

VI. *Ueber die elektrische Flaschenentladung;
von W. Feddersen in Leipzig.*

II.

Die Methode der Untersuchung — den rotirenden Hohlspiegel, welcher das Bild des Entladungsfunkens in natürlicher Größe auf einer bestimmten Ebene projicirt — und die gebrauchten Apparate habe ich im Wesentlichen in diesen Annalen Bd. CXIII S. 441 u. f. beschrieben; ebenso die Hauptsachen hervorgehoben, welche unmittelbar mit dem Auge während des Aufblitzens der Erscheinung wahrzunehmen sind. Indem ich auf ein eigenthümliches Zerfallen des Bildes in regelmässige Querabtheilungen aufmerksam machte, wofür ich eine schematische Abbildung beifügte, und die Verhältnisse, unter denen jenes Zerfallen eintrat, näher untersuchte, sah ich mich gezwungen der Uebersichtlichkeit und Deutlichkeit halber eine Theorie zu Grunde zu legen, für deren Richtigkeit ich vorläufig nur die Uebereinstimmung der von mir auf experimentellem Wege gefundenen Gesetze mit gewissen schon früher bekannten Ergebnissen der Rechnung anführen konnte¹⁾. Indem ich aus denselben Gründen jene Theorie²⁾ als bekannt voraussetze, möchte ich jetzt auf die Resultate näher eingehen, welche ich mit Hilfe der Photographie erhalten habe, möchte das Variable in der Erscheinung vom Constanten zu trennen suchen, um wo möglich für das Letztere bestimmte Gesetze zu finden.

Daraus, daß das nach der Breite lang ausgezogene Funkenbild auf einer präparirten photographischen Platte aufgefangen wird, entspringt der wesentliche Vortheil, daß nicht nur der überraschende Lichtblitz sich zu ruhiger Betrachtung fixirt, sondern auch, daß viel schärfere Zeichnungen sich im Funkenbilde unterscheiden und messen lassen. Doch

1) Diese Annalen Bd. CVIII S. 497.

2) Vergl. diese Annalen Bd. CXIII S. 439.

ich glaube, die Vortheile dieser schon in den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften von 1859 von mir bekannt gemachten Art der Beobachtung sind nach allen Seiten hin so evident, daß ich kein Wort weiter darüber zu sagen brauche.

Für die Ausführung will ich nur noch erwähnen, daß gute photographische Präparate mir im Allgemeinen nicht ihren Dienst versagten; obschon in vielen Fällen, z. B. um die anfangende continuirliche Entladung darzustellen, auf die äußerste Empfindlichkeit zu halten war. Das Auge ist zwar im Stande noch schwächere Lichteindrücke von kurzer Dauer wahrzunehmen, als die photographische Platte; allein gegen das Licht des Funkens zeigt sich auch die letztere ausnehmend empfindlich. Aus den später folgenden Zahlen wird man schließen können, daß in einzelnen Fällen die Einwirkung des Lichtes auf einen Punkt der Platte etwa ein Milliontel einer Sekunde gedauert, dennoch aber einen kräftigen Eindruck hinterlassen hat. Man wird zunächst daraus folgern, daß der elektrische Entladungsfunk eine außerordentliche Menge chemischer Strahlen enthält.

**Photographische Bilder¹⁾ des Entladungsfunkens
bei ruhendem Spiegel.**

Theils, weil es zur Deutung des Funkenbildes bei Bewegung des Spiegelrotationsapparates zweckdienlich ist, theils weil auch noch andere Aufschlüsse dadurch gegeben werden, bespreche ich zunächst die zahlreichen Funkenbilder, welche ich bei ruhendem Spiegel dargestellt habe.

Fig. 1 Taf. I giebt das Bild eines Entladungsfunkens zwischen zwei mit *keiner* isolirenden Substanz überzogenen Kupferkugeln bei zwar langem aber gut leitendem Schlie-

1) Ich möchte hier ein und für alle Mal bemerken, daß sämtliche Funkenbilder in derselben Größe dargestellt sind, wie ich sie entweder bei ruhendem oder bei rotirendem Spiegel erhalten habe, ferner daß die Lage des dem Innenbeleg zunächst stehenden Poles durch +, die Lage des mit dem Außenbeleg näher verbundenen Poles durch — bezeichnet ist.

fsungsbogen, für den die Beobachtungen am rotirenden Spiegel eine beträchtliche Reihe von Querabtheilungen (Oscillationsstreifen) hatten wahrnehmen lassen. An jedem Pole unterscheidet man deutlich mehrere Punkte, von denen die Entladung ausgegangen ist. Wenn dieselben auf dem Bilde in einer Reihe stehen, weil sie auf eine Ebene projicirt sind, so darf man doch annehmen, daß sie in Wirklichkeit unregelmäßig auf den einander gegenüberstehenden Kugelabschnitten vertheilt sind. Das Ansehen der Kugeloberflächen nach einer solchen Entladung dient zur Bestätigung. Schon früher zeigte ich durch die Darstellung Priestley'scher Flecke ¹⁾, daß bei einer Entladung, für welche der rotirende Spiegel eine Reihe von Querstreifen gab, eine Zeichnung auf den beiden Polkugeln entstand, die, an beiden dem Charakter nach sehr ähnlich, auf ein Ausströmen der Elektrizität von mehreren discreten Punkten jeder Kugel schliessen liefs.

Ich erklärte dies damals durch die Annahme, daß die Elektrizität in den verschiedenen Oscillationen nicht genau denselben Weg zwischen den beiden Polflächen verfolget, indem ich weiter zeigte, daß bei Einschaltung eines Widerstandes, bei welchem im rotirenden Spiegel nur die erste der Querabtheilungen sichtbar war, und den ich Gränzwiderstand nannte, die Zeichnungen auf beiden Kugeln einen durchaus verschiedenen Charakter hatten: daß auf der positiven Kugel ein energischer, auf einen kleinen Punkt concentrirter Eindruck zu bemerken war, auf der negativen Kugel sich dagegen der Eindruck nur wie ein leichter Schleier, jedoch auf einen weit größeren Theil der Fläche ausgebreitet zu erkennen gab.

Dieselbe Annahme möchte ich hier wieder zur Erklärung benutzen, und für die verschiedenen Ansätze, welche der Funke bildet, verschiedene auf einander folgende Oscillationen als Ursache setzen.

Es stimmt mit dieser Ansicht überein, daß mit wachsendem Widerstande des Schließungsbogens die Zahl der beob-

1) Diese Annalen Bd. CXII S. 456.

achteten Ansatzstellen im Durchschnitt kleiner wird. Bei einem Widerstande, für den der rotirende Spiegel drei bis vier Oscillationsstreifen zeigte, habe ich z. B. Fig. 2 Taf. I erhalten, während Fig. 3 Taf. I eine Entladung darstellt, wo der zweite Oscillationsstreifen bei rotirendem Spiegel kaum angedeutet war, und endlich Fig. 4 Taf. I bei einem Widerstande erhalten ist, der den Gränzwiderstand um etwa das Doppelte übertraf. In letzterem Falle habe ich *nie* die Andeutung eines zweiten Ausströmungspunktes wahrgenommen. Sind die Kugeln fein polirt, so geben sie noch zu einem Spiegelbild des ganzen Funkens Veranlassung. Ein feiner etwa 1^{mm} langer Fortsatz, welcher sich in Fig. 6 Taf. I an das Funkenende der positiven Seite, in Fig. 7 Taf. I an das der negativen Seite, als ein kleiner Schweif anschliesst, wird, wie ich hoffe, auf der Lithographie hinreichend deutlich ein solches Spiegelbild erkennen lassen. Ich erwähne desselben besonders, damit es nicht etwa als ein zweiter Ausströmungspunkt gedeutet werde.

Das Ausströmen der Elektrizität von mehreren discreten Punkten der Kugeln bei einem gut leitenden Schließungsbogen kann für die Beobachtung der Oscillationen und die Messung ihrer Dauer von Nachtheil seyn, da in der Verbreiterung des Funkens nur zeitliche Veränderungen gesucht werden, die Lage des Funkens selbst aber während der Entladung als unveränderlich vorausgesetzt wird. Um einer solchen Voraussetzung zu genügen, lassen sich zwei Wege einschlagen: entweder kann man für den zu beobachtenden Funken dünne Drähte als Pole anwenden, indem man die Entladung an einem anderen Punkte der Leitung zwischen Kugeln einleitet, oder man kann zu Polen Metallkugeln verwenden, welche, ausgenommen zwei kleine einander gegenüberliegende Punkte, mit einer isolirenden Substanz überzogen sind.

Das Funkenbild Fig. 5 Taf. I zeigt die Form eines Entladungsfunkens bei gut leitendem Schließungsbogen, wenn an der positiven Seite ein nackter dünner Kupferdraht, an der negativen eine Kupferkugel, welche bis auf eine kleine etwa

$\frac{1}{4}$ weite Oeffnung einen Schellacküberzug hatte, angebracht war. Man sieht, das am Ausströmungspunkte der Kugel sich der Funke am meisten verengt, und wird es aus diesem Grunde wohl zweckmäfsig finden, das ich zu Polkörpern bei den Beobachtungen für Bestimmung der Oscillationsdauer Kugeln gewählt habe, die auf solche Art mit Schellack oder Kautschuck überzogen waren.

Vergleicht man die Lichtentwicklung, welche bei verschiedener Form der Pole stattfand, so springt noch ein anderer Vortheil dieser Wahl in die Augen. Je mehr ich den Strom der Elektrizität künstlich auf einen engen Raum beschränkte, desto gröfser zeigte sich im Allgemeinen die im Funken entwickelte Lichtintensität. Fig. 6 und 7 Taf. I mögen dafür ein Beispiel geben. Eine Entladung von acht Flaschen mit Einschaltung des der Leitung und Flaschenzahl entsprechenden Gränzwiderstandes lieferte das Bild Fig. 6 als die positive Kupferkugel nackt und die negative bis auf einen kleinen Punkt mit Schellack überzogen war, das Bild Fig. 7 dagegen als die Kugeln mit einander vertauscht waren.

Den Entladungsfunken, welcher zwischen zwei bis auf einen kleinen Punkt mit Schellack überzogenen Metallkugeln sich bildet, habe ich unter verschiedenen Verhältnissen in Bezug auf seine Gestalt beobachtet.

Bei gut leitendem Schliefsungsbogen ging, je nachdem die freigelassenen Punkte gröfser oder kleiner waren, das Licht breiter oder enger begränzt von den Polflächen büschelförmig aus und zeigte in der Mitte zwischen den beiden Funken-Enden die gröfste Ausbreitung (ähnlich wie in Fig. 5). Die Beobachtungen lehrten, das diese Ausbreitung mit zunehmender Flächenzahl zunimmt, mit zunehmendem Widerstande abnimmt, das sie aber auferdem auch von der Gröfse und Form der Oeffnungen im Schellacküberzuge, so wie von der Natur des zu den Kugeln genommenen Metalles abhängig ist.

Bei einem Widerstande, der den Gränzwiderstand übertraf, zeigte sich das Bild des Entladungsfunkens meistens zu

einer Form zusammengezogen, wie sie Fig. 8 Taf. I darstellt. Eine feine Funkenlinie ¹⁾ verbindet die Pole, außerdem tritt aber aus der Oeffnung des Schellacküberzuges an jedem der beiden Pole ein Lichtbüschel hervor, der im Allgemeinen um so schwächer wird, je mehr man den Gränzwiderstand überschreitet. Die feine Funkenlinie scheint der einleitende Partialfunke zu seyn, der auf einem mehr oder weniger geraden Wege die Continuität des Schließungsbogens herstellt; während die Entladung ihren weiteren Fortgang nimmt, scheinen von beiden Polen Metalltheilchen losgerissen und aus der Oeffnung im Schellack, wie aus einem Krater herausgeschleudert zu werden. In einzelnen seltneren Fällen, wo die Elektrizität im einleitenden Partialfunken einen abnormen Weg eingeschlagen hatte, zeigte sich für diese Annahme ein deutlicher Beleg. Fig. 9 stellt das Bild eines solchen Entladungsfunkens zwischen überzogenen Zinnkugeln bei Anwendung von acht Flaschen und überschrittenem Gränzwiderstande im Schließungsbogen dar. Die Entladungserscheinung Fig. 9 sowohl als das unter denselben Bedingungen zwischen Magnesiumpolen entstandene Bild Fig. 10 dürften vielleicht außerdem zu der Ansicht führen, daß die fortgeschleuderten Metalltheilchen, wenn sie losgerissen sind, nichts weiter mit der Elektrizitätsbewegung zu thun haben, daß sie beim Abreißen eine Richtung der Bewegung erhalten, nach der sie fortfliegen, gleichviel ob diese Richtung mit der Bahn der Elektrizität, welche durch den ersten Partialfunken gegeben wurde, zusammenfällt (wie es in der Mehrzahl der Fälle allerdings stattfinden muß) oder ob beide Wege aus einander gehen ²⁾).

- 1) Die feine Linie erscheint nicht immer einfach und continuirlich; in mehreren Fällen habe ich sie wie aus zwei Stücken zusammengesetzt beobachtet, wovon Fig. 3 eine Vorstellung giebt.
- 2) Es dürfte vielleicht nicht uninteressant seyn auf die Preisfrage hinzuweisen, welche von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen für das Jahr 1858 gestellt und für 1861 wiederholt worden ist. Es wird darin in Bezug auf das Ueberführen von Metalltheilchen bei elektrischen Entladungen gefragt:

Indem ich eine Menge von Entladungsbildern darstellte, zeigte sich im Allgemeinen, daß die fortgeschleuderten Theilchen in dem Bilde um so weiter zu verfolgen waren, je kleiner die Oeffnung in der isolirenden Substanz, je enger also der Krater ist, aus dem sie herausflogen.

