**19. Ueber die Untersuchung electrischer
Drahtwellen mit Hülfe von Staubfiguren;
von Wilhelm von Bezold.**

Am 5. Februar 1870 legte Ph. Jolly der bayerischen Akademie der Wissenschaften eine von mir verfasste Abhandlung vor, in welcher unter dem Titel „Untersuchungen über die electrische Entladung“ neben einigen anderen Erscheinungen auch die ersten Beobachtungen über electrische Drahtwellen beschrieben sind.

Trotz des Wiederabdruckes in diesen Annalen¹⁾ und einer englischen Uebersetzung²⁾ blieb die Arbeit beinahe gänzlich unbeachtet, bis sie im Jahre 1892 durch H. Hertz der Vergessenheit entrissen wurde, indem er sie als einen Vorläufer seiner eigenen Untersuchungen in hochherziger Weise mit geringfügigen Abkürzungen in die Sammlung seiner epochemachenden Abhandlungen aufnahm.

Dass meine Mittheilung solange keine Berücksichtigung gefunden hat, ist, wie schon Hertz bemerkte, wohl in erster Linie dem Umstande zuzuschreiben, dass sie nur als eine „vorläufige“ bezeichnet war, und zwar umsomehr, als der geringe Umfang derselben nicht vermuthen liess, über welche Menge neuer Thatsachen hier in engem Raume und in äusserst knapper Darstellung berichtet sei. Vor allem aber dürfte der Mangel einer eigentlichen Beschreibung der Versuche von der Wiederholung derselben abgehalten haben.

Dagegen mag sich wohl schon mancher gefragt haben, wie es gekommen sei, dass ich die in Aussicht gestellte ausführliche Veröffentlichung niemals gebracht und die Sache nicht weiter verfolgt habe. Auch würde ich es keinem verargen, wenn er auf den Gedanken verfallen wäre, dass ich selbst die Bedeutung dieser Versuche gar nicht richtig gewürdigt und nicht gefühlt hätte, dass sie die Keime zur Erschliessung ganz neuer Gebiete in sich trugen.

1) W. v. Bezold, Pogg. Ann. 150. p. 541—552. 1870.

2) W. v. Bezold, Phil. Mag. (4) 40. p. 42—51. 1870.

Dies war jedoch keineswegs der Fall, im Gegentheil habe ich es Jahre hindurch schmerzlichst empfunden, dass äussere Umstände mich hinderten, die Arbeit in dem von mir beabsichtigten Umfange wieder aufzunehmen.

Ursprünglich ging mein Plan dahin, nach dem Vorgange von Hrn. W. Feddersen das von einem rotirenden Hohlspiegel entworfene Bild des Entladungsfunken zu photographiren, und dadurch die Dauer der Schwingungen zu bestimmen, während gleichzeitig die Wellenlängen aus den Abmessungen der Drähte ermittelt werden sollten, welche einzuschalten sind, um die durch Staubfiguren sichtbar gemachten Knoten und Bäuche recht schlagend hervortreten zu lassen.

Leider musste ich den Gedanken, die Versuche in so grossem Maassstabe aufzunehmen und weiter zu führen, bald wieder fallen lassen, da ich weder über ein eigenes Laboratorium, noch über einen eigenen Assistenten etc. verfügte.

Ich beschränkte mich deshalb zunächst darauf, das von mir verwendete Prüfungsmittel, d. h. die electrischen Staubfiguren in ihren mannichfaltigen Gestalten zum Gegenstande eines eingehenden Studiums zu machen, um die Unsicherheiten beseitigen zu lernen, mit welchen meine Versuche im Anfang noch immer behaftet waren, und sie später in einwurfsfreier Weise wieder aufnehmen zu können.

