4. *Ueber den Lichtbogen zwischen Quecksilber-electroden, Amalgamen und Legirungen; von Leo Arons.*

Um Aufschluss über die Vorgänge im Volta'schen Lichtbogen zu erhalten, schien es mir wünschenswerth, ein möglichst einfaches Electrodenmaterial unter möglichst einfachen Verhältnissen zu untersuchen. Als geeignetes Material bot sich das Quecksilber dar. Wie sich weiter unten zeigen wird, erfüllten sich meine Erwartungen nicht, doch habe ich eine Reihe interessanter Beobachtungen gemacht, die ich im Folgenden mittheilen will. Nebenbei bemerke ich, dass ich gelegentlich dieser Versuche eine ausserordentlich einfache und sehr handliche Quecksilberlichtbogenlampe construirt habe, welche zuerst in den Verhandlungen der Physik. Gesellschaft zu Berlin (XI. Jahrg. p. 55) beschrieben wurde und seitdem im Handel erhältlich ist.¹⁾

1) E. Wiedemann (Wied. Ann. 5. p. 517. 1878) macht auf die Bedeutung des Quecksilberspectrums für optische Untersuchungen aufmerksam. Er erhielt die Hg-Linien in einem Geisslerrohr, welches neben verdünntem Wasserstoff etwas Hg enthielt; erhitzt man das Rohr während des Durchganges der Entladung, so verschwinden die H-Linien, die Hg-Linien treten hervor. Eine Quecksilberlichtbogenlampe hat Way schon im Jahre 1865 construirt (Dingler's Polytechn. Journ. 157. p. 399. 1860 und l. c. 159. p. 46. 1861). Bei derselben floss Hg aus einer engen Trichteröffnung in ein weiteres Gefäss mit Hg (Strahlänge etwa 2,5—6 cm). Verband man das Hg im Trichter und in der Schale mit je einem Pol einer Bunsen'schen Batterie, so entstand an Stelle des Strahles ein glänzender Lichtbogen. Um den Materialverbrauch einzuschränken, wurde der Strahl mit einem Glasylinder umgeben. Interessant ist es, welche Erwartungen man s. Z. an diese Lampe für electriche Beleuchtungszwecke knüpfte — vor Construction der selbst regulirenden Kohlenbogenlampen. Die von mir construirt Lampe, welche keinerlei Regulirung erfordert und Materialverbrauch (damit Luftverschlechterung durch Hg-Dämpfe) absolut ausschliesst, wird von Dr. R. Muencke, Berlin NW., Louisenstr. 22, geliefert. Desgleichen eine für viele Zwecke praktische Modificirung derselben durch Prof. Lummer.

1. Ich versuchte zunächst die electromotorische Gegenkraft des Hg-Bogens und den in ihm vorhandenen Leitungswiderstand zu trennen und zwar nach der Edlund'schen Methode der Spannungsmessung bei verschiedenen Längen. Hierzu diente der in Fig. 1 skizzierte Apparat. Das Π -förmige Glasrohr H von ca. 1,5 cm Durchmesser hatte einen kurzen und einen langen Schenkel. Der kurze enthielt die unbewegliche Quecksilberelectrode; die Zu-

Fig. 1.

leitung zu derselben fand durch einen eingeschmolzenen, auch aussen von Quecksilber umgebenen Platinstift p_1 statt, wie bei der oben erwähnten Lampe. Der andere besass etwa ein Meter Länge und war unten an ein dünneres Glasrohr g angeschmolzen; das Π -förmige Rohr, welches durch den Ansatz v an der Biegung mit der Luftpumpe communicirte, wurde in das Blechgefäß B eingesetzt, sodass der lange Schenkel sich in dem bei n in einen kleinen Ansatz von B eingekitteten weiten Glasrohr G befand, während das Fortsatzrohr g einen Gummi-stopfen durchsetzte, der das Rohr G verschloss. B und G dienten dazu, die ganze Strecke, über welche der Lichtbogen sich ausdehnen sollte, durch Wasser kühlen zu können. Nachdem H in den Kühlapparat eingesetzt ist, wird g nach oben gebogen und mittels Gummischlauch mit dem T-Stück T verbunden, welches, in der Mitte kugelförmig erweitert, am Ende h einen Glashahn trägt; an das T-Stück schliesst sich weiter ein langer Gummischlauch, der am anderen Ende in das Glasgefäß Q mündet. Q wird mit Quecksilber gefüllt, in dasselbe taucht ein Platindraht p_2 als Stromzuführung. Durch die Biegung von g ist erreicht, dass Luftblasen, welche durch den Schlauch eindringen, nicht nach H gelangen können; sie sammeln sich in T und können, wenn der Quetschhahn q geschlossen wird, mittels Heben von Q durch h entfernt werden. Bei geschlossenem h und geöffnetem q kann leicht die einmalige Füllung des kurzen Schenkels von H vorgenommen und dann das Niveau im langen nach Belieben regulirt werden.

Das Wasserreservoir *B* umschloss das Lichtbogenrohr sehr eng, sodass das Wasser in *B* und *G* bald ins Kochen gerieth; erst dann liessen sich zuverlässige Beobachtungen bei langem Bogen machen. Als Stromquelle diente die Leitung der städtischen Electricitätswerke mit 105—110 Volt. Hierbei ergab sich folgendes:

a) Zwischen 5 und 9 Amp. ist das Gefälle zwischen den Electroden bei ruhigem Bogen von der Stromintensität unabhängig; je länger der Bogen wird, desto weniger darf man sich der unteren Grenze der Stromintensität nähern, ohne ein plötzliches Verlöschen befürchten zu müssen.

b) Geht man bei brennendem Bogen mit der beweglichen Electrode langsam herab, so kann man den bis zum unteren Rand des Blechgefässes bereits über 10 cm langen Bogen noch bequem um 60 cm verlängern, wenn gleichzeitig durch passendes Ausschalten von Widerstand die Stromintensität genügend hoch gehalten wird. Der Anblick der langen Lichtsäule ist prächtig und eignet sich sehr zur Demonstration; für diesen Zweck hätte man das Gefäss *B* aus Glas zu wählen, sodass der ganze $\frac{3}{4}$ m lange Bogen überblickt werden kann. Wurde die Stromstärke auf 6,5—6,6 Amp. gehalten, so ergab sich:

Bei kürzestem Bogen (bewegliche Electrode am unteren Rand des Blechgefässes)	21,3 Volt	4
Bei Verlängerung um 20 cm	34,6	13,3
" " " 40	48,2	13,6
" " " 60	61,6	13,4

Einer Verlängerung um 60 cm entspricht eine Spannungszunahme von 40,3 Volt; auf je 1 cm Bogenlänge entfällt eine Spannung von 0,67 Volt. Diese Zahl ist auffallend klein; in guter Uebereinstimmung geben Luggin¹⁾ und Lecher²⁾ folgende Werthe für die Spannungszunahme pro 1 mm bei verschiedenen Electroden an:

	C	Pt	Fe
Mittelwerth:	4,3 Volt	4,1 Volt	4,8 Volt

1) Luggin, Wien. Ber. **96**. (2) p. 759. 1887.

2) Lecher, Wied. Ann. **33**. p. 625 ff. 1888.

