5. Ueber die *Aenderung der electricen Leitfähigkeit durch electriche Einflüsse; von Carl Fromme.*

Im Jahre 1890 veröffentlichte Hr. Branly¹⁾ seine ersten Versuche über die Zunahme, welche die electriche Leitfähigkeit von Metallpulvern und -Feilicht durch electriche Einwirkung erfährt. Diese Erscheinungen haben in neuerer Zeit noch wesentlich an Interesse gewonnen durch die Entdeckung des Hrn. Aschkinass²⁾ bezüglich der Zunahme des Leitungsvermögens von Stanniolgittern durch electriche Bestrahlung. Von den Branly'schen Veröffentlichungen waren mir bis vor Kurzem nur die kleinen Mittheilungen in den *Compt. Rend.* und im *Journ. de Phys.* bekannt, und hiernach schien mir noch Vieles der Aufklärung werth. So habe ich die von Branly entdeckte Erscheinung nach den verschiedensten Richtungen verfolgt; erst nach dem Abschluss und der Ausarbeitung meiner Versuche erhielt ich Kenntniss von den ausführlichen Mittheilungen Branly's in *La Lum. électrique*. Da ich in denselben meine Resultate fast sämmtlich wiederfinde, so kann ich auf eine Veröffentlichung meiner Versuche im Ganzen verzichten und möchte im Folgenden nur einige wenige hervorheben, welche mir für die Erklärung der Thatsachen wichtig scheinen.

1. Ich habe Feilicht verschiedener Metalle zwischen Kupferelectroden benutzt, Druck wurde nicht angewendet. Das Feilicht lag im Stromkreis eines Daniell und eines Galvanometers. Die electriche Einwirkung ging von einer Holtz'schen Maschine oder von einem kleinen Inductorium aus, das mit einem Bunsen betrieben wurde. Die Wirkung der Fünkchen der Electrisirmaschine — ohne Flaschen — auf

1) E. Branly, *Compt. Rend.* **111.** p. 785. 1890; **112.** p. 90. 1891; *J. de Phys.* (3) **4.** p. 273. 1895; *Lum. él.* **40.** p. 301 u. 506. 1891. **51.** p. 526, 1893; Cf. auch A. Le Royer et P. van Berchem, *Arch. sc. phys. et nat.* **31.** p. 558. 1894; G. M. Minchin, *Beibl.* **19.** p. 519. 1895; *Phil. Mag.* (5) **37.** p. 90. 1894.

2) E. Aschkinass, *Verh. phys. Ges.* **13.** p. 103. 1894; *Wied. Ann.* **57.** p. 108. 1896; H. Haga, *Wied. Ann.* **56.** p. 571. 1895. T. Mizuno, *Phil. Mag.* (5) **40.** p. 497. 1895.

die Feilspähne wurde meist durch die Luft und aus grosser Entfernung vermittelt, wobei der Stromkreis der Feilspähne geschlossen oder geöffnet sein konnte. Im ersteren Fall ist die Wirkung aber stärker. Beim Inductionsapparat waren sowohl die kleinen Fünkchen des Primärstroms zwischen Feder und Stellschraube, als auch die Secundärfunken wirksam. Hierbei wurde vielfach die Wirkung auf grössere Entfernung durch einen Kupferdraht übertragen, welcher einerseits die eine Electrode des Feillicht berührte oder ihr nur bis auf einige Centimeter genähert wurde, andererseits die Stellschraube am Unterbrecher oder ein Ende der Secundärspule, am besten locker d. h. mit Funkenübergang, berührte oder auch den übergehenden Secundärfunken nahe lag.

2. Die Feilspähne besitzen zunächst ein Leitungsvermögen, welches merklich gleich Null ist. Durch eine electrische Wirkung der oben bezeichneten Art schnellte es augenblicklich auf einen sehr hohen Werth herauf und bleibt auf demselben constant. Durch Erschütterung sinkt es auf einen neuen, wiederum meist constanten Werth und, wenn die Erschütterung kräftig genug ist, auf Null. Eine folgende zweite Erschütterung verhält sich verschieden: sie kann eine weitere Abnahme erzeugen, aber auch wieder eine Zunahme, bei einer dritten ist es ebenso etc. War die Ablenkung des Galvanometers durch eine Erschütterung auf Null gebracht, so erreichte sie in Folge einer zweiten häufig wieder das Maximum, durch eine dritte konnte sie wieder auf Null kommen u. s. f. Dieser Versuch ist mir oft vielmal nacheinander gelungen. Aber unerlässliche Bedingung dafür, dass Erschütterungen den Strom verstärken, ist, dass nach der letzten energischen Durchschüttelung der Feilspähne, welche alle Spuren von Leitfähigkeit zerstörte, noch eine electrische Einwirkung stattgefunden hat. Dieselbe kann scheinbar, da die Galvanometernadel ihre Ruhelage nicht verlässt, ohne Erfolg, vielleicht weil sie zu schwach war, gewesen sein. Leise Erschütterungen genügen dann aber häufig, einen constanten und grossen Ausschlag hervorzubringen. Wenn dagegen wirklich gar keine electrische Einwirkung seit den letzten kräftigen Erschütterungen stattgefunden hatte, dann ist es mir auch niemals gelungen, durch Erschütterungen irgend welcher Stärke eine bemerkenswerthe

