

I. *Untersuchung über die Cohäsion der Flüssigkeiten; von C. Brunner, Sohn.*

E i n l e i t u n g.

Die Gesetze, nach welchen die Körpermassen in den größten Entfernungen auf einander einwirken, sind mit absoluter Schärfe bekannt; von der Kraft hingegen, welche die Theilchen ein und desselben Körpers an einander bindet, sind die Kenntnisse kaum aus dem Gebiete der Vermuthungen getreten, und während die Bahnen der Weltkörper, welche durch die Gravitation in ihrer ewigen Bewegung an einander gebunden sind, in allen denkbaren Combinationen sich mit der größten Schärfe berechnen lassen, sind wir nicht im Stande voraus zu bestimmen, wie die Kraft, mit welcher ein Wassertropfen an dem andern haftet, sich unter verschiedenen Umständen verhalte.

Der Grund dieser mangelhaften Kenntnisse der Cohäsionskraft liegt wohl darin, daß die meisten Erscheinungen, bei welchen die Cohäsion wirkt, durch eine Menge anderer Kräfte mitbedingt werden, deren Antheil es schwer hält von demjenigen der Cohäsion zu isoliren. Es giebt aber eine Klasse von Erscheinungen, welche ausschließlich durch die Kräfte bedingt sind, mit welchen die kleinsten Theilchen der Körper an einander haften, und ihre Untersuchung gestattet, Dank den Arbeiten der ausgezeichnetsten Mathematiker, diesen noch so mysteriösen Verhältnissen der Cohäsion uns mehr zu nähern, als vielleicht irgend ein anderer Theil der Physik.

Nachdem die Lehre von der Capillarität durch Montanari ¹⁾ die erste wissenschaftliche Begründung erhalten

1) *Geminiano Montanari. Pensieri fisico-matematici. Bologna 1667.*
Poggendorff's Annal. Bd. LXX. 31

hatte, wurden bis in die neueste Zeit fortwährend die hieher gehörenden Erscheinungen durch viele einzelne Beobachtungen bedeutend vermehrt. Sie blieben jedoch nur fragmentarisch, bis daſs Young ¹⁾ und Laplace ²⁾ sie durch umfassende Theorien vereinigten. In Bezug auf letztere Arbeit äufserte ein Berichterstatter im J. 1807: »*Lorsqu'une série nombreuse de phénomènes se trouve ramenée à une même cause naturelle, dont l'existence est incontestable, et qu'elle y est assujétie jusque dans ses plus petits détails au moyen d'un calcul rigoureux, elle sort du domaine de la physique vulgaire, et ne forme plus qu'un ensemble de vérités mathématiques; c'est ainsi que la théorie des phénomènes capillaires doit être considérée maintenant*« ³⁾.

Wirklich schien man jetzt geneigt, diese ganze Klasse von Erscheinungen durch diese Arbeiten als abgeschlossen zu betrachten, und unterliefs fernere Experimente, da man in denselben nichts als eine Bestätigung der Lehre von Laplace erwartete. Um so mehr fand dieses statt, nachdem Hr. Gauß durch die Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten ⁴⁾ und Poisson ⁵⁾ durch seine neue Theorie der Capillarität diese Lehre auf eine Stufe der mathematischen Entwicklung gebracht hatten, die nur wenige Theile der Physik einnehmen.

Bei der groſsen Aufmerksamkeit, welche die theoretischen Physiker den Capillarphänomenen geschenkt haben, sind der experimentellen Untersuchungen verhältniſsmäſsig

1) *An Essay on the Cohesion of Fluids. Philosophical Transactions* 1805.

2) *Sur l'action capillaire: Supplément au X livre du traité de mécanique céleste, und Supplément à la théorie de l'action capillaire.* Beide im *Traité de mécanique céleste, T. IV. Paris* 1805.

3) Biot, *Extrait du Supplément à la théorie de l'action capillaire. Journal de Physique, T. LXV. 1807. p. 95.*

4) *Principia generalia theoriae fluidorum in statu aequilibrü.* In den *Comment. soc. scient. Gottingensis, Vol. VII. 1829.*

5) *Nouvelle théorie de l'action capillaire. Paris* 1831.

nur wenige ausgeführt worden. Die große Genauigkeit, welche dieselben verlangen, wenn ihre Resultate als Prüfstein der mathematischen Deductionen angesehen werden sollen, mag der Grund seyn, warum Laplace sowohl, als auch Poisson, außer den wenigen von Gay-Lussac ausgeführten Experimenten, keine andern als Belege für ihre mathematischen Speculationen anführen.

Es ist nicht meine Aufgabe, die Formeln für die Capillaritätserscheinungen abzuleiten, eine Arbeit, welcher sich die größten Mathematiker der Zeit unterzogen haben. Aber für meine Untersuchung ist es von großer Wichtigkeit, die Kräfte zu kennen, durch welche diese Erscheinungen bedingt sind. Ich werde daher im Folgenden sowohl aus den theoretischen Arbeiten, als auch aus den experimentellen Untersuchungen, die hieher gehörenden Daten zu ziehen suchen.

Wenn ein flüssiger Körper mit einem festen in Berührung kommt, so wirkt letzterer auf den ersten vermöge der Anziehungskraft zwischen festen und flüssigen Körpern, welche man als *Adhäsion* bezeichnet, wofür Hr. Frankenheim den Ausdruck »Prosaphie« eingeführt hat ¹⁾. Vermöge dieser Kraft hat die Flüssigkeit das Bestreben, den festen Körper in's Unendliche zu überziehen. Ihr setzt eine Gränze: die *Cohäsion* (»Synaphie«, Frankenheim) des flüssigen Körpers, welche bewirkt, daß die Flüssigkeitstheilen, die das Bestreben haben den festen Körper zu überziehen, nur in sofern der Adhäsion folgen können, als sie eine ganze Masse der Flüssigkeit mit sich fortreißen. Wenn die Wirkung dieser Kräfte die Flüssigkeit über das Niveau zu erheben sucht, welches durch die Gesetze des hydrostatischen Gleichgewichts bedingt wird, so wird die Flüssigkeit so lange in die Höhe steigen, als drittens die *Schwere* es gestattet.

Durch Combination dieser drei Kräfte entsteht die Form der Flüssigkeitsoberfläche, welche einen aus der Flüssigkeit hervorragenden festen Körper berührt.

1) Die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835. S. 61.

Ist die Wirkung der Cohäsion gröfser als diejenige der Adhäsion, so wird die Oberfläche der berührenden Flüssigkeit convex, indem sich der feste Körper wie ein Widerstand verhält, der sich dem Bestreben der Flüssigkeit, das durch das hydrostatische Gleichgewicht bedingte Niveau anzunehmen, entgegensetzt. Die Flüssigkeit benetzt den festen Körper nicht.

Ueberwiegt hingegen die Adhäsion, so wird die Oberfläche der berührenden Flüssigkeit concav. Die Flüssigkeit benetzt den festen Körper.

Wendet man diese allgemeinen Betrachtungen auf die Erscheinungen in Capillarröhren an, so findet im ersten Falle, wo die Cohäsion überwiegt, Capillardepression statt; im zweiten, wo die Adhäsion gröfser ist, Ascension.

Laplace leitet nach seiner zweiten Methode ¹⁾ eine Formel für die Höhe ab, bis zu welcher die Flüssigkeit in Capillarröhren sich erhebt, welche wegen ihrer Einfachheit beinahe in allen Lehrbüchern der Physik aufgenommen ist. In dieser Formel

$$gD.V = (2\varrho - \varrho')c$$

ist $gD.V$ das Gewicht der gehobenen Flüssigkeitssäule ϱ und ϱ' sind Gröfsen, wovon erstere die Wirkung des Glases auf die Flüssigkeit, und letztere die Wirkung der Flüssigkeit auf sich selbst bezeichnet, c endlich der Umfang des Querschnittes der Röhre.

Die schon von Jurin ²⁾ beobachtete Erscheinung, dafs in einer Capillarröhre, deren unterer Theil so sehr erweitert ist, dafs er nicht mehr capillar ist, die Flüssigkeit eben so hoch steht, wie in einer cylindrischen Röhre, wenn nur die Stelle, wo der Meniscus steht, in beiden Röhren die nämliche Weite hat, verträgt sich nicht mit der Ableitung dieser Formel, bei welcher die anziehende Wirkung des unteren Randes der Capillarröhre gegen die darunter be-

1) *Second supplément au X^{me} livre de la mécanique céleste*, p. 14.

2) *Philosoph. Transact.*, No. 355, p. 739; nach: Musschenbroek, *Dissertatio de tubis capillaribus vitreis*. 1729. p. 309.

findliche Flüssigkeit gleich derjenigen angenommen ist, welche am oberen Ende der Flüssigkeitssäule wirkt.

Die Formel selbst enthält auch, wie ich sogleich nach Laplace's eigenen Betrachtungen darthun werde, eine Vorstellung, welche leicht zu einer ganz falschen Anschauungsweise der Capillarerscheinungen führt.

Nach dieser Formel ist die Capillarrhöhe bedingt durch den Ueberschufs der Adhäsion der Flüssigkeit gegen die Röhrenwand über die Cohäsion der Flüssigkeit selbst. Wie verträgt sich damit das Experiment? — Der Alkohol erhebt sich in ein und derselben Capillarröhre bei weitem nicht so hoch als das Wasser. Damit die Formel dieser Erscheinung entspreche, kann man zweierlei annehmen: entweder dafs 2ϱ (die Adhäsionskraft) beim Alkohol geringer als beim Wasser sey, oder zweitens, dafs ϱ' (die Cohäsionskraft) beim Alkohol gröfser sey als beim Wasser. Beide Annahmen sind unhaltbar. Obgleich wir kein Mittel haben, die Adhäsionskraft isolirt zu beobachten, so scheinen doch einige Erscheinungen geeignet, Aufschluß über die relative Adhäsionskraft der beiden Flüssigkeiten zu geben. Wenn man nämlich auf einen mit Wasser befeuchteten festen Körper einen Tropfen Alkohol bringt, so verbreitet sich dieser über die Oberfläche, indem er sichtlich das Wasser zurückdrängt, was dafür spricht, dafs die Adhäsion des Alkohols, entgegengesetzt jener Annahme, gröfser ist als die des Wassers ¹⁾.

Es bleibt nur noch die Annahme übrig, dafs ϱ' (die Cohäsionskraft) beim Alkohol gröfser sey als beim Wasser. Die Methode, welche am directesten einen Vergleich der Cohäsionskraft verschiedener Flüssigkeiten darbietet, ist

1) Wenn auch die gegenseitige Abstofsung des Alkohols und Wassers, welche nach den hübschen Versuchen von J. Mile (Poggend. Annal. Bd. 45, 1838, S. 521) angenommen werden muß, nicht verwechselt werden darf mit dem Verhalten der beiden Flüssigkeiten gegen den festen Körper, so geht doch, wie aus oben angeführtem Versuche, so auch aus allen Versuchen von Mile hervor, dafs Alkohol eine größere Adhäsion zum Glase hat als Wasser.

die der Adhäsionsscheiben, durch welche wir die Kraft messen, welche nothwendig ist, um die Flüssigkeitstheilchen von einander zu trennen: es findet sich nun, daß eine viel bedeutendere Kraft dazu gehört, ein und dieselbe Scheibe von Wasser zu reißen, als von Alkohol, was unmittelbar beweist, daß die Cohäsionskraft des Wassers größer ist, als die des Alkohols. Also auch diese Betrachtung widerspricht jener Formel, welche überhaupt die fehlerhafte Annahme enthält, daß der Fall eintreten kann, wo mit Zunahme der Cohäsion die Capillarrhöhe fällt.

Betrachten wir den Vorgang bei den Erscheinungen der Capillarasension, so ergibt sich, daß vermöge der Adhäsion ein unendlich dünner Ueberzug von Flüssigkeit die Röhrenwand überkleidet ¹⁾, und erst dieses Flüssigkeitsröhrchen hebt die ganze innere Säule vermöge der Cohäsion, wie schon Laplace dargethan hat (*Supplément au X^{me} livre de la mécanique céleste*, p. 9): „*Si l'intensité de l'attraction du tube sur le fluide surpasse celle de l'attraction du fluide sur lui-même, il me paraît vraisemblable qu'alors le fluide, en s'attachant au tube, forme un tube intérieur qui seul élève le fluide dont la surface est concave et celle d'une demi-sphère. On peut conjecturer avec vraisemblance, que ce cas est celui de l'eau et des huiles, dans les tubes de verre.*“ (Ferner: *Supplément à la théorie de l'action capillaire*, p. 15 und p. 71.)

Wenn also die gehobene Flüssigkeitssäule von einer Flüssigkeitsröhre getragen wird, so kommt bei Beurtheilung der Höhe, bis zu welcher eine benetzende Flüssigkeit in Capillarröhren sich erhebt, die Adhäsion nicht mehr in Betracht, und jene Bedingungen für die Form im Allgemei-

1) Poisson, *Nouvelle théorie*, p. 105: „*On doit conclure que quand l'attraction du tube sur le liquide l'emporte sur l'attraction propre du liquide, une couche de ce fluide, d'une épaisseur aussi petite que l'on voudra, s'élève au-dessus de la surface capillaire, le long de la paroi du tube et jusqu'à son extrémité supérieure. Dans ce cas, on pourra remplacer la paroi du tube par une surface cylindrique, tracée dans l'intérieur du liquide et indéfiniment prolongée au-dessus et au-dessous de la surface capillaire.*“

nen, welche die Oberfläche der Flüssigkeit in Berührung mit einem festen Körper annimmt, findet bei Bestimmung der Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeit in Capillarröhren steigt, nicht mehr statt. Poisson hat daher diese ganze Betrachtungsweise von Laplace nicht aufgenommen. Laplace selbst führt sie nur anhangsweise an, und durch eine geschickte Wendung führt er die Formel $(2\rho - \rho')c$ auf einen Ausdruck zurück, welchen er aus der Wirkung des Meniscus abgeleitet hat ¹⁾, so daß seine Betrachtungsweise keinen weiteren Einfluß auf seine Theorie der Capillarattraction ausübt. Clairaut ²⁾ hingegen beging den Fehler, eine solche Formel für die Capillarrhöhe anzuwenden, in welcher die Wirkung der Röhre auf die Flüssigkeit enthalten ist, aber eben wegen dieses Fehlers hat Clairaut, wie Poisson bemerkt ³⁾, nur den Weg eröffnet und nicht das Experimentalgesetz ableiten können.

