

WEBER.
AUFGABEN
AUS DER
Elektricitätsle

FRERICHS.
Die Hypothesen
DER PHYSIK

P. Weber . Aufgaben
Fresch's - Hypothesen d. Physik

1778

Die Hypothesen der Physik.

Ein Versuch einer einheitlichen Darstellung derselben.

Von

Dr. Herm. Frerichs.

Zweite Auflage.

S. DICKSTEIN

Norden, 1889.

Hinricus Fischer Nachfolger.

Verlagsbuchhandlung.

Die Hypothesen der Physik

Ein Versuch einer kritischen Darstellung der selben

Dr. Hermann Reichenow

G. M. II. 316.

Einleitung.

Es ist der Verlauf der menschlichen Erkenntniss, dass sie von der durch die Sinne anschaulich gemachten Aussenwelt ausgehend dieselbe nach allen Richtungen hin zu umfassen und ihrem inneren Wesen nach zu durchdringen sucht. Während dem unbefangenen Geiste die Aussenwelt als das sinnlich Gegebene und durch tägliche Anschauung Gewohnte durchaus klar und widerspruchslos erscheint, stellt sie sich bei tieferem Eindringen ganz anders dar. Es häufen sich Zweifel auf Zweifel, und anstatt dass grössere Klarheit kommen sollte, möchte es uns scheinen, als ob mehr und mehr Dunkelheit einträte. Doch der forschende Geist schreckt hiervor nicht zurück; er sucht den vorhandenen Schleier zu lüften, oder wenn ihm dies nicht gelingen will, versucht er wenigstens die Gründe für sein Unvermögen aufzuspüren. Bei diesem Streben ist sein erstes Bemühen überall, die ihm entgegretenden widerspruchsvollen oder dunklen Punkte genau festzustellen, sie mit einander zu vergleichen und zu ordnen. Sie stellen sich dann bald als zweifacher Art dar; die einen entziehen sich der Aufklärung überhaupt, sie sind dunkel und müssen so bleiben, weil das menschliche Erkenntnissvermögen nicht ausreicht, in sie einzudringen, oder weil der Standpunkt, den dasselbe der Welt gegenüber einnimmt, nicht hoch genug ist, als dass von ihm aus eine vollständige Ueberschau möglich wäre. Bei ihnen als den letzten Gründen alles Erkennens muss schliesslich jede Wissenschaft anlangen und ihren

Lauf beschliessen; anders ist es mit anderen Punkten, die bloß wegen der Unsicherheit und Unvollkommenheit der Hilfsmittel der menschlichen Erkenntniß zunächst dunkel erscheinen; diese vermag ein denkender Geist aufzuklären oder wenigstens vermag er Mittel zu finden, sie verständlich zu machen. Während die ersten Grenzen jeder Wissenschaft gemeinsam sind und von dieser nicht weiter beachtet, sondern der Philosophie zur genaueren Betrachtung überlassen werden, sind die anderen für jede von besonderer Art und bilden einen Theil des von ihr zu behandelnden Gebietes.

Wie überall, so finden wir dies auch in der Physik. Freilich strebt diese durch bloße Beobachtung und Erklärung gegebener Thatsachen zunächst sich zu entwickeln; bald jedoch gelangt sie zu Grenzen, bei denen ihre Beobachtungsmittel sich unzureichend erweisen; dann sucht sie durch Speculation das Fehlende zu ergänzen, macht einen kühnen Sprung, nimmt irgend eine Gestaltung des Seins an und sagt, wenn die Wirklichkeit dieser angenommenen Gestaltung entspricht, so muss sie in einer bestimmten Form sichtbar werden. Diese vergleicht sie nun mit der wirklich erscheinenden und findet in dieser Vergleichung das Mittel, zu erkennen, ob sie eine mögliche Gestalt angenommen hat, und wie dieser entsprechend die Wirklichkeit beschaffen sein kann. Wir sagen, wie sie beschaffen sein kann; es darf nicht behauptet werden, dass sie so, wie vorausgesetzt wurde, beschaffen sein muss, denn es ist immer möglich, dass die beobachteten Erscheinungen aus einem ganz anderen Grunde hervorgegangen sind, als der durch die Speculation ermittelte ist. Mit Recht nennt daher die Physik ihre Erklärungen der Wirklichkeit nur Hypothesen. Da dieselben überall nöthig wurden, so haben sie sich zu einem mächtigen und feingegliederten Gebäude entwickelt und sind zu einem Hauptbestandtheile der wissenschaftlichen Physik geworden.

Hier möge zunächst untersucht werden, wo die Hypothesen möglich und nothwendig werden, d. h. wo wir beim Verfolgen der Erscheinungen auf Stellen kommen, deren Dunkelheit die Unvollkommenheit unserer Organe, nicht aber die unseres Erkenntnissvermögens verschuldet. Es ist dabei das Vortheilhafteste, den Lauf zu verfolgen, den die Physik in ihrer Entwicklung selber eingeschlagen hat. Sie geht stets von der unmittelbaren Naturbeobachtung aus; die beobachteten Erscheinungen vergleicht sie; und bei dieser Vergleichung zeigt sich bald, dass Reihen derselben in einem inneren Zusammenhange stehen oder wenigstens einander so ähnlich sind, dass ein solcher angenommen werden darf. So sehen wir ebenso wie einen Stein den Regentropfen zur Erde fallen, so bemerken wir die uns umgebenden Gegenstände ebenso wohl beim Lichte der Sonne, als beim Scheine einer Lampe; zwischen dem Fallen des Steines und des Regentropfens, zwischen dem Lichte der Sonne und dem Scheine der Lampe dürfen wir einen inneren Zusammenhang voraussetzen. Dieser tritt oft in der Weise hervor, dass sich gewisse Erscheinungen als die einfacheren ergeben, in deren Zusammenwirken andere zusammengesetztere ihre Entstehung finden. Wird ein Glasstab mit Seide gerieben, so zieht er leichte Körperchen an; das Gleiche thut eine mit Wolle geriebene Siegellackstange. Unter Umständen tritt jedoch auch eine Abstossung der Körperchen vom Glase ein; diese werden aber dann vom Siegellack um so kräftiger angezogen, und umgekehrt. Die weitere Untersuchung lehrt, dass alle Körper in zwei Klassen zerfallen; die der einen ziehen die Körper an, welche die der anderen abgestossen haben. Indem wir nun aber weiter entdecken, dass je zwei Körper, welche verschiedenen der beiden Klassen zugehören, sich gegenseitig anziehen, während zwei derselben Klasse sich abstossen, ferner, dass die Körper nicht unbedingt zu einer der beiden Klassen zu gehören brauchen, sondern

dass die Eigenthümlichkeit der Anziehung oder Abstossung anderer Körper von dem einen auf den anderen übertragen werden kann, so schliessen wir, es sind überhaupt alle Körper zweien Zuständen zugänglich, in Folge deren sie entweder sich einander zu nähern oder von einander zu entfernen gezwungen werden, und sehen die Erscheinungen dieser Zustände als die einfachsten an, in denen alle übrigen ihre Erklärung finden, und mit denen sie, und durch die sie unter einander in einem inneren Zusammenhange stehen sollen.

Wenn die Physik diesen inneren Zusammenhang nachgewiesen und die Vorbedingungen aufgefunden hat, bei welchen aus der einen Erscheinung die andere resultirt, so tritt an sie die neue Aufgabe heran, die Regeln und Gesetze zu suchen, nach welchen dies geschieht. Die gefundenen Regeln vergleicht sie mit einander, zunächst die für offenbar zusammengehörige Erscheinungskreise und untersucht, ob diese nicht Formen eines allgemeineren Gesetzes sind. In dieser Weise ist die Möglichkeit erschlossen, alle zusammengehörigen Erscheinungen in einem allgemeinen Gesetze zu umfassen, und noch weiter ist es nicht denkunmöglich, dass die Physik dahin gelange, alle Erscheinungen in einem oder in wenigen Gesetzen zum Ausdruck zu bringen. Wenn sie so weit gekommen, so ist in dieser Richtung ihre Aufgabe gelöst. Auf unüberwindliche Schwierigkeiten stösst sie dabei nicht; es verlangt die Lösung dieser Aufgabe nichts als einfache Denkprocesse, welche durchaus nicht über die Schranken menschlicher Erkenntniss hinausgehen.

Doch neben die Frage nach den Gesetzen, bei welchen die Erscheinungen verlaufen, drängt sich eine viel tiefer gehende und wichtigere, die nach dem Grunde der Erscheinungen. Sehen wir einen Stein zur Erde fallen, so können wir nicht allein nach den Gesetzen fragen, unter welchen er fällt, sondern sicherlich auch nach dem Grunde,

weshalb er gerade zur Erde und nicht etwa in den Himmel hineingezogen wird. Auch diese Frage stellte sich die Physik; sie blieb aber die eigentliche Antwort schuldig und musste es bleiben, denn diese befriedigend zu geben, ist dem menschlichen Denken nicht möglich. Die Physik begnügte sich die Ursache durch die Einführung des Wortes „Kraft“ zu erklären. Was diese aber sei, sagt sie in ganz richtiger Erkenntniss ihres Unvermögens nicht; sie erläutert bloss diesen Begriff, indem sie ihn durch die Gesetze näher bestimmt, welche sie für den Verlauf der Erscheinungen gefunden hat. Der Physik ist die Kraft nichts weiter als der Ausdruck für ein Gesetz, welches die durch Beobachtung gefundenen Regeln umfasst. So wird die Erscheinung, dass ein Stein zur Erde fällt, durch die Schwerkraft erklärt und zur Definition dieser wird gesagt, sie wirke den Massen direct und ihren Abständen umgekehrt proportional. Diese Definition ist offenbar nichts anderes als der Ausdruck eines Gesetzes; in der That wurde sie abgeleitet aus den Regeln, nach welchen wir alle Körper zur Erde fallen sehen, die in Verbindung gebracht wurden mit den für die Planetenbewegungen gefundenen Formeln.

Manche gehen daher so weit, die Kraft überhaupt als Gesetz und als nichts Weiteres aufzufassen, verwechseln aber dabei den lediglich praktischen Standpunkt der Physik mit dem allgemeinen. Nach diesem ist die Kraft nicht der blosser Ausdruck eines Gesetzes, nicht bloss ein Gedachtes, Wesenloses, eine Formel, die mit den wirklichen Vorgängen in keinem anderen Zusammenhange steht, als dass sie zur Erklärung ihres Verlaufes dient; sie ist vielmehr ein sehr Wesenhaftes, sie ist die eigentliche Ursache alles Geschehens; was sie aber sei, worin ihr Wesen bestehe, das kann der Menscheng Geist nicht ergründen, so sehr er auch von ihrem wirklichen Vorhandensein überzeugt sein mag. Die Phantasie gaukelt Bilder vor, nach

denen uns die Kraft als ein Gebietendes, als ein Wille erscheint, oder nach denen sie dem Stoffe anhaftet und wie mit Polypenarmen begabt sich nähernde Theilchen erfasst und heranzieht; solche Bilder sind sehr schön und vielleicht auch, als die Anschauung fördernd, nützlich, aber sie sind nur Bilder der Phantasie, schwerlich ein Abbild, sicherlich keine Erkenntniss des Wahren. Dieses ist uns verschlossen; hier stehen wir vor einem Räthsel, welches zu lösen die Physik wie überhaupt das menschliche Denken nie im Stande sein wird. Sie kann daher mit der Bezeichnung der Kraft als eines Gesetzes sich begnügen, will sie weiter gehen und den höheren Standpunkt berücksichtigen, so kann sie sagen, die Kraft ist die Ursache aller Veränderungen, aber die uns unbekannte Ursache.

Wenn das Wesen der Kraft verborgen bleibt, so könnten doch über die Art und Weise, wie sie wirkt, und wie diese Wirkung zu Stande kommt, Aufschlüsse sich finden lassen. Wie die Kraft überhaupt es möglich macht zu wirken, lässt sich nicht sagen, aber es könnte die Frage beantwortbar sein, ob sie unmittelbar von dem einen Object auf das andere wirkt oder mittelbar. Diese Frage umschliesst ein Doppeltes, nämlich die Wirkung in der Zeit und die Wirkung mit oder ohne Zwischenträger. Im Grunde umfasst das Zweite das Erste, denn wenn die Wirkung der Kraft durchaus ohne Zwischenträger von einem Körper zum anderen übergeht, so ist sie zeitlich auch unvermittelt zu denken, während aus einer stofflichen oder ähnlichen Vermittelung das Verlaufen einer Zeit während dieser sicher folgen muss. Es liegt ein tieferer Sinn in dieser Untersuchung. Kann man die Kraft als stofflich vermittelt darstellen, so ist der Schleier gelüftet, sie muss dann als von der Vermittelung abhängig sich aus dieser ableiten oder erklären lassen. Daher mag das Bemühen noch immer wieder entstehen, eine solche stoffliche Vermittelung wenigstens für die Gravitation nachzuweisen und dieselbe,

welche sich als die bekannteste den Untersuchungen immer in erster Linie entgegenstellt, auf diese Weise aus der Welt zu schaffen.

Es galt bislang als ausgemacht und ist noch nicht genügend widerlegt, dass Newton es unerklärlich fand, dass die Gravitation eine unvermittelte Wirkung des einen Himmelskörpers auf den anderen sei. Viele Nachfolger Newtons nahmen wenigstens diese Anschauungen als die seinen an; später kam man jedoch allmählig zu der entgegengesetzten Ansicht, welche Kant entschieden ausspricht, indem er den Satz aufstellt: Die aller Materie wesentliche Anziehung ist eine unmittelbare Wirkung derselben auf andere durch den leeren Raum. Die Newton'sche Ansicht rührt von der subjectiven Ueberzeugung her, dass wir nur dort etwas leisten können, wo wir persönlich zugegen sind; diese wurde auf die Natur übertragen und erweiterte sich zu dem Satze, ein Körper könne nur an dem Orte wirken, wo er sich selbst befindet. Abgesehen davon, dass wir den Körper bloß wegen seiner Kräfte bemerken, wir also bei der Beobachtung einer Wirkung in die Ferne mit Recht sagen können, er sei auch dort noch vorhanden, wo er wirkt, eben weil er dort wirkt, so ist auch die Behauptung, nur in der unmittelbaren Berührung könne eine Wirkung erfolgen, keineswegs eine so ganz klare, namentlich wenn man, wie es doch der gewöhnliche Sinn annimmt, denkt, dass bei der Berührung zweier Körper gewisse, die wirkenden Punkte derselben den gleichen Raum einnehmen. Denn thun sie das, so ist gar kein Grund vorhanden, warum der eine den anderen so beeinflussen sollte, dass der von ihnen einmal gemeinschaftlich eingenommene Raum nicht weiter von beiden zugleich besessen werden kann. Denken wir aber, wenn wir zwei Körper in der Berührung auf einander einwirken sehen, nicht bloß die Berührungspunkte, sondern die ganzen Körper wirksam, so haben wir damit wieder eine Fernwirkung angenommen, die wir doch gerade ver-

meiden wollten, nämlich die der sämtlichen sich nicht berührenden Körpertheilchen auf einander. Andererseits aber erklärt die Thatsache der unmittelbaren Berührung durchaus nicht, die Hauptsache, die in erster Stelle erklärt werden sollte, wie es eigentlich kommt, dass eine Bewegung von dem einen Körper auf den anderen übergeht; es ist uns die Möglichkeit dieses Uebergehens, also allgemein der Wirkung der Kraft des einen Körpers auf den anderen ebenso unverständlich, wenn wir beide sich berühren sehen, als wenn wir einen beliebigen Zwischenraum zwischen ihnen annehmen. Keine Kraft wird durch die Zuhülfenahme einer stofflichen Vermittelung erklärlicher, denn bei jeder erweisen sich die Bedingungen für dieselbe unerklärlich; es wird nichts gewonnen, die Untersuchung wird nur zurückgeschoben. Besondere Fälle ausgenommen, bei denen specielle Gründe ein anderes erfordern, thut man wohl, die Kraft getrost als unvermittelt wirkend anzusehen und die Unerklärlichkeit dieser Wirkungsform in der Dunkelheit begründet zu finden, die über dem Begriffe der Kraft überhaupt herrscht.

Zu dem gleichen Resultate gelangen wir bei dem Stoffe, den als das bewegte oder veränderte Etwas anzunehmen wir mit derselben logischen Nothwendigkeit gezwungen werden, mit der wir zur Voraussetzung der Kraft als der Ursache der Bewegungen und Veränderungen genöthigt wurden. Wir erkennen die Dinge an ihren Eigenschaften, für welche wir Kräfte einsetzen können, so dass uns zuletzt nur solche zu betrachten übrig bleiben; aber diese können wir uns nicht im Leeren schwebend oder an einem Nichts haftend vorstellen; vielmehr müssen wir irgend ein Etwas als ihren Träger anerkennen, und dieses Etwas ist der Stoff. Was die Kraft sei und wie sie ihre Wirkungen ermögliche, blieb freilich unerklärt; aber ihre Wirkungen liessen sich verfolgen und in Gesetzen ausdrücken. So gelang es wenigstens, der Kraft eine Seite

abzugewinnen, von welcher aus sie einer wissenschaftlichen Behandlung unterzogen werden konnte; und in dieser Rücksicht ist sie der Physik ein vertrauter Begriff geworden, auf den sie unter allen Umständen zurückzukommen trachtet. Je mehr sie die Erscheinungen auf Kräfte zurückführte, desto nebelhafter wurde der Begriff des Stoffes; und so ist es dahin gekommen, dass dieser kaum noch beachtet oder vielmehr als der Kraft untergeordnet aufgeführt wird, indem man ihn lediglich als den Träger derselben, als das zu ihrer Entfaltung nothwendige Etwas auffasst. Sogar wenn man den Stoff, wie es geschehen ist, als ein gleichsam belebtes, übersinnliches Wesen ansehen wollte, dessen Wille etwa nur die Kraft sei, so liegt doch auch darin eine Unterordnung dieser unter jenen, denn auch hier ist der Wille die Hauptsache, das allein Wirkende. Oder wenn man sagt, die Kraft hafte dem Stoffe an und ziehe ihn heran, so ist auch dieser wiederum nichts als das Leidende jenem Wirkenden gegenüber. Bei dieser Stellung, welche die Naturwissenschaft dem Stoffe der Kraft gegenüber anwies, musste es ihr leicht sein, über ihn hinwegzusehen und sich dabei zu beruhigen, dass es ein eben vorhandenes, unvermeidliches Etwas sei. Von anderer Seite gab man sich nicht so leicht zufrieden; anknüpfend an die natürliche Anschauungsweise fasste man den Stoff als das Ursprüngliche auf, an welchem die Kraft erst in zweiter Linie auftritt, und suchte von hier aus in das Wesen beider einzudringen. Doch auch hier gelangte man schliesslich zu der Ueberzeugung, dass nichts übrig bleibe, als Stoff wie Kraft als gegeben und wirklich bestehend hinzunehmen, dass man aber auf eine Erkenntniss ihres Wesens verzichten müsse.

Kraft und Stoff sind die letzten Gründe aller Dinge, an welche irgend einen Massstab zu legen oder bei welchen verschiedene Angriffspunkte zu entdecken nicht gelingen kann. Sie können mit keinem anderen, nur mit

sich selber verglichen werden und lassen sich keinem höheren oder allgemeineren Begriffe unterordnen. Durch das Vergleichen des einen Dinges mit den anderen und durch seine Unterordnung unter andere macht sich das menschliche Denken dasselbe vertraut und damit seiner Herrschaft unterthan. Wo aber diese Angriffspunkte fehlen, bleibt ihm das Ding fremd und frei und selbstständig gegenüberstehend; da bleibt ihm nichts übrig, als das Gegebene als solches hinzunehmen, ohne weiter nach dem Wie und Warum desselben zu fragen, bei ihm von seinen Erklärungsversuchen abzustehen und diese erst auf das, was aus den ersten gegebenen Thatsachen folgt, anzuwenden. So that sehr richtig die Physik bei Kraft und Stoff; sie geht freilich auf sie als die äussersten Grenzen der Wissenschaft zurück, aber da sie dieselben nicht zu erkennen vermag, so berührt sie die auftauchenden Zweifel überhaupt nicht, sondern nimmt Kraft und Stoff als ein Gegebenes und als solches sicher Bestehendes, als den Boden hin, auf welchem sie ihren Bau zu errichten hat; und wie etwa der Baumeister nicht weiter fragt, von welcher chemischen Beschaffenheit der Boden sei, auf dem er baut, wenn er nur von seiner Festigkeit genügend überzeugt ist, so kümmert sie sich in der festen Ueberzeugung von der Sicherheit der Gründe, auf denen sie sich entwickelt, nicht weiter um das Wie und Was derselben. Hier kann sie daher nicht in die Lage kommen, Hypothesen bilden zu müssen; diese werden erst nöthig, wenn die Gesetze und in diesen die Erläuterungen der Kräfte gefunden werden sollen.

Der Gang, welchen die Physik verfolgt, knüpft wesentlich an die Erfahrung an, indem aus den von ihr gegebenen Resultaten Regeln abgeleitet werden, in denen die beobachteten Erscheinungen ihre Erklärung finden. Sollen aber diese Regeln einen höheren Werth haben, so müssen sie sich namentlich auf die einfachsten Erscheinungen

stützen; und diese müssen in erster Linie bekannt sein. Das ist aber durchaus nicht immer der Fall. Sie zu beobachten hindern uns die Mängel unserer Organe. Tritt dies ein; können wir eine Erscheinung, die wir als nothwendig bestehend erkannt haben, überhaupt nicht beobachten, oder lehrt uns der Vergleich mit anderen That-sachen, dass wir sie falsch beobachtet haben und es mussten, weil unsere Organe sie uns so darstellten, dann stellen wir Vermuthungen auf, wie sie in Wirklichkeit wohl sein könne; und diese Vermuthungen sind es, welche als Hypothesen in der Physik eine so grosse Rolle spielen. Zu ihnen führt nicht die inductive Forschung; sie sind in erster Bildung die Kinder einer dichtenden Phantasie; wie durch eine plötzliche Erleuchtung, vielleicht durch Analogien mit anderen Erscheinungen geführt, kommt der Forscher auf sie; und so sind und werden sie gefunden, so oft sich neue nöthig machen.

Aus dieser Entstehungsweise der Hypothesen folgt, dass bei jeder Erscheinung eine ganze Reihe derselben möglich ist, denn zunächst heisst eine solche Aufstellung nichts anderes, als eine Thatsache in einer gewissen neuen Form auszudrücken. Da aber die Erscheinungen unter einander in einem inneren Zusammenhange stehen, ist in ihnen selbst die Kritik für die Auswahl unter den anfangs gleich möglichen Vermuthungen gegeben. Denn eine Hypothese darf nicht blos für eine Erscheinung gebildet werden, sondern muss alle mit dieser zusammenhängenden zu umfassen vermögen; steht auch nur eine einzige dieses Kreises mit ihr in Widerspruch, so ist sie als ungültig zu verwerfen. Von den vielen Hypothesen, die ursprünglich vielleicht gleich möglich erschienen, bleiben bei fortgesetzter Untersuchung bald wenige übrig, wenn sie nicht alle bis auf eine verschwinden. Ob dann diese Letzte mit der Wirklichkeit übereinstimmt, ist nicht sicher; es bleibt immer möglich, aus ganz anderen Anfängen dasselbe Resultat zu

ziehen; aber je mehr die beobachteten Erscheinungen mit der gefolgerten übereinstimmen, desto mehr gewinnt die Hypothese an Wahrscheinlichkeit, bis sie schliesslich wenigstens eine subjective Gewissheit erlangen kann.

Sind mehrere Hypothesen gleich möglich, so ist unter diesen immer diejenige vorzuziehen, welche die Erscheinungen ohne die Heranziehung von Hilfsannahmen möglichst einfach erklärt, denn diese hat, wenn man auch von ihrer grösseren Wahrscheinlichkeit absehen will, jedenfalls die grössere Bequemlichkeit in der Anwendung für sich. Soll man zur Erklärung einzelner Thatsachen immer wieder neue Vermuthungen aufstellen, so wird das Gebäude, welches man errichtet, ein viel zu complicirtes und in seinem Inneren zu wenig abgeschlossenes, als dass die bequeme Uebersicht, welche für ein leichtes Fortschreiten durchaus nothwendig ist, möglich wäre. Auch stimmt ein solches Verfahren nicht mit den Zwecken und dem Namen einer Wissenschaft überein. Eine solche haben wir nicht, so lange nur beobachtete Thatsachen neben einander gestellt werden; ebenso wenig aber, wenn für jede Beobachtung eine eigene Annahme gemacht wird, denn das Letztere heisst nichts, als die beobachteten Thatsachen in eine andere Sprache übersetzen und dann aneinander reihen. Erst einem Aufbau, bei welchem aus einem oder aus wenigen Grundsätzen alle Thatsachen in gesetzmässiger Gliederung sich ableiten, darf der Name einer Wissenschaft beigelegt werden. In ihren Hypothesen aber will die Physik gerade ihren wissenschaftlichen Charakter wahren; ihr müssen daher diejenigen bedenklich erscheinen, welche sich diesem nicht fügen.

Endlich ist noch ein Punkt zu erwähnen, der allerdings nicht unmittelbar von bedeutendem Einflusse doch werth ist, hervorgehoben zu werden. Es ist dies der, dass solche Hypothesen vorzuziehen sind, die den anderen nicht nur nicht widersprechen, sondern mit ihnen möglichst

harmoniren oder gar in einer directen Verbindung stehen. Mag auch die Physik sich zunächst nicht darum zu kümmern haben, ob sie schliesslich zu einer einheitlichen Weltanschauung gelangt, oder ob sie bei einer Vielheit unvermittelt an einander gereihter letzter Theile stehen bleibt, aus denen sie sich das Ganze zusammengesetzt denkt, so ist doch das Streben nach Einheit und nach einer einheitlichen Weltanschauung dem menschlichen Geiste so tief eingewurzelt und folgt auch aus seiner eigenen einheitlichen Natur, dass diesem überall Rechnung zu tragen ist. Wenn daher von übrigens gleichwerthigen Annahmen die eine sich diesem Zuge des Geistes mehr fügt, als die andere, so ist sie vorzuziehen, denn sie gewährt die grössere Befriedigung und hat deshalb auch den Schein einer grösseren Wahrscheinlichkeit für sich. Doch es thut hier Vorsicht noth, dass man sich von diesem Scheine nicht blenden lasse und allein seinetwegen einer Hypothese vor der anderen den Vorzug gebe. Denn nahe liegt gewiss die Gefahr, es zu thun, um so mehr, als man schon beim Aufstellen einer neuen Hypothese stets an die schon bestehenden anzuknüpfen versuchen wird, denn eine ältere bietet in ihrer reichen Entfaltung einer neueren an sie sich anschliessenden viele Erleichterungen, indem sich für diese gültige Sätze leicht auf jene übertragen lassen, überhaupt der ganze Gang der Entwicklung schon vor-gezeichnet ist.

Bei Berücksichtigung der angeführten Gesichtspunkte wird aus der grossen Zahl der ursprünglich gleich möglichen Hypothesen bald die eine nach der anderen schwinden und endlich für jede Erscheinungsreihe nur noch eine übrig bleiben. Welches diese übrig gebliebenen sind, mag nun im Folgenden betrachtet werden.

Die Materie.

Bei näherem Eingehen in die Natur der Materie werden wir bald in die Nothwendigkeit versetzt, zur Erklärung ihrer Erscheinungen Hypothesen zu bilden. So lange wir räumlich getrennte Körper in ihrer gegenseitigen Wechselwirkung beobachten, sind uns Messungen und damit die Bestimmungen der Gesetze möglich; schreiten wir aber zur Beobachtung eines einzelnen Körpers und der Veränderungen, welche er und seine Theile unter der Einwirkung äusserer oder innerer Kräfte erleiden, oder zur Beobachtung der Wechselwirkung zweier Körper, die in eine unmittelbare Berührung gebracht sind, so fällt die Möglichkeit der Messungen und damit der mathematischen Bestimmungen der Gesetze hinweg, und wir sind zur Aufstellung von Hypothesen genöthigt. Diese müssen, wenn als Grundsatz für eine einheitliche Erklärung aller hierher gehörigen Erscheinungen der aufgestellt wird, dass jede Veränderung, welche ein einzelner Körper erleidet, in einer Bewegung seiner Theile besteht, klar legen, aus welchen Theilen der Körper zusammengesetzt ist, worin das Wesen dieser Theile besteht, und wie sie zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen.

Allen Dingen ist als letzter Grund ein unbekanntes Etwas, der Stoff, untergelegt. Der Physik ist dieser unerklärlich, sie nimmt ihn als ein Gegebenes hin. Als ein solches unterzieht sie ihn ihrer Behandlung und legt ihm Eigenschaften bei, durch die das bisher Unerkannte zu

einem Bestimmten wird. Diese Eigenschaften giebt die Beobachtung der Aussenwelt, es sind diejenigen, welche allen Körpern zukommen. Unter diesen steht obenan die *Ausdehnung*, eine Eigenschaft, die eben weiter nichts aussagt, als dass der Körper ein räumliches Gebilde ist oder nur als solches wahrgenommen werden kann. Seinen eingenommenen Raum vertheidigt der Körper gegen das Eindringen aller übrigen, und mit ihm zugleich kann kein zweiter denselben Raum einnehmen. Dies Verhalten giebt als zweite allgemeine Eigenschaft die *Undurchdringlichkeit*. Diese beiden Eigenschaften sind zur Bildung, oder wohl genauer, für unser Erkenntnissvermögen zur Wahrnehmung und Vorstellung eines Körpers durchaus nothwendig; wir können uns weder einen solchen denken, der absolut keinen Raum einnimmt, noch können wir uns vorstellen, wie zwei Körper zugleich dieselbe Lage im Raume haben. Die Ausdehnung und Undurchdringlichkeit sind daher mit Recht als nothwendige Eigenschaften bezeichnet; zu ihnen kommen andere hinzu, die wir zwar in der That an allen Körpern finden, die aber nicht zur Wahrnehmung derselben nothwendig sind, die wir daher zufällige allgemeine Eigenschaften nennen müssen. Sie sind für die Physik zur Festsetzung ihres Begriffes der *Materie* von entscheidender Wichtigkeit; denn aus den nothwendigen Eigenschaften folgt überhaupt die Bestimmung des Begriffes einer für unser Erkennen möglichen *Materie*, aus den zufälligen aber die der *physikalischen*. Unter ihnen tritt als die eigenthümlichste die *Porosität* auf, nach welcher die Körper den Raum, welchen sie einnehmen, nicht vollständig erfüllen, sondern Lücken lassen. Solche erkennen wir leicht an manchen Körpern, wie am Bimsstein, schwer an anderen, wie am Golde. Daher mag es kommen, dass diese Eigenschaft sonderbarer erscheint, als die anderen zufälligen, die zu beobachten wir mehr gewohnt sind, wengleich sie an sich bei tieferem Ein-

dringen die grössten Schwierigkeiten bereiten. In der Physik gehen wir auf dieselben nicht weiter ein, sondern begnügen uns mit dem Vorhandensein dieser Eigenschaften. Es sind die der Theilbarkeit, der gegenseitigen Einwirkung zweier Körper aufeinander, die in der Gravitation als hervorragendes Beispiel auftritt, und die der Beweglichkeit, nach welcher ein Körper nicht beständig dieselbe Lage zu anderen haben muss, sondern diese zu wechseln im Stande ist.

Diese Eigenschaften liessen zwei Formen für die Bestimmung der Materie zu, deren eine in der Corpusculartheorie des Descartes ihren Ausdruck findet, deren andere zur atomistischen Hypothese der Physik entwickelt wurde. An sich sind beide gleich möglich; von der Philosophie wurde die erstere besonders hochgehalten, die Physik wandte sich bald völlig der letzteren zu.

Der Grundsatz der Corpusculartheorie beruht auf der Annahme einer continuirlichen Erfüllung des Raumes durch die Materie; diese einfachste Form war aber nicht durchführbar, deshalb ging Descartes von dieser aus und nahm eine allmälige Veränderung und Entwicklung an. Ursprünglich erfüllte die gesammte Materie den Raum gleichmässig; nur war sie in unzählige Theile von verschiedener Grösse und Gestalt zerlegt. Dieser Materie gab Gott eine gewisse Quantität Bewegung und überliess sie nun sich selber. Die Folge dieser Bewegung war, dass die Theile gegen einander stiessen; dabei wurden grössere Mengen zusammengeballt, andere zerstückelten. Diese kleineren Brocken wurden zwischen den grösseren Bruchtheilen zu einem feinen Staube zerrieben; hierbei wurden zugleich die grösseren Stücke abgeschliffen und nahmen Kugelgestalt an. Jetzt ist die Entstehung vollendet. Die gesammte Materie zerfällt nun in zwei Ordnungen, deren erste die kugelförmigen Theile ausmachen, deren andere der feine Staub bildet, der als Materie zweiter Ordnung die

Lücken zwischen der erster Ordnung vollständig ausfüllt und so in Verbindung mit dieser den Raum erfüllt.

Die allgemeinen Eigenschaften lassen sich bei einer solchen Erfüllung des Raumes durch die Materie, wenn auch nicht immer in einfachster Weise, entwickeln oder erklären; doch der Grund, weshalb sie noch später vielfach Anhänger fand und namentlich der Philosophie annehmbar erschien, ist ein doppelter; sie macht die *actio in distans* scheinbar überflüssig, und sie lässt eine Theilung ins Unendliche zu. Dem Descartes und vielen Späteren war namentlich der erste Grund der entscheidende. Die Wirkung des einen Körpers auf einen beliebigen anderen von ihm entfernten folgt hier von selber; wird ein Theil des Systems bewegt, so muss das ganze mit ihm zusammenhängende zugleich in Bewegung gerathen; das aber sagt die *actio in distans*. Doch schon die Planetenbewegungen boten Schwierigkeiten; wie sollten diese vor sich gehen, wie entstanden sein? und warum blieben sie ewig unverändert? Descartes kam ihretwegen zu seiner bekannten Wirbeltheorie, deren Unmöglichkeit aber schon Newton nachwies. In neuerer Zeit wurde auf diesen ersten Punkt kein Gewicht mehr gelegt, zumal auch die Scheu vor der *actio in distans* sich gelegt und Kant bestimmt ausgesprochen hatte, die aller Materie zukommende Anziehung müsse eine in die Ferne wirkende sein. Um so mehr aber regte der andere Punkt, die Möglichkeit einer Theilung ins Unendliche das Nachdenken an; sie anzunehmen ist ein Bedürfniss des Geistes; und alle Versuche, sie zu läugnen, erregen den lebhaften Widerstand des Denkvermögens.

Aber läugnet denn die atomistische Theorie diese Theilbarkeit ins Unendliche? Soweit sie eine physikalische Theorie ist, allerdings; ob diese aber überhaupt eine allgemeine Gültigkeit beansprucht, ob sie nicht vielmehr über sich hinaus auf ein Höheres hinweist, das ist eine andere Frage, die bejahend beantwortet werden muss. Die Physik

geht nicht auf die letzten Gründe aller Dinge ein; sie bleibt aus rein praktischen Rücksichten bei den Atomen stehen, behält sich aber vor, von ihnen aus weiter zu gehen, sobald sich das Bedürfniss dazu einstellt, und hindert keine andere Wissenschaft, diese Schritte selbständig zu unternehmen.

Nach der Physik ist die Theilung der Materie bis ins Unendliche nur eine scheinbare; thatsächlich giebt es für uns eine Grenze der Theilbarkeit, die wir allerdings wegen der Unvollkommenheit unserer Mittel und Werkzeuge niemals zu erreichen im Stande sind. Die Materie füllt den Raum nicht continuirlich aus, sondern nur zum Theil, indem sie ähnlich wie der Sand am Meere aus ausserordentlich vielen sehr kleinen Theilchen besteht, die uns ebenso wie der Sand eine zusammenhängende Masse zu bilden scheinen, sich aber wie jener unter dem Microscope so unter dem Auge des Geistes als Einzeltheile erkennen lassen.

Wenn nun auch die Atome selbst ausserordentlich klein anzunehmen sind, so begrenzen sie in ihrem Zusammensein doch einen messbaren Theil des Raumes, zumal sie sich nicht unmittelbar an einander legen, sondern Zwischenräume zwischen sich bestehen lassen. Das Bestehen dieser Zwischenräume fordert die bekannte allgemeine Eigenschaft der Porosität. Da die Theilchen als absolut untheilbar, also als absolut fest, einander nicht durchdringen können, so ist die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit der Körper selbstverständlich; ebenso folgt die der Möglichkeit der Bewegung aus der Fähigkeit der Theilchen, ihre gegenseitigen Lagen zu verändern.

