

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Gesammelte Werke**

Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft

**Hertz, Heinrich**

**Vaduz/Liechtenstein, 1984**

6. Ueber Inductionserscheinungen hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren

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

## 6. Ueber Inductionsercheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren.

(Sitzungsber. d. Berl. Akadem. v. 10. Nov. 1887. Wiedemanns Ann.  
34, p. 273.)

Dass die elektrischen Vorgänge in den Isolatoren neben den sicher nachgewiesenen elektrostatischen Wirkungen auch die entsprechenden elektrodynamischen Wirkungen mit sich führen, ist eine der Grundannahmen gerade der aussichtsvollsten elektrischen Theorien. Jene Annahme ist auch längst durch die Gesammtheit der elektrischen Erscheinungen in hohem Grade wahrscheinlich geworden; als das sichere Ergebniss irgend welcher directen Beobachtungen aber kann sie bislang kaum bezeichnet werden. Einen Beitrag zur Ausfüllung dieser misslichen Lücke hoffe ich in Folgendem zu bieten, indem ich eine Reihe von Versuchen beschreibe, welche sich mit geringen Mitteln wiederholen lassen, welche sicher gelingen, und in welchen sich eine von Isolatoren ausgehende Inductionswirkung offenbart. Eine magnetische Wirkung, welche von den Vorgängen in einem Isolator herrührt, hat sich bereits in einem Versuche des Herrn Röntgen<sup>1)</sup> gezeigt, vorausgesetzt, dass die endgültige Mittheilung über jenen Versuch die demselben zunächst gegebene Deutung bestätigt.

Zum Nachweis der Inductionswirkung dienten mir die äusserst schnellen elektrischen Schwingungen, welche in ungeschlossenen

<sup>1)</sup> W. C. Röntgen, Sitzungsber. d. Berl. Acad. 1885. p. 195, vgl. auch die neuere Arbeit, Sitzungsber. der Berl. Acad. 1888. p. 23.

metallischen Leitern durch passend angebrachte Funken erregt werden können.<sup>1)</sup> Die Methode ist die folgende: Ein primärer Leiter, in welchem Schwingungen der genannten Art erregt werden, wirkt inducirend auf einen secundären Leiter ein. Die Beobachtung der inducirten Bewegung geschieht mit Hilfe einer eingeschalteten Funkenstrecke. Damit die Beobachtung recht empfindlich sei, sind beide Leiter auf gleiche Schwingungsdauer gebracht. Der secundäre Leiter wird nun dem primären möglichst genähert, jedoch in solcher Lage, dass die auf seine verschiedenen Theile wirkenden Kräfte sich aufheben, sodass er funkenfrei erscheint. Wird jetzt das Gleichgewicht durch Annäherung von Leitern gestört, so treten wieder Funken auf; das System bildet eine Art von Inductionswage. Aber diese Inductionswage hat das Eigenthümliche, dass sie auch anspricht, wenn grössere Massen von Isolatoren ihr genähert werden. Bei der Geschwindigkeit der Schwingungen sind nämlich die in den Isolatoren durch dielektrische Polarisirung verschobenen Elektrizitätsmengen von derselben Grössenordnung, wie die in den Metallen durch Leitung in Bewegung gesetzten.

#### Der Apparat.

Die Figur 24 zeigt den Apparat, durch welchen dies Princip verwirklicht wurde. Nur die wesentlichen Theile sind gezeichnet, man hat sich dieselben durch ein leichtes Holzgerüst verbunden zu denken.  $AA'$  ist der primäre Leiter, bestehend aus zwei quadratischen Messingplatten von 40 cm Seitenlänge, welche durch einen 70 cm langen,  $\frac{1}{2}$  cm starken Kupferdraht verbunden sind. In der Mitte des letzteren ist eine  $\frac{3}{4}$  cm lange Funkenstrecke eingeschaltet, gut polirte Messingkugeln bilden die Pole. Führt man nun den letzteren die möglichst kräftige Entladung eines grösseren Inductoriums zu, so laden sich zunächst die Platten  $A$  und  $A'$  in entgegengesetztem Sinne und entladen sich dann im Augenblick der Entstehung des Funkens gegeneinander unter Bildung der dem Leiter  $AA'$  eigenthümlichen Oscillationen, deren Schwingungsdauer etwa auf den hundertmillionsten Theil der Secunde geschätzt werden kann.

