

## 5. *Ein elektrolytischer Stromunterbrecher;*<sup>1)</sup> *von A. Wehnelt.*

Einleitung. I. Einfluss der verschiedenen Theile des Stromkreises auf den Unterbrecher. II. Vorgang an der activen Elektrode. III. Untersuchung der Gasschicht an der activen Elektrode. IV. Stromkurven des Unterbrechers. V. Versuch einer Erklärung der Unterbrecherwirkung. VI. Andere Formen des Unterbrechers. VII. Construction des Unterbrechers. VIII. Anwendungen des Unterbrechers.

Die eigenthümlichen Licht- und Wärmeerscheinungen, welche unter Anwendung hoher Stromdichten an relativ kleinen Elektroden auftreten, bildeten seit langem einen Gegenstand lebhaften Interesses. Zuerst hat sich wohl H. Davy, später neben vielen anderen Forschern G. Planté in ganz hervorragender Weise mit diesem Gegenstande befasst, da ihm in seinen Secundärelementen eine Stromquelle von ungleich grösserer elektrischer Energie zur Verfügung stand, als den älteren Forschern. An neueren Arbeiten, die sich eingehend mit diesem Gegenstande beschäftigten, erwähne ich diejenigen der Herren F. Richarz<sup>2)</sup>, K. R. Koch und A. Wüllner<sup>3)</sup> und W. Ziegler.<sup>4)</sup> Das Verdienst, diese Wärmeerscheinungen zum ersten Male praktisch und zwar für ein elektrisches Schweiss- und Härteverfahren verwerthet zu haben, gebührt den Herren Lagrange und Hoho.<sup>5)</sup>

Bei der Wiederholung der Versuche von Lagrange und Hoho war mir das summende Geräusch aufgefallen, das entstand, wenn die kleinere von zwei Elektroden (z. B. ein dünner Platindraht und eine grosse Bleiplatte in verdünnter Schwefel-

1) A. Wehnelt, Elektrotechn. Zeitschr. Heft 4, p. 76. 1899.

2) F. Richarz, Wied. Ann. 39. p. 71 u. 72. 82—85. 1890; 47. p. 579—582. 1892; 63. p. 261—267. 1897.

3) K. R. Koch u. A. Wüllner, Wied. Ann. 45. p. 475 u. 759ff. 1892.

4) W. Ziegler, Inaug.-Diss., Greifswald 1897.

5) Lagrange u. Hoho. Lum. él. 52. p. 113. 1894.

säure) mit dem negativen Pole einer kräftigen Stromquelle verbunden war. Dass dieses summende Geräusch einer Unstetigkeit des den Apparat durchfließenden Stromes entspricht, hatte Hr. F. Richarz<sup>1)</sup> bereits durch Anlegung eines Telephons an einen Theil des Stromkreises gezeigt.

Die Eigenart der ganzen Erscheinung, sowie die bei Wiederholung des eben erwähnten Versuches von Hr. F. Richarz beobachtete Stetigkeit und Höhe des Tones veranlassten mich, zu untersuchen, welchen Charakter der elektrische Strom beim Eintritt der Leuchterscheinungen an der kleineren Elektrode annimmt. Der Strom könnte erstens entweder zwischen zwei Intensitätsgrenzen hin- und herschwanken, oder er könnte zweitens einem vollkommen unterbrochenen, also von einem Maximalwerth bis zu Null schnell abfallenden Strom entsprechen.

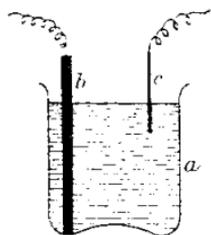


Fig. 1.

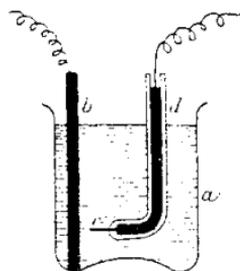


Fig. 2.

Ist die letztere Annahme die richtige, findet also eine vollkommene Unterbrechung des Stromes statt, so muss eine elektrolytische Zelle mit einer sehr kleinen negativen und einer grossen positiven Elektrode an Stelle des Unterbrechers eines Inductoriums geschaltet, beim Steigern der Stromstärke bis zum Eintritt der Leuchterscheinung genau dieselben Resultate geben, wie ein gewöhnlicher Unterbrecher.

Benutzt wurde zunächst zu den im Folgenden beschriebenen Versuchen ein Becherglas (a) mit verdünnter Schwefelsäure (Fig. 1). Die Elektroden bestanden aus einer Bleiplatte (b) und aus einem dünnen Platindraht (c), der von oben in die Flüssigkeit eingeführt wurde (vgl. Fig. 1). Das bei Stromdurchgang auftretende heftige Spritzen veranlasste, den Apparat so abzuändern (Fig. 2), dass der Platindraht (c) in eine Glas-

1) F. Richarz, Wied. Ann. 39. p. 71 u. 72. 1890; 47. p. 581. 1892

röhre (*d*) eingeschmolzen wurde, aus der er nur wenige Millimeter herausragte. Mit Hülfe dieser Glasröhre konnte der Platindraht so tief in den Elektrolyten gesenkt werden, dass kein Umherspritzen der Säure mehr erfolgte. Die Stromleitung zum Platindrahte bildete Quecksilber.

Diese Zelle wurde, wie Fig. 3 zeigt, an Stelle des Unterbrechers eines grösseren Inductoriums (30 cm Funkenlänge) geschaltet und zwar derart, dass die kleine Platinelektrode (vgl. Fig. 2) die negative Elektrode bildete. In Fig. 3 bedeutet *J* den Inductor, *G* den Condensator, *U* den Unterbrecher, *S* die Stromquelle. Als Stromquelle diente eine Accumulatorenatterie bis zu 60 Zellen.

Der Strom wurde zuerst so schwach gewählt, dass die Elektrolyse in gewöhnlicher Weise in der Zelle eintrat. Wurde nun die Spannung gesteigert, so trat in demselben Augenblick, in welchem an der kleineren Elektrode die Leuchterscheinung einsetzte, zwischen Spitze und Platte der Secundärspule des Inductoriums ein schwacher, unregelmässiger Funkenstrom ein. Die *active Elektrode*, wie ich von jetzt ab mit Lagrange und Hoho die kleinere Elektrode, an der die Leucht- und Wärmeerscheinungen eintreten, nennen will, war bei diesem Versuche von einer sehr stark leuchtenden blauen Hülle umgeben, während ohne Einschalten des Inductoriums die blaue Hülle nur sehr schwach war. Der Ton der jetzt von der Zelle ausging, war wesentlich tiefer als derjenige, wenn das Inductorium nicht eingeschaltet war. Die active Elektrode wurde bei Anwendung hoher Spannungen (ca. 110 Volt) sehr bald glühend und schmolz ab.

Das wesentlich andere Aussehen der Erscheinung an der negativen Elektrode, sowie die Aenderung des Tones bei Einschaltung des Inductors liessen vermuthen, dass auch diejenigen Erscheinungen, die an positiven Elektroden durch hohe Stromdichten entstehen, durch Einschaltung eines Inductoriums eine Aenderung erfahren würden. Zu diesem Zwecke wurde

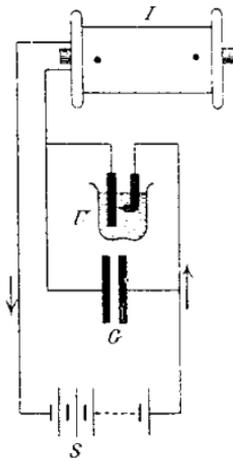


Fig. 3.

die Zelle derart geschaltet, dass in ihr der Strom von der Platinspitze (c) (Fig. 2) zur Bleiplatte (b) ging. Die active Elektrode also zur positiven wurde.

Das Resultat war überraschend. Bei Einschaltung des Stromes (ca. 100 Volt) entstand momentan zwischen Spitze und Platte des Inductorium ein intensiver Lichtbogen, der sich, wenn Spitze und Platte bis zu ca. 25 cm voneinander entfernt wurden, in einen Funkenstrom von zahllosen ineinandergeflochtenen Funken auflöste. Die Erscheinung an der activen Elektrode war eine wesentlich andere, als sie ohne Inductorium sonst an der positiven Elektrode auftritt. Während ohne Inductorium im Stromkreise die positive Elektrode einfach zum Glühen kommt (von K. R. Koch und A. Wüllner in der oben citirten Arbeit als Stromumschlag bezeichnet), ohne dass ein Ton hörbar ist, oder Stromschwankungen durch ein Telephon nachweisbar sind, und der Strom dabei sehr schwach ist, war jetzt die positive Elektrode von einer stark leuchtenden röthlichgelben Lichthülle umgeben. Der Ton, den die Zelle dabei aussandte, war ausserordentlich hoch und klar. Die starken Funkenentladungen am Inductorium beweisen ohne weiteres, dass der Charakter des Stromes in der elektrolytischen Zelle in der That der eines ausserordentlich regelmässig und schnell unterbrochenen ist.

Die glänzenden Erscheinungen bei diesem Versuche veranlassten mich, die Wirksamkeit des *elektrolytischen Unterbrechers*, wie ich den Apparat (Fig. 2) nun nennen möchte, auch an kleineren und grösseren Inductorien zu probiren. Der Erfolg war überall der gleich gute. Bei kleineren Inductorien war sogar eine bedeutende Steigerung der Funkenlänge erreichbar.

Im Verlaufe weiterer Versuche ergab sich noch, dass die Unterbrechungen noch exacter und regelmässiger waren, wenn man den Condensator der Inductorien nicht benutzte, sondern einfach Stromquelle, Unterbrecher und Inductorium hintereinander schaltete.

Der Einfluss, den das Einschalten einer Inductionsspule auf die ganze Erscheinungsform ausübt, veranlasste mich, den Vorgang an der activen Elektrode näher zu untersuchen. Im Folgenden theile ich einige der bisher erhaltenen Resultate mit.

I. Einfluss der verschiedenen Theile des Stromkreises auf den elektrolytischen Unterbrecher.

1. Einfluss der Selbstinduction.

Wie aus dem Versuch mit dem Inductorium folgt, ist die Selbstinduction das Bedingende für den Eintritt der stromunterbrechenden Wirksamkeit an der activen Elektrode. Ich möchte zunächst noch einmal die Erscheinungen, die ohne Selbstinduction an den activen Elektroden entstehen, denen gegenüber stellen, die mit Selbstinduction im Stromkreise entstehen für den Fall, dass ein Platindraht als active Elektrode, ein Bleiblech als zweite Elektrode in einem Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure dienen. Die benutzte Spannung ist zu 110 Volt angenommen.

A. Ohne Selbstinduction.

a) *Active Electrode negativ.* Beim Eintauchen des Platindrahtes bildet sich um den Platindraht eine schwach bläuliche Hülle. Man hört einen sehr hohen Ton. Bei Anlegung eines Telephons an einen im Stromkreise befindlichen Widerstand hört man ein lautes Rauschen. Der Strom ist relativ schwach. Der Draht kommt bald zum Glühen und schmilzt ab (Lagrange und Hoho<sup>1</sup>).

b) *Active Elektrode positiv.* Der Platindraht geräth sofort in Rothglut (Stromumschlag K. R. Koch und A. Wüllner.<sup>2</sup>) Der Strom ist viel schwächer als bei a) und ganz continuirlich. Es steigen nur wenige Blasen empor, aus denen beim Zerplatzen an der Oberfläche Wasserdampf austritt.

B. Mit Selbstinduction.

a) *Active Elektrode negativ.* Die Leuchterscheinung ist viel intensiver, der Strom stärker. Der Ton ist tiefer. Die Elektrode wird leicht glühend, schmilzt ab und wird selbst schon bei geringeren Spannungen (24 Volt) stark zerstäubt.

b) *Active Elektrode positiv.* Der Platindraht geräth nicht in Gluth, sondern es bildet sich um ihn eine leuchtende, röthlich gelbe Hülle glühenden Gases. Die Stromstärke ist gross und wird schnell und exact unterbrochen. Selbst bei Spannungen von 220 Volt kommt der Draht nicht zum Schmelzen.

