

Verlag von Veit & Comp. in Leipzig

DAS STEREOSKOP.

Seine Anwendung in den technischen Wissenschaften.

Über Entstehung und Konstruktion stereoskopischer Bilder.

Von

Professor **Wilhelm Manchot.**

Mit 50 Figuren.

gr. 8. 1903. geh. 1 M. 80 Pf.

ELEMENTARE MECHANIK

als Einleitung in das Studium der theoretischen Physik.

Von

Dr. Woldemar Voigt,

o. ö. Professor der Physik an der Universität Göttingen.

Zweite, umgearbeitete Auflage.

Mit 56 Figuren im Text. Lex. 8. 1901. geh. 14 M., geb. in Halbfranz 16 M.

DIE MUTATIONSTHEORIE.

Versuche und Beobachtungen

über die Entstehung von Arten im Pflanzenreich.

Von

Hugo de Vries,

Professor der Botanik in Amsterdam.

Zwei Bände.

Roy. 8. geh. 43 M., geb. in Halbfranz 49 M.

Erster Band. Die Entstehung der Arten durch Mutation. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und acht farbigen Tafeln. 1901. geh. 20 M., geb. in Halbfranz 23 M.

Zweiter Band. Elementare Bastardlehre. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und vier farbigen Tafeln. 1903. geh. 23 M., geb. in Halbfranz 26 M.

Gestützt auf eine lange Reihe ausgezeichneter Untersuchungen und auf ausgedehnte Literaturstudien liefert der Verfasser in diesem epochemachenden Werke ein ungemein reiches Material zur Entscheidung der Frage, wie neue Arten entstehen. Der Darwinismus beantwortet diese Frage bekanntlich dahin, daß Arten ganz allmählich aus anderen hervorgehen, de Vries weist dagegen nach, daß die „fluktierende Variation“, auf welche sich der Darwinismus fast ausschließlich stützt, zur Bildung neuer Arten nicht führen kann. Neue Arten entstehen stoßweise. Diese Stöße nennt de Vries „Mutationen“. Er zeigt, daß diese Entstehung sich ebenso gut beobachten läßt, wie jeder andere physiologische Vorgang.

Verlag von VEIT & COMP. in Leipzig.

DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

DURCH WASSER UND LUFT.

Nach Vorträgen, gehalten im Winter 1900

von

Prof. Dr. Ferdinand Braun,

Direktor des Physikalischen Institutes der Universität Straßburg.

Mit zahlreichen Figuren und Abbildungen.

Lex. 8 1901. geh. 2 M.

DIE PHYSIOLOGISCHEN FERNWIRKUNGEN DER ELEKTRIZITÄT.

Untersuchungen

von

Dr. Basile Danilewsky,

Professor der Physiologie an der Universität zu Charkow.

Mit zahlreichen Abbildungen. — gr. 8. 1902. geh. 7 M.

DAS RADIUM.

SEINE DARSTELLUNG UND SEINE EIGENSCHAFTEN.

Von

Dr. Jacques Danne,

Privatassistenten des Herrn Professor Pierre Curie.

Mit einem Vorwort von **Charles Lauth**, Direktor der Hochschule für angewandte Physik und Chemie zu Paris.

Mit zahlreichen Figuren.

Autorisierte Ausgabe. 8. 1904. kart. 2 M. 40 Pf.

ELEKTROCHEMIE.

IHRE GESCHICHTE UND LEHRE.

Von

Wilhelm Ostwald.

Mit 260 Nachbildungen geschichtlicher Originalfiguren.

Lex. 8. 1896. geh. 28 M., eleg. geb. 30 M.

Verlag von VEIT & COMP. in Leipzig.

ÜBER DIE GRENZEN DES NATURERKENNENS.
DIE SIEBEN WELTRÄTSEL.

Zwei Vorträge

von

Emil du Bois-Reymond.

Des ersten Vortrages neunte, der zwei Vorträge fünfte Auflage.

8. 1903. geh. 2 M.

DIE ENERGETIK

NACH IHRER GESCHICHTLICHEN ENTWICKELUNG.

Von

Dr. Georg Helm,

o. Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Dresden.

Mit Figuren im Text.

gr. 8. 1898. geh. 8 M. 60 Pf., geb. in Ganzleinen 9 M. 60 Pf.

ABHANDLUNGEN UND VORTRÄGE
ALLGEMEINEN INHALTS

(1887—1903).

Von

Wilhelm Ostwald.

gr. 8. 1904. geh. 8 M., geb. in Ganzleinen 9 M.

VORLESUNGEN

ÜBER

THERMODYNAMIK

von

Max Planck.