Es bleibt nun noch die Wechselwirkung, die zwei Körper auf einander ausüben, zu erklären übrig. Sie folgt aus der Annahme von anziehenden oder abstossenden Kräften, welche je zwei Atome auf einander ausüben, und die sich so summiren können, dass ihre Wirkung auf

messbare Entfernungen zu Tage tritt. Dies lässt sich so denken: Den Theilchen kömmt die Fähigkeit gegenseitiger Einwirkung zu, in Folge dieser wirken sie stets auf einander, die Wirkung aber tritt nicht immer äusserlich hervor, weil auf jedes Theilchen zahlreiche andere von allen Seiten Kräfte geltend machen, und unter diesen die entgegengesetzten sich aufheben. Wenn aber die Wirkungen nach einer Seite hin wegen gewisser Verhältnisse, etwa Lagenverhältnisse, überwiegen, so summiren sie sich, werden messbar und sind als solche zu erkennen.

Zu Grunde gelegt wurde hierbei der Erfahrungssatz, dass ein Körper nicht bloß auf eine, sondern zugleich auf unzählige Kräfte eine Rückwirkung ausüben kann, und dass die sämtlichen Einzelwirkungen sich zu einer einzigen zusammensetzen. Dies ist erfahrungsmässig das Verhalten aller Materie; aus einer der Ansichten über ihr Wesen folgt es unmittelbar nicht, es muss daher bei beiden hinzugezogen werden. Das Gleiche gilt für die anziehenden und abstossenden Kräfte, auf welche die Wechselwirkung der Atome zurückgeführt wurde; sie sind immer nöthig und müssen auch der Materie des Descartes zukommen, denn ohne solche kann auch in einer continuirlich zusammenhängenden Masse keine Uebertragung von Bewegungen stattfinden, aus welcher etwa die vorhandenen Wechselwirkungen sich erklären lassen. Während diese Kräfte aber hier den Atomen beigelegt werden, ist dies bei der Corpusculartheorie nicht wohl möglich; denn damit erhielten die Corpuscula dieselbe Stellung, welche die Atome einnehmen: sie würden dadurch als ein Selbständiges ihrer Gesammtheit, der Materie, gegenübergestellt. Können die Kräfte in den Theilchen ihren Sitz nicht haben, so bietet sich bei der Annahme, die Gesammtheit derselben, die Materie, als solche sei es, an und in welcher sie bestehen, die schwierige und erfahrungsmässig unhaltbare Voraussetzung, dass dasselbe Ding auf sich selber, ohne

mit einem anderen in Wechselwirkung zu stehen, einen Einfluss ausübt. Ausserhalb der Materie aber darf den Kräften sicherlich ein Sitz nicht angewiesen werden, denn es ist unbegreiflich, wie eine Kraft, die gar nicht mit dem Körper in Verbindung steht, sondern als ein unerklärtes, wesenloses Etwas über ihm schwebt, ihn in Bewegung setzen könne. Dazu kömmt, dass durchaus nicht klar ist, was „das ausserhalb der Materie“ eigentlich bedeutet, denn wir erkennen die Materie allein aus ihren Wirkungen, d. h. aus den Kräften, die sie ausübt; wenn wir also Kräfte ausserhalb der Materie annehmen, so heisst das doch, wir setzen ausserhalb der Materie wieder etwas, das wir nur als Materie auffassen können.

Wir stossen hier auf Schwierigkeiten und Widersprüche, die nur dann eine leichte, natürliche Lösung finden, wenn die Corpuscula der Sitz der Kräfte sind, wenn diese also mit den Atomen im Wesentlichen zusammenfallen. Der einzige Unterschied, der noch bestehen bleibt, ist der, die Corpuscula sind weiter theilbar, die Atome nicht. Die Physik legt auf das Letztere nur für ihre praktischen Zwecke ein Gewicht und fasst dem entsprechend die Untheilbarkeit auf. Also auch dieser Unterschied ist hinfällig, und eine einfache Lösung entsteht, wenn Corpusculartheorie und Atomentheorie sich am Ende die Hand reichen, und sich zu einer einzigen vereinigen, die wir als die atomistische Theorie der Physik nun einer weiteren Betrachtung unterziehen wollen, wobei wir auf eine endliche Theilung in dem angedeuteten Sinne zurückgehen.

Die Atomentheorie wird bald als ein Kind, eine Erfindung der neueren Naturforschung bezeichnet, bald als aus dem ersten Alterthume stammend angesehen. In der That ist das Verhältniss so, dass der Grundgedanke einer bloß endlichen Theilung dem Alterthume angehört, von Leucipp oder seinem Schüler Democrit aufgestellt und von

den Epikuräern weiter ausgebildet wurde. Von diesen nahm sie im 16. Jahrhundert Gassendi als Gegensatz gegen die Theorie des Descartes wieder auf und führte sie in die Philosophie ein; von hier gelangte sie durch Rob. Boyle zur Naturwissenschaft. Während aber das Alterthum den Gedanken der kleinsten Theilchen hatte und aus ihren verschiedenen Zusammenstellungen die qualitativen Verschiedenheiten der Materie zu erklären suchte, ging es nicht auf die weitere, wichtigere Frage ein, wodurch denn diese Verschiedenheit der Zusammenstellungen, d. h. die Bewegung der Atome, bewirkt werde. Dies that die neuere Naturforschung, indem sie die Atome als Mittelpunkte von Kräften ansah, durch deren Wechselwirkungen alle Bewegungen entstehen sollten. Während die Annahme des Alterthumes eine unfruchtbare blieb, da bei ihr durch den bloßen Zufall alle Veränderungen bewirkt scheinen, giebt die neuere die Erklärung dieser aus dem eigentlichen Wesen ihrer Atome und gestaltet sich dadurch zu einer entwickelungsfähigen, fruchtbringenden Hypothese.

Als Rob. Boyle die Atome in die Chemie einführte, hatten sie noch ganz das Aussehen, welches die Epikuräer ihnen beilegten; mit der Entdeckung der Gravitation durch Newton und der daraus entstammenden Gewohnheit, mit anziehenden und abstossenden Kräften umzugehen, wurden die Spitzen und Zacken und die den Atomen ursprünglich beigelegten Eigenschaften durch Kräfte ersetzt. Dalton fand diese Umwandlung bereits vor; er ist es, der die Atome für die Chemie erst wahrhaft brauchbar machte, indem er festhielt, dass alle Atome derselben Substanz eine gleiche Grösse und ein bestimmtes, die betreffende Substanz charakterisirendes Gewicht besitzen. Dadurch führte er die beiden wichtigsten Grundthatsachen der Chemie, die der Verbindung zweier Elemente nach constanten Raum- und Gewichtsverhältnissen, auf ein Princip zurück, nach dessen Feststellung die Erklärung aller hierher gehörigen

Erscheinungen aus einfachen und einheitlichen Gesichtspunkten erfolgen konnte. Nun verband man die sämtlichen, äusserlich oft sehr unterschiedenen Vorgänge der Bildung chemischer Verbindungen in dem einen Gedanken eines Aneinanderlegens zweier oder mehrerer Atome; es war nur die Annahme hinzuzuziehen, dass immer nur dieselbe bestimmte Anzahl von Atomen und nicht bald diese, bald jene sich aneinander legen könne, so war Alles erklärt. Eine Schwierigkeit machte die Beobachtung nicht, dass in der Verbindung keine der Eigenschaften der verbundenen Substanzen hervortritt; thatsächliche, erkannte Verhältnisse boten Analogieen genug, die dies erklärten. Mischte man Farbstoffe verschiedener Farben, so zeigte die Mischung eine ganz neue, von den ursprünglichen ganz verschiedene und mit diesen in nichts vergleichbare Färbung; es lehrte überhaupt die Erfahrung, dass bei in-niger Vermischung zweier Substanzen die menschlichen Organe nicht mehr im Stande sind, die einzelnen Bestandtheile der Mischung und deren Eigenschaften zu erkennen. Das Gleiche sollte auch hier gelten; bei der nahen Vereinigung der Elemente vermischten und verwischten sich deren Eigenschaften derart, dass für die menschlichen Sinne ganz neue entstanden schienen.

Die einfachen Grundsätze des bestimmten Rauminhaltes und Gewichtes der Atome sind die wahren Grundpfeiler für den ganzen Aufbau der Chemie; wenn auch mit zunehmender Erfahrung neue Annahmen hinzukamen, wenn auch das früher als Atom angenommene nicht mehr als solches betrachtet wurde, wenn auch über die relative und wirkliche Grösse, wie über das Gewicht der kleinsten Theilchen Zwistigkeiten entstanden, der Grundsatz blieb; die Grösse und das Gewicht des Atomes ist für ein und dieselbe Substanz ein bestimmtes und ewig unveränderliches. Die ganze weitere Entwicklung muss darauf ge-

richtet sein, dies Unveränderliche in seinen Verhältnissen und in seinem Wesen zu ergründen.

Bei der Bestimmung der Volumverhältnisse kam Gay-Lussae zu einem Gesetze, welches über die Zahlenverhältnisse der Atome den ersten Aufschluss geben sollte; er fand: Die verschiedenen Gase verbinden sich bei gleichem Druck und gleicher Temperatur nach einfachen Volumverhältnissen; das Volumen einer solchen Verbindung steht in einem sehr einfachen Verhältnisse zu dem Volumen seiner Bestandtheile. Um dies Gesetz theoretisch zu erklären, stellte Amadeo Avogadro eine Hypothese auf, die anfangs wenig beachtet, jetzt bei der Erklärung sämtlicher hierher gehörigen Erscheinungen zu Grunde gelegt wird und auch in anderen Zweigen der Naturwissenschaft Anwendung und dadurch vielfache Bestätigung gefunden hat. Er nahm an: Die Anzahl der Theilchen, in welche sich eine Substanz auflöst, wenn sie in den Gaszustand übergeht, ist in gleichen Raumtheilen bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur gleich gross.

Die Avogadro'sche Hypothese schlug nicht auf einmal durch, sondern bahnte sich, äusserst langsam, aber desto sicherer gehend ihren Weg zur allgemeinen Anerkennung. Es ergaben sich keine glänzenden Resultate, die sofort ihre Brauchbarkeit erhellten, aber beim Fortschreiten der Naturwissenschaft fand sich eine Thatsache nach der anderen, welche als Stütze jener Hypothese diente, und deren Summe von mehr als hinreichender Bedeutung war, um jene als die allein richtige erscheinen zu lassen.

Sehen wir von den anderen Erscheinungen ab, so können wir als eine wesentliche Bestätigung die Dissociation der Gase hervorheben. Enthalten alle Gase gleich viele kleinste Theilchen, so hängt die Dichte des Gases offenbar von der Masse seines Theilchens ab; sie muss dieser direct proportional sein. Abgesehen von den Aenderungen, welche die Dichte bei den Temperatur- und Druckänderungen er-

leidet, muss sie bei demselben Gase unter allen Umständen die nämliche bleiben. Bestimmungen der Dichten zusammengesetzter Gase liessen aber Abweichungen erkennen, die ihre Erklärung in der Dissociation fanden. Von einem bestimmten Temperaturpunkte an erwies sich die Dichte kleiner, als zu erwarten stand; von diesem Punkte an nahm sie beständig bis zu einem gewissen Werthe ab und erhielt sich dann wieder constant. Das Abnehmen geschah nicht gleichmässig, sondern von einem kaum bemerkbaren Anfange ausgehend erreichte es bei beständigem Wachsen ein Maximum und wurde von diesem ab ebenso wieder geringer, wie es vorher gestiegen war.

Eine einfache Erklärung dieses Verhaltens gab die Auflösung einer chemischen Verbindung beim Erhitzen derselben; diese geht nicht plötzlich, sondern allmählich vor sich, wobei sie von einem bestimmten Anfangspunkte an bis zu einem Maximum an Heftigkeit beständig zu- und dann wieder abnimmt. Nach dieser Auflösung wird die Masse der kleinsten Theilchen, welche nun das Gas bilden, eine kleinere sein, nach der Avogadro'schen Regel muss also die Dichtigkeit des Gases abgenommen haben. War die Masse des ursprünglichen Molecules m , und d die entsprechende Gasdichte, so wird diese $\frac{d}{n}$, wenn das Molecul

in n Theile zerfällt, deren jedes nun die Masse $\frac{m}{n}$ hat.

Der ganze Verlauf der Auflösung lässt sich theoretisch bestimmen, und dadurch können die Veränderungen in der Dichte des Gases vorhergesagt werden; diese Vorhersagungen bestätigte das Experiment. Ausserdem haben Untersuchungen der Gase in der That eine chemische, der Theorie entsprechende Zersetzung der Verbindungen bei der Dissociation festgestellt und auch nach dieser Seite hin zur Bestätigung gedient.

Da die kleinsten Theilchen selbst sich der Beobach-

tung entziehen, so ist ihr absolutes Gewicht nicht bestimmbar, wohl aber kann das relative Gewicht gefunden werden, d. h. es lässt sich ermitteln, wie viel mal so schwer das eine Theilchen ist als das andere. Nimmt man das Gewicht irgend eines Atomes als Einheit an, so lassen sich die Gewichte der übrigen in absoluten Zahlen ausdrücken. Man hat dies gethan, und die so ermittelten Werthe „Atomgewichte“ genannt. Als Einheit nahm man das kleinste, das Gewicht des Wasserstoffatoms, an. Theoretisch muss das Atomgewicht sich durch das Vergleichen der Gewichtsverhältnisse ergeben, nach denen die Elemente in die Verbindungen eintreten, aus den sogenannten Mischungsgewichten. Dies Letztere muss dasselbe bleiben bei allen Verbindungen eines Elementes mit anderen; es lässt sich also als constanter Factor leicht aussondern. Nun aber bleibt zweifelhaft, ob ein oder mehrere Atome des Elementes in die Verbindung eingegangen sind, ob also das Mischungsgewicht einem oder mehreren Atomen entspricht; und dieser Zweifel hat die Bestimmung der Atomgewichte zu einer äusserst schwierigen Aufgabe für die Chemie gemacht. Auf die Methoden zu ihrer Lösung einzugehen, gehört nicht hierher, es genügt hier zu sagen, dass sie für die weitaus meisten Elemente glücklich gelöst ist und wir in den Atomgewichten ein System von Zahlen besitzen, welches uns über die Gewichtsverhältnisse unserer hypothetisch angenommenen kleinsten Theilchen genügenden Aufschluss gewährt.

Nachdem wir über die Zahlen- und Gewichtsverhältnisse der Atome aufgeklärt sind, können wir zu unserer eigentlichen Aufgabe; der Betrachtung der kleinsten Theilchen selber, übergehen. Sie sind freilich nur hypothetisch aufgestellt, aber aus dem Verhalten der Substanzen können Eigenschaften gefunden werden, welche sie haben müssen, die in Verbindung mit den gefundenen Grundgesetzen gebracht, die Hypothese in ein helleres Licht zu setzen ver-

mögen. Dies ist nicht so zu verstehen, als ob damit nachgewiesen wird, dass die Atome diese oder jene Eigenschaften haben, sondern es ist nur in dem Sinne aufzufassen, dass ihnen, wenn sie überhaupt brauchbar sein sollen, dieselben beigelegt werden müssen. Wir können uns nicht vermessen, das Wesen der Atome unmittelbar zu erkennen und, hiervon ausgehend, die Aussenwelt aufzubauen; wir müssen vielmehr stets von dieser ausgehen und finden in den Atomen nie etwas Anderes, als was wir selber vorher hineingelegt haben. Aber das Streben, zu finden, was wir hineinzulegen haben, um eine völlig ausreichende und richtige Erklärung der Dinge zu erhalten, das heisst, das Wesen der Atome aufsuchen. In diesem Sinne genommen ist es nicht unmöglich, über das Wesen der Atome, wenn sie auch blose wissenschaftliche Fictionen sind, Aufklärung zu erhalten; vielmehr kann man gerade in dem Streben, diese zu suchen, die erste Aufgabe der Chemie erkennen; und in der That sind alle Fortschritte, welche die Chemie gemacht hat, Schritte auf dem Wege zur Lösung dieser Aufgabe. Doch hier tritt dem Fortschreiten das menschliche Erkenntnissvermögen hindernd entgegen. Indem die Eigenschaften der Atome bestimmt werden, hören diese auf, Atome zu sein; an ihre Stelle treten aus ihnen zusammengesetzte Massen, die Molecule, als kleinste zu erkennende Theilchen; und je mehr diese erkannt werden, desto unsicherer wird das Wesen der eigentlichen Atome. Wohl wird noch von diesen gesprochen, und wohl geht der Forscher noch auf sie zurück, aber sie sind ihm nicht mehr ein Bekanntes, ein Vertrautes; und wo sie einmal sich deutlicher zu erkennen geben, da tritt sofort wieder der Zweifel auf, ob mit ihnen wirklich die letzte Stufe erreicht ist, ob hinter ihnen nicht noch eine verborgene Welt kleinerer elementarer Theile liegt.

Gerade die Hypothese des Avogadro war es, die den

Atombegriff schwankend machte und an seine Stelle das Molecul setzte. Nach ihr haben sowohl die zusammengesetzten Gase als auch die einfachen in gleichen Raumtheilen die gleiche Anzahl der kleinsten Theilchen, die ursprünglich bei den Elementen Atome, bei den Verbindungen Molecule genannt wurden. Beim Vergleiche der Volumverhältnisse einfacher und aus diesen zusammengesetzter Gase zeigte sich nun aber die Hypothese nicht gültig. Es verbinden sich z. B. 1 Raumtheil Chlor und 1 Raumtheil Wasserstoff zu 2 Raumtheilen Salzsäure, während doch nur 1 Raumtheil entstehen sollte, da je 1 Atom Chlor und 1 Atom Wasserstoff sich zusammengelegt haben, in der Salzsäure also nicht mehr Molecule vorhanden sein sollten, als im Chlor oder im Wasserstoff Atome. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, nahm Avogadro an, das Atom genannte Wasserstoff- oder Chlortheilchen sei gar nicht ein Atom, sondern ein aus 2 Atomen zusammengesetztes Molecul. Diese Molecule zerfallen, wenn eine Vereinigung beider Elemente zur Verbindung vor sich geht. Ebenso wie für Chlor und Wasserstoff nimmt man die Atome der meisten anderen Elemente als aus zwei oder mehreren Theilchen bestehend, als Molecule, an; nur für das Quecksilber scheint es sichergestellt zu sein, dass sein Molecul aus bloß einem Atome besteht. Die Molecule der Elemente sind, so weit bis jetzt erkannt ist, oder vielmehr so weit bis jetzt nöthig war, anzunehmen, aus einer bestimmt begrenzten und nirgends auch nur annähernd bis ins Unendliche gehenden Anzahl von Atomen zusammengesetzt. Ob aber die Chemie bei dieser ihrer jetzigen Anschauung bleiben und nicht vielleicht noch weiter zurückzugehen sich genöthigt sehen wird, bleibt dahingestellt. Jedenfalls tritt hier die rein praktische Stellung klar hervor, welche die Naturwissenschaft dem Atombegriffe gegenüber einnimmt; sie hat sich nicht gescheut, ihre frühere Definition zu verlassen und an die

Stelle des Atomes das Molecul einzuführen; sie kann daher nichts einwenden, wenn eine Theilung bis ins Unendliche für das Atom als möglich angenommen, wenn das Atom dem Corpusculum des Descartes in dieser Beziehung gleichgestellt wird.

Für die Behauptung, auch die kleinsten Theilchen der Elemente seien Molecule, fand man verschiedene Beweisgründe in der Erfahrung. Nun erklärte es sich, weshalb zwei Elemente, wie Wasserstoff und Sauerstoff, die an sich ein starkes Bestreben zur Vereinigung besitzen, diese erstrebte Vereinigung nicht ohne Weiteres eingehen, sondern dazu des Aufwandes irgend einer Kraft als Unterstützung bedürfen; die Molecule der Elemente müssen zuerst gelöst werden. Auch das merkwürdige Verhalten der Körper im status nascendi fand nun Erleuchtung: Tritt ein Element aus einer Verbindung aus, so werden die einzelnen Atome frei; diese haben das heftigste Bestreben, sich mit irgend einem anderen zu verbinden; daher kommen die bedeutsamen Wirkungen im status nascendi. Clausius kam bei der Erklärung des Ozons zur Avogadro'schen Ansicht. Der gewöhnliche Sauerstoff soll aus 2 Atomen gebildete Molecule besitzen, ein Theil dieser kann durch verschiedene Mittel zerlegt werden; die so frei gewordenen Atome bilden das Ozon. Ursprünglich nahm Clausius an, die Atome blieben frei; da jedoch genauere Beobachtungen lehrten, dass der Rauminhalt des Sauerstoffes bei der Bildung von Ozon abnehme, so kam er zu der wesentlich gleichen Behauptung, dass die freien Atome sich an die Molecule des gewöhnlichen Sauerstoffes anheften, das Ozon also Molecule habe, die aus 3 Atomen bestehen. Auch das Verlaufen der Dampfdichten mancher Körper, wie des Schwefels, bei der Erhitzung verlangt die Annahme eines Zerfallens in mehrere Theile, ähnlich wie dies bei der Dissociation geschieht; dies schliesst die Voraussetzung ein, dass die ursprünglich als kleinsten angenommenen

Theilchen dieser Körper aus mehreren Bestandtheilen zusammengesetzt waren.

Eine nun sich hervordrängende Frage ist die, woher den Atomen das Bestreben, sich zu Moleculen zu vereinigen, komme, worin also überhaupt der Grund für das Zustandekommen chemischer Verbindungen zu suchen sei. Diese Frage selbst wird auf eine Kraft, die chemische Affinität, zurückgeschoben, welche den Atomen beigelegt wird; diese Kraft ist jedenfalls eine anziehende; sie genauer zu bestimmen, ist aber bei der Fülle der hierher gehörigen Thatsachen noch nicht gelungen, und wird auch diese Aufgabe schwerlich bald, wenn überhaupt je, eine vollständige Lösung finden. Doch wenn nicht überhaupt die chemische Affinität ergründet ist, so findet sich schon manches über die Art ihrer Wirkung.

Ein Atom verbindet sich nicht immer mit nur einem, sondern häufig legen sich an das eine zwei, drei und mehr andere an. Die Zusammenstellung und Vergleichung dieser Fälle führte zu dem Resultat, dass eine solche Verbindung eines Atomes mit einem oder mehreren andern nicht beliebig, sondern ganz geregelt vor sich gehe; eine Gruppe von Elementen, zu denen z. B. Wasserstoff und Chlor gehören, hat nur und stets die Eigenschaft, ein Atom ihrer eigenen Gruppe zu halten; die Atome einer zweiten Gruppe, wie Sauerstoff und Schwefel, können zwei der ersten, eines ihrer eigenen, die der dritten, wie der Stickstoff, drei Atome der ersten oder je ein Atom der ersten und zweiten oder endlich eines der dritten Gruppe fassen. Und so kam man zur Aufstellung von anfangs drei, dann vier, endlich von sechs Gruppen von Elementen, von denen jedoch nur die vier ersten eine höhere, in der Erfahrung fest begründete Bedeutung haben. Für die Verbindungen nach diesen Gruppen wurden Typen aufgestellt, für die vier ersten der Typus der Salzsäure, des Wassers, des Ammoniaks und des Grubengases.

Das ganze Streben der neueren Chemie charakterisirt sich darin, dass sie die Erklärung ihrer Vorgänge zu einem anschaulichen Bilde zu gestalten sucht; bei der Typentheorie tritt dies besonders stark hervor. Hier nahm sie an, jedes Atom besitze Anziehungskräfte, die aber bei den verschiedenen nach Einheiten ungleich vertheilt sind; die Elemente der ersten Gruppe sollen nur eine anziehende Einheit besitzen, die der zweiten deren zwei u. s. f. Diese Einheiten denkt man sich als Anziehungspunkte, Affinitätspunkte, auf den Atomen vertheilt und die chemische Verbindung dadurch zu Stande gebracht, dass die Affinitätspunkte sich aneinander legen; die anziehende Kraft eines Atomes ist erschöpft, wenn alle diese Punkte besetzt sind. In dieser Art kann sich der Chemiker ein anschauliches Bild von einer Verbindung machen; er bezeichnet die Atome durch Kreise oder andere beliebige Figuren, an welchen er die Affinitätspunkte durch Striche feststellt; diese Letzteren werden zusammengelegt, und so lange sind neue Atome hinzuzufügen, als noch Striche frei sind, und eine Verbindung ist erst dann vollendet und in sich abgeschlossen, wenn alle Striche besetzt sind. Es ist wie mit den Gliedern einer Kette, wie diese in einander greifen, so haftet jedes Atom an dem vorhergehenden, und an ihm hängt das folgende; und kein Glied kann entfernt werden, ohne dass die ganze Kette zerreisst.

Der Wirklichkeit entspricht dies Bild schwerlich; auch wird es stets bloß als ein Verfahren hervorgehoben, die chemischen Vorgänge anschaulich zu machen; Niemand verhehlt sich, dass die eigentliche Hauptfrage, wie und weshalb die Anziehung bewirkt werde, warum das eine Atom so viele, das andere so viele zu halten vermöge, durch dies Verfahren seiner Beantwortung auch nicht um einen Schritt näher gebracht ist.

Einen ganz besonderen Nutzen hat dies Verfahren dadurch gehabt, dass durch dasselbe diejenigen Zusammen-

stellungen, die bei einer gegebenen Anzahl von Atomen überhaupt möglich sind, sich leicht auffinden lassen, und die unmöglichen ausgeschlossen werden können, und zwar auf rein combinatorischem Wege. Es werden die verschiedenen Atome nach der Zahl ihrer Affinitätspunkte in die bekannten 6 Gruppen zusammengestellt; das Atom der ersten Gruppe entspricht einem einfachen Kettengliede, das der zweiten einem doppelten u. s. f. Die Erfahrung giebt die Atome, welche sich überhaupt vereinigen, und durch Aufstellung der unter ihnen möglichen Combinationen findet man leicht die aus ihnen zu bildenden Verbindungen. Darin liegt gerade der Werth dieses Verfahrens für die Weiterentwicklung der Chemie, denn es hielt von Verirrungen bei der Erklärung gefundener Thatsachen ab, es gab eine Correctur für die bereits gebildeten chemischen Formeln und diente endlich zur Auffindung neuer Verbindungen, indem es die Constitution der möglichen, auch der bis dahin unbekanntem angab.

Eines tritt bei dieser Anschauung noch deutlich zu Tage; es giebt verschiedene Formen, unter denen sich die Atome zusammenlegen lassen. Diese Möglichkeit verschiedener Combinationen unter den gleichen Elementen macht die Bestimmung der wahren Constitution mancher Verbindungen zu einer höchst schwierigen Aufgabe, die aber häufig dadurch ihre Lösung findet, dass eine verschiedene Lagerung der Atome einen Einfluss auf die äussere Erscheinung der Verbindung ausüben muss. Wie die Baumwolle bald als Wolle, bald als Garn, bald als Papier gebildet ist, so müssen bei verschiedener Lagerung der Atome die Verbindungen gleicher Zusammensetzung ungleiche äussere Eigenschaften zeigen. Umgekehrt kann bei ungleichen Bestandtheilen die Lagerung die nämliche sein; dann müssen wenigstens gewisse Eigenschaften, wie namentlich die Gestalt trotz der inneren Verschiedenheit gleich sein. Für Beides giebt die Erfahrung so viele Fälle,

dass die für sie eingeführten Namen der Isomerie und des Isomorphismus ganz bekannte sind. Insofern als es durch Hervorheben der bei ihnen auftretenden gleichen Eigenschaften häufig gelingt, unter den möglichen Formen die wirklich bestehenden herauszufinden, hat man in diesen Erscheinungen wichtige Schlüssel für die inneren Verhältnisse der Körper entdeckt, wenn sie auch im Uebrigen theoretisch weiter nichts Wichtiges bieten, als dass sie eben die Möglichkeit einer verschiedenen Zusammenstellung der Atome durch Thatsachen beweisen; eine Möglichkeit, die auch für die Atome eines einzigen Elementes vorhanden sein muss, wie es die verschiedenen Modificationen des Schwefels und anderer Elemente beweisen.

Auf die Schwierigkeiten, welche der neueren chemischen Theorie noch im Wege stehen, einzugehen, ist hier nicht der Ort, uns genügt die Grundzüge angegeben zu haben, nach denen die atomistische Theorie sich durch die Chemie ausbilden konnte. Der Chemie sind die Atome zu Bausteinen geworden, aus denen sie die Gebäude ihrer Verbindungen mit derselben Leichtigkeit zusammensetzt, wie ein Baumeister aus Steinen sein stattliches Haus. Doch wie in einem Hause der einzelne Baustein verschwindet und an Bedeutung dem Ganzen gegenüber verloren hat, so auch hier; das Atom ist nichts mehr als der Baustein; es wird selbst keiner näheren Betrachtung mehr unterzogen; ausser einem Gewichte werden ihm keine anderen Eigenschaften zugeschrieben, als sich mit diesem oder jenem, mit so oder so vielen anderen zu einem Molecule vereinigen zu können. Erst das Gebäude, das Molecule, wird näher bestimmt. So sind wir sogar über die Form und Gestalt der Atome im Dunklen, ob alle die gleiche Gestalt oder eine gleiche Grösse haben, oder ob sie sich irgendwie äusserlich unterscheiden, wir wissen es nicht. Ein Anderes ist es mit dem Molecule, dessen Gestalt und Grösse suchen wir zu bestimmen. Auf die Mittel für die

Größenbestimmung können wir hier nicht näher eingehen; auf die Gestalt der Molecule schliesst sie aus der Krystallform der Körper. Diese scheint die Lage des stabilsten Gleichgewichtes für die Molecule zu sein; wenigstens suchen sie, sich selbst überlassen, in dieselbe überzugehen und gezwungen, eine andere Lage anzunehmen, benutzen sie die erste sich bietende Gelegenheit, aus dieser herauszutreten. Eine Lage des stabilsten Gleichgewichtes giebt es nur bei bestimmt geformter Gestalt der Körper. So weit die Untersuchungen reichen, bis in die feinsten microscopischen Beobachtungen hinein findet man bei einer Substanz überall dieselbe Krystallform und nimmt diese Form auch für die Gestalt der Molecule an.

Descartes hatte zwei Ordnungen der Materie, die eigentlichen Corpuscula als erste und den von ihnen abgeriebenen Staub als zweite Ordnung. Auch auf diese Annahme ist die Physik zurückgekommen, sie stellt neben die Materie den Aether, der die zwischen den Atomen und Moleculen bestehenden Zwischenräume ausfüllen soll. Sie bezeichnet ihn freilich als Aether und stellt ihn als solchen der eigentlichen Materie scharf gegenüber, läugnet auch wohl seine materielle Beschaffenheit überhaupt, aber indem sie ihm Kräfte beilegt, macht sie ihn doch zu einer Art von Materie, denn jedes Etwas, welches der Träger von Kräften ist, bezeichnen wir als Stoff und mit Berücksichtigung der in ihm wirksamen Kräfte als Materie. Wir haben hier eine Materie zweiter Ordnung, die ebenso wie die erster Ordnung aus Atomen zusammengesetzt gedacht wird. Auf die nähere Beschaffenheit dieser Atome weiter einzugehen, fand die Physik noch keine Veranlassung, sie blieb daher bei ihnen stehen und kam hier nicht zur Aufstellung von Moleculen.

Als aus Atomen bestehend kann und soll der Aether den Raum zwischen der Materie erster Ordnung nicht völlig ausfüllen, sondern muss noch Lücken bestehen lassen.

Auf die Art und Möglichkeit der Ausfüllung dieser geht die Physik nicht mehr ein, sie sagt gemeinhin, der Raum zwischen den Aethertheilchen sei völlig leer, versteht aber hierunter in ihrem Sinne, sie vermag keine Wirkung nachzuweisen, welche aus diesem Raume auf die Materie ausgeübt wird, und welche zur Aufstellung einer Materie dritter Ordnung nöthigte. Trotzdem kann die Physik nicht läugnen, dass eine noch feiner vertheilte Materie möglich ist; diese könnte continuirlich zusammenhängend oder ebenso wie die der höheren Ordnungen vertheilt gedacht werden. Im ersteren Falle wäre mit ihr ein Abschluss erreicht, wenn sich ihm nicht wieder andere Schwierigkeiten entgegenstellen würden; im anderen kämen wir auf die Schwierigkeit eines unendlichen Fortganges, hier zu immer feinerer Materie, auf welche die Physik sich nicht einlassen kann, und die sie deshalb umgeht, indem sie bei dem Aether anhält.

Da er hauptsächlich als Vermittler gewisser Bewegungen in die Physik Eingang fand, so brauchten wesentliche positive Bestimmungen über seine substantielle Beschaffenheit nicht gemacht zu werden, abgesehen von der, dass seine Atome im Verhältniss zu den materiellen ausserordentlich klein sein müssen. Eines aber ist hier hervorzuheben. Da er den gesammten freien Zwischenraum, den die eigentliche Materie bestehen lässt, ausfüllen soll, so ist zu erklären, warum er die Bewegungen der Himmelskörper nicht aufhält, welches er doch thun müsste, wenn er irgend einen Widerstand auf sie ausüben könnte. Während man früher dieserhalb wohl die Behauptung aufstellte, dass der Aether, ohne messbaren Widerstand zu leisten, sich aus seiner Lage verdrängen lasse, oder aber dass er die in allen Körpern vorhandenen Zwischenräume, ohne auf erheblichen Widerstand zu stossen, durchfliessen könne, ist man in neuerer Zeit zu anderen Ansichten gekommen, seitdem man sich, namentlich mit Rücksicht auf den Lauf

des Encke'schen Kometen, der Ansicht nicht mehr verschliessen konnte, dass nicht alle Himmelskörper sich frei bewegen, sondern dass die unregelmässig kreisenden sich so verhalten, als ob sie in einem widerstrebenden Mittel fortschreiten. Man musste zugestehen, dass der Aether ein widerstehendes Mittel sei und suchte und fand bald den Grund, weshalb die Planeten unbeeinflusst bleiben, in einer eigenen Bewegung des Aethers. Wie nämlich die Gestirne die Sonne umkreisen, so sollen es auch die Aethertheilchen thun; die Planeten schwimmen also gleichsam in einem Mittel, welches mit ihnen fortschreitet, und dabei können sie natürlicher Weise von diesem nicht aufgehalten werden, mag seine Widerstandsfähigkeit im Uebrigen so gross sein, wie sie wolle. Ob diese Bewegung des Aethers mit der planetarischen zugleich entstanden ist, oder ob sie erst durch die Planeten hervorgebracht wurde, die gegen den Aether stossend diesen mit sich fortrissen, mag hier unerörtert bleiben und darf es, als in das unmittelbare Bereich der physikalischen Hypothese nicht gehörend. Ebenso dürfen wir hier eingehendere Fragen nach der Art der Bewegung der Aethertheilchen vermeiden und es unentschieden lassen, ob sie sich genau den Bahnen der Planeten entsprechend bewegen, oder ob dies nur für die grössere Mehrzahl derselben gilt, während einzelne von dem regelmässigen Verhalten völlig abweichen können. Auch alle die Folgerungen, die aus dieser Annahme eines die Sonne umkreisenden Aethers etwa zu ziehen sind, müssen unberührt gelassen werden, wengleich nicht zu läugnen ist, dass sie vielleicht einmal grossen Einfluss auf die Anschauungen der Physik erlangen und möglicher Weise die bestehenden Hypothesen durchaus umgestalten können.

Von den an der Materie und zwischen ihren Theilen wirksamen Kräfte wurden die chemischen, die der Affinität, erwähnt, und dabei wurde von ihnen gesagt, dass sich

über sie eigentlich noch nichts sagen liesse. Von den Atomen gelangten wir zu den Moleculen, die in ihrer Verbindung die Körperwelt bilden sollen. Die zwischen ihnen thätigen Kräfte sind nun einer näheren Betrachtung zu unterziehen, und über ihr Wesen sind nähere Bestimmungen aufzusuchen. Zu diesem Zwecke sind die Veränderungen, welche die Molecule erleiden können, zu untersuchen. Da die Molecule bloß chemisch zu zerlegen, den physischen Kräften gegenüber also absolut fest sind, so sind die einzigen Veränderungen, die hier möglich sind, Bewegungen und die sie hervorbringenden Kräfte bewegende.

