. 1 Wasserstoffbrückenbindungen	4
4. 2 Ionenbeziehungen	6
4. 3 Dipolkräfte	7
4. 4 Van - der - Waals - Kräfte	7
5. Der Randwinkel	8
6. Messverfahren	10
7. Auswertemethoden	14
8. Die Dynamik der Oberflächenspannung	18
9. Dynamische Messverfahren	20
10. Anwendungen	22

1. Phasen und ihre Grenzen

Wenn gasförmige Materie in einen Raum kommt, breitet sie sich durch Diffusion in diesem Raum aus. Die Moleküle fliegen auseinander, bis feste Grenzen oder Kräfte, z. B. die Gravitation, sie aufhalten. **Kondensierte Phasen** (Flüssigkeiten und Feststoffe) besitzen dagegen **ein bestimmtes Volumen** bei gegebener Temperatur. Kommen sie in einen Raum hinein, behalten sie dieses Volumen. Dabei können Flüssigkeiten ihre Form anpassen, wenn Kräfte auf sie wirken, Festkörper normalerweise nicht. Beide Arten kondensierter Phasen haben eine Außenfläche = **Oberfläche**, die üblicherweise von einer Gasphase, z. B. Luft, umgeben ist. Grenzen zwei kondensierte Phasen aneinander, so haben sie eine **Grenzfläche** miteinander. Die Unterscheidung zwischen Grenz- und Oberflächen ist willkürlich getroffen und historisch gewachsen.

In einer kondensierten Phase befinden sich etwa 1000 x so viele Teilchen pro cm^3 wie in einer Gasphase. Das heißt, die Teilchen der kondensierten Phasen haben untereinander viel geringere Abstände als die Teilchen in Gasphasen.

In kondensierten Phasen wirken Anziehungskräfte zwischen den einzelnen Teilchen, weil ihre Nähe zueinander dies möglich macht. In Flüssigkeiten sind diese Kräfte räumlich meist nicht fest gerichtet. Damit kann eine Flüssigkeit, z. B. unter der Schwerkraft, ihre äußere Form der Umgebung anpassen. Die Teilchen (Moleküle) bewegen sich je nach Temperatur recht ungeordnet. Je wärmer die Flüssigkeit ist, desto schneller bewegen sie sich. Wir nennen dies die thermische Bewegung. Wenn die Temperatur in die Nähe des Siedepunktes kommt, haben einige Teilchen eine so hohe Bewegungsenergie, dass sie den Verband ganz verlassen können. Die Flüssigkeit verdunstet dann. Allerdings muss man recht nahe an die Siedetemperatur kommen, wenn man eine nennenswerte Verdunstungsrate erwartet. Oder man muss wenigstens die herausgesprungenen Moleküle schnell von der Flüssigkeitsoberfläche entfernen, z. B. wegblasen. Sonst fällt ein guter Teil von ihnen nämlich wieder in die Flüssigkeit hinein. Dieses Verhalten macht man sich übrigens bei der Druckfarben - Trocknung zunutze.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

2. Phasengrenzen und Energie

Im stabilen flüssigen Zustand ziehen sich die Moleküle also stark gegenseitig an. In einem Feststoff ist das natürlich ebenfalls so. Die Teilchen stehen untereinander in intensiver Wechselwirkung. Die zwischen ihnen wirkenden Anziehungskräfte sind oft sogar gerichtet, also nicht immer jeweils kugelförmig im Raum um die Teilchen verteilt. Damit bleibt jedes Molekül an einem festen Platz und schwingt nur um die Mittellage so eines Platzes, z. B. in einem Kristallgitter.

Im reinsten Fall eines Feststoffes, einem monokristallinen Körper, sind es klar chemische Bindungen und Ionenbeziehungen, die die Anziehung der Teilchen untereinander bewirken.

Bei Flüssigkeiten sind die Anziehungen schon etwas loser als in Kristallen. Aber einige Kräfte, z. B. elektrostatische Kräfte geladener Teilchen, können in diesem Nahbereich sehr stark sein.

Wir können uns eine kondensierte Phase so vorstellen, wie es Abb. 1 darstellt.

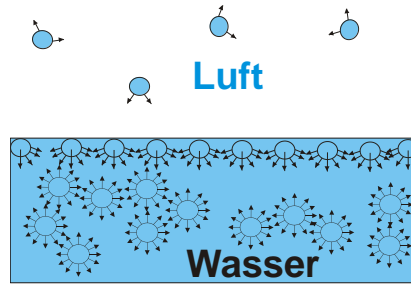


Abb. 1, Moleküle in einer Flüssigkeit haben enge Wechselwirkungen mit ihren Nachbarn

Alle Moleküle im Innern der flüssigen Phase haben innige Beziehungen, also starke Wechselwirkungen untereinander. In der Regel handelt es sich hier um Anziehungskräfte. Da die Teilchen allseitig von gleichartigen Nachbarn umgeben sind, befinden sie sich in einem ausgeglichenen Zustand.

Die Moleküle am Rand der Phase kontaktieren zum Inneren gleichartige Moleküle. Diese ziehen sie an. Nach außen hin können sie jedoch völlig andere Teilchen als Nachbarn haben - oder gar keine, wenn es sich um Vakuum handelt. Folglich befinden sie sich dann meist in einem ungünstigen Zustand bezüglich ihrer Möglichkeiten wechselzuwirken. Und ungünstig heißt in der Physik immer energiereich. Ein System nimmt immer den energieärmsten Zustand innerhalb der möglichen Wahl ein. Also versucht jedes Randmolekül, wieder ins Innere zu gelangen. Dort befindet es sich dann wieder in einer etwas energieärmeren Lage. Es ist klar, dass dafür ein anderes Teilchen die Rechnung bezahlen muss.

Wenn aber alle Moleküle versuchen, sich im Innern aufzuhalten, wird die Flüssigkeit die geringstmögliche Außenfläche bilden, die ihr die äußeren Verhältnisse erlauben. Wenn man die Oberfläche vergrößern will, muss man Energie aufwenden. Diesen Anteil an Energie in einem flüssigen oder festen Körper nennen wir **Oberflächenenergie**. Sie ist logischerweise eine **potentielle Energie**, da sie im ruhenden Zustand einer Substanz gespeichert ist.

Wenn wir Substanzen miteinander vergleichen wollen bezüglich dieser Energie, ist es zweckvoll, die **spezifische Oberflächenenergie** zu bestimmen, also den Energiebetrag, der zu Schaffung von einer Flächeneinheit aufgewendet werden muss, z. B. von einem cm^2 . Es ist plausibel, dass unterschiedliche Substanzen auch unterschiedliche spezifische Oberflächenenergien besitzen. Es ist ebenfalls plausibel, dass diese Oberflächenenergien für die jeweils miteinander im Kontakt befindlichen Phasen gelten, also im häufigsten Fall, im Kontakt mit Luft.

Diese ganze Diskussion muss selbstverständlich auch für die Grenzen zwischen zwei kondensierten Phasen, also zwei Flüssigkeiten oder einer Flüssigkeit und einem Feststoff, gelten. Sogar für zwei feste Phasen gilt sie, wenn keine Luft dazwischen ist. Da es sich in diesen Fällen nicht mehr um Oberflächen handelt, sondern um Grenzflächen, haben wir hier auch entsprechend **spezifische Grenzflächenenergien**.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

3. Energie und Spannung

In der Mechanik sind Arbeit W und Energie E im Betrag gleich. Man kann sie ermitteln als das Produkt aus einer Kraft F (Betrag des Kraftvektors) und einem zurückgelegten Weg s .

$$E = W = F \cdot s \quad \text{Gleichung (1)}$$

Eine spezifische Energie, z. B. die spezifische Grenzflächenenergie, kann man formal auch als ein solches Produkt sehen - geteilt durch die Fläche A , eben weil spezifisch. Dies ist im Betrag wieder gleich der Kraft, geteilt durch die Länge l , an der sie angreift. Und so etwas ist eine Spannung.

$$\frac{E}{A} = \frac{W \cdot s}{A} = \frac{F}{l} \quad \text{Gleichung (2)}$$

Die **Oberflächenspannung** (und auch die **Grenzflächenspannung**) ist ein Begriff, der sich bei Oberflächenprozessen als sehr praktisch herausgestellt hat. Immer, wenn zwei Phasen miteinander in Kontakt kommen sollen, werden gemeinsame Oberflächen gebildet. Das kann beim Lackieren sein, beim Kleben, aber auch bei der Emulsionsbildung - und besonders bei der Benetzung einer Flachdruckplatte durch das Feuchtmittel.

