II. *Zur Construction und Leistung der Elektrophor-Maschine (Influenz-Maschine);* *von A. Töpler.*

Die günstigen Resultate, welche die von W. Holtz und mir (Bd. 125, 126 und 127 dieser Annalen) beschriebenen Elektrophor-Maschinen¹⁾, selbst in ihren einfachsten Formen liefern, legten den Wunsch nahe, durch beliebig vermehrte Zahl der Erregungsstellen oder deren Gröfse Apparate von sehr gesteigerter Leistung zu construiren. In Folgendem möchte ich einige Gesichtspunkte hervorheben, welche sich aus mehreren in der angedeuteten Richtung unternommenen Versuchen ergeben. Die Bedingungen, unter denen die Elektrophor-Maschine sehr ansehnliche Spannungserscheinungen zeigt, wurden bereits hinreichend erörtert. Zudem läfst sich grofse Funkenlänge bekanntlich auch mit der (gewöhnlichen) Elektrisirmaschine erzielen, wenn ihre Dimensionen entsprechend gewählt werden. Um so mehr dürfte es somit gerechtfertigt seyn, für die Kenntniß der Elektrophormaschine solche Thatsachen zu sammeln, welche die Frage der möglichen quantitativen Leistung beleuchten. Ein unterbrochener Funkenstrom von 60 bis 80 Millm. Schlagweite, mit oder ohne eingeschalteten Condensator, Büschelentladungen, welche selbst bei hellem Tageslicht sichtbar sind, dürfen, so glaube ich, als Kennzeichen einer für alle wesentlichen physikalischen Versuche ausreichenden Spannung angesehen werden.

Die Zahl der Erregungsstellen läfst sich auf einer einzigen rotirenden Glasscheibe schwerlich über ein gewisses Maafs vergrößern, wenn die Dimensionen der letzteren

1) Der Benennung »Elektrophormaschine« anstatt »Influenzmaschine« schliefe ich mich nach dem Vorschlage von Prof. Riefs (Monatsber. der Königl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. März 1866, S. 128) an, da ersterer Name allerdings der bezeichnendere ist. Im Uebrigen dürfte das Princip des Elektrophors im engsten Sinne nur durch eine ganz bestimmte Anordnung der Apparate repräsentirt seyn. (Siehe unten.)

nicht unbequem werden sollen. Ich habe daher bei den zu beschreibenden Versuchen einer Anordnung den Vorzug gegeben, nach welcher sich viele rotirende Scheiben auf einer Axe in sehr compendiöser Weise vereinigen lassen, ohne dafs dadurch die Handlichkeit des Apparates und die Zugänglichkeit zu den einzelnen Theilen im mindesten gestört wird. Da ferner bei einigen der in Vorschlag gebrachten Apparate die rotirenden Flächentheile in rascher Folge entgegengesetzte Ladung annehmen müssen, während andere Apparate construirt sind, dafs sich das Zeichen der Ladung auf ein und derselben Fläche nicht ändert, so liefs dieser Umstand einen wesentlichen Einfluß auf den Nutzeffekt von vorne herein vermuthen. Die zu meinen Versuchen benutzten Apparate waren daher so eingerichtet, dafs durch bloßes Umschalten zweier Conductoren beiden Bedingungen genügt werden konnte.

Es waren mir zum Experimentiren zwei Maschinen geboten, von denen jede 16 Erregungsstellen besafs. Beide Apparate unterschieden sich nur durch ihre Dimensionen. Die Beschreibung des kleineren von beiden wird daher genügen, indem ich das Wesentlichste über die Eigenthümlichkeiten der Elektrophormaschine als bekannt voraussetzen darf.

Auf einer Stahlaxe von $2\frac{1}{2}$ Fufs Länge sind 11 kleine, kreisförmige Scheiben (von nur $11\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser) vermittelst centraler Durchbohrungen aufgesteckt. Je zwei benachbarte Scheiben sind auf der Axe durch eine gut abgedrehte Hülse von isolirender Kamm-Masse¹⁾ getrennt. Von diesen Hülsen ist nur eine einzige und zwar diejenige, welche auf der Mitte der Axe sitzt, an letzterer unwandelbar befestigt. Von beiden Enden her kann also je eine

1) Die in einer hiesigen Fabrik aus Schwefel und Kautschuk ohne anderweitige Beimischungen gefertigte Kamm-Masse erwies sich durchgehends als vortrefflich isolirend, selbst wenn durch fehlerhafte Behandlung bei der Darstellung die Masse für die bequeme mechanische Bearbeitung zu weich oder zu spröde war. Die mangelhafte Isolation mancher käuflicher Sorten rührt von fremdartigen Zusätzen (Gyps, Kreide usw.) her.