Eine mathematische Bestimmung der Kräfte erfordert die Messung der durch sie bewirkten Bewegungen; solche Messungen sind, da die Molecule selbst nicht zu fassen sind, unausführbar; daher kann die Bestimmung der Molecularkräfte nicht eine mathematisch genaue werden, sondern sie muss eine allgemeine, namentlich auf die Art der Wirkung bezügliche bleiben. Eine Folge dieses Verhaltens ist die, dass noch ebenso viele verschiedene Kräfte vorausgesetzt werden müssen, als sich der Art nach verschiedene Molecularerscheinungen erkennen lassen. Von einer Zurückführung dieser Kräfte auf eine einzige Grundkraft, wie es mit den die Bewegungen der Himmelskörper bedingenden der Fall ist, die sich als Formen einer Grundkraft, der Gravitation, ergeben haben, ist noch nicht die Rede gewesen. Die eigentliche Aufgabe der Physik, alle zusammengehörigen Erscheinungsformen auf eine einzige Ursache, auf eine Kraft, zurückzuführen, ist also nicht gelöst; es wird hier noch für jede Erscheinung eine besondere, eigene Ursache angenommen. Dennoch kann hier der Erklärung nicht der Vorwurf gemacht werden, dass sie, indem sie für die unerkannten molecularen Erscheinungen in bewegenden Kräften ebenso viele unbekannte Ursachen zu Grunde legt, weiter nichts thue, als ganz

nutzloser Weise das eine Unerkannte durch ein anderes, ebenso Unbekanntes auszudrücken; vielmehr liegt hier ein bedeutender Vortheil. Indem die Molecularkräfte als blosse Bewegungskräfte angesehen werden, reihen sie sich erkannten Kräften an und können nach dem für jene gültigen Masse gemessen werden. Ausserdem wird dadurch um sämtliche Molecularerscheinungen ein gemeinsames Band geschlungen, ein Band, welches sie unter einander und zugleich mit den nicht molecularen Bewegungsercheinungen vergleichbar macht. Wenn aber die Möglichkeit einer solchen Vergleichung gegeben ist, so liegt darin die Hoffnung, dass es einmal gelingen wird, sie zu verwirklichen; mit dieser Verwirklichung aber folgt die Lösung der Aufgabe, die Zurückführung sämtlicher Molecularerscheinungen auf eine gemeinsame Ursache, auf eine einzige bewegende Kraft, die ihnen allen in gleicher Weise zu Grunde liegt.

Die folgende Betrachtung kann nicht auf alle Erscheinungen eingehen, sie wird daher nicht alle einzelnen Molecularkräfte berücksichtigen, sondern hauptsächlich nur diejenigen hervorheben, welche als nothwendige Ergänzungen zu der Hypothese über das Wesen der Materie heranzuziehen sind.

Kant sagt in seinen „metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“, dass zur Bildung der Materie überhaupt zwei Kräfte, eine anziehende und eine abstossende, erforderlich sind. Die Physik geht von der schon gebildeten Materie aus, sie vernachlässigt daher die Kräfte, welche Kant meint, wenn er von der Bildung der Materie spricht. Sie könnte wohl versucht sein, weiter zu gehen, denn es ist allerdings nicht undenkbar, dass jede Eigenschaft der Materie auf Kräfte zurückführbar sei; in Wirklichkeit aber muss immer ein Etwas, der Stoff, übrig bleiben, an dem diese Kräfte sich wirksam erweisen. Will man den letzten Schritt thun, will man die letzte Eigenschaft des

Stoffes aus einer Kraft ableiten, so kömmt man zu einem Nichts und in diesem zu unlöslichen Widersprüchen. Es ist ein Anhalt vor dem letzten Schritte geboten; und diesen soll der Stoff gewähren. Will man diesem irgend eine reale Existenz zuschreiben, ihn als ein Anderes, als das bloße Nichts, und als ein Anderes, als die Kraft auffassen, so ist dies wohl nur möglich, indem man ihm eine räumliche Existenz, ein räumliches Ausgedehntsein beilegt. Freilich kann man mit Kant dies räumliche Ausgedehntsein wieder auf anziehende und abstossende Kräfte zurückführen; aber indem man dies thut, kömmt man eben auf das unsagbare, unnennbare Nichts, das vermieden werden sollte. Die Physik handelt daher ganz recht, wenn sie hier vor einem Unerklärten stehen bleibt und als Letztes die Atome oder Molecule annimmt. Indem sie aber aus diesen die Körper mit Berücksichtigung der Eigenschaften, welche sie an ihnen wahrnimmt, aufzubauen versucht, kömmt auch sie auf zwei durchaus nothwendige Kräfte. In dem Widerstande, welchen jeder Körper nicht nur dem Zerreißen, sondern auch dem Zusammenpressen entgegenstellt, liegt die Nöthigung zur Voraussetzung anziehender und abstossender Kräfte. Indem die Physik das Auseinanderreißen als Entfernung der Molecule, das Zusammenpressen als Annäherung derselben auffasst, sieht sie sich genöthigt, diese Kräfte in die Molecule zu verlegen.

Diese anziehenden und abstossenden Kräfte dürfen jedenfalls nicht gleich sein, denn wären sie es, so würden sie nach dem bekannten Gesetze ihre Wirkungen gegenseitig vernichten. Sie dürfen aber auch nicht gleichartig sein, denn in diesem Falle würden sie sich zu einer einzigen zusammensetzen, indem die Wirkung der kleineren durch einen entsprechenden Theil der grösseren aufgehoben würde und der Rest dieser allein zur Ausführung käme. Eine solche Wirkung aber machte die Bildung der Körperwelt überhaupt unmöglich. Wäre die anziehende Kraft die

grössere, so würden durch sie sämtliche Molecule bis zur unmittelbaren Berührung zusammengezogen werden; die gesammte Materie würde im einen Ballen vereint; ein Fall, welcher der Wirklichkeit durchaus widerspricht. Käme aber allein ein Theil der abstossenden Kraft, als der grösseren zweier gleichartigen Kräfte zur Wirkung, so würden durch diese die Molecule aus einander gerissen, und die Bildung einer Körperwelt würde überhaupt unmöglich sein.

Es müssen die beiden Kräfte der Art nach verschieden sein; wie jede von ihnen beschaffen sein muss, und worin ihre Verschiedenheit beruht, ergibt sich leicht. Eine messbare Wirkung der Kräfte tritt erst ein, wenn die Theilchen über eine gewisse Grenze hinaus sich genähert haben; vor dieser ist weder eine Anziehung noch eine Abstossung zu bemerken. Sind die Abstände klein genug geworden, so haften die Theilchen an einander, es wirkt die anziehende Kraft. Diese hat einen gewissen, von der Substanz abhängigen, Spielraum ihrer Wirksamkeit; werden die Theilchen innerhalb desselben aus einander gerissen, so kehren sie, sobald der Zug aufhört, in die frühere Lage zurück. Soll aber der Körper über eine gewisse Grenze hinaus zusammengepresst, soll also eine grössere Annäherung der Theilchen bewirkt werden, so widerstehen sie, und zwar um so mehr, je näher sie zusammengedrängt sind. Hört der Druck auf, so nehmen die Theilchen, wenigstens wenn der Druck eine gewisse Grenze nicht überschritten hat, ihre ursprüngliche Lage wieder ein.

Nach dem Gesagten lässt sich Folgendes für die anziehenden und abstossenden Molecularkräfte festsetzen: Beide hängen von der Entfernung der Molecule ab, und zwar in solcher Weise, dass ihre Wirkung erst bei sehr kleinen Abständen eine messbare wird; die anziehende erweist sich jedoch bei grösseren Abständen thätig, als die abstossende. Will man das Verhältniss sich anschaulich machen, so denkt man jedes Molecul von zwei concentrischen

Kugeln umgeben; im Bereiche der äusseren Kugelschicht hat die anziehende, im Bereiche der inneren Kugel die abstossende Kraft das Uebergewicht. Die Grenze dieser beiden Wirkungssphären bildet die Lage des beständigsten Gleichgewichtes, welche einzunehmen die Theilchen ohne die Einwirkung äusserer Kräfte stets bestrebt sind.

Nach dieser Annahme werden den Moleculen zwei verschiedenartige Kräfte zugleich zugeschrieben. Das aber hat immer sein Bedenkliches. Es ist hier nicht der Ort, auf das Verhältniss zwischen Stoff und Kraft einzugehen und die dabei sich erhebenden Schwierigkeiten zu erörtern. Nimmt man beide als wirklich gegeben, im Uebrigen ihrem Wesen nach als unerklärbar hin, so darf man sie doch nicht völlig selbstständig und unabhängig von einander denken, vielmehr muss man sie in irgend einen Zusammenhang mit einander zu bringen suchen.

Die Physik pflegt freilich von der Kraft eines einzelnen Elementes zu sprechen und diese als eine ihm beständig anhaftende Eigenschaft darzustellen, genau genommen meint sie aber nur, dass ein Element, so oft es mit einem oder mehreren anderen in Wechselwirkung tritt, seiner Natur entsprechende Kraftwirkungen äussert, welche mit den äusseren Verhältnissen sich ändern, aber stets dieselben bleiben, so lange jene die nämlichen sind; es hängen die Kraftwirkungen jedes Elementes ausser von seiner eigenen Natur von den Beziehungen ab, in welchen es zu einem oder mehreren anderen steht; doch ist diese Abhängigkeit keine willkürliche, regellose, sondern eine nach ganz bestimmten Gesetzen geordnete. Da ein Gesetz immer im gleichen Sinne gelten soll, so ist schwer zu denken, wie trotzdem zwei Elemente es anfangen, zuerst bei der Annäherung anziehende Kräfte auf einander auszuüben, nachher aber, sobald eine bestimmte Grenze des Abstandes überschritten ist, diese in abstossende umzuwandeln. Bei fortgesetzter Verminderung des Ab-

standes ändern sich die Beziehungen, in welchem beide Elemente zu einander stehen, immer in demselben Sinne; wenn aber im Anfange diesem beständig die gleiche Veränderung der Kraftwirkung entspricht, so ist das Natürlichste, anzunehmen, dass dies Verhalten auch bis zum Ende durchgeführt werde und nicht gelegentlich einem anderen Platz mache; und jede Ansicht, welche das Gegentheil behauptet, wird sich der Gefahr aussetzen, das ewig gleiche Gesetz in eine schwankende Regel umgewandelt und diese als Abbild der starren und unabänderlichen Wirklichkeit hingestellt zu haben.

Aus diesem Dilemma führt ein einfacher Ausweg; er ist in dem Aether gegeben. Ueber die an ihm thätigen Kräfte wurde noch nichts gesagt; Kräfte aber muss er jedenfalls haben, die sowohl zwischen seinen Theilchen, als auch zwischen diesen und den Moleculen wirksam sind. Und diese Kräfte sind es grade, welche die Annahme zweier ungleichartigen Kräfte an demselben Theilchen zu beseitigen vermögen.

Jedenfalls dürfen die Aethertheilchen sich nicht gegenseitig anziehen, denn thäten sie das, so würden sie sich ebenso wie die Molecule in gewisse Haufen zusammenballen; dies aber widerspräche der Annahme ihrer gleichmässigen Ausbreitung. Es können zwischen den Aethertheilchen bloß abstossende Kräfte wirksam sein. Dass diese die Aethertheilchen zerstreuen, ist kein Grund gegen ihre Annahme, da der gesammte Raum zwischen der eigentlichen Materie gleichmässig mit Aether erfüllt gedacht wird; im Gegentheil ist diese gleichmässige Erfüllung des Raumes nur möglich, wenn die Aethertheilchen sich gegenseitig abstossen und dadurch nach allen Richtungen gleichmässig verbreitet werden. Es tritt uns hier freilich die eine Schwierigkeit entgegen: Wenn bloß Abstossung da ist, so müssen die Aethertheilchen sich über den ganzen unendlichen Raum verbreiten, und bei einem unendlichen

Raume kann die Vertheilung auch zeitlich nie ein Ende erreichen. Das aber fasst keine Vorstellung. Wir können freilich als Gegenstück die Unendlichkeit des Aethers aufstellen, fügen dadurch aber zu dem einen Unverstandenen das andere und erhalten keine befriedigende Lösung. Doch bei der Voraussetzung einer endlichen Aethermenge findet sich eine solche. Es fällt die unklare Vorstellung, dass die Aethertheilchen ruhelos umherschweifen, eine gleichmässige Ausbreitung im unendlichen Raume suchend, ohne aber im Stande zu sein, diese je zu erreichen; das Aethertheilchen kann sehr wohl an einem bestimmten Platze festgehalten werden, wenn nämlich auf dasselbe nur von irgend einer Seite her anziehende Kräfte ausgeübt werden; mögen diese noch so gering sein, sie setzen der Bewegung und Zerstreung des Aethers eine endliche Schranke.

Anziehende Kräfte müssen zwischen den Aethertheilchen und den Moleculen bestehen, denn, wenn die Annahme des Aethers überhaupt eine Bedeutung haben soll, so muss er mit der Materie durch Kräfte in Verbindung gebracht werden, die von den Moleculen auf seine Theilchen ausgeübt werden. Wenn aber die Molecule auf andere Theilchen anziehende Kräfte ausüben, so müssen sie dies auch gegen den Aether thun, weil ihnen andererseits anziehende und abstossende Kräfte zugleich beigelegt würden, welches, wie schon gesagt, eine bedenkliche Annahme ist. Andererseits ist dem entgegenzustellen; wenn der Aether überhaupt abstossende Kräfte ausübt, so muss er diese auch gegen die Molecule wenden. Indem jedoch diese Letzteren gegen den Aether, als die Materie zweiter Ordnung, durchaus überwiegend angenommen werden, muss die Anziehung überwiegen, und die zugleich vorhandene Abstossung bewirkt wesentlich nur ein festeres Zusammenpressen der Atome im Molecul.

Wenn sich die Anziehung eines Molecules auch auf alle Aethertheilchen erstreckt, so wird sich ihretwegen der

gesamte Aether doch nicht um die Körpertheilchen zusammenlegen müssen, die Folge wird nur die Bildung einer Sphäre verdichteten Aethers um jedes Molecul sein. Jedenfalls legen sich so lange Aethertheilchen neben Aethertheilchen an das Molecul, bis dasselbe völlig bedeckt ist; die so gelagerten Aethertheilchen üben auf die sich wegen der Anziehung des Molecules ferner herandrängenden eine abstossende Kraft aus, die möglicher Weise schon ausreicht, um eine weitere Ablagerung zu verhindern. Ist sie noch schwächer als die anziehende Kraft, so schwächt sie diese wenigstens; die folgenden Aethertheilchen müssen sich in einer zweiten Schicht lagern, die um so weniger dicht ist, als auch die anziehende Wirkung des Moleculs auf diese wegen ihres grösseren Abstandes eine geringere ist, als in der ersten Schicht. Kann sich noch eine dritte Schicht ablagern, so wird diese wieder weniger dicht sein; so hört bald eine weitere Ablagerung auf und die durchschnittliche Dichte des Aethers im Weltraume stellt sich her. Da dieser Punkt bald erreicht sein muss, so bildet sich eine nur wenig umfangreiche Hülle von Aether um jedes Molecul; diese Hülle kann als zu diesem unmittelbar gehörig betrachtet werden; sie haftet an ihm und bleibt in ihrer Stärke stets bestehen; mag auch unter Umständen ein Verlust ihrer Theilchen stattfinden, an die Stelle der verlorenen treten andere, sobald dies wegen der übrigen Verhältnisse überhaupt geschehen kann; wenn aber aus irgend einem Grunde ein Ueberschuss sich eingestellt hat, so wird dieser so bald als möglich wieder abgegeben; und so wird die Hülle immer wieder bald zu ihrer früheren Gestalt ergänzt. Der übrige Aether kann insofern als frei betrachtet werden, als er nicht absolut von der Materie festgehalten wird, sondern sich innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von ihr bewegen kann. Aber wie jede Kraft ohne Grenzen wirkend gedacht werden muss, so auch hier die anziehende; völlig kann sich von ihr der Aether nie

frei machen; immer bleibt er durch sie in beständiger Verbindung mit der Materie, und soweit diese eine feste Lage hat, ist auch er gebunden.

Bei der Annahme, dass die Molecule mit einer nach Aussen dünner werdenden Aetherhülle umgeben sind, kann die abstossende Kraft, welche zuvor den Moleculen selber zugeschrieben wurde, in die Aetherhüllen verlegt werden, und ist dadurch das Bedenken gehoben, dass demselben Dinge ungleiche Kräfte beigelegt wurden. Bei der Annäherung zweier Molecule wird der sie umgebende Aether zusammengedrückt, seine abstossenden Kräfte wachsen dabei und bringen einen Widerstand hervor, der schliesslich gross genug ist, eine weitere Annäherung zu verhindern.

Von Interesse ist es, noch einen Blick darauf zu werfen, nach welchem Gesetze die Anziehung der Molecule und die Abstossung der Aethertheilchen erfolgen mag. Die Anziehung ist jedenfalls auf die bekannte Kraft der Gravitation, welche als die Resultante sämmtlicher Molecularanziehungen aufgefasst werden kann, zurückzuführen. Da aber diese der Masse der Körper direct, dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, so muss sich dieser Factor auch in der molecularen Anziehung finden. Wenn allerdings diese Letztere eine ausserordentlich grosse ist, so ist es möglich, dass sie einer Formel folgt, die sich aus einer Summe zusammensetzt, deren erstes Glied dem Quadrate, deren folgende Glieder so hohen Potenzen der Entfernung umgekehrt proportional sind, dass ihr Einfluss bei messbaren Abständen ein unmerklicher wird. Die Abstossung des Aethers macht grössere Schwierigkeiten; jedenfalls wird sie von einer höheren als der zweiten Potenz der Entfernung abhängig sein; welches aber diese Potenz sei, ist mit Sicherheit nicht zu ergründen. Neuerdings kam Briot bei der Betrachtung der Krystalle und durch theoretische Schlüsse geführt zu der Folgerung, dass die Molecule des Aethers

sich gegenseitig im umgekehrten Verhältniss der sechsten Potenz der Entfernung abstossen, während dagegen die einseitige Wirkung des ponderablen auf die Aethermoleculc dem Newton'schen Gesetze conform ist.

Die beiden betrachteten Kräfte, die anziehende und die abstossende, sind zum Aufbau eines Körpers aus seinen Moleculen durchaus erforderlich; sollen daher die verschiedenen Molecularkräfte auf eine einzige Grundkraft zurückgeführt werden, so müssen sie sich auf diese stützen, und sämtliche Versuche müssen auf sie zurückführen. Die Verwirklichung einer solchen Zurückführung aber liegt noch weit ab, noch erscheinen uns die übrigen Molecularkräfte, welche wir wirksam sehen, so merkwürdiger Natur und so sehr dem Spiel des Zufalls unterworfen oder, besser gesagt, in solcher Weise von dem noch unerkannten Wesen und den unerklärlichen Unterschieden der Substanzen abhängig, dass uns eine Zusammenfassung unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt durchaus noch nicht möglich erscheinen will.

Nur ein Princip ist hier erkannt und wird sicherlich von bedeutsamen Folgen sein, es ist das einer eigenen Bewegung der Moleculc. Wie bei der Berechnung der Bahnen der Himmelskörper eine eigene, ursprüngliche Bewegung derselben zu Grunde gelegt wurde, und erst mit dieser die Rechnungen einen befriedigenden Abschluss erreichen konnten, so mag es auch hier sein; auch hier mag die Eigenbewegung der Moleculc das unbekannte Wirkende sein, und Alles mag sich aufklären, wenn sich diese bis in ihre letzten Bahnen verfolgen lässt. Aber so weit sind wir noch nicht gekommen, geringe, aber dennoch höchst bedeutsame Anfänge sind erst aufgefunden, auf die wir später noch zurückkommen und näher eingehen müssen.

Auf die Annahme einer eigenen Bewegung der kleinsten Körpertheilchen kam schon das Alterthum; schon die Epikuräer nehmen sie an und suchen ihre Annahme

weiter auszubilden; und im Verlaufe der neueren Naturwissenschaft finden wir vom ersten Anfange an das Bestreben immer wiederkehren, die Art der Bewegungen der Molecule nachzuweisen; Clausius führt in seiner Abhandlung über die Natur der Gase eine ganze Reihe von Schriftstellern an, die vor ihm diese Versuche gemacht haben. Hierzu führt namentlich die Lehre von der Wärme. Aus dieser nehmen wir eine Erscheinung der Materie heraus, die bis jetzt unberücksichtigt blieb, ihr Auftreten in verschiedenen Aggregatformen. Auf diese Erscheinung muss eine Hypothese über das Wesen der Materie Rücksicht nehmen; sie muss die Möglichkeit erklären, wie derselbe Körper als fest, flüssig und luftförmig sich darstellen kann.

Während die Theilchen der festen Körper sich weder mit Leichtigkeit zusammendrängen, noch verschieben und auseinanderreißen lassen, widerstehen die flüssigen Körper nur dem Drucke in beträchtlichem Masse. Die luftförmigen Körper setzen der Trennung ihrer Theilchen gar keinen Widerstand entgegen, im Gegentheil streben sie sich immer mehr auszubreiten und erfüllen daher jeden Raum völlig, indem sie sich seiner Grösse entsprechend vertheilen. Dem Drucke setzen sie einen Widerstand entgegen; dieser ist jedoch veränderlich, er wächst mit dem Drucke und ist ihm, wenigstens innerhalb bestimmter Grenzen, direct proportional.

Man könnte versucht sein, die drei Aggregatzustände dadurch aus der Hypothese über die Materie herzuleiten, dass man die Molecule der festen Körper einander näher liegen lässt, als die der flüssigen, und diese wieder näher als die der gasförmigen Körper. Aber weder die Eigenschaften der flüssigen, noch die der gasförmigen Körper können dabei eine befriedigende Aufklärung finden. Ein Anderes ist es mit der Bewegung. Sehen wir hier von den später zu erörternden Erscheinungen der Wärme ab,

so liegt schon in dem Uebergange aus dem einen Aggregatzustand in den anderen der Grund für eine Bewegung der Molecule, denn das Uebergehen lässt sich nur durch eine Umstellung derselben erklären. Namentlich müssen hier die Fälle hervorgehoben werden, welche die grössten Schwierigkeiten bieten; es sind die, bei denen die Materie in dem festen Zustande einen grösseren Raum einnimmt als in dem flüssigen. Dies ist nur bei einer vollständigen Umstellung der Molecule erklärlich, die Tyndall für das Eis als derart vorhanden nachweist, dass die Molecule sich so anordnen, dass zwischen einer bestimmten Anzahl von ihnen je ein freier, luftleerer Raum bestehen bleibt. Wenn aber überhaupt eine Umstellung der Molecule bewirkt wird, woher soll die zu dieser erforderliche Bewegung plötzlich kommen? muss sie nicht vorher schon vorhanden gewesen sein, und ist nun durch irgend welche Mittel so beschleunigt worden, dass sie die zur Umwälzung erforderliche lebendige Kraft enthielt? Eine Bewegung der Molecule nimmt man nun in der That an, eine schwingende für die Theilchen der festen Körper, eine schwingende und langsam fortschreitende für die Flüssigkeiten und eine fortschreitende für die Molecule der Gase, und erklärt aus dieser Annahme namentlich die Eigenschaften der Gase mit Leichtigkeit.

Auf eine nähere Betrachtung dieser Annahmen einzugehen, ist hier noch nicht der Ort, es genügt, in ihnen auf das hingewiesen zu haben, welches zu den Molecular Kräften hinzukommen und, ihre Wirkungen beeinflussend, uns als Form einer neuen unbekanntten Kraft erscheinen kann. Bis jetzt ist dies nur als Princip erkannt, aber in ihm liegt die Aussicht auf eine Weiterentwicklung. Wenn die Bewegungen ihrer Art nach für die einzelnen Molecule genauer werden nachgewiesen sein, so wird man sie in Verbindung setzen mit den molecularen Kräften, und es wird dann vielleicht ein neuer Newton erstehen, der die

gesamten molecularen Erscheinungen auf ebenso einfache Gründe zurückführt, wie jener erste die Bewegungen der Himmelskörper auf die alleinige Kraft der Gravitation. In weiter Ferne freilich noch scheint das zu liegen, aber als auf ein erreichbares, mögliches Ideal können wir darauf um so mehr hinweisen, als es als ein solches erkannt ist und zu der Erkenntniss ein lebhaftes Streben und heisses Bemühen, es zu erreichen, sich stets zugesellt. Bot doch noch wenige Jahrhunderte vor Newton die ganze Mechanik, die ganze Astronomie ein Bild der trostlosesten Verwirrung und Verirrung, und gelang es doch bald, hier überall Ordnung und Aufklärung zu schaffen; warum sollte ein Gleiches nicht bei den molecularen Erscheinungen eintreten, in die wir jetzt schon einen Einblick erlangt haben, und die zu ordnen und aufzuklären von allen Seiten bewährte Wege beschritten werden?

Das Licht und die Wärme.

Was das Licht sei, scheint dem Unbefangenen noch viel schwerer zu beantworten, als die Frage, was er unter Materie verstehe. Er weiss nur, dass verschiedene Mittel, wie der Schein der Sonne, der Lampe oder des Feuers sein Auge in gewisser, unbestimmbarer Weise beeinflussen, und dass er allein bei diesem Scheine im Stande ist, die ihn umgebenden Gegenstände nach ihren Formen und Farben zu unterscheiden. Worin aber das Eigenthümliche dieses Scheines bestehe, was das eigentlich Wirkende sei, das vermag er nicht zu sagen. Er möchte vielleicht das Licht eine Eigenschaft der Körper nennen; aber eine bloße Eigenschaft kann es nicht sein, denn von einer solchen glaubt er voraussetzen zu können, dass sie dem Körper beständig anhafte; auch soll sie nicht im Stande sein, gleichsam von ihm ausgehend das ausserhalb Liegende unmittelbar zu beeinflussen und zu verändern. Beiden Bedingungen genügt das Licht nicht. Wenn es auftritt, so wirkt es auf die ganze Umgebung seines Trägers, indem es alle Gegenstände sichtbar und in ihren eigenthümlichen Farben erscheinend macht. Und den meisten, wenigstens allen irdischen Dingen, ist es nicht stets, sondern nur unter ganz besonderen Umständen zugehörig. Es erscheint wie ein Geist, wenn diese Umstände zusammentreffen, und entschwindet ebenso wieder mit ihnen. Und wie ein Geist wirkt es nicht auf das Gefühl, sondern rührt und erregt allein das Auge. Während die Materie sich als

etwas Fassbares, Greifbares und ewig Unzerstörbares hinstellt und ihr objectives Dasein durch ihre Widerstandsfähigkeit klar macht, bietet das Licht nichts Derartiges; es lässt sich weder fassen noch festhalten, sondern entgleitet den tastenden Händen, ohne eine Spur von sich zu hinterlassen.

Während daher über die Materie schon im frühen Alterthume Hypothesen sich bildeten, mussten über das Licht erst viele, sorgfältige Untersuchungen angestellt und bedeutende Entdeckungen gemacht werden, die es doch als etwas wirklich Bestehendes und durch gewisse Hülfsmittel Veränderliches ergaben, ehe daran gedacht werden konnte, über sein Wesen Vermuthungen von wissenschaftlicher Bedeutung zu machen. Vermuthungen freilich finden wir auch im Alterthume, dessen Untersuchungen in mancher Beziehung von hohem Erfolge gekrönt waren. So waren schon damals die Gesetze der geradlinigen Fortpflanzung und die der regelmässigen Zurückwerfung von polirten Flächen bekannt, aber aus diesen Gesetzen, die, wie die Versuche des Euklid beweisen, einer mathematischen Behandlung unterworfen wurden, gelang es nicht, Hypothesen von wissenschaftlichem Werthe herzuleiten. Der Grund hiervon liegt hauptsächlich darin, dass die Alten nicht die subjective Wahrnehmung von der objectiven Wirklichkeit zu trennen vermochten und daher dem menschlichen Auge überall einen entscheidenden Einfluss zuschrieben. Sie betrachteten es nicht als ein bloß aufnehmendes und die erhaltenen Eindrücke höchstens seiner Natur anpassendes Organ, sondern sie glaubten in ihm selber die eigentliche Quelle des Lichtes zu erblicken. Es wurde das Sehen durch das Ausströmen von Strahlen aus dem Auge erklärt, die, nachdem sie den Gegenstand getroffen haben, zum Auge zurückkehren und nun in diesem ein Bild des getroffenen Dinges hervorrufen; und es sollte dieser Anschauungsweise in der Erfahrung das als Bestätigung

dienen, dass die Augen vieler Thiere im Dunkeln leuchten und nicht nur sie, sondern auch manche Menschen bei Nacht zu sehen im Stande sind.

Merkwürdige Gedanken freilich finden wir bei dem bekannten Epikuräer Lucrez. Er sagt, dass alle Körper beständig eine gewisse Anzahl der Atome, aus denen sie zusammengesetzt sind, abstossen, und dass durch Vermittelung dieser im Menschen das Bild des Dinges hervorgebracht werde. Auf das Auge trifft ein Theilchen nach dem anderen, und dies Aufeinanderfolgen und der mit ihm verbundene beständige Anstoss soll erst die gewünschte Wirkung hervorbringen, denn, bemerkt Lucrez, Niemand könne die einzelnen Theile selber sehen. So merkwürdig und nahe verwandt diese Annahme der Newton'schen Emanationshypothese ist, darf sie dieser doch durchaus nicht gleichgestellt werden, denn sie soll zu nichts anderem, als zur Erklärung des physiologischen Processes des Sehens dienen. Nirgends wird ausgesprochen, die abgestossenen Theile bilden das, was wir Licht nennen, vielmehr wird dieses als etwas ganz anders Geartetes und im Gegensatz zur Finsterniss Stehendes angeführt.

Es schien unerklärlich, wie ein Ding aus der Ferne unmittelbar auf das Auge wirken könne, und zur Hebung dieser Unerklärlichkeit wurde die Annahme gemacht. Dies ergiebt sich daraus, dass den Theilchen alle Eigenschaften des sie abstossenden Körpers zugeschrieben werden, die somit unmittelbar auf die Sinnesorgane übertragen sind. Es sind also keine Lichtkörperchen, die im Gegensatz zu der Materie stehend durch ihren Einfluss alle Helligkeit verbreiten und das Weltall sichtbar machen, sondern die Gegenstände werden aus sich selber durch Vermittelung des Auges sichtbar. Aehnlich wie das Gefühl beim Tasten, so wird das Gesicht beim Sehen in Erregung versetzt, dort giebt das Ding den Eindruck, und die tastende Hand fügt diesem die Empfindung des Weichen oder Harten,

des Warmen oder Kalten bei; hier sendet der Körper seine Theilchen auf das Auge, und dieses giebt ihnen aus seinem Inneren heraus die Empfindung des Lichtes.

Mag diese Ansicht mit der späteren Hypothese durchaus nicht zu verwechseln sein, so hätte sie bei weiterem Fortschritte auf dem Wege der Erfahrung doch zu fruchtbaren Resultaten hinüberleiten können. Als aber in der folgenden Zeit der christlichen Scholastik eine allgemeine Verachtung der Naturwissenschaften die unbeschränkte Herrschaft der Gemüther errang, wurde der von den Alten so glücklich beschrittene Weg verlassen, und ihre Anschauungen fielen mit den von ihnen aufgefundenen Resultaten der Vergessenheit anheim; erst zur Zeit Newtons und Huyghens war man durch die Erfahrung wieder so weit fortgeschritten, dass an die Aufstellung ernsterer Hypothesen über das Wesen des Lichtes gedacht wurde. Bevor diese selbst dargestellt werden, mögen einige Uebersetzungen ausgeführt werden, die ihrer Ausbildung vorangehen mussten.

Die Thatsachen der gleichmässigen Ausbreitung des Lichtes um einen leuchtenden Körper und seiner geradlinigen Fortpflanzung sind an sich sehr wichtige, und wurden späterhin auch als solche erkannt, dennoch sind sie weniger geeignet, das Nachdenken, wenn sie allein bekannt sind, stark anzuregen. Das muss aber die von Olav Römer gemachte Entdeckung, dass das Licht Zeit gebraucht, um von einem Körper zum anderen zu gelangen, und nicht, wie man anfangs wohl glaubte als unmittelbare Wirkung übergeht, in hohem Grade thun, denn nun musste es als ein Bewegtes oder als eine Art von Bewegung angesehen werden, da nur unter diesen Voraussetzungen ein Zeitverbrauch bei seinem Uebergange von dem einen Körper zum anderen erklärlich erscheint. Im ersteren Falle musste dem Lichte ein materielles, wenn vielleicht auch unwägbares Etwas zu Grunde liegen, da

blos ein vom leeren Raume Unterschiedenes, nicht aber dieser selbst oder seine Theile als ein von uns wahrzunehmendes Bewegtes denkbar ist. Betrachtet man aber das Licht selber als eine Bewegung, so ist ein Etwas vorauszusetzen, in welchem sich diese fortpflanzt, denn eine solche Fortpflanzung wird nur dadurch ermöglicht, dass die Bewegung von Theilchen zu Theilchen weitergeht, und zwar, indem jedes einzelne von dem vorhergehenden eine innere oder äussere Veränderung erfährt, die es seinerseits an das folgende überträgt. Das heisst aber, die Theilchen müssen verschiedener Zustände fähig und dem Einflusse von Kräften zugänglich sein; damit aber hören sie auf, blose Raumtheile zu sein, sondern werden vielmehr zu einer Art von Materie. In jedem Fall also muss nach der Entdeckung von Römer dem Lichte ein vom leeren Raume unterschiedenes, gewissermassen materielles Etwas als Träger untergelegt werden. Dann aber ist die Möglichkeit geboten, das Wesen des Lichtes zu erkennen; das gelingt, wenn die Natur des ihm zu Grunde gelegten Etwas und die Art seiner Bewegung erkannt wird.

Wird ein Gegenstand vom Lichte getroffen, so wird er sichtbar. Woher das komme, lässt uns der besondere Fall vermuthen, dass dies nicht unter allen Umständen zutrifft, nämlich dann nicht, wenn die getroffene Oberfläche glatt und frei von rauhen Stellen ist. In diesem Falle werden die auffallenden Strahlen ganz unverändert zurückgeworfen, und wir erkennen nicht den zurückwerfenden, sondern erblicken an seiner Statt das Bild des leuchtenden Körpers. Diese Fähigkeit erhält jede Substanz, sobald ihre Oberfläche nur genügend geglättet ist; wir schreiben sie deshalb nicht inneren Eigenschaften, sondern der Oberflächenbeschaffenheit der Dinge zu. Thun wir aber dies, so müssen wir zugeben, dass auch bei rauhen Oberflächen diese Fähigkeit vorhanden ist und nur durch irgend welche äusseren Umstände zu Tage zu treten ver-

hindert wird. Es finden sich bei diesen überall glatte Stellen von grösserer oder geringerer Ausdehnung, dieselben aber sind nicht gleich, sondern nach allen Seiten hin gerichtet, daher wird das einfallende Licht nicht nach einer einzigen Richtung zurückgeworfen, sondern ringsherum zerstreut. Natürlich kann nun kein Bild des leuchtenden Körpers entstehen, sondern der beleuchtete muss sichtbar werden, indem alle seine Theilchen wegen der Zurückwerfung des einfallenden Lichtes sich als leuchtend verhalten; auffällig bleibt nur, dass das letztere seiner Natur nach verändert, nämlich von anderer Farbe als das einfallende erscheint. Sieht man hievon ab, so kann die diffuse Reflexion vollständig auf die regelmässige zurückgeführt werden, und das ist ein grosser Fortschritt, denn damit ist das schwere Räthsel gelöst, wie es ein Gegenstand fertig bringt, sichtbar zu werden, und es lässt sich der gefährliche Fehler der Alten vermeiden, indem nun die gegebene Wirklichkeit von der subjectiven Wahrnehmung scharf abzusondern ist.

Von grosser Bedeutung ist endlich die Brechung des Lichtes, welche freilich schon früher beobachtet war, die in das bekannte Gesetz zu fassen, dass die Sinus des Einfallswinkels zu denen des Brechungswinkels in einem bestimmten von der brechenden Substanz abhängigen Verhältniss stehen, erst spät gelang. Sie diente späterhin als wichtiges Entscheidungszeichen für die Richtigkeit der beiden Hypothesen, da diese bei ihr zu gerade entgegengesetzten Resultaten gelangt waren. Wir sprechen hier von zwei Hypothesen, denn so viele wurden aus den zur Zeit Newtons bekannten Thatsachen abgeleitet. Beide erschienen fast gleichzeitig; die erstere ist die Emanationshypothese von Newton, die andere die Vibrationshypothese von Huyghens.