Allgemein wird die Oberflächenspannung mit dem griechischen Buchstaben σ bezeichnet und die Grenzflächenspannung mit γ .

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

4. Wechselwirkungen der Moleküle untereinander

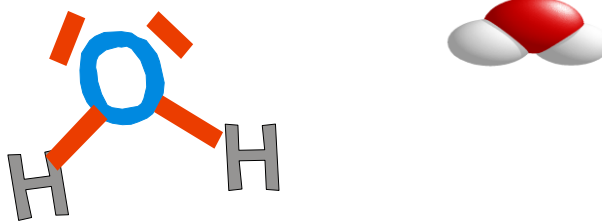
Was für Kräfte halten in einer kondensierten Phase die Moleküle zusammen? Es lohnt, sich eine Flüssigkeit als Beispiel näher zu betrachten, weil die Wechselwirkungen erkennbar werden.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

4.1. Wasserstoffbrückenbindungen

Ein bekannter Fall ist das Wasser H_2O . Die Wassermoleküle sind nicht gestreckt gebaut als H-O-H, sondern die Bindungsorbitale um das O-Atom sind gewinkelt. Es gibt im sp^3 -Hybridorbital des Sauerstoffs nämlich noch zwei freie Elektronenpaare, die ja auch Platz benötigen. Im Grunde versuchen alle 4 Orbitale, in die Ecken eines Tetraeders um das Sauerstoffatom zu weisen. Zwei von ihnen sind mit Bindungselektronen zu Wasserstoffatomen belegt, die anderen beiden tragen je ein freies Elektronenpaar, das der Sauerstoff in die Verbindung selbst mitgebracht hatte.

Abb. 2,
der Molekülbau von Wasser



Die übliche Schreibweise als Strukturformel täuscht hier einen länglichen Bau vor. Abb. 2 verdeutlicht, dass er in Wirklichkeit viel kompakter ist, weil die Atome kalottenförmig ineinander gezogen sind. Es handelt sich räumlich um ineinander verwachsene Kugelschalen, die von außen gesehen eher einem deformierten Ei ähneln.

Aus der stöchiometrischen Chemie wissen wir, dass Wasserstoff einbindig und Sauerstoff zweibindig ist. Damit wäre ein Molekül H_2O auf den ersten Blick befriedigend beschrieben.

Wasser hat aber ein paar Eigenschaften, die zu einem so kleinen Molekül gar nicht passen. Es siedet z. B. bei zu hoher Temperatur und hat eine zu hohe Verdampfungswärme. Außerdem wissen wir bereits, dass ein paar Wassermoleküle dissoziiert vorliegen. Viele sind es nicht: bei reinem Wasser liegen in einem ganzen Mol nur 10^{-7} Mol in dieser Form vor. Dabei kann das Wasserstoffion, das ja eigentlich nur ein Proton ist, nicht isoliert bleiben, sondern es lagert sich an Wassermoleküle so an, dass es eines der freien Elektronenpaare eines Sauerstoffs mitbenutzt. Es liegt damit z. B. als Hydronium - Ion H_3O^+ vor.

Hier müssen wir unsere Vorstellungen von chemischen Bindungen erweitern. Zwischen Molekülen und auch Ionen gibt es Beziehungen, die zusätzlich zu den uns vertrauten kovalenten Bindungen existieren. Dabei gibt es immer einen Partner, der ein freies Elektronenpaar nach außen zeigt, und einen, der sich anlagert und es mitbenutzt, weil er eine elektronensuchende Stelle hat (Elektronenlücke oder gar positive Ladung). So kann man sich das Wasserstoffion vorstellen.

Nun kann nicht nur ein freies Wasserstoffion sich so anlagern und ein bindungsähnliches Verhältnis aufbauen. Die gebundenen Wasserstoffatome im Wassermolekül können zu den freien Elektronenpaaren benachbarter Wassermoleküle ebenfalls bindungsähnliche Beziehungen und damit

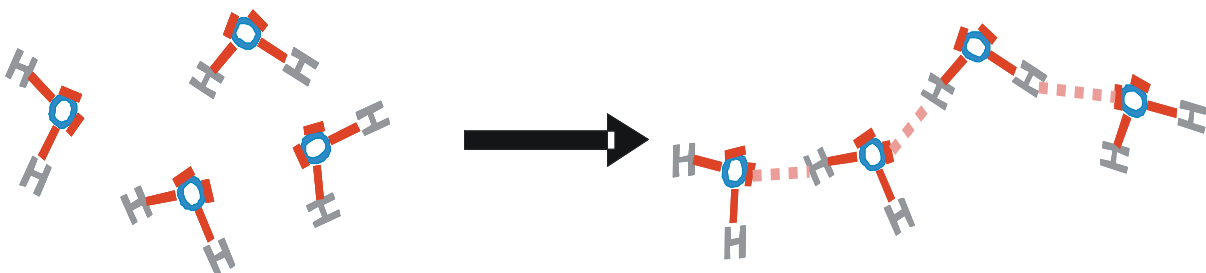


Abb. 3, Wassermoleküle schließen sich durch Wasserstoffbrücken aneinander

Brücken bilden, indem sie vom eigenen Bindungselektronenpaar nicht den vollen Anteil beanspruchen und ihren Fehlbedarf beim Nachbarmolekül decken. Die Sauerstoffatome in den Wassermolekülen können gut damit leben, weil sie die Bindungselektronen viel gieriger an sich ziehen als der Wasserstoff. Hier liegt ja gerade der Grund, warum ein paar Moleküle (10^{-7} Mol pro Mol Wasser) ganz dissoziieren.

Die Fähigkeit zur Bildung solcher Brücken ist bei Wasser ganz ausgeprägt. Sie führt dazu, dass es sich physikalisch wie ein Verbund aus 8 Wassermolekülen verhält. Auch wenn es keine echten (kovalenten) Bindungen sind, erkennen wir, dass es sich um recht stabile Beziehungen handelt. Trotzdem können Wasserstoffbrücken in der Nachbarschaft von befähigten Molekülen blitzschnell ohne große Aktivierungsenergie von einem Sauerstoffatom zum nächsten klappen. Die Leitung des elektrischen Stroms in wässrigen Lösungen lebt davon.

In diesem Mechanismus können alle Moleküle mitwirken, die z. B. eine OH - Gruppe gut erreichbar nach außen zeigen, beispielsweise Alkohole und organische Säuren.

Wenn Wassermoleküle wegen dieser **Wasserstoffbrücken** so fest zusammenhängen, können wir auch erwarten, dass die Schaffung einer neuen Wasseroberfläche vergleichsweise viel Energie erfordert. Und es sollte einen Energiegewinn bringen, wenn Wasser seine Außenfläche nicht mit Luft, sondern mit einem Feststoff bedeckt, der ebenfalls Wasserstoffbrücken aufbauen kann. Wasser muss also bestimmte Festkörper gut benetzen.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

4.2. Ionen - Beziehungen

In der Reihenfolge der Festigkeit von Anziehungskräften kommen nun die **elektrostatischen Kräfte**. Uns ist aus dem Physikunterricht der Schule noch bekannt, dass gegensätzlich geladene Teilchen einander anziehen. Aus dem Chemieunterricht wissen wir, dass Atome sich nicht nur ganz miteinander zu Molekülen verbinden können, sondern dass in vielen Fällen einer der beiden (oder mehr) Teile die ganze Packung „Bindungselektronen“ bekommt und der andere ohne sie davonzieht. Weil Elektronen negativ geladen sind, hat der erste Teil dann eine oder mehrere negative Ladungen und der andere positive - je nach Aufbau. Solche Teilchen heißen Ionen und die Beziehungen zwischen ihnen Ionenbeziehungen. Als Bindung kann man das nicht werten, weil sie sich ja nur gegenseitig anziehen, nicht gerichtet, also nicht mehr fest miteinander verbunden sind.

