

12. Ueber die Herstellung von Arons'schen Bogenlampen mit Amalgamfüllung; von E. Gumlich.

(Mittheilung aus der Physikalisch-technischen Reichsanstalt.)

(Hierzu Taf. VIB.)

Die Cadmiumlinien des sichtbaren Spectrums haben bekanntlich in neuerer Zeit, hauptsächlich infolge der wichtigen Arbeiten von Michelson über die Vergleichung des internationalen Meters mit der Wellenlänge des Cadmiumlichtes, in der messenden Physik eine hervorragende Bedeutung gewonnen; besonders eignen sie sich wegen ihrer Homogenität zu Interferenzbeobachtungen. Aber auch noch aus einem anderen Grunde sind sie für optische Messungen werthvoll: Seit der Einführung der Arons'schen Quecksilberlampe¹⁾ verfügt man ja über mehrere ungemein intensive Linien in Gelb, Grün, Blau und Violett, welche den sonst bei Dispersionsbestimmungen etc. benutzten und mit Hülfe von Salzperlen im Bunsenbrenner hergestellten Linien weit überlegen sind, aber leider weist die Vertheilung dieser hellsten Quecksilberlinien bedauerliche Lücken auf. Beispielsweise sind die vier rothen, im Quecksilberlichtbogen erscheinenden Linien ziemlich lichtschwach, und auch zwischen der hellgrünen Linie ($\lambda = 546 \mu\mu$) und der blauen Linie ($\lambda = 436 \mu\mu$) ist nur etwa noch die Linie $\lambda = 492 \mu\mu$ zu verwenden; diese Lücken werden aber gerade durch die hellsten Cadmiumlinien in glücklicher Weise ausgefüllt.

Leider ist es nicht leicht, die Cadmiumlinien einigermaßen intensiv herzustellen: Cadmiumsalze in das Linne-mann'sche Knallgasgebläse eingeführt, geben die Linien ungemein schwach. Wesentlich besser erhält man sie durch Cadmium-Metall oder -Amalgam in Geissler'schen Röhren,

1) L. Arons, Verh. der physikal. Ges. zu Berlin, in Wied. Ann. 47. p. 767. 1892.

doch bedarf man dazu eines starken Inductionsapparates und muss Röhren auf ca. 300° erhitzen, wodurch leicht Risse an den Einschmelzstellen der Pole entstehen. Auch der direct zwischen Cadmumpolen überspringende Inductionsfunke zeigt bei Anwendung eines sehr starken Inductoriums und Nebenschaltung einer Batterie Leydener Flaschen die Linien ziemlich hell; aber auch bei den Arbeiten, für welche die hierbei zu erzielende Intensität genügen würde, ist meist das Intermittiren des Lichtes lästig und strengt die Augen an. Wundervoll glänzend treten die Linien auf im directen Flammenbogen zwischen zwei Cadmumpolen, der sich für einen Augenblick ohne Mühe herstellen lässt, wenn man die Pole von jeder Oxydschicht befreit hat; leider erlischt dieser Bogen jedoch regelmässig nach einigen Secunden dadurch, dass die Pole erweichen, aneinander backen und sich ausserdem mit einer Oxydschicht überziehen; zudem entwickeln sich dabei dicke, gesundheitsschädliche Dämpfe. Mehrere Versuche, diese Schwierigkeiten zu beseitigen, führten nicht zum Ziele.

Nun hatte Arons unlängst versucht, seine Bogenlampe statt mit Quecksilber, mit Amalgam zu füllen¹⁾, darunter auch Cadmiumamalgam, hatte jedoch keine befriedigenden Resultate erzielt: die Lampen waren mit Kühlung überhaupt nicht zu benutzen und sprangen ohne dieselbe sehr schnell, sodass er zu dem Schlusse kam, dass „das Arbeiten mit Amalgamen in der Lampe sehr misslich sei“. Dessenungeachtet habe ich den von Arons eingeschlagenen Weg weiter verfolgt.