Zahl von Scheiben aufgeschoben und durch den Druck zweier Schraubenmütter eingespannt werden. Bei der Kleinheit der Scheiben gelingt es auf diese Weise leicht, dieselben herauszunehmen oder wieder senkrecht zur Axe zu justiren. Die Scheiben haben nicht alle gleichen Abstand. In der Nähe des einen Axenendes stehen 8 unbelegte Scheiben ziemlich dicht gedrängt. Sie repräsentiren zusammen 16 Erregungsstellen und liefern den Hauptstrom. In einiger Entfernung und zwar in der Nähe des andern Axenendes rotirt ein System von zwei theilweise belegten Scheiben, welches als selbstthätig wirkendes Organ des Apparates die Ladung jener acht Scheiben ermöglicht. Es war die Anbringung dieses Hilfsapparates auf ein und derselben Axe unumgänglich nöthig, da die Elektrisirung durch einfachere Hilfsmittel bei 16 Erregungsstellen selbst dann höchst unsicher wird, wenn man dieselben so combinirt, daß sie die anfängliche Ladung selbstthätig ergänzen.

Das letzt erwähnte, metallisch belegte Scheibenpaar bildet mit zwei ruhenden Scheiben und den entsprechenden Conductoren ein System, welches nach dem Princip des schon im Bande 125 (S. 470 bis 482) und Band 127 (S. 180 bis 185) beschriebenen und in letzterer Abhandlung als »Generator« bezeichneten Scheibenpaares arbeitet. Durch eine einfache Abänderung hat dasselbe jedoch eine größere Schlagweite und eine solche Empfindlichkeit angenommen, daß es sich bei der Rotation ohne äußere Elektrisirung ganz zuverlässig von selbst ladet. Vergrößerte Schlagweite erhält man, wenn man, anstatt halbkreisförmiger Belege auf jeder Scheibe, metallische Quadranten mit recht breiten, isolirenden Unterbrechungsstellen anbringt. Der Apparat erhält größere Empfindlichkeit und die auffallende Fähigkeit, sich unfehlbar von selbst zu laden, wenn man die Contactfedern nicht direct auf den Scheiben und ihren Belegen schleifen läßt. Vernachlässigt man diese Vorsichtsmaafsregel, so stellt sich mit der Zeit durch das lebhafte Funkenspiel auf den Unterbrechungsstellen eine leitende Verbindung durch mechanisch mit

fortgerissene Metalltheilchen her, wodurch der Apparat, wenn auch anfangs selbstladend, mit der Zeit unempfindlich wird. Die rotirenden Metallbelege haben daher an den Stellen, welche unter den Contactfedern vorbeigleiten sollen, leitende Erhabenheiten, während die isolirenden Zwischenräume mit den Contactfedern gar nicht in Berührung kommen. Alle mit solcher Contactvorrichtung versehenen Scheibenpaare erwiesen sich nicht allein beim ersten Gebrauch sofort als selbst ladend, sondern auch bei mehrmonatlicher, häufiger Beanspruchung büßten alle diese Fähigkeit nicht ein. Der Grund dieser Selbstladung muß wohl in den minimen Differenzen des elektrischen Zustandes gesucht werden, den isolirten Leiter wahrscheinlich stets besitzen. Dies erhellt aus dem Umstande, dafs, wenn alle Belegungen aus demselben Metalle bestehen, man das Zeichen der Ladung beim ersten Gebrauch des Apparates nie vorher sagen kann. Auch wenn der Apparat sehr lange aufser Thätigkeit war, so stellt sich beim Beginn der Rotation die positive Ladung mauchmal auf der andern ruhenden Scheibe her.

Im Uebrigen wechselt, wie ich dies schon mehrmals hervorgehoben habe, der Apparat seine Polarität, so lange die Rotation andauert, niemals, selbst wenn er zufällig auf einige Minuten einseitig entladen, oder wenn eine Leitung an irgend einer Stelle für längere Zeit unterbrochen werden sollte. Diesen Vorzug zeigt die in Rede stehende Scheibencombination stets, mag sie nun für belegte oder unbelegte Scheiben construirt seyn. Die Erscheinung des freiwilligen Polwechsels beim Oeffnen des Ladungsstromes ist durchaus nur an diejenigen Combinationen geknüpft, bei denen *ein und dieselbe* rotirende Fläche während der Dauer einer Umdrehung abwechselnd entgegengesetzte Ladung annehmen muß, wie sich dies auch theoretisch einfach begründen läßt¹⁾.

1) Am auffallendsten zeigt sich die Erscheinung des freiwilligen Polwechsels, wenn man mit einer einzigen rotirenden, metallisch belegten Scheibe, welcher auf entgegengesetzten Seiten ruhende Metallflächen gegenüber-

