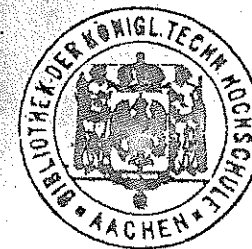


UEBER DEN ZUSAMMENHANG
ZWISCHEN
DEN GROSSEN AGENTIEN
DER NATUR.

REDE
gehalten beim Antritt des Rectorats
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
am 18. October 1884

von
[Adolf]
R. CLAUDIUS.



Bonn,
Verlag von Max Cohen & Sohn (Fr. Cohen)
1885.

18.10.1884
Bonn
Claudius

Es ist ein althergebrachter und der wissenschaftlichen Bestimmung der Universität ganz angemessener Brauch, bei feierlichen Gelegenheiten bedeutsamen und für die weitere Entwicklung besonders einflussreichen Fortschritten der Wissenschaften das Wort zu leihen, und so möge es mir gestattet sein, aus der Wissenschaft, deren Vertretung an der Universität mir obliegt, einen Gegenstand zur Sprache zu bringen, welcher, wie ich glaube, nicht nur für die Physik von Wichtigkeit ist, sondern auch ein allgemeinwissenschaftliches Interesse darbietet.

Es ist in neuerer Zeit mehr, als in früheren Epochen das Bestreben hervorgetreten, zwischen den verschiedenen Naturkräften, oder, besser ausgedrückt, zwischen den verschiedenen Agentien der Natur einen inneren Zusammenhang nachzuweisen. In früherer Zeit wurden die verschiedenen Agentien, durch welche die Natur ihre Wirkungen hervorbringt, und unter denen besonders das Licht, die Wärme, der Magnetismus und die Electricität hervorzuhoben sind, nur einzeln und jedes für sich betrachtet. Man beobachtete die Art der Wirksamkeit eines Agens und suchte diese dann durch geeignete Annahmen, wie sie der Auffassung der betreffenden Zeit entsprachen, zu erklären, ohne die an-

deren Agentien dabei mit in Betracht zu ziehen. Später stellte sich aber mehr und mehr heraus, dass in dem Verhalten der verschiedenen Agentien Uebereinstimmungen vorkommen, die nicht zufällig sein können, dass sie einander in ihren Wirkungen beeinflussen, und dass sogar durch die Wirkung eines Agens ein anderes hervorgebracht werden kann. Daraus musste man schliessen, dass die Agentien nicht von einander unabhängig, sondern in irgend einer Weise unter einander verbunden seien, und nun bot sich dem forschenden Geiste von selbst die Aufgabe dar, aufzufinden, worin diese Verbindung bestehe, wie die Mannichfaltigkeit der Erscheinungen sich auf möglichst einfache Ursachen zurückführen lasse. Die Lösung dieser Aufgabe ist schon in mehreren Punkten gelungen, und gerade in neuester Zeit ist ein bedeutungsvoller und folgenschwerer Fortschritt in dieser Richtung gemacht, der freilich noch nicht ganz abgeschlossen ist, sondern noch mancher Aufklärungen bedarf, um als vollendete Thatsache hingestellt werden zu können, der aber auch gegenwärtig schon der allgemeinen Beachtung sehr werth ist.

Es scheint mir daher der jetzige Zeitpunkt nicht ungeeignet zu sein, einen Blick auf den bisherigen Erfolg dieser Bestrebungen nach Vereinfachung der Naturanschauungen zu werfen.

Um die verschiedenen Agentien, deren jedes eine besondere Wirkungs- und Erscheinungsweise hat, zu erklären, griff man zuerst zu dem am nächsten liegenden Mittel, indem man sich vorstellte, dass diese Agentien

auf dem Vorhandensein gewisser eigenthümlicher Stoffe beruhten. So nahm man einen Lichtstoff, einen Wärmestoff, zwei Electricitätsstoffe oder, wie man sich ausdrückte, zwei electricische Fluida, und ebenso zwei magnetische Fluida an. Jedem dieser Stoffe konnte man beliebige Eigenschaften zuschreiben und dadurch suchte man die Wirkungsweise jedes Agens zu erklären, und gewann dadurch eine, wenigstens den ersten Ansprüchen genügende Erklärung von dem Wesen dieser Agentien und der durch sie hervorgerufenen Naturerscheinungen.

Betrachten wir zunächst das Licht, so hielt man dieses in früherer Zeit für einen von dem leuchtenden Körper, z. B. von der Sonne, nach allen Seiten ausströmenden Stoff, und zwar dachte man sich diesen Stoff aus sehr kleinen Körperchen bestehend, die mit grosser Kraft von dem leuchtenden Körper fortgeschleudert würden und dann in geradliniger Bewegung weiter flögen. Diese Körperchen sollten noch unvergleichlich viel kleiner sein, als die Atome ponderabler Stoffe, und daher fähig sein, nicht nur den leeren Raum, sondern auch ponderable Stoffe von bedeutender Dichtigkeit, wie z. B. Glas oder Wasser zu durchfliegen. Wenn diese Körperchen in unser Auge drängen, so sollten sie hier die Empfindung, welche wir mit dem Worte „Sehen“ bezeichnen, hervorrufen.

