

1033547

2.

Ueber die
Physik der Molecularkräfte.

Rede

in der öffentlichen Sitzung der königl. Akademie der Wissenschaften
am 28. März 1857,

zu ihrer

98. Stiftungsfeier,

vorgetragen

von

Professor Dr. Jolly.

München, 1857.

Auf Kosten der k. Akademie.

J. G. Weiß, Universitätsbuchdrucker.

Hochzuverehrende Herren!

Sie werden es nicht als den herkömmlichen Ausdruck von Bescheidenheit betrachten, wenn ich gestehe, daß die gefahrvolle Ehre, in dieser feierlichen Versammlung das Wort zu ergreifen, mir das Maaß der eigenen Kräfte um so kleiner und ungenügender erscheinen läßt, je mehr ich den Blick wende nach den vielen, durch ausgebreiteten und begründeten literarischen Ruf ausgezeichneten, Mitgliedern dieser Körperschaft. Ich war weit entfernt diese Besorgniß zurückzuhalten oder zu unterdrücken, und habe nicht versäumt neben meiner Bereitwilligkeit: dem Auftrage, der mir ertheilt werde nachzukommen, auch die Bitte wiederholt gegen die Meisten von Ihnen auszusprechen: bessere Kräfte an diese Stelle treten zu lassen. Hat dennoch die betreffende Classe der Akademie mir das Wort anvertrauen wollen, so muß ich annehmen, daß man diesmal dem leichten Verdienste regen Eifers für wissenschaftliche Forschung eine, wie ich besorge, gewagte Auszeichnung zuwenden wollte.

Es ist die Feier des Stiftungstages, die uns heute nach einem beinahe hundertjährigen Bestehen dieser Akademie vereint, und hiermit um so lauter mahnt, dankbar uns der erhabenen Absichten ihres erleuchteten Stifters des

Churfürsten Maximilian Joseph, und des wirksamen Schutzes und der treuen Pflege zu erinnern, welche Bayerns erhabene Herrscher dieser Anstalt zuwendeten.

War es, wie nicht zu bezweifeln, die Ueberzeugung, daß die Beschäftigung mit der Wissenschaft, als der Erforschung der Wahrheit, das höchste Interesse für sich in Anspruch nimmt, welche Veranlassung wurde zur Gründung einer Anstalt, in welcher Pflege der Wissenschaft der vornehmste Zweck ist; war es die Ueberzeugung, daß Glück und Wohlfahrt und innere Zufriedenheit, des Einzelnen wie des Ganzen durch ein ernstes Streben nach Erkenntniß der Wahrheit am meisten gefördert werde, und daß daher wie die Stiftungsurkunde aussagt „die Ausbreitung der Wissenschaften und der nützlichen Künste gefördert werden solle“, so waren so hohe Zwecke nie mit innigerer Theilnahme und mit großartigerer Freigebigkeit gefördert worden, als durch unsern allergnädigsten König, den erhabenen Protector dieser Akademie. Sind fremde Bücherschätze zu durchforschen um Aufklärung und Antwort auf noch offene Fragen der Wissenschaft zu gewinnen, sind Beobachtungsreisen in europäischen oder in außereuropäischen Ländern durchzuführen um die großen Fragen der Physik der Erde ihrem Abschluß näher zu bringen, sind aufstrebende Talente, welche Früchte für die Zukunft versprechen, zu unterstützen, ist ganz allgemein deutsche Wissenschaft zu fördern und aufzumuntern, überall hin sehen wir den erhabenen Protector dieser Akademie mit nie ermüdendem Eifer Hülfe spendend, und mit wärmster Theilnahme allen Fortschritten folgend, die auf den weiten Gebieten der Wissenschaft gewonnen werden.

Neben den Gefühlen des schuldigen Dankes für so hohen und wirksamen Schutz, dessen sich die Akademie zu erfreuen hat, mahnt die Stiftungsfeier den Neueintretenden an die glänzende Reihe reich begabter schöpferischer Talente, die durch eine lange Reihe von Jahren in ununterbrochener Folge die Zierden dieser Akademie waren. Selbst in dem engeren Kreis der Natur-