Die Ionenbeziehungen sind von jedem Ion aus in alle Raumrichtungen nachzuweisen, also kugelsymmetrisch um das Ion. Falls es sich um einen Festkörper handelt, werden sich kleinere Ionen mit z. B. 4 gegensinnig geladenen an den Ecken eines fiktiven Tetraeders umgeben, bei größeren wie ein Oktaeder usw. Auch wenn es sich nicht um echte (d. h. kovalente) Bindungen handelt, sind die Kräfte recht stark. Ein Kristall von z. B. Kochsalz NaCl hält so gut zusammen, dass er nur mit Gewalt zu knacken ist.

In Flüssigkeiten herrschen nun zwar keine festen Gitterplätze mehr vor. Aber auch wenn die Teilchen sich innerhalb ihrer Phase frei bewegen können, werden sie ungern hinausspringen, d. h. verdunsten. Es liegt auch auf der Hand, dass sich in der Nähe eines (positiv geladenen) Kations gerne ein paar (negativ geladene) Anionen aufhalten und umgekehrt. Sie gehören nur nicht eheähnlich paarweise zusammen, weil es eben keine Bindungen sind, sondern nur Beziehungen. Mit der Wärmebewegung der Moleküle wechseln die Partner ständig.

Aus dem polaren Charakter von Ionen wird leicht klar, dass feste oder flüssige Phasen aus solchen Substanzen wenig Verwandtschaft spüren, wenn sie rein kovalente Verbindungen treffen, z. B. ein Mineralöl. Eine gemeinsame Grenzfläche wird ungern eingenommen, und ungern heißt in der Physik immer, mit erhöhtem Energieaufwand. Mit Phasen aus ebenfalls ionisch aufgebauten Substanzen vertragen sie sich dagegen gut, was sich in einer niedrigen Grenzflächenenergie äußern wird. Rein ionisch aufgebaute Flüssigkeiten sind selten. Aber unter dem Stichwort „Dissoziation“ kennen wir in der Chemie Substanzen, deren Moleküle wenigstens zu einem Teil in Ionen zerfallen. Der Rest bleibt dann als ungeladenes Molekül gebunden. Das bekannteste Beispiel ist Wasser, bei dem unter Normalbedingungen 10^{-7} Anteile dissoziiert sind. Ionische Feststoffe gibt es zuhauf, z. B. Glas (Si^{4+} , Ca^{2+} , O^{2-} u. a.).

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

4.3. Dipol - Anziehungskräfte

Wenn Moleküle sich zwar ungeladen geben, ihre Bauteile jedoch so ungleich verteilt tragen, dass die elektronenreicheren (negativ) Gruppen am einen und die elektronenärmeren (positiv) am anderen Ende stehen, dann entsteht ein **Dipol**. Die Stärke der Ladungsunterschiede beider Enden nennen wir Dipolmoment. Mehrere Dipole ziehen sich gegenseitig an, sobald sie einander nahe genug kommen.



Abb. 4, Dipole ziehen sich gegenseitig an

Dabei sind diese Anziehungskräfte polaren Charakters und immerhin noch recht stark. Man kann sich leicht vorstellen, dass es MolekülbaufORMen mit starkem Dipolmoment gibt und auch schwächere, je nachdem, wie ausgeprägt die Ladungstrennung ist. Sie bestehen permanent und dürften, dem Coulombschen Gesetz folgend, immerhin nur mit dem Quadrat der Entfernung nachlassen.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

4.4. van - der - Waals - Anziehungskräfte

Bei unpolaren Flüssigkeiten liegen die Dinge erheblich schwieriger. Wenn wir die Gravitation verantwortlich machen wollen, gibt es bei der geringen Masse einzelner Moleküle keine verwertbare Grundlage. Hier erklären wir uns die Anziehungskräfte **mit Hilfe der inneren Dynamik der Moleküle**. Wir wissen, dass die Moleküle eine thermische Bewegung ausführen. Aber auch in sich selbst sind sie nicht starr, sondern verändern ihre Gestalt durch Rotation um Bindungen und durch Streck - Stauch - Schwingungen. Besonders bei den Schwingungen treten kurzzeitig Zustände auf, in denen die Elektronenladung einmal mehr in einem Molekülende zu finden ist, danach im anderen. Man nennt sie dann logischerweise Schwingungs - Dipole. In diesen **kurzen Augenblicken** üben solche Moleküle

dann eine **elektrostatische Anziehung** auf andere, gegenseitig geladene Molekülen aus. Man kann sich leicht vorstellen, dass die daraus resultierenden Anziehungskräfte erheblich schwächer sind als die permanenten Dipolkräfte. Sie lassen sich auch viel stärker mit der Entfernung nach - zur vierten Potenz. Ihr Beitrag zur Oberflächenenergie ist also gering. Sie sind überhaupt erst zu bemerken, wenn die anderen Typen fehlen, also bei unpolaren Flüssigkeiten. Wir nennen solche Kräfte dispers.

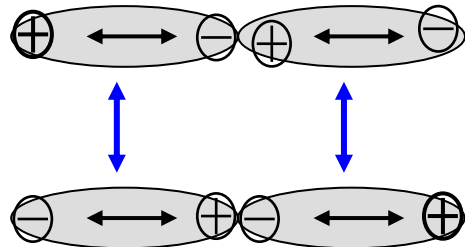


Abb. 5, Schwingungsdipole zur Deutung der van - der - Waals - Kräfte

Ethanol ist ein Beispiel für eine Flüssigkeit mit der Befähigung zu Wasserstoffbrückenbindungen. Zusätzlich sind die Moleküle $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ Dipole und üben auch van - der - Waals - Kräfte aus. Aber die letzteren fallen nicht ins Gewicht.

Aceton, $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$, ist eine Flüssigkeit, deren Moleküle ein Dipolmoment aufweisen. Es kann also auch noch polar wirken. Die van - der - Waals - Kräfte werden wieder kaum wahrgenommen.

Hexan, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$, ist unpolar und hat nur die van - der - Waals - Kräfte zur Verfügung.

In den nächsten Betrachtungen nehmen wir die Oberflächenspannungen pauschal als eine Gesamteigenschaft an. Später werden wir sehen, dass in vielen praktischen Fällen nach **polarem** und **dispersem Anteil** getrennt werden muss.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

5. Der Randwinkel

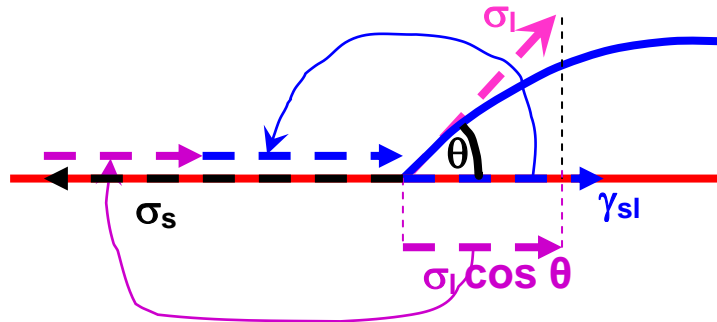
Wenn ein Tropfen Flüssigkeit auf einem Feststoff liegt, sagt uns die Tropfenform etwas über die Benetzung aus. Es gibt Gegenstände, auf denen Wasser sofort breit läuft oder aufgesogen wird und die regelrecht getrocknet werden müssen (Baumwolle-, Papierfasern). Andere stoßen das Wasser so stark ab, dass es perlt und einfach von der Oberfläche weggeblasen werden kann (frisch gewachste Karosserie). Mit einem modernen Videomikroskop kann man das Tropfenprofil von seiner Seite her aufnehmen und vermessen. Der Winkel, den der Tropfen an seinem Rand mit dem Untergrund bildet, der **Kontaktwinkel** oder **Randwinkel**, gibt uns Auskunft über die Verhältnisse der Ober- und der Grenzflächenspannungen.