Die Zahlen, bei vergleichbaren Stromstärken erhalten, sind etwa 70mal grösser, als die für Hg beobachteten. Freilich dürften sich im Vacuum, wo die Electrorendämpfe nicht durch zuströmende kalte Gase beträchtlich gekühlt werden, wesentlich andere Verhältnisse ergeben. So beschreibt Stenger¹⁾ bei Kohlenelectroden eine, wenn auch nur momentane, so doch periodisch wiederkehrende Verlängerung des Bogens bis auf 3 cm. Dieselbe war freilich durch Druckzunahme in dem anfänglich evacuirten Raume bedingt; aber die Plötzlichkeit der Erscheinung deutet auf ein explosionsartiges Hervorbrechen stark erhitzter, wohl dissociirter Gase hin, die ebenso schnell sich wieder condensiren und hierbei gewiss keine Abkühlung der Bogengase herbeiführen. In der Stenger'schen Arbeit fehlt nun eine Angabe über die electromotorische Kraft der Stromquelle; meiner Erinnerung nach lieferte die damals benutzte Gramme'sche Maschine höchstens 65 Volt. Rechnen wir selbst diesen ganzen Betrag auf das Gefälle im Bogen, so erhalten wir höchstens 2,2 Volt für das Millimeter, eine Zahl, die, obwohl nur eine gewiss recht hohe obere Grenze, doch nur halb-so gross ist, als die von Luggin und Lecher gefundenen.²⁾

Unser Werth von 0,67 Volt pro Centimeter ist aber noch auffälliger, wenn wir uns erinnern, dass J. J. Thomson³⁾ für stark erhitzten Hg-Dampf ein kaum wahrnehmbares Leitungsvermögen angiebt. Freilich befindet sich der Hg-Dampf im Lichtbogen sicher auf einer viel höheren Temperatur (vgl. u.), möglicherweise trotz seiner aus gas-theoretischen Ueberlegung

1) Stenger, Wied. Ann. 25. p. 41. 1885.

2) In der citirten Arbeit macht Lecher übrigens eine weitere Mittheilung, wonach er in dem 2,5 mm langen Bogen mit einer Kohlensonde kein Potentialgefälle nachweisen konnte. In Berührung mit der Kathode zeigte die Sonde ein Potential von 46 Volt an, entsprechend der ganzen Potentialdifferenz des Bogens, dessen Anode zur Erde abgeleitet war; von der Kathode entfernt aber zeigte die Sonde, durch die ganze Länge des Bogens geführt, dauernd das Potential 36. Aber Lecher selbst hegt Bedenken gegen seinen Versuch und hält das Resultat nur für provisorisch.

3) J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) 29. p. 358 u. 441. 1890; Quecksilberdampf gab nur eine „very small deflexion indeed; much smaller even than air“.

erschlossenen Einatomigkeit¹⁾ in einem anderen Dissociationszustande, als bei einfacher Erwärmung. In der That gibt Grove²⁾ folgende Reihenfolge der Metalle, bei welcher die zuerst genannten den längsten und hellsten Lichtbogen liefern: K, Na, Zn, Hg, Fe, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Ag, Au, Pt. Da in dem Lichtbogen im Vacuumrohr das Hg sich als guter Leiter zeigt, könnte man annehmen, dass sich mit demselben eine Idee ausführen lässt, die Hittorf³⁾ für den Kaliumdampf ausgesprochen hat, dass nämlich „eine genaue Zurückführung seines Widerstandes auf die üblichen Einheiten keine Schwierigkeiten bieten wird, sobald eine Methode, ihn von bestimmter constanter Beschaffenheit zu erhalten, gefunden ist“.

In der That könnte man hier sagen: Bei einer Stromstärke von 6,5 Amp. zeigte der Hg-Dampf, welcher ein Rohr von 1,5 cm Durchmesser erfüllte, auf eine Länge von 1 cm ein Potentialgefälle von 0,67 Volt; sein spezifischer Widerstand s bezogen auf Quecksilber von 0° berechnet sich demnach aus

$$\frac{0,01}{7,5^2 \pi} s = \frac{0,67}{6,5}$$

zu ca. 1800, mithin das Leitvermögen $k = 6 \cdot 10^{-4}$, das wäre etwa achtmal so gross als dasjenige der bestleitenden Schwefelsäurelösung. Aber diese Rechnung ist völlig unzulässig. Zunächst ist schon oben darauf hingewiesen, dass die Spannung in ziemlich weiten Grenzen von der Stromintensität unabhängig ist, dass also jedenfalls innerhalb derselben der „Widerstand“ umgekehrt proportional der Stromintensität ist, wie es Hittorf und spätere Forscher für die verdünnten Gase in Geissler'schen Röhren gefunden haben. Es scheint, als ob auch hier, ganz im Sinne des Hertz'schen⁴⁾ Modells, jede den Gasraum durchsetzende Electricitätsmenge sich ihre eigene Bahn schüfe — vermuthlich durch geeignete Dissociation bisher noch nicht in Anspruch genommener oder gar von ihr erst erzeugter

1) L. Boltzmann (Wied. Ann. 13. p. 544. 1881) erinnert, „dass schon wegen der Gasspectra die Atome, z. B. die Hg-Atome, keine wirklichen materiellen Punkte sein können, sondern noch weiter zusammengesetzt sein müssen.“

2) Grove, Phil. Mag. (3) 16. p. 480. 1840.

3) Hittorf, Pogg. Ann. Jubelbd. p. 438. 1874.

4) Hertz, Wied. Ann. 19. p. 797. 1883.

Gasmassen. Weiter ist aber die oben gegebene Zahl für die Spannungszunahme pro Centimeter durchaus nicht besonders charakteristisch. Es lassen sich je nach den Umständen auch andere erhalten.

2. Die zuletzt angeführte Erscheinung hat ihren Grund in der, wie sich weiter unten zeigen wird, sehr hohen Temperatur, welche der leitende Dampf besitzt, in Verbindung mit der geringen Wärmecapazität der kleinen in Betracht kommenden Mengen, die durch die Temperatur der Umgebung bedeutend beeinflusst wird. Ich führte schon an, dass die Messungen in dem bisher besprochenen Apparat erst dann gleichmässige Resultate lieferten, als die ganze umgebende Wassermenge beständig kochte, also ein stationärer Zustand erreicht war. Ich habe versucht, auch für andere Verhältnisse Zahlen zu erhalten. Zu diesem Zweck dienten ähnliche Apparate, wie der in Fig. 1 skizzirte, bei denen aber der längere Schenkel nur etwa 15 cm maass und der ganze Apparat bis zu dem Ansatzrohr *g*, das entsprechend verlängert war, sich in einer geräumigen, mit Wasser von verschiedener Temperatur gefüllten Glasglocke befand.

