Band LXXIII. No. 11. XIX. Jahrgang.
Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Botanisches Centralblatt.

REFERIRENDES ORGAN

für das Gesammtgebiet der Botanik des In- und Auslandes.

Herausgegeben

unter Mitwirkung zahlreicher Gelehrten

von

Dr. Oscar Uhlworm und **Dr. F. G. Kohl**

in Cassel. in Marburg.

Zugleich Organ

des

Botanischen Vereins in München, der **Botaniska Sällskapet i Stockholm**, der **Gesellschaft für Botanik zu Hamburg**, der **botanischen Section der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur zu Breslau**, der **Botaniska Sektionen af Naturvetenskapliga Studentsällskapet i Upsala**, der **k. k. zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien**, des **Botanischen Vereins in Lund** und der **Societas pro Fauna et Flora Fennica in Helsingfors.**

Nr. 11. | **Abonnement für das halbe Jahr (2 Bände) mit 14 M** durch alle Buchhandlungen und Postanstalten. | 1898.

Die Herren Mitarbeiter werden dringend ersucht, die Manuscripte immer nur auf *einer* Seite zu beschreiben und für *jedes* Referat besondere Blätter benutzen zu wollen. **Die Redaction.**

Wissenschaftliche Originalmittheilungen.*)

Oberflächenspannung und Cohäsion.

Eine mikrophysikalische Studie.

Von

Z. Kamerling.

Mit 2 Figuren.

I. Einleitung.

In den letzten Jahren wurde ungefähr gleichzeitig von Askenasy und von Dixon und Joly die Aufmerksamkeit der Botaniker auf die sehr grossen Werthe, welche die Cohäsion von Flüssigkeiten unter geeigneten Versuchsbedingungen erreichen kann, gelenkt.

*) Für den Inhalt der Originalartikel sind die Herren Verfasser allein verantwortlich. Red.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Dass dieser Eigenschaft für mehrere botanische Probleme eine grosse Bedeutung zukommt, muss jedem, der mit dem Problem des Saftsteigens nur einigermassen vertraut ist, einleuchten. Auch sonst wird diese Eigenschaft oft zur Erklärung von botanischen Problemen herangezogen werden können; so hat Steinbrinck*) schon auf die Bedeutung dieser Cohäsion für die Erklärung der Bewegungserscheinungen des austrocknenden Farnsporangiums hingewiesen.

Für den Physiker waren die Versuche von Askenasy vielleicht gleich überraschend wie für den Botaniker. Die von Askenasy angegebenen älteren Versuche und auch hierhin gehörende in physikalischen Abhandlungen zerstreute Bemerkungen waren mehr oder weniger unbeachtet geblieben.

Interessant ist z. B. die folgende Stelle aus Nägeli, Capillarwirkungen: „Wenn die Flüssigkeit in einer Capillarröhre durch den Zug des concaven Meniscus emporgehoben wird, so wirkt der letztere wie der Kolben einer Pumpe. Das Wasser steigt unter dem Meniscus empor. Wird die Röhre so enge, dass das Wasser infolge dieses Zuges über 32 Fuss steigen sollte, so kann es dieses Maass nur um soviel überschreiten, als es seine Cohäsion erlaubt. Diese ist aber nach den Versuchen von Buys-Ballot, Gay Lussac u. A. so gering, dass sie vernachlässigt werden kann, indem sie für Wasser von 10^0 nur einer Flüssigkeitssäule von 5 m. m. das Gleichgewicht hält."

„Nachträglich ist es mir unwahrscheinlich, dass die bei den erwähnten Versuchen mit Metallplatten, die horizontal auf das Wasser gelegt und durch Gewichte abgerissen wurden, gefundene Cohäsion auch auf das Verhalten des Wassers in geschlossenen Röhren angewendet werden könne."

Was eine Erklärung dieser, scheinbar dem Wesen der Flüssigkeit widerstreitenden Erscheinung betrifft, so deutet Askenasy darauf hin, dass beim Entstehen einer Blase nur im ersten Augenblick ein Abreissen der Flüssigkeitstheilchen von einander nothwendig ist, und eine spätere Ausdehnung der einmal entstandenen Blase durch seitliche Verschiebung der Theilchen vor sich geht.

