ZUR KENNTNIS DER KATHODISCHEN METALLVERSTÄUBUNG IN VERDÜNNTEN GASEN.

Von V. Kohlschütter.

or einiger Zeit habe ich gemeinsam mit Rud. Müller in der Z. f. Elektrochemie¹⁾ eine Arbeit veröffentlicht, in der die Kathodenverstäubung im Glimmstrom als ein im wesentlichen chemischer Vorgang reklamiert wurde, nachdem die bisherige, ausschliesslich physikalische Betrachtungsweise für die Erklärung der Erscheinung wenig fruchtbar geblieben ist.

Diese Auffassung wurde nahegelegt durch die in jener Untersuchung eingehender festgestellte Abhängigkeit des Phänomens von der Natur des Gasrestes, dessen Einfluss sich als spezifisch erwies für jedes Gas und jedes Metall, insofern nicht für jedes der untersuchten Metalle die gleiche Reihenfolge der Gase nach ihrer Fähigkeit die Kathode anzugreifen erhalten wurde.

Auch die verschiedene Aenderung des Gasdruckes während der Verstäubung je nach der stofflichen Beschaffenheit, sowohl des Metalles, als des Gases, wies in diese Richtung²⁾.

Als der fragliche chemische Vorgang selbst wurde die Bildung endothermer, flüchtiger Metall-Gasverbindungen vermutet, die bei der Abkühlung unter Abscheidung von spiegel-förmigem Metall zerfallen³⁾.

Die Reaktion sollte sich vollziehen zwischen dem Kathodenmetall und den positiven Trägern des Glimmstromes. Diese besitzen bekanntlich eine Masse mindestens von der Grössenordnung des Atoms, aber auch beträchtlich darüber, so dass wir es noch durchaus mit materiellen Gebilden, wie sie für eigentliche chemische Vorgänge in Betracht kommen, zu tun haben.

Die zur Bildung der endothermen Verbindung nötige Energie wird geliefert durch die kinetische Energie, mit der diese Massenteilchen auf die Kathode treffen. Die kinetische Energie ist:

$$e = \epsilon \cdot K,$$

wenn ϵ die positive Einheitsladung des Trägers, K den Kathodenfall bedeutet.

Je grösser die Stromstärke, desto grösser ist natürlich die Zahl der in der Zeiteinheit zur Kathode gelangenden Träger, d. h. es lässt sich eine Steigerung der absoluten Konzentration jener hypothetischen Verbindungen mit der Stromstärke voraussehen. Je grösser der Kathodenfall bei demselben Gas und Metall und bei gleicher Stromstärke ist, desto grösser wird die kinetische Energie der Träger und damit desto höher die Temperatur bei der Einwirkung auf das Metall. Da es sich um endotherme Verbindungen handelt, deren Beständigkeit allgemein mit steigender Temperatur zunimmt, haben wir also ein Anwachsen der Gleichgewichtskonzentration mit steigendem Kathodenfall zu erwarten.

Beiden Forderungen der Theorie entspricht der Befund von Granquist¹⁾, dass die Verstäubung (an Platin in Luft untersucht) proportional ist annähernd dem Quadrat der Stromstärke und dem Kathodenfall. Granquists Resultat wird bestätigt und ergänzt durch eine Untersuchung von Holborn und Austin²⁾, die in der Mitteilung von Kohlschütter und Müller leider unberücksichtigt geblieben war. Es wird darin hauptsächlich die Wirkung wechselnder Spannung auf die Verstäubung bei gleicher Stromstärke verfolgt (in Luft bei *Ag*, *Pt*, *Ni*, *Ir*, *Bi*, *Cu*, *Pd*, *Sb*, *Rh*, *Au*) und gefunden, dass die bei verschiedenen Spannungen

1) Z. f. Elektroch. **12**, 365 (1906).

