DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXXXIII.

I. Ueber die geringste elektromotorische Kraft, durch welche ein galvanischer Lichtbogen hervor- gebracht werden kann; von E. Edlund.

(Vorgetragen in der K. Schwedischen Akademie der Wissenschaften, den 11. December 1867.)

1. **W**enn man die Leitung zwischen den Polen einer starken galvanischen Batterie abbricht und sich dabei ein Lichtbogen an der Abbruchsstelle bildet, so wird, wie bekannt, die Stromstärke bedeutend geringer als wenn die Leitung ununterbrochen ist und kein Lichtbogen existirt. Man hat bis jetzt angenommen, daß die starke Verminderung der Stromstärke, welche hierbei stattfindet, daher komme, daß der Lichtbogen einen großen Widerstand gegen die Fortpflanzung des Stromes verursache. Man hat gefunden, daß dieser Widerstand mit der Länge des Bogens wächst. In einer vorhergehenden Arbeit¹⁾ habe ich auf experimentellem Wege bewiesen, daß wenn man in die Leitung einen gewöhnlichen Widerstand einfügt, der dieselbe Verminderung der Stromstärke verursacht als der Lichtbogen allein, es sich zeigt, daß dieser Widerstand aus

1) Pogg. Ann. Bd. 131, S. 586. — In dieser Abhandlung sind folgende Fehler zu berichtigen:

S. 586 Z. 8 v. u. lies: Untersuchungen statt: Wirkungen

S. 588 letzte Zeile lies: T²⁴ statt: T³⁴

S. 590 Z. 17 v. o. lies: des statt: seines

S. 597 Z. 13 v. o. lies: 12,285 statt: 15,285

S. 604 erste Zeile lies: 1155 statt: 1150

S. 604 Z. 10 v. u. lies: 20000 statt: 2000

S. 606 Z. 10 v. o. lies: do. 4 do. statt: do. do.

S. 606 Z. 11 v. o. lies: do. 2 do. statt: do. do.

zwei Theilen besteht, von welchen der eine ganz unabhängig von der Länge des Lichtbogens und in seiner Gröfse unveränderlich ist, so lange die Stromstärke dieselbe bleibt. Der andere Theil des Widerstandes wächst proportional mit der Länge des Lichtbogens, vorausgesetzt, dafs man, wenn man die Länge des Bogens wachsen läfst, so viel von dem Leitungs-Widerstande fortnimmt, dafs die Stromstärke dadurch nicht vermindert wird. Nennt man also den ersten Theil des in Frage stehenden Widerstandes a , und den andern Theil, einem Lichtbogen von der Einheitslänge entsprechend, b , so ist der auf diese Weise gemessene Widerstand des Lichtbogens, wenn dessen Länge n Längen-Einheiten beträgt, gleich mit $a + nb$. Aus dem experimentellen Theile der genannten Untersuchung geht hervor, dafs a umgekehrt proportional der Stromstärke ist. Es ist also leicht, die Gröfse von a für eine gewisse Stromstärke zu berechnen, sobald ihr Werth für eine andere bekannt ist. Der Widerstand b nimmt ebenfalls an Gröfse zu, wenn die Stromstärke abnimmt, obgleich das Gesetz für dieses Zunehmen durch die angestellten Versuche nicht heraus gefunden werden konnte, weil b für die angenommene Längen-Einheit seiner Gröfse nach so gering im Vergleich mit a war, dafs keine genauere Messungen in dieser Hinsicht angestellt werden konnten.

Wenn man also die Länge des Lichtbogens wachsen läfst, ohne dafs man dabei durch Verminderung des übrigen Leitungs-Widerstandes die Stromstärke constant hält, so wird die Stromstärke aus zwei Gründen vermindert: erstens wächst die Quantität $a + nb$ dadurch, dafs n vergrößert wird, auch wenn a und b unveränderlich wären, und zweitens nehmen a und b an Gröfse zu, wenn die Stromstärke vermindert wird.

