Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1847)
Heft: 105-106

Artikel: Bericht über neue Untersuchungen der Cohäsion der Flüssigkeiten
Autor: Brunner, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-318248

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

MITTHEILUNGEN

DER

NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT

IN BERN.

Nr. 105 u. 106.

Ausgegeben den 20. December 1847.

C. Brunner, Sohn, Bericht über neue Untersuchungen der Cohäsion der Flüssigkeiten.

I.

Im Jahr 1826 äusserste Herr Kämtz bei Gelegenheit einer Kritik des physikalischen Wörterbuches [1]), die Meinung, es möchte die Fluidität der Flüssigkeiten um so grösser sein, je niedriger die Temperatur ihres Siedepunktes ist. Zur genauern Prüfung dieser Meinung liess er durch Hrn. Moritz Versuche anstellen, von welchen bis jetzt nur diejenigen über Wasser bekannt gemacht wurden [2]).

Herr Moritz bediente sich einer alten, schon von Coulomb [3]) angegebenen Methode, nach welcher er eine

---

[1]) Allgemeine Litteraturzeitung, 1826. No. 270, p. 501.

[2]) Einige Bemerkungen über Coulomb's Verfahren, die Cohäsion der Flüssigkeiten zu bestimmen. Poggendorffs Annalen der Ph. T. 70. J. 1847. p. 74.

[3]) Mémoires de l'Institut, T. III, p. 250.

Scheibe in der zu untersuchenden Flüssigkeit oscilliren liess und die Grösse dieser Oscillationen bestimmte.

Die Resultate dieser Untersuchungen sind:

1) Die Cohäsion (?) des Wassers wird ausgedrückt durch die Formel
$c = 0{,}2513 - 0{,}01118\,t + 0{,}0004387\,t^2 - 0{,}000003258\,t^3$, wo t die Temperatur ausdrückt.

2) Die Cohäsion (?) des Wassers erreicht ein Maximum bei einer Temperatur, die nahezu gleich der ist, bei welcher das Dichtigkeitsmaximum eintritt ($3^0{,}2$ R).

3) Die Cohäsion (?) des Wassers nimmt zwischen $3^0{,}2$ R und 31^0 R ungefähr um 1,4 Mal rascher ab als die Dichtigkeit.

Herr Moritz bezeichnet die Eigenschaft der Flüssigkeit, welche er untersucht hat, mit dem Ausdrucke »Cohäsion.« Wenn man jedoch unter Cohäsion die Kraft versteht, mit welcher die Flüssigkeits-Molecule an einander haften, so ist dieselbe sehr verschieden von der Zähflüssigkeit oder Viscosität (Fluidität). Die fetten Oele besitzen im hohen Grade die Eigenschaft, welche man mit dem Namen »Zähflüssigkeit« bezeichnet, während ihre Cohäsion gering ist. Die Cohäsion des Olivenöles ist ungefähr gleich derjenigen des Alkohols [1], dessen Fluidität sehr verschieden ist von derjenigen des Oeles. Die Fluidität des Wassers steht zwischen derjenigen des Oeles und Alkohols, während seine Cohäsion mehr als doppelt so gross ist als diejenige der beiden andern Flüssigkeiten.

Die Cohäsion der Flüssigkeiten wird gemessen entweder direkt, indem man die Kraft bestimmt, welche nothwendig

---

[1]) Frankenheim, die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835. p. 79. — Capillarität des Wassers 15,3.
des Alkohols 5,8.
des Oeles 7,4.