In den meisten Lehrbüchern der Physik ist nur allein jene, oben angeführte Betrachtungsweise von Laplace aufgenommen, und somit entlehnt man gewöhnlich von den schönen Untersuchungen des großen Mathematikers keineswegs den Glanzpunkt der *Théorie de l'action capillaire*; denn ich glaube, nach dem Angeführten, keinen Anstand nehmen zu dürfen, die Unhaltbarkeit dieser Auffassungsweise auszusprechen.

Wenn also die Kräfte, welche die Höhe bedingen, bis zu welcher die Flüssigkeiten in Capillarröhren steigen, nur Functionen der Cohäsion und des specifischen Gewichtes sind, so sind die Erscheinungen in Capillarröhren durch die nämlichen Ursachen bedingt, welche die Kraft bestimmen, mit welcher benetzbare Scheiben von Flüssigkeiten abgerissen werden. Gestützt darauf, theilt Poisson eine Formel mit, zur Reduction der Capillarrhöhe auf das Gewicht, welches nothwendig ist, um Scheiben von be-

1) *Second supplément*, p. 17.

2) *Théorie de la figure de la terre*. Paris 1743. Chap. X.

3) *Nouvelle théorie de l'action capillaire*. Préambule, p. 2.

stimmter Größe benetzt von der Flüssigkeit abzureißen ¹⁾, eine Formel, deren Berechnung vollkommen zu den nämlichen Resultaten führt, wie die von Hrn. Gay-Lussac angestellten directen Versuche, wodurch die Richtigkeit der Ansicht, von welcher Poisson ausgegangen ist, vollkommen dargethan wird.

Nicht allein auf theoretischem, sondern auch auf experimentellem Wege ist man zu dem Schlusse gelangt, daß das Material des festen Körpers keinen Einfluß auf die Höhe hat, bis zu welcher die Flüssigkeit sich an demselben erhebt, in sofern nur der feste Körper von der Flüssigkeit vollständig benetzt wird. Hr. Oersted hat mit einer eigenen Vorrichtung, welche ihm gestattet die Capillarscheinungen auch bei undurchsichtigen Körpern zu studiren, gefunden, daß die Capillarität des Wassers in Glas und in amalgamirtem Kupfer gleich groß ist ²⁾. In neuester Zeit hat Hr. Hagen die Ascension des Wassers an Scheiben von Buxbaum, Thonschiefer und Glas beobachtet, und gefunden, daß die Erhebung der Oberfläche jedesmal mit der an einer Messingscheibe beobachteten so genau übereinstimmt, daß die sehr geringen Abweichungen nur als Folge der Beobachtungsfehler angesehen werden müssen ³⁾.

Wenn auf diese Weise dargethan ist, daß die Materie des festen Körpers auf die Capillarahöhe keinen Einfluß ausübt, so ist dieses eine fernere Bestätigung der theoretischen Betrachtung, daß überhaupt die Adhäsion bei Be-

1) *Nouvelle théorie*, p. 234.

2) Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. 1840. Bd. 53, S. 614, aus: *Oversigt over det kongelige danske Videnskubernes Selskabs Forhandling og dets Medlemmers Arbeider i Aaret 1840*. — Eine Abbildung des Apparates findet sich in: Buys-Ballot, *Disquisitio physica inauguralis de Synaphia et Prosaphia. Trajecti ad Rhenum* 1844.

3) G. Hagen: Ueber die Oberfläche der Flüssigkeiten. Eine in der Königlichcn Academie der Wissenschaften gelesene Abhandlung. Berlin 1845. S. 27. (Auch dies. Ann. Bd. 67, S. 1 und S. 152.)

urtheilung der Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeiten in Capillarröhren steigen, nicht in Betracht komme ¹⁾).

Wir finden also in diesen Erscheinungen ein Mittel, die Cohäsion der flüssigen Körper beinahe unmittelbar zu studiren. Sie führen zu der Ansicht, daß die Cohäsion selbst keine einfache Kraft ist; aber die Betrachtung dieser Kraft bewegt sich bis jetzt noch in jenem Gebiete der Vermuthungen, welche nur als einstweiliges Hülfsmittel zum Verständniß der Erscheinungen angesehen werden dürfen.

Die Cohäsion wird betrachtet als das Resultat der Molecularkräfte, und diese sind zusammengesetzt aus einer Molecularanziehung und einer in entgegengesetzter Richtung wirkenden Kraft, die man als Molecularabstoßung, oder, nach Poisson's Ausdruck, als »Abstoßung der Wärme« bezeichnet. Die hierher gehörende Stelle in dessen Werke lautet ²⁾:

1) Mit der Betrachtungsweise der Capillar-Erscheinungen, wie sie aus dem oben Entwickelten hervorgeht, stimmen auffallenderweise Ansichten überein, welche schon im 17ten Jahrhundert sich bei Montanari finden, jedoch, wie es scheint, später unbeachtet blieben. Er sagt in seinen *Pensieri fisico-matematici*, Bologna 1667, p. 30: „*Abbiamo fatti lunghi essami, per riconoscere in qual proportione rispondessero frà di loro le viscosità di diversi liquidi, ed altre particolarità, e da questa adesione delle parti frà loro nasce, che non puo facilmente muoversi una-d'esse, che seco non ne tragga molt' altre, che per tal cagione a lei s'attaccano.*“ In Bezug auf die erste Ursache der Erhebung der Flüssigkeit an einem festen Körper sagt er p. 35: „*I liquidi quasi invisibilmente sormontano lungo le sponde dei vasi a molta altezza, ungendole, per così dire, sottilissimamente ma perche hanno le particole acquee questa viscosità fra loro, ne segue, che nell' ascendere presso la sponda le prime di loro sono seguitate da tanta copia d'altre con esso loro invischiate, che in vece di stendersi in sottil velo, come dicemmo, più tosto a forma di cuneo, o bietta lungo la sponda in poca altezza rimangono.*“ In Bezug auf die Ursache, welche die Höhe bestimmt, bis zu welcher die Flüssigkeit in Capillarröhren sich erhebt, sagt er p. 36 „*Allora le particole non più alto salgono quando sono in equilibrio queste forze, cioè quando le particole, che toccano la sponda sono pervenute a quell' altezza, ove maggior mole d'acqua non possino con la viscosità loro sustinere in quel cuneo.*“

2) *Nouvelle théorie*, p. 267.

» Toutes les parties de la matière sont soumises à deux sortes d'actions mutuelles. L'une de ces forces est attractive, . . . et produit la pesanteur universelle et tous les phénomènes qui sont du ressort de la mécanique céleste. L'autre est en partie attractive et en partie répulsive; elle dépend de la nature des molécules et de leur quantité de calorique. On attribue la partie attractive à la matière pondérable, et la partie répulsive au calorique; et, en effet, celle-ci change d'intensité, quoique le poids des molécules n'ait pas changé. L'excès de l'une sur l'autre est ce qu'on appelle proprement la force moléculaire. Elle tend à rapprocher ou à écarter les molécules, selon que l'action de la matière pondérable est plus grande ou moindre que l'action calorifique.«

Die erstere Kraft, die Molecularanziehung, folgt wahrscheinlich den Gesetzen der Gravitation, denn sie ist eine reine Wirkung der Massen. Die entgegengesetzt wirkende Kraft folgt Gesetzen, die bisher noch unbekannt sind. Nur so viel ist bekannt, daß sie sich mit der Temperaturerhöhung bedeutend verstärkt, aber mit der Entfernung der Molekel außerordentlich schnell abnimmt. Sie ist der Wirkung einer Feder zu vergleichen, welche die Molekel aus einander hält, und deren Elasticität mit der Temperaturerhöhung wächst, die Spannung aber mit der gegenseitigen Entfernung der Molekel schnell abnimmt. Sie ist, nach der alten Annahme eines Wärmestoffs, die Repulsionskraft dieses Stoffes, oder, nach der Ampère'schen Theorie, der lebendigen Kraft der Aetherschwingungen proportional. Ihre Gesetze sind bis jetzt nur bei den Gasarten untersucht, wo die Wirkung der Molecularanziehung unendlich klein ist, und alle Erscheinungen vorzüglich durch die Repulsionskraft bedingt sind ¹⁾. Diese ist es aber auch, welche die Ausdehnung der Körper durch Wärme und alle jene physikalischen Erscheinungen bei Volumenveränderung bedingt,

1) Der Beweis, daß jedoch selbst bei den Gasarten der attractorische Theil der Molecularkräfte noch einen, wenn gleich geringen, Einfluß ausübt, ist der Umstand, daß das Mariotte'sche Gesetz nur annähernd richtig ist.

in denen man bis jetzt vergeblich bestimmte Gesetze gesucht hat: vergeblich, weil man den Antheil der Repulsionskraft nicht trennen konnte von demjenigen der Molecularattraction.

In den Analysen der Capillarerscheinungen nahm man eben so wenig diese Trennung vor, obgleich wohl die Wirkung beider Kräfte anerkannt war. Man konnte diese Trennung um so eher vernachlässigen, als zu all' den gewöhnlich beobachteten Erscheinungen die Betrachtung der aus beiden Kräften Resultirenden vollkommen hinreichte. Laplace sowohl, als auch Poisson nehmen im Calcul nur allein auf diese Resultirende Rücksicht, welche Poisson schlechthin »*force moléculaire*« nennt. Sie betrachten dieselbe als, unter jeden Umständen, constant oder nur allein den Veränderungen unterworfen, welche mit der Entfernung der Molekel eintreten, und halten die Veränderung, welche die Repulsionskraft erleidet, für so unbedeutend, dafs sie dieselbe vernachlässigen.

Es soll die Hauptaufgabe dieser Arbeit seyn, zu zeigen, dafs bedeutende Veränderungen im Verhältnifs der beiden Componenten eintreten, so dafs die Erscheinungen nicht mehr mit der Berechnung übereinstimmen, welche auf jener Voraussetzung der Constanz der Resultante der anziehenden und abstofsenden Kraft, der »*force moléculaire*« beruhen.

Ein Mittel, um zu erreichen, dafs die beiden Kräfte in ungleichen Verhältnisse sich verändern, bietet uns die Erhöhung der Temperatur dar: Während durch den Temperaturwechsel die Molecularanziehung nur in sofern eine Veränderung erleidet, als die Dichtigkeit eine andere wird, vermehrt oder vermindert sich die Intensität der Repulsionskraft in einem so grofsen Maafsstabe, dafs sie nicht mehr im unveränderlichen Verhältnisse zu der attractorischen Componente steht.

**Ansichten von Laplace und Poisson über die Veränderung
der Cohäsion durch Temperaturveränderung.**

Schon Laplace und später Poisson kamen durch ihre Ansichten über das Wesen der Molecularkräfte zu dem Schlusse, daß eine Veränderung der Temperatur keinen andern Einfluß auf die Flüssigkeiten ausübe, als daß sie eine Veränderung der Dichtigkeit bewirken.

Laplace sagt in dieser Beziehung ¹⁾: *„L'élévation d'un fluide qui mouille exactement les parois d'un tube capillaire, est, à diverses températures, en raison directe de la densité du fluide*, und Hr. Biot bemerkt zu diesem Satze ²⁾: *„cela se trouve d'accord avec les observations de M. le comte de Rumford*,“ welche ich aber leider nirgends finden konnte.

Poisson ³⁾, von der Formel ausgehend:

$$h = \frac{\pi}{4g\varrho\alpha} \int_0^\infty Rr^4 dr,$$

— worin h die Höhe, g das Gewicht, ϱ die Dichtigkeit der Flüssigkeit bezeichnet, welche in einer Capillarröhre von einem Radius $=\alpha$ gehoben wird, R endlich die gegenseitige Wirkung der Molecüle bei einem Abstände $=r$ bezeichnet, — sagt: *„Supposons que la température change, et que h , ϱ , R , deviennent h' , ϱ' , R' ; on aura de même*

1) *Mécanique céleste. Paris 1805. T. IV. Second supplément au X livre (Supplément à la théorie de l'action capillaire), p. 39.*

Hr. Muncke sowohl (Gehler's physik. Wörterb., Bd. 5, Abth. 2, S. 49 u. 58), als auch Hr. Frankenheim (Erdmann's und Marchand's Journ. f. pract. Chemie, Bd. 23, 1841, S. 404) schieben Laplace die sehr fehlerhafte Ansicht unter: „daß die Höhe der Capillarsäule dem spec. Gew. *umgekehrt* proportional sey und mit der Zunahme der Temperatur steige.“ — Woher die beiden Physiker diese Aeußerung schöpfen, ist mir unbekannt. Das oben angeführte Citat aus Laplace's Werke ist die einzige Aeußerung, welche ich über das Verhalten der Capillarität bei verschiedenen Temperaturen gefunden habe. — Dasselbe spricht aber gerade die entgegengesetzte Proportionalität aus.