Schon 1805 hat **S. Young** die wichtigste Grundbeziehung formuliert:

$$\sigma_s = \gamma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \theta \tag{3}$$

Sie ist aus einer Überlegung anhand der Skizze in Abb. 6 ableitbar.

Abb. 6, Kräfte bei der Benetzung eines Feststoffes von einer Flüssigkeit



Die Kräfte sind als Vektoren dargestellt. Der Vektor Grenzflächenspannung σ_s des Feststoffes ist schwarz wiedergegeben. Er zeigt nach links, was verdeutlichen soll, dass er den Tropfen auseinander zieht. Wenn sein Wert hoch ist, also viel Energie benötigt wird, um Feststoffoberfläche von Luft benetzen zu lassen, will er den Tropfen vergrößern, damit ein größerer Anteil seiner Oberfläche von einem anderen Medium als Luft bedeckt wird. In die Gegenrichtung arbeitet die blau dargestellte Grenzflächenspannung γ_{sl} zwischen Flüssigkeit und Feststoff. Wenn diese wiederum sehr groß ist, kostet es viel Energie, eine solche Grenzfläche zu bilden, und sie will sie eher verkleinern, zieht den Tropfenrand also in die entgegengesetzte Richtung .

Wenn sich der Tropfen verbreitert, wird auch Flüssigkeitsoberfläche hinzugebildet. Damit muss die violett gezeichnete Oberflächenspannung der Flüssigkeit σ_l an der Bildung des Kräftegleichgewichtes teilnehmen. Sie tut es mit dem Anteil, der parallel zur Feststoffoberfläche geht. Diesen Anteil bekommen wir aus dem Produkt der Oberflächenspannung σ_l und dem Kosinus des Tropfen - Randwinkels θ .

Der Tropfen wird sich nun so lange verbreitern oder zusammenkriechen, bis alle drei Kräfte miteinander im Gleichgewicht sind. Gleichung (3) stellt dies dar. Die drei typischen Fälle zeigt Abb. 7.

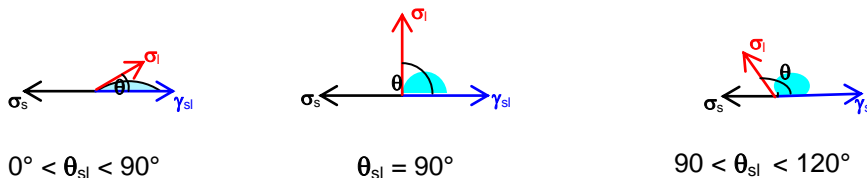


Abb. 7, Randwinkel bei guter und schlechter Benetzung

Extreme Randwinkel sind theoretische Grenzfälle: Wenn $\theta = 0^\circ$ ist, spreitet die Flüssigkeit über die ganze Feststoffoberfläche. Wenn $\theta = 180^\circ$ ist, liegt der Tropfen wie eine Kugel. Zwei tatsächlich beobachtbare Extreme gibt Abb. 8 wieder.

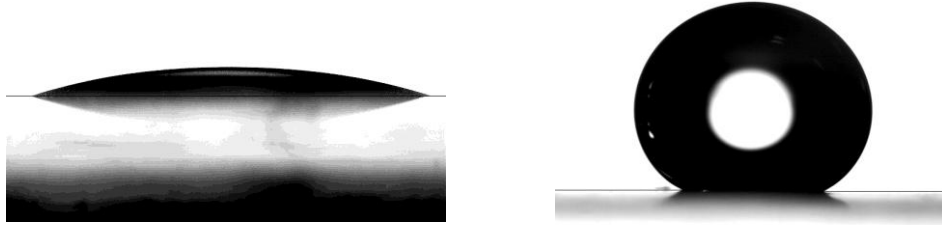


Abb. 8, Wasser auf Glas

Wasser auf Teflon

Die Skizzen der Abb. 7 verdeutlichen, dass für eine gute Benetzung der Feststoff eine hohe und die Flüssigkeit eine niedrige Oberflächenspannung haben sollte. Wenn man die etwas schwer zugängliche Grenzflächenspannung einmal außer Acht lässt, sollte die Flüssigkeit eine mindestens etwas niedrigere Oberflächenspannung aufweisen als der Feststoff. Diese raue Faustregel wird bei Lackproblemen in der Technik häufig angewendet.



Abb. 9, Videomikroskop zur Bestimmung von Kontaktwinkeln, Quelle: Krüss GmbH

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

6. Messverfahren

Die Randwinkelmessungen sind erst seit ein paar Jahren allgemein zugänglich. Man benötigt ein **Videomikroskop** und einen Computer, der mit Bildauswerteprogrammen reproduzierbare Messbedingungen bereitstellt. Wenn man seine Messproben ganz zur Ruhe kommen lassen kann, also einen Gleichgewichtszustand einstellen lässt, liefern sie hervorragende Werte. Die Auswertung ihrer Messungen ist gelegentlich mathematisch recht aufwändig, wie Kapitel 7 zeigt.

Bis vor ein paar Jahren - und durchaus heute noch - sind noch andere Tensiometer (Messgeräte zur Messung der Oberflächenspannung) für Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Messprinzipien im Gebrauch.

Ein Typ arbeitet nach der **Bügel-, bzw. Ringmethode**. In Abb. 10 ist sie skizziert. Ein Bügel taucht in die zu messende Flüssigkeit. Wird er nun innerhalb seines Rahmens vorsichtig hochgezogen, dann zieht er eine Haut aus Flüssigkeit hoch. Sobald diese so groß wird, dass ihr Gewicht sie stärker nach unten zieht, als es die Oberflächenspannung halten kann, reißt sie ab und fällt in die Flüssigkeit zurück.

Die Oberflächenspannung ist der Quotient aus der am Rande angreifenden Abreißkraft K und der Randlänge b , wenn wir berücksichtigen, dass unsere Flüssigkeitshaut zwei Flächen hat, eine uns zugewandt und eine abgewandt:

$$F = 2 \cdot b \cdot \sigma$$

Damit kommen wir einfach zu

$$\sigma = \frac{F}{2 \cdot b}$$

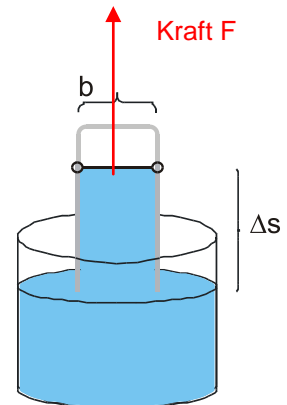


Abb. 10

Gleichung (4)

Gleichung (5)

Ein anderer Gerätetyp nutzt das **Kapillaritätsprinzip**. Wenn eine Flüssigkeit eine Feststoffoberfläche gut benetzt, dann steigt sie ein Stück an einer senkrecht eintauchenden Wand hoch. Je kleiner der Randwinkel θ ist, desto höher kriecht sie am Rand hoch. Besteht der Feststoff jetzt aus einer dünnen Röhre, also einer Kapillare, dann bildet sich innen nicht nur ein Meniskus der Flüssigkeitsoberfläche. Es steigt eine gewisse Flüssigkeitssäule hoch. Sie steigt so lange, bis ihre Gewichtskraft gerade so groß ist wie die „Benetzungskraft“, die sie hoch zieht. Aus der **Steighöhe** h lassen sich folglich der Kapillardruck und damit die Oberflächenspannung berechnen.