Schon der Umstand, dafs a unabhängig von der Länge des Lichtbogens ist, macht dessen Widerstands-Natur verdächtig. Man würde nämlich auf diese Art einen galvanischen Leitungs-Widerstand gefunden haben, welcher, von andern Leitungs-Widerständen verschieden, unabhängig von

der Leitungs-Länge wäre. Wie ich in der genannten Arbeit gezeigt habe, kann man auch mit Hülfe der Grundsätze der mechanischen Wärme-Theorie an den Tag legen, daß die dem a entsprechende Verminderung der Stromstärke *nicht* durch einen Widerstand verursacht wird, sondern von einer elektromotorischen Kraft, die in entgegengesetzter Richtung gegen den Hauptstrom einen Strom sendet. Berechnet man nun die GröÙe der elektromotorischen Kraft, welche eine eben so groÙe Verminderung der Stromstärke hervor zu bringen vermag, als der gegen die Stromstärke umgekehrt proportionale Widerstand a , so findet man, daß diese elektromotorische Kraft (D) unabhängig von der Stromstärke ist. Aber diese Schlussfolge, daß D unabhängig von der Stromstärke, oder mit andern Worten, daß a umgekehrt proportional gegen dieselbe ist, gründet sich auf Versuche, die mit starken Strömen angestellt wurden. Es waren nämlich practische Schwierigkeiten dabei, den Lichtbogen während einer längeren Zeit constant zu halten, wenn die Stromstärke schwach war. Deshalb könnte es leicht möglich seyn, daß D nur bis zu einer gewissen Gränze der Stromstärke constant wäre, aber dagegen mit der Stromstärke variirte, sobald man unter diese Gränze käme. Dieses schien mir sogar nicht unwahrscheinlich zu seyn, besonders da das Verhalten anderer gleichartiger Phänomene ein solches ist, z. B. das der galvanischen Polarisationskraft, welche, wie bekannt, so lange mit der Stromstärke wächst, bis diese eine gewisse Gränze erreicht, worauf diese Kraft constant wird. Ich beschloß deshalb einige neue Beobachtungen anzustellen.

2. Da die Methode, welche in meiner früheren Arbeit angewandt wurde, um D zu bestimmen, aus den angeführten Gründen nicht anwendbar ist, wenn die Stromstärke schwach wird, so mußte bei diesen Versuchen ein anderes Verfahren benutzt werden. Wenn D wirklich constant und von der Stromstärke unabhängig ist, so ist es unmöglich einen Lichtbogen zu erhalten, wenn man die elektromotorische Kraft (E) der Säule so viel verringert, daß E gleich groß mit D

wird. Die Summe der elektromotorischen Kräfte der ganzen Kette ist dann gleich Null und deshalb muß der Strom aufhören. Aber schon ehe E bei der Verringerung diese Gränzen erreicht, muß die Unmöglichkeit einen Lichtbogen zu bilden, eintreten, weil zu dessen Bildung eine gewisse Stromstärke erforderlich ist, deren Gröfse theilweise auf äufsern Verhältnissen, als die Form der Polflächen, die Länge des Bogens usw. beruht. Wenn es sich nun zeigen sollte, daß ein Lichtbogen hervorgebracht werden kann, wenn E eben so groß oder geringer als derjenige Werth von D ist, der bei Versuchen mit stärkeren Strömen erhalten wird, so muß dieses als ein sicherer Beweis angesehen werden, daß D bei schwächeren Strömen abhängig von deren Gröfse ist.

