

Man mag von unserer Zeit noch so gering denken, wissenschaftlichen Geist und wissenschaftliche Erfolge wird man ihr nicht absprechen können. Nach jeder Richtung und unaufhaltsam dehnt sich das weite Gebiet des menschlichen Erkennens aus. Wie sich aber in jedem Zeitabschnitt wenigstens Ein Zweig des Wissens hervorheben läßt, welcher besondere Pflege fand, so ist unser Jahrhundert vornehmlich durch die Erfolge gekennzeichnet, deren sich das Studium der Naturwissenschaften erfreut. Und es ist nicht bloß eine Fülle von Einzelthatfachen, die sich immer mehr, fast beängstigend hoch als „schätzbares Material“ ansammeln, im Gegentheile machte sich gerade in den letzten Jahrzehnten und zwar mit bestem Erfolg das Bestreben geltend, das Vorhandene zu sichten und zu ordnen, durch Aufstellung allgemeiner Gesetze, durch wohlbegründete Theorien den höhern Standpunkt zu gewinnen, von dem aus das Einzelne sich als Glied eines Ganzen darstellt, von dem aus mit einem Blicke das Zusammengehörige als solches erkannt wird.

Der neuesten Zeit gehört auch die Theorie der gasförmigen Körper an, welche den Gegenstand dieses Vortrages bildet. Und wenn es ein Zweck solcher für einen weiteren Kreis bestimmten, wissenschaftlichen Vorträge ist, den Gebildeten mit den Bestrebungen und Fortschritten der Mitlebenden bekannt zu machen, ihn auch in dem, was nicht unmittelbar in sein Fach einschlägt,

gewissermaßen auf dem Laufenden zu erhalten, so kann ich gewiß für das von mir behandelte Thema die Bezeichnung als zeitgemäß in Anspruch nehmen.

Ob ich freilich im Stande bin, den Gegenstand so klar und übersichtlich zu behandeln, wie er mir vorschwebt und wie ich es wünsche, ob der immerhin spröde Stoff unter meinen Händen einigermaßen Gestalt und Leben gewinnt, das zu beurtheilen, muß ich dem geneigten Hörer überlassen.

Unser Wissen von den Gasen, unter denen wir heute bekanntlich Körper verstehen, welche weder eine bestimmte Gestalt haben, noch einen bestimmten Raum einnehmen, beginnt natürlich mit Untersuchungen der Eigenschaften der Luft, desjenigen Gases oder Gasgemisches, in dem wir leben, und von dessen Existenz unser eigenes Dasein abhängt.

Die Luft war nicht bloß das erste, sondern sehr lange Zeit das einzig bekannte Gas. Was wußte man — ich will einen bestimmten Zeitpunkt annehmen — bei Beginn des 17. Jahrhunderts von der Luft? Ein paar Sätze umfassen die sämtlichen Kenntnisse, oder sagen wir besser, Vorstellungen, die man sich allmählich über diesen Gegenstand gebildet hatte. Man hielt die Luft, wie schon die Alten gelehrt, für ein Element und schrieb ihr gleich allen übrigen Körpern Theilbarkeit und Beweglichkeit zu. Sie galt für leicht, d. h. im Sinne der damaligen Zeit für gewichtslos; indefs war diese letztere Meinung doch nicht unbestritten, Galilei wenigstens behauptete, daß eine Hohlkugel, mit gewöhnlicher Luft erfüllt, schwerer sei, als wenn ihr Inhalt durch Wärme verdünnt wäre, ja er suchte schon das Gewicht der Luft im Vergleich zum Wasser zu bestimmen. Baco von Verulam, der die Luft gleichsam für ein Mittelding zwischen den schweren und leichten Körpern ansah, giebt als besondere Eigenschaft derselben ihre Zusammendrückbarkeit an, und natürlich weiß er, daß sie sich in der Wärme ausdehnt, in der Kälte

zusammenzieht. Alles das ist in der That nicht mehr, als was die unmittelbare Beobachtung lehrt. Die erste wirkliche Entdeckung auf diesem Gebiete machte im Jahre 1643 Torricelli, ein Schüler Galileis. Indem er nachwies, daß die Atmosphäre einer 27—28 Zoll hohen Quecksilbersäule oder einem 32 Fuß hohen Wassercylinder das Gleichgewicht hält, zeigte er unwiderleglich, daß die Luft im physikalischen Sinne schwer sei. Mit dem von Torricelli erzeugten Vacuum, das noch heute seinen Namen trägt, fiel der alte scholastische Satz vom horror vacui, „dem Abscheu vor dem leeren Raum“, welchen man der Natur angedichtet hatte, um für die Wirkung einzelner, schon lange in der Praxis bewährter Maschinen eine Erklärung von wissenschaftlichem Anstrich zu haben.

Bald zeigte sich auch, daß der Luftdruck an bestimmten Orten nicht immer gleich bleibt, und schon im Jahre 1648 wurde durch Pascal<sup>1)</sup> nachgewiesen, daß dieser Druck auf Bergen beständig geringer sei als an tiefer gelegenen Orten. Otto von Guericke erfand die Luftpumpe und experimentirte mit derselben 1654 auf dem Reichstag zu Regensburg, vor Kaiser und Reich die Wunder des Luftdrucks zeigend. Derselbe erfindungsreiche Mann construirte auch das erste Barometer.<sup>2)</sup> Er ahnte freilich nicht, welche Bedeutung dies Instrument, dem er zunächst nur die noch heute von ihm gespielte Rolle eines Wetterpropheten beilegte, in der Zukunft gewinnen sollte. Wie sollte er auch voraussehen, daß gerade das Barometer in der Hand des Forschers das wichtigste Hilfsmittel bei der Untersuchung der Natur der gasförmigen Körper werden sollte? Auch über die Elasticität der Luft hatte Otto von Guericke zuerst eine richtige Vorstellung, wenigstens spricht er klar aus, daß die untern Luftschichten, weil sie stärker zusammengedrückt seien, als die oberen, dichter sein müssen als diese.

Erst in der Mitte des 17. Jahrhunderts dämmerte nach

und nach die Ahnung auf, daß es, abgesehen von den Dämpfen, die man durch Erwärmung von Flüssigkeiten erhielt, Körper gebe, welche mit der Luft die wesentlichen Eigenschaften theilen und doch specifisch von ihr verschieden sind. Der erste, welcher der damaligen und noch lange nachher festgehaltenen Meinung, daß die einzelnen bei verschiedenen chemischen Processen sich entwickelnden luftförmigen Körper nur Modificationen der atmosphärischen Luft seien, direct entgegentrat, war der holländische Arzt und Chemiker J. Bapt. van Helmont. Er ist der Erfinder des Wortes Gas, von dem er auch die noch heute geltende Definition gab.<sup>3)</sup> Die Kohlensäure — die bei der Gährung, beim Behandeln des Kalkes mit Säuren, beim Verbrennen der Kohlen auftretende Luftart — hatte die Ehre, zuerst als Gas erkannt und Gas benannt zu werden. Außer der Kohlensäure, die er *gas silvestre*, also „wildes Gas“ nennt, unterscheidet Helmont noch als *gas ventosum* die Luft, und kennt ebenso ein fettes, ein trockenes, ein Rauch-Gas.

Auch der seiner Zeit mit Recht hochberühmte englische Physiker Boyle entdeckte mehrere Gasarten oder vielmehr Gasgemische, die er zum Unterschiede von der atmosphärischen künstliche oder gemachte Luft nannte.<sup>4)</sup> Da es nicht eine ausführliche Geschichte der gasförmigen Körper ist, welche hier gegeben werden soll, so enthalte ich mich, auf die häufig recht wunderlichen Vorstellungen einzugehen, welche man noch im 18. Jahrhundert vom Gaszustande hegte. Die betreffenden Untersuchungen selber waren aber nicht verdienstlos; und man kann auch hier die so häufig sich darbietende Bemerkung machen, daß oft nur ein kleiner Schritt weiter auf der betretenen Bahn zu Entdeckungen geführt hätte, welche später bestimmt waren, der Wissenschaft eine ganz neue Gestalt zu geben. Wenn Boyle und Duclos beobachteten, daß bei der Verkalkung verschiedener Metalle eine Gewichtszunahme eintrete, die nur von der Aufnahme

gewisser Bestandtheile der atmosphärischen Luft herrühren könnte; wenn Hales den Verbrauch der atmosphärischen Luft beim Verbrennen und Athmen bestimmte: wieviel fehlte da noch, und sie hätten die richtige Erklärung der Verbrennungerscheinungen gefunden, durch welche hundert Jahre später Lavoisier seinen Ruhm begründete? Alles aber hat seine Zeit; und die Geschichte jeder Wissenschaft zeigt, daß aller wirkliche Fortschritt nur langsam erfolgt, es ist eben als ob der Menscheng Geist sich nur allmählich an das Licht höherer Erkenntniß gewöhnen könne, als ob eine verfrühte Entdeckung zunächst nur blendend und verwirrend wirke. Was die Chemie der Gase anlangt, so waren es vorzugsweise practische Aufgaben, mit denen man sich im Anfange des 18. Jahrhunderts beschäftigte: man untersuchte die feurigen Schwaden in den Bergwerken, die verdorbene Luft in den Kellern und in den engen Räumen der Schiffe, die beim Brennen des Kalkes entweichenden Gase, die Luft der Sauerbrunnen u. s. w. Das Wissen dehnte sich zunächst in die Breite aus, nahm aber nicht an Tiefe zu.

