

Geheimnis und Bedeutung der Oberflächenspannung

Autor(en): **Schoeck, Helmut**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik**

Band (Jahr): **3 (1948)**

Heft 11

PDF erstellt am: **21.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-654399>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Geheimnis und Bedeutung der Oberflächenspannung

Von Dr. Helmut Schoeck

Im allgemeinen gilt die Auffassung, daß geheimnisvolle oder bedeutungsreiche Erscheinungen sich gerade nicht an der Oberfläche abspielen. In unserm Fall gilt die Ausnahme. Das Phänomen der Oberflächenspannung hat für sehr viele naturwissenschaftliche Disziplinen erhebliche Wichtigkeit. Von biologischen Vorgängen, über Probleme der theoretischen Physik bis zu technischen Fragen muß das Vorliegen der Oberflächenspannung berücksichtigt werden.

Machen wir uns ihr Wesen deutlich. Wenn eine Flüssigkeit in eine andere tropft, zum Beispiel Milch in Kaffee, so scheint sich die Auflösung des Tropfens naturgemäß ohne Schwierigkeit, ja ohne irgend welche Verzögerung zu vollziehen. Das ist ein Irrtum. In Wirklichkeit spielen sich an den Grenzflächen zwischen Flüssigkeiten bei jeder Berührung viele verwickelte Vorgänge ab. Diese können von unserem Auge so gut wie nie wahrgenommen werden. Das optische Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ist nicht nur bei räumlichen Größenordnungen sehr begrenzt, sondern noch viel mehr bei zeitlichen Maßen. Kommt uns im ersten Fall das Mikroskop zu Hilfe, so greift man im zweiten zu sehr kurzen photographischen Momentaufnahmen. Bereits eine Belichtungszeit von $\frac{1}{500}$ Sekunde, wie sie mit einem guten Photoapparate heute meist möglich ist, kann uns Einblicke in physikalische Vorgänge schenken, die sonst dem menschlichen Auge auf ewig verschlossen blieben.

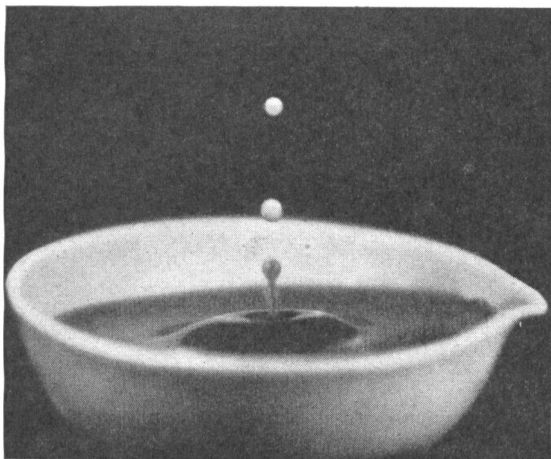


Bild 1: Ein Tropfen Milch fällt in Kaffee. Man beachte die mit der Kamera ($\frac{1}{500}$ Sekunde) festgehaltenen komplizierten Vorgänge, welche der Mischung vorausgehen. (Aufnahme des Verfassers)

An Bild 1 sei das Phänomen der Oberflächenspannung zuerst vorgeführt. Die Aufnahme ist folgendermaßen entstanden: Aus einem in der Höhe befindlichen Gefäß fielen Milchtropfen in größeren Abständen in eine darunter gestellte Schale mit schwarzem Kaffee. Selbstverständlich war das ganze «Versuchsfeld» grell beleuchtet. Dessen ungeachtet schien sich jeder Milchtropfen

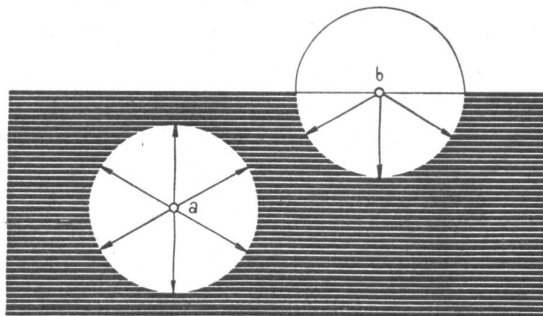


Bild 2: Die verschiedenen molekularen Kohäsionskräfte, die auf ein Teilchen im Innern (a) und an der Oberfläche (b) einer Flüssigkeit wirken.