1) Lagrange u. Hoho, l. c.

2) K. R. Koch u. A. Wüllner, l. c.

Aus dieser kurzen Zusammenstellung ist zu ersehen, dass, für den Fall, wo die active Elektrode *positiv* ist, die *Selbstinduction das Bedingende der Unterbrechungserscheinungen ist*, während im anderen Falle (active Elektrode negativ) auch ohne Selbstinduction im Kreise Stromunterbrechungen stattfinden, die jedoch bei weitem nicht so exact und regelmässig (vgl. weiter unten) sind, als wenn die active Elektrode positiv ist. Im Folgenden ist unter *activer Elektrode, wenn nichts Besonderes bemerkt wird, stets die positive Elektrode zu verstehen*.

*Besonders bemerkenswerth ist der Einfluss der Grösse der Selbstinduction auf die Unterbrechungszahl (Tonhöhe) des Unterbrechers.*

Die Tonhöhe bei Anwendung verschiedener Inductorien ist eine ganz verschiedene, und zwar ist sie *bei kleinen Inductorien bedeutend grösser als bei grösseren Inductorien*.

So war z. B. die stroboskopisch gemessene Zahl (vgl. p. 240) der Unterbrechungen bei 110 Volt Spannung und dem für jeden Inductorium als normal bezeichneten Strom bei einem Inductorium:

- |    |     |      |             |      |      |        |         |
|----|-----|------|-------------|------|------|--------|---------|
| 1. | Für | 3 cm | Funkenlänge | über | 2000 | in der | Secunde |
| 2. | „   | 30   | „           | „    | 800  | „      | „       |
| 3. | „   | 50   | „           | „    | 200  | „      | „       |

Belastet man die secundäre Spule eines Inductoriums mehr und mehr durch Verkürzung der Funkenstrecke, so wird dadurch die Selbstinduction der primären Spule verkleinert und es steigt demgemäss die Unterbrechungszahl. Bei Inductorien mit starker Secundärbewicklung, wie die meisten älteren Instrumente sie besitzen, tritt mitunter dann plötzlich der Stromumschlag, d. h. Aussetzen des Unterbrechers durch Glühwerden der Elektrode, ein. *Ein kurzes Aus- und dann wieder Einschalten des Stromes lässt den Unterbrecher sofort wieder ansprechen.*

*Sehr schön wird der Einfluss der Selbstinduction durch die folgenden Versuche erläutert:*

Schaltet man in den Stromkreis des Unterbrechers eine Magnetisirungsspule von ca. 1000 Windungen, so giebt dieselbe ohne Eisenkern eine als Ton wahrnehmbare Folge von etwa 200 Unterbrechungen pro Secunde. Führt man in

die Spule jedoch einen aus Drähten bestehenden Eisenkern, so erhält man einzeln zählbare Stromstöße. Schiebt man andererseits über eine längere Spule mit hoher Selbstinduction einen Messingcylinder, so steigt die Unterbrechungszahl bedeutend. Der Messingcylinder wird dabei durch die in ihm entstehenden Inductionsströme in kurzer Zeit ausserordentlich heiss. Ist der Messingcylinder sehr starkwandig und ebenso lang wie die Spule, so setzt der Unterbrecher aus, sobald sämtliche Windungen der Spule innerhalb des Cylinders liegen.

2. Einfluss von Stromstärke, Spannung und Widerstand und Stromart.<sup>1)</sup>

Die Stromstärke nimmt zu mit der Oberfläche der activen Elektrode, ist ihr jedoch nicht proportional. Vergrössert man bei sonst unveränderten Verhältnissen im Stromkreise nur die Oberfläche der activen Elektrode und berechnet dann aus der mit einem Hitzdrahtampèremeter gemessenen Stromstärke und der gemessenen Drahtoberfläche die Stromstärke pro Quadratmillimeter, so erkennt man, dass die Stromdichte geringer wird bei Vergrösserung der Drahtoberfläche. Die folgende Tabelle zeigt dies Verhalten deutlich.

Tabelle.

Stromstärke in Ampères am Hitzdrahtampèremeter abgelesen	Länge der activen Elektrode	Ampère pro qmm Oberfläche	Stromstärke in Ampères am Hitzdrahtampèremeter abgelesen	Länge der activen Elektrode	Ampère pro qmm Oberfläche
14,08	7,1	0,62	11,68	9,3	0,8
12,88	6,0	0,66	10,60	8,0	0,87
11,52	5,0	0,71	9,36	7,0	0,9
9,84	4,0	0,75	8,52	6,0	0,93
8,8	3,0	0,87	7,52	5,0	0,98
6,8	2,2	0,93	6,20	4,0	1,00
			5,16	3,0	1,1

1) Stromstärke, sowohl wie Spannung, wurden stets mit Präcisions-Hitzdrahtinstrumenten gemessen, da alle elektromagnetischen Instrumente für so hohe Unterbrechungszahlen absolut untauglich sind. Die angegebenen Stromstärken und Spannung sind also stets effectiv.

Bei dünneren Elektroden ist die Stromdichte im allgemeinen von vornherein eine höhere, als bei dickeren Elektroden.

Zur Erhöhung der Stromstärke kann man statt die Drahtoberfläche zu vergrössern, auch nebeneinander mehrere active Elektroden in die Flüssigkeit setzen und beliebig viele davon parallel schalten. Es ist eigenthümlich, dass in diesem Falle der Strom genau so exact unterbrochen wird, als ob nur eine Elektrode vorhanden ist. Selbst ganz verschieden grosse Elektroden verursachen keine Störung, sondern es sucht sich jede Elektrode den ihr zugehörigen Stromantheil selbständig aus.

Da die Unterbrecherwirkung der activen Elektrode erst bei einer bestimmten kritischen Stromdichte beginnt, so bewirken alle diejenigen Umstände, welche das Eintreten dieser kritischen Stromdichte befördern, eine Erhöhung der Unterbrechungszahl. Deshalb wächst die Unterbrechungszahl 1. mit *Verminderung der Selbstinduction*, 2. mit *Erhöhung der Spannung*.

Inductionsfreie Widerstände im Stromkreise wirken nur im Sinne einer Verminderung der Spannung, also Verringerung der Unterbrechungszahl.

Betrachtet man die Leuchterscheinung an der activen Elektrode im rotirenden Spiegel, so sieht man, dass dieselbe nur eine sehr kurze Zeit andauert. Da die Leuchterscheinung ausserdem, wenigstens bei höheren Spannungen, auch recht lichtstark ist, so bietet sie ein Mittel, *nach stroboskopischer Methode die Unterbrechungszahlen zu bestimmen*. Die Vorrichtung, die ich hierfür benutzte, bestand aus einem Elektromotor, an dessen Axe einerseits eine stroboskopische Scheibe mit drei concentrisch angeordneten Reihen schwarzer Punkte war (die äusserste Reihe enthielt 21, die mittlere 20, die innere 19 Punkte), andererseits ein Tachometer zur Bestimmung der Tourenzahl befestigt war.

Die in Thätigkeit gesetzte Unterbrecherzelle wird nun möglichst dicht (bei verdunkeltem Zimmer) an die stroboskopische Scheibe herangerückt und die Geschwindigkeit des Motors durch Widerstände allmählich gesteigert, bis die mittelste Punktreihe still zu stehen scheint, während die anderen beiden Reihen langsam nach entgegengesetzten Richtungen rotiren. In diesem Augenblicke wird die Tourenzahl des Motors abgelesen. Durch einfache Rechnung findet man hieraus die

Unterbrechungszahlen. Auf diese Weise habe ich bisher Unterbrechungszahlen bis zu 2200 in der Secunde bestimmt.

Die niedrigste Spannung, bei der die Unterbrecherthätigkeit einsetzt, ist ganz von den Verhältnissen des Stromkreises abhängig. Die geringste Spannung, die ich bisher benutzen konnte, betrug 12 Volt. Eine obere Grenze für die Spannung scheint es nicht zu geben, wenigstens konnte ich noch mit 220 Volt den Unterbrecher betreiben.

Die Stromart, ob Gleich- oder Wechselstrom, ist selbstverständlich nur hinsichtlich der Elektroden von Belang. Sendet man Wechselstrom durch den Unterbrecher, so werden natürlich beide Phasen ein oder mehrere Male je nach der Selbstinduction und der Spannung im Stromkreise unterbrochen. Für den besonderen Fall, wo Wechselstrom zum Betriebe von Funkeninductorien verwendet werden soll, arbeitet der Unterbrecher, wie M. d'Arsonval<sup>1)</sup> gezeigt hat, scheinbar genau wie mit Gleichstrom. Wenigstens ist bei Funken zwischen Spitze und Platte, sowie bei Röntgenröhren stets eine ausgeprägte Stromrichtung vorhanden. Die Erklärung ist einfach die, dass

1. der Unterbrecher schwächer inductiv wirkt, wenn die active Elektrode negativ ist, als wenn sie positiv ist und dass
2. sowohl bei dem Funken zwischen Spitze und Platte, als auch in der Röntgenröhre eine bestimmte Stromrichtung die bevorzugte ist.

Hat man also für Gleichstrom die günstigsten Bedingungen für ein Inductorium festgestellt, so kann man bei sonst unveränderter Anordnung ohne weiteres auch Wechselstrom zum Betriebe anwenden. Da jedoch beide Phasen des Wechselstromes durch den Inductor gehen, so empfiehlt es sich, um unnöthige Stromvergeudung zu vermeiden, diejenige Phase, bei der die active Elektrode negativ wird, möglichst abzuschwächen, indem man die inactive Elektrode, nach L. Grätz<sup>2)</sup>, aus Aluminium herstellt und ausserdem noch, je nach Höhe der angewandten Spannung, einige solcher Grätz'schen Zellen vorschaltet.

Unterdrückt man diejenige Phase, während der die active Elektrode negativ wird, nicht, so wird, wenigstens bei höheren

1) M. d'Arsonval, Compt. rend. 9. p. 531. 1899.

2) L. Grätz, Wied. Ann. 62. p. 323 ff. 1897.

Spannungen, dieselbe so heiss, dass nach jedem Polwechsel an der dann positiv gewordenen activen Elektrode keine Unterbrechung mehr stattfindet, sondern der Stromumschlag eintritt. Dieser Fall ist speciell bei Betriebe von Röntgenröhren bemerkbar, da in diesem Falle sich scheinbar plötzlich die Pole vertauscht haben. Ein kurzes Ausschalten des Stromes stellt den normalen Zustand wieder her.

### 3. Einfluss des Elektrolytes und der Elektroden.

Der Einfluss des Elektrolytes und seiner Concentration auf den Unterbrecher wurden folgendermaassen festgestellt:

Durch Stative wurde eine active Elektrode (in Glas eingeschmolzener Platindraht), (vgl. Fig. 2. p. 234) und eine Platinplatte in ihrer gegenseitigen Stellung zueinander fixirt. Diese Elektroden bildeten mit einer Accumulatoren-batterie von 48 Volt Spannung und einem Inductorium für 30 cm Funkenlänge einen unveränderlichen Stromkreis. Die Elektroden wurden darauf in eine concentrirte Lösung des zu untersuchenden Elektrolyten eingetaucht, der Strom geschlossen und dann die grösste erreichbare Funkenlänge gemessen. Hierauf wurde der Elektrolyt allmählich mit Wasser verdünnt. Die Aenderung der Funkenlänge gab somit ein relatives Maass für die Wirksamkeit des Elektrolyten.