Leitfähigkeit zu erzeugen. Dieselbe Bemerkung hat Hr. Aschkinass bei seinen Stanniolgittern gemacht. Durch blosse mechanische Erschütterungen gelang es ihm nicht, eine Widerstandsabnahme derselben hervorzurufen.

3. Die Feilspähnen wurden in recht dünner Schicht auf einer Glasplatte ausgebreitet und der mikroskopischen Beobachtung unterworfen. Es sollte festgestellt werden, ob die Theilchen beim Eintritt der electricischen Einwirkung sich bewegten. Wenn in grosser oder kleiner Entfernung Entladungen der Electricirmaschine oder des Inductoriums erfolgten, liess sich keine Bewegung feststellen, obwohl hohe Leitfähigkeit eintrat; ebensowenig, als die electricischen Wellen mittelst eines Kupferdrahts bis in unmittelbare Nähe der Feilspähne geführt wurden. Erst als dieser Draht mit ihrer einen Electrode in unmittelbare Berührung kam, geriethen die Theilchen in lebhafte Bewegung, während hier und da Fünkchen zwischen ihnen übersprangen. Die Bildung der neuen Gleichgewichtslagen geschah in sehr kurzer Zeit. Die Leitfähigkeit blieb manchmal bei recht starken Erschütterungen, welche die Theilchen in lebhafte Bewegung versetzten, noch ganz constant; dagegen bewirkte eine zarte Berührung der Spähnen, etwa mit einer Messerspitze, zwischen den Electroden oder auch an einer derselben stets einen sehr starken Rückgang der Leitfähigkeit.

4. In ein Stück Wachs wurden Zink-Feilspähnen eingeknetet und nach Rückkehr zur Zimmertemperatur Kupferdrähtchen als Electroden eingesetzt, die in zwei mit Quecksilber gefüllte Vertiefungen eines Paraffinklotzes tauchten. Die Versuche mit dem Wachskörper gehen nicht so sicher, wie diejenigen mit den lockeren Feilspähnen. Es gelingt nicht immer, den ursprünglich nichtleitenden Körper durch electricische Wirkungen zu einem Leiter zu machen; andererseits kommt es auch vor, dass der Körper schon von vornherein ein hohes Leitvermögen besitzt. In beiden Fällen hilft Umkneten. Die Ursache ist wohl darin zu suchen, dass die Vertheilung des Metalls in dem Wachs nicht so gleichmässig ist, als dass nicht einmal eine zu dünne, das andere Mal eine zu dichte Lagerung der Metalltheilchen zwischen den Electroden eintreten könnte.

Gegen Erschütterungen direkt ist die Leitfähigkeit dieses

Körpers, wenn sie durch electriche Wirkung hergestellt ist, wahrscheinlich sehr unempfindlich, dagegen sehr empfindlich gegen Temperatursteigerung. Wo Erschütterungen zu wirken schienen, da lag die eigentliche Ursache wohl nur in der durch sie hervorgerufenen Temperaturerhöhung. Während eine Glasröhre voll Feilspähne schon mit dem Bunsenbrenner erwärmt werden musste, wenn die Leitfähigkeit merklich abnehmen sollte, genügte bei dem Wachskörper häufig der genäherte Finger. Anfassen mit dem Finger oder Ueberhauchen brachte die Leitfähigkeit meist auf Null. blieb der Wachskörper darauf sich selbst überlassen, so nahm die Leitfähigkeit meist wieder zu, electriche Einwirkung beschleunigte die Zunahme.

Wie durch Beobachtung im Wasserbad festgestellt wurde, genügte eine Temperaturzunahme von 4° , um den Körper vorübergehend aus einem sehr guten Leiter zu einem Isolator zu machen. Auch nach einer grösseren Temperatursteigerung — bis um 21° — stellte sich, wenn der Körper wieder abgekühlt war, häufig von selbst wieder Leitung ein, in anderen Fällen musste eine electriche Einwirkung zu Hülfe kommen, und wieder in anderen versagte selbst diese. Es war dann nöthig, die Electroden neu einzustecken oder den Körper umzukneten.

