**10. Ueber die elektrostatische und elektro-
lytische Aufzeichnung elektrischer Ströme;
von P. Grützner.**

Vor kurzem hat Hr. W. König¹⁾ mehrere zum Teil elegante Methoden veröffentlicht, durch die es verhältnismässig leicht und sicher gelingt, langsame elektrische Schwingungen wie z. B. diejenigen einer sich entladenden Leydener Flasche, nachzuweisen und zu zählen. Namentlich ist es das Princip der Lichtenberg'schen Figuren, welches, in zweckmässiger Weise verwendet, jene genauen Messungen gestattet. Wird hiernach der eine Beleg einer Leydener Flasche (wenn beide Belege mit den Polen einer Secundärspule in Verbindung stehen) mit der Metallunterlage eines grösseren Harzkuchens verbunden, während der andere Beleg in eine Metallspitze endet, welche auf dem Harzkuchen aufruht, so erzeugt ein Funke, der auf die Harzplatte springt, nach ihrer Bestäubung mit einem Schwefel-Mennigegemisch die bekannte positive oder negative Lichtenberg'sche Figur. Wird aber der Harzteller schnell gedreht, so gewahrt man aufs schönste die oscillatorischen Entladungen der Flasche, indem positive und negative Figuren, natürlich immer schwächer werdend, miteinander abwechseln.²⁾ Kennt man die Geschwindigkeit der sich drehenden Scheibe, so kann man natürlich die Dauer der einzelnen Perioden ohne weiteres ablesen. Noch besser aber gelingt dies, wenn man die auf dem Harzteller sitzende Elektrode mit einer schwingenden Stimmgabel von bekannter Schwingungszahl verbindet. Nach der Bestäubung sieht man die Wellenlinie der Stimmgabel und kann unmittelbar abzählen, wie viel Stimmgabelschwingungen auf eine elektrische Schwingung fallen.

Auch anderweitige oscillatorische elektrische Vorgänge, wie z. B. die gewöhnlichen Wechselströme, kann man auf diese

1) W. König, Wied. Ann. **67**. p. 535. 1899.

2) Vgl. W. König, l. c. Figg. 5 u. 6, p. 544.

Art sichtbar machen und ihre Periodendauer messen. So beschreibt sie W. König¹⁾ als „eine einfache Methode zur Messung der Periodendauer von Wechselströmen“ im wesentlichen folgendermaassen.

Eine ebene Metallplatte wird auf der einen Seite mit einer dünnen Schicht Asphaltlack überzogen, sie selbst mit dem einen Poldraht der Wechselstrommaschine in leitende Verbindung gebracht und der andere Poldraht, welcher entweder in einem dünnen Draht oder in einem angefeuchteten Strohalm endet, leise auf die Asphaltschicht gesetzt. Führt man nun mit dieser Elektrode ausreichend schnell über die Asphaltschicht, so wird dieselbe bald positiv, bald negativ geladen und das aufgestreute Schwefel-Mennigegemisch haftet nach dem Abklopfen der Platte derart auf ihr, dass der Schwefel an den positiven, die Mennige aber an den negativen Stellen der Platte festsetzt. Wird schliesslich der zeichnende Stift mit der schwingenden Zinke einer Stimmgabel verbunden, so kann man — wie oben erwähnt — unmittelbar die Zahl und Dauer der einzelnen Wechselströme ablesen.

König empfiehlt diese *elektrostatische* Methode, welche in der That sehr zierliche Bilder liefert, als ausserordentlich zweckmässig für obigen Zweck und zieht sie namentlich meiner Methode vor, welche auf *elektrochemischem* Wege ebenfalls über die Zahl und Art schnell oder langsam aufeinanderfolgender Ströme, namentlich Wechselströme, unmittelbaren Aufschluss giebt.

Meine Methode, welche ich, soweit sie physiologisches Interesse hatte, ganz kurz in medicinischen Zeitschriften²⁾ und dann ausführlicher in der elektrochemischen Zeitschrift³⁾ veröffentlichte, besteht darin, dass man den Strom zwei, einige Millimeter voneinander entfernten, federnden Platinelektroden zuführt, welche man auf feuchtes Jodkaliumkleisterpapier⁴⁾

1) W. König, Elektrotechn. Zeitschr. 20. p. 415. 1899.

2) P. Grützner, Breslauer ärztl. Zeitschr. Nr. 23. 1885 und Pflüger's Archiv 41. p. 256. 1887; 77. p. 586. 1899.

3) P. Grützner, Elektrochem. Zeitschr. 18. p. 97. 1897.