Als Beispiel führe ich eine derartige Versuchsreihe mit verdünnter Schwefelsäure an:

Dichte der Lösung in Bé-Einheiten	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°	5°
Maximale Funkenlänge	9,1	9,5	10,5	14,0	14,0	13,5	12,5	10

Aus der Tabelle folgt, dass das Maximum der Wirkung für verdünnte Schwefelsäure zwischen 20 und 25° Bé entsprechend einer Dichte von 1,16—1,2 liegt. Auf diese Weise wurden noch von folgenden Elektrolyten die dem Maximum der Funkenlänge entsprechenden Concentrationen bestimmt: Pottasche, Soda-, Kali-, Natronlösung und die verdünnten Säuren (Schwefel-, Salpeter- und Salzsäure). *Von allen diesen Elektrolyten erweist sich die verdünnte Schwefelsäure von 20—25° Bé (Dichte 1,16 bis 1,2) am vortheilhaftesten.*

Um den Einfluss des Materiales der activen Elektrode festzustellen, dienten der Reihe nach solche aus Kupfer, Messing, Blei, Aluminium und Platin. Ausser dem Platin werden alle übrigen Metalle sehr schnell zerstäubt; geben jedoch auch zu Stromunterbrechungen Veranlassung. Einzig brauchbar sind daher nur Platindrähte. Den Durchmesser der Drähte wählt man passend der anzuwendenden Stromstärke nach aus. Für Stromstärken bis zu 10 Amp. reicht Platindraht von 1 mm aus. Für Stromstärken über 10 Amp. ist es besser stärkeren Platindraht zu verwenden, um einer allzu starken Erwärmung desjenigen Drahtstückes, das nicht mit dem Elektrolyt in Berührung kommt, zu vermeiden.

Um während des Betriebes die Stromstärke am Unterbrecher selbst reguliren zu können, habe ich eine regulirbare Elektrode construirt (vgl. p. 265).

Besonders wichtig für die Erklärung der Erscheinung an der activen Elektrode scheint mir ein Versuch mit sogenannter unpolarisirbarer Elektrode zu sein. Ein aus einem Glasrohr herausragendes Stückchen *Kupferdraht als active Elektrode in einer concentrirten Lösung von Kupfersulfat wirkte genau ebenso als Unterbrecher, gleichfalls unter Eintritt einer Leuchterscheinung, wie Platin in Schwefelsäure.* Der Versuch kann jedoch nur kurze Zeit fortgesetzt werden, da das Kupfer sehr schnell zerstäubt wird. *Eine sichtbare Gasentwicklung findet nicht statt, sondern von der activen Kupferelektrode geht eine Flüssigkeitsströmung nach oben, die durch suspendirtes Kupferoxyd intensiv schwarz gefärbt ist.* Die Unterbrecherwirkung tritt in diesem Falle erst bei Spannungen von ca. 30 Volt an ein.

Ebenso wichtig für eine Erklärung des Phänomens ist noch die Thatsache, dass *das Platiniren einer activen Platinelektrode bei sonst unveränderten Bedingungen im Stromkreise nicht den geringsten Einfluss auf die Unterbrechungszahl hat* (vgl. p. 259).

Die negative Elektrode ist ohne Einfluss auf den Gang der Erscheinung; man wählt sie am besten natürlich aus einem Material, das von der Säure nicht angegriffen wird. Für verdünnte Schwefelsäure benutzte ich stets Bleiplatten als negative Elektroden. Nur in speciellen Fällen, wie weiter oben erwähnt wurde, benutzt man vortheilhafter Aluminiumelektroden.

Als active Elektroden haben sich bisher Platindrähte am besten bewährt.

#### 4. Einfluss der Temperatur des Elektrolyten.

Um den Einfluss der Temperatur auf den Gang des Unterbrechers festzustellen wurde derselbe (Fig. 2) durch einen Bunsenbrenner langsam erhitzt und unter Einschaltung eines Inductoriums geprüft. Das Resultat war folgendes. Bis zu  $70^{\circ}\text{C}$  war kein wesentlicher Einfluss auf die Funkenlänge bemerkbar. Von dieser Temperatur ab wurde die Funkenlänge stetig geringer. Von ungefähr  $95^{\circ}$  an wurden die Unterbrechungen sehr unregelmässig und schwach. Bei Anwendung von 12 bis 24 Volt und sehr grossen Elektroden war es hingegen noch bei  $100^{\circ}$ , also dicht vor dem Siedepunkt ( $105^{\circ}\text{C}$ ) des Elektrolyten, möglich, recht grosse Funken zu erhalten. Beim Siedepunkt selbst hört jedoch die ganze Unterbrecherthätigkeit auf. Nur hin und wieder sind noch schwache Funken am Inductorium bemerkbar.

Bei lang dauerndem Betriebe mit grossen Stromstärken erhitzt sich der Elektrolyt im Unterbrecher nicht unwesentlich. Es ist möglich, dass er schliesslich zu solchen Temperaturen gelangt, bei denen, wie eben gezeigt, die Exactheit der Unterbrechungen Einbusse erleidet. Es empfiehlt sich daher für Dauerbetrieb eine Kühlvorrichtung anzuwenden, z. B. indem man den ganzen Unterbrecher bis beinahe zum Rande in ein grösseres Gefäss mit Wasser stellt, das man wiederum im äussersten Falle noch mit Eis abkühlen kann. Die elektrische Energie, die in dem Unterbrecher in Wärme umgesetzt wird, ist keineswegs gering. Rohe calorimetrische Bestimmungen ergaben als *Energieverlust im Unterbrecher 30 bis 80 Proc.*, je nach der Grösse der Selbstinduction und der angewandten Stromstärke und Spannung. Dieser Energieverlust, so gross er auch erscheinen mag, ist wohl kaum grösser als bei den Platin- und Quecksilberunterbrechern, worüber allerdings noch keine Messungen vorliegen.

#### 5. Einfluss des Druckes auf den Unterbrecher.

Der Einfluss des Druckes auf den Unterbrecher wurde mit der in Fig. 4 skizzirten Anordnung untersucht. Durch

den Gummistopfen *A*, der ein umgekehrtes Pulverglas *B* luftdicht verschliesst, sind 1. die active Elektrode *C*, 2. eine an einem dicken Draht *D* befindliche Bleiplatte *E* u. 3. ein Schenkel des T-förmigen Glasrohres *F* geschoben. Die Glasröhren *C* und *F* sind dort, wo sie aus dem Stopfen in das Innere der Flasche hineinragen, etwas aufgeblasen, damit sie nicht durch Druck herausgeschoben werden. Der Gummistopfen selbst wird noch durch die aus der Fig. 4 ersichtliche Anordnung fest in die Mündung der Flasche gepresst. An das T-förmige Rohr ist einerseits ein Manometer *M*, andererseits eine Compressions- oder eine Saugpumpe angeschlossen. Das Pulverglas ist bis zu  $\frac{2}{3}$  mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt.

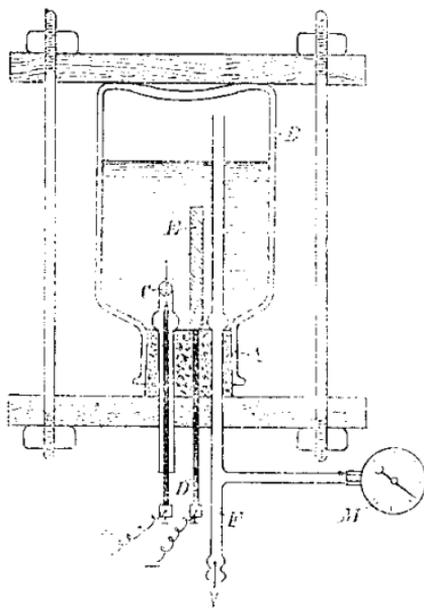


Fig. 4.

Das erhaltene Resultat ist folgendes:

1. Die Unterbrechungszahl (Tonhöhe) steigt mit abnehmendem Druck und sinkt mit zunehmendem Druck.

2. Die Stromstärke (effectiv gemessen) steigt mit dem Druck.

a) Evakuirt bis auf 60 mm Hg:  $J = 1,6$  Amp.

b) Atmosphärendruck:  $J = 3,2$  „

c) 2 Atmosphären Ueberdruck:  $J = 6,6$  „

Die Erklärung der Zunahme von  $J$ , trotz Abnahme der Unterbrechungszahl bei Zunahme des Druckes, ergibt sich aus der verschiedenartigen Kurvenform des Stromes, worüber weiter unten berichtet wird (vgl. p. 257).

## II. Vorgang an der activen Elektrode.

Um Aufschluss über den Vorgang an der activen Elektrode des elektrolytischen Unterbrechers zu erlangen, habe ich denselben stroboskopisch beobachtet. Die active Elektrode wurde mittels eines Projectionsapparates stark vergrößert auf einen Schirm projicirt. In den Strahlengang wurde eine, auf der

Axe eines Elektromotors sitzende Pappscheibe mit 6 kleinen runden Oeffnungen gestellt, um dem Licht des Projectionsapparates eine beliebige Intermittenz ertheilen zu können.

Wird der Unterbrecher in Thätigkeit gesetzt und die Tourenzahl der stroboskopischen Scheibe passend regulirt, so beobachtet man folgende Erscheinung:

*An der activen Elektrode bildet sich eine langsam wachsende Gashülle aus, in der man lebhaft wirbelnde Bewegungen wahrnimmt. Die Gashülle wächst bis zu einer gewissen Grösse, um dann plötzlich explosionsartig auseinander geschleudert zu werden.*

Das explosionsartige Auseinanderschleudern der Gashülle rührt wohl nicht von einer thatsächlich stattfindenden Explosion her, sondern nur von dem Zerplatzen der Gashülle in viele kleine Bläschen, die überall nach oben wandern. Es würde alsdann die Bildung der Gashülle dem durch die verzögernde Wirkung der Selbstinduction bedingten langsamen Ansteigen der Stromstärke entsprechen, während durch die Explosion der Gashülle der Strom für einen Augenblick völlig unterbrochen ist. Sofort nach der Zerstörung der Gashülle berührt die Flüssigkeit die Elektrode wieder und der Process beginnt von neuem.

### III. Untersuchung der Gasschicht an der activen Elektrode.

#### 1. Spectroskopische Untersuchung.

Eine vorläufige, nur mit den rohesten Hilfsmitteln ausgeführte spectroskopische Beobachtung der Leuchterscheinung an einer activen Elektrode aus Platindraht (in Glas eingeschmolzen) in verdünnter Schwefelsäure ergab folgendes:

##### a) *Active Elektrode negativ.*

*Es tritt das Wasserstoffspectrum, die Natriumlinie nebst vielen anderen sehr hellen Linien auf.* Die Natriumlinie rührt unzweifelhaft vom Glase her, in welches der Platindraht eingeschmolzen ist. Die übrigen Linien sind wohl dem Platin und vielleicht auch dem Elektrolyten zuzuschreiben. Ob Sauerstofflinien vorhanden sind, konnte ich nicht feststellen. Jedenfalls fehlten die charakteristischen zwei rothen Linien des Sauerstoffs.

##### b) *Active Elektrode, positiv.*

*Es tritt nur das Wasserstoffspectrum und die Natriumlinie auf.* Letztere rührt wieder vom Glase her.

Dass im letzteren Falle, wo an der activen Elektrode Sauerstoff entwickelt wird, doch nur die Wasserstofflinien zu sehen sind, beweist, dass der Sauerstoff nicht (oder doch nur sehr schwach) in den Zustand der Lichtmission gesetzt wird, (sein Spectrum tritt ja überhaupt leicht neben denjenigen anderer Gase zurück) und dass ausserdem noch auf irgend eine Weise Wasserstoff entwickelt wird, der mit dem Sauerstoff durch den Stromübergang stark erhitzt, hauptsächlich die Lichtmission bewirkt.

Eine eingehendere spectroscopische Untersuchung verspricht sehr interessante Resultate, speciell bei Anwendung verschiedener Metalle und Elektrolyte.

## 2. Analytische Untersuchung.

Die Untersuchung der an den beiden Elektroden (active Elektrode wie bisher, die inactive Elektrode bestand aus einer kleinen Platinplatte, die von unten in ein Gas auffangengefäß geführt wurde) des Unterbrechers ausgeschiedenen und getrennt aufgefangenen Gasmengen ergab folgendes:

### a) *Active Elektrode, positiv.*

Das an der negativen Elektrode aufgefangene Gas erwies sich als Wasserstoff, vielleicht mit einer geringen Beimischung von Schwefelwasserstoff, da die Flamme des brennenden Gases etwas intensiver blau gefärbt war, als man es sonst bei Wasserstoff wahrnimmt.