Inzwischen war ich durch äussere Verhältnisse auf ganz andere Arbeitsgebiete — physiologische Optik, technische Physik, Meteorologie — gedrängt worden, und als es nach Abschluss der Organisation des meteorologischen Dienstes in Bayern den Anschein hatte, als ob es mir nun doch endlich möglich werden sollte, mich wieder der Electricitätslehre zuwenden zu können¹⁾, da musste ich mit Uebernahme meiner jetzigen Stellung in Berlin die Hoffnung endgültig aufgeben, jemals wieder grössere physikalische Experimentaluntersuchungen auszuführen.

Bald darauf erschienen die bahnbrechenden Arbeiten von Hertz, die auch auf mich einen so überwältigenden Eindruck machten, dass es mir selbst nie in den Sinn gekommen wäre,

1) Vgl. W. v. Bezold, Wied. Ann. 11. p. 787. 1880; 24. p. 401. 1884; 23. p. 426. 1884.

bezüglich der wenigen Schritte, die ich 17 Jahre früher nach derselben Richtung hin gethan hatte, Prioritätsansprüche zu erheben.

Dagegen hat es Hertz selbst aus freiem Antrieb übernommen, meine alte Arbeit der Vergessenheit zu entreissen und mir dadurch eine Genugthuung gewährt, wie ich sie mir nicht schöner hätte wünschen können.

Gerade deshalb mag es berechtigt erscheinen, wenn ich

noch nachträglich wenigstens den Apparat beschreibe, mit dem ich damals meine Versuche angestellt habe. Vielleicht findet sich der eine oder andere Physiker dadurch veranlasst, sie unter den erweiterten Gesichtspunkten, mit denen man heute an die Frage herantreten kann, wiederaufzunehmen, oder sie wenigstens als Demonstrationsexperimente weiter auszubilden, wofür sie besonders geeignet erscheinen.

Fig. 1.

Fig. 1 giebt ein Bild des Apparates, der in der Werkstätte von Dr. M. Th. Edelmann in München hergestellt wurde.

S ist eine runde Metallstange von 50 cm Höhe — da ich den Apparat nicht bei der Hand habe, so gebe ich die Maasse nur schätzungsweise —, die durch eine Zwinge an einen Tisch angeschraubt werden kann. Sie trägt an ihrem oberen Drittel einen gut isolirenden Glasstab G_1 , der mit Hülfe einer Hülse H_1 verschoben und vermittelst einer Klemmschraube an einer beliebigen Stelle festgestellt werden kann. Diesen Stab, den man natürlich auch aus Ebonit machen kann, dient als Führung für die Drahtenden bez. für jene Theile des Drahtes, an welchen man den Schwingungszustand untersuchen will. Um eine Verschiebung dieser Drähte und damit unbeabsichtigte

Berührungen unmöglich zu machen, hatte ich den Glasstab mit Ringen aus Siegelack versehen, die Rillen besaßen, in welche der Draht mit einmaliger Umwindung eingelegt wurde. Wendet man Ebonit an, so kann man gleich Rillen eindrehen lassen.

Von diesem Stabe G_1 führten die Drähte in einigen spiralförmigen Windungen zu den Zuleitern, deren hier fünf abgebildet sind. Diese Zuleiter, von denen man einen in Fig. 2 in grösserem Maassstab gezeichnet findet, bestehen aus feinen geraden Stricknadeln, denen an zwei Stellen durchbohrte Bügel B als Führung dienen. Das Mittelstück dieser Bügel ist mit einer runden Oeffnung und einer Klemmschraube versehen, damit sie über den Glasstab G_2 gesteckt und dort befestigt werden können.