2) Herr Professor Ramsay hatte die Freundlichkeit, mich auf einige frühere Beobachtungen, die diesen Gegenstand betreffen, hinzuweisen: Bereits im Jahre 1897 benutzte Travers die Absorption von Helium durch verstäubendes Platin, um eine Fraktionierung des Gases zu bewirken, die seine Einheitlichkeit bewies. Da Argon im Gegensatz zu Helium von Platin wenig aufgenommen wird, war nach derselben Methode eine Reinigung des Argons von Helium durchzuführen (Proc. Roy. Soc. **60**, 449 [1897]). — Baly beobachtete bei der Untersuchung der Spektren der edlen Gase auch schon die Absorption infolge Verstäubung von Aluminium, und zwar im grössten Betrage bei Xenon (Proc. Roy. Soc. **72**, 84 [1903]). Eine Mitteilung von Trowbridge über Verstäubung von Platin in Argon habe ich in der mir zugänglichen Literatur nicht auffinden können.

3) Dieselbe Deutung hat Ramsay der Kathodenverstäubung gerade mit Bezug auf die auch von mir und Müller behandelte Verstäubung von Aluminium in Edelgasen gegeben, und zwar in einer Anmerkung zu der von uns zitierten Arbeit von Cooke über das chemische Verhalten von Argon und Helium (Proc. Roy. Soc. **77**, 148 [1906]). Das Zitat war dem Referat im Chemischen Centralblatt (C.-B. I., 897 [1906]) entnommen, da mir das Original damals noch nicht zugänglich war. Erst durch die nach unserer Publikation

erschienene deutsche Ausgabe der Arbeit (Zeitschr. f. physik. Chemie **55**, 537) wurde ich auf die Notiz aufmerksam.

1) Svensk. Vet. Akad. Forh. **55**, 709 (1898).

2) Wissenschaftl. Abhandlungen d. Physik.-techn. Reichsanstalt, Bd. IV, S. 101.

verstäubenden Mengen desselben Metalles sich in eine Beziehung zum Atomgewicht bringen lassen und dass die bei gleicher Spannung fortgeführten Mengen verschiedener Metalle im Verhältnis von Äquivalentgewichten stehen. Auch dies Ergebnis deutet entschieden auf ein chemisches Moment bei der Kathodenverstäubung hin und unterstützt die eingangs dargelegte Auffassung.

Es erscheint, wenn man von ihr ausgeht, möglich, die Theorie der Kathodenverstäubung ausführlicher, als es hier angedeutet wurde, in weitgehender Uebereinstimmung mit der physikalischen Erfahrung zu entwickeln, worauf ich zurückzukommen gedenke.

Der Vorgang der Verstäubung ist hiernach von der Kathode als solcher und ihrer Ladung unabhängig und zurückgeführt auf eine gewöhnliche chemische Reaktion zwischen Metall und Gasteilchen unter Zufuhr grosser Energie.

Dies musste sich zunächst dadurch prüfen lassen, dass man im stande ist, die in Frage kommenden positiven Träger auch ausserhalb des eigentlichen Stromkreises zu erhalten, wenn man eine mit Löchern versehene Kathode anwendet. Bekanntlich folgen dann die mit grosser Geschwindigkeit aus der negativen Glimmschicht heranfliegenden Träger, sofern sie die Richtung auf ein Loch in der Kathode haben, nicht

Fig. 332.

Fig. 333.

mehr den Krümmungen der Kraftlinien an der Kathode, sondern gelangen durch deren Kanäle in den Gasraum hinter der Kathode.

Mit den Kanalstrahlen musste sich also beim Auftreffen auf geeignete Metalle qualitativ derselbe Effekt erzielen lassen, wie an der Kathode selbst.

Ich fand dies in der Tat bestätigt. Allerdings war von vornherein aus mehreren Gründen eine viel geringere Wirkung zu erwarten, als unter sonst gleichen Umständen an der Kathode selbst. Dasselbe konnte aus einer gelegentlichen Beobachtung von J. J. Thomson¹⁾ geschlossen werden, wonach eine Metallplatte, die „lange Zeit“ unter der Einwirkung von

Kanalstrahlen steht, angegriffen wird. Die Erscheinung war dementsprechend viel weniger auffallend, und es ist mir auch noch nicht gelungen, in angemessenen Versuchszeiten zu einer durch Wägung genau verfolgbaren Verstäubung zu gelangen. Meine Beobachtungen können daher nur Anspruch machen, als qualitative Orientierung zu gelten.