An der activen Elektrode bildete sich bei Anwendung geringer Spannungen (24 Volt) ein schwach explosives Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff. Letzteres Gas überwog. Bei Anwendung höherer Spannungen (48—96 Volt) wird jedoch der Charakter des Gases stets explosiver, der Sauerstoff tritt immer mehr gegen das Knallgas zurück. Geringe andere Beimengungen wurden nicht näher untersucht.

### b) *Active Elektrode, negativ.*

Das an der positiven (inactiven) Elektrode aufgefangene Gas erwies sich als reiner Sauerstoff.

An der activen (negativen) Elektrode bildete sich ein Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff. Letzterer war jedoch nur spurenweise vorhanden. Das Gas entzündete sich mit ganz schwacher Explosion und brannte dann ruhig wie reiner

Wasserstoff weiter. Leider kann man in diesem Falle zur Untersuchung nur geringe Spannungen verwenden, da schon bei 24 Volt der Platindraht in kurzer Zeit völlig abschmilzt.

Die sonderbaren quantitativen Verhältnisse der an der activen Elektrode, falls dieselbe positiv ist, abgeschiedenen Gasmengen veranlasste mich zu folgendem Versuche:

In den Stromkreis der Batterie von 12—48 Accumulatoren wurde eine Spule mit hoher Selbstinduction, der vorher benutzte Unterbrecher (mit Vorrichtung zum Auffangen und Messen der abgeschiedenen Gasmengen versehen), sowie ein Kohlransch'sches Knallgasvoltmeter in Serie geschaltet. Ich benutzte letzteres Instrument um einmal, ohne Correctionen wegen Barometerstand, einen directen Vergleich zwischen den in ihm entwickelten Gasmengen mit den am Unterbrecher abgeschiedenen zu haben und zweitens, weil wegen der weiter unten beschriebenen sonderbaren Curvenformen die Angaben eines gewöhnlichen Ampèremeters oder Hitzdrahtinstrumentes nicht ohne weiteres mit den zersetzten Gasmengen im Unterbrecher verglichen werden können.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der erhaltenen Resultate bei Benutzung von 24, 48 und 96 Volt unter sonst ganz gleichen Bedingungen:

Angewandte Spannung	24 Volt	48 Volt	96 Volt
1. Am Voltmeter gemessen in ccm (Knallgas)	52,0 ccm	45,5 ccm	20 ccm
2. An der negativen (inactiven) Elektrode aufgefangen (Wasserstoff)	34,7	30,3	13,8
3. An der activen (positiven) Elektrode aufgefangen (Sauerstoff und Knallgas)	22,5	55	58,5
4. Aus der an der negativen Elektrode aufgefangenen Gasmenge müssten an der activen Elektrode folgende Mengen Sauerstoff entstanden sein	17,3	15,2	6,7
5. Die Differenz von 3. und 4. entspricht der entwickelten Knallgasmenge	5,2	39,8	51,8

Die Tabelle zeigt, dass die an der negativen Elektrode aufgefangene Menge Wasserstoff genau mit der am Kohl-

Raush'schen Voltmeter gemessenen ( $\frac{2}{3}$  der Knallgasmenge) übereinstimmt. Die Reihe 4 der Tabelle giebt die hieraus berechnete Menge Sauerstoff, die sich an der activen Elektrode hätte bilden müssen, während die Reihe 3 die wirklich an der activen Elektrode gemessene Gasmenge angiebt. Die Differenz dieser letzten Werthe (3 u. 4), die in Reihe 5 zusammengestellt sind, entsprechen dann wohl der ausser dem Sauerstoff entwickelten Knallgasmenge.

Man sieht wie bei höheren Spannungen, ganz der oben beschriebenen qualitativen Analyse entsprechend, im Verhältniss zu dem entwickelten Sauerstoff immer mehr und mehr Knallgas entwickelt wird. Deutlicher zum Ausdruck kommt diese Thatsache, wenn man aus der Tabelle diejenigen Volumina Knallgas berechnet, die bei den verschiedenen Spannungen ausser 1 Volumen Sauerstoff entwickelt werden.

Zu 1 Volumen Sauerstoff kommt:

1. bei 24 Volt circa 0,3 Volumen Knallgas.
2. „ 48 „ „ 2,6 „ „
3. „ 96 „ „ 7,7 „ „

#### IV. Stromcurven des Unterbrechers.

Die Curven des Unterbrechers wurden in der bekannten Weise mit einer Braun'schen Röhre und einem rotirenden Spiegel untersucht. Die Versuchsanordnung war dabei folgende (Fig. 5):

Neben der Braun'schen Röhre *B*, die durch die Influenzmaschine *J* gespeist wurde, war einerseits der rotirende Spiegel *B*, andererseits eine kleine, stets im Stromkreise befindliche Spule *S*

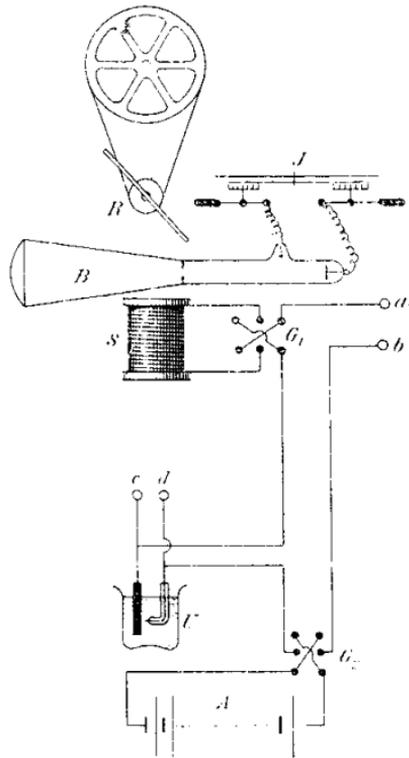


Fig. 5.

aufgestellt. Die Stromrichtung in dieser Hülfspule  $S$  konnte durch einen Umschalter  $C_1$  stets so gewählt werden, dass das richtige Curvenbild in dem rotirenden Spiegel entstand. An die Klemmen  $a, b$  wurden die zu untersuchenden Spulen oder Inductorien, an die Klemmen  $c, d$  parallel zum Unterbrecher  $U$  konnten Condensatoren etc. gelegt werden. Durch einen Stromwender  $C_2$  konnte in beliebiger Richtung der Strom einer Accumulatorenbatterie  $A$  von 12 bis 48 Zellen in den gesammten Stromkreis gesandt werden.

Im Folgenden sei das Ergebniss einiger Versuche mit dieser Anordnung beschrieben. In Ermangelung einer genügenden photographischen Einrichtung zum Aufnehmen der Curven muss ich mich darauf beschränken, die Curven durch Zeichnung wiederzugeben.

1. Unterschied der Curven bei negativer und positiver activer Elektrode.

Die schon oben erwähnte Unregelmässigkeit und geringe inductive Wirkung, falls die active Elektrode negativ ist, findet

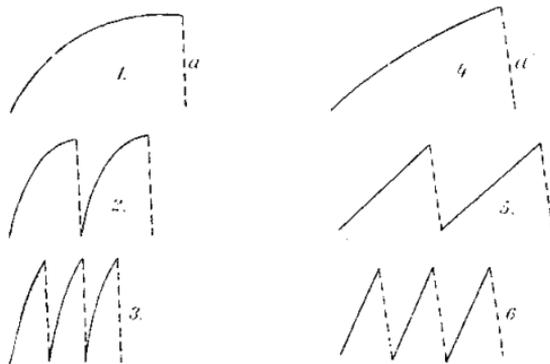


Fig. 6.

ihre Erklärung in dem beobachteten relativ langsamen Abfall der Curve und der Unregelmässigkeit derselben. Die *Regelmässigkeit und Exactheit der Curve* hingegen, wenn die active Elektrode Anode ist, ist überraschend.

Trotzdem der Lichtfleck der Braun'schen Röhre, die durch eine grössere Influenzmaschine gespeist wurde, im sehr schnell rotirenden Spiegel nicht deutlich in einzelne Bilder zu zerlegen ist, sind in dem Theil der Curve, der dem Stromabfall entspricht, nur ein oder wenige Lichtbilder zu beobachten, ein Beweis dafür, wie exact der Strom unterbrochen wird. Irgend welche Nebenschwingungen sind nicht vorhanden. Der Strom steigt (wie Fig. 6, 1 zeigt) relativ langsam von Null bis zu einem Maximum an und fällt

steil wieder auf Null, um ohne eine Pause sofort wieder anzusteigen. Die Erhöhung der Spannung bewirkt ein immer schnelleres Ansteigen des Stromes (Fig. 6, 1 bei 24 Volt, 2 bei 48 Volt, 3 bei 96 Volt), sodass die Curve schliesslich fast in eine Zickzacklinie (Fig. 6, 3) übergeht.

## 2. Einfluss von Eisenkernen.

Das Einführen von untertheilten Eisenkernen in die Spulen bewirkt ausser der schon oben erwähnten Verringerung der Tonhöhe auch eine bedeutende Verringerung der effectiven Stromstärke. Zumeist ist nach Einführung des Eisenkernes die an der Braun'schen Röhre beobachtete Maximalamplitude kleiner als ohne Eisen, wodurch sich schon an und für sich bei Annahme gleicher Curvenform der Unterschied in der effectiven Stromstärke erklären würde. Mitunter bleibt jedoch, namentlich bei Anwendung geringerer Betriebsspannung (z. B. 24 Volt) in beiden Fällen die Maximalamplitude des Stromes die gleiche. In letzterem Falle findet der grosse Unterschied der effectiven Stromstärken noch immer seine Erklärung durch die Verschiedenheit der Curven.

In folgender Tabelle seien einige effective Stromstärken angegeben, die unter ganz gleichartigen Bedingungen einmal mit und einmal ohne Eisenkern erhalten wurden. Die in der letzten Abtheilung angegebenen Zahlen beziehen sich auf die gleichnummerirten Curven der Fig. 6:

Spannung in Volt	effective Stromstärke in Amp.		Fig. Nr. 6	
	ohne Eisen	mit Eisen	ohne Eisen	mit Eisen
24	3,2	2,4	1	4
48	4,2	2,5	2	5
96	5,0	3,0	3	6

Eine Vergleichung der Curven giebt sofort die Erklärung für die Unterschiede in der effectiven Stromstärke. Bei 24 Volt waren die Maximalamplituden annähernd die gleichen, also  $a = a'$  (Fig. 6). Die Differenz von 0,8 Amp. in der Stromstärke ergibt sich jedoch durch den viel schnelleren Aufstieg und das viel längere Verweilen der Curve (Fig. 6, 1) auf einer der Maximalamplitude fast entsprechenden Höhe ohne Eisen-

kern im Gegensatz zu dem fast in gerader Linie bis zur Maximalamplitude ansteigenden Theil der Curve (Fig. 6, 4) mit Eisen in der Spule. Bei 48 Volt und bei 96 Volt sind sowohl die Maximalamplituden, als auch die Form der Curven (Fig. 6, 2, 3, 5, 6) verschieden, woraus ohne weiteres die Unterschiede in der effectiven Stromstärke erklärlich sind. Der Stromabfall ist im allgemeinen, wenn Eisenkerne vorhanden sind, nicht ganz so schnell, wie ohne Eisenkern. Der Unterschied in der Geschwindigkeit des Stromabfalles kommt in der verschiedenen Anzahl der Lichtbilder der Braun'schen Röhre während des Abfalles zum Ausdruck.

### 3. Rückwirkung von secundären Spulen auf die Curvenform.

Schaltet man an die Klemmen *a*, *b* (Fig. 5, p. 249) statt der bisher benutzten Spulen ein Inductorium, so ist man nun in der Lage, die Curvenformen des Unterbrechers bei verschiedener Belastung der secundären Inductoriumspule zu beobachten.