Um die Spitzen sämmtlicher Nadeln in genau gleiche Höhe bringen zu können, und zwar so, dass sie bei Annäherung der Ebonittafel, auf welcher die Staubfiguren gebildet werden sollen, diese gerade berühren, ohne einen nennenswerthen Druck auszuüben, und ohne bei der Herstellung oder bei dem Lösen der Berührung irgendwie zu kratzen oder zu rutschen, trägt jede Nadel zwischen den Bügeln eine kleine Klemmschraube (k) die man, wenn es zweckmässig scheint, auf einem kleinen federnden Spiraldraht s ruhen lassen kann. An dem in Fig. 1 dargestellten unteren Zuleiter ist diese Spirale unbedingt nothwendig, um die Nadel gegen die Probeplatte zu drücken. Oben sind an den Nadeln Klemmen mit zwei Bohrungen und zwei Schrauben angebracht, von denen die eine zur Befestigung an die Nadel, die andere zur Aufnahme und Befestigung des Drahtendes dient. Zur Vermeidung von Spitzenwirkungen sind alle Klemmen wohl abgerundet und die Köpfe der Klemmschrauben kugelförmig gestaltet.

Die Verwendung derartiger Zuleiter ist unerlässlich, wenn man wirklich schön ausgebildete, von Unregelmässigkeiten freie Staubfiguren erhalten will, sie ist deshalb auch für die gewöhnlichen Demonstrationsversuche sehr empfehlenswerth. In diesem Falle schiebt man den Bügel über einen beliebigen isolirenden Stab, den man je nachdem einfach in der Hand halten kann,

Fig. 2.

und nähert der oberen Klemmschraube den Knopf einer schwach geladenen Leydener Flasche, oder sonst einen geladenen Conductor.

Der isolirende Stab G_2 , der die Bügel der Zuleiter trägt, ist an einem gebrochenen, mit Gelenk versehenen Hebel angebracht, an dessen einem Ende sich eine Hülse befindet, die über den Stab S geschoben, auf einer zweiten ebenfalls verschiebbaren und durch eine Klemmschraube an beliebiger Stelle zu fixirenden H_2 ruht.

Diese Einrichtung gestattet, die isolirende Stange G_2 leicht in beliebige Stellungen zu bringen, insbesondere auch parallel mit sich zu verschieben, sodass man die zusammengehörigen Staubfiguren, wie sie einer bestimmten Versuchsanordnung entsprechen, sofort wieder an benachbarten Stellen der Probeplatte herstellen kann.

Als Probeplatte benutzt man am besten Ebonitplatten von einigen Millimetern Dicke, die auf der einen Seite mit einer Stanniolbelegung versehen sind. Will man bestimmte Versuche ausführen, bei welchen auf beiden Seiten Staubfiguren entstehen sollen, so muss man natürlich unbelegte Platten verwenden. Um auch diese Versuche machen zu können, ist es zweckmässig, auf der unteren Seite einen ähnlichen Zuleiter anzubringen, wie sie oberhalb zur Anwendung kamen. Benutzt man eine belegte Platte, so hat man die untere Klemme dieses Zuleiters einfach mit der Erde zu verbinden, während die Nadel durch den federnden Spiraldraht gegen die Belegung gedrückt wird.

Die Platte selbst, die bei meinen Versuchen einen Durchmesser von etwa 35 cm hatte, während jener der Belegung 25 cm betrug, ruht auf drei kurzen Glasfüssen, die in einen Metallring R eingekittet sind.

Der nämliche Ring trägt auch den gebogenen Glasstab G_3 , an dem die untere Zuleitung bez. Ableitung angebracht ist. Der Ring selbst ist durch eine Querstange Q mit einer Hülse H .

Unterhalb der Hülse H_3 befindet sich ein schraubenartig schief abgeschnittenes Rohrstück, das ebenfalls genau auf den Stab S passt; dreht man dasselbe mit Hülfe der Kurbel K , so gleitet die schiefe Fläche über einen Stift σ weg, und bewirkt damit ein Heben oder Senken der Probeplatte je nach dem Sinne, in welchem die Kurbel gedreht wird.

Hat man die Platte nach erfolgter Entladung auf den tiefsten Stand herabsinken lassen, so kann man sie leicht ohne irgend welche störende Berührung abnehmen, und mit dem bekannten Pulvergemisch von Schwefel und Mennige, oder nach dem Vorgange von A. Kundt von Schwefel und englisch Roth bestreuen.