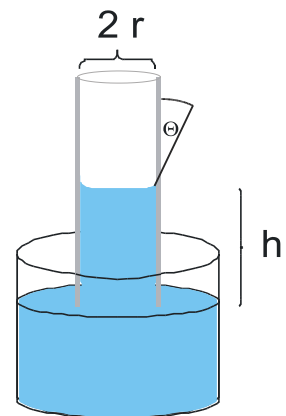


Abb. 11

Der Kapillardruck ist im Gleichgewichtszustand

$$p_{Kap} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r}$$

Gleichung (6)

gleich dem hydrostatischen Druck

$$p_{hydr} = \rho \cdot g \cdot h$$

Gleichung (7)

Daraus folgt für die Steighöhe h

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r \cdot g \cdot h}$$

Gleichung (8)

Gleichung (8) muss interpretiert werden: Die Steighöhe ist hoch, wenn der Radius der Kapillare klein ist, weil dieser im Nenner steht. Es entspricht der allgemeinen Erfahrung, dass enge Kapillaren stärker saugen als weite. Aber die Oberflächenspannung σ steht im Zähler. Das würde bedeuten, dass eine Flüssigkeit mit hoher Oberflächenspannung besonders hoch steigen sollte. Die Praxis beobachtet ganz entschieden das Gegenteil. Wie kann man diesen Widerspruch erklären?

Im Zähler steht gar nicht die reine Oberflächenspannung σ , sondern ein Produkt aus ihr und $\cos \theta$. Der Kosinus des Randwinkels θ ist nach der Youngschen Gleichung (3) aber schon stark von der Oberflächenspannung σ_1 abhängig.

Bei guter Benetzung ist θ nahe 0° , der Kosinus also nahe dem Wert 1. Damit kommt in der Berechnungsformel für die Steighöhe die Oberflächenspannung σ_1 nahezu voll zur Geltung, auch wenn sie vergleichsweise niedrig ist.

Bei schlechter Benetzung, also Kontaktwinkeln θ nahe 90° , liegt der Kosinus dicht bei null, skaliert also jeden theoretisch noch so hohen Wert der Oberflächenspannung σ_1 für die Steighöhe wieder herunter. Und die Oberflächenspannungen praxisüblicher Flüssigkeiten variieren nur zwischen etwa 20 und 80 mN/m. Außerdem müssen wir uns in dieser Diskussion darüber klar sein, dass wir ein vereinfachtes Modell gewählt haben, bei dem nur die Flüssigkeit betrachtet wird. Die Oberflächenspannung des Kapillarenmaterials und die Grenzflächenspannung zwischen ihnen spielen auch ihre Rollen. Immerhin ist das einfache Modell sehr praktisch für Serienmessungen mit einer festen Kapillare.

Eine weitere Messtechnik ist einfach im Aufbau und auch leicht zu verstehen. Wenn man aus einer Pipette eine Flüssigkeit austropfen lässt, werden die Tropfen immer dann von der Pipettenspitze abreißen, wenn ihr Gewicht sie stärker nach unten zieht, als die Oberflächenspannung sie in der Pipette halten kann. Man kann also eine gemessene Menge der Flüssigkeit auslaufen lassen und muss nur die Anzahl fallender Tropfen festhalten. Dann lässt sich die Oberflächenspannung ermitteln.



Die Oberflächenspannung greift am Umfang des Pipettenausganges an und gibt dem austretenden Tropfen einen Widerstand von $F_1 = 2\pi r \cdot \sigma_1$. Die Gewichtskraft zieht den Tropfen hinunter als $F_2 = V_{tr} \cdot \rho \cdot g$. Dabei ist g wieder die Erdbeschleunigung und V_{tr} das Tropfenvolumen, das man aus dem Gesamtvolumen der gemessenen Flüssigkeit V_1 nach $V_{tr} = V_1 / n_{tr}$ leicht erhalten kann.

So kommt man zu

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot V_1}{2\pi r \cdot n_{tr}}$$

Gleichung (9)

Abb. 12

Eine Messeinrichtung mit einer Pipette hierfür nennt sich **Stalagmometer**.

Eine andere, ganz raffinierte Methode, die Oberflächenspannung zu messen, heißt neudeutsch **Pendant Drop**. Für Pendant Drop Messungen presst man aus einer Pipette einen Tropfen der zu messenden Flüssigkeit so aus, dass er noch an der Pipettenspitze hängen bleibt. Die Dichte der Flüssigkeit gibt nun wegen der Schwerkraft eine Tendenz, den Tropfen zu längen. Die Oberflächenspannung der Flüssigkeit will ihn in die Kugelform zwingen. Von der Seite wird der Tropfen mit einem Videomikroskop betrachtet und von Bildauswerteprogrammen vermessen. Aus der Tropfenkontur lässt sich die Oberflächenspannung ermitteln.

Soll darüber hinaus auch der polare und der disperse Anteil der Oberflächenspannung einer Flüssigkeit ermittelt werden, bzw. soll die Grenzflächenspannung zwischen zwei Flüssigkeiten ermittelt werden, dann muss der Tropfen der einen Flüssigkeit in einer weiteren, nicht mit der ersten mischbaren Flüssigkeit erzeugt werden. Die zweite Flüssigkeit darf in diesem Fall nur unpolar sein. Dann wird aus der Grenzflächenspannung, die in diesem Fall nur aus unpolaren Wechselwirkungen besteht, der unpolare Anteil der zu charakterisierenden Flüssigkeit ermittelt. Aus Oberflächenspannungsmessungen der Flüssigkeit gegen Luft wird der Gesamtwert der Oberflächenspannung ermittelt. Die Differenz aus dem Gesamtwert und dem unpolaren Anteil ist der polare.

Die Pendant Drop Messung gibt es für hängende und für schwebende Tropfen, je nach Lage der spezifischen Gewichte von Testsubstanz zu Messmedium. Die Apparatur sieht vom weitem der Einrichtung für Kontaktwinkel ähnlich. Nur sind die Messzelle und das Monitorbild anders.



Abb. 13, Pendant Drop Messeinrichtung, Quelle: Krüss GmbH

Einige Messbeispiele von Oberflächenspannungen seien in der folgenden Tabelle gegeben.

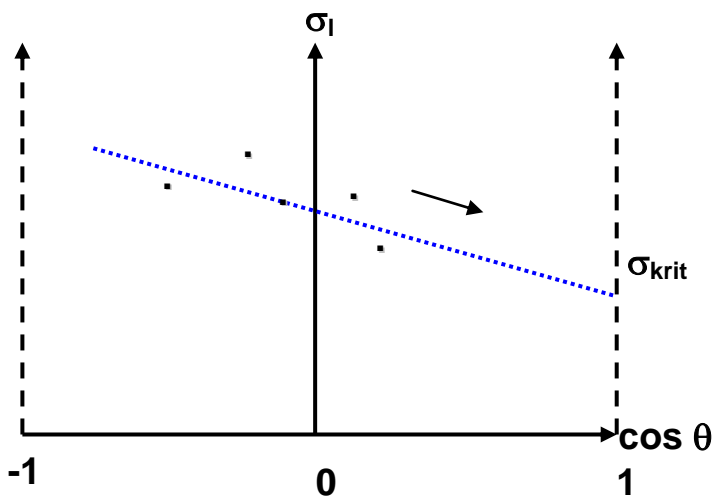
Tab. 1, Oberflächenspannungen einiger Substanzen bei Raumtemperatur

Substanz	Oberflächenspannung in mN/m
Wasser	72
Isopropanol	21
Mineralöl	27
Leinöl	35
Ethanol	23
Glas	95
Teflon = PTFE	18
frische Offsetdrucke	35 - 40
Dispersionslacke	ca 30
Metalle	72 (>1000 im vollkommen trockener Luft!)

