

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Gesammelte Werke**

Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft

**Hertz, Heinrich**

**Vaduz/Liechtenstein, 1984**

Nachträgliche Anmerkungen

[urn:nbn:de:bsz:31-269600](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-269600)

## Nachträgliche Anmerkungen.

(1891.)

1) Zu No. 2. Seite 32.

v. Helmholtz ist es, der zuerst in seiner Abhandlung „Ueber die Erhaltung der Kraft“ im Jahre 1847 die Behauptung aufstellt, dass die Entladung der Leydener Flasche oscillirend sei. Er schliesst dies aus der abwechselnd entgegengesetzt magnetisirenden Wirkung derselben und aus der Erscheinung, dass bei dem Versuch, Wasser durch elektrische Schläge zu zersetzen, sich beide Gasarten an beiden Elektroden entwickeln. Sir William Thomson begründet die gleiche, von ihm selbstständig gefundene Behauptung durch die Theorie und giebt die noch heute gültige Berechnung der mathematischen Verhältnisse derselben im Jahre 1853, Phil. Mag. (4) 5. p. 393. Im Uebrigen seien von der älteren grundlegenden Litteratur genannt die Arbeiten:

für die Flaschenentladung:

Feddersen, Pogg. Ann. 103, p. 69, 1858; 108, p. 497, 1859; 112, p. 452, 1861; 113, p. 437, 1861; 115, p. 336, 1862; 116, p. 132, 1862.

Paalzow, Pogg. Ann. 112, p. 567, 1861; 118, p. 178, 357, 1863.

v. Oettingen, Pogg. Ann. 115, p. 513, 1862; Jubelbd. p. 269, 1874.

G. Kirchhoff, Pogg. Ann. 121, p. 551, 1864; Ges. Abhandl. p. 168.

L. Lorenz, Wied. Ann. 7, p. 161, 1879.

Für die Oscillationen geöffneter Inductionsapparate:

Helmholtz, Pogg. Ann. 83, p. 505, 1851; Ges. Abh. I, 429.

In dieser Arbeit ist bereits die Theorie implicite enthalten, obwohl explicite nicht auf den besonderen Fall von Oscillationen angewandt.

v. Helmholtz, Ges. Abh. I. p. 531, (1869).

Bernstein, Pogg. Ann. 142, p. 54, 1871.

Schiller, Pogg. Ann. 152, p. 535, 1872.

2) Zu No. 2. Seite 37.

Anfangs isolierte ich sorgfältig mit Siegellack etc. Ich machte aber immer mehr die Erfahrung, dass für alle hier in Betracht kommenden Versuche trockenes Holz eine vollkommen genügende Isolation gewährt. In den späteren Arbeiten ist kein anderes Isolationsmittel mehr angewandt worden.

3) Zu No. 2. Seite 42.

Ich vermute, dass die Wirksamkeit des Inductionsapparats zum Theil auch darauf beruht, dass er das Potential unmittelbar vor der Entladung sehr schnell anwachsen lässt. Aus verschiedenen Nebenerscheinungen möchte ich schliessen, dass bei diesem schnellen Anwachsen die Spannung über dasjenige Maass hinausgetrieben wird, bei welchem der Funke schon entsteht, wenn die Spannung langsam wächst, und dass hierdurch die Entladung noch plötzlicher und energischer eintritt, als wenn sich eine statische Ladung entlädt.

4) Zu No. 2. Seite 49.

Man vergleiche mit diesen Curven die verwandten Resonanzcurven, welche Herr V. Bjerknes durch genauere messende Versuche erhalten hat. Wied. Ann. 44, p. 74, 1891.

5) Zu No. 2. Seite 54.

Diese Bemerkung meiner ersten Arbeit zeigt klar, dass ich mir die Schwingungen meines primären Leiters niemals als völlig regelmässige langandauernde Sinusschwingungen vorgestellt habe. Der Werth der Dämpfung ist neuerdings von Herrn V. Bjerknes sehr sorgfältig bestimmt worden. (Wied. Ann. 44. p. 74, p. 513, 1891.) Die Fig. 40 gibt uns eine Vorstellung

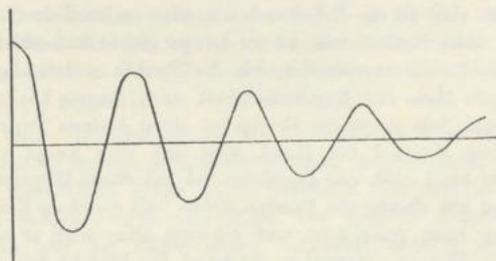


Fig. 40.

von der Schwingung, welche ein unserem primären Leiter ähnlicher Leiter nach den Ergebnissen seiner Versuche ausführte.

