

## Werk

**Titel:** Maxwells Theorie der Elektrodynamik, erweitert durch Berücksichtigung der molecu...

**Autor:** Wiechert, E.

**Ort:** Braunschweig

**Jahr:** 1896

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110\\_0011](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0011) | LOG\_0835

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

# Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte über die Fortschritte auf dem  
Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

Unter Mitwirkung

der Professoren Dr. J. Bernstein, Dr. W. Ebstein, Dr. A. v. Koenen,  
Dr. Victor Meyer, Dr. B. Schwalbe und anderer Gelehrten

herausgegeben von

Dr. W. Sklarek.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

Durch alle Buchhand-  
lungen und Postanstalten  
zu beziehen.

Wöchentlich eine Nummer.  
Preis vierteljährlich  
4 Mark.

XI. Jahrg.

Braunschweig, 21. November 1896.

Nr. 47.

**Maxwells Theorie der Elektrodynamik,**  
erweitert durch Berücksichtigung der mole-  
cularen Constitution der Materie.

Von E. Wiechert,

Privatdocent der Physik an der Universität Königsberg i. Pr.

(Original-Mittheilung.)

Mehrfachen Anregungen Folge leistend, skizzire ich im folgenden in aller Kürze das wesentlichste der Erweiterung von Maxwells Theorie der Elektrodynamik, die ich in einigen neueren Arbeiten<sup>1)</sup> erstrebe. — Während der Abfassung dieser Mittheilung habe ich erfahren, dass auch von anderer Seite in ganz gleicher Richtung gearbeitet wird, nämlich von H. A. Lorentz<sup>2)</sup> in Leyden. Unsere Schriften ergänzen sich in sehr erfreulicher Weise, denn H. A. Lorentz denkt hauptsächlich an die Anwendung der Theorie auf bewegte Medien, während es mir auf die Feststellung der allgemeinen Grundlagen der Theorie ankommt. —

Wie es scheint, hat sich Maxwell bei der Ausarbeitung seiner Theorie vielfach leiten lassen durch gedankliche Constructionen molecularer mechanischer Modelle, in den definitiven Formulierungen aber beseitigte er sorgfältig alles, was auf den Bau des elektrodynamischen Feldes und die specielle Art der elektrodynamischen Vorgänge Bezug hat. Gerade diese Beschränkung ist charakteristisch für die schliessliche Gestalt der Theorie; gerade ihr verdankt die Theorie jene grossartige Einfachheit der Grundlinien, welche einen Boltzmann in Anlehnung an unseren grossen Dichter sagen liess:

„War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb,  
Die mit geheimnissvoll verborg'nem Trieb  
Die Kräfte der Natur um mich enthüllen  
Und mir das Herz mit stiller Freude füllen.“

Ganz klar erkennen wir aber auch, dass ein wesentlicher Fortschritt nur möglich ist, wenn wir

<sup>1)</sup> Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg i. Pr., 1894, S. [4], 1896, S. 1 und [29]. Wiedemanns Annalen. 1896, 59, 283.

<sup>2)</sup> La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants, Leyden, E. J. Brill, 1892; Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern, 1895, in gleichem Verlage. — Die erste Abhandlung ist auch in den Archives néerlandaises des sciences 1892, t. 25 erschienen.

uns entschliessen, die Allgemeinheit der Theorie aufzugeben, um speciellere Vorstellungen über die elektrodynamischen Vorgänge auszubilden.

Es ist auch nicht schwer einzusehen, was hier vor allem Noth thut.

Maxwells Theorie genügt den bisherigen Beobachtungen wohl für den freien Aether, nicht aber für die Materie. Ihre einfachen Gleichungen sind z. B. durchaus ungeeignet zur Wiedergabe der complicirten Erscheinungen der Lichtdispersion und Absorption. Hier kommt die Individualität der materiellen Molecüle zur Geltung, auf welche die Theorie keine Rücksicht nimmt.

Der „elektrische Strom“ bildet für die Theorie ein Bewegungsphänomen, von dem sie nicht einmal aussagt, ob es sich um eine fortschreitende Bewegung längs der Stromlinien oder um eine Wirbelbewegung um die Stromlinien handelt. Die Wanderung der Ionen und alle die wichtigen damit zusammenhängenden Erfahrungen bleiben der Theorie völlig fremd. Der Grund hierfür liegt wiederum in der Nichtbeachtung der molecularen Constitution.