ist, um eine Scheibe eines festen Körpers im benetzten Zustande von der Flüssigkeit zu reissen oder durch Beobachtung der Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeiten sich in Capillarröhren erheben [1]). Ueber die Zähflüssigkeit dagegen besassen wir bis jetzt keine genauen Messungen. Die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeiten durch enge Röhren ist vielleicht zum Theil abhängig von dieser Eigenschaft und die Untersuchungen über diesen Gegenstand möchten hieher gehören. Dass jedoch diese Ausflussgeschwindigkeit eine sehr complicirte Erscheinung ist, geht aus vielen Untersuchungen hervor, welche zu den verschiedensten Zeiten angestellt wurden von Gerstner (1798), Du Buat (1786), Girard (1816), Lehot (1819), Hagen (1839), Poiseuille (1843) u. s. w. und ist auch schon an einem andern Orte besprochen worden [2]). Schübler [3]) und Dollfus [4]) haben die Viscosität der Flüssigkeiten mit einem eigenthümlichen Instrumente ziemlich unabhängig von andern Molekularkräften gemessen und wenn man auch nicht eben viel Gewicht auf die absoluten Zahlen legen will, welche diese Physiker gefunden haben, so sind sie doch hinreichend genau um zu beweisen, dass die Cohäsion und die Fluidität nichts mit einander gemein haben.

Wenn wir diesen Umstand beachten, so erklärt es sich, woher es kommt, dass die Resultate des Herrn Moritz eine

---

[1]) C. Brunner, Untersuchungen über die Cohäsion der Flüssigkeiten, Denkschriften der schweizer. naturf. Gesellschaft X. p. 5. Archives des sciences physiques et naturelles de Genève. IV. 1847. pag. 127.

[2]) a. a. O. p. 15. Ferner Poggend. Annalen der Physik. LXX. p. 494.

[3]) Erdmann, Journal f. techn. u. ökon. Chemie. Bd. II, 1828. pag. 349.

[4]) Bulletin de la société industrielle de Mulhausen, No. 21. pag. 14—32.

so auffallende Abweichung von den früher erlangten Thatsachen in Bezug auf die Veränderung der Cohäsion durch Temperaturerhöhung zeigen. Aus diesen nämlich geht hervor [1]), dass die Cohäsion des Wassers schon von 0^0 an gleichförmig mit der Temperaturerhöhung abnimmt, so dass die Anomalie, welche man in der Veränderung der Dichtigkeit von 0^0 bis 4^0C beobachtet, keinen Einfluss auf die Veränderung der Cohäsion ausübt, während Hr. Moritz gefunden hat, dass die Beweglichkeit seiner Scheibe ein Minimum bei ungefähr der nämlichen Temperatur zeigt, wo das Maximum der Dichtigkeit stattfindet. Es ist daher wahrscheinlich, dass die von Hr. M. beobachtete Eigenschaft abhängig ist von der Dichtigkeit; auch stellt die Formel, welche derselbe für die Veränderung der Beweglichkeit seiner Scheibe durch Temperatur-Erhöhung aufstellt, eine Curve dar, die eine grosse Aehnlichkeit mit der Dichtigkeitscurve darbietet. Die Veränderungen der Cohäsion sind dagegen umgekehrt proportional mit denjenigen der Temperatur [2]), woraus hervorgeht, dass die Curve, die man erhält, wenn man die Temperaturen als eine Abscissenlinie annimmt und die entsprechende Cohäsion als Ordinaten aufträgt, eine gerade Linie ist.

Aber die Resultate des Hrn. Moritz stimmen eben so wenig überein mit den Untersuchungen, welche vor mehr als 30 Jahren auf Veranlassung des Hrn. Arago von Girard über die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus engen Röhren bei verschiedenen Temperaturen angestellt wurden [3]). Derselbe fand, dass die Ausflussgeschwindigkeit schon von

---

[1]) Siehe die oben angeführten Schriften; ferner Bericht über die Verhandlungen der königl. preussischen Akademie im Monat Juni 1846. p. 184. — Institut Mars 1847.

[2]) Oben angeführte Orte.

[3]) Annales de Chimie et de Physique IV. 1817. p. 155.

0^0 ausgehend gleichförmig mit der Temperaturerhöhung zunimmt und sich also auch hier die Anomalie in den Veränderungen der Dichtigkeit nicht wiederholt.