<sup>1)</sup> Siehe No. 2 und No 5.

Die sogleich nachfolgende Entladung des Inductoriums ist auf die hier zu besprechenden Erscheinungen von ebenso geringem Einfluss, wie die Anwesenheit des Inductionsapparates selbst und der Zuleitungen zu ihm.

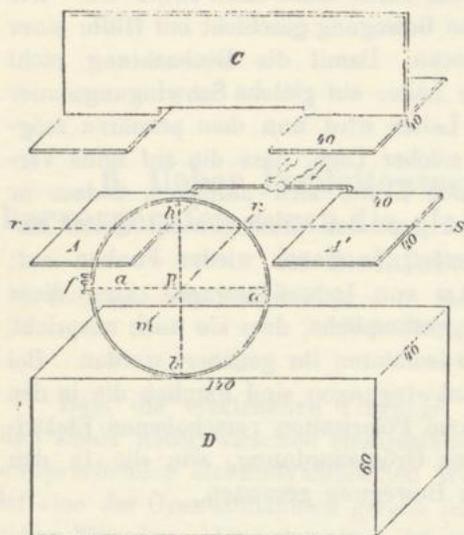


Fig. 24.

Der sekundäre Leiter *B* ist ein genauer Kreis von 35 cm Radius aus 2 mm starkem Kupferdrahte, er enthält die Funkenstrecke *f*, deren Länge durch eine feine Schraube zwischen einigen hundertstel und einigen ganzen Millimetern variiert werden kann. Bei den gewählten Ausmessungen des Kreises *B* findet Resonanz statt zwischen ihm und dem primären Leiter, und es können bei günstiger Lage sekundäre Funken von 6—7 mm Länge erhalten werden. Für unsere Versuche wird der Kreis drehbar auf einer Axe befestigt, welche durch seinen Mittelpunkt geht und senkrecht auf seiner Ebene steht; eine Drehung um diese Axe ändert also die Lage des Kreises nicht, sondern führt nur die Funkenstrecke in ihm herum. Die Drehungsaxe wird so orientirt, dass sie in die Ebene der Platten *A* und *A'* und zwar in die Mittellinie *mn* derselben fällt. Fügen wir noch hinzu, dass der geringste Abstand zwischen *AA'* und *B* 12 cm beträgt, so haben wir unseren Apparat vollständig beschrieben. An demselben beobachten wir nun die folgenden Erscheinungen:

Fällt die Funkenstrecke *f* in die horizontale Ebene von *AA'*, also in die Punkte *a* und *a'*, so ist sie völlig funkenfrei. Eine Drehung des Kreises um wenige Grade aus diesen Lagen in dem einen oder dem anderen Sinne lässt schon winzige Fünkchen entstehen. Diese Fünkchen wachsen an Stärke und Länge, je mehr wir die Funkenstrecke von den Gleichgewichtslagen ent-

fernen, und erreichen Maximallängen von etwa 3 mm, wenn  $f$  in den höchsten und den tiefsten Punkt  $b$  und  $b'$  des Kreises tritt. Die sich in dieser Weise offenbarenden Schwingungen des secundären Leiters verdanken jedesmal ihre Entstehung der oscillirenden elektrischen Kraft, welche in dem  $f$  gegenüberliegenden Theile des Kreises  $B$  auftritt. Obwohl der Gestalt nach fast geschlossen, ist  $B$  doch als ein ungeschlossener Stromkreis zu betrachten; die der Funkenstrecke beiderseits benachbart liegenden Teile wirken nur als Capacitäten der Stromenden. Die wirkende Kraft setzt sich zusammen aus der elektrostatischen Kraft und der ihr entgegengerichteten Kraft der Induction; die erstere als die grössere von beiden bestimmt das Vorzeichen der gesammten Kraft. Bezeichnen wir das Vorzeichen dieser Kraft und die Amplitude der erregten Schwingung als positiv, wenn  $f$  im höchsten Punkte des Kreises liegt, so haben wir relativ zu einer festen Richtung im Kreise  $B$  die Kraft und die Amplitude als negativ zu rechnen, wenn sich  $f$  im tiefsten Punkte befindet. Durch den Nullwerth in der Gleichgewichtslage geht die Amplitude von dem einen zu dem anderen Vorzeichen über.

