

Inhalt der chemisch-physikalischen Atomhypothese.

Von Prof. A. Linsmeier S. J. in Mariaschein (Böhmen).

Die Philosophen weisen vielfach mit recht nachdrücklicher Betonung auf die Meinungsverschiedenheiten hin, welche sich bezüglich der Atomhypothese unter den Chemikern und Physikern vorfinden. Einige Meinungsverschiedenheiten könnten an und für sich nicht viel befremden, sie kommen ja in allen Wissenschaften vor, besonders in solchen, die noch in lebhafterer Entwicklung begriffen sind. Jene Darstellungen könnten aber die Ansicht erzeugen, dass die hinsichtlich der Atomhypothese vorkommenden Meinungsverschiedenheiten aussergewöhnlich gross seien oder sich bis zu einer hochgradigen Verwirrung gesteigert hätten. Eine solche Vorstellung entspräche nicht der wirklichen Sachlage.

Ein anderer bedauerlicher Uebelstand ist es, dass von den Philosophen die streng chemisch-physikalische Atomhypothese der Neuzeit und der alte philosophische Atomismus nicht sorgfältig genug auseinander gehalten werden, dass Meinungen, welche diesem angehören, so vorgeführt werden, als ob sie Bestandtheile von jener wären. Die Vernachlässigung einer strengen Scheidung dieser zwei Lehrsysteme mit den ihnen zugehörigen Verzweigungen steht einer Klärung der Ansichten über die vielerseits so hochgeschätzte Atomhypothese sehr hinderlich im Wege. Manches Urtheil, das dem philosophischen Atomismus gegenüber mit voller Berechtigung ausgesprochen wird, ist der chemisch-physikalischen Atomhypothese gegenüber nicht in gleicher Weise berechtigt, wird aber infolge der bedauerten Verquickung doch oft auch auf diese ausgedehnt.

Es dürfte wohl für manche Leser dieser Zeitschrift von Interesse sein, die Summe dessen, was den Inhalt der streng chemisch-physikalischen Hypothese ausmacht, übersichtlich zusammengestellt zu finden. Eine Begründung derselben ist hier nicht beabsichtigt, obwohl, um neben der Uebersicht auch einige Einsicht in dieselbe zu geben, bei den einzelnen Theilen je einige der Gründe kurz angedeutet sind.

Ich gebrauche den Beisatz „chemisch-physikalisch“, um gleich durch die Benennung gewisse Grenzen des Inhaltes anzudeuten. Der philosophische Atomismus ist uralt, er wurde von Philosophen gepflegt und

entwickelt; die Atomhypothese ist im Vergleich hierzu noch jung, sie wurde am Beginne dieses Jahrhunderts von dem Chemiker Dalton begründet. Seine Gründe waren specifisch chemischer Natur. Bald nahmen aber auch die Physiker diese Hypothese in ihre Wissenschaft auf und trugen nicht wenig zur Entwicklung und Festigung derselben bei. Der Hauptantheil an ihrer Ausbildung und Begründung fällt den Chemikern zu, und zwar nicht blos auf dem specifisch-chemischen Gebiete, sondern auch auf dem der Chemie und Physik gemeinsamen Grenzgebiete, das in jüngster Zeit mit grösstem Erfolge bearbeitet wird.

Zum Inhalt der chemisch-physikalischen Atomhypothese muss alles das gezählt werden, was von den Chemikern und Physikern allgemein oder ziemlich allgemein angenommen wird. Dasselbe findet sich hauptsächlich in ihren Lehrbüchern vor. Im allgemeinen kann noch bemerkt werden, dass nur solche Ansichten als Bestandtheile jener Hypothese angesehen werden dürfen, welche sich auf specifisch chemische oder physikalische Gründe stützen, d. i. auf Versuche und aus ihnen unmittelbar abgeleitete Schlüsse.

1. Die Stammhypothese. — Nach atomistischer Ansicht ist die sinnfällige Materie (feste, flüssige und luftförmige Körper) nicht, wie es den Anschein hat, stetig mit nur zufälligen Poren, sondern aus unsichtbar kleinen, getrennten Theilchen zusammengesetzt. Die Stetigkeit, welche wir wahrzunehmen glauben, ist darnach nur eine scheinbare, indem diese Theilchen so klein sind, dass wir sie nicht einzeln wahrnehmen können. In ähnlicher Weise können wir ja aus grösserer Entfernung die Blätter oder Nadeln eines Baumes auch nicht mehr einzeln unterscheiden, sondern nur als ein zusammenhängendes Grün wahrnehmen.

2. Dalton's Entwicklung der Stammhypothese. — Von altersher war die atomistische Ansicht eine vorwiegend philosophische; Dalton führte sie, wie schon bemerkt wurde, in die Chemie ein und erweiterte sie mit Rücksicht auf die Fortschritte dieser Wissenschaft zugleich durch die fernere Annahme, dass die kleinsten Theilchen je eines chemischen Elementes (Atome) alle untereinander gleiches, diejenigen verschiedener Elemente aber ungleiches Gewicht (Atomgewicht) haben. Er hielt diese Annahme deswegen für wahrscheinlich, weil sich damit die stöchiometrischen Gesetze in höchst einfacher und befriedigender Weise erklären liessen. Diese Erklärungen zählen auch heute noch zu den besten, welche die Atomhypothese bietet.