Mit fünf Figuren im Text.

gr. 8. 1897. kart. in Ganzleinen 7 M. 50 Pf.

DIE
DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

AUF GRUND
EIGNER PRAKTISCHER ERFAHRUNGEN

VON

DR. PHIL. GUSTAV EICHHORN

MIT ZAHLREICHEN FIGUREN.



VERLAG VON VEIT & COMP. IN LEIPZIG

1904

Druck von Fischer & Wittig in Leipzig.

Meiner lieben Mutter

gewidmet

Vorwort

Das vorliegende Buch ist entstanden aus dem Wunsche, das reiche Material persönlicher Erfahrungen einem all-gemeingebildeten Leserkreis zugänglich zu machen, dem es in leicht faßlichen Darstellungen ein lebendiges und einheitliches Bild geben will von den Grundlagen und der Arbeitsmethode der modernen drahtlosen Tele-graphie vermittels elektrischer Wellen.

Meine speziellen Studien auf dem interessanten Ge-biete der elektrischen Schwingungen, auf deren Benutzung eine solche Möglichkeit, drahtlos zu telegraphieren, basiert, brachten mich in Kontakt mit der ehemaligen Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, System Professor BRAUN, und SIEMENS & HALSKE in Berlin, von welcher ich schließlich im Sommer 1902 die ehrenvolle Mission erhielt, den bekannten Badeort Saßnitz am schönen Ostseestrände auf Rügen mit der ca. 170 Kilometer entfernten Ostsee-station Groß-Möllen bei Köslin in sichere drahtlose Kom-munikation zu bringen. Nach Überwindung vieler un-vorhergesehenen äusseren Hindernisse nahmen die eigent-lichen Arbeiten einen befriedigenden Fortgang, so daß

bald die völlige Lösung dieser Aufgabe gemeldet werden konnte. Meine Arbeiten wurden mir sehr erleichtert durch die unermüdliche und opferfreudige Unterstützung seitens meiner Gehilfen, besonders des Mechanikers MAX ECK, der durch eine selten feinfühlig und sachkundige Behandlung der Apparate viel zu der erzielten fast absoluten Betriebssicherheit beitrug. Bei Abschluß dieser Versuche war bis zu einem gewissen Grade auch schon eine „Abstimmung“ vorhanden, die uns von einer Interferenz mit anderen Stationen teilweise schützte. Das Studium dieses letzteren Problems wurde dann aber Gegenstand spezieller Untersuchungen und Versuche, welche ich nunmehr gemeinsam in Angriff nahm mit Dr. L. MANDELSTAM aus Odessa, einem Assistenten von Professor BRAUN. Ihm bin ich zu großem Danke verbunden, und die Zeit harmonischer angestrengtester Tätigkeit, mit welcher wir jetzt auf das neue Ziel losgingen, haftet um so fester in der Erinnerung, als unsere Bemühungen schließlich zu Resultaten führten, welche bisher von niemandem erzielt waren.

Um noch die in der Presse häufig tangierte Systemfrage zu berühren, so sei bemerkt, daß solche in Wirklichkeit gar nicht besteht. Professor BRAUN in Straßburg wird heute nicht nur in Fachkreisen, sondern in der ganzen vorurteilslosen gebildeten Welt die Priorität zuerkannt für die Anwendung und Ausgestaltung brauchbarer wissenschaftlicher Prinzipien, nach welchen die moderne drahtlose Telegraphie jetzt überall ausgeübt wird. Seine klaren Anschauungen und von Anfang an zielbewußten

Arbeiten bildeten geradezu das treibende Element, welches die enorme Entwicklung der letzten Jahre und so die sich gewaltig ausdehnende praktische Anwendung erst ermöglicht hat. Es liegt in der wissenschaftlichen Natur der von BRAUN verwendeten und fruchtbar gewordenen Prinzipien, daß sie einheitlich bleiben mußten, trotzdem von den praktischen Dispositionen das Äußere und einzelne Bestandteile unter verschiedenen Händen sich verschiedenartig ausbildeten. — So stehen heute alle Pioniere der drahtlosen Telegraphie, trotz ihrer großen selbständigen Verdienste, auf der von Professor BRAUN neugeschaffenen Basis ädaquater Prinzipien. Dies gilt sowohl für das SLABY-ARCO-System wie vor allem auch für das heutige System von MARCONI, der vor Jahren zuerst die Kühnheit hatte, eine zarte von Gelehrten entdeckte und sorgsam gepflegte Blume in die rauhe Wirklichkeit zu versetzen, für deren Erhaltung er sich nach Kräften mühte, bis ein berufenerer Gärtner die Methode fand, sie zu veredeln und zu kraftvoller gesunder Entwicklung zu bringen, damit sie sich den neuen rauheren Lebensumständen anpassen konnte.