Es erscheint nützlich für das Folgende, auch diejenigen Erscheinungen zu betrachten, welche eintreten, wenn wir den Kreis  $B$  parallel mit sich selbst, und ohne ihn aus seiner Ebene zu entfernen, ein wenig nach unten verschieben. Es zeigt sich, dass hierdurch die Funkenlänge im höchsten Punkte zunimmt, im tiefsten abnimmt, und dass die funkenfreien Punkte — die Nullpunkte, wie wir sie nennen wollen — nicht mehr in der durch die Axe gelegten Horizontalen liegen, sondern auf beiden Seiten um einen gewissen Winkel nach unten gedreht erscheinen. Durch die geringe Verschiebung hat sich die Wirksamkeit der elektrostatischen Kräfte kaum geändert, wohl aber die Wirksamkeit der Kräfte der Induction. Denn die letzteren geben nunmehr, um den geschlossenen Kreis  $B$  herumintegriert ein von Null verschiedenes Integral, sie geben daher Anlass zu einer Schwingung, deren Amplitude ein von der Lage der Funkenstrecke unabhängiges Vorzeichen besitzt, und zwar ist dieses Vorzeichen nach unserer Rechnungsweise das positive. Denn die Richtung der Integralkraft der Induction ist entgegengesetzt der elektrostatischen Kraft in der oberen Hälfte, gleich gerichtet aber in der unteren Hälfte des Kreises  $B$ , in welcher letzterer wir das Vor-

zeichen der elektrostatischen Kraft als positiv bezeichneten. Da nun die neu hinzutretende Schwingung gegen die schon betrachtete eine Phasendifferenz nicht besitzt, so addirt sich ihre Amplitude einfach zu der jener Schwingung, und so erklären sich die Erscheinungen.

Eine vollständigere Begründung der Deutungen, welche wir hier den Erscheinungen unterlegt haben, findet man in der vorangegangenen Arbeit.<sup>1)</sup>

#### Annäherung von Leitern.

Bisher war angenommen, dass die Leiter  $AA'$  und  $B$  in einem grösseren Zimmer in möglichster Entfernung von allen störenden Gegenständen aufgestellt seien. Auch ist eine solche Aufstellung nothwendig, wenn wir wirklich Funkenlosigkeit in den Punkten  $a$  und  $a'$  erzielen wollen. Denn wir bemerken bald, dass genäherte Leiter, z. B. längere Metallstäbe, welche wir unterhalb der Vorrichtung auf die Erde legen, Funken auftreten lassen. Bei einiger Aufmerksamkeit finden wir, dass selbst der Körper des Beobachters merklichen Einfluss ausübt. Halten wir uns in der Verlängerung der Axe  $mn$  in 1—2 m Entfernung, so ist der Apparat funkenfrei; wir haben aber nur nöthig, die Funkenstrecke aus nächster Nähe zu untersuchen, um sicher jedesmal Funken vorzufinden. Aus der Nothwendigkeit, die sehr feinen Fünkchen aus der Ferne zu betrachten, ergiebt sich die weitere Nothwendigkeit, mit geschontem Auge im dunkeln Zimmer zu beobachten. Wir wollen nun einen Leiter auswählen, welcher eine nicht zu geringe Wirksamkeit besitzt, und dessen Schwingungsdauer wir als kleiner, als die unserer primären Schwingung voraussetzen dürfen. Der Leiter  $C$  unserer Zeichnung, aus Metallblech gefertigt, entspricht diesen Bedingungen. Nähern wir denselben von oben dem primären Leiter  $AA'$ , so beobachten wir das Folgende: Im höchsten Punkte  $b$  hat die Funkenlänge abgenommen, im tiefsten Punkte  $b'$  hat sie zugenommen, die Nullpunkte erscheinen nach oben hin, d. h. gegen den genäherten Leiter gedreht, während in den früheren Nullpunkten sich nunmehr merkliche Funken vorfinden. Aus dem letzten Versuche des vorigen Abschnittes wissen wir, welche Wirkung eine Ver-