Ich bediente mich einer der früher benutzten (Z. f. Elektroch. 12, 367 [1906]) ganz analog zusammengestellten Apparatur; nur das Entladungsgefäß hatte eine andere, aus Fig. 332 ersichtliche Form. Es war 30 cm lang, 3 cm weit und unten durch eine mit Quecksilberdichtung versehene Kappe verschlossen, an der bei den ersten Versuchen ein 6 mm weites Rohr von Barometerlänge sass (in der Figur nicht gezeichnet). Letzteres tauchte in das obere Drittel eines mit Quecksilber gefüllten Cylinders und diente als Führung für einen, unten ausserhalb des Rohres parallel aufgebogenen Glasstab, der oben im Entladungsgefäß ein Glattischchen trug.

Die Anode *a* wurde gebildet von einem 2 mm starken Aluminiumstift, der nur auf 1 cm aus einer ihm dicht anliegenden Glasröhre herausragte. Als Kathode *b* benutzte ich nach längerem Experimentieren mit anderen Anordnungen ein sehr feinmaschiges Messingdrahtnetz, das über einen 1½ cm hohen Cylinder aus starkem Messingblech gespannt war und den Querschnitt des Rohres vollständig ausfüllte. Der Abstand der Elektroden betrug etwa 10 cm.

Durch Heben und Senken der Stange im Barometerrohr konnte das Tischchen, ohne dass das Vakuum aufgehoben werden musste, auf eine beliebige Entfernung von der Kathode eingestellt werden. Nachdem sich für die der Einwirkung der Kanalstrahlen auszusetzenden Metalle ein Abstand von 4,5 cm als zweckmässig herausgestellt hatte, wurde später die Kappe mit der Barometerröhre durch eine andere ersetzt, in die ein Tischchen von Aluminiumblech auf diese Entfernung fest eingekittet war; es konnte durch seinen von Glasrohr umgebenen Träger *c* nach aussen abgeleitet werden und wurde von den in Blechform verwendeten anderen Metallen vollständig bedeckt. In der Verschlusskappe waren mehrere Röhrchen mit Phosphorpentoxyd untergebracht.

Schliesslich wurde noch über das Tischchen ein oben bis auf ein Loch von 7 mm Durchmesser geschlossenes Einsatzrohr *d* geschoben, das erstens als Blende diente, um das zur Einwirkung zu bringende Kanalstrahlenbündel für die einzelnen Versuche in gleicher Weise zu begrenzen, und zweitens die durch Verstäubung der bestrahlten Metalle entstehenden Beschläge auffing. Es kamen mehrere ganz gleiche Einsatzröhren zur Verwendung, damit die Beschläge

¹⁾ Proc. Cambridge Philos. Soc., VIII, part. IV, 212 (C.-B. I, 891 [1906]).

so gut als möglich miteinander verglichen werden konnten, da, wie erwähnt, die aufgefundenen Metallmengen bislang noch unwägbare blieben.

Als Stromquelle diente ein mittelgrosses Induktorium. Die Entladungsröhre wurde ausgepumpt, bis das Licht der ersten Kathodenschicht sich bis auf einen bestimmten Umfang nach der Mitte des Netzes zurückgezogen hatte, und damit gut ausgebildete Kanalstrahlen in der Form, wie es Fig. 333 erkennen lässt, auftraten. Im oberen Teil des Rohres erschien dabei schon intensiv die gelbgrüne Fluoreszenz der Kathodenstrahlung.

Um das Kanalstrahlenbündel im unteren Teil des Rohres von etwa beigemischten Kathodenstrahlen zu säubern, musste es dicht unter der Netzkathode das Feld eines starken Hufeisenmagneten passieren, wodurch, nach dem vor der Kathode betrachteten Effekt zu urteilen, Kathodenstrahlen sicher so weit zur Seite gebogen wurden, dass sie nicht in das Loch der Blende gelangten. Sichtbar durch Fluoreszenz wurden Kathodenstrahlen im unteren Teil des Rohres niemals; ihr Auftreten liess sich nur vermuten, weil in einem Falle, wo Platinblech ohne Einsatzrohr bestrahlt wurde, der Beschlag sich ungleichmässig auf die eine Seite der Röhre setzte, was wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass auf der gegenüberliegenden Wand durch die abgelenkten Kathodenstrahlen das Ansetzen des Beschlages erschwert wurde, wie es bei der gewöhnlichen Kathodenverstäubung zu geschehen pflegt.