Indem man alle möglichen Stoffe der Einwirkung starker Säuren unterwarf oder sie mit Feuer behandelte, entdeckte man wohl eine Reihe neuer Gasarten, aber ihre Unterschiede festzustellen, zu entscheiden, ob Gase, die man auf verschiedenem Wege erhalten hatte, vielleicht identisch seien, erschien noch als schwere, in vielen Fällen unlösliche Aufgabe. Als aber endlich im Jahre 1772 Rutherford den zur Unterhaltung des Athmens und Brennens nicht tauglichen Bestandtheil der Atmosphäre, wir nennen ihn jetzt Stickstoff, als besondere Luftart kennen lehrte, als 1774 Priestley und kurz nachher Scheele das andere in der Luft enthaltene Gas, den zuerst als die wahre Lebensluft betrachteten Sauerstoff, für sich darstellten, da war ein großer Schritt vorwärts geschehen: die atmosphärische Luft war also kein einfacher Stoff, sondern ein Gemisch mehrerer Gasarten, als dritter Be-

standtheil kam nämlich die schon längst bekannte fire Luft, die Kohlensäure, hinzu. Auch die ohngefähren Mengenverhältnisse der drei in der gemeinen Luft enthaltenen Gase gab Bergmann 1777 an. Schon vorher, im Jahre 1762, hatte Cavendish das wunderbar leichte, brennbare Gas entdeckt, welches später, nachdem es als Bestandtheil des Wassers erkannt war, Wasserstoff genannt wurde. Von gasförmigen Verbindungen kannte man die schweflige Säure und die beiden Kohlenwasserstoffe. Somit gab es schon gegen Ende des vorigen Jahrhunderts eine ganze Reihe von luftförmigen Körpern, die wohl von einander und von der atmosphärischen Luft unterschieden werden konnten. Die folgenden Jahre brachten weitere Entdeckungen, und im Jahre 1828 zählte Gehler schon 24 verschiedene Gasarten auf; jetzt ist die Zahl derselben mindestens auf das Doppelte gestiegen. Gleichzeitig hat sich aber durch die später zu besprechende Erkenntniß, daß die sogenannten Dämpfe von den Gasen nicht wesentlich verschieden seien, das Gebiet der luftförmigen Körper unverhältnißmäßig weiter ausgedehnt. Wir übersehen aber jetzt wenigstens die Gränzen dieses Gebietes und können nun daran gehen, es im Einzelnen zu studiren.

In Bezug auf die Beweglichkeit ihrer Theilchen stehen die Gase, ebenso wie die eigentlichen Dämpfe, den flüssigen Körpern sehr nahe; nur ist diese Beweglichkeit bei ihnen noch viel hervorstechender. Während die kleinsten Theile der flüssigen Substanzen immer eine gewisse Anziehung zu einander haben, sehen wir bei den gasförmigen keine Spur einer solchen, im Gegentheil scheinen sich ihre einzelnen Theile dauernd abzustößen: die Flüssigkeiten nehmen darum wohl jede beliebige Gestalt an, erfüllen aber immer nur einen bestimmten Raum; die Gase dagegen haben neben der Fähigkeit, sich jeder Gestalt anzupassen, noch das sehr wesentliche Bestreben, jeden Raum, der ihnen geboten wird, auszufüllen. Befindet sich eine Gasmasse im ab-

geschlossenen Raume, so äußert sich das Bestreben der Ausdehnung in einem bestimmten, auf die Wände des einschließenden Gefäßes ausgeübten Drucke. Wenn wir wissen, daß durch Zusammenpressung der Luft in der Windbüchse dieser Druck stark genug werden kann, um ein Geschöß mit Gewalt aus dem Laufe zu schleudern; wenn wir durch Erhitzung der Dämpfe, die bestimmt sind, in den Cylinder der Dampfmaschine einzutreten, den Druck so weit steigern können, daß der Kolben sich hebt, das Schwungrad in Bewegung geräth und so die ganze Maschine in Thätigkeit kömmt, so sind uns auch im Allgemeinen die Umstände bekannt, von welchen der Druck einer gegebenen Gasmasse abhängt: es ist die Dichte und die Temperatur. Mit einer so oberflächlichen Kenntniß ist natürlich wenig gewonnen, Befriedigung kann dem Geiste nur ein bestimmter Ausdruck, ein festes Gesetz gewähren. Eine kurze Betrachtung wird uns dazu führen: Wir denken uns einen hohlen Cylinder mit Luft erfüllt und mit einem luftdicht schließenden Kolben abgesperrt. An dem Kolben sei ein Gegengewicht angebracht, welches zunächst verhindert, daß jener mit seiner eigenen Last auf die eingeschlossene Luft drückt. Ganz ungepreßt ist dieselbe freilich nicht, lastet doch auf ihr die ganze bis zum Ende der Atmosphäre reichende Luftsäule, und wenn z. B. der Querschnitt des Cylinders 100 Quadratcentimeter beträgt, so entspricht, wie uns Torricelli gelehrt hat, der Druck der Luftsäule bei gewöhnlichem Barometerstande einem Gewichte von etwa 100 Kilogrammen.<sup>5)</sup> Wir wollen diesen Druck einen Atmosphärendruck nennen. Jetzt belasten wir den Kolben und sehen ihn tiefer in den Cylinder hinabgleiten; jedes zugefügte Kilogramm bewirkt ein weiteres Sinken, aber immer nur bis zu einem gewissen Punkte. Nach und nach haben wir 100 Kilogramm aufgelegt: wie weit ist der Kolben eingesunken? Eine genaue Messung lehrt, daß die Luft jetzt nur die Hälfte des ursprünglichen Raumes einnimmt; die doppelte Last, der

Druck zweier Atmosphären, hat also eine doppelte Dichte hervor-  
gebracht. Wir legen abermals 100 Kilogramme auf und finden,  
daß nun, das heißt durch die dreifache Last, die Luft dreimal so  
dicht geworden ist. Die zusammengepreßte Gasmasse läßt den  
Kolben, wie ich schon erwähnte, immer nur bis zu einem ge-  
wissen Punkte einsinken, sie übt also auch immer einen Gegen-  
druck aus, welcher genau gleich der drückenden Last ist; man  
kann darum auch sagen: Bei der doppelten, bei der dreifachen  
Dichte ist der Druck, welchen ein Gas auf die Wände des ein-  
schließenden Gefäßes ausübt, doppelt und dreimal so groß. Wir  
können unsern Versuch weiter fortsetzen, könnten ihn auch in  
umgekehrter Weise anstellen, indem wir etwa den Kolben durch  
Vermehrung des Gegengewichts, also durch Verminderung des  
Atmosphärendruckes, in die Höhe ziehen, so daß sich die ein-  
geschlossene Luft ausdehnen müßte, immer würden wir eine sehr  
einfache Beziehung der Dichte der Luft zu dem auf sie aus-  
geübten Drucke oder zu dem von ihr bewirkten Gegendrucke  
finden, den man in der Regel Elasticität nennt. Schon Robert  
Boyle<sup>6)</sup> kannte diese Beziehungen und sprach sie in dem Gesetz  
aus: Die Elasticität der Luft verhält sich umgekehrt wie ihre  
Dichte. Dieser einfache Satz wird nach einem französischen  
Forscher, der vielleicht selbständig, aber doch erst nach Boyle den-  
selben Ausdruck für das Verhalten der Luft fand, Mariottesches  
Gesetz genannt.

Um die Wichtigkeit der Boyleschen Entdeckung ins rechte  
Licht zu setzen, brauche ich nur daran zu erinnern, daß in ihr  
eine Menge Erscheinungen des täglichen Lebens ihre Erklärung  
finden. Ueberall, wo die eine von zwei benachbarten Luftmassen  
durch irgend einen Umstand stärker zusammengepreßt wird, als  
die andere, wächst ihre Spannung, d. h. sie zeigt das Bestreben  
nach der Seite des geringeren Druckes hinzuströmen. Viele schon  
lange in den alltäglichen Dienst des Menschen übergegangene



Apparate: die Saug- und Druckpumpe, die Feuerspritze, die Luftpumpe u. s. w. sind bloße Anwendungen desselben, selbst der Raucher hat in der türkischen Wasserpfeife ein Instrument, an dem er genugsam jenes Gesetz studiren kann.