4) Gewöhnliches, möglichst glattes Filtrirpapier wird mit einem 4 procentigen Stärkekleister von Weizenstärke, in welchem 4—5 Proc. Jodkalium aufgelöst sind, gleichmässig von beiden Seiten her durchtränkt,

setzt. Werden nun die Elektroden über das auf einer Glas- oder Metallplatte fest aufgelegte Papier hinübergeführt oder, was in den meisten Fällen zweckmässiger ist, dieses auf einen mit gleichmässiger Geschwindigkeit rotirenden Metallcylinder aufgespannt und unter den sorgfältig angelegten, feststehenden Elektroden fortbewegt, so ist es klar, dass zunächst je nach der Richtung des Stromes bald die eine, bald die andere Elektrode zeichnet, indem immer unter der jeweiligen Anode Jod frei wird. Und zwar ist — natürlich bis zu einer gewissen Grenze — die Menge des in der Zeiteinheit abgeschiedenen Jodes, die man ohne weiteres an der Dunkelheit des Fleckes oder Striches erkennt, um so bedeutender, je grösser die Stromstärke ist. Nehme ich also einen nach einem bestimmten Gesetz, sagen wir nach dem Sinusgesetz, anwachsenden Strom an, so werden — gleichmässige Geschwindigkeit vorausgesetzt — die in sehr kleinen, gleichen Zeiteilchen gebildeten Jodmengen nach dem gleichen Gesetz zunehmen, wie der Strom selber. Ich kann also aus der Schnelligkeit und Art, wie die „Schattirung“ der dunklen Striche sich ändert, auch ohne weiteres einen ungefähren Schluss ziehen auf die Art, wie der Strom auf und nieder schwankt.

König behauptet nun, dass meine Methode für „genauere Messungen nicht allzu geeignet sein dürfte“, da feuchtes Fliesspapier genaue Zeichnungen nicht zu stande kommen lasse. Zudem müsse man, um die Periodenzahl der Ströme festzustellen, stets noch Zeitmarken neben den elektrolytischen Zeichnungen der untersuchten Ströme anbringen.

Es wird sich daher empfehlen, wenn ich im Anschluss an jene Behauptungen einmal meine und König's Methode in ihren Leistungen miteinander vergleiche und dadurch den Leser in stand setze, sich selbst ein Urteil zu bilden. Es wäre mir sehr lieb, wenn dieses Urteil nicht bloss auf Grund

indem man die 10–12 cm breiten und 30 cm langen Papierstreifen durch den Kleister hindurchzieht, den überflüssigen Kleister abwischt und die Bogen schnell trocknet. So bewahrt man sie, vor hellem Licht geschützt, in geschlossenen Gefässen auf. Zum Gebrauche befeuchtet man das Papier beiderseits mässig mit Wasser oder, was besser ist, mit gesättigter Kochsalzlösung und spannt es gleichmässig auf einem ausreichend grossen Cylinder oder auf einer ebenen Platte von Glas oder Metall auf.

von theoretischen Ueberlegungen, sondern auch von praktischen Versuchen zu stande käme.

Was zunächst die *Zeitmarken* anlangt, so ist es natürlich (wenn man der gleichmässigen Geschwindigkeit des rotirenden Cylinders nicht ganz sicher ist) notwendig, unter allen Umständen aber ratsam, zu gleicher Zeit neben den elektrolitischen Zeichnungen Zeitmarken zu machen. Das ist aber, wenn es sich nicht um gar zu kleine Zeiteile handelt, eine ganz einfache Sache und eine namentlich dem Physiologen sehr geläufige Methode, da fast jede seiner Curven Zeitmarken trägt. Auch König muss ja eine schwingende Stimmgabel zum Zeichnen verwenden, wobei er allerdings den — meiner Meinung nach nur scheinbaren — Vorteil hat, aus *einer* Curve die zeitlichen Verhältnisse abzulesen.

Fig. 1.

Gegen die weitere Behauptung, dass das *feuchte Fließpapier* zu genauen Messungen nicht allzu geeignet sei, ist im allgemeinen natürlich nichts einzuwenden. Es fragt sich eben nur, wie fein man messen will und ob König mit seiner Methode genauer messen kann. Und das möchte ich — wenigstens für sehr viele Fälle — bezweifeln.

Als Beleg für die Genauigkeit meiner Methode diene vorstehende Zeichnung (Fig. 1). Eine Stimmgabel von 100 ganzen Schwingungen (und bei einer solchen von 128 Schwingungen ist es ganz ebenso) wurde durch ein Grove'sches Element nach Art eines Wagner'schen Hammers in Bewegung gesetzt. In dem Stromkreis befand sich zu gleicher Zeit die primäre Spule eines gewöhnlichen sogenannten Schlittenapparates von Du Bois-Reymond. Bei übereinander geschobenen Rollen zeichneten die Elektroden der secundären Spule dunkle, deutlich voneinander geschiedene Punkte, die namentlich bei den Oeffnungsschlägen (Reihe *b—b* und *c—c*) scharf durch helle

Zwischenräume voneinander geschieden waren. Aber auch die Schliessungsschläge (Reihe $a-a$) kann man in den meisten Fällen noch ganz gut auszählen, selbst in der Abbildung der Fig. 1, die durchaus nicht vollkommen ist, aber gerade deshalb als Beispiel von mir gewählt ist.

Als ich durch ein Blitzrad die Zahl der Unterbrechungen im primären Kreise auf 300–400 erhöhte, wurden noch in ganz gleicher Weise — natürlich bei schnellerer Drehung der Walze — scharf getrennte braune Flecke sowohl von den Oeffnungs- wie Schliessungsinductionsströmen gezeichnet, die man mit der grössten Leichtigkeit und Sicherheit abzählen konnte.

