©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Ueber das Wesen des Stoffes.*)

Von

Prof. Dr. Ferd. Friedr. Hornstein.

Meine Herrn! In dem Rahmen eines während einer Sitzung unseres Vereins zu haltenden Vortrags wird sich über das Wesen des Stoffes nur einiges zur Besprechung bringen lassen. Wenn ich es daher auch übernommen habe, gestützt auf gewisse Untersuchungen und Erfahrungen der letzten Jahre hier über das Wesen des Stoffes zu ihnen zu sprechen, so werde ich mich eben recht sehr beschränken müssen, werde manche interessante und wichtigen Gesichtspunkte bei Seite und vieles unerörtert und unberührt lassen müssen. Trotzdem fürchte ich nachher den Vorwurf, schon so zu vielerlei gebracht zu haben; soll ich jedoch einigermassen ein Bild geben von der heutigen Ansicht über das Wesen des Stoffes, so darf auch die Beschränkung keine zu weitgehende sein. Unterlassen muss ich es z. B. hier zu versuchen, Ihnen einen geschichtlichen Überblick über die wechselnden Anschauungen, über die Entwickelung unserer heutigen Ansichten von dem Wesen des Stoffes zu geben. Das gäbe schon allein überreichen Stoff zu einem Vortrag für sich. Nichtsdestoweniger freilich wird die Art und Weise, wie ich die mitzutheilenden Vorstellungen darzulegen habe, eine entwickelnde sein müssen, da ich wohl anzunehmen berechtigt bin, dass verschiedene der hier versammelten Herren überhaupt oder wenigstens in jüngerer Zeit diesem Gegenstand wenig oder gar nicht ihre Aufmerksamkeit geschenkt haben. Den anderen Herren aber, welche dem Fortgang der Wissenschaft auf diesem Gebiete regelmässig gefolgt sind,

*) Obiger am 11. Februar 1889 gehaltene Vortrag war ursprünglich nicht für die Veröffentlichung durch Druck bestimmt. Die hier dennoch erfolgte Drucklegung ist durch den besonderen Wunsch vieler Vereinsmitglieder veranlasst worden.

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

werde ich allerdings der Natur der Sache nach kaum etwas Neues bringen, höchstens einiges Wenige bezüglich gewisser Vorschläge von mir selber und einzelner abweichenden eigenen Ansichten. Diese Herrn bitte ich daher besonders noch um eine milde Kritik, indem ich bemerke, dass ich es nicht habe ermöglichen können, für die Zwecke dieses Vortrages, wie ich es beabsichtigt hatte, noch einmal besondere Studien zu machen.

Meine Herrn! Der Versuch über das Wesen des Stoffes eine Vorstellung zu gewinnen, das Wesen des Stoffes zu ergründen, gehört zu den schwierigsten Problemen, deren Erforschung die denkende Menschheit nachgestrebt hat.

Ja, meine Herrn, was ist Stoff? Ist es überhaupt etwas Wirkliches, so zu sagen Greifbares? Oder ist es nur eine täuschende Erscheinung, die unseren Sinnen von gewissen Einflüssen vorgespiegelt wird, ohne dass sie an eine Unterlage („ein Substrat" sagt der Philosoph) gebunden ist? Diese letztere Anschauung hat viele und auch geistreiche Vertreter und Verfechter gefunden. Mir hat sie nie einleuchten wollen, mir ist sie immer wie ein blosses Spiel mit Worten erschienen. Heute aber vermögen wir auch den Beweis für ihre Unrichtigkeit beizubringen, worauf ich am Schlusse noch einmal hinweisen werde. Bei weitem die meisten Forscher betrachten den Stoff jetzt auch schon lange als etwas Wirkliches, als ein mit Kräften, d. h. bestimmten Ursachen der Erscheinungen, begabtes Etwas.

Eine der ersten Fragen, die dann aufgeworfen wurde, ist die, ob der Stoff, d. h. die den Raum erfüllende, auf unsere Sinneswerkzeuge in mannigfacher Weise wirkende und dadurch ihr Vorhandensein und ihr Wesen bekundende Masse den von ihr eingenommenen Raum vollkommen und stetig erfülle. Diese Frage hat sehr bald verneint werden müssen, indem es unmöglich erschien, dass die Veränderung des Raumes, den eine bestimmte Menge Stoff einnimmt, welche Veränderung z. Th. eine ausserordentlich grosse ist, mit einer stetig den Raum erfüllenden Masse selbst vor sich gehen könne. Man muss vielmehr annehmen, dass aller Stoff aus ausserordentlich zahlreichen, zugleich ausserordentlich kleinen Theilchen besteht, welche von dem Stoff unerfüllte Räume zwischen sich haben, durch deren Verkleinerung, bez. in unbegrenzter Weise denkbare Vergrösserung eben der Gesammtraum, den eine gewisse Menge Stoff einnimmt, verändert wird. Es wird am Platze sein, die bedeutende Veränderlichkeit des von einer Stoffmenge eingenommenen Raumes durch ein Beispiel zu belegen. Ein g Wasser nimmt bekanntlich bei 4^0 C den Raum von 1 ccm ein; wenn dieselbe Menge aber bei 100^0 gasförmig geworden ist, so nimmt sie den Raum von rund 1700 ccm ein, welcher

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Raum bei jeder Wärmevermehrung oder jeder Druckverminderung sich vergrössert, so dass er die tausendfache und millionenfache Grösse erreichen kann. Es widerstrebt aber doch unbedingt der Vorstellung des menschlichen Geistes, dass diesen so überaus viel grösseren Raum der Stoff stetig erfülle. Wir können uns die Thatsache nicht anders deuten als durch die Annahme von getrennten Massentheilchen, welche sich in verhältnissmässig grosser Entfernung von einander befinden. Ganz Entsprechendes gilt von den mannigfaltigsten anderen Stoffen, welche gasförmig sind oder den gasförmigen Zustand annehmen können, und auch die geringeren Raumveränderungen, welche starre und tropfbar flüssige Stoffe während dieser Aggregatzustände erfahren können, vermögen wir uns nur auf gleiche Weise zu erklären. Es widerstrebt dem menschlichen Verstande anzunehmen, dass die räumliche Ausdehnung einer ununterbrochen den Raum erfüllenden Masse eine Veränderung, eine Vergrösserung oder Verkleinerung erfahren könne.

Man denkt sich nun weiterhin zur Erklärung aller aufstossenden Thatsachen, dass diese getrennten Massentheilchen, die man Moleküle oder auch wohl in dem Bestreben dem Ausdruck deutschen Klang zu geben, wodurch er freilich nicht aufhört ein Fremdwort zu sein, Molekel nennt, in einem homogenen, d. h. durch die ganze Masse ganz gleichartigen Stoff, sämmtlich mit einander in jeder Hinsicht übereinstimmen, dass sie den Raum gleichmässig erfüllen, d. h. also überall gleiche Zwischenräume sich zwischen ihnen befinden und dass sie die Träger aller dem betreffenden Stoff inne wohnenden Eigenschaften seien. Eine Theilung dieser Massentheilchen in mehrere kann nicht geschehen, ohne dass sich das Wesen des Stoffes, die Eigenschaften des Stoffes verändern.

Die Eigenschaften dieser Moleküle sind nun zum Theil solche, welche allen Molekülen der verschiedenartigsten Stoffe in gleicher Weise zukommen, und zum Theil solche, welche bei Molekülen verschiedener Stoffe verschieden sind und damit eben auch die artliche Verschiedenheit der Stoffe selbst bedingen. Zu den ersteren gehört die von der mechanischen Wärmetheorie angenommene Bewegung der Moleküle, welche bald rascher, bald langsamer ist, aber nur fehlt beim Mangel aller Wärme, bei dem absoluten Nullpunkt (Kältepunkt) von — 273 ^{0} C. Denn als Wärme fasst man eben die von den Molekülen durch ihre Bewegung ausgeübte Kraft auf, welche natürlich übertragbar ist und um so grösser, je rascher die Bewegungen sind. Eine Verschiedenartigkeit in der Bewegung bedingt die Verschiedenheit des Aggregatzustandes.

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Wie jedoch die Bewegung in jedem der drei Fälle beschaffen sei, darüber herrscht nicht unbedingte Uebereinstimmung der Ansichten. Für gasförmige Stoffe wird allgemein angenommen, dass ihre Moleküle sich in einer sehr raschen, in gerader Linie fortschreitenden Bewegung befinden, eine Annahme, welche alle besonderen Eigenschaften, die den Gasen als solchen zukommen, zu erklären gestattet, welche übrigens auch nicht ausschliesst, dass man zugleich Bewegungen anderer Art (z. B. eine rollende Bewegung) als gleichzeitig geschehend sich denke. Für starre Stoffe nimmt man an, dass die Bewegung der Moleküle in einer um eine Gleichgewichtslage hin und hergehenden Schwingung bestehe. Für tropfbar flüssige Stoffe wird dagegen (vielfach) angenommen, dass die Bewegung der Moleküle eine aus den obigen beiden Bewegungsarten gemischte sei, die Moleküle zum Theil, bez. abwechselnd, hin und her schwingend, zum Theil fortschreitend sich bewegten. Andere Auffassungen und Annahmen will ich hier unerörtert lassen.