3. Verbindungs- und Atomgewichte. — Es ist eine Erfahrungsthat-
sache, dass sich die Elemente nur nach bestimmten Gewichtsverhält-

nissen miteinander chemisch verbinden; dieses allgemeinste Gesetz und die verschiedenen Specificationen desselben für besondere Gruppen von Fällen werden unter der Bezeichnung „stöchiometrische Gesetze“ zusammengefasst; die Verhältnisszahlen, nach denen die einzelnen Elemente ihre Verbindungen eingehen, heissen Verbindungsgewichte. Diese Zahlen sind abgeleitet aus sehr zahlreichen chemischen Verbindungen und Zerlegungen, denen sorgfältige Wägungen vorausgingen und nachfolgten; sie sind unabhängig von der Atomhypothese (obwohl sie vielfach mit Anlehnung an sie gefunden wurden) und geben zunächst nur die thatsächlichen Wägungsverhältnisse an, zurückgeführt auf $H=1$. Das heisst, die Verhältnisszahl des Wasserstoffes wird als Ausgangspunkt und erste Vergleichszahl gewählt und $= 1$ gesetzt.¹⁾

Die Atomhypothese nimmt diese Zahlen als die relativen Gewichte der Atome selbst an, wobei das Gewicht des H -Atoms als Einheit gilt. Das Verbindungsgewicht z. B. des Stickstoffes (N) ist 14; die Atomhypothese nimmt an, dass das Gewicht eines N -Atoms 14mal grösser ist als das des H -Atoms. In der Bedeutung als Atomgewichte haben also diese Zahlen hypothetischen Charakter.

Die Genauigkeit dieser Zahlen ist bei den verschiedenen Elementen eine sehr verschiedene, weil die Schwierigkeiten, welche der Chemiker findet, wenn er die Elemente und ihre Verbindungen rein darstellen will, bei den einzelnen Stoffen ungleich gross sind. Anfänglich erhielt man aus diesem Grunde bei verschiedenen Versuchen ziemlich abweichende Zahlen, und manche Chemiker hielten dafür, dass die Verbindungsgewichte nicht unveränderlich, sondern innerhalb gewisser Grenzen schwankend seien. Je mehr aber die Uebung und Sicherheit in chemischen Arbeiten zunahm, um so befriedigender wurde die Uebereinstimmung zwischen den in verschiedenen Versuchen, auf verschiedenen Wegen, von verschiedenen Chemikern gefundenen Verbindungsgewichten.

Diese Zahlen hängen aber nicht blos von der Wägung, sondern auch noch von der chemischen Formel ab, welche man der benützten chemischen Verbindung gibt; die richtige Auswahl derselben war oft sehr schwierig, und damit auch die Aufstellung des betreffenden Verbindungsgewichtes. Es machte gerade keine so grossen Schwierigkeiten, befriedigende Verhältnisszahlen für einzelne Gruppen von Elementen ausfindig zu machen, die Auffindung der Zahlen aber, welche alle Elemente einheitlich umfassen und allen sicher bekannten Thatsachen Rechnung tragen²⁾, hat sehr viel materielle Arbeit und

¹⁾ Früher wurde auch $O=100$ als Vergleichszahl gebraucht, neuerdings wird gewisser Vortheile wegen $O=16$ empfohlen. — ²⁾ Solche sind z. B. die chemischen, elektrolytischen, krystallographischen, chemischen Aequivalenzen, Analogien im chemischen Verhalten, Dichte und Volum im Gaszustand usw.

geistige Anstrengung gekostet. Da gab es längere Zeit hindurch auch Meinungsverschiedenheiten, dieselben sind aber jetzt verschwunden.

„Erst nach langem, unendlich verworrenem Streite“, sagt L. Meyer, ein um diese Arbeiten hochverdienter Chemiker, „haben sich die Ansichten so geklärt und befestigt, dass jetzt zwar hin und wieder noch eine Meinungsverschiedenheit bezüglich eines bestimmten, noch nicht genug untersuchten Elementes einige Zeit bestehen kann, nicht aber mehr über die Grundsätze, nach welchen die Bestimmung des Atomgewichtes zu erfolgen hat. Diese Regeln zuerst völlig klar gestellt zu haben, ist das Verdienst von Canizzaro¹⁾, dem es 1858 gelang, die scheinbaren und wirklichen Widersprüche, zu denen man gelangt war, in befriedigender Weise zu lösen“²⁾

Zur Verbreitung der klärenden Ideen Canizzaro's in Deutschland hat nicht wenig Lothar Meyer durch sein Werk „Die modernen Theorien der Chemie“ (Breslau 1864, 5. Aufl. 1884) beigetragen.