ohne weiteres sofort mit dem Kaffee zu mischen, in ihm unterzutauchen. Eine Serie von Aufnahmen bei einer Belichtungszeit von $\frac{1}{500}$ Sekunde lieferte von diesem Vorgang jedoch Bilder wie das gezeigte. Obwohl nur ein Tropfen heruntergefallen war, schwebt auf der Photographie nicht nur ein kleinerer rein weißer Milchtropfen über einem größeren, der geringen Kaffeezusatz verrät, sondern darunter wächst aus der merkwürdig auf- und eingebuchteten Kaffeeoberfläche ein stengelartiges Gebilde heraus. Dieses zeigt mehrere Einschnürungen. Es scheint kaum glaublich, daß die beiden hellen Milchtropfen nichts anderes als solche abgerissene und hochgeschleuderte Einschnürungen des dunkleren «Flüssigkeitsstengels» sind; das heißt, der ursprüngliche Milchtropfen war bereits auf die Fläche des Kaffees aufgeprallt, untergetaucht – konnte der Oberflächenspannung zufolge nicht sofort aufgenommen werden und mußte bei der Rückschnellung durch die elastische Kaffee-Oberfläche verschiedene Veränderungen erleiden. Die interessanteste Phase aus diesem Prozeß der allmählichen Mischung zeigt unsere Aufnahme. Sie läßt aber noch mehr erkennen. Die kleine Mulde auf dem großen Flüssigkeitshügel, aus der sich die braune Keule reckt, rührt offenbar noch von dem

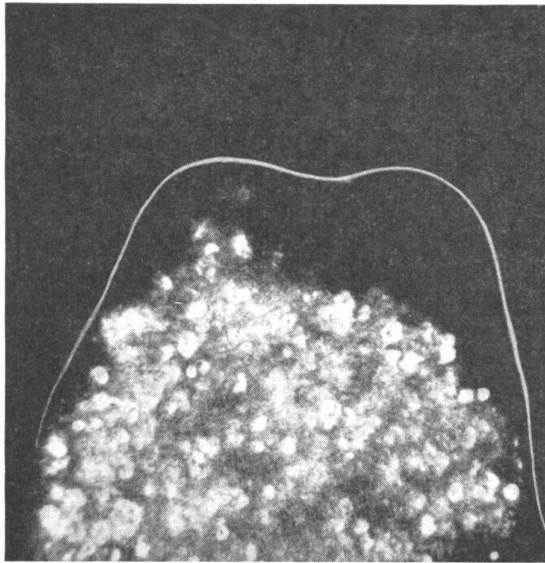
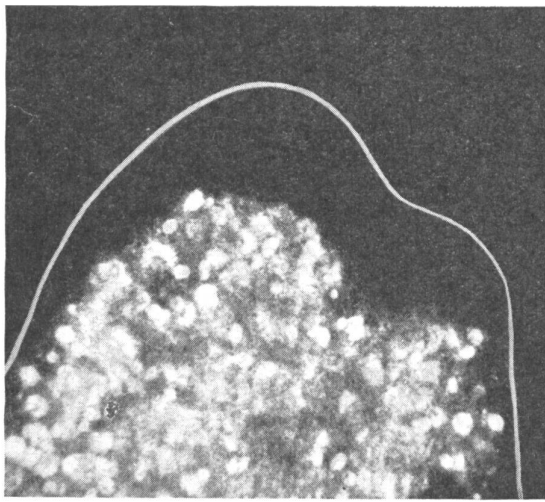


Bild 3: Pseudopodien (Scheinfüßchen) einer Amöbe. Zwei Bewegungsstadien desselben Tieres im Dunkelfeld photographiert. (Aufnahme H. Traber)

ersten Stoß des einfallenden Tropfens her. Die größere konzentrische Ausbuchtung jedoch scheint bereits die Reaktion der gesamten Oberflächenspannung in dem Gefäß zu sein. Das wird besonders auf der linken Seite unserer Aufnahme deutlich. Hier sieht man den ganz allmählichen Verlauf der Hügellinie in die umliegende Flüssigkeitsfläche.

Die Deutung der Photographie ergab also, daß bei aller Neigung sich zu vereinigen, zwischen Flüssigkeiten regelmäßige und morphologisch recht interessante, vielfältige Bewegungen auftreten.