Ist in der Leitung der für die elektrische Oberfläche und den gebrauchten Schließungsbogen gültige Gränzwiderstand überschritten, so habe ich schon früher angenommen, daß sich die Elektrizität im Funken während der ganzen Dauer der Entladung nur in *einer* Richtung bewegt. Für diesen Fall können wir daher an die Funkenbilder die Frage richten, wo die größte Lichtintensität stattfindet, da, wo die positive Elektrizität aus dem metallischen Leiter austritt, oder da, wo sie wieder eintritt. Allein die zahlreichen Bilder, welche ich darstellte, gaben selbst für den Fall, wo ich beide Polflächen von durchaus gleicher Beschaffenheit wählte, keine entschiedene Antwort. Nur in der Mehrzahl der Fälle habe ich zwischen gleichartigen Polen am negativen Pole die größere Lichtintensität wahrgenommen. Figur 4 Taf. I zeigt das Ueberwiegen des negativen Lichtes zwischen

1. Ob nur von der positiven Elektrizität solche Theilchen abgerissen und fortgeführt werden, oder auch von der negativen und wovon das Eine oder Andere abhängt.

2. Ob die Masse der fortgeführten Theilchen in einem bestimmtem Verhältniß zur Elektrizität stehe, welche von dem einen Conductor zum anderen entladen wird.

Aus den Fig. 8, 9 und 10 Taf. I, welche einen Entladungsfunken bei einem Widerstande zeigen, der für gewählte Flaschenzahl und Leiterlänge den Gränzwiderstand um mehr als das Doppelte übertraf, läßt sich ohne Bedenken schließen, daß hier von beiden Elektrizitäten Theilchen abgerissen werden, indem für den Büschel, welcher von jedem Pole ausgeht, wohl keine andere Ursache gefunden werden kann, als die glühend fortgeschleuderten Metalltheilchen, vielleicht noch begleitet von einigen mit fortgerissenen Schellackpartikelchen.

Wenn aus Fig. 9 wohl geschlossen werden dürfte, daß die Theilchen nach ihrer Losreißung nichts mehr mit der Elektrizitätsbewegung zu thun haben, so glaube ich doch, wäre es übereilt, daraus für die zweite Frage eine negative Antwort zu folgern, und gern bescheide ich mich in vorstehenden Beobachtungen nur eine Bestätigung und Erweiterung dessen zu finden, was schon früher auf andere Weise beobachtet ward. (Siehe v. Breda, diese Ann. Bd. 70, S. 326.)

Kupferkugeln, Fig. 11 Taf. I zwischen fein polirten Stahlkugeln (mit alleiniger Weglassung der von den Kugeln herführenden Spiegelbilder).

Ich möchte zugleich an das erinnern, was ich über die Verschiedenheit der Priestley'schen Flecke bei Einschaltung des Gränzwidestandes in diesen Annalen Bd. CXII S. 456 gesagt habe, und der Bequemlichkeit halber die Zeichnung, welche die continuirliche Entladung auf den Polflächen von Stahl hervorbrachte, hier noch vorführen. Fig. 11 a und b waren die Spuren, welche die Entladung durch den Funken Fig. 11, respective auf der mit dem Außenbeleg und der mit dem Innenbeleg verbundenen Stahlkugel, zurückgelassen hatte, mit einer zehnfach vergrößernden Loupe beobachtet ¹⁾.

Was bei der Vergleichung des photographischen Lichteindrucks und der Priestley'schen Flecke zunächst auffällt, ist, daß auf der Polkugel, an welcher die meisten chemischen Strahlen sich entwickelten (auf der negativen Kugel), der geringste Eindruck hinterlassen war. Hier zeigte sich jene von mir a. a. O. schon erwähnte Wolke von Oxyd als ein leichter graublauer Hauch. Der positiven Kugel, von der die Elektrizität der Flaschen bei der Entladung ausging, entsprach dagegen eine geringere Lichtwirkung, ob schon auf ihrer Oberfläche nach der Entladung eine viel tiefere Spur, freilich auf einen engeren Raum, concentrirt zurückgelassen war. Hier zeigte sich nämlich besonders dunkel und scharf jener ebenfalls a. a. O. erwähnte kleine runde Fleck, der in der Mitte ein mehr oder weniger zerschmolzenes Ansehen hat.

1) Noch einmal möchte ich die Brauchbarkeit der sich hierauf begründenden Methode zur Bestimmung des Gränzwidestandes hervorheben, sobald man mit beträchtlichen Elektrizitätsmengen operiren kann, und hinzufügen, daß die Figuren der Flecke auf fein polirten Kugeln von Stahl besonders klar hervorzutreten scheinen, während die Unterschiede auf Zinn- oder Zinokugeln nicht charakteristisch waren. Wenn ich diese Wahrnehmungen mehr nur beiläufig gemacht habe, so glaube ich doch, verlohnte sich eine eingehende Untersuchung dieser Verhältnisse wohl der Mühe.

Was die Abhängigkeit der Lichtintensität des Funkens von dem angewandten Metall der Pole betrifft, so kann ich hier nur im Allgemeinen sagen, daß die verschiedenen Metalle sich in dem Grade ihrer Wirkung allerdings verschieden zeigten; Kupferpole gaben mir zum Beispiel, alle übrigen Umstände berücksichtigt, eine besonders geringe, Magnesium als Pole angewandt, eine besonders hohe Intensität der photographischen Wirkung des Entladungsfunkens. Eine bestimmte Classification derjenigen Metalle, welche ich versucht habe, war in dieser Hinsicht bei den auftretenden Unregelmäßigkeiten der Explosion unmöglich.

Photographische Bilder des Entladungsfunkens bei
rotirendem Spiegel.

Die Bilder bieten ein ganz verschiedenes Ansehen, je nachdem sie mehr oder weniger aus einander gezogen sind; dicht an einander liegend und zum Theil sich deckend erscheinen die Querabtheilungen, in welche das verbreiterte Funkenbild unter Umständen zerfällt, auf Fig. 12, 30 und 31 Taf. I, wovon die beiden letzteren durch Photographiren zweier Funkenstrecken in demselben Schließungsbogen entstanden sind.

Es war bei gut leitendem aber kürzerem Schließungsbogen, wo ich die Bilder wegen unzureichender Rotationsgeschwindigkeit nur in dieser Weise zur Anschauung bringen konnte. Selbst mit der größten von mir angewandten elektrischen Oberfläche (16 Flaschen von zusammen $3\text{m}^2,21$ einseitiger Belegung) liefs sich, wenn der Schließungsbogen auf die nothwendigsten Stücke beschränkt war, das Bild mit dem gebrauchten Rotationsapparate nicht weiter aus einander ziehen, als es in Fig. 12 (bei 87 Spiegelrotationen in einer Sekunde und einem Leitungsweg von über 7 Meter) geschehen ist. An diesem verbreiterten Bilde eines zwischen Kupferkugeln erzeugten Entladungsfunkens sieht man, wie dasselbe streifenartig sich in lauter äquidistante Abtheilungen zerlegt. Doch nur an den Säumen lassen sich hier die Streifen deutlich unterscheiden, denn wenn man die-

selben gegen die Mitte so gerichtet zu sehen glaubt, als wenn sie die Mitte durchsetzten, kann dieses Durchsetzen eben so wohl auf Täuschung beruhen, indem die Richtung der Streifenenden aufer vor der *Geschwindigkeit* der geschleuderten Theilchen auch von der *Richtung* letzterer wesentlich abhängen muß (vergl. Fig. 10 Taf. I). Es ist überhaupt schwer, das Zusammenwirken von Raum und Zeit richtig zu bestimmen, sobald man sich nicht mehr auf die äußersten Gränzen des Funkenbandes in der Betrachtung beschränkt, wo die leuchtenden Theilchen der Lage des vom Schellack befreiten Punktes der Kugeln im Bilde genau entsprechen.

Als charakteristisch springt ein regelmässiges Alterniren der Lichtintensität an beiden Säumen in die Augen, der Art, dafs die Querstreifen zwar im Allgemeinen gegen das Ende der Entladung an Intensität abnehmen, allein nicht gleichförmig abnehmen. Die Querstreifen, welche der Reihe der ungeraden Zahlen entsprechen, bilden für sich, ebenso die Querstreifen, welche der Reihe der geraden Zahlen entsprechen, vom ersten angerechnet, wiederum für sich, sowohl am oberen als am unteren Saume eine gleichförmig abnehmende Reihe. Gegen das Ende der Entladung wird die Intensität der Streifen schwach und zugleich verschwinden auch die Unterschiede mehr und mehr. Oft sind die Unterschiede überhaupt schwach, wie in den beiden gleichzeitigen Funkenbildern Fig. 30, wo sie auf der Lithographie leider kaum noch wahrgenommen werden.

An dem oberen Saume von Fig. 12 kann es zweifelhaft seyn, wo man den ersten Querstreifen zu setzen habe; ein solcher Zweifel kann leicht entstehen, wenn die Explosion sehr heftig und unregelmässig ist und das Bild nicht stark auseinander gezogen wird, besonders wenn im ganzen mittleren Theile des Funkenbandes (wie bei Fig. 30) die Querstreifen vollständig in einander verwischt sind.

Jenes regelmässige Alterniren der Lichtintensität, wofür ich allerdings aufer Fig. 12 noch deutlichere Abbildungen hätte geben können, läfst sich zu häufig beobachten, als dafs

man es für eine Zufälligkeit halten dürfte, und zwar läßt sich, wenn die Querstreifen auch den mittleren Theil des Funkenbandes deutlich durchsetzen, und die Pole in ihrer äusseren und inneren Beschaffenheit einander möglichst gleich gebildet sind, oft sehr schön verfolgen, daß wenn das eine Ende eines Querstreifens ein relatives Maximum in der Reihe zeigt, am andern Ende desselben Querstreifens ein relatives Minimum der Intensität auftritt, so wie, daß sich diese Erscheinung beim folgenden Querstreifen umkehrt, beim nächstfolgenden von Neuem umkehrt usw. Fig. 31 Taf. I zeigt die Unterschiede leider nicht so deutlich als die Originalplatte, weil ich eine zu große Besorgnis gehegt habe vor einer Uebertreibung in der Zeichnung auf dem Steine, indem ich es durchaus vermeiden wollte, schematische Abbildungen zu geben.

Da in einem elektrischen Strome nichts Anderes existirt, was seine Richtung wechseln, was sich umkehren kann, als die Richtung des Stromes selbst, so sehe ich die Möglichkeit einer Erklärung nur in der Annahme, daß in jeder Querabtheilung das Licht eines elektrischen Stromes photographirt wird, der in entgegengesetztem Sinne fließt wie in der folgenden oder vorhergehenden. Nimmt man aber *einmal* einen regelmäßigen Wechsel der Stromrichtung von Querabtheilung zu Querabtheilung an, dann muß man ihn *überall* annehmen, wo man das Funkenband unter denselben Bedingungen der Entladung in dieselben Querabtheilungen zerfallen sieht, gleichviel ob das Alterniren der relativen Lichtmaxima deutlich hervortritt oder nicht. Es ist nicht wohl denkbar, daß die Querabtheilungen unverändert ihre Dauer bewahrten, wenn die Elektricitätsbewegung so wandelbar wäre, wie ich es doch im Ganzen von der Lichtwirkung der fortgeschleuderten glühenden Metallpartikelchen behaupten muß¹⁾.

1) Bei dem Gange meiner eignen Untersuchungen muß ich auf diese Schlußfolgerungen ein besonderes Gewicht legen, da sie mich auf eine bis dahin noch nicht weiter bestätigte Theorie führten, bevor Hr. Dr. Paalzow seine Beobachtungen an den Geißler'schen Röhren usw.

Wenn man hierin eine Gewähr für die Theorie der Oscillationen finden zu können glaubt, so wird man, wenn man sich auf den Standpunkt dieser Ansicht stellt, zunächst fragen, welcher Pol in jeder Querabtheilung die größte Lichtintensität liefere, derjenige von dem die positive Electricität ausströmt oder der, in welchen sie wieder eintritt.

Eine entschiedene Antwort hat mir das Experiment auf diese Frage nicht gegeben. Zwar habe ich bei Anwendung von Zinnkugeln fast ohne Ausnahme den positiven Pol überwiegend gefunden¹⁾, bei Anwendung von Eisen oder Stahl (ebenso von Nickel) fast in allen Fällen den negativen, allein es ist leicht möglich, daß die Gröfse des Kraters, die, wie ich zum Theil schon gezeigt habe und später noch weiter zeigen werde, auf die Art des Fortschleuderns der Theilchen so wesentlichen Einfluß hat, auch hier wieder eine Rolle spielt. Ich habe wenigstens bei Anwendung von Kugeln aus Kupfer eine Anzahl von Bildern erhalten, wo der negative Pol stets die größte Intensität zeigte, eine andere (geringere) Anzahl, wo der positive Pol der zumeist leuchtende zu seyn schien, außerdem freilich auch noch eine nicht unbedeutende Anzahl, wo ein regelmäßiges Alterniren nicht deutlich hervortrat.

Bei langem gut leitendem Schließungsbogen habe ich die Querabtheilungen zu einer Breite aus einander ziehen können, bei welcher eigenthümliche Erscheinungen zum Vorschein kamen.

Außer der Zeichnung, welche das ganze Funkenband durch die Eintheilung in gleiche Querräume erhält, tritt in jeder Querabtheilung noch für sich wieder eine besondere Zeichnung hervor. Eine zahlreiche Menge von Bildern habe ich dargestellt und eine solche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen gefunden, daß ich anfangs an einer bestimmten Deu-

gemacht hatte, bevor ich wußte, daß die Theilung des Entladungsstromes zwischen zwei Paaren ungleicher Polflächen im luftverdünnten Raume (diese Annalen Bd. CXV S. 336) so eclatante Resultate liefern kann.

1) Auch für Blei und Silber erhielt ich diesem entsprechende Bilder, allein die Unterschiede waren nicht so frappant wie beim Zinn.

tung verzweifeln zu müssen glaubte. Durch fortgesetzte Beobachtungen darf ich dennoch behaupten, einige Anhaltspunkte gewonnen zu haben, wenn ich mich auch keineswegs vermesse, die Eigenthümlichkeiten eines jeden besonderen Falles stets auf die Ursachen zurückführen zu können.