4. Atom und Molekel. — Gleich von Anfang her unterschied man thatsächlich die „kleinsten Theilchen“ eines Körpers in Atome und Molekeln, die sprachliche Bezeichnung dieser zwei Begriffe blieb aber eine geraume Zeit hindurch schwankend. Dalton (1808) gebraucht das Wort „Atom“ auch für eine Verbindung mehrerer Atome, so spricht er z. B. einerseits vom „Atom Wasserstoff“ und andererseits vom „Atom Wasser“³⁾ Avogadro dagegen (1811) bezeichnet beide Begriffe mit dem Worte „Molekel“, das Atom auch mit „integrirende Molekel“ und die Molekel im heutigen Sinne mit „constituierende Molekel“⁴⁾ Der Physiker Ampère (1814) nennt „Molekel“ das, was wir heute mit dem Worte Atom bezeichnen, die Molekel nach heutigem Sprachgebrauche nennt er „Partikel“⁵⁾

Ein übereinstimmender Sprachgebrauch hat sich erst allmählich ausgebildet, zunächst unter den Chemikern, später dann auch unter den Physikern, die nicht selten und sogar bis in die neueste Zeit herein das Wort Atom auch für die chemische Molekel gebrauchten, gerade so wie Dalton gethan hatte. Diese Verschiedenheit im Ausdruck mag bei dem Fernerstehenden leicht den Eindruck hervorrufen, dass hier ein Widerspruch zwischen Chemikern und Physikern obwalte. Die Physiker begegnen auf ihrem Gebiete nicht so häufig der Nothwendigkeit, den Unterschied zwischen Atom und Molekel scharf hervorheben zu müssen, wie das bei den Chemikern der Fall ist; daher war für sie eine Ungenauigkeit im Gebrauch dieser Worte weniger sinnstörend, es konnte meistens aus dem Zusammenhange leicht ersehen werden, was gemeint war.

Nach dem jetzigen Sprachgebrauche sind Molekeln die kleinsten mit dem ganzen Körper noch gleichartigen

¹⁾ Der Reihe nach Professor der Chemie in Genua, Palermo und Rom. —

²⁾ Lothar Meyer, Grundzüge der theoretischen Chemie. S. 29. — ³⁾ Ostwald's Klassiker der exacten Wissenschaften. No. 3. S. 15. — ⁴⁾ Ostwald's Klassiker No. 8. S. 48. Die Anmerkungen 2. 4. 5. — ⁵⁾ Ebend. S. 49. Anmerkung 15.

Theilchen, Atome aber die Bestandtheile der Molekeln oder die kleinsten in die chemische Action eintretenden Theilchen. Während die Molekeln durch chemische Mittel in Atome zerlegt werden können, lassen sich diese letzteren, soviel wir jetzt wissen, weder durch chemische noch durch physikalische Mittel weiter zerlegen.

In all den bisher entwickelten Anschauungen stimmen die heutigen Chemiker untereinander überein und die Physiker entlehnen diese Forschungsergebnisse von ihnen, ohne einen Widerspruch zu erheben.

5. **Chemische Formeln.** — Die chemischen Verbindungen werden allgemein und sehr vortheilhaft durch sogen. chemische Formeln ausgedrückt, dieselben sind entweder empirisch oder theoretisch. Die empirische Formel einer Verbindung gibt an, welche Elemente darin vereinigt sind und in welchem Gewichtsverhältnisse. So wird z. B. Wasser durch die Formel H_2O bezeichnet. Ohne Rücksicht auf die Atomhypothese sagt dieselbe, dass je zwei Verbindungsgewichte oder je zwei Gewichtstheile Wasserstoff ($H=1$) mit je einem Verbindungsgewichte oder je 16 Gewichtstheilen Sauerstoff ($O=16$) verbunden sind. Nach atomistischer Auffassung sagt die Formel, dass sich je zwei Atome H mit je einem Atom O zu einer Molekel Wasser verbinden. Letztere Auffassung ist natürlich Hypothese, die erstere aber ist der Ausdruck der thatsächlichen Verhältnisse.

Die Wägung ergibt zwar unmittelbar nur, dass im Wasser das Gewicht des Wasserstoffes sich zu dem des Sauerstoffes wie 1:8 verhält. Lange Zeit hindurch schrieb man denn auch die Formel des Wassers HO und nahm damit, $H=1$ gesetzt, an, dass das Verbindungsgewicht des $O=8$ ist oder dass die Wassermolekel nur je ein H - und ein O -Atom enthalte. Bei Vergleichung weiterer und neuer Thatsachen drängte sich jedoch die Ueberzeugung auf, dass das Verbindungsgewicht $O=8$ nicht nach allen Seiten hin entspricht, also nicht richtig gefunden sein kann; man musste daher eine andere Annahme versuchen. Da 1:8 gleich ist 2:16, so zog man die zweite zunächst liegende Möglichkeit in Betracht und nahm an, dass je zwei Verbindungsgewichte oder zwei Atome H und je ein Verbindungsgewicht oder ein Atom O mit einander verbunden sind und schrieb demgemäss die Formel des Wassers H_2O . Hiernach ist, $H=1$ gesetzt, das Verbindungs- oder Atomgewicht des $O=16$. Da diese Zahl nach allen Richtungen hin gut entsprach, so ist sie jetzt allgemein angenommen. Neueste Forschungen haben zur Ueberzeugung hingedrängt, dass H_2O nur die Molekel des Wasserdampfes darstellt, dass die Molekel des Wassers im flüssigen Zustand H_4O_2 oder H_6O_3 , die des Eises endlich noch grösser aber noch unbestimmt $H_{2n}O_n$ ist.