Der galvanische Lichtbogen wird dadurch charakterisirt, daß von dem Strome materielle Partikel von der einen Polfläche zu der andern hinüber geführt werden, und daß die galvanische Leitung gröfstentheils durch diese Partikel bedingt wird. Es ist oft schwer, durch die äufsere Beschaffenheit des Licht-Phänomens mit voller Sicherheit bestimmen zu können, inwiefern ein wirklicher Lichtbogen existire oder nicht. Bei wirklichem, wenn auch unvollkommenem Contact zwischen den Polflächen kann das Glühen und die Verbrennung, welche ersterem meistens folgt, wenn der Versuch in atmosphärischer Luft angestellt wird, so lebhaft werden, daß das Phänomen dasselbe Aussehen bekommt, als ob ein wirklicher Lichtbogen da wäre. Es ist daher leicht einen Irrthum in dieser Hinsicht zu begehen, wenn man bei der Beurtheilung nur das äufsere Aussehen zu Hülfe nimmt. Um dergleichen Irrthümer zu vermeiden, wurde eine Wippe mit einer Nebenleitung in den einen der Leitungs-Drähte gesetzt, die von der Säule kamen und den Strom zu der Stelle leiteten, wo der Lichtbogen gebildet werden sollte. Bei einigen Versuchen befand sich in der Nebenleitung eine Tangentenbussole und bei den übrigen eine Sinusbussole. In der einen Lage der Wippe war die Hauptleitung geschlossen und die Nebenleitung offen; in der andern war das Ver-

hältniß umgekehrt, und der Strom konnte dann im letzteren Falle durch die Nebenleitung, die Abbruchsstelle in der Hauptleitung umgehen. Wenn das Licht-Phänomen zwischen den Polflächen so lebhaft war, daß es einem wirklichen Lichtbogen glich, so wurde die Wippe aus der ersten Lage in die andere geworfen. Während des Umwerfens der Wippe war die Leitung so lange ganz unterbrochen, daß der Lichtbogen Zeit hatte zu erlöschen. Waren die Polflächen im Contact, so machte die Magnetnadel nach dem Umwerfen einen Ausschlag, und mitunter begannen die Polspitzen von neuem zu glühen; war das Licht-Phänomen hingegen durch einen wirklichen Lichtbogen verursacht, so blieb die Magnetnadel in Ruhe. Dieser Methode, um zu untersuchen, ob ein wirklicher Lichtbogen existirte oder nicht, bedurfte es natürlicherweise nur dann, wenn die Stromstärke schwach und der Lichtbogen so kurz war, daß man direct nicht deutlich sehen konnte, ob die Polspitzen unzertrennt von einander waren.

Die Versuche wurden auf folgende Weise angestellt: Nachdem die elektromotorische Kraft der Säule und der Widerstand, wenn die Polspitzen zusammen geschoben waren, auf die gewöhnliche Art bestimmt waren, wurde die elektromotorische Kraft D im Lichtbogen nach denselben Regeln gemessen, wie in meiner frühern Arbeit angegeben ist. Die Polspitzen waren zu diesem Zwecke in einen Polhalter gesteckt, welcher in die Foucault'sche Laterne gestellt wurde, und die Länge des Lichtbogens wurde durch Messung des auf die Wand-Skale projecirten Bildes desselben bestimmt. Darauf wurde der Polhalter aus der Laterne genommen, und an den Tisch fest geschraubt, worauf die elektromotorische Kraft der Säule durch die Fortnahme einer größern oder kleinern Anzahl Elemente successive vermindert wurde. Bei jeder Verminderung der elektromotorischen Kraft wurde versucht, ob ein Lichtbogen gebildet werden konnte, und damit wurde fortgefahren, bis die Gränze erreicht war. Als Rheostat wurde der früher angewandte parallelepipedische Holzkasten benutzt, welcher theilweise

mit einer Auflösung von Kupfervitriol gefüllt war.¹⁾ Bei allen folgenden Versuchen war die Verbindungslinie zwischen den Polspitzen horizontal; bei denen in meinem Aufsatze angeführten dagegen vertical.

3. Serie 1.

Versuch 1. Die Säule bestand aus 66 Elementen von Bunsen's Construction. Zu Polspitzen wurde Kohle von harter Beschaffenheit angewandt. Wenn die Polspitzen in Contact waren und ein Zoll des Rheostats in die Leitung eingesetzt war, blieb die Tangentenbussole im Mittel auf $56^{\circ} 26'$ stehen, und wenn 10 Zoll eingesetzt waren, auf $38^{\circ} 30'$. Hieraus kann man berechnen, daß der ganze Widerstand (M) außer dem Rheostat $= 9,067$, und der Säule elektromotorische Kraft (E) $= 15,171$, wobei die elektromotorische Kraft zur Einheit genommen ist, welche einen Ausschlag von 45 Graden an der Tangentenbussole giebt, wenn der Widerstand 1 ist.