Der Einfluss einer Belastung der secundären Spule wirkt naturgemäss genau wie die Belastung der Secundärspule eines Transformators, d. h. die effective Stromstärke im Primärkreise steigt, wenn die Secundärspule belastet wird. Die Steigerung der Stromstärke in der Primärspule wird bedingt durch Abnahme der Selbstinduction derselben. Eine natürliche Folgerung ist in unserem Falle, dass auch die Unterbrechungszahl steigt.

Die Untersuchung der Curven, die die Braun'sche Röhre bei gesteigerter Belastung der Secundärspule (durch Verkürzung der Funkenstrecke erzielt) zeigt, sind im Folgenden nebst den dabei abgelesenen Stromstärken angegeben. Benutzt wurde zu diesem Versuch ein Funkeninductorium für 30 cm Funkenlänge.

a) Secundärspule unbelastet (keine Funken).

Stromstärke = 2,8 Amp.

Die Curve zeigt im aufsteigenden Ast eine Anzahl langsam abklingender Schwingungen. Der Anstieg findet relativ langsam statt. Der Abfall des Stromes und das Wiedereinsetzen desselben vollzieht sich so schnell, dass die Oscillationen der Secundärspule nur den aufsteigenden Ast der Curve beeinflussen können (Fig. 7).

- b) Belastung der secundären Spule mit 10 cm Funken.  
 Stromstärke = 3,2 Amp.

Der Anstieg der Curve findet schneller statt. Die Oscillationen sind noch ausgeprägter als unter a). Fig. 8 zeigt die beobachtete Curve.

- c) Belastung der secundären Spule mit 1 cm Funkenstrecke.

Stromstärke = 3,9 Amp.

Der Funke ist in einen Lichtbogen übergegangen. Der Anstieg der Curve Fig. 9 ist der Art schnell, dass die Oscil-

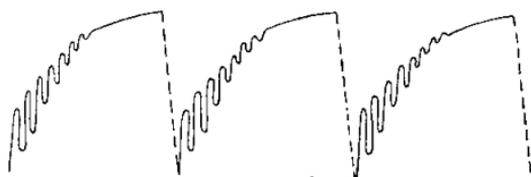


Fig. 7.

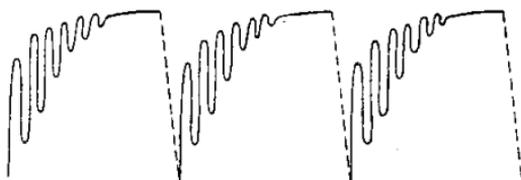


Fig. 8.

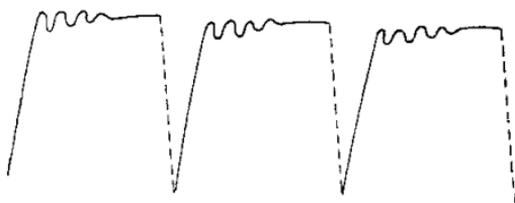


Fig. 9.

lationen der secundären Spule, die in diesem Falle auch nur sehr gering sind, erst nach dem Anstieg in dem fast horizontal verlaufenden Theil der Curve zum Ausdruck kommen.

- d) Secundäre Spule kurz geschlossen.

Stromstärke = 3,8 Amp.

Die Curve zeigt keinerlei Schwingungen mehr an, sondern sie ist genau so, als wenn keine secundäre Spule vorhanden ist, also ähnlich wie die Curven in Fig. 6.

Die benutzte Spannung war bei dieser Untersuchung nur 24 Volt, um keine allzu hohen Unterbrechungszahlen und dadurch zu schwierige Zerlegung der Curvenbilder im rotirenden Spiegel zu erhalten. Im übrigen treten bei höheren Spannungen genau dieselben Erscheinungen auf, nur vollzieht sich alles viel schneller.

Beachtet man die bei jeder Belastung  $a$  bis  $d$  angegebene Stromstärke, so bemerkt man, dass dieselbe ein Maximum ist, wenn zwischen den Enden der Secundärspule ein Lichtbogen übergeht. In diesem Falle ist der Ton auch am höchsten, die Selbstinduction des Inductoriums am geringsten. Dieses Resultat steht im guten Einklang mit der häufig gemachten Beobachtung, dass, wenigstens bei älteren Inductorien, der Unterbrecher gern aussetzt, d. h. also der Stromschlag durch ständiges Glühen der activen Elektrode eintritt, wenn zwischen den Enden der Secundärspule ein Lichtbogen von gewisser Länge übergeht, während hingegen bei Funkenstrecken, die länger oder kürzer sind als diese kritische Länge, der Unterbrecher nicht aussetzt.

#### 4. Einfluss von Capacitäten an den Klemmen des Unterbrechers.

Eine Spule von ca. 600 Drahtwindungen, in die ein Eisenkern eingeschoben werden konnte, bildete mit der Hülffspule für die Braun'sche Röhre und dem Unterbrecher einen Stromkreis. Legt man an die Klemmen des Unterbrechers (Klemmen  $c$ ,  $d$  in Fig. 5, p. 249) Capacitäten, so beobachtet man folgende Erscheinungen:

a) Eisenkern in der Spule.

Stromstärke ohne Capacität = 2,48 Amp. Ton hoch,

„ mit „ = 2,22 „ „ tief.

Bei Anlegung der Capacität an die Klemmen des Unterbrechers sinkt die Stromstärke und mit ihr die Unterbrechungszahl. Die Curve, die ohne Capacität gerade auf der Abscissenaxe steht, geht bei Anlegung der Capacität tief unter die Abscissenaxe herunter. Die Maximalamplitude wird dadurch bedeutend erhöht. In Fig. 10 bedeutet die ausgezogene Curve diejenige ohne, die gestrichelte diejenige mit angelegter Capacität. Der Ton bleibt regelmässig. Die Lichterscheinung an

der activen Elektrode wird wesentlich schwächer bei Anlegung der Capacität.

b) Spule ohne Eisenkern.

Stromstärke ohne Capacität = 3,54 Amp. Ton rein.

„ mit „ = 2,8 „ „ unrein.

Bei Anhängung der Capacität wird die Stromstärke geringer und der Ton tiefer und sehr unrein. Die Curve wird unstät und geht tief unter die Abscissenaxe herunter

(Fig. 10). Die Lichterscheinung an der activen Elektrode nimmt ganz den Charakter einer negativen Elektrode an, d. h. das sonst röthlich gelbe Licht geht in ein intensiv bläuliches Licht über. Zu diesen Versuchen wurde als

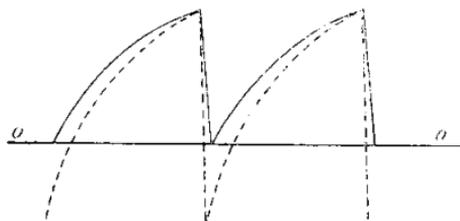


Fig. 10.

Capacität der Condensator eines grossen Inductoriums benutzt. Seine Capacität war ca. 2,4 Mikrofarad. Kleine Capacitäten, z. B. 0,5 Mikrofarad, wirkten ähnlich, nur nicht so intensiv.

#### 5. Selbstinduction und Capacität an den Klemmen des Unterbrechers.

Schaltet man bei der eben benutzten Anordnung vor den Condensator (2,4 Mikrofarad) noch eine Spule von ca. 600 Windungen, in die sich ein Eisenkern hineinschieben lässt, so nehmen die Curven je nach der Grösse der Selbstinduction ein eigenthümliches Aussehen an.

Befindet sich der Eisenkern noch nicht in der Spule, so hat die geringe Selbstinduction der Spule noch keinen bemerkenswerthen Einfluss. Beim Anlegen des Systems aus Condensator und Selbstinduction in Serie an die Klemmen des Unterbrechers sinkt genau, wie vorher in 4. beschrieben, die Stromstärke und die Unterbrechungszahl, d. h. der Condensator allein nur kommt zur Wirkung. Die Curve erstreckt sich wieder tief unter die Abscissenaxe.

Schiebt man nun langsam den Eisenkern in die Spule, erhöht man also langsam die Selbstinduction, so erhebt sich bei einer gewissen Stellung des Eisenkernes in der Spule die Curve plötzlich ganz über die Abscissenaxe. Der Strom und

der Ton steigt sehr stark. In Fig. 11 bedeutet die ausgezogene Curve diejenige bei geringer, die gestrichelte die bei hoher Selbstinduction erhaltene. Eine Zwischenstellung, bei der die Curve wie gewöhnlich auf der Axe steht, konnte ich nicht erhalten, sondern ich konnte nur eine Stellung des Eisenkerns finden, bei der die Curve ganz unregelmässig hin und her sprang, d. h. theilweise tief unter die Axe herunterging, theilweise hoch über derselben stand.

Schaltet man ein Inductorium in Serie mit der Capacität an die Klemmen des Unterbrechers, so erzielt man zwischen den

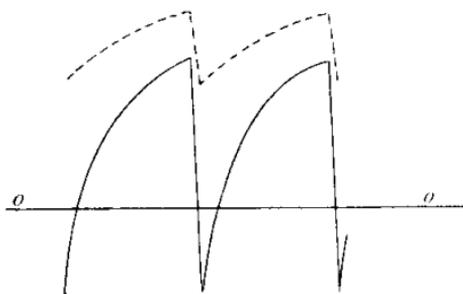


Fig. 11.

Enden der Secundärspule Funken, deren Aufeinanderfolge genau dem Rhythmus des Unterbrechers entsprechen. Man hat somit durch beliebige Variation der Selbstinduction im ersten Stromkreise (Batterie, Spule, Unterbrecher)

die Möglichkeit, im zweiten Stromkreise (Condensator, Inductorium an den Klemmen des Unterbrechers) ein Inductorium mit beliebig hoher oder geringer Unterbrechungszahl zu betreiben.

#### 6. Zusammenhang zwischen dem Vorgang an der activen Elektrode und der Curvenform.

Behufs genauerer Einsicht in den Mechanismus des elektrolitischen Unterbrechers ist es nöthig, zu ermitteln, in welchem Zusammenhange die Vorgänge an der Elektrode mit der durch die Braun'sche Röhre wiedergegebenen Stromcurve stehen.

Die oben erwähnte stroboskopische Beobachtung hatte gezeigt, wie an der activen Elektrode sich eine allmählich wachsende Gashülle ausbildet, in der sich starke Bewegungen zeigen und die schliesslich explosionsartig auseinander geschleudert wird. Diese Beobachtung in Verbindung mit der kurzen Dauer der Leuchterscheinung an der activen Elektrode lassen von vornherein vermuthen, dass die explosionsartige Lichterscheinung das Unterbrechen des Stromes zur Folge hat.

Der im Folgenden beschriebene Versuch bestätigt diese Vermuthung:

Mit Hülfe zweier Linsen wurde ein Bild der leuchtenden activen Elektrode, sowie ein Bild des auf- und abschwankenden Lichtfleckes der Braun'schen Röhre auf einen weissen Pappschirm projectirt. Durch geeignete Anordnung wurde erlangt, dass das Bild der activen Elektrode eine beliebige Stellung auf der projectirten Lichtlinie der Braun'schen Röhre einnahm.

Wählt man nun die Linsenstellung derart, dass das Lichtbild des Unterbrechers *a* (Fig. 12, 1) gerade am höchsten Punkte der Lichtlinie *b* (Fig. 12, 1) der Braun'schen Röhre steht und betrachtet das Gesamtbild im rotirenden Spiegel, so zeigt sich das Aufblitzen an der Elektrode stets an dem höchsten Punkte der Curve, also gerade dort, wo der Strom unterbrochen wird. Verlegt man hingegen den Lichtfleck *a* an das untere Ende von *b* (Fig. 12, 2), so zeigt der rotirende Spiegel, dass *a* nun wieder genau senkrecht unter dem höchsten Punkte der Curve liegt, also getrennt von dem wieder aufsteigenden Curvenast. Der Versuch lehrt daher, dass die explosionsartige Leuchterscheinung an der activen Elektrode mit dem exacten Abreissen des Stromes zusammenfällt.