Es bedeutet Fig. 3 Taf. IX das Schema des selbstwirkenden Scheibenpaares. Die schraffirten Theile stellen die Durchschnitte von Glasscheiben dar, während die stark markirten Linien metallisch bedeckte Flächen andeuten. *A* und *B* sind ruhende Glasscheiben mit ihren Belegen. In unmittelbarer Nähe bewege sich einerseits die Scheibe *mn*, andererseits *m'n'*; (die Bewegungsrichtung in der Nähe der ruhenden Scheiben ist durch Pfeile angezeigt.) Bei *bcb'c'* schleifen Contactfedern, welche in der durch punktirte Linien angedeuteten Weise leitend verbunden sind. Denkt man sich nun bei *A* eine minime (etwa positive) Ladung, so wird die Influenz-El. zweiter Art von *b* vermittelt der Contactvorrichtung nach *b'* getrieben, während die Influenz-El. erster Art bei der Rotation nach *c* gelangt. Von hier aus wird also die ruhende Scheibe *B* negativ geladen, welche Ladung von Seiten der nach *b'* gelangten $+$ El. unterstützt wird. Bei *B* wiederholt sich (mit umgekehrtem Zeichen) derselbe Hergang, und so verstärken sich in der bekannten Wechselwirkung *A* und *B*. In der Leitung *bb'* fließen die Influenzelektricitäten zweiter Art entgegengesetzt. — Wird nun diese Leitung eine Zeitlang unterbrochen, so dafs beide Contactfedern isolirt sind, so ändert sich dadurch weiter Nichts, als dafs bei *b* und *b'* keine Ladung mehr möglich, also auch keine Influenz-El. erster Art nach *A* und *B* befördert wird. Die Ladung auf *A* und *B* wird also nach Maafsgabe der unvermeidlichen Verluste allmählich sinken, wenn die Rotation fort dauert. Die letzten Reste verweilen daselbst, aber äufserst hartnäckig. Nur wenn man absichtlich und zwar recht lange Zeit (manchmal reicht eine halbe Stunde nicht aus) alle Con-

stehen, eine der Holtz'schen Maschine analoge Combination herzustellen versucht. Es ist dies ganz gut möglich, wenn auf der rotirenden Scheibe vier oder mehr Unterbrechungsstellen angebracht werden. Ein solcher Apparat ist äufserst empfindlich selbstladend, wechselt jedoch bei der Unterbrechung des combinirten Stromes seine Polarität so schnell, dafs sich auf den ruhenden Metallflächen das Zeichen der Ladung pro Sekunde mehrmals umkehrt und ein Laden von gröfseren Flaschen durch den combinirten Strom ganz unmöglich wird.

tactfedern gleichzeitig zur Erde abgeleitet hat, so bemerkt man später bei Wiederherstellung der ursprünglichen Verbindung, daß der Apparat mit entgegengesetzter Ladung zu arbeiten anfängt. A ist dann negativ, B positiv. Dieser *erzwungene* Polwechsel der Combination rührt von den inneren, unbelegten Flächentheilen her, welche einander einerseits zwischen A und b , andererseits zwischen B und b' gegenüberstehen. Es findet dort nämlich, wie Lichterscheinungen im Dunkeln zeigen, ebenfalls ein schwacher Austausch durch Influenz statt. Ist nämlich die Metallfläche auf A positiv geladen, so wird die nach b gerichtete Seite der Glastafel schwach negativ, die nach A gerichtete Seite von mn jedoch positiv elektrisch. Entladet man nun die Metallbelegungen vollständig, so wird, da während der Rotation ohne Zweifel alle Verluste auf mn größer sind, die negative Ladung auf der unbelegten Seite von A zur Geltung kommen und das entgegengesetzte Spiel des Apparates nach einiger Zeit veranlassen.

Ganz anders verhält sich die Sache, wenn auf einer einzigen Scheibe, wie in Fig. 4 Taf. IX, der ganze Proceß stattfindet. Hier bewegt sich eine einzige Scheibe mn vor den passend gestellten, ruhenden Tafeln A und B . Sind die Conductoren bei b und d leitend verbunden, so wird eine kleine Ladung auf A auch hier den Erfolg haben, daß sich B durch die Conctatfeder c mit der Influenz-El. erster Art entgegengesetzt ladet. Der Ueberschuß der letzteren wird bei d abgegeben, um wieder nach b zu fließen, entgegengesetzt der bei b abgestoßenen Influenz-El. zweiter Art. Dasselbe gilt, abgesehen vom Vorzeichen, für den Metallsector d , wenn derselbe bei der Rotation in die Lagen a und b kommt. Hier bewegen sich in der Leitung zwischen b und d also beide Influenz-El. Wird dieser Strom jedoch unterbrochen, so tritt sehr schnell ein Polwechsel bei A und B ein. Es kann alsdann nämlich ganz einfach jeder Metallsector auf mn , welcher von d aus bei der Umdrehung mit positiver Ladung vor A anlangt, hier seine Ladung nicht abgeben, sondern kommt noch positiv

nach c , wird also die Ladung auf B schwächen. Ganz dasselbe gilt für A ; überhaupt ist leicht einzusehen, daß sich A und B sehr rasch gegenseitig entladen müssen. Die secundäre Erregung der inneren Glasfläche kommt also hier ganz sicher zur Wirkung, sobald die Leitung unterbrochen wird.

Die Handhabung des selbstladenden Scheibenpaares ist nun genau dieselbe, wie sie Band 127 Seite 182 für den »Generator« beschrieben wurde. Die eine der ruhenden Metallflächen wird zur Erde abgeleitet; alsdann giebt der Conductor der zweiten ziemlich bedeutende Spannungserscheinungen und kann zur Elektrisirung des größeren Systems von acht Scheiben benutzt werden. Den gleichen Zweck würde ohne Zweifel, anstatt des obigen Scheibenpaares, eine nach Angabe von Hrn. Holtz mit »überzähligem Conductor« arbeitende, unbelegte Scheibe erfüllen, wenn man dabei nicht die Bequemlichkeit der Selbstladung einbüßte.

