

*Zur Grösse der Luftmolecüle.*

Von J. Loschmidt.

Von jeher war man darüber einig, dass in den Gasen die Molecüle durch Distanzen von einander getrennt seien, gegen deren Grösse man den Durchmesser derselben in den meisten Fällen als verschwindend klein annehmen dürfe. Die Molecüle selbst liess man in fortwährender Bewegung begriffen, und die Geschwindigkeit dieser Bewegung von der Temperatur beherrscht sein. Über die Art der Bewegung haben sich in letzterer Zeit zwei scharf getrennte Ansichten festgestellt. Die eine, ältere, lässt die Gasmolecüle an äquidistanten Orten durch gegenseitige Anziehungs- und Abstossungskräfte in einer Art stabiler Gleichgewichtslage festgehalten werden, um welche sie oscilliren. Diese Anziehungs- und Abstossungskräfte nimmt man entweder als ursprüngliche, der Substanz der Molecüle angehörige, oder, und zwar meistentheils, als durch die Ätherhüllen oder auch einem eigenen Wärmestoff bedingte an.

Es vermag diese Ansicht wohl im Allgemeinen über alle Erscheinungen so ziemlich Rechenschaft zu geben, es hat sich aber schliesslich herausgestellt, dass sich aus ihr eben nur das deduciren lasse, was man von Anfang in die Prämissen hineingelegt hatte. Darüber hinauszuführen vermochte sie nicht.

Weit besser gelang dies der zweiten Ansicht, welche von Herapath und Krönig aufgestellt, durch die Arbeiten von Clausius, Maxwell, Rankine u. s. w. ausgebildet, bald ein entschiedenes Übergewicht errang.

Dieselbe lässt zwar die weiten Abstände zwischen den Gasmolecülen fortbestehen, beseitigt aber das Band, welches ein

Molecül mit seinen Nachbarn verbindet und an einem Orte festhält, ertheilt ihm aber dafür eine gewisse progressive Geschwindigkeit. Vermöge dieser bewegt sich das Molecül in gerader Richtung fort, ohne von einem andern eher Notiz zu nehmen, bis es nicht, so zu sagen von ungefähr, mit ihm zusammentrifft. In diesem Falle erfolgt ein Auseinanderprallen, ganz nach den Gesetzen des Stosses vollkommen elastischer Kugeln.

Mit dem Aufgeben der vermittelnden Kräfte war ein beschwerlicher Ballast beseitigt, es wurde ein eigenthümlicher Calcül zur Ermittlung von Durchschnittswerthen in dem Chaos der regellos durcheinanderfahrenden Molecüle ausgebildet und bestimmte Resultate erzielt, mittelst welcher man hoffen durfte, trotz mancher Nothannahme, wie die der allgemeinen Kugelform der Molecüle und dergleichen, von den Thatsachen selbst eine Bestätigung oder eine bündige Widerlegung zu erfahren.

Bisher nun war der Verlauf ein für die neue Theorie unzweifelhaft günstiger. Die Arbeiten der obengenannten Forscher haben einerseits sehr präcise und einleuchtende Erklärungen der wichtigsten Vorgänge bei den Gasen geliefert — so für den atmosphärischen Druck, für die Wärmeleitung, für die Fortleitung des Schalles, — andererseits aber auch mittelst einer durchsichtigeren Fassung der Beziehungen, die numerische Bestimmung wichtiger Constanten ermöglicht. Wir heben hier besonders hervor: die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit der Molecüle für verschiedene Gase bei verschiedenen Temperaturen, die des Verhältnisses der gesammten lebendigen Kraft eines Gases zu der jener Geschwindigkeit entsprechenden — beide durch Clausius, ferner die der mittleren Weglänge der Luftmolecüle durch Maxwell und O. E. Meyer.

Es ist der Zweck der vorliegenden Arbeit auf dem Boden dieser Theorie für eine andere Constante eine vorläufige Annäherung zu gewinnen — nämlich für die Grösse des Durchmessers der Luftmolecüle. Dieser Grösse wird zwar von jeher eine ausserordentliche Kleinheit zuerkannt, die Frage aber ob man dabei auf Millionstel oder Billionstel des Millimeters, oder noch viel weiter hinabzusteigen habe, war bisher unerörtert geblieben. Die neuere Theorie ist nun allerdings im Stande hierüber Auskunft zu geben.

Wir benützen dazu eine Gleichung, welche von Maxwell aufgestellt wurde <sup>1)</sup> und von Clausius eine kleine Modification erfahren hat <sup>2)</sup>. Mit letzterer heisst sie:

$$1 = \frac{4}{3} N \pi l s^2.$$

In ihr bedeutet  $N$  die Anzahl der in der Volumeinheit enthaltenen Luftmolecüle,  $l$  die mittlere Länge des Weges, welchen ein solches Molecül zwischen zwei auf einander folgenden Zusammenstössen durchläuft, und  $s$  den Durchmesser desselben.

