

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Gesammelte Werke**

Schriften vermischten Inhalts

**Hertz, Heinrich**

**Vaduz/Liechtenstein, 1987**

20. Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität

[urn:nbn:de:bsz:31-269592](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-269592)

## 20. Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität.

Vortrag, gehalten bei der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Heidelberg am 20. September 1889.  
(Verlag von EMIL STRAUSS in Bonn.)

### Hochansehnliche Versammlung!

Wenn von Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität die Rede ist, denkt der Laie zunächst an das elektrische Licht. Mit diesem Gegenstande hat indessen unser heutiger Vortrag nichts zu thun. Dem Physiker fallen dabei eine Reihe zarter Wechselwirkungen zwischen beiden Kräften ein, etwa die Drehung der Polarisationssebene durch den Strom, oder die Änderung von Leitungswiderständen durch das Licht. In diesen treffen indes Licht und Elektrizität nicht unmittelbar zusammen, zwischen beide großen Kräfte tritt als Vermittler ein Drittes, die ponderable Materie. Auch mit dieser Gruppe von Erscheinungen wollen wir uns nicht befassen. Es giebt andere Beziehungen zwischen beiden Kräften, inniger, enger als die bisher erwähnten. Die Behauptung, welche ich vor Ihnen vertreten möchte, sagt geradezu aus: Das Licht ist eine elektrische Erscheinung, das Licht an sich, alles Licht, das Licht der Sonne, das Licht einer Kerze, das Licht eines Glühwurmes. Nehmt aus der Welt die Elektrizität, und das Licht verschwindet; nehmt aus der Welt den lichttragenden Äther, und die elektrischen und magnetischen Kräfte können nicht mehr den Raum überschreiten. Dies ist unsere Behauptung. Sie ist nicht von heute und gestern, sie hat schon eine längere Geschichte hinter sich. Ihre Geschichte giebt ihre Begründung. Eigene Versuche von mir, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, bilden nur ein Glied in einer

längeren Kette. Und von der Kette, nicht allein von dem einzelnen Gliede möchte ich Ihnen erzählen. Nicht leicht ist es freilich, von diesen Dingen zugleich verständlich und völlig zutreffend zu reden. Die Vorgänge, von welchen wir handeln, haben ihren Tummelplatz im leeren Raume, im freien Äther. Diese Vorgänge sind an sich unfafsbar für die Hand, unhörbar für das Ohr, unsichtbar für das Auge; der inneren Anschauung, der begrifflichen Verknüpfung sind sie zugänglich, aber nur schwer der sinnlichen Beschreibung. So viel wie möglich wollen wir daher versuchen, an die Anschauungen und Vorstellungen anzuknüpfen, welche wir schon besitzen. Rufen wir uns also zurück, was wir vom Lichte und der Elektrizität Sicheres wissen, ehe wir versuchen, beide miteinander in Verbindung zu setzen.

Was ist denn das Licht? Seit den Zeiten Young's und FRESNEL's wissen wir, dafs es eine Wellenbewegung ist. Wir kennen die Geschwindigkeit der Wellen, wir kennen ihre Länge, wir wissen, dafs es Transversalwellen sind; wir kennen mit einem Worte die geometrischen Verhältnisse der Bewegung vollkommen. An diesen Dingen ist ein Zweifel nicht mehr möglich, eine Widerlegung dieser Anschauungen ist für den Physiker undenkbar. Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewifsheit; was aus derselben mit Notwendigkeit folgt, ist ebenfalls Gewifsheit. Es ist also auch gewifs, dafs aller Raum, von dem wir Kunde haben, nicht leer ist, sondern erfüllt mit einem Stoffe, welcher fähig ist, Wellen zu schlagen, dem Äther. Aber so bestimmt auch unsere Kenntnisse von den geometrischen Verhältnissen der Vorgänge in diesem Stoffe sind, so unklar sind noch unsere Vorstellungen von der physikalischen Natur dieser Vorgänge, so widerspruchsvoll zum Teil unsere Annahmen über die Eigenschaften des Stoffes selbst. Naiv und unbefangen hatte man von vornherein die Wellen des Lichtes, sie mit denen des Schalles vergleichend, als elastische Wellen angesehen und behandelt. Nun sind aber elastische Wellen in Flüssigkeiten nur in der Form von Longitudinalwellen bekannt. Elastische Transversalwellen in Flüssigkeiten sind nicht bekannt, sie sind nicht einmal möglich, sie widersprechen der Natur des flüssigen Zustandes. Also war man zu der Behauptung gezwungen, der raum-

erfüllende Äther verhalte sich wie ein fester Körper. Betrachtete man dann aber den ungestörten Lauf der Gestirne und suchte sich Rechenschaft von der Möglichkeit desselben zu geben, so war wiederum die Behauptung nicht zu umgehen, der Äther verhalte sich wie eine vollkommene Flüssigkeit. Neben einander bildeten beide Behauptungen einen für den Verstand schmerzhaften Widerspruch, welcher die schön entwickelte Optik entstellte. Suchen wir denselben nicht zu bemänteln; wenden wir uns vielmehr der Elektrizität zu, vielleicht dafs ihre Erforschung uns zur Hebung auch dieser Schwierigkeit verhilft.