Was nun die Einrichtung des zu Anfang erwähnten Systems von acht Scheiben betrifft, so möchte dieselbe aus einer in Fig. 1 Taf. IX gegebenen Skizze leicht verständlich seyn. S bedeutet eine der acht unbelegten, auf der Axe a in der Richtung des Pfeiles rotirenden Scheiben. Um diese sind nun die übrigen Theile so angebracht, daß sie einzeln oder gruppenweise außer Wirksamkeit gesetzt werden können. Zunächst sind dicht hinter S beiderseits die ruhenden Scheiben n und n' aufgestellt, welche auf der von S abgewandten (also in der Figur hinteren) Seite die bekannten Papierbelege bb' tragen. Es wird genügen, für die linke Seite des Apparates die Befestigungsweise der Scheibe n und der zugehörigen Theile anzudeuten, da für n' genau dasselbe gilt. — Die Scheibe n ist zwischen drei Stäben h , i , k von Kamm-Masse befestigt. Diese Stäbe stehen parallel zur Rotationsaxe und stützen sich mit ihren Enden auf vier Glassäulen, von denen in der Figur nur die beiden hinteren gg sichtbar sind. Dieselben Kamm-Masse-Stäbe h , i und k tragen außerdem noch sieben mit n

gleichbeschaffene Scheiben, welche zu den übrigen rotirenden Scheiben gehören. Der Parallelismus zwischen n und S wird dadurch bewirkt, daß die Stäbe h , i , k auf der ganzen Länge ein Schraubengewinde besitzen, auf welchem scheibenförmige Mütter von demselben Material laufen. Zwischen letzteren kann n beliebig nahe an S herangeschraubt und festgeklemmt werden. — In Fig. 1, Taf. IX, bedeuten ferner die Buchstaben l und z die Querschnitte zweier Metallcylinder, welche ebenfalls zur Axe parallel stehen und von denselben Glasständen gg getragen werden. Auf dem Cylinder l schiebt sich mittelst Hülse und Klemmschraube ein Messingarm lb , welcher auf der vordern Seite von S eine feine Spitzenreihe trägt, gerade der Belegung b gegenüber. In ähnlicher Weise ist auf z ein Metallarm zb beweglich, welcher hinter der Scheibe n mit einer Kugel der Papierbelegung bis zur Berührung genähert werden kann. Ohne Erläuterung ist ersichtlich, daß beide Arme lb und zb durch Drehung um l und z aus dem Apparate herausgeschlagen werden können, wodurch die Belegung b außer Function tritt.

Was nun auf der einen Seite von S für die Scheibe n gesagt wurde, das gilt auf der andern für die Scheibe n' und die zugehörigen Theile. Auf die isolirenden Stäbe h und k' stützt sich mittelst gläserner Querstangen der Conductor c , welcher einen geraden, dünnen Messingarm d , ebenfalls durch Hülse und Klemmschraube verschiebbar und drehbar, dicht vor die Vorderseite S streckt. Analoges gilt für den unteren Conductor c' . Beide Conductoren ruhen mit ihren gläsernen Armen nur lose auf Einschnitten der isolirenden Stäbe hh' und kk' , weshalb sie leicht zu entfernen sind. Desgleichen kann man die Arme d und d' bequem von den Conductoren ablösen.

Man erkennt nun sofort, daß die metallischen Theile l , z und c das Zubehör einer Erregungsstelle bilden. Wird b über z hinreichend elektrisirt, so empfängt bei der Rotation der Scheibe S der Arm bl die Influenz-Elektricität der zweiten Art, und wenn diese zur Erde abgeleitet

wird, c fortwährend die Influenz-El. erster Art. Dasselbe gilt von z' , l' und c' .

Bei den übrigen rotirenden Scheiben wiederholen sich nun genau dieselben Theile, welche in Fig. 1, Taf. IX, für S verzeichnet wurden. Die mit der Axe parallelen Stäbe h , l , i , z , k , c , k' usw. sind jedoch bei allen 8 Scheiben gemeinsam benutzt, so daß beispielsweise z alle die verstellbaren Arme trägt, welche zu den Papierbelegen führen usw. Jede besitzt somit zwei Erregungsstellen. Es ist jedoch nöthig, daß je zwei aufeinander folgende Scheiben sich die analogen Theile des Erregungsapparates zuwenden. Fig. 2 deutet im Horizontalschnitt die gegenseitige Lage von acht Erregungsstellen an. SS usw. sind auch hier die rotirenden, n , n usw. und $n'n'$ die ruhenden Scheiben mit den Belegen b und b' . Die von den Conductoren z und z' ausgehenden Arme laden also gleichzeitig je zwei benachbarte Belege; desgleichen sind die Arme l und l' beiderseits mit Spitzen versehen, so daß stets zwei benachbarte rotirende Flächen von ihnen versorgt werden. Nur durch diese Anordnung ist es möglich, den rotirenden Scheiben so kleine Abstände zu geben, daß das ganze System in der That sehr compact wird. ¹⁾

Die beschriebene Anordnung ist deshalb so bequem, weil sie sich sehr schnell und einfach auseinander nehmen und wieder zusammenstellen läßt. Da die Glassäulen gg , Figur 1, alle Scheiben n nebst Zubehör tragen, so sind diese Glassäulen auf einem besonderen Brette y befestigt, welches durch eine Schraube x an die Hauptfußplatte FF der Maschine befestigt werden kann. Man erkennt, daß nach Aushebung der Conductoren c und c' und Lüftung