6) Zu No. 2. Seite 55.

An dieser Stelle hat sich ein verhängnissvoller Fehler in die Rechnung eingeschlichen, welcher seine störenden Wirkungen noch auf spätere Arbeiten hinauserstreckt.

Die Capacität  $C$  in der Formel  $T = \pi \sqrt{PC}/A$  bedeutet die Menge der Elektrizität, welche sich an dem einen Ende des schwingenden Leiters findet, wenn die Potentialdifferenz der beiden Enden gleich Eins ist. Bestehen nun diese Enden aus zwei weit von einander entfernten Kugeln und ist ihre Potentialdifferenz gleich 1, so ist die Potentialdifferenz einer jeden von ihnen gegen den umgebenden Raum gleich  $\pm 1/2$ , auf jeder von ihnen befindet sich also eine Elektrizitätsmenge, deren Menge in absoluten Einheiten wir erhalten, wenn wir den in Centimetern gemessenen Radius, die Capacität der Kugel, durch 2 dividiren. Wir haben also hier nicht zu setzen  $C = 15$  cm

sondern  $C = \frac{15}{2}$  cm. Die Schwingungsdauer  $T$  ergibt sich jetzt im Verhältniss von 1:  $\sqrt{2}$  kleiner, also jetzt  $T = 1,26$  Hundertmilliontel Secunden.

Wie schon in der Einleitung bemerkt, hat zuerst Herr H. Poincaré auf diesen Fehler hingewiesen. C. R. 111. p. 322. 1891.

7) Zu No. 2. Seite 57.

Das Resultat dürfte etwa richtig sein, aber die Ableitung ist ohne Werth. Abgesehen davon, dass in der Rechnung der oben erwähnte Fehler zu corrigiren wäre, ist auf die Dämpfung durch Strahlung keine Rücksicht genommen, an welche ich bei Abfassung dieser Abhandlung noch nicht dachte.

8) Zu No. 4. Seite 74.

Unter der Complication, von welcher die Rede ist, und unter der Auslösung langer Funken durch andere sehr viel kürzere waren die folgenden Erscheinungen verstanden. Schaltet man in denselben Kreis die primären Spulen zweier Inductionsapparate und stellt die Funkenstrecke beider so ein, dass sie an der Grenze der Leistungsfähigkeit stehen, so lässt jede Ursache, welche den einen Funken hervorruft, auch den andern zugleich hervortreten; ganz unabhängig von der Wirkung des Lichtes der Funken auf einander, welche ja leicht auszuschliessen ist. Es gehen entweder beide Funken über, oder keiner von beiden. Lässt man ferner eine Töpler-Holtz'sche Influenzmaschine von 40 cm Scheibendurchmesser schnell laufen, so dass sie im Maximum etwa Funken von 15 cm Länge giebt, und zieht nun die Polkugeln auf 20—25 cm auseinander, bis die Funken vollständig versagen, so erhält man auf's Neue mit Regelmässigkeit einen langen knallenden Funken, so oft man aus dem negativen Conductor einen kleinen Funken zieht, entweder mit dem Knöchel der Hand, oder mit dem Knopf einer Leydener Flasche. Man kann auch den negativen Pol mit einem längeren Leitersystem verbinden, und aus diesem die Funken ziehen, mit gleichem Erfolg. Der auslösende Funke kann ganz kurz und schwach sein; wird er mit dem Knopf einer Leydener Flasche gezogen, so erscheint die Flasche nur wenig geladen. Durch Ziehen der Funken aus dem positiven Pol lässt sich die gleiche Wirkung nicht erzielen. Die Erscheinung muss wohl schon oft beobachtet sein, in der Literatur habe ich sie nicht erwähnt gefunden.

Eine Erklärung dieser Erscheinungen vermag ich nicht zu geben, sie haben offenbar den gleichen Ursprung, wie die Erscheinungen, welche Herr G. Jaumann beschrieben hat in seiner Abhandlung „Einfluss rascher Potentialveränderungen auf den Entladungsvorgang“, Sitzungsberichte d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. XCVII. Abth. IIa. Juli 1888. Herr Jaumann führt die Erscheinungen zurück auf den Satz, dass „nicht allein Form, Zustand und Potentialdifferenz des Entladungsfeldes“, sondern auch „die Art der Aenderung der Potentialdifferenz, und zwar wahrscheinlich deren Aenderungsgeschwindigkeit, eine wesentliche Entladungsbedingung sei“. Es ist zu hoffen, dass diese Erscheinungen noch weiter aufgeklärt werden.

9) Zu No. 4. Seite 80.