Dieser ursprünglich allgemein geltenden Ansicht gegenüber wurde schon im 17. Jahrhundert von dem genialen Holländer Huygens eine andere Theorie aufgestellt. Er verglich das Licht mit dem Schalle. Bei

einem tönenden Körper kann man meistens durch directe Beobachtung wahrnehmen, dass er sich in einer schnellen schwingenden Bewegung befindet, und es lag nahe, anzunehmen, dass diese Schwingungen sich der umgebenden Luft mittheilen, und sich in dieser wellenförmig als Luftverdichtungen und Luftverdünnungen nach allen Seiten ausbreiten, wodurch die Bewegung von dem tönenden Körper zu unserem Ohre übertragen wird. Aehnlich, sagte Huygens, verhalte sich ein leuchtender Körper. Auch er befinde sich in schwingender Bewegung, aber nicht so, dass er im Ganzen schwinde, sondern so, dass seine einzelnen Atome für sich Schwingungen ausführten. Diese Schwingungen, welche natürlich viel kleiner und schneller sein müssen, als die Schwingungen ganzer Körper, sollten sich ebenfalls einem umgebenden Medium mittheilen, und sich darin wellenförmig ausbreiten. Als solches Medium durfte man aber nicht Luft oder sonst ein Gas annehmen, da die Gase, welche selbst aus ponderablen Atomen bestehen, zur Fortpflanzung so kleiner Schwingungen eine zu grobe Massenvertheilung haben. Man musste vielmehr die Existenz eines anderen, viel feineren Stoffes annehmen, welcher den ganzen Weltenraum erfüllt und auch alle ponderablen Stoffe durchdringt, und welchem man den Namen Aether gab.

Auf diese Weise gelangte man zu dem eigenthümlichen Resultate, dass man zwar den in der bisherigen Theorie angenommenen Lichtstoff beseitigt, dafür aber einen andern Stoff eingeführt hatte, den man

als Träger der Lichtschwingungen bedurfte. In dieser Beziehung konnte man daher nicht sagen, dass die neue Theorie einfacher sei, als die alte. Aber ihr Vorzug trat in der Einfachheit der Erklärung der einzelnen Erscheinungen hervor.

Schon Huygens leitete aus dieser Theorie verschiedene Fundamentalgesetze des Lichtes, darunter diejenigen der Reflexion und Brechung, mit einer Sicherheit und Eleganz ab, die nichts zu wünschen übrig liessen. Auch für die viel complicirtere Erscheinung der Doppelbrechung gab er die noch jetzt gebräuchliche Construction zu Bestimmung der beiden gebrochenen Strahlen an. Ebenso beruht die ganze Behandlung der Lichtbeugung auf einem schon von ihm aufgestellten und nach ihm benannten Princip.

Hiernach hätte man bei der sonstigen Regelmässigkeit der Fortschritte in den exacten Wissenschaften, wo selten ein einmal gewonnenes Resultat längere Zeit unbenutzt bleibt, erwarten sollen, dass die neue Theorie bald die alte verdrängen und die allein herrschende werden würde. Aber die alte Theorie fand einen zu geschickten Vertheidiger an dem zu derselben Zeit lebenden hervorragenden Physiker und Astronomen Newton. Dieser hatte beim Beginn seiner optischen Studien die alte Theorie angenommen, und hielt nun mit der den Engländern eigenthümlichen Zähigkeit an ihr fest. Sie bot ihm freilich bei der Erklärung mancher von ihm selbst entdeckter Erscheinungen viel grössere Schwierigkeiten dar, als er in der neuen

Theorie gefunden haben würde; aber er wusste diese Schwierigkeiten mit so viel Geschick durch passende Nebenannahmen zu heben, dass seine Erklärungen bei den ohnehin durch seinen grossen Namen bestochenen Physikern fast allgemein Eingang fanden.

So wurde die schöne von Huygens aufgestellte Theorie, wenn auch nicht in Vergessenheit gebracht, so doch in zweite Linie zurückgedrängt, und in dieser Weise standen die beiden Theorien, die Emissionstheorie und die Undulationstheorie, mehr als ein Jahrhundert lang neben einander. Noch zu Ende des vorigen und zu Anfang dieses Jahrhunderts wurde die Emissionstheorie von Physikern, Astronomen und Mathematikern ersten Ranges, wie Biot, Herschel und Laplace verfochten. Erst in diesem Jahrhundert ist es durch die Entdeckung sehr wichtiger und mannichfaltiger neuer Erscheinungen, deren Erklärung die beiden Theorien auf eine entscheidende Probe stellte, der Undulationstheorie gelungen, ihre Ueberlegenheit in so unzweifelhafter Weise zu zeigen, dass dadurch die Emissionstheorie vollständig verdrängt wurde, und vom Lichtstoff nicht mehr die Rede war.