Das frühere zweite deutsche System SLABY-ARCO ist inzwischen mit dem System BRAUN auch äußerlich verschmolzen und die neue vereinigte Gesellschaft für drahtlose Telegraphie mit dem allerdings sehr wenig charakteristischen Wappen „System Telefunken“ entfaltet eine intensive Tätigkeit, um dem bereits enormen Bedarf, welcher noch ständig wächst, gerecht werden zu können.

Nach vorstehend Gesagtem kann die Einführung in das interessante Gebiet nur eine allgemeingültige und

objektiv sachliche sein, und wenn ich meine persönlichen Arbeiten den größeren Raum in den Ausführungen einnehmen ließ, so geschah es, neben dem Wunsche, dem Leser keinen unnötigen Ballast aus nur scheinbar differenten Dingen aufzubürden, hauptsächlich aus zwei Gründen. Erstens sollte die Beschreibung und Erörterung interner Momente neues Interesse an der Ausgestaltung des Ganzen erwecken, und zweitens sollte der Leser, in medias res geführt, selbst beurteilen, inwieweit man die kristallklaren wissenschaftlichen Prinzipien von den Schlacken, welche sich ihnen bei der praktischen Verwendung anhefteten, bereits reinigte, und was man weiter für die Zukunft der drahtlosen Telegraphie erhoffen darf.

Ich erfülle schließlich noch eine angenehme Pflicht, der Gesellschaft „Telefunken“ auch an dieser Stelle meinen Dank auszusprechen für überlassene Photographien, welche ich für dieses Buch benutzte.

Berlin, im Juni 1904.

Gustav Eichhorn

Inhalt

Erster Teil.

	Seite
1. Kapitel. Historischer Überblick	1
2. Kapitel. Fortpflanzung von Wellen	8
3. Kapitel. Das magnetische Feld	14
4. Kapitel. Das elektrische Feld	17
5. Kapitel. Das elektromagnetische Feld. Strahlung	20 u. 22

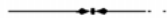
Zweiter Teil.

1. Kapitel. Prinzip der HERTZschen Versuche	24
2. Kapitel. 1) Der MARCONI-Geber. 2) Der MARCONI- Empfänger	32 u. 37
3. Kapitel. Prinzipien des Schwingungskreises von BRAUN	43
4. Kapitel. Entladungserscheinungen von Kondensatoren . .	44
5. Kapitel. Der BRAUN-Geber	52
6. Kapitel. Der BRAUN-Empfänger	65

Dritter Teil.

1. Kapitel. Eigene Versuche	71
2. Kapitel. Der Sender oder Geber.	72
3. Kapitel. Der Wellenmesser	76

	Seite
4. Kapitel. Eigenschwingung des primären Systems . . .	81
5. Kapitel. Eigenschwingung des sekundären Systems . .	85
6. Kapitel. Die Kopplung	90
7. Kapitel. Bedeutung der Gegenkapazität und Erdung . .	95
8. Kapitel. Messungen im kompletten Sender	100
9. Kapitel. Senderdispositionen	106
10. Kapitel. Apparate	119
11. Kapitel. Der Empfänger	131
12. Kapitel. Mehrfachtelegraphie	145
13. Kapitel. Schaltungen und Apparate	151
14. Kapitel. Neuerungen	168
15. Kapitel. Allgemeines	178
16. Kapitel. Schluß	183
Anhang	193
I. Literatur	193
II. THOMSON-KIRCHHOFFsche Ableitung für oszillatorische Entladungen	196
III. Formeln für Berechnungen	199
IV. Die Abstimmung in der drahtlosen Telegraphie . .	203



ERSTER TEIL.

Erstes Kapitel.

Historischer Überblick.

Das vorige Jahrhundert war kurz vor seinem Abschluß noch Zeuge einer der gewaltigsten Taten menschlichen Vermögens auf wissenschaftlichem Gebiete, nämlich der klassischen Versuche unseres HEINRICH HERTZ über die Ausbreitung elektrischer Kraft. Die alten morschen Theorien über unvermittelte Fernwirkungen von Kräften zerfielen in Trümmer und neues Leben, neue Anschauungen entstanden aus ihnen, welche auch dem natürlichen Geiste verständlich waren.