1) Die Apparate, welche von den Mechanikern Vveegmann und Vvesselhöft in Riga nach obiger Angabe gebaut wurden, haben bewiesen, daß man, wenn die Gesamtschlagweite des Apparates nicht über 30 bis 40 Millm. verlangt wird, den Abstand je zweier rotirender Scheiben bis auf $\frac{3}{4}$ Zoll verkleinern kann, ohne daß sich eine Abnahme der quantitativen Leistung fühlbar macht. Für 70 bis 95 Millm. Schlagweite des Apparates genügt bei etwas größeren Scheiben ein Abstand von $1\frac{1}{2}$ Zoll vollkommen.

der Schrauben x und x' alle ruhenden Scheiben nebst zugehörigen Theilen mittelst der Füße y und y' seitlich aus der Maschine hervorgezogen werden können. Ist dies geschehen, so liegt die Axe mit den Scheiben S frei und kann aus den Lagern entfernt werden. Ferner sind jetzt die ruhenden Scheiben n von derjenigen Seite, welche im Apparate der Axe zugewendet war, zugänglich und können ohne Mühe einzeln herausgenommen werden. Da die Bretter y und y' in ähnlicher Weise gleichzeitig die ruhenden Scheiben des metallisch belegten Generators am anderen Axenende tragen, so ist es erklärlich, warum das gelegentlich erforderliche Auseinandernehmen und Wiederaufstellen der Maschine behufs der Reinigung in sehr kurzer Zeit bewerkstelligt werden kann. Endlich sey noch erwähnt, daß zwischen dem metallisch belegten Scheibenpaar und den acht unbelegten Scheiben, um erstere vor den schwer zu vermeidenden, gelegentlichen Büschelentladungen von Seiten der stärker geladenen Conductoren zu schützen, eine elfte Glasscheibe als Scheidewand zwischen beiden Systemen eingeschaltet ist.

Die Länge der Papierbelege betrug bei der kleineren Maschine $2\frac{1}{2}$, bei der größeren 3 Zoll, der Scheibendurchmesser $11\frac{1}{2}$, resp. $14\frac{1}{2}$, die Gesamt-Axenlänge 30 resp. 40 Zoll. Man ersieht aus diesen Dimensionen, daß selbst der größere Apparat noch nicht den Raum einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine mit 30 Zoll Scheibendurchmesser einnimmt.

Was nun die Combinationen betrifft, welche beim Gebrauch der Maschine nach obiger Construction unter den 16 Erregungsstellen möglich sind, so dürften dieselben aus Betrachtung von Fig. 1 Taf. IX unschwer zu ersehen seyn. (In der Zeichnung sind die zur Herstellung dieser verschiedenen Combinationen nöthigen Leitungen weggelassen.)

I. Verbindet man, indem alle 16 Elemente mit ihren zugehörigen Theilen versehen sind, die Conductoren z und z untereinander und außerdem mit dem freien Pol des metallbelegten Scheibenpaares, (für welches ich der Einfach-

heit halber den Namen »Generator« beibehalten will,) so laden sich alle Papierbelege gleichnamig. Leitet man alsdann die Conductoren l und l' zur Erde (etwa zur Gasleitung des Hauses) ab, und verbindet man außerdem c mit c' , so wirken alle 16 Erregungsstellen zusammen in gleichem Sinne. Die vereinigten Conductoren cc' geben alsdann die gesammte Influenz-El.¹ der ersten Art, und durch Verbindung mit ll' entsteht ein kräftiger Strom.

II. Man kann die Papierbelege paarweise ausschalten, und zwar durch passende Verstellung der um l , z , z' , l' drehbaren Arme. Acht Erregungsstellen stellt man am besten her, indem man die obige Verbindung zwischen zz' aufhebt und nur z mit dem Generator verbindet. Es wirken dann nur die Belege der linken Seite. Man wird durch die gebotenen Mittel überhaupt alle graden Zahlen zwischen 2 und 16 successive herstellen können. Da die Thätigkeit einer jeden Erregungsstelle eine schon früher einmal besprochene Verlustquelle für die Ladung ihrer ruhenden Belegung ist, so wird im Allgemeinen mit steigender Zahl der durch den Generator geladenen Belege die Spannung sowohl auf ihnen selbst, als auf den Conductoren cc' abnehmen müssen.

III. Hat man die Maschine in der unter No. I bezeichneten Weise mit 16 Erregungsstellen einige Zeit arbeiten lassen, so dringt die Ladung der Papierbelege bb' Fig. 1 Taf. IX allmählich in die Glasscheiben nn' bis zu einer gewissen Tiefe ein. Schaltet man daher, nachdem sich der Apparat geladen hat, den Generator aus und verbindet die Conductoren zz' dauernd mit ll' , so werden die Belege zwar entladen, allein die Conductoren cc' geben noch lange Zeit Elektricität von abnehmender Quantität und Schlagweite. In dieser Combination ist der Apparat im engsten Sinne eine Elektrophormaschine. Die Belege repräsentiren den zur Erde abgeleiteten Teller, die Glasscheiben nn' den Harzkuchen und die rotirenden Scheiben den Deckel des Elektrophors.