Wir geben derselben eine Gestalt, in welcher sie eine Relation zwischen zwei molecularen Räumen ausspricht, nämlich:

$$\frac{1}{N} = 5\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi l s^2}{4}.$$

Bekanntlich sind in der Raumeinheit bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke von allen gasförmigen Körpern gleichviel Molecüle enthalten. Da nun  $N$  die Anzahl derselben bedeutet, so ist  $\frac{1}{N}$  derjenige Theil der Raumeinheit, welcher auf ein Molecül kommt, wenn man sich dieselben durchaus gleichmässig vertheilt denkt. Wir bezeichnen dieses Raumelement mit dem Ausdruck *moleculares Gasvolumen*.

Gehen wir zur rechten Seite der Gleichung über, so begegnen wir der Grösse  $\frac{\pi l s^2}{4}$ .

Dieselbe drückt das Volumen jenes Cylinders aus, welcher zur Basis den centralen Durchschnitt, und zur Höhe die mittlere Weglänge eines Molecüles hat. Er repräsentirt demnach die Summe aller Raumtheilchen, welche das Molecül, während es den mittleren Weg durchläuft, successive einnimmt. Nennen wir ihn deshalb das *moleculare Wegvolumen*, so sagt unsere Gleichung:

1) Philosoph. Magazine XIX, p. 28.

2) Ebendasselbst p. 434.

Das moleculare Gasvolumen ist  $5\frac{1}{2}$ mal grösser als das moleculare Wegvolumen.

Überdies ist auch das letztere für alle Gase gleich gross.

Für unsern Zweck ist es nothwendig der Gleichung noch eine andere Gestalt zu geben. Da  $\frac{\pi s^3}{6}$  das Volumen eines Molecüles vorstellt, und 1 das Volumen, welches von  $N$  solchen Molecülen in Gasform occupirt wird, so ist  $N \frac{\pi s^3}{6}$  derjenige Theil der Raumeinheit, welchen die  $N$  Molecüle ruhend gedacht mit ihrer Masse wirklich ausfüllen. Wir bezeichnen das Verhältniss von  $\frac{N\pi s^3}{6}$  zur Einheit mit  $\epsilon$  und nennen zugleich  $\epsilon$  den Condensationcoefficienten des Gases. Dadurch geht die Gleichung über in:

$$s = 8\epsilon l$$

und heisst:

„Der Durchmesser der Molecüle eines Gases ist gleich der achtfachen mittlern Weglänge, multiplicirt mit dem Condensationcoefficienten“.

Von den Gasen unterscheiden sich die tropfbar-flüssigen und festen Körper dadurch, dass bei ihnen die Molecüle so nahe an einander gerückt sind, dass sich die Sphären der Abstossung zweier nächster einander berühren. Während aber in den Flüssigkeiten die Molecüle in fortwährender Rotation begriffen sind, und sich zugleich, obwohl verhältnissmässig langsam, zwischen einander durchdrängen, sind dieselben in einem festen Körper an bestimmten Orten und in bestimmten Lagen festgehalten. Sie vermögen, im stabilen Gleichgewichte stehend, blos um eine fixe Lage zu oscilliren.

Aber selbst unter der vereinfachenden Voraussetzung einer sphärischen Gestalt der Molecüle muss der Raum, welchen eine bestimmte Anzahl derselben als Flüssigkeit einnimmt, gegenüber jenem, den sie in der Gasform beanspruchten, merklich grösser sein als der ideale Condensationcoefficient angibt; denn die Molecüle der Flüssigkeit lassen nothwendig kleine Räume zwischen sich unausgefüllt, was bei der Bestimmung des Condensationcoefficienten nicht in Betracht gezogen ward. Überdies können diese Zwischenräume je nach der Art der Schichtung der Flüssigkeits-Molecüle erheblich

verschieden sein. Unsere sphärischen Molecüle nehmen in gedrängtester Lagerung einen nur wenig grössern Raum ein, als der Condensationcoëfficient anzeigt — wie  $1 : 1 \cdot 17$  — während bei der lockersten Schichtung die Differenz sehr bedeutend wird — wie  $1 : 1 \cdot 91$ . — Man könnte geneigt sein dieses Intervall zur Erklärung der Ausdehnung durch die Wärme zu benützen, und das Minimum in den Punkt der grössten Dichte zu verlegen, das Maximum hingegen dort anzunehmen, wo eine eingeschlossene Flüssigkeit bei hoher Temperatur unter rascher Ausdehnung ein Volumen annimmt, welches sie beim plötzlichen Übergang in die Gasform beibehält. Bei nicht sphärischen Molecülen würden die Extreme der Schichtung offenbar noch weiter aus einander liegende Dichtigkeiten erwarten lassen. Diese Betrachtung würde die Benützung der beobachteten Condensationsverhältnisse sehr misslich machen, wenn es sich eben nicht blos um Annäherungswerthe handeln würde, und wenn nicht auch die übrigen Fundamente in der Voraussetzung der Kugelgestalt der Molecüle, in der festgezogenen Abstossungssphäre u. s. w. bereits Nothbehelfe in sich aufgenommen hätten.

Hier aber, wo es sich blos um die Frage handelt, in welche Grössenklasse der Durchmesser eines Molecüles gehöre, ist das factisch beobachtete Condensationsverhältniss vollkommen ausreichend.