Aus diesen Zusammenstellungen geht hervor, dass die von Hrn. Moritz untersuchte Eigenschaft weder die Cohäsion ist, noch mit der Ausflussgeschwindigkeit durch enge Röhren direkt zusammenhängt, sondern als Fluidität oder Viscosität eine eigenthümliche Erscheinung ist. Um so mehr ist es zu wünschen, dass diese Versuche auf möglichst viele Flüssigkeiten ausgedehnt werden, indem sie Aufschluss zu geben versprechen über eine Eigenschaft der Flüssigkeiten, welche bis jetzt noch nicht genauen Untersuchungen unterworfen worden ist, während sie zu den interessantesten Erscheinungen in der Molecular-Physik der Flüssigkeiten gehört.

II.

Schon in meiner früheren Arbeit erwähnte ich der Versuche des Hrn. Buys-Ballot [1]), welcher die Cohäsion der Flüssigkeiten untersuchte, indem er das Gewicht bestimmte, welches nothwendig war um Metallplatten von den Flüssigkeiten abzureissen. Er hatte unter anderem mehrere solcher Versuchsreihen mit Wasser bei verschiedenen Temperaturen angestellt und durch Reduktion seiner Beobachtungen auf die Capillarhöhe nach einer Formel von Poisson [2]) folgende Werthe berechnet.

$$a^2 = 15{,}50 - 0{,}06\,t$$

und nach einer andern Versuchsreihe

$$a^2 = 15{,}80 - 0{,}0614\,t,$$

---

[1]) Dissertatio de Synaphia et Prosaphia. Trajecti ad Rhenum MDCCCXLIV.

[2]) Nouvelle théorie de l'action capillaire p. 233.

wo die Zahlen die Höhe einer Flüssigkeitssäule in Millimetern bedeuten, welche in einer Röhre von 1 Millim. Radius gehoben wird.

Hr. Buys-Ballot hat seither seine Versuche einer neuen Berechnung unterworfen [1]), wodurch er von seinen frühern Angaben abweichende Resultate erhielt, welche den meinigen etwas näher kommen; nämlich

$$a^2 = 15{,}2515 - 0{,}045573 \cdot t$$

$$\text{und} \quad a^2 = 15{,}395 - 0{,}04773 \cdot t \quad ^{2)}$$

Herr Merian hat diese Rechnung sorgfältig geprüft und mir darüber Folgendes mitgetheilt:

Brief von Herrn Rud. Merian, Sohn, in Basel an C. Brunner, Sohn, in Bern.

Als ich neulich den Aufsatz von Hrn. Dr. Buys-Ballot »über den Einfluss der Temperatur auf die Synaphie« las, worin er seine mit Adhäsionsplatten erhaltenen Resultate mit denjenigen vergleicht, welche Du durch Beobachtung der Capillarhöhe bei verschiedenen Temperaturen erlangt hast, fiel es mir auf, dass er bei den aus seinen Versuchen neu berechneten Werthen von $a^2 (= A - Bt)$ die Constante A sehr nahe gleich wie Du erhalten hat, nämlich 15,3... für Wasser (pag. 189 u. 191), den Coëfficienten B dagegen fast doppelt so gross (0,047 und 0,048 statt 0,028). Ich fand mich dadurch veranlasst, den Gang seiner Berechnungen etwas genauer zu verfolgen, um zu sehen, ob sich nicht etwa aus seinen Versuchen eine grössere Uebereinstimmung

---

1) Poggendorff's Annalen B. 71. p. 177.

2) Die Formel, welche aus meinen Versuchen abgeleitet wurde, ist 15,33215—0,0286396.t.

auch für B herausfinden liesse. Ich habe nun zwar gerade das Gegentheil gefunden, nämlich dass Herr Buys-Ballot seine Werthe von a^2 sehr ungenau berechnet hat und dass dieselben, richtig berechnet, bei Weitem nicht so gut mit den Deinigen übereinstimmen, als er geglaubt hat, theile Dir aber dennoch das Resultat mit, indem es Dich vielleicht interessiren dürfte.