Die Kanalstrahlen riefen auf der oberen Seite des Auffangröhrchens die von Goldstein¹⁾ und Wien²⁾ behandelten Fluoreszenzerscheinungen hervor. Regelmässig trat die orangegelbe Fluoreszenz auf, seltener die grüne, die mir übrigens nach ihrer Farbe nicht mit der durch Kathodenstrahlung hervorgerufenen verwechselbar erschien.

Mitunter zeigten sich auch rückwärts der Kathode Entladungserscheinungen dergestalt, dass das metallene Tischchen und seine Zuleitung als Sekundärkathode wirkten. Das Tischchen, sowie sein Träger waren dann von blauem Kathodenlicht überzogen, und über die ganze Rohrwand ging schwache Fluoreszenz von Kathodenstrahlen.

Diese störenden Erscheinungen verschwanden sofort, wenn die Netzkathode durch die Gasleitung geerdet wurde, was daher später auch immer geschah.

Ich habe bisher nur mit wenigen Metallen und Gasen Versuche anstellen können. Die Metalle wurden jedesmal $1\frac{1}{2}$ Stunde der Ein-

wirkung der Kanalstrahlen ausgesetzt. Die Beschläge auf den Auffanggläsern waren gegen das Metall hin ganz scharf abgegrenzt; sie begannen 1 bis 2 mm über der Höhe des Tischchens. Nach rückwärts gelangte keine Spur von Beschlag, wie ja auch die kathodische Verstäubung, selbst bei Anwendung eines Netzes, niemals auf die Rückseite der Kathode geht.

Eine genaue Vergleichung der Metalle nach ihrer Verstäubbarkeit durch Kanalstrahlen war aus dem mehrfach erwähnten Grunde noch nicht möglich. Mit Sicherheit kann jedoch gesagt werden, dass sie bei den verschiedenen Metallen verschieden ist. Bei Aluminium war keine Spur zu beobachten, Kupfer gab einen sehr geringen, Gold einen deutlicheren und Platin einen bereits schwach spiegelnden Beschlag. Ein Messingnetz von derselben Art, wie es als Kathode diente, erwies sich nach der Bestrahlung auf der der Kathode zugekehrten Seite als deutlich abgescheuert, während weder auf dem Auffangrohr, noch auf der Glasunterlage ein Beschlag beobachtet werden konnte. Diese Beobachtungen beziehen sich auf die Einwirkung von Luftkanalstrahlen.

Die Reihenfolge der vier Metalle ist annähernd die, wie sie bei der eigentlichen Kathodenverstäubung erhalten wird; nur Gold verstäubt, als Kathode ausgesprochen, mehr als Platin.

Um festzustellen, ob eine Ladung des Metalles, besonders eine negative, Einfluss auf die Verstäubung hat, habe ich an Platin die Wirkung der Bestrahlung untersucht, während das Metall auf — 220 Volt, und selbst — 2000 Volt durch Verbindung von *c* mit den entsprechenden Polen der Lichtleitung, bzw. einer Hochspannungsbatterie geladen war. Soweit es sich nach blosser Schätzung beurteilen lässt, fand höchstens bei dem hohen Potential eine kleine Steigerung der Verstäubung statt. Namentlich auch schien es keinen Unterschied zu machen, ob das Metall zur Erde abgeleitet war oder nicht. Ersteres wurde jedoch zur Regel gemacht.

Von grösserem Interesse als ein Vergleich der Metalle untereinander war die Beobachtung des Effektes an demselben Metall in verschiedenen Gasen. Die direkte kolorimetrische Vergleichung war hier mit einer viel grösseren Sicherheit möglich als bei verschiedenen Metallen; vor allem, da die Wirkung in Luft und Wasserstoff, die vorerst allein benutzt wurden, sehr deutlich dem Grade nach voneinander verschieden war.