Zu dieser Zeit wurde aber bei der Wärme an der Ansicht, dass sie ein besonderer Stoff sei, noch kaum gerüttelt. Nur vereinzelt waren Bedenken gegen diese Ansicht geäussert, die aber wenig beachtet wurden.

In der That kommt bei der Wärme auch ein beim Lichte nicht nachweisbarer Umstand vor, der sehr geeignet war, die Vorstellung von ihrer stofflichen Natur

zu unterstützen. Die Wärme kennen wir in zwei Formen, als strahlende Wärme und als Eigenwärme der Körper, und zwischen diesen beiden findet eine bestimmte Beziehung statt. Wenn Wärmestrahlen auf einen Körper fallen und von diesem absorbiert werden, so ist die strahlende Wärme als solche verschwunden, aber dafür ist der Körper erwärmt, also seine Eigenwärme hat sich vermehrt. Wenn umgekehrt ein warmer Körper Wärme ausstrahlt, so findet eine Erzeugung von strahlender Wärme statt, dafür vermindert sich aber die Eigenwärme des Körpers, indem er sich durch die Ausstrahlung allmählig abkühlt. Dieses entspricht ganz dem Verhalten eines Stoffes, welcher zwar aus einer Form in eine andere übergehen, aber der Quantität nach sich weder vermehren noch vermindern kann, so dass ebensoviele von der einen Form vergehen muss, wie von der anderen Form entsteht.

Bei Vorgängen anderer Art beobachtete man freilich ein Verschwinden von Wärme, deren Verbleib man nicht nachweisen konnte, oder ein Hervortreten von Wärme, deren Quelle nicht ersichtlich war, nämlich bei der durch den Einfluss der Wärme bewirkten Zustandsänderung von Körpern. Wenn z. B. Eis schmilzt oder Wasser verdampft, so geht dabei Wärme verloren, und wenn umgekehrt Wasser gefriert oder Dampf sich niederschlägt, so kommt dabei Wärme zum Vorschein. In diesen Fällen half man sich aber mit einer besonderen Vorstellung, indem man sagte, die Wärme, welche bei gewissen Zustandsänderungen eines Körpers verschwin-

det, sei nicht vernichtet, sondern habe nur eine andere Existenzweise angenommen, in welcher sie für uns nicht wahrnehmbar sei, und welche man daher mit dem Worte „latent“ charakterisirte. Man dachte sich das so, als ob die Wärme sich mit dem betreffenden Körper chemisch verbunden habe, und dadurch verhindert sei, so, wie im freien Zustande, zu wirken. Wenn also Eis sich mit einer gewissen Quantität Wärme chemisch verbinde, so entstehe daraus Wasser, und wenn Wasser sich mit noch mehr Wärme verbinde, so entstehe daraus Dampf. Wenn eine solche Verbindung sich unter anderen Umständen wieder auflöse, so gehe der Körper in seinen früheren Zustand zurück und die Wärme werde wieder frei. Man hatte also eine chemische Theorie gebildet, in welcher die Wärme wie jeder andere elementare Stoff behandelt wurde, und demgemäss findet sich in älteren Lehrbüchern der Chemie die chemische Verwandtschaft verschiedener Substanzen zur Wärme ebenso angeführt, wie ihre Verwandtschaft zum Sauerstoff und zu anderen ähnlichen Stoffen. In diese Anschauung hatte man sich so hineingelebt, dass das ganze physikalische und chemische Denken damit verwachsen war.

Wenn auch einzelne Thatsachen übrig geblieben waren, welche sich dieser Theorie nicht fügen wollten, insbesondere die Wärmeerzeugung durch Reibung, welche man nur durch ganz gezwungene Nebenannahmen erklären konnte, so hielt man doch bis in die dreissiger und selbst vierziger Jahre dieses Jahrhunderts fast allgemein an der einmal eingewurzelten Theorie fest. Um

diese Zeit aber kamen zu jenen Thatsachen neue noch bedenklichere hinzu.