Bei der hier erwähnten Annahme würde das in Folge von Wärmezufuhr stattfindende allmähliche Erweichen eines Stoffes, wie es z. B. bei Asphalt geschieht, der allmähliche Uebergang aus dem starren in den tropfbar flüssigen Zustand darin bestehen, dass eine immer grösser werdende Anzahl von Molekülen in die fortschreitende Bewegung überginge und damit der Zusammenhalt der Theile mehr und mehr gelockert, die Verschiebbarkeit eine immer grössere würde.

Zu den allgemeinen Eigenschaften der Moleküle gehört auch die Molekularanziehung, d. h. die Eigenschaft, dass die Moleküle sich gegenseitig anziehen. Die Grösse dieser Anziehungskraft muss natürlich ebenso, wie bei anderen Anziehungskräften, der Schwere u. s. w., in umgekehrtem Verhältniss zu den Quadraten der Entfernung stehen. Wenn nun bei Temperaturerhöhung, d. h. bei der Zunahme der Geschwindigkeit, mit welcher die Moleküle einer starren Substanz hin und her schwingen, die Kraft der Bewegung grösser geworden ist als die Molekularanziehung der benachbarten Moleküle, welche bisher das betr. Molekül an dem Platze hielten, zu den hin und hergehenden Schwingungen nöthigten, so wird diese letztere in eine geradlinig fortschreitende verwandelt. Dieselbe wird jedoch bei der verhältnissmässig grösseren Nähe, in der sich die Moleküle befinden, gar bald wieder in die schwingende übergehen, indem das Molekül in den Anziehungsbereich anderer Moleküle gelangt. Natürlich wird der Uebergang in die fortschreitende Bewegung um so leichter, um so häufiger geschehen, je rascher die Bewegung

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

der Moleküle wird, mit anderen Worten, je höher die Temperatur ist; denn es wird bei rascherer Bewegung auch schon in grösserer Nähe die Molekularanziehung überwunden werden. Wird nun die Geschwindigkeit so gross, dass die Bewegungskraft auch in der grössten Nähe, in welcher die Moleküle sich befinden können, stärker ist als die Molekularanziehung, so bleibt die geradlinige Bewegung allein bestehen, die Molekularanziehung kommt gar nicht mehr zur Geltung und der Stoff ist gasförmig, elastisch flüssig geworden. Alle Moleküle streben mit ihrer geradlinig fortschreitenden Bewegung in die Weite und werden sich so weit fortbewegen, bis sie auf ein Hindernis stossen, bis sie auf ein Molekül des Gases selbst oder ein anderes auftreffen, sei es das einer anderen Gasart oder einer starren oder tropfbar flüssigen Wandung, und von da vermöge ihrer Elasticität (ebenfalls eine allgemeine Eigenschaft) abprallen, um sich dann in einer beliebigen anderen Richtung wieder geradlinig fortzubewegen.

Mit der lebendigen Kraft dieser Molekularbewegung haben wir auch die bekannte Druckkraft der Gase. Denken wir uns einen einseitig geschlossenen Cylinder mit beweglichem Kolben und innerhalb und ausserhalb des Cylinders Gas, atmosphärische Luft oder irgend welches andere Gas, so stossen fortwährend auf beiden Seiten des Kolbens eine grosse Anzahl von Molekülen mit grosser Kraft auf. Ist die Anzahl und Geschwindigkeit der Moleküle auf beiden Seiten des Kolbens dieselbe, so wird der Kolben an seinem Platze beharren. Hat man aber z. B. den Kolben ein Stück hinabgedrückt in den Cylinder, so sind die Moleküle innen auf einen kleineren Raum zusammengedrängt, sie werden bei dem Hin- und Wiederprallen um so öfter an den Kolben anstossen, es werden gleichzeitig auf die innere Kolbenfläche entsprechend mehr Stösse ausgeübt werden, deren Summe einen stärkeren Druck ergiebt, als die äussere Fläche durch die anprallenden Gasmoleküle erfährt. Hört also die Kraft, mit welcher der Kolben hinabgedrückt war, zu wirken auf, so wird er sich so lange durch die Wirkung des Ueberdruckes innen, die Stösse der Moleküle, wieder rückwärts bewegen, bis er zur früheren Stelle zurückgelangt ist, bis also die Kraftsumme der Stösse innen und aussen die gleiche ist. Zur Zeit, als der Kolben bis zu irgend einer Stelle hinabgedrückt war, musste natürlich die besondere Kraft (von der Hand oder auf irgend eine andere Weise ausgeübt) dem inneren Ueberdruck gleich sein, da ja sonst der Kolben zu einer nach aussen oder nach innen gehenden Bewegung genöthigt worden wäre. Es ist daher der gesammte äussere Druck, das ist der äussere

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Gasdruck plus der besonderen Kraft gleich dem ganzen inneren Druck. Da dieser aber um so grösser ist, je grösser die Anzahl der gleichzeitig auf die Innenfläche des Kolbens auftreffenden Moleküle ist, und diese Anzahl im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse des Innenraumes steht, so steht also auch der Raum, den die im Inneren des Cylinders befindliche Gasmenge einnimmt, in umgekehrtem Verhältnis zu dem Druck, der auf ihr lastet, d. i. dem gesammten äusseren Druck, — welche Beziehungen ganz dem bekannten Boyleschen oder Mariotteschen Gesetz entsprechen. Wir haben hiermit also eine ursächliche Erklärung dieses Gesetzes auf Grund des Wesens eines Gases.

Denken wir uns ein ander Mal, nachdem die Summe der Stosskräfte, d. i. der Gasdruck innen und aussen der gleiche war, das Gas im Cylinder erwärmt, so wird mit der Zunahme der Temperatur die Geschwindigkeit, mit der sich die Moleküle bewegen, und damit auch die lebendige Kraft, mit der sie auf die Kolbenfläche auftreffen, vergrössert. Gleichzeitig aber muss auch die Zahl der Moleküle, die zugleich auftreffen, eben weil sie sich rascher bewegen, also öfter den Cylinder entlang hin- und herfahren, eine grössere werden. Hiermit ist der Druck, der von innen auf den Kolben ausgeübt wird, ein grösserer geworden, und der Kolben wird sich so lange nach aussen bewegen, bis die Anzahl der Stösse innen wegen des weiteren Weges, den die Moleküle in dem grösser gewordenen Raum zurückzulegen haben, soweit vermindert ist, dass die Produkte aus Anzahl der Stösse und Stärke des Einzelstosses innen und aussen (d. i. jederseits der Gesammtdruck) wieder gleich geworden sind.

Hiermit haben wir also den Grund für die bekannte in dem Gay-Lussac'schen Gasgesetz zum Ausdruck gebrachte Thatsache, dass ein Gas bei Temperaturzunahme, sobald überhaupt verschiebbare Theile der begrenzenden Wandung es gestatten, seinen Raum vergrössert, beziehungsweise bei Erhöhung der Temperatur der Druck, den eine Gasmenge auf die sie umgebenden Massen, d. i. auf die Wandungen ausübt, gesetzmässig vergrössert und bei Abnahme der Temperatur verringert wird. Die gewaltige Wirkung des Pulvers und anderer Sprengmittel findet so auch ihre Erklärung. Bei allen diesen werden starre oder tropfbar flüssige Stoffe plötzlich in gasförmige verwandelt, meist zugleich mit Erzeugung einer sehr hohen Wärme. Es treffen dann also plötzlich auf die verhältnismässig kleinen Wandungen eine überaus grosse Anzahl von Massentheilchen mit rasender Geschwindigkeit auf und die Summe dieser Stösse erzeugt einen Druck, der

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

die Festigkeit der Wandungen überwindet, wodurch die Sprengung erfolgt; hierbei übertragen die aufstossenden Theilchen ihre lebendige Kraft zum Theil auf Theile der Wandung, wodurch also Sprengstücke oder Geschützkugeln u. s. w. in rasche Bewegung versetzt werden.