Beide suchen das Licht aus Bewegungen zu erklären, wie dies die Beobachtung einer Fortpflanzungsgeschwin-

digkeit verlangt. Beide nehmen ein unwägbares Etwas als Träger dieser Bewegungen an. Auch dies liegt in dem Wesen des Lichtes begründet, welches bloß dem Auge zugänglich, allen anderen Sinnen verschlossen, also un- tastbar und unwägar ist. Jede der nun vorhandenen Möglichkeiten, dass dieses Etwas selbst bewegt werde, oder dass in ihm eine Bewegung fortschreitet, während es selbst seinen Platz nicht verlässt, vertritt eine der Hypothesen; nach der Newton'schen stösst der leuchtende Körper unwägbare Theilchen von sich, die bis auf die Netzhaut vor- dringend als Licht empfunden werden; nach der Huyghens'schen ist der ganze Weltenraum von solchen Theilchen er- füllt, und zwischen diesen verlaufen Wellen, die, wenn sie das Auge treffen, in ihm die Empfindung des Lichtes verursachen.

Wir haben hier zwei reine Hypothesen zu verzeich- nen, denn jede von ihnen geht über das sinnlich Wahr- zunehmende und zu Beobachtende, also über die Erfahrung hinaus und sucht empirisch gefundene Gesetze aus einem gemeinsamen höheren der Speculation entsprungenen Prin- cipe abzuleiten. Welche von beiden die wahrscheinlichere oder richtigere ist, das musste und konnte nur ihre Ueber- einstimmung mit den Erscheinungen und die zwanglose Erklärbarkeit derselben aus ihnen zeigen.

Es kann hier nicht der Ort sein, zu verfolgen, wie zunächst die Newton'sche Hypothese, gestützt auf das Genie und den Ruhm ihres Urhebers sich eine allgemeine Aner- kennung verschaffte, wie aber später allmählich die andere Anhänger fand und schliesslich die Siegerin blieb. Das gehört einer Geschichte der Physik an; hier dürfen wir uns auf das jetzt allgemeine Urtheil stützen, welches der Undulationstherorie den Preis zuerkennt, und können uns berufen auf die verschiedenen Experimente, welche die Unmöglichkeit ihrer Gegnerin nachweisen. Sie hat sich so glänzend entwickelt, dass sie ausser ihren Grundlagen

wenig Hypothetisches mehr bietet; sie ist zu einer auf mechanische Principien aufgebauten mathematischen Theorie geworden. Dieser aber brauchen wir nicht in ihren einzelnen Zweigen nachzugehen; wir müssen uns begnügen, ein ganz allgemein gehaltenes Bild derselben zu geben, und können etwa noch vorhandene Bedenken bei Seite liegen lassen.

Der Undulationshypothese ist jeder Lichtstrahl eine Welle, welche in dem Aether verläuft. Diesem werden die schon früher genannten Eigenschaften zugeschrieben, dass er unendlich viel feiner als die Materie doch wie diese aus kleinsten Theilchen bestehe, welche auf einander abstossende Kräfte ausüben, von den materiellen Atomen aber angezogen werden. Der durch die Wirkung dieser Kräfte bedingte Gleichgewichtszustand soll unter allen Umständen möglichst erhalten werden und wird bei jeder Störung schleunigst wiedererstrebt. Letztere entsteht, so oft ein Theilchen oder mehrere derselben durch irgend eine Ursache in Bewegung versetzt werden; diese nämlich pflanzt sich rund herum fort und zwar in der Form einer Welle. Das bewegte Theilchen nähert sich einem anderen oder vielmehr einer ganzen Anzahl; diese suchen wegen der Abstossung zurückzuweichen, können es jedoch nur bis zu einem gewissen Grade, weil auch sie rings von anderen umgeben sind; das erste Theilchen kann deshalb nur bis zu einem bestimmten Punkte dem ihm ertheilten Antriebe folgen und wird dann in die Richtung seiner ursprünglichen Lage zurückgedrängt, da die abstossende Kraft der anderen, denen es sich genähert hat, sofort ihm die entgegengesetzte Bewegung ertheilt, sobald die ihm anfangs mitgetheilte vernichtet ist. So würde es nun nach der entgegengesetzten Seite hin stetig fortheilen, wenn nicht sein früherer Platz von seinen Nachbarn eingenommen wäre, die von ihrer Umgebung in den verlassenen leeren Raum gedrängt sind. Diese vertreibt es wieder, verliert

hiebei, wie vorher seine Bewegung und nimmt die entgegengesetzte an; es geräth in Schwingungen, die aber, indem sie ihre Kraft an die Umgebung vertheilen, allmählich an Weite abnehmen. Jedes Theilchen überträgt seine Schwingungen zunächst auf die anliegenden, diese aber erregen wiederum ihre Nachbarn, und somit erfährt das ganze System die Störung des ersten Anstosses.

Genau genommen, ist die so entsandene Welle nicht einfach, sondern aus unzähligen Elementarwellen zusammengesetzt; wie nämlich das erste Theilchen der Mittelpunkt einer Störung ist, genau so muss es auch jedes andere sein, welches einen Anstoss von ihm erhält. Trotzdem entsteht in Wirklichkeit bloß eine Welle, die sich kugelförmig um den Ausgangspunkt der Bewegung ausbreitet. Der Grund hiervon liegt in der Natur der Schwingungen, deren Zustand sich von Punkt zu Punkt ändert. In gewissen Augenblicken bewegt das Theilchen sich etwa vorwärts; seine Geschwindigkeit nimmt dabei ab, wird endlich Null und nun erfolgt eine Rückwärtsbewegung, die im Uebrigen der früheren durchaus gleicht, indem ihre Geschwindigkeit genau so wächst und dann wieder abnimmt, wie es für jene zu beobachten war. Es kann deshalb der Fall eintreten, dass die Theilchen mit entgegengesetzter Bewegung bei gleicher Geschwindigkeit auf einander stossen und dadurch zur Ruhe gelangen; und eine genauere Betrachtung lehrt, dass dies für sämtliche die Hauptwelle begleitenden Elementarwellen eintritt, so dass in Wirklichkeit nur die erstere zur Ausbildung kommt.

Dass trotz ihrer ungemeinen Einfachheit und Klarheit die Vibrationshypothese erst spät zu einer allgemeineren Anerkennung gelangte, wird wohl als ein erhebliches Hemmniss für die Weiterentwicklung der Optik angesehen, aber von grosser Bedeutung ist dasselbe dennoch nicht, denn die empirische Forschung gab die entscheidende Stimme; sie war aber nie aufgehoben, und sie fand

Neues; sie war es, welche die früheren Ansichten verbesserte oder verdrängte und die grossen Umwälzungen ermöglichte. in der Natur der Emissionshypothese lag es, dass sie sich allen neuen Entdeckungen leicht anpassen konnte; sie setzte ursprünglich nichts voraus als die Lichtkörperchen, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit geradlinig fortbewegen sollten. Diesen brauchte sie nur neue und immer neue Eigenschaften beizulegen, wenn neue Erscheinungen erklärlich zu machen waren; nur die eine Grenze war ihr gezogen; die zugeschriebenen Eigenschaften mussten mit einander vereinbar sein und durften zu keinen inneren Widersprüchen führen. Geschah dies Letztere dennoch, so musste ihre Möglichkeit bezweifelt werden. Zu widersprechenden Eigenschaften aber führte die Entdeckung der Interferenzerscheinungen, deren Eigenthümlichkeit die ist, dass unter Umständen beim Zusammentreffen von Licht und Licht nicht, wie zu erwarten war, eine Vermehrung, sondern eine Verminderung der Helligkeit entsteht, und dass umgekehrt lichte Bänder sich an Stellen zeigen, zu welchen wegen ihrer gradlinigen Fortbewegung die Lichtkörperchen nicht sollten hingelangen können.

Die Vibrationshypothese geht von bestimmten Grundsätzen aus; sie entwickelt sich aus diesen mit mathematischer Schärfe als ein für sich bestehendes, von der Erfahrung unabhängiges und durch diese nicht zu erschütterndes Gebäude. Sie ging in ihren Consequenzen über die beobachteten Thatsachen hinaus und widersprach ihnen gar; sie konnte daher erst zur Geltung gelangen, als diese Widersprüche bei weiterer Forschung sich glücklich lösten, und dazu diente ausser Anderem auch gerade die mit der Emissionshypothese unvereinbare Interferenz.

Bei den Wellen im Wasser beobachtet man leicht, dass zwei oder mehrere derselben sich durchkreuzen können, ohne sich gegenseitig zu stören, indem nämlich nur eine

Veränderung in den Durchkreuzungspunkten als eine Vermehrung oder Verminderung der Wellenhöhe entsteht. In dem Weltenäther verlaufen unendlich viele Lichtstrahlen; auch hier kann und muss der Fall eintreten, dass sich mehrere von ihnen durchschneiden; geschieht dies, so muss daraus eine Verstärkung oder Abschwächung des Lichtes hervorgehen. Es ist nur denkbar, dass die Intensität desselben um so grösser ist, je kräftigere Schwingungen das erregende Theilchen ausführt; da aber mit der Stärke dieser die Höhe der Wellen wächst, so muss, wenn die letztere vermehrt oder vermindert wird, die Helligkeit steigen oder abnehmen. Dies zeigen die Interferenzerscheinungen. Sie bilden sich in gewissen Linien, da allein solche die Abbildungen des Durchschnitts mehrerer Wellen sind. Sie blieben lange unbemerkt, weil sie nur unter ganz bestimmten Umständen und im Verhältniss zu der grossen Zahl der für sie vorhandenen Möglichkeiten ganz ausserordentlich selten wahrzunehmen sind. Dies liegt begründet in der Unvollkommenheit unseres Auges, welches bloss die hervorragendsten Fälle zu beobachten gestattet, in welchen der verstärkende oder schwächende Einfluss zweier Wellensysteme auf einander der möglichst grosse ist. Er ist es jedenfalls da, wo die Wellen beider Systeme an Länge und Richtung gleich, oder auch in Anbetracht der letzteren, genau entgegengesetzt sind. Hier aber muss die bedeutendste Verstärkung in der Höhe entstehen, wenn zwei Wellenberge oder Thäler zusammenreffen. Solches tritt unter verschiedenen Umständen ein, — beim gleichzeitigen Entstehen der Wellen, wenn beide einen gemeinsamen Mittelpunkt haben, oder wenn ihre Ausgangspunkte um eine Wellen-Länge oder ein Vielfaches derselben von einander abstehen. Bilden sie sich ausserdem zu verschiedenen Zeiten, so müssen diese derart bemessen sein, dass die zuerst entstehende genau um eine oder um mehrere Längen fortgeschritten ist, wenn die an-

dere erzeugt wird. Beträgt dagegen der Abstand der Mittelpunkte eine halbe Wellenlänge oder ein Vielfaches hiervon, oder entstehen beide Wellen zwar an demselben Orte, jedoch unter solchen Zeitverhältnissen, dass die erste um eine halbe Wellenlänge oder deren Vielfaches sich ausgebreitet hat, wenn die zweite sich bildet, so werden immer Berg und Thal zusammentreffen; die Bewegung wird in gewissen Linien aufgehoben, in denen das Licht erlischt. Nur wo diese besonderen Umstände zusammentreffen, werden die Interferenzerscheinungen bemerkbar, dann aber gewiss; und einerlei aus welchen Mitteln sie hervorgehen, das Resultat ist stets das nämliche, ein Auftreten abwechselnd dunkler und heller Linien.

Wie schon gesagt, ist im Grunde jeder Punkt einer Welle selber wieder der Mittelpunkt einer solchen; die Bewegung dieser Elementarsysteme aber wird aufgehoben durch die Interferenz, die zwischen sämtlichen jenen ersten Punkt umgebenden Elementarwellen eintritt. Wird jedoch ein Theil dieser von der Einwirkung auf die anderen ausgeschlossen, welches auf rein mechanischem Wege durch das Einschieben einer undurchsichtigen Platte geschehen kann, so ist eine vollständige Interferenz nicht mehr möglich, und es kommen Elementarwellen zur Ausbildung; in erster Linie die, welche um die am Rande der Platte liegenden Punkte sich bilden. Diese breiten sich in den, dem ursprünglichen Lichtstrahle wegen seiner geradlinigen Fortpflanzung unerreichbaren Raum hinter der Platte aus. Dort lassen sich daher helle Streifen auffinden, wo ohne diese Wirksamkeit absoluter Schatten herrschen sollte. Dieser specielle Fall der Interferenz, den zu beobachten man mancherlei Gelegenheit hat, und den man nach dem Vorgange seines ersten Entdeckers Grimaldi mit dem Namen der Beugung des Lichtes bezeichnete, bereitete anfangs besondere theoretische Schwierigkeiten, konnte dann aber als schwerwiegende Bestätigung für die

Vibrationshypothese aufgeführt werden. Auf die weiteren specielleren Versuche, die als entscheidende für die Gültigkeit dieser anzusehen sind, gehen wir nicht ein, sondern wenden uns nun einem neuen Zweige derselben zu.

Bis jetzt genügte es, das Licht als eine Wellenbewegung überhaupt aufzufassen, und es blieb völlig gleichgültig, wie beschaffen diese sei. Wir erkennen aber in der Natur zwei Arten derselben, die longitudinale und die transversale. Bei der ersteren schreitet die Welle mit dem Mittel selbst fort, in welchem sie sich bewegt, sie besteht in einer weiter laufenden abwechselnden Annäherung und Entfernung je zweier Theile des Mittels und wird ausserhalb derselben als eine Veränderung direct nicht wahrgenommen. Ein Beispiel bietet ein tönender Stab, dessen Bewegung nur dem Ohre in dem Tone, dem Auge aber erst durch besondere Hilfsmittel bemerklich wird. Die andere, die transversale Welle zeigt sich im Wasser oder an einer Saite deutlich, denn bei ihr werden die Theilchen aus der Längsrichtung des Körpers hinausgeschoben; sie erscheint gleichsam als ein wechselndes Ein- und Ausbiegen des schwingenden Mediums.

Wenn nun die Hypothese über das Wesen des Lichtes sagt, dieses bestehe in einer Wellenbewegung, so ist sie noch keine bestimmte. Um dies zu werden, muss sie sich für eine der beiden Arten derselben entscheiden. Aus den bisher erwähnten Thatsachen folgte die Nothwendigkeit zu einer solchen Entscheidung weder, noch ergab sich für sie irgend ein Anhalt. Einen solchen aber bietet die sogenannte Polarisation des Lichtes. Ein Strahl zeigt sich nicht stets nach allen Seiten als gleich; der natürliche, ebenso wie ein reflectirter haben scheinbar überall dieselbe Helligkeit, in Wirklichkeit aber ist dies für den letzteren nicht ganz der Fall, wie sich zeigt, wenn man ihn, nachdem er unter einem gewissen Winkel zurückgeworfen ist, durch einen zweiten Spiegel betrachtet. Dreht man diesen

conisch um den Lichtstrahl herum, so wechselt die Helligkeit. Wenn an irgend einer Stelle ein Maximum derselben auftritt, so nimmt dieses immer mehr ab, bis es nach einer Drehung von 90^0 einem Minimum Platz gemacht hat. Das Licht ist also nach einer Seite hin stark, nach der zu dieser rechtwinkligen schwach oder gar nicht zurückgeworfen.

Vielfach hat man diese Erscheinungen zu beobachten Gelegenheit; das Eigenthümliche aller und das hier Wichtigste ist, dass es möglich ist, dem ursprünglich nach allen Seiten hin als gleichartig sich erweisenden Strahle diese Gleichartigkeit zu nehmen und ihm Seiten mit verschiedenen Eigenschaften zu ertheilen. Weshalb dies geschehen könne, und wodurch es bewirkt werde, ist nicht genügend aufgeklärt und wohl nicht sicher festzustellen, wenn nicht zuvor das Wesen der Molecule und Atome und ihrer Verhältnisse, namentlich ihrer Bewegungen und Lageveränderungen bekannt ist. Jedenfalls aber ist nicht zu begreifen, dass der Strahl durch Reflexion oder Brechung eine innere Veränderung erleide; auch würde eine derartige Annahme jede Möglichkeit einer weiteren Erklärung ausschliessen, da, mag das Licht nun als Wellenbewegung oder als sonst Etwas aufgefasst werden, es nie gelingen kann, innere Veränderungen zu bestimmen, denn blos die äusseren sind der Beobachtung zugänglich. Aeussere zu beobachten aber ist unmöglich, wenn die Lichtwelle im Aether eine longitudinale ist, denn diese würde nach Aussen durchaus keine Verschiedenheiten zeigen, also hierhin als unveränderlich anzusehen sein. Ein Anderes gilt für transversale Wellen; diese als heraustretend aus dem Medium müssen sich äusserlich verändern und ihre Veränderungen sichtbar werden lassen.

Freilich ist hier nicht sofort ersichtlich, weshalb denn das natürliche Licht sich nach allen Seiten als gleichartig erweist. Doch zur Erklärung dieser ursprünglichen Gleich-

artigkeit lässt sich annehmen, dass ein Lichtstrahl aus Wellen besteht, deren Schwingungsebenen nach allen Seiten hin auseinander treten. Es enthält das erste Aethertheilchen durch einen Anstoss eine Bewegung; diese überträgt es auf das folgende und würde nun in Ruhe bleiben oder doch sich diesem Zustande in der kürzesten Zeit unendlich nähern, wenn es nicht sogleich einen neuen Anstoss erhielte, der aber so erfolgt, dass eine Schwingung nicht wieder in derselben, sondern in einer neuen Richtung entsteht; diese wird ebenfalls auf das benachbarte Theilchen übertragen. Hierauf erhält das erste eine Schwingung nach wieder einer anderen Richtung, die es ebenso weiter fortpflanzt, und so wird in ausserordentlich kurzer Zeit jedes Aethertheilchen in Schwingungen nach allen Seiten hin versetzt. Da aber das Auge nicht im Stande ist, diese einzeln zu verfolgen, so erscheint ihm das natürliche Licht als äusserlich gleichartig. Bei dem polarisirten sollen die aus einer bestimmten Ebene, der Polarisationsebene, herausfallenden Wellen entweder vernichtet sein oder eine solche Drehung erfahren haben, dass nun alle gleichgerichtet sind.

Diese anfangs vielleicht seltsam* erscheinende Annahme bedurfte um so mehr einer näheren Erklärung, als man analog den in der Luft und in elastischen Flüssigkeiten fortschreitenden Wellen die des Aethers für longitudinale zu halten geneigt sein musste. Nachdem schon Fresnel und Arago¹⁾ die Beobachtung, dass zwei polarisirte Lichtstrahlen nicht interferiren, wenn ihre Polarisations Ebenen zu einander senkrecht stehen, dass sie es aber wie gewöhnliches Licht thun, wenn sie einander parallel sind, als den experimentellen Nachweis dafür gedeutet hatten, dass die Aetherwellen transversale seien, gelang es Dove²⁾ auf rein mechanischem Wege durch schnelle

1) Fresnel und Arago: Ann. de chim. et phys. Bd. 10.

2) Dove: Pogg. Annalen. Bd. 71.

Drehung polarisirter Lichtstrahlen diesen die Eigenthümlichkeiten gewöhnlichen Lichtes zu geben und dadurch die Annahme, dass in ihm die Schwingungen nach allen Seiten hin gerichtet seien, zu bestätigen.

Wir können nun das Licht einfach als eine transversale Aetherwelle definiren. Thun wir das, so ist es eine sehr bestimmte und zu weit tragenden Folgerungen führende Behauptung, die scheinbar weit auseinander reichende Thatsachen umfasst und zu einem abgerundeten Ganzen verbindet. Es könnte ein Abschluss erreicht sein, wenn nicht die Natur selber noch ein Neues böte. Wir haben schon erwähnt, und die bewegte Wasserfläche zeigt es dem Auge; die Wellensysteme sind einander nicht gleich; im Gegentheile gleicht kaum je das eine dem anderen, mögen sie nun durch die Höhe oder durch die Länge ihrer Wellen unterschieden sein. Die erstere muss die Intensität des Lichtes bedingen, denn sie hängt von der Stärke der ursprünglichen Anstösse ab; die Länge wurde bis jetzt unberücksichtigt gelassen; dieselbe ist von der Stärke des Anstosses unabhängig, dagegen nimmt sie ab, wenn die Anzahl der in gleichen Zeitabschnitten erfolgenden Stösse wächst, und umgekehrt zu, wenn diese sich vermindert. Da gar kein Grund vorhanden ist, anzunehmen, dass die Aethertheilchen sämmtlich und unter allen Umständen gleich oft angestossen und dadurch zu Schwingungen veranlasst werden, so konnten die Forscher sich mit dem bisher Gefundenen nicht befriedigt erklären, denn mit dieser Möglichkeit eröffnet sich ein neues Gesichtsfeld, das einer weiteren Betrachtung zu unterziehen ist.

Das Licht bietet selbst den Anhalt hierzu; es zeigt nicht nur quantitative, sondern in den Farben auch qualitative Verschiedenheiten. Wir sehen einige Körper in weisser, andere in rother, grüner oder einer sonstigen Farbe erglänzen. Unserem Bewusstsein ist der hier auftretende Unterschied ein sehr deutlicher; worin er aber

wirklich bestehe, können wir nicht sagen. Die Farbe lässt sich nur empfinden und vorstellen, nicht aber denken und beschreiben, Jemandem, der sie nicht zu sehen vermag, dieselbe klar zu machen, ist unmöglich. Wir stehen hier an einem der Punkte, bei welchen wir über die Schranken unseres Anschauungsvermögens hinaustreten und uns den Schlüssen und Combinationen des Verstandes völlig überlassen müssen. Wir führen die Farben auf Verschiedenheiten der Längen der Aetherwellen zurück, wobei wir uns auf die Analogie stützen, welche der Schall bietet. Hier unterscheiden wir Töne ungleicher Höhe, deren Verschiedenheit wir ebenso wie die der Farben sehr wohl wahrnehmen, aber durchaus nicht begrifflich fassen und definiren können. Jedoch ist es beim Schalle leicht, den Grund in der Ungleichheit der Länge der Luftwellen nachzuweisen, welche den Ton in unserem Ohre erregen, so nämlich, dass den höchsten Tönen die kürzesten Wellen entsprechen. Ebenso behaupten wir nun, die Verschiedenheit der Farben sei durch die Ungleichheit der Aetherwellen bedingt; die längsten sollen uns den Eindruck des rothen, die kürzesten den des violetten Lichtes erregen. Dies ist nicht bloß eine theoretische Annahme geblieben, sondern hat eine thatsächliche Bedeutung erlangt. Namentlich die Interferenz und Beugung des Lichtes, als von der Welle allein abhängig, müssen sich mit ihr zugleich ändern; sie gaben daher die Gelegenheit, zu untersuchen, ob sich die gemachte Annahme auch sonst rechtfertigen liess. Diese Rechtfertigung gelang so vollkommen, dass man die Länge der von Niemand gesehenen oder sonstwie gespürten Wellen in Bruchtheilen eines Millimeters auszudrücken wagte.

An das Letztere, die Verschiedenheit der Längen der Lichtwellen, schliesst sich eine an sich ganz wundersame Erscheinung an; einen Sonnenstrahl, der ein Prisma durchläuft, sehen wir verändert, nämlich in ein ganzes Band

von Farben zerlegt, aus demselben wieder hervorgehen. Schon Newton, dessen Untersuchungen über diesen Gegenstand klassisch genannt werden dürfen, stellte unzweifelhaft fest, dass das eintretende weisse Sonnenlicht kein einfaches, sondern ein sehr zusammengesetztes ist, und dass seine Theile von dem Prisma sehr verschieden, nämlich so gebrochen werden, dass den Strahlen der grösseren Wellenlänge die schwächere, denen der kleineren die stärkere Brechbarkeit zukommt. Wenn es vielleicht nicht gerade auffallen mag, dass ein Körper, der, wie die Sonne, sehr zusammengesetzter Natur sein muss, nicht Wellen bloß einer Art in dem ihn umgebenden Aether zu erregen im Stande ist, wenn es auch durchaus nicht auffällig ist, dass das Auge die verschiedenen Farben, von denen es im gleichen Augenblicke getroffen wird, nicht zu trennen vermag, sondern dieselben zu einem einzigen Eindruck verbindet, so muss um so mehr die Frage zur Untersuchung reizen, weshalb ein Prisma diese auseinanderreißen kann, und wie es das fertig bringt.

Die Verschiedenheit in der Ablenkung drückt sich in dem Brechungsexponenten aus; sein Werth allein ist es, der eine Aenderung erleidet, wenn Strahlen ungleicher Farben das Prisma durchdringen; alles Uebrige bleibt unverändert. Auf ihn muss man daher zurückgehen, will man den Grund des hier gefundenen Verhaltens suchen. Er hängt ab von der Geschwindigkeit des Lichtes in beiden Medien, an deren Grenze die Brechung erfolgt, er ist gleich dem Verhältnisse der beiden Geschwindigkeiten, er ist, wenn wir ihn mit n bezeichnen: $n = c : c_1$, wobei c die Geschwindigkeit im ersten, c_1 die im zweiten Mittel bedeutet. Nun wird Roth am wenigsten, Violett am meisten abgelenkt, für ersteres ist daher n , und damit das Verhältniss $c : c_1$ am wenigsten, für letzteres am meisten von 1 verschieden; für Roth ist die Geschwindigkeit im zweiten Mittel wenig, für Violett bedeutend kleiner als im

ersten, wenn $n > 1$ angenommen wird, welches nothwendig ist, wenn das Licht aus einem optisch dünneren in ein dichteres Medium, wie aus Luft in Glas übergeht. Da diese Betrachtung nicht nur für Roth und Violett, sondern gleicher Weise für alle zwischenliegenden Farben des Spectrums gilt, so lässt sich die beobachtete Thatsache der ungleichen Brechbarkeit des Lichtes verschiedener Farben in einem allgemeinen Satze so aussprechen: Geht das Licht von einem Medium in ein optisch dichteres über, so vermindert sich seine Geschwindigkeit in der Art, dass die Strahlen der grössten Wellenlänge die kleinste, die der kleinsten die grösste Aenderung erfahren.

Dass eine Welle beim Uebergange aus einem Mittel in ein anderes von ungleicher optischer Dichte die Geschwindigkeit ändern müsse, war längst bekannt und theoretisch als nothwendig nachgewiesen, dass aber und weshalb diese Aenderung von ihrer Länge abhängen müsse, ist bis jetzt nicht ganz aufgeklärt, namentlich seit man in der anormalen Dispersion Fälle aufgefunden hat, in denen die Brechung nicht in der gewöhnlichen Weise, sondern auch so erfolgt, dass die Strahlen grösserer Wellenlänge mehr abgelenkt werden, als die kleineren. Man wird ganz wesentlich auf das brechende Mittel selber Rücksicht zu nehmen haben, wenn man einen sicheren Erfolg erzielen will. Da Cauchy, welcher als erster die Dispersion zu erklären unternahm, hierauf noch zu wenig Gewicht legte, so waren seine schönen Schlüsse nicht unanfechtbar, wenn auch die von ihm entwickelten Sätze alle einfacheren Thatsachen genügend erklärten. Namentlich weisst Briot¹⁾ auf verschiedene unsichere Punkte in der Cauchy'schen Entwicklung hin und sucht unter grösserer Berücksichtigung der Constitution der brechenden Körper zum Ziele zu

¹⁾ Briot: Essais sur la théorie math. de la lumière. (Deutsch von Klinkerfues. Leipzig, 1867.)

kommen. Er nimmt an, dass die Verschiedenheit in der Brechung der Strahlen ungleicher Wellenlänge von der Ungleichheit der Dichte des Aethers in dem durchsichtigen Mittel herrühre. Jedes Molecul verdichtet um sich eine Hülle von Aether durch die von ihm auf die Theile desselben ausgeübte Anziehung. In dieser sind die innersten Schichten die dichtesten, die äusseren die dünnsten; und zwar gilt dies für jedes der in einer homogenen Substanz gleichmässig vertheilten Molecule. Denkt man sich einen so constituirten Körper durchbohrt, so gelangt man von einer dünneren Aetherschicht zu einer dichteren, von dieser wieder zu einer dünneren, und es wechselt überhaupt die grösste Dichtigkeit mit der geringsten in gleichmässigen Perioden ab, entsprechend der Lagerung der Molecule. Durch diese Periodicität muss aber die Geschwindigkeit der verschiedenen Wellen in ungleichem Masse beeinflusst werden; und es gelang unter dieser Voraussetzung Briot wirklich, Gleichungen zu entwickeln, die wesentlich mit der Cauchy'schen übereinstimmend die normale Dispersion genügend erklären.

Mit dieser letzten Theorie sind wir auf ein Gebiet der Optik hinübergetreten, welches bis jetzt weniger aufgehell't, aber für die künftige Forschung von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist. Wir können das Licht bei seiner Fortbewegung im Weltenäther genau verfolgen; es ist nichts als eine Welle in demselben und gehorcht allen für jene gültigen Gesetzen, welche theoretisch abzuleiten dem menschlichen Scharfsinne fast völlig gelungen ist. Anders wird es aber, wenn wir die Wechselwirkungen der Aetherwellen und der Materie berücksichtigen wollen. Vorhanden sein müssen solche, denn den in bestimmter Weise erregten Körpern verdankt das Licht seine Entstehung, und dann ist selbstverständlich, dass es sie auch umgekehrt zu beeinflussen im Stande sein muss; aber diese Wechselwirkungen werden nicht allein bedingt

durch die Beschaffenheit des Lichtes, sondern auch durch die der Materie, und weil diese noch nicht völlig durchschaut ist, erheben sich hier grosse Schwierigkeiten, bei deren Ueberwindung nicht allein die für das Licht entwickelte Theorie, sondern in noch höherem Masse auch die für die Materie gebildete gewinnen kann.

Dass das Licht nicht ohne Materie entstehen kann, ist an sich klar; denn, wenn diese nicht wäre, so würde der Aether sich vermöge seiner Abstossungskräfte ganz gleichmässig im unendlichen Weltenraume verbreiten. Bei einer gleichmässigen Ausbreitung aber muss stets Gleichgewicht bestehen und kann niemals eine Störung, eine Bewegung entstehen. Zugleich aber ist die Materie allein im Stande, die im Aether einmal entstandenen Bewegungen umzuformen und zu Wirkungen zu veranlassen, die sie für uns sichtbar machen. Wären die Dichtigkeits- und Lagerungsverhältnisse des Aethers überall dieselben und nicht durch die Materie an vielen Stellen verändert, so würde jede in diesem entstandene Welle sich ins Unendliche ausbreiten und schliesslich unbemerkt und spurlos verschwinden. Bloss wenn sie einen Körper treffend diesen erleuchtet oder ihn anderswie verändert, wenn sie auf die Netzhaut fallend diese reizt, erhält sie für uns eine höhere Bedeutung; thut sie nichts dergleichen, so ist sie, wie etwa die unendliche Menge des Lichtes, welches von der Sonne in den leeren Weltenraum hinaus gesandt wird, von gar keinem Werthe für uns und nicht besser, als wäre sie nicht vorhanden. Die Körper als solche denken wir uns nun direct nicht mit dem Aether in Wechselwirkung stehend, jedenfalls können nur ihre kleinsten Theilchen die dem Lichte entsprechenden Wellen hervorbringen und umgekehrt mit Erfolg von diesen beeinflusst werden. Die ganze Untersuchung läuft also darauf hinaus, aufzufinden, welche Beziehungen zwischen den Atomen oder Moleculen und dem Aether bestehen.

Für diesen Zweck ist das Prisma in seiner Eigenschaft, die Farben des Lichtes auseinander zu legen, das wichtigste Instrument, denn durch dasselbe lässt sich erkennen, was für Wellen ein leuchtender Körper und in welchem Verhältnisse er sie aussendet. Allerdings zeigt das Spectrum der Sonne und das der glühenden Körper alle Farben vereinigt. Diese gehen allmählig in einander über und durchlaufen alle möglichen Zwischenstufen, — sie stellen so complicirte Verhältnisse dar, dass aus ihnen auf einfachere, irgend eine Lösung ergebende, keine Schlüsse gezogen werden können. Ein Anderes aber bildet sich, wenn genügend dünne leuchtende Schichten genommen werden, wie erhitzte Gase oder durch geringe Mengen verflüchtigter Salze leuchtend gemachte Flammen sie darbieten. Es entsteht kein continuirliches aus allen Farben zusammengesetztes Spectrum, sondern es zeigen sich ein oder mehrere, durch dunkle Zwischenräume unterbrochene, helle, in bestimmter und bei gleichen Substanzen unter allen Umständen in derselben Farbe leuchtende und in denselben Abstandsverhältnissen stehende Streifen. Liess das Sonnenspectrum auf eine Vereinigung aller Wellenarten im natürlichen Lichte schliessen, weswegen eine Erklärung, wie durch den Körper eine so zusammengesetzte und verwickelte Bewegung des Aethers erzeugt werde, wenn nicht unmöglich, so doch ausserordentlich schwierig wurde, so folgt aus der Natur des Spectrums der leuchtenden Flamme, dass das Zustandekommen einer zusammengesetzten Bewegung von besonderen Umständen abhängt, dass aber ein Körper im einfachsten und ursprünglichsten Falle, wo nur ein farbiger Streifen sich bildet, blos eine Welle erregt. Wie er hierzu geführt wird, sei es durch Erwärmung, sei es durch einen anderen Process, kann unberücksichtigt gelassen werden; wichtig ist allein, dass er nur einen Wellenzug hervorbringt. Dies kann allein geschehen, wenn die Aethertheilchen von dem Körper be-

ständige, in gleichen Zeitabschnitten auf einander folgende Anstöße erhalten. Denn würden sie nur einmal getroffen, so entstände bloß eine vorübergehende Schwingung, ein plötzliches Aufleuchten, wenn es überhaupt bemerkbar wäre; folgten sich aber die Stöße in ungleichen Zeiten, so bildeten sich verschiedenartige, rasch verlaufende Wellen; also müssten, wenn sie bemerkt würden, verschiedene Farben entweder mit einander abwechselnd oder zu einer einzigen zusammengesetzt erscheinen, welch' letztere aber dann durch das Prisma in ihre Bestandtheile zerlegt würde. Eine gleichmässige Anregung des Aethers, wie ihn die Erfahrung verlangen muss, kann nur dann erfolgen, wenn der Körper oder seine Theilchen schwingende Bewegungen vollführen. Da der erstere, wie schon gesagt, nicht wirksam sein kann, es auch dem Augenscheine nach nicht ist, so müssen die letzteren die Schwingungen ausführen.

Es wurden verschiedene Ordnungen der kleinsten Körpertheilchen unterschieden, die Molecule und die Atome, die in dem Verhältnisse stehen, dass die ersteren Gruppen der letzteren sind. Beide sind der Beobachtung unzugänglich; es bleibt also noch der Zweifel bestehen, ob die Molecule schwingen oder ob es die Atome thun. Sicher ist dieser Zweifel wohl nicht zu entscheiden, und manchmal werden gewiss beide thätig sein; aber für die einfacheren Wellen liegt die Annahme näher, dass die Atome sie allein erzeugen. Die meisten Körper, selbst die chemisch einfachen, bringen nicht bloß eine Linie, sondern meistens einige, zuweilen sehr viele im Spectrum hervor. Schwängen die Molecule, so müsste, da diese von gleicher Beschaffenheit sind, also jedenfalls unter gleichen Umständen, wie bei demselben Grade der Erwärmung in gleicher Weise bewegt werden, eine einzige Wellenart entstehen. Die Atome sind verschiedenartig oder können es wenigstens ihrer Natur und ihrer Lage im Molecule nach sein, ihre Schwingungen sind daher auch verschieden, und so rufen

sie mehrere Wellenzüge hervor, denen durch Farbe und Stellung im Spectrum unterschiedene Streifen entsprechen. Ferner ist in der Flamme oder in einem verdünnten Gase die Substanz ausserordentlich fein vertheilt, und sind demnach die Molecule sehr weit von einander entfernt. In diesem Zustande üben sie nicht mehr eine solche Wirkung auf einander aus, dass jedem sein bestimmter Platz angewiesen ist, in welchen er durch die Kräfte der übrigen unter allen Umständen zurückgeführt wird. Dies Letztere aber ist die unbedingte Voraussetzung für das Zustandekommen einer schwingenden Bewegung. Die Atome werden im Molecule in bestimmter Lage festgehalten, sie allein sind daher noch im Stande, Schwingungen auszuführen.