Die Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, welche bei den gewöhnlichen Anwendungen vorkommen, sind im Ganzen unbedeutend; wenn also auch das Boyle-Mariottesche Gesetz hier noch überall gültig scheint, so ist damit doch nicht entschieden, ob es auch in weitem Gränzen Geltung habe. Diese Frage, welche zunächst nur von wissenschaftlichem Interesse war, hatte die Physiker schon lange beschäftigt; die gefundenen Resultate waren aber widersprechend. Da unternahm seit 1845 Regnault in Paris hierauf bezügliche Untersuchungen, welche mit so unübertrefflicher Sorgfalt und Genauigkeit durchgeführt wurden, daß ihre Ergebnisse als die Sache abschließend angesehen werden müssen. Neben der Luft waren es noch Kohlen säure, Stickgas und Wasserstoff, welche den entscheidenden Versuchen unterworfen wurden. Als Haupt-Resultat ergab sich, daß das Mariotte'sche Gesetz nicht vollkommen richtig sei. Während Arago und Dulong erst beim 27fachen Atmosphärendruck eine kleine Abweichung in dem Verhalten der Luft beobachtet hatten, konnte Regnault eine solche schon bei einem Drucke von zwei Atmosphären constatiren, zunächst war dieselbe noch außerordentlich klein, sie wuchs aber bei weiter getriebener Pressung und zwar betrug die Volumverminderung mehr, als die Rechnung verlangte. Genau ebenso verhielt sich auch Stickstoff und Kohlen säure. Beim Wasserstoff trat eine deutliche Abweichung vom Gesetze erst bei stärkerer Zusammenpressung ein und — was dieses Gas ganz besonders auszeichnet — das jedesmalige Volumen erschien in Rücksicht auf den angewandten Druck zu groß. Eine dritte Gruppe von Gasen, wie z. B. schweflige Säure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Cyangas folgen dem Mariotte'schen Gesetze schon bei

wenig gesteigertem Drucke nicht mehr, und ihre durch denselben bewirkte Volumverminderung ist viel auffälliger als bei Luft und Stickgas.<sup>7)</sup> Eine neuerkannte Thatsache ist schon an sich werthvoll; werthvoller wird sie aber, wenn sie sich mit anderen schon länger bekannten in directe Beziehung setzen läßt. Das ist nun wirklich bei den Resultaten der Untersuchungen von Regnault der Fall. Alle Gase aus der zuletzt erwähnten Gruppe sind solche, welche durch Temperaturerniedrigung oder durch Zusammenpressen zu Flüssigkeiten verdichtet werden können, während die erstgenannten bisher jedem Drucke und selbst einer Abkühlung bis zu  $110^{\circ}$  C. unter den Eispunkt widerstanden haben. Da nun die am leichtesten condensirbaren Gase die Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze am ersten, und jedes einzelne die stärkste Abweichung dann zeigte, wenn es sich der Verflüssigung näherte, so lag der Schluß nahe, daß jene Abweichungen überhaupt von einer größern oder geringeren Annäherung an einen gewissen vollkommenen Gaszustand abhängen. Man nahm an, alle derartigen Unregelmäßigkeiten rührten von freilich noch nicht bestimmbarern Kräften her, welche erst beim absoluten Gaszustand nicht mehr zur Erscheinung kämen. Dieser Schluß wurde durch das Verhalten der sogenannten Dämpfe lediglich bestätigt. Wenn dieselben überhitzt sind, so folgen sie dem Gesetze, sie weichen aber um so stärker von ihm ab, je mehr sie sich in Folge von Temperaturabnahme der flüssigen Aggregatform nähern.

Wie aber die Natur auch sonst keine Sprünge zeigt, so nicht einmal zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen: Die Dämpfe haben noch nicht ganz die Natur der flüssigen Körper abgestreift, mehr schon die verdichtbaren Gase und am weitesten von dem Flüssigkeitszustande befinden sich die als permanent bezeichneten. Es ist also, worauf ich schon früher hindeutete, nicht mehr gerechtfertigt, den Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen als einen wesentlichen festzuhalten.

Die außerordentliche Wirkung, welche die Wärme auf die Luft ausübt, konnte nicht verfehlen, die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Schon Amontons hatte sich gegen Ende des 17. Jahrhunderts mit diesem Gegenstande beschäftigt, und er war für einen speciellen Fall zu einem, wie wir heute beurtheilen können, auffällig genauen Resultate gekommen.<sup>8)</sup> Damit war freilich kein allgemeines Gesetz gefunden und wegen Unvollkommenheit der Apparate waren alle in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts von verschiedenen Forschern, wie Euler, Bernoulli u. s. w. angestellten Versuche im Ganzen erfolglos geblieben. Indes erkannte doch Sulzer schon 1753, daß die von einer Luftmasse eingenommenen Räume für gleiche Temperaturintervalle aufwärts und abwärts eine arithmetische Reihe bilden, d. h. der von einem Gase erfüllte Raum nimmt immer um gleichen Betrag zu oder ab, wenn die Temperatur sprungweise von Grad zu Grad gesteigert oder vermindert wird.<sup>9)</sup> Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts kamen bei ihren, auf denselben Gegenstand gerichteten Untersuchungen Delüc, Lambert und Tob. Mayer zu Ergebnissen, welche von unsern heutigen nicht übermäßig abweichen.<sup>10)</sup>

Aber diese Uebereinstimmung ist doch mehr eine zufällige, und allzu großes Vertrauen verdienen die Angaben der erwähnten Forscher schon deshalb nicht, weil man noch nicht im Stande war, die dem Versuche unterworfenen Gase vollständig zu trocknen. Auch heute noch ist die Beseitigung des Wasserdampfes, welcher sich mit einer außerordentlichen Zähigkeit an alle Körper anhängt und von vorn herein in jedem Gasgemisch vorhanden ist, eine sehr schwierige Aufgabe, aber doch keine unlösliche. Der Erste, welcher bei seinen Untersuchungen über die durch Wärme bewirkte Ausdehnung der Gase vollkommen getrocknete Luft anwandte, war Gay-Lüffac. Er fand, daß sich dieselbe bei einer Zunahme der Temperatur von 0° bis 100° C. um  $\frac{37.5}{1000}$  des

ursprünglichen Raumes, also um etwas mehr als  $\frac{1}{3}$  ausdehnte, und als Gesetz sprach er aus, daß die durch Temperaturerhöhung bewirkte Raumvermehrung bei allen Gasen dieselbe sei. Wenn man eine Gasmasse in ein unausdehnbares Gefäß einschließt, so kann sie natürlich bei Wärmezufuhr keinen größeren Raum einnehmen, dafür muß aber und genau in demselben Maße, wie das Volum zugenommen haben würde, der Druck auf die Gefäßwände wachsen. Das ist nur eine unmittelbare Folgerung aus dem Gay=Lüffacschen Gesetze. Auch der in den Anfang dieses Jahrhunderts fallenden Untersuchung des genannten Forschers hafteten indeß nachweisbare Fehler an, und volles Vertrauen verdienen erst die nahezu übereinstimmenden Resultate, welche Rudberg, Regnault, Magnus und in allerneuester Zeit Solly fanden; danach können wir annehmen, daß sich die Luft bei jeder Zunahme der Temperatur um  $1^{\circ}$  C. um  $\frac{1}{273}$  des bei  $0^{\circ}$  von ihr eingenommenen Raumes ausdehne. Nimmt die Temperatur ab, so vermindert sich auch ihr Volum für jeden Grad der hunderttheiligen Skala um denselben Betrag.<sup>11)</sup>

Was die übrigen Gasarten anlangt, so stellte sich heraus, daß der sogenannte Ausdehnungscoefficient zwar sehr nahe, aber doch nicht vollkommen mit dem der atmosphärischen Luft übereinstimme. Im Allgemeinen dehnen sich nämlich die einzelnen Gase um so weniger aus, je geringer ihr specifisches Gewicht ist und so erfährt Wasserstoff die geringste, Kohlensäure die größte Volumvermehrung unter den bekannten Gasen. Auch für ein und dasselbe Gas ist der Betrag der Ausdehnung nicht unter allen Umständen derselbe<sup>12)</sup>. So wenig, wie das Mariottesche Gesetz, kann auch das Gay=Lüffacsche als vollkommen durch die Erfahrung begründet angesehen werden.

Für die Praxis sind alle die scheinbaren Unregelmäßigkeiten in der Ausdehnung von keiner Bedeutung, von desto größerer dagegen für die theoretische Physik. Indem sie genau, wie die

entsprechenden Abweichungen vom Mariotteschen Gesez auf einen gewissen idealen Gaszustand hinweisen, sind sie gerade, wie später speciell nachgewiesen werden soll, starke Argumente für die Richtigkeit unserer heutigen Vorstellung von der Natur der luftförmigen Körper überhaupt.