Durch berühmte Versuche von Fizeau und Anderen mit strömenden Flüssigkeiten und durch die Aberration des Lichtes ist bekannt, dass bewegte Materie die Lichtwellen nicht mitnimmt. Zur Erklärung sind wir gezwungen, Maxwells einheitliche Behandlung des elektrodynamischen Feldes für die mit Materie erfüllten Räume aufzugeben, und anzunehmen, dass in diesen neben der sinnlich wahrnehmbaren Materie noch ein anderes Medium, der Aether, vorhanden ist, der die Bewegungen der Materie nicht mitmacht.

Diese Hinweise werden genügen. Sie führen uns zu der Hoffnung, einen tieferen Einblick in die Erscheinungen der Elektrodynamik zu gewinnen, als ihn die einfache Maxwellsche Theorie gewähren kann, wenn wir die Materie ansehen als Ansammlung beweglicher, materieller Atome im ruhenden Aether. — Bei der Ausführung dieses Gedankens muss angenommen werden, dass das elektrodynamische Verhalten des Feldes durch die Materie sogar in ihrem Inneren nicht direct, sondern nur indirect beeinflusst wird, und zwar, indem unter der Einwirkung der Felderregung in der Materie

moleculare Umwandlungen vor sich gehen, welche ihrerseits Modificationen der Felderregung verursachen. — Als eigentlicher Träger der elektrodynamischen Erregung erscheint hiernach überall, auch im Innern der Materie, der Aether, dessen elektrodynamische Eigenschaften überall dieselben sind, und der selbst innerhalb der Materie an ihren Bewegungen nicht Antheil nimmt<sup>1)</sup>. — Der Einfluss der Materie steht erst in zweiter Linie, ist etwas Hinzutretendes.

Der befremdende Eindruck, den diese Annahmen beim ersten Anblick vielleicht machen werden, wird verschwinden, wenn man bedenkt, dass sie in sachgemässer Umwandlung eben dieselben sind, zu welchen sich schon Fresnel für die Theorie der Optik bewegter Medien genöthigt sah, und dass ein Theil von ihnen unseren Ansichten über die Wirksamkeit der Gravitation stillschweigend zu Grunde liegt<sup>2)</sup>.

Die fundamentalen Annahmen der einfachen Maxwell'schen Theorie für den Aether, welche in aller ihrer Einfachheit als erschöpfende Zusammenfassung von Elektrostatik, Elektrokinetik und Optik gelten können, und welche durch die Hertz'schen Entdeckungen eine so schöne Bestätigung gefunden haben, können und werden wir selbstverständlich als ein völlig sicheres Fundament beibehalten. Der weitere Ausbau der Theorie ist dann durch die obigen Annahmen vollständig vorgeschrieben, so dass in der ganzen Theorie, von Anfang bis zu Ende, in allen wesentlichen Dingen die Willkür ausgeschlossen scheint. — Es braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden, dass dadurch ein Gefühl der Sicherheit erzeugt wird, welches nicht hoch genug geschätzt werden kann. —

Nach dieser weit ausgeführten Einleitung werden wir uns im folgenden um so kürzer fassen können.

Die Maxwell'sche Theorie rechnet nicht mit Fernwirkungen, wie die älteren Theorien, sondern nur mit Wirkungen, welche durch das Zwischenmedium übermittelt werden. Wenn eine elektrisirte Hollundermarkkugel von einer elektrisirten Siegelackstange angezogen oder abgestossen wird, wenn eine Magnetnadel sich in der Nähe eines Magneten richtet, so beobachten wir nach der Theorie zunächst die Einwirkung des Feldes auf die Kugel oder die Nadel. Es äussern sich dabei elektrodynamische Zustandsänderungen des Aethers, welche durch die Siegelackstange und den Magneten erregt wurden.

Wir haben zwei Arten der elektrodynamischen Erregung des Aethers zu unterscheiden: die elek-

<sup>1)</sup> Der letztere Ausspruch ist natürlich nur im grossen und ganzen zu verstehen. Innere Bewegungen des Aethers in kleinem Bereich, insbesondere auch Bewegungen in der Nähe der wandernden, materiellen Atome dürfen stattfinden.