Der Umstand, dass, wie es das Gay-Lussac'sche Gesetz ausspricht, alle Gase bei der gleichen Temperaturzunahme in gleichem Verhältnis sich ausdehnen, und ebenso ferner das gleiche Verhalten der verschiedenen Gase gegen Druck (ausgesprochen durch das Boyle'sche Gesetz) nöthigen zu der Annahme, „dass in gleichen räumlichen Mengen beliebiger Gase bei Gleichheit des Druckes und der Temperatur eine gleiche Anzahl von Molekülen vorhanden ist.“ Die Erkenntnis dieser hier ausgesprochenen Wahrheit (oder theoretischen Annahme — Schlussfolgerung), welche als das „Avogadro'sche Gesetz“ bezeichnet wird, ist für die Wissenschaft sehr fruchtbar geworden, besonders auch für den Fortschritt in der theoretischen Chemie. Auf einiges dahin Gehörige habe ich demnächst hinzuweisen. Zuvörderst muss ich hierfür aber noch eine andere Annahme zur Besprechung bringen.

Wir haben vorhin Eigenschaften der Moleküle erwähnt, die allen zukommen. Besondere Eigenschaften bedingen Verschiedenheit der Moleküle und diese die artliche Verschiedenheit der Stoffe, welchen die Moleküle angehören. Wir erinnern uns, dass die Moleküle einer homogenen Masse durchaus in allen ihren Eigenschaften übereinstimmend angenommen werden müssen. Ergiebt sich, dass in irgend einer Masse verschiedenartige Moleküle vorhanden sind, so ist die Masse eine Mischung oder ein Gemenge. So haben wir z. B. im Messing eine Mischung von Zink- und Kupfermolekülen, in Zuckerlösung eine solche von Zucker- und Wassermolekülen, die in dem Raume möglichst gleichmässig vertheilt sind, während wir z. B. im Schiesspulver ein Gemenge von Kohle, Salpeter und Schwefel haben, d. h. in den winzigen Kohlenstäubchen eine Menge von Kohlenstoffmolekülen, in den Salpetertheilchen eine Anhäufung von Salpetermolekülen und in den kleinen Schwefelstäubchen eine immerhin noch grosse Anzahl von Schwefelmolekülen. Messing aber, Zuckerlösung und Schiesspulver sind keine homogenen, keine einheitlichen Stoffe, weil sie von untereinander verschiedenartigen Molekülen zusammengesetzt werden.

Worin besteht nun aber die Verschiedenheit der Moleküle? Welches sind die Eigenschaften, durch welche die verschiedenartigen sich unterscheiden? — Wenn man eine abgewogene Menge Marmor oder Bittersalz einer längeren,

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

stärkeren Erhitzung aussetzt, so werden beide Massen einen Gewichtsverlust erfahren und zwar einen ganz bestimmten, vorher zu berechnenden, bei Marmor einen Verlust von 44 %, bei Bittersalz von $^{21}/_{41}$. Beim Marmor ist ein auch bei geringer Temperatur gasförmiger Stoff, beim Bittersalz ist Wasser entwichen; bei beiden bleibt ein starrer Stoff zurück. Es bestanden also Marmor und Bittersalz jedenfalls aus verschiedenartigen Stoffen und zwar in bestimmtem Mengen-Verhältnis. Beide Male lässt sich auch noch nachweisen, dass sowohl die zurückbleibenden, als auch die entwichenen Stoffe aus untereinander und von jenen verschiedenartigen bestehen, und ein Gleiches ist bei den meisten Stoffen der Fall. Diejenigen Stoffe, bei welchen dies nicht der Fall ist, wie bei Schwefel, Eisen, Kupfer, Gold, Phosphor, Kohlenstoff u. s. w., welche auf keine Weise in untereinander und von ihnen verschiedenartige Stoffe zerlegt werden konnten, nennt man bekanntlich chemische Elemente oder einfache Stoffe, die zu zerlegenden hingegen chemische Verbindungen oder zusammengesetzte Stoffe. Für alle Verbindungen gilt es aber, dass die sie zusammensetzenden Elemente in einem bestimmten Gewichtsverhältnis darin vorhanden sind. So besteht Wasser aus je einem Gewichtstheil Wasserstoff (das leichteste aller Gase) und 8 Gewichtstheilen Sauerstoff (jenes etwa $^{1}/_{5}$ des Gasgemisches unserer atmosphärischen Luft ausmachenden, die Athmung und die gewöhnliche Verbrennung unterhaltenden Stoffes); so besteht Alkohol stets aus je 12 Gewichtstheilen Kohlenstoff, 3 Gewichtstheilen Wasserstoff und 8 Gewichtstheilen Sauerstoff, Glycerin dagegen aus 9 Gewichtstheilen Kohlenstoff, 2 Gewichtstheilen Wasserstoff und 12 Gewichtstheilen Sauerstoff, der Traubenzucker stets aus 6 Gewichtstheilen Kohlenstoff auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff und 8 Gewichtstheile Sauerstoff. Diese Thatsache, die sich ja noch durch Tausende von Beispielen belegen liesse, dass also jede Stoffart, die nicht selbst ein Element ist, aus bestimmten Elementen in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen besteht, und dazu jene andere, dass verschiedene Stoffe, die, wie es bei den drei letzten Beispielen ersichtlich, aus denselben Elementen bestehen, diese Elemente zwar in verschiedenen Gewichts-Verhältnissen enthalten, aber so, dass die Verhältniszahlen für jedes einzelne Element sehr einfache Beziehungen bemerken lassen, haben zu der nachfolgenden Annahme geführt, durch welche alle diese Thatsachen auf höchst einfache und schlagende Weise ihre Erklärung finden.

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Ein jedes Molekül einer chemischen Verbindung besteht aus ungemein kleinen Theilchen der zusammensetzenden Elemente, welche selbst als durchaus unzertheilbar gedacht und deshalb Atome genannt werden (ἄτομος, unzerschneidbar). Die einfachen Stoffe bestehen natürlich ebenfalls aus den Atomen der bestimmten Art, welche sich meist in einer bestimmten Anzahl zu Molekülen zusammenfinden. (Bei einer ganz kleinen Zahl wird angenommen, dass das Molekül nur aus einem Atom besteht.) Alle Atome desselben Elementes sind in allen ihren Eigenschaften, also auch in ihrem absoluten Gewicht einander gleich, während die Verschiedenheit der Elemente eben in der Verschiedenartigkeit ihrer Atome besteht oder begründet ist, welche sich natürlich ebenfalls auch auf die absoluten Gewichte der Atome bezieht. Da die Wasserstoffatome unter allen die leichtesten sind, so bezieht man auf das Gewicht eines Wasserstoffatoms als Masseinheit die Gewichte aller übrigen Atome, so dass die Angabe, die Atomgewichte von Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel, Phosphor, Silber seien gleich 12, 16, 32, 31, 108, bedeutet, die Atome der genannten Elemente sind bezügl. 12, 16, 32, 31, 108 mal so schwer wie ein Atom Wasserstoff. Wenn man nun annimmt, dass die Moleküle irgend einer chemischen Verbindung, die ja alle untereinander vollkommen gleich sein müssen, je aus ganz bestimmten Anzahlen von Atomen der betreffenden, die Verbindung zusammensetzenden Elemente bestehen, so ergeben sich die bestimmten Gewichtsverhältnisse und die einfachen Beziehungen als ganz natürliche Folge. So muss das Wassermolekül aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atome Sauerstoff bestehen, das giebt $2 \cdot 1$ Gewichtstheile Wasserstoff auf 16 Gewichtstheile Sauerstoff, entsprechend 1 Gewichtstheil Wasserstoff auf 8 Gewichtstheile Sauerstoff, wie oben angegeben.

Um einige fernere Angaben bequemer machen zu können, möchte ich hier daran erinnern, dass die Chemie sich gewisser, von Berzelius zuerst eingeführter Zeichen für die Elemente, oder bestimmter gesagt, für deren Atome bedient, wodurch eine Symbolik, eine Zeichengebung, sich hat ausbilden können, die für die chemische Wissenschaft von ganz besonderem Nutzen geworden ist. So versteht man unter dem Buchstaben C (von Carbonium) ein Atom Kohlenstoff, unter H (von Hydrogenium) ein Atom Wasserstoff, unter O (von Oxygenium) ein Atom Sauerstoff u. s. w., womit dann z. B. ein Zeichen für ein Molekül Wasser, wir sagen die Formel für das Wasser, durch H^2O und ähnlicher Weise für jede chemische Verbindung durch Angabe der im Moleküle

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

enthaltenen Atome nach Art und Anzahl eine Formel gegeben ist. — Unser Leuchtgas besteht aus einem Gemisch verschiedener Gasarten, zwei besonders wichtige darunter sind das Methan oder Grubengas und das Aethylen. Ersterem kommt die Formel CH^4, letzterem die Formel C^2H^4 zu, womit also gesagt ist, es besteht das Methanmolekül aus 1 At. Kohlenstoff und 4 At. Wasserstoff, deren Gewichtsverhältnis also $= 12 : (4 \cdot 1) = 3 : 1$ ist, während das Aethylenmolekül aus 2 At. Kohlenstoff und 4 At. Wasserstoff besteht, das Gewichtsverhältnis der beiden Elemente in dem Aethylen also $= (2 \cdot 12) : (4 \cdot 1) = 6 : 1$ ist. Zugleich ist ersichtlich, dass ein Molekül Methan $12 + 4 = 16$ mal so schwer ist als ein At. Wasserstoff und ein Molekül Aethylen $(2 \cdot 12) + 4 = 28$ mal so schwer wie ein Atom Wasserstoff ist. Diese Zahlen 16 und 28 geben also die „Molekulargewichte" der betreffenden Verbindungen an.