Der erste dieser Apparate hatte den gleichen Querschnitt wie vorher (1,5 cm Durchmesser); in denselben waren zwei Platinsonden eingeführt (Drahtdicke 1 mm), welche voneinander um 4 cm abstanden. Für das Gefälle pro 10 cm ergab sich zunächst, ohne Zuhülfenahme der Sonden, der Werth von 9,4 Volt bei 20—30° und von 8,9 Volt bei 40—50° Temperatur des Wasserbades; die Versuche wurden nicht ausgedehnt, da sie recht schwankende Resultate gaben; die Temperatur des Bades änderte sich fortwährend. Zwischen den Sonden wurden noch bedeutend schwankendere Werthe erhalten; als Mittelwerth bei 40—50° ergab sich etwa 3 Volt pro 4 cm, also ca. 0,75 Volt pro Centimeter. Sehr constante Werthe dagegen lieferten die Messungen zwischen einer Sonde und einer etwa 1 cm entfernten Quecksilberelectrode; die Werthe betrugen zwischen Sonde und Anode 8,2 Volt, zwischen Sonde und Kathode 6,2 Volt, also nach Abzug der 0,75 Volt für das Gefälle in der Strombahn etwa

7,4 Volt an der Anode
5,4 „ „ „ Kathode

Dieses Resultat steht mit den am Kohlenbogen ermittelten in Einklang, insofern z. B. Luggin¹⁾ auch zwischen Bogenanfang und Anode mittels Sonde eine grössere Spannung fand, als zwischen Bogenende und Kathode; freilich liegen die bei Stromstärken zwischen 3 und 20 Amp. gemessenen Werthe erheblich weiter auseinander; sie sind entsprechend 33,7 und 8,7 Volt. Lecher gibt (l. c.) für dieselben Grössen die Werthe 36 und 10 Volt an. Dagegen bemerkt er (l. c. p. 630), dass er bei Platin, Eisen, Silber oder Kupfer keine einseitige Potentialdifferenz gefunden habe wie im Kohlenbogen. „Das Potential des inneren Lichtbogens liegt ziemlich in der Mitte zwischen den Potentialen der beiden Electroden.“ Das Quecksilber würde sich hiernach auch von den übrigen Metallen kaum merklich unterscheiden.

Die Feststellung dieser Thatsache hat eine gewisse Bedeutung.

Bei der Glimmentladung findet sich das höhere Gefälle an der Kathode, bei der Bogenentladung an der Anode.²⁾ Die Glimmentladung beobachten wir in den Gasen, die Bogenentladung in Metaldämpfen. Nur im Quecksilberdampf sind bisher beide Entladungsformen beobachtet worden. E. Wiedemann³⁾ bemerkt, „dass das Quecksilber sich leichter mit der positiven Electricität ladet, als mit der negativen“. Und Warburg⁴⁾ findet im Quecksilberdampf bei Glimmentladung ein Kathodengefälle von der gleichen Grössenordnung wie im Stickstoff. Es zeigt sich, dass der Gegensatz zwischen dem Verhalten der Anode und Kathode nur von der Entladungsform, nicht von dem Material der Gas- bez. Dampfstrecke abhängt. Zu bemerken ist allerdings, dass Hittorf⁵⁾ gezeigt hat, dass bei höheren Drucken auch im Stickstoff die Anode heisser wird als die Kathode, ohne dass von einer Bogenentladung

1) Luggin, Beibl. 15. p. 662. 1891.

2) Dementsprechend ist bei dieser auch die Wärmeentwicklung an der Anode grösser, selbstverständlich auch beim Quecksilberbogen; die gegentheilige Bemerkung in meiner früheren Mittheilung (l. c.) ist irrtümlich.

3) E. Wiedemann, Wied. Ann. 5. p. 524. 1878.

4) Warburg, Wied. Ann. 40. p. 10. 1890.

5) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 101. 1884.

gesprochen werden kann. Ich habe eine grosse Anzahl von Versuchen mit evacuirbaren Gefässen gemacht, in welchen einer festen Stahlelectrode eine bewegliche Quecksilberelectrode gegenüberstand; hierbei ist es leicht, bei genügend hohen Spannungen und gleichzeitig genügend starker Electricitätszufuhr alle Uebergänge von Glimmentladung in Gasen zu solchen in Hg-Dampf und weiter in bogenartige Entladungen verschiedenster Form herbeizuführen. Eine Besprechung dieser Versuche behalte ich einer späteren Mittheilung vor.

Ob die Messungen dadurch beeinflusst sind, dass bei meinen Versuchen die Sonde aus einem andern Material (Pt) bestand, als die Electrode (Hg), vermag ich nicht zu entscheiden; die Summe der Werthe, 12,8 Volt, für die gesammte „electromotorische Gegenkraft“ stimmt ausgezeichnet mit meinen gesammten sonstigen Messungen; in dieser Summe kann aber die Fälschung der einzelnen Werthe aufgehoben sein.

Dass die Messungen zwischen Sonde und Electrode so gut untereinander übereinstimmende Werthe liefern, erkläre ich mir dadurch, dass unmittelbar über den grossen Electroden die Verhältnisse des Dampfes von äusseren Einflüssen ziemlich unabhängig sind. Daher rührt es wohl auch, dass die Spannung an den Lampenelectroden, die nur sehr wenig voneinander entfernt sind, von der Temperatur des Wasserbades unabhängig ist. So fand ich bei einer Lampe

Temp. des Bades	25°	70°	100° (dauernd kochend)
Stromstärke	Spannung in Volt		
6,3 Amp.	15,1	14,9	15,1
5,3	15,5	15,1	15,1
4	15,7	15,7	15,1
6,3	15,2	15,0	15,5
Mittel	15,4	15,2	15,2

Freilich fällt bei dem kurzen Abstand auch der Spannungsverlust auf der Bogenlänge gegenüber den Potentialsprüngen an den Electroden (Summe 12,8 Volt) nur wenig ins Gewicht.

Bei einem zweiten Apparat hatte der längere Schenkel (15 cm lang) einen Durchmesser von 3 cm im Lichten. Hier

fand ich aus Verschiebung der beweglichen Electrode um 10 cm für das Gefälle pro 1 cm folgende Werthe:

Temp. des Wasserbades	20—30°	60—70°	80—90°
Spannungsverlust pro 1 cm	0,65	0,44	0,36

Auch hier zeigt sich die Abnahme des Spannungsverlustes auf der Bogenstrecke bei wachsender Temperatur der Umgebung. Die bedeutend niedrigeren Werthe erkläre ich mir dadurch, dass in der Rohraxe und ihrer nächsten Umgebung eine höhere Temperatur herrschen konnte als in dem weniger weiten Rohr der früheren Versuche. Die Gegenprobe mit einer bedeutend engeren Röhre schlug fehl; der längere Schenkel besass jetzt nur einen lichten Durchmesser von 0,75 cm. Eine einzige Messung ergab bei einer Verschiebung von 7 cm bei etwa 4 Amp. einen Spannungsverlust von 16,8 Volt, also 2,4 Volt pro 1 cm; bei der Steigerung der Stromstärke auf 5,5 Amp. verlöschte die Lampe. An der Anode hatte sich ein feines Loch im Glas gebildet, durch welches Wasser eindrang. Da schon frühere Versuche mit engen Röhren stets zu Misserfolgen geführt hatten (vergl. auch die Mittheilung über die Lampe), wurden dieselben nicht fortgesetzt. Ich habe noch eine grosse Reihe von Versuchen mit verschieden gestalteten Röhren angestellt; ich verzichte auf ihre Beschreibung, da sie zwar manchen hübschen Anblick, aber wenig neue Belehrung bieten. Nur einer Erscheinung in dem beschriebenen Rohr mit weitem Schenkel (3 cm Durchmesser) will ich noch gedenken. Bei Zimmertemperatur des Bades zeigten sich selbst noch bei ca. 7 Amp. Stromstärke zwei etwas verschiedene Entladungsformen. War nämlich die Anode im weiten Schenkel, so bildeten sich auf ihr im Normalzustand eine Anzahl sehr hellleuchtender Stellen, die meist bald in der Mitte zu einer hellleuchtenden, etwas gewölbten Scheibe zusammenflossen, wie bei höheren Temperaturen, das ganze Rohr erstrahlte dann in dem gewöhnlichen intensiven Licht. Zu Beginn des Versuches stellte sich dagegen bisweilen eine Entladung ein, bei der keine Stelle der Anode das intensive grünlichweisse Licht ausstrahlte, bei der vielmehr ein mattgraues, die ganze Röhre gleichmässig füllendes Licht unmittelbar von der ganzen Anoden-