Nach Erfindung des auf Thermoelectricität beruhenden Thermometers, welches unvergleichlich viel feiner ist, als die bis dahin vorhandenen Thermometer, fing man an, die strahlende Wärme näher zu untersuchen, als es früher möglich gewesen war. Es waren schon längst gewisse Analogien zwischen Licht und strahlender Wärme bekannt, insbesondere, dass beide in Bezug auf Reflexion und Berechnung dieselben Gesetze befolgen. Jetzt wurden nun, vorzugsweise durch Melloni, welcher fast seine ganze Lebensthätigkeit diesem Gegenstande widmete, noch weitere auffallende Uebereinstimmungen nachgewiesen. Während beim Lichte eigenthümliche, auf die Qualität bezügliche Unterschiede vorkommen, welche wir als verschiedene Farben bezeichnen, indem wir von rothem, grünem, blauem Lichte sprechen, hatte man die Wärme früher nur der Quantität nach unterschieden, indem man die Körper, welche mehr Wärme besitzen, als Körper von höherer Temperatur bezeichnete, und den Wärmestrahlen grössere oder geringere Intensität zuschrieb. Jetzt wurde nun nachgewiesen, dass in der strahlenden Wärme auch qualitative Verschiedenheiten, nämlich verschiedene Farben vorkommen, welche ganz so, wie die Farben des Lichtes, in ihrem Verhalten von einander abweichen und sich dadurch unterscheiden und in ihren Wirkungen einzeln verfolgen lassen. Etwas später wurde von andern Physikern, besonders von Knoblauch, gezeigt, dass auch in den complicirteren

Phänomenen der Doppelbrechung und Polarisation die strahlende Wärme sich ganz ähnlich wie das Licht verhält. Unter diesen Umständen konnte kein Zweifel mehr bestehen, dass die strahlende Wärme vollständig mit dem Lichte übereinstimme, und da man beim Lichte schon zu der Ueberzeugung gelangt war, dass es aus wellenförmig fortschreitenden Schwingungen bestehe, konnte man unmöglich die strahlende Wärme für einen von dem warmen Körper fortgeschleuderten Stoff halten, sondern musste auch sie aus derartigen Schwingungen erklären.

Nachdem dieses Ergebniss für die strahlende Wärme gewonnen war, durfte man auch die Eigenwärme der Körper, welche sich in strahlende Wärme umsetzen oder aus ihr entstehen kann, nicht mehr für einen Stoff halten, sondern musste mit Nothwendigkeit schliessen, dass auch sie aus irgend einer im Innern des Körpers stattfindenden Bewegung bestehe. Die dadurch den Physikern sich bietende Aufgabe, die von der Wärme auf die Körper ausgeübten mannichfaltigen Wirkungen durch Bewegungen der Körpertheilchen zu erklären, hat Veranlassung zu dem Entstehen der mechanischen Wärmetheorie gegeben, und man kann wohl sagen, dass es derselben gelungen ist, die Aufgabe so weit zu lösen, dass gegenwärtig kaum noch irgend ein Physiker an der alten Ansicht, dass die Wärme ein Stoff sei, festhält.

Damit war die letzte Schwierigkeit, welche der Anerkennung des Zusammenhanges zwischen Wärme und

Licht noch im Wege stand, gehoben, und das Ergebniss, zu welchem man endlich gelangt ist, lässt sich folgendermaassen aussprechen.

Das Licht ist gar nicht als ein besonderes Agens zu betrachten, sondern fällt vollständig zusammen mit der strahlenden Wärme, von welcher es nur eine specielle Erscheinungsform ist. Die durch die schwingenden Atome der Körper hervorgerufenen wellenförmig fortschreitenden Schwingungen, welche die strahlende Wärme bilden, üben nämlich neben anderen Wirkungen auch eine Wirkung auf unser Auge aus, indem ein Theil dieser Schwingungen die Fähigkeit hat, in dem Auge die Empfindung hervorzubringen, auf welcher das Sehen beruht. Bei der speciellen Betrachtung dieser für uns besonders wichtigen Wirkung, sowie auch bei der Betrachtung einiger chemischer Wirkungen, bezeichnen wir die strahlende Wärme mit dem Worte Licht.

Hiernach bleibt also von den früher als verschiedenen angenommenen zwei Agentien: Licht und Wärme, nur eines übrig, welches beide umfasst, nämlich die Wärme.

Wir wenden uns nun zu den beiden andern Agentien, Magnetismus und Electricität.

Eigenthümlicher Weise wurde für diese beiden Agentien in frühester Zeit die Einheit angenommen, aber in einer Form, in welcher sie bei fortschreitender Wissenschaft nicht festgehalten werden konnte.

Im Alterthum wusste man nämlich vom Magnetis-

mus nur, dass gewisse Mineralien, die man nach ihrem Fundorte Magnesia „Magneto“ nannte, Eisen anziehen, und von der Electricität, dass Bernstein, wenn er gerieben wird, leichte Körperchen anzieht. Die Kraft des Magnets wurde von den griechischen Philosophen vielfach besprochen und gab ihnen zu mancherlei speculativen Betrachtungen Veranlassung; von der Eigenschaft des Bernsteins aber sagte man nur, sie sei eine Art Magnetismus.