Zum Verständnis der physikalischen Theorie der Oberflächenspannung benutzen wir folgende

Modellvorstellung (Bild 2). Wir können uns um jedes Flüssigkeitsteilchen als Mittelpunkt eine kleine Kugel denken. Ihr Radius beträgt einige 100 000stel Millimeter. Nur solche Teilchen, welche in dieser «Wirkungssphäre» liegen, wirken molekular anziehend auf das mittlere Teilchen a. Alle übrigen Flüssigkeitsteilchen sind für die Molekularkräfte der Kohäsion zu weit entfernt. Bekanntlich sind die Molekularkräfte sehr groß, wirken aber nur auf sehr kleine Distanzen. Die gegenseitige Anziehung aller Teilchen ist im Falle von Wasser zum Beispiel so groß, als stünde die Oberfläche unter einem Druck von etwa 10 000 Atmosphären. Damit rückt die physikalische Erklärung der photographischen Beobachtung näher. Im Innern einer Flüssigkeit kann man – abgesehen von der Viskosität – das Teilchen a leicht verschieben. Dabei wird keine Arbeit geleistet. Anders wird es in unmittelbarer Nähe der Oberfläche. Ein Teilchen b, das man in die Nähe oder bis zur Oberfläche bringt, legt den letzten Teil seines Weges zur Oberfläche nur unter Energieaufwand zurück. Ein einseitiger molekularer Kohäsionszug wirkt ins Innere zurück. Jedes Vergrößern der Oberfläche einer Flüssigkeit verlangt also Energie. Umgekehrt hat jede Flüssigkeit das Bestreben, ihre Oberfläche möglichst klein zu halten, daher ist die Kugelform so verbreitet. Der einfallende Milchtropfen im Versuch war für die Oberfläche des Kaffees eine unerhörte «Zuermutung». Er buchtete die gleichsam wie ein Häutchen an der Oberfläche liegenden «Kaffeemoleküle» ein, worauf die gesamte Oberfläche im Gefäß ihre Kräfte gegen ihn mobilisierte.

Eine ganze Reihe von bekannten Erscheinungen beruht auf der Oberflächenspannung, so zum Beispiel die sphärische Form vom Regentropfen, überhaupt jede Tropfenbildung, das Steigen von Wasser in einem Kapillarröhrchen entgegen der Erdanziehung, die Bewegung von Wasser im Löschpapier oder im Erdboden. Die Oberflächenspannung wechselt mit den Flüssigkeiten, außerdem verringert sie sich mit sinkender Temperatur. Die Oberflächenspannung, ausgedrückt als die Arbeit, welche notwendig ist, um die Oberfläche einer bestimmten Flüssigkeit um 1 cm² zu vergrößern, ist für Olivenöl zum Beispiel 33 Erg/cm², für Quecksilber 500.

Die Messung der Oberflächenspannung, bzw. die Kenntnis von ihren Konstanten, hat nicht nur theoretische Bedeutung. Gerade in der Medizin werden Körperflüssigkeiten zum Zweck der Dia-



Bild 4: Das «Stalagmometer», eigentlich ein Tropfenzähler zur Bestimmung der Oberflächenspannung.

gnosestellung auf ihre Oberflächenspannung geprüft. Eine einfache Methode zur Messung der Oberflächenspannung ganz kleiner Flüssigkeitsmengen besteht in der Zählung der Tropfenzahl, in die ein bestimmtes Volumen der Flüssigkeit – im Vergleich zu Wasser – zerfällt. Die Medizin verwendet dazu das Stalagmometer (stalazo, griech. tröpfeln) nach J. Traube (Bild 4). Es dient zur Bestimmung der Oberflächenspannung an Blut, Serum und zäheren Flüssigkeiten im allgemeinen. Die relative Oberflächenspannung, bezogen auf Wasser = 1, errechnet sich aus der Formel: $\frac{T_w}{T_x} \cdot d$, wobei T_w die Tropfenzahl für Wasser, T_x für die Versuchslösung, d die Dichte bedeuten. Die Veränderung der Oberflächenspannung des Blutes beruht weitgehend auf der Verschiebung des Globulin/Albumin-Koeffizienten. Ihre Bestimmung kann zur Erkennung der Krankheitsursachen wichtig sein, zum Beispiel bei Oedemen (Flüssigkeitsansammlungen im Körper), sekundären Anämien (Mangel an Blutfarbstoff), hämorrhagischen Diathesen (Neigung zu Blutungen), bei fortschreitender perniziöser Anämie und bei Leberkrankheiten. Von Interesse ist auch die stalagmometrisch erhaltene Tropfenzahl beim Lipase-Nachweis im Blutserum. Mit ihr kann der Ausfall des Bauchspeicheldrüsen-Ferments nachgewiesen werden. Auch bei Schrumpfnieren und schwerer Zuckerkrankheit kommen stalagmometrische Bestimmungen in Frage.