Es dürfte nun nahe liegen zu fragen, weshalb man die Molekularformel des Aethylen C^2H^4 und nicht CH^2 schreibt, da die letztere, doch einfachere Formel dasselbe Gewichtsverhältnis der Bestandtheile $12 : 2 = 6 : 1$ ergiebt. Da aber nach dem Avogadro'schen Gesetz gleiche räumliche Mengen beliebiger Gase bei Gleichheit des Druckes und der Temperatur eine gleiche Anzahl von Molekülen enthalten, so müssen auch, und damit gewinnen wir ein folgereiches Gesetz, die Gewichte gleicher räumlicher Mengen verschiedener Gase, d. i. also die Gewichte von gleichen Anzahlen der verschiedenen Moleküle, sich verhalten wie die Gewichte einzelner Moleküle. Wir wiederholen, es verhalten sich also bei Gasen die Gewichte gleicher Raummengen, d. i. die spez. Gewichte oder Volumgewichte, gerade wie die Molekulargewichte. Da nun die Beobachtung, der Versuch lehrt, dass das Volumgewicht des Methan, auf atmosphärische Luft bezogen, $= 0{,}55$ und das Volumgewicht des Aethylen $= 0{,}97$ ist, welche Volumgewichte sich genau verhalten wie $4 : 7$, so müssen auch ihre Molekulargewichte sich wie $4 : 7$ verhalten. Das giebt für das Molekulargewicht des Aethylen, da dasjenige des Methan $= 16$ ist, die Zahl 28, die also der Formel C^2H^4 entspricht und nicht der Formel CH^2, welche ein halb so grosses Molekular- und damit Volumgewicht erforderte, was also den Thatsachen widerspräche. — Die chemische Analyse, d. h. die Untersuchung über die Zusammensetzung der Stoffe, kann ergründen, aus welchen Elementen eine Verbindung besteht und in welchem Gewichtsverhältnis dieselben in ihr enthalten sind, damit also auch die verhältnismässige Anzahl von Atomen in den Molekülen,

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

aber nicht deren absolute Anzahl. Wir sehen aus dem eben angeführten Beispiel des Aethylen, wie auch die wirkliche Zusammensetzung des Moleküls mit Hülfe des Avogadroschen Gesetzes (und des abgeleiteten Gesetzes über die Beziehung zwischen Molekulargewicht und Volumgewicht bei Gasen) bestimmt werden kann. Auf Grund der Volumgewichte hat man so von verschiedenen gasförmigen Elementen, von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, gefunden, dass deren Moleküle aus je 2 Atomen bestehen, dass also die Molekularformeln dieser Elemente zu schreiben sind: H^2, O^2, N^2, Cl^2.

Sie können sich denken, wie diese Möglichkeit die wirklichen Molekulargewichte für die bei gewöhnlicher Temperatur gasförmigen und die durch nicht allzu hohe Wärme in diesen Aggregatzustand überzuführenden Stoffe zu bestimmen, für den Fortschritt der chemischen Wissenschaft von Vortheil gewesen ist. Die überaus reichen Ergebnisse der organischen Chemie wären ohne diese Kenntnis nicht zu erzielen gewesen. Um so mehr musste es deshalb bedauert werden, dass man nicht ebenso für starre und tropfbar flüssige Stoffe ein Hilfsmittel zur Bestimmung besass. Es sind in der Richtung zwar mannigfache Spekulationen ausgeführt. Dieselben konnten aber, da ihnen eine feste Grundlage fehlte, auch zu keinen sicheren Ergebnissen führen. In jüngster Zeit ist es jedoch gelungen, auch hier für gewisse Fälle ganz ähnliche Gesetze aufzufinden wie für die Gase und damit auch hier die feste Grundlage für Bestimmung des Molekulargewichts, der wirklichen Zusammensetzung des Moleküls zu gewinnen.

Es war im Anfange das Wesen der Gase dahin erklärt, dass deren Moleküle sich in verhältnismässig grosser Entfernung von einander und in einer sehr raschen, geradlinig fortschreitenden Bewegung befinden. Diese Beschaffenheit hat nicht nur zur Folge, dass irgend eine Gasmenge einen beliebig grossen Raum sehr rasch vollständig erfüllt, da ja die Moleküle hindernislos weiterschiessen und später von den Wandungen und anderen begegnenden Molekülen abprallend ihre Richtung ändern und zwischen anderen sich weiter bewegen, so dass ihre Vertheilung gar bald eine ganz gleichmässige wird; es beruht auf jener Beschaffenheit auch die sogenannte Diffusion der Gase. Berühren sich zwei beliebige Gasschichten, so mischen sich die Gasmengen sehr rasch mit einander, und zwar in allen Fällen. Bringt man z. B. auf den Boden eines mit Wasserstoffgas gefüllten hohen Glascylinders einen Tropfen Brom, eines sich leicht verflüchtigenden Elementes von rothbrauner Farbe, so wird in kurzer Zeit der ganze Cylinder mit rothbraunen Dämpfen angefüllt

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

sein, und eine genauere Untersuchung ergibt, dass Bromdampf und Wasserstoffgas ganz gleichmässig in dem Raume vertheilt, innig und gleichmässig mit einander gemischt sind. Trotzdem Bromdampf 80 mal so schwer ist als Wasserstoff, haben sich dennoch die Brommoleküle zwischen den Wasserstoffmolekülen hindurch in dem ganzen Cylinder bis obenhin ausgebreitet. Ebenso wird sich Wasserstoffgas, welches den oberen Theil einer Röhre anfüllt, mit dem 35,5 mal so schweren Chlorgas, das den unteren Theil der Röhre einnimmt, in kurzer Zeit gleichmässig mischen; es werden die leichten Wasserstoffmoleküle zwischen den Chlormolekülen hindurch bis auf den Boden und die schweren Chlormoleküle zwischen den Wasserstoffmolekülen hindurch bis zum obersten Ende sich hinbewegen. Es durchdringt so also das leichtere Gas nach unten hin das schwerere und dieses nach oben hin das leichtere. Hierauf eben beruht es auch, dass in unserer atmosphärischen Luft der leichtere Stickstoff mit dem schwereren Sauerstoff vollkommen gleichmässig und innigst gemischt ist.

Wenn man nun ebenso eine Alkoholschicht über eine Wasserschicht bringt, so durchdringen auch diese beiden tropfbar flüssigen Stoffe einander; das schwere Wasser mischt sich nach oben dringend mit dem leichteren nach unten dringenden Alkohol allmählich inniger und inniger. Der Vorgang währt viel länger als bei Gasen, dauert aber fort, bis die Mischung eine ganz gleichmässige geworden. Die Ursache des Vorgangs ist eine entsprechende wie bei der Diffusion der Gase. Nimmt man, wie früher ausgeführt wurde, an, dass in tropfbar flüssigen Substanzen ein Theil der Moleküle in geradlinig fortschreitender Bewegung sich befindet, so wird eine Anzahl der Moleküle der unteren Flüssigkeit sich nach oben zwischen den Molekülen der anderen Flüssigkeit hindurch weiterbewegen und ebenso ein Theil der Moleküle der oberen Flüssigkeit zwischen die der unteren begeben. Da aber eben nur ein Theil der Moleküle fortschreitende Bewegung hat und da ferner die Moleküle der tropfbar flüssigen Substanzen kleinere Zwischenräume haben als die der Gase, also ein Zurückprallen viel häufiger eintreten wird, so muss es sehr viel länger währen, bis die Durchdringung vollendet sein kann.