forschung, und auch hier noch in der Einschränkung auf die noch nicht vollendeten sechs Decennien dieses Jahrhunderts, hat diese Akademie eine Reihe von Forschern aufzuweisen, deren Leistungen zu den ersten des Faches gehören, und deren Namen für immer dankbar in die Annalen der Wissenschaft eingetragen sind; einen Rumford der, ein zweiter Franklin, für jeden Gewinn der Wissenschaft auch den Nutzen, den sie dem Leben gewähren kann, zu bezeichnen verstand; den vielseitigen Sömmering, der zuerst den galvanischen Strom zur elektrischen Telegraphie nicht allein in Vorschlag brachte, sondern auch den Weg zur Anwendung zu bahnen versuchte; einen Joseph v. Baader, dessen Talent ausreichte zugleich die Technik mannigfaltiger physikalischer Apparate zu vervollkommen, und sich an allen wichtigeren Fragen der Technik im Großen mit glänzendem Erfolg zu betheiligen; einen Reichenbach, dessen Genialität für praktische Mechanik die Industrie mit zahlreichen Erfindungen bereicherte, und zugleich die Geodäsie und die beobachtende Astronomie mit Meßinstrumenten von früher nicht erreichbarer Vollendung ausrüstete; vor Allen einen Fraunhofer, der gleich genial in der Wissenschaft wie in der Technik es verstand, ein kurzes Leben zu einem thatenreichen und erfolgreichen Leben für die Wissenschaft zu machen; einen Ohm, dessen schöpferischem Talent es gelang für die mannigfaltigen Wirkungen des elektrischen Stromes den wissenschaftlichen Ausdruck festzustellen, und von dem wir nach so hervorragenden Leistungen es doppelt beklagen müssen, daß ein unerbittliches Geschick ihn verhinderte seine Ideen über eines der, noch wenig bebauten, Gebiete der Physik, über die Natur der Molecularkräfte, uns mitzutheilen; einen Gehlen, der ein beklagenswerthes Opfer seines wissenschaftlichen Eifers der Wissenschaft zu früh entzogen wurde; einen Forscher wie Fuchs, der nicht allein die Wissenschaft mit neuen Entdeckungen bereicherte, sondern ihr selbst neue Gebiete reicher Forschung erschloß. Und doch nenne ich hiermit nur Wenige selbst der hervorragenderen Mitglieder, und doch werden Sie selbst gleich im Stande sein diese Reihe zu ergänzen und zu vervollständigen. Aber so freudig ich die Pflicht erfülle die unvergänglichen Verdienste heimgegangener Mitglieder, die an dieser Stelle gewirkt haben, in dankbarem An-

denken zu bewahren, so gerecht ist die Sorge, die mich ergreift, Sie könnten von dorthier den Maassstab entnehmen, und an den kleinen Beitrag legen wollen, für welchen ich im Begriff bin um Ihre Aufmerksamkeit zu bitten.

Ich will über einen Gegenstand sprechen, der einer der jüngsten Zweige exacter Forschung in der Naturlehre ist. Ich will es nämlich versuchen einen Beitrag zur Physik der Molecularkräfte zu geben, oder doch einen Weg zu bezeichnen, auf welchem, gestützt auf wissenschaftliche Erfahrung, eine schärfere Bestimmung der Natur und der GröÙe dieser Kräfte möglich erscheint.

Kann es hierbei meine Absicht nicht sein auf den, durch die ganze Dauer des vergangenen Jahrhunderts, oft mit vielem Aufwand von Scharfsinn und nicht selten mit Erbitterung geführten Kampf der Atomisten und Dynamisten einzugehen, so muß ich ihn doch so weit berühren als zur Bezeichnung der Stellung nöthig ist, welche die Physik heutigen Tages zu diesen Fragen einnimmt.

Es ist schwer, wenn nicht geradezu unmöglich, die Ansicht der Atomisten und die der Dynamisten so zu formuliren, daß sie als der vollständige Ausdruck der Behauptungen der einen oder der andern der streitenden Partheien betrachtet werden könnte. Jede dieser Meinungen hat, je nach den Vertretern, so viele Divergenzpunkte, daß ein solches Unternehmen unausführbar erscheint. Nur in gewissen Fundamentalsätzen besteht Uebereinstimmung, und diese Sätze sind es, die ich berühren will.

Die Atomistik beruft sich zunächst auf die Erfahrung der Theilbarkeit aller Materie. Ist alle Materie theilbar, so ist sie aus Theilen zusammengesetzt. Diese Theilbarkeit hat wohl, den physischen Mitteln gegenüber, die uns zu Gebot stehen, nahe liegende Grenzen, aber in Gedanken läßt sie sich weiter verfolgen, ohne indeß in's Unendliche zu gehen, denn „der Begriff des Zusammengesetzten setzt den des Einfachen voraus.“ Das absolut Ein-