Viel schwieriger als Wechselströme zeichnen sich natürlich unterbrochene Gleichströme auf, weil die Elektrode etwas länger zeichnet, als der Strom durch sie hindurchgeht. Setzt aber sofort nach dem Verschwinden des einen kurz dauernden Stromes ein entgegengesetzter ein, wie dies ja bei Wechselströmen der Fall ist, so wird die Anode, welche soeben zeichnete, zur Kathode und ihre Weiterzeichnung jäh unterbrochen. Nichtsdestoweniger gelang es mir leicht, 100 und mehr Unterbrechungen eines Gleichstromes aufzuzeichnen. Als ich freilich den Gleichstrom einer Gramme'schen Maschine, der ja bekanntlich schnell auf und nieder schwankt, elektrolytisch aufzeichnete, so erhielt ich auch bei schneller Bewegung der Elektroden eine gleichmässig dunkle Linie. Dass es aber auch hier gelingt, die Schwankungen vermittelt meiner Methode festzustellen, halte ich nicht für ausgeschlossen. Ich bin augenblicklich nicht in der Lage, hierüber mit verschiedenen Maschinen und namentlich bei verschiedener Geschwindigkeit ihrer rotirenden Ringe Versuche anzustellen.

Auch ist mir ausser der Anwendung des Telephons keine andere *einfache* Methode¹⁾ bekannt, vermittelt welcher man die Zahl dieser Schwankungen festzustellen vermag.²⁾ Die

1) Rud. Franke hat kürzlich diese und andere periodische Vorgänge in sinnreicher Weise vermittelt complicirter Apparate aufgezeichnet (vgl. Elektrotechn. Zeitschr. 20. p. 802. 1899).

2) Es ist vielleicht nicht überflüssig, hier auf eine sehr einfache Methode aufmerksam zu machen, vermittelt welcher man von den mässig starken Strömen einer Centrale beliebige kleinere Bruchtheile bis zu Null

elektrostatische Methode in der von mir veränderten Art (vgl. p. 755) schien mir allerdings einige Male unzweifelhafte Ergebnisse zu liefern. Wenigstens sah ich, als der entsprechend abgeschwächte Strom einer Gramme'schen Maschine einerseits einem asphaltirten Zinkblech zugeleitet wurde, während man mit der anderen, positiven zugespitzten Elektrode (einem dünnen Messingdraht) schnell und leicht über die Asphalt-schicht des Bleches hinwegfuhr, bei der Bestäubung mit dem Bürker'schen Pulver¹⁾ eine feine rote Linie, die in regelmässigen Entfernungen von etwa 0,5 mm kleine zierliche Zäckchen zeigte. Bewegte man die Kathode über die Asphalt-schicht, so wurde eine gelbe Linie gezeichnet, die in denselben Abständen dunklere Flecke aufwies. Auch war an einigen Stellen der Lack in ähnlicher Weise verändert. Die Strichspur der Elektrode bestand aus kleinen punktförmigen Vertiefungen, die in regelmässigen Entfernungen von 0,5 mm voneinander abstanden. Diese Punktreihen haben jedoch nichts mit den schnell aufeinanderfolgenden Schwankungen des Gleichstromes zu thun; denn sie treten in ganz ähnlicher Weise auch auf, wenn man den gleichmässig fliessenden Strom der Accumulatoren verwendet. Sie rühren offenbar her von regelmässigen Erzitterungen der erwärmten zeichnenden Elektrode. Wenn aber vielleicht bei sehr schnellen Wechseln die elektrostatische Methode — vorausgesetzt, dass sie überhaupt an-

herab in empfindliche Apparate, wie in ein Telephon, ableiten kann. Zwei amalgamirte Zinkplatten stecken an den schmalen Flächen eines etwa 20 cm langen, 10,5 cm breiten und 7 cm tiefen rechtwinkligen Glastroges, der mit Zinksulfat angefüllt ist. Dieser Trog wird von dem Starkstrom durchsetzt. Mit zwei amalgamirten Zinkdrähten, die zu dem Telephon führen, taucht man in den Trog ein. Stehen die Zinkdrähte in der Stromrichtung, so fängt man verhältnismässig viel Strom ab; stellt man sie senkrecht zur Stromrichtung, so geht gar kein Strom durch sie hindurch, stellt man sie schräg, so wird eine mittlere Menge abgefangen. Bewegt man den einen Draht vor den andern (im Sinne der Stromrichtung), so kehrt sich der Strom in den abgeleiteten Elektroden um. Das Angenehme dieser Methode beruht also darauf, dass man, ohne irgend welche Widerstände anwenden zu müssen, die kleinsten Bruchtheile eines Starkstromes bis zu Null herab diesem bequem entnehmen kann. Auch kann man noch mancherlei andere Stromwechsel und Stromschwankungen auf diese Weise erzeugen.

1) K. Bürker, Ann. d. Phys. 1. p. 474. 1900.

wendbar ist — der elektrolytischen überlegen ist, so ist daran das feuchte Fliesspapier nicht schuld, sondern der Umstand, dass wenn es sich nicht um Wechselströme handelt, die Elektrode länger zeichnet, als der Strom dauert. Der Beginn eines ausreichend starken Stromes wird von der elektrolytischen Methode stets genau angezeigt, sein Ende aber häufig etwas verspätet.