In wiefern die von Hrn. Buys-Ballot angewandte Methode geeignet ist, genaue Resultate zu geben, darüber erlaube ich mir kein Urtheil: die von ihm beobachteten Werthe sprechen jedoch nicht sehr dafür. In der auf pag. 183 angeführten Versuchsreihe erhält man z. B. für p zwischen 72^0 C und 70^0 C eine Gewichtszunahme von 0,115 Gramm für jeden Grad, und zwischen 37^0 und 36^0 von $0,^{gr}09$, dagegen zwischen 69^0 und 57^0 nur von $0,^{gr}013$; zwischen 57^0 und 45^0 gar nur von $0,^{gr}002$, d. h. nur $1/46$ vom ersten Werthe, während sie eigentlich überall gleich sein sollten. — Aehnliches in den andern Versuchsreihen, z. B. auf pag. 184 die Werthe für 192^0 und 190^0, 146^0 und 134^0. Auch stimmen zum Theil die Formeln für p, namentlich bei dem schwefelsauren Natron auf p. 184 schlecht mit den beobachteten Werthen überein.

Der Haupteinwurf aber, den ich gegen den Aufsatz von Hrn. Buys-Ballot zu machen habe, ist gegen seine Berechnung von a^2 aus p gerichtet. Er glaubt nämlich durch seine neue Berechnungsweise (p. 188) eine grössere Uebereinstimmung von a^2 mit Deinen Werthen gefunden zu haben (in den Decimalen nämlich, denn die ganzen Zahlen stimmen schon nach der alten Berechnung überein), hat aber dabei Ausdrücke vernachlässigt, welche auf die erste Decimale influiren. — Er vernachlässigt zuerst (p. 188 Linie 10) das Quadrat $\left(\frac{\pi a^2 r}{3(\alpha-\beta t)}\right)^2$ weiter unten (Linie 12) gar das

Glied $\frac{2\pi a^2 r}{3\alpha}$ (denn es ist $P=\alpha$). Nun ist aber $\frac{\pi a^2 r}{3\alpha}$ ungefähr gleich 0,03, also der erste dieser Ausdrücke = 0,0009, der zweite = 0,06; also mit dem Werthe von a^2(=15,....) vervielfacht, betragen diese vernachlässigten Glieder 0,013... und 0,9..., d. h. im letzteren Falle beinahe eine Einheit. — Allerdings waren diese Vernachlässigungen sehr bequem um die Rechnung abzukürzen; da aber Herr Buys-Ballot auf Richtigkeit wenigstens der ersten Decimale Anspruch macht, durfte diese Vernachlässigung nicht geschehen.

Bevor ich nun a^2 genauer berechne, muss ich noch zwei sehr störende Fehler berichtigen, die jedoch wohl nur Druckfehler sind. In der Tafel auf pag. 183 sollte Gramm statt Gran stehen, wie aus dem Werthe von a^2 und der Poisson'schen Formel sich ergibt. Ferner muss es anf pag. 188 (Linie 17 und 19) $a^2=\frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2}$ und $A=\frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2}$ heissen, beidemal statt $=\frac{\alpha}{2\pi r^2}$ Herr Buys-Ballot scheint jedoch bei der Berechnung den ersteren, richtigen Ausdruck zu Grunde gelegt zu haben.

Berechnen wir nun a^2 nach der auch von H. B. B. angewandten Poisson'schen Formel [1]:

$$p=\pi\mu\left(ar^2\sqrt{2}-\frac{a^2 r}{3}\right)$$

wobei nach Poisson a und r in Centimetern auszudrücken sind, μ das Gewicht eines Cubikcentimeters der angewandten Flüssigkeit, oder in Grammen ausgedrückt, das specifische Gewicht ist. Da wir in unserm Falle Millimeter haben, so müssen wir für μ auch nur das Gewieht eines Cubikmillimeters, also μ, 1000 Mal kleiner oder $\frac{p}{\mu}$, 1000 Mal grösser nehmen,