An den Messungen fällt auf, dass das hochpolare Wasser (Wasserstoffbrückenbindungen!) und das oxidisch aufgebaute Glas erwartungsgemäß hohe Werte besitzen. Unpolare Flüssigkeiten wie Mineralöl liegen niedrig. Merkwürdig scheint, dass man bei Metallen immer 72 mN/m, den Wert für Wasser, findet. Das liegt daran, dass sie in der normalen Atmosphäre von einem dünnen Wasserfilm überzogen sind. In trockener Luft misst man riesige Werte wegen ihrer ganz besonderen Bauweise, die sogar einen noch viel stärkeren Zusammenhalt bringt als Wasserstoffbrückenbindungen.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

7. Auswertemethoden für Kontaktwinkelmessungen



Ebenso wie die Messverfahren der oben angeführten Beispiele werden auch Randwinkelmessungen verwendet. Bei ihnen gibt es jedoch viele verfahrensbedingte Unsicherheiten. Also versucht man, über bestimmte Auswerteverfahren jeweils mehrere Messungen zur Bestimmung einzelner Werte heranzuziehen. Hierbei gibt es eine in der Praxis

Abb. 14, Auswertediagramm nach Zisman

häufig angetroffene **Methode nach Zisman**, die noch nicht zwischen polaren und dispersen Anteilen unterscheidet. Sie ist aber für mathematisch weniger ausgestattete Techniker sehr leicht zugänglich und liefert oft auch praktisch gut verwertbare Ergebnisse.

Danach misst man auf einem unbekanntem Feststoff die Kontaktwinkel unterschiedlicher bekannter Flüssigkeiten. Die werden in ein Diagramm wie in Abb. 14 so eingetragen, dass $\cos \theta$ auf der Abszisse (x - Achse) und σ_l auf der Ordinate (y - Achse) abgetragen wird. Zusammen sollen sie eine Gerade bilden, die extrapolierbar ist. Sie endet dann bei $\cos \theta = 1$, entsprechend einem Kontaktwinkel von 0° , kompletter Spreitung. Dieser Wert wird nach Zisman als **kritische Oberflächenspannung** bezeichnet.

Ganz stark vereinfacht findet sich Zismans Verfahren bei den **Testtinten** wieder. Diese Testtinten sind angefärbte Flüssigkeiten, die abgestufte Oberflächenspannungen aufweisen, z. B. eine mit 26, die nächste mit 28, dann 30 usw. (gemessen in mN/m). Tunkt man ein Wattestäbchen in eine Testtintenflasche und zieht auf einem zu lackierenden Druck oder einem zu bedruckenden Material einen Strich, dann wird der Strich immer dann zusammenkriechen, wenn der Bedruckstoff eine niedrigere Oberflächenspannung als die Tinte aufweist. Die erste Tinte, deren Strich richtig glatt ist, gibt ein grobes, aber verlässliches Maß für die Oberflächenspannung des Materials. Manchmal wird es noch einfacher gemacht: Dann verwendet man nur einen Filzstift, dessen Tinte die gewünschte Mindest - Oberflächenspannung hat. Wird es ein sauberer Strich, ist z. B. die Folie bedruckbar. Kriecht er zusammen und perlt, muss mit Corona - Behandlung oder anders nachgebessert werden. Kritisch gegenüber diesen Techniken der Praxis sei hier nur angemerkt, dass eine Testtinte so lange zuverlässig ist, wie nicht durch Benutzung rückverschmutzt wurde...

Bei vielen Arbeiten muss man erwartungsgemäß zwischen den polaren und den dispersen Anteilen der Oberflächenspannungen differenzieren. Hierzu gibt es ein paar sehr nützliche Gleichungen:

Fowkes

$$\begin{aligned} \sigma_l &= \sigma_l^d + \sigma_l^p \\ \sigma_s &= \sigma_s^d + \sigma_s^p \end{aligned} \quad \text{Gleichungen (10)}$$

Owens & Wendt

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2 * \left(\sqrt{\sigma_s^d * \sigma_l^d} + \sqrt{\sigma_l^p * \sigma_s^p} \right) \quad \text{Gleichung (11)}$$

Die einzelnen Werte sind unterschieden mit tiefgestellten Indizes „l“ für flüssig und „s“ für fest.

Hochgestellt werden disperse „d“ und polare „p“ Größen kenntlich gemacht.

Die Aussage der Fowkes'schen Beziehungen ist sehr einfach und plausibel. Schwieriger sind da schon die diversen Versuche, mit mathematischen Gleichungen den Zusammenhang zwischen den einzelnen Oberflächenwerten und der Grenzflächenspannung zu beschreiben. Die Version von Owens und Wendt sei hier als Beispiel angeführt. Man muss bei solchen Arbeiten immer berücksichtigen, dass Messversuche zu Oberflächeneffekten extrem sensibel auf feinste Verunreinigungen in einem System reagieren. Deshalb gibt es hier auch keine endgültig anerkannte

Fassung. Die Praxis prüft die Anwendbarkeit eines Lösungsansatzes und verwendet ihn, solange er brauchbare Resultate liefert.

Eine Auswertemethode wurde von den Autoren der Gleichung (11) zusammen mit zwei Kollegen aufgestellt. Sie wird demnach als **OWRK - Methode** (Owens, Wendt, Rabel, Kaelble) bezeichnet. Ihre Grundgleichung entsteht, wenn man Gleichung (11) mit der Young - Gleichung (3) verknüpft:

$$\frac{1 + \cos \theta}{2} * \frac{\sigma_l}{\sqrt{\sigma_l^d}} = \sqrt{\sigma_s^d} + \sqrt{\sigma_s^p} * \frac{\sqrt{\sigma_l^p}}{\sqrt{\sigma_l^d}} \quad \text{Gleichung (12)}$$

Der Gleichungstyp ist $y = a + bx$, wie zu erkennen ist. Es wird beispielsweise der Randwinkel bekannter Testflüssigkeiten auf einem unbekanntem Untergrund gemessen. Dann trägt man die daraus erhaltbaren Wertepaare für x und y in ein Diagramm ein. Aus den verschiedenen Punkten lässt sich z. B. graphisch oder mit Hilfe eines Computerprogramms eine Gerade aufstellen, die ihrerseits zu den Parametern a und b der linearen Gleichung führt. Und darin findet man die dispersen und polaren Anteile der Oberflächenspannung des Feststoffes.

Ein etwas einfacheres Modell hat **Fowkes** für unpolare Festkörper oder Flüssigkeiten aufgestellt. Er nahm an, dass bei diesen Verhältnissen die polaren Anteile gleich Null waren und kam mit der

entsprechenden Startgleichung $\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2 * \sqrt{\sigma_s^d * \sigma_l^d} - I_p$ Gleichung (13)

auf eine Geradengleichung durch den Koordinatenursprung:

$$\sigma_l * (1 + \cos \theta) = 2 * \sqrt{\sigma_s^d} * \sqrt{\sigma_l^d} \quad \text{Gleichung (14)}$$

Mit ihrer Hilfe lässt sich durch Extrapolation im Diagramm nur der disperse Anteil von Oberflächenspannungen ermitteln.

