

**Zeitschrift:** Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik  
**Band:** 5 (1950)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Kräfte der Oberfläche  
**Autor:** Erber, Günther  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-653597>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# KRÄFTE der OBERFLÄCHE

Von Dr.-Ing. Günther Erber

Forschungen der neueren Zeit haben bewiesen, daß die Atome oder Moleküle einer Flüssigkeit nicht, wie bei einem Gas, regellos durcheinanderschwirren, sondern eine, wenn auch fließende und unscharfe Ordnung zeigen — einen Übergang zwischen der strengen Ordnung im Kristall und der vollkommenen Unordnung im Gas. Röntgenaufnahmen von Flüssigkeiten nach dem Verfahren von Debye und Scherrer, das bei der Erforschung des Feinbaues der Kristalle eine wesentliche Rolle gespielt hat, zeigen infolgedessen verschwommene Kreisringe, während sich die strenge Ordnung der Kristallstruktur eines festen Körpers in scharfen Kreislinien ausdrückt. Diese Ordnungstendenz ist auf Kräfte zurückzuführen, die zwischen den einzelnen Molekülen wirken und in zwei Formen auftreten: Bei allen Molekülen und Atomen als Anziehungskräfte, deren Zustandekommen nur mit Hilfe der Quantentheorie erklärt werden kann, und bei gewissen Molekülen, deren Endglieder entgegengesetzt elektrisch geladen sind, außerdem als elektrische Anziehung ungleichnamiger und Abstoßung gleichnamiger Pole.

Solche Kräfte treten nun auch nach außen hin sehr merkbar in Erscheinung. Innerhalb der Flüssigkeit halten sie sich das Gleichgewicht, weil jedes Molekül nach allen Seiten zugleich angezogen wird; an der Oberfläche aber fehlt die Symmetrie, die die Voraussetzung für ein solches Gleichgewicht ist. Hier haben wir infolgedessen einen gewissen Betrag an freier potentieller Energie, an „Oberflächenspannung“. Eine recht umfangreiche Wissenschaft, die Kapillar- und Kolloidchemie, eigentlich ebenso der Physik zugehörend wie der Chemie,

beschäftigt sich allein mit dieser Oberflächenspannung und mit ihren Wirkungen.

Nach einem allgemeinen Naturgesetz ist jedes „System“ — ein Körper oder eine Konstellation mehrerer Körper — bestrebt, seine freie Energie möglichst klein zu halten. So stellt im Falle von Temperaturunterschieden innerhalb eines Systems die Differenz der Wärmemengen eine solche freie Energie dar; als Folge des genannten Gesetzes gleicht sich die Temperatur allmählich über das ganze System hin aus: die ausnützbare Energie verschwindet. Auf einen Wassertropfen angewendet besagt dasselbe Gesetz, daß es bestrebt sein wird, eine möglichst kleine Oberfläche zu bilden und damit auch seine Oberflächenenergie nach Möglichkeit zu verkleinern. Deshalb nimmt jeder Tropfen, solange keine äußeren Kräfte auf ihn wirken, Kugelform an, denn damit ist die Oberfläche eines einzelnen Tropfens auf ein Mindestmaß reduziert. Doch damit nicht genug: Hat man viele solche Tropfen — etwa in der Luft schwebende Nebeltröpfchen — so könnten sie ihre gesamte Oberfläche dadurch weiter verringern, daß sie sich zu wenigen größeren Tropfen zusammenschließen. Unter günstigen Umständen tritt das auch wirklich ein: Der Dampfdruck — also die Tendenz, zu verdampfen — ist unter sonst gleichen Umständen um so größer, je kleiner der Tropfen ist. Hat nun die Luft, in der die Tröpfchen schweben, geeignete Temperatur und Feuchtigkeit — nur der Wasserdampf gerechnet, nicht das flüssige Wasser in den Tröpfchen —, derart, daß die Verdampfung weder gänzlich verhindert wird noch allzu rasch vor sich geht, so

verdampfen nur die kleineren unter den verschiedenen großen Tropfen; ihr Dampf kondensiert sich an den größeren, weniger zur Verdampfung neigenden Tropfen und macht sie so noch größer. Das Ergebnis ist also die Zusammenfassung vieler kleiner Tropfen zu wenigen großen. Ein solcher Vorgang spielt sich beispielsweise in einer Wolke ab; er führt zu Regen, da die großen Tropfen zu schwer sind, als daß sie in der Luft schweben blieben.

