



Staats- und
Universitätsbibliothek
Bremen

Staats- und Universitätsbibliothek Bremen

DFG Projekt Die Grenzboten

Die Grenzboten

Berlin u.a., 1841 - 1922

Budde, E.: Die Fortpflanzung elektrischer Kräfte : eine
naturwissenschaftliche Plauderei

urn:nbn:de:gbv:46:1-908

etwa 15000 Kinder im schulpflichtigen Alter befinden, mit etwa 52000 Köpfen hinzu, so beträgt die gesammte von Krupps Fabrik abhängige Bevölkerung rund 73000 Menschen, für die durch allerlei wohlthätige Anstalten soweit irgend möglich gesorgt zu haben einer der besten Teile des Nachruhms ist, den der große Erfinder und Arbeitgeber, der zugleich ein edler Menschenfreund war, bei seinem Scheiden aus seinem Wirkungskreise hinterlassen hat.



Die Fortpflanzung elektrischer Kräfte

Eine naturwissenschaftliche Plauderei von E. Budde



raktische Anwendungen wissenschaftlicher Grundsätze erregen in der Gegenwart sehr bald die Beachtung, die ihnen gebührt; die großen Fortschritte der Theorie dagegen bleiben dem Publikum gewöhnlich lange Zeit unbekannt, weil das strenge Gewand, worin sie auftreten, für jeden, der nicht zu den Fachmännern gehört, abschreckend und undurchdringlich ist. Vielleicht aber auch deshalb, weil nach dem schul- und reglementmäßigen Begriff von Bildung der „Gebildete“ die Pflicht und die Mittel hat, sich für allen historischen Schimmel zu interessiren, während die großen, vorwärts weisenden Geistesthaten der Gegenwart ihm wegen mangelhafter Vorkenntnisse schwer verständlich bleiben. Das Jahr 1888 hat die experimentelle Besiegelung einer Entdeckung gebracht, die wohl den größten Fortschritt der theoretischen Naturwissenschaft seit dem Siege der mechanischen Wärmetheorie darstellt. Augenblicklich steckt dieser Fortschritt noch tief in mathematischen Formeln; wir wollen versuchen, ihn, so weit es angeht, seines fachmännischen Gewandes zu entkleiden und ihn zur rechten Zeit der Teilnahme unsers Leserkreises zu empfehlen.

Die fragliche Entdeckung bezieht sich auf die Fortpflanzung elektrischer Kräfte. Seitdem Glühlampen und Telephone in jedermanns Hand sind, wird das Wort „Elektrizität“ so vielfach in unbestimmtem Sinne gebraucht, daß wir genötigt sind, zur festen Begriffsbestimmung einige Erläuterungen vorauszuschicken.

Elektrizität ist eine Substanz, ein Etwas, das weder entstehen noch vergehen kann. Und zwar giebt es zwei derartige Substanzen, positive und negative Elektrizität, die entgegengesetzte Eigenschaften haben. Die meisten

Physiker nehmen an, und wir schließen uns der Vermutung an, daß die Elektrizität in allen bekannten Körpern in Form äußerst kleiner Teilchen enthalten sei, die als „Elektrizitätspunkte“ in irgendwelcher Verbindung mit den materiellen Atomen der Körper stehen. In rohem Überblick kann man die Körper in zwei Klassen teilen: in solche, in denen die Elektrizitätspunkte sich leicht bewegen können, diese heißen Leiter; und in solche, in denen die Elektrizitätspunkte unbeweglich sind, diese heißen Nichtleiter oder Isolatoren. Metalle sind Leiter, Luft, Glas, Siegellack sind Isolatoren.

Es sind nun an einem Körper bezüglich des Verhaltens der Elektrizitäten folgende Zustände möglich.

1. Neutralität. Man nehme irgend einen Körper in seinem gewöhnlichen Zustande, z. B. einen dicken Messingdraht, den ein Mensch in der Hand trägt. Dieser enthält positive und negative Elektrizitätspunkte in großer Zahl, aber beide in gleicher Menge und gleichmäßig im Innern verteilt. Infolge dessen werden die Wirkungen der negativen Elektrizitätspunkte nach außen von den Wirkungen der positiven Elektrizitätspunkte gerade aufgehoben, und umgekehrt; es kommt also an dem Drahte überhaupt keine Elektrizitätswirkung nach außen zum Vorschein, er ist neutral.

2. Ladung. Man befestige denselben Draht an einer gläsernen Handhabe und reibe ihn etwa an einem Katzenfell. Bei der Reibung geht ein Teil der positiven Elektrizitätspunkte des Messings auf das Katzenfell über, und ein Teil der negativen des Felles geht auf das Messing; der Messingdraht hat also positive Elektrizität verloren und negative gewonnen, d. h. er hat nunmehr einen Überschuß von negativer Elektrizität, und da die gläserne Handhabe ebenso wie die umgebende Luft ein Isolator ist, also der Elektrizität keinen Durchgang gestattet, muß er den Überschuß behalten. Dieser begiebt sich, weil ein negatives Elektrizitätsteilchen das andre abstößt, auf die Oberfläche des Drahts, und der Draht heißt nunmehr, „negativ elektrisch geladen.“ Infolge dessen besitzt er eigentümliche Eigenschaften. Nähert man ihm einen andern gleichfalls negativ geladenen Draht, so stößt er ihn ab; einen positiv geladenen Draht dagegen zieht er an. Bringt man ihm einen neutralen Draht sehr nahe, so geht ein Teil der Ladung in Gestalt eines Funkens auf den zweiten Draht über, und nunmehr ist auch dieser negativ geladen. Die gewöhnlichen Elektrizitätsmaschinen haben eine Kugel oder einen Zylinder von Messing, der durch Drehen der Maschine eine elektrische Ladung bekommt; nähert man diesem „Konduktor“ ein Metallstück, so teilt der Konduktor ihm Ladung mit, und das ist das Mittel, dessen man sich meistens bedient, um die Eigenschaften eines geladenen Körpers vorzuzeigen. Geladene Körper heißen auch gemeinhin „elektrifiziert“; berührt man sie ohne weitere Vorsichtsmaßregeln mit der Hand, so bekommt der Finger einen mehr oder weniger deutlichen Funken, und nachher sind sie neutral; ihre Ladung ist, weil der Mensch ein Leiter ist, durch seinen