fläche ausging. Bei dieser Entladung waren die rothen Linien des Hg-Spectrums besonders gut wahrnehmbar; gleichzeitig erhielt man eine etwas grössere Spannungsdifferenz, welche bei der grossen verfügbaren electromotorischen Kraft (105 bis 110 Volt) aber eine nennenswerthe Aenderung der Stromintensität nicht hervorrief. So beobachtete ich bei etwa 6,5 Amp.

	1	2	3	4
Spannung bei kurzem Bogen	17,9 Volt	17,7 Volt	17,4 Volt	18,0 Volt
Spannung bei um 10 cm verlängerten Bogen	26,0	24,1	23,8	24,6
Spannungsverlust auf 10 cm	8,1	6,4	6,4	6,6

Zwischen 1 und 2 ging die zuletzt beschriebene Entladungserscheinung in die normale über. Die erstere entspricht einer tieferen Temperatur der Anode, während im Kohlenbogen durch Kühlung der Electroden eine Abnahme der Spannung erzielt wird.¹⁾

Zum Schluss dieses Abschnittes, in welchem gezeigt werden sollte, weshalb wir von einem eigentlichen Widerstand, im Ohm'schen Sinne, beim Quecksilberlichtbogen nicht sprechen können, sei vorläufig noch bemerkt, dass die Entladung sich als discontinuirlich erweist, wie Lecher (l. c.) es für Fe und Pt nachgewiesen hat.

3. Die Temperatur erreicht, wie schon oben angedeutet wurde, im Quecksilberlichtbogen eine ausserordentliche Höhe. Zu meinem Erstaunen sah ich, dass in dem beschriebenen Sondenrohr die Platindrähte, welche ursprünglich das ganze Rohr senkrecht zur Axe durchsetzt hatten, bis an die Rohraxe je zu einer kleinen Kugel zusammengeschmolzen waren. Ich vermuthete zunächst, dass sich ein Platinamalgam gebildet hätte. Aber bei stärkstem Glühen der Kügelchen auf einer Chamotteplatte, das schliesslich bis zum Schmelzen²⁾ mittelst

1) Lecher, Wied. Ann. 33. p. 625. 1888. Die mit Metallen angestellten Versuche gaben keine entscheidenden Resultate.

2) Bei einer so kleinen geschmolzenen Platinmasse (0,148 g) beobachtete man im Augenblick des Erstarrens ein plötzliches kurzes, sehr helles Aufleuchten des Platins, vermuthlich in Folge der freiwerdenden Schmelzwärme. Bei den Versuchen, das schmelzende Platin zur Herstellung einer Lichteinheit zu verwerthen, sind ähnliche Beobachtungen nicht gemacht worden.

des Knallgasgebläses fortgesetzt wurde, konnte nicht der geringste Gewichtsverlust wahrgenommen werden.

Um einigen Aufschluss über die Temperaturverhältnisse im Hg-Lichtbogen zu erhalten, verlängerte ich den 15 cm langen Schenkel des oben (S. 78) beschriebenen Rohres von 1,5 cm Durchmesser nach oben um ein beträchtliches Stück (Fig. 2). In die Kuppe *k* war ein Platindraht eingeschmolzen, welcher im Innern ein Thermometer trug, dessen Gefäß sich etwa 5 cm unterhalb der Biegung befand.¹⁾

Das Thermometer war eines der im Handel erhältlichen für sehr hohe Temperaturen bestimmten. Es ist nach Angabe des Fabrikanten aus Jenenser Glas Nr. 59^{III} hergestellt (dieses Glas erweicht erst bei Temperaturen über 600°), und über dem Quecksilber mit trockner Kohlensäure von 20 Atmosphärendruck (bei welcher Temperatur?) gefüllt. Die Theilung von 5 zu 5° erstreckte sich von 100 bis 550°, unterhalb 100° ist die Capillare etwas erweitert. Temperaturablesungen wurden gemacht, a) wenn das Thermometergefäß völlig von einer Electrode umschlossen war, b) wenn es eine der Electroden eben an der Oberfläche berührte, c) wenn es sich etwa 0,5 mm, und d) wenn es sich etwa 5 cm über einer Electrode befand. Durch Wechsel der Stromrichtung und Reguliren des Niveaus im Thermometerschenkel konnten alle Beobachtungen bei unveränderter Stellung des Thermometers im Glasrohr gemacht werden. Die Temperatur des umgebenden Wasserbades betrug 60—70° C.

Fig. 2.

Stromstärke	In	an	0,5 mm über	5 cm über	In	an	0,5 mm über	5 cm über
	der Anode				der Kathode			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
4 Amp.	<100°	285	—	400	<100°	270	—	375
5,5 Amp.	<100	345	515	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> { <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> 465 470 </div> </div> </div>	<100	—	380	490

1) Thermometer im Geisslerrohre kommen schon bei E. Wiedemann, Wied. Ann. 20. p. 775. 1883 u. Hittorff, Wied. Ann. 21. p. 128. 1884 vor; Gradangaben werden von beiden Autoren nicht gemacht.

Nach Ausführung dieser Bestimmungen sprang das Thermometer, als es durch Berührung mit der Anode plötzlich zu schnell abgekühlt wurde; ich hielt es nicht für nöthig, die Versuche mit einem neuen Apparat zu wiederholen. Es wird völlig von dem Messapparat abhängen, welche Temperatur man abliest. Der Umstand, dass die Platinsonden (S. 82) bis zur Mitte des Rohres zusammengeschmolzen waren, beweist, dass die Energie des die Entladung führenden Hg-Dampfes in der Rohraxe¹⁾ so gross ist, dass ein dünner Platindraht dort zum Schmelzen gebracht werden kann.

Dagegen werden die Wände des Glasrohres selbst ohne Wasserkühlung nicht sehr hoch erhitzt, es muss also von der Rohraxe zur Wandung ein ausserordentlich starkes Temperaturgefälle stattfinden. Ueber die Temperaturvertheilung in verticaler Richtung geben die Thermometerangaben genügende Auskunft. Die höchste Temperatur herrscht unmittelbar über der Anode, von hier aus nimmt sie gegen die Kathode hin nicht allzuschnell ab. Das Quecksilber wenige Millimeter unterhalb sowohl der Kathode als auch der Anode hat eine sehr niedrige Temperatur, wohl bestimmt durch die Temperatur des Bades; ja die blossе Berührung des Thermometergefässes mit der flüssigen Electrodensubstanz genügt, um selbst unmittelbar an der Anode die Angabe des Thermometers unter diejenige im Bogen (*d*) herunterzudrücken.