Auch feste Körper haben eine Oberflächenspannung. Das ist ganz natürlich, denn auch hier stört die Oberfläche das im Innern herrschende Gleichgewicht der atomaren Kräfte. Nehmen wir etwa Kristalle, die sich aus einer Lösung abscheiden: Die geringste Gesamtoberfläche, die kleinste freie Energie also, wäre offenbar dann gegeben, wenn sich alles Salz, das nicht in Lösung bleiben kann, als ein einziger großer Kristall ausscheidet. Dazu kommt es zwar in der Regel nicht, weil die atomaren Kräfte nicht weit genug in die Ferne wirken; man kann aber unter Umständen beobachten, wie auch hier wieder kleinere Kristalle aufgezehrt und zur Vergrößerung größerer Kristalle herangezogen werden: die Lösungstendenz ist um so stärker, je kleiner der Kristall ist. Technisch sehr wichtig ist ein ganz ähnlicher Vorgang, der sich innerhalb fester Körper abspielt: Jedes Metall besteht aus mehr oder weniger kleinen Kristallen. Wird nun ein Stück Stahl in kaltem Zustand gewalzt oder gebogen, so zerbrechen bei dieser rauhen Behandlung die größeren Kristalle zu kleineren; weiteres geschieht zunächst nicht. Die Atome, aus denen die Kristalle bestehen, sind bei gewöhnlicher Temperatur zu unbeweglich, als daß eine Strukturänderung vor sich gehen könnte. Wird ihre Beweglichkeit aber durch Erwärmen erhöht, so „verschmelzen“ die kleineren Kristalle zu großen. In Wirklichkeit ist es freilich kein Schmelzen, da die Temperatur bei diesem Vorgang um einige hundert Grad unter dem Schmelzpunkt liegen kann. Eine solche „Grobkornbildung“ ist sehr unerwünscht, weil sie die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigt; sie muß durch geeignete Wärmebehandlung unschädlich gemacht werden.

Das Prinzip von der kleinsten freien Energie hat noch viele andere Möglichkeiten, sich durchzusetzen. Bringt man zwei nicht mischbare Flüssigkeiten in Berührung, so besteht auch an ihrer Grenzfläche eine Art Oberflächenspannung, weil die atomaren Kräfte in beiden Flüssigkeiten verschieden sind und sich an der