In ähnlicher Weise fand man auch in anderen Fällen durch Vergleichung und Berücksichtigung aller bekannt gewordenen Thatsachen

die chemische Formel einer Verbindung und das Atomgewicht eines Elementes. Der Vorgang ähnelt ganz dem beim Entziffern einer Geheimschrift, wo man ebenfalls die Annahmen bezüglich der Bedeutung der unbekanntenen Schriftzeichen so lange abändert, bis sie allen Wörtern entsprechen d. h. bis man mit ihnen das ganze Schriftstück lesen kann. Die Arbeiten, durch welche die richtigen Bedeutungen gefunden wurden, haben allerdings viel Unsicheres und Schwankendes. Aber nachdem der Erfolg erzielt ist, wird die Richtigkeit des Systems von niemand mehr bezweifelt. — Bezüglich dieser Formeln und Zahlen bestehen unter den Chemikern keine nennenswerthen Meinungsverschiedenheiten, die Physiker nehmen Formeln und Zahlen, wo sie es brauchen, mit vollem Vertrauen in deren Richtigkeit auf ihr Gebiet herüber.

Die theoretischen Formeln sagen zunächst dasselbe aus, wie die empirischen, überdies aber auch noch etwas über den Zusammenhang oder die Verkettung der Atome in den Molekeln und über die Entstehungsweise der Verbindung. Gegenwärtig sind die sogen. Strukturformeln allgemein im Gebrauch, und es herrscht diesbezüglich eine weitgehende Uebereinstimmung unter den Chemikern; dem Physiker bietet sich auf seinem Gebiete kaum eine Gelegenheit, hiervon Gebrauch zu machen. Wer über die Beschaffenheit dieser Formeln mehr wissen und über ihren Werth ein Urtheil gewinnen will, der muss chemische Lehrbücher nachschlagen, die Sache lässt sich nicht in wenige Worte zusammenfassen.

6. Avogadro's Zweighypothese. — Dieselbe besagt, dass gleiche Volume verschiedener Gase und Dämpfe bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viele Molekeln enthalten. Avogadro stellte dieselbe 1811 auf und hielt sie deswegen für wahrscheinlich, weil sich daraufhin die merkwürdigen Volumverhältnisse chemischer Verbindungen (das „Gesetz der einfachen Gasvolume“), soweit sie damals bekannt waren, in ungezwungenster Weise erklären liessen.

Theilweise wohl infolge von Misverständnissen, theilweise wegen chemischer Thatsachen, welche zu widersprechen schienen, wurde diese Annahme unter den Chemikern verkannt und bald auch vergessen. Mit dem Fortschreiten der Wissenschaft klärte sich aber ein vermeintlicher Widerspruch nach dem andern auf, ohne dass man hierbei irgendwelche Rücksicht auf die vergessene Hypothese gehabt hätte. Nach einigen Jahrzehnten der Vergessenheit griff man sie wieder auf, und dieselbe erwies sich jetzt auf dem unterdessen erhöhten wissenschaftlichen Standpunkte sehr fruchtbar an guten Erklärungen, ganz besonders auch sehr nützlich bei Auffindung allseitig befriedigender Atomgewichte. Die Physiker fanden auf ihrem Gebiete ebenfalls gewichtige Wahrscheinlichkeitsgründe für diese Hypothese. Heute wird sie von Chemikern und Physikern

übereinstimmend zu den bestbegründeten Theilen der Atomhypothese gezählt.¹⁾

7. Ausdehnung der Avogadro'schen Hypothese auf verdünnte Lösungen. — van't Hoff stellte auf Grund mehrerer Beobachtungen und darüber ausgeführter Speculationen 1885 die Behauptung auf, dass sich die Körper im gelösten Zustande ähnlich verhalten wie Gase. Dieser Gedanke wurde besonders von den Chemikern mit grösstem Interesse aufgegriffen und in seine Einzelheiten verfolgt; er fand durch zahlreiche und vielverzweigte Versuche fast überall eine glänzende Bestätigung. Auftauchende Ausnahmen und Schwierigkeiten wurden bald in befriedigender Weise ebenso erklärt wie bei den Gasen, wo ganz ähnliche vorkommen. Nur die Ausnahme, welche die sogen. Elektrolyte im Wasser zeigen, machte die Forscher eine kurze Zeit stutzig. Als aber Arrhenius auf die Zerlegung der Elektrolyte in Ionen hinwies, welche Zerlegung die Physiker wegen anderer Gründe nach Clausius schon länger annahmen, da schwanden die Bedenken, denn im Lichte dieser Hypothese ward die Analogie mit den Gasen ganz gut gewahrt. Es wurde hiermit für die Folgerungen aus van't Hoff's Grundgedanken ein neues Gebiet eröffnet, dieselben wurden hier ebenso wie anderwärts durch bereits vorliegende oder neu angestellte Versuche bestätigt. Hier und da noch verbleibende Schwierigkeiten oder dunkle Punkte vermögen gegenüber den zahlreichen und vielseitigen Bestätigungen die Ueberzeugung von der Richtigkeit der van't Hoff'schen Ansicht im allgemeinen nicht mehr zu beeinträchtigen, sie wird allseitig anerkannt.²⁾