[1]) Poisson, Nouvelle théorie de l'action capillaire. pag. 233.

wie schon die Homogenität der Formel es verlangt. Setzen wir $\frac{p}{\mu}=P$, so erhalten wir die Gleichung

$$a^2-3ar\sqrt{2}+\frac{3P}{\pi r}=0, \quad \text{woraus}$$

$$a=\frac{3}{2}r\sqrt{2}\pm\sqrt{\left(\frac{9}{2}r^2-\frac{3P}{\pi r}\right)} \quad \text{oder}$$

$$a=\frac{3}{2}r\sqrt{2}\pm\frac{3}{2}r\sqrt{2}\left(1-\frac{2P}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{und}$$

$$a^2=\frac{9}{2}r^2\left\{1\pm\left(1-\frac{2P}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}^2$$

$$=9r^2\left\{1-\frac{P}{3\pi r^3}\pm\left(1-\frac{2P}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}$$

Da der Ausdruck für a^2 offenbar kein nur von r und nicht zugleich von P abhängiges Glied enthalten darf, müssen wir von den beiden Zeichen das untere wählen, damit bei Entwicklung der Wurzelgrösse in eine Reihe die von P unabhängigen Glieder sich aufheben. Setzen wir nun für P oder $\frac{p}{\mu}$ seinen Werth $\alpha-\beta t$, so ist

$$a^2=9r^2\left\{1-\frac{\alpha}{3\pi r^3}+\frac{\beta t}{3\pi r^3}-\left(1-\frac{2\alpha}{3\pi r^3}+\frac{2\beta t}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}$$

Setzen wir $a^2=A-Bt$, so erhalten wir für $t=o$

$$A=9r^2\left(1-\frac{\alpha}{3\pi r^3}-\sqrt{1-\frac{2\alpha}{3\pi r^3}}\right)$$

Ferner, wenn wir die Wurzelgrösse im Ausdruck von a^2 nach dem binomischen Lehrsatze entwickeln und dabei die höhern Potenzen von t vernachlässigen, was wohl erlaubt ist, da sie mit höheren Potenzen von $\frac{2\beta}{3\pi r^3}$ (d. h. ungefähr $\frac{1}{5000}$) vervielfacht sind, so erhalten wir:

$$B = 9r^2\left(-\frac{\beta}{3\pi r^3} + \frac{\beta}{3\pi r^3\left(1-\frac{2\alpha}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$= \frac{3\beta}{\pi r}\left\{\left(1-\frac{2\alpha}{3\pi r^3}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1\right\}$$

Mit Hülfe dieser Ausdrücke erhalten wir nun, wenn wir für α und β die Werthe von H. Buys-Ballot aus Formel I (p. 188) zu Grunde legen, nämlich

$$\alpha = 13807{,}4 \quad \beta = 20{,}628 \quad \text{und} \quad \pi r^2 = 2463$$
$$a^2 = 16{,}8574 - 0{,}052243\,t$$

Aus den Werthen von α und β aus Formel II (p. 188)

$$\alpha = 13667 \quad \beta = 21{,}264 \quad \text{und} \quad \pi r^2 = 2500$$

folgt $\alpha^2 = 15{,}9948 - 0{,}051556\,t$ [1]).

Entwickeln wir in den Ausdrücken von A und B die Wurzelgrössen in Reihen nach dem binomischen Lehrsatze, so erhalten wir

$$A = 9r^2\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{3\pi r^3}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{3\pi r^3}\right)^3 + \frac{5}{8}\left(\frac{\alpha}{3\pi r^3}\right)^4 + \ldots\right\}$$

$$B = \frac{3\beta}{\pi r}\left\{\frac{\alpha}{3\pi r^3} + \frac{3}{2}\left(\frac{\alpha}{3\pi r^3}\right)^2 + \frac{5}{2}\left(\frac{\alpha}{3\pi r^3}\right)^3 + \ldots\right\}$$

---

[1]) Hr. Buys-Ballot berechnete aus den obigen Daten mit Hülfe seiner Formeln

$$A = \frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2} \text{ und } B = \frac{\alpha\beta}{(\pi r 2)^2}$$

Die Werthe von a^2=(pag. 188.)