Leib in die Erde gegangen. Worauf es hier ankommt, das ist der Satz: Geladen (oder elektrifiziert im engeren Sinne) ist nur ein Körper, der einen Überschuss der einen Elektrizitätsart enthält. Ein geladener Körper kann nur bestehen, wenn er durch Nichtleiter von der Erde getrennt ist. Setzt man ihn durch einen Leiter mit der Erde in Verbindung, so verliert sich seine Ladung in die Erde.

3. Durchströmung. Denselben Messingdraht, von dem bisher die Rede war, schraube man mit seinen beiden Enden an die Pole einer Telegraphenbatterie. Dann zeigt er sich nicht merklich geladen — er besitzt allerdings eine eigentümlich verteilte, sehr schwache Ladung, die aber nur mit feinen Mitteln wahrgenommen werden kann, und um die wir uns hier, weil sie keine Erscheinungen nach außen macht, nicht kümmern —, er giebt keine Funken, und wenn man ihn an einer Stelle mit der Hand berührt, so ändert sich nichts Wesentliches in seinem Verhalten. Und doch zeigt dies Verhalten in auffallender Weise, daß in dem Draht etwas Besonderes vorgeht. Er wird vor allen Dingen warm, kann sogar, wenn er dünn und die Batterie stark ist, glühend heiß werden. Ein zweiter Draht, der gleichfalls mit den Polen einer Batterie verbunden ist, wird vom ersten angezogen oder abgestoßen, je nachdem die Verhältnisse sind. Legt man unsern Draht in Eisenseilspäne, so schließen sich diese um ihn zu einem Ringe zusammen und lassen sich als solcher in die Höhe heben, wickelt man ihn um ein Stück Eisen, so wird dieses magnetisch, und nähert man ihm einen beweglichen Magneten, so wird dieser im Allgemeinen gedreht. Es gehen also von dem Draht eigenartige, den magnetischen verwandte Kräfte aus. Seinen innern Zustand deutet die Physik in folgender Weise. Da er nicht geladen ist, enthält er eben so viel negative wie positive Elektrizitätspunkte. Aber die Kräfte der Batterie streben dahin, diese Elektrizitätspunkte zu bewegen. Liegt z. B. der Kupferpol der Batterie am linken, der Zinkpol am rechten Ende des Drahts, so schiebt die Batterie alle positiven Elektrizitätspunkte im Draht fortwährend nach rechts, alle negativen nach links; die Elektrizität im Draht ist also in Strömung begriffen, und aus dieser Strömung gehen ihre eigentümlichen Kraftwirkungen hervor. Die Elektrizitätsteilchen bewegen sich im Draht mit einer Art von Reibung; daher kommt seine Erwärmung. Sie wirken mit Kräften auf andre bewegte Elektrizitätsmengen, daher die Anziehung zweier Drähte; ein Magnet ist ein Körper, der in jedem Molekül eine kleine kreisförmige Strömung enthält, deshalb wirken sie auch auf Magnete. Ist die Batterie sehr stark, so kann man den Draht entzwei schneiden und die beiden Stücke einige Millimeter von einander entfernen, die elektrische Strömung geht in Gestalt eines stark leuchtenden Bogens über die Trennungsstelle; das ist das bekannte Bogenlicht, während die Glühlämpchen nichts anders sind, als dünne Kohlendrähte, die durch die Stromwärme weißglühend werden. Der Zustand des Durchströmenseins ist von dem der Ladung

wohl zu unterscheiden. Wer heutzutage die elektrische Triebkraft für seine Lampen mietet, der mietet nicht „Elektrizität,“ denn die ist schon vorher in seinen Drähten, sondern er mietet die Bewegung der Elektrizität; diese Bewegung ist es, die ihm Licht liefert und die von außen her unter Aufwand von chemischer oder Maschinenenergie unterhalten werden muß.

4. Elektrische Schwingungen. Die Strömung der Elektrizität in einem Drahte, der zwischen den Polen einer Batterie ausgedehnt wird, läßt sich mit dem ruhigen Fließen eines Flusses vergleichen. Sie geht, solange die Batterie im Stande ist, gleichmäßig und annähernd in gleicher Stärke vor sich; wird die Batterie durch den Gebrauch schwächer, so nimmt auch der elektrische Strom ab, aber langsam, etwa so wie die Wasserbewegung in einem allmählich versiegenden Flusse. Es giebt aber noch eine andre Art der fortschreitenden Bewegung, die bei der Elektrizität und auch beim Wasser vorkommt. Man denke sich etwa einen hundert Meter langen, zur Hälfte mit Wasser gefüllten Kanal. An seinem einen Ende A lasse man plötzlich eine große Wassermenge eintreten und schließe ihn dann sofort wieder ab. Die zugetretene Wassermenge bildet am Ende A zunächst einen Berg, der nicht im Gleichgewicht ist; er schreitet vielmehr stürmisch über die Oberfläche des Kanals fort und bildet auf ihr eine Welle, die sich über die ganze Länge des Kanals fortpflanzt, bis sie am andern Ende B anlangt. Dort wird sie zurückgeworfen, geht rückwärts nach dem Ende A, wird wieder zurückbewegt und geht wieder nach B, wird da abermals zurückgeworfen u. s. w.; so läuft die Welle auf dem Kanale hin und her, bis sie durch die Reibung des Wassers zur Ruhe gebracht wird. Ist das geschehen, so hat sich die zugelassene Wassermasse im Gleichgewicht auf der Oberfläche des Kanals verteilt, das Wasser des Kanals steht nun entsprechend höher. Ganz ähnliches kann bei der Elektrizität vorkommen. Man lasse plötzlich eine positive Elektrizitätsmenge, etwa in Form eines Funkens, auf das eine Ende A unsers Drahts überspringen. Diese Elektrizitätsmenge ist an ihrem Platze nicht im Gleichgewichte; sie breitet sich also aus und treibt die im Drahte enthaltene positive Elektrizität stürmisch nach dem andern Ende B des Drahtes hin. Dadurch sammelt sich die positive Elektrizität am Ende B; auch dort ist sie nach dem ersten Stoße im Übermaße vorhanden, geht also wieder rückwärts nach A hin, wird da aufs neue zurückgetrieben u. s. w. Die Elektrizität des Drahts, gerade so wie das Wasser des Kanals, macht abwechselnde Bewegungen von A nach B hin und zurück, bis sie durch die Reibung zur Ruhe gelangt ist und die neue Ladung sich in Gleichgewichtsverteilung auf der ganzen Drahtoberfläche ausgebreitet hat. Den Vorgang der Hin- und Herbewegung nennt man eine elektrische Schwingung. Es giebt noch andre Fälle, als den berührten, in denen elektrische Schwingungen auftreten; wir wollen uns aber hier an den einen ausgezeichneten Fall halten, wo eine Elektrizitätsmenge plötzlich in Form eines Funkens auf einen Leiter von