Moser hatte 1877 eine ähnliche Auffassung in diesen Worten ausgesprochen: „Man denke sich innerhalb der Flüssigkeit eine Vacuole; der Zug der daran hängenden Quecksilbersäule strebt diese zu vergrössern, die Capillarkräfte wirken diesem Zuge entgegen. Während nun die Gleichung aussagt, dass zur Bildung und Vergrösserung einer entstehenwollenden, d. h. unendlich kleinen Vacuole ein unendlich grosser Zug erforderlich sei, kann man ein Zerreissen der Flüssigkeit schon bei endlichem Zuge beobachten."

Braun hat denselben Gedanken noch deutlicher ausgedrückt, wo er von dem Haften von Quecksilber in ausgekochten Röhren spricht: „Sie können sich nur loslösen oder das Quecksilber kann

*) Litteratur-Uebersicht am Schlusse.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sich von einander trennen, wenn irgendwo eine kleine Blase entsteht. Da dieselbe aber mit dem Radius o anfangen muss, so ist dazu ein unendlich grosser Zug erforderlich. Das Gleichgewicht ist aber instabil, da mit wachsendem Radius der Capillardruck abnimmt" und „Die Bedingung, dass im Innern einer erhitzten Flüssigkeit sich eine Dampfblase bildet, ist: Die Dampfspannung im Innern der Blase muss gleich oder grösser sein, als 1) der Luftdruck, der auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet; plus 2) dem hydrostatischen Druck für die betr. Horizontalebene, in welcher die Blase entstehen soll; plus 3) dem Capillardruck. Letzterer ist anfangs unendlich gross. Ganz luftfreie Flüssigkeiten kochen daher nicht, sondern verdampfen ohne Blasenbildung von der Oberfläche (Ueberhitzen)."

Wir sehen hieraus, dass die Cohäsion aufgefasst werden kann als Oberflächenspannung von Bläschen, deren Radius = o gedacht wird.

Den Zusammenhang von beiden noch etwas näher zu erforschen, ist der Zweck dieser Abhandlung. Hauptsächlich wird es unser Ziel sein, möglichst klare Vorstellungen über diese mikrophysikalischen Vorgänge zu gewinnen. Meistens betrachtet jedoch der Physiker die mathematische Behandlung der Probleme als Hauptsache und kümmert sich oft wenig darum, ob man mit diesen mathematischen Ableitungen auch Vorstellungen verknüpfen kann. Der Nichtphysiker aber ist mit diesen Formeln nicht zufrieden und er wünscht sich über den beobachtenden Vorgang eine klare, anschauliche Vorstellung zu bilden, welche er aber leider nur selten in der Physik findet. Auch von Physikern*) wurde dieser Mangel an klaren, anschaulichen Vorstellungen bisweilen betont.

Wir werden versuchen, mittelst einer energetischen Behandlung dieses Problemes, also unter Zugrundelegung des zuerst von Robert Mayer 1842 scharf formulirten Gesetzes der Erhaltung der Energie, zu klaren Vorstellungen über die uns beschäftigende Frage zu kommen.

II. Das Wesen der Oberflächenspannung.

Bei einer Behandlung der Capillaritätstheorie dient meistens die von Laplace gegebene Vorstellung**) als Ausgangspunkt.

Bekanntlich stellt er die Oberflächenspannung dar als das Resultat eines senkrecht auf die Oberfläche gerichteten Druckes, wofür er die Gleichung

$$p = K + \frac{H}{2}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1}\right) \text{ ableitet.}$$

---

*) Heringa, Beschouwingen over de toepassing der Wiskunde op de Natuurkunde.

**) Winkelmann, Handbuch der Physik. I. p. 459.
Bosscha, Leerboek der Natuurkunde. III. p. 21.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hierin ist $\frac{H}{2}$ die sogenannte Capillarconstante oder Constante der Oberflächenspannung; R und R_1 die Hauptkrümmungsradien der Oberfläche und K eine im Verhältniss zu H sehr grosse, ebenfalls nur von der Natur der Flüssigkeit abhängige Constante.