Was dagegen die Voraussetzung betrifft, dass zwischen zwei Molecülen, welche sich in einer Flüssigkeit berühren, derselbe Centralabstand bestehe, wie beim Zusammenstoss zweier Molecüle derselben Art im Dampfe, so hat sie alle Wahrscheinlichkeit für sich. Denn einmal spricht die geringe Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten, selbst enormen Druckkräften gegenüber, dagegen, dass die lebendige Kraft, welche in der Gasform zwei Molecüle gegen einander treibt, selbe näher an einander zu bringen vermögen sollte. Eben so auch die Erscheinungen an der starren Aggregationsform, bei welcher namentlich die Dichte nicht erheblich abweicht von derjenigen der flüssigen Form. Es kann also der Durchmesser der Molecüle im Gase nicht wohl geringer sein als in der Flüssigkeit. Er kann aber auch nicht füglich bedeutend grösser sein, da die Erscheinungen zu der Annahme nöthigen, dass das Intervall zwischen dem Beginn der Abstossung zweier Molecüle und jenem Punkt, wo sie alle gewöhnlichen Kräfte an Intensität überschreitet, überhaupt verschwindend klein sei. Die Unterschiede endlich in der Dichte einer Flüssigkeit, welche

durch Temperaturänderungen herbeigeführt werden, liegen innerhalb der Grenzen, welche eine mehr oder minder dichte Schichtung der Molecüle zu bewirken vermag.

Wenn man die Temperatur 0 zu Grunde legt, geben die Beobachtungen folgende Condensationseoefficienten: Für Wasser 0·00081, für Stickoxydul 0·00154, für Untersalpetersäure 0·00143, für Ammoniak 0·00102 und für Kohlensäure 0·00204.

Für die Luft, welche nicht condensirbar ist, kann leider das Condensationsverhältniss nicht direct gefunden werden, und sie ist gerade der einzige Körper, für welchen die mittlere Weglänge mit einiger Sicherheit bekannt ist. Glücklicher Weise hat H. Kopp <sup>1)</sup> den Weg gezeigt, welcher uns von der chemischen Formel einer Substanz zur Kenntniss ihrer Dichte im flüssigen Zustande führt. Im Sinne der oben angedeuteten Hypothese über die Constitution der Flüssigkeiten liegt es, dass jedes Atom in derselben einen unveränderlichen sphärischen Raum einnehmen müsse. Diese Constanz in der Raumerfüllung Seitens der Atome wird aber durch die entstehenden Zwischenräume gestört, und so zu sagen verdeckt.

Denkt man sich nun die leeren Zwischenräume auf die einzelnen constituirenden Atome vertheilt, so wird man in den Stand gesetzt aus den beobachteten Dichten einiger schicklich gewählter Verbindungen für die chemischen Elemente Volumzahlen abzuleiten, welche in die Formel einer Flüssigkeit statt der chemischen Zeichen gesetzt, das specifische Volum derselben geben — genau so wie aus den Äquivalentzahlen ihrer Bestandtheile sich ihr Äquivalent ergibt — vorausgesetzt nämlich, dass die Dichte der Molecularschichtung bei allen Flüssigkeiten wenigstens nahe bei die gleiche ist. Dies ist aber im Allgemeinen keineswegs zu erwarten, da dieselbe offenbar von der Structur des Molecüls abhängt, nicht minder auch von der Temperatur, und zwar für verschiedene Flüssigkeiten nach verschiedener Weise.

Man wird daher nur so viel erwarten dürfen, dass das für eine Substanz berechnete specifische Volum bei irgend einer nicht näher

---

<sup>1)</sup> Ann. der Chemie und Pharm. XCII. 1; XCIV. 257; XCV. 307; XCVI. 2, 330; CXXVIII. 139.

bestimmbaren Temperatur mit der Beobachtung übereinstimmen werde, und dass für Substanzen von ähnlichen chemischen Charakter sich auch eine gewisse Analogie in diesen Temperaturen manifestiren dürfte. Nach der wichtigen Entdeckung von H. Kopp tritt nun eine solche Übereinstimmung klar hervor, wenn man für alle Flüssigkeiten solche Temperaturen wählt, bei welchen ihre Dämpfe die gleiche Spannkraft besitzen — wie es namentlich bei den Siedepunkten der Fall ist. Es lässt sich nicht läugnen, dass in einer Reihe von Flüssigkeiten, welche so weit erhitzt sind, dass in jeder die Dämpfe gerade den Druck einer Atmosphäre zu überwinden im Stande sind, eine gewisse Gleichartigkeit der Schichtung schon von vorn herein zu erwarten stand, wenigstens in so lange, als die chemische Constitution derselben nicht zu verschiedenartig war.

In der beigefügten Tabelle sind die specifischen Volumina ziemlich aller jener Flüssigkeiten zusammengestellt, für welche Beobachtungen vorliegen, und welche blos Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Chlor, Brom und Jod enthalten. Mit wenigen Ausnahmen sind sie sämmtlich den Arbeiten von H. Kopp entnommen.

Die erste Columne enthält den Namen der Substanz, die zweite ihre chemische Formel, die dritte das specifische Volum bei 0, die vierte dasselbe beim Siedepunkt — beide aus den Beobachtungen abgeleitet. In der fünften sind die specifischen Volumina für den Siedepunkt nach den Annahmen von Kopp berechnet, in der sechsten dieselben auf Grundlagen, welche der oben angedeuteten Anschauungsweise conform gewählt wurden. Und zwar ist in ihr genommen  $\Theta = 11$ ,  $H = 3 \cdot 5$ ,  $N = 13$ ,  $C = 14$ ,  $S = 26$ ,  $Cl = 22 \cdot 8$ ,  $Br = 32 \cdot 1$ ,  $J = 43$  Über die Zahlen der 7. Columne weiter unten.