Die Herren E. Wiedemann und H. Ebert haben bald darauf nachgewiesen, dass es allein der negative Pol und zwar allein die Oberfläche

desselben ist, welche der Wirkung des Lichtes unterliegt. Wied. Ann. 33 p. 241. 1888.

10) Zu No. 4. Seite 83.

Etwas später gelang mir dies dennoch. Ich hatte gehofft, einen Einfluss des Polarisationszustandes des Lichtes auf die Wirkung zu beobachten, einen solchen konnte ich jedoch nicht bemerken.

11) Zu No. 4. Seite 86.

Ich habe hiermit nicht sagen wollen, dass es mir nicht gelungen wäre, die Wirkung des Lichtes auf andere Entladungen als die des Inductoriums zu beobachten, sondern nur, dass es mir nicht gelang, Bedingungen zu finden, bei welchen der so wenig verstandene Vorgang der Funkenentladung durch eine einfachere Wirkung ersetzt war. Dies ist zuerst Herrn Hallwachs gelungen. Wied. Ann. 33. p. 301. 1888. Die einfachste Wirkung, welche ich erzielte, war die, dass ich die Glimmentladung einer Batterie von 1000 kleinen Planté-Accumulatoren zwischen Messingkugeln in freier Luft durch das Licht zum Uberschlagen brachte, bei einem Abstand der Kugeln, welchen sie ohne Hülfe des Lichtes nicht zu überspringen vermochte.

12) Zu No. 7. Seite 117.

Die 12 m sind gemeint in der Richtung der Grundlinie gemessen, seitlich war die Grundlinie im Allgemeinen auf 3—4 m frei, mit Ausnahme eines eisernen Ofens, der bis auf 1,5 m an dieselbe herantrat. Ich glaubte damals nicht, dass er in dieser Entfernung noch schädlich wirken könnte.

13) Zu No. 7. Seite 117.

Auch in dieser Berechnung ist als Capacität die Capacität einer Endplatte, diese frei im Raume schwebend gedacht, angenommen, welche Capacität auf experimentellem Wege durch Vergleich mit dem der früher benutzten Kugel gefunden war. Es hätte aus dem in Anmerkung 6 dargelegten Grunde nur die Hälfte dieser Capacität benutzt werden dürfen. Daher ist die richtig berechnete Schwingungsdauer im Verhältniss von  $1:\sqrt{2}$  kleiner als die angegebene. Die richtig berechnete Schwingungsdauer wird also fast genau gleich 1 Hundertmilliontel Secunde.

14) Zu No. 7. Seite 120.

Es ist also hier und daher selbstverständlich auch in allem Folgenden vorausgesetzt, dass um stehende Wellen in Drähten zu erzeugen, man nicht allein den primären und secundären Leiter zur Resonanz bringe, sondern auch den gerade ausgespannten Draht auf beide abstimme. Nur in diesem Falle theilt sich die ganze Länge des Drahtes in deutliche halbe Wellenlängen und nur in diesem Falle gewinnt die Erscheinung ihre volle Entwicklung und Schönheit. Es scheint diese Bedingung einzelnen Beobachtern entgangen zu sein, welche die Versuche mit den Drahtwellen wiederholt haben.

15) Zu No. 7. Seite 121.

Dies hat sich nicht bewahrheitet. In Röhren von etwa 2 cm Durchmesser, welche mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind, pflanzen sich die Wellen noch gut fort und zwar mit derselben Geschwindigkeit wie in Drähten.

Herr E. Cohn hat übrigens gezeigt, dass bei einer Schwingungsdauer von der Ordnung der hier benutzten die träge Masse der Elektrolyten noch nicht in's Spiel kommen kann (Wied. Ann. 38. p. 217). Die Durchlässigkeit der Elektrolyten für diese Schwingungen ist zur Bestimmung ihres Widerstandes benutzt worden durch J. J. Thomson (Proc. Roy. Soc. London, 45. p. 269).

16) Zu No. 7. Seite 122.

Die richtig berechnete Schwingungsdauer ist 1 Hundertmilliontel Secunde. Dies ergibt zusammen mit einer Wellenlänge von 2,8 m eine Geschwindigkeit von 280000 km in der Secunde, also nahezu die Lichtgeschwindigkeit.

Dies ist die Schlussform, welche, allerdings mit weit sorgfältigeren Daten, die Herren E. Lecher (Wied. Ann. 41. p. 850) und Blondlot (C. R. 113. p. 628) benutzt haben, um festzustellen, dass die Geschwindigkeit der Wellen in den Drähten die Lichtgeschwindigkeit sei. In Wahrheit aber zeigt die Schlussform nur, dass Theorie und Beobachtung darin übereinstimmen, dass in einem einfachen geraden Drahte von 2,8 m Länge und in einem Leiter von der Gestalt unseres primären Leiters die Schwingungsdauern gleich gross sind. Aber der absolute Werth der Schwingungsdauer und damit die Geschwindigkeit könnte darum doch in beiden Fällen um den gleichen Betrag abweichen von dem theoretischen Werthe, und er müsste um den gleichen Betrag abweichen, wenn in beiden Leitern dieselbe Ursache der Verzögerung in gleichem Maasse wirkte.