HERTZ folgte den Spuren, welche zwei geniale englische Forscher auf ihrer Bahn zurückgelassen hatten, des Physikers MICHAEL FARADAY und des Mathematikers CLERK MAXWELL, beide Männer von ungewöhnlicher Begabung und ihre Zeitgenossen weit überragend, beide getrieben von dem mächtigen Impuls des nach Wahrheit verlangenden Forschers, der instinktiv und wie durch Intuition getrieben neue Wege geht, um aus neuen Landen der erstaunten Mitwelt sein Schauen zu offen-

baren. FARADAYS Geist von ursprünglicher Natürlichkeit mußte mit Unzufriedenheit, ja mit Unmut erfüllt werden von der damaligen Vorstellung, die durch Gewohnheit und Methode gefestigt war, daß Kräfte in die Ferne wirken sollten unvermittelt, ohne nachweisbare Verbindung zwischen den aufeinander wirkenden Körpern. Nur durch das Hinzutreten eines zweiten Körpers wären also Kräfte erst in die Existenz getreten, und zwischen den Körpern sollte nichts vorgehen, das auf einen Übertragungsmechanismus schließen ließ. Eine solche Anschauung war ein Unding für FARADAYS Denkungsweise, deren Operationen den charakteristischen Stempel der logischen Schlüsse eines scharfsinnigen Mathematikers tragen, trotzdem ihm Zeit seines Lebens die Benutzung mathematischer Symbole fremd, ja unsympathisch war.

FARADAY entfachte so aufs neue die Diskussion eines fundamentalen Problems, über welches man sich damals kaum noch den Kopf zerbrach, so wenig, daß man seine Anschauungen und die Bedeutung daraus gezogener Konsequenzen gar nicht einmal verstand. Erst ein CLERK MAXWELL erfaßte die ganze Größe derselben; sie begeisterte ihn zu mathematischen Formulierungen, welche wie selbständige Gebilde teilweise spontan zum Leben erstanden erscheinen und sich fruchtbar ausdehnten weit über das hinaus, was bewußte Absicht in den Keim hineinlegen konnte. So entstand jenes gewaltige Denkmal menschlichen Könnens, die elektromagnetische Lichttheorie. Ihr Grundgedanke sagt aus, daß elektrische und magnetische Kräfte nicht zeitlos den Raum über-

springen, sondern sich wellenförmig ausbreiten, nicht mit beliebiger Geschwindigkeit, sondern mit der bekannten enormen Lichtgeschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde; ja, mehr noch, Strahlen des Lichts, strahlende Wärme und Strahlen elektrischer Kraft sind qualitativ durchaus gleichartig, denn sie beruhen sämtlich auf elektromagnetischen Oszillationen in dem alles durchdringenden Weltäther. Die Richtung der Strahlen ist die Fortpflanzungsrichtung der elektromagnetischen Energie und steht senkrecht auf den elektrischen und magnetischen Kräften, welche ihrerseits wieder zueinander normal gerichtet sind. Unser Auge vermittelt uns direkt die Wahrnehmung der ungeheuer schnellen Lichtschwingungen mit zugehörigen Wellenlängen von einigen zehntausendstel Millimeter; für die viel langsameren elektrischen Schwingungen mit Wellenlängen bis zu Hunderten und Tausenden von Metern fehlt uns ein Organ zur direkten Wahrnehmung. Ein klares und alle Phänomene einheitlich umfassendes Bild . . . wenn es der Wirklichkeit entsprochen hätte. Doch grau ist alle Theorie, wenn ihr nicht erwiesene Tatsachen als Grundlage dienen und wenn sich nicht ihre Konsequenzen wieder an Tatsachen prüfen lassen. Der Beweis schien kaum zu erbringen, weil man glaubte, auf unwegsame indirekte Pfade angewiesen zu sein; man suchte z. B. die schwache Wärmewirkung, welche entstehen mußte, aus der Energie der schwachen elektrischen Ströme, die das Licht bei der Bestrahlung eines Leiters in diesem erregen sollte.

Hier setzen nun die Arbeiten von Professor HEINRICH HERTZ ein, der die ganz außergewöhnliche experimentelle Geschicklichkeit eines FARADAY mit der spezifisch mathematischen Begabung eines MAXWELL in sich vereinigte; seinem Genius war es vorbehalten, den bisher fehlenden Beweis glänzend zu erbringen, indem er zielbewußt seine Aufmerksamkeit auf direkte elektrische Wirkungen richtete.

Die Ergebnisse seiner berühmten Untersuchungen über die Ausbreitung elektrischer Kraft sind bekannt; indem HERTZ nach spezifisch elektrischen Methoden experimentierte, stand er dennoch auf dem festen Boden der hochentwickelten Optik, als er zeigte, daß auch die unsichtbaren Strahlen elektrischer Kraft allen bekannten optischen Gesetzen der Reflexion, Brechung, Beugung und Polarisation gehorchen, als er durch Ausbildung sogenannter stehender Wellen, welche durch Interferenz fortschreitender direkter und reflektierter Wellen zustande kommen, in dem beschränkten Raume eines Zimmers die enorme Fortpflanzungsgeschwindigkeit maß und sie in völliger Übereinstimmung mit der Lichtgeschwindigkeit fand.