geringer Größe gebracht wird. Dabei verläuft die elektrische Schwingung so schnell, in Bruchteilen von einer Milliontel Sekunde, daß die rohe Beobachtung nichts von ihr wahrnimmt; untersucht man einen Draht eine Tausendstel Sekunde, nachdem ein Funke auf ihn übergegangen ist, so ist die Schwingung längst vorüber, und man findet nur die aufgesprungene Ladung im Gleichgewicht und in Ruhe. Trotzdem hat man Mittel gefunden, die Schwingungen zu beobachten. Man unterbricht den Draht an einer Stelle; dann geht die Elektrizitätsbewegung in Form eines Funkens über die Unterbrechung. Betrachtet man diesen Funken in einem schnell rotirenden Spiegel, so sieht man, daß er aus abwechselnden, entgegengesetzt gerichteten Teilfunken besteht, also man sieht, daß die Elektrizität sich hin und her bewegt.

Die elektrische Schwingung hat eine eigentümliche Wirkung, an der sie erkannt werden kann. Bringt man in ihre Nähe einen neutralen Draht, so erregt sie in diesem eine sekundäre Schwingung; man nennt diesen Vorgang Induktion, und die Schwingung, die in einem Draht durch eine benachbarte Schwingung erregt wird, heißt induziert. Ist im ersten Drahte X eine Schwingung vorhanden, und befindet sich in seinem Wirkungskreise ein zweiter Draht Y, so fängt auch in diesem die Elektrizität zu schwingen an. Biegt man Y zu einem Kreise zusammen, so daß zwischen seinen Enden noch ein kleiner Zwischenraum bleibt, so sieht man das Auftreten der Schwingung in Y daran, daß in dem Zwischenraum ein Fünkchen erscheint. Ein solcher Drahtkreis ist daher ein bequemes Mittel, die Induktion zu studiren.

In all den hier erwähnten Erscheinungsformen, Ladung, Durchströmung, Schwingung und Induktion, wirken elektrische Teilchen mit Kräften auf andre, mehr oder weniger entfernte Teilchen. Die Physiker unterzogen sich nun zunächst der Aufgabe, diese Kräfte messend zu bestimmen. Für ruhende Ladungen lieferte Coulomb 1785 bis 89 das Gesetz; es lautet: Gleichnamige Elektrizitätsteilchen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an, beides nach demselben Gesetze, wonach die Weltkörper einander anziehen. (Multipliziert man die Menge des einen Teilchens mit der Menge des andern und dividirt man das Produkt zweimal nach einander durch ihre Entfernung, so hat man die Kraft, womit sie auf einander wirken.) Die Wissenschaft hat aus diesem Satze eine lange Reihe von Folgerungen gezogen, darunter einige, die sich außerordentlich fein kontrolliren lassen, und sie sind alle durch die Beobachtung bestätigt worden. Coulombs Gesetz steht insofern so sicher da, wie kaum ein anderer Satz der Physik. Die Strömungserscheinungen und die eigentümlichen Wirkungen, die aus ihnen hervorgehen, lassen sich aber dahin deuten, daß bewegte Elektrizitätsteilchen andre Kräfte ausüben als ruhende, und die Physiker haben sich seit 50 Jahren bemüht, das Kraftgesetz für bewegte Elektrizitätsteilchen zu finden. Drei der größten Forscher haben ihren Scharffinn auf diese Aufgabe verwendet, Wilhelm Weber, Riemann und Clausius, und

heute können wir mit ziemlicher Sicherheit sagen, daß die von ihnen aufgestellten Gesetze nicht genügen. Andre Physiker, wie Ampère, F. Neumann und Helmholtz, hielten sich überhaupt von dem Bestreben fern, die Wirkung der elektrischen Ströme aus der Bewegung der Elektrizitätspunkte erklären zu wollen, und gingen nur darauf aus, die bekannten Erscheinungen durch mathematisch bequeme Gesetze für die Kraft eines sehr kleinen Stromteilchens auszudrücken; dabei gewannen sie sehr brauchbare Formeln, aber sie verzichteten von vornherein auf ein tieferes Eindringen in das Wesen des Stroms. So ging die wachsende Erkenntnis auf dem Kontinente mehr in die Breite als in die Tiefe; man lernte die bekannten Erscheinungen in immer weiterer Ausdehnung beherrschen, aber man kam dem Wesen der elektrodynamischen Vorgänge nicht näher.