<sup>1)</sup> Siehe No. 5.

schiebung des Leiters  $AA'$  nach oben haben würde. Qualitativ die gleiche Wirkung würde ein oberhalb  $AA'$  angebrachter zweiter, dem Strom  $AA'$  stets gleichgerichteter Strom haben. Unser Leiter  $C$  übt nun genau die entgegengesetzte Wirkung aus, und diese Wirkung erklärt sich also aus dem früheren als eine von  $C$  ausgehende Inductionswirkung, wenn wir in  $C$  einen dem Strom in  $AA'$  stets entgegengesetzten Strom annehmen dürfen. Aber diese Annahme ist sogar nothwendig, denn die vorwiegend wirkende elektrostatische Kraft sucht einen solchen Strom hervorzubringen, und da die Eigenschwingung des Leiters schneller ist als die der Kraft, so erfolgt die Strömung mit gleicher Phase wie die erregende Kraft. Um die Richtigkeit dieser Deutungen auf die Probe zu stellen, habe ich den Versuch in der Weise erweitert, dass ich die horizontalen Platten des Leiters  $C$  in ihrer Lage belies, das verticale Blech aber entfernte und durch immer längere und dünnere Drähte ersetzte, in der Absicht, dadurch die Schwingungsdauer des Leiters  $C$  allmählich zu vergrössern. Die Folgen dieser fortschreitenden Aenderung waren diese: Zunächst rückten die Nullpunkte immer mehr nach oben, wurden aber zugleich immer verwaschener, indem in ihnen nicht mehr eine Auslöschung, sondern nur noch ein Minimum der Funkenlänge stattfand. Die Funkenlänge im höchsten Punkte war bisher weit kleiner als die im tiefsten, nach dem Verschwinden der Nullpunkte aber begann sie wieder zu wachsen. In einem gewissen Stadium waren die Funken im höchsten und tiefsten Stand wieder gleich, aber nirgends im Kreise waren Nullpunkte zu finden, sondern überall fand sehr lebhafte Funkenbildung statt. Von hier ab verminderte sich nun die Funkenlänge im tiefsten Punkte, und bald entwickelten sich in der Nähe desselben zwei zunächst nur schwach ausgesprochene Nullpunkte, welche sich allmählich verschärften und den Punkten  $aa'$  näherten, aber nunmehr stets auf der dem Leiter  $C$  abgekehrten Seite des Kreises lagen. Schliesslich fielen sie in die Punkte  $a$  und  $a'$  selbst, und es war dann der gleiche Zustand eingetreten, welcher vor Annäherung des Leiters  $C$  geherrscht hatte. Dieser Verlauf entspricht demjenigen, welchen wir nach unserer Auffassung erwarten durften. Nähert sich nämlich die Schwingungsdauer des Leiters  $C$  derjenigen des Leiters  $AA'$ , so nimmt die Intensität der Strömung in  $C$  zu, zugleich aber tritt eine Phasendifferenz