Wenn ein Lichtbogen von drei Scalentheilen Länge gebildet war, und ein Zoll des Rheostats eingesetzt, war der Ausschlag der Tangentenbussole $= 37^{\circ} 30'$, und wenn 11 Zoll des Rheostats eingefügt waren, gab sie denselben Ausschlag. Bei derselben Stromstärke erhielt man:

den Widerstand im Bogen von 2 Scalentheilen $= 8,9$
do. do. 1 . do. $= 7,7$.

Hieraus erhielt man $a = 6,6$ und $b = 1,15$. Darauf wurde die elektromotorische Kraft der Säule und der Widerstand in der Leitung, ohne den Rheostat, von neuem untersucht, und es ward gefunden: $M = 8,527$ und $E = 15,730$. Während dieses Versuches war also im Mittel $M = 8,797$ und $E = 15,451$.

Auf diese Weise wird $D = \frac{6,6}{19,797} = 0,3334$. $E = 5,15$.

Versuch 2. 30 Elemente. Mit diesen erhielt man einen deutlichen Lichtbogen. M war bei diesem Versuche $= 3,41$ und $E = 7,20$.

1) An allen folgenden Versuchen nahm Hr. Magister Lemström aus Helsingfors Theil.

Versuch 3. 25 Elemente. Diese gaben mitunter einen deutlichen Lichtbogen. $M = 2,96$ und $E = 6,00$.

Versuch 4. 20 Elemente. Mit diesen Elementen glückte es nicht, irgend einen Lichtbogen hervor zu bringen, obgleich die Kohlenspitzen zwischendurch in lebhaftes Glühen geriethen, welches dem Aeußern nach einem solchen glich. $M = 2,58$ und $E = 4,60$.

Serie 2.

Die Polspitzen waren von Messing, welches ungefähr 37 Proc. Zink enthielt.

Versuch 5. Die Säule bestand aus 66 Elementen. $M = 9,25$ und $E = 17,26$.

Als ein Zoll des Rheostats in die Leitung eingesetzt war, und die Länge des Lichtbogens 3 Scalentheile betrug, stand die Tangentenbussole auf 52° . Bei dieser Stromstärke wurde gefunden:

Die Länge des Bogens 3 Scalentheile; dessen

Widerstand $= 2,8$.

Die Länge des Bogens 2 Scalentheile; dessen

Widerstand $= 2,6$.

Hiernach erhält man: $a = 2,2$ und $b = 0,2$.

Darauf wurde der Widerstand und die elektromotorische Kraft wieder bestimmt, die sich erwiesen als: $M = 10,71$ und $E = 18,57$.

Im Mittel waren also bei diesem Versuche: $M = 9,98$ und $E = 17,92$.

Hier wird berechnet: $D = \frac{2,2}{13,78} \cdot E = 0,1597 \cdot E = 2,86$.

Versuch 6. 20 Elemente. Mit diesen erhielt man einen deutlichen Lichtbogen. $M = 1,56$ und $E = 3,65$.

Versuch 7. 15 Elemente. Mit dieser elektromotorischen Kraft konnte noch ein deutlicher Lichtbogen hervorgebracht werden. Bei diesem Versuche war $M = 0,84$ und $E = 2,65$.

Versuch 8. Bei diesem Versuche wurden nur 10 Elemente angewandt, aber mit diesen konnte kein Bogen zu Stande kommen. Der Widerstand und die elektromotori-

sche Kraft wurden gemessen und erwiesen sich als: $M = 0,32$ und $E = 1,60$.

Serie 3.

Zu Polspitzen wurde in dieser Serie Kohle genommen, welche aus einer zerschlagenen Säule-Kohle gesägt war. Sie schien weicher zu seyn als die Kohle, welche in der Serie 1 benutzt war.

Versuch 9. Die Säule bestand aus 66 Elementen. Beim Messen erwies sich $M = 7,56$ und $E = 13,48$.