Die hohe Temperatur im Lichtbogen zwischen Electroden aus einem Material, dessen Siedepunkt so tief liegt, ist keine ganz neue Erscheinung. So bemerkt Violle²⁾, dass in einem Lichtbogen zwischen Zn-Electroden ein dünner Kohlenstab erst dünner und dünner wird und schliesslich, auf einen Faden reducirt, hellweiss glänzt. Er hebt ausdrücklich hervor, dass also die Temperatur, welche der Kohlefaden im Bogen annimmt, bedeutend höher sei, als der Siedepunkt des Zinks (930°). Dass das Thermometer verhältnissmässig niedere Temperaturen anzeigt, liegt an der geringen Wärmecapacität des ausserordentlich verdünnten Dampfes. Uebrigens führen auch die

1) Ich nehme an, dass der Draht, in der Rohraxe am stärksten erhitzt, sich zuerst senkrecht nach unten bog und dann zusammenschmolz.

2) Violle, *Compt. rend.* 119. p. 949. 1894.

von Warburg¹⁾ kürzlich entwickelten Formeln für die Temperatur der leuchtenden Gase in Geissler'schen Röhren zu Werthen, die mit den Erscheinungen nicht in Widerspruch stehen. Warburg findet für die Temperatur der inneren Gefässwand, wenn diejenige der äusseren gleich Null gesetzt wird.

$$a) \quad u_1 = 0,0378 \frac{v i}{k'} \frac{\rho}{R}$$

und für die Rohraxen

$$b) \quad u_0 = u_1 + 0,0189 \frac{v i}{k},$$

wobei R den Radius, ρ die Glasdicke des Rohres, v den Potentialgradienten (Gefälle in Volt/pro cm), i die Stromintensität in Ampères, k' und k das Wärmeleitungsvermögen bezogen auf cm gr sec und 1° Celsius im Glase und im Gas bedeutet; bei Ableitung von b) ist von der Abhängigkeit des k von der Temperatur abgesehen. Die genauere Warburg'sche Formel (l. c. 9a p. 267) kann ohne weiteres nicht verwendet werden, da für den Quecksilberdampf k nur für eine Temperatur (ca. 200°) von Schleiermacher²⁾ gemessen worden ist. Für Drucke von 3—10 mm fand Schleiermacher unabhängig vom Druck 0,041846 bei 203°. Nehmen wir zur Brechung $k = 0,04185$, $k' = 0,00163$, so ergibt sich für das oben beschriebene Rohr

($R = 0,75$ cm $\rho = 0,1$ cm) und $v = 0,75$ Volt bei 6 Amp.,

$$u_1 = 14^\circ, u_0 = 4600^\circ \text{ ca.}^3)$$

1) Warburg, Wied. Ann. 54. p. 265. 1895.

2) Schleiermacher, Wied. Ann. 36. p. 346. 1889.

3) Ich habe die Rechnung auch so ausgeführt, dass für k eine lineare Abhängigkeit von der Temperatur angenommen wird. Zu dem Zwecke setzte ich in der Formel $k_0 = (1 + \alpha t)$ $\alpha = 0,002$, also von der Grössenordnung des für die einfachen Gase gefundenen Werthes (Landolt-Börnstein, Physik.-Chem. Tabellen p. 374. 1894). Für die Aussenwand setzte ich 60° und erhielt für die Temperatur in der Rohraxen nunmehr 2460°. Natürlich darf in unserm Falle nicht mit der Formel (9a) von Warburg (l. c.) gerechnet werden, da die Reihe nicht mehr convergirt; benutzt wurde die Formel (7), welche (l. c. p. 267) durch einen Druckfehler entstellt ist; sie lautet

$$u = \frac{\sqrt{1 + 2\alpha(u) + \alpha^2 u_1^2} - 1}{\alpha}.$$

Es finden sich also für die innere Röhrenwand Temperaturen, die nur wenig oberhalb derjenigen der äusseren liegen, obgleich für die Rohraxen ausserordentlich hohe Werthe berechnet werden. Ausser dem Umstand, dass die Abhängigkeit von k von der Temperatur vernachlässigt, der Werth für u_0 also von vornherein höchstens als der Grössenordnung nach dem wahren entsprechend anzusehen ist, lässt das Ergebniss darauf schliessen, dass die Voraussetzung der Warburg'schen Rechnung — gleiche Stromdichte im Querschnitt des Rohres — in unserem Fall nicht erfüllt ist.¹⁾ Ferner trifft die Voraussetzung, welche Warburg für N und H macht, dass nämlich „das Gas durch den electrischen Strom nicht verändert wird, falls man durch Wärmeentziehung die Temperatur des Gases constant hält“, für die betrachteten Vorgänge im Quecksilberdampf kaum zu.

4. Sehr auffällig erscheint es auf den ersten Blick, dass trotz des gewaltigen Temperaturunterschiedes zwischen dem Innern des Gases und der inneren Röhrenwand, die nur sehr wenig von der Temperatur der Umgebung verschieden zu sein scheint, verhältnissmässig geringe Temperaturunterschiede des Wasserbades (vgl. p. 78 u. 81) die Grösse des Gradienten so erheblich beeinflussen. Wir haben aber zu berücksichtigen, dass wir es in unserem Falle mit einem gesättigten Dampf zu thun haben, welcher beständig in Berührung mit seiner Flüssigkeit steht; im Gegensatz zu dem Verhalten der Entladung in verdünnten Gasen wie N und H, spielt deshalb jede Temperaturerhöhung beim Quecksilberdampfe eine bedeutende Rolle. Um diesen Einfluss näher zu untersuchen, schloss ich die oben erwähnte Quecksilberlampe in einen doppelwandigen Heizkasten ein, der durch Glimmerfenster die Vorgänge im Innern beobachten liess. Unmittelbar neben dem Glasrohr, in welchem der Bogen entstand, befand sich die Kugel eines Thermometers. Bei den gewöhnlich für die Lampe benutzten Strömen konnte die

1) Darauf weist auch der Umstand hin, dass der Gradient mit dem Rohrdurchmesser sehr stark veränderlich ist, während er sich bei der Glimmentladung nach Herz (Wied. Ann. 54. p. 263. 1895) viel weniger stark ändert; bei dieser findet Warburg (l. c.) viel geringere Temperaturunterschiede im ganzen Rohrquerschnitt.