Zunächst möchte ich auf die Figuren ¹⁾ 17 bis 22 Taf. I, welche bei derselben Rotationsgeschwindigkeit des Apparates erhalten sind, so wie auf die zweite Hälfte der Figuren 25 und 26 aufmerksam machen. Dieselben rühren sämmtlich von Entladungen her, welche zwischen Polen von Eisen zu Stande gekommen sind. Die den Figuren 17, 18 sowie 20 bis 22 entsprechenden Photographien sind auch noch bei Anwendung derselben elektrischen Oberfläche, sowie ein und desselben Schließungsbogens hervorgebracht; das Einzige, was hier verändert wurde, ist die Form der Pole, indem Fig. 18 eine Entladung zwischen Drähten, Fig. 17 eine Entladung zwischen Kugeln darstellt, welche letztere die kleinste kraterförmige Oeffnung im Schellacküberzuge besaßen, die ich anwenden konnte, ohne dafs der Schellacküberzug theilweise durchbrochen wurde, während bei Fig. 20 bis 22 die Oeffnung wesentlich gröfser (etwa $\frac{1}{2}$ mm) war.

Auf den meisten der angezogenen Figuren bemerkt man einen merkwürdigen Unterschied der beiden Enden einer Querabtheilung. Um bei der ersten Querabtheilung (z. B. in Fig. 22) zu beginnen, so mache ich hier auf das stofsweise Austreten des Lichtes am Pole des Ausfenbelegs (dem negativen Pole) aufmerksam, welches einen grellen Gegensatz bietet zu dem Lichte, das weit ruhiger und gleichförmiger von dem Pole des Innenbelegs der positiv geladenen Flaschen ausgeht. Wie sich nach der Theorie der Oscillationen der Strom in der zweiten Querabtheilung umkehrt, so zeigt auch die zweite Querabtheilung auf den Abbildungen denselben eigenthümlichen Unterschied in umgekehrter Weise, so dafs man das discontinuirliche Austreten

1) Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dafs nur der Rausersparnis halber viele von den gegebenen Entladungsbildern auf der Tafel vor ihrem Ende abgebrochen sind.

des Lichtes nunmehr am Pole des Innenbelegs wahrnimmt. Bei der dritten Querabtheilung tritt eine abermalige Umkehr auf, usw. ¹⁾).

Jenes vorzugsweise discontinuirliche Austreten des Lichtes an dem negativen Pole, welches ich bei Anwendung keines anderen Metalles so charakteristisch beobachtet habe, als wenn die Pole von Eisen gewählt waren, zeigte sich bei verschiedener Schlagweite (Fig. 20 und 21 Taf. I) sowohl, als bei verschiedener elektrischer Oberfläche (Fig. 19), war aber durch die Form der Flächen, zwischen denen die Elektrizität überströmte, wesentlich beeinflusst. Ich habe gefunden, daß sich ein der Fig. 21 entsprechendes Funkenbild nur dann sicher erhalten läßt, wenn die feinen Oeffnungen auf den nach mehrfach erwähnter Art überzogenen Kugeln weder zu klein noch zu groß sind. War die Oeffnung zu klein, so verliefen die meist feineren Lichtstreifen fast senkrecht zur Richtung des Funkenbandes; es fand nicht mehr das Ineinanderflechten der Lichtcurven statt und es konnte zweifelhaft scheinen, von welchem der beiden Enden einer Querabtheilung der unregelmäßige Austritt des Lichtes erfolgt war, Fig. 17. War die Oeffnung zu groß, dann verlor die Zeichnung meistens an Feinheit und Bestimmtheit, die Bahnen neigten sich mehr zu gleicher Richtung mit der Richtung des Bandes; die Erscheinung wurde überhaupt demjenigen Falle ähnlicher, wo die Polkugeln ganz nackt waren. In diesem Falle nämlich beschränkte sich das Licht mehr auf die Säume des Funkenbandes [ähnlich, wie bei dem Bilde Fig. 18 einer zwischen Eisendrähten zu Stande gekommenen Entladung ²⁾], die Lichtintensität der Entladung

- 1) Daß diese Erscheinungen nicht etwa nur von dem die Oeffnung umkleidenden Schellack oder Kautschuck herrühren, beweist der Umstand, daß ich ähnliche Unterschiede, freilich nicht so scharf und präzise, auch dann häufig beobachtet habe, wenn die Kugeln der Pole frei waren, oder wenn Drähte die Pole bildeten.
- 2) Wenn die Anwendung von Drähten statt der nackten Kugeln eine ähnliche Figur lieferte, so schien mir die Lichtintensität im Ganzen doch für Drähte bei Entladung nahe derselben Elektrizitätsmenge größer zu seyn, als für nicht überzogene Kugeln aus demselben Material.

im Ganzen war geringer und ein discontinuirliches Austreten des Lichtes am negativen Pole höchstens nur undeutlich wahrzunehmen.

Doch selbst wenn die Polflächen scheinbar die günstigste Beschaffenheit hatten, traten in einzelnen Fällen Unregelmäßigkeiten ein, die (wie z. B. in Fig. 22 Taf. I die Unähnlichkeit der beiden Säume) ich nicht immer zu erklären im Stande war. Indefs für die Deutung der Erscheinungen im Allgemeinen lassen die zahlreichen Photographien, welche ich mit Vertauschung und Veränderung der Pole dargestellt habe, wie ich glaube, keinen Zweifel mehr übrig. Die Lichtbahnen, welche sich in den Figuren verfolgen lassen, entsprechen ohne Frage der Bewegung der von den Polen fortgeschleuderten glühenden Metallpartikelchen; indem die Lage jedes glühenden Theilchens auf dem Bilde durch die Zusammensetzung der verticalen Ortscomponente mit der horizontalen Zeitcomponente bestimmt ist, können uns die in einander verflochtenen Lichtcurven Aufklärung geben über manche Punkte bei dem Ueberführen ponderabler Theile durch die Elektrizität.

Wenn sich ein leuchtendes Theilchen mit einer gewissen constanten Geschwindigkeit in gerader Richtung von einem Pole zum andern bewegt, so muß sich dieß Theilchen als eine gerade Linie auf der Platte photographiren, und zwar muß die Neigung dieser Geraden mit der Richtung des ganzen Funkenbandes eine um so kleinere seyn, je geringer die Geschwindigkeit des Theilchens im Verhältniß zur Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels ist. Findet das Theilchen auf seinem Wege einen Widerstand, so muß die Geschwindigkeit abnehmen, und wenn der Widerstand continuirlich wirkt, so muß die Gerade sich zu einer Curve gestalten, deren convexe Seite demjenigen Pole zugekehrt ist, gegen den das Theilchen geschleudert wurde. Die Tangente an jeden Punkt der Curve wird dann der Geschwindigkeit des Theilchens im entsprechenden Augenblick proportional seyn.

Die von jedem Saume (z. B. auf Fig. 21 Taf. I) aus-

gehenden Lichtbahnen zeigen in der That den Charakter solcher Curven und berechtigen, wie ich glaube, zu einigen allgemeinen Schlüssen.

Wenn mir Fig. 9 und 10 Taf. I zu beweisen schienen, daß die aus der kraterförmigen Oeffnung des Schellacküberzuges herausfliegenden Metalltheilchen nichts weiter mehr mit der Elektricitätsbewegung zu thun haben, so blieb es doch noch ungewiß, ob die Geschwindigkeit, mit der die Theilchen herausgeschleudert werden, abhängig sey von der gerade stattfindenden Stromstärke. Im Allgemeinen muß man wohl einen solchen Zusammenhang voraussetzen, da die Elektricität ja die letzte Ursache des Fortschleuderns ist. Obwohl sich die Curven in den verbreiterten Funkenbildern im Allgemeinen um so steiler zeigen, einer je früheren Querabtheilung sie angehören; obwohl sie innerhalb einer Querabtheilung vielfach in der Mitte am steilsten sind, so wird man sich doch wundern können, — daß — eine regelmässige Elektricitätsbewegung nach der Theorie der Oscillationen vorausgesetzt — keine gröfsere Regelmässigkeit in der Zeichnung auf den Figuren zu beobachten ist. Man wird zu dem Schlusse gedrängt, daß entweder die Richtung, nach der die Theilchen fortfliegen, in jedem Augenblick grofsen Schwankungen unterliegt, oder daß das Band, welches die Geschwindigkeit des Fortschleuderns mit der Stromstärke in einem geraden Verhältniß verbindet, ein ziemlich loses ist. Mit Rücksicht auf die Schwankungen, welche sich zugleich in der Lichtintensität zeigen, möchte ich das Letztere annehmen.

In Bezug auf diese Schwankungen der Intensität des von jedem Pole ausgehenden Lichtes und in Bezug auf das, was sich trotz dieser Schwankungen als vorwiegend erkennen läßt, möchte ich noch Einiges bemerken. Im Allgemeinen sieht man auf den vorliegenden Entladungsbildern für Eisenpole ein Alterniren in Lichtintensität, der Gestalt, daß an der Seite, wo das discontinuirlichere Ausströmen des Lichtes stattfindet (am negativen Pole) auch zugleich ein Intensitätsmaximum herrscht. Allein, daß die

Unterschiede der Intensität variabler sind als die Unterschiede der Zeichnung, kann z. B. Fig. 19 Taf. I beweisen, wo der untere Saum zwar ein Alterniren, aber, wenigstens in den sechs ersten Querabtheilungen in entgegengesetztem Sinne, wie nach der vorher beschriebenen Weise zeigt, nämlich so, daß das ruhigere Licht des positiven Poles die gröfsere Intensität besitzt.

Fig. 18 stellt eine Entladung dar, wie ich sie meistens zwischen Eisendrähten beobachtet habe; als eigenthümlich springt in die Augen, daß das Licht am positiven Pol in der ersten Querabtheilung fast ganz unterdrückt ist¹⁾. Wenn die Mehrzahl der Bilder in dieser Weise ausfiel, so habe ich doch unter scheinbar ganz denselben Umständen ein Entladungsbild erhalten, wo *die positive Seite in analoger Weise, wie die in Figur 18 allein hervortretende negative und mit vollkommen derselben Stärke entwickelt war.*

Trotz der Entschiedenheit, mit der ich das *Alterniren* der Lichtintensität an den Enden der einzelnen Querstreifen beobachtet habe, wird man daher begreifen können, daß es mir doch nicht möglich gewesen, zu finden, weshalb in dem einen Falle das positive, im andern das negative Licht die relativen Maxima zeigte. Die Lichtintensität scheint im Einzelnen wie im Ganzen, aufser von den bekannten auch noch von unbekanntem Umständen abhängig, die nicht in der Hand des Beobachters liegen. Zwei Entladungsbilder, die scheinbar unter genau denselben Bedingungen erzeugt waren, brachten selbst auf ein und derselben Platte, mochten sie nun gleichzeitig an zwei verschiedenen Stellen der Leitung oder durch zwei gesonderte Entladungen entstanden seyn, zuweilen Bilder von sehr verschiedener Stärke der Lichtwirkung hervor, verschiedener als sie durch die Annahme selbst beträchtlicher Schwankungen in der Stärke der durch den Rotationsapparat vermittelten Entladungen erklärt werden können²⁾.

1) Eine ähnliche Erscheinung in demselben Sinne habe ich bei Anwendung von Zinn-, Silber- und anderen Drähten beobachtet.

2) Ist das Bild weit seitlich auf die Platte gefallen, so war die Ladung

Bei Anwendung eines vom Eisen verschiedenen Metalles der Pole verringerte sich im Allgemeinen der Unterschied in der Weise des Fortschleuderns der Theilchen an beiden Polen. Nicht so schön, aber in demselben Sinne wie für Eisen habe ich die Unterschiede der Zeichnung unter andern an Polen von Nickel, Blei, (Fig. 16) Magnesium und Zink beobachtet. Der Entladungsfunke zwischen Kupferpolen hat mir überhaupt keine derartigen Lichtstreifen auf der Platte geliefert, ebenso wenig zwischen Polen aus Kohle, während Gold, Silber, Platin und Zinn mir keine ganz *entschiedenen* Resultate in Bezug auf die Stromrichtung gaben

Fig. 16 stellt das Bild einer Entladung dar, welche zwischen in erwähuter Art überzogenen Bleikugeln ¹⁾ entstanden war. Für Fig. 15 war das Blei mit Zinn, für Fig. 14 mit Silber, für Fig. 13 mit Kupfer vertauscht. Nach allen Beobachtungen scheint mir aufser der Form der Pole auch die Natur derselben auf das verschiedenartige Abreißen der Theile durch die Elektrizität von Einfluss zu seyn.

Doch noch in anderer Weise modificirt die Natur des Metalls den Charakter der Erscheinungen und dieser Einfluss scheint mir keinen so wesentlichen Schwankungen zu unterliegen. Die Länge der Zeit, während welcher die einmal ins Glühen gebrachten Theilchen ihre Temperatur erhielten, zeigte sich nach der Art des Metalles sehr verschieden. Die Theilchen des Zinn schienen am schnellsten die einmal empfangene Lichtintensität zu verlieren. In Fig. 15 zum Beispiel sind die Querabtheilungen durch einen ganz durchgehenden vollkommen dunklen Raum von einander getrennt, und ein Nachleuchten der Theilchen über den Nullpunkt der Stromstärke hinaus, ist kaum zu bemerken. Dem Zinn kam das Zink in dieser Eigenschaft zunächst.

meistens von dem mittleren Werthe, welcher der Anordnung des Entladungsapparates entsprach, abweichend. Uebrigens waren die Abweichungen in der Quantität der entladenen Elektrizitätsmenge unter sonst gleichen Umständen nicht sehr groß.

1) Genau genommen waren meistens nur die gegenüber stehenden Kuppen der Kugeln aus dem bezeichneten Material.

Waren die fortgeschleuderten Theilchen Platin, so schien im Vergleich zu den andern von mir versuchten Metallen die Lichtwirkung am Längsten zu dauern, so dafs eine Unterscheidung der Querabtheilungen in dem mittleren Theile des Funkenbandes kaum möglich war. Dem Platin kam in dieser Eigenschaft das Silber am nächsten, während die übrigen untersuchten Metalle ¹⁾ mit verschiedenen Nüancirungen eine mehr mittlere Stellung zwischen Platin und Zinn einzunehmen schienen. Die Dauer des Leuchtens der einmal ins Glühen versetzten Theile war im Uebrigen allerdings von der Intensität abhängig, sowie von dem Grade Anhäufung materieller Theile in der Funkenstrecke, allein der Einfluss der metallischen Natur liefs sich durchaus nicht verkennen.