Ich habe mich bei der Darlegung der beiden Geseze lange aufgehalten: was das Mariottesche anlangt, so konnte ich mich mit der wichtigen Rolle, welche dasselbe im Haushalte der Natur spielt, entschuldigen; dieselbe Entschuldigung ist aber auch bei dem Gay-Lüssacschen Satze gerechtfertigt. Was hat im täglichen Leben mehr Bedeutung als Wind und Wetter? Wind und Wetter aber, soweit sie nicht bloß von den ungleichen Dichtigkeitszuständen benachbarter Luftmassen abhängen, werden nur bedingt von den Ausdehnungs- resp. Spannungsunterschieden der Luft, welche wiederum nur von den Temperaturunterschieden herrühren, die auf der Erdoberfläche zu beobachten sind. Was hat aber weiter in unsern heutigen socialen Verhältnissen größere Bedeutung als die Arbeit der Maschinen, der von Wasserdampf von comprimierter Luft, von explodirenden Gasen getriebenen mächtigen Werkzeuge, die des Menschen Leistungen ver Hundertfachen und die Menschenarbeit menschenwürdiger machen? Alle diese Maschinen mit ihrer complicirten, fast organischen Leben darstellenden Bewegung folgen dem Geseze, das die Ausdehnung der Gase durch die Wärme regelt.

Der Aufzählung unserer heutigen Kenntnisse von Eigenschaften der gasförmigen Körper habe ich wenig hinzuzufügen, nicht etwa, weil seit Gay-Lüssac und seinen Nachfolgern wenig Werthvolles geleistet wäre, sondern weil die zu ihrer Entwicklung erforderlichen Auseinandersetzungen das Interesse für den behandelten Gegenstand auf eine zu gewagte Probe stellen würden. Wie man in neuerer Zeit die schon von Boyle und von Gay-Lüssac angestellten Untersuchungen wiederholte und er-

folgreich zu Ende führte, so wurden auch vielfach andere, auf gleichem Gebiet liegende Untersuchungsobjecte mit denen sich schon das vorige Jahrhundert beschäftigt hatte, von den Physikern unserer Tage wieder vorgenommen. Die Fortschritte der Technik und die hierdurch erzielte größere Vollkommenheit der Instrumente, die bessere Einsicht in verschiedene chemische und physikalische Vorgänge, welche manche Fehlerquelle früherer Forscher vermeiden lehrt, die gesteigerte Geschicklichkeit im Experimentiren erwecken natürlich den neugefundenen Resultaten von vornherein ein größeres Vertrauen und wenn — wie das wirklich bei verschiedenen Untersuchungen der Fall ist — mehrere Forscher, vielleicht auf verschiedenen Wegen, zu genau denselben Zahlen kommen, dann ist ein Zweifel an solchen Angaben vollständig ausgeschlossen.

Wir kennen z. B. jetzt das Gewicht eines Kubikcentimeters atmosphärischer Luft sowohl, wie eines beliebigen Gases in Grammen ausgedrückt bis auf 6 Decimalen und wissen nicht bloß, wie sich diese Werthe mit der Temperatur und dem Atmosphärendruck ändern, wir können sogar den Einfluß der Meereshöhe und der geographischen Lage mit in Rechnung ziehen<sup>1 3)</sup>.

Mit fast gleicher Sicherheit vermögen wir jetzt zu bestimmen, welche Wärmequantität ein Gas braucht, damit es seine Temperatur auf einen beliebigen Grad erhöhe.

Indem sich so unsere Kenntnisse von den gasförmigen Körpern immer mehr vertieften und durch neue Entdeckungen wie z. B. betreffs der Wärmeleitungsfähigkeit und der Diffusion erweiterten, mußte sich nach und nach das Bedürfniß aufdrängen, die bisher unverbunden neben einander bestehenden Thatsachen unter eine höhere Einheit zu vereinigen. Es galt eine Vorstellung von der Constitution der Gase zu gewinnen, einen Ausgangspunkt für die Erklärung der mannigfaltigen

Erscheinungen, welche uns die bisher so räthselhaften Körper bieten.

Wie nun diese Aufgabe im Laufe des letzten Jahrzehnts gelöst wurde, das will ich im Folgenden zu zeigen versuchen.

Die ganze heutige Physik und Chemie und alle Disciplinen, welche mit ihnen im Zusammenhang stehen, beruhen auf Einem Principe; durch alle Erklärungen, welche sie von Erscheinungen in der Natur geben, zieht sich Eine Grundvorstellung, die Vorstellung von der Zusammensetzung der Materie aus Atomen. Bekannt ist, wie schon Leukipp und Demokrit und später Epikur eine Atomenlehre ausgebildet haben, mittelst welcher sie nicht nur die Erscheinungen der Körperwelt, sondern auch die geistigen Wahrnehmungen erklären wollten. Die heutige Atomtheorie ist bescheidener in ihren Ansprüchen, sie ist wenigstens weit entfernt, auch auf geistigem Gebiet mitreden zu wollen; aber auch sonst unterscheidet sie sich wesentlich von der Lehre der griechischen Philosophen. Sie legt zunächst nicht den Hauptaccent auf die Untheilbarkeit der kleinsten Theile, sondern auf die Unveränderlichkeit derselben; während ferner die Demokritischen Atome nur in Gestalt und Größe von einander abwichen, ihrer sonstigen ganz unbekanntem Qualität nach aber alle ganz gleich waren, sind die Eigenschaften der heutigen Atome verschiedener Körper ungleich, aber größtentheils bekannt. Giebt es also immer noch Leute, welche glauben, gleichzeitig mit der alten Atomistik die neuere widerlegt zu haben, welche dieselbe als eine „ungereimte Fiction“ verspotten, so kann ihnen Fechner mit Recht zurufen: „Wenn man die Hauptgründe der Atomenlehre bestreiten oder nur beurtheilen will, so gilt es jedenfalls erst, sie zu kennen<sup>14)</sup>).

Uebrigens hat nicht Willkür, sondern zwingende Nothwendigkeit im Anfang dieses Jahrhunderts die Aufstellung der neuen Lehre mit dem alten Namen veranlaßt. Gewisse Entdeckungen auf dem Gebiete der Chemie forderten gleichsam zu ihrer Er-

klärung die Annahme von untheilbaren Körpertheilchen, und Chemiker, von Dalton angefangen, waren es, welche diese Theorie in die Wissenschaft einführten. Insbesondere die Untersuchungen der gasförmigen Elemente und Verbindungen leisteten ihr mächtigen Vorschub und trugen zu ihrer Durchführung bei. Die Atomenlehre Dalton's war entwicklungsfähig und bald erfuhr sie eine wesentliche Erweiterung durch die Aufstellung des heute in Physik und Chemie so wichtigen Begriffs vom Molecül. Avogadro sprach nämlich den wichtigen Satz aus, daß in gleichen Raumtheilen eines gasförmigen Körpers bei gleichem Druck und gleicher Temperatur eine gleiche Anzahl Molecüle enthalten sind. Unter Molecülen verstand aber Avogadro die lezten frei vorkommenden Theile eines zusammengesetzten so wohl wie einfachen Körpers, Theile, die also selber wieder aus Atomen bestehen. Die Anwendung jener nach ihrem Urheber genannten Regel führte direct zur Bestimmung der wichtigsten Eigenschaft der Atome, ihres verhältnismäßigen Gewichtes, zu Zahlen, die heute geradezu unentbehrlich sind und die Grundlage aller chemischen Arbeiten bilden. Wenn nun in der großen Zahl von Thatsachen, welche der Bienenfleiß der Chemiker seit Anfang dieses Jahrhunderts zu Tage gefördert hat, keine einzige gefunden wird, die der Annahme von Atomen widerspricht, wenn vielmehr alle seitherigen Erfahrungen auf diesem Gebiete nur dazu gedient haben, die Lehre fester zu begründen und fortzuentwickeln, so dürfen wir uns nicht wundern, wenn zunächst der Chemiker mit unwandelbarer Treue an ihr festhält. Und wenn wir finden, daß noch eine große Anzahl anderer Erscheinungen, die nicht gerade auf chemischem Gebiete liegen: daß die verschiedene Dichte, Härte, Elasticität, Ausdehnung durch die Wärme, Krystallform u. s. w. durch die Atomistik, wie der schon vorhin citirte Fechner sagt, unter einfachen, klaren und klar darstellbaren Gesichtspunkten verknüpft und denselben mechanischen Principien



untergeordnet werden, die auch sonst allein anwendbar sind, kann dann noch irgendwer an der Berechtigung jener Vorstellung zweifeln? Wir wissen freilich, daß mit der Annahme von Atomen das Wesen der Materie nicht ergründet ist; der Naturforscher betrachtet es aber auch gar nicht als seine Aufgabe, das Wesen der Materie zu ergründen: er hält sich an das Gegebene und erkennt demüthig an, daß dem Menschengeniste Schranken gezogen sind, die er nie überschreiten wird.