2) *Extrait du Supplément à la théorie de l'action capillaire par Biot. — Journal de Physique, T. LXV. Juillet. 1807. p. 92.*

3) *Nouvelle théorie de l'action capillaire, p. 106.*

$$h' = \frac{\pi}{4g\varrho'\alpha} \int_0^\infty R' r^4 dr,$$

en négligeant la petite variation de α qui pourra avoir lieu. Or quant la densité augmente ou diminue, le nombre des molécules que renferme chaque unité de volume, varie suivant le même rapport; par cette raison la quantité R , qui représente l'action mutuelle de deux unités de volume du liquide, devra varier dans le rapport du carré de la densité. D'ailleurs, la force attractive de deux molécules ne change pas avec leur température, mais seulement leur répulsion mutuelle, qui dépend de la quantité de chaleur qu'elles contiennent. La première de ces deux forces étant prépondérante dans la valeur de $\int_0^\infty R r^4 dr$, si l'on fait abstraction de la variation de la seconde, il suffira donc de faire

$$R' = \frac{R \varrho'^2}{\varrho^2}.$$

et en comparant l'une à l'autre les valeurs précédentes de h et h' , on aura

$$h' = \frac{h \varrho'}{\varrho}.$$

L'expérience montre, en effet, que pour un même liquide à différentes températures, l'élévation du point le plus inférieur du ménisque croît proportionnellement à la densité; ce qui donne lieu de croire que la force répulsive de la chaleur, ou du moins sa variation, que nous avons négligée, n'a qu'une influence insensible sur l'intégrale

$$\int_0^\infty R r^4 dr. \text{ — }$$

Die Experimente, von welchen Poisson spricht, werden nicht weiter angeführt. Zwei Beobachtungen bei 8°,5 und 16° von Hrn. Gay-Lussac, welche an andern Stellen in Poisson's Werke angeführt sind ¹⁾, wurden nicht mit dem Zwecke angestellt, den Einfluss der Temperatur zu untersuchen, und können auch wegen ihres allzugeringen Intervalls nicht zur Prüfung des Gesetzes dienen, nach welchem die Cohäsion sich verändert.

1) *Nouvelle théorie de l'action capillaire.* 1831. p. 112. und p. 181.

Andere hieher gehörende Untersuchungen.

Von älteren hieher gehörenden Versuchen finde ich zunächst eine Arbeit von Achard ¹⁾, welcher, wie er sagt, »in der Absicht, das Verhältniß der Cohäsion des Glases mit verschieden erwärmtem Wasser zu bestimmen,« das Gewicht beobachtete, das nothwendig war, um eine Glasplatte von Wasser bei verschiedenen Temperaturen abzureißen. Durch diese Experimente erreichte jedoch Achard nicht seinen Zweck, denn was er beobachtete war keineswegs der Zusammenhang des Wassers mit dem Glase, welches letztere ja nach dem Abreißen benetzt blieb, sondern er bestimmte dadurch die Cohäsion des Wassers bei verschiedenen Temperaturen, und führte somit das nämliche Experiment aus, welches man durch Beobachtung der Capillarlhöhe bei verschiedenen Temperaturen erreicht. — Obgleich Achard's Versuche keineswegs die Genauigkeit darbieten, welche die Aufstellung physikalischer Gesetze erheischt, so zeigen dennoch seine Resultate Abweichungen vom Poisson'schen Gesetze, welche kaum Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden können.

Nach der Ansicht einiger Physiker über die Kräfte, welche die Ausflugschwindigkeit von Flüssigkeiten aus Capillarröhren bedingen, möchten die Versuche darüber bei verschiedenen Temperaturen hieher gehören. Solche hat schon Gerstner ²⁾ angestellt, welcher fand, daß erwärmtes Wasser bedeutend schneller ausfließe, als kaltes. Bei Betrachtung seiner sorgfältig ausgeführten Versuche scheint die Temperatur der geringsten Geschwindigkeit nicht diejenige der größten Dichtigkeit, sondern die des schmelzenden Eises zu seyn.

Sehr genaue Versuche über den Ausfluß von Flüssig-

1) Achard, Chemisch-physische Schriften. Berlin 1780. S. 358.

2) Neue Abhandlungen der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, Bd. 3. Prag 1798. Daraus in Gilbert's Annalen der Physik, Bd. 5. J. 1800. S. 160.

keiten aus Capillarröhren hat später Girard ¹⁾ ausgeführt, und ist im Allgemeinen zu den nämlichen Resultaten gelangt, wie Gerstner. Girard glaubt, daß die bedeutenden Unterschiede, welche bei ungleichen Temperaturen in der Ausflufsgeschwindigkeit stattfinden, davon herrühren, daß eine flüssige Schicht von merklicher Dicke sich an der Röhrenwand festhalte, wodurch der wahre Durchmesser des Kanals, aus dem das Ausfließen stattfindet, verringert werde: Da, nach Girard, die Bildung dieser Schicht in der Anziehung der Röhrenwand gegen die Flüssigkeit ihren Grund haben soll, so ist die verzögernde Wirkung um so bedeutender, je größer die Dichtigkeit der Flüssigkeit ist, und somit schreibt er die Wirkung einer erhöhten Temperatur auf die Ausflufsgeschwindigkeit der verminderten Dichtigkeit zu. Aber diesem widersprechen seine eigenen Versuche, denn während von 4° bis 0° die Dichtigkeit des Wassers abnimmt und somit ebenfalls die Verzögerung geringer werden sollte, geht aus Girard's Versuchen im Gegentheil hervor, daß der Ausfluß bei 0° mehr verzögert ist als bei 4°.

Hr. Frankenheim glaubt ²⁾, daß die Ausflufsgeschwindigkeit verschiedener Flüssigkeiten aus Capillarröhren in directem Verhältniß zur Synaphie stehe, d. h. je größer die Synaphie, desto schneller der Ausfluß sey, was in sofern mit den Beobachtungen übereinstimmt, als z. B. Alkohol, der eine geringere Synaphie hat, langsamer ausfließt als Wasser. Aber schon das Resultat, daß Salpeterlösung schneller ausfließt als Wasser, während diese Lösung in Capillarröhren nicht so hoch steht als reines Wasser ³⁾, verträgt sich nicht mit dieser Betrachtungsweise. Vor Allem

1) *Mémoires de l'Académie*. 1816. I, p. 186—276. Ein Auszug davon in *Annales de Chimie et de Physique*, T. I, 1816, p. 436, und T. IV, 1817, p. 146.

2) Die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835. S. 220.

3) Girard, *Annales de Chimie et de Physique*, T. IV, 1817, p. 155 und 156.

aber widerspricht ihr die Art der Einwirkung der Wärme: während nämlich eine Temperaturerhöhung die Synaphie vermindert, wird durch sie die Ausflusgeschwindigkeit gröfser.

Ganz besonders wichtig ist eine von Hrn. Dr. Poiseuille ¹⁾ über Ausflusgeschwindigkeit von Gemengen von Wasser und Alkohol angestellte Versuchsreihe, worin er gleichzeitig die Höhe beobachtete, bis zu welcher diese Gemenge in ein und derselben Capillarröhre stiegen. Die Capillarröhe, welche beim absoluten Alkohol am geringsten ist, wächst in demselben Verhältnifs, als der Gehalt an Wasser zunimmt. Anders verhält sich die Ausflusgeschwindigkeit: beim absoluten Alkohol ist sie etwas geringer als beim Wasser, nimmt dann, auffallenderweise, bei Verdünnung mit Wasser ab, bis sie ein Minimum erreicht, von welchem aus sie bei fortgesetzter Verdünnung mit Wasser wieder zunimmt. — Diese mit grofser Sorgfalt ausgeführten Versuche liefern den schlagendsten Beweis, dafs Cohäsion und Ausflusgeschwindigkeit ganz verschiedenen Gesetzen folgen.

Die Ausflusgeschwindigkeit von Flüssigkeiten aus Capillarröhren ist offenbar ein sehr complicirtes Phänomen. Schon die Beobachtung von Du Buat ²⁾, dafs bei gleichem Drucke die Flüssigkeiten langsamer aus einem Haarröhrchen fliessen als aus einer Oeffnung von gleichem Durchmesser, welche in einer dünnen Platte angebracht ist, und dafs diese Verzögerung mit der Länge der Capillarröhre zunimmt, beweist, dafs die Erscheinung von der Adhäsion der Flüssigkeit gegen die Röhrenwand abhängt. Ebenso weist darauf hin die Beobachtung von Lehot ³⁾, dafs die Flüssigkeiten, de-

1) Experimentelle Untersuchungen über die Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren von sehr kleinem Durchmesser. — Poggend. Annalen der Physik und Chemie, Bd. 58, 1843, S. 437. — *Annales de Chimie et de Physique*, Ser. III, T. VII, p. 50.

2) *Principes d'Hydraulique vérifiés par un grand nombre d'expériences*. 1786.

3) Gilbert's Annalen, Bd. 65, 1820, S. 64. — *Annales de Chimie et de Physique*, T. XIII, 1820, p. 5. Auszüge aus einer besonderen Schrift: *Observations sur l'écoulement des fluides*. Paris 1819.

deren Oscillationen in heberförmigen Röhren mehr verzögert werden, — eine Erscheinung, die offenbar von der Reibung gegen die Wand abhängt, — auch diejenigen sind, welche langsamer ausfließen.

Auf die Abhängigkeit der Ausflufsgeschwindigkeit von der Adhäsion weist auch die Betrachtung von Hrn. Hagen ¹⁾, »dafs nicht ein Wassercylinder, sondern ein Wasserkegel aus der engen Röhre trete.«

Wenn auch noch eine eigenthümliche Eigenschaft der flüssigen Körper, welche ihre Klebrigkeit genannt werden kann, auf die Ausfluferscheinungen einwirkt, wie die Versuche von Schübler ²⁾ und Dollfuß ³⁾ beweisen, so ist doch jedenfalls die Ausflufsgeschwindigkeit aus Capillarröhren auch eine Function der Adhäsion, so dafs mit Abnahme der Adhäsion die Ausflufsgeschwindigkeit steigt. Dagegen scheint sie weniger mit der Cohäsion in Beziehung zu stehen, wie schon oben (S. 496) angedeutet wurde, und was der interessante Versuch von Girard ⁴⁾ beweist, dafs nämlich Quecksilber, welches die Wände der gläsernen Capillarröhre nicht benetzt, bei jeder Temperatur gleich schnell ausfließt. Ich glaube deshalb, dafs die Versuche über Ausflufsgeschwindigkeit aus Capillarröhren bei Untersuchung der Veränderung, welche die Cohäsion durch die Temperatur erleidet, nicht in Betracht gezogen werden dürfen.

Versuche mit Capillarröhren bei verschiedenen Temperaturen stellte in neuerer Zeit Emmet an ⁵⁾. Er selbst machte jedoch später auf die Ungenauigkeit seiner Beobachtungen aufmerksam ⁶⁾, so dafs Poisson keine Rücksicht darauf nehmen konnte.

1) Ueber die Beweglichkeit des Wassers in engen cylindrischen Röhren. — Poggend. Ann. der Physik und Chemie, Bd. 46, 1839, S. 433.

2) Erdmann, Journ. f. techn. u. oeconom. Chemie, Bd. 2, 1828, S. 349.

3) *Bulletin de la société industrielle de Mulhausen*, No. 21, p. 14 bis 32, und Erdmann, Journ., 1833, Bd. 16, S. 226 und 233.

4) *Annales de Chim. et de Phys.*, T. IV, 1817, p. 159.

5) *The philosophical Magazine*, Vol. I, 1827, p. 117.

6) c. l. p. 332.

Auch Hr. Frankenheim führt Versuche an ¹⁾, welche er mit Weingeist bei verschiedenen Temperaturen angestellt hat, und deren Resultat dahin geht, daß die Abnahme der Synaphie bei erhöhter Temperatur nur sehr gering sey.

Erst nach Beendigung meiner Versuche kam mir die lehrreiche Arbeit von Hrn. Sondhaufs zu Gesicht, durch welche er sich im J. 1841 die Doctorwürde erwarb ²⁾, und ebenso ein Auszug davon durch Hrn. Frankenheim ³⁾. In dieser Arbeit behandelt Hr. Sondhaufs den nämlichen Gegenstand, welchen ich mir als Aufgabe gestellt hatte. — Ich würde mir einen Vorwurf machen, diese Arbeit nicht gekannt zu haben, wenn nicht andere Physiker, die sich eben so speciell mit diesem Gegenstande beschäftigt haben, in dem nämlichen Falle gewesen wären, und keineswegs die Resultate des Hrn. Sondhaufs allgemein angenommen würden.

So finde ich in einer gelehrten Dissertation von Buys-Ballot ⁴⁾, worin er eine sehr lehrreiche Zusammenstellung der bisherigen Kenntnisse der Capillarerscheinungen liefert, jene Sondhaufs'sche Arbeit nicht erwähnt. Er selbst stellt Versuche mit Adhäsionsscheiben zur Ermittlung des Verhaltens der Cohäsion der Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen an, ohne jedoch aus diesen Versuchen irgend eine Folgerung zu ziehen.

Artur, ein französischer Physiker, welcher ebenfalls in neuerer Zeit diesen Gegenstand behandelte ⁵⁾, scheint eben so wenig die Sondhaufs'sche Arbeit gekannt zu ha-

1) Lehre von der Cohäsion, S. 86.