zwischen dieser Strömung und der sie erregenden Kraft ein. Im Stadium der Resonanz ist die Strömung in  $C$  am heftigsten, und die Phasendifferenz beträgt, wie bei jeder Resonanz einer schwach gedämpften Schwingung, nahezu eine Viertelschwingungsdauer; es ist daher eine Interferenz zwischen den durch  $AA'$  und den durch  $C$  in  $B$  erregten Schwingungen nicht mehr möglich. Dieser Zustand entspricht offenbar dem oben besonders hervorgehobenen Stadium. Wird die Schwingungsdauer von  $C$  wesentlich grösser als die von  $AA'$ , so nimmt die Amplitude der Schwingungen von  $C$  wieder ab, ihre Phasendifferenz gegen die erregende Kraft nähert sich dabei dem Werthe einer halben Schwingungsdauer. Die Strömung in  $C$  ist nun in jedem Augenblicke gleichgerichtet mit derjenigen in  $AA'$ , eine Interferenz der durch beide Strömungen in  $B$  erregten Schwingungen ist wieder möglich, aber die Wirkung des Leiters  $C$  muss jetzt entgegengesetzt derjenigen sein, welche er im ursprünglichen Zustande hatte.

Nähert man den Leiter  $C$  dem Leiter  $AA'$  beträchtlich, so werden die Funken im Kreise  $B$  überhaupt klein. Eine solche Annäherung vergrössert die Schwingungsdauer von  $AA'$  und hebt dadurch die Resonanz zwischen  $AA'$  und  $B$  auf.

#### Annäherung von Nichtleitern.

Schon die roheste Schätzung lässt erkennen, dass in grösseren Massen isolirender Substanzen, welche wir dem Apparate nähern, mindestens ebenso grosse Elektrizitätsmengen durch dielektrische Polarisation verschoben werden müssen, als sich durch Leitung in den dünnen Metallstäben bewegten, deren Annäherung sich schon deutlich in dem Apparate geltend machte. Würde sich demnach die Annäherung solcher Isolatoren ohne Einfluss auf die Vorgänge in unserem Apparate zeigen, so würde dadurch bewiesen sein, dass die durch dielektrische Polarisation verschobene Elektrizität eine entsprechende elektrodynamische Wirkung nicht ausübt. Sind aber die von Faraday und Maxwell ausgegangenen Anschauungen richtig, so dürfen wir einen bemerkbaren Einfluss erwarten, und zwar würden wir vermuthen müssen, dass die Annäherung eines Isolators wirkt wie die eines Leiters von sehr geringer Dauer der Eigenschwingung. Die letztere Vermuthung findet sich vollständig bestätigt durch die Versuche, welche keinen

anderen Schwierigkeiten begegnen, als der Beschaffung hinreichend grosser isolirender Massen.

Die ersten Versuche stellte ich an mit einem Materiale, welches leicht zur Hand ist, mit Papier. Ich häufte aus Büchern unterhalb des Leiters  $AA'$  einen parallelepipedischen Körper von 1,5 m Länge, 0,5 m Breite und 1 m Höhe auf, bis zur Berührung mit den Platten  $A$  und  $A'$ . Es zeigte sich deutlich, dass in den vorher funkenfreien Lagen des Kreises  $B$  nunmehr Funken auftraten, und dass erst eine Drehung der Funkenstrecke  $f$  um etwa  $10^\circ$  gegen den Bücherhaufen hin die Funken zum Erlöschen brachte. Hierdurch ermuthigt, liess ich 800 kg. unvermischten Asphalts in die Form eines Blockes von 1,4 m Länge, 0,6 m Höhe und 0,4 m Breite giessen, welchen die Figur in  $D$  darstellt. Diesem wurde unser Apparat von oben her bis zum Aufliegen der Platten auf dem Klotz genähert. Die Einwirkung war auf den ersten Blick erkennbar, und liessen sich die folgenden Einzelheiten unterscheiden:

1. Der Funke im höchsten Punkte des Kreises war jetzt bedeutend stärker als der im tiefsten, dem Asphalt zugekehrten Punkte.

2. Die Nullpunkte erschienen nach unten, d. h. gegen den Isolator hin, gedreht, und zwar beim Aufliegen der Platten um den ziemlich genau messbaren Winkel von  $23^\circ$ . Eine völlige Auslöschung fand übrigens auch in diesen Punkten nicht mehr statt. In den ursprünglichen Nullpunkten zeigte sich jetzt ein lebhaftes Funkenspiel.