Hierbei blieb es im Alterthum und durch das ganze Mittelalter hindurch bis in die neuere Zeit, und zwar bis zum Jahre 1600. In diesem Jahre veröffentlichte der Engländer Gilbert, der Leibarzt der Königin Elisabeth, eine Schrift über den Magnet, und erwähnte darin auch die anziehende Kraft des geriebenen Bernsteins, welche man in ähnlicher Weise auch beim Achat beobachtet hatte, und von welcher er nachwies, dass sie noch bei verschiedenen andern Körpern, wenn sie gerieben werden, vorkomme. Bei der näheren Betrachtung dieser Kraft gelangte er zu dem Schlusse, dass man sie nicht, wie es früher geschehen war, mit der magnetischen Kraft als gleichbedeutend ansehen dürfe, sondern dass man sie einem besonderen Agens zuschreiben müsse, für welches er den von der griechischen Benennung des Bernsteins entnommenen Namen „Electricität“ vorschlug.

So waren denn auf jene beiden Erscheinungen zwei Wissenschaftszweige gegründet, die sich parallel neben einander entwickelten, zuerst sehr langsam und dann allmählig schneller. Aber immer hielt man an dem Ge-

danken fest, dass, wenn auch die früher angenommene Gleichheit der beiden Agentien nicht stattfindet, doch irgend ein Zusammenhang zwischen ihnen bestehen müsse, dessen Auffindung zu erstreben sei.

So lange man nur die durch Electrisirmaschinen hervorgerufene statische Electricität kannte, war alles Suchen vergebens. Als zu Ende des vorigen Jahrhunderts die glänzenden Entdeckungen von Galvani und Volta gemacht waren, aus denen der Galvanismus hervorging, eröffnete sich ein neues Gebiet von Erscheinungen, indem man es nicht mehr bloß mit verschiedenen Anordnungen von ruhender Electricität und ihren schnell vor sich gehenden Aenderungen zu thun hatte, sondern auch continuirliche electrische Ströme hervorbringen und deren Wirkungen beobachten konnte. Indessen wurde die Aufmerksamkeit lange Zeit vorzugsweise durch die Feststellung der Theorie der Volta'schen Säule und dann durch die merkwürdigen chemischen Wirkungen des electrischen Stromes in Anspruch genommen, welche zu mannichfachen Erörterungen über die Beziehung zwischen chemischen und electrischen Kräften Veranlassung gaben. Erst im Jahre 1820 wurde eine neue auf den Magnetismus bezügliche Beobachtung gemacht, indem Oersted wahrnahm, dass ein electrischer Strom die Magnetsnadel ablenkt und in eine gewisse durch die Stromrichtung bedingte Stellung zu bringen sucht. Hiermit war zum ersten Male ein wirklich sicherer, auf einer Thatsache beruhender Anknüpfungspunct zur Aufsuchung der Beziehung zwischen Magnetismus und Electricität

gegeben. Es war aber nicht die ruhende Electricität, sondern die in strömender Bewegung befindliche Electricität, welche dabei in Betracht kam.

Dieser neue Gesichtspunkt wurde mit besonderer Energie von dem gleich sehr durch Genialität der Auffassung, wie durch Schürfe und Sicherheit der Schlussweise hervorragenden Physiker Ampère aufgegriffen. Dieser sagte sofort: wenn, wie wir von früher her wissen, Magnete unter einander Kräfte ausüben, und wenn ferner, wie wir jetzt sehen, zwischen Magneten und electrischen Strömen Kräfte wirksam sind, so dürfen wir auch als unzweifelhaft annehmen, dass electrische Ströme unter einander Kräfte ausüben. Durch sinnreiche experimentelle Anordnungen gelang es ihm auch bald, diese Kräfte nachzuweisen und so der Entdecker einer neuen Art von Kräften zu werden, welche von den Kräften der ruhenden Electricität ganz verschieden sind, indem sie nur durch die Bewegung entstehen, und welche daher, im Gegensatze zu den electrostatischen Kräften, electrodynamische Kräfte genannt werden.

Mit diesen zwischen electrischen Strömen stattfindenden Kräften verglich nun Ampère die Kräfte, bei denen Magnete im Spiele sind, sowohl die, welche Magnete unter einander ausüben, als auch die, welche zwischen Magneten und electrischen Strömen wirken, und kam dabei zu einem eigenthümlichen und sehr wichtigen Resultate. Er zeigte nämlich, dass ein kleiner, in sich geschlossener electrischer Strom sich in Bezug auf die Kräfte, welche zwischen ihm

und anderen Strömen oder Magneten stattfinden, genau so verhält, wie ein kleiner Magnet.

Da nun anderweitig bekannt war, dass alle magnetischen Eigenschaften von Eisen und Stahl sich erklären lassen, wenn man jedes Eisenatom als einen kleinen Magnet betrachtet, so handelte es sich nur darum, den Magnetismus der einzelnen Eisenatome zu erklären, und diese Erklärung konnte Ampère, seinem Satze gemäss, dadurch geben, dass er die Annahme machte, jedes Eisenatom sei von einem electrischen Strome umkreist. Diese kleinen Kreisströme müssen natürlich gewisse electrodynamische Kräfte ausüben und erleiden, und diese Kräfte sind es, welche man als magnetische Kräfte bezeichnet.