Was ist denn die Elektrizität? Das ist allerdings eine grofse Frage. Sie erregt Interesse weit über die Grenzen der engeren Wissenschaft hinaus. Die meisten, welche sie stellen, zweifeln dabei nicht an der Existenz der Elektrizität an sich, sie erwarten eine Beschreibung, eine Aufzählung der Eigenschaften und Kräfte dieses wunderbaren Stoffes. Für den Fachmann hat die Frage zunächst die andere Form: Gibt es denn überhaupt Elektrizitäten? Lassen sich die elektrischen Erscheinungen nicht wie alle anderen Erscheinungen allein auf die Eigenschaften des Äthers und der ponderablen Materie zurückführen? Wir sind weit davon entfernt, darüber entschieden zu haben, diese Frage bejahen zu können. In unserer Vorstellung spielt sicherlich die stofflich gedachte Elektrizität eine grofse Rolle. Und in der Redeweise vollends herrschen heutzutage noch unumschränkt die althergebrachten, Allen geläufigen, uns gewissermaßen liebgewordenen Vorstellungen von den beiden sich anziehenden und abstofsenden Elektrizitäten, welche mit ihren Fernwirkungen wie mit geistigen Eigenschaften begabt sind. Die Zeit, in welcher man diese Vorstellungen ausbildete, war die Zeit, in welcher das NEWTON'sche Gravitationsgesetz seine schönsten Triumphe am Himmel feierte, die Vorstellung von unvermittelten Fernwirkungen war den Geistern geläufig. Die elektrischen und magnetischen Anziehungen folgten dem gleichen Gesetze wie die Wirkung der Gravitation; was Wunders, wenn man glaubte, durch Annahme einer ähnlichen Fernwirkung die Erscheinungen in einfachster Weise erklärt, dieselben auf den letzten erkennbaren Grund zurückgeführt zu haben. Freilich wurde das anders,

als im gegenwärtigen Jahrhundert die Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magneten hinzukamen, welche unendlich viel mannigfaltiger sind, in welchen die Bewegung, die Zeit, eine so große Rolle spielt. Man wurde gezwungen, die Zahl der Fernwirkungen zu vermehren, an ihrer Form herumzubessern. Dabei ging die Einfachheit, die physikalische Wahrscheinlichkeit mehr und mehr verloren. Durch das Aufsuchen umfassender einfacher Formen, sogenannter Elementargesetze, suchte man diese wiederzuerlangen. Das berühmte WEBER'sche Gesetz ist der wichtigste Versuch dieser Art. Man mag über die Richtigkeit desselben denken wie man will, die Gesamtheit dieser Bestrebungen bildete ein in sich geschlossenes System voll wissenschaftlichen Reizes; wer einmal in den Zauberkreis desselben hineingeraten war, blieb in demselben gefangen. War der eingeschlagene Weg gleichwohl eine falsche Fährte, so konnte Warnung nur kommen von einem Geiste von großer Frische, der wie von neuem unbefangenen den Erscheinungen entgegentrat, der wieder ausging von dem, was er sah, nicht von dem, was er gehört, gelernt, gelesen hatte. Ein solcher Geist war FARADAY. FARADAY hörte zwar sagen, daß bei der Elektrisierung eines Körpers man etwas in ihn hineinbringe, aber er sah, daß die eintretenden Änderungen nur außerhalb sich bemerkbar machten, durchaus nicht im Inneren. FARADAY wurde gelehrt, daß die Kräfte den Raum einfach überspringen, aber er sah, daß es von größtem Einflusse auf die Kräfte war, mit welchem Stoffe der angeblich übersprungene Raum erfüllt war. FARADAY las, daß es Elektrizitäten sicher gäbe, daß man aber über ihre Kräfte sich streite, und doch sah er, wie diese Kräfte ihre Wirkungen greifbar entfalteten, während er von den Elektrizitäten selbst nichts wahrzunehmen vermochte. So kehrte sich in seiner Vorstellung die Sache um. Die elektrischen und magnetischen Kräfte selber wurden ihm das Vorhandene, das Wirkliche, das Greifbare; die Elektrizität, der Magnetismus wurden ihm Dinge, über deren Vorhandensein man streiten kann. Die Kraftlinien, wie er die selbständig gedachten Kräfte nannte, standen vor seinem geistigen Auge im Raume als Zustände desselben, als Spannungen, als Wirbel, als Strömungen, als was auch immer — das vermochte er selbst nicht anzugeben,

— aber da standen sie, beeinflussten einander, schoben und drängten die Körper hin und her, und breiteten sich aus, von Punkt zu Punkt einander die Erregung mitteilend. Auf den Einwand, wie denn im leeren Raume andere Zustände als vollkommene Ruhe möglich seien, konnte er antworten: Ist denn der Raum leer? Zwingt uns nicht schon das Licht, ihn als erfüllt zu denken? Könnte nicht der Äther, welcher die Wellen des Lichtes leitet, auch fähig sein, Änderungen aufzunehmen, welche wir als elektrische und magnetische Kräfte bezeichnen? Wäre nicht sogar ein Zusammenhang zwischen diesen Änderungen und jenen Wellen denkbar? Könnten nicht die Wellen des Lichtes etwas wie Erzitterung solcher Kraftlinien sein?