2) *Dissertatio de vi quam calor habet in fluidorum capillaritatem. Prastislaviae MDCCCXLI.*

3) Erdmann und Marchand, Journ. f. pract. Chemie, Bd. 23, J. 1841, S. 401.

4) *Dissertatio inauguralis de Synaphia et Prosaphia. Trajecti ad Rhenum. MDCCCXLIV.*

5) Artur, *Théorie élémentaire de la capillarité. Paris 1842.*

ben. Beim Durchlesen seines Werkes fand ich mitten in einer Masse von Beobachtungen und Betrachtungen einige speciell hierher gehörende Resultate ¹⁾, welche er durch eigene Beobachtungen mit Capillarröhren erlangt hat. Er findet, daß sich die Capillarrhöhe proportional der Temperatur vermindere. Da er seine Methode nicht angiebt, läßt sich über die Zuverlässigkeit derselben nichts entscheiden. Seine Zahlen stimmen weder mit den Sondhaufs'schen noch den meinigen.

Hr. Becquerel führt Versuche an ²⁾, welche er gemeinschaftlich mit Hrn. Edmond Becquerel mit Adhäsionsscheiben und Wasser zwischen 12° C. und 73° angestellt hat. Er fand, daß während die Dichtigkeit durch diesen Temperaturunterschied nur um $\frac{2}{100}$ sich vermindere, das Gewicht, welches nothwendig ist, um die Platten abzureißen, um den vierten Theil seines Werthes kleiner werde.

Was mir vor Allem den Beweis lieferte, daß meine Arbeit nicht überflüssig sey, war eine Bemerkung, die ich in einer der gelehrtesten Abhandlungen, welche über die Capillarerscheinungen in neuerer Zeit bekannt gemacht wurden, gelesen habe ³⁾: »Einige Temperaturveränderung, und selbst die Abkühlung bis zum Gefrierpunkte ließen (beim Wasser) gar keinen Einfluß auf die Capillarerscheinung bemerken« — während ich wohl sagen kann, daß mir die Capillarrhöhe jeden Temperaturgrad anzeigte.

Es möchte daher nicht überflüssig seyn, noch einmal auf diesen Gegenstand zurückzukommen, und ich nehme um so weniger Anstand meine, unabhängig von den Sondhaufs'schen Versuchen, erhaltenen Resultate zu veröffentlichen, als ich eine andere Methode angewandt habe, die

1) Artur, *Théorie élément. de la capillarité*. Paris 1842. p. 104.

2) M. Becquerel, *Traité de Physique*. Paris 1844. T. II, p. 243.

3) G. Hagen, über die Oberfläche der Flüssigkeiten. Eine in der Königl. Academie der Wissenschaften gelesene Abhandlung. Berlin 1845. S. 39. (diese Ann., Bd. 67, S. 1 und 152.).

eine gröfsere Genauigkeit erlaubte als die SONDHAUFS'sche, und deshalb auch etwas abweichende Resultate lieferte, wenn auch im Allgemeinen die von SONDHAUFS gefundenen Thatsachen bestätigte. Aber auch die Ueberzeugung, dafs jede Bestätigung interessanter Thatsachen, namentlich bei so subtilen Untersuchungen, wie die hierhergehörenden sind, als eine Bereicherung für die Wissenschaft angesehen werden mufs, veranlafste mich, meine Arbeit zu vollenden.

Methode zur Bestimmung der Cohäsion der Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen.

Die Bestimmung der Cohäsion von Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen ist, so einfach sie auch erscheinen mag, mit grofsen Schwierigkeiten verknüpft, wenn man Resultate bezweckt, auf die man sich nur einigermafsen verlassen kann.

Als ich noch mit der Prüfung meiner Methode beschäftigt war, legte Herr HAGEN der hiesigen Academie der Wissenschaften im Mai des Jahres 1845 seine interessante Abhandlung über die Capillarerscheinungen vor. Er bespricht darin die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Cohäsion. Meine besondere Aufmerksamkeit erregte eine Aeußerung auf S. 21 ¹⁾: »In Capillarröhren läfst sich die Erhebung der Oberfläche mit keiner grofsen Schärfe messen, und überdies ist die genaue Ermittlung der Röhrenweite gleichfalls sehr schwierig.« Die Ermittlung des inneren Durchmessers der Röhre durch Bestimmung des Gewichts einer sie füllenden Quecksilbersäule scheint mir indess, wie alle physikalischen Experimente, welche auf die Anwendung des genauesten Instrumentes, der Wage, zurückgeführt werden können, mit der gröfsten Sicherheit ausführbar, wenigstens wenn man calibrirte Röhren anwendet. Diefs bestätigen auch die Bestimmungen von Hrn. GAY-LUSSAC, welcher bei seinen Versuchen über Capillarasension den Radius der Röhren bis auf den $\frac{1}{100,000}$ Theil ei-

1) Diese Annalen, Bd. 67, S. 24.

nes Millimeters anzugeben vermag ¹⁾), um die Richtigkeit der Poisson'schen Formeln zu beweisen. Hr. Hagen beobachtete die Ascension zwischen zwei parallelen Messingplatten, wobei, wie er selbst erwähnt, es vorzugsweise darauf ankam, die beiden Scheiben möglichst parallel zu einander aufzustellen und ihren Abstand genau zu ermitteln, was der Verfasser dadurch zu erreichen suchte, daß er eine dritte Scheibe, deren Dicke überall gleich und genau bestimmt war, dazwischen brachte. Die Höhe der gehobenen Flüssigkeit beobachtete er dadurch, daß er eine bewegliche Stahlspitze, welche mit einem Maafsstabe in Verbindung stand, von oben bis auf die Oberfläche der Flüssigkeit hinabschraubte. Ich glaube, daß die Bestimmung der Dicke jener dazwischen gelegten Platte größere Schwierigkeiten darbiete als die Messung des inneren Durchmessers enger Röhren. — In seinen Versuchen mit Capillarröhren ²⁾ mißt Hr. Hagen die Höhe durch einen, in ganze Linien getheilten Maafsstab, welcher vertical daneben gestellt wird. Diese Methode ist, wie Hr. Hagen selbst zugeibt, keine sehr genaue, da beim Visiren nach dem Maafsstabe das Auge leicht etwas höher oder tiefer stehen kann. Indessen können darauf jene Abweichungen, die, wie Hr. Hagen angiebt ³⁾, oft eine ganze Linie betragen, schwerlich beruhen. Sondern diese hängen offenbar zusammen mit dem Einwurfe, welchen Hr. Hagen außerdem der Anwendung von Capillarröhren macht, daß die nothwendige Erneuerung der Oberfläche der Flüssigkeit in der Capillarröhre und die vollständige Benetzung der Röhrenwand schwierig zu erreichen sey; aber während Hr. Hagen zur Benetzung seiner Messingplatten vor jeder Beobachtung dieselben längere Zeit in die Flüssigkeit tauchen und mit einem Pinsel benetzen mußte ⁴⁾, habe ich mich überzeugt,

1) *Nouvelle théorie*, p. 112.

2) c. I. S. 37. (*Annalen*, Bd. 67, S. 164.)

3) c. I. S. 21. (*Ebendasselbst*, S. 24.)

4) c. I. S. 32. (*Ebendasselbst*, S. 158.)

daß in Capillarröhren, welche durch Weingeist und Salpetersäure vollständig gereinigt waren, durch ein leichtes Aufsaugen stets eine constante Höhe der Flüssigkeit erreicht wurde. — Ich fand mich daher nicht veranlaßt, die Anwendung der Capillarröhren aufzugeben.

Hr. Sondhaufs brachte die zu untersuchende Flüssigkeit in ein heberförmig gebogenes Glasrohr ¹⁾, das aus zwei cylindrischen Röhren von ungleicher Weite bestand. Die enge hatte einen Radius von 0,15 bis 0,40 Millimeter, die weitere von 5 bis 7 Millim. Diese Vorrichtung senkte er in ein erwärmtes Flüssigkeitsbad ein, welches bei niedrigen Temperaturen Wasser, bei höheren Oel war. Er bestimmte durch ein, an einem senkrechten Maafsstabe verschiebbares Fernrohr das Niveau der Flüssigkeit in beiden Schenkeln der Röhre. Da in beiden Röhren Capillarascension stattfand, mußte zur Berechnung der Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeit in einer Röhre von 1 Millim. Radius steigt, eine ziemlich complicirte Formel angewandt werden, welche zudem keine absolute Genauigkeit gestattete, indem nur bei sehr engen Röhren die Oberfläche des Meniscus als sphärisch betrachtet werden darf, und nicht mehr bei jenen weiten Röhren von 5 bis 7 Millim. Radius, während doch die von Sondhaufs angewandte Formel von der Voraussetzung des sphärischen Meniscus ausgeht ²⁾, und daher auch seine berechneten Zahlen nicht vollständig mit den früher von Hrn. Gay-Lussac und Hrn. Frankenheim gefundenen übereinstimmen ³⁾.

Bei meinen Versuchen befolgte ich im Allgemeinen die durch ihre Einfachheit und Schärfe sich auszeichnende Methode des Hrn. Gay-Lussac ⁴⁾. Derselbe befestigte die Capillarröhre in einer Scheibe, die auf dem Rande eines Cylinderglases aufliegt, bestimmte durch das Fernrohr ei-

1) *Dissertatio*, p. 5.

2) *Dissertatio*, p. 20.

3) *c. l.* p. 25.

4) Biot, *Traité de physique*, 1, p. 441.

nes Kathetometers den Stand der Flüssigkeit in der Röhre, schob dann die Scheibe mit der Capillarröhre auf die Seite und legte eine andere daneben, welche eine Metallspitze enthielt, diese wurde bis zum Niveau der Flüssigkeit geschraubt; nun schöpfte der Experimentator mit einem kleinen Gefäße etwas Flüssigkeit aus dem Cylinderglase, so daß er nach der Spitze visiren konnte.

Dieses Verschieben der Capillarröhre, das Aufsetzen einer neuen Scheibe, das Auf- und Abschrauben einer Metallspitze, und endlich das Ausschöpfen von Flüssigkeit — Manipulationen, welche jedenfalls große Unbequemlichkeiten und leicht auch Fehler in den Beobachtungen mit sich bringen, umging ich bei meinen Versuchen dadurch, daß ich die Capillarröhre und die Metallspitze ein für alle Mal feststellte, und durch Eintauchen eines voluminösen Körpers in die Flüssigkeit das Niveau derselben nach der Spitze einstellte und durch Herausziehen wieder senkte, wenn nach der Spitze visirt werden sollte. — Mit Dankbarkeit bemerke ich bei dieser Gelegenheit, daß ich manche Verbesserungen des Apparates dem Rathe meines hochgeschätzten Lehrers, Hrn. Prof. Magnus, verdanke, in dessen Laboratorium ich die Versuche ausführte.

Vorerst suchte ich durch Calibriren mit Quecksilber solche Röhren aus, bei welchen der innere Durchmesser überall gleich war: eine lange und beschwerliche Arbeit, die aber unumgänglich ist.

Der Apparat zu den Beobachtungen ist folgendermaßen zusammengestellt. Die zu untersuchende Flüssigkeit befindet sich in einem Cylinderglase (Fig. 1, Taf. III), das ungefähr zum vierten Theile damit angefüllt ist. Das Glas wird in ein Blechgefäß (Fig. 2, Taf. III) gestellt, welches eine doppelte Wand hat, jedoch durch eine vier Linien breite Spalte das Visiren durch das Glas gestattet. Dieses Blechgefäß wird mit Oel angefüllt, so daß das Glas mit der zu untersuchenden Flüssigkeit von einem Oelbade umgeben ist, welches durch eine darunter angebrachte Wein-
geistlampe erwärmt werden kann.

Die Capillarröhre, welche erst durch Salpetersäure gereinigt worden, ist in einer starken Messingscheibe (Fig. 3 *a*) befestigt, und diese liegt auf einem Messingstative (Fig. 3 *b, b, b, b*) das über das Blechgefäß gestellt wird, so daß alsdann die Capillarröhre (*c*) in die Flüssigkeit taucht. Diese steigt darin in die Höhe, darf jedoch nicht über das Blechgefäß hinaus aufsteigen, was durch gehörige Auswahl der Dimensionen der Gefäße leicht zu erreichen ist. Zugleich ist in der Messingscheibe zur Bestimmung des Niveaus der Flüssigkeit eine Stahlspitze (*d*) befestigt, welche nicht so tief hinabreicht als die Capillarröhre. — Es ist dabei die Vorrichtung getroffen, daß sowohl die Capillarröhre als auch die Metallspitze vor die Spalte im Blechgefäße zu stehen kommen, so daß, wenn man durch dieselbe visirt, beide beobachtet werden können.

In der Messingscheibe ist ferner zur Seite der Capillarröhre ein Thermometer (*e*) angebracht, dessen Kugel in die Flüssigkeit taucht, und ein zweites (*f*), dessen Kugel außerhalb der Flüssigkeit möglichst nahe der Capillarröhre steht, und endlich eine kleine Oeffnung, durch welche ein Pferdehaar sich bewegen läßt, an dem eine Glasmasse (*g*) hängt. Das Pferdehaar geht über eine, an einem besondern Stative befestigte Rolle nach einer Schraube (*h*) an welcher man durch Auf- und Abwinden das Pferdehaar verkürzen und verlängern und dadurch die Glasmasse beliebig aus der Flüssigkeit ziehen oder darin einsenken kann.