Besonders Platin gab in Luft einen viel intensiveren Beschlag als in Wasserstoff, in dem das Auffangrohr nur eben angeraucht erschien. Auch Gold wies einen deutlichen Unterschied in demselben Sinne auf.

1) Verhandl. d. Deutsch. phys. Gesellsch. 4, 4 (1902).

2) Ann. d. Phys. 8, 244.

Gerade dies Resultat scheint mir bedeutungsvoll, weil die Ausbreitung der Kanalstrahlen in Wasserstoff viel weiter erfolgt als in Luft, in der sie rascher zerstreut werden. Auch dem Augenschein nach war die Ausbildung des rosafarbenen Kanalstrahlenbündels in Wasserstoff schöner als die des gelben in Luft. Die Metallverstäubung kann daher wohl keine Wirkung der Kanalstrahlen schlechthin sein, sondern auch hier haben wir, wie bei der Kathodenverstäubung, die doppelte Abhängigkeit von der Natur des Metalles und des Gases. Ich zweifle danach nicht an der wesentlichen Identität der Verstäubung an der Kathode und der durch Kanalstrahlen. Wie jene würde dann auch diese im Sinne eines chemischen Vorganges zu deuten sein.

Zu Gunsten eines solchen möchte ich schliesslich noch geltend machen, dass die Unterschiede, die der Effekt bei verschiedenen stofflichen Komponenten zeigt, verhältnismässig grob sind und mit guter Uebereinstimmung reproduziert werden können. Namentlich scheint er nicht so empfindlich gegen spurenweise Verunreinigungen, wie man es — um nur an den Einfluss geringer Beimengungen auf den Kathodenfall zu erinnern — erwarten könnte, wenn es sich um feinere elektrische Vorgänge handelte. Solchen ist jedoch, wenn sie als Begleiterscheinungen der Metallverstäubung auftreten, bei deren Untersuchung die grösste Beachtung zu schenken. Von Wichtigkeit dürfte besonders die Erforschung der Verstäubung durch Kanalstrahlen im Zusammenhang mit der Bestimmung der durch letztere hervorgerufenen Sekundärstrahlung sein.

Wie J. J. Thomson¹⁾ gezeigt hat, rufen Kanalstrahlen Kathodenstrahlen kleiner Geschwindigkeiten hervor. Füchtbauer²⁾ hat die Stärke dieser negativen Sekundärstrahlung bei verschiedenen Metallen gemessen und die Reihenfolge der Metalle als die der Voltareihe erkannt, indem Platin den kleinsten, Aluminium den grössten Wert gibt. Wenn für die Verstäubbarkeit eine Beziehung zur Sekundärstrahlung besteht, so würde sie von der Art sein, dass hohen Werten der Sekundärstrahlung geringe Verstäubung entspricht. Ich habe schon mit Müller (l. c.) darauf hingewiesen, dass die Zerstäubbarkeit als Kathode im ganzen einen Parallelismus mit der Spannungsreihe zu zeigen scheint, insofern sie von den edlen Metallen zu den unedlen abnimmt.

Ich halte es für wahrscheinlich, dass das Wesen der viel bearbeiteten Kathodenverstäubung sich leichter durch Untersuchung der Verstäubung durch Kanalstrahlen wird aufklären

lassen, da hier das Phänomen voraussichtlich eher frei von zufälligen Störungen, wie Sublimations- und Verdampfungsvorgängen u. s. w., erhalten wird. Die Voraussetzung ist allerdings, dass der Effekt zu exakter Messbarkeit gebracht wird, was bei geeigneter Anordnung vielleicht schon mit der Mikrowage zu erzielen ist. Beim gleichen Metall werden chemisch-kolorimetrische Methoden vielfach ausreichen.