Ganz Entsprechendes geschieht, wenn man über eine Zuckerlösung reines Wasser schichtet. Während aus der oberen Schicht Wassermoleküle zwischen die Theile der unteren dringen, gelangen von der unteren sowohl Wassermoleküle wie auch Zuckermoleküle in die obere Schicht, in

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Folge dessen schliesslich in der Flüssigkeit der Zucker gleichmässig vertheilt ist. Die Bewegungskraft der zwischen den Wassertheilchen hinschiessenden Zuckermoleküle übt nun eine ganz entsprechende Wirkung aus wie die lebendige Kraft der Gasmoleküle, welche Thatsache durch neuere Untersuchung unwiderleglich nachgewiesen ist. Man hat Zuckerlösung gegen reines Wasser durch eine Wand abgeschlossen von unvollkommener Durchlässigkeit, welche nämlich den Wassermolekülen den Durchtritt gestattet, den Zuckermolekülen hingegen nicht. Die Möglichkeit einer Wandung von solcher Beschaffenheit wird verständlich, wenn man bedenkt, dass die Zuckermoleküle viel grösser sind als die Wassermoleküle. Das Molekulargewicht für Wasser ist 18 und das für Zucker 342 (also gerade 19 mal so gross). Die Zuckermoleküle üben hierbei einen Druck auf die Wandung aus, den man hat messen können. Hier hat es sich nun ergeben, dass dieser Druck gerade so gross ist, als befände sich die betreffende Menge Zucker im Gaszustand, natürlich berechnet für die gleiche Temperatur. Beobachtet man abwechselnd mit Lösungen von verschiedenen Konzentrationen und bei verschiedenen Wärmegraden, so zeigt sich, dass der Druck entsprechend der Konzentration steigt und ebenso entsprechend der Temperaturerhöhung. Dieselben Ergebnisse haben Untersuchungen mit einer Reihe von anderen Stoffen gehabt und zwar auch für andere Lösungsmittel als Wasser. Ich muss mich hier kurz fassen, da mir zu genaueren, ausführlicheren und eingehenderen Auseinandersetzungen die Zeit nicht geboten ist. Ich kann nur noch auf Folgendes hinweisen: Diese Ergebnisse und ebenso zwei andere Versuchsreihen, über die ich auch nur Andeutungen geben kann, lehren, dass die in Lösung befindlichen Stoffmengen sich in der Weise den Gasen entsprechend verhalten, dass von ihnen sowohl das Boylesche wie auch das Gay-Lussacsche und endlich das Avogadrosche Gesetz gilt und dass sie sich sogar, wie wir oben sahen, gerade so verhalten, wie den Raum der ganzen Lösung erfüllende Gasmengen. Mit Hilfe dieses letzteren Umstandes lässt sich mittelst des Avogadroschen Gesetzes gerade so, wie das oben für Gase auseinandergesetzt wurde, also auch für diese an sich bei gewöhnlicher Temperatur starren Stoffe das Molekulargewicht genau bestimmen, was für Stoffe, die nicht in den Gaszustand übergeführt werden können, bisher nicht (mit Sicherheit) geschehen konnte.

Die beiden anderen Reihen von Versuchen, die zu Gesetzen geführt haben, welche auch die Bestimmung der Molekulargewichte löslicher Stoffe ermöglichen, beziehen sich auf

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

die Erscheinungen, dass erstens die Siedetemperatur irgend welcher Lösungsmittel durch darin gelöste Stoffe erhöht, also der Dampfdruck des Lösungsmittels erniedrigt wird, und dass zweitens der Gefrierpunkt irgend welcher Lösungsmittel ebenfalls durch darin gelöste Stoffe erniedrigt wird. Der Grad der Erniedrigung ist in beiden Fällen von der Konzentration direkt abhängig und zweitens bei verschiedenartigen Stoffen der gleiche, wenn von diesen Stoffen Mengen gelöst sind, die im Verhältnis ihrer Molekulargewichte stehen, bezw. welche eine gleiche Anzahl von Molekülen enthalten. Man sieht, wie mit Hilfe solcher Beobachtungen, die auch noch leichter und genauer anzustellen sind als die erstgenannten, in gleicher Weise die Molekulargewichte bestimmt werden können.

Ich kann nicht umhin, an dieser Stelle, nachdem wir wiederholt gesehen haben, welche Bedeutung für die Theorie das mehrerwähnte Avogadrosche Gesetz hat, auf eine von Physikern und Chemikern beliebte Ausdrucks- oder Bezeichnungsweise hinzuweisen, die mit diesem Gesetze im vollkommensten Widerspruch steht, die freilich auch bei nicht gasförmigen Stoffen den Thatsachen widerspricht. Ich nehme die Gelegenheit um so lieber wahr, als dieses jetzt Anzuführende nur ein Beispiel unter vielen ist, wo unter einer den Thatsachen nicht gerecht werdenden wissenschaftlichen Ausdrucksweise das Verständnis, vorab bei den Lernenden, und damit der Fortschritt der Wissenschaft leidet. In den meisten Fällen haben die Führer in der Wissenschaft sich so an den falschen Ausdruck gewöhnt, dass sie kaum von der Unrichtigkeit zu überzeugen sind. Im Augenblick denke ich an den Ausdruck Dichtigkeit oder Dichte anstatt specifisches Gewicht oder Volumgewicht. Sie können bei Chemikern und Physikern immer von Dampfdichte und deren Bestimmung hören und lesen und zwar dies bis in die jüngsten Zeiten hin und in den neuesten Veröffentlichungen. Und doch vergleicht man stets die Gase bei den gemeinten Bestimmungen für genau die nämliche Dichte. Die Zahlenangaben beziehen sich auf eine bestimmte Temperatur und einen bestimmten Druck, meist auf 0^0 und 760 mm Quecksilberdruck. Nach dem Avogadroschen Gesetz enthalten aber doch gleiche räumliche Mengen der verschiedenen Gase bei Gleichheit des Druckes und der Temperatur dieselbe Anzahl von Molekülen, sind also gleich dicht; denn unter dichter oder weniger dicht kann man doch nur den Grad der Entfernung der einzelnen Theile verstehen. Die Zahlen, welche die Gewichte gleicher räumlicher Mengen vergleichen, eben die Volumgewichte geben

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

also über die eigentliche Dichte, also die Entfernung der Moleküle, gar nichts an. Die wirkliche Dichte ändert sich hingegen mit Veränderung des Druckes und der Temperatur und dieses bei einem Gase wie bei dem anderen. Es ist also eine grundfalsche Ausdrucksweise, wenn man bei den Gasen für Volumgewicht und Volumgewichtsbestimmung sagt Dampfdichte und Dampfdichtebestimmung.

Aber auch bei tropfbar flüssigen und starren Stoffen ist der Ausdruck vollkommen falsch, wie sich für viele Fälle mit grösster Bestimmtheit zahlenmässig nachweisen lässt. So sind z. B. die 3 Elemente Arsen, Antimon und Wismut in ihren chemischen und äusseren Eigenschaften (Krystallisation u. s. w.) einander so ähnlich, dass man vollkommen berechtigt ist, bei ihren Molekülen entsprechende Zusammensetzung anzunehmen, so dass also die Gewichte der Moleküle sich sicher verhalten werden wie die Atomgewichte; diese sind aber bezüglich 75, 122, 210. Die Volumgewichte sind rund 5,7, 6,7 und 9,7. Stünden die Volumgewichte in gleichem Verhältnis wie die Molekulargewichte (und nach obigem also die Atomgewichte), d. h. wären diese Stoffe gleich dicht in der richtigen Bedeutung des Wortes, so würden sich aus dem Volumgewicht 5,7 für Arsen die Volumgewichte 9,1 und 15,95 für Antimon und Wismut berechnen. In Wirklichkeit sind aber die Volumgewichte viel niedriger, also diese specifisch schwereren Stoffe sogar weniger dicht als das leichtere Arsen. Aus dem Gewicht 6,7 für Antimon berechnet sich in gleicher Weise für ein gleich dichtes Wismut das Volumgewicht 11,5, welches also auch höher ist als das wirkliche, so dass demnach das schwerere Wismut ebenfalls weniger dicht ist als das leichtere Antimon. — Aehnliche Beispiele lassen sich in grosser Zahl auch von chemischen Verbindungen beibringen.

Zu diesen widersinnigen Ausdrucksweisen gehört es unter anderen auch, wenn, wie das auch in sonst werthvollen Büchern zu finden ist, von halben und drittel Atomen die Rede ist, während doch eine Grundeigenschaft des Atoms eben die Untheilbarkeit ist.

Wenden wir nach dieser kleinen Abschweifung unser Augenmerk auf die Zusammensetzung der Moleküle und die Frage, wodurch werden die Atome in den Molekülen zusammengehalten, bezw. zu den Molekülen vereinigt. Natürlicher Weise muss den Atomen eine besondere Kraft inne wohnen, durch welche dieses zu Stande gebracht wird. Man nennt diese Kraft einfach chemische Anziehungskraft. Leider gebraucht man für diese Kraft auch den Namen chemische Verwandtschaft oder Affinität; ich sage leider, weil die Be-

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

deutung hier eine ganz andere ist als bei dem sonstigen Gebrauche des Wortes Verwandtschaft. Es besitzen auch eben die Stoffe, welche man nach Analogie des sonstigen Gebrauchs als einander verwandte bezeichnen muss, nämlich die in ihren Eigenschaften einander ähnlichsten, am nächsten stehenden, gerade die geringste chemische Verwandtschaft.