Dass man jetzt, wo man über die Trockenplatten verfügt, die Figuren auch unmittelbar auf photographischen Platten herstellen und nachträglich entwickeln kann, ist selbstverständlich. Ueber die Art und Weise, wie man die Drähte mit den Zuleitern zu verbinden hat, um sie dem einen oder anderen der l. c. gegebenen Schemata anzupassen, ist es kaum nöthig, ein Wort zu sagen, da sich dies von selbst ergibt.

„Dagegen muss besonders hervorgehoben werden, dass man sämtliche Stützen vor jedem Versuche mit einer Flamme überfahren muss, um alle von früheren Versuchen oder sonstwie zufällig an den Isolatoren haftenden Electricitätsmengen vollständig zu entfernen.“

Leider habe ich mich erst sehr spät von der ausschlaggebenden Bedeutung dieser an sich so geringfügigen Vorsichtsmaassregel überzeugt. Infolge dessen waren die Versuche

Fig. 3.

Fig. 4.

auch lange Zeit mit störenden Unsicherheiten behaftet, ein Umstand, der nicht unwesentlich dazu beitrug, die ausführliche Veröffentlichung der Versuche hinauszuschieben, und mich zunächst dem Studium des Bildungsgesetzes der electrischen Staubfiguren zuzuwenden, um alle hierbei in Betracht kom-

Fig. 5.

menen Punkte genau kennen zu lernen. Ferner ist es wichtig, zu dem Nachweise der Drahtwellen weder zu grosse Electricitätsmengen, noch zu grosse Schlagweiten zu benutzen. Man darf dementsprechend auch keine Leydener Flaschen verwenden, sondern nur einfache Conductoren, die man bis zu

Fig. 6.

Schlagweiten von wenigen Millimetern ladet. Ich bediente mich bei meinen Versuchen einer alten Electrisirmaschine mit einem kugelförmigen Conductor von etwa 15 cm Durchmesser, die Schlagweite wurde an einem Riess'schen Funkenmikrometer gemessen, dessen Kugeln in den Schematen Figg. 5 und 6 durch kleine Kreise versinnlicht sind, während die Funkenstrecke selbst durch *F* bezeichnet ist.

Die Ebonitplatte wurde vor jedem Versuche sorgfältig mit Alkohol oder Aether abgewaschen und nach dem Trocknen mit einer Bunsenflamme überfahren. Zum Abdrucken und Aufbewahren der Figuren bestrich ich schwarzes Seidenpapier,

man

benutzen. Man darf dementsprechend auch keine Leydener Flaschen verwenden, sondern nur einfache Conductoren, die man bis zu Schlagweiten von wenigen Millimetern ladet. Ich bediente mich bei meinen Versuchen einer alten Electrisirmaschine mit einem kugelförmigen Conductor von etwa 15 cm Durchmesser, die Schlagweite wurde an einem Riess's-

später schwarzes Glanzpapier mit einer Kautschuklösung, die durch Benzin auf passende Verdünnung gebracht war. Das Papier wurde während des Trocknens mit der befeuchteten Seite auf die mit dem Pulver bestreute Platte gelegt, mit der Hand darüber gestrichen und abgehoben.

Die Fig. 3 und 4 sind Abbildungen solcher Abklatsche, die ich seit 1870 aufbewahrt habe. Sie sind nach den Schematen Fig. 5 — Fig. 9 der alten Abhandlung — und Fig. 6 hergestellt. Bei Fig. 3 betrug die Schlagweite 4 mm, die Länge der Schleife DD , über welche ich keine genaue Angabe mehr finden kann, vermuthlich 6 m. Aehnliche Abmessungen wurden auch zur Herstellung von Fig. 3 verwendet. Die in Fig. 1 skizzirte Anordnung zeigt die Verwendung von vier Schleifen und fünf Zuleitern von solchen Dimensionen, dass die Figuren zwei Knoten und drei Bäuchen entsprechen.