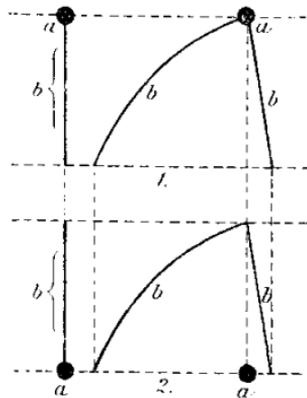


Fig. 12.

### 7. Einfluss des Druckes auf die Curvenform.

Der Umstand, dass eine Druckerhöhung eine Verringerung der secundlichen Unterbrechungszahl, sowie eine Erhöhung der effectiven (mit Hitzdrahtampèremeter gemessenen) Stromstärke (vgl. p. 245) bewirkt, kommt bei Beobachtung der Curvenbilder gut zum Ausdruck. Fig. 13, 1 stellt die Curve dar bei einem Vacuum von ca. 60 mm Hg. Die Stromstärke ist sehr gering, die Unterbrechungszahl am höchsten. Die geringe Stromstärke erklärt sich aus der langen Dauer der Oeffnung des Stromes. Die Curve hat mehr die Form wie bei den Metallunterbrechern, nur fehlen nach den Unterbrechungen die

Schwingungen; ein Zeichen, dass keine wesentliche Capacität im Stromkreise vorhanden ist.

Fig. 13, 2 zeigt die Curve unter gewöhnlichem Luftdruck. Fig. 13, 3 ist die Curve bei 1 Atmosphäre Ueberdruck.

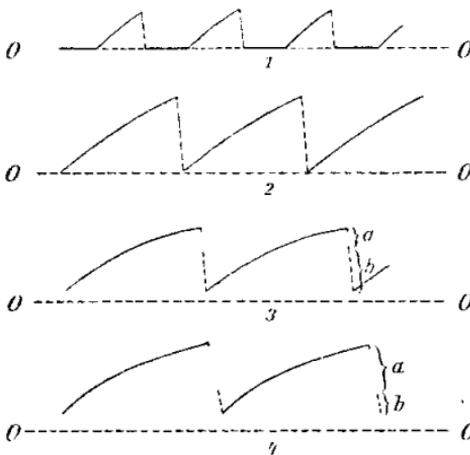


Fig. 13.

Die Unterbrechungszahl ist geringer. Die Stromstärke ist gestiegen, da die ganze Curve sich etwas über die Abscissenaxe erhoben hat. Eigenthümlich ist der Abfall der Curve gestaltet. Er scheint aus einem kurzen Stückchen *a* zu bestehen, während dessen der Strom so schnell abfällt, dass in diesem kurzen Zeitraum keine Entladung durch die Braun'sche Röhre geht, und aus einem grösseren Theil *b*, der aus mehreren aufeinanderfolgenden Entladungen der Braun'schen Röhre besteht, also relativ langsamer abfällt als der Theil *a*. Noch ausgesprochener kommt diese Eigenthümlichkeit bei der Curve der Fig. 13, 4, die bei 2 Atmosphären Ueberdruck beobachtet wurde. Hier ist der schnellere Abfall *a* grösser als der langsamere Abfall *b*. Die Curve steht sehr hoch über der Abscissenaxe. Dies ist ein Zeichen, dass ausser dem unterbrochenen noch ein constanter Strom den Apparat durchfliesst. Die Stromstärke ist hier sehr hoch, die Unterbrechungszahl sehr gering.

#### V. Versuch einer Erklärung der Unterbrecherwirkung.

Herr P. Spies und ich haben an anderer Stelle<sup>1)</sup> die Vermuthung ausgesprochen, dass man den Vorgang am elektrolitischen Unterbrecher als ein Schwingungsphänomen auffassen könne. Die Vermuthung, es hier mit einem Schwingungs-

1) P. Spies und A. Wehnelt, Verhandl. der Deutschen physik. Gesellschaft 2. p. 53. 1899.

phänomen zu thun zu haben, liegt allerdings zuerst sehr nahe. Man hat eine Selbstinduction im Kreise, und es bildet sich eine mit der Selbstinduction wachsende Schwingungsdauer des Systems aus. Man braucht nun nur noch anzunehmen, dass sich an der activen Elektrode des elektrolytischen Unterbrechers je nach der angewandten Stromstärke oder Spannung stets eine solche Capacität ausbildet, dass die drei Grössen nach der Formel  $t = \pi \sqrt{LC}$  untereinander in Beziehung stehen.

Veranlassung zu dieser Vermuthung gab uns erstens die Durchführung der Berechnung nach der ebengenannten Formel an einem willkürlich herausgegriffenen Versuch. Für diesen besonderen Fall betrug die Selbstinduction der angewandten Spule  $L = 0,003$  Quadrant, die Schwingungsdauer  $t = 1/700$  Sec. Dihiernach berechnete Capacität ergibt sich zu  $C = 17,2$  Mikrofarad. Grössen von dieser Ordnung haben sich bekanntlich mehrfach bei Messungen von Polarisationscapacitäten ergeben. Als zweite Veranlassung zur Annahme des schwingenden Systems diente uns die Beobachtung<sup>1)</sup>, dass an den Klemmen des Unterbrechers stets fast die doppelte der zum Betriebe verwandten effectiven Spannung vorhanden ist. Ein solcher Fall ist in der Wechselstromtechnik unter dem Namen der Spannungsresonanz bekannt; er tritt ein, wenn Selbstinduction und Capacität in Serie geschaltet sind und wenn die Schwingungsdauer dieses Systems mit der Dauer einer halben Periode des angewandten Wechselstromes übereinstimmt.

Da indessen bisher noch nicht der Beweis geliefert ist, dass eine elektrolytische Capacität ebenso wie eine elektrostatische zu Schwingungen Veranlassung geben kann und da weitere Versuche gezeigt haben, dass der Strom auch von sogenannten unpolarisirbaren Elektroden (vgl. p. 243), z. B. von Kupferelektroden in Kupfervitriollösung unterbrochen wird, und dass ferner das Platiniren der activen Elektrode nicht den mindesten Einfluss auf die Schwingungsdauer des Systems hat, so wird man sich einstweilen mit einer rein mechanischen Vorstellung des Vorganges an der activen Elektrode begnügen müssen.

Das Bild, das ich mir einstweilen nach dem Ergebniss

1) A. Wehnelt, Elektrotechn. Zeitschr. 4. p. 76. 1899.

aller in den vorhergehenden Capiteln beschriebenen Versuche von dem Vorgang gemacht habe, ist in kurzem folgendes:

Durch die Gegenkraft der Selbstinduction kann die Stromstärke im Schliessungskreise nur langsam ansteigen. Es wird daher zuerst nur durch Elektrolyse Sauerstoff abgeschieden. Von einer gewissen Stromstärke an entsteht ausser dem Sauerstoff durch die starke Wärme auch noch Dampf des Elektrolyten, bis schliesslich das Gemisch aus Dampf und Sauerstoff einen völligen Mantel um die Elektrode bildet und, da die erhitzten Gase elektrisch leitend sind, somit zu einem Stromübergang, innerhalb des Gasgemisches, zwischen Elektrolyt und activer Elektrode als Elektroden Veranlassung giebt. Durch die starke Wärmeentwicklung wird nun ein Theil des Elektrolyts in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt. Durch die neu gebildeten Gase und durch die starke Ausdehnung derselben durch den Stromdurchgang wird schliesslich die Entfernung zwischen Elektrolyt und activer Elektrode so gross, dass der Strom nicht mehr im Stande ist, den Zwischenraum zu überbrücken, sondern unter Bildung einer dem Oeffnungsfunken entsprechenden starken Lichterscheinung plötzlich abreisst und dadurch unterbrochen wird. Die Gasblasen steigen in die Höhe, die Flüssigkeit kommt in neuen Contact mit dem nicht sehr stark erhitzten Platindraht und der Vorgang wiederholt sich so periodisch immer wieder von neuem; jede Verringerung der Selbstinduction oder jede Erhöhung der Spannung bewirkt, dass die kritische Stromstärke schneller erreicht wird und dass somit durch die schon viel frühzeitiger erfolgte Bogenbildung das durch Elektrolyse entwickelte Gas (Sauerstoff) immer mehr und mehr gegen das durch Hitzewirkung entstandene Gas zurückbleibt. Eine allzu starke Verminderung der Selbstinduction bewirkt, dass der ja immerhin heiss werdende Platindraht keine Zeit mehr hat, sich abzukühlen. Die Flüssigkeit trifft beim Zusammenfallen den heissen Draht und es entsteht nun die von Hrn. F. Richarz<sup>1)</sup> als Leidenfrost'sches Phänomen bezeichnete Erscheinung. Dass trotz scheinbarem sofortigen Eintrittes des Stromumschlages, wenn keine Selbstinduction im Stromkreise vorhanden ist, doch im ersten Augen-

1) F. Richarz, Wied. Ann. 39. p. 84. 1890.

blicke des Stromschlusses ein kurzer, starker Stromstoss den Apparat durchfliesst, zeigt der kurze starke Ausschlag eines Ampèremeters im Stromkreise deutlich an.

Diese letzte Thatsache ist schon seit langem bekannt und wurde auch schon von W. Spottiswoode<sup>1)</sup> zur Construction eines Unterbrechers benutzt. Er benutzte ein gewöhnliches Unterbrechungsrad, liess jedoch die Contactfeder nicht direct auf der Peripherie des Rades schleifen, sondern er bewirkte den Contact durch einen zwischen Rad und Feder durchfliessenden Strom verdünnter Schwefelsäure. Stehen sich die Contacte gegenüber, so tritt ein kurzer Stromstoss und gleich darauf Stromumschlag ein. Hierauf wird durch den isolirenden Zwischenraum des Contactrades der Strom dann völlig unterbrochen. Beim Passiren des nächsten Contactes wiederholt sich dasselbe Spiel von neuem. W. Spottiswoode giebt an, auf diese Weise bis zu 1000 sehr regelmässigen Unterbrechungen in der Secunde gelangt zu sein.

Der Stromübergang von der activen Elektrode zum Elektrolyten ist hier nicht als Lichtbogen im gewöhnlichen Sinne des Wortes aufzufassen, sondern die Entladung hat wohl mehr den Charakter der Entladung in Geissler'schen Röhren. Das Maximum der Energie, also auch das Maximum der Wärmeentwicklung, wird an der Kathode erzeugt, in diesem Falle also am Elektrolyt, während der Platindraht relativ kühl bleibt und so immer wieder Veranlassung giebt zum Wiedereinsetzen der Erscheinung. Ist jedoch die active Elektrode negativ, so wird der Vorgang im übrigen ein ähnlicher sein, nur wird jetzt am activen Platindraht die stärkste Wärme entwickelt, und in der That schmilzt derselbe ja auch sehr schnell ab.

#### VI. Andere Formen des Unterbrechers.

Eine noch grössere Wahrscheinlichkeit gewinnt die im vorhergehenden Abschnitt gegebene Erklärung des Phänomens durch eine bei einem Versuche mit regulirbare Elektrode gemachte Beobachtung.

1) W. Spottiswoode, Proc. Roy. Soc. 25. p. 547--550. 1877; Wied. Beibl. 1. p. 295. 1877.

Bei einem Versuche gebrauchte ich behufs bequemer Regulirfähigkeit der activen Elektrode die in Fig. 14 gezeichnete Anordnung. In ein Gefäss *A*, gefüllt mit verdünnter Schwefelsäure, in dem am Boden eine Bleiplatte *B* mit Zuleitung als negative Elektrode lag, tauchte von oben ein Glasrohr *C*, das mit seinem eng ausgezogenen Ende in die Schwefelsäure eintauchte. Innerhalb dieses Rohres befand sich ein Kupferdraht *D* mit angelöthetem Platindraht *E* als active Elektrode. Durch Herausziehen des Drahtes *D* war man in der Lage, den Strom beliebig zu schwächen, während der Apparat in Thätigkeit war.