Wenn wir wieder auf das Atom zurückkommen, welches wir bei der Betrachtung der Materie als für die wissenschaftliche Erkenntniss ziemlich bedeutungslos, schon aufgegeben hatten, so müssen wir auch hier anerkennen, dass ihm eine wesentlich höhere Bedeutung nicht beigelegt werden kann. Es ist nichts als ein Bestandtheil, welches das Molecul zusammensetzt und sich durch nichts Weiteres als durch die Erregung von Wellen im Aether zu erkennen giebt. Indem nun solche von jedem materiellen Theilchen hervorgebracht werden können, mag seine anderweitige Beschaffenheit sein, wie sie wolle, wenn es nur materiell, d. h. Träger von Kräften ist, so ist auch hier noch kein Mittel gewonnen, das Wesen des Atomes näher zu bestimmen; es ist nichts als die feinst getheilte Materie. Weil die meisten Körper verschiedene Streifen im Spectrum bilden, so kann man hierin den schon früher gezogenen Schluss bestätigt finden, dass die kleineren Theile auch der einfachen Substanzen aus mehreren Atomen bestehen. Wir kommen sogar noch weiter zurück, als die Chemie uns zu gehen zwang. Sie nimmt blos wenige Atome im Molecule an, hier müssen wir schon bei manchen Elementen eine grosse Anzahl derselben vermuthen,

nämlich so viele, als verschiedene Streifen im Spectrum sich zeigen. Ob diese letzten Atome nun gleichartig oder ungleichartig sind, ist mit Sicherheit nicht zu entscheiden. Wenn die Verschiedenheit der Wellen, die im Aether durch ihre Anstösse entstehen, freilich das Letztere wahrscheinlich macht, so kann dieselbe auch daher rühren, dass die Lagerung der Atome im Molecule und dadurch ihre Schwingungsverhältnisse nicht überall dieselben sind. Wäre das Erstere, die Verschiedenheit der Atome, nachweisbar, so dürfte die Frage aufgestellt werden, worin diese begründet sei, und dadurch käme man vielleicht wieder dahin, auch diese letzten Bestandtheile des Moleculs selber zusammengesetzt zu denken. Im anderen Falle dagegen brauchten wir über das Wesen der Atome keinen Aufschluss mehr zu suchen, könnten auch keinen finden, denn wenn alle beobachteten Erscheinungen aus Lagerungsverhältnissen kleinster Theilchen sich ableiten lassen, so können und müssen diese selbst unberücksichtigt oder wenigstens unerkannt bleiben. Wir kommen daher zu dem Resultate. die Optik lehrt wohl die Molecule näher kennen, die Atome aber verschliessen sich auch dieser höheren Einsicht; und das Ergebniss gesellt sich auch hier wieder hinzu: sollten sie dennoch einmal bekannter werden, so bleiben sie nicht, was sie sind, sondern erweisen sich als aus unbekanntem Bestandtheilen zusammengesetzt.

Die theoretisch wichtigste Folgerung, welche die vom Prisma gebotenen Erscheinungen zuliessen, ist die von Kirchhoff gezogene, welche das Verhältniss zwischen der Emission und Absorption des Lichtes erklärt. Hierzu gab eine auffällige, schon längst gemachte und nach dem Vorgange von Frauenhofer bei genaueren Massbestimmungen häufiger benutzte Beobachtung Anlass, nämlich das Vorhandensein dunkler Linien im Spectrum der Sonne, die, unregelmässig vertheilt, das dem ersten Anblicke zusammenhängend erscheinende Spectrum zu einem discontinu-

irlichen machen. Kirchhoff bemerkte, und auch Andere hatten dies vor ihm wahrgenommen, dass einige dieser dunklen Linien mit den hellen glühender Dämpfe und Gase zusammenfallen. Hierauf fussend erreichte er es, dieselben in einem sonst durchaus ununterbrochenen Spectrum, wie in dem des glühenden Kalkes, künstlich dadurch zu erzeugen, dass er dessen Licht durch irgend eine Flamme hindurchgehen liess, die ein aus einem oder einigen Streifen bestehendes Spectrum besass. Er wählte als die bequemste die Natronflamme, welche sich durch einen Streifen gelber Farbe kenntlich macht. Wurde hinter dieser ein Kalklicht angebracht, so erschien der gelbe Streifen desto dunkler, je heller das Licht leuchtete, und endlich erschien er im Gegensatze zu dem hellen Spectrum völlig schwarz. Er konnte dies nicht absolut sein, denn sein Licht wurde durch das hinter der Natronflamme befindliche nicht zerstört; indem aber die Natronflamme sämmtliche, dem gelben Streifen entsprechende Wellen des Kalklichtes vernichtete, wurde in dieser Linie die Helligkeit nicht vermehrt, während sie sonst überall beständig zunahm. Hieraus leitete Kirchhoff das wichtige Gesetz ab, dass jeder Körper diejenigen Lichtstrahlen am stärksten absorbiert, die er selbst unter den betreffenden Umständen auszusenden vermag; wonach zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen bei allen Körpern für Licht gleicher Wellenlänge das nämliche Verhältniss besteht.

Dies Gesetz spricht die Principien klar aus, nach denen eine Wechselwirkung zwischen der Aetherwelle und dem kleinsten Theilchen der Materie vor sich geht; es möge zur Erläuterung der Art und Weise, in welcher dies geschieht, gestattet sein, auf diejenigen Erscheinungen kurz hinzuweisen, welche überhaupt den Einfluss des Lichtes auf die Körper darzuthun vermögen. Unter diesen steht die Fluorescenz als die meist untersuchte obenan. Sie zeigt sich an gewissen Substanzen, wie an einer Lösung

von schwefelsaurem Chinin oder einer Abkochung der Rinde von Rosskastanien, in der Art, dass diese, wenn sie vom Lichte getroffen werden, in einer eigenen Farbe zu leuchten beginnen. Das wird leicht dadurch nachgewiesen, dass man Strahlen nur einer Art auffallen lässt; die Fluorescenz zeigt sich dann bei gewissen, nicht bei allen, und ihr Licht ist von dem sie veranlassenden verschieden; sie kann durch verschiedene Strahlen hervorgebracht werden, ihr eigenes Licht aber bleibt immer das nämliche. Es kann also hier nur von einer Erregung neuen Lichtes, nicht aber von einer Umwandlung schon vorhandenen in ein anderes die Rede sein; ob dieses, wie Stokes annahm, immer von grösserer Wellenlänge ist, als das erregende, oder ob das, wie neuerdings behauptet wird, nur der gewöhnlichere Fall ist, kann unberührt gelassen werden; für uns wichtig unter den für die Fluorescenz sicher nachgewiesenen Gesetzen ist das der Absorption aller wirk-samen Strahlen, ein Gesetz, welches sich sofort dadurch anzeigt, dass Licht, welches einmal Fluorescenz erregt hat, dies in der nämlichen Substanz nicht wiederum vermag. In einer anderen ist das, wenn auch im Allgemeinen in sehr geringem Masse, möglich, wie auch mit der Substanz die Beschaffenheit des fluorescirten Lichtes sich ändert.

Dasselbe erlischt zugleich mit dem erregenden Strahle, und hierauf gründet sich besonders der Unterschied der Fluorescenz von der ihr nahe verwandten Phosphorescenz, welche sich als ein länger anhaltendes Leuchten an gewissen Substanzen unter Umständen zeigt, unter denen man dies sonst nicht zu beobachten gewohnt ist. Die hier gegebene Definition ist eine sehr weite, sie umfasst viele, völlig verschiedenartige Erscheinungen. Ursprünglich auf das Leuchten des Phosphors angewandt, erweiterte sie sich im Laufe der Zeit, indem ihr neue Erscheinungen untergelegt wurden, die man irrthümlicher Weise derselben unbekanntem Ursache entsprungen wähnte. Später trat

freilich eine Sonderung ein, aber der gemeinsame Name blieb. Wir haben hier zunächst nur die eine Gruppe im Auge, wo die Phosphorescenz durch die directe Einwirkung des Lichtes hervorgebracht wird. Gewisse Substanzen, wie der aus schwefesaurem Baryt bestehende Bologneser Leuchtstein und namentlich auch die fluorescirenden, entwickeln, nachdem sie eine kürzere oder längere Zeit dem Einflusse der Sonne oder einer anderen intensiven Lichtquelle ausgesetzt waren, ein eigenes Licht, welches sich im Dunkeln Minuten, Stunden oder gar Tage lang bemerklich macht, aber allmählig schwächer wird und schliesslich völlig erlischt. Becquerel ¹⁾ unterwarf die Phosphorescenz einer eingehenden Untersuchung und stellte mehrere Gesetze für sie auf, die allerdings genau nur für schnell verlöschende gelten. Nach ihnen ist die Stärke derselben der Intensität der Einstrahlung nahezu proportional, und ihre Abnahme erfolgt in einer geometrischen Proportion. Ferner wird sie, wie die Fluorescenz nicht durch alle, sondern nur durch Strahlen gewisser Wellenlänge hervorgebracht.

Hier darf endlich das Gebiet der Chemie nicht vergessen werden. Gewisse Verbindungen, die Salze und Oxyde der edlen Metalle, manche Ueberoxyde, z. B. des Bleies, Mangans und Eisens, und in den Pflanzen die Kohlensäure, werden durch die Einstrahlung des Lichtes auf niedere Oxydationsstufen reducirt, sie geben ihren Sauerstoff ab, während umgekehrt andere Stoffe unter demselben Einflusse sich chemisch vereinigen; so verbindet sich Chlor und Wasserstoff bei directem Sonnenlichte unter heftigem Knalle plötzlich, bei zerstreutem allmählig zu Salzsäure. Auch hier gelten den früheren ähnliche Gesetze. Die chemische Wirkung kommt nicht allen Strahlen gleichmässig, sondern nur gewissen zu; es werden die activen Strahlen absorbirt, und die Grösse der Wirkung ist der

¹⁾ Becquerel: La lumière, sa cause et ses effects. Paris, 1867.

Stärke der Einstrahlung proportional. Bei chemischen Processen zeigt sich auch das Umgekehrte, sie werden nicht nur häufig durch Licht bewirkt, sie sind auch im Stande, solches zu entwickeln. Abgesehen von dem mit den Wärmewirkungen zugleich auftretenden entsteht bei manchen Oxydationen, z. B. bei der des Phosphors oder dem Faulen vieler Hölzer ein lebhaftes Leuchten. Dies wird um so heller, je lebhafter die Oxydation vor sich geht, wird mit ihr schwächer und erlischt zugleich mit ihrem Aufhören.

Bei allen diesen Vorgängen ist die Grösse der Wirkung von der Menge des einstrahlenden Lichtes abhängig; die wirksamen Bestandtheile werden vernichtet. An Stelle der verschwundenen Theile des ursprünglichen Lichtes tritt neues auf, entwickelt sich gar ein chemischer Process, ein rein materieller Vorgang. Wir können diese Beobachtungen als directe Beweise für eine zwischen Licht und Materie stattfindende Wechselwirkung deuten, und, wenn wir schon früher Anlass hatten, auszusprechen, dass die Schwingungen der Atome die Aetherwellen erregen, so können wir an der Hand dieser Thatsachen umgekehrt nachforschen, welchen Einfluss diese auf jene ausüben. Derselbe braucht nicht gerade als ein unmittelbarer angesehen zu werden, er wird vielmehr wahrscheinlich durch die um die Molecule gelagerten Aetherhüllen vermittelt. Gegen sie stossen die Lichtwellen und verschieben sie aus der Gleichgewichtslage. Die Verschiebung äussert ihre Wirkung auf den Kern, das Molecul, dessen Lage oder die seiner Atome dadurch geändert wird. Eine einzige Welle freilich ist nicht im Stande, eine solche Umwälzung zu bewirken; es folgt aber Wellenzug auf Wellenzug und damit Anstoss auf Anstoss gegen das Molecul. Während dieses durch den ersten Stoss unendlich wenig verrückt ist, wird die Verrückung durch den zweiten um einen weiteren, durch den dritten um einen ferneren Bruchtheil

vermehrt, bis endlich durch die Summation dieser kleinen Wirkungen eine bemerkbare Bewegung zu Stande gebracht ist. Unter allen Umständen ist dies freilich nicht möglich. Folgen einander die Stösse ganz unregelmässig im Verhältniss zu der in der Materie möglichen Bewegungsart, so vernichtet im Allgemeinen der zweite die Wirkung des ersten und verhindert ein bemerkbares Resultat. Das bewegte Molecul wird bei geringer Verschiebung durch die übrigen in seine ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückgedrängt; ist es hier angelangt, so geht es vermöge seiner Trägheit über sie um ein Gewisses hinaus und strebt dann von der anderen Seite her in dieselbe zurückzukehren; es beginnt zu schwingen. Treffen alle Stösse gerade in solchen Momenten, wo das Theilchen zum zweiten Male in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, so drängen sie es immer mehr nach der Seite der ursprünglichen Ablenkung hin, und ihre Wirkung verstärkt sich; folgen sie aber einander so, dass sie bald in dieser, bald in der entgegengesetzten Phase der Bewegung anlangen, so vernichten sie sich.

Offenbar tritt die grösste Wirkung, sowohl was das Zustandekommen von Bewegungen in der Materie, als auch was die dadurch herbeigeführte Vernichtung der Aetherschwingungen anbelangt, dann ein, wenn die Cohäsionsverhältnisse der Theilchen einer Substanz derartig sind, dass ihre Atome mit den einfallenden Wellen nur gleich zu schwingen vermögen. Letzteres aber bedeutet nach der Undulationstheorie: die Substanz sendet dem auf sie einfallenden gleiches Licht aus; und so folgt das Kirchhoff'sche Gesetz, nach welchem ein Körper das Licht absorbirt, welches er selbst auszusenden vermag, unmittelbar aus den theoretischen Erwägungen. Freilich weichen diese in einem Punkte scheinbar von der Erfahrung ab. Nach dieser wird die absorbirende Flamme nicht sichtlich verändert, während doch gerade ein besonders grosser Einfluss

sich geltend machen sollte. In Wirklichkeit tritt er sicherlich auf; wenn er nicht so auffällig ist, als die Absorption und nicht als eine Lichtentwicklung oder eine äusserlich sichtbare Umgestaltung des absorbirenden Mediums sich offenbart, so rührt das von der verhältnissmässigen Grösse der Masse des materiellen Theilchens gegen das des Aethers her. Genauere Beobachtungen liessen die zu erwartende Veränderung in einer Temperaturerhöhung der Flamme finden.

Die Phosphorescenz und Fluorescenz beweisen hier schlagender, denn sie können, wenn überall das Licht in Schwingungen der kleinsten materiellen Theilchen seinen Ursprung hat, auch nur aus solchen hervorgegangen sein. Treten sie auf, so ist an Stelle der Bewegung der einfallenden Aetherwellen, deren Absorption nachgewiesen wurde, die also vernichtet ist, eine Bewegung, nämlich der Atome, entstanden, welche wiederum im Aether Wellen hervorbringt. Die Phosphorescenz erinnert dabei an das aus der Akustik bekannte Abklingen eines Tones; wie eine Saite durch den Ton, auf welchen sie gestimmt ist, zum Mittönen gebracht wird und nicht immer sofort mit diesem schweigt, sondern noch weiter sich hören lässt und langsam abklingt, so erlöschen die Schwingungen der Atome nicht immer sofort, wenn die Stösse der Aetherwelle aufgehört haben, sondern behalten ihre Bewegung noch länger bei und entsenden ein langsam schwindendes Licht, wenn das erste schon längst erloschen ist. Dahingegen sind bei der Fluorescenz die Schwingungen sogleich beendet, wenn der Anstoss aufhört. Dieser zwischen den beiden verwandten Erscheinungen bestehende Unterschied ist durch die Cohäsionsverhältnisse der verschiedenen Substanzen bedingt, denn er hängt von der Kraft ab, mit welcher die kleinsten Theilchen in die Gleichgewichtslage zurückgezogen werden; ist diese so stark, dass nur wenige Schwingungen möglich sind, so tritt Fluorescenz, im anderen Falle tritt Phosphorescenz ein.

Es bleibt bei der Fluorescenz nur merkwürdig, dass, da ihr Licht von dem einfallenden verschieden ist, die Schwingungen der Atome denen in der Aetherwelle nicht gleich sind. Man beobachtet nämlich gewöhnlich, dass ein periodischer Impuls auch Schwingungen gleicher Periode hervorzubringen pflegt; doch hat Stokes nachgewiesen, dass dies nur dann nothwendig ist, wenn die elastischen Kräfte, welche die verschobenen Theilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückzuziehen trachten, der Grösse der Verschiebung direct proportional sind. Da aber dies nicht für die Molecularschwingungen des Lichtes der Fall zu sein braucht, so hat man hier schon eine Möglichkeit, die bestehende Schwierigkeit bei Seite zu schaffen.

Die bisher immer angenommene Einwirkung des Lichtes auf die Materie war freilich bis jetzt wahrscheinlich, aber im Grunde doch nirgends streng nachgewiesen; sie konnte nur aus der Nothwendigkeit des Einflusses der Aetherhüllen auf die Molecule gefolgert werden; strenge aber wird sie bewiesen durch die chemischen Wirkungen, denn die bestehen in einer wirklichen Veränderung der Materie, in einer Bewegung ihrer kleinsten Theilchen. Wird ein Silberoxyd in Sauerstoff und metallisches Silber zerlegt, so muss nach der Ansicht der Chemie eine Losreissung, eine Vermehrung des Abstandes des Silberatoms von dem Sauerstoffatome bewirkt sein, während die Vereinigung von Chlor und Wasserstoff einer Annäherung beider Elemente zugeschrieben wird. Selbstverständlich erscheinen bei den chemischen Wirkungen die Absorption der wirkenden Strahlen und die Proportionalität der erzielten Resultate mit der Stärke der Einstrahlung, wenn angenommen wird, dass unter dem Einflusse des Lichtes schwingende Bewegungen der Atome entstehen; aber bei dieser Annahme löst sich auch der Widerspruch, dass entgegengesetzte Wirkungen, wie die Auflösung einer Verbindung und die Bildung einer neuen durch dieselbe Ur-

sache hervorgebracht werden, leicht als ein bloß scheinbarer auf. Es kann das Licht lediglich eine chemische Verbindung auflösen; beobachtet man das Entgegengesetzte, so hat man einen secundären Erfolg für den ursprünglichen angesehen. Indem unter dem Einflusse des Lichtes die Atome zu schwingen beginnen, muss zunächst ihre Verbindung im Molecule gelockert und kann schliesslich völlig gelöst werden, und das gilt sowohl für die aus zwei verschiedenen Elementen gebildeten Molecule, als auch für die bloß eines Elements. Die frei gewordenen Atome streben, sich unter allen Umständen mit anderen so lange zu vereinigen, bis alle ihre Verwandtschaftseinheiten besetzt sind, und sie ziehen dabei diejenigen vor, zu denen sie eine grössere Affinität besitzen. Nun lässt sich denken, dass das Sauerstoffatom sich mehr mit seines Gleichen als mit Silber zu vereinigen strebt und deshalb mit letzterem sich nicht wieder verbindet; das Silberoxyd wird desoxydirt. Umgekehrt ist die Hinneigung von Chlor zum Wasserstoff und umgekehrt stärker als zu den eigenen Atomen. Wenn also das zweiatomige Chlor, und ebenso das Wasserstoffmolecul durch die Kraft des Lichtes gelöst ist, so erstreben beide nicht wieder dieselbe Verbindung, sondern suchen sich zur Salzsäure zu vereinigen.

Das eigentliche Gebiet für die Erforschung des Lichtes ist dort, wo es als von der Materie unabhängig und unberührt in seiner freien Bewegung und Fortpflanzung sich darbietet. Dort ergaben sich einfache und sicher festgestellte Sätze, die in ihrer mathematischen Formelung zu Resultaten führten, die weit über die erste Beobachtung hinausreichten und so zur glänzenden Bestätigung der Vibrationshypothese dienten. Ein Anderes war es, als auf die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie Rücksicht genommen wurde; so allgemein diese sein muss, die gefundenen Resultate blieben spärlich und liessen keine ganz

sichere Feststellung zu; sie wurden mit der Hypothese freilich durch die Annahme von Schwingungen der Atome in Einklang gebracht, aber es war auch nur ein Einklang, nicht ein Verschmelzen und Aufgehen beider in einander. Die Annahme der Bewegungen der Atome folgte nicht unbedingt aus den Thatsachen selber; sie wurde erst durch die Vibrationshypothese zu einer nothwendigen. Wenn auch die Gültigkeit dieser letzteren deshalb nicht weniger gesichert bleibt, so tritt uns hier doch eine fühlbare Lücke entgegen, die ausgefüllt werden muss. Das ist als gelungen anzusehen, wenn sich auch von anderer Seite Gründe für eine Bewegung der Körpertheilchen auffinden lassen. Die Wärme leistet dies.

Sie soll mit dem Lichte die nämliche Ursache haben und nur eine andere Erscheinungsform sein. Die Wellen, welche das Auge erregen, sollen auch den Empfindungsnerv berühren und sich als Wärmegefühl bemerklich machen können. Freilich ist dies nicht so zu verstehen, als ob jede Aetherwelle in beiden Formen nothwendiger Weise ihr Dasein zu erkennen geben müsste. Wie das Spectrum ultraviolette Theile hat, die ihre Gegenwart blos durch fluorescirende oder chemische Einflüsse offenbaren, so kann es auch Lichtstrahlen geben, die nicht als Wärme und Wärmestrahlen, die nicht als Licht empfunden werden. Doch dieser Unterschied soll kein eigenthümlicher, durch eine innere Verschiedenheit beider Strahlenarten oder ihrer Bewegungen bedingter sein, sondern in der Natur unserer wahrnehmenden Organe, der Nerven und des Auges, begründet liegen. Der Gesichtsnerv überträgt erst dann erhaltene Anstösse dem Bewusstsein, wenn dieselben in hinreichend kurzer Zeit auf einander folgen. Die Gefühlsnerven erweisen sich gerade umgekehrt gegen die kürzeren Wellen weniger empfindlich, als gegen die längeren. Auch gelangen nicht alle Strahlen an die Sehnerven; die äusseren Theile des Auges, die

Hornhaut, die Linse etc. lassen einen Theil derselben gar nicht durch, sondern absorbiren ihn, und ebenso mögen die kürzesten Wellen überhaupt nicht im Stande sein, bis auf die Endigungen der die Wärme empfindenden Nerven durchzudringen.

Wenn wir Licht und Wärme als verschiedene Erscheinungsformen derselben Ursache bezeichneten, so drückten wir damit das Wesen der einen Hypothese über die Wärme aus. Aehnlich wie für das Licht hat für sie lange Zeit eine andere gegolten, die wir, wenn wir jene eine dynamische zu nennen uns gestatten, mit dem Namen einer materialistischen bezeichnen können. Erblickt jene in der Wärme eine Art der Bewegung, so glaubt diese, sie sei ein unwägbarer Stoff, dem sie ähnliche Eigenschaften zuschreibt, wie sie den chemischen Elementen zukommen. Verfolgten wir die historische Entwicklung, so müssten wir auf die letztere Hypothese in erster Linie Rücksicht nehmen; hier aber können wir sie als jetzt allgemein aufgegeben unberücksichtigt lassen.

Während das Licht sich in seiner Freiheit ausserhalb der Körperwelt besonders fassbar und erklärbar zeigt, in seiner Wirkung auf die Materie aber schwer zu ergründen bleibt, ist es mit der Wärme gerade umgekehrt, und aus natürlichem Grunde. Das Auge bemerkt die geringsten Unterschiede in der Helligkeit und Farbe; es wird von dem schwächsten Lichtstrahle augenblicklich erregt und entscheidet sofort über die Qualität desselben. Wenn es auch quantitativ keine genauen Bestimmungen zu machen im Stande ist, so beurtheilt es doch sicher, ob überhaupt Licht vorhanden ist, und vermag geringe gradweise Unterschiede in dem vorhandenen leicht festzustellen. Das Gefühl dagegen nimmt die Wärme bloß als solche wahr; während es geringe Temperaturunterschiede schwer bemerkt, lässt es über die absolute Quantität der vorhandenen Wärme völlig im Unklaren; und, was besonders

schwer wiegt, qualitative Unterschiede existiren für dasselbe gar nicht. Während das Auge ein sicherer Beobachter ist, bleibt das Gefühl ein höchst unvollkommener, und es allein würde zur Aufstellung einer Hypothese nie ausgereicht haben. Während aber die Einwirkung des Lichtes auf die Materie eine sehr geringe und schwer nachzuweisende ist, verändert die Wärme dieselbe in bedeutendem Masse. Aus diesem Verhalten folgt der Gang der Entwicklung von selbst. Beim Lichte ging man aus von der freien Bewegung und berücksichtigte erst zuletzt die Einwirkung auf die Materie, bei der Wärme fielen zuerst die Veränderungen der Körper auf, und aus ihnen wurden die Hypothesen abgeleitet. Erst später betrachtete man auch die Wärme in ihrer freien Bewegung und erfand sie dann als ebenso sich verhaltend wie das Licht. Wir weisen schon hier auf diese, da sie für die Ausbildung der Hypothese wenig wichtig waren, und sich ihrer Natur nach dem bis jetzt Gesagten am besten anschliessen, der späteren Entwicklung vorgreifend kurz hin.

Die Wärme verbreitet sich von dem heissen Körper aus nach allen Seiten in gleichmässiger Weise; die Intensität nimmt dabei proportional dem Quadrate der Entfernung ab. In welcher Geschwindigkeit die Fortpflanzung von statten geht, ist nicht zu messen gewesen; für unsere Verhältnisse ist der Uebergang ein plötzlicher, in unmessbarer Zeit erfolgender. Da aber die Wärme der Sonne zugleich mit deren Auftauchen über dem Horizont sich bemerkbar macht, so haben wir allen Grund anzunehmen, dass sie mit dem Lichte zugleich zu uns gelangt, dass beider Geschwindigkeit gleich sei. Die regelmässige Reflexion, sowie die Brechung der Wärme waren längst bekannt. Wie es schon dem Archimedes glückte, Brennspiegel herzustellen, mit denen er die Schiffe im Hafen von Syrakus in Brand gesetzt haben soll, so waren auch die Brennläser schon eher im Gebrauch, als der Grund

ihrer Wirksamkeit verstanden wurde. Auch die diffuse Zurückwerfung der Wärmestrahlen lässt sich nachweisen. Fallen solche auf eine rauhe Oberfläche, so ist nach allen Richtungen hin eine Temperaturerhöhung wahrzunehmen; und wie beim unregelmässig reflectirten Lichte, so muss auch hier eine Absorption stattgefunden haben, denn die Wärmeabnahme der zerstreuten Strahlen erklärt sich nicht aus deren Zerstreuung allein, sie ist vielmehr kleiner, als der sich aus dieser ergebende Werth; es muss also ein Theil von ihnen absorbirt sein, und es bewies Knoblauch, dass die Grösse desselben von einer Auswahl abhängt, welche die Substanz ausübt. Vorausgesetzt war hierbei von ihm schon eine qualitative Verschiedenheit der Wärmestrahlen. Diese hatte Melloni durch den nach ihm benannten, in seinem wesentlichen Theile aus einer Thermosäule bestehenden Apparate nachgewiesen. Zu diesem Nachweise gelangte er bei der Beobachtung der Durchstrahlung der Wärme durch Platten verschiedener Substanz, bei welcher sich herausstellte, dass, wie für das Licht die Körper in verschiedenem Masse durchsichtig sind, sie sich so auch ungleich gegen die Wärme verhalten.

Melloni spricht daher von einer Wärmefärbung. Beim Lichte wurden die Farben auf die Unterschiede der Wellenlängen zurückgeführt, und das ist auch hier zulässig. Dies tritt bei einer genaueren Betrachtung des Spectrums nach einer Seite hin besonders hervor, die bisher unberücksichtigt gelassen wurde, nämlich nach seiner Aenderung mit der Temperatur der leuchtenden Körper. Draper fand, dass bei allmählig steigender Temperatur zuerst die am wenigsten brechbaren rothen Strahlen auftreten, dann immer brechbarere hinzukommen, bis schliesslich alle Farben vorhanden sind, und das ausgesandte Licht weiss erscheint. Wie im Verlaufe des sichtbaren Spectrums mit zunehmender Temperatur Strahlen immer kleinerer Wellenlängen entstehen, so muss das auch schon gelten,

bevor das Spectrum überhaupt sichtbar wird; es muss einen Theil vor dem Roth geben, dessen Wellen länger als die längsten in dem sichtbaren Abschnitte sind. Und in der That, zerlegt man das Sonnenlicht durch ein Prisma, so sind nicht nur ultraviolette wirksame Theile zu beobachten, sondern vor dem Roth sind noch weniger brechbare Parthieen vorhanden, die man bei einer thermometrischen Untersuchung auffindet. Eine solche unternahm zuerst der ältere Herschel. Mit ihm glaubte man anfangs, die Dispersion der Wärmestrahlen hänge von der Beschaffenheit des Prismas ab, bis Melloni das Gegentheil nachwies und als Grund der früheren Meinung angab, dass die vor ihm zum Prisma gewählten Substanzen sich gegen die Wärme nicht völlig diatherman verhalten, also gefärbten Gläsern gleich zu achten sind. Um ein reines Wärmespectrum zu bekommen, muss man ein Steinsalzprisma wählen, bei dessen Anwendung man mit den Lichtstrahlen stets Wärmestrahlen vereint findet, die als zugleich wärmende und leuchtende aufzufassen sind; ausserdem aber bemerkt man dunkle in grosser Anzahl vor dem Roth derart, dass das Wärmespectrum fast die doppelte Ausdehnung des Lichtspectrums besitzt.

Durch das Gesagte erscheint die Vorstellung gerechtfertigt, dass ein Körper, wenn er erhitzt wird, dadurch in den Stand gesetzt wird, Wellen im Aether zu erregen, deren Zahl mit steigender Temperatur in der Art wächst, dass immer kürzere zu den schon vorhandenen hinzukommen. Die zuerst entstehenden längeren und weniger brechbaren, als die dem Roth zugehörigen wirken nicht auf den Sehnerv, wohl aber werden sie vom Gefühl wahrgenommen. Sie sind insofern identisch mit dem Lichte, als sie wie dieses in Aetherschwingungen bestehen, sie sind im Allgemeinen verschieden, als sie Wellen von grösserer Länge sind.

Zur Bestätigung mögen noch folgende Thatsachen

angeführt werden. Es lässt sich sowohl Licht in Wärme umsetzen, als auch das Umgekehrte möglich ist. Dies könnte nicht geschehen, wenn ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden bestände, wenn das erstere eine Aetherbewegung, die zweite irgend etwas Anderes wäre. Als Beispiel der einen Umwandlung diene die Absorption der Lichtstrahlen, etwa in einer leuchtenden Flamme, bei welcher stets eine Erhöhung der Temperatur der Flamme zu beobachten ist; für die andere möge die Thatsache angeführt werden, dass eine Phosphorescenz nicht allein durch Insolation, sondern auch durch Erhitzung der betreffenden Substanz hervorgerufen wird, oder namentlich, wenn sie schon fast erloschen ist, dabei wieder in neuem Glanze aufleuchtet. Wie ferner die Fluorescenz ein Beispiel der Umsetzung von Wellen einer Länge in die einer anderen gab, so fand Tyndall ein ähnliches, ebenso auffälliges in der Calorescenz. Er benutzte eine Brennlinse von durch Jod gefärbtem Schwefelkohlenstoff, die alle hellen Strahlen absorbirt und nur die dunklen durchlässt. Es entsteht ein dunkler Brennpunkt, dessen Wärme aber ausreicht, einen Platindraht ins Glühen zu bringen, so dass also die Wärmestrahlen durch Vermittelung des Platins in leuchtende umgesetzt werden können. Die Interferenz und Polarisation können für die Wärmestrahlen nachgewiesen werden; auch das Kirchhoff'sche Gesetz scheint für sie ebenso zu gelten, wie für das Licht. Die Erfahrung wenigstens lehrt, dass, wie bis zu einer Temperatur von 100° alle Wärme von allen Substanzen gleichmässig absorbirt wird, so auch bis dahin alle Körper die gleiche ausstrahlen, einerlei, auf welchem Wege sie hierzu veranlasst sind. Die äusseren Schichten absorbiren ferner am meisten und strahlen umgekehrt am meisten aus, und diejenigen Strahlen, welche ein Körper unter gegebenen Umständen hervorbringt, vernichtet er dann auch vorzugsweise.

In gewissen Parthieen endlich müssen Licht und Wärme absolut identisch sein, nämlich dort, wo im Spectrum beider Wirkungen zugleich bemerkbar sind. Hier können wir im strengsten Sinne des Wortes von zwei verschiedenen Erscheinungsformen derselben Ursache sprechen. Körper, die gegen Wärmestrahlen im Uebrigen undurchdringlich sind, erweisen sich für die mit Lichtstrahlen verbundenen ebenso durchlässig, als für die letzteren. Diese Wärmestrahlen interferiren mit den Lichtstrahlen und haben dieselben Maxima und Minima mit ihnen; ihre Polarisation ist die nämliche; die Fraunhofer'schen Linien werden durch ein empfindliches Thermometer ebenso wohl als kalt bemerkt, als sie dem Auge dunkel erscheinen; überhaupt fallen alle Wirkungen zusammen.

Wenn sonach eine absolute oder relative Identität zwischen Licht- und Wärmestrahlen besteht, so müssen beide durch dieselbe Ursache, durch dieselbe bewegende Kraft unter Vermittelung desselben bewegten Mittels entstanden sein. Die ersteren sollten die Schwingungen der kleinsten Körpertheilchen hervorbringen; es fanden sich aber für diese Annahmen noch keine ausreichenden Stützen in der Erfahrung. Wir untersuchen nun die Wirkungen, welche die Wärme auf die Materie auszuüben vermag; kommen wir dabei selbstständig dahin, sie aus Schwingungen der kleinsten Theilchen zu erklären, so dürfen wir es als bestätigt ansehen, dass diese auch die der Wärme gleich zu achtenden Lichtwirkungen verursachen. Dann aber ist der gesuchte Abschluss für die Vibrationshypothese erreicht, und diese als ein vollendetes und in sich abgeschlossenes Ganze dargestellt. Wir werden dem entsprechend die Veränderungen der Materie durch die Wärme untersuchen, ohne im Voraus über ihre Gründe mit Rücksicht auf das bereits Gesagte irgend welche Vermuthungen aufzustellen, und versuchen, eine Hypothese aus dem Gefundenen herzuleiten.

Die auffälligste Veränderung, welche ein Körper erleidet, wenn ihm Wärme zugeführt wird, ist die des Volumens; sie ist allen Substanzen in allen Aggregatzuständen eigen und besteht gewöhnlich in einer Ausdehnung mit der Erhöhung der Temperatur, nur wenige, wie namentlich der Kautschuck, ziehen sich bei der Erwärmung zusammen. Die Ausdehnung verläuft im Grossen und Ganzen der Wärmezufuhr proportional, sie hat aber für verschiedene Substanzen sehr ungleiche Werthe, und auch bei derselben bleibt sie nicht durchaus gleich, sondern nimmt mit höherer Temperatur im Allgemeinen etwas ab. Ferner verläuft sie nur bei durchaus homogener Structur ganz gleichmässig, und auch dann noch hat jede Veränderung, wie das Zusammenpressen durch Hämmern oder Druck, messbare Unregelmässigkeiten zur Folge; Körper jedoch, wie die Krystalle, deren Molecularzustand nach der einen oder nach mehreren Seiten hin ein besonderer ist, weichen nach diesen Richtungen von dem regelmässigen Verhalten ab. Doch solche Unregelmässigkeiten kommen allein bei dem festen und flüssigen Aggregatzustande vor, die Gase verhalten sich anders, denn Gay-Lussac fand, dass sie sich alle bei einer gleichen Temperaturerhöhung um den gleichen Bruchtheil ihres Volumens ausdehnen. Den Werth dieser Ausdehnung bestimmte er zu niedrig, Versuche von Rudberg und namentlich von Regnault ergaben für ihn 0,00366 des ursprünglichen Volumens für eine Temperaturerhöhung von 1° . Es haben jedoch nicht alle Gase überall genau denselben Werth; vielmehr ist nur innerhalb bestimmter Grenzen das Gesetz von Gay-Lussac fast durchaus richtig, namentlich aber in der Nähe des Punktes, in welchem die Gase flüssig werden, zeigen sich grössere oder geringere Abweichungen.