3. Lagen die Platten  $A$  und  $A'$  auf dem Asphaltklotz auf, so machte sich eine Aenderung der Schwingungsdauer von  $AA'$  geltend, es musste die Schwingungsdauer von  $B$  gleichfalls etwas vergrössert werden, wenn die Funken ihre maximale Länge behalten sollten.

4. Wurde der Apparat in irgend einer Richtung von dem Asphaltblock allmählich entfernt, so nahm die Wirkung des Blockes stetig ab, ohne in qualitativer Hinsicht eine Aenderung zu erfahren.

Es waren also sämtliche Wirkungen eines Leiters von kleiner Schwingungsdauer auch hier vorhanden. Die Uebereinstimmung der Wirkungsweise des Isolators mit derjenigen eines Leiters zeigte sich ferner darin, dass die eine durch die entgegen-

gesetzte andere compensirt werden konnte. Lag nämlich unser Apparat auf dem Asphalt auf, und wurde alsdann von oben her der Leiter  $C$  genähert, so wanderten die Nullpunkte rückwärts ihrer ursprünglichen Lage zu, und sie fielen wieder in die Punkte  $a$  und  $a'$ , wenn der Leiter  $C$  bis auf etwa 11 cm dem Leiter  $AA'$  genähert war. Lag die obere Fläche des Asphaltes 5 cm unterhalb der Platten  $A$  und  $A'$ , so trat die Compensation schon bei einem Abstände von 17 cm zwischen  $AA'$  und  $C$  ein. Stets compensirte der Leiter den Isolator dann, wenn ersterer sich in etwas grösserer Entfernung als letzterer befand. In roher Weise zeigen diese Versuche, dass auch quantitativ die Wirkung des Isolators etwa diejenige war, welche erwartet werden durfte.

Der benutzte, übrigens vorzüglich isolirende Asphalt enthielt, wie schon sein hohes specifisches Gewicht vermuthen liess, sehr viel Mineralbestandtheile. In der That fanden sich in 100 Gewichtstheilen nicht weniger als 62 Theile Asche, nämlich 17 Theile Quarzsand, 40 Theile Kalkverbindungen, 5 Theile Thon- und Eisenverbindungen.<sup>1)</sup> Um den Zweifel zu beseitigen, dass die Wirkung lediglich diesen, vielleicht zum Theil leitenden Verbindungen zuzuschreiben sei, liess ich einen zweiten, ganz gleichen Block aus dem gleichfalls vollkommen isolirenden sogenannten künstlichen Pech anfertigen, welches von Aschebestandtheilen fast frei ist. Die an diesem beobachteten Erscheinungen waren die gleichen, wie die oben beschriebenen, nur etwas schwächer, so betrug die maximale Verschiebung der Nullpunkte hier nur  $19^\circ$ . Leider enthält nun aber dieses künstliche Pech neben Kohlenwasserstoffen auch eine schwer zu bestimmende Menge ungebundener Kohle im Zustand der feinsten Vertheilung. Man wird dieser Kohle Leitungsvermögen nicht absprechen können, und es war also auch durch diesen Versuch der gedachte Zweifel nicht völlig behoben. Die Fortsetzung der Untersuchung mit reinen Substanzen in gleich grossem Maassstabe verbot sich durch die Kosten, welche ein solches Unternehmen verursacht haben würde. Ich liess deshalb das System der Leiter  $AA'$  und  $B$  noch einmal in genau dem halben Maassstabe der Lineardimensionen ausführen und versuchte, ob auch in diesem kleineren Modell die Erscheinungen sich noch hinreichend genau würden verfolgen

<sup>1)</sup> Für die Analyse bin ich meinem Collegen, Hrn. Hofrath Engler, zu Dank verpflichtet.

lassen. Es zeigte sich, dass dies ganz wohl anging, freilich war hier für die Beobachtung der äusserst zarten Fünkchen eine gespanntere Aufmerksamkeit erforderlich. Für eine Demonstration der Erscheinung oder für quantitative Versuche empfiehlt sich die Beibehaltung des grösseren Maassstabes. Mit dem kleinen Apparate habe ich in allem acht Stoffe untersucht, welche ich der Reihe nach anführe:

1. Asphalt. Es wurde der beschriebene grosse Block benutzt. Lagen die Platten  $A$  und  $A'$  so auf dem Block, dass ihre Vorderkante in der vorderen Begrenzungsebene des Blockes lag, so betrug die Drehung der Nullpunkte  $31^\circ$ , zog man den Apparat nach vorn, bis die Mittellinie  $rs$  in die Vorderfläche des Blockes fiel, so betrug die Drehung noch  $20^\circ$ .