Es zeigte sich hierbei sehr bald, dass die Hauptschwierigkeit in der Beseitigung der bei den Amalgamen auftretenden Oxydschicht besteht. Filtrirt man nämlich das aus vollkommen gereinigten Bestandtheilen hergestellte Amalgam kurz vor der Füllung nochmals in der Luft, so zeigt auch dann, wenn man die Röhre direct nach dem Einfüllen evacuirt, das Amalgam doch stets nach kurzer Zeit einen grauschwarzen Oxydüberzug, welcher das Zustandekommen des Bogens erschwert; zudem hängt sich das Amalgam an die Glaswände an und bildet eine dauernde Brücke für den Strom, die kaum zu beseitigen ist. Dieselbe Erscheinung, wenn auch in ge-

1) L. Arons, Wied. Ann. 58. p. 71—95. 1896.

ringerm Maasse, trat ein, als ich das Amalgam im Vacuum herstellte, indem ich zunächst das Cadmium in die Röhre brachte, dieselbe evacuirt und dann erst das Quecksilber in vorher abgewogener Menge mittels einer Hahnzuführung in das Vacuum nachfliessen liess. Schliesslich gelang es, diese Schwierigkeit auf folgendem Wege zu beseitigen.

Die eigentliche Röhre RR (vgl. Taf. VIB) wurde mit zwei Ansatzröhren $A_3 DE A_4$ und $A_2 CK BT$ versehen (das scheinbar in der Zeichnungsebene liegende, gestrichelte Stück BT der letzteren steht thatsächlich senkrecht dazu); dieselben tragen bei A_1, A_2, A_3, A_4 Abschmelzstellen, bei V_1, V_2, V_3 Verengerungen, bei K eine zur Aufnahme des Amalgams bestimmte Kugel und bei T einen Trichter mit Hahn. Das Ganze wird nun zunächst mit Kalilauge, Salpetersäure und destillirtem Wasser sorgfältig gereinigt und getrocknet, was beides bei dieser Anordnung höchst einfach an der Wasserluftpumpe vorgenommen werden kann; sodann wird die Röhre an der Quecksilberluftpumpe evacuirt. Hierbei ist allerdings darauf zu achten, dass der Hahn H nur an beiden Enden, nicht aber auch am mittleren, mit der Bohrung versehenen Theile gefettet wird, da sonst beim Einfüllen des erwärmten Amalgams leicht Fetttheilchen mit ins Innere gelangen können; eventuell verhindern ein paar in den Trichter gegossene Tropfen Quecksilber das Eindringen von Luft durch den nicht gefetteten Hahntheil. Sodann wird die Röhre mit der Kugel K und der Abschmelzstelle A in einem Heizkasten, dessen Grundriss in der Zeichnung punktirt angegeben ist, ziemlich stark erhitzt und auch das herausragende, nach oben gerichtete Röhrenende BHT vorsichtig angewärmt. Bringt man nun das inzwischen ebenfalls angewärmte und nochmals filtrirte Amalgam durch den Trichter T und den Hahn H in die Kugel K , so wirkt die Abschmelzstelle A bereits als Filter und es bleibt vor derselben ein mit Oxyd überzogener Amalgamrest hängen, während das Amalgam in K schon sehr schön glänzend aussieht. Nunmehr schmilzt man das Trichterstück bei A_1 ab und evacuirt aufs neue unter nochmaligem Erhitzen und Neigen der Luftpumpe bez. Klopfen an der Röhre, sodass auch die im Amalgam noch vorhandenen Spuren von Luft möglichst vollkommen ausgetrieben werden. Hierauf wird die

Röhre bei A_1 von der Luftpumpe abgeschmolzen und das Amalgam aus der Kugel K durch die Verengerungen V und A_2 in die Röhre R hineinfließt, wo es ebenso rein und glänzend ankommen muss, wie gut gereinigtes Quecksilber. Schmilzt man nun noch das Kugelstück bei A_2 ab, so ist die Röhre zum Gebrauch fertig. Die Röhren Q , welche ebenso wie die eingeschmolzenen Platindrähte P als Stromzuführungen dienen, werden mit Quecksilber gefüllt, die Röhre wird im Wasserbade erwärmt und das geschmolzene Amalgam durch Neigen der Röhre zum Contact gebracht, bei dessen Unterbrechung der Lichtbogen entsteht, der dauernd weiter brennt, wenn die Quantität des Amalgams richtig bemessen war. Da sich dies jedoch vor dem Zustandekommen des Bogens schwer genau beurtheilen lässt, so bemisst man lieber von vornherein das Amalgam etwas reichlich und wirft den eventuell überschüssigen Theil in die Biegung des Rohres bei E . Das letztere kann man dann, je nach der Einrichtung des als Kühlbad dienenden Kastens, als Handhabe benutzen oder auch bei A_3 abschmelzen und die Röhre mit einer Klemmvorrichtung innerhalb der Kühlflüssigkeit befestigen.