Der Anstoß dazu sollte von einer ganz andern Seite ausgehen, nämlich von einer im Grunde philosophischen Idee Faraday's. Man denke sich zwei Elektrizitätsteilchen, die etwa einen Meter weit auseinanderliegen. Sie ziehen sich an (oder stoßen sich ab; wir sprechen von jetzt ab nur von Anziehung, wobei der Leser jedesmal ergänzen möge, daß auch Abstoßung an die Stelle der Anziehung treten kann).

Die Thatsache der Anziehung steht fest, selbst wenn das Gesetz, nach dem sie erfolgt, nicht bekannt sein sollte. Es ist nun aber schwer zu begreifen, wie zwei Teilchen, die sich in irgend einer Entfernung von einander befinden, mit Kräften auf einander wirken sollen, wenn nicht etwas zwischen ihnen ist, was diese Wirkung vermittelt. Die Frage, ob eine unmittelbare Kraftwirkung in die Ferne überhaupt möglich sei, ist fast so alt, wie die Naturphilosophie: schon die griechischen Atomisten ließen ihre Atome einander mit Häkchen festhalten, um der Annahme einer Wirkung in die Ferne zu entgehen. Wenn wir zwei Steine durch eine Kautschukschnur miteinander verknüpfen und die Schnur anspannen, so streben die Steine zu einander hin. Könnten wir die Schnur nicht sehen, so würden wir wohl sagen: die Steine ziehen sich an; da uns das Vorhandensein der Schnur nicht entgeht, suchen wir die Kraft, die die Steine bewegt, in der Schnur und schließen aus ihr auf eine Eigenschaft der letztern; die Schnur ist elastisch. Zwei Elektrizitätspunkte werden, ganz wie jene Steine, zu einander hingetrieben; wir werden zu schließen haben, daß auch zwischen ihnen ein elastisches Etwas, freilich unsichtbar, vorhanden sei, welches ihre Bewegung veranlaßt. Dieses Etwas ist überall vorhanden, denn die Elektrizitäten ziehen sich überall an; es ist nicht die Luft oder ein anderer materieller Körper, denn die elektrische Anziehung bleibt auch in möglichst leerem Raume bestehen. Es ist nicht unmittelbar wahrzunehmen, aber es muß doch, selbst in dem vollkommen luftleeren Raume der Luftpumpe, vorhanden sein, sonst wäre die Anziehung ein unbegreifliches Wunder. Wir wollen dieses Etwas, das die Anziehung vermittelt, vorläufig, um nichts darüber auszu-

sagen, was wir nicht begründen können, mit einem möglichst farblosen Namen belegen; es soll das „Medium“ heißen. Denkt man einmal an das Vorhandensein eines solchen Mediums, so sieht man, daß es zwei Wege giebt, elektrische Erscheinungen zu erforschen. Sie lassen sich an dem Beispiel der beiden Steine leicht klar machen. Sind einem Physiker zwei durch eine elastische Schnur verbundene Steine gegeben, so kann er auf zweierlei Weise ihr Verhalten studiren; entweder er beobachtet die Steine, oder er beobachtet die Schnur. Im ersten Falle findet er das Gesetz, wonach sich die Steine scheinbar anziehen, wenn sie von einander entfernt werden; bei guter Beobachtung wird das Gesetz vollkommen richtig sein. Im zweiten Falle findet er, wenn er wieder richtig beobachtet, offenbar dasselbe Gesetz für die Bewegung der Steine, aber nebenbei lernt er auch das Verhalten der Schnur kennen, findet den Begriff der Elastizität und somit eine wertvolle Erweiterung seiner Kenntnis. Ganz ähnlich steht es um die Elektrizität. Entweder der Physiker betrachtet bloß die ihm gegebenen, durch ihre Wirkungen gekennzeichneten Elektrizitätspunkte; dann findet er das Gesetz, wonach die Elektrizitäten einander anziehen, und wenn er hinreichend gut beobachtet, wird dies Gesetz die Erscheinungen erklären, die er in seinen Apparaten wahrnimmt. Oder er betrachtet das zwischen den Punkten befindliche Medium und wirft die Frage auf: Wie muß dieses Medium beschaffen sein, und wie wirkt es auf die Elektrizitätspunkte? Gelingt es ihm, diese Frage zu beantworten, so erhält er gleichfalls das Gesetz, wonach sich die Elektrizitätspunkte bewegen, nebenbei erhält er aber auch Kenntnis von den Eigenschaften des Mediums, also etwas, was bei der ersten Methode nicht zu erzielen ist.

Es war Faraday, der die zweite Betrachtungsweise seinen Untersuchungen zu Grunde legte. Er dachte sich, daß das Medium zwischen zwei elektrischen Punkten in einer eigentümlichen Spannung sei, und daß diese Spannung die Punkte zu einander hintreibe. Er suchte den Spannungszustand des Mediums vorstellbar zu machen, indem er annahm, jeder elektrische Punkt strahle „Kraftlinien“ aus, die im Medium verlaufen. Näher darauf einzugehen ist hier nicht der Ort; es genüge, zu bemerken, daß die Faraday'schen Kraftlinien sich als ein äußerst bequemes mathematisches Hilfsmittel bewährt haben, das für sich allein beinahe so viel leistet wie eine ganze Anziehungstheorie, und daß sie eben deswegen schon lange bei den Technikern in Gebrauch gekommen sind.