Von einer Beschreibung der interessanten Versuche im einzelnen müssen wir absehen; für den Zweck dieses Buches kann es uns nur auf das Grundprinzip der HERTZschen Versuche ankommen, und solches soll an passender Stelle eingehend dargelegt werden.

Diese sensationellen Versuche, welche HERTZ am Ende des Jahres 1888 bekannt gab, erregten nicht nur in der

wissenschaftlichen, sondern auch in der ganzen gebildeten Welt die lebhafteste Aufmerksamkeit.

Schon ein Jahr später regte sich dafür die praktische Spekulation, wie aus einer Anfrage hervorgeht, die HERTZ von dem Ingenieur HUBER in München erhielt, ob sich wohl durch Benutzung elektrischer Wellen ein Telephonverkehr ohne Drahtverbindung ermöglichen lasse. HERTZ beschränkte sich in seiner Antwort auf theoretische Überlegungen mit dem Hinweis, daß die Periodenzahl der Stromänderungen im Telephon zu klein sei gegenüber derjenigen elektrischer Schwingungen. Auch sonst bemerkt HERTZ nichts, was darauf hindeutete, daß er überhaupt eine praktische Verwendung der elektrischen Wellen etwa für die Zwecke einer Telegraphie für möglich halte. Das ist sehr leicht verständlich, wenn wir die Hilfsmittel betrachten, deren HERTZ sich zum Nachweis der Ausbreitung elektrischer Kräfte bediente. Ein sehr gewandter Physiker konnte damit wohl etwas Brauchbares im Laboratorium leisten, aber für die Zwecke der Praxis waren solche Methoden von vornherein aussichtslos; es fehlte, kurz gesagt, vor allem ein praktisch brauchbarer Indikator als registrierende Empfangsvorrichtung für elektrische Wellen.

Im Jahre 1890 wurde diesem Übelstand in ganz unerwarteter Weise abgeholfen durch eine Entdeckung des Franzosen BRANLY, welche zur Herstellung des sogenannten Kohärrers führte, eines außerordentlich empfindlichen Indikators für elektrische Impulse, aber trotzdem ein verlässliches einfaches Instrument, das jeder Laie benutzen kann.

Daß nun dennoch weitere fünf Jahre verstreichen, ehe wir von einer versuchten praktischen Anwendung hören, will uns fast unverständlich erscheinen in unseren heutigen Tagen, wo sich auf eine neu auftauchende Sache, noch ehe sie ihren organischen Reifeprozess vollendet hat, gleich Hunderte stürzen, um sie auch materiell auszubeuten.

Im Jahre 1895 berichtet endlich Professor POPOFF von der Militärakademie in Kronstadt über eine Vorrichtung, in welche er einen Kohärer eingeschaltet hatte, dem durch Verbindung mit einem Blitzableiter die Impulse luftelektrischer Entladungen zugeführt wurden, die die Vorrichtung nun automatisch registrierte.

Im Jahre 1896 beginnt GIULIEMMO MARCONI seine Versuche mit der bewußten Absicht, sie zu praktischen Zwecken einer „Telegraphie ohne Draht“ auszugestalten, zuerst auf dem Landgute seines Vaters bei Bologna, später in England mit tatkräftiger Unterstützung durch PREECE, dem verdienstvollen Chef des englischen Telegraphenwesens.

MARCONI hat auf diese Weise als erster tatsächlich über viele Kilometer drahtlos telegraphiert und man kann nicht genug seine außerordentliche technische Geschicklichkeit ebenso wie seinen eisernen Fleiß und die Energie bewundern, mit denen er die sich ihm entgegenstellenden Schwierigkeiten zu überwinden wußte. Andererseits ist es völlig verfehlt, MARCONI als den Erfinder der drahtlosen Telegraphie zu bezeichnen, wie es eine übertriebene Reklame hinausposaunt; er hat an den prinzipiellen Errungenschaften nicht das mindeste eigene Verdienst, stand

vielmehr bei seinen Arbeiten vollständig auf dem sichern Boden der HERTZschen Versuche, über welche er bei Professor AUGUSTO RIGHI in Bologna Vorlesungen gehört hatte, der sich intensiv damit beschäftigte besonders in dem Sinne, möglichst kleine elektrische Wellen zu erzeugen.