*Es ergab sich nun im Verlaufe des Versuches die sonderbare Thatsache, dass der den Apparat durchfließende Strom auch noch*

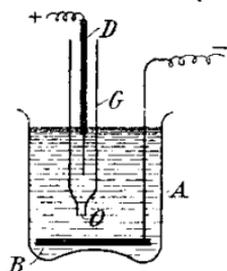


Fig. 14.

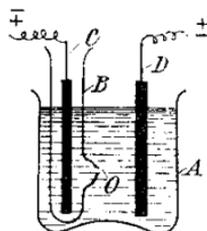


Fig. 15.

*scharf und exact unterbrochen wurde, wengleich der Platindraht E sich ganz innerhalb des Rohres C befand (Fig. 14). Die Leuchterscheinung war hingegen nicht mehr am Platindraht, sondern jetzt an der Mündung O des Rohres C.*

So sonderbar diese Erscheinung im ersten Augenblicke scheint, so ist sie doch genau identisch mit dem Vorgang an der activen Elektrode im Unterbrecher, nur dass jetzt das an der Mündung entstehende Gas reines Knallgas ist, da ja kein durch Elektrolyse abgeschiedenes Gas dort entsteht. Der dünne Flüssigkeitsfaden an der Mündung *O* wird durch den Strom erhitzt und zu Dampf verwandelt. Dieser leitet wiederum den Strom unter Zersetzung des Elektrolytes und führt schliesslich zum Abreißen des Stromes, genau wie beim elektrolytischen Unterbrecher.

An dieser Stelle erwähne ich noch, dass während des Stromdurchganges durch die von der Oeffnung *O* nach oben

steigenden Gase beständig Flüssigkeit in die Röhre gepumpt wird. Dieselbe steigt daher sehr schnell in dem Rohr und fliesst schliesslich oben über.

Der Gedanke, auch diese Form des elektrolytischen Unterbrechers praktisch zu benutzen, scheidet leider an dem sehr grossen Widerstande, den diese Form dem Strome darbietet. Eine etwas günstigere Form zeigt Fig. 15. In einem Gefäss *A* mit verdünnter Schwefelsäure befindet sich ein Reagenzglas *B* mit einer kleinen seitwärts aufgeblasenen Oeffnung *O*. Eine Elektrode aus Bleidraht *C* taucht in das Reagenzglas *B*, eine gleiche zweite in das Gefäss *A*.

Ein Inductorium von 30 cm Funkenlänge mit diesem Unterbrecher betrieben, gab recht gute Wirkungen. Bei ca. 40 Volt sprach er an; bei 96 Volt gestattete er die normale Funkenlänge bei ca. 50—60 Unterbrechungen in der Secunde zu erreichen.

Die Vortheile dieser Form des Unterbrechers sind kurz folgende:

1. *Auf die Polarität der Elektroden braucht im allgemeinen nicht geachtet zu werden. Es ist gleichgültig, welche der Elektroden positiv oder negativ ist.*

2. *Der Strom wird auch unterbrochen, wenn keine Selbstinduction im Stromkreise ist, da ja ein Stromumschlag, wie er weiter oben beschrieben ist, nicht eintreten kann. Diese Eigenschaft ist allerdings geeignet, dieser Form des Unterbrechers einige Anwendungen zu verschaffen. Bemerkenswerth ist der Unterschied der Erscheinung an der Rohrmündung mit und ohne Selbstinduction im Stromkreise. Bei Vorhandensein derselben tritt die durch den Oeffnungsfunken bedingte Leuchterscheinung ein, wogegen ohne Selbstinduction kein oder doch nur ein sehr schwaches Leuchten bemerkbar ist.*

Die Leuchterscheinung bei Anwesenheit von Selbstinduction ist etwas verschieden, je nach der Richtung, in der der Strom den Apparat durchfliesst. Fliesst der Strom bei dem Apparat (Fig. 15) von der Elektrode *C* nach *D*, das heisst, tritt er also aus dem Reagenzglas heraus, so ist die Leuchterscheinung durch verbrennendes Natrium bedeutend lebhafter gelb gefärbt, als wenn der Strom in der umgekehrten Richtung fliesst. Diese Thatsache weist darauf hin, dass im ersteren Falle die Rohr-

mündung (sie liegt in diesem Falle wieder auf der Kathodenseite des Stromüberganges in den heissen Dämpfen) stärker abgenutzt wird, als im letzteren Falle.

Diesen eben geschilderten Vorthellen stehen nun leider solche Nachtheile gegenüber, dass für die weitaus meisten Fälle die ursprüngliche Form des elektrolytischen Unterbrechers benutzt werden muss. Die Nachtheile sind kurz folgende:

1. Die Unterbrechungen erfolgen viel langsamer.
2. Der Unterbrecher besitzt einen sehr hohen Eigenwiderstand, sodass er erst bei sehr viel höheren Spannungen anspricht, als die gewöhnliche Form des Unterbrechers. So spricht z. B. die in Fig. 14 gezeichnete Form erst bei 80 Volt, die in Fig. 15 erst bei ca. 40 Volt an bei Benutzung eines Inductoriums, das mit dem eigentlichen elektrolytischen Unterbrecher betrieben, schon bei 12 Volt Funken giebt.
3. Die Glaswände der Mündung *O* (Fig. 15) sind einer sehr schnellen Zerstörung ausgesetzt. Man kann die Zerstörung jedoch etwas einschränken durch geeignete Wahl der Stromrichtung im Apparat.

#### VII. Construction des Unterbrechers.<sup>1)</sup>

Nachdem im Vorhergehenden die bei der Wirksamkeit des elektrolytischen Unterbrechers auftretenden Erscheinungen beschrieben, der Einfluss verschiedener Umstände erörtert und der Versuch einer Erklärung gemacht ist, sei im folgenden die Construction des Unterbrechers genauer beschrieben:

Die im ersten Theile der Arbeit beschriebene Construction der activen Elektrode (Platindraht in Glas eingeschmolzen, Stromzuführung durch Quecksilber bewirkt) leidet an dem grossen Nachtheil, dass die Einschmelzstellen sehr leicht springen. Während diese Form der activen Electrode zu Messungen allerdings die geeignetste ist, hat sich für länger anhaltende Versuche bisher folgende Form als sehr brauchbar erwiesen.

Ein mit einer Klemme *a* (Fig. 16) versehener starker Kupferdraht *b* ist an seinem unteren Ende zweimal recht-

1) Die Ausführung, sowie den Vertrieb des Unterbrechers haben die Firmen Ferdinand Ernecke, Berlin, und die Actiengesellschaft Siemens & Halske, Berlin, übernommen.

winklig umgebogen. An das Ende desselben ist der Platindraht *c* hart angelöthet. Ueber das untere, zweimal gebogene Ende des Kupferdrahtes ist ein Stückchen eines sehr starkwandigen Gummischlauches *d* geschoben. Die innere Weite des Gummischlauches muss so eng sein, dass derselbe den Kupferstab ganz dicht umschliesst, da anderenfalls Säure am Kupferstab entlang getrieben wird, um schliesslich aus der Mündung des isolirenden Glasrohres *e* springbrunnenartig hervorgeschleudert zu werden. Der Platindraht *c* wird von einem Glasrohr *f* umgeben, das an einem Ende durch Ausziehen so verengt ist, dass es den Platindraht zwar eng umschliesst, ihm jedoch noch so viel Freiheit lässt, dass durch mehr oder weniger Einschieben des Glasrohres (*e*) in den Gummischlauch *d* ein grösseres oder kleineres Stück des Platindrahtes dem Elektrolyt ausgesetzt wird. Es ist gut, sich mehrere Glasspitzen anzu-

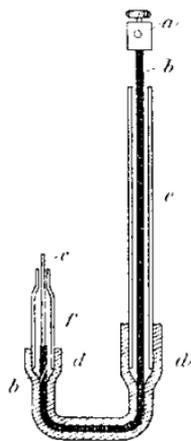


Fig. 16.

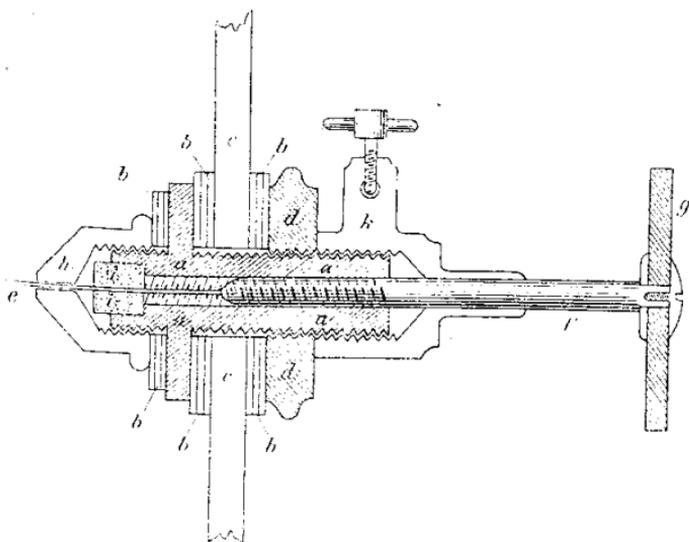


Fig. 17.

fertigen, da dieselben allmählich durch die Vorgänge an der Elektrode zerstört werden.

Eine für die Praxis sehr geeignete Form wird von der

Firma Ferdinand Ernecke in den Handel gebracht. Dieser Unterbrecher besteht aus einem viereckigen Glasgefäss mit Hartgummideckel. Als negative Elektrode dient eine Bleiplatte, die mit einer Klemme oben auf dem Deckel verbunden ist. Die active Elektrode ist seitwärts dicht über dem Boden des Gefässes eingeführt und ist regulirbar. Sie besteht aus einem Hartgummirohr (*a*) (Fig. 17), welches von der Seite, oder besser von unten durch die Gefässwand des Unterbrechers eingeführt wird. Die Abdichtung geschieht durch die Weichgummipackungen (*b*), die durch die Hartgummimutter (*d*) fest an die Gefässwand angepresst werden. Der Platindraht (*e*) ist an einen vorn mit Gewinde versehenen Kupferstab (*f*) hart angelöthet. Beim Drehen des Kupferstabes (*f*) an der Hartgummikordel (*g*) schiebt sich der Platindraht (*e*) aus einer auf das Ende des Hartgummirohres geschraubten hitze- und säurebeständigen isolirenden Spitze (*h*) heraus. Zur Vermeidung des Durchdringens der Säure durch das Hartgummirohr ist innerhalb desselben ein Gummipfropfen (*i*) angebracht. Die Stromzuführung geschieht durch die Klemme (*k*).

Die Spitze (*h*) wurde zuerst aus Speckstein hergestellt. Des leichten Springens desselben wegen wird dieselbe jetzt aus Porzellan gefertigt, was sich bis jetzt sehr gut bewährt hat. Um etwaigen Explosionen des sich im oberen Raume entwickelnden Knallgases vorzubeugen, empfiehlt es sich, das von der activen Elektrode abgeschiedene Gas getrennt von dem übrigen aus dem Unterbrecher fortzuleiten. Einer allzu starken Erwärmung der Schwefelsäure bei lang dauerndem Betrieb beugt man durch Wasserkühlung vor.

### VIII. Anwendungen des Unterbrechers.

Mit diesem Unterbrecher lässt sich eine grosse Zahl von Versuchen anstellen, die zum Theil ganz eigenartige Resultate ergeben.

#### 1. Anwendung zur Erregung von Inductorien.

Die Hauptanwendung des Unterbrechers ist bisher die zum Betriebe von Inductorien. Die Ueberlegenheit des elektrolytischen Unterbrechers gegen alle mechanischen Unterbrecher kommt jedoch erst bei Anwendung von 40—50 Volt Spannung

zur Geltung, er wird daher am vortheilhaftesten nur dort Verwendung finden, wo Anschluss an eine Lichtleitung von mindestens 65 Volt oder besser 110 Volt vorhanden ist. Während bei allen mechanischen Unterbrechern naturgemäss die Funkenlänge bei Steigerung der Unterbrechungszahl abnimmt, findet beim elektrolytischen Unterbrecher das Umgekehrte statt, die Unterbrechungszahl steigt zugleich mit der Funkenlänge bei Erhöhung der Spannung. Der Fortfall des Condensators, sowie die Möglichkeit, beliebig starke Ströme exact zu unterbrechen, werden dem Unterbrecher voraussichtlich noch ein grösseres praktisches Anwendungsgebiet eröffnen.