Durch diese Erklärung, welche zu den grössten Fortschritten der Physik gehört, war der lange gesuchte Zusammenhang zwischen Magnetismus und Electricität gefunden, und zwar in der Weise, dass beide Agentien auf eines, die Electricität, zurückgeführt waren. Die magnetischen Kräfte bilden hiernach nur einen speciellen Fall der electrodynamischen Kräfte, und das Wort Magnetismus gilt nicht mehr als Name eines besonderen Agens, sondern dient nur zur Bezeichnung eines electrodynamischen Begriffes.

Durch dieses Resultat, in Verbindung mit dem beim Lichte gewonnenen, reduciren sich die ursprünglich angenommenen vier Agentien, Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität, auf zwei, nämlich Wärme und Electricität.

Es bleibt nun noch die Frage nach dem gegenseitigen Verhalten dieser beiden Agentien übrig, ob sie von einander unabhängig sind, oder ob auch zwischen ihnen ein Zusammenhang stattfindet.

In neueren physikalischen Schriften, besonders in den populär gehaltenen, welche nur zu oft das, was ihnen an Schärfe der Begründung abgeht, durch Kühnheit der Behauptungen zu ersetzen suchen, findet man häufig sehr allgemeine Aussprüche über die Einheit der Naturkräfte, welche auch die Beantwortung unserer gegenwärtigen Frage zu enthalten scheinen.

Es ist nämlich seit langer Zeit bekannt, dass man durch electrische Ströme Wärme und Licht, und zwar Wärme von sehr hoher Temperatur und Licht von grosser Helligkeit erzeugen kann; und ebenso ist es bekannt, dass man mit Hilfe von Wärme electrische Ströme und mittelst dieser dann auch Magnetismus hervorbringen kann. Diese Vorgänge fasst man nun häufig so auf, als ob bei ihnen eine Verwandlung von Electricität in Wärme und Licht und von Wärme in Electricität und Magnetismus stattfände. Indem man dann weiter sagt: Agentien, die sich in einander verwandeln lassen, müssen ihrem Wesen nach gleich sein, gelangt man zu dem Schlusse: alle vier Agentien, Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität, sind von gleicher Natur und nur verschiedene Formen eines und desselben Agens.

Das ist aber ein voreiliger Schluss, welcher auf einer unrichtigen Auffassung der erwähnten Vorgänge beruht. In Wirklichkeit hat noch niemand Electricität

in Wärme oder Wärme in Electricität verwandelt, sondern es handelt sich in jenen Vorgängen um Verwandlungen ganz anderer Art.

Der electrische Strom besteht aus einer continuirlichen Bewegung der Electricität, welche durch irgend eine fremde Kraft hervorgerufen und unterhalten wird. Wenn nun durch den electrischen Strom Wärme erzeugt wird, so geschieht das in der Weise, dass durch die Bewegung der Electricität auch die Atome der Stoffe, durch welche die Electricität geht, in Bewegung gesetzt werden, und die dadurch entstehende Atombewegung ist eben Wärme. Es hat sich dabei also nicht die Electricität selbst, sondern nur ihre Bewegung in Wärme verwandelt. Ebenso wird, wenn durch Wärme ein electrischer Strom hervorgerufen wird, nicht Electricität erzeugt, sondern nur die in den Leitern vorhandene Electricität in Bewegung gesetzt, und es verwandelt sich somit Wärme in Electricitätsbewegung.

Man kann diese Vorgänge folglich dahin characterisiren, dass bei ihnen eine Art von Bewegung in eine andere Art von Bewegung übergeht, nämlich Electricitätsbewegung in Atombewegung oder umgekehrt.

Eine solche durch Uebertragung der Bewegung von einem Gegenstande auf einen anderen stattfindende Aenderung der Bewegungsform ist ein so einfacher und leichtverständlicher Vorgang, dass man sogar die Menge der Wärme, welche ein electrischer Strom unter gegebenen Umständen erzeugt, genau berechnen kann, ohne dabei das eigentliche Wesen der Electricität irgend wie

in Betracht zu ziehen. Man darf daher auch nicht erwarten, aus diesen Vorgängen einen Schluss über das Wesen der Electricität ziehen zu können, und namentlich ist der Schluss, dass die Electricität von gleicher Natur mit der Wärme sei, ein ganz verfehlter.

Dagegen hat sich in neuerer Zeit eine überraschende Thatsache herausgestellt, welche nach anderer Richtung hin einen Zusammenhang der Electricität mit Wärme und Licht erkennen lässt, und geeignet ist, einen wirklichen Einblick in das Wesen der Electricität zu ermöglichen.