Diese Schlussform kann also nicht angewandt werden, wenn es sich darum handelt, Zweifel an dem Vorhandensein einer solchen Verzögerung zu beseitigen.

Im Text stützt sich die angenommene Geschwindigkeit weit mehr auf die Versuche von Fizeau und Gounelle und Siemens, als auf die Rechnung.

17) Zu No. 7. Seite 127.

Es ist nicht uninteressant, sich zu fragen, wie die Interferenzen hätten ausfallen müssen, wenn aus den Versuchen der Schluss hätte gezogen werden sollen, dass die Geschwindigkeit in den Drähten gleich der Geschwindigkeit in der Luft war. Nach der genauen Theorie, welche in No. 9 dargelegt ist, ergibt sich dies leicht mit Hilfe der Fig. 31, und man erhält etwa folgendes Resultat:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
100	+	+	0	0	-	-	-	-	-
250	0	-	0	0	0	0	0	0	0
400	-	-	0	0	+	+	+	+	+

Ein Wechsel des Vorzeichens hätte also auch bei gleicher Geschwindigkeit eintreten müssen, aber die folgenden Wechsel, welche die Versuche ergaben, erklären sich nur durch eine verschiedene Geschwindigkeit oder aus

Täuschungen, welche durch die Reflexionen an Unregelmässigkeiten der Umgebung veranlasst waren.

18) Zu No. 8. Seite 140.

Es ist zu beachten, dass die Bestimmung der Lage der magnetischen Kraft hier nur durch die Theorie ermöglicht ist. Aus den Versuchen lässt sich das Vorhandensein einer zweiten Art der Kraft neben der elektrischen Kraft nicht schliessen. Halten wir uns an die Versuche, so dürfen wir den Ausdruck „magnetische Kraft“ hier nur als eine kürzere Bezeichnung für eine gewisse Vertheilungsform der elektrischen Kraft auffassen. Dass diese magnetische Kraft Wirkungen hervorbringt, welche sich durch die elektrische Kraft nicht erklären lassen, wird erst in der No. 12 durch Versuche erhärtet werden, allerdings nur an den Wellen in Drähten.

19) Zu No. 8. Seite 142.

Die gemessene Wellenlänge beruht also wesentlich auf der Entfernung von  $B$  und  $C$ , also auf der Voraussetzung, dass  $C$  noch ganz genau gemessen sei. Nehmen wir an, dass die Lage von  $C$  schon durch die allgemeinen Verhältnisse des Raumes verschoben sei, so dürfen wir den ersten Knotenpunkt näher an die Wand legen und können bedeutend kleinere Werthe für die Wellenlänge erhalten. Freilich bieten die Versuche selbst gar keinen Anlass zu glauben, dass die Lage von  $C$  schon unsicher sei.

20) Zu No. 8. Seite 145.

Der Lloyd'sche Versuch bildet das optische Analogon zu denjenigen Versuchen, in welchen wir den primären Leiter allmählig von der Wand entfernten. Die Versuche der ersten Art, bei welchen wir den secundären Leiter von einer reflectirenden Wand entfernten, haben inzwischen ebenfalls ihr optisches Analogon gefunden in den schönen Versuchen, welche Herr O. Wiener veröffentlicht hat in der Abhandlung „Stehende Lichtwellen und die Schwingungsrichtung polarisirten Lichtes“. Wied. Ann. 40. p. 203.

Was die akustischen Analogien anlangt, so finde ich, dass die Erscheinung, welche die Analogie zu den Versuchen erster Art bildet, schon vor vielen Jahren durch N. Savart entdeckt worden ist. (Siche Pogg. Ann. 46. p. 458. 1839, auch eine Anzahl von Abhandlungen Seebeck's in den folgenden Bänden.) Stellt man gegenüber einer ebenen Wand in 15—20 m Entfernung eine gleichmässig tönende Schallquelle auf, und horcht nun die Nähe der Wand ab, am besten mit Hilfe eines Resonators, so findet man den Ton anschwellend in gewissen Punkten, — den Bäuchen —, leise werdend in anderen Punkten — den Knoten. Für die Versuche zweiter Art, bei welchen der primäre Leiter verschoben wurde, ist eine richtige Analogie schon im Text gegeben. Eine andere Analogie bietet der folgende, an sich nicht uninteressante Versuch. Man nehme eine Glasröhre von etwa 60 cm Länge und 2 cm Durchmesser und senke sie langsam über eine nicht allzu gross brennende Bunsenflamme. Bei einer gewissen Tiefe wird die Bunsenflamme gerade eben, aber noch mit Mühe beginnen, das Rohr zum kräftigen Tönen zu bringen. In dieser empfindlichen Lage verbinde man den Brenner und das Rohr fest miteinander. Nähert man nun das System einer festen Wand, so wird in unmittelbarer Nachbarschaft der Wand der Ton erlöschen, er wird