Was nun die Anordnung und den Zustand der Molecüle anlangt, so wissen wir zunächst zweierlei: zuerst lehrt uns die Erscheinung der Zusammendrückbarkeit aller Körper, selbst der dichtesten und festesten, daß der Raum, den sie einnehmen, nicht vollständig von Materie erfüllt sein kann, daß die einzelnen kleinsten Theilchen also nicht unmittelbar an einander lagern sondern durch größere oder kleinere Zwischenräume von einander getrennt sein müssen. Das Zweite — und das haben wir durch die Erkenntniß der Wärme als einer Bewegungsercheinung gelernt — ist die Annahme, daß die Molecüle und Atome in einer dauernden Bewegung sind.

Wir nehmen diese letztere, durch unumstößliche Beweise zur Gewißheit erhobene Vorstellung zum Ausgangspunkt unserer weitern Betrachtung, sie wird uns unmittelbar zu der heutigen Lehre vom Wesen des Gaszustandes hinleiten.

Bei einem starren Körper ist die Kraft der Molecularbewegung nicht groß genug, um die Anziehung je zweier benachbarter Theilchen zu überwinden. Jedes derselben schwingt um eine gewisse Gleichgewichtslage hin und her, und von der Weite dieser Schwingungen ist das Volum bedingt, welches die Gesammtheit der Molecüle eines Körpers einnimmt. Jede Quantität zugeführter Wärme, — gleichgültig, auf welche Weise diese Zuführung geschieht, — vergrößert mit der Schwingungszahl auch die Schwingungsweite, wie ein in Bewegung gesetztes Pendel

durch immer neue Stöße eine Vergrößerung seines Ausschlags erfährt. Sonach muß im Allgemeinen jeder Körper in Folge der Erwärmung oder besser in Folge der lebhafteren Bewegung seiner Theile einen immer größern Raum einnehmen.

Wenn zwei bewegte Massen, welche in directer Verbindung stehen, eine verschiedene Geschwindigkeit haben, so müssen sich nach einfachen, mechanischen Gesetzen ihre verschiedenen Bewegungen ausgleichen: was die eine verliert, gewinnt die andere. Genau dasselbe geschieht, wenn sich zwei Körper berühren, deren Molecüle eine verschiedene Bewegung haben, die rascher schwingenden Atome geben den langsameren einen Theil ihrer lebendigen Kraft ab, bis nach und nach Uebereinstimmung in der Bewegung hergestellt ist. Ist nun etwa unsere Hand der eine berührende Körper und sind die Molecüle desselben in langsamerer Schwingung als die des berührten, so empfinden wir die uns durch die Stöße der schwingenden Atome mitgetheilte Bewegung als niedern oder höhern Grad von Wärme. Die Empfindung einer von uns aus erfolgenden Mittheilung von Bewegung nennen wir Kälte. Wenn sich durch gesteigerte Wärmezufuhr, d. h. durch Mittheilung von Bewegung, die Stofftheilchen immer weiter von einander entfernen, so nimmt in ungleich stärkerem Maße — im quadratischen Verhältniß, wenn auch hier das Newtonsche Gesetz gilt, — die Anziehung zwischen je zwei benachbarten Molecülen ab, sie wird endlich gleich Null. In diesem Momente ist der Körper in den flüssigen Zustand eingetreten<sup>15)</sup>. Die Theilchen haften nicht mehr an einander, ein jedes wird nur noch von der Masse aller übrigen angezogen und gehalten. Wenn wir einen Felsen zersprengen, so überwinden wir die Cohäsion der Gesteinstheile, die abgesprengten und von einander getrennten Stücke rollen vielleicht das eine über das andere, ihre Bewegung ist aber doch nur eine sehr beschränkte, weil sie ein jedes durch die Schwere, die Massenanz-

ziehung der Erde, gefesselt sind. So ungefähr haben wir uns das Verhalten der Flüssigkeitsatome zu denken. Die Molecularbewegung, welche schon bei dem starren Körper vorhanden, aber doch nicht direct zu beobachten war, wird in den Flüssigkeiten durch neu hinzugeführte Wärme nur immer lebhafter und bringt Strömungen hervor, welche deutlich zu beobachten sind. Schon im Jahre 1827 wies R. Brown darauf hin, daß in Flüssigkeiten schwimmende kleine Theilchen fester Körper eine zitternde Bewegung haben, und 1863 zeigte Wiener durch fortgesetzte mikroskopische Untersuchungen, daß diese zitternde, unregelmäßige und zickzackförmige Bewegung durch die Natur der Flüssigkeit selber bedingt ist und ihre Ursache in der eigenthümlichen Bewegung der Flüssigkeitstheile haben muß.<sup>16)</sup> So ist es möglich, daß feste Stofftheilchen in einem specifisch leichteren Medium nicht nur nicht zu Boden sinken, sondern sich gleichmäßig in demselben verbreiten, natürlich um so rascher, je intensiver in Folge erhöhter Temperatur die Molecularbewegung wird. Die einer Flüssigkeit zugeführte Wärme veranlaßt natürlich, wie bei den festen Körpern und ganz in derselben Weise eine Raumvermehrung.

Sonach liegt der Unterschied zwischen dem festen und flüssigen Aggregatzustand in der verschiedenen Art der Bewegung der Molecüle; wir können kaum zweifeln, daß auch das Wesen des Gaszustandes in einer bestimmten Bewegungsform zu suchen ist. Nun sind der möglichen Bewegungen unendlich viele: eine Masse, wie ein Atom, kann z. B. um seine Axe rotiren, kann eine gewisse Curve beschreiben, kann in gerader Linie fortschreiten. Welche Bewegung kommt den Gasmolecülen zu?

Nach der zuerst von Krönig aufgestellten und dann von Clausius ausgebildeten Theorie verhalten sich die Gasmolecüle wie feste, vollkommen elastische Kugeln, welche sich mit bestimm-

ter Geschwindigkeit geradlinig fortschreitend durch den Raum bewegen.

Ein jedes behält seine Richtung, bis es gegen ein anderes feinesgleichen oder gegen eine feste oder flüssige Wand anstößt, von wo es dann wegen seiner Elasticität mit ungeminderter Geschwindigkeit zurückprallt, um eine andere durch die Gesetze des Stoßes bedingte Bahn einzuschlagen. Gleichzeitig können oder müssen vielmehr die Gasmoecüle auch eine rotirende Bewegung haben, weil sie ja nur in einzelnen Fällen in centralem Stoße auf einander treffen. Ebenso muß angenommen werden, daß die Atome innerhalb eines Molecüls auch noch in Schwingungen begriffen sind. Die gesammte lebendige Kraft aller dieser Bewegungen nennen wir Wärme.

Als erstes Kennzeichen einer guten Theorie pflegt man möglichste Einfachheit hinzustellen; diese Eigenschaft ist der Gastheorie, welche zu ihrem Verständniß nur die simpelsten Begriffe der Mechanik voraussetzt, unbedingt zuzusprechen. Wie ist es aber mit den übrigen, den Werth einer Theorie bedingenden Erfordernissen? Ist sie im Stande, eine Reihe erkannter Thatsachen zu erklären, in Beziehung zu setzen und ihnen trotz aller scheinbaren Verschiedenheit eine gemeinsame Quelle anzuweisen? Führt ihre consequente Anwendung zu weiterer, tieferer Erkenntniß? Ordnen sich ihr auch alle auf dem betreffenden Gebiete neu entdeckte Thatsachen willig unter? Die folgende Auseinandersetzung mag als Versuch gelten, diese berechtigten Fragen zu beantworten.

Was zunächst den Uebergang aus dem flüssigen in den luftförmigen Aggregatzustand anlangt, so kann man sich leicht vorstellen, wie in Folge von zugeführter Wärme, d. h. durch directe Vermehrung der lebendigen Kraft der Molecüle endlich die Anziehung überwunden wird, welche die Gesamtmenge noch auf das einzelne ausübte. Tyndall drückt sich so aus<sup>17)</sup>: „Die

Atome brechen die letzten Fesseln der Cohäsion und fliegen auseinander, um Dampfblasen zu bilden. Liegt aber die Oberfläche der Flüssigkeit frei, so werden immer mehr der schwingenden Atome von dieser Fläche weggeschleudert und steigen in die Höhe. Man denke sich ein Gewicht, das an eine Spiralfeder befestigt, in immer raschere, hin- und herschwingende oder kreisförmige Bewegung gesetzt wird; die Feder wird sich weiter und weiter strecken, endlich aber muß sie reißen, und der eben noch gefesselte Körper geht in der Richtung der Tangente in geradliniger Bahn fort, er giebt ein grobes Bild eines Gasatoms." Ist der Raum, in welchen eine gegebene Gasmasse eindringen kann, geschlossen, so müssen die Molecüle von den Wänden, von der Decke, eins von dem andern abprallend nach und nach in allen möglichen Richtungen durch einander schwirren und sich bald gleichmäßig verbreiten; das muß geschehen, sowohl, wenn der gegebene Raum leer ist, als wenn er schon ein anderes Gas enthält; so dehnt sich nach und nach eine gegebene Gasmenge zu jedem beliebigen Volum aus. Steigen die Molecüle beim Verdunsten oder Sieden von der Oberfläche einer Flüssigkeit auf in einen geschlossenen Raum, so wird immer ein Theil derselben durch den Rückprall auf diese Fläche zurückgeschleudert und wieder von ihr aufgenommen. Ist nun endlich die mittlere Zahl der zurückkehrenden Atome gleich der Menge der frei aufsteigenden, so kann keine weitere Verminderung der Flüssigkeit eintreten, wir sagen jetzt, der Raum sei mit dem betreffenden Gase oder Dampfe gesättigt. Je größer die Geschwindigkeit der Molecüle ist, um so größer wird die Zahl derjenigen sein, welche gleichzeitig so zu sagen unterwegs sind. Somit erklärt sich, wie die Fähigkeit, Dämpfe aufzunehmen, mit steigender Temperatur wächst.