I $a^2 = 15{,}2515 - 0{,}045573\,t$

II $a^2 = 15{,}395 - 0{,}04773\,t$.

Ich begreife übrigens nicht, wie er zu diesen Werthen von a^2 gelangt ist, denn wenn ich aus den gleichen Daten nach den nämlichen Formeln a^2 berechne, so finde ich

I $a^2 = 15{,}7132 - 0{,}046951\,t$

II $a^2 = 14{,}9429 - 0{,}046498\,t$

Die Werthe von H. Buys-Ballot

$$A = \frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2} \text{ und } B = \frac{\alpha\beta}{(\pi r^2)^2}$$

sind offenbar nur die ersten Glieder dieser Reihen; dass man aber die folgenden nicht vernachlässigen darf, zeigt die Abweichung unserer Werthe von a^2 von den Buys-Ballot'schen.

Ich glaube damit ziemlich klar dargethan zu haben, dass erstens die von Hrn. Buys-Ballot angewandte Methode keine sehr übereinstimmende Beobachtungswerthe geliefert hat, und zweitens dass, wenn man a^2 aus seinen Werthen von p richtig berechnet, die Uebereinstimmung mit den Brunner'schen u. a. Werthen von a^2 weniger gut ist, als Hr. Buys-Ballot zu finden geglaubt hat. (Nach Brunner ist für Wasser $a^2 = 15{,}3321 - 0{,}028639\,t$); der Werth von B namentlich ist bei Hrn. Buys-Ballot immer noch fast doppelt so gross, als bei Dir.

Basel, den 1. Juli 1847.

R. Merian.

Die Unterschiede dieser Resultate, welche aus den Buys-Ballot'schen Versuchen abgeleitet sind, von den meinigen, sind so bedeutend, dass sie unmöglich als Beobachtungsfehler betrachtet werden dürfen. Viel wahrscheinlicher ist es, dass der Fehler in der mathematischen Form liegt, in welcher die Capillarerscheinungen mit den Kräften verglichen werden, welche bei dem Abreissen der Platten von Flüssigkeiten stattfinden [1]) und somit hätten wir hier einen neuen Beweis für den Fontenelle'schen Spruch: »Partout

---

[1]) Es wird dieses sehr wahrscheinlich gemacht durch die Untersuchungen von H. Donny, Annales de Chimie et de Physique, III. série. vol. 16 1846. p. 167.

dans la nature il y a de la géométrie; mais elle est ordinairement fort compliquée, et celle qui avait fondé nos raisonnements était trop simple pour attraper juste les effets tels qu'ils sont.«

III.

Die Cohäsion ist eine Funktion der Anziehung der Molecule und der Abstossung des Wärmestoffes [1]; ebenso ist das Volumen, welches eine Flüssigkeit einnimmt, eine Funktion dieser beiden Kräfte. Wenn wir auch nicht bestimmt die Form dieser Funktionen kennen, so ist doch im Allgemeinen so viel klar, dass je kleiner der Abstand der Molecule ist, desto grösser wird die Cohäsion sein (I). Ferner muss man annehmen, dass die Molecularattraction, gleich jeder in die Ferne wirkenden Kraft, abnimmt wie das Quadrat der Entfernung, und daher je kleiner die gegenseitige Entfernung der Molecule ist, desto weniger eine gleiche Vermehrung des repulsiven Principes die Cohäsion vermindern muss. Mit andern Worten: je kleiner die Distanz der Molecule ist, desto schwächer muss die Wirkung einer Temperaturerhöhung auf die Cohäsion sein, oder je kleiner die Distanz der Molecule ist, desto kleiner muss der Coëfficient der Cohäsionsveränderung sein (II).