Für eine leichte und präzise Beobachtung der Oscillationsdauer scheint hiernach empfehlenswerth, die Kugeln, zwischen denen der zu photographirende Entladungsfunke sich bilden soll, aus Zinn zu wählen.

Gesetze der Oscillationen.

Wenn ich in dem Vorhergehenden mir erlaubt habe, die negativen Resultate mit derselben Ausführlichkeit zu besprechen, als die positiven, so glaubte ich dies thun zu müssen, um eine richtige Anschauung von der Complication der Verhältnisse zu ermöglichen. Ich habe daher auf die Verschiedenheit in den Abbildungen aufmerksam gemacht, weniger aber hervorgehoben, wie ausnahmslos unveränderlich die Dauer einer *beliebigen* Querabtheilung ²⁾ sich herausstellt, sobald die Breite scharf zu bestimmen ist,

- 1) Dies waren Eisen, Nickel, Blei, Magnesium (welches ich der Güte des Hrn. Prof. Erdmann verdanke), Antimon, Gold und Kupfer, wie ich auch Kohle hinzurechnen kann.
- 2) Wenn die erste Querabtheilung in ihrer Breite zuweilen merklich von den folgenden abzuweichen schien, so möchte ich dies, weil ich besonders bei nur wenig aus einander gezogenen Querstreifen beobachtet habe, auf Rechnung der unregelmässigen Explosion setzen, indem die leuchtenden Theilchen oft schon in einer sehr kurzen Zeit von dem einen Pole die Fläche des andern erreichen und dadurch hier den Austrittspunkt der Elektrizität unkenntlich machen können.

gleichviel, zwischen welchen Polen die Entladung stattfindet; wenn nur elektrische Oberfläche und Leitung constant sind. Die Entladungsbilder 13 bis 22 Taf. I, ausgenommen jedoch Figur 19, sind bei Constanz dieser Elemente erhalten; dafs in den Figuren 13 bis 16 die Querabtheilungen eine etwas andere Breite haben als in den folgenden, rührt lediglich davon her, dafs für jene die Rotationsgeschwindigkeit eine etwas abweichende gewesen ist.

An mehreren der gegebenen Abbildungen (z. B. Fig. 14, 17, 19, 28^b Taf. I) sieht man den Anfang der ersten Querabtheilung durch einen Partialfunken bezeichnet. Dieser feine Funkenstrich, durch welchen die Entladungserscheinung eingeleitet wird, ist in vielen Fällen (besonders wenn die sphärische Abweichung ihn verbreitert) zu lichtschwach, um sich zu photographiren. Allein, dafs er stets vorhanden, scheinen die Beobachtungen mit blofsem Auge, so wie die Photographien bei ruhendem Spiegel zu beweisen. Durch diesen Partialfunken ist die Continuität des Schließungsbogens hergestellt und die Elektricitätsbewegung nimmt nun ihren regelmässigen undulatorischen Verlauf.

Um die Dauer einer Oscillation möglichst genau zu finden, habe ich stets die Ausdehnung einer Anzahl Streifen gemessen, durch ihre Zahl dividirt und aus dem arithmetischen Mittel mehrerer so an einem Bilde gefundenen Werthe ein Element zur Berechnung gewonnen. Ist die Zahl der Querstreifen grofs ¹⁾ und die Funkendistanz nicht zu gering, so läfst sich die Messung an mehreren Stellen jeder Seite und wenn zwei Funken sich gleichzeitig gut abbildeten, an beiden Bildern ²⁾ ausführen, so dafs der aus der Messung selbst entstehende Fehler im Ganzen klein ist.

1) Da die Zahl der Querstreifen *cet. par.* bei der grössten Oberfläche auch am grössten ist, so wird der Fehler, welcher aus der Breitenmessung entsteht, bei 16 Flaschen im Allgemeinen am kleinsten ausfallen müssen, weshalb ich häufig den bei 16 Flaschen erhaltenen Werth der Oscillationsdauer der Berechnung für die übrigen zu Grunde gelegt habe.

2) Ist eins der Bilder nicht vertical und symmetrisch unter dem zugehörigen Funken entstanden, sondern weit nach einer Seite verschoben (oder

Es concurrirt indess noch eine andere Fehlerquelle, die von der Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit herrührt und wesentlich gröfser ist. Der rotirende Spiegel erlangt nämlich nach einer gewissen Zeit das Maximum der Geschwindigkeit, ohne aber eine *vollkommen* gleichmäfsige Bewegung zu bekommen. Je kleiner die Bewegungsgeschwindigkeit durch Schwungrad und Windflügel und je gröfser gleichzeitig das treibende Gewicht gemacht wird, desto geringer fallen die Schwankungen aus. Da sie überhaupt aber nicht ganz zu vermeiden sind, so habe ich die Rotationsgeschwindigkeit im Allgemeinen während eines Zeitabschnittes bestimmt, in welcher zugleich die Beobachtung fiel. In der Regel, darf ich wohl behaupten, den wahrscheinlichen Fehler, welcher auf diese Weise den Beobachtungen anhaftet, auf 2 Proc. der beobachteten Gröfse zurückgeführt zu haben, und dies genügt in den meisten Fällen, um die vorhandenen Gesetze mit hinreichender Schärfe zu erkennen.

Die Schlagweite oder die Höhe der Ladung hat keinen merklichen Einfluss auf die Oscillationsdauer.

Bei Entladung von 10 Flaschen durch einen ziemlich kurzen Schliessungsbogen beobachtete ich:

Für 4 ^{mm} Schlagweite.		Für 8 ^{mm} Schlagweite.	
Zahl der Querabtheilungen.	Ausdehnung in Millim.	Zahl der Querabtheilungen.	Ausdehnung in Millim.
9	17,8	8	15,5
10	19,3	9	17,8
6	11,8	10	20,3
7	13,7	7	14,0
6	12,2	10	19,6
9	17,7	7	13,8
<hr/> 47	<hr/> 92,6	<hr/> 59	<hr/> 116,6
Mittlere Breite einer Querabtheilung 1 ^{mm} ,97.		Mittlere Breite einer Querabtheilung 1 ^{mm} ,98.	

dehnt es sich auch nur über einen sehr grossen Raum aus), so darf bei genauen Bestimmungen die Correction nicht vergessen werden, welche daraus entspringt, dass die horizontalen Dimensionen des Bildes im Verhältniss der *Tangenten* des doppelten Drehungswinkels zu einander stehen.

Da die Summe der Abstände des Spiegels vom Funken und des Spiegels von der photographischen Platte auf die Rotationsebene projicirt, nahe 1054^{mm} betrug und bei beiden Beobachtungen der Spiegel 98 Rotationen in der Sekunde gemacht hatte, so ergab sich die Dauer einer Oscillation in Theilen einer Sekunde angegeben:

Für 4^{mm} Schlagweite.
 $0'',00000304$

Für 8^{mm} Schlagweite.
 $0'',00000305$

Bei Entladung von 16 Flaschen und einem sehr langen Schliessungsbogen berechnete ich auf ähnliche Art aus angestellten Beobachtungen:

Oscillationsdauer bei einer
 Schlagweite von $1\frac{1}{2}^{\text{mm}}$
 $0'',0000511$

Oscillationsdauer bei einer
 Schlagweite von 9^{mm}
 $0'',0000514$

Die Veränderung der elektrischen Oberfläche oder der Zahl unter sich gleicher Flaschen bei sonst gleichen Verhältnissen äussert einen Einfluss nach dem Gesetze:

$$t = a \sqrt{s}$$

wo t die Oscillationsdauer, a eine nur von dem Schliessungsbogen sowie von der Natur der Leidener Flaschen abhängige Constante und s die Flaschenzahl ist.

Folgende Beobachtungen sind bei einem nur $161^{\text{m}},3$ langen, aber nicht gerade ausgespannten, sondern seinem grössten Theile nach in verschiedenen (neun) Rollen aufgewickelten Schliessungsdrahte gewonnen worden.

16 Flaschen		8 Flaschen.	
Zahl der Quer- abtheilungen	Ausdehnung in Mm.	Zahl der Quer- abtheilungen	Ausdehnung in Mm.
8	38,3	5	24,6
12	51,4	5	24,3
6	28,2	7	34,6
8	38,0	8	39,1
<hr/> 34	<hr/> 161,4	<hr/> 7	<hr/> 34,0
		32	156,6
Mittlere Breite einer Quer- abtheilung $4^{\text{mm}},76$.		Mittlere Breite einer Quer- abtheilung $4^{\text{mm}},89$.	

4 Flaschen.		2 Flaschen.	
Zahl der Quer- abtheilungen	Ausdehnung in Mm.	Zahl der Quer- abtheilungen	Ausdehnung in Mm.
8	39,8	5	17,9
8	39,9	5	17,6
8	40,0	5	17,7
5	25,2	6	21,2
6	30,0	7	24,1
<u>35</u>	<u>174,9</u>	<u>8</u>	<u>27,7</u>
		36	126,2

Mittlere Breite einer Quer-
abtheilung 5^{mm},00.

Mittlere Breite einer Quer-
abtheilung 3^{mm},51.

Da der Spiegel zu 925 Rotationen während der Entladungen von

16 Fl.	8 Fl.	4 Fl.	2 Fl.
54",5	37",3	26",0	25",8

Zeit gebrauchte, so ergeben sich, (weil die Summe der Abstände dieses Spiegels vom Funken und von der photographischen Platte, auf die Rotationsebene projectirt nahe 1000^{mm} betrug) folgende Werthe der Beobachtung:

Flaschenzahl	Oscillationsdauer in Sekunden	
	beobachtet	berechnet
16	0,0000446	— —
8	0,0000314	0,0000315
4	0,0000224	0,0000223
2	0,0000156	0,0000158

Wenn man nach oben gegebener Formel aus der Beobachtung für irgend eine Flaschenzahl (z. B. hier für 16) die Oscillationsdauer für irgend eine andere Flaschenzahl berechnet, so erhält man einen Werth, dessen Abweichung von der Beobachtung durchaus zwischen den Gränzen der Beobachtungsfehler eingeschlossen ist ¹⁾).

1) Auch bei ganz kurzem Schließungsbogen findet das erwähnte Gesetz seine Anwendung, allein die Beobachtung bei kleiner elektrischer Oberfläche war wegen mangelnder Rotationsgeschwindigkeit schwieriger; auch liefs sich die Rotationsgeschwindigkeit schwieriger bestimmen. Uebrigens stimmen folgende bei einem etwa 7^m langen Schließungsbogen und 88

Das eben bewiesene Gesetz möchte ich indess noch verallgemeinern, ich möchte den Begriff der elektrischen Oberfläche mit dem der Capacität vertauschen, wie derselbe in ähnlichem Sinne schon von Thomson, Siemens u. A. gebraucht ist.

Denke ich mir einen constanten Entladungsapparat (etwa ein bestimmt gestelltes Funkenmikrometer) in der Weise in dem sonst continuirlichen Schließungsbogen angebracht, daß die Art der Vertheilung auf beiden unveränderlichen einander gegenüberstehenden Kugeln sich nicht wesentlich ändert, wenn die elektrischen Oberflächen oder die Flaschen sammt ihrer Verbindung geändert werden, so kann ich Capacität diejenige Elektrizitätsmenge nennen, welche eine Selbstentladung — eine Ausgleichung in dem ganzen System von Leitern — herbeiführt, und welche nach der Entladung mit entgegengesetztem Zeichen von jeder der beiden Belegungen verschwunden ist. Oder mit anderen Worten: Capacität¹⁾ kann diejenige Elektrizitätsmenge genannt werden, welche — von dem Zustand einer gleichmäßigen Vertheilung der Elektrizitäten über alle Theile der Leitung²⁾ angerechnet — jeder der beiden elektrischen Oberflächen (natürlich mit entgegengesetztem Zeichen) hinzugefügt werden muß, damit die freie elektrische Spannung³⁾ an einem unveränderlichen Punkte der Leitung einen bestimmten Werth

Spiegelrotationen in einer Sekunde erhaltene Beobachtungen recht wohl unter einander überein.

Flaschen	Oscillationsdauer	
	beobachtet	berechnet
16	0,00000222	—
12	0,00000196	0,00000192
8	0,00000158	0,00000157
4	0,00000110	0,00000111

- 1) Die so definirte Capacität ist zugleich auf dem Potential der gesammten Elektrizität auf sich selbst proportional.
- 2) Daß dieser Zustand u. A. auch dann hergestellt ist, wenn nirgends freie Elektrizitäten mehr vorhanden sind, leuchtet wohl von selbst ein.
- 3) Die freie Elektrizität auf der Leitung wird dabei als verschwindend gegen die Elektrizität der betrachteten Oberflächen angenommen, ebenso wie auch die Fernwirkung der betrachteten Oberflächen auf den danach gewählten Punkt constanter Spannung als verschwindend anzusehen ist.

erhält, z. B. etwa einen solchen Werth, dafs für denselben am Entladungsapparat gerade eine Selbstentladung zu Stande kommt.

Habe ich z. B. zwei gleiche und gegen die Oberfläche der Leitung sehr grofse leitende Kugeln, welche durch jenen constanten Entladungsapparat verbunden sind, und sey die eine vollkommen abgeleitet, während die andere mit positiver Elektricität geladen wird; sey ferner x diejenige Elektricitätsmenge, bei welcher eine Selbstentladung erfolgt, so kann ich nach dem Vorangegangenen x die Capacität des Leitersystems nennen. Habe ich aber die zweite Kugel, gegen welche die erste sich entladen soll, *nicht* abgeleitet, so wird die Elektricitätsmenge, welche auf der anderen Kugel angehäuft seyn mufs, damit eine Selbstentladung im Entladungsapparat eintritt, zwar dieselbe x seyn, allein nach der Entladung haben beide Kugeln sich in die Elektricitätsmenge x *getheilt*; es ist nicht mehr so, wie in dem vorigen Falle, als wenn die eine Kugel (die abgeleitete) von Hause aus die Elektricitätsmenge $-x$ besäfsen hätte, sondern der Zustand gleichmäfsiger Vertheilung, von welchem angerechnet werden soll, ist derjenige, in welchem beide Kugeln die Elektricitätsmenge $\frac{1}{2}x$ besitzen. Denke ich mir bei diesem Zustande, der einen Kugel $-\frac{1}{2}x$, der anderen $+\frac{1}{2}x$ hinzugefügt, so habe ich die elektrische Vertheilung, welche in dem Entladungsapparate die Selbstentladung herbeiführen kann. In diesem Falle mufs also die Capacität durch $\frac{1}{2}x$ ausgedrückt werden. Kann man die Formel S. 153 also in der Weise verallgemeinern, dafs man die Oscillationsdauer mit der Wurzel aus der Capacität proportional setzt, so müfste man in dem zweiten Falle der beiden Kugeln die Oscillationsdauer berechnen können, dadurch dafs man die für den ersten Fall gefundene Oscillationsdauer mit $\sqrt{\frac{1}{2}}$ multiplicirt.