Aus Faraday's Art, die Sache anzugreifen, folgte zunächst eine wichtige Entdeckung. Die Quelle der Kraft, womit zwei Elektrizitätspunkte sich anziehen, liegt nach Faraday nicht in, sondern zwischen ihnen. Er mußte sich also die Frage vorlegen: Bleibt die Kraft unverändert, wenn man einen andern Körper zwischen die Punkte bringt? Mit andern Worten: ziehen sich zwei elektrisch geladene Körper unter übrigens ganz gleichen Umständen eben so stark an, wenn man sie etwa in Terpentinöl bringt, als wenn Luft zwischen

ihnen ist? Der Versuch beantwortete diese Frage in schlagender Weise mit Nein. Lange, sorgfältige Reihen von Experimenten haben festgestellt, daß zwei im übrigen ganz gleiche Elektrizitätsmengen sich mit verschiedener Kraft anziehen, wenn verschiedene Stoffe zwischen ihnen sind. In Terpentinöl z. B. ist die Anziehung $2\frac{1}{5}$, in Alkohol 25 mal so stark wie in Luft. Man nennt diese Verhältniszahlen „Dielektrizitätskonstanten“; das eben gesagte ist also nur anders ausgedrückt, wenn man behauptet: Die Dielektrizitätskonstante des Terpentinöls ist $2\frac{1}{5}$, die des Alkohols ist 25.

Faraday's Ideen wurden von seinem Landsmann Maxwell durchgebildet und entwickelten sich unter dessen Händen zu einer streng mathematischen, höchst scharfsinnigen Theorie, die von allen bekannten Erscheinungen Rechenhaft giebt. Da die Theorie mathematischer Natur ist, kann hier auf ihre Einzelheiten nicht eingegangen werden; nur ein Teil, und zwar gerade der Schlußstein ist hier zu erwähnen. Wird die Kraft, die von einem Elektrizitätsteilchen ausgeht, durch ein Medium vermittelt, so versteht sich auch fast von selbst, daß zu ihrer Vermittelung Zeit gebraucht wird. Denn die Fortpflanzung der Wirkung in dem Medium kommt offenbar dadurch zu Stande, daß der Spannungszustand sich von einer Schicht des Mediums auf die benachbarte, von dieser auf die nächstfolgende u. s. w. fortpflanzt; dies Fortschreiten der Spannung von einer Schicht zur andern erfordert aber augenscheinlich Zeit, gerade so gut, wie das Fortschreiten des Schalles oder des Lichts. Wenn also z. B. in diesem Augenblicke plötzlich eine elektrische Ladung auf der Erde entzündet, so würde sich ihre Wirkung auf dem Monde nicht in demselben Augenblicke geltend machen, sondern erst einige Zeit später, noch später auf der Sonne, und viel später erst in der Entfernung der Fixsterne. Maxwells Theorie gestattet nun, die Geschwindigkeit, womit eine elektrische Gleichgewichtsstörung in dem Medium fortschreiten muß, aus Beobachtungen an durchströmten Körpern zu berechnen, und die Rechnung ergibt folgendes.

1. Ist das Medium frei von aller wägbaren Materie, so schreitet jede Störung, also auch die Spannung, die ein elektrischer Punkt in ihm erzeugt, mit einer Geschwindigkeit von nahe 300000 Kilometern in der Sekunde in ihm fort. (Der Mond ist etwa 380000 Kilometer von der Erde entfernt; entsteht also bei uns eine Ladung, so kommt ihre Anziehung nach etwa $1\frac{1}{4}$ Sekunde auf dem Monde an.)

2. Befindet sich das Medium in einem materiellen Körper, so wird seine Elastizität durch den Stoff des Körpers abgeändert, daher pflanzen sich die Störungen in materiellen Körpern anders, im allgemeinen langsamer fort, als im freien Medium. Luft und andre Gase wirken nicht erheblich nach dieser Richtung, wohl aber feste und flüssige Körper. Und zwar ist die Fortpflanzung um so mehr verzögert, je größer die Dielektrizitätskonstante der Substanz ist. (Genauer: die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist der Quadratwurzel aus der

Dielektrizitätskonstante umgekehrt proportional.) Im Terpentinöl geschieht die Fortpflanzung elektrischer Kräfte nahe $1\frac{1}{2}$, in Alkohol 5 mal langsamer als in Luft.

3. ergibt sich aus Maxwells Theorie noch die weitere Folgerung, daß die Störungen, auf denen die elektrischen Anziehungen beruhen, durch schlechte Leiter ungehindert durchgehen; treffen sie aber auf ein Metall, so rufen sie in diesem Elektrizitätsbewegungen hervor und werden dadurch abgeändert, werden, wenn sie schnell erfolgen, verschluckt, vielleicht auch zum Teile reflektirt.

Betrachten wir nun das erste dieser Ergebnisse, die, wie gesagt, rein auf dem Boden der Elektrizitätslehre zu Stande gekommen sind. Störungen pflanzen sich im freien Medium mit einer Geschwindigkeit von 300000 Kilometern in der Sekunde fort. Das ist aber genau die Geschwindigkeit des Lichts im freien Raume, und — das ist sehr bemerkenswert — je genauer die elektrodynamischen Messungen werden, desto genauer findet man aus ihnen dieselbe Zahl, die der Geschwindigkeit des Lichtes zukommt. Bekanntlich ist das Licht eine Wellenbewegung, die sich in einem hypothetischen Stoffe, dem Äther, fortpflanzt. Der erste der obigen Sätze heißt also mit andern Worten: Störungen im Medium pflanzen sich genau mit derselben Geschwindigkeit fort, wie Bewegungen des Lichtäthers. Nun giebt er aber keine Größe, die für einen elastischen Stoff so charakteristisch wäre wie die Geschwindigkeit, womit sich eine Störung in ihm fortpflanzt; der vorstehende Satz kann also mit größter Wahrscheinlichkeit dahin gedeutet werden: Das Medium, das die elektrischen Kraftwirkungen vermittelt, ist der Äther. Der Satz wird doppelt wahrscheinlich, wenn man bedenkt, daß das Medium und der Äther univervelle, alles durchdringende, auch im luftleeren Raum vorhandene Stoffe sind; daß es zwei derartige Stoffe geben sollte, ist an sich nicht wahrscheinlich und wird fast undenkbar, wenn man wahrnimmt, daß beide die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen. Medium und Äther sind also ein und dasselbe.