Ich glaube König ist zu der Anschauung, dass feuchtes Fliesspapier nur ungenaue, löschende Zeichnungen liefert, dadurch gekommen, dass er meine Methode wohl kaum selbst probirt und vielleicht nur mit dem bekannten Polreagenspapier einige Versuche angestellt hat. Nun dieses Papier, so vortrefflich es für den Zweck sein mag, für den es bestimmt ist, eignet sich für meine Methode nicht. Einmal ist es lange nicht so empfindlich, wie mein Jodkaliumkleisterpapier, dann enthält es offenbar zu viel Säure, sodass zarte rote Flecken sehr bald ganz verschwinden. Und schliesslich hat es in der That den von König gerügten Uebelstand: es löscht und giebt deshalb keine scharfen Zeichnungen. Auch Fliesspapier, das mit Jodkalium allein getränkt ist, löscht in hohem Maasse. Gestärktes Jodkaliumkleisterpapier aber löscht fast gar nicht. Die in dieser und in meiner früheren (oben erwähnten) Arbeit photographisch wiedergegebenen, elektrolytischen Zeichnungen sind dafür ein Beleg. —

Fragen wir uns nun, unter welchen Bedingungen die König'sche und meine Methode oder nur eine von beiden angewendet werden kann und wenn beide versagen.

Zunächst versagen beide bei zu schwachen Strömen. König rechnet aus, dass sich seine Methode noch bis auf Spannungen von 15—20 Volt herunter anwenden lässt. „Doch ist diese Empfindlichkeit wesentlich bedingt durch die richtige Beschaffenheit der Lackschicht und durch die richtige Art der Bestäubung und der nachherigen Erschütterung. Für höhere Spannungen hat die Anwendung der Methode keine Schwierigkeit.“

Mit etwas anderen Worten dürfte das heissen: Für höhere Spannungen ist die Methode gut anwendbar, für niedere ist sie schwierig und unsicher. So leicht es in der That ist, die Asphaltschicht mit starken Strömen von vielleicht 100 Volt positiv oder negativ zu laden und dann zu sehen, wie von den

beiden Pulvern mehr das eine oder das andere an den betreffenden Strichspuren der Elektrode haftet, so schwierig und unsicher wird die Sache, wenn man mit den Strömen herabgeht. Wenigstens ist es weder mir noch Hrn. Oberbeck, der so freundlich war, auf meinen Wunsch die König'schen Versuche zu wiederholen, ein einziges Mal mit Sicherheit gelungen, die Asphaltsschicht dann so zu laden, dass man aus dem etwa anhaftenden Pulver irgend welche Schlüsse hätte ziehen können. Gewöhnlich blieb gar kein Pulver haften, hin und wieder war die Strichspur gefärbt. Das war sie aber auch in nicht unterscheidbarer Weise, wenn die Elektrode *ohne Strom* in gleicher Art über die Asphaltsschicht geführt wurde.

Zur Verwendung kamen die Wechselströme einer grossen Stöhrer'schen Maschine mit 6 Magneten, sowie diejenigen einer durch einen starken Gleichstrom getriebenen Wechselstrommaschine, welche eine Drehbank in Bewegung setzte. Die maximalen Spannungen dieser Ströme waren viel höher, als König für das sichere Gelingen seiner Methode für nötig hält.

Auch mit meiner kleineren Stöhrer'schen Maschine, deren einfache Ströme und namentlich deren Extracurrenten Spannungen von mehreren 100 Volt haben, da sie deutliche, wenn auch kleine Fünkchen geben und in grösster Stärke durch den Körper geleitet, fast unerträglich sind, habe ich trotz vielfacher Bemühungen niemals eine Spur einer elektrostatischen Zeichnung gesehen. Diese Ströme waren also offenbar alle trotz ihrer hohen Spannung zu schwach.

Ganz anders verhält sich demgegenüber meine Methode. In allen diesen Fällen giebt sie so einfache und übersichtliche Ergebnisse, wie man sie sich kaum besser wünschen kann. Bei Wechselströmen zeichnet bald die eine, bald die andere Elektrode einen dunklen, kurzen Strich, der auch noch in der Art seiner Schattirung und Breite die ungefähre Art des An- und Abstieges des Stromes erkennen lässt. Die Zahl der Stromwechsel ergibt sich natürlich ohne weiteres, wenn man die Geschwindigkeit der bewegten Elektroden kennt.

Als Beleg theile ich die elektrolytische Zeichnung eines Wechselstromes mit, die ich durch die Liebesswürdigkeit der Herren Professoren C. Cranz und W. Gmelin in der Friedrich-Eugen-Realschule zu Stuttgart anzufertigen in der Lage war.

Fig. 2 zeigt ohne weiteres das allmähliche An- und Absteigen der Wechselströme, welches sich allerdings weniger durch allmähliches Dunklerwerden, als vielmehr durch allmähliches Breiterwerden ausdrückt. Erhöhte man die Geschwindigkeit der sich bewegenden Elektroden, so konnte man sehr gut an den jetzt 2,4 cm langen Strichen das allmähliche Zu- und Abnehmen der Dunkelheit, sowie den symmetrischen Verlauf der Ströme erkennen; denn anders als in Fig. 9 dauerte hier die Zu- und Abnahme der Dunkelheit gleich lange und

Fig. 2.

die dunkelste Stelle lag genau in der Mitte. Die Zahl der Wechsel ergibt sich ohne weiteres aus den gleichzeitig gezeichneten Zeitmarken, die Fünftel-Secunden markiren. Sie beträgt hiernach in einer Secunde etwa 56. Auch viel schnellere Wechsel werden mit gleicher Sicherheit und Bequemlichkeit angezeigt.