wieder ansprechen in  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge Abstand, und in  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge Abstand wieder erlöschen. Bei sehr empfindlicher Einstellung, welche ich aber nicht jederzeit nach Willkür hervorbringen konnte, habe ich noch zweimaliges weiteres Ansprechen und Wiedererlöschen in je einer halben Wellenlänge Abstand beobachten können. Eine vollständige Erklärung der Erscheinung besitze ich nicht, offenbar hängt sie zusammen mit der anderen Erscheinung, dass eine derartige Röhre verstummt, wenn man einem ihrer Ende einen Resonator nähert, welcher auf den gleichen Ton abgestimmt ist. Dieser letztere Versuch rührt — soviel ich weiss — von Prof. A. Christiani her. (Verhandl. d. phys. Gesellsch. zu Berlin, 15. Dec. 1882, am Schluss der Fortschritte der Physik, Bd. 36.)

21) Zu No. 8. Seite 146.

Diese Bemerkung bezieht sich auf die Versuche in Drähten, welche ich in der Zeit anstellte, als ich diese Arbeit niederschrieb. Es ist schon in der Einleitung bemerkt, dass sich die ausgesprochene Hoffnung nicht verwirklicht hat.

22) Zu No. 9. Seite 151.

Hier ist ein Vorzeichenfehler des Originals corrigirt, auf welchen Herr L. de la Rive mich aufmerksam machte.

23) Zu No. 9. Seite 160.

Diese Rechnung stützt sich auf die beobachtete Wellenlänge von 480 cm. Ist dieselbe unrichtig, so ist die Rechnung entsprechend abzuändern. Wegen des wahren Werthes der Dämpfung siehe Anmerkung 5.

24) Zu No. 10. Seite 172.

Durch die Versuche der folgenden Arbeit wird ziemlich deutlich erwiesen, dass bei schnellen Stromschwankungen die Veränderung von aussen her in den Draht eintritt. Dadurch ist wahrscheinlich gemacht, dass auch beim constanten Strom nicht, wie man bisher annahm, der Vorgang im Drahte die Ursache der Erscheinungen in seiner Nachbarschaft sei, sondern dass umgekehrt die Vorgänge in der Nachbarschaft des Drahtes die Ursachen für die Erscheinungen im Innern desselben abgeben.

Dass die Vorgänge im Drahte mit einem continuirlichen Kreislauf materieller Theilchen oder eines ad hoc angenommenen Fluidums verbunden seien, ist eine Hypothese, welche durch unsere Versuche weder bewiesen, noch ausgeschlossen wird, sondern auf welche sich unsere Versuche gar nicht beziehen. Wir haben weder ein Recht, noch ist es unsere Absicht, diese Hypothese auf Grund der vorliegenden Versuche zu bekämpfen.

25) Zu No. 11. Seite 189.

Zu diesen Erscheinungen rechnet auch die Beobachtung, welche die Herren Hagenbach und Zehndör als Einwand gegen meine Deutung der Versuche anführen (Wied. Ann. 43. p. 611). Ich meine, dass das Licht sich gerade so verhalten wird, wie hier die elektrischen Wellen, man muss nur alle Dimensionen des Versuches sich in entsprechendem Maassstabe reducirt denken, nicht etwa nur die Länge der Wellen.

26) Zu No. 11. Seite 194.

Herr W. König hat zuerst darauf hingewiesen, dass zwischen der Reflexion der elektrischen Wellen von unserem Gitter und der Reflexion einfarbigen Lichtes von der Oberfläche der dichroitischen Krystalle die Analogie eine weit vollständigere ist, als die im Text angezogene Analogie. Herr W. König hat auch aufmerksam gemacht auf den Zusammenhang zwischen der Wirkung unseres Gitters und gewissen polarisirenden Wirkungen optischer Gitter (Wied. Ann. 37. p. 651, am Schluss).

27) Zu No. 11. Seite 195.

Den Herren Oliver Lodge und Howard ist es sogar gelungen, die Brechung und Concentration der elektrischen Strahlen durch grosse Linsen zu erweisen (Phil. Mag. 27. p. 48. 1889).

28) Zu No. 11. Seite 198.