Hat dies Raisonement und die Substitution der »Capacität« allgemeine Gültigkeit, so läfst es sich leicht prüfen, wenn man:

1) Die Leidener Flaschen nicht gegen die äufsere Bele-

gung (die vollkommene Ableitung) sondern gegen die innere Belegung anderer gleichartiger, vollkommen abgeleiteter Flaschen entladet ').

2) Condensatoren von anderen Dimensionen mit den gebrauchten Flaschen vergleicht.

Entlade ich also 8 Flaschen, statt gegen ihre äußere Belegung, gegen andere gleichartige 8 Flaschen, so kommt nur die Hälfte der angehäuften Elektrizität zur Ausgleichung. Die Capacität des jetzigen Flaschensystems ist also nur die Hälfte gegen den Fall, wo ich 8 Flaschen gegen ihre eigene äußere Belegung entlud; die Oscillationsdauer mußte also $\sqrt{\frac{1}{2}}$ Mal diejenige seyn, welche ich auf S. 154 bei gewöhnlicher Entladung von 8 Flaschen gegeben habe, vorausgesetzt, daß an dem Schließungsbogen sonst nichts geändert ist. Der Versuch ergab mir eine vollständige Bestätigung, denn es ist:

	Oscillationsdauer	
	beobachtet	berechnet
8 Fl. entladen gegen 8 Fl.	0,0000222	0,0000222

Entlade ich 4 Flaschen gegen die innere Entladung von 8 Flaschen, so ist die Elektrizitätsmenge, welche vom Zustande gleichmäßiger Vertheilung angerechnet entladen wird, $\frac{2}{3}$ von derjenigen, welche bei der Entladung gegen die eigene äußere Belegung zur Ausgleichung kam. Die früher S. 154 für 4 Flaschen gefundene Oscillationsdauer muß also mit

1) Abgesehen von der besonderen Art der Bindung an den Flaschenbelegungen ist der Fall allerdings nicht ganz derselbe, wie in dem Beispiel der Kugeln, weil sich an den Flaschen stets auch negative condensirte Elektrizität befindet, indem der positiven Elektrizität im Innern entsprechend ein Aequivalent negativer Elektrizität auf dem Außenbeleg angehäuft ist. Allein es ist möglich einerseits die Ableitung durch gute Leiter herzustellen, andererseits alle Flaschen nahe und gut leitend (bei mir durch einen weniger als 1^m langen Drahtweg) zu verbinden, so daß man annehmen kann, die negativen elektrischen Theilchen bewegten sich von oder zwischen den äußeren Belegungen mit einer solchen Leichtigkeit, daß sie verschwindenden Einfluß hätten auf die Bewegung der positiven Elektrizität zwischen den inneren Belegungen. Hierdurch wäre man in der That in der Lage, die positive Elektrizität allein ins Auge fassen zu können.

$\sqrt{\frac{1}{3}}$ multiplicirt werden, um die jetzt stattfindende zu erhalten. Analog muß die für 2 Flaschen gefundene Oscillationsdauer mit $\sqrt{\frac{1}{3}}$ multiplicirt werden, um die Oscillationsdauer zu finden, wenn man die 2 Flaschen gegen die innere Belegung von 8 Flaschen entladet. Beobachtung und Rechnung gaben für beide Fälle:

	Oscillationsdauer	
	beobachtet	berechnet
4 Fl. entladen gegen 8 Fl.	0,0000178	0,0000183
2 Fl. entladen gegen 8 Fl.	0,0000136	0,0000139

und man sieht, daß beides nur wenig von einander abweicht ¹⁾).

Um einen Condensator von anderen Dimensionen mit den gebrauchten Flaschen zu vergleichen, nahm ich eine Scheibe Bilderglas und bildete zwei Franklin'sche Tafeln daraus. Das Glas von ziemlich gleichförmiger Stärke, hatte eine durchschnittliche Dicke von 2^{mm},53. Die einseitige Belegung beider Tafeln betrug zusammen 0,460 □ Meter.

Um die Capacität eines solchen Condensators im Verhältniß zu den bisher gebrauchten Flaschen zu ermitteln, giebt es nun einen einfachen Weg. Nach der vorher gegebenen Definition von Capacität findet man nämlich diese Relation, wenn man durch dasselbe Funkenmikrometer bei unveränderter Stellung der Kugeln einmal die Flaschen, ein andermal die Tafeln entladet und die Ausschläge eines in beiden Fällen in der Leitung befindlichen Galvanometers

- 1) Wünscht man den Ausdruck der Capacität zu vermeiden, so läßt sich dies bei Anwendung gleichartiger Flaschen allerdings thun. Nach den vorliegenden Beobachtungen muß man dann die (S. 153) für die Oscillationsdauer bei constantem Schließungsbogen gegebene Formel

$$t = a \sqrt{\frac{s \cdot s_1}{s + s_1}}$$

schreiben, wo s die geladene Belegung und s_1 diejenige Belegung ist, gegen welche entladen werden soll. Dabei ist zu berücksichtigen, daß eine vollkommen abgeleitete Belegung eine unendliche Oberfläche besitzt; ferner, daß der Einfluß gleichzeitiger elektrischer Bewegungen auf andere Oberflächen als s und s_1 als verschwindend angesehen wird, was natürlich immer nur unter besonderen Umständen der Fall seyn kann.

mit einander vergleicht. Bei einem zweckmäÙsig construirten Galvanometer muÙ bekanntlich für Ströme von kurzer Dauer die Geschwindigkeit, mit welcher der Magnet aus der Ruhelage herausgeworfen wird, der schließlich entladenen Elektrizitätsmenge proportional seyn. 1)

Das Galvanometer gab bei 10^{mm} weitem Abstand der 25^{mm} Durchmesser haltenden Kugel des Funkenmikrometers folgende Werthe:

Beide Tafeln	Zwei Flaschen
51,5	43,1
52,2	44,0
51,0	44,3
51,0	43,0
51,7	43,8
Mittel <u>51,5</u>	Mittel <u>43,6</u>

Die Entladung der beiden Franklin'schen Tafeln mit Hülfe des Spiegelapparates lieÙ mich mit Anwendung des früher gebrauchten Schließungsbogens (von 161,3^{mm} Länge) eine Oscillations von

0",0000164

1) Indem ich dieser Elektrizitätsmenge die Capacität proportional setzte, glaubte ich den Rückstand vernachlässigen zu können. Die Versuche über den Rückstand, welche ich früher zu meiner eigenen Orientirung über die Brauchbarkeit der Galvanometerangaben gemacht habe und bei denen ich (in ganz ähnlicher Weise wie neuerlich Hr. v. Oettingen, jedoch meist nur bei größerer Schlagweite experimentirend) *niemals* negative Rückstände wahrnahm, ferner die unter Umständen geringe Größe des Rückstandes und endlich der Umstand, daß durch eine Messung und Berücksichtigung des Rückstandes die Schwankungen in den Galvanometerangaben nicht ausreichend erklärt werden können, hat mich zu der Ansicht geführt, daß bei Anwendung eines einfachen gut verbundenen Leitungsdrahtes von nicht zu großem Widerstande der Rückstand am Ende der Entladung verschwindend klein ist, und sich von diesem Zeitpunkte an erst bildet. Die mir so eben zugegangene Abhandlung des Hrn. v. Oettingen (diese Ann. CXV, S. 413) scheint dieser Auffassung nicht günstig zu seyn. Ein weiteres Eingehen auf diesen Punkt, so wie eine Controle der von mir als Capacitäten angenommenen Werthe erscheint daher nothwendig.

Zugleich möchte ich bemerken, daß gewiß auch in jedem Momente der Entladung der *passive* Rückstand veränderlich ist, und daß daher, erst wenn bestimmte Data der Beobachtung über diese schwierige Frage sich haben gewinnen lassen, die von Hrn. v. Oettingen a. a. O. S. 516 gegebene Stromcurve *exact* genommen und die *strenge* Gültigkeit der Formeln behauptet werden darf.

Sehr interessant wäre es, wenn die Beobachtungen am Galvanometer feststellen könnten, in welcher Weise die nach den Versuchen des Hrn. v. Oettingen wahrscheinliche Zunahme des Gränzwiderstandes mit wachsender Schlagweite stattfindet.

finden; während die nach den Verhältnissen der Capacitäten berechnete

$$0'',0000169$$

ist. Die Abweichung ist in der That also nur gering und ich glaube daher, daß der Verallgemeinerung der S. 153 gegebenen Formel durch die Einführung der »Capacität« statt der elektrischen Oberfläche von Seiten des Experimentes nichts im Wege steht¹⁾.

Wie richtig diese Verallgemeinerung ist, leuchtet von selbst ein, weil hierdurch das Gesetz auf jedes beliebige Leitersystem anwendbar wird.

Bevor ich das Kapitel über den Einfluss der Capacität auf die Oscillationsdauer schliesse, möchte ich noch eine Beobachtungsreihe anführen, welche ich mit einem Schließungsbogen von ungefähr 1400^m Länge erhalten habe.

1) Mit Hülfe des Galvanometers lassen sich auf ähnliche Weise auch die Capacitäten der gebrauchten Flaschen bestimmen. Der Versuch gab als Mittel aus je zehn Beobachtungen:

Fl.	<i>A</i>	<i>B</i>
16	235,0	235,0
8	119,3	116,9
4	58,0	58,2
2	27,5	28,4

wo in der Columne *A* die Beobachtungen stehen, welche an einem Galvanometer direkt bei Entladung der betreffenden Flaschenzahl erhalten wurden, während *B* aus den Werthen berechnet ist, welche ich erhielt, als ich bei einem anderen Schließungsbogen und durch ein anderes Galvanometer immer je 2 Flaschen für sich auf ihre Capacität untersuchte. Die größten Abweichungen zweier Galvanometerangaben in einer aus 10 Beobachtungen bestehenden Reihe betrug im Durchschnitt $4\frac{1}{2}$ Proc. Indem man zwar sieht, daß das Verhältniß der Capacitäten auf beide Weisen nicht absolut genau als dasselbe gefunden wurde, möchte ich doch das Mittel aus je zwei zusammengehörigen Werthen der beiden Columnen als einen angenäherten Ausdruck der Capacität zu setzen versuchen. Nimmt man hiernach die Capacitäten für:

16 Fl.	235,0
8	118,1
4	58,1
2	28,0

und berechnet danach die Oscillationsdauer für die übrigen Flaschen aus der S. 22 erhaltenen Oscillationsdauer für 16 Flaschen, so erhält man

8 Fl.	4 Fl.	2 Fl.
-------	-------	-------

Oscillationsdauer 0,0000316 0,0000222 0,0000154

dessen Abweichung von den beobachteten Werthen ebenfalls zwischen die Grenzen der Beobachtungsfehler fällt.

Flaschenzahl	Oscillationsdauer		Differenz in Zehnmilliontel Sekunden
	beobachtet	berechnet	
12	0",0000172	0",0000479	+ 7
10	0,0000435	0,0000441	+ 6
8	0,0000392	0,0000394	+ 2
6	0,0000338	0,0000341	+ 3
4	0,0000282	0,0000278	— 4
2	0,0000207	0,0000194	— 13

Es scheint hier eine Abweichung von dem gegebenen Gesetze in dem Sinne aufzutreten, dafs die Oscillationsdauer mit der Capacität der entladenen Oberfläche nicht so rasch abnimmt, als das Gesetz es verlangt. Denn die Differenzen der Beobachtung und der Rechnung, wie dieselbe mit Hilfe der am Galvanometer für je 2 Flaschen gefundenen Capacitäten nach dem zuvor gegebenen Gesetze ausgeführt ist, lassen sich, wenigstens für die letzte Beobachtung, selbst nicht einmal in gezwungener Weise aus den Beobachtungsfehlern erklären.

Zwei andere Beobachtungen nach Ausschaltung der in dem Schließungsbogen befindlichen Drahtrollen, wodurch die Leiterlänge auf 1343^m reducirt ward, lieferten mir:

Flaschenzahl	Oscillationsdauer	
	beobachtet	berechnet
16	0,0000504	—
2	0,0000191	0,0000175

Da fast alle Theile der Leitung 1^m oder darüber von einander entfernt waren, so wird die vertheilende Wirkung der Leitertheile auf einander im Vergleich zur Wirkung des umgebenden Raumes sehr klein gewesen seyn; es liegt daher die Vermuthung nahe, dafs die freie sich auf der ganzen Oberfläche des Drahtes vertheilende Elektrizität die Ursache jener Abweichung sey, indem von der anderen Seite ins Gewicht fällt, dafs die gesammte Oberfläche des 1^{mm},35 dicken Drahtes keine ganz unbedeutende war.

Hr. Dr. Siemens hat, diese Annalen Bd. CII S. 108, die Capacität eines oberirdischen Telegraphendrabtes mit der Capacität einer belegten Glastafel verglichen. Er hat in derselben Abhandlung bewiesen, dafs die Capacität eines

Condensators der Glasdicke umgekehrt proportional ist. Wollte ich danach meinen Leitungsdraht mit den von mir gebrauchten Flaschen vergleichen, so würde sich für denselben eine Capacität nahe gleich derjenigen von 3 Flaschen ergeben. Allein die Vergleichung ist nicht ohne Weiteres statthaft, erstens weil die von mir gebrauchte Glassorte nur zufällig mit der von Hrn. Dr. Siemens gebrauchten in Bezug auf ihr specifisches Vertheilungsvermögen identisch seyn könnte, zweitens weil der 1^{mm},35 dicke Draht meiner Leitung zum größten Theil in geringer Entfernung von Wänden sich befand, während Hr. Siemens den zwei Linien dicken Telegraphendraht unter freiem Himmel 8^m über dem Boden ausgespannt hatte. Wie weit die Capacität meiner Leitung von der vorher nach den Angaben von Siemens berechneten abweicht, läßt sich nicht wohl übersehen. Dagegen hätte mir eine Entladung von einer Anzahl gut abgeleiteter Flaschen gegen den an seinem einen Ende isolirten Draht vielleicht eine Beobachtung der Oscillationsdauer ermöglichen können, aus der sich ein Schluß auf die Capacität machen liefse. Der Versuch zeigte mir in einzelnen Fällen zwar eine oscillatorische Entladung, allein die Ausgleichung kam bei dieser Anordnung in so verschiedener Weise und oft so unregelmäßig zu Stande, daß ich hier keine sichere Basis zur Vergleichung gewinnen konnte.