fache auf welches eine fortgesetzte Theilung schließlich führt, wird als Atom bezeichnet. Die Atome sollen äußerst kleine, untheilbare, feste, undurchdringliche, träge und bewegliche Punkte sein. Sie sind mit Kräften, und zwar mit anziehenden und mit abstoßenden zugleich ausgerüstet; mit anziehenden, die verhindern, daß nicht eine Zerstreuung der Atome in's Unendliche eintritt, und mit abstoßenden, die bewirken, daß sie nicht in einen Punkt zusammenfließen. Die Anziehungen und die Abstoßungen sind Functionen der Entfernungen der auf einander wirkenden Punkte, aber Functionen verschiedener Art; die Anziehungen nehmen nach einem andern Gesetz mit der wachsenden Entfernung der Punkte ab als die Abstoßungen. Die Distanz der Punkte ist bedingt durch die innern, von den Punkten ausgehenden, und von den äußern auf dieselben wirkenden Kräfte. Stehen diese im Gleichgewicht, so tritt Ruhe ein und die Punkte behaupten eine bestimmte Entfernung. Treten neue Kräfte hinzu so wird eine Verschiebung der Punkte, Annäherung oder Entfernung, eintreten bis die neue, den hinzugetretenen Kräften entsprechende, Gleichgewichtslage erreicht ist. Zwischen den Atomen selbst aber sind leere Räume. — So die Sätze der Atomisten.

Nach der Meinung der Dynamisten nimmt die Materie den Raum nicht durch bloße Existenz ein, sie erfüllt ihn durch bewegende Kräfte. Durch eine abstoßende Kraft vertheidigt jeder Körper den Raum, den er erfüllt, gegen das Eindringen jedes andern Körpers; die Undurchdringlichkeit der Materie gründet sich eben auf die Thätigkeit dieser abstoßenden Kraft. Diese Kraft soll durch eine andere wohl auf einen kleineren Raum beschränkt werden können, soll aber, wie die Beschränkung ihres Raumes zunimmt, an Größe wachsen; sie würde unendlich groß, wenn ihr Raum auf Null gebracht werden sollte, was also eine endliche Kraft nie bewirken kann, daher mechanische Undurchdringlichkeit der Materie. Von dieser mechanischen Undurchdringlichkeit — impenetrabilitas, — soll die chemische — impermeabilitas — so ganz verschieden sein, daß sie gerade umgekehrt in einer Durchdringlichkeit besteht; denn die chemischen Verbindungen sollen in einer gegen-

seitigen Durchdringung der sich vereinigenden Körper bestehen, die, statt neben einander, in einander, — (und auch hier fehlt es nicht am Wort „per intussusceptionem“) den Raum erfüllen.

Um der Thätigkeit der abstoßenden Kraft eine Grenze zu setzen, die für sich allein in's Unendliche sich verbreiten und hiermit eine Abnahme ihrer Intensität in's Unendliche erfahren würde, hielt der Dynamist es erforderlich auch eine anziehende Kraft zu Rath zu halten. Aus der gleichzeitigen Thätigkeit beider Kräfte geht für den Dynamist die Materie hervor. Da nach ihm die Kräfte nach allen Richtungen des Raumes continuirlich wirken, und eben in dieser Thätigkeit die Materie besteht, so wird der Raum stetig erfüllt, und es gibt keine leeren Zwischenräume wie sie der Atomist behauptet. Die Verschiedenheit in der Dichtigkeit der Körper soll „von dem Grad“ abhängen, in welchem die Kräfte den Raum erfüllen, und die übrigen Verschiedenheiten der Körper sollen „aus den verschiedenen Verhältnissen“ der zwei Grundkräfte erklärt werden.

Die Naturforschung hat aus diesem Kampf nicht den kleinsten Gewinn ziehen können. Zunächst ist klar, daß die Behauptungen der Atomisten und die der Dynamisten im Ausgangspunkt nicht einerlei Frage betreffen. Für den Atomisten ist die Materie das Gegebene, seine Atome sind Materie, und seine Sätze sagen nur aus, wie die Materie den Raum erfüllt, nämlich durch eine Juxtaposition der Atome. Der Dynamist geht einen Schritt weiter, er erklärt oder will erklären wodurch die Materie besteht, und das Wie ist für ihn eine Folge jener, wie er glaubt genügend begründeten, Causalität der Materie.