Die Differenzen zwischen Beobachtung und Berechnung stellen sich für unsere sechste Columne im Ganzen etwas grösser heraus als dies bei Kopp der Fall ist, allein seine Annahmen sind mit der oben aufgestellten Ansicht über die Constitution der Flüssigkeiten nicht wohl in Einklang zu bringen. Er setzt nämlich  $C = 11$ ,  $H = 5 \cdot 5$ ,  $\Theta$  im Radical =  $12 \cdot 2$ ,  $\Theta$  ausserhalb des Radicals =  $7 \cdot 8$ ,  $S$  im Radical, gleichsam den Kohlenstoff ersetzend =  $28 \cdot 6$ ,  $S$  ausserhalb des Radicals =  $22 \cdot 6$ ,  $N$  in flüchtigen Basen =  $2 \cdot 3$ ,  $N$  in der Untersalpetersäure =  $8 \cdot 6$ ,  $N$  in den Cyanverbindungen =  $17$ ; endlich  $Cl = 22 \cdot 8$ ,  $Br = 27 \cdot 8$ ,  $J = 37 \cdot 5$ .

Hier ist vor allem das so geringe spezifische Volum des Stickstoffes in den Basen überraschend. Kopp selbst macht auf diesen Umstand aufmerksam, welcher den Stickstoff den Metallen nähert! Das ist sonst nicht Sache des Stickstoffs, beim Wasserstoff hätte man eine solche Annäherung eher erwarten dürfen. Übrigens hat der Stickstoff noch zwei andere sp. Volumina: 8·6 und 17. Ein solches Aufsteigen von 2·3 auf 17 ist aber mit unserer Ansicht von der Invariabilität des Atomvolumens nicht zu vereinbaren, denn die Verschiedenheit der Schichtung kann so grosse Differenzen nicht ausgleichen. Kopp legt aber gerade auf diese Verschiedenheit des sp. Volums eines Atomes in verschiedener Stellung ein besonderes Gewicht. Er sieht nämlich darin einen Beweis für die Unentbehrlichkeit rationeller Formeln, und zugleich einen Prüfstein für die Richtigkeit einer solchen in einzelnen zweifelhaften Fällen.

Für mässige Änderungen des sp. Volums eines Atomes je nach seiner Stellung im Molecüle ist übrigens auch unsere Annahme zugänglich. So deuten z. B. die Zahlen bei den Cyanverbindungen an, dass die Schichtung beim Siedepunkt in ihnen nicht jenes normale Mittel erreicht hat, das sich bei andern Stickstoffverbindungen findet; man muss hier mit den Beobachtungen zu namhaft höheren Temperaturen hinaufgehen. Statt dessen kann man nun auch im Sinne Kopp's sagen: der Stickstoff einer Cyanverbindung wirke mehr auflockernd auf das Molecül als Stickstoff in anderer Stellung, und man kann diese auflockernde Kraft als eine Vergrösserung des sp. Volums des Stickstoffes in den Cyanverbindungen auffassen. Führt man diese Anschauungsweise consequent durch, so wird man begreiflicher Weise für die Siedepunkte eine grössere Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung erzielen können. Nach dieser Auffassung sind beispielshalber die Zahlen der Columnne 7 berechnet. Dabei wurde gesetzt  $\Theta = 14$  durchaus,  $\Theta = 11$  ausserhalb wie innerhalb eines Radicales, ein  $\Theta$  ausserhalb eines Radicales, neben einem  $\Theta$  im Radical aber  $= 10$ , N in den Oxyd-Verbindungen des Stickstoffes  $= 12$ , N in den Cyanverbindungen  $= 14$ .

Einen bemerkenswerthen Fall, in welchem die Stellung des Atomes im Molecül beachtet werden muss, bietet das Radical Phenyl dar. Die geringe Atomigkeit von  $\Theta_6$  in demselben, nämlich 6 statt der normalen 14 im Caproyl, macht es im vorhinein wahrscheinlich, dass in ihm die sechs Kohlenstoff-Atome ungewöhnlich gedrängt stehen;

und in der That wird ein genügendes Resultat nur dadurch erhalten, dass in Columne 6  $\text{C}_6\text{H}_6=72$  statt 84 genommen, und diese Zahlen für alle Substanzen, welche dieses Radical enthalten, festgehalten wurde.

Soust finden sich grössere Abweichungen nur bei einigen schwer condensirbaren Substanzen mit den einfachsten Molecülen, wie bei der Kohlensäure und dem Cyanwasserstoffe; also in Fällen, wo eine etwas abweichende Schichtung nicht unerwartet sein kann.

Nach diesen Principien berechnet sich die Dichte des condensirten Sauerstoffes zu  $1.4545$ , die des condensirten Stickstoffes zu  $1.16$ , und die der Luft als eines Gemenges von vier Theilen Stickstoff und einem Theil Sauerstoff zu  $1.224$ .