Seither ist es auf mannigfache Weise geglückt, die Versuche auch objectiv darzustellen. Die Benutzung des Froschschenkels glückte Herrn R. Ritter (Wied. Ann. 40. p. 53). Geissler'sche Rohre wandte an Herr Dragoumis (Nature 39. p. 548). Herr Boltzmann gab eine sehr bequeme Methode an unter Benutzung des Goldblattelektroskops (Wied. Ann. 40. p. 399). Herr Klemenčić wandte ein Thermoelement an (Wied. Ann. 42. p. 416). Die deutlichste und schönste, freilich auch eine recht umständliche Methode, ist die mittelst des Bolometers, welche die Herren H. Rubens und R. Ritter zur Darstellung der Versuche und zu weiteren fruchtbringenden Untersuchungen angewandt haben (Wied. Ann. 40. p. 55 und die folg. Bände).

29) Zu No. 13. Seite 211.

Und zwar durch mehr als eine unabhängige Variable. Die „Kraft“ und „Polarisation“ der vorliegenden Arbeit sind nicht in diesem Sinne als zwei Variablen anzusehen, da sie durch eine feste lineare Relation verbunden sind. Lässt man diese Relation fallen, indem man sie als besonderen Fall einer allgemeiner gültigen Beziehung ansieht, so können „Kraft“ und „Polarisation“ als zwei Variable dienen. Zweckmässiger dürfte es sein, die Polarisation des Aethers als die eine, die Polarisation der ponderablen Materie als zweite Variable einzuführen.

30) Zu No. 13. Seite 227.

Nach jeder üblichen Bezeichnungsweise ist es unzweifelhaft richtig, dass die Menge der auf einer isolirten Kugel angehäuften „Elektricität“ unverändert bleibt, wenn wir die Kugel in eine isolirende Flüssigkeit tauchen, oder allgemeiner gesprochen in beliebiger Weise durch isolirende Medien hindurch bewegen. Die Grösse also, welche bei solcher Bewegung unverändert bleibt, haben wir als „wahre“ Elektricität bezeichnet. Die Fernwirkung der Kugel und damit die „freie“ Elektricität ändert sich bei der Bewegung.

31) Zu No. 13. Seite 234.

Wenn eine Dampfmaschine mittelst eines hin- und zurücklaufenden Riemens eine Dynamomaschine treibt und diese wiederum mittelst eines hin- und zurücklaufenden Drahtes eine Bogenlampe speist, so ist es allerdings eine allgemein übliche und einwurfsfreie Ausdrucksweise zu sagen, dass die Energie von der Dampfmaschine durch den Riemen auf die Dynamomaschine übertragen werde und von dieser wiederum mittelst des Drahtes auf die

Lampe. Aber hat es einen deutlichen physikalischen Sinn zu behaupten, die Energie bewege sich längs des gespannten Riemens entgegen der Richtung der Bewegung desselben von Punkt zu Punkt fort? Und wenn nicht, kann es dann einen deutlicheren Sinn haben zu sagen, die Energie bewege sich in den Drähten, oder -- nach Poynting -- in dem Zwischenraum zwischen den beiden Drähten von Punkt zu Punkt fort? Die hier auftretenden begrifflichen Dunkelheiten bedürfen noch sehr der Aufhellung.

32) Zu No. 13. Seite 235.

Um aus den Aenderungen der Energie auf die mechanischen Kräfte zu schliessen, müssen wir den Körpern virtuelle Verschiebungen ertheilen. Wir müssten also die Gleichungen für bewegte Körper und nicht die für ruhende Körper benutzen, welche erstere uns hier noch nicht zur Verfügung stehen. Die hier zu Hülfe genommene Erfahrungsthatfache füllt diese Lücke für statische und stationäre Zustände in genügender Weise aus.

33) Zu No. 14. Seite 259.

Dieser Beweis, dass die aufgestellten Behauptungen die beobachteten Thatfachen enthalten, soll zugleich den Beweis der Behauptungen selbst darstellen. Logisch werden dieselben also hingestellt als Erfahrungsthatfachen nicht als Ergebnisse irgend einer besonderen, sondern als Ergebnis der allgemeinen Erfahrung, welche wir auf diesem Gebiete besitzen.

34) Zu No. 14. Seite 261.

Der Sinn der Gleichungen ist ein äusserst einfacher, ihre äussere Form eine ziemlich verwickelte. Dies liess mich vermuthen, dass es geschickten Mathematikern möglich sein würde, elegantere Formen an die Stelle der hier benutzten zu setzen. Es ist in der That Herrn Vito Volterra gelungen, durch ein einziges System von Gleichungen zugleich die Erscheinungen in ruhenden und in bewegten Körpern darzustellen (*Il nuovo Cimento* (3) 29. p. 53, siehe auch ebenda p. 147).