Für die Physik ist die Materie, wie in der Atomistik, ebenfalls ein Gegebenes; sie kennt keinen Weg über die Ursache des Bestehens der Materie irgend einen Ausspruch zu machen. Sie überläßt es der Metaphysik in Erörterung solcher Fragen einzugehen, aber sie prüft nach ihren Principien die Aufstellungen, die von dort her gemacht werden. Behauptet der Dynamist

eine Continuität der Materie, widerspricht er der Möglichkeit des Bestehens eines Körpers aus diskreten Punkten, so fragt die Physik bei den Erscheinungen an; sie prüft dieselben nach den Principien, die von Copernicus bis auf Galilei, und von Galilei bis auf unsere Tage ununterbrochen sich bewahrheitet haben, welche zuerst Newton in seinem unsterblichen Werk *Principia philosophiae naturalis* mit mathematischer Schärfe bezeichnet hat, und von denen d'Alembert sagt: gerade ihre Einfachheit, in welcher sie mit der Einfachheit wetteifern, die für den Aufbau der Geometrie in den euklidischen Elementen gewonnen ist, sei es, durch welche es in der Naturforschung gelinge mit so viel Schärfe und Bestimmtheit Meinungen zu prüfen und die Wahrheit zu bezeichnen.

Diese Anfrage und Prüfung hat gegen die Behauptung der Dynamisten entschieden. Die Materie ist aus diskreten, durch Zwischenräume getrennten, Punkten aufgebaut, die durch Kräfte auf einander wirken. Die Analyse einer ganzen Reihe von Erscheinungen der Physik der ponderabeln und der imponderabeln Stoffe führt zu dieser Annahme. Es ist aber nicht nöthig eine Reihe solcher Erscheinungen namhaft zu machen, eine Einzige, die in exacter Prüfung nach den Principien der Mechanik unter Annahme der Continuität der Materie zu Folgerungen führt, die mit der Erfahrung in Widerspruch stehen, ist entscheidend. Eine solche ist die Farbenzerstreuung des Lichtes, an deren Thatsache Niemand zweifelt, von der aber Couchy's Analyse zeigt, daß sie unter Annahme der Continuität des Aethers nicht statthaft wäre, daß in diesem Falle nur eine einfache Brechung ohne Farbenzerstreuung eintreten könne, daß dagegen die Annahme einer Constituirung des Aethers aus diskreten Punkten sich nach den Principien der Mechanik im Einklang mit dem thatsächlichen Vorgang erweise *).

*) Es sind in der geistreichen Abhandlung von Gustav Theodor Fechner „über die physikalische und philosophische Atomenlehre, Leipzig 1855“ außer diesem Beispiele eine ganze Reihe analoger Fälle angeführt.

Die Physik läßt in ihrer jetzigen Entwicklung es unerörtert und unbeantwortet wie und wodurch eine Wirkung zweier getrennter Punkte auf einander vermittelt werde, sie behauptet nur, daß eine solche bestehe, daß die Materie aus diskreten Punkten zusammengesetzt sei, die thatsächlich auf einander in der Richtung der Verbindungslinie wirken. Gerade so wie die Erde und ihr Trabant, zwei getrennte Körper in der Richtungslinie ihrer Mittelpunkte auf einander wirken, und wie die gleiche Erscheinung in der Sonne und den Planeten sich wiederholt, geradeso liegen den Körpern getrennte kleinere Theile zu Grund, die in diesen Entfernungen Wirkungen auf einander äußern.

In der Physik hat man, nachdem durch Laplace in seinen denkwürdigen Forschungen über Capillar-Attraction die zu betretende Bahn vorgezeichnet war, allgemein jene kleinsten Theile, aus welchen die unseren Sinnen erkennbare Materie aufgebaut ist, Molecule genannt. Die Molecule sind nicht Atome, wenigstens nicht in dem Sinn wie es das Wort ausdrückt, und wie es von den Atomisten im Gegensatz zur dynamischen Auffassung gebraucht wird; sie sind Theile ponderabler oder imponderabler Materie, Theile von unmerklicher Größe, die in Entfernungen, deren Dimensionen unseren Sinnen nicht mehr wahrnehmbar sind, theils anziehend theils abstoßend auf einander wirken. Die Molecule sind nur die zunächst einfachen Theile, aus denen ein Körper zusammengesetzt ist, sie können selbst wieder ihrerseits aus einfacheren Theilen zusammengesetzt sein. Die Molecule des Wassers sind noch von der gleichen chemischen Constitution wie das Wasser; aber jedes Molecule des Wassers ist zusammengesetzt aus Moleculen des Sauerstoffs und des Wasserstoffs. Ist mit diesen Bestandtheilen des Wassers die Grenze der Zerlegbarkeit für jetzt erreicht, so sind für jetzt dies die einfachsten Molecule, die dem Wasser zu Grund liegen.