Nach Laplace soll die Flüssigkeit in den oberflächlichen Schichten weniger dicht sein wie im Innern.

Bède, welcher in seiner ausführlichen Arbeit eine Litteraturübersicht voranschickt, sagt: „Toutefois, il (Laplace) admet que l'action de l'eau sur elle-même est extrêmement grande, et qu'il en résulte une très forte compression dans les couches d'un liquide; cette compression croit rapidement à partir de la surface, ou elle est nulle, pour devenir constante dans l'interieur de la masse liquide à une distance sensible de la surface."

Doch schreibt Laplace dieser veränderten Densität keine grosse Bedeutung zu für die in Betracht kommenden Probleme.

Nach Poisson soll dagegen gerade eine Aenderung der Densität in der Nähe der Oberfläche die Ursache der fraglichen Erscheinungen sein.

Eine ausführliche Kritik auf diese Poisson'sche Auffassung lieferte Bède, der sich aber nicht klar ausspricht über seine eigenen Vorstellungen über das Wesen der Oberflächenspannung, und hauptsächlich versucht, die Ergebnisse der mathematischen Betrachtungen experimentell zu prüfen.

Gegen die Grundvorstellung, als ob von der Oberfläche ein Druck auf das Innere der Flüssigkeit ausgeübt wird, wendete sich Heringa, welcher die Ansicht vertritt, dass aus der Verschiedenheit der Einflüsse, welchen die Moleküle im Innern und in der Nähe der Oberfläche ausgesetzt sind, doch nie ein Druck erklärt werden kann, der ausserhalb dieser Oberflächenschicht auf die innere Masse der Flüssigkeit ausgeübt werden soll.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, suchte Heringa eine neue Theorie aufzustellen, welche aber nur die Capillaritätserscheinungen erklärt.

Die thatsächliche Existenz der Grösse K in der Formel von Laplace*) ist schon mehrfach angezweifelt worden. So kommt Braun zu dem Resultat, „dass K jedenfalls nicht als ein innerhalb der Flüssigkeit nachweisbarer Druck existirt."

Wir werden jetzt eine neue Ableitung für die Oberflächenspannung zu geben versuchen, welche uns jedenfalls eine klare Vorstellung liefert.

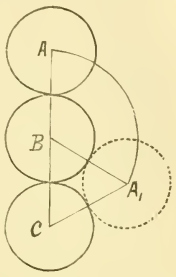
Dass die mathematischen Ergebnisse innerhalb sehr weiter Grenzen von der Vorstellung, welche man sich über das Wesen irgend eines molecular-physikalischen Vorgangs bildet, unabhängig sind, braucht wohl nicht mehr besonders betont zu werden.

*) Die bekannten theoretischen Untersuchungen von v. d. Waals lieferten ihm für K sehr hohe Werthe, für Wasser z. B. 10 500 Atmosphären.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biodat.at

Denken wir uns drei gleich grosse Kugeln, welche einander gegenseitig anziehen, und so angeordnet sind, dass sie sich gegenseitig berühren, und ihre Mittelpunkte auf einer geraden Linie liegen.

Infolge der gegenseitigen Anziehung können A und B oder B und C sich nicht mehr nähern, wohl aber A und C.



Man sieht leicht ein, dass, andere Kräfte ausgeschlossen, das System sich in einem labilen Gleichgewichtszustand befindet, welcher möglichst bald in einen stabilen übergehen wird, worin die drei Kugeln zu einem Dreieck angeordnet sind. Es ist klar, dass wegen der Anziehung zwischen A und C diese in ihrer ursprünglichen Lage gegenseitig Träger potentieller Energie sind.

Nimmt man vier Kugeln und ordnet diese in einer Ebene derartig an, dass die Mittelpunkte in den Ecken eines Parallelogramms mit 2 r als Seite und Winkel von 120^0 und 60^0 liegen, so ist dies, solange die Mittelpunkte in einer geraden Ebene bleiben, die möglichst stabile Anordnung.