Da die Erfahrung gezeigt hat, dass sich hinsichtlich des speci-fischen Volums chemische Verbindungen und blosser Gemenge ganz gleich verhalten, so kann man die beobachteten Dichten der Oxyde des Stickstoffes mit jener berechneten Dichte der hypothetisch flüs-sigen Luft vergleichen. Wir finden hiebei:

Untersalpetersäure. $\text{N}_2\text{O}_2$ enthaltend $\text{N}30.45\%$ $\text{O}69.15\%$	$d=1.50$
Stickoxydul . . . . . $\text{N}_2\text{O}$ „ „ $65.45\%$ „ $34.15\%$	$d=1.30$
Atmosphär. Luft . . . . . „ $77\%$ „ $23\%$	$d=1.224$

also eine mit steigendem Stickstoffgehalt regelmässig abnehmende Dichte.

Da wir oben gefunden, dass sich der ideale Condensationseoeffi-cient zu dem erfahrungsmässig bei der Temperatur der grössten Dichte bestimmten verhält wie  $1 : 1.17$ , so hätten wir statt  $1.224$ ,  $1.43$  zu nehmen. Aber die Zahl  $1.224$  würde sich auf den Siede-punkt der Luft beziehen, und wenn wir die Differenzen zwischen den Dichten einer Flüssigkeit für verschiedene Temperaturen erwägen, werden wir den Werth  $1.5$  für die ideale Luftdichte eher zu klein als zu gross ansehen müssen. Da die Luft in Gasform  $770$ mal leicht-er ist als das Wasser, so haben wir schliesslich für den Werth des Condensationseoefficienten der Luft

$$\frac{1}{770 \times 1.5} = \frac{1}{1155} = 0.000866.$$

Maxwell <sup>1)</sup> hat zuerst mit Hilfe des von Stokes bestimmten Coefficienten der innern Reibung der Luft für diese die mittlere Weglänge berechnet, und dabei  $0.000062$  Millimeter gefunden.

1) In der oben cit. Abhandlung.

In der neuesten Zeit hat O. E. Meyer <sup>1)</sup> eine Revision der Maxwell'schen Arbeit vorgenommen, und ist in Folge verschiedener Correctionen zu einem erheblich grössern Werth gekommen. Derselbe hat ausserdem hieher gehörige Versuche von Bessel, die mit ausserordentlicher Schärfe durchgeführt sind, herbeigezogen, so wie eine Reihe eigener Beobachtungen unter allen erdenklichen Vorsichtsmassregeln ausgeführt. Alle diese Arbeiten gaben nahe übereinstimmende Zahlen, als deren Mittel sich 140 Millionstel des Millimeters herausstellte.

Auf diesen Grundlagen haben wir endlich:

$$s = 8 \times 0.000866 \times 0.000140 = 0.00000969^{\text{mm}}$$

oder in runder Zahl: 1 Millionstel des Millimeters für den Durchmesser eines Luftmolecöles.

Dieser Werth ist freilich nur als ungefähre Annäherung zu nehmen, er ist aber sicher nicht um das zehnfache zu gross oder zu klein, und wenn nicht in den Prämissen principielle Fehler enthalten sind, wird bei allen Correcturen, welche die mittlere Weglänge und der Condensationcoëfficient der Luft noch erfahren mögen, der Satz stehen bleiben: Für das Gebiet der Atome und Molecöle ist das passende Längenmass das Millionstel des Millimeters.

Dies ist ungefähr der siebenhundertste Theil der Wellenlänge des rothen Lichts, und wie der Kilometer als Meilenmass für die grössten irdischen Längen brauchbar ist, so das Millionstel-Millimeter für die kleinsten. Der Inhalt eines Kubikmillimeters solcher Molecöle würde hinreichen, einem Quadratmeter mit einer continuirlich zusammenhängenden Schichte von Materie zu überziehen.

Faraday <sup>2)</sup> hat durch ein sinnreiches Verfahren Goldhütchen dargestellt, welche sich unter dem Mikroskope als continuirlich erwiesen, obwohl ihre Dicke nur  $\frac{1}{100}$  der Wellenlänge des Lichtes betrug. Doch waren sie bereits mit weissem statt mit grünem Lichte, wie bei grösserer Dicke, durchscheinend, zum Beweise, dass wohl

<sup>1)</sup> Ann. der Phys. und Ch. v. Pogg. CXXV, 2.

<sup>2)</sup> Phil. Trans. 1857, Part I. 145 u. Phil. Mag. [4] XIV. 401 u. 512.

bereits Lichtstrahlen durch moleculare Zwischenräume durchgingen. In der That berechnet sich für eine solche Schicht, in Betracht der grösseren Goldatome, nur mehr eine Dicke von 3—5 Molecülen. Nebenbei stellt sich für die Atomgewichte der Chemiker das Trillionstel des Milligrammes als passende Gewichtseinheit heraus.

So imposante Zifferreihen aber auch aus unserm Resultate hervorgehen, namentlich wo drei Dimensionen ins Spiel kommen, so ist doch nicht zu läugnen, dass sie entschieden zurückbleiben hinter den Erwartungen welche die Redensarten der Mikroskopiker von dem bodenlosen Abgrund des „unendlich Kleinen“ erregt haben. Ja es drängt sich die Befürchtung auf, dass die ganze Theorie, wenigstens in ihrer jetzigen Gestalt, an dieser Klippe scheitern könnte, wenn jene Unendlichkeit des Kleinen sich nicht beschränken lassen sollte.