Soweit etwa kam FARADAY in seinen Anschauungen, seinen Vermutungen. Beweisen konnte er dieselben nicht. Eifrig suchte er nach Beweisen. Untersuchungen über den Zusammenhang von Licht, Magnetismus, Elektrizität waren Lieblingsgegenstände seiner Arbeit. Der schöne Zusammenhang, welchen er fand, war nicht derjenige, welchen er suchte. Auch suchte er weiter, und nur sein höchstes Alter machte diesen Bestrebungen ein Ende. Unter den vielen Fragen, welche er sich beständig aufwarf, kehrte immer wieder die Frage, ob die elektrischen und magnetischen Kräfte Zeit zu ihrer Ausbreitung nötig hätten. Wenn wir einen Magneten plötzlich durch den Strom erregen, wird seine Wirkung sofort bis zu den größten Entfernungen verspürt? Oder trifft sie zunächst die benachbarten Nadeln, dann die folgenden, endlich die ganz entfernten? Wenn wir einen Körper in schneller Abwechslung umelektrisieren, schwankt dann die Kraft in allen Entfernungen gleichzeitig? Oder treffen die Schwankungen um so später ein, je mehr wir uns von dem Körper entfernen? In letzterem Falle würde sich die Wirkung der Schwankung als eine Welle in den Raum ausbreiten. Gibt es solche Wellen? FARADAY erhielt keine Antwort mehr auf diese Fragen. Und doch ist ihre Beantwortung aufs engste mit seinen Grundvorstellungen verknüpft. Wenn es Wellen elektrischer Kraft giebt, die unbekümmert um ihren Ursprung im Raume forteilten, so beweisen sie uns aufs deutlichste den selbständigen Bestand der Kräfte, welche sie bilden. Dafs

diese Kräfte den Raum nicht überspringen, sondern von Punkt zu Punkt fortschreiten, können wir nicht besser beweisen, als indem wir ihren Fortschritt von Augenblick zu Augenblick thatsächlich verfolgen. Auch sind die aufgeworfenen Fragen der Beantwortung nicht unzugänglich, es lassen sich wirklich diese Dinge durch sehr einfache Versuche angreifen. Wäre es FARADAY vergönnt gewesen, den Weg zu diesen Versuchen aufzuspüren, so hätten seine Anschauungen sogleich die Herrschaft davongetragen. Der Zusammenhang von Licht und Elektrizität wäre dann von Anfang an so hell hervorgetreten, daß er selbst weniger scharfsichtigen Augen als den seinen nicht hätte entgehen können.

Indessen ein so leichter und schneller Weg war der Wissenschaft nicht beschieden. Die Versuche gaben einstweilen keine Auskunft, und auch der Theorie lag ein Eingehen in FARADAY'S Gedankenkreis zunächst fern. Die Behauptung, daß elektrische Kräfte unabhängig von ihren Elektrizitäten bestehen könnten, widersprach geradewegs den herrschenden elektrischen Theorien. Ebenso wies die herrschende Optik entschieden den Gedanken ab, es könnten die Wellen des Lichtes auch wohl anderer als elastischer Natur sein. Der Versuch, die eine oder die andere dieser Behauptungen eingehender zu behandeln, mußte fast als müßige Spekulation erscheinen. Wie sehr müssen wir also den glücklichen Geist eines Mannes bewundern, welcher zwei Vermutungen, die jede für sich so ferne lagen, so mit einander zu verknüpfen wußte, daß sie sich gegenseitig stützten, und daß das Ergebnis eine Theorie war, welcher man die innere Wahrscheinlichkeit von vornherein nicht absprechen konnte. Der Mann, von welchem ich rede, war der Engländer MAXWELL. Man kennt seine im Jahre 1865 veröffentlichte Arbeit unter dem Namen der elektromagnetischen Lichttheorie. Man kann diese wunderbare Theorie nicht studieren, ohne bisweilen die Empfindung zu haben, als wohne den mathematischen Formeln selbständiges Leben und eigener Verstand inne, als seien dieselben klüger als wir, klüger sogar als ihr Erfinder, als gäben sie uns mehr heraus, als seinerzeit in sie hineingelegt wurde. Es ist dies auch nicht geradezu unmöglich; es kann eintreten, wenn nämlich die Formeln richtig sind über das Maß dessen hinaus, was