Treffen aber die Gastheiligen auf eine Wand, so müssen sie auf dieselbe einen ihrer Größe und ihrer Geschwindigkeit entsprechenden Druck ausüben; dieser Druck wird ein ganz gleich-

mäßiger sein, wenn die Anzahl der gleichzeitig erfolgenden Stöße recht groß ist. Mit einem Bündel an einander gefügter Stäbe kann man ja ganz dieselbe Wirkung ausüben, wie mit einem Balken, den wir gegen eine widerstrebende Wand stemmen. Wie leicht und bequem lösen sich jetzt eine Reihe von Erscheinungen auf, für die wir bisher keine andere Erklärung hatten, als die sehr vage, daß ein zusammengepreßtes oder erwärmtes Gas das Bestreben habe, sich auszudehnen.

Wir bringen eine mäßig mit Luft erfüllte Blase unter die Luftpumpe. Ein paar Kolbenzüge genügen, um ein deutliches Anschwellen, ein Verschwinden der Falten und Runzeln erkennen zu lassen. Es ist der Anprall der sehr kleinen, aber sehr zahlreichen Wurfgeschosse auf die innere Fläche der Blase, welcher dies Anschwellen hervorruft; sie haben über die entgegenstürmende Gewalt der von außen auftreffenden Molecüle — da die Zahl derselben vermindert ist — das Uebergewicht gewonnen, die Blase dehnt sich bei fortgesetztem Kolbenspiel immer mehr aus, und ihre Theile müssen fest an einander haften, wenn sie nicht schließlich gesprengt werden soll. Wir lassen wieder Luft in den Recipienten, und die Blase zieht sich zusammen, so lange bis der Anprall der auf die Außenfläche wirkenden Luftmolecüle dem sich auf immer kleineren Raum zusammenziehenden Feuer der von innen entgegenwirkenden das Gleichgewicht hält. Dieselbe Blase, mit kalter Luft gefüllt, werde in die Nähe des warmen Ofens gebracht: wir beobachten ganz dieselbe Erscheinung wie vorhin, auch jetzt dehnt sich die Blase aus. Die eingeschlossenen Molecüle haben durch die ihnen mitgetheilte Wärme ihre Geschwindigkeit vergrößert, und wenn nun auch die Theile der äußeren Luft ebenso geschwind sind, so ist doch ihre Zahl — wieder in Folge der Wärme — vermindert, und es muß die Gesamtwirkung von innen abermals größer sein als die äußere, und wie vorhin muß die Spannung der einschließenden Wände zunehmen.

In dem einen Falle ist es also die Vermehrung der bewegten Masse, in dem andern die vergrößerte Geschwindigkeit derselben, welche eine verstärkte Wirkung zur Folge hat. Alle Wirkungen verdichteter oder erwärmter Luft, das Heben des Kolbens im Dampfscylinder so gut, wie das Fortschleudern der Kugel aus dem Kanonenrohr oder aus der Windbüchse rühren her von dem Stöße der mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit in größerer oder geringerer Menge gegen widerstehende Wände fliegenden Molecüle. Es ist mit einem Worte das Mariottesche und Gay-Lüssacsche Gesetz, welche unmittelbar aus der dynamischen Gastheorie abzuleiten sind, und so sind alle die unendlich vielen Erscheinungen im täglichen Leben, welche in diesen Gesetzen ihre Erklärung fanden, auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt. Was uns aber durch die angeführten Beispiele bloß als wahrscheinlich oder möglich erschienen ist, das bewies Clausius streng mathematisch — wie vor 200 Jahren Newton die Keplerischen Gesetze als direkte Folgerungen aus der von ihm entdeckten Gravitation nachwies. Wie ich oben erwähnte, zeigen alle bisher untersuchten Gase, die einen mehr, die andern weniger, Abweichungen von den beiden angeführten Gesetzen. Auch diese Thatsache fügt sich ungezwungen in die Theorie. Denken wir uns eine Gasmasse etwa durch den zehnfachen Atmosphärendruck auf den zehnten Theil des ursprünglichen Volums zusammengepreßt, so haben sich natürlich die einzelnen Molecüle einander erheblich genähert. Nach dem das Naturganze beherrschenden Satze von der gegenseitigen Anziehung der materiellen Theile muß nun auch die vorher unmerkliche gegenseitige Anziehung der Gas molecüle gewachsen sein, und so wird eine weitere, einzig von der Natur des betreffenden Körpers abhängende Volumverminderung stattfinden. Sollte dieselbe bei dem zehnfachen Drucke noch nicht zu beobachten sein, so tritt sie gewiß bei höherem Drucke ein, ganz und gar ausbleiben kann sie auf keinen Fall. Die Beob-

achtung einer zu starken Volumabnahme bei den permanenten Gasen ist erklärt. Es ist, wie schon gesagt, ein rein idealer, darum auch nie eintretender Zustand, welchen Mariotte und Gay-Lüffac für die Gase verlangen, es müßte nämlich die wechselseitige Anziehung der Theile gegenüber der lebendigen Kraft derselben, d. h. der ihnen innewohnenden Wirkungs- oder Arbeitsfähigkeit unendlich klein oder gleich Null sein. Aber wie schon bei den nicht in den flüssigen Zustand überzuführenden Gasen die Abweichungen vom Gesetz nur gering sind, so haben wir es in der Gewalt, jede Gasart, jeden Dampf dem idealen Zustand nahe zu bringen. Man braucht dieselben nur durch Verminderung des Drucks möglichst zu verdünnen. Je geringer die Dichte, um so größer ist nothwendig der mittlere Abstand je zweier Gasmoleküle, um so weniger ist nun Gelegenheit vorhanden zu gegenseitiger Störung. In der That haben die Versuche gezeigt, daß bei sehr weit getriebener Verdünnung sich nicht nur Druck und Volum genau entsprechen, sondern daß dann auch bei allen Gasen die Wärmeausdehnung vollkommen gleich ist.<sup>18)</sup>

Mit der Avogadro'schen Regel als Grundlage kann man, so bald nur für Ein Gas die Geschwindigkeit seiner Moleküle gefunden ist, die mittlere Geschwindigkeit aller übrigen bei beliebiger Temperatur mit großer Leichtigkeit berechnen. Wenn nämlich gleiche Räume eine gleiche Anzahl Moleküle enthalten, und wenn die Wirkung derselben, d. h. der Druck auf die Wände des einschließenden Gefäßes, der gleiche ist, so müssen nach einfachen Gesetzen der Mechanik bei dem ungleichen Gewichte der Moleküle verschiedener Gasarten — worauf ich schon früher aufmerksam machte — die Geschwindigkeiten derselben sehr ungleich sein, sie müssen sich umgekehrt verhalten wie die Quadratwurzeln aus jenen Gewichten. Es muß also z. B., weil ein Molekül Sauerstoff 16 mal so schwer ist, als ein Wasserstoffmolekül, bei derselben Temperatur jedes Theilchen Wasserstoff eine viermal so



große Geschwindigkeit haben wie ein solches des ersten Gases. Die Geschwindigkeit des Wasserstoffmolecüls bei 0° aber wurde gefunden zu 1844 Meter, danach ist die des Sauerstoffs 461 M., die des Stickstoffs 492 M., der Kohlensäure 393 M.<sup>19)</sup>

Der Naturforscher ist gewöhnt, jedes Resultat seiner Untersuchungen und Berechnungen zunächst mit einer gewissen Zurückhaltung aufzunehmen. Vorsichtig sieht er sich um, ob Thatsachen vorhanden sind, welche entweder mit dem vor ihm Gefundenen in Uebereinstimmung stehen, oder welche demselben widersprechen; als richtig gilt das Neue erst, wenn es mit dem Früheren sich vereinigen läßt, oder wenn die Widersprüche zwischen beiden gelöst sind. Es giebt nun wirklich Thatsachen, die in der verschiedenen Geschwindigkeit der einzelnen Gasarten ihre bis dahin unbekannte Ursache finden.