Als 2 Zoll des Rheostats in die Leitung eingefügt waren, und ein Lichtbogen von 4 Scalentheilen gebildet war, zeigte die Tangentenbussole einen Ausschlag von 34° . Bei derselben Stromstärke erwies sich:

die Länge des Bogens = 4 Scalentheile; dessen

Widerstand = 11,0.

die Länge des Bogens = 4 Scalentheile; dessen

Widerstand = 9,5.

Hierdurch erhält man: $a = 8,0$ und $b = 0,75$.

Dann wurde die elektromotorische Kraft und der Widerstand von neuem gemessen; die erstere, E war $= 15,34$ und der letztere, $M = 8,51$. Im Mittel war also bei diesem Versuch $M = 8,04$ und $E = 14,41$. Hiernach kann man berechnen: $D = \frac{8}{21,04} \cdot E = 0,380 \cdot E = 5,48$.

Versuch 10. Von der Säule wurden 25 Elemente angewandt, welche einen deutlichen Lichtbogen gaben. M erwies sich gleich 2,55, und $E = 5,49$.

Versuch 11. Die Säule bestand aus 20 Elementen, aber mit diesen konnte kein Lichtbogen hervorgebracht werden. M wurde gemessen und erwies sich als $= 1,99$ und $E = 4,23$.

Serie 4.

Zu Polspitzen wurden Kupferdrähte angewandt.

Versuch 12. Die Säule bestand aus 66 Elementen. Deren elektromotorische Kraft erwies sich als $= 16,35$ und der Leitungs-Widerstand $M = 8,45$.

Als 2 Zoll des Rheostats in die Leitung gefügt waren, und die Länge des Lichtbogens 4 Scalentheile betrug, war der Ausschlag der Tangentenbussole $46^{\circ} 30'$. Bei derselben Stromstärke erwies sich:

die Länge des Bogens 4 Scalentheile; dessen	
Widerstand	$= 4,9$.
die Länge des Bogens 2 Scalentheile; dessen	
Widerstand	$= 4,6$.

Hieraus ergibt sich $a = 4,3$ und $b = 0,15$.

Darauf wurde die elektromotorische Kraft und der Widerstand gemessen. Dabei erhielt man $M = 9,84$ und $E = 17,83$. Im Mittel war also bei diesem Versuche $M = 9,14$ und $E = 17,09$.

Hiernach findet man, dafs $D = \frac{4,3}{16,04} \cdot E = 0,268 \cdot E = 4,58$.

Versuch 13. Die Säule bestand aus 20 Elementen, mit denen man einen deutlichen Lichtbogen erhielt. M war hier $= 1,56$ und $E = 4,65$.

Versuch 14. Mit den 15 Elementen, woraus die Säule bestand, konnte kein Lichtbogen hervorgebracht werden. M wurde gemessen zu 1,30 und $E = 2,98$.

Versuch 15. Dieser Versuch wurde einige Tage später als der vorhergehende, mit 20 Elementen, angestellt, und dabei ein deutlicher Lichtbogen gebildet. Beim Messen erwies sich $E =$ nur 3,51 und $M = 1,23$.

Versuch 16. Dieser folgte unmittelbar dem vorigen. Die Säule bestand aus 15 Elementen, aber mit diesen konnte kein Lichtbogen hervorgebracht werden. M war 0,86 und $E = 2,55$.

Serie 5.

Zu Polspitzen wurde Silber angewandt, welches angeblich 10 Proc. Kupfer enthielt.

Versuch 17. Zur Säule wurden dieselben 66 Elemente wie früher angewandt. Beim Messen war $M = 8,02$ und $E = 12,75$.

Als 2 Zoll des Rheostats in die Leitung gesetzt waren

und die Länge des Lichtbogens 3 Scalentheile betrug, stand die Tangentenbussole auf 43° . Bei derselben Stromstärke erwies sich:

die Länge des Bogens 3 Scalentheile; dessen

Widerstand = 4,4.

die Länge des Bogens 1 Scalentheil; dessen Wi-

derstand = 3,3.

Hiernach wird berechnet $= a = 2,75$ und $b = 0,55$.