Zur Beobachtung der Höhen benutzte ich das genaue Kathetometer des Hrn. Prof. Magnus, welches durch dessen eigene Versuche ¹⁾ bekannt ist, und eine Ablesung von $\frac{1}{10}$ Millim. mit Sicherheit schätzen läßt. Das Instrument war so aufgestellt, daß das Fadenkreuz des Fernrohrs ungefähr drei Fuß von dem Blechgefäße entfernt war.

Die Beobachtungen wurden nun auf folgende Weise angestellt:

Die innere Wand der Capillarröhre mußte vor jeder Beobachtung gehörig benetzt werden. Zu diesem Ende

1) Poggendorff's Annalen, Bd. 61. 1844. S. 225.

stülpe ich über das, aus der Messingscheibe hervorragende Ende der Capillarröhre eine weitere Glasröhre (Fig. 3, i, Taf. III), die fest auf dem Korke, in welchem die Capillarröhre befestigt ist, aufgesetzt wird, wodurch ich einen annähernd luftdichten Verschluss erziele. Durch diese Glasröhre kann man mit dem Munde die Flüssigkeit aufsaugen. Vermittelst Baunwolle und Stückchen von Chlorcalcium wird jeder Eintritt von Unreinigkeit und Feuchtigkeit aus dem Munde in die Capillarröhre verhütet.

Nun stelle ich das Niveau der Flüssigkeit so ein, daß es eben die Metallspitze berührt. Dies geschieht durch Einsenken oder Herausziehen der Glasmasse: man dreht die Schraube, welche das Pferdehaar auf- und abwindet, so lange, bis man sieht, daß die Spitze und ihr in der Oberfläche der Flüssigkeit scharf abgespiegeltes Bild eben zusammentreffen.

Das Oelbad wird nach und nach erwärmt, während die zu beobachtende Flüssigkeit durch Auf- und Niederbewegen der Glasmasse umgerührt wird. Bei jeder Beobachtung wurde abgewartet bis die Temperatur der beiden Thermometer möglichst gleich war. — Die Zusammenstellung des Apparates bringt es mit sich, daß nicht allein die Flüssigkeit im Grunde des Gefäßes, sondern auch die in der Capillarröhre befindliche dieselbe Temperatur annimmt. Zu den Versuchen bei niedrigen Temperaturen wird, an die Stelle des Oeles im umgebenden Blechgefäße, Eis oder eine kaltmachende Mischung gebracht.

Um die Höhe der gehobenen Flüssigkeitssäule in der Capillarröhre zu messen, stellt man zuerst das Fadenkreuz des Fernrohrs auf den niedrigsten Punkt des Meniscus ein und liest den Stand des Fernrohrs ab. Nun muß die Höhe des Flüssigkeitsniveaus, oder, was dasselbe ist, der Metallspitze bestimmt werden. Bei dieser Zusammenstellung kann aber die Spitze durch das Fernrohr nicht gesehen werden, indem sie von der, an den Seitenwänden des Glases etwas in die Höhe steigenden, Flüssigkeit bedeckt wird. Ich hebe deshalb die Glasmasse aus der Flüssigkeit: dadurch sinkt

ihr Niveau, die Metallspitze wird frei und kann jetzt durch das Fernrohr beobachtet werden.

Damit man sich während der Beobachtung nicht von dem Kathetometer zu entfernen brauche, ist eine Vorrichtung angebracht, um von dort die Glasmasse aus der Flüssigkeit emporzuziehen: es wird dieses dadurch erreicht, daß ein zweiter Faden (Fig. 3, h' , Taf. III), der mit dem ersten verbunden ist, durch eine, am Gestelle des Kathetometer selbst angebrachte, Schraube aufgewunden wird.

Der Unterschied der zuerst beobachteten Höhe der Flüssigkeitssäule in der Capillarröhre und derjenigen des Niveaus der Flüssigkeit ist die gesuchte Gröfse.

Es könnte der Einwurf gemacht werden, daß die Unebenheiten des Cylinderglases, durch welches man die Beobachtungen macht, einen Einfluß auf das Resultat der Messungen haben könnten. Ich überzeuete mich jedoch durch Beobachtung der Theilstriche eines Maafsstabes, den ich sowohl *in* dem Glase als auch *aufserhalb* desselben mit dem Kathetometer untersuchte, daß jedenfalls dieser Einfluß ohne Bedeutung für die Genauigkeit der Versuche ist.

Die innere Weite der Capillarröhre wurde dadurch bestimmt, daß ich genau die Länge der Röhre maafs, sie durch Aufsaugen mit Quecksilber füllte, und das Gewicht dieses Quecksilbers bestimmte. Aus dem Volumen und der Länge des Quecksilbercylinders berechnete ich dessen Radius.

Genaue Resultate waren nur von solchen Flüssigkeiten zu erwarten, welche weder durch erhöhte Temperatur, noch durch Einwirkung der Luft eine Veränderung erleiden. In der Ueberzeugung, daß zum Studium der Gesetze, welche die Körper beherrschen, die genaue Untersuchung einiger weniger Substanzen vorzuziehen sey den Beobachtungen an einer großen Menge von Körpern, von denen man erwarten muß, daß die Erscheinungen zum Theil durch fremde Einwirkungen getrübt werden, wählte ich nur Wasser, Aether und Olivenöl zu meinen Versuchen, und vervielfältigte die Experimente, indem ich mehrere Versuchsreihen mit den nämlichen Flüssigkeiten vornahm. — Eine mit englischer

Schwefelsäure angestellte Versuchsreihe mußte verworfen werden, weil nicht zu verhüten war, daß die Flüssigkeit während der Dauer des Experiments durch Anziehen von Feuchtigkeit aus der Luft sich veränderte.

Beobachtungen über die Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen sich in Capillarröhren erheben.

Die Resultate der Untersuchung sind in folgenden Tabellen enthalten. Ich habe geglaubt, für das Wasser, die unmittelbaren Beobachtungen mittheilen zu müssen. Bei den übrigen Flüssigkeiten würde dies zu weitläufig gewesen seyn, ohne einen besonderen Nutzen zu gewähren; denn die vielen Beobachtungen, welche ich angestellt habe, konnten unmöglich bei den später zu erwähnenden Berechnungen nach der Methode der Summe der kleinsten Quadrate sämmtlich benutzt werden; beim Wasser dagegen glaubte ich mich dieser Arbeit unterziehen zu müssen. Bei den übrigen Flüssigkeiten schien es mir das Geeignenste, aus den angestellten Beobachtungen die Werthe für die ganzen Temperaturgrade von 5 zu 5 Grad aus den zunächstliegenden Beobachtungen durch graphische Interpolation zu bestimmen.

1) Versuche mit Wasser.

Das destillirte Wasser wurde vor den Versuchsreihen ausgekocht, um die darin enthaltene Luft möglichst zu entfernen, deren Gegenwart durch das Aufsteigen von Blasen bei höheren Temperaturen sehr störend wirkt. Hr. Hagen äußert ¹⁾, daß Wasser, welches gekocht hat und wieder abgekühlt ist, seine Capillarität nachher bedeutend vermindert zeige. Wie es scheint, wurde das Wasser gekocht, während die Capillarröhre darin stand. Wenn nun Wasser auf einer Fläche verdunstet, so hinterläßt namentlich gewöhnliches Brunnenwasser, welches Hr. Hagen zu den meisten seiner Versuche anwandte, aber auch destillirtes

1) c. L. p. 32 und 38.

Wasser, Spuren von Unreinigkeiten, welche hinreichen die Benetzbarkeit der Fläche aufzuheben. Wird nach dem Kochen in den Capillarröhren nicht für eine neue Reinigung der Röhrenwand gesorgt, so ist natürlich die Capillarascension vermindert. — Auf ähnlichen Veränderungen durch Verdunstung bei gewöhnlicher Temperatur mag die Erscheinung beruhen, daß wenn der Apparat mehrere Stunden lang der Luft ausgesetzt war und nicht für neue Benetzung gesorgt wurde, sich die Capillarascension sowohl zwischen parallelen Platten, als auch in Röhren vermindert zeigte ¹⁾).

Höhe der Flüssigkeitssäule des Wassers bei verschiedenen Temperaturen vom niedrigsten Punkte des Meniscus bis zum Niveau der Flüssigkeit. — Radius der Röhre bei 10°,5 C. = 0mm,29274.

Temperatur.	Capillarböhe.	Temperatur.	Capillarböhe.
	mm		mm
0° C.	52,300	40° C.	48,325
3	51,923	41 ,5	48,375
5	51,750	42	48,300
8	51,425	42 ,5	48,275
11	51,075	44 ,75	47,875
12	51,025	47 ,25	47,675
14 ,75	50,750	49	47,500
15 ,75	50,625	55	46,935
20 ,75	50,275	57	46,800
24	49,975	59	46,475
25	49,900	60 ,5	46,400
27 ,75	49,625	62	46,200
28	49,600	64 ,25	45,950
31 ,5	49,150	66 ,75	45,700
31 ,75	49,200	69 ,75	45,400
33	49,050	71	45,250
34	48,925	73 ,75	44,975
35	48,825	79 ,5	44,400
37	48,675	82	44,000

2) Versuche mit Aether.

Der Aether war zwei Tage lang mit Chlorcalcium digerirt und dann abdestillirt worden, so daß er als vollkommen wasserfrei zu betrachten war.

1) *e. l. p.* 33.

Höhe der Flüssigkeitssäule des Aethers bei verschiedenen Temperaturen, vom untersten Punkte des Meniscus bis zum Niveau der äußeren Flüssigkeit. — Radius der Röhre bei 24° C. = 0^{mm},21540.

Temperatur	Capillarrhöhe.	Temperatur.	Capillarrhöhe.
	mm		mm
0° C.	24,700	20° C.	22,225
5	24,025	25	21,325
10	23,575	30	20,875
15	23,125	35	20,225

3) Versuche mit Olivenöl.

Das angewandte Oel war feines Provenceröl.

Höhe der Flüssigkeitssäule des Olivenöls bei verschiedenen Temperaturen, vom untersten Punkte des Meniscus bis zum Niveau der äußeren Flüssigkeit. — Radius der Röhre bei 24° C. = 0^{mm},21540.

Temperatur.	Capillarrhöhe.	Temper.	Capillarrhöhe.	Temper.	Capillarrhöhe.
	mm		mm		mm
15° C.	34,015	60° C.	31,550	105° C.	29,483
20	33,850	65	31,325	110	29,266
25	33,575	70	31,175	115	29,050
30	33,190	75	30,950	120	26,512
35	32,805	80	30,700	125	28,462
40	32,469	85	30,450	130	28,050
45	32,045	90	30,200	135	27,987
50	31,975	95	30,095	140	27,775
55	31,900	100	29,650	145	27,745
				150	27,500

Um die Beobachtungen sowohl unter sich vergleichbar als auch zur Untersuchung der Gesetze passender zu machen, reducirte ich alle gefundenen Höhen auf die Länge eines Cylinders von Flüssigkeit, der in einer Capillarröhre von 1 Millim. Radius getragen wird. Ich benutzte dazu die Poisson'sche Formel ¹⁾:

$$h = \frac{a^2}{\alpha} - \frac{\alpha}{3} + \frac{\alpha^3}{3a^2} (\log 4 - 1),$$

wo h die Capillarrhöhe, a^2 eine Constante und α der Radius der Capillarröhre ist. Das letzte Glied dieser Gleichung hat nur einen Einfluß auf die dritte Decimalstelle

1) *Nouvelle théorie de l'action capillaire*, p. 112.

weshalb ich dasselbe bei der Berechnung vernachlässigte. Dann wird die Formel zur Reduction der Beobachtungen folgende:

$$H = \alpha \left(h + \frac{\alpha}{3} \right)^{-1},$$

wo h die beobachtete Capillarrhöhe in einer Röhre, deren Radius $= \alpha$ ist, und H die gesuchte Höhe des Flüssigkeitscylinders, welcher in einer Röhre von 1 Millim. Radius getragen wird.

Da sich mit der Temperatur die Weite der Capillarröhre verändert, so sind eigentlich die angeführten Versuchsreihen bei den verschiedenen Temperaturen in Röhren von verschiedenem Radius angestellt. Bei der Reduction der Beobachtungen mußte ich daher diese Veränderung des Radius berücksichtigen, welche offenbar der linearen Ausdehnung des Glases proportional ist. Sie beträgt für die Röhre von 0,29274 Millim. Radius bei einem Temperaturunterschied von 100° C, 0,00024 Millim., für die Röhre von 0,21540 Millim. Radius 0,00019 Millim.

Reduction der Beobachtungen auf die Höhe eines Flüssigkeitscylinders, welcher durch eine Röhre von 1 Millim. Radius gehoben wird.

1) W a s s e r

Temper.	Capillarrhöhe.	Temper.	Capillarrhöhe.	Temper.	Capillarrhöhe.
	mm		mm		mm
0° C.	15,338	31°,5 C.	14,429	55° C.	13,774
3	15,230	31,75	14,434	57	13,734
5	15,177	33	14,390	59	13,640
8	15,082	34	14,354	60,5	13,618
11	14,980	35	14,324	62	13,559
12	14,969	37	14,281	64,25	13,486
14,75	14,886	40	14,179	66,75	13,413
15,75	14,840	41,5	14,193	69,75	13,326
20,75	14,747	42	14,172	71	13,282
24	14,660	42,5	14,165	73,75	13,201
25	14,638	44,75	14,048	79,5	13,034
27,75	14,557	47,25	13,989	82	12,917
28	14,550	49	13,938		

1) Die Formel für die Höhe der Flüssigkeitssäule in einer Capillarröhre von 1 Millim. Radius vom untersten Punkte des Meniscus bis zum aufse-

2) Aether.