Ich stellte daher einen anderen Versuch an, um nur im Allgemeinen meine Vermuthung zu bestätigen oder zu widerlegen. Ich nahm den früher schon gebrauchten zum größten Theil in Rollen aufgewickelten Schließungsbogen von 161^m,3 Drahtlänge und brachte ungefähr 70^m von seinem mit der Aussenbelegung verbundenen Ende eine Nebenleitung durch einen dicken 5^m langen gerade ausgespannten Kupferdraht an. Diese Nebenleitung, welche den mittleren Theil des Schließungsbogens verband, war jedoch nicht geschlossen, sondern es befand sich die isolirende Schicht einmal von 8 Flaschen, ein andermal von 4 Flaschen als trennender Isolator in derselben: während in einem dritten Falle die Nebenleitung ganz ausgeschaltet war.

Da auf dem geraden und kurzen Wege der Nebenschließung die elektrischen Gleichgewichtsschwankungen — wie aus später anzuführenden Versuchen deutlicher hervorgehen wird — ungleich rascher erfolgen mußten, als auf dem Wege der Leitung durch die betreffenden Drahtrollen, so schien mir von einer Seite der Leitung wenigstens ein ähnliches Verhältniß wie bei dem langen Schließungsbogen hergestellt. In dem Schließungsbogen selbst konnte eine Quantität freier Elektrizität gebunden werden, (analog der Bindung zwischen den Bodenwänden und der Drahtoberfläche der langen Leitung) und der Versuch konnte mir zeigen ob und in welchem Sinne eine solche Bindung die Oscillationsdauer zu verändern im Stande sey. Der Versuch ergab:

Flaschenzahl in der unterbrochenen Nebenleitung	Oscillationsdauer bei Entladung von 8 Flaschen
8	0,0000331
4	0,0000322
0	0,0000314

Als ich die Oscillationsdauer von 4 Flaschen bestimmen wollte, indem sich 8 Flaschen in der unterbrochenen Nebenleitung befanden, war die scharfe Trennung der Oscillationen stark verwischt. Das Bild erinnerte an Zeichnungen von verschiedenen über einander gelagerten Wellensystemen. Soweit sich die Querabtheilungen erkennen und bestimmen ließen, leitete ich daraus die entsprechenden Zeitgrößen ab und fand die Oscillationsdauer zwischen den Werthen 0,0000247 und 0,0000260 eingeschlossen, während wir nach S. 154 wissen, daß 4 Flaschen bei demselben Schließungsbogen, jedoch ohne die seine Capacität vergrößernde Nebenleitung 0,0000224 Oscillationsdauer gaben.

Aus Vorstehendem scheint sich wenigstens *der* Schlufs ziehen zu lassen, daß die Capacität des Schließungsbogens zur Vergrößerung der Oscillationsdauer beiträgt.

Die Inductionswirkungen, welche durch Länge und Aufspannungsart der Leitung bedingt sind, zeigen sich von weit bedeutenderem Einfluß auf die Oscillationsdauer, als die oben betrachteten elektrostatischen Bindungserscheinungen.

Die Länge¹⁾ der Leitung vergrößerte ich in der Art, daß die einzelnen Theile des angefügten 1^{mm},35 dicken Drahtes so weit von einander entfernt blieben, als die Aufspannung in den gegebenen Räumen es erlaubte. Ich glaubte anfangs die Inductionswirkungen der einzelnen Leitertheile auf einander vernachlässigen zu können, weil die zugefügten Drahtlängen einander im Allgemeinen nicht näher kamen, als im Durchschnitt 1^m. Mit den verschiedenen Längen des Leiters bei Entladung von 10 Flaschen der früher angegebenen Dimensionen habe ich folgende Beobachtungen gemacht:

Länge des Schließungsbogens in Meter	Oscillationsdauer in Sekunden
5,26	0,00000132
15,26 ²⁾	0,00000312
25,26	0,00000410
45,26	0,00000601
65,26	0,00000753
85,26	0,00000845
115,26	0,00000935
180,3 ³⁾	0,0000131
317,0	0,0000177
445,8	0,0000227
1343	0,0000398 ⁴⁾

Aus vorstehenden Beobachtungen erkennt man die wesentliche Zunahme der Oscillationsdauer mit zunehmender Leiterlänge; man sieht ferner, daß die Oscillationsdauer in einem langsameren Verhältniß wächst, als die Länge des Schließungsbogens. Einen bestimmteren Zusammenhang möchte ich aus den Beobachtungen nicht ableiten, denn

- 1) Die Flaschen waren mit ihrem Innenbeleg und Außenbeleg so unter einander und mit der Leitung verbunden, daß die Elektrizität auf jeder Flasche von der innern zur äußern Belegung dieselbe Wegstrecke zu durchlaufen hatte. Diese Wegstrecke betrug, wenn nur die Verbindung durch den Entladungs- und Rotationsapparat die Leitung bildete, 5^m,26, und war zugleich der unter allen Umständen unveränderliche Theil der Leitung.
- 2) Die hinzugekommenen 10^m waren hier im Beobachtungszimmer im Viereck aufgespannt, während bei allen späteren Leiterlängen der Schließungsdraht außerhalb des Zimmers fortgeführt war.
- 3) Die Form des Schließungsbogens näherte sich einem rechtwinkligen Dreiecke von etwa 20^m Länge der kleinsten Kathete.
- 4) Diese Oscillationsdauer ist aus einer für 16 Flaschen gefundenen nach dem zuvor gegebenen Gesetze berechnet.

wenn man auch aus den Rechnungen von Thomson und Kirchhoff eine Formel für den Zusammenhang finden kann, so bieten die von mir angeführten Versuche doch nicht die gewünschte Uebereinstimmung. Ich finde indess hierin kein Zeugniß gegen die Anwendbarkeit jener Theorie auf den Fall der Flaschenentladung *im Allgemeinen*; denn daß die Aufspannungsweise der Leitung, selbst bei der von mir gewählten Entfernung der Leitertheile nicht zu vernachlässigen ist, werden besondere Versuche zeigen, und da eine analoge Art der Aufspannung verschiedener Drahtlängen nicht nur überhaupt schwierig, sondern im vorliegenden Falle geradezu unmöglich war, so steht nichts der Annahme im Wege, daß ein einfaches Gesetz in vorstehenden Beobachtungen nur durch die unvermeidliche Mangelhaftigkeit des Experimentes verdeckt wurde.

Die Induction von parallelen Leitertheilen auf einander verlängert die Oscillationsdauer, wenn der Strom in ihnen gleichgerichtet fließt, verkürzt sie, wenn er entgegengesetzt gerichtet ist, und zwar kann man die GröÙe der Inductionswirkung im letzten Falle aus folgenden Versuchen erkennen, bei denen 75^m eines 105^m,26 langen Schließungsbogens in zwei parallelen Windungen aufgespannt waren. Jede der beiden Windungen bildete nahezu ein Parallelogramm von 15½^m Länge und 3½^m Breite. Indem ich den senkrechten Abstand beider Windungen von einander änderte, erhielt ich folgende Werthe der Beobachtung.

Induction entgegengerichteter Ströme.

Abstand der beiden Windungen	Oscillationsdauer	Differenz in Hundert- milliontel-Sekunden
062 ^{mm}	0",00000782	31
125	0,00000813	37
253	0,00000850	28
500	0,00000878	28
1000	0,00000906	

Aus diesen Beobachtungen scheint hervorzugehen, daß die Oscillationsdauer in arithmetischem Verhältnisse zunimmt wenn die Entfernung zweier paralleler *entgegengesetzt gerichteter* Leitertheile in geometrischem Verhältnisse wächst. Auf größere Abstände habe ich die Versuche nicht ausge-

dehnt, weil sich dann einerseits die Veränderung der Länge, andererseits die veränderte Inductionswirkung der gegenüberstehenden Seiten des Parallelogramms nicht hätte außer Acht lassen dürfen. Denn daß die Induction *gleichgerichteter* paralleler Leitertheile ebenfalls, nur in umgekehrtem Sinne, auf die Oscillationsdauer einwirkt, mögen folgende zwei Beobachtungen zeigen, bei denen die beiden veränderlichen parallelen Drahtstrecken des 105^m,26 langen Schließungsbogens zusammen einen Weg von 68^m bildeten.

Induction gleichgerichteter Ströme.	
Abstand der beiden Drähte	Oscillationsdauer
62 ^{mm}	0,00001084
1000	0,00000986

Erkennt man hieraus den retardirenden Einfluß, welcher parallele gleichgerichtete Windungen auf die Dauer einer Oscillation haben müssen, so wird man es nicht überraschend finden, daß ich bei nur 161^m,3 Drahtlänge die Oscillationsdauer für 2 Flaschen schon zu 0",0000156 und daraus berechnet für 10 Flaschen die Oscillationsdauer

0",0000354

erhalten konnte, wenn von diesen 161^m,3 143^m in 9 Rollen aufgewickelt waren.

Zugleich erkennt man aus den Beobachtungen, daß wenn Theile des Schließungsbogens selbst nur bis auf ein Meter einander nahe kommen, die Wirkung auf die Oscillationsdauer nicht zu vernachlässigen ist, sobald diese Theile ein wesentliches Stück im Verhältniß zur ganzen Länge des Schließungsbogens ausmachen.

Schon aus den vorher angeführten Beobachtungen dürfte man wohl die Ueberzeugung gewinnen, daß es die Dauer der Oscillationen verlängern muß, wenn man einen wesentlichen Theil des Leiters in mehrere gleiche Zweige spaltet. Nach der eben gefundenen Art der Inductionswirkung darf man nämlich erwarten, daß zwei Zweige einen um so mehr retardirenden Einfluß auf die Elektricitätsbewegung in jeder Oscillation ausüben, je näher die gleichgerichteten Ströme in den Zweigen einander liegen, und daß das Maximum dieser Retardation dann stattfindet, wenn die Zweige mit

einander in ihrer ganzen Länge in Berührung gebracht sind, oder, was nahezu dasselbe, wenn man statt der Zweige einen einfachen Leitungsdraht anwendet.

Die Versuche, welche ich in dieser Richtung gemacht, sind zwar nicht mit Annäherung hervorgebracht, allein ich glaube sie beweisen dasselbe. Bei Entladung von 10 Flaschen und einem Schließungsbogen, bei welchem die Zweige wegen Mangel an Raum zickzackförmig im Zimmer aufgespannt waren, erhielt ich:

Länge des Schließungsbogens	Oscillationsdauer
$5^m,3 + 30^m$	0",0000040
$5,3 + \left\{ \begin{array}{l} 30^m \\ 30 \end{array} \right\}$	0,0000030
$5,3 + \left\{ \begin{array}{l} 30^m \\ 30 \\ 30 \end{array} \right\}$	0,0000025
$5,3 + \left\{ \begin{array}{l} 30^m \\ 30 \\ 30 \\ 30 \end{array} \right\}$	0,0000024

Die eingeklammerten Zahlen bezeichnen die neben einander eingeschalteten Zweige.

Aus denselben Gründen, weshalb die Oscillationsdauer sich verkürzt, wenn man den Schließungsbogen in mehrere Zweige spaltet, muß auch die zunehmende Dicke des Leiters eine Beschleunigung in der Elektricitätsbewegung der Oscillationen herbeiführen. Denkt man sich nämlich den Draht in lauter lineare Elemente zerlegt, so kann man diese Elemente gewissermaßen als Zweige betrachten, die mit zunehmender Dicke des Leiters an Zahl sich vermehren.

Als ich an 10 Metern bei einem $15\frac{1}{4}^m$ langen Schließungsbogen die Dicke änderte, gab mir die Beobachtung kein hinreichend in die Augen fallendes Resultat. Später habe ich einen wesentlicheren Theil des ganzen Schließungsbogens genommen, nämlich 100^m von $105,26$ Gesamtlänge, und für denselben bei möglichst gleicher Aufspannungsart verschiedene Dicken gewählt. Die Entladung von 10 Flaschen gab:

Dicke des Drahts.	Oscillationsdauer ¹⁾
2,55	0,0000096
1,35	0,0000099
0,70	0,0000103
0,35	0,0000108.

Wenn ich nun aus den Beobachtungen schliesse, dafs die Zunahme der Dicke des Schliessungsbogens eine Verkürzung der Oscillationsdauer bewirkt, so könnte man vielleicht einwerfen wollen, dafs diese Verkürzung wohl von dem zugleich veränderten Leitungswiderstand herrühre.

Es hat sich mir indess gezeigt, dafs die Oscillationsdauer keine merkliche Aenderung erleidet, wenn man die Oscillationen durch Einschaltung von Fäden verdünnter Schwefelsäure oder von dünnem Neusilberdraht in ihrer Zahl immer weiter und weiter beschränkt. Nur *eine* Beobachtung will ich als Beispiel anführen, welche ich mit 16 Flaschen bei den schon mehrfach erwähnten zum grössten Theil aufgerollten Schliessungsbogen von 161,3 Meter Länge gemacht habe, nachdem eine Säule verdünnter Schwefelsäure in der Leitung eingeschaltet war. Ich erhielt nämlich eine Oscillationsdauer von

0",0000442

auf einer Platte, wo nur die siebente Querabtheilung angedeutet war und nur auf eine Ausdehnung von 5 genau gemessen werden konnte, während bei der S. 154 angeführten Beobachtung für den ganz metallischen Schliessungsbogen 20 Querabtheilungen scharf auf der Platte zu unterscheiden waren; die Oscillationsdauer für den letzten Fall war aber, wie man sich erinnern wird, 0",0000446, also nicht wesentlich verschieden.