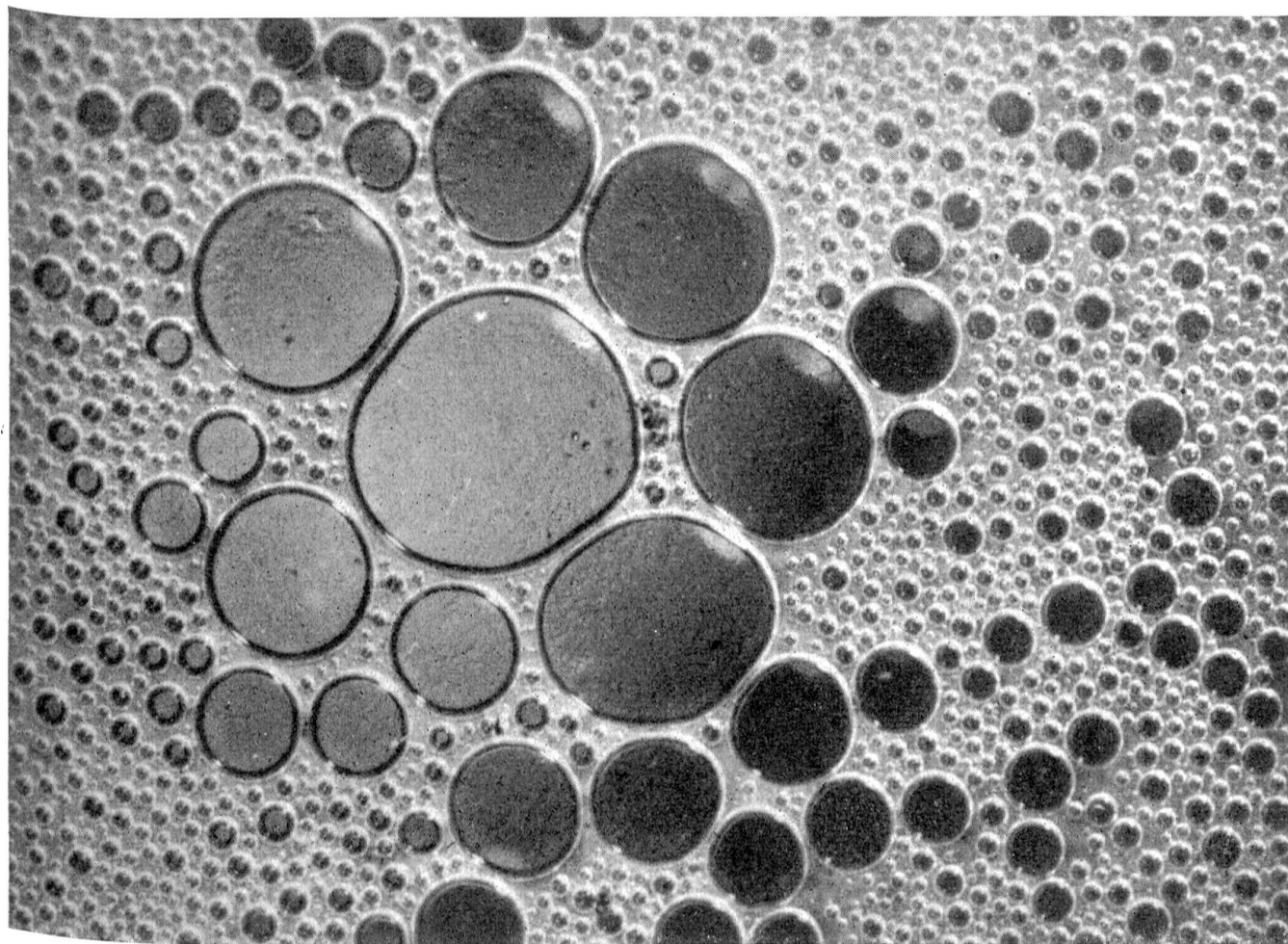
Grenzfläche nicht gegenseitig das Gleichgewicht halten können. Wie groß diese Spannung ist, hängt von der Art der beiden sich berührenden Flüssigkeiten ab. Manche Stoffe erhöhen die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit, mit der sie in Berührung stehen; andere wieder verringern sie beträchtlich („kapillar-aktive“ Stoffe). Das bekannteste Beispiel für letztgenannten ist die Seife. Die benetzende und zum Teil auch die reinigende Wirkung von Seifenwasser beruhen auf dieser Erscheinung. Hier liegt nun der Angriffspunkt unseres Naturgesetzes: Ein Öltropfen oder eine Luftblase in einer solchen Flüssigkeit nimmt zunächst Kugelform an, um die freie Energie möglichst klein zu machen. Könnte darüber hinaus die Oberflächenspannung — genauer gesagt: die Grenzflächenspannung — verringert werden, so wäre damit die freie Energie noch weiter herabgesetzt. Das geschieht auch wirklich, und zwar dadurch, daß der in der Flüssigkeit gelöste kapillar-aktive Stoff zur Grenzfläche hingezogen, „adsorbiert“ wird; infolgedessen steigt hier die Konzentration, die Grenzflächenspannung sinkt, und mit ihr die freie Energie. Umgekehrt wird mit dem gleichen Erfolg ein in Lösung befindlicher Stoff, der die Oberflächenspannung erhöht — wie dies bei vielen Salzen der Fall ist — von der Grenzfläche weggedrängt. Die Änderung der Oberflächenspannung mit der Zusammensetzung einer Lösung läßt sich übrigens sehr schön an einem Glas Likör beobachten: Der Likör benetzt den Glasrand gleichmäßig, weil er durch seinen hohen Gehalt an kapillar-aktivem Alkohol eine geringe Oberflächenspannung hat. Verdunstet aber der Alkohol aus der dünnen Flüssigkeitsschicht am Glasrand, so steigt damit die Oberflächenspannung und zieht die verbleibende Flüssigkeit zu tränenartigen Tropfen zusammen.

Sind in einer Flüssigkeit mehrere kapillar-aktive Stoffe gelöst, so reichern sie sich in der gleichen Weise an der Grenzfläche an. Da es aber Zweck einer solchen örtlichen Anreicherung ist, die Oberflächenspannung möglichst herabzusetzen, ist nach dem Gesetz vom Kleinstwert der freien Energie zu erwarten, daß vor allem derjenige der gelösten Stoffe zur Grenzfläche hinwandert, der die Oberflächenspannung am wirksamsten herabsetzt — denn so erreicht die Natur ihr Ziel am besten. Tatsächlich besetzt der am stärksten kapillar-aktive Stoff die Grenzfläche und verdrängt hier weitgehend sowohl das Lösungsmittel als auch die darin sonst noch gelösten Stoffe. Davon wird bei