Die allgemeine Behauptung van't Hoff's ist noch deutlicher also ausgedrückt worden: In (hinreichend verdünnten) Lösungen verhält sich der gelöste Stoff gerade so als ob er bei unverändertem Molecularzustand in demselben Raume ohne Lösungsmittel d. i. als Gas vorhanden wäre. Er übt erstens einen Druck³⁾ aus, welcher proportional ist der Concentration oder umgekehrt proportional dem Volum, in welchem sich

¹⁾ Im Jahrg. 1895 der Zeitschrift ‚Natur und Offenbarung‘ habe ich S. 469 ff. und 738 ff. eine Zusammenstellung dieser Gründe gegeben. — ²⁾ W. Ostwald in dem Vortrage bei der 64. Naturforscherversammlung 1891, mitgetheilt in der ‚Naturwissenschaftlichen Rundschau‘ VI. S. 582 Sp. 2 und S. 583. Ferner A. Horstmann in einem Vortrag gehalten 1892, mitgetheilt in der ‚Naturwissenschaftlichen Rundschau‘ VII. S. 495. Sp. 2 Schlusssatz. — W. Nernst in Dammer's Handbuch der anorganischen Chemie I. S. 95. — ³⁾ Schichtet man auf eine Lösung z. B. von Zucker in Wasser vorsichtig reines Wasser auf, so tritt kein Ruhezustand ein, es beginnt vielmehr erfahrungsgemäss ein Wandern des gelösten Stoffes in das reine Lösungsmittel hinein; dasselbe dauert so lange an, bis der gelöste Stoff überall gleichmässig vertheilt ist. Wird diese Bewegung durch eine poröse Scheidewand, welche zwar das Wasser (überhaupt das Lösungsmittel) nicht aber den Zucker (überhaupt den gelösten Stoff) durchgehen lässt,

eine gegebene Menge des gelösten Stoffes vorfindet. Dieses Gesetz wurde durch zahlreiche directe und noch zahlreichere indirecte Messungen sichergestellt, es ist das Analogon zu dem Mariotte'schen (oder Boyle'schen) Gesetze. Zweitens: Dieser Druck nimmt bei constantem Volum proportional der absoluten Temperatur zu. Dieses Gesetz ist analog dem Gay-Lussac'schen. Drittens: Werden in gleichen Volumen des Lösungsmittels verschiedene Stoffe in jenem Gewichtsverhältnisse gelöst, welche ihre Moleculargewichte angeben, dann üben sie bei gleicher Temperatur gleichen osmotischen Druck aus. Eine Ausnahme hiervon bilden die Elektrolyte, deren Druck bei hinreichender Verdünnung doppelt so gross gefunden wird, als dieser Regel entspricht. Die Annahme, dass ihre Molekeln sämmtlich in je zwei Ionen gespalten sind, klärt die nur scheinbare Ausnahme auf.

Wird die letzte aus den Thatsachen abgeleitete Regel umgekehrt, so lautet sie: Gleiche Volume verschiedener Lösungen enthalten bei gleichem osmotischen Druck und gleicher Temperatur die gelösten Stoffe in jenem Mengenverhältnisse, welches durch ihre Moleculargewichte angegeben ist. In atomistischer Ausdrucksweise lautet sie: Gleiche Volume verschiedener Lösungen enthalten bei gleichem osmotischen Druck und gleicher Temperatur gleich viele Molekeln. Diese Regel ist analog der Avogadro'schen. Nachdem man die Ausnahmen kennen und deuten gelernt hat, benützt man sie mit demselben Vertrauen zu Moleculargewichtsbestimmungen wie die Avogadro'sche.¹⁾

Die angeführten und noch einige andere den Gasgesetzen analoge Gesetze bezüglich der Lösungen sind aus den Beobachtungen entnommen und haben thatsächliche Geltung; ihre Deutung und Erklärung aber, die wie bei den Gasgesetzen durchweg atomistisch ist, hat nur hypothetischen Charakter.

8. Auch bei den Elementen unterscheidet man zwischen Atomen und Molekeln. — Nehmen wir die Hypothese Avogadro's an, und verbinden wir sie mit dem Gesetz der einfachen Gasvolumen. Ein Liter *H* und ein Liter *Cl* geben zwei Liter der chemischen Verbindung *HCl* (Chlorwasserstoff), das ist sichere Thatsache. Enthält der Liter Wasserstoff *n* Molekeln, so sind nach Avogadro im Liter *Cl* ebenfalls *n*, und im Liter

gehemmt, so macht sie sich als ein gegen diese Wand ausgeübter Druck geltend, den man nach van't Hoff „osmotischen“ Druck nennt. Den osmotischen Erscheinungen verwandt ist die schon länger bekannte Endosmose. Die directe Messung des osmotischen Druckes ist öfters schwierig, leichter und häufiger verwendet sind indirecte Methoden. Wegen genauerer Aufschlüsse über diesen neuen Fortschritt muss auf neueste Werke, z. B. Lehrbücher der allgemeinen Chemie verwiesen werden.