Nobert <sup>1)</sup> zieht 4000 Linien auf der Breite eines Millimeters; die vorzüglichsten Instrumente vermögen sie noch aufzulösen und gleiche Grössen am Detail der zartesten organischen Gebilde zur Wahrnehmung zu bringen. Dieser Abstand ist 250mal grösser als der Durchmesser der Luftmolecüle. Da man aber Grund hat die Molecüle der einfachen Gase als Doppelatome zu betrachten, so wird die Zahl 400 nahebei die Anzahl von Atomen Sauerstoff oder Stickstoff darstellen, welche an einander gereiht, den Abstand zweier solcher Nobert'schen Linien ausfüllen. Ein Würfel von der Seitenlänge dieses Abstandes enthält demnach 64 Millionen, oder bei gedrängterer Schichtung beiläufig 100 Millionen solcher Atome. Die Hauptmasse der organischen Gebilde wird aber von ziemlich complexen Molecülen, wie Albumin, Chitin u. s. w. gebildet, welche durchschnittlich mehr als je 50 Atome C, N, H und O umfassen. Dies bringt den Inhalt unseres Würfels auf 2 Millionen Molecüle organischer Substanz herab.

Da bei lebenden Organismen reichlich die Hälfte des Gewichtes für Flüssigkeiten, welche die Höhlungen ausfüllen, zu rechnen ist, so

<sup>1)</sup> Specialkat. der Ausstellung des Zollvereins in der Londoner Ausstellung 1862, p. 83, und Harting: Das Mikroskop. Übersetzt von Theile, p. 881.

verbleibt in runder Zahl eine Million Molecüle für den Aufbau eines jener Wesen, welche nahe der Grenze der Darstellbarkeit für unsere heutigen Instrumente stehen. Nun sind aber die organischen Molecüle untheilbare Bausteine, und eine leichte Überlegung lehrt uns, dass eine Million von Bauelementen allenfalls für eine nicht sehr complicirte Zellenmembran oder dergleichen ausreichen möge, nimmermehr aber für einen mit allerlei Organen ausgestatteten Organismus.

Am allerwenigsten dürfte man noch eine Welt von organischen Wesen in absteigender Progression der Dimensionen hinter unsere Zelle verlegen. Hier ist, wenn anders die neueren Gas- und Flüssigkeitstheorien auf festem Boden stehen, eine definitive Schranke gezogen.

Wohl könnte man diese Schranken weiter hinausrücken, wenn man die Gasmolecüle bereits für grössere Aggregate der einfachen chemischen Molecüle erklärte. Allein das Gesetz, dass in denselben Raum unter gleichen Umständen von allen Gasen die gleiche Anzahl Gasmolecüle enthalten ist, würde zu der Nebenannahme nöthigen, dass bei den einfachsten sowohl als bei den zusammengesetztesten Gasen und Dämpfen sich genau dieselbe grosse Zahl chemischer Molecüle zu einem Gasmolecül vereinigt habe. Eine Naturnothwendigkeit aber, welche 1000  $H_2$  im Wasserstoffgas zusammenhielte, sollte auch genau 1000 Atome valeriansaures Amyl oder Chlorbenzoyl in den betreffenden Dampfmolecülen zusammenhalten? Eine solche Annahme verstösst zu sehr gegen alle Wahrscheinlichkeit um sie weiter zu verfolgen.

Eher dürfte es gerathen sein, an eine grössere Complication der Atome selbst zu denken, und das Sauerstoff- oder Wasserstoffatom als ein Conglomerat vieler kleinerer Partikelchen zu betrachten, — seien diese nun von je einerlei Materie oder gemischter Natur. Mit solchen bekanntlich von namhaften Forschern aufgestellten Vermuthungen gerathen wir aber in das Geleise eines anderen Ausweges, welcher, falls die Thatsachen wirklich dazu drängen sollten, eine unabsehbare Perspective über jene Grenze hinaus eröffnen würde, ohne allzusehr abzuweichen von den gewohnten atomistischen Hypothesen, welche sich bisher dem Fortschritt der Wissenschaft so förderlich bewiesen haben. Wir meinen die Herbeiziehung der Ätherhüllen zur Erklärung von Lebensprocessen in den letzten

Verzweigungen der materiellen Substrate. Da sich ihre Existenz in der Theorie des Lichtes und der Elektrizität immer unabweisbarer herausstellt, so ist in der That nicht abzusehen, wie sie in den letzten Elementen der organisirten Materie nicht eine bedeutende Rolle spielen sollten. Unter diesem Gesichtspunkte würde das organische Molecül selbst als der eigentliche Elementar-Organismus erscheinen, von welchem die tastbare Materie nur das Gerüste ausmache, während die dasselbe durchziehenden Ätherhüllen, von unendlich feinerer Materie, Raum für eine unerschöpfliche Mannigfaltigkeit des elementaren Lebens gewährten. Über die Nothwendigkeit und den Werth einer solchen Erweiterung der Atomistik mögen die Thatsehen der Zukunft entscheiden.