manchen Hautreinigungsmitteln Gebrauch gemacht. Seife und noch mehr die stark wirkenden synthetischen Reinigungsmittel greifen zwar den Schmutz an, aber auch die Haut selbst. Eine wirksame Gegenmaßnahme liegt nach dem eben Gesagten nahe: Sie besteht im Zusatz eines Stoffes zur Seife, der noch kapillar-aktiver ist als diese und sich schützend zwischen die Seife und die Hornsubstanz der Haut legt. Gewisse Farbstoffe erfüllen diese Bedingung, und man hat ihren hautschonenden Einfluß schon beobachtet, bevor man von den tieferen Zusammenhängen wußte. Farbstoffe sind zwar zur Händereinigung denkbar ungeeignet, aber man hat inzwischen ähnlich wirkende farblose Mittel gefunden. Die damit zusammengesetzten hautschonenden Reinigungsmittel haben geholfen, gewerbliche Hautkrankheiten weitgehend zu unterdrücken. Denn eine durch zu stark angreifende Waschung geschädigte Haut ist sehr durchlässig und empfindlich für hautschädigende Stoffe jeder Art, wie sie in manchen Industriebetrieben nicht zu vermeiden sind.

Die Adsorption beschränkt sich keineswegs auf Vorgänge in Flüssigkeiten. In gleicher Weise werden Gasmoleküle von den freien Oberflächenkräften fester Körper angezogen und — wie wir annehmen müssen — sogar in Atome gespalten. Das ist eine der Erklärungen für das Wesen der Katalyse, der Beschleunigung chemischer Reaktionen durch die bloße Gegenwart gewisser Stoffe, die dabei selbst unverändert bleiben.

Wie man aus analogen Erscheinungen an Katalysatoren schließen kann, dürfte die Adsorption und die dadurch bedingte örtliche Konzentrationsänderung auch bei manchen Vergiftungen eine Rolle spielen. Auf diese Weise könnten nämlich in Spuren vorhandene Stoffe an der lebenden Zelle oder am Katalysator bis zu einer gefährlichen Konzentration angereichert werden. Blausäure in geringsten Mengen kann beispielsweise nicht nur einen Menschen vergiften, sondern auch einen Katalysator, also etwa Holzkohle. Die örtliche Anreicherung des Giftes bewirkt einerseits eine Verdrängung lebenswichtiger Stoffe — vor allem



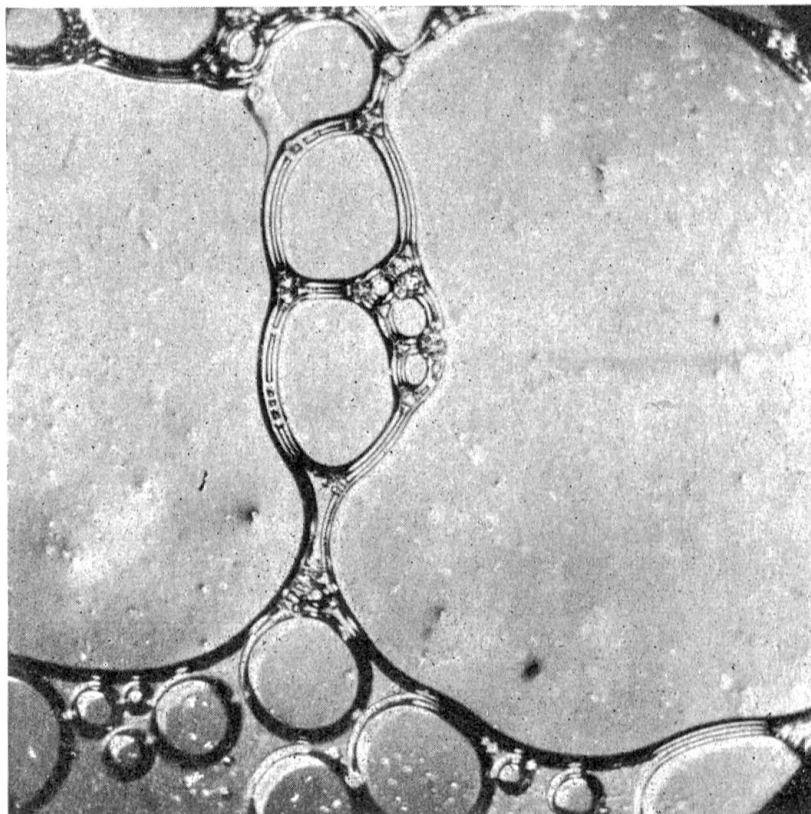
*Dieses Photo zeigt Seifenschaum in etwa 8facher Vergrößerung — Die Titelleiste zu diesem Aufsatz zeigt, in gleicher Vergrößerung, Luftblasen in reinem Wasser*