Die gleiche Betrachtung gilt für die Wirkung der Temperaturerhöhung auf die Volumsveränderung und je kleiner die Distanz der Molecule ist, desto kleiner muss der Ausdehnungscoëfficient sein (III). Diese Betrachtung erklärt die Erscheinung, dass der Ausdehnungscoëfficient mit der Temperaturerhöhung wächst, weil bei

---

[1]) Poisson, Nouvelle théorie de l'action capillaire. Paris 1831. pag. 106.

jeder höheren Temperatur die Molecule weiter von einander entfernt sind und somit eine gleiche Vermehrung der Wärme eine grössere Wirkung hervorbringt.

Fassen wir die beiden Resultate II und III zusammen, so geht daraus hervor, das der Coëfficient der Cohäsionsveränderung und der Ausdehnungscoëfficient in einer gewissen gegenseitigen Beziehung stehen und im Allgemeinen bei Flüssigkeiten, welche einen kleinen Ausdehnungscoëfficienten haben, ebenso auch der Coëfficient der Cohäsionsabnahme klein, und bei Flüssigkeiten mit grossem Ausdehnungscoëfficient der Coëfficient der Cohäsionsabnahme gross sein wird.

Beispiel:

	Coëfficient der Cohäsionsabnahme.	Mittlerer Ausdehnungscoëfficient.	Absolute Cohäsion.
Wasser	0,00187	0,0004	15,33
Aether [1])	0,00541	0,0015	5,35

Aus I, II und III folgt, dass die absolute Cohäsion um so grösser ist, je kleiner der Coëfficient für die Cohäsionsabnahme und je kleiner der Ausdehnungscoëfficient ist, also

$$C = \frac{1}{fD \cdot fA}$$

wo C die absolute Cohäsion, fD eine Funktion des Ausdehnungscoëfficienten und fA eine Funktion des Coëfficienten für die Cohäsionsabnahme bedeutet.

Wenn auch solche Betrachtungen über den Zusammenhang der Molecularkräfte unmittelbar zu keinen Resultaten führen, so zeigen sie doch den Weg, welchen eine analy-

---

[1]) Berechnet aus den Untersuchungen: in den Denkschriften der schweizer. naturf. Gesellschaft. Band X. p. 32. Poggendorff's Annalen der Physik, Bd. LXX p. 515. 1847. Archives des sciences physiques et naturelles de Genève. IV. 1847. p. 142.

tische Behandlung einzuschlagen hat. Sowie Laplace und Poisson aus den Angaben über die Höhe, bis zu welcher Flüssigkeiten in engen Röhren sich erheben, über die Grösse der Tropfen und die Kraft, mit welcher benetzte Scheiben von Flüssigkeiten gerissen werden, die Gesetze der Capillarität bestimmten, so liefern die neuen experimentellen Arbeiten in den bedeutend vervielfältigten Untersuchungen der Cohäsion [1]), der Ausdehnung, der specifischen Wärme und des Atomvolumens eben so viele Anhaltspunkte zu einer noch viel weiter gehenden Verfolgung des rothen Fadens, welcher sich durch die ganze Molecularmechanik zieht.

Wenn man annimmt, dass die Cohäsion mit der Temperaturerhöhung stets im gleichen Verhältniss abnimmt, so lässt sich aus meinen Versuchen berechnen, dass sie für den Aether bei 190° C gleich o wird [2]). Was ist eine Flüssigkeit ohne Cohäsion? — Wahrscheinlich ein Gas: und ohne Zweifel tritt hier der Fall ein, welchen Hr. Cagniard-Latour beobachtet hat [3]), indem er Aether in einer zugeschmolzenen Glasröhre einer hohen Temperatur aussetzte und dabei fand, dass bei 200° die Flüssigkeit bei einer Ausdehnung von weniger als dem Doppelten ihres ursprünglichen Volumens sich vollständig in Gas verwandelte. — Bei dem Wasser tritt dieser Fall erst bei der Hitze des schmelzenden Zinkes ein, also bei einer viel höheren Temperatur, wie es auch aus meiner Formel für die Abnahme der Cohäsion bei niedrigeren Temperaturen hervorgeht.