## Specificisches Volum

	beobachtet			berechnet	
	beim 0 Punkt	beim Siedepunkt	Kopp	Loschmidt	
Wasser . . . . .	18	18·8	18·8	18	18·6
Aethyl-Buthyl . . . . .	122·6	137	143	133	137·2
Aethyl-Amyl . . . . .	141·4	162	165	154	158·8
Dibutyl . . . . .	159·7	184·5—186·8	187	175	180·4
Holzgeist . . . . .	39·12	41·9—42·2	40·8	39	40·2
Weingeist . . . . .	56·8	61·8—62·5	62·8	60	61·8
Amylalkohol . . . . .	106·6	123·6—124·4	128·8	123	126·6
Aelher . . . . .	100·5	105·6—106·4	106·8	102	105
Aethylenoxyd . . . . .	49·1	52	51·8	53	54·2
Aldehyd . . . . .	54·5	56—56·9	56·2	53	54·2
Valeraldehyd . . . . .	104·75	117·3—120·3	122·2	116	119
Aceton . . . . .	71·2	77·3—77·6	78·2	74	75·8
Ameisensäure . . . . .	37·6	40·9—41·8	42	43	42·6
Essigsäure . . . . .	55·6	63·5—63·8	64	64	64·2
Propionsäure . . . . .	72·8	85·4	86	85	85·8
Buttersäure . . . . .	89	106·7—107·8	108	106	107·4
Valeriansäure . . . . .	106·7	130·2—131·2	130	127	129
Ameisensaures Methyl . . . . .	60	63·4	64	64	64·2
Ameisensaures Äthyl . . . . .	78·3	84·9—85·7	86	85	85·8

Ameisensaures Amyl . . . . .	$C_6H_{12}O_2$		149.4—150.2	152	148	150.6
Essigsäures Methyl . . . . .	$C_3H_6O_2$	77.4	83.7—85.8	86	85	85.8
„ Äthyl . . . . .	$C_4H_8O_2$	96.7	107.4—107.8	108	106	107.4
„ Butyl . . . . .	$C_6H_{12}O_2$		149.3	152	148	150.6
„ Amyl . . . . .	$C_7H_{14}O_2$	148.2	173.3—175.5	174	169	172.2
Propionsäures Äthyl . . . . .	$C_5H_{10}O_2$	110.5	125.8	130	127	129
Buttersäures Methyl . . . . .	$C_5H_{10}O_2$	110.8	126.3—127.3	130	127	129
„ Äthyl . . . . .	$C_6H_{12}O_2$	128.3	149.1—149.4	152	148	150.2
Valeriansäures Methyl . . . . .	$C_6H_{12}O_2$	128.7	148.7—149.6	152	148	150.2
„ Äthyl . . . . .	$C_7H_{14}O_2$	194.4	173.5	174	169	172.2
„ Amyl . . . . .	$C_{10}H_{20}O_2$	93	244.1	240	232	237
Essigsäure-Anhydrid . . . . .	$C_4H_6O_3$		109.9	109.2	110	109.8
Kohlensaures Äthyl . . . . .	$C_5H_{10}O_3$	118	138.8—139.4	137.8	138	139
Oxalsäures Methyl . . . . .	$C_4H_6O_4$	102 bei 50°	116.3	117	121	119.8
„ Äthyl . . . . .	$C_6H_{10}O_4$	132.5	166.8—167.1	161	163	164
Bernsteinsaures Äthyl . . . . .	$C_8H_{14}O_4$	162.3	209	205	205	207.2
Benzol . . . . .	$C_6H_6$	86.8	96.0—99.7	99	93	
Cymol . . . . .	$C_{10}H_{14}$	152.5	183.5—185.2	187	177	
Phenol . . . . .	$C_6H_6O$	86.96	103.6—104	106.8	104	
Benzylalkohol . . . . .	$C_7H_8O$	101.6	123.7	128.8	125	
Bittermandelöl . . . . .	$C_7H_6O$	99.5	118.4	122.2	118	
Cuminol . . . . .	$C_{10}H_{12}O$	150.4	184.5—186.8	187	175	
Benzoesäure . . . . .	$C_7H_6O_2$	112.6 bei 121°	126.9	130	129	
Benzotäures Methyl . . . . .	$C_8H_8O_2$	123.3	148.5—150.3	152	150	

# Specifisches Volum

	beobachtet			berechnet	
	beim 0 Punkt	beim Siedepunkt	Kopp	Lose Schmidt	
Benzoësaures Äthyl . . . . .	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$	140·7	172·4—174·8	174	171
„ Amyl . . . . .	$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_2$	191·8	247·4	240	234
Zimmsaures Äthyl . . . . .	$\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O}_2$	165·1	211·3	207	206
Saures salicylsaures Methyl . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$	127	156·2—157	159·8	161
Mercaptan . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$	72·8	76	77·6	75
Amylmercaptan . . . . .	$\text{C}_3\text{H}_{12}\text{S}$	121·5	140·—140·5	143·6	138
Schwefelmethyl . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$	72·2	75·7	77·6	75
Schwefeläthyl . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$	107·5	120·5—121·5	121·6	117
Zweifach-Schwefelmethyl . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$	88·5	100·6	100·2	97
Schweflige Säure . . . . .	$\text{SO}_2$	42·9 <sub>bei -20°</sub>	43·9	42·6	48
Schwefligsaures Äthyl . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{SO}_3$	125·4	149·5	149·4	150
Schwefelkohlenstoff . . . . .	$\text{CS}_2$	58·8	62·4		66
Eiayl, zweifach gechlort . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	77·61 <sub>bei 5°</sub>	79·9	78·6	80·6
Chlorkohlenstoff . . . . .	$\text{C}_2\text{Cl}_4$	100·6	115·4	113·2	119·2
Chloreayl . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	77·3	85·8—86·4	89·6	87·6
„ einfach gechlort . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	93·9	105·4—107·2	106·9	106·9
„ zweifach gechlort . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	104·3	120·7—121·4	124·2	126·2
„ dreifach gechlort . . . . .	$\text{C}_2\text{HCl}_5$	121·7	143	141·5	145·5
Chlorbutylen . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2$	116	129·5—133·7	133·6	129·6