Temperatur nicht weit getrieben werden, ohne zur Zerstörung der Lampe zu führen; die Zerstörung ging mit der grössten Regelmässigkeit so vor sich, dass genau an der Stelle, wo ein auf der Anode im Mittelpunkt errichtetes Loth die Glaswand traf, eine Erweichung des Glases eintrat, bis durch ein feines Loch die Luft hineinblies, wodurch der Bogen sofort verlösch. Selbst bei ca. 3 Amp. las ich im Augenblick des Verlöschens eine äussere Temperatur von nur 165° ab; die Electrodenspannung war von 15 Volt auf etwa 24 gestiegen. Die Spannung des Hg-Dampfes beträgt bei dieser Temperatur etwa 5 mm; der Quecksilberdampf scheint sich, soweit er nicht an der Leitung theilnimmt, wie ein anderes Gas zu verhalten; er verengt die Bahn des Bogens und gibt so Veranlassung zu einer viel stärkeren Erhitzung. Eine ganz ähnliche Beobachtung beschrieb ich in meiner früheren Mittheilung; war in der Lampe H von etwa 5 mm enthalten, so ging sie durch übermässige Erhitzung zu Grunde. Ich glaube zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass nur ein Theil des bei höherer Temperatur entwickelten Hg-Dampfes an der Leitung theilnimmt und dass dieser Theil eine vom gewöhnlichen Hg-Dampf wesentlich verschiedene Constitution besitzt.¹⁾ Beachtenswerth ist hierbei, dass, soweit die Messungen reichen (800°), der Hg-Dampf keine Unregelmässigkeit der Dampfsdichte zeigt; die Veränderung bei Stromdurchgang dürfte demnach auf einer electrischen Dissociation beruhen.²⁾

Zu höheren Temperaturen kann man vorgeben, wenn man

1) Auch O. Lehmann beobachtet, dass Quecksilberdämpfe an dem in einem Recipienten übergehenden Lichtbogen zwischen Eisenelectroden eine starke Contraction bewirken. Wied. Ann. 55. p. 371. 1895.

2) Warburg, der im Hg-Dampf ein Kathodengefälle von ähnlicher Grösse, wie in N und H fand, schliesst umgekehrt: „Da aber das grosse Kathodengefälle auch in dem einatomigen Quecksilberdampf stattfindet, so müsste man eine Dissociation höherer Ordnung annehmen, bei welcher ein sogenanntes Gasatom in weitere Bestandtheile zerfiel. So lange diese Annahme nicht durch weitere Thatsachen gestützt ist, kann die Dissociationshypothese zur Erklärung des Kathodengefälles als hinreichend begründet nicht betrachtet werden.“ Ich erinnere demgegenüber an den auf p. 77 (Anm. 1) citirten Ausspruch von Boltzmann.

die Stromstärke möglichst niedrig hält; in der früheren Mittheilung gab ich an, dass man nach längerem Brennen der Lampe mit starkem Strom auch Stromstärken unterhalb eines Ampère erhalten könne. Bei Temperaturen von 200° etwa im Heizkasten brannte eine Lampe mit 0,8 Amp. bei 20 Volt Electrodenspannung; der Bogen war sehr schmal, setzte an einem festen Punkte der Anode an, während das andere Ende auf der Kathode umherirrte, wie das auch bei starken Strömen beobachtet wird; mit steigender Temperatur wuchs die Spannung an den Electroden; sie betrug bei 275° 35 Volt, die Stromstärke war auf 0,6 Amp. gesunken; bei 285° wurden die Werthe sehr schwankend; ich erhielt 0,5 Amp. bei etwa 40 Volt; bei 292° verlöschte der Bogen, nachdem er sich ganz plötzlich in seiner Mitte von der Glaswand abgehoben hatte; diese Erscheinung war ganz regelmässig. Kühlte sich der Apparat ab, so liess sich erst bei 285° wieder der Bogen durch Ausschütteln herstellen; die Spannung nahm nun regelmässig ab, bis sie bei 140° noch 19 Volt betrug.

Interessantere Ergebnisse erhielt ich, als ich die Lampe im Heizkasten mit höheren Spannungen betrieb. Als Stromquelle diente ein Gleichstromtransformator, welcher die Spannung der Centrale von 100 Volt auf 700 Volt etwa transformirte, und Stromstärken bis zu 0,8 Amp. liefern konnte. In den Stromkreis konnten als Widerstände 8 oder 16 Glühlampen (100 Volt, 16 Kerzen) oder verschieden lange Säulen einer Jodcadmiumlösung in Amylalkohol (Widerstand pro Centimeter etwa 5000 Ohm) aufgenommen werden. Die Erscheinungen verliefen sehr regelmässig; ich begnüge mich mit der Beschreibung einer Versuchsreihe, bei welcher 16 Glühlampen als Widerstand aufgenommen waren. Bei gewöhnlicher Temperatur liess sich selbst durch den Funken, welcher beim Neigen und Aufrichten des Apparates zwischen den in Contact gewesenen Hg-Electroden bildet (Vorcontact), keine Entladung einleiten. Erst oberhalb 180° tritt plötzlich eine Glimmentladung ein, welche anfangs von der Anode in dünnem graugrünlichen Band ausgeht und senkrecht über der Kathode an der Glaswand bei F' (Fig. 3) endet ($i = 0,1$ Milliamp. ca.); mit steigender Temperatur bedeckt sich die Anode mit einer grünlichen Lichthaut, auch die bisher dunkle Kathode beginnt

zu glimmen; bei etwa 150° hat sich an Stelle von F' (Fig. 3) eine Lichtscheibe gebildet, welche mit wachsender Temperatur langsam gegen die Kathode herabsinkt. Das Glimmen dehnt sich über die ganze Kathode aus. Die ganze Erscheinung gewinnt an Helligkeit; bei 180° geht von der Anode (Fig. 4) ein tiefgrünes Licht aus, welches sehr zarte, an der unteren Rohrwand anliegende, keineswegs den Rohrquerschnitt erfüllende Schichten bildet. 195° : Die Schichten schieben sich langsam vorwärts, als ob sie mit der aus F' (Fig. 3) entstandenen leuchtenden Schicht, die nunmehr auf der Kathode ruht, in Verbindung treten wollen. 210° : Wenn die Schichten die leuchtende Schicht fast berühren, ändert sich plötzlich die Erscheinung; die Schichten verschwinden; von einem kleinen Fleck der Anode geht ein grünlichweisses Lichtband aus, welches entweder in einem beweglichen Punkt auf der Ka-

Fig. 3.

Fig. 4.

thode endet, oder in einer ziemlich dicken, mit weissem Licht hell leuchtenden Schicht, welche die ganze Kathode bedeckt. Beide Entladungsarten, die sich wesentlich durch die Vorgänge an der Kathode unterscheiden, schlagen häufig ineinander über. Die erstere Form, welche an den Lichtbogen erinnert und Stromstärken von 100—150 Milliamp. entspricht (die vorge-schalteten Glühlampen beginnen zu glühen), ist sehr wenig stabil, lässt sich aber durch „Vorcontact“ (vgl. p. 88) stets herstellen, die Spannung an den Electroden kann *höchstens* 40 Volt betragen; bei der anderen lässt sich eine Stromstärke von 70 Milliamp. bei 210 Volt Electroden-spannung ablesen. Höchst interessant ist jetzt das spectrale Verhalten: während bei den vorhergehenden Stadien das Spectrum immer nur die Hauptlinien des Quecksilbers zeigt — anfangs so schwach, dass sie farblos grau erscheinen —, liefert jetzt die helle weisse Schicht über der Kathode ein continuirliches Spec-

trum, wie es unter ähnlichen Verhältnissen Warburg¹⁾ beobachtet hat.