2. Pech, künstliches, aus Steinkohlen gewonnen. Es wurde ebenfalls der grosse Block benutzt. Die Drehungen in den beiden unter 1. genannten Lagen betragen bezw.  $21^\circ$  und  $13^\circ$ .

3. Papier. Wurde der Apparat auf einen aus Papier gebildeten Block von 70 cm Länge, 35 cm Höhe, 20 cm Breite gelegt, so erschienen die Nullpunkte um etwa  $8^\circ$  gegen das Papier zu gedreht.

4. Holz. Wurde ein gleicher Block aus dichtem, völlig trockenem Holze gebildet, so betrug die Drehung der Nullpunkte etwa  $10^\circ$ .

5. Sandstein. Einem ausgedehnten trockenem Sandsteinpfeiler des Gebäudes bis fast zur Berührung genähert, ergab der Apparat eine Drehung der Nullpunkte gegen den Sandstein hin von etwa  $20^\circ$ . Schon an dem grossen Apparate hatte ich bemerkt, dass ein Einfluss des steinernen Fussbodens sich geltend machte, sobald der Apparat demselben auf  $\frac{1}{2}$  m genähert wurde.

6. Schwefel. Aus Stangenschwefel wurde in einer Holzform ein massiver Block von 70 cm Länge, 20 cm Breite, 35 cm Höhe gegossen und die Form entfernt. Die Wirkung des Blockes war sehr deutlich, die oben beschriebenen Einzelheiten waren verfolgbar, die Drehung betrug  $13-14^\circ$ .

7. Paraffin. Das Paraffin war weiss, bei  $60-70^\circ$  schmelzend ergab es eine wasserklare Flüssigkeit ohne alle Unreinigkeiten. Es wurde in eine Form aus Pappe von den mehrfach genannten Dimensionen gegossen und die Form entfernt. Die Wirkung war sehr deutlich, die Drehung betrug  $7^\circ$ .

8. Petroleum. Um auch einen flüssigen Isolator zu untersuchen, füllte ich 45 l reinen Petroleums in einen dichten Kasten aus Eichenholz von 70 cm lichter Länge, 20 cm Breite, 35 cm Tiefe. Der gefüllte Kasten bewirkte eine Drehung von etwa  $7^\circ$ . Der leere Kasten bewirkte eine solche von etwa  $2^\circ$ . Der sehr merkliche Unterschied entspricht etwa der Wirkung, welche das Petroleum allein gehabt haben würde.

Der übereinstimmende Verlauf der Beobachtungen an so verschiedenen, zum Theil reinen Stoffen, wird kaum einen Zweifel an der Realität der Wirkung oder daran aufkommen lassen, dass dieselbe den Stoffen, nicht den Verunreinigungen zuzuschreiben sei. Auch sehe ich nur zwei Einwände, welche man hinsichtlich der Deutung der Erscheinungen machen könnte, und welche es vorthellhaft ist von vorn herein zu widerlegen. Erstens könnte man behaupten, die Wirkung sei keine elektrodynamische, sondern der Isolator verändere in seiner Nähe die Vertheilung der elektrostatischen Kraft, und diese geänderte Vertheilung habe die geänderte Erscheinung zur Folge. Ich habe vergeblich versucht, auf Grund dieser Annahme die Einzelheiten der Erscheinungen zu deuten. Aber es lässt sich jene Behauptung auch direct widerlegen. Erfüllt nämlich der Isolator einen Raum, welcher nur durch Kraftlinien und durch Theile der Oberflächen von  $A$  und  $A'$  begrenzt ist, so giebt er nicht zu einer Aenderung der elektrostatischen Kräfte ausserhalb seiner Masse Anlass. Nun ist die durch die Mittellinie  $rs$  gelegte senkrechte Ebene sicherlich von Kraftlinien gebildet, und ebenso ist es die horizontale Ebene der Platten  $A$  und  $A'$  selber. Ist also der Isolator begrenzt durch diese beiden Ebenen, und erstreckt er sich hinter der ersteren und unter der letzteren so weit, als er überhaupt noch Einfluss hat, so ist jeder elektrostatische Einfluss auf den äusseren Raum vermieden. Legten wir nun den kleineren unserer Apparate mit der Linie  $rs$  auf die obere Vorderkante eines der grossen Blöcke, so war der angegebenen Bedingung in hinreichender Weise genügt. Gleichwohl verschwand die Wirkung, wie oben bemerkt, nicht, sondern war von ähnlicher Stärke, wie unter den günstigsten Umständen. Diese Wirkung rührte also nicht von elektrostatischen Kräften her.