Schon längst war bekannt, daß ein durch den galvanischen Strom erhitzter Draht, wenn er sich in einer Atmosphäre von Wasserstoff befindet, schwieriger in's Glühen kommt, als wenn er von Luft, Sauerstoff oder Kohlensäure umgeben ist. Umgekehrt hat Magnus gefunden, daß ein erwärmter Körper sich in Wasserstoffgas viel rascher abkühle, als in Kohlensäure. Wir begreifen jetzt diese Erscheinung vollständig. In Folge ihrer größeren Geschwindigkeit treffen eine gewisse Anzahl Wasserstoffmolecüle den warmen Körper viel öfter als die gleiche Zahl der trägern Theilchen der Kohlensäure, sie werden ihm also seine überflüssige Wärme nothwendig rascher entziehen als diese, und wird ein Draht durch den galvanischen Strom erhitzt, so verlangsamten die rascher hin und her fliegenden Körperchen die zum Glühen nothwendige Ansammlung von Wärme mehr, als langsamere Gasmolecüle.

Ebenso spricht für die verschiedene Geschwindigkeit der Gasmolecüle die von Bunsen gemachte Beobachtung, daß sich im

reinen Wasserstoffknallgas die Entzündung sehr viel rascher fortpflanzt als im specifisch schwereren Kohlenoxydknallgas.

Die verschiedene Geschwindigkeit der Gasmoleküle spielt aber nicht bloß bei bestimmten rein physikalischen Erscheinungen<sup>20)</sup> eine wichtige Rolle, von wesentlicher Bedeutung ist sie auch für uns selber, und so gelange ich zu einem Gegenstand, welcher dem allgemeinen Interesse gewiß nahe genug liegt.

Berechnen wir nach der Zusammensetzung der Luft aus Sauerstoff und Stickstoff die ihren Theilchen zukommende mittlere Geschwindigkeit, so ergiebt sich als der in einer Sekunde bei 0° zurückzulegende Weg 485 M.

Ich gestehe, es ist ein wunderlicher Gedanke, daß wir, die wir uns nun einmal fortdauernd in der Luft befinden, fortdauernd und unaufhörlich der Wirkung solcher, mit immerhin bedeutender Schnelligkeit auf uns zufliegenden Geschosse ausgesetzt sein sollen. Als Geschosse können aber jene Lufttheilchen bezeichnet werden, weil sie in der That die Geschwindigkeit der Büchsenkugeln haben. Ist die ganze Vorstellung nicht um so mehr eine ungereimte? Eine ruhige Ueberlegung wird Antwort geben. Wenn eine abgeschossene Flintenkugel im Stande ist, Körper, die ihr in den Weg treten, zu durchbohren, so verdankt sie diese Wirkungsfähigkeit einestheils freilich ihrer Geschwindigkeit, andertheils aber ihrer Masse. Ist sie nun gerade fähig, bei einem Gewichte von etwa 25 Gramm ein Brett von gewisser Stärke zu durchbohren, wird sie dazu auch im Stande sein bei einem Gewichte von 1 Gramm? Bei weitem nicht; sie hat ja jetzt nur den 25. Theil der nöthigen Kraft. Noch viel unbedeutender aber wird ihre Wirkung sein, wenn wir die Masse auf den tausendsten oder millionsten Theil verkleinern. Es ist klar, wir brauchen die uns mit einer Geschwindigkeit von 500 Metern treffenden Lufttheilchen nicht zu fürchten, wenn diese Lufttheilchen nur recht klein sind. Und sie sind, wie ich später noch

ausführen werde, über alle Vorstellung klein. Eine Wirkung üben sie freilich auf uns aus; sie bedingen die Empfindung einer größeren oder geringeren Wärme. Diese etwas starke Zumuthung an die Vorstellungskraft erfordert noch einige Worte zur nähern Erläuterung. Wer jemals in ein Schloßenwetter gekommen ist, vergißt nicht so leicht die höchst unangenehme, nach und nach unerträgliche Empfindung, welche die sein Gesicht, seine Hände treffenden kleinen Körper hervorbrachten. Er fühlte jeden einzelnen derselben, und jeder einzelne wirkte wie ein intensiver Nadelstich. Würde die Empfindung dieselbe gewesen sein, wenn die kleinen Körner 10 oder 20 mal so dicht gefallen wären, als sie in der Regel zu fallen pflegen? Physiologische Untersuchungen belehren uns, daß unser Unterscheidungsvermögen für zwei gesonderte Einwirkungen ein sehr beschränktes ist. Die kleinste Entfernung zweier noch getrennt fühlbaren Zirkelspitzen ist auf dem vorderen Theile der Zunge 1,1 Millimeter, im Gesicht etwas über 4 Millimeter. Würden also die Hagelkörner so dicht fallen, daß ihre Entfernung von einander etwa 4 Millimeter betrüge, so könnten sie in unserm Gesicht nicht mehr einzeln empfunden werden, sie dürften vielmehr auf der Haut nur ein gleichmäßig verbreitetes Schmerzgefühl hervorrufen. Die Stärke dieses allgemeinen Schmerzgeföhles würde natürlich nur von der Größe und der Geschwindigkeit der Hagelkörner abhängen, ja wenn dieselben recht klein sind, braucht es gar kein eigentlicher Schmerz zu sein, den wir fühlen. Man braucht sich nur an die Empfindung zu erinnern, welche bei starkem Schneetreiben durch die kleinen, in dichten Schaaren auftreffenden Eiskrystalle hervorgerufen wird. Was wir in diesem Falle fühlen, steht der Wärmeempfindung wunderbarer Weise sehr nahe. Ist es nun wirklich so ungereimt, wenn wir annehmen, daß die unendlich kleinen, in außerordentlicher Dichte uns treffenden Gasteilchen je nach ihrer verschiedenen Geschwindigkeit eine verschiedene Wärme-

empfindung hervorrufen? Man hat die mittlere Weglänge der Molecüle berechnet, d. h. den Weg, den im Durchschnitt jedes Luftmolecül durchläuft, ohne mit einem andern zusammenzutreffen, und hat so z. B. gefunden, daß bei 0° ein Molecül in der Secunde etwa 5000 millionenmal mit andern zusammenstößt, der Abstand je zweier getrennter Lufttheilchen würde demnach etwa  $\frac{1}{10000}$  eines Millimeters betragen. Es kann also in der That keine Rede davon sein, daß wir die Stöße der Luftgeschosse getrennt empfinden können, und ich konnte wohl von einer unvorstellbaren Dichte dieser Geschosse sprechen.<sup>21)</sup>

Aber nicht bloß auf uns selber üben die mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit den Raum durcheilenden Luftmolecüle eine bestimmte Wirkung aus, jeder in ihren Weg tretende Körper erfährt eine solche Wirkung; was in unserer Vorstellung sich als Wärmeempfindung widerspiegelt, bringt dort, wie wir häufig beobachten können, eine Volumveränderung hervor. In der Luft, welche uns warm erscheint, sehen wir das Quecksilber des Thermometers steigen: Die Erklärung dieser Erscheinung macht uns keine Schwierigkeit mehr. Wir können uns recht wohl denken, daß die Lufttheilchen, auf die Oberfläche irgend eines Körpers auftreffend, wenn ihnen nur die gehörige Geschwindigkeit innewohnt, die zitternde Bewegung der Molecüle dieses Körpers verstärken und somit eine Ausdehnung desselben hervorrufen werden. Natürlich muß neben der Wirkung der bewegten Molecüle auch die innere, die sogenannte Atombewegung von Bedeutung sein. So nimmt auch die Glaswand der Thermometeröhre die von außen kommenden Stöße auf und theilt sie den Molecülen des Quecksilbers mit, das als flüssiger Körper besonders geeignet ist, die Wirkung der vermehrten Molecularbewegung sichtbar werden zu lassen. Wie umgekehrt eine verminderte Geschwindigkeit der Luftmolecüle eine Verminderung des

Volums, also ein Sinken des Quecksilbers, hervorbringen muß, das auszuführen kann ich mir wohl ersparen.