Fig. 3.

Vielleicht interessirt den einen oder anderen Leser auch noch eine Thatsache, die ich gelegentlich bei diesen ziemlich starken Wechselströmen beobachtete. Sie findet in der Fig. 3 ihren Ausdruck. Als ich nämlich die beiden zeichnenden Elektroden zwischen zwei weitere, in sich kurz geschlossene andere Elektroden setzte, denen aber natürlich kein Strom zugeführt wurde, so zeichneten auch diese und zeigten hierdurch an, dass gewissermaassen herumschweifende Ströme von ihnen abgefangen wurden. Die Sache verhielt sich offenbar folgendermaassen.

Seien A und B in Fig. 4 die zeichnenden inneren Elektroden, A_1 und B_1 die äusseren, in sich geschlossenen Elektroden ohne Strom und ginge während einer bestimmten Zeit

der Strom in der angezeichneten Richtung ∇ von A nach B , so wird jetzt A_1 gegenüber dem positiven A negativ. Es stellt sich also sofort ein Strom von A nach A_1 ein. In ähnlicher Weise wird B_1 positiv gegenüber dem negativen B und durch die äusseren Elektroden A_1, B_1 fliesst ein natürlich viel schwächerer Strom $\downarrow$ von A_1 nach B_1 , dessen Spuren deutlich zu erkennen sind. Er setzt immer genau mit dem Beginn des ursprünglichen Stromes ein und hört mit ihm auf. Seine Richtung, Zeitdauer und ungefähre Stärke geht unmittelbar aus der Zeichnung hervor.

Fig. 4.

Meine Methode ist ferner anwendbar bis herab zu Strömen von etwa 1 Volt, vorausgesetzt natürlich, dass auch die Menge der angewendeten Elektrizität in der Zeiteinheit eine gewisse Grösse erreicht, die natürlich — wie schon aus obigen Beispielen hervorgeht — ausserordentlich viel geringer zu sein braucht, als bei der König'schen. Ein gewöhnliches Daniell'sches Element, z. B. von 14 cm Höhe und 9,7 cm Durchmesser, bringt bei stillstehenden Elektroden erst nach etwa einer Secunde einen deutlichen Jodfleck hervor. Bewegt man die Elektroden, so ist nur bei langsamer Bewegung ein matter Strich erkennbar. Mässige Verstärkung des Stromes macht — unter sonst gleichen Bedingungen — den Strich sofort dunkler. (Vgl. unten Fig. 5.) Es handelt sich hier um Ströme von vielleicht $\frac{1}{300}$ bis $\frac{1}{100}$ Amp.

Die obere Grenze der Ströme, bis zu welcher meine Methode angewendet werden kann, ist mir nicht bekannt. Nur wird man eben allzu starke Ströme den Elektroden nicht zu-leiten (sie brennen sonst ab), sondern die Ströme durch Einschaltung von Widerständen zweckmässig abschwächen, was ja kein Kunststück ist. Oeffnungsinductionsströme mittelstarker Apparate, die doch ein oder mehrere Tausend Volt Spannung haben, lassen sich vortrefflich durch sie aufzeichnen.

Haben wir hiernach einen Strom von 1–15 Volt, der periodisch unterbrochen wird, oder seine Richtung ändert, oder in gleicher Höhe dauernd verläuft, so versagt nach König's

eigener Angabe seine Methode vollkommen. Die meine giebt alle diese Ströme in ihrer Richtung und ungefähren Stärke an. Zunächst z. B. constante Ströme. Nachstehende Abbildung, Fig. 5, zeigt sechs übereinander liegende parallele Striche von verschiedener Schattirung und Breite. Der hellste, oberste Nr. 1, wurde natürlich von dem schwächsten Strom gezeichnet, die nächsten unteren dagegen, Nr. 2—6, von immer stärkeren

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Strömen. Auf diese Weise kann man, da man die Stärke dieser Ströme und die Geschwindigkeit der Walze kennt, andere Ströme geradezu messen.

Steigt schliesslich — und darauf lege ich ein ganz besonderes Gewicht — ein Strom nicht augenblicklich zu seiner vollen Höhe an, sondern entwickelt er sich innerhalb einer gewissen, nicht allzu kurzen Zeit z. B. von der Stärke des Stromes in Nr. 1 bis zu derjenigen in Nr. 5, so zeichnet auch seine Anode, wie schon oben erwähnt, einen allmählich dunkler werdenden Strich. Aehnliches findet natürlich statt bei einer allmählichen Abnahme des Stromes.

Sehr schön und einfach kann man dies auch noch nach-

weisen an den Strömen einer Stöhrer'schen Maschine, welche, wenn der Commutator eingestellt ist, etwa den in Fig. 6, *a* dargestellten Verlauf haben. Die von diesen Stromschwankungen gezeichneten Linien gleichen den in Fig. 6, *b* schematisch wiedergegebenen. Immer wo der Strom stark wird, wird auch die von ihm gezeichnete Linie dunkel, und wo er schwach wird oder verschwindet, verschwindet auch die Linie. Fig. 7 zeigt eine der-

Fig. 8.

artige Zeichnung in nahezu natürlicher Grösse. Die Zeitmarken unter dem elektrolytischen Strich bezeichnen Fünftel-Secunden. (Es sind dunkle Oeffnungs- und matte Schliessungsschläge.)