Tab. 2, unterschiedlichen Auswerteverfahren, entnommen aus einer Schrift der Fa. Dataphysics

Verfahren	Information	min. Flüssigk.	Anwendung	Einsatz	Bemerkung
OWRK	polarer und disperser Anteil	2	universell	Polymere Aluminium Lacke	einfach, schnell
Fowkes	disperse Anteile	1	unpolare Systeme	PE, PTFE, Wachse	wenig Info.
Zisman	krit. Obfl. energie	2	unpolare Festkörper	PE, PTFE, Wachse	aufwändig, wenig Info.
Wu	polarer und disperser Anteil	2 davon mind.1polar	nieder-energetische Systeme	org. Lsgg. Polymere, org. Pigm.	ohne Rechner aufwändig
Schultz	disperse Anteile	2	hoch-energetische Festkörper	Metalle, metallisierte	

Tab. 3, Messwerte für Oberflächenspannungen, entnommen aus einer Schrift der Fa. Krüss

	Summe	polarer Anteil	disperser Anteil
Wasser	72,8	51,0	21,8
Glycerin	63,4	26,4	37
n-Hexan	18,4	0	18,4
n-Heptan	20,4	0	20,4
n-Octan	21,8	0	21,8
Toluol	28,4	2,3	26,1
Ethylenglycol	47,7	16,8	30,9
Helium (4K)	0,12		
Aluminium	683		
Diamant	5650		
Paraffin	25,1	0	25,1
PTFE	19,1	0,5	18,6
PET	39	12	27
PE unbehandelt	32	4	28
PE nach Corona	42	14	28

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

8. Die Dynamik der Oberflächenspannung

Bei den bisher behandelten Verfahren haben wir immer **im Gleichgewicht** der Kräfte gemessen, also gewartet, bis sich so ein Gleichgewicht eingestellt hat. Das geht gelegentlich unmerkbar schnell. Manchmal dauert diese Einstellung aber zu lange für einen technischen Vorgang. Wenn wir die Möglichkeiten der Emulsionsbildung erfassen wollen, z. B. durch Kontrolle der Oberflächenspannung von Feuchtmitteln, können ein Messwert und seine Brauchbarkeit erheblich auseinander liegen. Was können Gründe für solche Diskrepanzen sein, und wie kann man ihnen begegnen?

Die bis hier betrachteten Flüssigkeiten waren reine Substanzen oder Mischungen. So kann als Feuchtmittel in einer Offsetmaschine reines Wasser verwendet werden oder eine Mischung aus 90% Wasser und 10% Isopropanol. Sobald sich eine neue Oberfläche bildet, besteht sie gleich aus 90% Wassermolekülen und 10% Isopropanolmolekülen.

Was ist aber mit Tensiden? Es gibt **oberflächenaktive Substanzen**, z. B. Seifen. Winzige Zusätze von ihnen zu Wasser verändern dramatisch die gemessene Oberflächenspannung. Wie wirken sie?

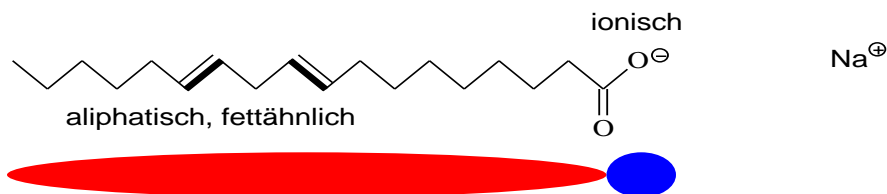
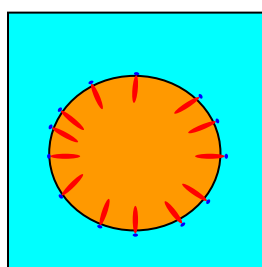


Abb. 15, ein Seifenmolekül als Tensid = oberflächenaktiver Stoff

Mit einer vereinfachten Schreibweise ist ein sehr bekanntes Tensid, eine typische Seife, in Abb. 15 dargestellt. Im oberen Teil sollen die Kohlenwasserstoffketten als Zickzack-Linie mit Einfach- und Doppelbindungen gedeutet werden. Das lange kettenförmige aliphatische Stück links verhält sich ganz fettähnlich, nicht polar. Am rechten Ende sitzt eine Carboxylat- also eine neutralisierte Säuregruppe. Sie ist ausgesprochen polar. Die Seife ist in dieser Form wasserlöslich. Ist sie in Wasser gelöst, so wird das ausschließlich von der ionischen Gruppe ermöglicht, hier blau gekennzeichnet. Man kann sich gut vorstellen, dass ein Öltröpfchen, das in eine Seifenlösung eingerührt wurde und sich darin natürlich nicht löst, zur roten Seite unseres Tensidmoleküls gut in Kontakt kommen kann. Wenn noch ein paar Tensidmoleküle hinzukommen, bilden sie um das Öltröpfchen eine Schicht von



Molekülen, die dann nach außen - für das Wasser also - ganz polar erscheinen, eine Mizelle. Abb. 16 soll dies skizzieren.

Abb. 16, Mizelle aus Tensidmolekülen, die ein Öltröpfchen umgeben

Es ist auch plausibel, dass man im Feuchtmittel einer Offsetmaschine Tenside einsetzen kann, um die Emulsionsbildung zu beeinflussen. Man wird sicher keine Seife nehmen, weil dann der Schaum stört. Aber andere Substanzen mögen geeignet sein.

Hier kommen wir jedoch an eine Grenze der bisherigen Messtechniken für die Oberflächenspannung. Ein paar Messwerte belegen dies:

Wenn wir reines Wasser messen, bekommen wir 72 mN/m egal, ob wir dies nach Sekundenbruchteilen an einem frisch fallenden Tropfen tun oder nach einer Ruhezeit. Ähnlich geht es bei einer Mischung von Wasser und Alkohol, z. B. 40 mN/m. Wenn wir aber eine Tensidlösung aus einer Pipette tropfen lassen, werden die Tropfen ganz am Anfang nur kurz unter 72 mN/m ergeben, ein paar Sekunden danach aber z. B. 35 mN/m. Der Grund liegt auf der Hand: Nicht die komplette wässrige Lösung hat eine feste Oberflächenspannung, sondern der Wasseranteil hat 72 mN/m. Jedes Tensidmolekül, das an der Oberfläche ist, erniedrigt sie um einen Betrag. Auf dem frischen Tropfen befinden sich nur wenige Tensidmoleküle, nur eine etwa ihrer Konzentration entsprechende Anzahl. In kürzester Zeit diffundieren jedoch andere Tensidmoleküle an die Oberfläche und erniedrigen immer weiter die Oberflächenspannung.

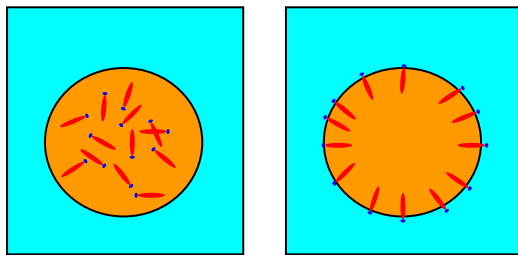


Abb. 17, Tropfen von Wasser mit Tensidspuren kurzzeitig nach der Tropfenbildung und bald danach

Das bedeutet, wir müssen **für alle dynamischen Prozesse** in der Messung der Oberflächenspannung diesen Zeitverlauf berücksichtigen. Für die Benetzung eines Druckes beim Lackieren im Lackierwerk ist das nicht so brisant, für die Emulgierprozesse zwischen Offsetwalzen jedoch von höchster Wichtigkeit. Der Plattenprozess im Offset lebt von beiden, der Dynamik beim Überrollen durch die Farb- und Feuchtauftragwalzen und auch von ausgeruhten Zuständen der Plattenoberflächen selbst.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

9. Dynamische Messverfahren

Wie lässt sich nun die Oberflächenspannung im Zeitverlauf messen? Hierzu sind modernste Instrumente mit ausgefeilten Techniken und Auswerteverfahren nötig.

Beispielsweise kann man Gasblasen in einer Flüssigkeit erzeugen und fortwährend den Gasdruck messen. Mit dem Gasdruck verdrängt man Flüssigkeit gegen ihren hydrostatischen Druck. Außerdem schafft man eine frische Oberfläche und muss gegen die Oberflächenspannung anarbeiten. Der Gasdruck wird zu Beginn einer Blasenbildungsphase ansteigen, ein Maximum haben und bis zur Bildung des nächsten Tropfens wieder abfallen. Aus dem maximalen Blasendruck in solchen Messungen kann man die Oberflächenspannung berechnen. Der Verlauf einer solchen Messung lässt sich in Abb. 18 gut erkennen.