Wollte man, wie es wirklich geschah, einwenden: Der Augenschein sei gegen solche Vorstellung, man könne weder die Molecule des Wassers, und

noch weniger die feiner Bestandtheile wahrnehmen, und ebenso seien keine erkennbaren Zwischenräume zwischen den Moleculen vorhanden, die Materie zeige sich vielmehr in wahrer Continuität, so ist an die Antwort von Copernicus zu erinnern, welche er auf den Einwand gab: daß aller Augenschein gegen seine Behauptung sei; daß, wenn die Erde sich bewege, die Fixsterne eine Parallaxe zeigen müßten, die man doch nicht wahrnehme. Seine Antwort ging bekanntlich dahin, daß man sich die Welt zu klein vorstelle, daß die — mit den damaligen Instrumenten — gar nicht meßbare Parallaxe nur andeute wie ausnehmend entlegen die Fixsterne von dem Sonnensystem sind. Gerade so sagt die Physik, daß der Augenschein direct über die Zusammensetzung der Materie nicht entscheiden könne. Wer erwartet die Molecule einzeln sehen und ihre Abstände messen zu können, der hat sich eben die Molecule zu groß gedacht. Sie sind ausnehmend klein und ebenso sind es ihre Abstände, so daß selbst mit den stärksten Vergrößerungen die Molecule einzeln noch nicht erkennbar und daß ihre Abstände nicht meßbar erscheinen.

Will man entgegen halten, daß alle philosophischen Schulen, die doch sonst durch Uebereinstimmung sich nicht auszeichnen, gerade in dem einen Punkt übereinstimmen, daß die Materie continuirlich den Raum erfülle, so kann auch dies, — bei wahrer Verehrung für jedes ernste philosophische Bestreben — in dieser Frage nicht allzu schwer ins Gewicht fallen. Die Naturlehre ist erst spät zur Entwicklung gekommen; ihre Principien sind erst spät in ihrer ganzen Einfachheit erkannt worden; aber seitdem sie erkannt sind, seitdem Galilei die Ausgangssätze auffand, und seitdem Newton mit einem Scharfsinn, mit einer Erfindungskraft und mit einer mathematischen Phantasie, wie alte und neue Zeit das gleiche Talent nicht aufzuweisen haben, die Principien der Dynamik in exact wissenschaftlicher Gliederung entwickelte, und gleich als Beispiel ihrer Anwendung, wie er sich ausdrückte, die theoretische Astronomie begründete, seit dieser Zeit sind die Naturwissenschaften stetig fortgeschritten. An irrigen Meinungen fehlte es freilich nicht, aber es fehlte auch nicht an einem ganz leidenschaftlosen unpartheiischen Prüfstein, und dies sind

eben jene von Newton aufgefundenen und aufgestellten Principien, die durch ihre Einfachheit gerade so viel Anspruch auf Wahrheit machen, wie die Grundlagen der Arithmetik oder die der Geometrie. Zunächst ist jede Meinung gleich berechtigt, führt sie aber unter Anwendung jener Principien zu Widersprüchen, so ist sie geradezu unhaltbar. So ist es aber mit der Annahme der Continuität der Materie der Fall. Einem Zusammenhang unter den diskreten Punkten widerspricht die Physik nicht; sie behauptet sogar selbst, daß ein solcher durch Kräfte bestehe, und bekennet, daß sie nur diese Thatsache, aber nicht die Art der Vermittlung der Kräfte, kenne.

Sie übersehen hiernach den Standpunkt, welchen die Physik in diesem Gebiete der Forschung einnimmt. Die Kräfte, welche die Molecule in der Berührungsnähe, d. h. in unmeßbar kleinen Entfernungen, auf einander ausüben, nennt sie Molecularkräfte. Bis jetzt kann sie nur sehr wenig über die Natur dieser Kräfte aussagen, und das Wenige läßt sich in folgender Weise resumiren:

- 1) die Richtungen der Kräfte, welche zwei Punkte eines Systems auf einander ausüben, fallen mit der Richtung der Geraden zusammen, welche die beiden Punkte verbindet;
- 2) diese Kräfte sind dem Sinne nach einander entgegengesetzt, sie äußern entweder ein Bestreben die beiden Punkte einander zu nähern oder von einander zu entfernen;
- 3) die Wirkungen zweier Punkte auf einander sind immer durch zwei Paare von Kräften ausgedrückt, von denen das eine Paar eine Annäherung, und das andere Paar eine Entfernung der beiden Punkte bewirken will;
- 4) die Kräfte nehmen mit der Entfernung der Punkte ab, sie sind Functionen dieser Entfernungen, werden aber in jeder meßbaren Entfernung Null.