Diese Affinität kann nun in zweierlei Sinn verschieden sein. Man sagt, ein Stoff besitzt eine stärkere Verwandtschaft als ein zweiter Stoff zu einem dritten Stoff, wenn er sich leichter als jener mit dem dritten Stoff verbindet, bezw., wenn er den zweiten Stoff aus dessen Verbindung mit dem dritten Stoff zu verdrängen vermag. Diese Stärke der chemischen Verwandtschaft kann freilich mit den physikalischen Zuständen, so besonders mit Wärmeänderung sich auch ändern und für zwei Stoffe gerade umkehren. Ein anderer Gesichtspunkt in der Beurtheilung der chemischen Anziehungskraft bezieht sich auf die Anzahl der Atome, nach welcher sich die Elemente mit einander verbinden, oder sich gegenseitig verdrängen. Es verbindet sich so ein Atom Silber mit einem Atom Chlor (jenes z. B. bei der Papierfabrikation zum Bleichen des Papieres gebrauchten, ausserdem desinficierend wirkenden, aber auch die Athmungswerkzeuge stark angreifenden, grüngelben, gasförmigen Elementes); 1 Atom Zink bindet hingegen 2 Atome Chlor, und überall, wo Gelegenheit zu einem Austausch von Zink- und Silberatomen in chemischen Verbindungen geboten ist, setzen sich 2 Atome Silber an die Stelle von 1 Atom Zink und umgekehrt. Man kann und muss also sagen, dass 1 Atom Zink in den Verbindungen den Werth hat (d. h. die Stelle einnimmt, die Rolle spielt) wie 2 Atome Silber. So verbindet sich u. a. auch 1 Atom Sauerstoff mit 1 Atom Zink zu dem sogenannten Zinkoxyd, aber mit 2 Atomen Silber zu Silberoxyd. Ein Vergleich des Zinkoxyds mit der Chlorverbindung zeigt, dass in entsprechendem Sinn wie oben der Werth des Sauerstoffatoms doppelt so gross ist als der Werth des Chloratoms, da 1 Atom Sauerstoff den Platz von 2 Atomen Chlor einnimmt oder dieselbe Bindekraft dem Zink gegenüber besitzt in Bezug auf die Anzahl der gebundenen Atome wie 2 Chloratome. Ganz entsprechende Verhältnisse ergeben sich für alle Elemente bei dem Vergleiche der Verbindungen. Aus diesen Beobachtungen hat sich dann die Lehre von der Werthigkeit oder Valenz der Atome, bezw. der Elemente entwickelt, welche für die Fortentwickelung der theoretischen Chemie nicht allein, sondern auch der praktischen Chemie ganz ausserordentlich fruchtbar geworden ist. Nach dieser

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Lehre versteht man unter der Werthigkeit eines Elementes den Grad der Bindekraft, nach welchem ein Atom dieses Elementes eine bestimmte Anzahl anderer Atome zu fesseln oder zu vertreten vermag, und erklärt sich die Verschiedenheit so, dass die Anziehungskraft der Atome von einer oder von mehreren Stellen ausgeht und in der Richtung dieser dann andere Atome angezogen und angelagert werden. Man sagt dann, ein Element ist einwerthig, wenn ein Atom desselben höchstens ein anderes Atom direkt an sich fesseln oder vertreten kann, und nennt Atome 2-, 3-, 4-, 5- oder 6werthig, wenn dieselben bezüglich 2, 3, 4, 5 oder 6 einwerthige Atome zu fesseln oder zu vertreten vermögen. Man nimmt diese Anziehungskräfte dabei so stark an, dass Einzelatome i. a. nicht neben einander bestehen können, sondern sich stets zu Molekülen vereinigen müssen. Hat ein Atom durch alle diese Einzelbindekräfte Atome an sich angelagert, so sagt man, seine Werthigkeiten (oder Affinitäten) seien gesättigt. Sind nur durch einen Theil der Werthigkeiten Atome gefesselt, was nur ganz vorübergehend für ganz kurze Augenblicke statthaben kann (von scheinbaren Ausnahmen wird gleich die Rede sein), so spricht man von ungesättigten oder freien Valenzen, Werthigkeiten.

Nun hat es bei manchen Elementen den Anschein, als ob ihre Atome unter verschiedenen Umständen eine verschiedene Anzahl von Werthigkeiten besässen. So erscheinen die Elemente der Stickstoffgruppe, nämlich Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut bald wie 3werthig, bald wie 5werthig. So erscheint Eisen in den sogenannten Ferrosalzen wie 2werthig, in den Ferriverbindungen wie 3werthig und in anderen wieder, wie z. B. in dem in der Natur als das häufige Mineral Schwefelkies oder Pyrit vorkommenden Schwefeleisen FeS^2 wie 4werthig. — Soll die Lehre von der Werthigkeit nun aber eine sichere Grundlage geben, auf welcher die Wissenschaft ihr Lehrgebäude aufbauen kann, so muss die Werthigkeit eine bestimmte unveränderliche Eigenschaft der Atome sein und nicht etwa die Funktion aus beliebigen und mannigfaltig zusammentreffenden Umständen (handelt es sich hier doch nicht um Dinge wie Wetterprognosen). Die Werthigkeit kann und darf also nicht als eine wechselnde angenommen werden, muss für jede Atomart eine bestimmte, unveränderliche sein, und für die scheinbar widersprechenden Thatsachen müssen andere Erklärungen gefunden werden. Und solche sind gefunden worden. Für die Elemente der Stickstoffgruppe kann man die Erscheinung z. B. so deuten, dass die 5 Werthigkeiten nicht gleich stark sind, so dass also 2

©Verein für Naturkunde Kassel: download www.zobodat.at

derselben ungesättigt bleiben können, wenn die andern 3 gesättigt sind. Ich werde alsbald noch eine andere Erklärung versuchen. Für Eisen hat man aber eine sichere und für verschiedene Fälle auch bewiesene Erklärung, welche ebenso auch für eine Menge anderer Fälle Gültigkeit hat, wie z. B. für die Legion der Kohlenstoffverbindungen. — Wenn man in Betrachtung zieht, dass Moleküle von Elementen, wie dies bei unserer Besprechung für mehrere gasförmige Elemente erwähnt wurde, aus mehreren Atomen bestehen — für gasförmigen Phosphor ergiebt sich, dass das Molekül aus 4 Atomen besteht, wenn das Sauerstoffmolekül deren 2 enthält —, dass also die gleichartigen Atome in diesen Molekülen sich mit ihren Affinitäten gegenseitig fesseln, so kann man auch eine theilweise, gegenseitige Sättigung gleichartiger Atome in ihren Verbindungen unbedingt als möglich voraussetzen. Damit lässt sich aber für alle Fälle, wo die Molekulargewichte nicht dagegen sprechen, die Erscheinung der wechselnden Valenzen erklären. Die höchste Zahl von Werthigkeiten, welche bei dem Element beobachtet wird, muss dann als die richtige angenommen werden. So muss man also das Eisenatom als 4werthig ansehen. Binden sich dann 2 Eisenatome mit je einer Werthigkeit, so erscheint jedes einzelne als 3werthig, wie das in den sogenannten Ferriverbindungen der Fall ist; die Gesammtheit der 2 Atome, die Atomgruppe, die man treffend als Doppelatom bezeichnet hat, ist dann 6werthig. Binden sich hingegen 2 Eisenatome mit je 2 ihrer Werthigkeiten, so erscheint jedes wie 2werthig, und das Doppelatom ist 4werthig; so erscheinen die Eisenatome in den sogenannten Ferroverbindungen, deren Formeln man aber nach alter Gewohnheit der Einfachheit wegen so schreibt, als wären die Eisenatome wirklich 2werthig. Leider hört man infolgedessen sie oft auch als in der That 2werthig bezeichnen.