Es schien von besonderem Werthe, festzustellen, ob bei einer erhöhten Temperatur, bei der die Leitfähigkeit des Wachskörpers auf Null reducirt war, electriche Wirkungen wieder eine Zunahme derselben herbeiführten. Wenn die Temperatursteigerung nur gering war, wie z. B. nach Berührung mit dem Finger, dann brachten electriche Einflüsse das Leitungsvermögen in der That sogleich wieder auf das Maximum. Bei etwas höherer Temperatur, die durch ein Wasserbad erzeugt wurde, zeigte sich dagegen folgende unerwartete Erscheinung. Beim Einlassen wärmeren Wassers ging das Leitvermögen manchmal sogleich auf Null, manchmal nahm es dagegen nur wenig ab bis zu einem constanten Werth. Im letzteren Fall stieg es nun aber nicht etwa wieder, wenn man einen Draht vom Inductorium her nach der einen Electrode des von seinem Stromkreis getrennten Wachskörpers führte, sondern es nahm nun im Gegentheil bis Null ab. Zunahme bis zum vorherigen Maximum trat darauf wieder ein, wenn der Wachskörper in seinem Stromkreis blieb, so lange er mit

dem Inductorium durch den Kupferdraht in Verbindung gesetzt war. Darauf liess sich nochmals die Leitfähigkeit auf Null bringen, wenn die Verbindung bei *geöffnetem* Stromkreis hergestellt wurde, u. s. f.

5. Auf Grund seiner Versuche ist Hr. Branly zu dem Schluss gekommen, dass die Aenderung der electricen Leitfähigkeit durch electriche Einflüsse wahrscheinlich in Folge einer Modification des zwischen den Feilspähnchen befindlichen Isolators zu Stande kommt, und dass diese Modification durch eine Art von Coërcitivkraft einige Zeit andauert. Worin dieselbe bestehen soll, wird nicht ausgeführt. Meiner Ansicht nach sprechen jedoch viele Erscheinungen zu stark zu Gunsten einer mechanischen Deutung, als dass man diese ganz bei Seite schieben dürfte.

Zunächst lassen sich alle Versuche mit lockeren Feilspähnen (Luft als Dielectricum) sehr gut rein mechanisch erklären. Unter dem Einfluss einer electricen Entladung orientiren sich die Theilchen und bilden Ketten von einer Electrode zur anderen. Zwar ist es mir, wie oben erwähnt, nicht möglich gewesen, beim Durchgang einer electricen Strahlung durch die Luft eine Bewegung der Theilchen unter dem Mikroskop wahrzunehmen; indessen kann man sich ja die Kettenbildung auch ohne Verschiebung und Drehung der ganzen Theilchen in der Weise vor sich gehend denken, dass durch die electricen Wellen kleinste Partikelchen an einer Stelle abgerissen und an einer anderen angesetzt werden, ein Vorgang, welcher im Mikroskop schon wegen der Geschwindigkeit seines Ablaufs un wahrnehmbar bleiben muss.

Man könnte gegen diese Erklärung einwenden, dass dann wohl auch durch blosse Erschütterungen eine solche günstige Lagerung der Theilchen eintreten müsste, bei welcher Leitung stattfindet. Das ist indessen sehr unwahrscheinlich wegen der Vielheit der Theilchen, d. h. der sehr grossen Zahl möglicher Unterbrechungsstellen; denn mag auch eine Reihe von Erschütterungen vielleicht die Theilchen in so günstige Lage gebracht haben, dass die Schliessung nur an einer oder einigen Stellen fehlt, so wird zwar eine folgende Erschütterung möglicherweise auch diese Schlüsse herstellen, dafür aber die Kette gleichzeitig an anderen Stellen wieder öffnen.

Electrische Einflüsse bringen die Theilchen einer Kette jedenfalls in eine sehr innige Berührung, denn es gehören oft starke Erschütterungen dazu, um die Leitfähigkeit zu vermindern oder sie gar auf Null herabzusetzen. In jenem Fall ist die Berührung der Glieder einer Kette weniger innig geworden, in diesem ist sie ganz aufgehoben. Ist dies aber nur an einer oder sehr wenigen Punkten geschehen, dann vermag man, da an den übrigen Punkten immer noch fester Zusammenhang stattfindet, durch eine folgende leichte Erschütterung die Kette wieder zu schliessen und die Leitfähigkeit herzustellen. Dagegen ist klar, dass *einseitig* wirkende mechanische Kräfte, wie Berührung der Spähnchen mit einem Fremdkörper, ihren Zusammenhang leichter und dauernd aufheben müssen.