---

[1]) H. Frankenheim hat in neuester Zeit unsere Kenntniss über die Veränderungen der Cohäsion durch die Wärme mit einer neuen Untersuchung einer grossen Zahl von Flüssigkeiten bereichert. Poggendorff's Ann. der Physik LXXII. 1847. p. 177.

[2]) Berechnet nach der Formel

$$c = 5{,}35 - 0{,}028t.$$

[3]) Annales de Chimie et de Physique. XXI. p. 178.

Noch möchte ich ein interessantes Beispiel erwähnen eines kaum geahnten Zusammenhanges sehr verschiedener Erscheinungen mit den eben betrachteten Molecularkräften.

In einer schon im Jahr 1845 erschienenen Abhandlung [1]) zeigte Hr. Holtzmann, dass wenn man die Arbeit, welche der Wärme der Wasserdämpfe äquivalent ist, (die latente Wärme) vergleicht mit der Arbeit, welche bei der Dampfbildung in der That geleistet wird (d. h. mit der Spannkraft der Dämpfe), dass dann ein Rest von Arbeit oder lebendiger Kraft übrig bleibt, welche bei diesem Uebergange aus dem tropfbarflüssigen in den gasförmigen Zustand verloren geht, und die also zur Ueberwindung eines besondern Widerstandes verwendet werden muss; als solchen hat Hr. Holtzmann schon damals die Cohäsion der Flüssigkeit bezeichnet und gezeigt, dass wenn man die bei dem Uebergange aus dem einen Aggregatzustande in den andern verlorne Wärme als Maass dieser Cohäsion betrachtet, folgende Formel erhalten wird, welche die Abnahme der Cohäsion mit der Temperaturzunahme ausdrückt:

$$607 - 1{,}1394 \cdot t.$$

Hr. Holtzmann hat nun seit der Bekanntmachung meiner direkten Untersuchungen der Cohäsion des Wassers bei verschiedenen Temperaturen seine Formel auf die meinige reducirt [2]) indem er sie mit $\frac{15{,}33215}{607}$ multiplicirte, wodurch er erhielt $15{,}33215 - 0{,}028779 \cdot t$ während ich fand $15{,}33215 - 0{,}028649 \cdot t$.

Diese Uebereinstimmung der beiden Coëfficienten ist grösser als man erwarten dürfte, wenn man die Verschie-

---

[1]) Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe. Mannheim 1845.

[2]) Poggendorff's Annalen, LXXI. 1847. p. 463.

denheit der Methoden in Betracht zieht, durch welche diese Resultate erlangt wurden. Während man einerseits die Formel erhalten hat durch Bestimmung der Höhe bis zu welcher eine Flüssigkeit in engen Röhren sich erhebt, betrachtete man andrerseits die Erfahrungen, welche man über die Elasticität der Gase und Dämpfe und über die latente Wärme der letzteren gesammelt hatte: eine grössere Verschiedenheit der Untersuchungen gibt es auf den ersten Blick nicht, und doch haben beide auf dasselbe Resultat geführt.

Wir haben hier einen Beweis vor Augen für die oben angedeutete Meinung, dass ein inniger Zusammenhang der Molecularkräfte stattfinde, und zugleich ein Beispiel, wie eine analytische Behandlung jener Speculationen zu den interessantesten Resultaten führen kann.

Das Wort, welches Cuvier von den lebenden Naturwesen ausgesprochen hat, ist wohl noch allgemeiner richtig, als der grosse Mann geglaubt hat, denn es gilt auch für die Erscheinungen der sogenannten todten Natur:

»Tout se lie, tout se tient; chaque existence est enchaînée à une autre existence; et cette chaîne dont nous ne pouvons apercevoir que quelques anneaux imperceptibles, est infinie en longueur, en étendue, et en durée.«