Thatsächlich ist aber auch dieses System nur in labilem Gleichgewichte, auch der Abstand zwischen den zwei äussersten Kugeln, welcher jetzt 2 r $\sqrt{3}$ beträgt, kann bis auf 2 r reducirt werden, wenn die vier Kugeln sich zu einem Tetraëder mit 2 r als Seite ordnen.

Es ist ohne Weiteres klar, dass auch hier die zwei äusseren Kugeln in ihrer ursprünglichen Lage gegenseitig eine gewisse Menge potentieller Energie haben.

Denken wir uns der Einfachheit halber die Molecüle einer Flüssigkeit als Kugeln, welche sich einander nur bis zu einem bestimmten Abstand 2 r nähern können, so lässt sich die gegebene Betrachtung unmittelbar auf die Flüssigkeit übertragen.

Ein Molecül im Innern einer Flüssigkeit ist in diesem kleinst möglichen Abstand von 2 r von 15 anderen Molecülen umgeben.

Man könnte hier von physikalischen Molecularaffinitäten sprechen und sagen, ein Molecül einer Flüssigkeit hat 15 physikalische Molecularaffinitäten ersten Ranges, n zweiten, m dritten Ranges u. s. w.

Ein Molecül unmittelbar an der Oberfläche ist von nur acht anderen Molecülen durch diesen kleinst möglichen Abstand von 2 r getrennt; während man bei dem Molecül im Innern die fünfzehn Affinitäten ersten Ranges gesättigt nennen konnte, sind hier sieben dieser fünfzehn Affinitäten ungesättigt. Es ist selbstverständlich, dass diese ungesättigten Affinitäten potentielle Energie darstellen, die sich aber nicht als Druck zu äussern braucht, auch nicht in der Art, dass die Molecüle der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oberflächlichen Schicht dichter zusammengedrängt sind, wie die in der Mitte.

Diese potentielle Energie wird frei, d. h. geht in eine andere Form über, sobald die Oberfläche kleiner wird, und es braucht wohl nicht mehr besonders auseinander gesetzt zu werden, dass die Menge dieser potentiellen Energie der Grösse der Oberfläche direct proportional ist.

Da im Verhältniss zur Grösse der Molecüle auch die relativ stark gekrümmte Oberfläche des Meniscus in engen Capillarröhren als gerade Oberfläche betrachtet werden kann, so kann die Menge potentieller Energie der Oberfläche nicht von dem Krümmungsradius abhängen, und müssen wir also die bekannten Steigungsgesetze für Capillarröhren auch unter der Annahme, dass der Krümmungsradius keinen Einfluss auf die Menge dieser potentiellen Oberflächenenergie hat, ableiten können.

Dies werden wir im nächsten Abschnitt versuchen.

Das Ergebniss dieses Abschnittes können wir zusammenfassen in den Satz: „Die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit stellt man sich am einfachsten vor als die Summe der gegenseitigen potentiellen Energie der Molecüle in den oberflächlichen Schichten.

Wir wollen im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Menge dieser potentiellen Energie pro Einheit der Oberfläche C nennen.

Dieses C ist natürlich dem H in der Gleichung von Laplace nah verwandt, aber nicht hiermit identisch *).

H ist eine Kraft, C eine Energiemenge.

(Fortsetzung folgt.)

Die pflanzlichen Variationscurven und die Gauss'sche Wahrscheinlichkeitscurve.

Von

Prof. Dr. F. Ludwig

in Greiz.

Mit 1 Doppeltafel.

(Schluss.)

Eine Parabinomialcurve, nämlich von dem Verhältniss $p : q = 5 : 7$, stellt auch die Variationscurve dar, welche C. Davenport und C. Bullard für die Anzahl der Müller'schen Drüsen an den Vorderbeinen des Schweins kürzlich ermittelt und abgebildet haben (A contribution to the quantitative study and the comparative variability of the sexes. Proceed. of the Amerian Academy of Arts and Sciences. (Vol. XXXII. Nr. 4. December 1896. Fig. p. 90).

*) Vergleich Ostwald, I. Das absolute Maassystem.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1898

Band/Volume: 73

Autor(en)/Author(s): Kamerling Z.

Artikel/Article: Oberflächenspannung und Cohäsion. 369-374