Mit wachsenden Entfernungen, welche drahtlos überbrückt werden sollten, gelangte indes MARCONI sehr bald an Grenzen der Wirksamkeit an, ohne daß es zunächst offenkundig war, an welchen Ursachen dies lag.

Inzwischen war in Deutschland Professor FERDINAND BRAUN in praktische Versuche mit drahtloser Telegraphie hineingezogen worden und schon nach kurzer Zeit hatte er klar die Mängel und teilweise unrichtigen Voraussetzungen des ursprünglichen MARCONI-Systems erkannt.

Mit größter Präzision und Vollständigkeit beschrieb er dann, welche wissenschaftlichen Prinzipien in Rücksicht zu ziehen und wie solche in praxi zu verifizieren seien, wenn man auf wirklich brauchbare Resultate großen Stils rechnen wolle. Das Werk krönte den Meister und die bekannten enormen Erfolge der letzten Zeit sprechen eine beredtere Sprache, als es Worte auszudrücken vermöchten. Innerhalb der Grenzen, welche dem neuen Verkehrsmittel durch seine Natur auf seinem Arbeitsfeld gesetzt sind, erscheinen heute die Wege frei und geebnet.

Das ist in großen Umrissen die chronologische Darstellung des Lebensganges der modernen drahtlosen Telegraphie, die wir nun in ihren Prinzipien, ihren Einzelnzügen fortschreitender Entwicklung und ihrer Arbeitsmethode näher betrachten wollen.

Zweites Kapitel.

Fortpflanzung von Wellen.

Werden in einem elastischen Medium periodische Erschütterungen erzeugt, so müssen solche sich wellenförmig ausbreiten und die Möglichkeit „drahtlos zu telegraphieren“ ist gegeben durch die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.

Der Sitz der letzteren ist nicht die Luft, sondern jenes unwägbare und für unsere Sinne nicht wahrnehmbare Etwas, das den Raum und alle Körper erfüllt; wir nennen es den „Äther“. Die vollständige Erkenntnis seiner Wesenheit erscheint als das letzte Ziel der Physik und die sich in letzter Zeit Schritt auf Schritt folgenden Entdeckungen, welche zur Bildung des Begriffs der Elektronen führten, d. h. des kleinsten Elementarquantums der Elektrizität, quasi eines Elektrizitätsatoms, scheinen auch dieses Problem der Lösung näher zu bringen. Das eine erscheint jedenfalls gewiß, daß die reale Existenz des Äthers, ohne dessen Annahme wir bei allen Strahlungsphänomenen vollständig im Dunkeln tappen, nicht mehr zweifelhaft ist.

Wenn auch die Elastizität des Äthers, in welchem der komplizierte Mechanismus einer elektromagnetischen Schwingung sich ausbildet, von vollständig anderer Art ist als diejenige irgend eines greifbaren elastischen Körpers, so ist dennoch das Grundgesetz für die Fort-

pflanzung dasselbe wie bei allen Arten von Wellen und es ist deshalb statthaft, bekannte Analogien heranzuziehen.

Als naheliegend für einen Vergleich könnten die Schallschwingungen erscheinen und veranschaulicht Figur 1 den Vorgang einer fortschreitenden Schallwelle.

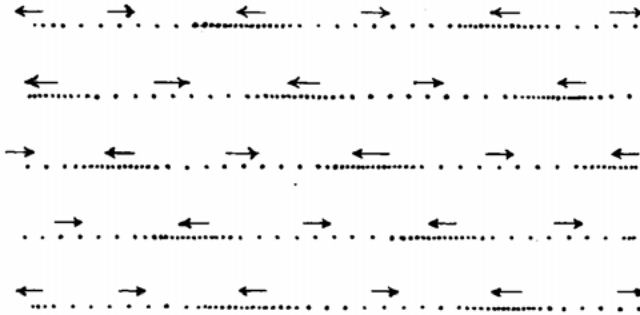


Fig. 1. Fortschreitende Longitudinalwelle (Schallwelle).

Die Punkte stellen Teilchen der Luft dar, die bekanntlich in diesem Falle der Sitz der Erscheinungen ist.

Die Schwingung ist hier eine sogenannte longitudinale, d. h. die Bewegung der Teilchen geschieht in der Richtung der Fortpflanzung der Energie, wobei sie sich bald einander nähern, bald voneinander entfernen müssen; die Substanz wird dadurch an einzelnen Stellen verdichtet, an anderen verdünnt und dies findet successive zu immer anderen Zeiten an allen Stellen der Fortpflanzungsrichtung statt; an entsprechenden Stellen herrscht eine periodisch wechselnde Bewegung, die einen periodisch wechselnden Druck im Gefolge hat.