Das Geräusch, das der Unterbrecher macht, ist allerdings sehr lästig. Da nun nur zwei Zuleitungen zum Inductorium gebraucht werden, so empfiehlt es sich, den Unterbrecher möglichst entfernt aufzustellen.

Von den Versuchen, die ich bisher mit dem Unterbrecher in Verbindung mit Inductorien angestellt habe, seien hierunter einige kurz erwähnt:

a) Erscheinungen bei der Entladung in Luft von Atmosphärendruck.

Bei Anwendung von 110 Volt und eines Inductoriums von 30 cm Funkenlänge geht bei Abständen bis zu 15 cm zwischen Spitze und Platte ein starker, glänzender Lichtbogen über. Nimmt man statt Spitze und Platte zwei Spitzen, so steigt der Lichtbogen in der Mitte zwischen beiden Spitzen stark in die Höhe und bildet hier eine spitze, sehr heisse Flamme. Papier und Holz entflammt, dort hingehalten, sofort. Die Erscheinung ist genau dieselbe, wie man sie in kleinerem Maassstabe bei Wechselstromlichtbogen sehr hoher Spannung wahrnimmt.

Entfernt man Spitze und Platte über 15 cm hinaus, so geht die Entladung in Form von ausserordentlich glänzend, gewebeartig verschlungenen Funken über.

Das hier benutzte Inductorium von 30 cm Funkenlänge scheint besonders günstig für den elektrolytischen Unterbrecher zu sein. Schon bei Anwendung von 6 Accumulatoren, also ca. 12 Volt, spricht der Unterbrecher, allerdings unregelmässig, an. Die Funkenlänge beträgt bis zu 5 cm. Bei 24 Volt ist die Unterbrechungszahl und auch Funkenlänge schon dem

schnell schwingenden Deprezunterbrecher ebenbürtig. Die maximale Funkenlänge ist von ungefähr 40 Volt an zu erreichen.

Bedeutend ist die Steigerung der Leistungsfähigkeit kleinerer Inductorien. So gestattete z. B. ein Inductorium für maximal 3 cm Funkenlänge zwischen Spitze und Platte einen Lichtbogen von 10,5 cm Länge zu ziehen, bei Anwendung von 110 Volt Betriebsspannung.

Bei grösseren Inductorien für 50 cm und für 70 cm Funkenlänge ist allerdings nicht mehr die normale Funkenlänge zu erzielen.

Ältere Inductorien haben meist eine zu dickdrähtige Secundärbewicklung, sodass bei starker Belastung derselben die Selbstinduction der Primärspule so verringert wird, dass im Unterbrecher Stromumschlag eintritt. Es empfiehlt sich, für solche Fälle einen inductiven Widerstand vorzuschalten.<sup>1)</sup>

#### b) Erscheinungen in gasverdünnten Räumen.

Lässt man die Entladung eines 30 cm Inductoriums durch eine ca. 1 m lange, 4 cm weite Röhre mit aufgekitteten metallenen Endplatten als Elektroden bei so hohen Drucken gehen, dass nur ein ganz schmales, rothes positives Lichtband vorhanden ist, so ist, von der Seite gesehen, oft eine wellenförmig fluthende Bewegung desselben zu beobachten, die beim Betrachten in Richtung der Rohraxe schraubenförmig gewunden erscheint.

Die Lichtemission von Geissler'schen Röhren ist sehr stark, jedoch darf man dieselben nur kurze Zeit eingeschaltet lassen, da sie sich sehr stark erhitzen und auch die Elektroden sehr leicht schmelzen.

Betrachtet man eine solche Spectralröhre im rotirenden Spiegel, so bemerkt man, dass die sehr breiten, hellen Bilder (die grosse Breite lässt auf eine sehr lange Dauer der Entladung schliessen) immer paarweise sehr dicht mit einem ganz schmalen, dunklen Zwischenraum zusammen liegen. Die ein-

1) Die Firma Ferdinand Ernecke, Berlin, fertigt für diesen Zweck Kurbelwiderstände aus Eisendraht an. Die letzten Contacte des Widerstandes sind mit auf Eisenstäben gewickelten Kupferspulen verbunden.

zehn Paare sind durch einen etwas breiteren dunklen Zwischenraum voneinander getrennt. Diese Erscheinung ist erklärlich durch das rasche Aufeinanderfolgen von Stromabfall und Stromanstieg, während bis zu dem darauffolgenden Abfall relativ mehr Zeit vergeht.

c) Verwendung zur Erzeugung von Röntgenstrahlen.

Grössere Schwierigkeiten stellten sich zuerst der Anwendung des Unterbrechers zur Erzeugung von Röntgenstrahlen entgegen. Die bisher gebrauchten Röhren hielten die grossen Energiemengen nicht aus. Sowohl die Antikathoden, als auch die Kathoden selbst schmolzen schon im Bruchtheil einer Secunde weg. Durch das liebenswürdige Entgegenkommen der Firma Ferdinand Ernecke war es mir möglich, Röntgenröhren mit stark hinterlegten Antikathoden, sowie besonders starken Kathoden zu probiren, welche die Entladungen längere Zeit auszuhalten vermögen.

Hrn. Dr. B. Donath, welchem ich an dieser Stelle für seine Bemühungen meinen besten Dank sage, ist es gelungen, in meinem Laboratorium mit Hülfe eines Funkeninductoriums von 30 cm Funkenlänge und des elektrolytischen Unterbrechers, vorzügliche photographische Aufnahmen des Brustkorbes in Bruchtheilen einer Secunde, sowie des Beckens einer erwachsenen Person in wenigen Secunden zu erzielen.<sup>1)</sup>

Wichtig für die Technik der Röntgendurchleuchtungen ist noch die Möglichkeit, ganz kleine Inductorien zum Betriebe von Röntgenröhren zu benutzen. So gab z. B. ein kleines Inductorium von normal 2—3 cm Funkenlänge in Luft einen Lichtbogen von 10,5 cm Länge, und gestattete mit einer Röntgenröhre schon vorzügliche Durchleuchtung der Extremitäten erwachsener Personen.

d) Anwendung für die Erzeugung von Metallspectren.

Die Entladungen einer zum Inductorium parallel geschalteten Leydener Flasche zwischen Cadmiumspitzen giebt ein sehr starkes Licht. Das Spectrum mit Quarzlinse und Prisma auf

<sup>1)</sup> Näher beschrieben in dem Buche des Hrn. Dr. B. Donath: „Die Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen und ihr Gebrauch“, Berlin 1899. Verlag von Reuther & Reichard.

einen Baryumplatincyanschirm projicirt war weit in das ultraviolette Gebiet zu verfolgen. Die grosse Lichtstärke wird voraussichtlich die Spectraluntersuchungen im Ultraviolett wesentlich erleichtern.

e) Anwendung zur Ozonerzeugung.

Die Eigenschaft des Unterbrechers, keine Zeit für die inductive Wirkung unbenutzt zu lassen, kommt der technischen Ozonerzeugung sehr zu statten. Wählt man am Inductor sehr geringe Funkenlänge, jedoch äusserst schnelle Unterbrechungen, so ist die Ozonerzeugung ausserordentlich stark. Auch beim Einschalten zu harter Röntgenröhren wird durch die an den Zuleitungsdrähten auftretenden starken Büschelentladungen so lebhaft Ozon erzeugt, dass es sich für den Experimentirenden sehr unangenehm fühlbar macht.

f) Verwendung für die Teslaversuche.

Die gewöhnliche Anordnung mit einer Leydener Flasche hat sich nicht bewährt. Man erhält eigenthümlicher Weise nur sehr schwache Wirkungen am Teslitransformator. Die Leydener Flasche absorbiert bei so hohen Unterbrechungszahlen alle Energie, was sich auch durch eine sehr schnelle Erwärmung des Glases bemerkbar macht. Vortheilhafter ist es, zwei Leydener Flaschen in Hintereinanderschaltung zu verwenden. Man verbindet die Aussenbelegung zweier Flaschen mit der Primärspule des Teslaapparates. Die Innenbelegungen verbindet man einerseits mit dem Inductorium unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke zwischen Spitze und Platte, um nur die Oeffnungsströme zu verwenden, andererseits mit einer Zinkkugelfunkenstrecke. Die Effecte an der Teslaspule sind dann schon bei Anwendung kleiner Inductorien ganz hervorragende.

g) Anwendung für die Telegraphie nach Marconi.

Die Einfachheit in der Behandlung, sowie die sofortige Betriebsbereitschaft machen den Unterbrecher auch für dieses Gebiet besonders geeignet, zumal da er nicht wie die Motorunterbrecher auch während der Pausen zwischen den einzelnen Zeichen Energie verbraucht.

## 2. Anwendung des Unterbrechers zu den Versuchen von Elihu Thomson.

Die bekannten Abstossungsversuche durch Phasenverschiebung von Elihu Thomson, die bisher nur mit Wechselstrom angestellt wurden, lassen sich in ebenso vollkommener Weise mit Hilfe des Unterbrechers mit Gleichstrom anstellen. So konnte von einem ca. 40 cm langen Kern aus weichen Eisendrahnten mit einer kleinen Spule ein Aluminiumring ca. 1 m hoch emporgeschleudert werden. Die angewandte Spannung betrug dabei 110 Volt, der Strom 5—6 Ampères.

## 3. Versuche mit Transformatoren.<sup>1)</sup>

Die hohe effective Spannung an den Klemmen einer Spule mit Selbstinduction beim Betriebe mit dem elektrolytischen Unterbrecher findet ihre Erklärung in der eigenartigen Stromkurve des Unterbrechers. Im Augenblick der Stromunterbrechung muss bei der Schnelligkeit des Stromabfalles eine ganz bedeutende Spannung durch die Selbstinduction entstehen. Diese im Verein mit der durch den Schliessungsstrom an den Klemmen der Spule vorhandenen Spannung genügt vollkommen zur Erklärung der hohen effective Klemmenspannung, ohne Annahme eines besonderen Resonanzphanomens.

Diese Erhöhung der effective Klemmenspannung bewirkt bei Anwendung des Unterbrechers in Verbindung mit Wechselstromtransformatoren eine scheinbare Vergrösserung des Transformationsverhaltnisses. So gab z. B. ein Transformator mit dem Uebersetzungsverhaltniss 1 : 10 bei Anwendung von primär 110 Volt an den Klemmen der Secundarwicklung nicht eine Spannung von 1100 Volt, sondern von etwas über 2200, also einem Transformationsverhaltniss 1 : 20 entsprechend. Da jedoch die primäre Klemmenspannung auch über 220 Volt beträgt trotz der angewandten 110 Volt, so bleibt das Transformationsverhaltniss doch dasselbe wie bei Anwendung eines reinen Wechselstromes.

Transformirt man den durch den ersten Apparat herauftransformirten Strom durch einen gleichen zweiten wieder herunter und belastet diesen zweiten Transformator durch

<sup>1)</sup> A. Wehnelt, l. c.; P. Spiess u. A. Wehnelt, l. c.

successives Einschalten von Glühlampen, so ändert sich aus den oben schon mehrfach angedeuteten Gründen die Unterbrechungszahl (Tonhöhe) des Unterbrechers. Durch passende Auswahl der Glühlampen (8, 16, 25 oder 32 kerzige Lampen) kann man erreichen, dass mit jedem Zuschalten einer geeigneten Glühlampe sich der Ton des Unterbrechers um einen ganzen Ton erhöht und man kann somit gewissermaassen aus dem Unterbrecher ein musikalisches Instrument herstellen, dessen Töne indess nichts weniger als rein sind, sondern das ein recht unangenehmes Geräusch allerdings von musikalisch definirbarer Tonhöhe von sich giebt.

Charlottenburg, im April 1899.

(Eingegangen 22. April 1899.)