In anderen Gebieten der Wissenschaft gibt es noch zahlreiche mehr oder minder komplizierte Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenspannung. Man mißt zum Beispiel den Arbeitsaufwand, der nötig ist, um einen Drahtring von der Oberfläche einer Flüssigkeit abzuziehen. Eine besonders elegante *optische* Methode beruht auf der Reflexion der Lichtstrahlen durch kleine Wellen auf der Flüssigkeitsoberfläche. Auch die rasche Ausbreitung eines Öltropfens auf einer anderen Flüssigkeit, zum Beispiel Wasser, beruht auf der starken Oberflächenspannung. Der Öltropfen wird richtiggehend nach allen Seiten auseinandergezogen. Die Kohäsion des Wassers macht sich auf Kosten der kleineren Kohäsion des Öles geltend. Darauf beruht übrigens das Ölen des stürmischen Meeres bei Rettungsaktionen für Schiffbrüchige.

Die Oberflächenspannung erlaubt dem Physiker die Messung der absoluten Molekülgröße. Eine völlig ausgebreitete Ölhaut auf Wasser besitzt gerade die Dicke eines Moleküls. Aus der Menge des Öls und der bedeckten Fläche läßt sich der Durchmesser des einzelnen Moleküls errechnen. Man setzte einen Tropfen Stearinsäure auf eine absolut reine Wasserfläche. Die Umrisse der sich sofort ausbreitenden dünnen Ölschicht wurden

durch Aufstäuben eines Puders sichtbar gemacht und konnten ausgemessen werden. Das Verfahren war eines der ersten zur tatsächlichen Messung des Durchmessers von organischen Molekülen. Die erzielten Ergebnisse bestätigten den aus anderen Konstanten vorausberechneten Moleküldurchmesser.

Grenzt eine Flüssigkeit nicht an Luft, sondern an eine andere, mit ihr nicht mischbare Flüssigkeit, so kann sich die Oberflächenspannung bei der Flüssigkeiten charakteristisch verändern. Die Kolloidchemie – Grenzflächenchemie! – hat damit zu rechnen. Bedeutungsvoll sind die Grenzflächenerscheinungen im *Organismus*. Die Grenzflächen zwischen den Zellen im Lebewesen, ein Gebiet osmotischer Vorgänge, haben offenbar nicht nur für den rein mechanischen Stoffaustausch zu sorgen, sondern haben für die spezifischen Leistungen verschiedener Zellgruppen eine Bedeutung. Physiologisch sehr wichtig ist die Grenzfläche flüssig-flüssig, da das Protoplasma als Flüssigkeit aufzufassen ist.

Wenn ein (organischer) Stoff sich in einem anderen (teilweise) löst, kann er sich entweder an der Oberfläche des Lösungsmittels anreichern oder ins Innere wandern. Bei gewissen chemischen Eigenschaften des aufgenommenen Stoffes kommt es auch zu einer gesetzmäßigen Ausrichtung der Moleküle an der Grenzfläche und so entsteht oft eine, 1 Molekül dicke, charakteristisch formierte Schicht der adsorbierten Moleküle. Die Bildung solcher «einmolekularer» Schichten ist für den Aufbau von *biologischen Membranen* äußerst wichtig. Die Oberflächenspannung ist eine Voraussetzung dafür, daß die Zellmembranen *mosaikartig* aus Eiweißstoffen und Lipoiden aufgebaut sind.

Eine besondere Rolle spielt die Oberflächenspannung bei der Pseudopodienbewegung. Pseudopodien, Scheinfüßchen sind finger- oder lappenförmige Fortsätze, die einzellige Lebewesen, aber auch gewisse Zellen, besonders die weißen Blutkörperchen, aus ihrem Protoplasma bilden und wieder einziehen (Bild 3). Die Scheinfüßchen dienen zur Fortbewegung, zum Haftbleiben sowie zum Erfassen (Umfließen) der Nahrung. In der Embryonalzeit mancher vielzelliger Tiere trifft man ebenfalls Zellen mit amöbenartiger Veränderlichkeit, die beim embryonalen Formwechsel wesentlich mitspielen. Die meisten Erscheinungen der Scheinfüßchenbewegung lassen sich entsprechend dem vorwiegend flüssigen Aggregatzustand des Protoplasmas von den Oberflächenenergien bei der Pseudopodienbildung herleiten, und damit hilft uns die Oberflächenspannung, die Geheimnisse der Fortbewegung einer der ursprünglichsten Tiergruppen zu entsleiern.