Während das reine Amalgam von den Röhrenwänden auch bei Erwärmung auf 100° und darüber glatt abfließt, haftet das während des Brennens von den Polen verspritzte Amalgam fest am Glase und bildet in der Nähe der Pole einen undurchsichtigen Belag. Es ist deshalb rathsam, die Pole an das eine Ende der Röhre zu legen, sodass das andere Ende stets frei bleibt; eine Röhrenlänge von ca. 20 cm genügt hierzu vollständig. Der Abstand der beiden Polröhren voneinander ist für das Zustandekommen des Bogens nicht sehr wesentlich, — ich benutzte meist einen solchen von ca. 15 mm — ebenso auch der innere, etwa 20—25 mm betragende Durchmesser der Röhre RR , doch scheint die Helligkeit bei engeren Röhren etwas grösser zu sein.

Beim Auftreten des Bogens geräth nun hauptsächlich der eine Pol¹⁾ in starke Wallung und es zeigte sich, dass die grösste Helligkeit des Cadmiumlichtes von hier ausgeht. Da

1) Nach meinen Versuchen ist dies die Kathode, wie auch Arons in seiner ersten Mittheilung angiebt, während er in seiner zweiten Mittheilung diese Eigenschaft der Anode zuschreibt.

jedoch das Niveau des Amalgams gerade dort infolge von Verspritzen etc. leicht etwas sinkt, so würde das von diesem Pole kommende Licht für die Beleuchtung zum grössten Theile verloren gehen; ich habe deshalb an dem Winkel des Rohres über der Kathode ein Stück Wand unter ca. 45° der Röhrenaxe geneigt anbringen lassen und dasselbe versilbert, sodass auch das von unten kommende Licht in Richtung der Röhrenaxe austritt; thatsächlich wird hierdurch die Intensität der Linien erheblich vermehrt.

In dem Sinken des Amalgamniveaus an einem Pole liegt aber auch eine Gefahr für die Röhren selbst, indem der innere heisseste Theil des Lichtbogens dem die Pole trennenden Röhrenstück immer näher kommt und dies zum Springen bringt. Es ist deshalb rathsam, den Bogen von Zeit zu Zeit zu unterbrechen und durch Neigen der Röhre das gesunkene Niveau wieder zu heben. Der Versuch, dies Ziel durch zeitweises Umkehren der Stromrichtung zu erreichen, gelingt selten, da der Bogen auch bei raschem Commutiren meist erlischt.

Zweifellos spielt betreffs der Haltbarkeit der Röhren auch die Kühlung und die chemische Zusammensetzung des Glases eine wesentliche Rolle; es würde sich verlohnen, diesbezügliche Proben mit verschiedenen Glassorten anzustellen.

Als Stromquelle benutzte ich eine zu Beleuchtungszwecken vorhandene Accumulatorenatterie von 65 Volt; die Stromstärke betrug bei Einschaltung eines passenden Widerstandes ca. 8 Amp., doch lässt sich, wie Arons gezeigt hat, der Lichtbogen auch schon mit geringerem Energieverbrauch dauernd in Gang halten.

Die Intensität der Cadmiumlinien steigt mit der Concentration des Amalgams. Ein Amalgam aus 90 Gewichtstheilen Quecksilber und 10 Theilen Cadmium ist noch bequem zu handhaben; es ist zwar bei Zimmertemperatur nicht mehr durchweg flüssig, doch lösen sich die festen Theile bei mässiger Erwärmung wieder; bei höheren Concentrationen hat man mit dem Einbringen des Amalgams durch den Trichter und die Verengerungen wesentlich grössere Schwierigkeiten.

Ferner wächst die Lichtstärke mit der Temperatur der Kühlflüssigkeit. Ich verwendete siedendes Wasser und erhielt auch hiermit schon recht helle Linien; ein Versuch mit Glycerin

von 180° zeigte jedoch, dass die Intensität der Linien noch bedeutend zugenommen hatte, aber die sich entwickelnden Dämpfe waren hinderlich. Immerhin würde es kaum schwierig sein, diesem Uebelstande durch geeignete Wahl einer hochsiedenden Flüssigkeit bez. genügenden Abschluss des Bades zu begegnen. Jedenfalls ist die Anwendung einer heissen Kühlflüssigkeit der Verwendung der Röhren in freier Luft, die sie auf die Dauer nicht aushalten, vorzuziehen.