Trotz dieser kleinen Unregelmässigkeiten wendet man unter Vorbehalt der etwa nothwendigen Correcturen das Gay-Lussac'sche Gesetz überall an und nennt solche Gase, die ihm durchaus folgen, ideale. Für sie ist folgende

Erwägung angestellt: Entsprechend dem Werthe 0,366 für eine Erhöhung der Temperatur von 0° auf 100° C. muss sich bei der gleichen Erniedrigung das Gas um denselben Bruchtheil seines Volumens zusammenziehen, bei -100° also würde es etwa den dritten Theil seines früheren Raumes einnehmen. Indem es sich so bei fortschreitender Abkühlung immer mehr zusammenzieht, ist schon bei

$$-\frac{1}{0,00366} = -273^{\circ} \text{ C. die äusserste Grenze erreicht.}$$

Von hier an könnte die Ausdehnung und somit die Wärme überhaupt nur gerechnet werden. Man zählt in der That von diesem freilich bloß theoretisch bestimmten, der Wirklichkeit schwerlich entsprechenden, aber doch wohl wenigstens annähernd richtig gefundenen Punkte an, nennt ihn den absoluten Nullpunkt und die von ihm an gezählte Temperatur die absolute. Diese Bestimmung ist deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil mit ihr ohne Rücksichtnahme auf irgend eine Hypothese die bereits hervorgehobene Unsicherheit des Gefühls und der gebräuchlichen Instrumente überwunden ist und sich nun, wenn dieser Ausdruck gestattet ist, das ganze Quantum der Wärme, welches ein Körper besitzt, in Zahlen wirklich angeben lässt.

Bei den Gasen gelangt die Ausdehnung nicht immer zur Ausbildung. Sie hängt nach dem Gesetz von Mariotte von dem auf dasselbe ausgeübten Drucke ab, dem sie umgekehrt proportional ist. Erhält man den Druck nicht constant oder ist dieser überhaupt ein zu mächtiger, so kann das Gas seinem Bestreben, sich auszudehnen, nicht Folge leisten. Anstatt dessen aber erhöht sich der Druck, den die Wände des einschliessenden Gefässes erleiden, entsprechend der Temperaturerhöhung. In Rücksicht auf das Mariotte'sche Gesetz, welches für ideale Gase als absolut gültig anzunehmen ist, kann diese Vermehrung des Druckes unmittelbar an die Stelle der Vergrößerung des Volumens gesetzt werden. Um jeden Zweifel zu beseitigen, pflegt

man das Gesetz des Gay-Lassac mit dem Mariotte'schen zu vereinigen und sagt: Der Raum, den ein Gas einnimmt, ist seiner absoluten Temperatur direct und dem auf dasselbe ausgeübten Drucke umgekehrt proportional.

Lässt sich auch allein für die Gase eine fest bestimmte Regel in Betreff der Volumveränderung durch die Wärme aufstellen, so ist doch im Allgemeinen eine Ausdehnung bemerkbar. Diese erfolgt von innen heraus; das ist aber nur möglich, indem die kleinsten Theilchen ihren Abstand vergrössern; denn dass diese selbst sich ausdehnen, verbietet die Definition derselben anzunehmen. Auch gäbe eine solche Annahme keine Aufklärung; sie schöbe nur die Schwierigkeit zurück, denn bei ihr fragte sich, wie denn die Theilchen es anfangen, sich zu vergrössern; und das wäre genau so schwer oder noch viel schwerer zu beantworten, als die frühere Frage. Eine Vermehrung des Abstandes der Theilchen kann durch zwei Ursachen bewirkt sein, durch eine selbstständige Bewegung derselben oder durch Vermittelung eines unbekanntes Etwas, das bei der Erwärmung zwischen sie eintritt und sie vermöge des Gesetzes der Undurchdringlichkeit bei Seite und auseinander schiebt. Beim absoluten Nullpunkt liegen die Theilchen durchaus unbewegt und ohne Abstand aneinander; von diesem an beginnt ihre Bewegung, oder fängt das Etwas an, sich zwischen sie einzuschieben.

Wäre das Letztere ein wägbares, so müsste das Gewicht der Körper zunehmen, in je grösserer Menge es in ihnen enthalten wäre; je grösser die Ausdehnung ist, desto mehr des Stoffes muss unbedingt da sein, also müsste mit der Vergrösserung des Volumens das Gewicht der Körper zunehmen. Da dies nach der Erfahrung nicht der Fall ist, so müsste das Etwas unwägar sein. Dass ein Körper nicht schwerer wird, wenn sein Volumen sich vergrössert hat, weil seine Atome oder Molecule weiter auseinander getreten sind, ist selbstverständlich. Hier kann jedoch

eine schwierige Frage gestellt werden, nämlich woher den Theilchen denn überhaupt die Fähigkeit, auseinander zu treten, komme. Für ein in einem zweiten enthaltenes System bewegter Theilchen ist dies leicht auf das andere zurückzuführen, aber bei diesem ist wieder dieselbe Frage berechtigt. Fährt man so zu fragen fort, so gelangt man schliesslich dahin, eine gewisse Menge der Bewegung als im Weltall ursprünglich vorhanden anzunehmen, ohne entscheiden zu können, woher dieselbe stamme. Diese ganze Erwägung aber ist offenbar keine in das Bereich einer physikalischen Hypothese gehörige; der kann es einerlei sein, wo die Bewegung ihren Ursprung hat; wie sie Kraft und Stoff als gegebene Grössen hinnimmt, so darf sie auch kein Bedenken tragen, wenn die beobachteten Erscheinungen sie schon darauf hinleiten, eine gewisse Menge der Bewegung als thatsächlich vorhanden vorauszusetzen, die nun in ihren Umwandlungen weiter zu verfolgen sie erst als ihre Aufgabe betrachten darf.

Je mehr Wärme einem festen Körper zugeführt wird, desto mehr dehnt er sich aus. Plötzlich entsteht eine ganz neue Veränderung; die ursprünglich fest zusammenhängenden Theile verlieren ihren Zusammenhang und lassen sich mit Leichtigkeit verschieben, ohne dabei aber völlig von einander loszukommen; der Körper ist flüssig geworden. Von nun an steigen aus ihm Dämpfe empor; ursprünglich blos an der Oberfläche sich bildend, nehmen diese an Menge mit steigender Temperatur zu und entwickeln sich schliesslich auch im Inneren der Flüssigkeit, wenn der Siedepunkt erreicht ist. Die beiden Uebergangspunkte, der Schmelzpunkt und der Siedepunkt, sind für jede Substanz völlig fest bestimmt. Ein besonders wichtiges Moment beim Uebergange aus dem einen Aggregatzustande in den höheren ist das völlige Verschwinden der zugeführten Wärme, die beim umgekehrten Gange wieder entwickelt wird; wie sehr man auch das schmelzende Eis

zu erhitzen versucht, nie gelingt es, seine Temperatur über den Gefrierpunkt hinaus zu erheben, und ein Analoges findet beim Sieden statt. Dies Verhalten mag zunächst die Veranlassung zur Ausbildung der materialistischen Wärmetheorie gewesen sein, da es erklärlich schien, wenn man den Wärmestoff gewissermassen als ein chemisches Element ansah und ihn mit der Materie unter ähnlichen Verhältnissen sich verbindend dachte, wie man dies von chemisch verwandten Substanzen kennen gelernt hatte. Man entwickelte diese Ansicht ähnlich den damals gültigen Theorien der Chemie und übersah vor den grossen Vortheilen, die sie bot, leicht ihre Schwächen. Dennoch, und wenn sie auch eine lange Zeit hindurch die geltende blieb, gelang es nicht, sie überall mit der Erfahrung völlig in Uebereinstimmung zu setzen. Daher finden wir sie schon frühzeitig von Männern wie Rumford und Davy erfolgreich angefochten, aber erst die Entdeckung des Gesetzes der Aequivalenz von Wärme und Arbeit verhalf der von diesen Forschern vertretenen Ansicht zum entscheidenden Siege.

Fällt ein Hammer auf einen festen, unelastischen Körper, so geht die Arbeit, die er wegen der durch den Fall erlangten Geschwindigkeit zu verrichten im Stande war, verloren, dafür bemerken wir eine Erwärmung sowohl des Hammers, als auch des getroffenen Körpers. Ein Gleiches lässt sich in jedem analogen Falle beobachten, so z. B. verschwindet bei der Reibung zweier Körper die zu dieser verwandte Kraft, dafür aber werden die geriebenen Flächen erhitzt. Dass umgekehrt die Wärme mechanische Leistungen zu vollbringen im Stande ist, lehren viele Beispiele; wir heben hier nur die einer ganz bedeutenden Leistung gleichzuachtende Ausdehnung aller festen Körper hervor.

Anfangs blieben die verschiedenen hierher gehörigen Beobachtungen völlig vereinzelt, daher weniger berück-

sichtigt und unverstanden; sie richtig zu verwerthen, lehrte die Praxis, die sich zwingend geltend machte bei den gewaltigen Fortschritten im Gebrauche der Dampfmaschinen, deren treibende Kraft in letzter Linie die Wärme ist. Die durch diese hervorzubringenden ungeheuren mechanischen Leistungen traten immer mehr in den Vordergrund und regten zum Nachdenken an; es war unerklärlich, wie sie allein durch den Durchgang der Wärme ohne die Vernichtung einer anderen entsprechenden Arbeit ermöglicht werden sollten, im Gegensatz zu allen Regeln der Mechanik, die nirgends einen Gewinn an Kraft, sondern überall nur den Uebergang der einen Form derselben in andere erkennen lassen. Der geschäftliche Vorthail gab bald die Veranlassung, die Leistungen der Dampfmaschinen in das Bereich der Mechanik zu ziehen, und reizte zu Versuchen an, sie längst bekannten Gesetzen zu unterwerfen. Die Industrie sucht möglichst billig zu arbeiten, d. h. bei einem möglichst geringen Aufwande an Kraft den möglichst grossen Erfolg zu erzielen, dazu bedarf sie einer Kenntniss der Leistungsfähigkeit ihrer Maschinen und muss dem entsprechende Rechnungen auszuführen wissen. Als sie dies für die Dampfmaschinen that, fand sie bald heraus, dass die Benutzungsfähigkeit dieser nicht unbeschränkt sei, sondern dass die treibende Kraft, die Wärme, Veränderungen erleide, welche sie zu ferneren Leistungen untauglich macht. Man erinnerte sich nun der Thatsache, dass durch mechanische Arbeit Wärme hervorgebracht wird, man begann die Menge dieser zu messen und wurde dadurch zu dem Gesetze der Aequivalenz der Wärme und Arbeit geführt. Zuerst sprach J. R. Mayer dieses aus; er suchte auch schon den Werth des Aequivalents zu bestimmen und berechnete ihn sehr glücklich. Genaue und zutreffende Bestimmungen machte der Engländer Joule, welcher sich der Reibung bediente und dabei durch viele und sorgfältige Versuche bestätigt fand, dass unter allen

Umständen eine Wärmeeinheit, d. i. diejenige Wärmemenge, durch welche die Temperatur eines Kilogramms Wasser von 0° auf 1° erhöht werden kann, beim Verluste einer Arbeit von 425,5 Kg.-Met. entsteht. Umgekehrt bestimmte er die Arbeitsgrösse, welche dem Verluste einer Wärmeeinheit entspricht, und da fand er denselben Werth von 425,5 Kg.-Met. Da spätere, vielfach angestellte Beobachtungen diese Resultate durchaus bestätigten, so war experimentell damit das Gesetz nachgewiesen: Geht mechanische Arbeit verloren, so verwandelt sie sich in Wärme; die Menge dieser hängt allein von der Grösse der verlorenen Arbeit ab. Umgekehrt kann mechanische Arbeit hervorgebracht werden, wenn Wärme verloren geht; und die Menge dieser letzteren ist derjenigen gleich, welche bei dem Verluste einer der neu erzeugten gleichen Arbeit hätte entwickelt werden können.

Als dies Gesetz sicher erwiesen war, so war es unbegreiflich, wie die Wärme als Stoff verloren gehen und als Kraft sich wieder zeigen könne, denn da eine Arbeit nur durch den Aufwand einer lebendigen Kraft geleistet werden kann, so war hier eine solche zu suchen. Wollte man nicht mit metaphysischen Deuteleien sich abgeben, bei denen man vielleicht dahin gelangen konnte, die Kraft als eine Art Stoff aufzufassen und darin eine Erklärung zu finden, so musste man den früheren Standpunkt verlassen und in der Wärme nicht mehr ein materielles Etwas, sondern irgend eine Form der lebendigen Kraft erblicken. Die Physik that dies, und indem sie sich an die Ergebnisse der Mechanik hielt, musste sie die hier vorhandene lebendige Kraft als von der Geschwindigkeit und Masse irgend welcher bewegter Körper abhängig erklären. Da nun aber die erwärmten Substanzen augenscheinlich unbewegt geblieben waren, so bleibt nichts anderes übrig, als die hier vorausgesetzte Bewegung in die kleinsten Theilchen zu verlegen, und demgemäss die Wärme als

eine Art der Bewegung der Atome oder Molecule anzusehen.

Es wurde ihr nicht schwer, gestützt auf diese Ueberlegungen sich ein anschauliches Bild der Vorgänge des Umsetzens von Arbeit in Wärme auszumalen. Trifft ein Stoss auf einen festen Körper, der als solcher dem dadurch erhaltenen Antriebe nicht folgen kann, so theilt die in dem stossenden Körper enthaltene Bewegung sich den kleinsten Theilchen mit, die ja nicht in einem absolut festen Zusammenhange, sondern blos in einem der Grösse ihrer Cohäsionskräfte entsprechenden Zusammenhalte zu denken sind. Auch wenn die Theilchen vorher sich in völliger Ruhe befunden hätten, so müssten sie nun bewegt werden. Indem die ganze frühere, vor dem Stosse in dem stossenden Körper enthaltene, lebendige Kraft sich auf sie vertheilt, und diese von aussen weder vermehrt noch vermindert wird, so kann weder ein Gewinn noch ein Verlust derselben entstehen, sondern die Summe der lebendigen Kräfte aller dieser neuen Bewegungen muss der ursprünglichen gleich sein. Gelingt es, sie zu summiren, so muss die erstere sich wieder ergeben.

Die Masse der bewegten Theilchen bleibt unter allen Umständen die nämliche; wird ihre lebendige Kraft vermehrt, so kann dies nur durch eine Aenderung der Geschwindigkeit erreicht werden. Diese tritt ein, wenn in gleichen Zeiten grössere Strecken oder wenn gleiche Strecken in kürzeren Zeiten durchlaufen werden. Für eine fortschreitende Bewegung fallen beide Möglichkeiten in eine zusammen, nicht aber für eine schwingende, denn für eine solche bedeutet das Erstere, die Schwingungen werden grösser, aber ihre Anzahl in gleichen Zeiten bleibt die nämliche, das Letztere, sie bleiben dieselben, aber ihre Anzahl wächst. Soweit schwingende Bewegungen, wie sie z. B. das Pendel darbietet, zu beobachten sind, zeigt sich überall das Erstere; die Zeiten der Schwingungen hängen

von den Verhältnissen und Umständen ab, in denen der schwingende Körper sich befindet, sie bleiben mit diesen unverändert; die Weiten allein sind veränderlich. Nimmt man dies auch für die Molecule und Atome als gültig an, so folgt jedenfalls als das äusserlich wahrnehmbare Resultat der Erwärmung ein Auseinandertreten der bewegten Theilchen, also eine Ausdehnung des erwärmten Körpers.

Ueberall freilich tritt dieselbe nicht auf; doch zur Erklärung dieser Ausnahme haben wir Grund anzunehmen, dass besondere Ursachen die Ausdehnung verhindern und das Entgegengesetzte bewirken, denn unter allen Umständen braucht ein Stoss die Bewegung der getroffenen Theilchen nicht dauernd zu beeinflussen; er kann auch andere, durch die Art des Zusammenhangs in der Substanz bedingte Veränderungen hervorbringen, wie blose Lagenverschiebungen oder eine Trennung zusammenhängender Massen; auch bei der Verrichtung einer solchen Arbeit wird die lebendige Kraft verbraucht. Wenn sich dann umgekehrt die Massen wieder verbinden oder die früheren Lagen wieder eingenommen werden, so muss der vorige Kraftverlust wieder ersetzt werden, zugleich aber eine Ausdehnung eintreten. Hiernach müssen die Körper, welche, wie der Kautschuck, sich bei der Erwärmung zusammenziehen, bei einer Volumvergrösserung sich erhitzen, während bei den normal sich verhaltenden gerade das Umgekehrte der Fall ist. Beides bestätigt die Erfahrung.

Prüft man die Erscheinungen der Wärme auf Grund des Gesetzes der Aequivalenz, so ist überhaupt immer darauf Bedacht zu nehmen, ob die Bewegungen, die ursprünglich hervorgebracht sind oder hervorgebracht werden konnten, auch wirklich zur Ausführung gelangen, oder ob sie nicht zu anderen Zwecken, zur Leistung irgend welcher Arbeiten verbraucht werden. Bevor dies leitende Princip nicht richtig erkannt war, konnte die dynamische Hypothese nicht allen Erscheinungen folgen; das neue Gesetz

aber führte von selbst auf das Princip, denn als es aufgefunden war, musste man selbstverständlich überall dort eine Arbeitsleistung vermuthen, wo man Wärme der Beobachtung entschwinden sah. Schon bei der mit der Erwärmung verbundenen Volumveränderung ist Arbeit zu leisten, oder kann solche gewonnen werden. Dadurch wird die lebendige Kraft der bewegten Theilchen vermindert oder vermehrt; die Temperatur also erniedrigt oder erhöht. Die Arbeit überhaupt kann als äussere und innere unterschieden werden. Die erstere wird bei der Ausdehnung zur Ueberwindung des Druckes, welchen die umgebenden Medien auf jeden Körper ausüben, verbraucht, bei der Zusammenziehung gewonnen; die letztere ist von den Cohäsions- und den sonstigen im Innern der erwärmten Substanzen wirksamen Kräfte abhängig. Sie ist bei den Gasen eine verschwindend kleine und kann bei den ideellen als Null gerechnet werden; bei den festen und flüssigen Körpern muss jedenfalls die Anziehung, welche die Molecule auf einander ausüben, und welche auf ihre Lagerung bestimmend einwirkt, unter allen Umständen überwunden werden; dies geschieht nicht ohne einen Aufwand von Arbeit, die gewonnen wird, wenn die bewegten Molecule der Anziehung wieder folgen und in ihre früheren Lagen zurückkehren können.

Was nach Abzug aller zu leistenden Arbeiten von der lebendigen Kraft schliesslich übrig bleibt, dient zur Vermehrung der Bewegungen der kleinsten Theilchen, bringt also Temperaturerhöhungen hervor. Mit diesen gleichzeitig schreitet bei fortgesetzter Wärmezufuhr die Ausdehnung stetig fort. Dabei wird der moleculare Zusammenhang immer mehr gelockert; schliesslich ist der Schmelzpunkt erreicht. Hier verschwindet die ganze zugeführte Wärme, und das Gleiche findet beim Siedepunkte statt. Wir nehmen, wie immer, so auch hier an, dass die verschwundene Wärme zur Leistung irgend einer Arbeit

gebraucht ist und suchen diese nachzuweisen. Eine äussere kann sie nicht sein, denn die Veränderungen in den äusseren Verhältnissen sind nicht beträchtlich genug, um das Verschwinden einer so grossen Wärmemenge zu erklären; im Gegentheile sollten sie bei einigen Substanzen, die wie das Eis beim Schmelzen sich zusammenziehen, das Umgekehrte bewirken. Es muss also eine innere Arbeit geleistet sein; und zwar besteht diese in einer Aenderung der Lage und der Bewegungsverhältnisse der Molecule. Im festen Zustande nehmen diese eine gewisse, feste, regelmässige, die passendste Lage ein, die beim Flüssigwerden verlassen wird. Es muss eine gewisse Kraft aufgewandt werden, um die Molecule aus der Gleichgewichtslage in eine andere, weniger passende überzuführen; die Grösse dieser hängt von der molecularen Beschaffenheit der einzelnen Substanzen ab; sie ist es, welche die zugeführte Wärme verbraucht. Ein Aehnliches findet beim Uebergange aus dem flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand statt. Wenn im ersteren auch kein Gleichgewicht der Theilchen mehr besteht, so ist doch noch immer eine gewisse Verbindung derselben da, die sich erst völlig lösen muss, bevor die Flüssigkeit sich in Gas umsetzen kann. Dass beim umgekehrten Verlaufe, dem Uebergange einer Substanz aus dem gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand und aus diesem weiter in den festen, Wärme frei werden muss, und zwar an Menge dieselbe, die bei jenem ersten Verlaufe gebunden wurde, ist an sich selbstverständlich.

Vertheilt sich die Kraft eines Stosses über die Molecule und Atome eines Körpers überhaupt, so ist, wenn diese nicht in ganz besonders ungünstigen Stellungen und Verbindungen sich befinden, sondern bis zu einem gewissen Grade oder überhaupt frei und unabhängig von einander sich bewegen können, das Natürliche, dass diese Vertheilung eine gleichmässige über alle Molecule ist, indem die an Masse geringeren eine desto grössere Geschwindigkeit

erlangen. Man hat daher die Behauptung aufgestellt, dass die Wärmecapacität aller Körper dieselbe sei, entgegen früheren Meinungen, welche das Entgegengesetzte zu vertreten suchten. Man bestimmte anfangs die spezifische Wärme der Substanzen, indem man gleiche Gewichtsmengen derselben zur Untersuchung wählte; dabei freilich kam man zu sehr abweichenden Resultaten, die aber sich dennoch zusammenfassen liessen. Wenn z. B. das Gewicht des Sauerstoffatoms ein 16 mal so grosses ist, als das des Wasserstoffs, so müssen wir annehmen, dass irgend ein Gewicht des Wasserstoffs 16 mal so viele Atome enthält, als das gleiche Gewicht des Sauerstoffs. Ein Anstoss also, welcher irgend eine Menge des ersteren Gases trifft, vertheilt sich auf 16 mal so viele Theilchen, als bei der gleichen Menge des zweiten. Die Folge ist, dass die lebendige Kraft jedes Theilchens des zweiten Gases 16 mal so gross wird, als die des ersten, d. h. dass die Temperaturerhöhung jenes das 16fache ist. Nimmt man aber gleiche Raumtheile beider Gase, so sind nach dem Avogadro'schen Gesetze in beiden gleich viele Molecule enthalten; bei diesen muss sich also für eine gleiche Wärmezufuhr die nämliche Temperaturerhöhung ergeben. Sowohl diese letztere Gleichheit, als jene erstere Verschiedenheit für gleiche Gewichtsmengen bestätigte die Erfahrung. Wenn nicht alle Gase sich durchaus fügen, wenn namentlich die festen und flüssigen Körper ganz namhafte Abweichungen zeigen, so ist dies auf Grund der ungenügenden Beweglichkeit der Molecule und anderer innerer Ursachen und des hiermit zusammenhängenden Verbrauches von innerer Arbeit zu schieben, diese Abweichungen aber dürfen nicht als ein Moment gegen die Richtigkeit der Behauptung einer gleichen Wärmecapacität aller Substanzen betrachtet werden.

Eine besondere Wichtigkeit haben die Wärmeerscheinungen für sämtliche chemischen Vorgänge. Diese gehen bei bestimmter Temperatur vor sich und entwickeln oder

binden Wärme. Auf sie einzeln einzugehen, gehört nicht hierher. Wir verweisen in Betreff des Ersteren, dass sie nur bei einer gewissen Temperatur von statten gehen, auf das schon beim Licht Gesagte, welches sich auch hier anwenden lässt, und heben im Uebrigen nur hervor, wie die Chemie, als sie eine Erklärung für das Zustandekommen der chemischen Verbindungen suchte, selbstständig zu Bewegungen der Atome kam, aus denen nach unserer Hypothese der Einfluss der Wärme bei diesen Processen von selber erfolgt. Wir weisen auf die Anschauungen der Chemie hier besonders auch deshalb hin, weil bei ihnen die Art der Bewegung der kleinsten Theilchen, wie sie auch die Wärmetheorie anzunehmen genöthigt ist, hervortritt. Wie bekannt, behauptet die Chemie eine Anziehung, welche die Atome zweier Elemente auf einander ausüben. Sobald die Umstände es erlauben, folgen sie dieser und stürzen auf einander los. Dabei erlangen sie eine gewisse Geschwindigkeit, die nicht sofort wieder vernichtet sein kann, sobald der Zweck erreicht ist, sondern vielmehr Schwingungen erzeugen muss. Denn die Atome dringen nicht bloß bis zur Sphäre des Gleichgewichts gegen einander vor, sondern wegen der beim Fortschreiten erlangten lebendigen Kraft rücken sie weiter und durchdringen sich mit ihren Abstossungssphären. Nun wird ihre Geschwindigkeit allmählig vernichtet; sobald sie Null geworden ist, tritt ein augenblicklicher Stillstand ein, und dann macht sich sofort die abstossende Wirkung geltend; die Atome bewegen sich rückwärts, passiren die Gleichgewichtslage mit derselben Geschwindigkeit, mit der sie zuerst anlangten, verlieren nun ihre lebendige Kraft vermöge der Anziehung, werden wieder angezogen und gerathen somit in Schwingungen, die sich nach Aussen als Wärme bemerklich machen. Da es für die Art der Bewegung einerlei ist, ob die Atome durch einen inneren Drang getrieben in Bewegung gerathen oder ob sie durch einen äusseren Stoss

dazu veranlasst werden, so muss sich die Sache genau so, wie es hier geschildert wurde, bei einem festen Körper verhalten, dessen Theilchen irgend einen äusseren Anstoss erlitten haben: die Wärmebewegungen müssen bei diesen Schwingungen der kleinsten Theilchen um eine feste Gleichgewichtslage sein.

Da die Aggregatzustände allein durch die Wärme bedingt werden, und diese nichts als eine Bewegung ist, so können nur Unterschiede in dieser die dort beobachteten Verschiedenheiten begründen. Diese Unterschiede müssen noch genauer betrachtet werden. Schon der äussere Anschein lehrt, dass bei den flüssigen und gasförmigen Körpern eine feste Gleichgewichtslage nicht eingehalten wird, also nicht bloss schwingende, sondern auch andere Bewegungen vorhanden sind. Welcher Art diese bei Flüssigkeiten seien, liess sich mit Sicherheit direct nicht ermitteln. Clausius und Andere vermuthen eine merkwürdige Fortwälzung des Theilchens von einem Punkte der Flüssigkeit zum anderen, die zu verwickelt ist, als dass man ihr bis auf Einzelheiten folgen, und sich mehr als ein allgemeines Bild von derselben machen könnte. Wenn die lebendige Kraft eines Molecules eine gewisse Grösse erreicht hat, so kann es aus der Anziehungssphäre seines nächsten Nachbarn austreten. Es würde nun mit seiner augenblicklichen Geschwindigkeit weiter fliegen, wenn nicht seine anderen Nachbarn dem entgegenständen; es gelangt in deren Anziehungssphären und wird hier entweder wieder völlig oder bloss für einen Augenblick festgehalten. Im letzteren Falle wird es einer anderen Gruppe zugeschoben und von dieser wieder weiter getrieben. So wälzt es sich von Ort zu Ort; es kann nirgends zur Ruhe kommen, hat aber auch nicht die Kraft, die Anziehung der Gesamtmasse zu überwinden und sich aus dem Verbande der Flüssigkeit loszumachen.

Die Molecule der Oberfläche nehmen eine besondere

Stellung ein; sie werden nur von einer Seite her festgehalten und können deshalb aus dem Verbande der übrigen herausgeschleudert werden; sie fliegen dann mit der Geschwindigkeit, welche sie beim Austritt besaßen, geradlinig fort. Das Gleiche trifft bei fortgesetzter Wärmezufuhr auch die übrigen, inneren Theilchen; denn ihre lebendige Kraft wird immer grösser, endlich so gross, dass das Molecul die Gesammtanziehung der übrigen zu überwinden vermag und frei davon fliegt. Geschieht dies, so ist die Substanz in den gasförmigen Aggregatzustand eingetreten. Dass dieser durch eine geradlinig fortschreitende Bewegung der Molecule bedingt sei, folgt mit logischer Consequenz aus der Betrachtung der Veränderung der Molecularbewegungen bei fortgesetzter Wärmezufuhr. Er wurde jedoch nicht in dieser Weise zuerst aufgefunden, sondern war schon ausgesprochen, ehe man sich überhaupt die Wärme als eine Art der Bewegung vorstellte. Namentlich das Mariotte-Gay-Lussac'sche Gesetz macht seine Annahme zu einer wahrscheinlichen, wenn nämlich der auf die Gefässwände von dem Gase ausgeübte Druck als von den Stößen der Gasmolecule gegen dieselben herrührend gedacht wird. Der Widerstand des Gases muss dann dem Drucke proportional zunehmen, weil die Anzahl der in gleichen Räumen zusammengepressten Molecule direct von dem Drucke abhängig ist, hiermit zugleich aber die Zahl der in gleichen Zeiten die Gefässwände treffenden Stösse wächst; dass er ferner der Temperatur, vom Nullpunkt an gerechnet, proportional verläuft, folgt aus der Zunahme der lebendigen Kraft, die der Wärmezufuhr proportional sein muss.

Das befreite Molecul wird sich geradlinig mit unveränderter Geschwindigkeit so lange fortbewegen, bis es auf irgend einen Widerstand, nämlich auf eine feste Wand oder auf ein anderes Molecul trifft und dadurch seinen Lauf zu verändern gezwungen wird. Da wir es hier hauptsächlich mit einer fortschreitenden Bewegung zu thun

haben, diese aber am leichtesten zu verfolgen ist, so ist es gerade für die Gasmoleculen nicht nur gelungen, die Wege zu bestimmen, welche sie durchlaufen können, ohne auf Widerstand zu stossen, sondern auch die mittlere Geschwindigkeit, mit der sie dies thun. Es liess sich daraus die lebendige Kraft dieser fortschreitenden Bewegung genau berechnen; da aber zeigte sich, dass dieselbe als zu klein sich ergab, um die ganze in dem Gase enthaltene Wärme darzustellen. Man ist daher genöthigt, ausser ihr noch eine oder mehrere andere Bewegungen anzunehmen. Zunächst kommt eine rotirende Bewegung hinzu; denn die Moleculen treffen in den seltensten Fällen rechtwinklig auf einander, und sobald der Stoss unter einem schiefen Winkel erfolgt, müssen sie eine drehende Bewegung annehmen. Ausser dieser aber, und das ist für uns das Wichtigste, müssen sich Schwingungen der Atome herausstellen. Da diese nicht absolut fest in dem Moleculen an einander gebunden sind, sondern um eine gewisse Gleichgewichtslage zu schwingen vermögen, so verhalten sie sich bei jedem Stosse, den das Molecul erfährt, gerade so, wie dieses dem ganzen festen Körper gegenüber, und wie dieses in jenem, so müssen auch sie in diesem in Schwingungen gerathen. Es finden überhaupt immer Bewegungen der Atome und Moleculen zusammen statt, beide bedingen einander, und erst, wenn sie ein gewisses von der Beschaffenheit der Substanz abhängiges Verhältniss haben, wird weder die eine, noch die andere vermehrt oder vermindert.

Fassen wir das Letzte zusammen, so dürfen wir behaupten, dass unter allen Umständen schwingende Bewegungen in den Körpern vorhanden sein müssen; mögen dieselben nun, wie bei den Gasen, wo die Moleculen bloss geradlinig fortschreiten sollen, allein den Atomen zukommen oder mögen sie, wie bei den festen und flüssigen Körpern, zugleich solche der Atome und Moleculen sein. Wenn sie aber sicher vorhanden sind, so ist ebenso sicher, dass sie

in dem Aether Wellen erregen. Nach der Wärmetheorie müssen die Schwingungen um so lebhafter und, indem die Bewegungen der Molecule und Atome einander bedingen und die einen in die anderen übergehen, auch um so complicirter werden, je mehr der Körper erhitzt wird. Anfangs mögen die Molecule allein sich bewegen; weil sie aber an einander stossen, werden die Atome in Mitleidenschaft gezogen. Je energischer die Bewegungen der Molecule werden, desto häufiger trifft das eine gegen das andere; die Bewegungen der Atome und die durch sie hervorgebrachten Wellen werden dadurch immer verwickelter. Noch mehr ist dies nothwendig, weil die getroffenen Atome selbst nicht mehr in Ruhe sich befinden, sie ihre Bewegungen daher im Stosse auszugleichen suchen und dabei wieder eine Rückwirkung auf die Molecule ausüben. Es kommen daher bei fortgesetzter Erwärmung immer neue Wellen zu den ursprünglichen hinzu, und es ist kein Grund anzunehmen, dass diese nicht schliesslich kurz genug werden, um auf das Auge wirken und als Licht empfunden werden zu können.

So ist die Lücke ausgefüllt, welche beim Lichte noch offen geblieben war; die Lehre von der Wärme kam selbstständig, freilich erst nach langen Irrgängen, in letzter Linie aber durch das Gesetz der Aequivalenz der Wärme und Arbeit gezwungen, zu der Annahme von Schwingungen, sowohl der Molecule, als auch der Atome; und sie verstand es, wenn auch nicht allen, so doch den meisten dieser Bewegungen bis auf viele Einzelheiten nachzuspüren. Die bei der Lehre vom Lichte aufgestellten Vermuthungen werden bestätigt; in der That sind es schwingende Bewegungen der kleinsten Theilchen, welche, indem sie gegen den umgebenden Aether stossen, in diesem Wellen hervorrufen, die das Weltall durchkreuzen und, so oft sie auf ein Hinderniss, auf Materie stossen, die von uns als Licht und Wärme empfundenen Erscheinungen veranlassen,

Die Electricität.

Am wenigsten aufgeklärt ist bislang noch das Gebiet der Electricität, und hier bieten sich noch überall der Erklärung grosse Schwierigkeiten. Es mag dies in der Natur der Sache begründet liegen, denn erst spät ging dem Menschengeschlechte ein Verständniss für die electricischen Erscheinungen auf. Wenige Beobachtungen des Alterthumes blieben Jahrhunderte, ja Jahrtausende lang unbeachtet oder vergessen, und erst das neuere Zeitalter wandte sich in wieder erwachendem Forschergeiste auch dem Gebiete der Natur zu, für welches bei seiner gleichsam schwankenden Unbeständigkeit zuerst ein fester Boden gewonnen werden musste, ehe es überhaupt gelingen konnte, auf ihm fortzuschreiten. Wie der Urmensch vor dem unübersehbaren Meere stand und hilflos umherblickte nach einem Wesen, das ihn hinüberführen, nach einem Mittel, das ihn tragen sollte in den schäumenden Wogen, in die sein Fuss einsank, ohne Widerstand zu finden, die ihn verschlangen ohne Gnade, so mögen die ersten Forscher vor dem Gebiete der electricischen Erscheinungen gestanden haben. Sie sahen ihr Bestehen und erkannten ihre Wirklichkeit, aber sie fanden kein Mittel, dies Bestehen zu erklären oder diese Wirklichkeit zu erforschen. Sowie sie zugreifen wollten, verschwand das Gesehene unter ihren Händen; noch ein augenblickliches Knistern, ein helles Aufleuchten, wie der Schrei des in der Meeresfluth Versinkenden, dann blieb Alles still; und wie über dem Unter-

gegangenen das Wasser wieder gleichförmig seine Wellen schlägt, so zeigte sich die Materie wieder in der alten bekannten Gestalt, als ob nie etwas Bemerkenswerthes an ihr vorgegangen wäre. Keine Spur eines Geschehens war geblieben, Alles war unverändert, und dennoch konnte das Auge, konnte das Gefühl sich nicht getäuscht haben; es war etwas geschehen. Wie dem Menschen, dem Erdensohne, das Wasser oder die Luft ein feindliches, fremdes Element ist, so erschien zuerst dem Forscher die Electricität. Der Schall, das Licht oder die Wärme machten sich leicht und deutlich bemerklich; für alle sind dem Menschen eigene Organe gegeben; nicht so ist es mit der Electricität; die Erscheinungen dieser kann der Mensch nicht unmittelbar erschauen; er erkennt sie erst an ihren Wirkungen, an Tönen oder mechanischen Wirkungen, die sie hervorbringt, an Licht- oder Wärmeerscheinungen, von denen sie begleitet zu sein pflegt. Und daher wohl kommt es, dass sie trotz der zahlreichen Formen, in denen sie sich offenbaren kann, trotz der grossartigen Gewalt, mit der sie aufzutreten im Stande ist, so lange verborgen blieb. Hätten wir ein eigenes Organ für die Beobachtung der electricischen Erscheinungen, gelangten diese unmittelbar zu unserer Wahrnehmung, so würden wir ihre geringsten Ausdrücke wohl ebenso bald bemerkt und erfasst haben, als die des Lichtes oder des Schalles. Nun aber verbergen sich diese einfachsten Erscheinungen; sie mussten, bevor die ersten Forscher ihnen ihre Aufmerksamkeit zuwenden konnten, erst zu einer solchen Stärke heranwachsen, dass sie fähig waren, andere uns zugängliche hervorzubringen. Aber nicht immer, sondern nur unter besonderen, günstigen Umständen entstehen solche. Daher war es erforderlich, diese günstigen Umstände aufzusuchen; und wir finden wirklich durch eine lange Reihe von Jahren hindurch dies Streben vorherrschen, bevor im Ernst daran gedacht wurde, das Wesen des Etwas, welches diesen

Erscheinungen zu Grunde liegt oder sie erzeugt, selber kennen zu lernen.