der Erfinder sicher wissen konnte. Freilich lassen sich solche umfassenden und richtigen Formeln nicht finden, ohne daß mit dem schärfsten Blicke jede leise Andeutung der Wahrheit aufgefaßt wird, welche die Natur durchscheinen läßt. Es liegt für den Kundigen auf der Hand, welcher Andeutung hauptsächlich MAXWELL folgte. War dieselbe doch auch anderen Forschern aufgefallen und hatte diese, RIEMANN und LORENZ, zu verwandten, wenn auch nicht ebenso glücklichen Spekulationen angeregt. Es war der folgende Umstand. Bewegte Elektrizität übt magnetische Kräfte, bewegter Magnetismus elektrische Kräfte aus, welche Wirkungen indessen nur bei sehr großen Geschwindigkeiten merklich werden. In die Wechselbeziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus treten also Geschwindigkeiten ein, und die Konstante, welche diese Beziehungen beherrscht und in denselben beständig wiederkehrt, ist selber eine Geschwindigkeit von ungeheurer Größe. Sie war auf verschiedenen Wegen, zuerst durch KOHLRAUSCH und WEBER, aus rein elektrischen Versuchen bestimmt worden und hatte sich, soweit es überhaupt die schwierigen Versuche erkennen ließen, gleich gezeigt einer anderen wichtigen Geschwindigkeit, der Geschwindigkeit des Lichtes. Es mochte das Zufall sein, aber einem Jünger FARADAY's konnte es so nicht erscheinen. Ihm mußte es eine Folge davon sein, daß derselbe Äther die elektrischen Kräfte und das Licht übermittelt. Die beiden fast gleich gefundenen Geschwindigkeiten mußten in Wahrheit genau gleich sein. Dann aber fand sich die wichtigste optische Konstante in den elektrischen Formeln bereits vor. Dies war das Band, welches MAXWELL zu verstärken suchte. Er erweiterte die elektrischen Formeln in der Weise, daß sie alle bekannten Erscheinungen, aber neben denselben auch eine unbekannte Klasse von Erscheinungen enthielten, elektrische Wellen. Diese Wellen wurden dann Transversalwellen, deren Wellenlänge jeden Wert haben konnte, welche sich aber im Äther stets mit gleicher Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit, fortpflanzten. Und nun konnte MAXWELL darauf hinweisen, daß es Wellen von eben solchen geometrischen Eigenschaften in der Natur ja wirklich gäbe, wenn wir auch nicht gewohnt sind, sie als elektrische Erscheinungen zu betrachten, sondern sie mit einem be-



sonderen Namen, als Licht, bezeichnen. Leugnete man freilich MAXWELL's elektrische Theorie, so fiel jeder Grund fort, seinen Ansichten in betreff des Lichtes beizutreten. Oder hielt man fest daran, daß das Licht eine Erscheinung elastischer Natur sei, so verlor seine elektrische Theorie den Boden unter sich. Trat man aber unbekümmert um bestehende Anschauungen an das Gebäude heran, so sah man einen Teil den anderen stützen wie die Steine eines Gewölbes, und das Ganze schien über einen tiefen Abgrund des Unbekannten hinweg das Bekannte zu verbinden. Die Schwierigkeit der Theorie erlaubte freilich nicht sogleich, daß die Zahl ihrer Jünger sehr groß wurde. Wer aber einmal sie durchdacht hatte, wurde ihr Anhänger und suchte eifrig fortan, ihre ersten Voraussetzungen, ihre letzten Folgerungen zu prüfen. Die Prüfung durch den Versuch mußte sich freilich lange Zeit auf einzelne Behauptungen, auf das Aufsenwerk der Theorie beschränken. Ich verglich soeben die MAXWELL'sche Theorie mit einem Gewölbe, welches eine Kluft unbekannter Dinge überspannt. Darf ich in diesem Bilde noch fortfahren, so würde ich sagen, daß alles, was man lange Zeit zur Kräftigung dieses Gewölbes zu thun vermochte, darin bestand, daß man die beiden Widerlager verstärkte. Das Gewölbe ward dadurch in den Stand gesetzt, sich selber dauernd zu tragen, aber es hatte doch eine zu große Spannweite, als daß man es hätte wagen dürfen, auf ihm als sicherer Grundlage nun weiter in die Höhe zu bauen. Hierzu waren besondere Hauptpfeiler notwendig, welche, vom festen Boden aus aufgemauert, die Mitte des Gewölbes faßten. Einem solchen Pfeiler wäre der Nachweis zu vergleichen gewesen, daß wir aus dem Lichte unmittelbar elektrische oder magnetische Wirkungen erhalten können. Dieser Pfeiler hätte unmittelbar dem optischen, mittelbar dem elektrischen Teile des Gebäudes Sicherheit verliehen. Ein anderer Pfeiler wäre der Nachweis gewesen, daß es Wellen elektrischer oder magnetischer Kraft giebt, welche sich nach Art der Lichtwellen ausbreiten können. Dieser Pfeiler hätte umgekehrt unmittelbar den elektrischen, mittelbar den optischen Teil gestützt. Eine harmonische Vollendung des Gebäudes wird den Aufbau beider Pfeiler erfordern, für das erste Bedürfnis aber genügt einer von ihnen. Der erstgenannte hat noch nicht