Temper.	Capillarröhe.	Temper.	Capillarröhe.	Temper.	Capillarröhe.
	mm		mm		mm
0° C.	5,335	15° C.	4,996	30° C.	4,512
5	5,189	20	4,802	35	4,372
10	5,093	25	4,609		

3) Olivenöl.

Temper.	Capillarröhe.	Temper.	Capillarröhe.	Temper.	Capillarröhe.
	mm		mm		mm
15° C.	7,343	60° C.	6,813	105° C.	6,370
20	7,306	65	6,765	110	6,324
25	7,247	70	6,733	115	6,278
30	7,165	75	6,685	120	6,163
35	7,082	80	6,631	125	6,151
40	7,010	85	6,578	130	6,063
45	6,919	90	6,524	135	6,049
50	6,904	95	6,475	140	6,004
55	6,888	100	6,406	145	5,998
				150	5,945

Prüfung des Laplace-Poisson'schen Gesetzes der Veränderung der Cohäsion durch Wärme und Aufstellung anderer Formeln.

Betrachten wir diese Resultate in Bezug auf das Laplace-Poisson'sche Gesetz, so muß, wenn die Höhe der Flüssigkeitssäule in einer Capillarröhre bei verschiedenen Temperaturen direct der Dichtigkeit proportional ist, $\frac{h'}{d'}$, wo h' die Capillarröhe und d' die Dichtigkeit bezeichnet, bei jeder Temperatur die nämliche Gröfse haben ¹⁾.

ren Niveau ist $h' = \alpha \left(h + \frac{\alpha}{3} \right) - \frac{1}{3}$. Der Unterschied dieser Formel von der oben angegebenen ($-\frac{1}{3}$) beruht darauf, daß bei Berechnung der Höhe des Flüssigkeitcyinders von 1 Millim. Radius die Masse, welche den Meniscus bildet, als Cylinder berechnet wird. Da der Meniscus angesehen werden kann als von einer halben Kugeloberfläche begrenzt, deren Radius der Radius der Capillarröhre ist, so ist die Masse des Meniscus $= \frac{\alpha}{3}$ und, in dem Falle, wo der Radius = 1 angenommen wird, $= \frac{1}{3}$.

1) Siehe oben S. 493.

Nach diesem Gesetze muß auch die Capillarrhöhe bei jeder Temperatur $= \frac{h}{v'}$ seyn, wo h die Capillarrhöhe bei 0° und v' das Volumen der Flüssigkeit bei den entsprechenden Temperaturen bezeichnet, dasjenige bei $0^\circ = 1$ gesetzt.

Ich will in Folgendem die Capillarrhöhe berechnen, wie sie nach dem Laplace-Poisson'schen Gesetze stattfinden sollte, und die erhaltenen Werthe mit den durch Beobachtung gefundenen vergleichen. Ich will in diesen Tabellen für h (die Capillarrhöhe bei 0°) den aus allen Versuchen nach der Methode der Summe der kleinsten Quadrate berechneten wahrscheinlichsten Werth nehmen.

1) Wasser 1).

Temperatur.	Volumen.	Capillarrhöhe		Differenz.
		nach dem Laplace-Poisson'schen Gesetze.	nach meinen Beobachtungen.	
		mm	mm	mm
0° C.	1,00000	15,332	15,332	+0,000
3	0,99989	15,332	15,230	+0,102
5	0,99989	15,334	15,177	+0,157
8	1,00000	15,332	15,082	+0,250
11	1,00023	15,329	14,980	+0,349
12	1,00034	15,327	14,969	+0,358
14 ,75	1,00070	15,324	14,886	+0,438
15 ,75	1,00084	15,319	14,840	+0,479
20 ,75	1,00179	15,305	14,747	+0,558
24	1,00251	15,293	14,660	+0,633
25	1,00277	15,290	14,638	+0,652
27 ,75	1,00349	15,279	14,557	+0,722
28	1,00356	15,278	14,550	+0,728
31 ,5	1,00423	15,267	14,429	+0,838
31 ,75	1,00431	15,266	14,434	+0,832
33	1,00470	15,260	14,390	+0,870
34	1,00509	15,254	14,354	+0,900
35	1,00545	15,248	14,324	+0,924
37	1,00645	15,236	14,281	+0,955
40	1,00749	15,218	14,179	+1,039
41 ,5	1,00816	15,208	14,193	+1,015
42	1,00849	15,203	14,172	+1,171
42 ,5	1,00882	15,198	14,165	+1,033

Tem.

1) Dieser Tabelle sind die neuesten Angaben über die Dichtigkeit zu Grunde gelegt, welche Isidore Pierre in den *Annales de chimie et de physique*, Ser. III, T. XV, Nov. 1845, p. 325, mittheilt.

Temperatur.	Volumen.	Capillarhöhe		Differenz.
		nach dem Laplace-Poisson'schen Gesetze.	nach meinen Beobachtungen.	
		mm	mm	mm
44°,75 C.	1,00952	15,187	14,048	+1,139
47,25	1,01059	15,171	13,989	+1,182
49	1,01138	15,160	13,938	+1,222
55	1,01444	15,114	13,774	+1,340
57	1,01520	15,102	13,734	+1,368
59	1,01597	15,091	13,640	+1,451
60,5	1,01741	15,069	13,618	+1,451
62	1,01826	15,057	13,559	+1,498
64,25	1,01954	15,038	13,486	+1,552
66,75	1,02096	15,017	13,413	+1,604
69,75	1,02278	14,990	13,326	+1,664
71	1,02367	14,977	13,282	+1,695
73,75	1,02533	14,953	13,201	+1,752
79,5	1,02895	14,901	13,034	+1,867
82	1,03066	14,876	12,917	+1,959

2) Aether ¹⁾

		mm	mm	mm
0° C.	1,00000	5,354	5,354	+0,000
5	1,00761	5,313	5,189	+0,124
10	1,01540	5,272	5,093	+0,179
15	1,02286	5,234	4,996	+0,238
20	1,03150	5,190	4,802	+0,388
25	1,03989	5,148	4,609	+0,539
30	1,04854	5,106	4,512	+0,594
35	1,05749	5,063	4,372	+0,691

3) Olivenöl ²⁾.

		mm	mm	mm
15° C.	1,01111	7,382	7,343	+0,039
20	1,01488	7,355	7,306	+0,049
25	1,01861	7,328	7,247	+0,081
30	1,02241	7,300	7,165	+0,145
35	1,02618	7,274	7,082	+0,192
40	1,03001	7,247	7,010	+0,237
45	1,03457	7,215	6,919	+0,296
50	1,03767	7,193	6,904	+0,289
55	1,04159	7,166	6,888	+0,278

1) Das Volumen des Aethers nach J. Pierre, c. I.

2) Das Volumen des Olivenöls nach: A. Erman, *Rationis quae inter volumina corporis ejusdem: solidi, liquescentis, liquidi intercedit, specimen. Dissertatio. Berolini* 1826. (Ann., Bd. 9, S. 557.)

Poggendorff's Annal. Bd. LXX.

Temperatur.	Volumen.	Capillarröhe		Differenz.
		nach dem Laplace-Poisson'schen Gesetze.	nach meinen Beobachtungen.	
		mm	mm	mm
60° C.	1,04528	7,141	6,813	+0,328
65	1,04951	7,112	6,765	+0,347
70	1,05332	7,086	6,733	+0,353
75	1,05722	7,060	6,685	+0,375
80	1,06122	7,033	6,631	+0,402
85	1,06519	7,007	6,578	+0,429
90	1,06921	6,981	6,524	+0,457
95	1,07325	6,954	6,475	+0,479
100	1,07731	6,928	6,406	+0,522
105	1,08140	6,902	6,370	+0,532
110	1,08551	6,876	6,324	+0,552
115	1,08964	6,850	6,278	+0,572
120	1,09436	6,820	6,163	+0,657
125	1,09799	6,798	6,151	+0,647
130	1,10199	6,773	6,063	+0,710
135	1,10644	6,746	6,049	+0,697
140	1,11049	6,721	6,004	+0,717
145	1,11498	6,694	5,998	+0,696
150	1,11930	6,668	5,945	+0,723

Aus dieser Berechnung geht die Unrichtigkeit des Laplace-Poisson'schen Gesetzes hervor, denn sie zeigt, daß die Capillarrhöhe mit Erhöhung der Temperatur viel schneller abnimmt als der Verminderung der Dichtigkeit entsprechen würde. Die Abnahme der Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeit in Capillarröhren steigt, scheint überhaupt nicht mit der Dichtigkeit, sondern vielmehr mit der Zunahme der Temperatur in Proportionalität zu stehen. Um die Richtigkeit oder Unrichtigkeit dieser Annahme zu prüfen, habe ich, mit zu Grundelegung dieser Proportionalität zwischen Capillarrhöhe und Temperatur die Beobachtungen nach der Methode der Summe der kleinsten Quadrate berechnet, und dadurch für alle untersuchten Flüssigkeiten die vollkommenste Bestätigung dieser Annahme gefunden.

Nach dieser Berechnung kann der Flüssigkeitsscyylinder, welcher in einer Capillarröhre von 1 Millim. Radius gehoben wird, bei jeder beliebigen Temperatur durch folgende Formeln ausgedrückt werden:

$$1) \text{ für Wasser } h = 15,33215 - 0,0286396 \cdot t$$

$$2) \text{ für Aether } h = 5,3536 - 0,028012 \cdot t$$

$$3) \text{ für Olivenöl } h = 7,4610 - 0,010486 \cdot t$$

In diesen Formeln bezeichnet h die gesuchte Höhe des Flüssigkeitsscyinders, und t die Temperatur, in Graden der 100theiligen Scale ausgedrückt.

Diese Berechnung belehrte mich zugleich über die Genauigkeit der Beobachtungen.

Versuche über die Capillarität des Wassers bei niedrigen Temperaturen.

Bei Olivenöl und Aether ist die Curve, welche entsteht, wenn die Temperaturgrade als Abscissen und die entsprechenden Dichtigkeiten als Ordinaten genommen werden, nahe eine gerade Linie, und somit könnte bei diesen beiden Flüssigkeiten die Capillarrhöhe auch als proportional der Dichtigkeit betrachtet werden. Beim Wasser aber weicht die Curve für die Veränderung bedeutend ab von der geraden Linie, und zeichnet sich namentlich durch jene auffallende Anomalie zwischen 0° und 4° aus.

Das Wasser giebt uns also das sicherste Mittel an die Hand zur Prüfung, ob die Capillarrhöhe mit der Dichtigkeitszunahme oder der Temperaturabnahme in Proportionalität stehe. Am deutlichsten wird sich dieses aus der Beobachtung des Verhaltens der Capillarität zwischen 0° und 4° herausstellen, wo die Dichtigkeit und die Temperatur sich in gleicher Richtung verändern, während sie bei höheren Temperaturen in entgegengesetzter Richtung ab- und zunehmen. Wenn daher die Capillarrhöhe in Proportionalität mit der Dichtigkeit steht, so muß sie von 0° bis 4° *zunehmen*, hier ein Maximum erreichen und bei höheren Temperaturen wieder abnehmen; nimmt sie aber in dem Verhältnisse ab, als die Temperatur zunimmt, so muß sie schon von 0° bis 4° *abnehmen*.

Ich stellte daher mit besonderer Sorgfalt in wenigstens acht Versuchsreihen wohl bei 200 Beobachtungen innerhalb der Temperaturgränzen von 0° bis 8° an. Ich kehrte öfters

die Capillarröhre um, so dafs an verschiedenen Theilen der Röhre die Beobachtungen gemacht wurden; ich sorgte dafür, dafs die Temperatur der Luft im Glase bei jeder Beobachtung die nämliche war, wie die der Flüssigkeit; endlich stellte ich die Versuchsreihen sowohl auf die Weise an, dafs ich nach und nach die Flüssigkeit abkühlte, als auch dadurch, dafs ich sie, von 0° ausgehend, allmählig erwärmte. Ich will einige der Versuchsreihen hier anführen.

Höhe der Flüssigkeitssäule des Wassers bei niedrigen Temperaturen in einer Capillarröhre, deren Radius bei 10°,5 C. = 0,29274 ist.

Erste Versuchsreihe.

Temperatur.	Capillarröhe.			Mittel.
	mm			mm
0° C.	52,350	52,300	—	52,325
0,5	52,150	050	—	52,100
2,25	52,075	050	—	52,062
3	51,950	51,925	51,750	51,875
3,5	51,875	850	—	51,862
4,5	51,750	—	—	51,750
5	51,825	800	—	51,812
7	51,510	—	—	51,510

Zweite Versuchsreihe.

	mm			mm
0° C.	52,325	52,275	52,225	52,275
0,25	52,165	150	110	52,140
1,75	52,025	000	—	52,012
2	52,000	51,925	51,900	51,941
3,25	51,900	875	800	51,858
3,75	51,900	800	—	51,850
5	51,800	—	—	51,800

Dritte Versuchsreihe.

	mm		51,950	mm
1° C.	52,075	52,000	51,900	52,008
1,25	52,135	125	51,900	52,080
1,5	52,175	075	51,825	52,033
1,75	52,125	050	—	52,000
2	52,025	51,975	—	52,000
2,5	52,025	975	—	52,000
3,25	51,950	900	—	51,925
3,75	51,900	—	—	51,900
4	51,850	750	—	51,800
5	51,850	700	—	51,775
6	51,500	—	—	51,500

Vierte Versuchsreihe.