Es gelang nach vielen Versuchen und Beobachtungen, gewisse Apparate zu bauen, mit denen man einerseits kräftigere electricische Wirkungen zu erzielen, andererseits auch schwächere und früher übersehene zu beobachten in den Stand gesetzt wurde. Nun erfolgte bald Entdeckung auf Entdeckung, und man erkannte den weiten Umfang und die hohe Bedeutung dieses Kreises der Naturerscheinungen; nun auch versuchte man, Hypothesen aufzustellen über den eigentlichen Grund dieser Erscheinungen, hatte aber auch dabei noch mit Schwierigkeiten zu kämpfen, welche sich der leichten Bildung einer einfachen Hypothese hier weit mehr entgegenstellten, als dies etwa bei Licht und Wärme der Fall gewesen war. Die Ursache dieses Verhaltens ist die, dass, wie schon hervorgehoben wurde, die beobachteten Erscheinungen nicht die ursprünglichen, sondern bloß begleitende sind. Auch wenn man sie sämmtlich zusammenstellt und mit einander vergleicht, so gelingt es doch nicht, ein Einfacheres oder auch nur bestimmte Hinweise auf ein solches zu finden, aus welchen man das Wesen desjenigen erkennen könnte, welches ihnen allen in gleicher Weise zu Grunde liegt und daher als ihre wahre Ursache angegeben werden kann. Man findet schliesslich nichts Anderes, als das stete Vorhandensein gewisser Beeinflussungen oder Veränderungen der Materie und könnte daher sogar in Zweifel sein, ob diese die eigentliche Ursache oder erst eine Folge der Electricität sind, wenn sie nicht stets unter Umständen und Verhältnissen aufträten, die das Letztere ziemlich sicher oder die Annahme einer eigenen Ursache für sämmtliche electricische Erscheinungen wenigstens zu der bequemeren machen.

Aber es ist wohl natürlich, dass hier noch durchaus nicht dieselbe Uebereinstimmung unter den Forschern herrscht, wie anderswo, dass hier noch nicht eine einzelne

Hypothese die Alleinherrschaft errungen hat, sondern dass noch zwei oder mehrere um dieselbe einen hartnäckigen Kampf fechten. Bei einem gewissen Kreise von Erscheinungen ist die eine Hypothese gut zu verwenden, aber dann finden sich wieder Erscheinungen, welche die andere zu der annehmbareeren machen, oder welche sich überhaupt der einen oder der anderen höchst widerwillig und erst bei Herzzuziehung grösserer Hülfs-hypothesen unterordnen und so Alles wieder in Frage stellen. Unter diesen Verhältnissen kann es bei der folgenden Behandlung nicht sowohl die Absicht sein, eine der Hypothesen als die unfehlbar richtige hinzustellen, als vielmehr besonders diejenige hervorzuheben, welche die wahrscheinlichste oder die logische oder durch den Zusammenhang mit den übrigen am meisten berechnigte zu sein scheint. Wir können ebenso wenig auf alle einzelnen, weniger bedeutungsvollen Ansichten eingehen, sondern werden uns auf die am meisten bekannten, die unitarische und die dualistische Hypothese beschränken müssen.

Der einfachste Versuch stammt schon aus dem Alterthume: Gewisse Körper erlangen, wenn sie mit anderen gerieben werden, die Fähigkeit, leichte Körperchen, wie Papierschnitzel, anzuziehen. An ihn knüpfte die spätere Forschung an. Sie fand bald, dass diese Eigenschaft nicht, wie die des Magnetismus, eine Eigenthümlichkeit weniger Körper sei, sondern allen mitgetheilt werden könne. Wenn sie an einigen nicht immer sichtbar wird, so liegt dies daran, dass manche, die Isolatoren, sie beständiger zu erhalten vermögen, als andere, die Conductoren, welche sie sofort wieder verlieren oder auf andere Körper übertragen, und die daher mit Isolatoren zu umgeben sind, wenn sie, wie diese, die electricen Erscheinungen zeigen sollen. Als dieses bekannt war, wurden die Untersuchungen weniger schwierig und zuverlässiger; man prüfte nun nicht blos das Verhalten, welches electricirte Körper gegen unelectriche zeigen, sondern man unterzog auch zwei electricirte Körper

und deren gegenseitige Einwirkung einer genaueren Prüfung und fand dabei, dass durchaus nicht unter allen Umständen eine Anziehung statthat, sondern dass auch eine Abstossung möglich ist. Darnach konnte man die electricisirten Körper in zwei Gruppen eintheilen, die so festzustellen waren, dass die Körper derselben Gruppe sich abstossen, während sie die der anderen anziehen.

Schon die genannten Erscheinungen waren zu verwickelter oder von den sonst beobachteten zu sehr abweichender Natur, als dass man sie auf eine Eigenthümlichkeit oder auf beständige, bei gewöhnlichen Umständen weniger deutlich hervortretende Eigenschaften der Materie zurückführen konnte. Man trennte sie daher ganz von der Betrachtung dieser letzteren und legte ihnen ein eigenes Wirkendes zu Grunde, dem man den Namen der Electricität gab. Was diese in Wirklichkeit sei, mochte zunächst gleichgültig erscheinen; sie wurde vielleicht als ein unfassbares Wesen, als ein unsagbares Etwas angesehen, das den Körpern entstand, wenn sie an einander gerieben oder gewissen anderen Veränderungen unterworfen wurden. Bei einer so unbestimmten Erklärung durfte man jedoch nicht lange stehen bleiben, man leitete deshalb aus den Beobachtungen Eigenschaften ab, welche die Electricität haben müsse und suchte so den Begriff derselben näher zu bestimmen; zu diesem Zwecke war namentlich die Wahrnehmung sowohl einer Anziehung als auch einer Abstossung zu benutzen, denn dieserhalb musste die Electricität zweier Zustände fähig sein oder in zwei Arten zerfallen, welche als positive und negative unterschieden wurden.

Die beobachtete Anziehung oder Abstossung, welche von einem electricisirten Körper sowohl auf electriche, als auch auf unelectriche ausgeübt wird, klärte man nun dahin auf, dass man die Materie lediglich als den Sitz der Electricität ansah und im Uebrigen behauptete, sie selber

habe mit der beobachteten Fernwirkung nichts zu thun: diese werde bloß von Electricität auf Electricität ausgeübt, und zwar sei sie eine anziehende bei den gleichartigen, eine abstossende bei den ungleichartigen Zuständen derselben. Die trotzdem wirklich erfolgende Anziehung der Materie sollte daher kommen, dass die Electricität die Körperchen, an denen sie haftet, mit sich fortreisst. Wenn ein electrisirter Körper aber auf einen nicht electrischen anziehende Kräfte ausübte, so war diese Wirkung eine bloß scheinbare oder vielmehr ungenau beobachtete, denn es zeigte sich, dass jeder in die Nähe eines electrisirten Körpers gebrachte Conductor selbst electrisch wird; er weist, wenn er isolirt ist, beide Arten der Electricität auf, die der ersteren gleichartige am abgewandten, die ungleichartige am zugewandten Ende, während er, wenn nicht isolirt, bloß mit der ungleichartigen geladen erscheint. Für den ersteren Fall folgt aus der grösseren Nähe der ungleichartigen Electricität, dass die von dieser geübte Anziehung die Abstossung der im abgewandten Ende enthaltenen gleichartigen übertrifft, dass also wegen dieser Vertheilung eine Anziehung erfolgen muss, die für den zweiten Fall, wo der Conductor nicht isolirt genommen wurde, selbstverständlich erscheint.

Genauere Messungen der auf einem Conductor durch die Annäherung an einen electrisirten Körper sichtbar gemachten Electricitäten lehrten, dass die Mengen beider gleich sind. Dies verallgemeinerte man zu dem Satze, dass jeder Körper gleiche Mengen positiver und negativer Electricität enthalte, die unter gewöhnlichen Umständen wegen ihrer entgegengesetzt wirkenden Kräfte nach Aussen hin nicht sichtbar werden; durch gewisse Einflüsse, wie durch die Reibung aber werden sie bestimmt, sich zu offenbaren, und es zeigt dann von den beiden geriebenen Körpern der eine sich positiv, der andere negativ electrirt.

In diesen Annahmen ging man weit hinaus über die Voraussetzung, dass die Electricität ein bloßer Zustand der Materie oder eines ganz unbestimmten, wesenlosen Etwas sei. Sobald man in ihr selber den Grund einer Anziehung oder Abstossung findet, legt man ihr anziehende oder abstossende Kräfte bei, und damit ist sie selber eine Art der Materie geworden, denn jedes Etwas, mag es sein, wie es wolle, welches seine Existenz durch irgend welche Kräfte offenbart, ist eine Art von Materie. Diese electricische wurde schon näher erklärt; es giebt zwei Arten derselben, eine positive und eine negative. Beide sind entweder völlig verschieden und haben weiter nichts gemein, als dass sie ähnliche oder verwandte Wirkungen hervorbringen, und dass ihre Theilchen durch eine gegenseitige Anziehung in Beziehung zu einander treten, oder es giebt nur eine Art electricischer Materie, die aber zweier verschiedenen Zustände fähig ist, welche sich in den positiven oder negativen Erscheinungen zu erkennen geben. Dies Letztere kann auch dahin näher bestimmt werden, dass die electricische Materie in einer gewissen, fest bestimmten Menge mit einem Körper verbunden sein muss, damit dieser sein gewöhnliches, natürliches Verhalten aufweise, dass sich aber, wenn sie im Uebermasse vorhanden ist, die Kennzeichen der positiven, wenn sie in nicht genügender Menge da ist, die der negativen Electricität zeigen.

Ob die electricische Materie durchaus denselben Gesetzen unterworfen ist, wie die eigentliche, bleibt zunächst fraglich; wenn aber bisher nicht von Kräften, die beiderseits ausgeübt werden, die Rede war, so müssen doch solche, und zwar wenigstens anziehende, vorhanden sein, denn ohne diese könnte sie nicht, wie doch alle Beobachtungen nachweisen, an den Körpern haften und dieselben mit sich fortreißen, wenn sie einer Anziehung oder Abstossung Folge leistet. Anziehende, mit der Waage nachweisbare Kräfte, die sich als eine Schwere der electricischen

Materie offenbaren, sind jedoch nicht aufgefunden, denn überall zeigte sich das Gewicht der Körper vor und nach der Electrisirung durchaus unverändert. Nimmt man in jedem Körper zwei Arten von electrischer Materie an, die im neutralen Zustande in gleicher Menge vorhanden sind, bei der Erregung sich aber gegenseitig ersetzen, so braucht die Unveränderlichkeit des Gewichtes bei der Electrisirung nicht die Gewichtslosigkeit der Electricität darzuthun, denn dieselbe kann ihren Grund auch darin haben, dass die eine Electricität durch die andere ersetzt wird und deshalb die in dem Körper vorhandene Menge derselben immer die gleiche bleibt; dennoch muss auch hier ihr Gewicht als ein ausserordentlich kleines, mit dem der wägbaren kaum vergleichbares angesehen werden. Anders ist es, wenn nur eine electrische Materie angenommen und der negative Zustand aus dem Fehlen derselben erklärt wird; dann muss jedenfalls ihr Gewicht gegen das der eigentlichen Materie unmessbar klein sein.

Es könnte hier vielleicht der Ort sein, die hauptsächlichsten Erscheinungen der Electricität vorzuführen und ihre Möglichkeit nach der einen oder der anderen Annahme zu prüfen. Doch diese Prüfung ist bereits vielfach unternommen, ohne dass eine Entscheidung durch sie herbeigeführt wurde. An sich sind beide Annahmen gleich möglich; die ältere von ihnen begreift die von Franklin vorgeschlagene unitarische Hypothese, nach welcher es nur eine electrische Materie giebt; sie wurde bald durch die spätere, von Symmer aufgestellte dualistische, dass es zwei Arten der Electricität gäbe, verdrängt, und es schien lange Zeit, als ob die letztere die Siegerin bleiben sollte; in neuerer Zeit aber giebt sich unter den Naturforschern ein immer stärkeres Hinneigen zu der ersteren kund. Es sind die theoretischen Folgerungen der letzteren Zeiten fast ausnahmslos aus der Voraussetzung der zweiten Hypothese hervorgegangen; dieses, wie die

lange Gewöhnung an sie, mag der Grund sein, weshalb man noch immer von ihr auszugehen liebt; dennoch ist es kein ausreichender Grund, sie durchaus festzuhalten, denn mit der anderen Hypothese kann man nicht allein genau so weit kommen, sondern alle gefundenen Resultate lassen sich auch leicht auf sie übertragen, ohne ihrem wesentlichen Inhalte nach irgend wie eine Veränderung erfahren zu müssen.

Jedenfalls haben wir bei beiden Hypothesen einen feinen Stoff zu vermerken, welcher sich der Materie zugesellt; wir haben diesen vom vorigen Jahrhundert überkommen, welches überhaupt in ähnlichen Anschauungen sich erging. Nicht blos in das Gebiet der Physik reichte ehemals die Ansicht, dass sich mit der Materie ein feiner Stoff verbinde, der verschiedene, an ihr bemerkte Erscheinungsformen bedinge; vielmehr mag sie zuerst aus der Chemie entsprossen sein, welche anfangs in jedem Körper gewisse Grundstoffe, wie Salz, Schwefel, Quecksilber, Wasser als wirklich vorhanden annehmend, bald dahin gelangte, diese nicht selber zu suchen, sondern an ihre Stelle gewisse feine Stoffe unterzuschieben, die dem Quecksilber den flüssigen Zustand, dem Schwefel Brennbarkeit und Farbe, dem Salze Schmelzbarkeit und Feuerbeständigkeit verleihen. Bei der Anwendung der Waage fand man bald heraus, dass dieselben nicht wägbare seien, und führte deshalb den Namen der Imponderabilien für sie ein. Indem die Chemie mit der Waage in der Hand weiter vorschritt, kam sie bald dahin, die Imponderabilien immer entbehrlicher zu finden, und das letzte und bekannteste unter ihnen, das Phlogiston, musste schon vor der Beweiskraft eines Lavoisier weichen. Die Physik war weniger glücklich; sie musste sich lange mit unbestimmten Imponderabilien herumquälen; den Wärmestoff und den Lichtstoff verbannte sie endlich; jetzt bleiben noch die electricen Stoffe und der Aether übrig.

Unter diesen ist der Letztere völlig unentbehrlich, die anderen aber müssen auf ihre Entbehrlichkeit hin geprüft werden, da ihr Nutzen nicht mehr gross genug ist, als dass der Physiker sie nicht endlich bei Seite legen möchte. Die Annahme imponderabler Stoffe wurde stets dadurch nützlich und konnte es allein werden, dass es durch ihre Vermittelung gelingt, manche Erscheinungen der Anschauung näher zu rücken, die sonst unverstanden und völlig unerklärt, etwa auf eine Kraft als auf ein bloßes Wort zurückgeführt werden müssten. So lange es kein anderes Mittel giebt, dieselbe Anschaulichkeit zu schaffen, als eben diese Voraussetzungen verschiedener unwägbarer Stoffe, so lange muss man sie festhalten; wenn aber dasselbe ohne sie erreicht werden kann, darf man keinen Augenblick zögern, sie fallen zu lassen und an ihre Stelle das Einfachere zu setzen.

Ob wir aber, indem wir dies thun, schliesslich dahin gelangen können, die Imponderabilien, also auch den Aether, gänzlich zu vermeiden, ist hier noch in wenigen Worten zu berücksichtigen. Es wird gerne von ihnen gesagt, sie seien und bleiben Fictionen unseres Geistes, deren Wirklichkeit stets ungewiss sei, und die erst durch viele Beobachtungen, die in ihnen eine Erklärung finden, einen gewissen Grad der Sicherheit erlangen könne. Aber hiermit ist die Sache nicht erledigt, es fragt sich vielmehr, ob diese Fictionen für unseren Geist nicht durchaus nothwendig sind, ob sie für ihn nicht dieselbe Bedeutung erlangen können, welche die Materie hat, an deren wirklichem Vorhandensein wir kaum zu zweifeln wagen, weil wir dieselbe täglich und stündlich als ein uns Entgegenstehendes wahrnehmen und daher die bei ihr etwa auftauchenden Zweifel zu unterdrücken gewohnt sind. Die ganze Welt der Körper wird uns erst bemerkbar durch die Empfindungen, mit welchen unsere Seele auf ihre Einwirkungen antwortet, und diese letzteren werden hervorgerufen durch die Veränderungen,

die an und in den Körpern vorgehen. Diese können wir nun wohl sämmtlich auf Kräfte zurückführen, aber indem wir dies thun, haben wir den festen Boden verlassen. Wir stehen wie auf der Spitze eines Thurmes, von der aus wir über die Umgegend eine schöne Rundschau genießen; wollen wir aber die gesehene Punkte selber erreichen, so müssen wir zuerst unseren hohen Standpunkt verlassen und auf den Boden zurückkehren. Diesen Boden bildet für die Erscheinungen der Körperwelt die Materie; sie selbst ist nicht die Erscheinung oder die Kraft, sie selbst hat daher an sich keine Wirklichkeit, aber unser Causalitätsbedürfniss, welches uns zu jeder Wirkung eine Ursache, aus der sie entspringt, zu jeder Erscheinung ein Etwas, an welchem sie vorgeht, aufzusuchen nöthigt, macht uns die Materie als die Grundlage aller Erscheinungen zu etwas so Gewissem. Wenn nun aber sich sämmtliche Erscheinungen mit der einen Materie nicht zusammenfügen lassen, wenn sie neben derselben ein Tieferes, Feineres erfordern, an welchem sie vorgehen, so hat dieses Feinere dieselbe Berechtigung, wie jenes Größere, die Materie, wenn wir auch zu ihm erst durch bewusste scharfe Schlüsse gelangt sind, während uns diese schon in der frühesten Jugend fast ohne unser Wissen und Zuthun bekannt und vertraut wurde. Nicht überhaupt können wir die Annahme eines unwägbaren Elementes, welches sich der wägbaren Materie gegenüberstellt oder sich ihr zugesellt, verwerfen; wohl aber müssen wir uns hüten, für jede einzelne Erscheinungsreihe ein besonderes anzunehmen, vielmehr müssen wir bestrebt sein, Alles auf ein einziges zurückzuführen. Wie wir die verschiedenen Substanzen als verschiedene Formen derselben Materie anerkennen, so müssen wir auch versuchen, wenn wir schon uns genöthigt sehen, Imponderabilien anzunehmen, die verschiedenen Formen dieser auf eine einzige Grundform zurückzuführen. Hier soll nun untersucht werden, ob dies bei der electricen

Materie und dem Aether möglich ist, und ist deshalb jene einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Man fasst die electricische Materie gewöhnlich als eine Flüssigkeit auf, und es spricht die eine Hypothese von einem, die andere von zwei electricischen Fluiden. Man thut dies in Hinsicht auf die leichte Beweglichkeit und Verschiebbarkeit der electricischen Theilchen, in Hinsicht auf ihre Vortheilung über einen Conductor und namentlich in Hinsicht auf ihr Ueberfliessen von dem einen auf den anderen. Und in der That ist ein mit Electricität geladener Conductor wie ein grosser Behälter, über welchen sich die Electricität entsprechend seiner Gestalt vertheilt, wie das Wasser über einen See, und aus welchem sie ausströmt, sobald ihr ein Canal geschaffen wird. Nimmt man blos ein Fluidum an, so kann dies in einem einfachen Strome geschehen, bei zwei Fluiden muss nothwendigerweise ein Doppelstrom entstehen. Nun hat man freilich vielfach aus Versuchen, wie aus dem Durchschlagen des electricischen Funkens durch ein Kartenblatt, bei welchem an beiden Seiten sich erhöhte Ränder bilden, auf das wirkliche Vorhandensein eines Doppelstromes schliessen wollen, ist später jedoch der Ansicht geworden, dass diese Erscheinungen in der Schnelligkeit und Heftigkeit der electricischen Entladung, vor welcher die materiellen Theilchen nach jeder freien Seite hin ausweichen, ihren Grund haben. Da in dem Falle, wo die Conductoren, zwischen denen die Entladung sich vollzieht, nicht genau einander gegenüberstehen, das Kartenblatt stets in der Nähe des positiven Conductors durchschlagen wird, so spricht diese Erscheinung vielmehr für das Vorhandensein eines einfachen Stromes; wenigstens müsste im Doppelstrom dem positiven Theile eine grössere Energie als dem negativen zugeschrieben werden. Auch die Lichterscheinungen, die sowohl an der positiven, als auch an der negativen Seite sich zeigen, wie sie namentlich schön an beiden Polen

eines durch eine Geissler'sche Röhre entladeneu Stromes; auftreten, beweisen nicht das Vorhandensein eines Doppelstromes, denn dies Leuchten entsteht nicht direct, sondern nur mittelbar durch den Strom; es hat seine Ursache in den durch ihn hervorgerufenen Bewegungen der wägbaren Materie. Dass aber diese am stärksten sind in der Nähe der beiden Oberflächen, zwischen denen die Entladung stattfindet, ist auch bei einem einfachen Strom nicht nur möglich, sondern wahrscheinlich. Die meisten Thatsachen aber sind derart, dass sie eher einen einfachen, als einen Doppelstrom annehmbar machen; viele sind so zwingend, dass auch die dualistische Hypothese der positiven Electricität eine höhere Bedeutung, als der negativen, beilegen musste. Wie diese in dem Wesen der electricischen Materie begründet sei, wurde dabei freilich nicht gesagt; man characterisirte sie einfach durch die Erscheinungen, aus denen sie folgen sollte.

Ueber jedes Atom oder Molecul muss die Electricität vertheilt gedacht werden. Man nimmt nun bei zwei Fluiden an, dass die Theilchen derselben im natürlichen Zustande so nahe an einander liegen, dass sie ihre Wirkung nach Aussen gegenseitig aufheben. Dies darf nicht ganz wörtlich aufgefasst werden, denn wenn die Wirkung nach Aussen völlig vernichtet wäre, so könnte umgekehrt auch von Aussen her keine Einwirkung erfolgen; es gäbe also keine Veranlassung für eine Trennung der Electricität. Jedenfalls muss noch eine Wirkungsfähigkeit verbleiben. Diese kann nicht dadurch veranlasst sein, dass die Kraft des einen Theilchens die grössere ist und allein zur Ausübung gelangt, sondern es müssen noch die Kräfte beider sichtbar bleiben. Man kann vielleicht denken, dass die Theilchen sich an einander legen, dass aber diese Annäherung nicht vollständig genug ist, um beider Wirkungsfähigkeiten völlig zu vernichten. Dies wäre auch nur möglich, wenn sie sich gegenseitig völlig durchdringen könnten; da das

aber naturgemäss ausgeschlossen ist, so entsteht, wenn die Theilchen an ein Körper-Atom oder -Molecul geknüpft sind, in jedem der letzteren ein polarer Zustand; nach der einen Seite hin muss die positive Electricität überwiegen, nach der anderen die negative. Ein Gleiches erfolgt, wenn nicht bloß zwei, sondern mehrere electricische Theilchen sich mit einem Atome verbinden; sie lagern sich dann in einer gewissen Ordnung so neben einander, dass schliesslich noch eine electricische Wirksamkeit irgend wie zu Tage tritt. Die Möglichkeit, dass in diesem Falle bei einer ringförmigen Ablagerung eine völlige Vernichtung der Wirkung nach Aussen hervorgebracht werde, ist, wie dies oben für bloß zwei Theilchen gezeigt wurde, dadurch ausgeschlossen, dass dann eine Einwirkung von Aussen her auch unmöglich wird. Doch aus dieser Anordnung der Electricität auf dem Atome folgt noch nicht, dass dieselbe in einem so beschaffenen Körper irgend wie sichtbar wird, denn da die Atome in steter Bewegung, ausserdem ihre Pole nach allen Richtungen hin vertheilt sind, so ist keine Summirung der vorhandenen Kräfte möglich; diese würde erst eintreten, wenn durch irgend welche Umstände alle Atome oder der grösste Theil derselben gleich gerichtet werden. Einfacher als diese ist allerdings die Annahme nur eines Fluidums, von welchem jedes Atom eine gewisse Menge besitzen muss, um seinen natürlichen Zustand zu haben; dass sich um jedes eine solche Hülle bildet, und dass diese beständig von einer gewissen Grösse sein muss, ist keine willkürliche Behauptung; denn da überall mit der Materie das electricische Fluidum sich verbunden zeigt, und von beiden gegenseitig Kräfte ausgeübt werden, so muss sich ein Zustand des Gleichgewichts herstellen, der nur dadurch ermöglicht wird, dass sich an jedes Atom eine bestimmte, von der Beschaffenheit desselben abhängige Anzahl electricischer Theilchen anlegt, der aber gestört wird, sobald sich dies Verhältniss bei einem oder bei mehreren ändert.

Es wird jetzt noch festzustellen sein, wie und wo sich die electricen Theilchen an dem Atome ablagern; dies wird das Gleiche sein, mag man ein oder zwei Fluiden annehmen, denn im zweiten Falle wird doch entweder immer eine Verbindung von zwei entgegengesetzten Theilchen, die als solche als Einheit aufgefasst werden kann oder ein Theilchen einer der beiden Flüssigkeiten für sich zu berücksichtigen sein. Die electricen Theilchen werden an die Atome durch die Anziehungskräfte gefesselt, welche von letzteren ausgeübt werden; sie müssen daher bestrebt sein, sich möglichst nahe an das Atom heranzudrängen oder mit demselben in unmittelbare Berührung zu kommen, wenn nicht irgend ein Anderes sich dazwischen schiebt. Ein solches Andere ist aber da; es ist der Aether, von welchem bereits festgestellt wurde, dass er in einer nach Aussen sich immer mehr verdünnenden Hülle das Atom umgiebt. Man könnte nun sagen, die electriche Flüssigkeit legt sich als eine zweite Hülle um die des Aethers. Abgesehen davon, dass dann jedenfalls die electricen Theilchen genau dieselben Eigenschaften gegen Licht und Wärme besitzen müssten, die der Aether hat, welcher ja allein in diesen Erscheinungen seine Existenz kund gab, damit also die electriche Flüssigkeit als eine Art von Aether aufgefasst würde, so liegt in der Sache selbst eine Schwierigkeit. Es wird das electriche Fluidum ebenso, wie der Aether, durch anziehende Kräfte festgehalten, dieselben sind für jenes entweder grösser als für diesen, oder sie sind kleiner. Soll sich die electriche oberhalb der Aetherhülle bilden, so ist der letztere Fall nothwendig; es müsste dann, da der Aether selbst abstossend wirkt und nur wegen der überwiegenden anziehenden Kräfte der Materie festgehalten wird, das electriche Fluidum noch grössere abstossende Kräfte als der Aether besitzen, in Folge dieser würde es aber überall mehr abgestossen als letzterer; so lange noch Theilchen dieses vorhanden wären

— und die sollen überall noch vorhanden sein —, würde es von diesen verdrängt und somit nie zur Anziehung gelangen. Es muss also jedenfalls das electriche Fluidum mehr angezogen werden. Dies ist unter zwei Voraussetzungen möglich; das Fluidum übt selber anziehende Kräfte aus oder es hat nur abstossende, die aber geringer sind als die des Aethers, so dass es von der Materie stärker angezogen wird als letzterer. Im ersteren Falle wäre es selber von der Beschaffenheit der wägbaren Materie, es müsste den für diese gültigen Gesetzen folgen. Da es dies im Allgemeinen nicht thut, so wird dadurch die erstere Annahme schon wenigstens höchst zweifelhaft; doch noch andere Bedenken sind zu erwägen. In beiden Fällen würde das Fluidum sich als die nächste Schicht an das Atom anlegen; ob dann überhaupt noch eine Ablagerung von Aether möglich wäre, würde von der Menge der vorhandenen Electricität abhängen; jedenfalls würden sich so lange immer electriche Theilchen herandrängen, als überhaupt noch solche frei wären. Bildete sich nun um diese electriche Hülle noch eine Aethersphäre, so würden von dieser aus abstossende Kräfte auf die erstere ausgeübt. Das Resultat hiervon wäre ein Zusammenpressen derselben, die deshalb sich so fest an das Atom anschmiegen müsste, dass sie als einen Theil dieses sich darstellen und schwerlich eine Veranlassung finden würde, dasselbe jemals zu verlassen. Sicher müsste dies eintreffen, wenn von den electricen Theilchen anziehende Kräfte ausgeübt würden; im anderen Falle wäre wenigstens aber die ausserordentliche Beweglichkeit, welche wir an dem electricen Fluidum wahrnehmen und die Eigenthümlichkeit desselben, sich immer an der Oberfläche der Körper zu sammeln, kaum möglich. Da ausserdem gar kein Grund vorhanden ist, die Menge des electricen Fluidums so eng begrenzt anzunehmen, dass sich um jedes Molecul nur eine dünne Schicht desselben lagern kann, vielmehr seine Menge wegen

seiner ganz allgemeinen Verbreitung wohl ebenso bedeutend sein muss als die des Aethers, so folgt bei dieser Voraussetzung, dass sich gar keine Hülle des letzteren bildet. Es bleibt schliesslich nur die eine Möglichkeit, dass der Aether und das electriche Fluidum sich nicht getrennt, sondern gemischt an das Atom lagern, das heisst, dass sie mit völlig gleichen Kräften von demselben angezogen werden. Da aber durch die Anziehung zweier ungleichartigen Pole eine gleichmässige Ablagerung verhindert würde, so ist dies nur möglich, wenn die electriche Theilchen gleichartig gebildet und nicht aus zwei verschiedenen zusammengesetzt sind, die eine Polarität hervorrufen, wenn es also nur ein electriche Fluidum giebt. Dieses übt sowohl der Art als auch der Grösse nach ganz dieselben Kräfte aus, wie der Aether; es ist von diesem gar nicht mehr unterschieden. Dies folgt noch aus einem andern Gesichtspunkte als das Wahrscheinlichste. Wir bemerken die Electricität freilich nur in Verbindung mit der Materie und können es nur, da sie sich allein durch die Veränderungen dieser sichtbar macht, aber da wir sie von dem einen zum andern Körper übergehen sehen, so ist die Möglichkeit einer völlig freien Electricität wenigstens nicht ausgeschlossen. Wenn nun die electriche Theilchen andere Kräfte als der Aether besässen, so kämen sie diesem gegenüber in eine besondere Lage; wäre ihre Abstossung grösser als die der Aethertheilchen, so entstände um sie eine Hülle verdünnten, im andern Falle eine Hülle verdichteten Aethers, in deren Mitte sie zurückbehalten würden. Die auf die eine oder andere Weise entstandene Störung in der Dichte des Aethers aber müsste sich optisch bemerklich machen, indem das Licht durch sie reflectirt oder gebrochen würde.

Die Identificirung des electriche Fluidums mit dem Aether ist nicht nur der beste Ausweg aus allen Schwierigkeiten, in ihm ist zugleich ein Band gefunden, welches

die gesammten aus den Eigenschaften der wägbaren Materie allein unerklärlichen Naturerscheinungen mit einander verknüpft. Während bei der Annahme zweier von dem Aether unterschiedenen electricischen Fluiden der Zusammenhang der verschiedenen Naturerscheinungen, wie der des Lichtes oder der Wärme mit der Electricität schwer oder nur künstlich zu erklären war, ist die nun erschlossene Aussicht auf eine Vereinigung aller dieser Erscheinungen als verschiedener Ausdrucksformen der Veränderungen eines und desselben Wirkenden eine den schauenden Geist sehr befriedigende. Doch diese Befriedigung darf nicht zur Uebereilung hinreissen. Wenn auch die Annahme bis jetzt die richtigere zu sein schien, wenn sie die einfachere und deshalb vorzuziehende ist, so darf sie doch noch nicht als eine unantastbare hingestellt werden. Man darf das Vorhandensein eines schweren logischen Bedenkens nicht verhehlen, welches vielleicht zu einer grösseren Verwickelung der bis jetzt so einfachen Hypothese nöthigt. Freilich steht diesem von der andern Seite her ein nicht minder schweres entgegen, das zuerst erwähnt werden mag. Die dualistische Hypothese schreibt demselben Theilchen unter denselben Verhältnissen zwei entgegengesetzte Kräfte, eine anziehende und eine abstossende zugleich zu; denn nimmt man eine positive und eine negative electricische Flüssigkeit an, so sollen beide nicht nur die Theilchen der Materie anziehen, welches in der überwiegenden Wirkung dieser seinen Grund haben kann, sondern zwei Theilchen verschiedener Art sollen sich gegenseitig anziehen, eines ihrer eigenen Art dagegen abstossen. Wenn nun ein $+ E$ ein $+ E_1$ abstösst, aber ein $- E$ anzieht, so kann dies nicht aus der überwiegenden Anziehung des $- E$ folgen, da dieses sich gegen ein $- E_1$ ebenso abstossend verhält, wie das $+ E$ gegen $+ E_1$, es muss wirklich $+ E$ zugleich die anziehende Kraft auf $- E$ und die abstossende auf $+ E_1$ ausüben. Das Gleiche gilt für ein Theilchen $- E$. Da ein solches

Verhalten schon früher verworfen wurde, so möchte man dies als einen Grund für die Annahme der unitarischen Hypothese auslegen, wenn bei dieser nicht, wie bereits angedeutet wurde, ein ganz Aehnliches zum Vorschein käme. Nimmt man nämlich den Aether als den Träger der Electricität an, so legt man diesem nur abstossende Kräfte bei, während die Theilchen der Materie sich nur anziehend verhalten. Die Abstossung zweier positiv electricisirter Körper folgt dann leicht aus den abstossenden Kräften des Aethers, ebenso lässt sich erklären, dass ein positives und ein negatives Theilchen sich anziehen müssen; die Abstossung zweier negativ electricischer Körper aber lässt sich nicht oder doch nur gezwungen rechtfertigen, denn da gerade der Materie die anziehenden Kräfte beigelegt wurden, so ist zu erwarten, dass zwei Körpertheilchen, wenn sie von dem abstossenden Aether entblösst sind, sich um so stärker anziehen; man kann die beobachtete Abstossung nicht durch die Behauptung erklären, dass die Materie nur anziehend wirke, so lange sie von einer bestimmten Aetherhülle umgeben ist, sonst aber abstossende Kräfte offenbare. Man muss das erfahrungsmässige Verhalten der negativ electricischen Körper entweder aus der Einwirkung der übrigen Körper auf dieselben, wodurch sie jedenfalls von allen Seiten her angezogen werden, ableiten; oder, da dies auch für alle anderen Fälle gilt, bei welchen diese Einwirkung nicht in der Art zu Tage tritt, so kann man vielleicht dem Aether des Weltenraumes einen bemerkbaren Einfluss zuschreiben. Weil es möglich ist, einen Körper zu isoliren, mag er positiv oder negativ electricisch sein, so muss neben der aus der Anziehung der Materie folgenden Thatsache, dass ihr Aether sie nicht verlässt, ohne dazu durch besondere Gründe veranlasst zu sein, auch vorausgesetzt werden, dass umgekehrt der freie Aether nicht unmittelbar aus seiner Freiheit heraustreten und auf einen Körper übergehen kann. Da er aber sicherlich dies zu thun strebt,

wenn der Körper seinen Aether abgegeben hat, so müssen seine Theilchen entweder von einer irgend wie anderen Beschaffenheit, als die mit der Materie verbundenen und dadurch verhindert sein, sich ohne Weiteres mit ihr zu vereinigen, während durch die erstrebte Vereinigung dennoch das Gleichgewicht zerstört wird, oder, da eine innere Verschiedenheit nicht wahrscheinlich ist, so müssen die äusseren Verhältnisse, als welche etwa die eigenen Bewegungen des Weltenäthers zu nennen sind, nur eine Störung des Gleichgewichts, aber keine neue Verbindung zulassen. Es könnte dann diese Störung des Gleichgewichts wohl im Stande sein, die Abstossung der negativ electricisirten Körper zu bewirken, die z. B. eintreten müsste, wenn sich der Weltenäther zwischen den beiden Körpern in grösster Dichte sammelte. Doch kann dies Letztere nur ein Hinweis darauf sein, dass vielleicht Mittel sich finden lassen, diese Schwierigkeit zu umgehen. Vorläufig bleibt sie noch bestehen; weil aber ihr die ähnliche und schwerer zu umgehende bei der Voraussetzung zweier electricischen Fluiden entgegensteht, ausserdem für mathematische Berechnungen die Gründe der beobachteten Abstossung nicht berücksichtigt zu werden brauchen, bei ihrer Einführung also keine grösseren Verwickelungen der Formeln entstehen können, so darf hieraus keine Entscheidung für die eine oder die andere Hypothese gezogen, vielmehr darf die unitarische wegen der übrigen für sie sprechenden Gründe immer der dualistischen vorgezogen werden.