Wie schon erwähnt, kommen bei der Electricität zwei Arten von Kräften vor, die electrostatischen, welche ein- für allemal und unabhängig von der Bewegung wirken, und die electrodynamischen, welche nur durch die Bewegung entstehen. Es lag daher nahe, diese beiden Kräfte ihrer Grösse nach unter einander zu vergleichen; aber die Ausführung dieser Vergleichung war mit so grossen experimentellen Schwierigkeiten verbunden, dass sie erst lange nach der Entdeckung der electrodynamischen Kräfte durch eine meisterhafte Untersuchung von Wilhelm Weber und Kohlrausch wenigstens soweit gelungen ist, dass die von electrischen Strömen im Ganzen ausgeübten electrodynamischen Kräfte mit entsprechenden electrostatischen Kräften in bestimmte numerische Beziehung gebracht sind.

Will man das für ganze Ströme gewonnene Resultat auf einzelne bewegte Electricitätstheilchen übertragen, so bleibt dabei noch eine gewisse Unbestimmtheit, welche aber für unsere gegenwärtige Frage insofern

nebensächlich ist, als es sich dabei nicht um die mittlere Grösse der electrodynamischen Kraft und ihre Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit, sondern um gewisse auf die Bewegungs- und Krafrichtungen bezügliche Unterschiede handelt. Ich will mich daher, ohne auf eine Erörterung dieses Umstandes einzugehen hier darauf beschränken, das Ergebniss in der Form anzuführen, in welcher man es bei Anwendung des meiner Ansicht nach wahrscheinlichsten Kraftgesetzes¹⁾ erhält.

Denken wir uns zwei gleichartige Electricitätstheilchen, welche sich mit gleichen und unveränderlichen Geschwindigkeiten in parallelen Richtungen bewegen, so üben diese als electrostatische Kraft eine Abstossung und als electrodynamische Kraft eine Anziehung auf einander aus. Die erstere ist von der Geschwindigkeit unabhängig, die letztere dagegen wächst mit zunehmender Geschwindigkeit, und man kann daher die Frage aufwerfen, wie gross muss die Geschwindigkeit der Electricitätstheilchen sein, damit beide Kräfte einander gleich werden und sich gegenseitig aufheben. Diese Frage beantwortet sich nach der Untersuchung von Weber und Kohlrausch dahin, dass die hierzu nöthige Geschwindigkeit der Electricitätstheilchen gerade so gross sein muss, wie diejenige Geschwindigkeit, mit welcher sich die

1) S. Das Kraftgesetz und seine Begründung in Borchardt's Journal für reine und angewandte Mathematik Bd. 83, S. 85, und in meinem Buche über die mechanische Behandlung der Electricität, Abschn. IX.

strahlende Wärme und das Licht im Weltenraume fortpflanzen.

Hiermit ist die Uebereinstimmung zwischen zwei Grössen gegeben, von denen die eine nur dem Gebiete der Electricität und die andere nur dem Gebiete von Wärme und Licht angehört, und eine solche Uebereinstimmung kann nicht ohne inneren Grund sein.

Dazu kommt noch eine andere, ebenfalls in neuerer Zeit festgestellte Thatsache. Es ist bekannt, dass das Licht sich in einem durchsichtigen Körper langsamer fortpflanzt, als im freien Weltenraume, worauf die beim Eintritte in den Körper stattfindende Brechung des Lichtes beruht. Andererseits hat man nun die Beobachtung gemacht, dass innerhalb eines solchen Körpers auch die durch die electrostatische Kraft verursachte gegenseitige Einwirkung zweier Electricitätstheilehen eine verminderte Grösse hat, so dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Theilchen sich bewegen müssen, damit ihre electrodynamische Kraft die Wirkung der electrostatischen Kraft aufheben kann, in dem Körper geringer ist, als im freien Weltenraume, und zwar ist, soweit es sich aus den bisherigen Messungen erschen lässt, die Verringerung der letzteren Geschwindigkeit ebenso gross, wie die der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes¹⁾.

Diese Uebereinstimmungen lassen keinen Zweifel daran, dass bei der Fortpflanzung des Lichtes, oder, was

1) Es handelt sich hierbei um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Schwingungen, deren Wellenlänge sehr gross ist.

dasselbe ist, bei der Fortpflanzung der strahlenden Wärme electricische Kräfte thätig sein müssen. Es muss daher zwischen Electricität und Wärme ein naher Zusammenhang stattfinden, bei dessen Ermittlung es sich nicht mehr um vage, nur auf Vermuthungen gestützte Speculationen handelt, sondern um Untersuchungen, die ihren Grund in feststehenden Thatsachen haben.