IV. Schliesslich kann man das System der 16 Erre-

gungsstellen so combiniren, daß dasselbe keiner dauernden, sondern einer einmaligen Elektrisirung von Seiten des Generators bedarf, um dann selbstthätig seine Ladung zu ergänzen. Stellt man dauernde Verbindungen zwischen c und z , ferner zwischen c' und z Fig. 1 Taf. IX her, so wird bei einmaliger etwa positiver Ladung von b über z der Apparat analog der Holtz'schen Maschine arbeiten.

Es muß sich b' von c aus entgegengesetzt laden und man wird in einer metallischen Schließung zwischen l und l' den combinirten Strom erhalten, welcher sich aus den in entgegengesetzter Richtung fließenden Influenz-Elektricitäten beider Arten herstellt. In diesem Falle wird also die Scheibe S auf der oberen Hälfte ihres Weges von b nach b' negativ, auf der unteren von b' nach b zurückkehrend positiv geladen seyn. Es versteht sich von selbst, daß man in dieser Weise ebenfalls 4, 8, 12 oder 16 Erregungsstellen combiniren kann.

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht über die Leistung der beiden an GröÙe verschiedenen Maschinen in den wichtigsten Combinationen. Um die Zahlen mit früheren Angaben vergleichbar zu machen, ist die leydenersche Flasche als Maas für die Quantität beibehalten worden. Eine Batterie ziemlich dünnwandiger Flaschen, von etwas mehr als 5 Quadratfuß äußerer Belegung, bildete die Maasflasche, da einzelne Flaschen bei kleinerer Schlagweite unzählbar rasch geladen wurden. Die Entladungszahlen beziehen sich auf 3^{mm} Schlagweite und 9 Rotationen pro Secunde, welche Drehungsgeschwindigkeit sich bei den Combinationen 1, 2 und 3 ohne Schwierigkeit, mittelst Schnurlauf erzielen ließ. Die 4. Columne mit der Bezeichnung »Schlagweite« bezeichnet die Entfernung, bis auf welche zwei 22 Millm. dicke Kugeln des Entladers entfernt werden konnten, ohne daß der Funkenstrom (ohne eingeschaltete Flasche) unregelmäßig würde. Die Bezifferung der Combinationen ist dieselbe, wie oben.

A. Größerer Apparat.

Art der Combination	Zahl der Erregungsstellen	Zahl der Batterie-Entladungen pro Minute	Maximal-Schlagweite in Millm.
I.	16	177	54
II.	12	147	67
II.	8	110	78
II.	6	96	73
II.	4	75	68
II.	2	37	57
III. nach 5 Minuten Ruhe	16	22	28
III. nach 30 Minuten Ruhe	16	13	15
IV.	16	132	50

B. Kleinerer Apparat.

I.	16	108	33
IV.	16	65	29

Die schon früher einmal erwähnte Fessel'sche Elektrismaschine mit 30 zölliger Scheibe lud dieselbe Batterie höchstens 3mal pro Minute.

Ich habe es für überflüssig gehalten, bei Combination IV die Werthe der Leistung für die kleineren möglichen Anzahlen von Erregungsstellen mitzutheilen. Es liegt die Thatsache zu nahe, daß für diese Fälle die Quantität fast genau der Zahl der Erregungsstellen proportional ist, während die Schlagweite sich nicht wesentlich ändert. Was die Schlagweite betrifft, so verdienen einige, von den Erscheinungen bei der gewöhnlichen Elektrismaschine zum Theil abweichende Thatsachen eine Erwähnung, welche bei den Combinationen No. I und II beobachtet wurden.

Benutzt man an Stelle der Entladerkugel von 22 Millm. solche von kleinerem (etwa 12 Millm.) Durchmesser, so wird dadurch bei 16 Erregungsstellen die Schlagweite vergrößert (bei der großen Maschine bis 90 Millm.). Bei *kleiner* Zahl von Erregungsstellen tritt das Gegentheil ein, indem sich alsdann die Kugeln wie Spitzen verhalten und

Büschelentladungen liefern, bevor das Maximum der Schlagweite erreicht ist.

Die Combinationen unter No. I und II geben bei Einschaltung gut isolirender (also breitrandiger) Flaschen, stets eine *größere* Schlagweite, als der bloße Funkenstrom der Conductoren. Mit 16 Erregungsstellen gab Combination I unter diesen Umständen sogar bis 98 Millm. lange Flaschenfunken. Bei der gewöhnlichen Elektrysmaschine, welche die durch Einschaltung von Flaschen unvermeidlichen Verlustquellen nicht zu decken vermag, wird bei der Flaschenladung bekanntlich nie die Schlagweite des bloßen Funkens vom Conductor erreicht. Die Erklärung dürfte meines Erachtens in Folgendem begründet seyn: Entfernt man die Ausladerkugeln bis zur Gränze der regelmäßigen Funkenentladung, so bemerkt man, wie von nun an stark verästelte, der Büschelentladung ähnliche Funken den zeitweiligen Uebergang vermitteln, wenn die Kugeln noch weit über jene Gränze entfernt werden. Indem jeder auch noch so schwache fadenförmige Funken eine optisch nachweisbare, besser leitende Bahn¹⁾ hinterläßt, so wird sich durch diese eine größere Menge Elektricität in Form eines glänzenden Funkens ausgleichen können, wenn dieselbe nur vorhanden ist, sey sie nun in einer Flasche oder auf einer großen Zahl von Erregungsstellen angesammelt. Arbeitet jedoch die Maschine mit bloßem Conductor oder gar mit wenigen Erregungsstellen, so überdauert die Entladung ihre allerersten Stadien nicht, weil die sofort verminderte Dichte auf der Entladerkugel keinen Ersatz findet.