Diese wenigen Sätze waren für Laplace genügend um, gestützt auf die

Principien der Mechanik in exacter Form von den Erscheinungen der Capillarität in bewunderungswürdiger Weise Rechenschaft zu geben. Er zeigte wie es möglich sei die Probleme zu lösen, ohne daß man die absolute GröÙe der Molecularkräfte, und ohne daß man die Function kenne, nach welcher diese Kräfte mit wachsender Entfernung der auf einander wirkenden Punkte abnehmen, wenn nur das Eine fest stehe, daß in jeder meßbaren Entfernung die Wirkung dieser Kräfte verschwindend klein wird.

Es ist hiermit von selbst angedeutet nach welcher Richtung die Forschung sich zu wenden hat. Es sind Wirkungen ausfindig zu machen, die durch die Thätigkeit der Molecularkräfte bedingt aber meßbar sind, und die einen Schluß auf die GröÙe der Kräfte, und wo möglich auf die, mit der relativen Entfernung der aufeinander wirkenden Punkte sich abändernden, GröÙen zu machen erlauben.

Ich bin in einiger Verlegenheit, wie ich den Ideengang, den ich befolgte, ohne Gebrauch von Zahlen und von Calcul, begründen soll, und doch weiß ich, daß an dieser Stelle es wenig passend wäre auf weitläufige Zahlendiscussionen einzugehen. Ich werde es daher versuchen müssen Zahlen und Calcul hier möglichst zu vermeiden, und behalte mir vor in den Klassensitzungen zur Ausführung und Begründung der Details, und zwar so wohl jener, welche zur Begründung der experimentellen Sätze, wie jener, welche zur Analyse dieser Sätze und zur Entwicklung des Calcul's erforderlich sind, einzugehen.

Es ist eine längst bekannte Thatsache, daß mit der Lösung von Alkohol in Wasser eine Contraction erfolgt, d. h. daß das Volumen nach der Lösung kleiner ist als die Summen der Volumina der zur Mischung gebrachten Bestandtheile. Es läßt sich ebenso sicher nachweisen, daß mit der Lösung eines Salzes in Wasser ebenfalls eine Contraction eintritt, die, wie zu erwarten, je nach der Natur des Salzes in verschiedener GröÙe erfolgt. Man kann

nicht zweifeln, daß die Lösung durch den gegenseitigen Zug von Wasser und Salz bewirkt wird. Wäre derselbe nicht vorhanden, so wäre kein Grund da, aus welchem das Salz durch sein größeres specifisches Gewicht mechanisch sich nicht ausscheiden und nicht niedersinken sollte. Dieser Zug, der nur in der Berührungsnähe sich äußert, der also ein Molecularzug ist, erzeugt eine Annäherung der auf einander wirkenden Punkte, bis endlich jene Entfernung erreicht ist, in welcher die, mit der Annäherung der Punkte wachsende, Abstoßung mit der Molecular-Anziehung im Gleichgewicht steht. Es ist gerade so wie wenn durch einen äußeren Druck eine Compression derselben Körper erzeugt würde; denn es ist in der That gleichgültig ob durch einen äußeren Druck oder durch einen inneren Zug die Annäherung der Punkte bewirkt wird.

Ganz im Allgemeinen wird man so schließen dürfen: besteht ein Zug zwischen den Moleculen des Lösungsmittels und des gelösten Körpers, so erfolgt eine Annäherung dieser Punkte, also eine Contraction. Ist die Größe der Contraction meßbar, so ist hiermit die Gesamtwirkung der Molecularzüge meßbar.

Ist andererseits die Compressibilität der sich lösenden Körper bekannt, d. h. ist bekannt welch' einen Bruchtheil des anfänglichen Volumens die, durch einen äußeren Druck von bekannter Größe eintretende Volumenverminderung beträgt, so kann der resultirende Zug der in der Lösung begriffenen Punkte nach jenem Druck bemessen werden. Ein Zusatz des Lösungsmittels (in dem Fall, den ich vor Augen habe, ein Zusatz von Wasser), vergrößert die Wirkungssphäre jedes Molecules des gelösten Körpers. Die Messung der, mit der fortschreitenden Verdünnung eintretenden, Contraction, gibt das Maas für den, mit den wachsenden Entfernungen noch vorhandenen Zug. Es ist also Aussicht da, das Gesetz kennen zu lernen, nach welchem mit wachsender Entfernung der auf einander wirkenden Punkte, eben der Zug, den sie äußern, abnimmt. Ueber die absolute Größe der Entfernungen der anziehenden und der angezogenen Punkte läßt sich allerdings nichts aussagen, weil die absolute Zahl der Molecule, in welche ein Salz in der Lösung zerfällt, nicht bekannt

ist. Aber die relativen Distanzen lassen sich nach den fortschreitenden Verdünnungen ganz scharf bestimmen, denn die Anzahl der Salzmoecule bleibt immer dieselbe man mag dieselben in einer größeren oder kleineren Menge Wasser lösen, wenn nur in beiden Fällen die Menge des gelösten Salzes die gleiche war.