Es möge nun eine Zusammenstellung der Quecksilber- und Cadmiumlinien mit einer geschätzten Angabe ihrer Helligkeit bei Anwendung von siedendem Wasser als Kühlflüssigkeit folgen; 1 bedeutet die grösste Helligkeit; die Wellenlängen sind mit Hülfe des Abbé'schen Spectrometers bestimmt.

	Wellenlänge in $\mu\mu$	Intensität		Wellenlänge in $\mu\mu$	Intensität
Hg	695	5	Hg	503	5
Cd	644	3	Hg	496	6
Hg	623	4	Hg	492	3
Hg	613	4	Cd	480	3
Hg	607	5	Cd	468	3,5
Hg	579	1	Hg	436	1
Hg	577	1	Hg	435	4
Hg	568	5	Hg	434	4
Hg	546	1	Hg	408	3
Cd	538	5	Hg	405	3
Cd	515	5	Hg	398	5
Cd	509	2			

Es erreicht hiernach die Intensität auch der hellsten Cadmiumlinien diejenige der vier hellsten Quecksilberlinien keineswegs; jedoch ist dabei zu berücksichtigen, dass namentlich die von der Arons'schen Quecksilberlampe gelieferte grüne Linie ($\lambda = 546$) wohl das hellste monochromatische Licht darstellt, das wir überhaupt kennen und mit welchem sich nur das im Knallgasgebläse erzeugte Natriumlicht vergleichen lässt. Die mit der Intensität 1—3 bezeichneten Linien sind für Beleuchtungs- und Interferenzzwecke noch recht wohl zu verwenden, die Linien von der Intensität 4—5 reichen zur Bestimmung von Brechungsexponenten nach der Prismenmethode noch be-

quem aus. Dass die Anzahl der von mir beobachteten Quecksilberlinien etwas geringer ist, als die Zahl der von Arons beobachteten, liegt jedenfalls an der geringeren Temperatur der Kühlflüssigkeit, ist aber für die meisten optischen Zwecke vortheilhaft, da man meist doch nur die hellsten Linien verwenden und die übrigen beseitigen wird.

Einige weitere Versuche erstreckten sich auf Kalium-, Zinn- und Zinkamalgam. Die Herstellung von gut functionirenden Röhren der beiden ersten Arten bietet keinerlei besondere Schwierigkeiten, wenn man sich beim Kaliumamalgam auf eine Concentration von ca. 1 Proc., beim Zinnamalgam auf eine solche von 4—5 Proc. beschränkt; leider aber fand ich die Erfahrung von Arons bestätigt, dass sich bei Anwendung einer Kühlflüssigkeit die Kalium- und Zinnlinien überhaupt nicht zeigen; ich sah deshalb von einer Fortsetzung dieser Versuche bald ab. Dagegen gelang die Herstellung der Zinklinien recht gut, wenn auch nicht so leicht, als diejenige der Cadmiumlinien. Noch mehr als beim Cadmium muss man nämlich beim Zink auf absolute Sauberkeit von Röhren und Amalgam achten; zudem ist die Füllung der Röhren mit hochprocentigem Amalgam schwieriger, weil dies noch früher erstarrt, als Cadmiumamalgam. Ich beschränkte mich daher auf 4—5 Proc. Amalgam und erhielt folgende Linien, welche an Helligkeit denjenigen der Cadmiumlinien nicht wesentlich nachstehen:

Wellenlänge in $\mu\mu$	Intensität	Wellenlänge in $\mu\mu$	Intensität
636	3	480	6
508	3	472	3
481	2,5	468	3,5

Allerdings scheint es, als ob die Röhren mit Zinkamalgam besonders stark zum Springen neigten, was vielleicht auf die von anderer Seite gemachte Erfahrung zurückzuführen ist, dass Zinkamalgam das Glas leicht angreift. Da im übrigen die Zinklinien im Spectrum nahezu dieselbe Lage haben, wie die hellsten Cadmiumlinien, so ist schon aus diesem Grunde die Anwendung von Cadmiumamalgamröhren vorzuziehen.

Charlottenburg, April 1897.