in Angriff genommen werden können; für den letztgenannten aber ist es nach langem Suchen endlich geglückt, einen sicheren Stützpunkt zu finden; das Fundament ist in genügender Breite gelegt; ein Teil des Pfeilers steht schon aufgemauert da, und unter der Arbeit vieler hilfreichen Hände wird er bald die Decke des Gewölbes erreichen und demselben die Last des nun weiter zu errichtenden Gebäudes abnehmen. An dieser Stelle war ich so glücklich, an der Arbeit Anteil nehmen zu können. Diesem Umstande verdanke ich die Ehre, daß ich heute zu Ihnen reden darf; er wird mich also auch entschuldigen, wenn ich nunmehr Ihre Aufmerksamkeit ganz auf diesen einen Teil des Gebäudes hinzulenken versuche. Freilich zwingt mich alsdann die Kürze dieser Stunde, entgegen der Gerechtigkeit, die Arbeiten vieler Forscher kurzweg zu überspringen; ich kann Ihnen nicht zeigen, in wie mannigfaltiger Weise meine Versuche vorbereitet waren, wie nahe einzelne Forscher der Ausführung derselben bereits gekommen sind.

War es denn wirklich so schwer, nachzuweisen, daß elektrische und magnetische Kräfte Zeit zu ihrer Ausbreitung brauchen? Konnte man nicht eine Leydener Flasche entladen und direkt beobachten, ob die Zuckung eines entfernten Elektroskopes etwas später erfolgte? Genügte es nicht, in gleicher Absicht auf eine Magnethöhle zu achten, während man in einiger Entfernung plötzlich einen Elektromagneten erregte? In der That hat man diese oder ähnliche Versuche früher auch wohl angestellt, ohne indessen einen Zeitunterschied zwischen Ursache und Wirkung wahrzunehmen. Einem Anhänger der MAXWELL'schen Theorie muß das freilich als das notwendige Ergebnis erscheinen, bedingt durch die ungeheure Geschwindigkeit der Ausbreitung. Die Ladung einer Leydener Flasche, die Kraft eines Magneten können wir schließlich nur auf mäßige Entfernungen wahrnehmen, sagen wir auf zehn Meter. Einen solchen Raum durchfliegt das Licht, also nach der Theorie auch die elektrische Kraft in dem dreißigmillionten Teil der Sekunde. Ein derartiges Zeitteilchen können wir unmittelbar nicht messen, nicht wahrnehmen. Aber schlimmer als das, es stehen uns nicht einmal Zeichen zu Gebote, welche fähig wären, eine solche Zeit mit hinreichender Schärfe zu begrenzen. Wenn wir eine Länge

bis auf den zehnten Teil des Millimeters genau messen wollen, dürfen wir ihren Anfang nicht durch einen breiten Kreidestrich bezeichnen. Wenn wir eine Zeit auf den tausendsten Teil der Sekunde genau bestimmen wollen, so ist es widersinnig, ihren Beginn durch den Schlag einer großen Glocke anzeigen zu wollen. Die Entladungszeit einer Leydener Flasche ist nun allerdings für unsere gewöhnlichen Begriffe verschwindend kurz. Aber das ist sie sicherlich schon, wenn sie etwa den dreißigtausendsten Teil der Sekunde füllt. Und doch wäre sie alsdann für unseren gegenwärtigen Zweck noch mehr als tausendmal zu lang. Doch legt uns hier die Natur ein feineres Mittel nahe. Wir wissen seit lange, daß der Entladungsschlag einer Leydener Flasche kein gleichförmig ablaufender Vorgang ist, daß er sich, ähnlich dem Schläge einer Glocke, zusammensetzt aus einer großen Zahl von Schwingungen, von hin- und hergehenden Entladungen, welche sich in genau gleichen Perioden folgen. Die Elektrizität ist imstande, elastische Erscheinungen nachzuahmen. Die Dauer jeder einzelnen Schwingung ist viel kleiner, als die der Gesamtentladung, man kann auf den Gedanken kommen, die einzelne Schwingung als Zeichen zu benutzen. Aber leider füllten die kürzesten beobachteten Schwingungen immer noch das volle Milliontel der Sekunde. Während eine solche Schwingung verlief, breitete sich ihre Wirkung schon über dreihundert Meter aus, in dem bescheidenen Raume eines Zimmers mußte sie als gleichzeitig mit der Schwingung empfunden werden. So konnte aus Bekanntem Hilfe nicht gewonnen werden, eine neue Erkenntnis mußte hinzukommen. Was hinzukam, war die Erfahrung, daß nicht allein die Entladung der Flaschen, daß vielmehr unter besonderen geeigneten Umständen die Entladung jedes beliebigen Leiters zu Schwingungen Anlaß giebt. Diese Schwingungen können viel kürzer sein, als die der Flaschen. Wenn Sie den Konduktor einer Elektrisiermaschine entladen, erregen Sie Schwingungen, deren Dauer zwischen dem hundertmillionten und dem tausendmillionten Teil der Sekunde liegt. Freilich folgen sich diese Schwingungen nicht in lang anhaltender Reihe, es sind wenige, schnell verlöschende Zuckungen. Es wäre besser für unsere Versuche, wenn dies anders wäre. Aber die Möglichkeit des Erfolges ist uns schon gewährt,

wenn wir auch nur zwei oder drei solcher scharfen Zeichen erhalten. Auch im Gebiete der Akustik können wir mit klappernden Hölzern eine dürftige Musik erzeugen, wenn uns die gedehnten Töne der Pfeifen und Saiten versagt sind.