¹⁾ Nernst in Dammer's Handbuch I. S. 91—94. W. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. 2. Aufl. I. S. 671.

HCl ebenfalls n , also in 2 Liter *HCl* zweimal n Molekeln enthalten. Da nun in jeder *HCl*-Molekel je ein Atom *H* und ein Atom *Cl* verbunden sind, so müssen in den $2n$ Chlorwasserstoff-Molekeln nothwendig $2n$ Atome *H* und ebenso $2n$ Atome *Cl* enthalten sein. In den ursprünglich n Molekeln des einen wie des anderen Elementes finden sich also je $2n$ Atome vor, oder jede Wasserstoff-Molekel enthält 2 Atome *H*, und jede Chlormolekel 2 Atome *Cl*.

Aus der Verbindung *NO* ergibt sich ebenso, dass die *N*- und *O*-Molekeln zweiatomig sind. Aus der Avogadro'schen Hypothese fand man auch noch weiter, dass die Molekeln der Dämpfe von *S*, *Br*, *J*, *Se*, *Te* je zwei Atome, die Dämpfe von *Hg*, *Cd* und *Zn* aber nur je ein Atom, die Dämpfe des *P* und *As* dagegen je vier Atome enthalten. Die Dämpfe müssen aber hinreichend weit von ihrem Condensationspunkt entfernt sein. Andere Elemente konnten wegen entgegenstehender Schwierigkeiten in dieser Hinsicht noch nicht zuverlässig untersucht werden. Bezüglich der genannten Elemente herrscht Uebereinstimmung unter den Forschern sowohl in der Hauptsache, als auch in fast allen vorkommenden Abweichungen. Dieselben treten z. B. bei *S* und *Se* ein, wenn die Temperaturen nicht hoch genug sind; wieder bei anderen Elementen in den höchsten erreichbaren Temperaturen. Die Physiker widersprechen diesen Anschauungen der Chemiker nicht nur nicht, sie tragen vielmehr auch manches zur Bestätigung derselben bei.

9. Behalten die Atome in der Molekel ihr getrenntes Sein, oder vereinigen sich dieselben alle zu einer durch und durch einheitlichen stetigen Masse? — Dalton und nach ihm vielleicht die meisten Chemiker nahmen an, dass die Atome in der Molekel nebeneinander gelagert sind. Ab und zu mahnten jedoch einzelne Chemiker, dass wir eigentlich kein begründetes Wissen darüber haben, was bei der Molekelbildung mit den Atomen geschieht.

Seitdem die chemische Lehre von der Atomverkettung, die in den sogen. Strukturformeln der Verbindungen ihren Ausdruck findet, in der Hauptsache zu übereinstimmender Annahme gelangt ist, wird von den Chemikern auch die Getrenntheit der Atome in der Molekel festgehalten. Die hoffnungsvollen Anfänge einer Stereochemie in allerneuester Zeit tragen zu weiterer Befestigung dieser Ansicht bei. Auch die Physiker treten mit Wahrscheinlichkeitsgründen hierfür ein; die auswählende Absorption von Licht- und Wärmestrahlen durch viele Körper, sowie auch die Erregung solcher Strahlen im Aether werden mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Eigenbewegungen der in den Molekeln getrennt bestehenden Atome zurückgeführt. Ein weiterer physikalischer Grund ist der Wärmelehre entnommen und z. B. von Clausius in der „Mechanischen Wärmetheorie“ (3. Aufl.) III. 35. f. ausgeführt.

Gegenwärtig ist die Ansicht, dass die Atome in der Molekel ihr getrenntes Sein bewahren, unter Chemikern wie unter Physikern die herrschende. Dieselben können freilich nicht des näheren angeben, wie durch diese Aneinanderlagerung ein Körper mit neuen Eigenschaften entsteht; aber daraus, dass diese Frage offen bleibt, kann noch nicht die Unzulässigkeit der gemachten Annahme gefolgert werden. Besteht nicht auch die Uhr aus mehreren Theilen, die ein getrenntes Sein bewahren und durch ihre zweckmässige Aneinanderlagerung ein Ganzes mit neuen Eigenschaften bilden? Aehnliches gilt von jeder zusammengesetzten Maschine.

Es mag bei dieser Gelegenheit an den Grundsatz erinnert werden, an den sich Chemiker wie Physiker beim Aufsuchen der nächsten Ursachen der Naturerscheinungen halten, um ihr Vorgehen richtig zu würdigen. Der Grundsatz lautet also: Jene Ansicht, welche der Wirklichkeit entspricht oder ihr doch näher kommt, wird auch mehr und bessere Erklärungen bieten. — Man kann diesen Satz als Erfahrungssatz ansehen, obwohl er auch von vornherein mehr Wahrscheinlichkeit hat als sein Gegentheil. Da nun die Getrenntheit der Atome in den Molekeln dem Physiker und Chemiker mehr und befriedigendere Erklärungen bietet als die gegentheilige Ansicht, so legen sie jene Annahme, als das Wahrscheinlichere, nicht als gewiss, ihrer weiteren Forschung zu grunde.