Darauf wurde der Leitungs-Widerstand und die elektromotorische Kraft wieder bestimmt, wobei man erhielt $M = 8,67$ und $E = 14,03$. Im Mittel bekam man also bei diesem Versuche folgende Werthe: $M = 8,34$ und $E = 13,39$.

Hiernach findet man: $D = \frac{2,75}{14,74} \cdot E = 0,1865 \cdot E = 2,50$.

Versuch 18. Zur Säule wurden 15 Elemente angewandt, welche einen Lichtbogen gaben, wenn die Polspitzen zweckmäÙig geformt waren. Dabei war $M = 0,92$ und $E = 2,64$.

Versuch 19. Bei diesem Versuche wurden nur 12 Elemente angewandt. Mit diesen glückte es dann und wann einen Lichtbogen zu erhalten, besonders wenn die Pole die Form besaßen, die sie vorher durch die Einwirkung eines stärkeren Stromes erhalten hatten. Die Messungen erwiesen $M = 0,72$ und $E = 1,89$.

4. Wie sich aus dem Vorhergehenden zeigt, haben M und E bei einem und demselben Versuche nicht unbedeutend variirt. Es ist deshalb nicht möglich gewesen, den Werth von D mit der Genauigkeit, wie es wünschenswerth seyn konnte, zu bestimmen. Inzwischen dürfen diese Werthe nicht allzu fehlerhaft angesehen werden, theils weil der Leitungs-Widerstand und die elektromotorische Kraft der Säule sowohl *vor* als *nach* den Versuchen, die zu Bestimmung von D ausgeführt wurden, bestimmt wurden, weshalb ihr Mittel als gültig für die Zeit angenommen werden kann, in der die letztgenannten Observationen gemacht wurden; theils auch, weil M und E , mit Ausnahme des Verhältnisses in der Serie I. beide gleichzeitig wachsen, in Folge dessen ihre Variationen bei Bestimmung von D theilweise einander

aufheben. Beim Aufsuchen des geringsten Werthes von E , mit dem ein Lichtbogen hervorgebracht werden konnte, wurde immer eine größere Anzahl Observationen gemacht. Obgleich es bei mehreren nach einanderfolgenden Versuchen nicht glücken wollte, einen Lichtbogen zu bilden, geschah es doch zuweilen, daß es sich bei fortgesetztem Bemühen thun liefs. Oft war das Licht-Phänomen so lebhaft, daß man dem Aussehen nach glauben mußte, daß ein wirklicher Lichtbogen existire; aber wenn der Strom unterbrochen und die Leitung auf die angegebene Weise untersucht wurde, zeigte es sich, daß es ein einfaches Glühen mit Contact zwischen den Polspitzen war.

Wenn D vollständig constant und von der Stromstärke unabhängig wäre, so müßte die geringste elektromotorische Kraft, durch die ein Lichtbogen hervorgebracht werden könnte, größer seyn als D , so wie dieses aus den stärkern Strömen bestimmt wurde. Dies ist an und für sich klar, und überdies folgt es daraus, daß wenn man mit einem gewissen Werthe von E einen Lichtbogen hervorbringen kann, dieses nicht mehr glückt, wenn der Leitungs-Widerstand hinlänglich vergrößert wird. Es ist also eine gewisse Stromstärke erforderlich, um einen Lichtbogen zu bilden. Vergleicht man die angeführten Werthe von D , so wie diese durch größere Ströme bestimmt wurden, mit den Gränzwerten von E , durch die noch ein Lichtbogen zu Stande kommen konnte, so zeigt es sich, daß bei den harten Kohlspitzen in der Serie 1. die elektromotorische Kraft E der Säule größer ist als D ; aber bei allen übrigen Serien ist E entweder eben so groß oder kleiner als D . Wenn die Werthe von D aus allen fünf Serien zusammen addirt werden und auf dieselbe Weise auch die Gränz-Werthe von E , so wird die Summe im ersten Falle 20,57 und im anderen 19,57. Deshalb kann man als Resultat dieser Untersuchung den Satz feststellen, *daß D , welches sich bei starken Strömen constant erweist, bei schwächerer Stromstärke vermindert wird.*