Nun giebt es aber Verbindungen, deren Molekulargewicht nach den alten, bisherigen Annahmen nicht gestattet, mehrere Atome des fraglichen Elementes in den Molekülen anzunehmen, so dass also auch keine gegenseitige Bindung und dadurch zustandekommende Verminderung der freien Valenzen eintreten kann. Ein sehr bekanntes Beispiel hierzu ist das Kohlenoxyd, jenes bei unvollkommener Verbrennung von Kohlen so leicht sich bildende und deshalb wegen seiner giftigen Eigenschaften schon oft für Gesundheit und Leben von Menschen verhängnisvoll gewordene Gas. Dasselbe aus Kohlenstoff und Sauerstoff bestehend enthält auf ein Atom des einen Elements je ein Atom des anderen und nach seinem

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

Volumgewichte muss die Formel CO geschrieben werden. Da aber Kohlenstoff 4werthig und Sauerstoff 2werthig ist, so liegt hier die Erscheinung von ungesättigten Valenzen und von einer sogenannten ungesättigten Verbindung vor. Diese der Lehre sich schlecht einfügende Thatsache möchte ich durch eine kleine Veränderung der Grundlage zu erklären suchen, wodurch dann auch noch gewisse andere widersprechende Erscheinungen ihre Erklärung finden können. Ich meine die sog. Molekularverbindungen, worunter man chemische Verbindungen versteht, in denen sich anscheinend mehrere Moleküle aneinander gelagert haben zu neuen Molekülen, ohne dass die Vereinigung durch die chemische Anziehung, durch die Werthigkeit erklärt werden kann. Hierher gehören viele Doppelsalze, Verbindungen wie Kieselfluorkalium $K^2 Si Fl^6$, die zahllosen Verbindungen von Salzen mit Krystallwasser u. s. w. Man weiss hier in der That nicht, was für eine Kraft die Moleküle aneinander fesselt, und spricht deshalb, um dem Kind einen Namen zu geben, von Molekularanziehung, ohne für eine solche irgend welche Gesetze und Gründe aufstellen zu können, und von Molekularverbindungen, ohne sich über deren Wesen („Konstitution") irgend eine Vorstellung machen zu können.

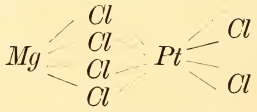
Da die Molekulargewichte Verhältniszahlen sind, so erscheint es unbedingt zulässig, gleichzeitig sämmtliche zu verdoppeln. Es würden dann die Wasserstoffmoleküle und die des Sauerstoffs z. B. je 4 Atome des betreffenden Elements enthalten und dem entsprechend würde die Formel des vorhin erwähnten Kohlenoxydes statt CO zu C^2O^2 werden und hiermit, da ja die Kohlenstoffatome sich gegenseitig binden, ihre Werthigkeiten sich gegenseitig ausgleichen können, eine vollständige Sättigung der Valenzen augenblicklich ermöglicht sein.

Aehnliches ergiebt sich dann für alle anderen ungesättigten Verbindungen. Hiermit allein wären aber die Molekularverbindungen nicht erklärbar. Dafür stelle ich die weitere Annahme auf: auch die Anzahl der Werthigkeiten aller Atome, die ja auch durch Vergleichung erhaltene Relativzahlen sind, ist doppelt so gross, als bisher angenommen wird. Das würde nichts anderes sagen, als die bis jetzt als 1werthig bezeichneten Elemente, wie H, Cl, Ag, K, besitzen in jedem Atom zwei Angriffspunkte für die chemische Anziehung, die 2werthigen besitzen deren 4 u. s. w., welche aber örtlich wahrscheinlich je zu zweien so nahe beieinander liegen, dass sie zumeist paarweise zur Wirkung kommen, aus welchem letzteren Umstand sich dann erklären würde, dass sich so viele Verbindungen auch deuten lassen aus der Annahme

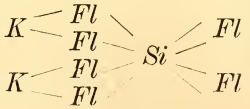
©Verein für Naturkunde Kassel: download www.zobodat.at

der halben Anzahl von Werthigkeiten und dass bei dieser neuen Annahme keine Atome mit unpaarer Anzahl von Werthigkeiten bekannt sein würden. Mit Hülfe dieser beiden Abänderungen der Lehre von der Werthigkeit würde es möglich, alle Erscheinungen mit der Theorie in Einklang zu bringen. Die Bindung bei sogenannten Molekularverbindungen würde sich mit den verdoppelten Valenzen so z. B. auch leicht nachweisen lassen.

Zur Erläuterung hierfür mögen folgende Beispiele dienen. Schreibt man die chemischen Formeln nicht als sog. empirische Formeln, in denen nur die im Molekül enthaltenen Atomarten und bei jeder Art die Anzahl der vorhandenen Atome angegeben ist, sondern so, dass jedes einzelne Atom durch das betr. Zeichen vertreten und durch Bindestriche die Anzahl der Werthigkeiten eines jeden Atoms angedeutet ist, so lässt sich mit Hülfe dieser Bindestriche die Art und Weise angeben, wie man sich die einzelnen Atome aneinander gefesselt denkt. Solche Formeln werden Konstitutionsformeln genannt. Es würden so z. B. die Konstitutionsformeln für Magnesiumchlorid ($Mg\,Cl^2$) und Platinchlorid ($Pt\,Cl^4$) nach der bisherigen Annahme geschrieben werden können $Mg\begin{matrix}-Cl\\-Cl\end{matrix}$ und $\begin{matrix}Cl-\\Cl-\end{matrix}Pt\begin{matrix}-Cl\\-Cl\end{matrix}$, in welchen durch die Bindestriche gleichzeitig ausgedrückt ist, dass Chlor (Cl) einwerthig, Magnesium (Mg) zweiwerthig und Platin (Pt) vierwerthig ist. Für Magnesiumplatinchlorid ($Mg\,Pt\,Cl^6$) liesse sich aber keine Konstitutionsformel schreiben, keine Art ausfindig machen, wie die acht Atome des Moleküls sich gegenseitig fesselten. Das wird aber alsbald möglich bei der Annahme der doppelt so grossen, der „paarigen“ Werthigkeiten, wo dann Chlor zweiwerthig, Mg vierwerthig und Pt achtwerthig erscheinen. Da ergiebt sich alsdann z. B. in der Weise eine Möglichkeit der Bindung, wie es die hier folgende Formel zeigt:



Entsprechend lautet die Formel des auf S. 47 erwähnten Kieselfluorkalium ($K^2\,Si\,Fl^6$)



©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

und die Formel des bei — 10° sich bildenden wasserhaltigen Chlornatriums ($Na\,Cl + 2\,H^2O$) etwa:

$$\begin{array}{ccccccc} Na & - & H & - & O & - & H \\ | & & & & \| & & | \\ Cl & - & H & - & O & - & H. \end{array}$$

Mit den hier gegebenen Konstitutionsformeln soll nur die Möglichkeit der Bindung und der vollen Ausgleichung der Valenzen nachgewiesen werden. In welcher Weise die Bindung dann wirklich erfolgt, bliebe natürlich ebenso eingehenden Untersuchungen vorbehalten, wie solche besonders die organische Chemie in Menge angestellt hat und fortwährend anstellt.

Die soeben besprochenen sog. ungesättigten Verbindungen erinnern an Gruppen von Atomen, welche nicht alle Werthigkeiten gegenseitig gesättigt haben, also noch gegen andere Atomgruppen und Elemente in Wirkung kommende Werthigkeiten besitzen und daher nach der Anzahl ihrer noch ungesättigten Werthigkeiten Atome fesseln oder für gleichwerthige Atome in Verbindungen eintreten können. Beispiele solcher Atomgruppen, welche einen bestimmten chemischen Charakter zeigen und sich unter Umständen entsprechend wie Elemente, d. h. wie Atome verhalten, sind das Aethyl C^2H^5, welches mit 1 Atom O und 1 Atom H den Alkohol bildet, das Ammonium NH^4, das mit 1 Atom Cl zu Salmiak sich vereinigt, und das Cyan CN, das mit einem Atom H die bekannte, so giftige Blausäure erzeugt. Diese drei Gruppen sind 1werthig; ebenso gibt es aber auch 2-, 3- und mehrwerthige Atomgruppen. Man bezeichnet solche Gruppenarten als zusammengesetzte Radikale und nennt so z. B. Aethyl das Radikal des Alkohols, Ammonium das Basisradikal des Salmiaks, das Cyan ein Säureradikal, welches sich ebenso dem einfachen Säureradikal Chlor vergleicht, wie sich Ammonium dem einfachen Basisradikal Kalium oder Silber vergleicht. Da das Bedürfnis von einer einzelnen Gruppe dieser zusammengesetzten Radikale zu sprechen ebensowohl häufig vorliegen muss, wie man oft von den Atomen der einfachen Radikale, der Elemente, spricht, so hat das sogar zu dem grossen Fehler verleitet, von Atomen dieser zusammengesetzten Radikale zu sprechen, wie ich Ihnen z. B. hier in einem sonst recht guten chemischen Lehrbuch zeigen kann, wo es heisst: „Im Molekül des freien Cyan sind zwei Atome Cyan mit einander verbunden.“ Um diesem mir selbst auch stets entgegengetretenen Mangel abzuhelfen, verwende ich schon seit sehr langer Zeit für die einzelnen Atomgruppen den gewiss bezeichnenden Ausdruck Atomid, der

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

also die einzelne Atomgruppe meint, die sich eben einem Atom analog verhält, aber kein Atom ist, sondern aus mehreren Atomen besteht. So kann man denn sagen: „Das Molekül des freien Cyans besteht aus zwei Atomiden Cyan", oder z. B. „es verbindet sich ein Atom Zink ebenso mit zwei Atomiden Cyan wie mit zwei Atomen Chlor" und „der Ammoniakalaun enthält zwei Atomide Ammonium im Molekül" u. s. w. Schon im Jahre 1872 habe ich auch den Ausdruck Atomid in der ersten Auflage meines kleinen Lehrbuchs der Mineralogie angewandt und erläutert.