Zum objectiven Beweise der Abnahme der Oscillationszahl mit zunehmendem Widerstande und zur Charakterisirung der continuirlichen Entladung habe ich auf Taf. I die Entladungsbilder wiedergegeben, wie ich sie mit 16 Flaschen, einem gegen 1400 Meter langem Schliessungsbogen

1) Wenn ich bei dem 2^{mm},55 dicken Drahte gegen 30 Oscillationen auf der Platte angedeutet fand, so war bei denen von 0^{mm},35 Dicke etwa nur die achte zu erkennen; präcis und deutlich zeigten sich aber noch weniger, so dafs hierin der Fehler, der beim Messen der Breite entsteht, merklich seyn kann.

und Anwendung nahe derselben Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels erhielt.

Figuren.	Widerstand in Meter.
23 ¹⁾	0,044
24	0,020
25	0,016
26	0,008
27	0,005
28 } 29 }	ganz metall. Leitung ungefähr = 0,001

Die Widerstände sind hier auf 1^{mm} dicke Fäden verdünnter Schwefelsäure vom spec. Gew. 1,25 reducirt.

Von den beiden gleichzeitigen Bildern, jeder Figur ist das schmalere Band zur Linken durch den Uebergang der Elektrizität zwischen Zinkkugeln, das breitere zur Rechten zwischen Eisenkugeln bei jedesmal derselben Entladung entstanden, und zwar lag die breitere Funkenstrecke der inneren Flaschenbelegung zunächst.

Ich glaube nicht, daß es nöthig ist, Versuche, welche ich auch mit Bleidraht ausgeführt habe, und welche die Unabhängigkeit der Oscillationsdauer von der chemischen Natur des Leiters noch weiter bestätigen könnten, hier anzuführen.

Wenn ich in Vorliegendem einige Hauptgesetze der wellenartigen Bewegung der Elektrizität, nach einem schon 1859 gegebenen vorläufigen Berichte ²⁾ näher erörtert und begründet habe, wenn es mir gelungen ist, die Oscillationen, welche bei der Entladung eines elektrischen Condensators durch einen gut leitenden Schließungsbogen eintraten, zur objectiven Anschauung zu bringen, so hätte ich doch gern noch manche Fragen beantwortet, die weiter in's Einzelne gehen, oder das Gefundene verallgemeinern. Indefs mit dem Rotationsapparate allein ist dies nicht möglich.

Die Frage z. B., ob in allen Theilen des Schließungsbogens in jedem Momente dieselbe Stromstärke herrsche,

1) Wenn man sieht, daß es mir auch gelungen ist, die continuirliche Entladung charakteristisch zu photographiren, so muß ich doch bemerken, daß es sich nur bei Anwendung großer Elektrizitätsmengen erreichen ließ.

2) Diese Annalen Bd. CVIII S. 497 u. f.

ist nach theoretischen Betrachtungen zu verneinen. Wenn ich aber zwei Funken derselben Entladung in einem gemessenen Abstände den einen am Ende, den anderen am Anfang oder in der Mitte einer langen Leitung eintreten lasse, so ist bei den Dimensionen meiner Apparate und Hilfsmittel doch nicht zu erwarten, daß eine etwaige Verschiebung der Querabtheilungen des einen Bildes gegen die des anderen wahrzunehmen wäre.

Das Instrument, welches hier bestimmtere Aufschlüsse geben könnte, ist vor Allem das Dynamometer; mit diesem würden sich zugleich durch Interferenz verschiedener Wellenphasen in den beiden Rollen Schlüsse auf die Geschwindigkeit der Elektrizität ziehen lassen. Die Hindernisse, welche sich mir entgegenstellten, um abermals eine Leitung von über 1300^m frei aufzuspannen, haben mich von weiteren Versuchen bisher abgehalten.

Ebenso habe ich darauf verzichten müssen, die Capacität der gebrauchten Flaschen auf eine bestimmte, allgemeinere Einheit zurückzuführen.

Wie die Constanten bei meinen Versuchen aber auch mit den theoretisch zu Grunde gelegten Einheiten übereinstimmen mögen, wie die Bewegung während eines Hin- und Rückganges der Elektrizität im Einzelnen auch anzunehmen sey, so glaube ich doch, daß ein Zweifel an der unter Umständen oscillatorischen Bewegung der Elektrizität, wie sie den theoretischen Betrachtungen von Helmholtz, Thomson, Kirchhoff entspricht, nicht mehr statt haben kann, zumal da meine in der Veröffentlichung vom Jahre 1859 als für die Entladung der Leydener Flasche wirklich maassgebend bezeichneten Principien durch mannichfaltige und interessante Versuche des Hrn. Dr. Paalzw Bestätigungen erfahren haben. Ich glaube zugleich annehmen zu dürfen, daß es sich in Bezug auf die gewonnene Lehre nur um einen weiteren Ausbau derselben, sey es auf theoretischem, sey es auf experimentellem Wege, handelt, um zu gleicher Zeit den Zusammenhang der hier maassgebenden Verhältnisse mit den schönen Untersuchungen von Riefs,

denen von Savary¹⁾), von Hankel u. A. in ein klares Licht zu setzen.

VII. *Ueber die Zersetzung des chlorsauren Kalis bei niederer Temperatur durch Braunstein, eine sogenannte katalytische Erscheinung;*

von Dr. E. Wiederhold,

Lehrer an der höheren Gewerbeschule in Cassel.

Wenn man chlorsaures Kali erhitzt, so schmilzt dasselbe bei einer Temperatur, die über 350° C. liegt und zersetzt sich bei einem noch höher liegenden Wärmegrade unter Abgabe von Sauerstoff. Wird die Temperatur nicht weiter gesteigert, so besteht die alsdann zähflüssig gewordene Masse aus einem Gemenge von überchlorsaurem Kali und Chlorkalium. Erst bei erhöhter Wärmezufuhr tritt eine völlige Zersetzung ein, unter Freiwerden der Gesamtmenge des Sauerstoffs. Mischt man dagegen zu dem chlorsauren Kali ein gleiches Volumen gepulverten Braunstein, so tritt schon bei gelindem Erhitzen eine vollkommene Zersetzung ein, die unter Umständen mit einer Licht- und Wärmeentwicklung verbunden ist, ohne dass man eine intermediäre Bildung von überchlorsaurem Kali nachweisen könnte. Diese Thatsache wurde meines Wissens zuerst von Döbereiner

1) In der Veröffentlichung von Savary, wo allerdings von Oscillationen die Rede ist, war es mir nicht möglich, wie Hr. v. Oettingen, die Vorstellung abwechselnd entgegengesetzter *Ströme* zu finden.

Schließlich noch folgende Berichtigungen zu meiner früheren Abhandlung Bd. CXIII dies. Annalen

S. 438 Z. 1 statt: eigenthümliche lies: irrthümliche

S. 438 Z. 26 statt: Bewegung lies: Belegung

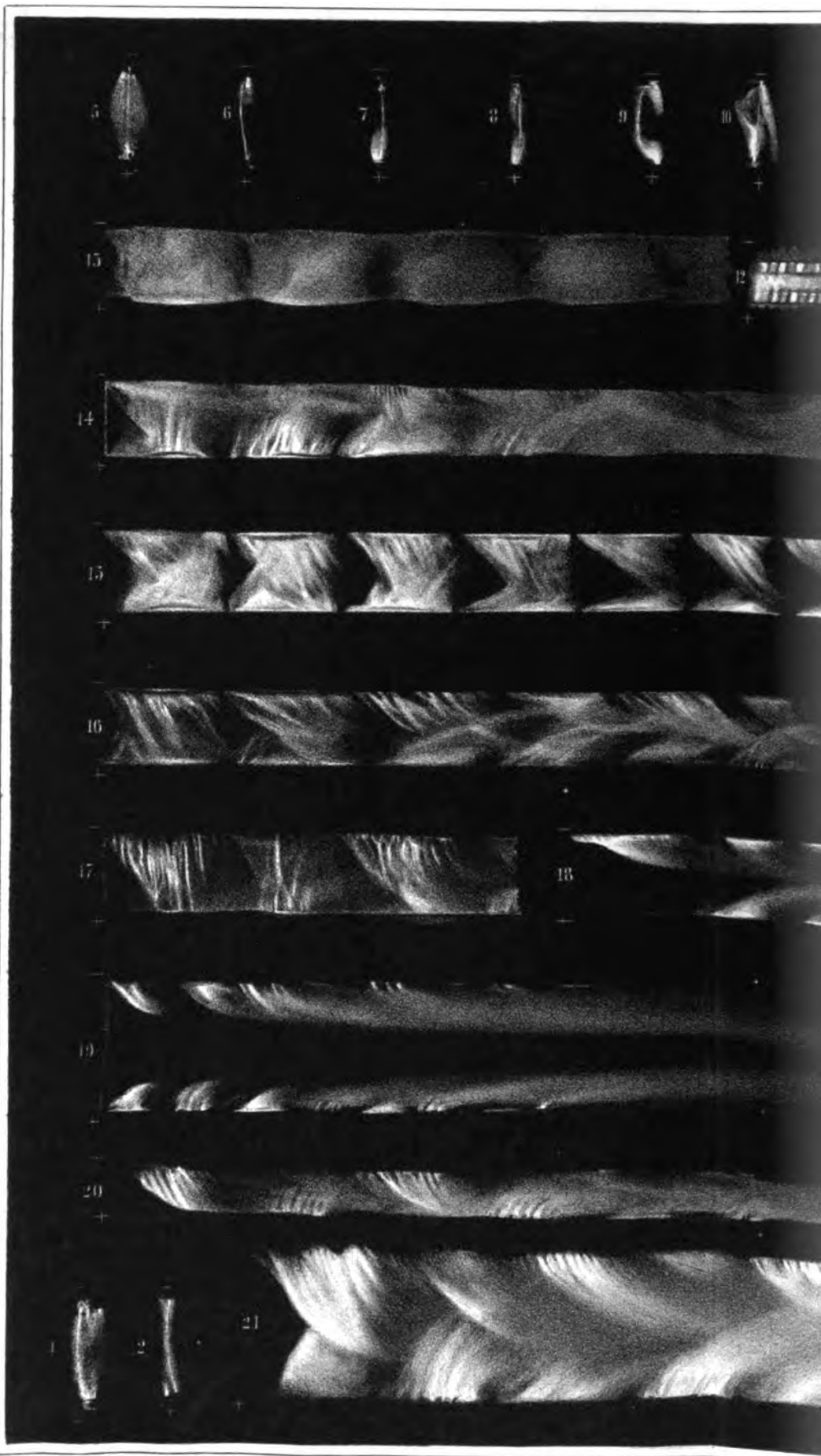
S. 441 Z. 17 statt: Beobachtungsreihe lies: Beobachtungsweise

S. 445 Z. 34 statt: Flasche lies: Fläche

S. 446 Z. 12 statt: ziemlich lies: zugleich

S. 453 Z. 10 statt: Funkenschweife lies: die lichtstarken Theile der Funkenschweife

S. 453 Z. 10 statt: $\frac{1}{2}$ bis 1 Decimeter lies: gegen 3 Centimeter



Druck v. J.G. Bach, Leipzig.



II.