Dieser Satz ist die große Errungenschaft, von der im Eingange die Rede war; seine hohe Bedeutung besteht darin, daß er zwei früher getrennte Gebiete, die Lehre vom Licht und die Lehre von der Elektrizität, zu einem einzigen vereinigt; Licht und Elektrizität (oder Elektromagnetismus, denn der Magnetismus ist nur eine besondere Wirkungsform elektrischer Ströme) beruhen auf Bewegung ein und desselben Stoffes, unterliegen also verwandten, zum Teil gleichen Gesetzen. Wer sich von dem Werte eines derartigen Zusammenhangs eine Vorstellung machen will, der denke an die Zeit, wo man noch nicht wußte, daß der Magnetismus eine besondere Wirkung elektrischer Ströme ist, und vergegenwärtige sich, was alles aus Derstedts unscheinbarer Entdeckung des „Elektromagnetismus“ geschlossen ist, vom Galvanometer bis zum Telegraphen und zur Dynamomaschine.

Gehen wir aber weiter. Ist der Satz richtig, daß die elektromagnetischen Kräfte sich im Äther fortpflanzen, so müssen auch die beiden andern oben

unter 2 und 3 angeführten Ergebnisse Maxwells ihre Anwendung auf die Lichterscheinungen finden. Beginnen wir mit dem dritten Satze und sagen wir Licht statt elektrische Störung; dann heißt er: Isolatoren lassen das Licht durch, sind also durchsichtig, gute Leiter sind undurchsichtig. Die Folgerung ist aber mit einigem Vorbehalt zu ziehen. Wir beurteilen nämlich die Leitungsfähigkeit eines Körpers nach der verhältnismäßig langsamen Bewegung der Elektrizität, die wir mit unsern Apparaten hervorbringen können. Das Licht besteht aber aus ungemein schnellen Schwingungen; es gehen deren 400 bis 700 Billionen auf eine Sekunde. Nun kann es ganz wohl vorkommen, daß ein Körper für langsame Bewegungen ein guter Leiter ist, während er schnellen elastisch widersteht. Haben wir doch täglich das Beispiel des Wassers vor Augen, das einem langsam eingesenkten Stein unweigerlich den Durchgang gestattet, während es einen schnellgeworfenen von seiner Oberfläche abprallen läßt. Dem entsprechend kann es vorkommen, daß ein Körper langsame Bewegungen der Elektrizität in seinem Innern zuläßt, gegen schnelle Schwingungen aber als Nichtleiter erscheint. Mit dieser Beschränkung bestätigt sich der Satz an wichtigen Beispielen. Die Metalle sind die besten aller Leiter und zugleich die undurchsichtigsten Körper. Glas, gereinigter Schellack, Schwefel, Luft und andre vorzügliche Isolatoren sind durchsichtig. Kohlenstoff ist als Diamant ein Isolator und durchsichtig, als Graphit und als schwarze Kohle leitet er und ist undurchsichtig. Ein lehrreiches Beispiel bietet das Hartgummi dar; es ist einer der besten Isolatoren und ist schwarz undurchsichtig, d. h. es läßt keine sichtbaren Lichtwellen durch. Aber Bell hat bei seinen Versuchen über das Photophon gefunden, daß das Hartgummi für langsame, nicht sichtbare Lichtstrahlen durchsichtig ist; da zeigt sich also deutlich der Einfluß der Geschwindigkeit einer Schwingung auf das Durchlaßvermögen, und das Beispiel, das anfänglich gegen Maxwell zu sprechen schien, wirft ein bestätigendes Licht auf seine Theorie. Es giebt eine ganze Klasse von Körpern, von denen man bis jetzt nicht sagen kann, daß ihr Verhalten dem dritten Maxwell'schen Satze entspreche; das sind diejenigen, die durch den elektrischen Strom zersetzt werden, in Wasser gelöste Salze und dergleichen. Sie leiten mäßig und sind größtenteils sehr durchsichtig. Aber kein Mensch weiß, wie sie sich gegen Lichtstrahlen von sehr geringer Schwingungsgeschwindigkeit verhalten würden; man kann also aus ihren Eigenschaften nicht den Schluß ziehen, daß der Maxwell'sche Satz unrichtig sei, sondern nur den, daß sie sich möglicher Weise gegen langsame Störungen anders verhalten, als gegen schnelle, ähnlich wie Hartgummi, nur noch in höherem Grade.

Es läßt sich sonach sagen, daß die Einheit von Äther und Medium durch die Transparenzerscheinungen zum Teil bestätigt, zum Teil nicht widerlegt wird.

Anders steht es, wenn wir nun den zweiten der obigen Sätze mit der Annahme, daß der Äther das Medium sei, in Verbindung bringen. Dann

lautet er: Das Licht muß sich in Terpentinöl $1\frac{1}{2}$, in Alkohol 5 mal so langsam fortpflanzen wie in Luft; denn eine elektrische Störung hat ja diese Eigenschaft." Nun giebt die Optik uns Mittel an die Hand, die Geschwindigkeit des Lichts in durchsichtigen Körpern sehr bequem und genau zu messen. Und da findet man beispielsweise, daß das Licht im Terpentinöl 1,47, in Alkohol 1,37 mal langsamer fortschreitet als in der Luft. Die Zahl für Terpentinöl stimmt ziemlich mit der vorausberechneten, die für Alkohol aber durchaus nicht; Maxwell verlangt 5, und die Beobachtung liefert kaum mehr als $1\frac{1}{2}$. Dasselbe Verhältnis zeigt sich bei den entsprechenden Zahlen für andre Stoffe; einige stimmen leidlich, andre nicht einmal annähernd. Hier bleibt also kein anderer Schluß möglich als der: Maxwells Theorie ist entweder in der Hauptsache falsch, oder sie muß in Nebendingen einen Irrtum enthalten. Das erstere ist nun nicht wahrscheinlich; die Übereinstimmung der beiden Zahlen für die Lichtgeschwindigkeit im leeren Äther und für die Störungsgeschwindigkeit im freien Medium ist so auffallend, daß sie kein Zufall sein kann. Der andre Fall dagegen ist durchaus möglich; Maxwell hat wahrscheinlich bei Aufstellung seiner Theorie einige Nebenumstände nicht berücksichtigt, die, wenn man sie erst in Rechnung zieht, den zweiten Satz so abändern, daß er ohne Fehler auf das Licht anwendbar wird.