Bei der Erklärung der Versuche mit einem festen oder halbfesten Dielectricum (Wachskörper) wäre zuerst die Frage zu beantworten, wo der anfängliche hohe Widerstand liegt, ob in der Masse des Körpers oder an den Electroden. Die Annahme eines bald kleinen, bald grossen Contactwiderstandes würde ebenfalls die Thatsache erklären, dass der Körper manchmal von vornherein ein hohes Leistungsvermögen besass, meist es erst nach electrischer Einwirkung erhielt, manchmal auch dauernd ein Isolator blieb. Um einen an den ins Wachs gesteckten Kupferelectroden vielleicht vorhandenen Contactwiderstand nach Möglichkeit zu verringern, habe ich den Strom durch Quecksilber, das sich in Vertiefungen des Wachskörpers befand, zugeleitet. Da sich hierdurch aber gar nichts in den Erscheinungen änderte, so bin ich geneigt, den Contactwiderstand als klein gegen den übrigen Widerstand des Körpers anzusehen. Die Schwierigkeit einer Erklärung ist hier jedenfalls grösser, denn eine Verschiebung oder Drehung der Metallspähnchen wird man bei einem festen Dielectricum kaum voraussetzen dürfen. Dagegen hindert nichts, anzunehmen, dass die zwischen den Metalltheilchen übergehenden Fünkchen das Dielectricum in kleinen Canälchen durchschlagen und diese mit soviel leitender Materie ausfüllen, dass ein constanter Strom Durchgang findet. Die geringe oder überhaupt fehlende Empfindlichkeit gegen Erschütterungen kann nicht auffällig erscheinen, und die grosse Empfindlichkeit gegen Temperaturerhöhung erklärt sich durch die starke Ausdehnung des Wachses

und die daraus folgende Vergrösserung der Entfernungen zwischen den eingebetteten Metalltheilchen. Ist die Temperaturzunahme wieder rückgängig geworden, so ist auch das frühere Leitungsvermögen zurückgekehrt, falls nicht etwa durch Unregelmässigkeiten in der Ausdehnung oder durch zu hohe Erwärmung die Lagerung der Theilchen sich durchgreifend geändert hat. Die Thatsache, dass bei einer langsamen Erhöhung der Temperatur die Leitfähigkeit zuerst langsam und auf einmal plötzlich bis Null abnimmt, sowie, dass bei wieder erfolgender Abkühlung das Leitungsvermögen zuerst plötzlich bis auf einen ziemlich hohen Werth steigt und darauf langsam weiter zunimmt, stimmt mit der Anschauung überein, dass bis zu einem gewissen oberen Werthe der Entfernung die Leitfähigkeit sich umgekehrt wie die Entfernung der Theilchen ändert, dass sie aber plötzlich Null wird im Augenblick der Ueberschreitung dieser Grenze. Wenn aber das Leitungsvermögen auch bei einer geringen Zunahme der Temperatur noch nahezu ungeändert bleiben kann, so ist doch begreiflich, dass eine *schwache* electrische Einwirkung es dann zerstört, weil dieselbe hauptsächlich nur als moleculare Erschütterung wirkt, dass dagegen eine folgende *starke* Einwirkung das Maximum wieder herstellt (§ 4 a. E.). Eine ähnliche Beobachtung, bei welcher der Widerstand platinirten Glases durch verschiedene electrische Einwirkungen abwechselnd verkleinert und vergrössert wurde, theilt auch Hr. Branly mit.

Ausser der hier verfolgten Erscheinung der Zunahme der Leitfähigkeit durch electrische Wirkungen hat Hr. Branly und ebenso Hr. Aschkinass bei einigen Substanzen auch eine *Abnahme* derselben beobachtet. Indessen scheinen mir die Versuche hierüber noch zu wenig ausgedehnt zu sein, als dass man über die Zusammengehörigkeit beider Erscheinungen und die Nothwendigkeit, beide von derselben Grundursache abzuleiten, entscheiden könnte. Dagegen ist nach der letzten Veröffentlichung von Hrn. Aschkinass wohl als sicher anzunehmen, dass die Widerstandsabnahme der Stanniolgitter und diejenige der Feilspähne in letzter Instanz auf der gleichen Ursache beruht.

Giessen, im April 1896.