Bei der Annahme eines mit dem Aether identischen electricischen Fluidums ist jede Electricisirung eines Körpers gleichbedeutend einer Störung des Gleichgewichts seiner Aetherhülle. Wie es nun möglich wird, dass durch die blose Reibung zweier Körper eine solche Störung entstehe, ist mit Sicherheit nicht zu ermitteln; doch ist dies ebenso wenig aufgeklärt bei der dualistischen Hypothese, denn hier sind jedenfalls die Cohäsionskräfte thätig, und erst

wenn diese erkannt sind, kann eine Aufklärung erstrebt werden. Es ist übrigens wohl der Versuch gemacht, jegliche Electricisirung auf die bei der Berührung zweier verschiedenartigen Metalle auftretende zurückzuführen. Diese ist, wenn auch nicht ableitbar aus dem verschiedenen Verhalten, welches, wie die Optik lehrt, der Aether in den verschiedenen Substanzen zeigt, so doch auf dieses zurückführbar. Ist die Dichte des Aethers in zwei Körpern ungleich, so müssen bei der Berührung derselben zwei ungleich dichte Schichten an einander lagern. Indem diese sich durchdringen und dann einen Ausgleich erstreben, indem ferner die Molecule jeder Substanz auf die der anderen und damit auch auf deren Aetherhüllen ihre Kräfte wirken lassen, muss das Gleichgewicht gestört und das Auftreten eines electricischen Zustandes bedingt werden. Ein Aehnliches ist der Fall, wenn die Molecule zweier Körper, auch wenn deren substantielle Beschaffenheit dieselbe ist, verschiedene Schwingungen machen; auch dabei kann oder muss vielmehr mit dem Ausgleichen der Schwingungen der Molecule eine Veränderung der Dichten, also eine Störung des Gleichgewichtes der Aetherhüllen entstehen. Solche Störungen pflanzen sich von der Hülle des einen Molecules auf die des anderen fort. Haben wir eine Reihe von Moleculen a und eine andere von Moleculen b, und ist die Hülle der a dichter als die der b, so müssen, damit bei der Durchdringung derselben in der Berührungsschicht der neue Gleichgewichtszustand entstehe, die a an die b von ihrem Aether abgeben, wodurch die Aetherdichte der ersten Schicht der a geringer, die der ersten b grösser als die der übrigen wird. Da die zu demselben Molecule gehörigen Aethertheilchen um dasselbe herum jedenfalls frei beweglich sind, so muss sich jede Aenderung eines Theiles der Aethersphäre über die ganze verbreiten, daher muss die der ersten Schicht der Molecule a weniger dicht geworden sein als die der übrigen, während bei den b das

Entgegengesetzte der Fall ist. Daraus folgt, dass in beiden Körpern der Einfluss der Grenzmolecule nun ein anderer ist, als er vordem war, und dies bedingt eine Veränderung des Gleichgewichts in dem Aether des Körpers überhaupt, die sich namentlich in den Schichten, welche den berührenden gerade gegenüber liegen, offenbart. Man kann sich dies so vorgogangen denken: Die ersten Molecule a ziehen wegen der Verdünnung ihrer Aetherhüllen den Aether der zweiten Molecule an; diese werden dadurch in den Stand gesetzt, auf die dritten zu wirken, und so geht es fort bis zur vorletzten Schicht, welche ihr Gleichgewicht durch eine Anziehung des Aethers der folgenden noch wieder herstellen kann. Die letzte Schicht hat keine folgende mehr, ihr ist ein Ausgleich nicht möglich, daher tritt hier die Störung zu Tage. Ein Gleiches wie in diesem hat in dem anderen Körper statt, der einzige Unterschied ist die hier wegen des vorhandenen Ueberschusses an Aether an der Stelle der Anziehung auftretende Abstossung. So lange die beiden Körper in Berührung bleiben, so lange wird auch an den beiden äussersten Schichten positive und negative Electricität erscheinen, da der Zustand der Dichte des Aethers an den Berührungsstellen immer der nämliche bleibt. Die Menge der freien positiven und negativen Electricität muss dieselbe sein, weil bei der Aenderung der Aetherdichte in der Berührungsschicht das Molecule b den Aether des a erhalten hat, dadurch also die wirksame Anziehungskraft des a genau um ebenso viel geschwächt, als die des b verstärkt ist.

Für das Sichtbarwerden einer Electrisirung ist es gleichgültig, ob man annimmt, dass bei dieser Einwirkung von Molecule zu Molecule der Aether wirklich überströmt, welches bei einem Conductor eintreten muss, oder dass, bei einem Isolator, nur die Aetherhülle jedes Molecules verschoben wird, indem sie nämlich nach der Seite hin, nach welcher sie wegen der wirkenden Anziehung oder

Abstossung überzuströmen das Bestreben hat, sich vergrössert oder verdichtet, während an der entgegengesetzten Seite eine Verkleinerung oder Verdünnung eintritt. Worin es aber beruht, dass bei einem Conductor die Störung sich durch ein wirkliches Ueberströmen des Aethers fortpflanzt, bei einem Isolator aber nicht, kann nur aus der Constitution der Körper geschlossen werden. Diese ist zu wenig erkannt, deshalb sind hier sichere Vermuthungen nicht aufzustellen; möglich ist es, dass die Aetherhüllen verschiedener Substanzen das Molecul so dicht umlagern und von diesem so sehr festgehalten werden, dass eine Veränderung der einen die andere wenig beeinflusst oder nur Verschiebungen in bestimmten, durch die Form und Gestalt des Molecules vorgeschriebenen, Richtungen hervorzubringen vermag; möglich ist es auch, dass die Molecule so weit von einander entfernt liegen, dass ein Ueberfliessen der Aetherhüllen in einander schon dieserhalb überhaupt unmöglich ist. Es wird in der Lehre von der Wärme behauptet, dass der Abstand der Molecule gasförmiger Körper ein ausserordentlich grosser sei; und in der That sind die meisten derselben schlechte Leiter der Electricität. Bei ihnen soll eine Leitung überhaupt nur wegen der leichten Beweglichkeit der Molecule zu Stande kommen. Wenn nämlich ein solches mit dem electricisirten Körper in unmittelbare Berührung getreten ist, so tauscht es mit diesem den Aether aus, wird also electricisirt und in Folge dessen abgestossen. Es macht einem anderen Platz, welches kraft der fortschreitenden Bewegung der Molecule im Gase an den Körper heranfliegt, und diesem ergeht es ebenso. Hier also sieht man jedenfalls als Ursache der schlechten Leitung den zu grossen Abstand der Molecule an; und ähnlich mag es bei den Isolatoren überhaupt sein. Als Grund für diese Annahme lässt sich noch angeben, dass die schweren Körper, die Metalle, in welchen die Molecule einander vielleicht näher liegen, im Allgemeinen die bes-

seren Leiter der Electricität sind. Die Wärmewirkungen, sowie die mechanischen, welche bei einer electricischen Entladung in dem Leiter hervorzutreten pflegen, erklären sich durch die anziehenden Kräfte, welche die Materie gegen den Aether ausübt. Das Molecul sucht in Folge dieser die Aetherhülle mit einer gewissen Kraft unverändert zu erhalten. Tritt nun durch die Einwirkung der benachbarten Aetherhüllen eine Veränderung derselben ein, werden Theilchen von ihr losgerissen oder legen sich andere an sie an, so geschieht dies nicht ohne eine Rückwirkung auf das Molecul, welches je nach der Grösse der Veränderung mehr oder minder aus seiner Lage verdrängt wird. Folgen namentlich mehrere Einwirkungen in demselben Sinne auf einander, welches bei einer electricischen Entladung stets der Fall ist, da diese nach neueren Beobachtungen nicht plötzlich, sondern stossweise vor sich geht, so verstärken sich dieselben, und das Molecul wird in Schwingungen versetzt, deren grössere oder geringere Heftigkeit die verschiedenen Wirkungen bedingt.

Weil der Aether von den Moleculen und umgekehrt also auch diese von jenem festgehalten werden, so können bei einer Entladung von einem Conductor auf den anderen Theile der wägbaren Materie mitgerissen werden, und zwar, wenn nur ein Strom, der positive, existirt, in der Richtung dieses, wie es die Erfahrung auch bestätigt. Die mitgeführten Molecule befinden sich in dem Zustande einer lebhaften Erregung; da eine solche von uns als Licht wahrgenommen wird, so üben sie einen bedeutenden Einfluss auf die Lichterscheinungen aus, welche in dem electricischen Funken jede plötzliche Entladung begleiten. Die andere Ursache des Leuchtens ist in den Schwingungen der Molecule des von dem Funken durchschlagenen Körpers zu suchen. Dieselben kommen in der nämlichen Weise zu Stande, wie die oben erwähnten, welche die Erwärmung

eines Leiters bedingen, wenn ein solcher die Entladung vermittelt.

Wir können hier nicht alle electricischen Erscheinungen durchgehen; es möge genügen, in dem Gesagten die Möglichkeit ihrer Erklärung bei der Voraussetzung dargethan zu haben, dass ihre wahre Ursache in Bewegungen des Aethers bestehe. Nur auf eines müssen wir noch Rücksicht nehmen; das ist der galvanische Strom. Ein solcher entsteht überall, wo zwei Conductoren, deren electricische Spannungen ungleich, d. h. auf welchen verschiedene Mengen freier Electricität enthalten sind, durch einen Leiter verbunden werden. Der Strom bewirkt den Ausgleich der Electricität, und er hört auf zu fließen, sobald dies erreicht ist. Will man daher einen Strom von längerer Dauer haben, so muss man beständig die Verschiedenheit der electricischen Spannung wiederherstellen, welches bekanntlich durch die verschiedenen Formen der Volta'schen Säule erreicht wird. Der Strom ist nach den Leitern, durch welche er hindurchgeht, verschiedener Natur, und man unterscheidet daher zwei Arten derselben. Die der ersteren Art, zu welcher namentlich alle Metalle gehören, durchläuft der Strom ohne andere, als mechanische oder Wärmewirkungen zu erzeugen, und er folgt dabei dem Ohm'schen Gesetze, er ist der electromotorischen Kraft, dem Unterschiede der Spannungen, direct und dem Widerstande des Leiters umgekehrt proportional; dies aber ist ein Gesetz, welches nicht bloß für die Electricität, sondern *mutatis mutandis* für jede durch eine Röhre strömende Flüssigkeit Gültigkeit besitzt.

Man war daher geneigt, den electricischen Strom, wie das auch oben geschehen ist, als ein einfaches Ueberströmen des electricischen Fluidums zu betrachten. Doch diese Annahme ist bei der Gleichsetzung des electricischen Fluidums mit dem Aether nicht durchzuführen, weil jeder Leiter selber von Aethertheilchen angefüllt ist, die nicht nur frei

beweglich sind, sondern ausserdem gegenseitig und auf alle übrigen etwa durchströmenden Theilchen beständig Kräfte ausüben. Unter diesen Umständen ist ein einfaches Ueberströmen nicht möglich, sondern indem der Aether der Säule auf das zunächst gelegene Molecul des Stromleiters übergeht, wird derjenige, welcher die Hülle desselben bildet, aus seiner Lage verdrängt und strömt auf das folgende Molecul. Der Aether dieses wird ebenso vertrieben und es entwickelt sich der Strom als ein Austausch der verschiedenen Aetherhüllen der einzelnen Molecule des Stromleiters. Es hat dies Strömen die grösste Aehnlichkeit mit einer in einem Körper fortschreitenden longitudinalen Welle; auch bei dieser nähert sich das eine Theilchen dem anderen und verdrängt es aus seiner Lage, wird aber dann auf seinen früheren Platz zurückgedrängt. Bloss dies Letztere geschieht bei dem electricischen Strome nicht, sondern hier behält das Theilchen seinen neu erworbenen Platz, den zu verlassen es erst wieder durch eine electricische Kraft gezwungen werden kann.

In einer ganz anderen Weise durchfliesst die Electricität einen Leiter der zweiten Art, wie das Wasser. Bei diesem geht unter allen Umständen eine chemische Veränderung, nämlich eine Zersetzung des Wassers vor sich, und man hat Grund anzunehmen, dass ohne diese Zersetzung überhaupt kein Durchgang des Stromes statthat. Allerdings hat die Erfahrung noch keinen unbedingten Aufschluss gegeben, da die Zersetzung nicht allein von dem Durchflusse der Electricität, sondern auch von der molecularen Beschaffenheit der Flüssigkeiten und von manchen anderen Umständen abhängt, welche alle noch nicht genügend erkannt sind. — Es sind Ausnahmen von der gewöhnlichen Regel beobachtet, und die Erscheinungen werden häufig verwickelt; doch da sie in den einfacheren Fällen klar sind, so fehlt eine Erklärung nicht. Man nimmt nämlich an, dass in den Moleculen die Atome entgegen-

gesetzt electricisch sind; das eine, welches am positiven Pole ausgeschieden wird, muss schon in der Verbindung negativ, das andere muss positiv electricisch gewesen sein. Wenn man anfangs glaubte, in diesem Verhalten der Atome den wichtigsten Schlüssel für die Constitution der Materie, wie für das Entstehen der chemischen Verbindungen gefunden zu haben, und wenn hierauf eine electrochemische Theorie aufgebaut werden konnte, so überzeugte man sich doch von der Unzulänglichkeit dieser Vermuthungen und sah ein, dass hier nicht mehr noch minder als ein Aehnliches von dem statthat, was schon bei der Berührung zweier Körper beobachtet wurde. Durch die nahe Verbindung der Atome im Molecule wird ein neuer Gleichgewichtszustand der Aetherhülle hervorgebracht, der so beschaffen ist, dass auf der Seite des einen Atomes eine grössere Menge des Aethers sich befindet, woher dieses positiv electricirt erscheint, während das andere wegen der Abgabe seines Aethers negativ electricisch ist. Wird nun eine solche Flüssigkeit als Stromleiter benutzt, so muss die electricische Kraft einen Einfluss auf die Molecule ausüben und kann daher eine Zersetzung der Flüssigkeit bewirken. Clausius denkt dies so vor sich gehend: In einer Flüssigkeit bewegen sich sämmtliche Molecule in lebhafter Weise in unregelmässigen Bahnen, und dabei mag es manchmal vorkommen, dass die Verbindung der Molecule gelockert und aufgelöst wird, so dass die Atome oder Theilmolecule sich zwischen den Gesamtmoleculen frei bewegen können. Wenn nun in einer solchen Flüssigkeit eine electricische Kraft wirkt, so können sich die Theilmolecule nicht mehr ganz frei bewegen, sondern sie werden um so mehr in der Richtung dieser Kraft bewegt, je stärker sie wirkt. Und auch die Gesamtmolecule werden in der Richtung der Kraft gedreht, und es gehen daher mehr Zersetzungen in dieser Richtung vor sich als vordem. Das Resultat ist, dass durch ein beliebiges Flächenstück

in der Zeiteinheit bei der Einwirkung der electricischen Kraft eine gewisse Anzahl positiver Theilmolecul in positiver und eine Anzahl negativer in negativer Richtung hindurchgehen. Diese entgegengesetzte Bewegung der beiden Arten von Theilmoleculen aber bildet den galvanischen Strom innerhalb der Flüssigkeit.

Ueberall kann der Strom als durch Gleichgewichtsstörungen des in den Körpern enthaltenen Aethers entstanden gedacht werden, auch die sämmtlichen Wirkungen, welche er in dem Leiter hervorzubringen vermag, sind auf ein Princip, auf das der Anziehung des Aethers durch das Molecul zurückführbar. Aber ausser den in dem Leiter vor sich gehenden sind noch Wirkungen in die Ferne beobachtet, und zwar sind diese entsprechend denen der ruhenden Electricität, die sich als Influenz auf nicht electricische und als Anziehung oder Abstossung auf electricische Körper bemerklich machen, von zweierlei Art; es sind Einflüsse, die der Strom auf Leiter mit ruhender Electricität und solche, die er auf andere Ströme ausübt. Die ersteren entsprechen der Influenz, sie sind bekannt unter dem Namen der Induction. Hat man zwei Leiter, so wirken beider Aethermengen auf einander, und es bildet sich ein gewisser Zustand des Gleichgewichts; entsteht nun in dem einen der Leiter ein Strom, so wird dadurch für den Aether des anderen ein neues Gleichgewicht bedingt, in welches dieser in dem Augenblicke übergeht, in welchem jener erste Strom auftritt. Bei der leichten Beweglichkeit des Aethers vollzieht sich dieser Uebergang in sehr kurzer Zeit und macht sich durch einen Strom von kurzer Dauer bemerklich. So lange nun in jenem ersten Leiter die Bewegung der Electricität ungeändert bleibt, so lange bleibt auch der Gleichgewichtszustand in dem zweiten derselbe, sein Aether verharrt in Ruhe; jede Veränderung aber des Stromes im ersten Leiter bedingt eine Umstellung des Aethers, einen Strom, im zweiten. Dieser, der inducirte,

entsteht sowohl bei einem Stärker- oder Schwächerwerden des inducirenden Stromes, als auch bei einer Annäherung oder Entfernung desselben; und es erzeugt jede Zunahme der einwirkenden Kraft einen entgegengesetzten, jede Abnahme einen gleichgerichteten Strom.

Es würde hier von keinem Nutzen sein, auf die weiteren Folgerungen aus diesem Gesetze und auf eine genauere Betrachtung der einzelnen bei der Induction auftretenden Fälle einzugehen; es ist das auch nicht nöthig, da keine von umgestaltendem Einflusse auf die Hypothese ist, wir wenden uns daher zu der zweiten Fernwirkung, der eines Stromes auf den anderen. Für diese durch zahlreiche genaue und umfassende Versuche und Beobachtungen die Grundgesetze aufgefunden zu haben, ist das unsterbliche Verdienst von Ampère. Er bestimmte, um die einfachsten Fälle zu erhalten, die Einwirkungen zweier Stromelemente auf einander. Die Stärke dieser hängt ab von der Stärke der Ströme, d. h. von den Mengen der bewegten Electricität, denen sie direct proportional ist. Sie ist ferner dem Quadrate des Abstandes der beiden Elemente umgekehrt proportional und wirkt in der Richtung ihrer Verbindungslinie. Die Wirkung, welche die Stromelemente auf einander ausüben, ist eine anziehende oder abstossende; stehen beide senkrecht zur Verbindungslinie, so ziehen sie sich an, wenn sie gleich, und stossen sich ab, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind, während das Umgekehrte erfolgt, wenn beide in der Richtung der Verbindungslinie verlaufen. Jedoch ist im letzteren Falle die Stärke der Kraft, mit welcher die Wirkung erfolgt, nur die Hälfte der vorigen. Steht das eine Stromelement senkrecht zur Verbindungslinie, während das andere in ihr verläuft, so erfolgt gar keine Wirkung. Alle Zwischenfälle, wo die Stromelemente beliebig gerichtet sind, lassen sich nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte auf die angegebenen zurückführen.

Aus diesen Grundsätzen leitete Ampère eine Formel ab, nach welcher sich alle Fernwirkungen zweier Leiter auf einander berechnen lassen. Auf seine Resultate einzugehen, gehört nicht hierher, wo es sich wesentlich um die Hypothesen der Electricität handelt. Seine Formeln sind rein mathematische und blos durch Rechnung aus den genannten, durch die Erfahrung aufgefundenen Grundsätzen abgeleitet; sie stehen mit einer Hypothese über das Wesen der Electricität zunächst in gar keinem Zusammenhange. Nur in einem Punkte greifen sie ein; es gelang nämlich Ampère, Folgerungen zu ziehen, die auch das Gebiet des Magnetismus dem der Electricität unterordnen.

Bekannt waren die magnetischen Eigenschaften und die Wirkungen der magnetischen Kräfte längst gewesen und auch vielfach zu praktischen Zwecken verwerthet. Dennoch fehlte hier viel mehr die Erklärung, als bei der Electricität. Man nahm ein Etwas, ein magnetisches Fluidum an; wenn aber schon bei der Electricität das Fluidum oft von nicht viel weiterer Bedeutung erschien, als dass es einen nach der Art der Erscheinungen geformten und nach diesen beliebig umzuformenden Grund für dieselben abgab, so war dies beim Magnetismus erst recht der Fall. Das magnetische Fluidum war nichts weiter als der unbekannte Träger, ohne welchen man eben keine Kräfte annehmen mochte. Erst durch die magnetischen Erscheinungen erhielt es seine Gestaltung; wurden neue entdeckt, so wurden ihm neue Eigenschaften beigelegt, falls die alten nicht mehr ausreichten. Im Grunde erging es dabei dem Fluidum schlecht. Anfangs mochte man es frei beweglich und über den ganzen Magneten nach Art des electrischen vertheilt denken; da man aber bemerken musste, dass ein Magnet beim Zerbrechen in zwei Theile zerlegt wird, die wieder vollständige Magnete sind, und dass dies immer der Fall ist, wie weit man auch die Theilung treibt, so musste es sich vor dieser Theilung immer

weiter zurückziehen und fand schliesslich an den Moleculen seine letzte Wohnstätte. Während das electricische Fluidum wenigstens das Molecul verlassen und auf ein anderes sollte übergehen können, konnte man dem magnetischen dies nicht mehr zugestehen; es haftete stets und unveränderlich an dem Molecule. Und so hatte es im Grunde keine andere Bedeutung als die zur Erklärung einer magnetischen Polarität, d. h. es hatte gar keine Bedeutung mehr, denn die Polarität war ohne ein Fluidum genau so erklärlich, als durch ein solches, nämlich unerklärlich. Man mochte sich dabei trösten, den Magnetismus auf die Molecule zurückgedrängt zu haben, bei denen doch noch so vieles Andere auch unerklärt blieb, und konnte sich mit den Versuchen beruhigen, alle magnetischen Erscheinungen aus Umstellungen und Lagerungsverschiedenheiten der Molecule abzuleiten, im Uebrigen aber den Magnetismus als einen schönen Namen für eine durchaus unerkannte Kraft beibehalten. Aber da wurde eine neue Erscheinung aufgefunden, die ganz unerklärt blieb, die von Oerstedt entdeckte merkwürdige Beziehung des electricischen Stromes zu einem Magneten. Hatte der Magnetismus mit der Electricität nichts zu thun, wie sollte es dann möglich sein, dass er von ihr in einer so entschiedenen Weise beeinflusst werde, wie die Beobachtungen es dargethan hatten? Auch die Art der Einwirkung war eine seltsame. Während man bislang nur Kräfte kennen gelernt hatte, die in der Richtung der Verbindungslinie der beiden auf einander wirkenden Körper thätig waren, entdeckte man hier eine Transversalkraft. Der Magnet wurde von dem Strome weder angezogen noch abgestossen, sondern nur aus seiner Richtung abgelenkt; die Kraft musste also senkrecht gegen die Verbindungslinie gerichtet erscheinen. Ein solches Verhalten aber war nicht nur auffällig, es widersprach auch allen Ansichten, die man über die Kräfte gefasst hatte. Wollte man sich nicht genöthigt sehen, mit

allen früheren Anschauungen zu brechen, so musste man hier die Beobachtungen für unzureichend erachten und sie zu verbessern oder anders auszulegen versuchen. Solche Ueberlegungen mussten zu weiteren Forschungen anregen; Ampère unternahm sie, und es gelang ihm, das magnetische Fluidum vollständig überflüssig zu machen und die gesammten magnetischen Erscheinungen auf die electricen zurückzuführen.

Indem er die Wirkungen zweier Ströme auf einander untersuchte, kam er auch dazu, Solenoide, das sind Systeme von einfachen Kreisströmen, die gleichmässig senkrecht auf einer beliebigen Leitlinie an einander gereiht sind, in ihrem Zusammenwirken zu beobachten, und er fand, dass diese denselben Gesetzen unterworfen sind, denen zwei Magnete gehorchen. An jedem Solenoide kann man zwei Pole beobachten, die genau dem Nord- und Südpol eines Magneten entsprechen; sie ziehen sich an oder stossen sich ab proportional ihrer d. i. der sie durchfliessenden Ströme Stärke und umgekehrt proportional ihrem Abstände. Und zwar stossen sich zwei Pole bei gleichgerichteter Strombewegung ab und ziehen sich bei entgegengesetztgerichteter an. Daher kam Ampère zu der alle oben genannten Schwierigkeiten vermeidenden Behauptung, dass sich um jeden Magneten oder, wie später genauer festgestellt wurde, um jedes Molecul eines solchen beständig galvanische Ströme bewegen, und dass diese den Grund für die magnetische Polarität abgeben. Diese Ströme fliessen, weil sie durchaus keinen Widerstand zu überwinden haben, unausgesetzt und sind nicht, wie die der gewöhnlichen Leiter, nur so lange andauernd, als die bewegende elektrische Kraft anhält. Wenn ein Strom in einem metallischen oder anderen Leiter zu fliessen aufhört, so geschieht dies, weil er mechanische oder ähnliche Wirkungen hervorgebracht und an diesen seine Kraft verbraucht hat. Bei einem Molecule ist dies nicht möglich, denn wenn dieses umflossen wird, so kann es

nicht selber bewegt, es kann also keine Kraft vom Strome an die Materie abgegeben werden; der Strom muss daher unausgesetzt zu fließen fortfahren, bis er durch irgend eine Gegenkraft vernichtet wird.

Wenn aber alle Molecule Magnete sind und solche bleiben, so kann der Grund der Magnetisirung eines Körpers nur in einer Umstellung seiner Molecule oder des sie umfließenden Stromes bestehen, also in einem richtenden Einfluss, den ein Magnet auf die Theilchen der zu magnetisirenden Substanz ausübt. Dieser richtende Einfluss aber ist identisch mit dem eines Stromes auf den anderen, man kann daher nach dieser Theorie und auch nach der Erfahrung, die alles bestätigte, den Magneten als ein System galvanischer Ströme ansehen und alle Leistungen dieser letzteren auch durch jenen hervorbringen, wie man umgekehrt an Stelle jedes Magneten einen Strom einsetzen kann, ohne irgend einen Fehler zu begehen. Alle Sondererscheinungen, welche der Magnetismus dem Galvanismus gegenüber etwa noch bietet, finden eine Erklärung in den Cohäsionsverhältnissen der Körper, die bei der Umstellung der Molecule und dadurch bei dem Sichtbarwerden der magnetischen Kräfte von entscheidendem Einflusse sind. Eine specielle Theorie des Magnetismus ist auf sie hingewiesen; sie sind bislang wenig aufgeklärt, und wohl die meisten etwa noch vorhandenen Zweifel dürfen auf sie zurückgeschoben werden.

Zur Erklärung des Magnetismus wurde gesagt, ein electrischer Strom umfließe das Molecul; das ist denkbar, indem angenommen wird, die Aethertheilchen bewegen sich, wie die Himmelskörper um die Sonne, so beständig um das Körpermolecul. Eine solche Centralbewegung ist nicht nur möglich, sie wird unter Umständen nothwendig sein, denn, wie früher erklärt wurde, sind die Aetherhüllen der Molecule veränderlich. Wenn nun bei einer solchen Veränderung ein Aethertheilchen neu in die Sphäre der Anziehung eines Molecules eintritt, so kommt es dort

mit einer gewissen Geschwindigkeit an, diese aber kann es, wenn es nicht auf irgend einen Widerstand trifft, nicht verlieren, sondern wegen derselben muss es das Molecul umkreisen. Da nun kein Grund ist, anzunehmen, dass nicht schon sämmtliche Körpermolecule oder wenigstens in jedem Körper eine grosse Anzahl derselben eine Veränderung ihrer Aetherhüllen erlitten haben, so muss behauptet werden, dass um jedes Molecul Bewegungen des Aethers existiren können, die jedoch nur als Strom zu Tage treten, wenn alle oder wenigstens der grössere Theil derselben in gleicher Richtung erfolgt, nicht aber bei beliebiger unregelmässiger Bewegung. Im letzteren Falle werden die Aethertheilchen häufig gegen einander stossen und dadurch ihre Bewegungen aufheben oder so verwandeln, dass ein gewisser Zustand des Gleichgewichtes sich herstellt. Ob nun ein Strom oder ein Gleichgewicht eintritt, hängt im Allgemeinen von der Natur, von der Lage und der eigenen Bewegung des Molecule ab, insofern durch diese die Beschaffenheit der Aetherhüllen bedingt wird. Im ersteren Falle werden die Ströme unter gewöhnlichen Umständen verschieden gerichtet sein, so dass nach Aussen keine Wirkung sichtbar wird, aber durch gewisse Umstände, wie etwa durch den Einfluss eines galvanischen Stromes oder eines Magneten können sie gleichgerichtet werden, und dann tritt ihre Gesamtwirkung darin zu Tage, dass der Körper magnetisirt erscheint. Ist aber in der Aetherhülle des Molecules ein Gleichgewichtszustand vorhanden, so wird der galvanische Strom inducirend wirken. In einem gewöhnlichen Leiter können die inducirten Ströme nur eine augenblickliche Dauer haben, anders ist es, wenn solche in dem Aether um das Molecul erregt werden; diese finden nirgends einen Widerstand und fliessen so lange fort, bis sie durch die entgegengesetzte Kraft zum Aufhören gebracht werden. Wenn sie also durch die Annäherung oder durch das Entstehen eines galvanischen

Stromes erzeugt sind, so werden sie beim Entfernen oder Erlöschen dieses wieder verschwinden. Die durch Induction entstandenen Molecularströme müssen dem inducirenden Strome entgegenlaufend sein, während, wenn ein richtender Einfluss auf schon vorhandene Ströme ausgeübt wird, diese so gestellt werden, dass sie gleich verlaufen. Sehen wir daher im letzteren Falle eine Anziehung eintreten, so wird im ersteren eine Abstossung die Folge sein.

Da nun in allen Körpern entweder schon Molecularströme vorhanden sein, oder solche bei der Annäherung an einen galvanischen Strom oder Magneten entstehen müssen, so ist die einfache Folge dieser Betrachtung, dass nicht nur wenige Körper, wie das Eisen, magnetische Veränderungen unter dem Einflusse von galvanischen Strömen zeigen, sondern dass dies bei sämmtlichen Substanzen eintreten muss. Und zwar sind dieselben in zwei Klassen einzutheilen, in solche, bei denen die Molecularströme schon vorhanden und nur umzustellen sind, und in solche, bei denen sie erst durch die Induction entstehen. Die ersteren werden von einem Magneten angezogen, die letzteren abgestossen. Die Erfahrung hat in der That gelehrt, dass sämmtliche Substanzen sich in die zwei genannten Gruppen einordnen lassen; die der ersteren nennt man die magnetischen, die der letzteren die diamagnetischen Körper.

Als Probe für die Richtigkeit der Theorie kann eine einfache Folgerung dienen; man muss wohl constante Magnete herstellen können, wenn nämlich die Cohäsionsverhältnisse der magnetisirten Substanz derart sind, dass die Molecule oder die sie umfliessenden Ströme in der Lage, in die sie durch den drehenden Einfluss des anderen Magneten oder Stromes versetzt sind, festgehalten werden; nicht aber sind constante Diamagneten möglich, denn bei diesen wird bei der Entfernung von dem inducirenden Strome der inducirte durch den hierbei entstehenden neuen,

dem ersteren entgegengesetzten inducirten Strom vernichtet. Die Erfahrung zeigt kein Beispiel eines constanten Diamagneten.

Wir besprachen die Fernwirkungen zweier Ströme auf einander und benutzten dieselben zu weit reichenden Folgerungen, liessen jedoch die sie bewirkenden Kräfte bislang ausser Acht. Es ist berechtigt, auch nach diesen zu fragen oder wenigstens zu versuchen, die Gesetze, denen sie folgen müssen, genau festzustellen, namentlich auch dieselben mit den für die electricischen Wirkungen früher gefundenen zu vergleichen. Thut man dies, so kommt man nicht mehr mit blos von dem Abstände der wirkenden Theilchen abhängigen, anziehenden oder abstossenden Kräften aus, welche für die Electrostatik völlig ausreichten, sondern gelangt zu ganz merkwürdigen Anschauungen, die zuerst von Wilhelm Weber scharf hervorgehoben und klar ausgesprochen wurden. Er unterzog die Ampère'schen Resultate einer genauen Prüfung; nachdem er sich hierdurch von ihrer Richtigkeit völlig überzeugt hatte, suchte er die aus ihnen abgeleiteten Regeln zu einem die gesammten electricischen Erscheinungen umfassenden Grundgesetze zu vereinigen. Er sprach dies dahin aus, dass die Einwirkung zweier Elemente auf einander nicht nur von der Menge der in beiden enthaltenen Electricität abhängt, sondern auch durch die Geschwindigkeit, mit welcher sich diese bewegt, und durch die zu dieser Geschwindigkeit zugehörige beschleunigende Kraft bedingt wird, und er stellte dies in einer Formel dar, welche sowohl die für die ruhende, als auch die für die bewegte Electricität bisher gefundenen umfasst. Insofern nun sich die Art der Kraftwirkungen in den Gesetzen ausspricht, kann man auch in diesem Weber'schen eine besondere neue Aufklärung wenn nicht über das Wesen, so doch über die Wirkungsweise der Kraft erblicken, muss dann aber den früher eingenommenen Standpunkt verändern. Man dachte sonst die Kraft allein

mit dem Abstände der wirkenden Elemente sich ändern, jetzt soll sie auch von deren Bewegung sich beeinflussen lassen. Wie sie das fertig bringt, und weshalb das so ist, braucht die Physik ebenso wenig zu fragen, als sie ihr Wesen überhaupt zu untersuchen genöthigt ist; ihr genügt die Thatsache, dass es so ist, wenn diese nur zu keinen inneren Widersprüchen führt. Letzteres aber ist hier nicht der Fall, denn denkunmöglich ist dies Verhalten durchaus nicht, so seltsam es dem ersten Anblicke erscheinen mag. Es dürfen daher diese neuen Anschauungen von der Physik ohne Weiteres aufgenommen und zu weiteren Entwicklungen benutzt werden.

Doch die Hypothesen können durch sie nicht wesentlich beeinflusst werden; sie sind gebildet zur Erklärung der Erscheinungen und deren Verlauf, nicht aber zur Verdeutlichung der wirkenden Kräfte; der in ihnen herrschende Gedanke ist der, sämtliche Erscheinungen als durch Bewegungen gewisser einfacher Bestandtheile, hier der Atome der Materie und des Aethers, bedingt anschaulich zu machen, sie bis auf die einfachsten Fälle zurück zu verfolgen, um sie schliesslich vielleicht vergleichbar finden und zusammenfassen zu können. Dabei muss freilich die Weise der Wechselwirkung, welche beide Arten von Atome gegenseitig ausüben, berücksichtigt werden, und insofern hat die Physik sich mit dem Begriffe der Kraft zu beschäftigen, aber dieser Begriff ist nicht der grundlegende, er kann, wie es hier geschehen musste, Umgestaltungen unterzogen werden, darum bleibt die Voraussetzung der Atome unangefochten und im Wesentlichen die hierauf begründete Hypothese unbeeinflusst. Gewisse Veränderungen mögen sich nothwendig erweisen, da die Bewegungen der Theilchen unter dem Einflusse anderer Kräfte auch andere sein werden, aber diese Veränderungen berühren hauptsächlich nur die zur Fassung der Gesetze und Ableitung der Formeln aus diesen nothwendigen Rechnungen, nicht aber die Erklärungsweise der Erscheinungen.

Wir können deshalb verzichten, auf eine genauere Untersuchung der bei einer solchen Wirkungsweise der Kraft, wie sie das Weber'sche Gesetz voraussetzt, sich ergebenden Resultate einzugehen; dann aber dürfen wir unsere Arbeit hier als abgeschlossen betrachten. Die weiteren Fortschritte der Physik werden sicherlich die in ihr dargelegten Punkte vielfach umgestalten, über manche mögen schon jetzt neue Ansichten sich Eingang verschaffen, die atomistische Grundlage der Hypothesen wird bestehen bleiben und geeignet sein, zu fruchtbaren Resultaten zu führen, und das nicht allein nach der hier behandelten Seite der Physik hin, sondern auch die Philosophie wird auf sie zurückgreifen und in ihnen Elemente zur Bildung einer einheitlichen Weltanschauung finden können, einheitlich in dem Sinne, dass aus bestimmt gegebenen Grössen, wie es hier die Atome des Aethers und der Materie sind, und aus deren genau bestimmten Veränderungen, wie hier aus den Bewegungen derselben, alle Erscheinungen nach einem Principe ableitbar sind.

Neumünster i. H., im Juni 1879.