Sauerstoff — von der Zelle, andererseits ist sie die Vorbedingung für chemische Reaktionen, die die Zelle schädigen oder töten. Umgekehrt hat man auch schon adsorbierende Stoffe, wie Kohle, in die Blutbahn eingespritzt, damit sie, etwa bei Furunkulose oder Kindbettfieber, schädliche Stoffe an sich zieht. Bekannter und harmloser ist das Einnehmen von Tierkohle, deren Wirkung sich dann freilich auf den Verdauungsapparat beschränkt.

Die Oberflächenspannung fester Körper läßt sich leider nicht messen, weil sie nicht, wie bei Flüssigkeiten, eine Formveränderung bewirkt. Das verschiedenartige Verhalten fester Körper gegenüber Flüssigkeiten jedoch, das von der Eigenart jedes der beiden Partner abhängt, ist unmittelbar zu beobachten. Die Technik macht davon vielfach Gebrauch. Man denke etwa an den Lebensnerv jeder Maschine, die Schmierung: Öle geeigneter Zähigkeit setzen die Reibung und den Verschleiß in den Lagern herunter. Doch nicht auf die Zähigkeit allein kommt es an, sondern auch auf den Bau der Moleküle. Dadurch sind wesentliche Unterschiede in der Schmierwirkung bedingt. Reine Mineralöle bestehen aus Kohlenwasserstoffen, also aus langen Ketten von Kohlenstoffatomen mit seitlich angehängten Wasserstoffatomen. Diese Moleküle liegen regellos zwischen den beiden Metallflächen, soweit sie nicht aus den Lagern ab-

laufen. Ganz anders dagegen Pflanzenöle: Die darin enthaltene freie Ölsäure hat den gleichen molekularen Aufbau wie ein Kohlenwasserstoffmolekül mit dem einzigen Unterschied, daß am einen Ende der Kette ein Wasserstoffatom durch eine Hydroxylgruppe ersetzt ist. Gerade dieser kleine Unterschied aber ist wesentlich: Mit ihren Hydroxylgruppen hängen sich diese Moleküle fester an die Metallfläche an, weil sie eine größere „Affinität“ (Besetzungsfähigkeit) für Metall haben als die Kohlenwasserstoffmoleküle; in starker Vergrößerung lassen sie so einen samtartigen Überzug erkennen. Die bessere Haftung und die gleichmäßige Orientierung der Moleküle aber erhöht die Schmierfähigkeit erheblich.

Andererseits ist auch die Eigenart des festen Körpers maßgebend für sein Verhalten gegenüber einer Flüssigkeit. Es gibt „wasserscheue“ und „wasserliebende“ Stoffe — Beispiele für jene sind Paraffin und Fette, für diese reine fettfreie Metallflächen. Den Umstand, daß Erze, besonders die schwefelhaltigen, von Wasser weniger leicht benetzt werden als das sie begleitende taube Gestein, macht man sich bei ihrer Trennung durch „Flotation“, also durch Schaumschwimmaufbereitung, zunutze: Das fein gepulverte Gestein wird in eine Flüssigkeit geworfen, die einen schaubildenden Zusatz enthält. Bläst man dann Luft ein, so klammern sich die „wasserscheuen“ Teilchen des Gemenges, also das wertvolle Erz, an die Luftbläschen, steigen mit ihnen an die Oberfläche und bleiben dort im Schaum hängen; das taube Gestein indessen fühlt sich im Wasser ganz wohl und sinkt unter. Der an und für sich geringe Unterschied in der Benetzungsfähigkeit wird meist künstlich erhöht dadurch, daß das Erz durch Beigabe besonderer Öle noch wasserabstoßender und das taube Gestein durch Ansäuern der Flüssigkeit noch wasseranziehender gemacht wird. Millionen Tonnen von armen Erzen — so der Großteil der Zinnerze und viele andere — werden auf diese Weise aufbereitet und dann als Konzentrate weiterverhüttet.



*Ganz anders als Seifenschaum oder Luftblasen zeigt sich Erweißschaum im Bilde (ca. 7fach vergrößert)*  
(Photos: Ing. A. Niklitschek)