Ueber die Wirkungen verschiedener Salze auf Wasser, zur Vergleichung der Molecularzüge eben dieser Salze zu dem gleichen Lösungsmittel, wird es schon schwieriger werden mit gleicher Bestimmtheit sich auszusprechen. Denn, wenn auch bei gleicher Verdünnung der Lösungen verschiedener Salze die Contraction von verschiedener Größe sich zeigt, so bleibt es doch unentschieden, ob gleichen Gewichten von Salz eine gleiche Anzahl von Salzmoeculen entspricht. Es könnte sein, daß die Mischungsgewichte und nicht die absoluten Gewichte maaßgebend sind, es könnte sein, daß die specifischen Gewichte bedingend einwirken, oder daß gar beide Beziehungen gleichzeitig berücksichtigt werden müßten. Nur ausgedehntere Versuchsreihen an sehr mannigfaltigen Körpern werden hier bestimmtere Anhaltspunkte gewähren.

Es ist hiermit ganz im Allgemeinen der Idcengang bezeichnet, der mich leitete. Ist er begründet, so wird es auf die Lösung zweier Aufgaben ankommen, von denen die eine rein experimenteller Natur, die andere ein Problem des Attractions-Calculs ist. Wie immer, ist auch hier die Experimental-Untersuchung die mühevollere und gedehntere. Es ist einfach gesagt, daß es sich um die Bestimmung der Volumina vor und nach den Lösungen, also im Grund um specifische Gewichtsbestimmungen handle. Aber es handelt sich um sehr kleine Aenderungen der Volumina, also kommt es darauf an alle in den Messungen unvermeidlichen Fehlerquellen kennen und beurtheilen zu lernen, um sich bewußt zu werden, für welche Genauigkeit in den Resultaten mit Bestimmtheit eingestanden werden kann. Ich habe nicht versäumt auf die Technik des Verfahrens die äußerste Sorgfalt zu verwenden, ich muß es mir aber vorbehalten bei anderer Gelegenheit Rechenschaft zu geben

über die Schwierigkeiten, die mir entgegen traten, und über die Mittel, die ich anwendete um dieselben zu überwinden. Hier beschränke ich mich darauf nur den Erfolg anzugeben, und an einem gleich näher zu bezeichnenden Beispiel auch das Problem zu bezeichnen, welches dem Calcul sich darbietet, und welches mit seiner Lösung es erlaubt über Gesetz und Wirkung der Molecularkräfte einen bestimmten Ausspruch zu machen.

Hier ist es, wo es zum besseren Verständniß unvermeidlich wird einige Zahlen zu gebrauchen. Ich werde mich bemühen die Zahlen so auszuwählen, daß ich mit ganz wenigen ausreiche, und daß dieselben sogleich als die Repräsentanten der Größen auftreten um deren Feststellung es sich handelt.

Es waren Salpeterlösungen, die zunächst den Gegenstand der Untersuchung bildeten. Eine 12,0113 procentige Lösung von 0° wurde durch Zusatz von destillirtem Wasser von 0° successiv verdünnt. Die Volumina wurden durch die specifischen Gewichte, also unter Anwendung der Wage, dem feinsten Meßinstrument der Physik, bestimmt.

Es ergibt sich, daß, wenn zu 1000 cub. cent. luftfreier Lösung 1257,8 cub. cent. luftfreies Wasser treten, eine Contraction von 21,26 cub. cent. erfolgt. Sie ist sehr beträchtlich, und gerade so scharf bestimmbar, wie mit der Wage die Centigramme der Belastung bestimmbar sind, von welchen bekanntlich die feineren Wagen noch den 100^{ten} Theil direct angeben. Jene Contraction ist der Gesamtausdruck für die eingetretene Verdichtung, und beträgt $\frac{21,26}{1000}$ der ursprünglichen Volumina. Die Kraft, die hierzu erforderlich war, und die offenbar der Ausdruck der Wirkung der Molecule der Lösung auf jene des Wassers ist, läßt sich nach der Compressibilität des Wassers und nach jener der Lösung beiläufig beurtheilen. Ein Druck von einer Atmosphäre erzeugt eine Volumenverminderung des Wassers von $\frac{1}{1000000}$; um eine Volumenverminderung von $\frac{21,26}{1000}$ zu erzeugen, wäre demnach der Druck von 18,4 Atm. erforderlich.