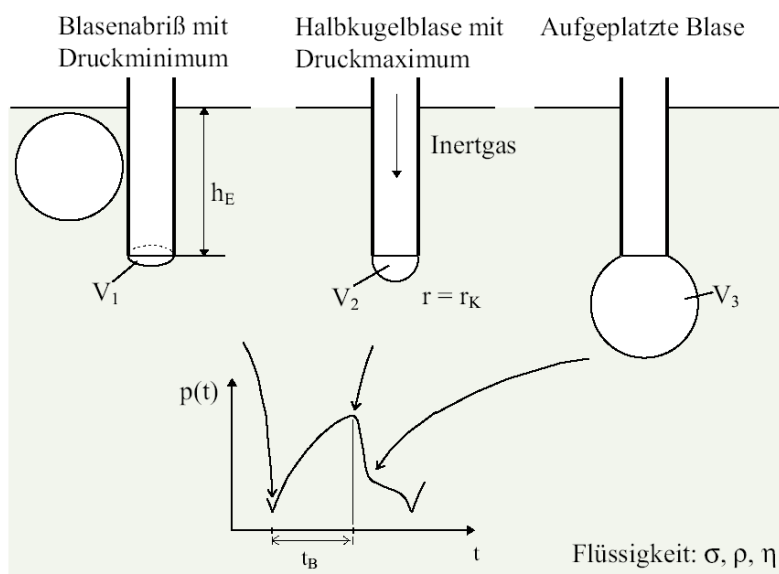


Abb. 18, Druckverlauf während der Messung mit einem **Blasendrucktensiometer**

Quelle: Schrift der Fa. SITA Messtechnik

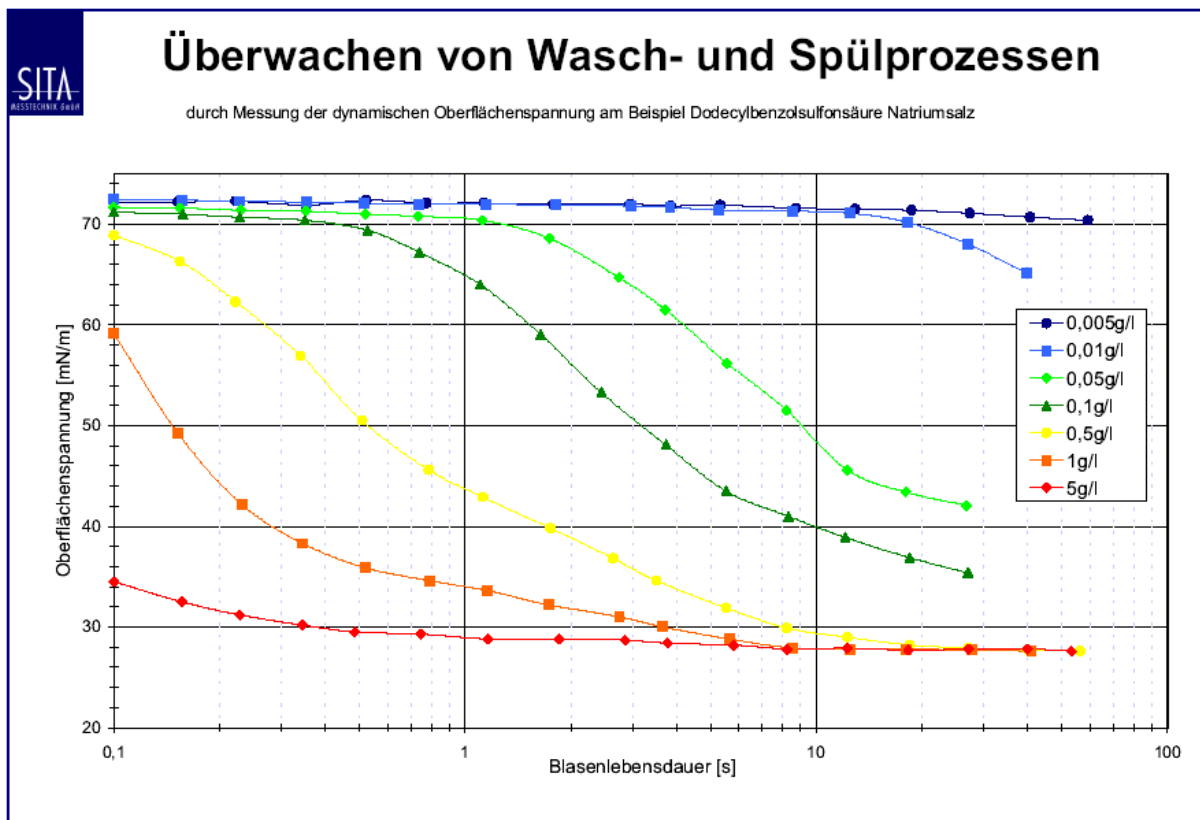
Bei vielen Applikationen (auch im Druckprozess) findet man zeitabhängige Benetzungsprozesse, z. B. vorgegeben durch Maschinengeschwindigkeiten. So stehen häufig nur einige hundert Millisekunden zur Einstellung der Benetzungseigenschaften zur Verfügung. Das erfordert die Kenntnis, welche Zeitabhängigkeit die Oberflächenspannung meiner Farbe, meines Feuchtmittels u. a. besitzt, bzw. welche Oberflächenspannung sich nach z.B. 300 ms einstellt. Diese Zeitabhängigkeit ermittelt man, indem man die **Blasenlebensdauer** (t_B in Abb. 18) kontrolliert verändert und die zeitabhängigen Anlagerungsvorgänge, z. B. der jeweiligen Tenside, an die neu entstehende Grenzfläche / Blase (Tensiddynamik / Tensidauswahl) analysiert.

Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 19) wurde die zeitabhängige Wirkung eines Tensids Natrium - Dodecylbenzolsulfonat bei unterschiedlichen Konzentrationen in einem Blasenlebensdauerbereich zwischen 30 ms und 60 s mit dem Tensiometer SITA science line t60/2 vermessen.

Welche Erkenntnisse bringt das Diagramm?

1. Die Zeitabhängigkeit der Oberflächenspannung: Mit zunehmender Blasenlebensdauer sinkt sie.
Man kann erkennen, welche Oberflächenspannung sich bei z. B. nach 1 s bei den einzelnen Konzentrationen einstellt
2. Eine eindeutige Korrelation zwischen Tensidkonzentration und Oberflächenspannung: Mit zunehmender Tensidkonzentration sinkt sie.
3. Hohe Tensidkonzentrationen lassen sich bereits bei kurzen Blasenlebensdauern detektieren - geringe Konzentrationen erfordern hohe Blasenlebensdauern (z. B. zur Überwachung von Tensidbelastungen in Kreisläufen, Abwässern vor Einleitung u. ä.).

Abb. 19, dynamische Messungen der Oberflächenspannung eignen sich z. B. zur Bestimmung von Tensidkonzentrationen in Wasser, Quelle: SITA Messtechnik GmbH



[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

10. Anwendungen

- a, Der Plattenprozess im konventionellen Offset mindestens teilweise,
- b, der Plattenprozess im wasserlosen Offset,
- c, Entwicklungsarbeiten für
 - Offsetdruckfarben und -lacke,
 - wässrige Flexofarben und -lacke für Kombi - Verfahren,
 - UV - Drucklacke,
 - Offset - Druckplatten, konventionell und wasserlos,
 - Feuchtmittel - Konzentrate,
 - Druckmaschinen, Walzen, Zylinder,
 - Druckhilfsmittel: Silikon, Waschmittel, Puder, Verlaufsmittel,
 - Papier- und Kartonstrich und
 - Folien als Bedruckstoffe,
- d, Druck - Weiterverarbeitung: Kleben,
- e, Druckveredelung: Lackieren, Primer, Kaschieren, Heißfolienprägung,
- f, Behandlung von Schaumproblemen in Dispersionslacken und Feuchtmitteln.

[↑ Inhaltsverzeichnis](#)

Bergheim, März 2007