35) Zu No. 14. Seite 262.

Diese Behauptung ist nicht zutreffend. Allerdings für das Maxwell'sche Werk, an welches ich sie knüpfte, mag sie gelten, aber in der Abhandlung „On Physical Lines of Force“, *Phil. Mag.* April 1861 hat Maxwell selbst die Erscheinungen in bewegten Körpern in vollständig consequenter Weise in sein System eingereiht. Ich hatte dies leider bei Abfassung der Arbeit übersehen.

36) Zu No. 14. Seite 271.

Eine ähnliche Theorie ist neuerdings auch von J. J. Thomson entwickelt worden (*Phil. Mag.* (5) 31. p. 149). Insoweit diese Theorie und diejenige von Poynting zu den Maxwell'schen Gleichungen führen, würde ich dieselben als besondere Formen der „Maxwell'schen Theorie“ betrachten, obwohl die Vorstellungen derselben unzweifelhaft nicht die Maxwell'schen sind.

37) Zu No. 14. Seite 284.

Dieser Umstand bedingt nicht nothwendig einen Fehler der Theorie, aber er bedingt nothwendig eine Unvollständigkeit derselben. Uebrigens scheint die Schwierigkeit tief in den Wurzeln unserer Anschauung begründet, denn sie lässt sich verstehen auch ohne Benutzung der Gleichungen. Denken wir uns eine magnetisirte Stahlkugel im freien Raume rotirend um eine Axe,

26) Zu No. 11. Seite 194.

Herr W. König hat zuerst darauf hingewiesen, dass zwischen der Reflexion der elektrischen Wellen von unserem Gitter und der Reflexion einfarbigen Lichtes von der Oberfläche der dichroitischen Krystalle die Analogie eine weit vollständigere ist, als die im Text angezogene Analogie. Herr W. König hat auch aufmerksam gemacht auf den Zusammenhang zwischen der Wirkung unseres Gitters und gewissen polarisirenden Wirkungen optischer Gitter (Wied. Ann. 37. p. 651, am Schluss).

27) Zu No. 11. Seite 195.

Den Herren Oliver Lodge und Howard ist es sogar gelungen, die Brechung und Concentration der elektrischen Strahlen durch grosse Linsen zu erweisen (Phil. Mag. 27. p. 48. 1889).

28) Zu No. 11. Seite 198.

Seither ist es auf mannigfache Weise geglückt, die Versuche auch objectiv darzustellen. Die Benutzung des Froschschenkels glückte Herrn R. Ritter (Wied. Ann. 40. p. 53). Geissler'sche Rohre wandte an Herr Dragoumis (Nature 39. p. 548). Herr Boltzmann gab eine sehr bequeme Methode an unter Benutzung des Goldblattelektroskops (Wied. Ann. 40. p. 399). Herr Klemenčić wandte ein Thermoclement an (Wied. Ann. 42. p. 416). Die deutlichste und schönste, freilich auch eine recht umständliche Methode, ist die mittelst des Bolometers, welche die Herren H. Rubens und R. Ritter zur Darstellung der Versuche und zu weiteren fruchtbringenden Untersuchungen angewandt haben (Wied. Ann. 40. p. 55 und die folg. Bände).

29) Zu No. 13. Seite 211.

Und zwar durch mehr als eine unabhängige Variable. Die „Kraft“ und „Polarisation“ der vorliegenden Arbeit sind nicht in diesem Sinne als zwei Variabeln anzusehen, da sie durch eine feste lineare Relation verbunden sind. Lässt man diese Relation fallen, indem man sie als besonderen Fall einer allgemeiner gültigen Beziehung ansieht, so können „Kraft“ und „Polarisation“ als zwei Variabeln dienen. Zweckmässiger dürfte es sein, die Polarisation des Aethers als die eine, die Polarisation der ponderablen Materie als zweite Variable einzuführen.

30) Zu No. 13. Seite 227.

Nach jeder üblichen Bezeichnungsweise ist es unzweifelhaft richtig, dass die Menge der auf einer isolirten Kugel angehäuften „Elektricität“ unverändert bleibt, wenn wir die Kugel in eine isolirende Flüssigkeit tauchen, oder allgemeiner gesprochen in beliebiger Weise durch isolirende Medien hindurch bewegen. Die Grösse also, welche bei solcher Bewegung unverändert bleibt, haben wir als „wahre“ Elektricität bezeichnet. Die Fernwirkung der Kugel und damit die „freie“ Elektricität ändert sich bei der Bewegung.

31) Zu No. 13. Seite 234.