Immerhin blieb eine gewisse Unsicherheit bezüglich unsers Fortschrittes bestehen. Diese ist nun gegen Ende des vorigen Jahres durch eine geniale Experimentaluntersuchung von Herz in Karlsruhe gehoben worden. Wir können nicht auf den ganzen, reichen Inhalt der Herz'schen Abhandlungen eingehen; wir wollen nur das hervorheben, was unmittelbar auf unsern Gegenstand Bezug hat. Herz studirte zunächst elektrische Schwingungen und die durch sie induzirten sekundären Schwingungen. Er benutzte schließlich einen Apparat, in dem die Elektrizität tausend Millionen Schwingungen in der Sekunde machte, und fand unter anderm, daß in einiger Entfernung von diesem die induzirten Kräfte stets parallel der ursprünglichen Schwingung waren. Wir wollen nun zusehen, wie sich der Äther in der Umgebung eines solchen Körpers verhalten muß.

AB sei ein gerader Draht, der an jedem Ende eine Kugel trägt, CD ein zweiter, der in der Verlängerung des ersten liegt. Zwischen B und C sei ein Abstand von einigen Millimetern. Das ganze System ABCD stehe isolirt in der Luft; es bilde den Körper, in welchem eine Schwingung vor sich gehen soll. Von F aus lasse man plötzlich einen Funken von positiver Elektrizität auf A überschlagen. Dann beginnen die Schwingungen; in einer Tausend-milliontel Sekunde stürzt die Elektrizität über B hin, durchschreitet die Luft zwischen B und C als Funke und geht bis D; von da prallt sie zurück, geht in der nächsten Tausendmilliontel Sekunde nach A, von da wieder nach B u. s. w., bis nach einer Anzahl von Schwingungen das Gleichgewicht hergestellt ist. In dem Augenblicke, wo die erste Schwingung von A nach D hin beginnt, wird

das Medium in der Umgebung angespannt, und diese Spannung schreitet nach allen Seiten fort. Nach einer gewissen Zeit, sagen wir nach zehn Milliontelsekunden, ist sie etwa bei MN angekommen; ein elektrischer Punkt, der zwischen M und N läge, würde in der Richtung der Pfeile vorwärts getrieben werden. Es sei nun zwischen MN und KL ein Abstand von 30 Centimetern. Da die Störung des Mediums in der Sekunde 3000000 Kilometer durchheilt, legt sie die 30 Centimeter gerade in einer Milliontelsekunde zurück. Während also die Wirkung der ersten Schwingung in MN anlangt, ist die der zweiten Schwingung gerade bei KL angekommen. Bei der zweiten Schwingung ging aber die Elektrizität von D nach A, also in umgekehrter Richtung wie bei der ersten, also ist auch die durch sie hervor-

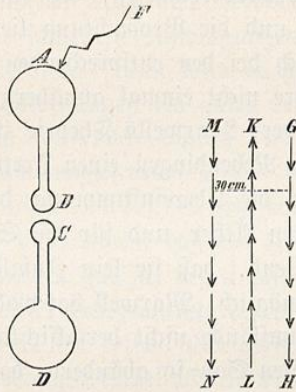


Fig. 1

gerufene Kraft in KL von entgegengesetzter Richtung wie in MN; sie hat die Richtung der dort gezeichneten Pfeile. Wieder 30 Centimeter näher an AD, bei GH, ist in demselben Augenblick die Wirkung der dritten Schwingung, die von A nach D hin geht, angelangt und treibt einen elektrischen Punkt in der Richtung der dort gezeichneten Pfeile an.

Man sieht leicht, daß das so weiter gehen muß, wenn die Schwingungen in ABCD sich wiederholen. Kurz ausgedrückt heißt demnach das Ergebnis der Betrachtung: In Abständen von je 30 Centimetern hat die gleichzeitige Kraftwirkung die umgekehrte Richtung. Dieser Zustand schreitet nun, von ABCD ausgehend, mit der Geschwindigkeit von 300000 Kilometern in der Sekunde fort. Sehen wir zu, wie die Lage sich eine Hundertmilliontel Sekunde später gestaltet. Zu der Zeit, wo wir das Medium zum erstenmal betrachteten, hatten die Kräfte die Lage der obern Hälfte von Figur 2; bei MN und GH waren die Kräfte nach unten, bei KL nach derselben Stelle, z. B. zwischen M und N ist also die Kraft erst nach unten, dann nach oben, später offenbar wieder nach unten gerichtet, u. s. w. An ein und derselben Stelle des Mediums wechselt also die Kraft tausendmillionmal in der Sekunde ihre Richtung.

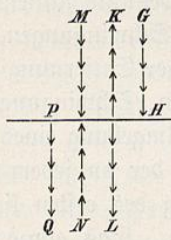


Fig. 2

oben gerichtet. Eine Tausendmilliontel Sekunde später ist die ganze Wirkung um 30 Centimeter nach links fortgeschritten; die Kräfte sind nunmehr bei PQ nach unten, bei MN nach oben, bei KL nach unten gerichtet, wie die untere Hälfte der Figur zeigt. An ein und

Das ist nun offenbar nur möglich, wenn die Teilchen, aus denen das Medium besteht, sich tausend Millionen mal in der Sekunde hin- und herschieben. In der Umgebung einer elektrischen Schwingung sind also die Teile

des Mediums in einer hin und her gehenden, regelmäßig abwechselnden Bewegung. Eine sich fortpflanzende Bewegung dieser Art aber, bei der die Teile eines Stoffes der Reihe nach hin und her schwingen, nennen wir eine Wellenbewegung, und die Wellenbewegungen haben ganz bestimmte, wohlbekannte Gesetze. Wellen lassen sich auffangen, spiegeln, brechen u. s. w. Soll also die Faraday-Maxwell'sche Grundidee richtig sein, so muß die Erregung, die von der elektrischen Schwingung ABCD ausgeht, sich auffangen, spiegeln, brechen zc. lassen, wie ein Lichtstrahl. Und daß das wirklich der Fall ist, hat Hertz durch schlagende Versuche bewiesen.