Temperatur.	Capillarröhe.			Mittel.
	mm			mm
1° C.	52,075	52,050	—	52,062
2	51,950	—	—	51,950
3	51,900	51,890	51,875	51,888
3,25	51,900	—	—	51,900
3,75	51,900	875	—	51,887
4	51,800	725	700	51,741
4	51,775	—	—	51,775
5	51,800	725	650	51,725
5,5	51,575	—	—	51,575
6	51,650	575	550	51,575
7,25	51,410	400	390	51,400
7,5	51,465	—	—	51,465
8	51,425	370	320	51,371
8,5	51,375	250	—	51,312
9,25	51,300	—	—	51,300
9,5	51,200	—	—	51,200

Fünfte Versuchsreihe.

Temperatur.	Capillarröhe.	Temperatur.	Capillarröhe.
	mm		mm
0° C.	52,258	5° C.	51,675
1	52,100	6,5	51,600
1,75	52,000	7	51,525
2	51,975	7,75	51,425
3	51,900	8	51,350
4,25	51,750	8,75	51,350
4,75	51,700		

Mittel aus den fünf Versuchsreihen.

Temperatur.	Capillarröhe.	Reducirt auf eine Capillarröhre von 1 ^{mm} Radius.
	mm	mm
0° C.	52,286	15,334
1	52,057	15,266
2	51,966	15,240
3	51,888	15,228
4	51,770	15,183
5	51,743	15,175
6	51,558	15,133
7	51,500	15,104
8	51,371	15,067
9	51,325	15,053

Diese Tabelle bestätigt vollkommen die Thatsache, daß zwischen 0° und 4° die Höhe, bis zu welcher das Wasser in einer Capillarröhre gehoben wird, *nicht mit der Dichtigkeit in Proportionalität steht, sondern in demselben Verhältnißs abnimmt, wie die Temperatur zunimmt.*

Auch Hr. Sondhaufs gelangt zu einem ähnlichen Resultate, sagt aber dabei ¹⁾: *»rem gravissimam satis exploratam esse non existimo.«*

Ich möchte zugleich auf ein Resultat aufmerksam machen, welches ziemlich sicher aus meinen Beobachtungen hervorgeht: es scheint nämlich, daß der für die höheren Temperaturen berechnete Coëfficient der Abnahme der Capillarröhre für 1° C. (0,0286396, Siehe S. 515) bei den Temperaturen unter 4° größer werde. Aus den Beobachtungen ergibt sich:

zwischen	Unterschied
0° und 1°	0,068
1 - 2	0,026
2 - 3	0,012
3 - 4	0,045
Mittel für 1° C.	0,0377

Diese Vergrößerung des Coëfficienten in den Temperaturen unter 4° erklärt sich vielleicht auf folgende Weise: Die Kraft, welche die Flüssigkeitssäule hebt, wird durch die Höhe der gehobenen Säule gemessen: es ist dieß aber ein Maafs, welches wegen Veränderung des specifischen Gewichtes der Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen einen verschiedenen Werth hat; während also ein Flüssigkeitscylinder von ein und derselben Gröfse von den höheren Temperaturen bis $+4^{\circ}$ stets schwerer wird, nimmt er von $+4^{\circ}$ bis 0° wieder an Gewicht ab. Von den höheren Temperaturen bis 4° nimmt also die hebende Kraft und unser Maafs für diese Kraft in gleicher Richtung zu, von 4° abwärts ist die hebende Kraft immer noch in Zunahme, aber das Maafs derselben ist jetzt in Abnahme be-

1) *Dissertatio*, p. 28.

griffen. Wenn also die hebende Kraft auch von $+4^{\circ}$ abwärts in dem nämlichen Verhältniß wie in höheren Temperaturen zunimmt, so muß, weil der gehobene Cylinder leichter wird, seine Länge in stärkerem Verhältniß wachsen als in den höheren Temperaturen.

**Folgerungen aus den Beobachtungen in Bezug auf die
Theorie der Cohäsion.**

Schon am Eingange dieser Abhandlung (S. 487) habe ich geäußert, daß die Capillarrhöhe eine Function der Cohäsion und des specifischen Gewichtes sey. Wenn daher die Capillarität als Maass der Cohäsion betrachtet wird, so müssen die Gewichte der gehobenen Flüssigkeitssäulen verglichen werden; denn man sieht leicht ein, daß bei ein und derselben Cohäsionskraft die Capillarrhöhe größer seyn muß, wenn die specifische Schwere kleiner wird. Die Cohäsion wird daher ausgedrückt durch $h \cdot d$. — Da jedoch die Veränderung von d durch Temperaturerhöhung im Vergleiche zu der bedeutenden Veränderung von h sehr klein ist, so muß die Veränderung der Cohäsion nahe den Veränderungen der Capillarrhöhe proportional seyn. Um daher die Abhandlung nicht unnöthigerweise mit Tabellen zu überladen, habe ich hier die Rechnung von $h \cdot d$ nicht ausgeführt, welche aber bei den theoretischen Betrachtungen über die Veränderung der Cohäsion durch die Wärme und den Vergleichen derselben mit andern Molecularkräften unumgänglich ist.

Die allgemeinen Resultate, welche ich in Folgendem anführe, bedürfen dieser Rechnung nicht.

Es ergibt sich aus allen Versuchen der Schluß, daß die Wärme einen andern Einfluß auf die Cohäsion ausübe, als den, welcher durch Veränderung der Dichtigkeit bedingt wird.

Wenn man die Cohäsion als eine Function der Molecularattraction und einer Repulsionskraft betrachtet, so ist kaum anzunehmen, daß die Attractionskraft, welche in einer Massenanziehung ihren Grund hat, durch Wärme ir-

gend eine Veränderung erleide, und somit ist die Betrachtungsweise von Laplace und Poisson eine ganz natürliche: daß die Attraction der Molecüle eine Function der Dichtigkeit sey. Wenn aber Poisson äußert ¹⁾, daß die Veränderung des repulsiven Theiles der Molecularkräfte durch die Wärme eine zu vernachlässigende Größe sey, so widerstreitet dieser Ansicht das Experiment, aus welchem im Gegentheil hervorgeht, daß die Veränderung der Attractionskraft, gegenüber den bedeutenden Veränderungen, welche die Repulsionskraft erleidet, eine beinahe zu vernachlässigende Größe ist.

Wenn auch hier nicht der Ort ist in alle theoretische Speculationen einzugehen, auf welche diese experimentellen Untersuchungen führen können, so beweisen dieselben doch, daß die theoretische Betrachtung der Capillarerscheinungen keineswegs durch die *Théorie de l'action capillaire* und die *Nouvelle théorie* desselben Gegenstandes abgeschlossen ist, und, wie Hr. Biot sagt, aus dem Gebiete der gemeinen Physik tretend, ein abgeschlossenes Ganzes von mathematischen Wahrheiten bilde ²⁾; vielmehr zeigen dieselben, daß der Ausspruch eines älteren französischen Akademikers ³⁾ immer noch wahr bleibt: »*Partout dans la nature il y a de la géométrie: mais elle est ordinairement fort compliquée et celle qui avait fondé nos raisonnemens était trop simple pour attraper juste les effets tels qu'ils sont!*« —

1) Siehe die S. 493 angeführte Stelle aus der *Nouvelle théorie de l'action capillaire*, p. 107.

2) *Extrait du supplément à la théorie de l'action capillaire. — Journal de Physique, T. LXV, Juillet 1807, p. 95.*

3) In: *Histoire de l'Académie royale des sciences de 1723*, p. 90. Wahrscheinlich von Fontenelle, dem damaligen Secretair der Academie.

Vergleichung der gefundenen Werthe für die Capillarrhöhe des Wassers, Aethers und Olivenöls mit früheren Beobachtungen.

Es bleibt mir noch übrig, die aus meinen Beobachtungen hervorgehenden absoluten Zahlenwerthe der Capillarrhöhe mit früheren Bestimmungen zu vergleichen. Da letztere zum Theil bei den wichtigen Untersuchungen von Laplace und Poisson als Prüfung der theoretischen Betrachtungen gedient haben, so möchte es vielleicht nicht ohne Interesse seyn, zu sehen, in wie weit meine Zahlen mit jenen übereinstimmen.

1) Wasser.

Die besten von den älteren Versuchen über die Capillarrhöhe des Aethers sind wohl die von Hrn. Gay-Lussac angestellten, welche, nach dem Ausdrücke des Hrn. Biot, die Genauigkeit astronomischer Bestimmungen erreichen.

Gay-Lussac fand die Höhe der gehobenen Flüssigkeitssäule in einer Capillarröhre von 0,6472 Millim. Radius bei $8^{\circ},5$ C. $= 23^{\text{mm}},1634$ ¹⁾, was nach der oben (S. 509) angeführten Formel für eine Röhre, deren Radius = 1 Millim. ist, einem Flüssigkeitscyliner von $15^{\text{mm}},130$ entspricht. Aus meinen Beobachtungen ergibt sich für die nämliche Temperatur eine Säule von $15^{\text{mm}},089$, was mit der Gay-Lussac'schen Zahl bis auf den $\frac{1}{25}$ sten Theil eines Millimeters übereinstimmt.

Poisson reducirt nach seinem Gesetze der Veränderung der Cohäsion bei Temperaturerhöhung eine Beobachtung von Hrn. Gay-Lussac, welche bei 16° zwischen parallelen Platten angestellt ist, auf die Temperatur von

1) Poisson, *Nouvelle théorie de l'action capillaire*, p. 112. An dieser Stelle im Poisson'schen Texte hat sich ein Druckfehler eingeschlichen, indem bei einer zweiten, hier angeführten Beobachtung der Radius der Röhre zu $9^{\text{mm}},9519$ statt $0,9519$ angegeben ist. — Dieser Druckfehler ist mit den beiden Gay-Lussac'schen Beobachtungen in andere physikalische Schriften übergegangen.

8°,5 ¹⁾), um dieselbe mit den Beobachtungen in Capillarröhren zu vergleichen. Die so erhaltene Gröfse stimmt, wie vorausszusehen, nicht mit der bei niedriger Temperatur beobachteten, so dafs der Unterschied sogar 0^{mm},4826 beträgt. Poisson schreibt denselben den Beobachtungsfehlern zu, welche aber bei den genauen Messungen des Hrn. Gay-Lussac kaum in so grossem Verhältnifs vorkommen können. Dieser Unterschied reducirt sich auch wirklich auf weniger als die Hälfte, wenn die Beobachtung bei der höheren Temperatur nach meiner Formel reducirt wird.

Ich will die zuverlässigsten mir bekannten Beobachtungen in folgender Tabelle zum Vergleiche mit meinen Resultaten zusammenstellen.

1) W a s s e r.

Beobachter.	Temperatur.	Flüssigkeitscylinder, welcher in einer Capillarröhre von 1mm Radius gehoben wird.	Nach meinen Beobachtungen.	Differenz.
		mm	mm	mm
Gay-Lussac ²⁾	8°,5 C.	15,130	15,089	+0,041
Idem ³⁾	11	15,033	15,017	+0,016
Frankenheim ⁴⁾	0	15,30	15,332	—0,032
Idem	16°,5	14,84	14,859	—0,019
Idem ⁵⁾	0	15,42	15,332	+0,088
Sondhaufs ⁶⁾	0	15,523	15,332	+0,191
Artur ⁷⁾	0	15,165	15,332	—0,167
Hagen ⁸⁾	10	15,878	15,046	—0,168

1) *c. l. p.* 181.2) *c. l. p.* 112.3) *c. l. p.* 295.

4) Lehre von der Cohäsion, S. 79. Die zweite Beobachtung ist hier als bei 6°,5 gemacht angeführt. Hr. Frankenheim corrigirt jedoch diese Angabe in Erdmann und Marchand's Journal, 1841, Bd. 23, S. 404, In derselben Zahl hat Hrn. Sondhaufs's Dissertation, S. 25, den Druckfehler 10°,5 statt 16°,5.

5) Erdmann und Marchand's Journal, Bd. 23, S. 421.

6) *Dissertatio*, p. 25.7) *Théorie élémentaire de la capillarité*, p. 104.

8) Die Oberfläche der Flüssigkeiten, 1845, S. 38. Hr. Hagen führt Beobachtungen an, welche er mit sechs Röhren von verschiedenem Durch-

2) Aether.

Beobachter.	Temperatur.	Flüssigkeitcy- linder, welcher in einer Capil- larröhre von 1 ^{mm} Radius erhoben wird.	Nach meinen Beobachtun- gen.	Differenz.
Frankenheim ¹⁾	19° C.	5,10	4,821	+0,279
Idem	14,5	5,37	4,947	+0,423
Idem ²⁾	0	5,40	5,354	+0,046
Artur ³⁾	0	5,208	5,354	-0,146

3) Olivenöl.

Frankenheim ⁴⁾	13° C.	7,40	7,328	+0,072
Haüy ⁵⁾	8	7,50	7,381	+0,119

Es sey mir erlaubt zum Schlusse noch einige Relationen zu betrachten, in welchen die Cohäsion mit andern Kräften steht, und die in mehr oder weniger directer Beziehung zu meinen Resultaten stehen.

messer anstellte. Da seine Angaben in altem französischen Maafse sind, so reducirt ich sie auf Millimeter und dann auf eine Röhre von 1 Millimeter Radius. Die sechs Beobachtungen geben:

$$\begin{array}{cccc} 14,726 & 14,714 & 14,872 & \\ 14,805 & 15,176 & 14,972 & \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{cccc} 14,726 & 14,714 & 14,872 & \\ 14,805 & 15,176 & 14,972 & \end{array}} \right\} \text{Mittel} = 14,878.$$

Die Temperatur wird hier nicht angegeben. An einer späteren Stelle sagt jedoch der Hr. Verfasser, daß alle seine Beobachtungen bei etwa 8° R. angestellt seyen. Ich habe daher die Temperatur = 10° C. angenommen.