Fig. 9.

Ganz ähnliche Zeichnungen giebt die Stöhrer'sche Maschine, wenn man den Commutator nicht eingeschaltet hat, sondern ihre Wechselströme unmittelbar ableitet. Die Fig. 8, *a* zeigt den ungefähren Verlauf dieser Ströme und Fig. 8, *b* deren schematische Zeichnungen. Fig. 9 dagegen giebt uns eine Abbildung des Originals. Dieselbe ist ohne weiteres verständlich. Die Ströme sind bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Walze gezeichnet, wie aus den Zeitmarken, die durchweg

Fünftel-Secunden bedeuten, ersichtlich ist. Man sieht unter anderem, dass die einzelnen Ströme keinen symmetrischen Verlauf haben, sondern dass ihre Höhepunkte sehr nahe an ihrem Ende bez. an ihrem Anfang liegen.

Auch die *Extracurrenten*, welche meine Stöhrer'sche Maschine giebt, können trotz ihrer schnellen Folge durch meine Methode gut und sicher aufgezeichnet werden. Eine halbe Umdrehung der Spulen liefert nämlich 25 solcher Ströme. Sie nehmen, sowie die Ströme selbst (vgl. Fig. 10, 1 und 2) an Stärke zu und ab und sind in den Nullstellungen der Spulen (wenn diese gerade in der Mitte zwischen den Magnetpolen stehen) natürlich Null oder nahezu Null. Fig. 10, 1 und 2

Fig. 10.

zeigt die gewöhnlichen Wechselströme der Maschine, 1a und 2a die Extracurrenten. In der Originalzeichnung gelingt es leicht, in dem Strich einer halben Umdrehung, das ist in dem Zeitraum von 0,15 Secunden über 20 kleine Striche auszuzählen, welche also ebenso vielen hintereinander folgenden gleichgerichteten Stromstößen ihre Entstehung verdanken. Dass man bei stärkeren und namentlich bei fortwährend wechselnden Strömen, die sich naturgemäss viel leichter aufzeichnen, zu viel höheren Zahlen (300—400 in der Secunde) kommen kann, habe ich schon oben erwähnt. Nun ich glaube, das ist trotz des feuchten Fliesspapieres doch ein recht befriedigender Grad von Genauigkeit.

In gleicher Weise werden auch die von den gewöhnlichen Schlittenapparaten erzeugten *Extracurrenten* (der primären Spule) auf das Anschaulichste von meiner Methode verzeichnet. (Die König'sche versagte mir auch hier vollkommen.) Je nach der Art, wie man diese Extracurrenten erzeugt, übersieht man unmittelbar den Moment ihres Entstehens und ihre Richtung

im Vergleich zu den in der Spule vorhandenen constanten Strömen.

So ergibt z. B. die Anordnung in Fig. 11, in welcher in C geöffnet und geschlossen wird, dass der durch die Elektroden EE_1 gehende Strom den nebenstehenden (in Fig. 12, a) gezeichneten Verlauf hat. Bei Oeffnung ($\ddot{O}$) schießt der Oeffnungsextracurrent $\rightarrow$ zu bedeutender Höhe auf und ihm folgt auf dem Fuss der Strom des Elementes $D \rightarrow$ in gleicher Richtung. Bei Schliessung (S) verschwindet der Strom $\rightarrow$

Fig. 11.

Fig. 12.

nahezu ganz aus den Elektroden EE_1 . Dementsprechend verhält sich die elektrolytische Zeichnung, die scharf dunkel einsetzt und allmählich verblasst. Ersetzt man die Spule (Sp) durch einen Zickzackdraht (Z) von gleichem Widerstande, so giebt es keine Extracurrenten. Der Verlauf der Ströme ist so, wie ihn Fig. 12, b darstellt und ihre darunter befindliche Zeichnung dementsprechend.

Erzeugt man aber die Extracurrenten in anderer Art, so wie es Fig. 13 darstellt, indem man die Elektrode E jenseits des Elementes nach N verlegt, bildet also die Spule die Nebenschliessung, während nach wie vor in $\ddot{O}$ geschlossen und geöffnet wird, so ist der Verlauf der Ströme in der Spule und

in den Elektroden etwa so, wie *a* in Fig. 14 es zeigt. Bei Oeffnung (Ö) entsteht der dem Bestandstromanteil entgegengesetzt laufende Oeffnungsextracurrent allein $\rightarrow$. Hierauf verschwindet jeder Strom aus der Spule. Bei *S* aber tritt der Bestandstromanteil $\leftarrow$ in den Spulenelektrodenkreis und zwar, was noch ganz besonders zu beachten ist, macht sich hier auch der Schliessungsextracurrent bemerkbar, der sonst gar nicht so leicht nachzuweisen ist. Die den Bestandstromanteil $\leftarrow$ zeichnende Elektrode zeichnet nämlich zuerst

Fig. 13.

Fig. 14.

dunkel und später heller. Ersetzt man wieder die Spule (*Sp*) durch den Zickzackdraht (*Z*), so fallen beide Extracurrenten fort und es werden gemäss dem Verlauf der Ströme in *b* nur die Bestandstromanteile ($\leftarrow$) gezeichnet.