Für die Prüfung der Hypothese eines chemischen Vorganges von der Art, wie er oben geschildert wurde, kommt vor allem die genaue spektrographische Untersuchung des Lichtes auf Metalle treffender Kanalstrahlen in Betracht. Auch die Spektren der Kanalstrahlen, die mit Kathoden aus verschiedenen Metallen und in verschiedenen Gasen erzeugt wurden, können vielleicht Anhaltspunkte für das Auftreten gasförmiger Metallverbindungen geben. Stark und Hermann¹⁾ haben wenigstens bei ihren interessanten Untersuchungen über die Träger von Linien- und Bandenspektren Linien von Aluminium, das aus der Kathode stammen muss, im Spektrum der Kanalstrahlen konstatiert. Allerdings ist wenig wahrscheinlich, dass wesentliche Mengen vom Kathodenmetall irgendwie in die Kanalstrahlen übergehen, weil, wie schon oben angeführt wurde, rückwärts der Kathode keine Metallbeschlüge auftreten. Ich habe einen besonderen Versuch in der Weise angestellt, dass ich Kanalstrahlen, die an der Messingnetz-kathode erzeugt waren, längere Zeit auf einen polierten Glasteller treffen liess. Obwohl die Kathode nach vorn lebhaft verstäubte, war auf dem Teller nichts von einem Beschlage zu bemerken. Auch die Auffangröhren bei den oben beschriebenen Versuchen waren auf der oberen Seite stets frei von Beschlag. Dies scheint mir auch gegen die Hypothese von Gehrke²⁾ zu sprechen, nach welcher die Kanalstrahlenteilchen grosser Masse Zerstäubungsprodukte der Kathode sein sollen. Dagegen darf vielleicht die Erwartung ausgesprochen werden, dass sich in den Glimmlightspektren mancher Metalle bei genauerer Untersuchung Linien finden, die jenen bis jetzt hypothetischen Verbindungen zugeschrieben werden können³⁾.

Ich gedenke, mich mit dem Gegenstand, der, wie ich glaube, gerade vom chemischen Standpunkt aus Anspruch auf Interesse hat, noch weiterhin zu beschäftigen, und die hier mitgeteilten Versuche zu vervollständigen und fortzusetzen. Diese wurden während der letzten Ferien im Laboratorium von Stockholms Högskola

¹⁾ Stark und Hermann, Phys. Zeitschr. 7, 92 (1902).

²⁾ Physikal. Zeitschr. 7, 181—182.

³⁾ Vergl. Trowbridge, Spectra of gases and metals at high temperatures, Phil. Mag. [6] 6, 58 (1903).

¹⁾ l. c.

²⁾ Phys. Zeitschr. 7, Heft 5, S. 152 (1906).

ausgeführt, wo Herr Professor H. von Euler mir mehrere Monate in liebenswürdigster Weise Gastfreundschaft gewährte. Ihm, sowie Herrn Ingenieur E. Holm, Assistenten am physi-

kalischen Institut, bin ich für viel freundliche Unterstützung zu grossem Danke verpflichtet.

Strassburg, den 10. November 1906.

(Eingegangen: 11. November.)

TECHNISCHES REPERTORIUM.

NEUERUNGEN AUF DEM GEBIETE DER AKKUMULATORENTECHNIK IM JAHRE 1905.

Von Dr. Max Roloff und Dr. Erich Siede.

II. Teil. Die Aluminiumzelle und die Cooper-Hewitt-Lampe.

(Fortsetzung und Schluss.)

Die elektrolytischen Umformer sind wegen ihrer einfachen Konstruktion und leichten Handhabung mit Vorteil da zu benutzen, wo es im wesentlichen nur darauf ankommt, durch ein Stromventil Ströme in anderer als in der gewünschten Richtung abzuschneiden. Wenn aber Wechselstrom in grösserem Maassstabe in Gleichstrom umgewandelt werden soll, so ist die Aluminiumzelle nicht vorteilhaft anzuwenden.

Wie Soulier (Centralbl. f. Akkumulatoren 1905) näher ausführt, ist es besonders die geringe zulässige Belastung und der geringe Nutzeffekt, der zu Ungunsten der Aluminiumzelle spricht.