Werden der, schon verdünnten, Lösung 4327,6 cub. cent. destillirtes Wasser zugesetzt, so erfolgt eine weitere Contraction um 15 cub. cent. Und werden endlich noch 24311,6 cub. cent. Wasser hinzugefügt, so beträgt die neu eintretende Contraction noch immer 13 cub. cent.

Die allmählig zu 1000 cub. cent. Lösung zugesetzten Wassermengen sind exact bekannt, und gewiß ist, daß bis zum Molecul der Lösung herab der Procentgehalt der Gleiche bleibt. Also ist Gelegenheit gegeben für die relativ meßbaren Entfernungen, in welchen die Molecule der 12,0113 procentigen Lösung auf die umgebenden Wassermolecule wirken, die resultirende Wirkung ihres Zuges nach den ebenfalls meßbaren Contractions-Coefficienten auszudrücken. Diese selbst sind zwar nur der Ausdruck der resultirenden Wirkung auf alle umlagernden Punkte, die Principien der Statik geben aber die Anhaltspunkte, wie hiernach die Wirkungen der Molecule in relativ ungleichen Distanzen bestimmt werden können. Hier beschränke ich mich darauf, anschließend an die schon gegebenen Zahlen, die Wirkungen der Molecule der Lösung in relativ bekannten Distanzen in einer Art Potentialfunction auszudrücken. Setzt man nämlich das Volumen des Moleculs der Lösung gleich der Einheit, so sind die Volumina nach Zusatz der bezeichneten Wassermengen nach der Reihe 2,2578; 6,5854; 30,8970; und die Radien der Wirkungssphären verhalten sich hiernach wie die Zahlen 1,3118; 1,8743; 3,1036, während die Wirkungen selbst durch die Contractions-Coefficienten ausgedrückt sind, und sich verhalten wie die Zahlen 940; 228; 39, d. h. die Potentialfunctionen nehmen ab nahezu wie die 4. Potenzen der Entfernungen zunehmen. Die Ableitung des Gesetzes, nach welchem die Abnahme des Molecularzuges mit wachsender Distanz von Molecul zu Molecul abnimmt, ist das Problem, welches diese Untersuchungen dem Attractions-Calcul darbieten. Ich wage es nicht jetzt schon, nachdem ich erst an wenigen Salzen, und bei wenig geänderten Temperaturen die Messungen in der Exactheit, welche solche Untersuchungen verlangen, ausgeführt habe, über ein Endresultat in dieser Richtung mich auszusprechen. Würde es mir aber erlaubt sein, nach dem Wenigen, was ich vor

mir habe, einen allgemeinen Ausspruch zu machen, so müßte ich behaupten, daß die Molecularkräfte kaum nach einer höheren Potenz der Entfernungen als nach der zweiten abnehmen. Werden sie gleichwohl in meßbaren Distanzen Null, so zeigt dies nur wie ausnehmend klein die Massen der Molecule der Körper zu denken sind, nämlich noch sehr klein im Verhältniß zu den Entfernungen in welchen ihre Wirkungen Null werden, welche Entfernungen für unsere Sinnesorgane doch selbst unmeßbar klein sind. Auch hier liegt die Analogie mit der Gravitation nahe. Die Wirkung der Erde in der Entfernung der Fixsterne ist Null, weil ihre Masse im Verhältniß zu jenen Entfernungen verschwindend klein ist.

Ich besorge, ich habe es nicht verstanden die Klippe zu vermeiden, die mir drohte, und habe in dieser allgemeinen Versammlung von Zahlen einen ausgedehnteren Gebrauch gemacht, als passend erscheint. Ich wollte nur daran erinnern, daß jetzt, nachdem die Technik der Instrumente eine große Vollendung erreicht, und nachdem die mathematische Sprache eine bewunderungswürdige Ausbildung gewonnen hat, es an der Zeit sei an Probleme heranzutreten, von denen schon Newton mit dem seinem Geiste eigenthümlichen Vorausblick sagte: Vieles veranlasse ihn zu glauben, daß alle Erscheinungen von gewissen Kräften abhängen, durch welche die kleinsten Theile der Körper aus noch nicht bekannten Ursachen entweder gegen einander getrieben werden, oder gegenseitig sich fliehen, und von einander sich entfernen, deren Wirkungen und Gesetze aber in derselben Art der Beweisführung aus den Principien der Mechanik abzuleiten seien, wie er dies für die Himmelskörper gezeigt habe.