Wir haben jetzt Zeichen, für welche der dreißigmillionte Teil der Sekunde nicht mehr kurz ist. Aber dieselben würden uns noch wenig nützen, wenn wir nicht instande wären, ihre Wirkung bis in die beabsichtigte Entfernung von etwa zehn Metern auch wirklich wahrzunehmen. Es giebt hierfür ein sehr einfaches Mittel. Dorthin, wo wir die Kraft wahrnehmen wollen, bringen wir einen Leiter, etwa einen geraden Draht, welcher durch eine feine Funkenstrecke unterbrochen ist. Die rasch wechselnde Kraft setzt die Elektrizität des Leiters in Bewegung und läßt einen Funken in demselben auftreten. Auch dies Mittel mußte durch die Erfahrung selbst an die Hand gegeben werden, die Überlegung konnte es nicht wohl voraussehen. Denn die Funken sind mikroskopisch kurz, kaum ein hundertstel Millimeter lang; ihre Dauer beträgt noch nicht den millionten Teil der Sekunde. Es erscheint unmöglich, fast widersinnig, daß sie sollten sichtbar sein, aber im völlig dunkeln Zimmer für das geschonte Auge sind sie sichtbar. An diesem dünnen Faden hängt das Gelingen unseres Unternehmens. Zunächst drängt sich uns eine Fülle von Fragen entgegen. Unter welchen Umständen werden unsere Schwingungen am stärksten? Sorgfältig müssen wir diese Umstände aufsuchen und ausnützen. Welche Form geben wir am besten dem empfangenden Leiter? Wir können gerade, wir können kreisförmige Drähte, wir können Leiter anderer Form wählen, die Erscheinungen werden immer etwas anders ausfallen. Haben wir die Form festgesetzt, welche Größe wählen wir? Schnell zeigt sich, daß dieselbe nicht gleichgültig ist, daß wir nicht jede Schwingung mit demselben Leiter untersuchen können, daß Beziehungen zwischen beiden bestehen, welche an die Resonanzerscheinungen der Akustik erinnern. Und schließlich, in wie viel verschiedenen Lagen können wir nicht einen und denselben Leiter in die Schwingungen halten! Bald sehen wir dann die Funken stärker ausfallen, bald schwächer werden, bald ganz verschwinden. Ich darf es nicht wagen, Sie von diesen Einzelheiten unterhalten zu wollen, im großen

Zusammenhänge sind es Nebensachen. Aber es sind nicht Nebensachen für den Arbeiter auf diesem Gebiete. Es sind die Eigentümlichkeiten seines Werkzeuges. Wie sehr der Arbeiter sein Werkzeug kennt, davon hängt ab, was er mit demselben ausrichtet. Das Studium des Werkzeuges, das Eingehen in die erwähnten Fragen bildete denn auch den Hauptteil der zu bewältigenden Arbeit. Nachdem dieser Teil erledigt war, bot sich der Angriff auf die Hauptfrage von selber dar. Geben Sie einem Physiker eine Anzahl Stimmgabeln, eine Anzahl Resonatoren, und fordern Sie ihn auf, Ihnen die zeitliche Ausbreitung des Schalles nachzuweisen, er wird selbst in dem beschränkten Raume eines Zimmers keine Schwierigkeiten finden. Er stellt eine Stimmgabel beliebig im Zimmer auf, er horcht mit dem Resonator an den verschiedenen Stellen des Raumes herum und achtet auf die Schallstärke. Er zeigt, wie dieselbe an einzelnen Punkten sehr klein wird; er zeigt, wie dies daher rührt, daß hier jede Schwingung aufgehoben wird durch eine andere später abgegangene, welche auf einem kürzeren Wege zum gleichen Ziele gelangt ist. Wenn ein kürzerer Weg weniger Zeit erfordert, als ein längerer, so ist die Ausbreitung eine zeitliche. Die gestellte Aufgabe ist gelöst. Aber unser Akustiker zeigt uns nun weiter, wie die stillen Stellen periodisch in gleichen Abständen sich folgen; er mißt daraus die Wellenlänge, und wenn er die Schwingungsdauer der Gabel kennt, erhält er daraus auch die Geschwindigkeit des Schalles. Nicht anders, sondern genau so verfahren wir mit unseren elektrischen Schwingungen. An die Stelle der Stimmgabel setzen wir den schwingenden Leiter. Anstatt des Resonators ergreifen wir unseren unterbrochenen Draht, den wir aber auch als elektrischen Resonator bezeichnen. Wir bemerken, wie derselbe in einzelnen Stellen des Raumes Funken enthält, in anderen funkenfrei ist; wir sehen, wie sich die toten Stellen nach festen Gesetzmäßigkeiten periodisch folgen — die zeitliche Ausbreitung ist erwiesen, die Wellenlänge meßbar geworden. Man wirft die Frage auf, ob die gefundenen Wellen Longitudinal- oder Transversalwellen seien. Wir halten unseren Draht in zwei verschiedenen Lagen in dieselbe Stelle der Welle; das einmal spricht er an, das anderemal nicht. Mehr bedarf es nicht; die Frage ist entschieden, es