10. Die Molekeln sowohl als ihre Bestandtheile, die Atome, sind in steter Bewegung. — Diese Zweighypothese wurde zunächst von den Physikern aufgestellt und ausgebildet; sie bietet in der Aëromechanik und in der Wärmelehre Erklärungen, welche weit vollkommener und ohne Vergleich befriedigender sind, als die bis dahin üblichen waren. Um die nähere Ausbildung dieser Vorstellungen hat sich R. Clausius in hervorragender Weise verdient gemacht; auf den ersten Blättern des 3. Bandes seiner „Mechanischen Wärmetheorie“ (3. Aufl.) setzt er die Einzelheiten dieser Zweighypothese sehr lichtvoll auseinander.

Nachdem die Ansicht, dass die Wärme ein besonderer Stoff sei, als ungenügend erkannt war, und die Physiker immer weitere Wärmerscheinungen mit wachsender Befriedigung auf die Bewegung „kleinster Theilchen“ zurückführten, warf man ganz naturgemäss die Frage auf, wie man sich diese „kleinsten Theilchen“ und ihre Bewegung des näheren zu denken habe. Dem speculirenden Physiker boten sich da wie von selbst die Molekeln und Atome dar, die in der Chemie so fruchtbar an guten Erklärungen waren und deshalb so viel Wahrscheinlichkeit gewonnen hatten. Der Versuch hiermit bewährte sich hier ebenso gut wie in der Chemie.

Zunächst wird angenommen, dass sich jede Molekel als Ganzes fortschreitend bewege, um so schneller, je höher die Temperatur

des betreffenden Körpers ist. — Ist diese Annahme wohl auch zulässig? Warum sollte sie es nicht sein, wenn man die Molekeln als getrennt bestehend ansieht? Die grossen und kleinen Himmelskörper sind in steter Bewegung; warum sollte das, was im Makrokosmos Thatsache ist, im Mikrokosmos unmöglich und nicht einmal als Hypothese, als eine wahrscheinliche Meinung zulässig sein? Das wird doch niemand im Ernste behaupten wollen.

Treffen zwei Molekeln zusammen, so erhalten sie bei einem excentrischen Stoss, wie die Mechanik lehrt, noch eine Drehbewegung. Auch hierin zeigt sich eine Analogie mit den Himmelskörpern, denn Sonne, Erde und andere Planeten haben ja auch Axendrehungen.

Weiter nehmen die Physiker an, dass die Atome einer Molekel nicht einen absolut starren Verband bilden, sondern dass sie wie ein getrenntes Sein, so auch die Möglichkeit kleiner Eigenbewegungen in der Molekel behalten. Ueber die Einzelheiten dieser Atombewegungen sind unsere Vorstellungen noch nicht so ausgebildet wie über die Molekelbewegung. Von Wichtigkeit ist das Verhältniss der Atom- und der fortschreitenden Molekelbewegung, wir wollen dasselbe etwas näher betrachten.

Denken wir uns, die Atome einer Molekel hätten keine Eigenbewegung, wohl aber die Möglichkeit derselben. Wenn die Molekel bei ihrer fortschreitenden Bewegung an die Wand oder an eine andere Molekel anstösst, werden die zunächst getroffenen Atome aus ihrer relativen Ruhelage gewaltsam verschoben und alsdann wie die Zinke der Stimmgabel um jene Ruhelage hin und herschwingen. Die Atombewegung ist also eine nothwendige Folge der Stösse, es geht hierbei Molekel- in Atombewegung über.

Wenn zwei Molekeln A und B einander berühren, dann werden Atome von A bei ihren Bewegungen an B anstossen und umgekehrt; es wird dabei Atombewegung von A auf B (und umgekehrt) übertragen, wo sie theils als Atom-, theils als Molekelbewegung auftreten wird. Es hängt von dem augenblicklichen Bewegungszustande der unmittelbar zusammentreffenden Atome ab, ob von A auf B ebensoviel Bewegung übertragen wird als von B auf A oder ungleichviel, ebenso in welchem Verhältnisse die übertragenen Atom- und Molekelbewegungen zu einander stehen. Hierzu kommt noch, dass auch die früher erwähnten Drehbewegungen der Molekeln an diesen Verwandlungen theilnehmen müssen. Die Mechanik lehrt dann auch noch, dass zwei Körper von gleicher Masse und gleicher Geschwindigkeit nach einem schiefen Stoss mit verschiedenen Geschwindigkeiten auseinander gehen¹⁾. Es ist hieraus ersichtlich, dass zwei Molekeln von gleicher fortschreitender Bewegung nach einem Zusammenstoss infolge des gegenseitigen Umsatzes von Atom-, Molekel- und Drehbewegung²⁾,

¹⁾ Vgl. z. B. Winkelmann, Handbuch der Physik I, S. 293. — ²⁾ Ueber

sowie infolge eines schiefen Stosses ungleiche fortschreitende Bewegung haben können. Durch ein günstiges Zusammentreffen der Umstände kann nach mehreren Zusammenstößen die Geschwindigkeit einer Molekel bedeutend über den Durchschnitt hinaufsteigen und ebenso weit unter denselben herabsinken. Die Temperatur wird bestimmt von der mittleren lebendigen Kraft der fortschreitenden Bewegung ¹⁾.