Wird die Temperatur weiter gesteigert, so wechseln beide Entladungsformen regelmässiger; die bogenähnliche zeigt eine Stromstärke von 120 Milliamp. bei ca. 19 Volt Spannung, die andere 80 Milliamp. bei 210 Volt; erstere dauert im allgemeinen kürzer an als letztere; erst zwischen 240 und 250° beginnt die Bogenentladung zu überwiegen, obgleich die Elektrodenspannung (35 Volt bei 0,12 Amp.) etwas höher liegt, während die andere Entladung unverändert geblieben ist. Uebrigens kann man durch Aenderung des äusseren Widerstandes die Verhältnisse beeinflussen; durch Vergrössern des-

1) Warburg, Wied. Ann. 40. p. 14. 1890. Warburg beobachtete das continuirliche Spectrum bei der von ihm beschriebenen Glimmentladung (Stromintensität $< 0,7$ Milliamp.) im *positiven* Licht, während das negative Glimmlicht, ebenso wie die Lichthaut auf der Anode das Linienspectrum zeigten. Ich bemerkte das continuirliche Spectrum gelegentlich auch in der ganz dünnen Schicht über der Anode in der Hg-Lampe bei starkem Strom. Von besonderem Interesse schien mir der Nachweis, dass man es hier wirklich mit einem continuirlichen Spectrum und nicht etwa mit einem der von Eder und Valenta (Wied. Ann. 55. p. 479. 1895) beobachteten und gemessenen Spectren zu thun hatte. Die Anwendung genügend starker Dispersion liess zunächst constatiren, dass das beobachtete Spectrum nicht das von Eder und Valenta gemessene ausserordentlich reiche Linienspectrum ist. Von dem Bandenspectrum, welches diese Forscher beschreiben, unterscheidet es sich durch seine Lage; es erstreckt sich nämlich von der grünen Hg-Linie (5461 Å.-E.) bis zur blauen (4359 Å.-E.), während das Bandenspectrum von 4517 Å.-E. nach kürzeren Wellenlängen fortgeht. Das hier beobachtete, auf ein verhältnissmässig kleines Gebiet beschränkte continuirliche Spectrum füllt in eigenartiger Weise eine Lücke aus. Lockyer und Roberts haben bei allen von ihnen untersuchten Metaldämpfen eine continuirliche Absorption in gewissen Theilen des sichtbaren Spectrums gefunden, ausser beim Quecksilber; sie untersuchten Ag, Al, Au, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, K, Na, Ni, Pb, Pd, Sb, Sn, Zn. Nur beim Hg fand sich keine Absorption. Die Absorption des Ag findet bei der niedrigsten Beobachtungstemperatur im Blau und Grün statt, also dort, wo das Hg ein continuirliches Spectrum liefert. Lockyer fand ferner (Kayser, Spectralanalyse p. 155. 1883), dass „bei gesteigerter Temperatur dann ein kannelirtes Spectrum erscheint, welches bei höchster Temperatur, welche aber nicht für alle Metalle erreicht werden konnte, in ein Linienspectrum überging“. Beim Hg scheint schon für das continuirliche Spectrum die Temperatur so hoch zu liegen, dass dasselbe nicht als Absorptions-, sondern als Emissionsspectrum zur Beobachtung kommt.

selben (Einschalten von 5 oder 10 cm der Jodcadmiumlösung) wird die zweite Entladungsart, durch Verkleinern (8 Glühlampen oder zweimal 8 Glühlampen nebeneinander) die Bogenentladung erzwungen. Bei der Abkühlung ohne Stromunterbrechung treten die nämlichen Erscheinungen in umgekehrter Reihenfolge auf, doch unterbleibt häufig die bei 180° beschriebene Schichtenbildung; unter Umständen findet der Wechsel zwischen der nunmehr als Glimmentladung charakterisirten und der Bogenentladung bis herab zu 160° statt, während die Glimmentladung selbst, freilich nur schwach leuchtend, sich bis zu Temperaturen des Heizkastens unter 100° erhalten kann.

5. In der Einleitung wies ich darauf hin, dass meine Erwartung, im Quecksilberlichtbogen möglichst einfache Verhältnisse zu finden, getäuscht wurde. Es zeigt sich nämlich, dass die Entladung eine discontinuirliche ist; das Quecksilber schliesst sich dem Fe und Pt an, für welche Metalle Lecher ¹⁾ die Discontinuität der Bogenentladung nachwies, während Cu, Ag und C einen continuirlichen Bogen zu Stande kommen liessen. Mit dem rotirenden Spiegel sah ich nur am Rande des Quecksilberlichtbogens Anzeichen der Discontinuität; sehr deutlich verräth sich dieselbe aber, sobald man neben den durch Accumulatoren gespeisten Lichtbogen einen Condensator nebst Telephon schaltet. Das Telephon ertönt andauernd sehr laut; man könnte annehmen, dass dieses Tönen durch die flüssige Natur der Electroden bedingt sei, von denen sich die Anode in wallender Bewegung findet; dem widerspricht aber der Umstand, dass unter gleichen Verhältnissen das Telephon neben einem Lichtbogen zwischen Electroden aus der flüssigen Na-K-Legirung (vgl. u.) sich während längerer Zeiträume völlig ruhig verhält. Ich habe nun untersucht, ob sich durch Herstellung von Amalgamen eine continuirliche Bogenentladung erzielen lässt. Die Versuche hatten ein negatives Ergebniss, überhaupt ist das Arbeiten mit Amalgamen in der Lampe sehr misslich. Trotzdem theile ich kurz die wesentlichsten Versuchsergebnisse mit, da eine grössere Anzahl von Physikern sich für die Hg-Lampe als Lichtquelle für optische Unter-

1) Lecher, Wied. Ann. **33**. p. 634. 1888.

suchungen interessiren und ein besonderes Gewicht auf die Erzeugung von weiteren Spectrallinien in derselben legen.¹⁾

K-Amalgam. Dasselbe verhält sich ähnlich wie Na-Amalgam, für welches ich einige Beobachtungen in meiner ersten Mittheilung beschrieb. Die Stromintensität liess sich noch stärker herunterdrücken als bei Na-Amalgam, ohne dass die Lampe verlöschte; so konnte ich mit 10 Accumulatoren einen Strom von 0,3 Amp. bei 10 Volt Spannung unterhalten. Die Spannung von 10 Volt erhält sich bis zu Stromstärken von 6 Amp. Befindet sich die Lampe im Wasserbad, so überzieht sich die innere Rohrwand von der Anode aus mit einem metallischen Beschlag; commutirt man die Stromrichtung, so geht die kathodische Entladung zum Theil von dem Rande des Beschlages aus und verzehrt den Beschlag fast vollkommen. Sehr eigenthümlich erscheint es mir, dass das Kalium seine Gegenwart im Spectrum fast gar nicht verräth, während es doch die electrischen Vorgänge erheblich beeinflusst. Im Wasserbad konnte ich bis hinauf zu Stromstärken von 20 Amp. keine Kaliumlinien beobachten. Brannte die Lampe ohne Kühlung, wobei die Temperatur erheblich höher wird, so trat erst oberhalb einer Stromstärke von 5 Amp. die rothe Kaliumlinie 7680 auf und zwar an allen Stellen des Bogens sichtbar. Das Verhalten des Kaliums ist um so auffälliger, als beim Brennen der Hg-Lampen in Luft schon bei schwächeren Strömen die Na-Linien wenigstens in der Nähe der Electroden sichtbar werden — das Natrium wird von den Glaswänden geliefert, entstammt also chemischen Verbindungen.