In Figur 3 stelle AB den früheren Körper ABCD, in dem die primäre elektrische Schwingung vor sich geht, in verkleinertem Maßstabe dar. Y sei der früher erwähnte kreisförmige Draht, der eine kleine Funkenstrecke enthält. Ist nichts weiter vorhanden, als AD und Y, so entsteht, wie früher auseinandergesetzt wurde, in Y ein Fünkchen, sobald die Schwingung in AD auftritt. Schiebt man eine Metallplatte ST vor Y, so verschwindet das Fünkchen,

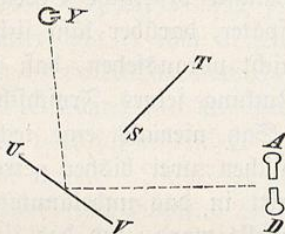


Fig. 3

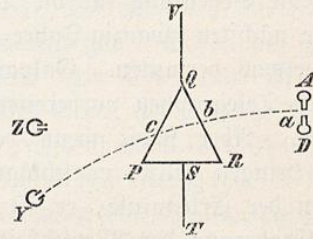


Fig. 4

zum Beweise, daß die Metallplatte der elektrischen Erregung des Mediums den Durchgang verwehrt; die Metallplatte wirft einen elektrodynamischen Schatten. Stellt man aber eine zweite Platte in der Lage UV auf, so erscheint das Fünkchen in Y alsbald wieder; UV hat die elektrodynamischen Wellen nach Y hingespiegelt.

Ferner. In Figur 4 sei AD wieder der induzirende Körper, ST und QV zwei Metallplatten, PQR aber ein großes Prisma von Bech. Bringt man den Draht Y an die mit Z bezeichnete Stelle, so erfährt er keine Wirkung; die von AD ausgehenden Erregungen werden seitlich durch die Metallplatten abgefangen, und der Versuch zeigt, daß sie nicht in gerader Linie durch das Prisma gehen. Stellt man aber den Draht bei Y auf, so giebt er kräftige Fünkchen; die von AD ausgehende Erregung nimmt also den gebrochenen Weg abcY;*) das ist derselbe Weg, den ein Lichtstrahl durch das Prisma nehmen würde, wenn es durchsichtig wäre; die elektrodynamischen Wellen werden also durch ein Prisma gebrochen wie Lichtstrahlen.

*) Figur 4 ist falsch gezeichnet. Der Weg abcY muß als eine gebrochene gerade, nicht als eine gebogene Linie gedacht werden.

Herz hat auch gezeigt, daß sie sich durch Hohlspiegel konzentriren lassen; ferner hat er an ihnen die feinern Eigentümlichkeiten nachgewiesen, die in der Optik unter dem Namen Polarisation und Krystallabsorption bekannt sind.

Sonach kann es keinem Zweifel mehr unterliegen: die erregende Wirkung, die von elektrischen Schwingungen ausgeht, hat die Form von Wellen, die sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortpflanzen; sie wird also durch ein Medium übertragen. Und die Wellen haben alle wesentlichen Eigenschaften der Lichtwellen, also sind sie ihrem Wesen nach von Lichtwellen nicht zu unterscheiden: das Medium, das die elektrischen Kraftwirkungen vermittelt, ist der Lichtäther, und das Licht selbst ist nichts andres als eine elektromagnetische, wellenförmige Störung.

Es wird noch einige Zeit und noch mancher Anstrengung bedürfen, ehe die Wissenschaft aus diesen Sätzen die wichtigsten Folgerungen mit einiger Sicherheit ziehen kann; aber der Weg ist jetzt deutlich gezeigt, und es wird nicht an solchen fehlen, die ihn thatkräftig betreten. Hat der gerühmte Fortschritt eine Bedeutung für die Technik, eine sogenannte praktische Bedeutung? Für die nächsten zwanzig Jahre wohl nicht, ob später, darüber läßt sich nicht einmal etwas vermuten. Galvani konnte auch nicht voraussehen, daß er den künftigen Telegraphen vorbereitete, als er die Zuckung seines Froschschenkels beachtete. Aber selbst wenn der Maxwell'sche Satz niemals eine technische Frucht bringen sollte, er schlägt die Brücke zwischen zwei bisher getrennten Gebieten der Erkenntnis, er ist ein großer Schritt in das unbekante Land, dessen Eroberung der Menschheit zur Aufgabe gestellt ward, und das ist wohl genug, um ihn interessant zu machen.



Hans Hopfens Theater



em kürzlich erschienenen neuen Buche Hans Hopfens, das unter dem lapidaren Titel Theater (Berlin, A. Hofmann & Comp. 1889) vier dramatische Werke von sehr ungleichem Werte enthält, wird man am ehesten gerecht, wenn man es als Bekenntnis, als politisches Glaubensbekenntnis in dichterischer Form betrachtet. Zu dieser Überzeugung gelangt man wenigstens, wenn man den Band zu Ende gelesen hat und alle vier Stücke mit einem Blick überschaut. Zum neunzigsten Geburtstag Kaiser Wilhelms hat Hopfen das Festspiel für das Berliner Hofschauspielhaus geschrieben, das auch aufgeführt worden ist. Es ist eine geist-