Diese zusammengesetzten Radikale, welche sich den Elementen entsprechend oder deren Atomide sich Atomen entsprechend verhalten, gaben zu der Frage Veranlassung, zu welcher man auch auf anderen Wegen geführt worden ist, ob nämlich nicht auch die jetzt für Elemente angesehenen Stoffe zusammengesetzter Natur und deren sog. Atome in Wirklichkeit Atomide seien. Bestimmte gesetzmässige Beziehungen zwischen der Grösse der Atomgewichte und den Eigenschaften der Elemente, nach denen in gewissem Sinne das eine als Funktion des anderen erscheint, haben sogar zu der Vermuthung oder Hypothese Anlass gegeben, dass alle Elementaratome der jetzigen Auffassung aus verschiedenen Mengen der Atome eines einzigen Grundelementes bestünden. Obgleich nun die Thatsache, dass man früher eine Reihe von Stoffen für Elemente angesehen hat, von denen man jetzt weiss, dass es Verbindungen sind, einer solchen Annahme, wie die eben vorgetragene, das Wort zu reden scheint, so wird diese Umsturzhypothese schwerlich angenommen werden dürfen. Wenn dieselbe Wahrheit wäre, so kämen die alten Alchemisten zu Ehren, so hätten diese vollkommen recht gehabt mit ihren Versuchen einen Stoff in einen anderen zu verwandeln und der Chemiker, der sich jetzt an den Versuch begäbe, aus Blei, Kupfer, Eisen u. s. w. Gold zu machen, würde nimmermehr darüber verlacht werden können. Sollte aber nicht, wenn wirklich alle Materie nur aus Atomen eines einzigen Grundstoffes bestünde, bei den tausend und aber tausend Experimenten, die jetzt von Chemikern und Physikern mit den mannigfaltigsten Stoffen und in den verschiedenartigsten Weisen angestellt werden, bei den tausend und aber tausend Umsetzungen, die alljährlich veranlasst werden, nicht auch hier und da wenigstens es eintreten müssen, dass ein Element zum Vorschein käme, welches vorher nicht vorhanden war, dass etwa in einer Verbindung plötzlich Chlor oder Schwefel oder Kupfer etc. erschienen, trotzdem von diesen Elementen vorher keine Spur bemerkt

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

worden war?! Dergleichen ist aber nie beobachtet worden *). Stets hat sich die Materie unveränderlich bewiesen in dem Sinne, dass kein Atom eines Elementes verloren geht und kein Atom mehr erscheint, als ursprünglich vorhanden war. Ich sehe hier von der Anführung anderer Gründe gegen jene kühne Hypothese ab; die eine Ueberlegung scheint mir vollständig genügend zu sein, um deren Unmöglichkeit zu erweisen.

Zum Schlusse, meine Herrn, berühre ich noch, um gerade die neueren Errungenschaften in den Anschauungen über das Wesen des Stoffes andeutend wenigstens zur Geltung zu bringen, gewisse Untersuchungen, welche sich auf das Boylesche und das Gay-Lussacsche Gasgesetz beziehen und scheinbare Abweichungen von den Gesetzen betreffen, die aber vorzügliche Aufklärungen geben und zugleich mathematische Bestätigungen für die früher auseinandergesetzte Vorstellung über das Wesen der Gase. Gerade diesen Punkt hätte ich gern in grösserer Ausführlichkeit besprochen; da ich aber im Hinblick auf das schon Niedergeschriebene zu der Ueberzeugung kommen muss, dass ich Ihre Aufmerksamkeit nicht mehr lange in Anspruch nehmen darf, so will ich hier nur ganz kurz noch auf das mir für unsere Zwecke Wesentlichste und für Sie Interessanteste hinweisen.

Das Boylesche oder Mariottesche Gesetz sagt aus, dass das Produkt aus dem Volumen einer bestimmten Gasmenge und dem darauf von aussen ausgeübten Druck stets dasselbe ist. Die Versuche haben jedoch in verschiedener Weise auf Abweichungen von dem Gesetz geführt; bald kommt man bei stärkerem Druck zu einem grösseren Produkt, bald auch zu einem kleineren. Diese Abweichungen finden nun ihre vollkommene Erklärung in den Ansichten, die wir über das Wesen der Gase haben. Die ausgeführten Berechnungen haben, soweit solche angestellt werden konnten, überall Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erscheinung gegeben.

Wie wir früher besprachen, nimmt man an, dass die Gasmoleküle sich mit ausserordentlicher Geschwindigkeit in

*) Gewisse Versuche, über welche in jüngerer Zeit Mittheilungen veröffentlicht sind und welche sich einerseits auf Kobalt- und Nickelverbindungen, andererseits auf die in bestimmten, besonders in Skandinavien vorkommenden Mineralien enthaltenen seltenen Metalle, Yttrium u. s. w., beziehen, können nicht das Gegentheil beweisen. Einmal handelt es sich hier in der That um Mischungen der Verbindungen von Elementen, welche in ihren Eigenschaften sich ausserordentlich ähnlich sind, so dass die Untersuchungen recht schwierig werden, und zum anderen bedürfen die Angaben überhaupt noch der Bestätigung durch andere Chemiker.

©Verein für Naturkunde Kassel; download www.zobodat.at

geraden Linien fortbewegen und dass der Druck, den die Gase ausüben, der allemal dem äusseren Druck gleich sein muss, da er ihm ja das Gleichgewicht hält, in der Summe der Stösse dieser sich bewegenden Gasmoleküle besteht. Wir haben ferner erwähnt, dass die Geschwindigkeit der Moleküle so gross sei, dass die Molekularanziehung durch dieselbe überwunden werde. Wir dürfen aber nicht ausser acht lassen, dass diese Molekularanziehung doch immer noch vorhanden ist und im quadratischen Verhältnis zu der grösseren Annäherung der Moleküle wächst. Es fügt sich also diese anziehende Kraft zu dem äusseren Druck hinzu, so dass die Raumverminderung eine stärkere und hierdurch das Produkt aus Volumen und Druck kleiner wird, als ohne die Wirkung der Molekularanziehung zu erwarten wäre.

Die Volumverminderung beruht doch nun auf der grösseren Annäherung, welche die Moleküle erfahren. Natürlich handelt es sich hierbei um die Verkleinerung der Zwischenräume, d. h. also des von den Molekülen selbst nicht erfüllten Raumes. Dieser also wird bei Verdoppelung des Druckes halb so gross, bei Verdreifachung ein Drittel so gross u. s. w. Der Raum, welchen die Moleküle einnehmen, bleibt sich dagegen immer gleich; dieser wird nicht auf die Hälfte, ein Drittel u. s. w. verkleinert. Das Gesammtvolumen muss demnach bei Vergrösserung des Druckes in stets sich steigerndem Masse grösser erscheinen, als nach dem Boyleschen Gesetz ausserdem anzunehmen wäre, wodurch also auch das Produkt aus Druck und Volumen grösser erscheint. Je nachdem nun die Wirkung der Molekulargrösse oder der Molekularanziehung mehr zur Geltung kommt, wird also das Produkt nach dem plus oder minus abweichen. In wundervollster Weise zeigt sich also hier, da, wie oben gesagt, die Berechnungen mit allen Annahmen stimmen, wie sogar scheinbare Abweichungen von einem Naturgesetz zum Beweise dienen können für die Naturgesetze selbst. Das mit Berücksichtigung der beiden genannten Umstände veränderte Boylesche Gesetz muss also lauten: Für dieselbe Gasmenge ist das Produkt aus dem um die Molekularanziehung vergrösserten äusseren Druck und dem nicht von den Molekülen selbst erfüllten Raum immer das gleiche. Zugleich beweisen diese Beobachtungen, und das ist ein sehr wichtiges Ergebnis, dass die Moleküle wirklich Raum einnehmen, dass es sich bei ihnen also nicht um sog. blosse Kraftcentren handelt, sondern dass, wie ich im Beginn mich ausdrückte, der Stoff etwas Wirkliches ist.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Kassel

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: 38

Autor(en)/Author(s): Hornstein Ferdinand Friedrich

Artikel/Article: Ueber das Wesen des Stoffes 1029-1052