Im Zusammenhange hiermit erklärt sich auch wohl eine scheinbare Anomalie in der Tabelle. Wenn bei Combination II die Zahl der Erregungsstellen allmählich zunimmt, so nimmt die Spannung auf allen Belegen *bb'* Fig. 1 Taf. IX natürlich stetig ab, weil der »Generator« immer größere Flächen gegen Verluste zu decken hat. Demgemäß steigt

1) Ueber die optische Untersuchung der Funkenbahn werde ich demnächst eine Reihe von Mittheilungen durch diese Annalen veröffentlichen.

die Entladungszahl bei dieser Combination durchaus nicht den eingeschalteten Erregungsstellen proportional. Man sollte für die Schlagweite nun eine stetige Abnahme vermuthen, obgleich die Tabelle ein Maximum für 8 Erregungsstellen nachweist. Obige Anschauung dürfte zur Erklärung genügen. Bei Combination IV waren analoge Verhältnisse nicht zu constatiren, weil schon bei 45 Millm. ohne Flasche und bei 30 Millm. mit Flasche die bekannte Gefahr des Umladens eintrat. — Die Tabelle beweist in practischer Richtung, daß ein einziger metallisch belegter Generator obiger Construction hinreicht, um 16 Erregungsstellen noch mit Erfolg gleichnamig zu laden. Man übersieht jedoch aus der Zahlenreihe, daß bei größerer Scheibenzahl bald eine Gränze eintreten müßte, über die hinaus die quantitative Leistung wieder abnehmen würde. Das auffälligste Resultat war mir jedoch die große Differenz zwischen den Entladungszahlen für Anordnung I und IV zu Ungunsten der Letzteren. Sie spricht sich bei beiden Maschinen in gleichem Sinne aus. Es mußte diels um so mehr überraschen, als bei Combination No. IV, bei welcher durch das Spiel des Apparates die Ladung auf den Belegen *bb'* Fig. 1 Taf. IX selbstthätig ergänzt wird, die Spannung und somit die vertheilende Wirkung auf denselben Belegen unverhältnißmäßig höher steigt, als diels durch gleichnamige Elektrisirung mittelst des Generators möglich ist. Bei Combination IV und 16 Erregungsstellen ließen sich aus den Conductoren z und z' fast dreimal so lange Funken ziehen, als bei Combination No. I. Hiermit in Uebereinstimmung ist das prasselnde Geräusch der Spitzenvorrichtungen viel stärker bei Combination IV, desgleichen wächst der eigenthümliche Widerstand, welchen der in Thätigkeit befindliche Apparat der Rotation stets entgegenstellt, in letzterem Fall so auffallend, daß die dauernde Erhaltung der oben vorausgesetzten Geschwindigkeit unbequem wird. Von theoretischer Seite sollte man also mindestens den gleichen quantitativen Effect vermuthen, wenn nicht eine der Combination IV eigenthümliche Verlustquelle vorhanden wäre.

Eine einfache Betrachtung lehrt nämlich, daß in Fall No. I die gegenüber b und b' auf der Scheibe S angehäuften Influenz-Elektricitäten erster Art auf cc' gelangen und dann mit den Influenzelektricitäten der zweiten Art von ll' den Strom im Schließungsbogen herstellen. Bei Fall IV summiert sich, von Verlusten abgesehen, die bei b auf S angehäuften Influenz-El. erster Art später bei b' mit der dort abgestoßenen Influenz-El. zweiter Art auf $b'l'$ da beide gleiches Vorzeichen haben; sie bilden mit der auf analoge Weise auf dem Conductor lb angehäuften Summe den Strom zwischen l und l' . Wird also in beiden Fällen auf den Papierbelegen auch nur gleiche Dichte vorausgesetzt, (abgesehen von dem Vorzeichen) so müßte in der That der Strom quantitativ in beiden Fällen gleich seyn.

Nach Obigem muß also für Combination IV eine sehr, energisch wirkende Art von Verlusten vorausgesetzt werden. Die Conductoren cc' haben bei dieser Combination nur die Function, die sonst unangefochtene Ladung auf bb auf constanter Höhe zu erhalten. Hierzu verbrauchen sie aber augenscheinlich sehr wenig Elektricität, denn, ist einmal das entgegengesetzte Ladungsmaximum auf b und b' erreicht, so sieht man im Dunkeln alle Lichterscheinungen an d und d' aufhören; dieselben erscheinen nur vorübergehend, sobald man die Ladung auf b oder b' durch Funkenziehen schwächt.