Chlormethyl, einfach gechlort . . . . .	$\text{EH}_2\text{Cl}_2$	78.6	64.5	67.6	66.6
Chloroform . . . . .	$\text{EHC}_l_3$	94.5	84.8—85.7	84.9	85.9
Chlorkohlenstoff . . . . .	$\text{ECl}_4$	70	104.3—107	102.2	105.2
Chloräthyl . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_5\text{Cl}$	79.8	71.2—74.5	72.3	68.3
„ einfach gechlort . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	99.2	86.9—89.9	89.6	87.6
„ zweifach gechlort . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	120.2	105.6—109.7	106.9	106.9
Chloramyl . . . . .	$\text{E}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$	97.1	135.4—137	138.3	131.3
Chloral . . . . .	$\text{E}_2\text{HCl}_3\theta$	69.2	108.4—108.9	108.1	110.9
Chloracetyl . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_3\theta\text{Cl}$	114	74.4—75.2	73.5	72.3
Chlorbenzoyl . . . . .	$\text{E}_7\text{H}_5\theta\text{Cl}$	39.7	134.2—137.8	139.5	137.3
Chlorschwefel . . . . .	$\text{SCl}$	26	45.7		
Brom . . . . .	$\text{Br}$	57.1	27—28.7	27.8	32.1
Brommethyl . . . . .	$\text{CH}_3\text{Br}$	74	58.2	55.3	56.6
Bromäthyl . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_5\text{Br}$	129	78.4	77.3	77.6
Bromamyl . . . . .	$\text{E}_5\text{H}_{11}\text{Br}$	86	149.2	143.3	140.6
Bromeläyl . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_4\text{Br}_2$	64.6	97.5—99.6	99.6	106.2
Jodmethyl . . . . .	$\text{EH}_3\text{J}$	78.8	65.4—68.3	65	67.5
Jodäthyl . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_5\text{J}$	134.8	85.9—86.4	87	88.5
Jodamyl . . . . .	$\text{E}_5\text{H}_{11}\text{J}$	45.6 <sub>bei -6°</sub>	152.5—158.8	153	151.5
Stickoxydul . . . . .	$\text{N}_2\theta$	33	36.1		35
Untersalpetr-säure . . . . .	$\text{NO}_2$	15° unterm Siedep.	31.7—32.4	33	35
Salpétrigsaures Methyl . . . . .	$\text{EH}_3\text{NO}_2$	61.6, 27° ab. Siedep.	60.5	60.5	59.3
„ Äthyl . . . . .	$\text{E}_2\text{H}_5\text{NO}_2$	79—84	82.5	82.5	80

## Specificisches Volum

	beobachtet			berechnet	
	beim 0 Punkt	beim Siedepunkt	Kopp	Loschmidt	
Salpétrigsaures Amyl . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2$	133·4 bei 15°	148·4	148·5	144·8
Salpétrsaures Methyl . . . . .	$\text{CH}_3\text{NO}_3$	65 bei 20°	69·4	68·3	69·4
" " Äthyl . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_3$	80·4	90	90·3	91·0
" " Amyl . . . . .	$\text{C}_3\text{H}_{11}\text{NO}_3$	133 bei 20°	155	156·3	155·3
Nitrobenzol . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	102·5	122—125	126·5	124
Ammoniak . . . . .	$\text{H}_3\text{N}$	22·4 bei 10°		18·8 bei 36°	23·5
Äthylamin . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$	64·6 bei 8°	65·3	62·8	65·5
Amylamin . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$	116 bei 18°	125	128·8	128·5
Caprylamin . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_{19}\text{N}$	164 bei 15°	190	194·8	191·5
Anilin . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	90	107·35	106·8	109·5
Äthylanilin . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$	126·8 bei 18°	150·6	150·8	151·5
Diäthylanilin . . . . .	$\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{N}$	159·2 bei 18°	190·5	194·8	193·5
Cyan . . . . .	$\text{C}_2\text{N}_2$	58 bei 15°		56	56
Cyanwasserstoff . . . . .	$\text{CNH}$	38·5		33·5	31·8
Cyanmethyl . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	49·1	54·5	55·5	53·4
Cyanäthyl . . . . .	$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}$	70	77	77·5	74·1
Cyanpropyl . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_7\text{N}$	86·2	96	99·5	96·6
Cyanbutyl . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_9\text{N}$	103	114	121·5	118·2