In Amerika, wo die ausgedehnte Verwendung von Wechselstrom die Frage der Umformung sehr in den Vordergrund stellt, benutzt man daher mit besserem Erfolge ein anderes Prinzip, und zwar das der von Cooper-Hewitt ausgearbeiteten Quecksilberlampe.

Der elektrische Lichtbogen im Quecksilberdampf ist eines der ältesten Verfahren zur Erzeugung elektrischen Lichtes. Schon im Jahre 1860 machte der Engländer Way auf die grosse Lichtausbeute beim Quecksilberlichtbogen aufmerksam. Bei seiner Lampe floss Quecksilber aus einer engen Trichteröffnung in ein weiteres Gefäss. Er verband nun das Quecksilber im Trichter und in der unteren Schale mit je einem Pol einer Bunsen-Batterie und erhielt so einen glänzenden Lichtbogen. Um den Materialverbrauch einzuschränken, wurde der Strahl mit einem Glascylinder umgeben. Nach Ways Versuchen blieben die Erscheinungen lange vergessen. Erst 20 Jahre später wurden einige diesbezügliche Patente angemeldet (Rapieff, Rizet, Langhans), jedoch haben die Versuche auch nicht weiter die Grenzen des Laboratoriums überschritten. Erst Arons lenkte wieder durch seine Arbeit (Wied. Ann., 58, 73 [1896]) die Aufmerksamkeit auf dieses glänzende Phänomen.

Arons benutzte für seine Versuche ein umgekehrtes U-Rohr, dessen beide Schenkel zum Teil mit Quecksilber gefüllt waren. Letzteres stellte die Elektroden der Lampe dar. Der Raum über den Elektroden musste evakuiert sein. Durch Neigen wurde die Lampe in Gang

gesetzt. Doch machte ihm die in der Lampe erzeugte hohe Temperatur grosse Schwierigkeiten und beeinflusste stark die Potentialmessungen. Erst bei Anwendung von Wasserkühlung gelang es ihm, wenn das Wasser zum Kochen kam, und so ein stationärer Zustand sich einstellte, einigermaassen konstante Werte zu erhalten. Jedoch erhöhte die Wasserkühlung die Bruchgefahr ganz erheblich. Ausserdem arbeitete die Aronssche Lampe nur mit geringer Spannung und brauchte bei der gewöhnlichen Betriebsspannung von 110 Volt einen erheblichen Vorschaltwiderstand, der viel Energie verzehrte und den Nutzeffekt herabsetzte. Einen wirklich technisch brauchbaren Apparat hat erst Cooper-Hewitt konstruiert, der lange Jahre genau die Faktoren studierte, von denen der Widerstand des Quecksilberdampfes abhängig ist. Er zeigte, wie ausserordentlich die elektrische Charakteristik und die Lichtökonomie eines stromführenden Gases durch dessen Dichte beeinflusst werden. Die Lampen von Cooper-Hewitt bestehen aus geschlossenen evakuierten Glasröhren, an deren beiden Enden sich die Elektroden befinden; ein weiterer wesentlicher Bestandteil ist die an geeigneter Stelle angeschmolzene gläserne Kühlkammer. Die Elektroden sind entweder zwei Quecksilberelektroden oder eine Quecksilberelektrode fungiert als negative und eine Eisen-elektrode als positive Stromzuführung. Die Dimensionen der Gasstrecke werden bestimmt durch die vorgesehene Stromstärke.

Eine sehr wichtige Funktion hat die Kühlkammer. Letztere ist eine kugelförmige Ausbuchtung, welche vom Strom nicht sichtbar durchflossen wird. Sie hat den Zweck, die Gasspannung im Innern der Lampe so niedrig zu halten, dass die Lampe die gewünschte Stromstärke einhält. Je grösser die Oberfläche der Kühlkammer ist, um so mehr erniedrigt sie die Temperatur und somit auch den Gasdruck im Innern der Lampe. Zum Ingangsetzen der Lampe kann man zwei Methoden anwenden. Man kann erstens an die Elektroden einige Male momentan ein höheres Potential anlegen. Dadurch wird, wie in den Geisslerschen Röhren, der Strom durch die im Vakuum befindliche