sind Transversalwellen. Man fragt nach ihrer Geschwindigkeit. Wir multiplizieren die gemessene Wellenlänge mit der berechneten Schwingungsdauer und finden eine Geschwindigkeit, welche der des Lichtes verwandt ist. Bezweifelt man die Zuverlässigkeit der Berechnung, so bleibt uns noch ein anderer Weg. Die Geschwindigkeit elektrischer Wellen in Drähten ist ebenfalls ungeheuer groß, mit dieser können wir die Geschwindigkeit unserer Wellen in der Luft unmittelbar vergleichen. Aber die Geschwindigkeit elektrischer Wellen in Drähten ist seit langer Zeit direkt gemessen. Es war dies eher möglich, weil sich diese Wellen auf viele Kilometer hin verfolgen lassen. So erhalten wir indirekt eine rein experimentelle Messung auch unserer Geschwindigkeit, und wenn das Resultat auch nur roh ausfällt, so widerspricht es doch nicht dem bereits erhaltenen.

Alle diese Versuche sind im Grunde sehr einfach, aber sie führen doch die wichtigsten Folgerungen mit sich. Sie sind vernichtend für jede Theorie, welche die elektrischen Kräfte als zeitlos den Raum überspringend ansieht. Sie bedeuten einen glänzenden Sieg der Theorie MAXWELL'S. Nicht mehr verbindet dieselbe unvermittelt weit entlegene Erscheinungen der Natur. Wem ihre Anschauung über das Wesen des Lichtes vorher nur die mindeste Wahrscheinlichkeit zu haben schien, dem ist es jetzt schwer, sich dieser Anschauung zu erwehren. Insoweit sind wir am Ziele. Aber vielleicht läßt sich hier die Vermittelung der Theorie sogar entbehren. Unsere Versuche bewegten sich schon hart an der Höhe des Passes, welcher nach der Theorie das Gebiet des Lichtes mit dem der Elektrizität verbindet. Es liegt nahe, einige Schritte weiter zu gehen und den Abstieg in das Gebiet der bekannten Optik zu versuchen. Es wird nicht überflüssig sein, die Theorie auszuschalten. Es gibt viele Freunde der Natur, welche sich für das Wesen des Lichtes interessieren, welche dem Verständnisse einfacher Versuche nicht unzugänglich sind, und welchen gleichwohl die Theorie MAXWELL'S ein Buch mit sieben Siegeln ist. Aber auch die Ökonomie der Wissenschaft fordert, daß Umwege vermieden werden, wo ein gerader Weg möglich ist. Können wir mit Hilfe elektrischer Wellen unmittelbar die Erscheinungen des

Lichtes herstellen, so bedürfen wir keiner Theorie als Vermittlerin; die Verwandtschaft tritt aus den Versuchen selbst hervor. Solche Versuche sind in der That möglich. Wir bringen den Leiter, welcher die Schwingungen erregt, in der Brennlinie eines sehr großen Hohlspiegels an. Es werden dadurch die Wellen zusammengehalten, und treten als kräftig dahineilender Strahl aus dem Hohlspiegel aus. Freilich können wir diesen Strahl nicht unmittelbar sehen, noch fühlen; seine Wirkung äußert sich dadurch, daß er Funken in den Leitern erregt, auf welche er trifft. Er wird für unser Auge erst sichtbar, wenn sich dasselbe mit einem unserer Resonatoren bewaffnet. Im Übrigen ist er ein wahrer Lichtstrahl. Wir können ihn durch Drehung des Spiegels in verschiedene Richtungen senden, wir können durch Aufsuchung des Weges, welchen er nimmt, seine geradlinige Ausbreitung erweisen. Bringen wir leitende Körper in seinen Weg, so lassen dieselben den Strahl nicht hindurch, sie werfen Schatten. Dabei vernichten sie den Strahl aber nicht, sie werfen ihn zurück; wir können den reflektierten Strahl verfolgen und uns überzeugen, daß die Gesetze der Reflexion die der Reflexion des Lichtes sind. Auch brechen können wir den Strahl, in gleicher Weise wie das Licht. Um einen Lichtstrahl zu brechen, leiten wir ihn durch ein Prisma, er wird dadurch von seinem geraden Wege abgelenkt. Ebenso verfahren wir hier und mit dem gleichen Erfolge. Nur müssen wir hier entsprechend den Dimensionen der Wellen und des Strahles ein sehr großes Prisma nehmen; wir stellen dasselbe also aus einem billigen Stoffe her, etwa Pech oder Asphalt. Endlich aber können wir sogar diejenigen Erscheinungen an unserem Strahle verfolgen, welche man bisher einzig und allein am Lichte beobachtet hat, die Polarisationserscheinungen. Durch Einschiebung eines Drahtgitters von geeigneter Struktur in den Weg des Strahles, lassen wir die Funken in unserem Resonator aufleuchten oder verlöschen, genau nach den gleichen geometrischen Gesetzmäßigkeiten, nach welchen wir das Gesichtsfeld eines Polarisationsapparates durch Einschieben einer Krystallplatte verdunkeln oder erhellen.