Die bisher dargelegten Ansichten der Physiker finden ihre Berechtigung ebenso wie andere Zweige der Atomhypothese in den hochbefriedigenden Erklärungen, welche sie für viele bis dahin räthselhafte Thatsachen der Aëromechanik und Wärmelehre liefern. Die Erklärung des Mariotte'schen Gesetzes und ihrer auffälligen nach entgegengesetzten Seiten umspringenden Ausnahmen allein schon hat für die Atom- und speciell für die hier in Rede stehende Zweighypothese einen Werth, wie ihn die einfache Erklärung der bald vor-, bald rückläufigen Planetenbewegungen für die Copernicanische Hypothese hatte. Die Wärmeerscheinungen, welche bei chemischen Verbindungen und Zersetzungen auftreten, werden ebenso befriedigend aufgeklärt.

Die Schwierigkeiten, welche der Physiker Hirn gegen diese Anschauungen vorgebracht hat, wurden von Clausius ²⁾ und Anderen gelöst. Heute sind die beschriebenen Atom- und Molekelbewegungen von Physikern und Chemikern übereinstimmend angenommen. ³⁾

11. Einfache und mehrfache Molekeln. — Unter einfachen Molekeln sind diejenigen zu verstehen, welche durch die gebräuchlichen chemischen Formeln dargestellt werden, also z. B. für Wasserdampf H_2O d. h. eine Molekel, die aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff besteht. Wenn sich zwei oder mehrere einfache Molekeln desselben Stoffes zu einem innigeren Ganzen vereinigen, dann entsteht eine mehrfache Molekel, z. B. H_4O_2 , H_6O_3 , $H_{2n}O_n$; die mehrfache wird öfters auch physikalische, die einfache hingegen chemische Molekel genannt.

Schon länger waren Thatsachen bekannt, durch welche diese Unterscheidung nahegelegt wurde; mit der Ausbildung und allgemeinen Annahme der neuesten Theorie der Lösungen, worüber schon bei einer früheren Gelegenheit (n. 7.) mehr gesagt worden ist, wurde dieselbe gang und gäbe, und kann diese Anschauung zu den allgemein angenommenen Theilen der Atomhypothese gezählt werden. Von den schon länger bekannten Thatsachen seien folgende erwähnt.

das Verhältniss der fortschreitenden Molekelbewegung und der gesammten Bewegungsenergie einer Molekel vgl. Clausius, Mechan. Wärmetheorie III. S. 5 § 3 und den rechnerischen Ausdruck hierfür S. 36.

¹⁾ Näheres über den Zusammenhang von Temperatur und fortschreitender Molekelbewegung vgl. Clausius III. S. 33 unten. — ²⁾ III. S. 248 ff. — ³⁾ In ‚Natur und Offenbarung‘ Jahrg. 1896 S. 330 ff. und S. 543 ff. habe ich die Begründung dieser Zweighypothese weitläufiger dargelegt.

Aus der Dichte der Schwefeldämpfe bei etwa 500° musste nach der Avogadro'schen Regel auf Molekeln S_6 geschlossen werden, bei 900° bis 1700° auf S_2 ; jene enthält also drei der letzten Art. Eine andere Molekeladdition findet sich unter den Stickstoffverbindungen, je nach der Temperatur bilden sich Molekeln NO_2 oder N_2O_4 , letztere ist durch Addition zweier der ersten Art entstanden. Die Chemie kennt noch viele solche Molekeladditionen.

Das plötzliche Schmelzen der krystallisirten Körper im Gegensatz zum allmählichen Weichwerden nicht krystallisirbarer Substanzen z. B. des Wachses, sowie die starke Wärmebindung hierbei, ferner die umgekehrten Erscheinungen beim Abkühlen und Erstarren derselben Körper werden durch einen Zerfall zusammengesetzter Molekeln in einfachere und umgekehrt ganz begreiflich, während sie ohne diese Annahme räthselhaft bleiben.

Sprungweise Aenderungen physikalischer Eigenschaften, wie sie bei manchen Körpern an bestimmten Stellen der Temperaturscala eintreten, ebenso plötzliches Frei- oder Gebundenwerden grösserer Wärmemengen an derselben Stelle beim Abkühlen oder Erwärmen glaubt man auch auf moleculare Aenderungen der angegebenen Art zurückführen zu können. Ebenso das eigenthümliche Verhalten des Wassers von $+4^{\circ}$ bis 0° . Die Krystallelemente sind wohl solch' mehrfache Molekeln; hierin findet sich auch ein Anhaltspunkt für die Erklärung des Dimorphismus, Vereinigungen verschieden vieler Molekeln haben eine verschiedene Gestalt und bilden so verschiedene Krystallelemente.

Obwohl an dem Bestande mehrfacher Molekeln nicht mehr gezweifelt wird, so ist doch eine diesbezügliche Uebersicht über alle Körper und alle Aenderungen noch lange nicht erreicht.

(Schluss folgt.)