a ←

a ← 50

a ←

a ← 28

27

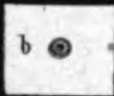
26

25

24

23

40

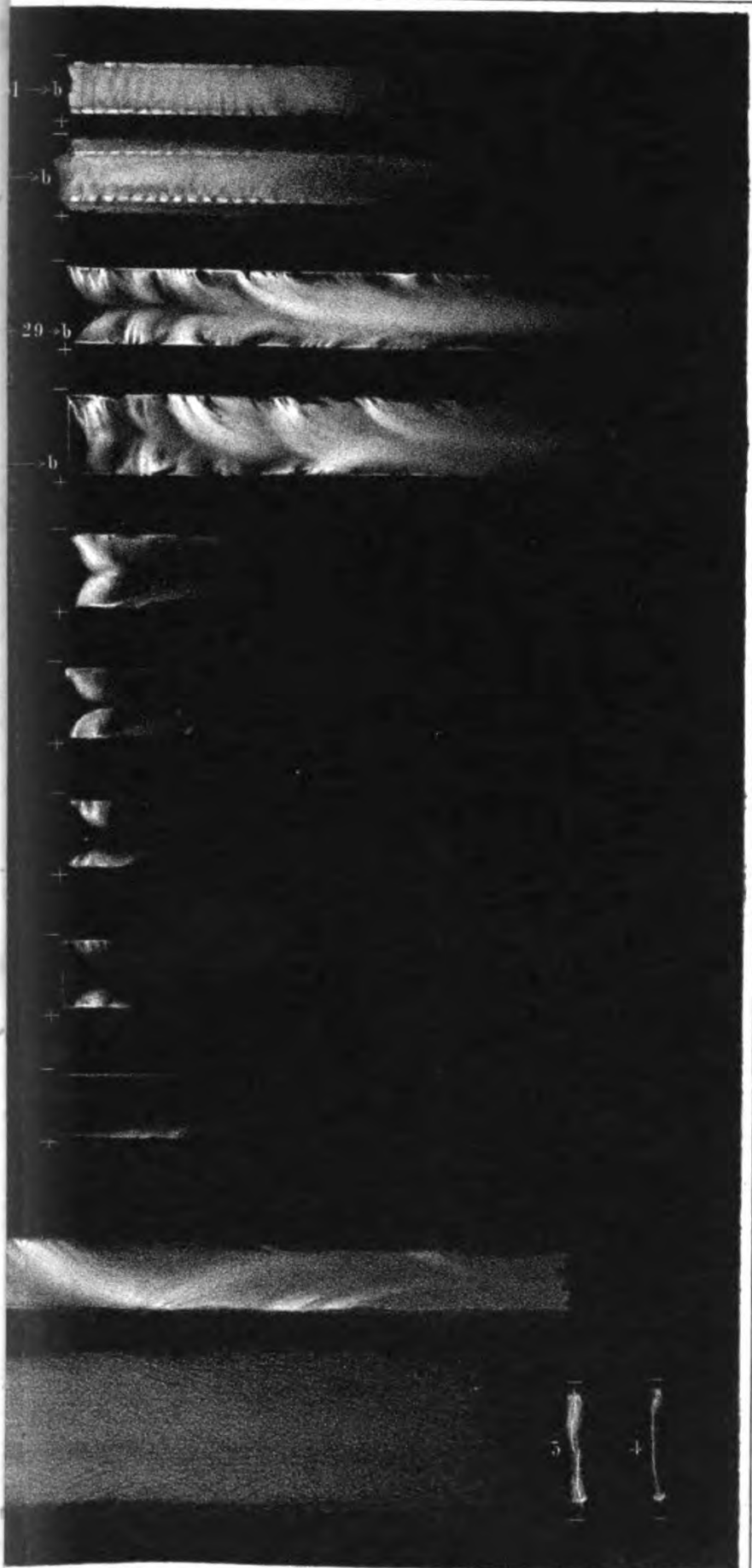


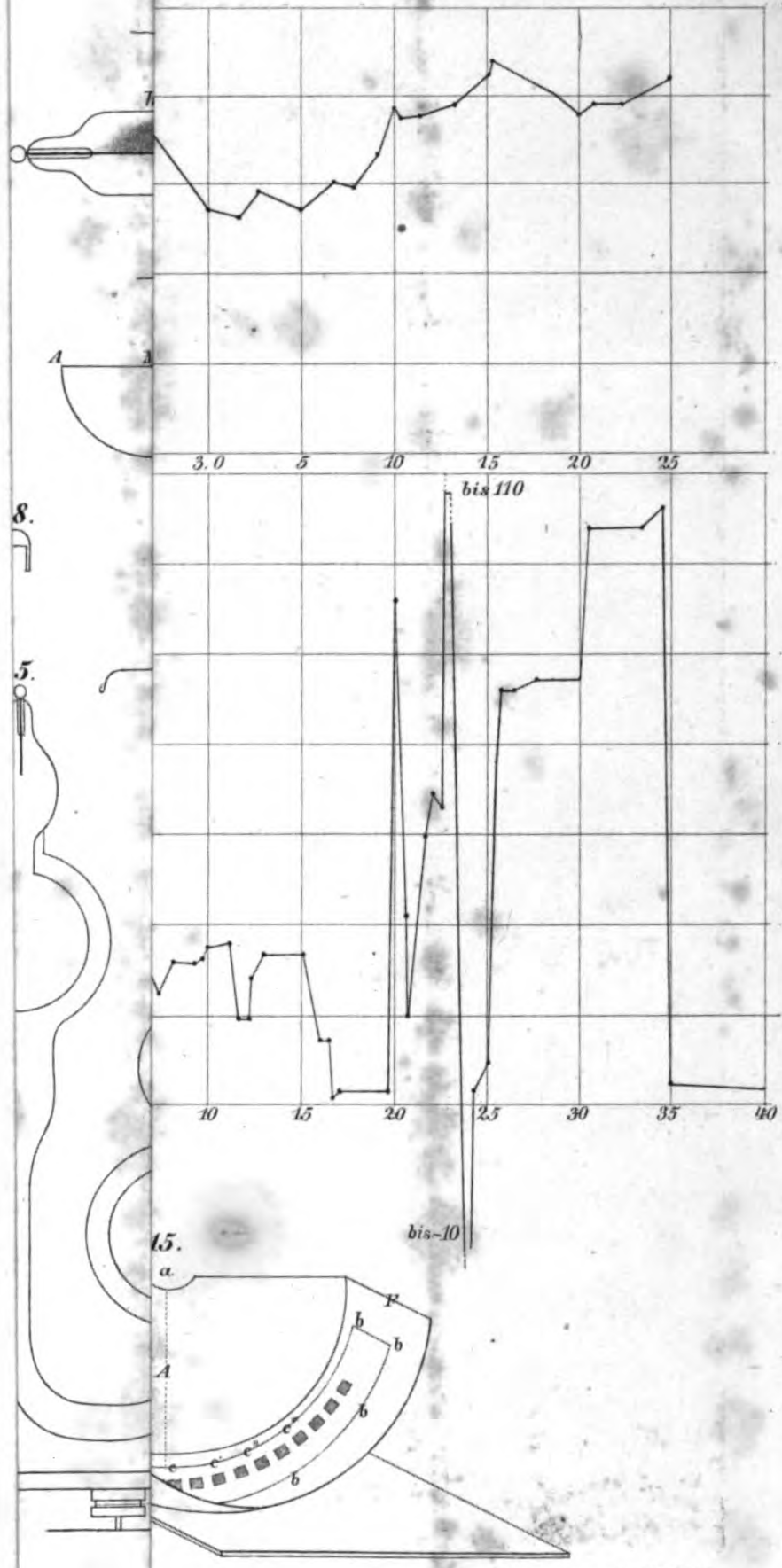
10

11

12

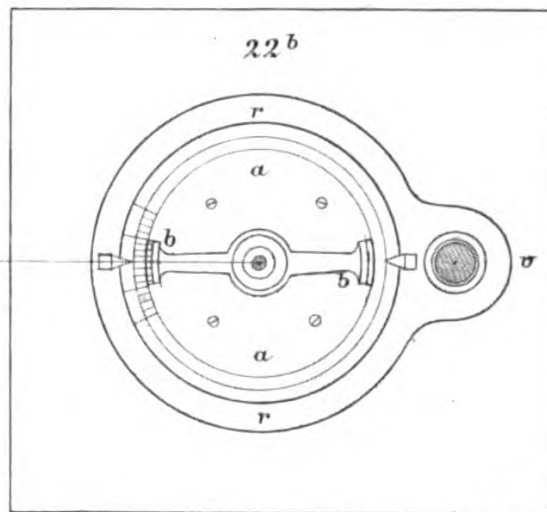
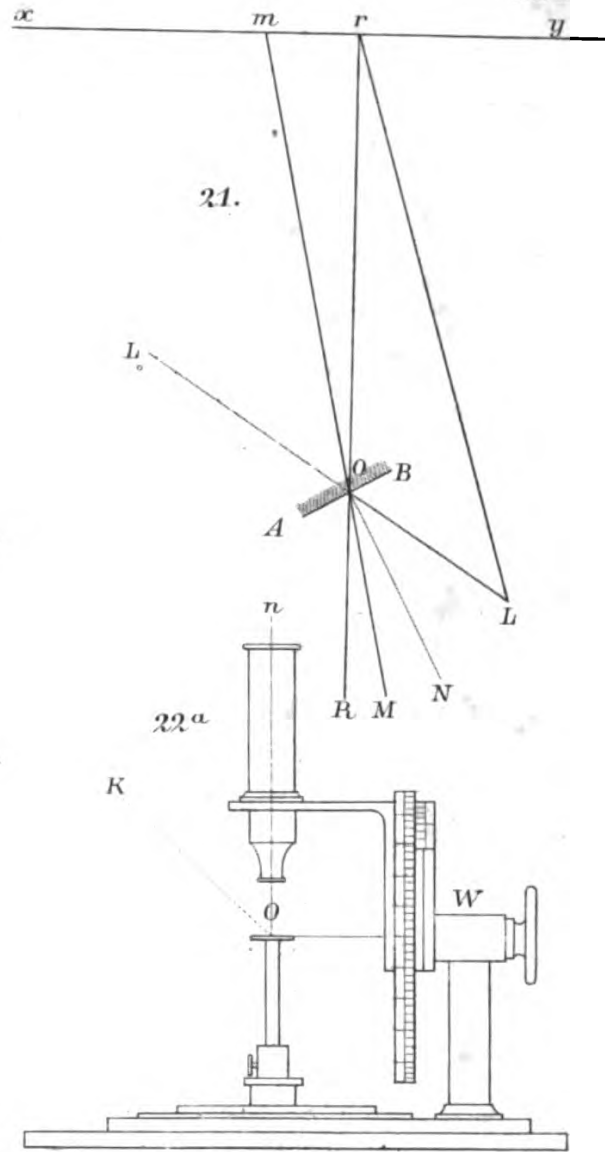
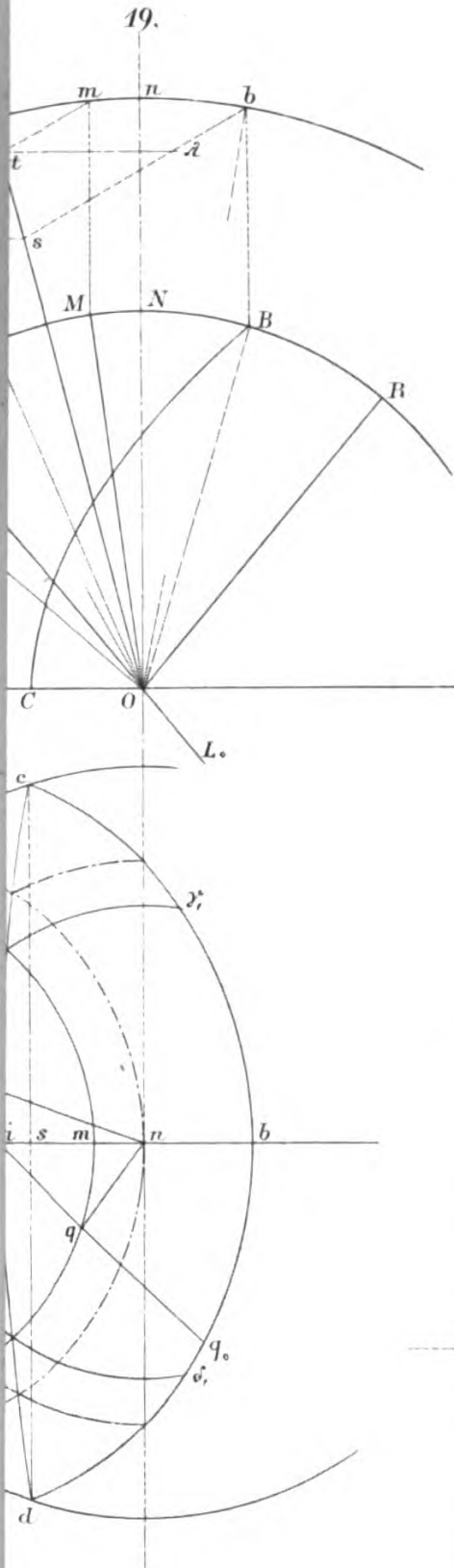
22



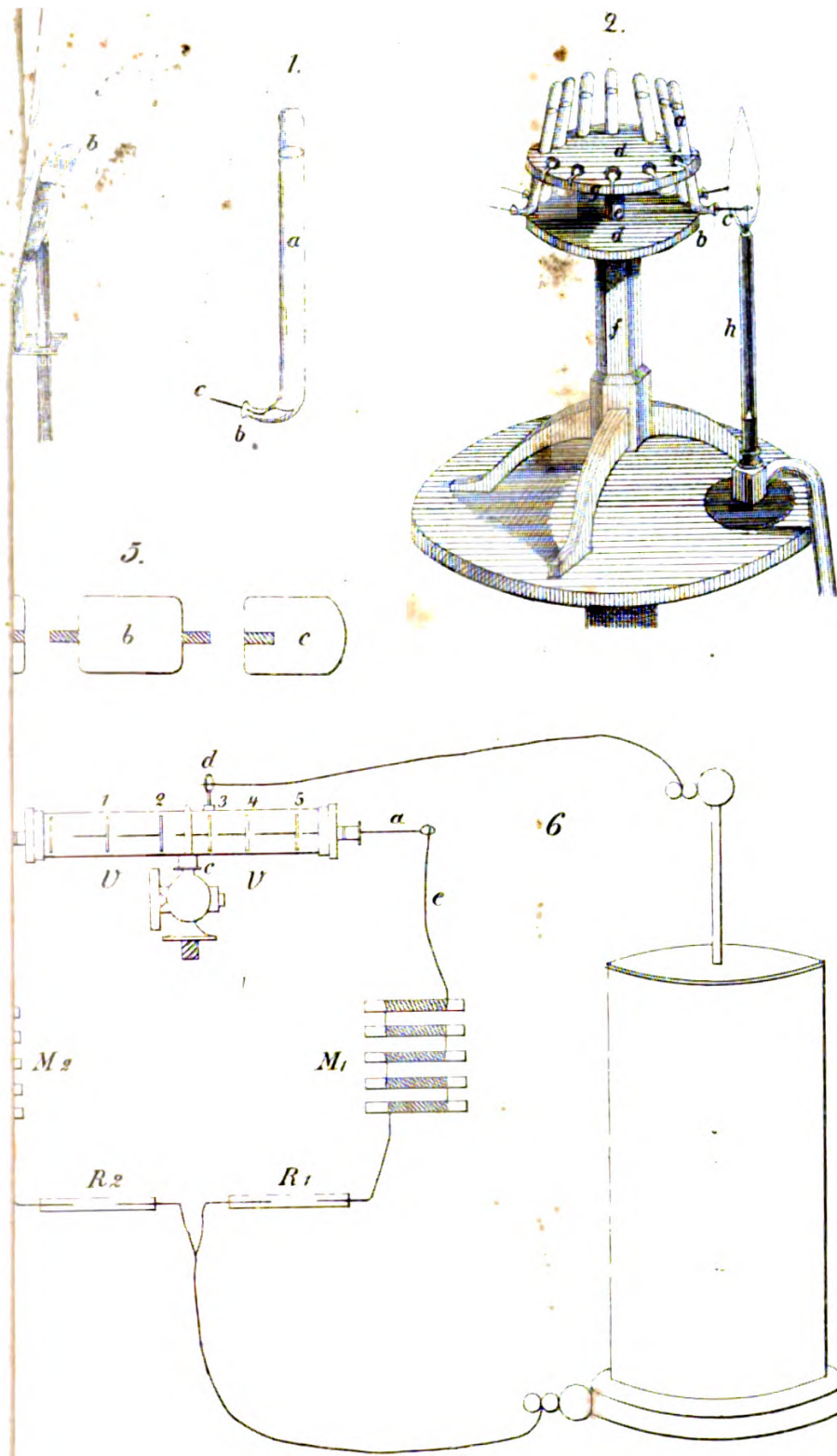


1

1







Ann d. Phys. u Chem Bd. 116. St 4