Wenn eine Dampfmaschine mittelst eines hin- und zurücklaufenden Riemens eine Dynamomaschine treibt und diese wiederum mittelst eines hin- und zurücklaufenden Drahtes eine Bogenlampe speist, so ist es allerdings eine allgemein übliche und einwurfsfreie Ausdrucksweise zu sagen, dass die Energie von der Dampfmaschine durch den Riemen auf die Dynamomaschine übertragen werde und von dieser wiederum mittelst des Drahtes auf die

Lampe. Aber hat es einen deutlichen physikalischen Sinn zu behaupten, die Energie bewege sich längs des gespannten Riemens entgegen der Richtung der Bewegung desselben von Punkt zu Punkt fort? Und wenn nicht, kann es dann einen deutlicheren Sinn haben zu sagen, die Energie bewege sich in den Drähten, oder -- nach Poynting -- in dem Zwischenraum zwischen den beiden Drähten von Punkt zu Punkt fort? Die hier auftretenden begrifflichen Dunkelheiten bedürfen noch sehr der Aufhellung.

32) Zu No. 13. Seite 235.

Um aus den Aenderungen der Energie auf die mechanischen Kräfte zu schliessen, müssen wir den Körpern virtuelle Verschiebungen ertheilen. Wir müssten also die Gleichungen für bewegte Körper und nicht die für ruhende Körper benutzen, welche erstere uns hier noch nicht zur Verfügung stehen. Die hier zu Hülfe genommene Erfahrungsthatsache füllt diese Lücke für statische und stationäre Zustände in genügender Weise aus.

33) Zu No. 14. Seite 259.

Dieser Beweis, dass die aufgestellten Behauptungen die beobachteten Thatsachen enthalten, soll zugleich den Beweis der Behauptungen selbst darstellen. Logisch werden dieselben also hingestellt als Erfahrungsthatsachen nicht als Ergebnisse irgend einer besonderen, sondern als Ergebniss der allgemeinen Erfahrung, welche wir auf diesem Gebiete besitzen.

34) Zu No. 14. Seite 261.

Der Sinn der Gleichungen ist ein äusserst einfacher, ihre äussere Form eine ziemlich verwickelte. Dies liess mich vermuthen, dass es geschickten Mathematikern möglich sein würde, elegantere Formen an die Stelle der hier benutzten zu setzen. Es ist in der That Herrn Vito Volterra gelungen, durch ein einziges System von Gleichungen zugleich die Erscheinungen in ruhenden und in bewegten Körpern darzustellen (*Il nuovo Cimento* (3) 29. p. 53, siehe auch ebenda p. 147).

35) Zu No. 14. Seite 262.

Diese Behauptung ist nicht zutreffend. Allerdings für das Maxwell'sche Werk, an welches ich sie knüpfte, mag sie gelten, aber in der Abhandlung „On Physical Lines of Force“, *Phil. Mag.* April 1861 hat Maxwell selbst die Erscheinungen in bewegten Körpern in vollständig consequenter Weise in sein System eingereiht. Ich hatte dies leider bei Abfassung der Arbeit übersehen.

36) Zu No. 14. Seite 271.

Eine ähnliche Theorie ist neuerdings auch von J. J. Thomson entwickelt worden (*Phil. Mag.* (5) 31. p. 149). Insoweit diese Theorie und diejenige von Poynting zu den Maxwell'schen Gleichungen führen, würde ich dieselben als besondere Formen der „Maxwell'schen Theorie“ betrachten, obwohl die Vorstellungen derselben unzweifelhaft nicht die Maxwell'schen sind.

37) Zu No. 14. Seite 284.

Dieser Umstand bedingt nicht nothwendig einen Fehler der Theorie, aber er bedingt nothwendig eine Unvollständigkeit derselben. Uebrigens scheint die Schwierigkeit tief in den Wurzeln unserer Anschauung begründet, denn sie lässt sich verstehen auch ohne Benutzung der Gleichungen. Denken wir uns eine magnetisirte Stahlkugel im freien Raume rotirend um eine Axe,

welche nicht mit der Richtung der Magnetisirung zusammenfällt, so sendet sie beständig elektromagnetische Wellen aus, giebt also Energie ab, wird also allmählich zur Ruhe kommen. Erzeugen wir das identische System magnetischer Wellen dadurch, dass wir in einer ruhenden Eisenkugel durch wechselnde elektrische Kräfte einen umlaufenden Magnetismus erregen, so sieht man leicht, dass umgekehrt die Eisenkugel im freien Raume beginnen muss zu rotiren. Derartige Folgerungen scheinen wenig wahrscheinlich, allein wir haben kaum ein Recht, in diesem Gebiete auch nur von Wahrscheinlichkeiten zu reden, so vollständig ist unsere Unkenntniss über etwaige Bewegungen des Aethers.