<sup>2)</sup> Dies ist der Fall, wenn wir annehmen, die Wechselwirkung zwischen irgend zwei materiellen Theilchen werde durch die Anwesenheit der übrigen Materie nicht beeinflusst.

trische und die magnetische. Jede von ihnen besitzt an jeder Stelle des Feldes eine Intensität und eine Axe. Parallel der Axe der elektrischen Erregung wird die elektrisirte Hollundermarkkugel getrieben, parallel der Axe der magnetischen Erregung sucht das Feld die magnetische Axe der Magnetnadel zu stellen. — Intensität und Axe bestimmen die betreffende Erregung noch nicht vollständig; es giebt dann noch zwei entgegengesetzte Zustände, bei denen der besprochene Antrieb des Feldes in entgegengesetzter Richtung erfolgt. Nach vielerlei Anzeichen haben wir die Ursache hierfür in einem polaren Charakter der elektrischen Erregung und in einem rotationalen Charakter der magnetischen Erregung zu suchen. Hiermit soll ausgesagt werden, dass bei der elektrischen Erregung die beiden Richtungen längs der Axe sich von einander unterscheiden (vielleicht weil ein Stoff in einer gewissen Richtung längs der Axe verschoben ist), und dass bei der magnetischen Erregung die beiden Drehrichtungen um die Axe sich von einander unterscheiden (vielleicht weil ein Stoff in einer gewissen Richtung um die Axe herumwirbelt).

Die jeweiligen, zeitlichen Aenderungen jeder der beiden elektrodynamischen Erregungen hängen davon ab, wie in der unmittelbaren Umgebung der betreffenden Stelle die andere Erregung vertheilt ist. — Im Interesse der Kürze muss leider darauf verzichtet werden, hier jene hochberühmten Gleichungen anzugeben und zu erläutern, welche den Zusammenhang darstellen.

Elektrodynamische Wellenbewegungen, bei denen die beiden Erregungen periodische Schwankungen erleiden, heissen bei langsamer Periode und entsprechend langer Wellenlänge Hertz'sche Schwingungen, bei kürzerer Periode und kürzerer Wellenlänge Wärmeschwingungen und Lichtschwingungen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Röntgen-Strahlen ebenfalls elektrodynamische Wellenbewegungen sind, solche jedoch, bei denen die elektrodynamischen Erregungen nicht periodisch, sondern in sehr kurzen, jähren, unregelmässig auf einander folgenden Stössen hin- und herschwingen.

Indem wir nun daran gehen, die Theorie der Elektrodynamik auf die mit Materie erfüllten Räume auszudehnen, ist nach unserem Programm zweierlei zu beachten und zu trennen: die Einwirkung der Materie auf den Aether und die Einwirkung des Aethers auf die Materie. Was zunächst die erstere anbetrifft, so lehrt die Erfahrung, dass die Materie sowohl die elektrische wie auch die magnetische Erregung hervorzurufen vermag. Die elektrische Erregung erweist sich als besonders wichtig für die Theorie. Sobald sie auftritt, sagen wir, die Materie sei „elektrisiert“, oder auch, sie enthalte „Elektricität“. Die „Menge der Elektricität“ bildet ein Maass für die Intensität der Einwirkung.

Durch die fundamentalen Gleichungen für den freien Aether erfahren wir, dass zu der elektrischen Erregung des Aethers in der Umgebung von elek-

trisirter Materie auch die magnetische Erregung hinzutritt, sobald die Materie sich bewegt.

Man denke sich nun Systeme elektrisirter Körper, die in Strömen durch den Aether wandern. Es lässt sich dann die magnetische Erregung, welche durch die Bewegung verursacht wird, ohne Schwierigkeiten berechnen, und es ergeben sich genau diejenigen Gesetze, welche wir durch die Erfahrung für galvanische Ströme kennen. Nehmen wir noch die Erkenntniss hinzu, dass bei der elektrolytischen Leitung die Elektrizität in ganz ähnlicher Weise von der Materie fortgeführt wird wie in unserem Bilde, so ist für diese Art der Leitung die Erklärung der auftretenden magnetischen Erregung sowohl in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht gewonnen. — Bei der metallischen Leitung wird die Elektrizität nicht von der Materie fortgeführt, sondern von Atom zu Atom ausgetauscht. Da die Vertheilung der magnetischen Erregung dennoch dieselbe ist, müssen wir schliessen, dass der Austausch der Elektrizität für die Erregung des Aethers einer Fortführung mit der Materie äquivalent ist. — Das Verhalten der magnetischen Medien wird von der Theorie in allen Einzelheiten richtig angegeben, wenn wir in Anlehnung an Ampère als Ursache der Magnetisirung moleculare elektrische Ströme annehmen. —

Um zweitens die Einwirkung des Aethers auf die Materie darzustellen, genügen die beiden folgenden, altbekannten Sätze:

a) Der elektrisch erregte Aether übt auf ein elektrisirtes, materielles Theilchen unabhängig von dessen Bewegung eine mechanische Kraft aus, welche parallel ist der Axe der Erregung, entgegengesetzt bei entgegengesetzter Elektrisirung, und proportional den Intensitäten von Erregung und Elektrisirung.

b) Der magnetisch erregte Aether übt auf ein elektrisirtes, materielles Theilchen abhängig von dessen Bewegung eine mechanische Kraft aus, die senkrecht steht sowohl auf der Axe der Erregung wie auf der Richtung der Bewegung, die entgegengesetzt verläuft bei entgegengesetzter Elektrisirung, und deren Intensität proportional ist mit den Intensitäten von Erregung und Elektrisirung und mit der Grösse der Geschwindigkeitscomponente senkrecht zu der Axe der Erregung.