Zweitens kann man einwenden, die Wirkungen seien vielleicht Strömungen zuzuschreiben, welche einem Reste von Leitungsvermögen ihr Dasein verdanken. Dieser Einwand wird kaum auf Beifall rechnen dürfen, wenn er hinsichtlich der vorzüglichen Isolatoren Schwefel und Paraffin vorgebracht wird. Aber ich glaube, dass er selbst hinsichtlich der weniger guten Isolatoren, wie Holz, nicht am Orte ist. Gesetzt auch, ein solcher Stoff isolire so mangelhaft, dass er der geladenen Platte  $A$  gestatte, sich in dem zehntausendsten Theile der Secunde, aber nicht viel schneller, zu entladen, so würde doch während einer Schwingung unseres Apparates die Platte immer nur den zehntausendsten Theil ihrer Ladung verlieren. Der eigentliche Leitungsstrom in dem untersuchten Stoffe würde also immer nur den zehntausendsten Theil des primären Stromes in  $AA'$  ausmachen, und er würde also noch völlig unwirksam sein. Wenigstens für die besseren Isolatoren ist demnach jede Mitwirkung der Leitung ausgeschlossen.

Für die quantitativen Verhältnisse der Versuche erscheint es nicht möglich, schon jetzt eine entsprechende Deutung zu geben.

Wir haben oben gesehen, welchen Einfluss ein dem primären Leiter  $AA'$  genäherter metallischer Leiter  $C$  auf den secundären Kreis  $B$  hat. War  $C$  in Resonanz mit  $AA'$ , so war seine Einwirkung auf  $B$  nicht interferenzfähig mit der directen Wirkung von  $AA'$ . Gleichzeitig aber war diese Einwirkung im Zustande der Resonanz ziemlich kräftig, sodass dieselbe noch wahrgenommen werden konnte, wenn auch  $C$  um 1—1,5 m von  $AA'$  entfernt wurde. Hierauf gründete ich Versuche, welche eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Kräfte nachweisen sollten. Brauchen nämlich diese Kräfte Zeit, um zunächst von  $AA'$  nach  $C$  und von da zurück nach  $B$  zu gelangen, so wird die Phasendifferenz zwischen den Wirkungen von  $AA'$  auf  $B$  und von  $C$  auf  $B$  zunehmen mit wachsender Entfernung zwischen  $AA'$  und  $C$ , und beide Wirkungen müssen wieder interferenzfähig werden, wenn die Entfernung zwischen  $AA'$  und  $C$  so gross wird, dass sie von der elektrischen Kraft in dem vierten Theile der halben Schwingungsdauer durch-

laufen wird. Diese Versuche blieben jedoch ohne Erfolg, indem ich keine der Erscheinungen, welche ich erwartete, wahrzunehmen vermochte. Da es sich aber im günstigsten Falle um die Beobachtung äusserst zarter Abänderungen handelte, so glaube ich nicht, dass dies negative Resultat gegenüber den anderweitig von mir erhaltenen positiven Resultaten ins Gewicht fallen kann.