Fig. 15 gibt hierfür einige Belege. Die erste Linie 1, *I Sp*, sowie die fünfte 1 *a*, *I Sp* gibt für verschiedene, hier nicht näher zu beschreibende Anordnungen die Ströme der Fig. 12, *a* wieder; die Linien 2, *I Z* und 2 *a*, *I Z* diejenigen der Fig. 12, *b*.

Die dritte Linie 3, *II Sp* und die vorletzte 3 *a*, *II Sp* giebt die Ströme der Fig. 14, *a* wieder und die noch übrigen Linien 4, *II Z* und 4 *a*, *II Z* diejenigen der Fig. 14, *b*.

Hierzu ist etwa noch zu bemerken, dass die Zeichnungen durchweg im frischen Zustande am allerschönsten sind und durch die mehrfache Wiedergabe natürlich an Schärfe und Schönheit viel verlieren. Sie sind in der Fig. 15 auf etwa die Hälfte verkleinert. Die Zeitmarken bezeichnen hier wie überall Fünftel-Secunden. Die untereinander gezeichneten Striche gehören zusammen (1 zu 2, 3 zu 4 etc.).

Ich glaube kaum, dass man durch irgend eine andere Methode in so einfacher, schneller und sicherer Art die in der

Fig. 15.

Spule kreisenden verschiedenartigen Ströme nachweisen kann. Die König'sche Methode kann es jedenfalls nicht. Günstigstenfalls würde sie vielleicht bei sehr starken Strömen die Oeffnungsextracurrenten verzeichnen.

Fig. 16.

Ich wende mich schliesslich zu den eigentlichen *Inductionsströmen* der gewöhnlichen Inductionsapparate, welche in der secundären Rolle erzeugt werden. Bekanntlich haben diese beiden Ströme sehr verschiedene physikalische und physiologische Eigenschaften. Erfolgt die Schliessung und Oeffnung des primären Kreises in nahezu gleichen Zeitabständen, so zeichnet meine Methode folgende Figur (vgl. Fig. 16). Man sieht ohne weiteres, dass 1. der Schliessungsinductionsstrom (die unteren Flecke) eine entgegengesetzte Richtung hat, als der Oeffnungsinductionsstrom (die oberen Flecke) und dass

2. der Oeffnungsinductionsstrom viel dunklere, schärfer einsetzende kurze Linien zeichnet, als der Schliessungsinductionsstrom, dessen Zeichnungen durchweg matter sind. (Vgl. auch die Zeitmarken in Fig. 2 und namentlich in Fig. 7.)

Schwächt man die Ströme durch Entfernung der Spulen voneinander mehr und mehr ab, so bleibt dieser Unterschied bestehen und schliesslich zeichnet nur noch die Anode des elektrolytisch wirksameren Oeffnungsinductionsstromes.

Stellt man dieselben Versuche mit der König'schen Methode an, so bekommt man auch mit ihr zierliche Zeichnungen. Vorweg aber ist hervorzuheben, dass man nur die Wirkungen der Oeffnungsinductionsströme nachweisen kann. Von den Schliessungsinductionsströmen sah ich, wenigstens mit meinen Apparaten, keinerlei Wirkungen. Nur als ich mit grösseren Ruhmkorff'schen Apparaten arbeitete, fand ich, dass auch von den Schliessungsschlägen die Asphalttschicht wirksam geladen wird, wenn etwa die Oeffnungsfunken 1 cm lang sind und die Schliessungsschläge kleine Funken geben.

Setzt man nämlich die Anode auf die Asphalttschicht, während die Kathode mit dem unter ihr befindlichen Metall in leitender Verbindung steht, so erhält man zierliche rote concentrische Kreise mit einem roten Punkt in der Mitte. Häufig werden sie durch radiäre Strahlungen unterbrochen. Sowohl die Mennige, wie der Schwefel beteiligen sich an der Zeichnung.

Sitzt dagegen die Kathode auf der Asphalttschicht, so werden viel kleinere, dichtere rote Flecke von rundlicher Gestalt gezeichnet.

Sehr zierlich nehmen sich solche Reihen von kleinen Lichtenberg'schen Figuren aus, wenn man ein Stück Stanniol mit Asphaltlack überzieht und nachdem der Lack völlig getrocknet ist, dasselbe so wie das Jodkaliumpapier auf die metallene Walze (das Stanniol natürlich nach unten) aufspannt. Werden jetzt die Inductionsströme erzeugt und die eine Elektrode mit der metallenen Walze in Verbindung gebracht, die andere dagegen ganz leise auf die Asphalttschicht gesetzt, so bekommt man nach Bestäubung des asphaltirten Stanniols und sorgfältigem Abblasen mit einem Blasebalg zierliche Reihen von grösseren (positiven) Kreisen und von kleineren (negativen) Flecken.

Selbstverständlich kommen hierbei mancherlei Unregelmässigkeiten vor, so z. B. wenn die Asphaltschicht zu dünn oder zu dick, oder gar, wenn auch noch so leicht, verletzt ist. Dabei sind immer, was ich noch besonders betonen möchte, die Farben beider Figuren gleich oder kaum voneinander verschieden. Beiderlei Pulver, sowohl die Mennige wie der Schwefel haften, wenn auch in verschiedener Art, an den positiv und an den negativ geladenen Punkten, oder besser gesagt, sowohl in der Umgebung der Punkte, auf welchen die Anode, als auch derjenigen, auf welchen die Kathode (natürlich derselbe Draht bei Wechsel des Stromes) aufsass. Werden die Ströme schwächer, so werden beiderlei Figuren, namentlich die positiven immer kleiner und einander immer ähnlicher, sodass man sie schliesslich kaum voneinander unterscheiden kann.