- 1) Lehre von der Cohäsion, S. 83.
- 2) Erdmann und Marchand's Journal, 1841, Bd. 23, S. 426.
- 3) *Théorie élémentaire de la capillarité*, p. 112.
- 4) Lehre von der Cohäsion, S. 83. (Mandelöl.)
- 5) Nach einer Berechnung von Frankenheim (Lehre von der Cohäsion, S. 77) aus den Angaben, welche Laplace anführt.

Ueber die Frankenheim'sche Ansicht des Zusammenhanges
der Synaphie mit der lichtbrechenden Kraft.

Hr. Frankenheim glaubt eine gewisse Beziehung zwischen Cohäsion und lichtbrechender Kraft gefunden zu haben ¹⁾. Er berechnet nämlich das Product der Synaphie in die lichtbrechende Kraft ($n^2 - 1$), mit Zugrundelegung der Brewster'schen Bestimmungen. Er schließt aus seiner Rechnung, daß dieses Product bei allen Flüssigkeiten nahezu eine constante Gröfse sey, und stellt die Regel auf, »daß das Licht um so stärker gebrochen werde, je kleiner die Synaphie sey.«

In Folge dieses Satzes müßte die brechende Kraft ein und derselben Flüssigkeit mit Temperaturerhöhung in eben so großem Verhältniß zunehmen als die Synaphie abnimmt. Vergleichen wir die Beobachtungen mit diesem Schlusse, so geht schon aus der älteren Arbeit von HH. Arago und Petit ²⁾ hervor, daß die lichtbrechende Kraft mit Temperaturerhöhung abnimmt. Die genauesten Versuche über die Refraction der Flüssigkeiten hat in neuester Zeit Hr. Mitscherlich angestellt, und, was namentlich von dem größten Interesse ist, er untersuchte ein und dieselbe Flüssigkeit bei verschiedener Temperatur. Hr. Mitscherlich hat seine Arbeiten zwar bis jetzt noch nicht einem größeren Publicum mitgetheilt, wohl aber der hiesigen Academie der Wissenschaften vorgelegt. Die Resultate, welche ich der gütigen Mittheilung des Hrn. Verfassers verdanke, lauten dahin, daß die lichtbrechende Kraft bei erhöhter Temperatur geringer ist, obgleich sich bis jetzt noch nicht entscheiden liefs, ob diese Abnahme der Refraction der Dichtigkeit oder der Temperaturzunahme proportional sey. — Es findet also gerade das Umgekehrte von dem statt, was sich nach der Frankenheim'schen Regel ergeben müßte.

Wenn es gleich wahrscheinlich ist, daß zwischen die-

1) Lehre von der Cohäsion, S. 91.

2) *Annales de Chimie et de Physique*, T. I. 1816. p. 1.

sen beiden Molecularwirkungen eine gewisse Relation stattfinde, so muß doch vorläufig ausgesprochen werden, daß sie nicht eine solche ist, wie Hr. Frankenheim sie annahm. Die genaue Vergleichung des Verhaltens der Cohäsion und Refraction bei verschiedenen Temperaturen, welche ohne Zweifel geeignet ist, einen Aufschluß über diese noch so dunkeln Molecularkräfte zu geben, wird jedoch erst dann möglich seyn, wenn die schönen Versuche des Hrn. Mitscherlich beendigt seyn werden.

Relationen zwischen Cohäsion und Electricität.

In neuester Zeit hat Hr. Draper in New-York eine Ansicht geäußert, nach welcher die Cohäsion in elektrischen Wirkungen ihre Ursache habe ¹⁾. Obgleich es kaum ein Fortschritt zu nennen ist, wenn zur Erklärung einer dunkeln Erscheinung eine allgemeine Bezeichnung einer wenig bekannten Kraft eingeführt wird, so möchten doch die Experimente, welche Hr. Draper zur Bestärkung seiner Ansicht anführt, die Aufmerksamkeit der Physiker in Anspruch nehmen.

Das erste Experiment ist folgendes: Bringt man einen Wassertropfen auf eine reine Quecksilberoberfläche, und taucht die negative Elektrode eines galvanischen Stromes in das Quecksilber, während man die positive in das Wasser bringt, so zieht sich der Wassertropfen zu einer Halbkugel zusammen. — Dieses Experiment, welches schon Hr. Erman im J. 1808 beobachtet hat ²⁾, ist vollkommen richtig. Ich tauchte nun umgekehrt die positive Elektrode in das Quecksilber und die negative in den Wassertropfen, wobei sich die entgegengesetzte Erscheinung einstellte, indem alsbald das Wasser sich über die Quecksilberoberfläche ausbreitete. (Auf vollkommen gereinigtem Platinbleche wiederholte sich die Erscheinung nicht.)

Es hängen diese Erscheinungen mit der Bewegung zu-

1) *Philosophical Magazine. Third Series.* 1845. p. 184.

2) *Gilbert's Annalen der Physik*, Bd. 32. 1809. S. 269

sammen, welche die HH. Erman, Herschel, Pfaff und Schweigger ¹⁾ bei Flüssigkeiten beobachtet haben, welche das Quecksilber vollständig bedeckten, wenn ein elektrischer Strom durch diese Verbindung geht. Sie scheinen einerseits ihren Grund zu haben in der allgemeinen Tendenz der Körper, durch welche ein Strom geht, sich in der Richtung dieses Stromes zu bewegen; da aber auch die Bewegungen je nach der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten verschieden sind, so scheinen sie zweitens von den chemischen Veränderungen abzuhängen, welche die Oberfläche des Quecksilbers erleidet. Aber die Annahme einer veränderten Intensität der Cohäsionskraft ist nirgends durch die Beobachtungen begründet. Dafs vielmehr letztere keine Veränderung erleide, beweist auf's Bestimmteste schon das alte Experiment von Hrn. Erman ²⁾, welcher die Kraft, mit welcher Adhäsionsplatten von Wasser gerissen wurden, wenn sie als Elektroden eines elektrischen Stromes benutzt wurden, gleich fand, wie wenn kein Strom durch die Verbindung ging. Ich habe auch durch einen Versuch mit einer Capillarröhre mich überzeugt, dafs auch bei dem Draper'schen Experimente die Cohäsion keine merkbare Veränderung erleidet: in den auf dem Quecksilber befindlichen Wassertropfen taucht eine Capillarröhre, in welcher das Wasser von dem Tropfen zum Theil aufsteigt; in die gehobene Wassersäule reicht von oben herab ein Platindraht als Elektrode, so dafs die elektrische Verbindung mit dem Quecksilber durch die Wassersäule stattfindet. Würde, wenn ein elektrischer Strom durch die Vorrichtung geht, die Cohäsion eine Modification erleiden, so müßte sich diefs durch Aenderung der Capillarröhre zeigen. Ich fand jedoch bei Ausführung des Experiments die Höhe der gehobenen Säule bei durchgehendem Strome nur in sofern etwas verändert, als das äufsere Niveau des Wassers durch

1) Erman in Gilbert's Annalen, Bd. 32, S. 269. — Herschel in Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Physik. 1825. Bd. 41, S. 182. — Pfaff ebendasselbst. — Schweigger ebendasselbst, S. 214.

2) Gilbert's Annalen, Bd. 32, S. 263

die Verbreitung über die Quecksilberoberfläche sich veränderte.

Ich glaube daher mit Sicherheit aussprechen zu dürfen, daß die Cohäsion der Flüssigkeiten, durch welche ein elektrischer Strom geht, keine merkbare Veränderung erleide, und daher das von Hrn. Draper angeführte Experiment nichts beweise für den Zusammenhang der Capillarerscheinungen mit der Elektricität.

Ein zweites Experiment, welches Hr. Draper anführt, ist folgendes: in ein heberförmig gebogenes Glasrohr, dessen einer Schenkel capillar ist, gießt er Quecksilber. Dasselbe steht wegen der Capillardepression im engen Schenkel tiefer als im weiten. Bringt man auf das Quecksilber im engen Schenkel etwas Wasser, und taucht in dasselbe die positive Elektrode und die negative in das Quecksilber des weiten Schenkels, so soll das Quecksilber in dem engen Schenkel in die Höhe steigen. — Bei Wiederholung glückte mir dieses Experiment einige Male; ebenso, wenn umgekehrt die positive Elektrode in das Quecksilber und die negative in das Wasser tauchte.

Dieses Steigen des Quecksilbers in dem engen Rohre erklärt sich leicht aus einem längst bekannten Experimente von Erman ¹⁾, welcher das Verhalten des Quecksilbers beobachtete, welches mit Wasser vollständig bedeckt war: wenn nämlich die positive Elektrode in das Wasser und die negative in das Quecksilber taucht, so findet eine auffallende Krümmung und Erhöhung der Oberfläche des Quecksilbers statt. Bei dem Draper'schen Versuche zeigt sich diese Erscheinung in der Capillarröhre, worin das Quecksilber wie beim Erman'schen Versuche sich erhebt.

Es gehört diese Erscheinung offenbar in die nämliche Kategorie mit den Schwankungen, welche eine Quecksilbersäule zeigt, die sich in einer horizontalen Röhre zwischen Wasser befindet, in welches die Elektroden eines elektrischen Stromes tauchen. Schon Hr. Erman hat diese

1) Gilbert's Annalen der Physik, Bd. 32. 1809. S. 268.

Beobachtung gemacht ¹⁾, und neulich hat sie Hr. De la Rive in noch größerem Maassstabe ausgeführt ²⁾).

Man kann endlich auch das Steigen des Quecksilbers in der Capillarröhre eben so leicht aus dem ersten Versuche des Hrn. Draper erklären. Wenn nämlich Wasser in dem engen Schenkel des Heberrohres auf das Quecksilber gebracht wird, so findet die Capillardepression des Quecksilbers in einem Wasserröhrchen statt. Wird die positive Elektrode in das Wasser gebracht, während die negative in das Quecksilber taucht, so zieht sich das Wasser, welches sich zwischen Quecksilber und Glasröhrchen gedrängt hatte, wie beim ersten Experimente zurück; dadurch nimmt die Convexität der Quecksilberoberfläche ab, was eine Erhebung des Quecksilbers zur Folge hat. — Jedenfalls erklärt sich die Erhebung des Quecksilbers auf eine leichte Weise durch solche secundäre Wirkungen, und man braucht eben so wenig hier, als beim ersten Experimente eine Veränderung der Cohäsion durch den elektrischen Strom anzunehmen.

Wenn überhaupt eine Relation zwischen Elektrizität und Cohäsion stattfindet, so glaube ich, daß dieselbe auf einem ganz andern Wege zu suchen sey. Die wichtige Entdeckung von Hrn. Faraday ³⁾, daß ein Körper, durch welchen ein polarisirter Lichtstrahl geht, die Fähigkeit erlangt, die Polarisations Ebene zu drehen, wenn der Körper von einem elektrischen Strome umkreist ist, scheint zu beweisen, daß der Körper durch diesen Strom eine Veränderung im Molecularzustande erleide. Bei dieser Auffassung der Erscheinung liegt der Gedanke sehr nahe, daß die Cohäsion, welche ebenfalls in einer Wirkung der Molecularkräfte ihren Grund hat, unter den nämlichen Umständen eine Modification erleide. Gleich nachdem die erste

Nach-

1) *z. l. p.* 275.

2) *Compt. rend. de l'Acad. des scienc.*, T. XXII, No. 10. 1846. p. 431.

3) Ueber die Magnetisirung des Lichts. *Poggend. Annalen*, Bd. 68. 1846. S. 105. Aus: *Phil. Mag.*, Ser. III, Vol. XXVII, p. 294.

Nachricht von der Faraday'schen Entdeckung hier bekannt wurde, wiederholte Hr. Magnus das Experiment mit dem besten Erfolge. Ich benutzte nun den nämlichen Apparat so, daß ich in die Drahtspirale an die Stelle des Körpers, durch welchen der Lichtstrahl geht, eine Flüssigkeit brachte, in welche eine Capillarröhre tauchte: ich sorgte dafür, daß der oberste Theil der gehobenen Flüssigkeitssäule noch innerhalb der Drahtspirale sich befand, und beobachtete nun den Stand des Meniscus, während ein Strom durch die Spirale ging. Ich wandte nach einander Wasser, Aether, Alkohol, Steinöl, Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure und eine Lösung von Kupfervitriol an, ohne jedoch irgend eine Veränderung in der Capillarrhöhe zu bemerken, wenn der Strom durch die Drahtspirale ging. Wenn man indessen bedenkt, wie gering überhaupt die Wirkung auch auf die Lichterscheinung ist, so darf man die Hoffnung nicht aufgeben, wenn es gelingen sollte, das Faraday'sche Experiment in einem größeren Maafsstabe auszuführen, vielleicht auch eine Veränderung der Cohäsion unter den nämlichen Umständen zu beobachten.

Wir müssen glauben, daß alle Wirkungen, welche durch den Molecularzustand der Körper bedingt sind, im engsten Verbande unter sich stehen, und daß demnach durch die Gesetze, welche von den einen Molecularwirkungen bekannt sind, auch die andern erläutert werden; dann ist aber auch jede neue, mit Genauigkeit ausgeführte Versuchsreihe, welche über die Gesetze der einen dieser Molecularwirkungen Aufschluß giebt, geeignet, die Kenntnisse der innersten Constitution der Körper zu erweitern. — Möge meine Arbeit auch in dieser Beziehung benutzt werden können!