Ag-Amalgam. Ich stellte durch Ausschütteln einer AgNO_3 -

1) Ich möchte bei dieser Gelegenheit darauf hinweisen, dass in der Tabelle meiner ersten Mittheilung (l. c. p. 58) einige Linien verzeichnet sind, welche sich bei prismatischer Zerlegung als sogenannte „Gespenster“ erwiesen, hervorgerufen durch einen periodischen Theilungsfehler des damals benutzten Rutherford'schen Gitters. Es sind dies die Linien 5808, 5787, 5776, 5754, 5477, 5446, 4370; man sieht, dass zu jeder der vier hellsten Hg-Linien (5790, 5769, 5461, 4359) sich zwei „Gespenster“ gesellt haben, von denen aber das zweite für 4359 mit einer wirklichen Linie (347) zusammenfällt. Von einer nochmaligen Aufzählung der beobachteten Linien, deren Zahl mit der Dauer des Brennens steigt, sehe ich nach der eingehenden Beschreibung des linienreichen Hg-Spectrums durch Eder und Valenta (l. c.) ab.

Lösung mit Hg ein 5 proc. Amalgam her. Beim Stehen scheidet sich schnell ein sehr concentrirtes Amalgam ab, das merkwürdigerweise nach unten sinkt. Genaue electricische Messungen waren nicht möglich, doch scheint die Spannung bei guter Durchmischung erheblich höher zu sein, als für reines Quecksilber. Spectral lässt sich das Silber nur an der Kathode beobachten; diese Beobachtung machte ich auch, als ich durch längeres Neigen der Lampe den einen Schenkel völlig mit dem breiigen Amalgam gefüllt hatte. Uebrigens erscheint auch an der Kathode nur eine Silberlinie (5209), freilich beim Brennen ohne Kühlung recht hell. Bei längerem Brennen verschwindet die Linie und statt ihrer treten 4476 und 4669 auf, die nach Kayser und Runge einer anderen Serie angehören.

Sn-Amalgam. Noch schwieriger gestalten sich die Beobachtungen an Sn-Amalgamen. Ein $2\frac{1}{2}$ proc. Amalgam konnte an der Luftpumpe nicht von Luft befreit werden¹⁾; es wurde deshalb eine Lampe mit Hg gefüllt und ein Stück Sn (1 Proc. des Hg-Gewichtes) kurz vor dem Ansetzen an die Luftpumpe eingebracht. Die Lösung erfolgte nur ausserordentlich langsam und wurde deshalb durch gelegentliches Entflammen des Bogens (Erhitzung des Hg) beschleunigt. Auch hier schien die Spannung nach Herstellung des Amalgams erheblich grösser zu sein als beim reinen Hg, doch sprang die Lampe alsbald. Von Sn-Linien wurde nur 4524 beobachtet.

Cd-Amalgam. Für eine Lampe mit Cd-Amalgam interessirte sich besonders Hr. Dr. Chappuis vom Bureau international des poids et mesures wegen der Versuche von Michelson zur Vergleichung des Meters mit der Wellenlänge des Cadmiumlichtes.²⁾ Auch Cd-Zusatz erhöht die Spannung an der Hg-Lampe; bei 5 proc. Cd schwankte die Spannung zwischen 25 und 35 Volt, das Amalgam ist keineswegs homogen. Infolge der stärkeren Erwärmung platzte die Lampe sogar im Wasserbad bei 10 Amp. Bei dieser Stromstärke beobachtet man, und zwar am besten an der *Anode* die Linien

1) Ueber die Schwierigkeit, ein Rohr zu evacuiren, das Sn enthält, klagt schon Davy, Phil. Transact. 112. p. 68 u. 73. 1822.

2) Michelson, C. R. 116. p. 790. 1893.

6740, 6437, 5086, 4800 und 4678; sie sind viel weniger hell als die Hg-Linien; 6437 ist nicht beständig und erscheint nur, wenn 5086 und 4800 heller aufleuchten. Etwas günstiger gestalten sich die Verhältnisse bei verdünnterem Amalgam (1,5 proc.). Die Spannung betrug zwischen 15 und 20 Volt. Beim Brennen ohne Wasserkühlung zeigten sich die genannten Cd-Linien sehr glänzend im Spectrum, doch sprangen die Lampen bei Stromstärken über 3 Ampère nach wenigen Minuten. Es erscheint nicht ausgeschlossen, dass man bei geeigneter Wahl der Glassorte und mässig verdünnten Amalgamen Lampen herstellen kann, die dauernd die Cd-Linien in glänzender Intensität liefern. Auf die Wasserkühlung muss man jedenfalls verzichten.

Auch mit Legirungen habe ich zu arbeiten versucht. Ich füllte zunächst eine Lampe mit Wood'schem Metall; die Lampe wurde beständig in einem Wasserbad auf 90—100° erhalten; liess man das Metall erstarren, so zersprengte es das Glas. Als Stromquelle diente ausschliesslich die Centrale mit 105 Volt Spannung; erst als der äussere Widerstand auf 5 Ohm herabgebracht war, ergab sich beim Anschütteln das Aufleuchten eines Bogens von prächtiger hellblauer Farbe, der aber durch seine Hitze das Glasgefäss zum Springen brachte. Dasselbe Schicksal ereilte mehrere Lampen. Nur bei einer einzigen gelang es mir, als ich den Strom durch einen Leydener Flaschenfunken einleitete, eine Stromintensität von etwa 2 Ampère bei einer Spannung von 55—65 Volt zu beobachten. Beim Anschütteln zerbrach auch diese Lampe sofort.

Etwas günstigere Resultate lieferten Lampen, welche mit der flüssigen Legirung von Na und K nach dem Moleculargewicht gefüllt waren. Die Lampen wurden theils von mir selbst hergestellt, theils bezog ich sie von Müller-Unkel in Braunschweig. Einige derselben sprangen beim ersten Versuch, den Strom zu erregen, andere verriethen durch die eingeschnürte Form des Bogens Spuren von Wasserstoff, den die Legirung nach dem Abschmelzen von der Pumpe freigelassen haben musste.¹⁾

1) In einem Briefe der Firma Müller-Unkel, welche ihre lange Erfahrung mit dieser Legirung betont, findet sich die Bemerkung, „dass die Legirung nicht selten unerklärliche Launen zeigt“.

Alle Lampen sprangen nach längerem Brennen — von einer Wasserkühlung wurde aus leicht begreiflichen Gründen abgesehen. Eine Lampe, welche besonders lange benutzt werden konnte, zeigte bei Stromstärken von 2—15 Amp. Spannungen zwischen 7 und 8 Volt. Mit Accumulatoren als Stromquelle zeigt das Telephon keine Unstetigkeit des Bogens an. Bei spectraler Beobachtung ergaben sich folgende Linien:

Na		K
6161		
6155		
5896 } D		
5890 }		
		5832
		5813
		5802
		5783
5688		
5683		
		5360
		5341 (Doppellinie)
		5324
		5085
4980		
4499		
	4400?	
		4046

Kayser und Runge haben bedeutend mehr Linien gemessen; nur die Linie 4400 findet sich bei ihnen weder im Na- noch im K-Spectrum. Auffällig ist, dass die Hauptlinie des K bei 7680 nicht beobachtet wurde, die einzige, welche das K-Amalgam bei starkem Strom zeigte.

Berlin, Phys. Inst. d. Univ.