Soweit die Versuche. Bei Anstellung derselben stehen wir schon ganz und voll im Gebiete der Lehre vom Lichte.

Indem wir die Versuche planen, indem wir sie beschreiben, denken wir schon nicht mehr elektrisch, wir denken optisch. Wir sehen nicht mehr in den Leitern Ströme fließen, Elektrizitäten sich ansammeln; wir sehen nur noch die Wellen in der Luft, wie sie sich kreuzen, wie sie zerfallen, sich vereinigen, sich stärken und schwächen. Von dem Gebiete rein elektrischer Erscheinungen ausgehend, sind wir Schritt vor Schritt zu rein optischen Erscheinungen gelangt. Die Pafshöhe ist überschritten; der Weg senkt, ebnet sich wieder. Die Verbindung zwischen Licht und Elektrizität, welche die Theorie ahnte, vermutete, voraussah, ist hergestellt, den Sinnen faßlich, dem natürlichen Geiste verständlich. Von dem höchsten Punkte, den wir erreicht haben, von der Pafshöhe selbst, eröffnet sich uns ein weiter Einblick in beide Gebiete. Sie erscheinen uns größer, als wir sie bisher gekannt. Die Herrschaft der Optik beschränkt sich nicht mehr auf Ätherwellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Wellen, deren Länge nach Decimetern, Metern, Kilometern rechnen. Und trotz dieser Vergrößerung erscheint sie uns von hier gesehen nur als ein kleines Anhängsel am Gebiete der Elektrizität. Dieses letztere gewinnt am meisten. Wir erblicken Elektrizität an tausend Orten, wo wir bisher von ihrem Vorhandensein keine sichere Kunde hatten. In jeder Flamme, in jedem leuchtenden Atome sehen wir einen elektrischen Prozeß. Auch wenn ein Körper nicht leuchtet, so lange er nur noch Wärme strahlt, ist er der Sitz elektrischer Erregungen. So verbreitet sich das Gebiet der Elektrizität über die ganze Natur. Es rückt auch uns selbst näher, wir erfahren, daß wir in Wahrheit ein elektrisches Organ haben, das Auge. Dies ist der Ausblick nach unten, zum Besonderen. Nicht minder lohnend erscheint von unserem Standpunkte der Ausblick nach oben, zu den hohen Gipfeln, den allgemeinen Zielen. Da liegt nahe vor uns die Frage nach den unvermittelten Fernwirkungen überhaupt. Gibt es solche? Von vielen, welche wir zu besitzen glaubten, bleibt uns nur eine, die Gravitation. Täuscht uns auch diese? Das Gesetz, nach welchem sie wirkt, macht sie schon verdächtig. In anderer Richtung liegt nicht ferne die Frage nach dem Wesen der Elektrizität. Von hier gesehen verbirgt sie sich hinter der bestimmteren Frage nach



dem Wesen der elektrischen und magnetischen Kräfte im Raume. Und unmittelbar an diese anschliessend erhebt sich die gewaltige Hauptfrage nach dem Wesen, nach den Eigenschaften des raumerfüllenden Mittels, des Äthers, nach seiner Struktur, seiner Ruhe oder Bewegung, seiner Unendlichkeit oder Begrenztheit. Immer mehr gewinnt es den Anschein, als überrage diese Frage alle übrigen, als müsse die Kenntnis des Äthers uns nicht allein das Wesen der ehemaligen Imponderabilien offenbaren, sondern auch das Wesen der alten Materie selbst und ihrer innersten Eigenschaften, der Schwere und der Trägheit. Die Quintessenz uralter physikalischer Lehrgebäude ist uns in den Worten aufbewahrt, dafs alles, was ist, aus dem Wasser, aus dem Feuer geschaffen sei. Der heutigen Physik liegt die Frage nicht mehr ferne, ob nicht etwa alles, was ist, aus dem Äther geschaffen sei? Diese Dinge sind die äufsersten Ziele unserer Wissenschaft, der Physik. Es sind, um in unserem Bilde zu verharren, die letzten, vereisten Gipfel ihres Hochgebirges. Wird es uns vergönnt sein, jemals auf einen dieser Gipfel den Fufs zu setzen? Wird dies spät geschehen? Kann es bald sein? Wir wissen es nicht. Aber wir haben einen Stützpunkt für weitere Unternehmungen gewonnen, welcher eine Stufe höher liegt als die bisher benützten; der Weg schneidet hier nicht ab an einer glatten Felswand, sondern wenigstens der nächste absehbare Teil des Anstieges erscheint noch von mäfsiger Neigung, und zwischen den Steinen finden wir Pfade, die nach oben führen; der eifrigen und geübten Forscher sind viele; — wie könnten wir da anders als hoffnungsvoll den Erfolgen zukünftiger Unternehmungen entgegensehen?