Bis zu einem gewissen Grade ist die hierauf beruhende Verbindung beider Agentien auch schon gelungen. Man hatte bisher bei Rechnungen über die Fortpflanzung des Lichtes den Aether, durch welchen die Fortpflanzung stattfindet, als einen mit gewöhnlichen elastischen Kräften begabten Stoff betrachtet, und diese elastischen Kräfte zur Bildung der betreffenden Gleichungen benutzt. Der Engländer Maxwell, einer der geistreichsten neueren Physiker, der leider vor Kurzem, gerade zur Zeit seines erfolgreichsten Schaffens gestorben ist, hat nun aber gezeigt, dass man zu denselben Gleichungen auch unter Zuhülfenahme electricischer Kräfte gelangen kann, und hat in dieser Weise eine electrodynamische oder, wie er sie nennt, electromagnetische Theorie des Lichtes begründet.

Dabei hat er aber freilich gewisse auch in seinen übrigen Entwicklungen vorkommende Voraussetzungen machen müssen, deren Richtigkeit nicht ohne Weiteres ersichtlich ist, und von denen er selbst sagt¹⁾, dass es ihm nicht gelungen sei, sie durch mechanische Betrachtungen zu begründen. Es bleibt also eine der weiteren

1) A Treatise on Electricity and Magnetism Vol. I, p. 132.

physikalischen Forschung noch vorbehalten, aber, wie man hoffen darf, der Lösung nicht mehr fern liegende Aufgabe, eine bestimmte Vorstellung von der Beschaffenheit der Electricität zu gewinnen, die geeignet ist, auch noch jene in der Rechnung gemachten Voraussetzungen als richtig und nothwendig erkennen zu lassen.

Soviel aber kann man wohl jetzt schon sagen: wenn die Fortpflanzung der strahlenden Wärme und des Lichtes aus electrischen Kräften erklärt werden soll, so muss man sich den Weltenraum mit Electricität erfüllt denken, und muss daher annehmen, dass derjenige im ganzen Weltenraume und selbst im Innern aller Körper vorhandene Stoff, welchen man bisher Aether nannte, nichts anderes ist, als Electricität. Wie man sich jedoch das Verhalten dieses Stoffes zu denken und die verschiedenen von ihm ausgeübten und auf ihn wirkenden Kräfte zu erklären hat, das bedarf noch weiter fortgesetzter Untersuchungen.

Vergleichen wir nun die frühere Art, die Naturagentien zu betrachten, mit der, welche sich in der angegebenen Weise in neuerer Zeit herausgebildet hat und in sicher fortschreitender Entwicklung begriffen ist, so gewinnen wir ein recht anschauliches Bild davon, wie die Naturwissenschaften nicht bloss äusserlich an Umfang und practischer Bedeutung gewachsen, sondern auch innerlich erstarkt sind durch Vervollkommenung der theoretischen Auffassung und der streng wissenschaftlichen Behandlungsweise.

Während in der Physik noch zu Anfang dieses Jahrhunderts die vier grossen Naturagentien zusammenhanglos neben einander standen, und zu ihrer Behandlung der Annahme von ebenso vielen verschiedenen Stoffen oder selbst Paaren von Stoffen bedurften, während man ferner, um die verschiedenen Wirkungen der Agentien zu erklären, den Stoffen immer neue Eigenschaften zuschrieb, und dadurch eigentlich, statt einer Erklärung, nur eine andere Einkleidung der Sache gab, bildet jetzt die Behandlung jener Agentien ein einheitliches System, in welchem neben der ponderablen Masse nur ein einziger besonderer Stoff, die Electricität, angenommen wird, und alles andere seine Erklärung in verschiedenen Bewegungen findet. Das Ganze gleicht einem auf fester Grundlage sich erhebenden Bau, welcher zwar durch die Arbeit vieler Hände, aber nach einheitlich entworfenem Plane emporwächst, so dass jeder neue Baustein seine richtige Stelle findet, und welcher, wenn er auch noch unvollendet ist, doch das Ebenmaass seiner Structur schon deutlich erkennen lässt, so dass man sich leicht und sicher in ihm zurechtfindet.

Daher kommt es, dass das Studium der Physik trotz des durch immer neue Erfindungen und Entdeckungen fortwährend wachsenden Materials, doch nicht schwerer, sondern eher leichter als zuvor geworden ist, und durch die Sicherheit der Schlüsse und die Klarheit des Erkennens eine Befriedigung gewährt, die man früher in ihm nicht finden konnte.

Lehrbuch
der
ANALYSIS

von
Rudolf Lipschitz.

Erster Band: Grundlagen der Analysis M. 15.—
Zweiter Band: Differential- und Integral-
rechnung M. 18.—

Kekulé, A. Die wissenschaftlichen Ziele und
Leistungen der Chemie M. 1.—
Pflüger, E. F. W. Die teleologische Mechanik
der lebendigen Natur M. 1.60
Richter, V. v. Lehrbuch der anorganischen Chemie.
Vierte Auflage M. 8.—
Richter, V. v. Chemie der Kohlenstoffverbindun-
gen oder organische Chemie.