All das Gesagte gilt, wenn man das bekannte Mennige-Schwefelgemisch oder das weniger schön zeichnende Englischrot-Schwefelgemisch anwendet. Nun kann man aber, wie Hr. Bürker kürzlich gefunden hat, ausserordentlich viel schönere Lichtenberg'sche Figuren erhalten, wenn man folgendes Gemisch anwendet. Schwefel 5, Karminpulver 1 und Samen Lycopodii 3 Raumteile. Die dann entstehenden Zeichnungen sind unvergleichlich viel bestimmter und charakteristischer, als diejenigen mit den oben erwähnten Gemischen aus zwei Pulvern.

Bestäubt man die elektrisirte Asphaltschicht mit diesem Pulver, so sieht man sofort, dass wenn auch nur eine Spur von Pulver herabfällt, die positiv geladenen Punkte von grossen roten, die negativ geladenen dagegen von kleinen hellgelben Kreisen umrahmt sind. Bestäubt man weiter und bläst dann vorsichtig ab, so erhält man sehr charakteristische und zierliche Zeichnungen. Dort, wo die nahezu punktförmige, positive Elektrode aufgesessen, ist ein kleiner gelber Kreis von 0,5 bis 1,0 mm Durchmesser, ihn umgiebt ein etwa 2 mm breiter roter und diesen wieder ein schmaler gelber. Wo derselbe Draht als Kathode sass, ist ein kleiner roter Kreis von höchstens 0,5—0,6 mm Durchmesser, ihn umgiebt ein kleiner, scharf gezeichneter gelber und diesen wieder ein ganz schwacher roter. Mehr als drei Ringe habe ich mit meinen Apparaten nicht gesehen. Bei Anwendung eines kleinen Ruhmkorff mit

Condensator traten vier Ringe auf. Innen kam bei den positiven noch ein ganz kleiner roter, bei den negativen ein ganz kleiner gelber hinzu.

Eine schwache Vorstellung von der Zierlichkeit dieser concentrischen Kreise, die in dieser Art noch nicht bekannt sind¹⁾, dürfte die Fig. 17 geben, welche die grösseren positiven und kleineren negativen Kreise in beinahe natürlicher Grösse darstellt.

Fig. 17.

Wie diese verschiedenen concentrischen positiven und negativen Ladungen, die auch an die

Priestley'schen²⁾ Ringe erinnern, zu Stande kommen, darüber möchte ich mir ein Urteil nicht erlauben. Jedenfalls dürften sie nicht ohne Interesse sein.

Wenn man hiernach die elektrostatische Methode mit der elektrolytischen vergleicht, so kommt man zu dem Ergebnis, dass die erstere wohl nur bei starken, namentlich stark gespannten Strömen Anwendung finden kann, dann aber in der von König angegebenen Art sehr genaue Ergebnisse liefert. Die elektrolytische dagegen ist nahezu überall anwendbar, sowohl bei starken, namentlich aber auch bei schwächeren Strömen, bei denen die elektrostatische vollkommen versagt.

Neben dieser allgemeinen Verwendbarkeit empfiehlt sich die elektrolytische Methode durch ihre Uebersichtlichkeit und Einfachheit. Denn wenn genügend Strom vorhanden ist, zeichnet eben die betreffende Elektrode unter den Augen des Beobachters. Bei der elektrostatischen dagegen sieht man der elektrisirten Asphaltschicht zunächst nichts an. Erst die Bestäubung mit dem Pulver und das nachherige Abklopfen oder Abblasen desselben lässt die Zeichnungen hervortreten.

Schliesslich sei noch auf einen Punkt hingewiesen. Wenn man längere Zeit mit den trockenen Pulvern in trockener Luft hantirt, verstäuben alle Apparate, und auch der Experimentator

1) Aehnliche Versuche sind beschrieben in G. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität 4. p. 780 ff. 1885.

2) G. Wiedemann, l. c. p. 726.

überzieht sich bald mit rötlichem Staub. Namentlich wird man in seinem Nasenschleim sehr bald mikroskopisch und auch makroskopisch den Staub nachweisen können. Das ist im allgemeinen nicht angenehm, sicher aber nicht gleichgültig bei der Anwendung von Mennige. Da muss man sich bei längerem Experimentiren die Schleimhäute schützen. Das für die Mennige empfohlene englische Rot ist zwar nicht giftig, giebt aber nicht so schöne Zeichnungen und stäubt noch stärker. Das Bürker'sche Gemisch stäubt zwar auch stark, ist aber völlig ungiftig.

Zum Schluss möchte ich auch noch an dieser Stelle Hrn. Dr. K. Bürker und Hrn. stud. med. H. Breyer, die mich in jeder Weise bei den oben mitgetheilten Versuchen unterstützten, meinen Dank aussprechen.

Tübingen, Physiolog. Inst., Februar 1900.

(Eingegangen 14. Februar 1900.)