Denken wir uns die sich bewegenden Teilchen um 90 Grad aus ihrer Ebene gedreht, so kommen wir zu einer anderen Art von Schwingung, welche möglich ist in elastischen Körpern, in denen alle Teilchen mit elastischen Kräften aufeinander wirken. Wir nennen solche eine Transversalschwingung und Figur 2 gibt uns ein Modell einer fortschreitenden Transversalwelle.

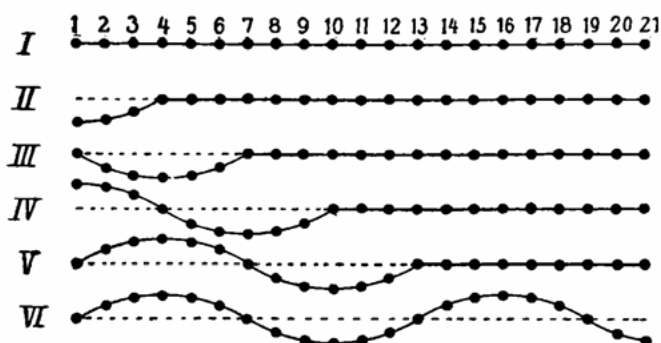


Fig. 2. Fortschreitende Transversalwelle.

Lage I bezeichnet die Ruhelage einer Anzahl kleinster Teilchen, welche jetzt alle miteinander in einem elastischen Zusammenhang stehen sollen.

Wird nun das erste Teilchen aus seiner normalen Lage verschoben und dann losgelassen, so vollführt es Schwingungen um seine Gleichgewichtslage; successive werden dann auch die folgenden Teilchen verschoben und zu gleichen Schwingungen angeregt. So pflanzt sich die periodische Störung in der Richtung der Verbindungslinie der Teilchen fort, während sich jedes Teilchen senk-

recht dazu bewegt und das ist charakteristisch für eine transversale Schwingung.

Den Abstand zwischen Punkt 1 und 13 nennt man die Länge einer Welle, welche sich aus zwei symmetrischen Hälften, dem Wellenberg und Wellental, zusammensetzt.

Die Figur veranschaulicht nicht nur den Vorgang der Fortpflanzung, sondern läßt auch das erste wichtige Gesetz erkennen. In der Zeit T nämlich, während welcher ein Teilchen eine vollständige Schwingung nach unten und oben und wieder zurück bis zur Ruhelage ausführt, hat sich die Bewegung um eine ganz bestimmte Strecke fortgepflanzt, nämlich gerade um eine ganze Wellenlänge λ . In der Einheit der Zeit, d. h. in einer Sekunde, würde sich also die Bewegung fortgepflanzt haben um eine Strecke $\frac{\lambda}{T}$, und da der Weg in der Zeiteinheit die Fortpflanzungsgeschwindigkeit C bedeutet, so erhalten wir die einfache Beziehung:

$$\frac{\lambda}{T} = C \text{ oder } \lambda = C \cdot T \text{ oder } \lambda = \frac{C}{n}$$

wo n die Schwingungszahl bedeutet, d. h. die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, was ja nichts anderes ist als der reziproke Wert von T .

Diese einfache Beziehung, welche immer gilt, ob sich die einzelnen Teilchen in der beschriebenen Weise oder etwa in Kreisen oder Ellipsen um ihre Gleichgewichtslage bewegen, gestattet also sofort die Wellenlänge zu berechnen, wenn die anderen beiden Größen bekannt sind.

Auf zwei Dinge ist ferner noch die Aufmerksamkeit zu ziehen. Zunächst sehen wir, daß die einzelnen Teilchen nur in kleinen Elongationen in geschlossenen Bahnen um ihre Gleichgewichtslage pendeln, aber sich selbst nicht mit der Bewegung entfernen; was sich fortpflanzt ist nur die Energie, und zwar verwandelt sich die Energie der elastischen Kräfte unaufhörlich in die Energie der Bewegung und umgekehrt; wir sprechen von einer permanenten Verwandlung potentieller in kinetische Energie.

Zweitens sehen wir, daß derselbe Vorgang sich abspielt an immer anderen Stellen, nur zu anderen Zeiten; wir sprechen von einer Verschiebung der Schwingungsphase und bezeichnen mit Phase den Teil des ganzen Weges, welchen ein Teilchen zu irgendeiner Zeit beschrieben hat, nachdem es zuletzt seine Gleichgewichtslage passierte.