Die Kräfte a) führen zu dem Coulombschen Gesetz; sie sind es, welche die Elektrizität an die Oberfläche der Leiter treiben; sie bewegen die Elektrizität in den galvanischen Strömen entgegen dem Widerstande der Materie; sie verursachen in den Nichtleitern elektrische Verschiebungen und veranlassen so die dielektrische Polarisirung; sie bedingen den Einfluss der Materie auf die Lichtbewegung; ihnen ist die elektromagnetische Induction in ruhenden Leitern zuzuschreiben.

Die Kräfte b) verursachen die ponderomotorischen Kräfte in Stromkreisen, (die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen), die mechanische Wechselwirkung zwischen Magneten, sowie zwischen Mag-

neten und Stromkreisen, das Hallsche Phänomen, Ferromagnetismus und Diamagnetismus, die bei der Bewegung eines Leiters in ihm selbst inducirten elektromotorischen Kräfte, die elektromagnetische Drehung der Polarisirungsebene des Lichtes. —

Die vorstehende Uebersicht zeigt, dass wir bei unserer Weiterführung der Maxwellschen Theorie durch Rücksichtnahme auf die moleculare Structur der Materie wiederum zu der alten Anschauung zurück gelangen, welche zwei elektrische Fluida annimmt. Der Leser wird vielleicht überhaupt mit Verwunderung die Bemerkung machen, dass in der ganzen, ihm als neu vorgeführten Darstellung der Theorie eigentlich gar nichts neues enthalten ist. Das ist gewiss richtig: es lagen in der That alle Elemente unserer erweiterten Theorie seit langem vor, und es handelte sich nur darum, sie heraus zu suchen und zusammen zu fügen. —

Die Besprechung eines Punktes von besonders hohem, theoretischem Interesse wird man vermisst haben: ich meine die Frage nach dem Verhältniss von Materie und Elektrizität. Für den Ausbau der Theorie der Elektrodynamik durfte sie unerörtert bleiben, hier aber, zum Schluss gelangt, wollen wir uns anhangsweise mit ihr beschäftigen, und so gewissermaassen einen Blick in das vor uns liegende, unbekannt Land werfen. Freilich werden wir nur unsichere Umriss zu sehen bekommen.

In früheren Zeiten meinte man, die Elektrizität könne sich mit der Materie in allen möglichen Mengenverhältnissen verbinden. Diese Ansicht muss verworfen werden, seit uns die Faradayschen Gesetze der elektrolytischen Action darüber belehrt haben, dass es eine bestimmte Minimalmenge der Elektrizität giebt, welche sich mit den materiellen Atomen einfach oder in ganzen Vielfachen, nicht aber in anderen Verhältnissen vereinigen kann. Die Elektrizität scheint hiernach — wie es Helmholtz formulirte — atomistisch gebaut, gerade so wie die Materie. Wie von materiellen Atomen, so können wir auch von elektrischen Atomen reden.

Auch elektrisch nicht geladene, materielle Atome, z. B. die des Quecksilberdampfes, stehen mit dem Aether in elektrodynamischer Wechselbeziehung: das wird ja durch die Lichtabsorption und -Emission sogleich bewiesen. Der Bau der Spectren lässt sogar schliessen, dass die Beziehungen recht complicirter Art sind. — Diese Thatsachen zeigen entweder, dass die elektrischen Atome auch in den scheinbar unelektrischen, materiellen Atomen enthalten sind, oder, dass die Materie auch noch in anderer Weise als durch Vermittelung der elektrischen Atome mit dem Aether elektrodynamisch verkettet ist.

Bei weitem die einfachste Art, in welcher sich uns ein Verständniss aller dieser Erscheinungen erschliesst, wird durch die Annahme gegeben, dass die elektrodynamische Wechselwirkung mit dem Aether eine fundamentale Eigenschaft der Materie selbst ist, und dass die elektrischen Atome, die z. B. bei der metallischen Leitung von einem materiellen Atom