Da nun alle übrigen Bedingungen bei beiden Combinationen gleich sind, so glaube ich die Differenz in der quantitativen Leistung nur dem Umstande zuschreiben zu dürfen, daß der rotirende Isolator in dem einen Falle rasch entgegengesetzte Ladung annehmen muß. In der That, wenn man berechtigt ist, bei sogenannten Isolatoren ein Eindringen der Ladung in tiefer liegende Schichten anzunehmen, so ist die Erklärung einfach. Eine oberflächliche Ladung der Scheibe S bei b wird Zeit haben, bevor sie die Scheibe n verläßt, in S einzudringen. Bei b' wird diese Ladung also nur theilweise entfernt und oberflächlich durch die entgegengesetzte ersetzt. Auf dem weiteren

Verlauf der Rotation kann somit ein langsamer Austausch stattfinden, und da sich derselbe Hergang hinter jeder Erregungsstelle wiederholt, so ist eine bedeutende Verringerung des Nutz-Effectes im Schließungsbogen recht gut denkbar, trotz der hohen Ladung von b und b' und der energischen Thätigkeit an den Spitzen. — Bei solchen Maschinen also, bei welchen der durch die Elektrisirung hervorgerufene Bewegungswiderstand schon anfängt, eine Rolle neben der unvermeidlichen Axenreibung usw. zu spielen, ist es vortheilhafter, den rotirenden Isolator nur in einem Sinne zu laden. Die Combination No. I empfiehlt sich auch durch ihre übrigen Eigenthümlichkeiten.¹⁾

In Bezug auf die übrigen Eigenschaften des Stromes, den die gröfsere Maschine mit 16 Erregungsstellen liefert, bemerke ich zum Schluss, dafs dieselben natürlich dem gesteigerten quantitativen Vermögen entsprechen. So ist z. B. die Wasserzersetzung noch sichtbar, wenn man als Elektroden Drähte von 1 Mm. Dicke, bis an die Enden in Glas eingeschmolzen, anwendet. Auffallend sind einzelne Erscheinungen bei den Büschelentladungen zwischen sehr feinen Spitzen. Dieselben bilden einen bei Tage sehr gut sichtbaren tief violettblauen Streifen, der die um 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll von einander entfernten Elektroden verbindet. Dieser Streifen läfst sich wie die Aureole des Inductionsfunken zur Seite blasen. Stellt man die Axen der beiden Spitzen nicht in eine grade Linie, sondern etwa wie in Figur 5, und denkt man sich die eine Elektrode b mi

1) Namentlich ist es die Sicherheit, mit welcher einestheils die Selbstladung des Apparats gelingt, und anderentheils die Stromrichtung geändert werden kann, welche den Apparat neben der Bequemlichkeit der schnellen Reinigung empfehlen dürfte. In gefüllten Hörsälen habe ich keine Abnahme der Wirkung bemerkt. Der schwarze, dem Lampenrufse nicht unähnliche Ueberzug bildet sich bei längerem Gebrauch ebenso auf geharzten, als ungeharzten Glasscheiben, ist also wohl einer Wirkung des Ozons auf den Luftstaub und nicht auf das Harz zuzuschreiben. Er setzt sich am stärksten gerade den Spitzen gegenüber ab, an welchen sich die lebhafteste Luftströmung nachweisen läfst und enthält stets einen in Aether löslichen, braun gefärbten Bestandtheil.

der Erde leitend verbunden, so wählt das blaue Band nicht den kürzesten Weg zwischen den Spitzen. Dasselbe bleibt an der Spitze *a* haften, während es zur Elektrode *b* auf einem Umwege gelangt. Bei günstiger Stellung, namentlich wenn *a* positiv geladen ist, kann man es sogar dahin bringen, daß der Strom dicht bei der Spitze *b* vorbei auf die entfernte Kugel *k* geht. Der Grund dieser Erscheinungen liegt in der Dichtigkeitsveränderung der Luft im Innern des Büschels. Optisch läßt sich leicht nachweisen, daß in der Axe des Büschels, welcher von einem heftigen Luftstrome begleitet ist, eine sehr merkliche Veränderung stattfindet, aus welcher sich die scheinbar abnorme Form der Entladung erklärt.

Es gehört hierher auch die eigenthümliche, fächerartige Gestalt, welche der Funkenstrom der Maschine unter gewissen Umständen annimmt. Herr Holtz erwähnt dieser Erscheinung bereits Bd. 126, Seite 168. Man erhält diese Form ganz sicher, wenn man von den beiden horizontalen Stäben, welche die messingenen Entladerkugeln tragen, den einen aus trockenem Holze herstellt. Die Funkenzahl muß hierbei auf Kosten der Helligkeit wachsen. Es erhebt sich von der kürzesten Entfernung der beiden Kugeln ein blaurothes, gestreiftes Licht, genau in vertikaler Ebene liegend. Hier ist es offenbar die aufsteigende, erwärmte Luft, welche, durch die Funkenentladungen gebildet, jene Ebene leitend macht. Man kann daher durch heftiges Anblasen der Lichtscheibe auch eine horizontale Lage ertheilen. Ueber eine optische Untersuchung dieser und anderer Phänomene bleibt das Nähere einer späteren Mittheilung vorbehalten.