Optische und elektrische Schwingungen sind nun in prinzipieller Beziehung von der Natur der Transversalschwingungen, und nach der früheren Auffassung in der Optik, daß der Äther sich wie ein festelastischer Körper verhalte, hätten wir eine ausreichende Beschreibung gemacht. Allein dem ist nicht so, und wenn auch die Gesetze ohne weiteres ihre Gültigkeit behalten, so ist doch der Mechanismus einer elektromagnetischen Schwingung ein völlig differenter gegenüber einer einfachen Transversalschwingung, und es erscheint unerläßlich, sich ein etwas vollständigeres Bild davon im Sinne der MAXWELLSchen Theorie zu machen, soweit es durch eine

Beschreibung ohne Anwendung mathematischer Symbole möglich erscheint.

Seit FARADAY und MAXWELL ist es, wie schon erwähnt, als erwiesen zu betrachten, daß der Sitz der elektromagnetischen Phänomene der freie Weltäther ist, beziehungsweise der Äther in der groben Materie, durch deren Nähe er anscheinend modifiziert ist. Wir kennen im ganzen drei Kraftäußerungen des Äthers, die sich offenbaren in den Wirkungen der Schwerkraft, der elektrischen und der magnetischen Kraft.

Lassen wir die noch sehr geheimnisvolle Schwerkraft oder Gravitation hier beiseite, um unser Interesse ausschließlich den beiden anderen Phänomenen zuzuwenden, so erkennen wir, daß letztere unaufhörlich miteinander verknüpft, ja überhaupt nur Wirkungsäußerungen ein und desselben Mechanismus sind, der sich nicht zergliedern läßt. Fast könnte es überhaupt fraglich erscheinen, ob die Worte ‚elektrisch‘ und ‚magnetisch‘ als der sparsamste, einfachste, begriffliche Ausdruck der Tatsachen erscheinen oder ob sich nicht eine einzige, mehr ädäquate Bezeichnung finden ließe, welche den Mechanismus und seine Eigenschaften unmittelbar vor Augen führte.

Drittes Kapitel.

Das magnetische Feld.

Wir wenden unsere Aufmerksamkeit zunächst einer bekannten Erscheinung zu, die einen Zusammenhang zwischen magnetischen und elektrischen Kräften offenbart.

Es ist bekannt, daß ein elektrischer Strom eine Magnetnadel dauernd aus ihrer Nord-Süd-Richtung ablenkt, ein einfacher Beweis, daß den Strom ein magnetisches Feld umgibt.

Dieser Versuch, der zwar weiter schon erkennen läßt, daß die magnetische Kraft senkrecht zum stromdurchflossenen Leiter gerichtet ist, führt uns jedoch noch nicht zu einer Vorstellung des zugrunde liegenden Vorganges und wir finden bald, daß die starre Magnetnadel in der Nähe des starren Stromleiters nur der Einwirkung soweit folgte, als sie dazu in der Lage war; die Erscheinung ergibt sich als ein noch merkbarer letzter Rest einer Wirkung von ganz spezieller Natur.

Erstrebt man nämlich eine möglichst unsymmetrische Einwirkung auf die beiden Pole und macht ferner den Magneten als Teil der Strombahn frei beweglich, so erhält man das sonderbare Resultat, daß der Magnet rotiert, und zwar in bestimmtem Sinne; kehrt man die Richtung des Stromes um, so rotiert auch der Magnet in entgegengesetztem Sinne. Ist der Magnet starr befestigt und der Leiter leicht beweglich, so schlingt sich

letzterer, sobald er vom elektrischen Strom durchflossen wird, spiralförmig um den Magneten.

Ein Strom und ein Magnetpol üben also eine drehende Kraft aufeinander aus und hier ist offenbar ein ganz anderer Mechanismus tätig als sonst zwischen Körpern bei ihrer Wirkung und Gegenwirkung aufeinander, die sich in ihrer Verbindungslinie vollziehen.

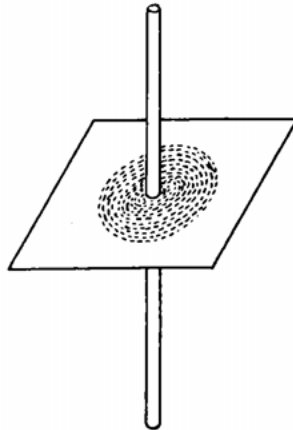


Fig. 3. Magnetische Kraftlinien von einem geradlinigen Strom.

Eine ruhende elektrische Ladung und ein ruhender Magnetpol würden dies Phänomen nicht hervorbringen, vielmehr ist eine Bewegung erforderlich, und gerade diese Erkenntnis führte auf die Spur des sich wirklich abspielenden Vorganges.

Man gelangt auf diese Weise zu der Annahme, daß das magnetische Feld eine Art rotatorischer Bewegung sei und man scheint auf die Schlußfolgerung hingewiesen,