Es ist leicht zu zeigen, wie auch andere wohl bekannte Erscheinungen mit unserer Vorstellung von der fortschreitenden Bewegung der Gasteilchen in Einklang stehen. Jedermann weiß, daß zwei oder mehrere Gase, mögen auch ihre specifischen Gewichte so verschieden sein, wie beim Wasserstoff und der Kohlensäure, wenn sie in denselben Raum gebracht werden, sich nach einiger Zeit so vollständig mit einander mischen, daß der Procentantheil der einzelnen Stoffe oben und unten genau derselbe ist. Niemals findet bei luftförmigen Körpern auf die Dauer statt, was wir bei Flüssigkeiten, wie z. B. Del, Wasser, Quecksilber sehen, eine Uebereinanderlagerung der verschiedenen Substanzen. Dalton konnte den heute noch gültigen und für die Meteorologie wichtigen Satz aussprechen, daß der von einer Luftart erfüllte Raum für ein zweites in denselben eindringendes Gas sich wie ein leerer Raum verhält.<sup>22)</sup> So ist die Atmosphäre schon eine Mischung dreier in ihrem specifischen Gewicht verschiedenen Gase, sie ist aber, wie wir häufig genug beobachten können, immer noch fähig, andere luftförmige Körper in sich aufzunehmen. Riechende Substanzen verbreiten sich auf weite Strecken, und der Dampf, welcher von austrocknenden Wasserflächen in die Höhe steigt, oder sich bildet, wenn Nebel- und Wolkenmassen durch die Wärme aufgelöst werden, findet zwischen den Luftmoleculen immer noch Raum. Alle diese Erscheinungen finden ihre einfache Erklärung in der geradlinig und nach allen Richtungen fortschreitenden Bewegung der Gasteilchen. Wenn wir aber annehmen sollen, daß die Bewegung dieser Theilchen, wie es die Theorie will, eine sehr rasche ist, so könnten wir wieder stutzig werden über die immerhin auffällige Langsamkeit, mit welcher die Durchdringung der Gase, die Verbreitung der Gerüche, die Verdunstung des Wassers stattfindet, und doch liegt

hierfür die Ursache nahe. Die Bahn, auf welcher im luftgefüllten Raum ein Gasmolecül von einem Punkte zum andern gelangen kann, ist ja keine freie, es muß sich seinen Weg durch ein unendliches Gedränge von Theilchen suchen, die durch und wider einander fliegend dasselbe aufhalten, zurückwerfen, es tausend und aber tausendmal nach andern Richtungen ablenken. Machen wir die Probe auf das Exempel: Wenn unsere Erklärung richtig ist, so muß im luftverdünnten Raume die Bewegung der Gasteilchen eine weniger gehemmte sein. In der That erfolgt unter dem Recipienten der Luftpumpe die Verdunstung einer Flüssigkeit bedeutend rascher als in freier Luft.

Wie von der Dichte der Luft die Beweglichkeit der in ihr enthaltenen Sauerstoffmolecüle abhängt, lehren auch die interessanten Versuche Tyndalls und Franklands, betreffend die Verbrennungsercheinungen im Thale und auf der Höhe, in verdichteter und verdünnter Luft. Sie fanden, worüber sie zuerst erstaunt waren, daß in Chamounix innerhalb einer Stunde von einer Stearinkerze nicht mehr verbrannte als oben auf der Höhe des Montblanc; und weiter fortgesetzte Versuche führten Frankland zu der Entdeckung, daß die Stearinquantität, welche in einer gegebenen Zeit von einer Flamme verzehrt wird, ganz unabhängig ist von der Dichte der Luft, sogar wenn diese sehr beträchtliche Veränderungen erleidet. In ein paar Worten giebt Tyndall die Ursache so an<sup>23</sup>): Obwohl durch ein Zusammenpressen der Luft die Zahl der activen Theilchen, (des Sauerstoffs nämlich) welche mit der Flamme in Berührung kommen, vermehrt wird, so wird in beinahe gleichem Maße ihre Beweglichkeit vermindert und die Verbrennung verzögert.

Ich müßte fürchten, zu tief in's Theoretische der Physik hineinzugerathen, wenn ich ausführlich nachweisen wollte, wie auch die Erscheinungen der Spectralanalyse mit der Theorie der molecularen Stöße, wie man wohl auch die gesammte Gas-

theorie genannt hat, in vollem Einklang stehen.<sup>24)</sup> Wenn es nun bloß längst bekannte Erscheinungen wären, welche durch die neue Vorstellung ihre Erklärung fänden, so könnte ein besonders skeptisch angelegter Geist, um den Werth derselben herabzudrücken, sagen, sie sei einfach diesen Erscheinungen angepaßt. Nun, wenn wirklich die Theorie nichts weiter leistete, wenn sie nur die Resultate der Beobachtungen, deren unumgängliche Fehler berichtigend, auf einen mathematischen Ausdruck brächte, an dem sich nicht mehr deuteln und mäkeln läßt, so verdiente sie gewiß schon Anerkennung und wäre werthvoll genug. Sie leistet aber mehr; auch ihre Consequenzen, d. h. Folgerungen, welche aus ihr im reinen Denkproceß gezogen wurden; haben sich als richtig erwiesen. Clausius hatte als eine solche Folgerung die vorerst sehr auffällige Behauptung hingestellt, daß der sogenannte Reibungscoefficient der Gase unabhängig von der Dichte derselben und proportional der Moleculargeschwindigkeit sei; D. G. Meyer zeigte nach eigenen, direkten Versuchen, so wie aus Beobachtungsergebnissen Grahams, daß sich die Sache vollständig so verhalte. Ebenso wurden die Vorausberechnungen Maxwells, betreffend das Wärmeleitungsvermögen der Gase, von Stefan experimentell bestätigt.

Haben wir einmal einen Pfad, meinetwegen im Walde oder Gebirge betreten, auf dem wir für unsere Mühe und Anstrengung hier und da durch einen schönen Fernblick, einen Fund, der am Wege lag, belohnt wurden, so fühlen wir uns veranlaßt, immer weiter vorzudringen, wenn auch das Gebüsch dichter und der Pfad steiler wird. Wir vermuthen irgendwo vor uns eine Höhe, einen freien Platz, von dem wir eine Uebersicht haben weit über Berg und Wald, in Thäler und ferne Ebenen. Ganz in ähnlichem Falle befindet sich der Forscher, der durch die von ihm gefundenen Resultate in der Ueberzeugung bestärkt wurde, daß er sich auf rechtem Wege befindet. Auch er dringt weiter, er scheut

ab und zu auch nicht eine kühne Hypothese, mit deren Hülfe er sich über einen schwierigen Punkt hinwegschwingt.

Clausius hatte die Beziehungen gesucht zwischen dem Durchmesser und der Anzahl der Molecüle in einem gegebenen Raume zu der mittleren Weglänge; er legte so den Grund zur Schätzung der absoluten Größe der Atome. Loschmidt, Stoney und Thomson machten sich gleichzeitig und unabhängig von einander an die Lösung dieser letzten Aufgabe, welcher Chemiker und andere Naturforscher bisher aus dem Wege gegangen waren durch die vorläufig allerdings genügende Annahme, daß jene Atome unendlich zahlreich und unendlich klein seien. Thomson<sup>25)</sup> fand, daß ein Kubikcentimeter eines Gases von gewöhnlicher Dichte etwa 6000 Trillionen Molecüle enthalte, eine Flüssigkeit oder ein fester Körper je nach seiner Dichte 500 bis 16000 mal so viel, und daß der Durchmesser eines solchen Molecüls ohngefähr der 500 millionste Theil eines Centimeters sei.<sup>26)</sup> Wie wir uns nicht von den Dimensionen des Sonnensystems, noch weniger von der ungeheuren Entfernung eines Sternes, die etwa nach Lichtjahren angegeben ist, eine Vorstellung machen können, ebenso wenig ist uns die außerordentliche Kleinheit und die Zahl, welche den die Körper zusammensetzenden Theilen zugeschrieben wird, direkt faßbar. Nur mittelbar, durch eine Vergleichung, können uns solche Dinge näher gerückt werden. Man stelle sich, sagt Thomson, einen Regentropfen oder eine erbsengroße Glasugel vor, denke sich dieselbe bis zum Umfange der Erdfugel vergrößert, während die Molecüle in gleichem Maße wachsen; diese Molecüle würden dann gröber sein als kleine Flintenkugeln, aber kleiner als Cricketbälle." Mag es nun mit dieser Zahl und mit der Größe der Molecüle sein, wie es will, mag eine spätere Zeit lehren, daß sie stark zu modificiren sind, — denn allerdings sind manche von den Schlüssen und Annahmen, mittelst welcher sie gefunden wurden, anfechtbar — es ist richtig, was derselbe Thom-



son sagt: Wir dürfen nicht länger Atome und Atomgruppen für mystische Punkte halten, die mit Trägheit begabt sind und allein mit der Eigenschaft, andere derartige Centra anzuziehen oder abzustossen; wir haben sie als ein Stück Materie zu denken von meßbaren Dimensionen, mit Gestalt, Bewegung und Thätigkeitsgesetzen, die der wissenschaftlichen Forschung zugänglich sind.

Die mechanische Gastheorie aber, welche uns lehrt, mit diesen Atomen zu rechnen, und einen Theil von den Veränderungen der Körperwelt auf ihre Bewegung zurückzuführen, die uns also dem Ziele der heutigen Naturwissenschaft — der Auflösung der Naturvorgänge in Mechanik der Atome — näher bringt, sie ist gewiß als eine der ruhmvollsten Errungenschaften unserer Zeit, als eine der werthvollsten Erweiterungen unserer Kenntnisse von der Natur hochzuhalten.