Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 4 (1931)
Heft: III-IV

Artikel: Zur Methodik der Kathodenfall-Messungen
Autor: Jung, Carl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-110038

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Zur Methodik der Kathodenfall-Messungen

von **Carl Jung.**

(19. V. 31.)

§ 1. In einer Glimmentladung wird der starke Abfall des Potentials, welcher unmittelbar an der Kathode beginnt und etwa im negativen Glimmlicht endet, der Kathodenfall genannt. Ist die Kathode vom Glimmlicht nicht vollständig überdeckt, so hat man es mit dem sogenannten normalen Kathodenfall, bei vollständiger Bedeckung aber mit dem anormalen Kathodenfall zu tun. Der normale Kathodenfall gewinnt dadurch an Interesse, dass er bei Strom- und Druckvariation fast konstant bleibt. Die Grenze des Kathodenfalles nach der Anode hin ist nicht sehr scharf definiert. Weder ein ausgezeichneter Punkt in der Helligkeit des negativen Glimmlichtes noch eine Unstetigkeit im Potentialverlauf deuten die Grenzen des Kathodenfalles an. Da aber der Potentialgradient im negativen Glimmlicht ein Minimum aufweist, schlägt SKINNER[1]) vor, den Potentialabfall zwischen Kathode und dem Orte dieses Minimums als Kathodenfall zu definieren, ähnlich auch HOLM[2]). Die Definition von WARBURG[3]) verlegt die Grenze des Kathodenfalles in den Saum des negativen Glimmlichtes nach der Anode hin; allerdings ist hierbei zu beachten, dass dadurch der Potentialabfall im negativen Glimmlicht dem eigentlichen Kathodengefälle zugezählt wird. Die Mehrzahl der Messungen sind aber nach der Warburgschen Definition vorgenommen, und SCHAUFELBERGER[4]), der sie benutzte, findet Druckunabhängigkeit des Kathodenfalles und gut reproduzierbare Werte.

Bis auf wenige Ausnahmen wurde der Kathodenfall bisher mit Potentialsonden gemessen. Dabei lag die Annahme zugrunde, dass die Sonde das sie umgebende Potential annimmt, eine Voraussetzung, die allerdings mehrfach in der Literatur[5]) bestritten

---

[1]) C. A. SKINNER, Phys. Rev. **5**, 483 u. **6**, 158, 1915.

[2]) R. HOLM, Phys. Zs. **17**, 407, 1916.

[3]) E. WARBURG, Wied. Ann. **31**, 545, 1887.

[4]) A. SCHAUFELBERGER, Ann. d. Phys. **73**, 21, 1923.

[5]) Z. B. W. KOSSEL, Jahrb. d. Rad. u. Elektr. **18**, 326, 1921; Handbuch der Physik von GEIGER u. SCHEEL, **14**, Artikel R. BÄR, S. 199.

worden ist. Um diese Frage zu klären, wurde in der vorliegenden Arbeit die Sondenmethode noch mit einer anderen Kathodenfallmessanordnung verglichen.

GÜNTHER-SCHULZE[1]) und später DÄLLENBACH[2]) machten vor einigen Jahren den Vorschlag, den Kathodenfall anders zu messen. Nähert man nämlich in einer Glimmentladung zwischen planparallelen Elektroden (bei konstantem Entladestrom) Anode und Kathode einander, so findet man, dass das zwischen den Elektroden gemessene Potential zuerst schwach abfällt, entsprechend dem Spannungsgefälle der mehr und mehr verschwindenden positiven Säule. Nähert man die Platten weiter, so ist bei einem gut definierten Punkte zu beobachten, wie die Spannung stark abfällt und dabei die anodische Glimmhaut und der Anodenfall verschwinden. Bei weiterer Annäherung der Elektroden folgt ein flaches Minimum des Potentials, welchem bei noch weiterer Annäherung ein steiler Anstieg folgt. Dieser Anstieg wird dadurch hervorgerufen, dass die Anode in die kathodischen Gebilde der Entladung eindringt und den die Elektronenbildung bewerkstelligenden Mechanismus behindert. Die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden beim Minimum wird von GÜNTHER-SCHULZE als der normale Kathodenfall angesprochen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, die Methode der Kathodenfallmessung nach GÜNTHER-SCHULZE unter möglichst verschiedenen Versuchsbedingungen zu prüfen und mit der Sondenmethode zu vergleichen.

§ 2. Die Messanordnung war für alle Untersuchungen in den Hauptteilen dieselbe. Es wurde anfangs versucht, die nötige Spannung für das Entladungsrohr einer Hochspannungsgleichstrommaschine zu entnehmen. Aber auftretende, in einem eingeschalteten Telephon bemerkbare Schwingungen liessen sich nicht beseitigen. Dieser Misstand gab Anlass zur Wahl einer Hochspannungsbatterie als Spannungsquelle.

Figur 1 zeigt die Anordnung der Entladungsröhre, die eine Länge von 25 cm hatte. Der innere Durchmesser des Hauptrohres betrug 55 mm. Bei F—F_1 war die Röhre auseinanderzunehmen. Die beiden Teile der Röhre, deren Ränder umgebogen aber nicht plangeschliffen waren, wurden nach Einsetzen der Elektroden aufeinandergesetzt und bei F—F_1 mit Picein abgedichtet. Die Elektroden hatten einen Durchmesser von nur etwa 25 mm, so dass Störungen durch Glaswandaufladungen kaum

[1]) A. GÜNTHER-SCHULZE, ZS. f. Phys. **28**, 129. 1924.
[2]) W. DÄLLENBACH, Phys. ZS. **26**, 483. 1925.

zu befürchten waren. Auch trat die positive Säule nicht in Erscheinung. Durch zwei Magnetspulen M_1 und M_2, welche über die beiden angesetzten Rohrenden verschiebbar waren und die die darin liegenden Eisenkerne B und C mitführten, konnten die Elektroden A und K beliebig genähert und voneinander entfernt werden. Eine Platinsonde S von 0,02 mm Durchmesser ragte während der Vorversuche ca. 12 mm aus der wenig dickeren Spitze eines ausgezogenen Glasröhrchens hervor. Sie war wie bei SCHAUFELBERGER[1]) verschieden tief in die Entladung zu tauchen. Es wurde bei der Herstellung der Sonde besonders darauf geachtet, dass die Sondenspitze genau in der Achse des sie umgebenden

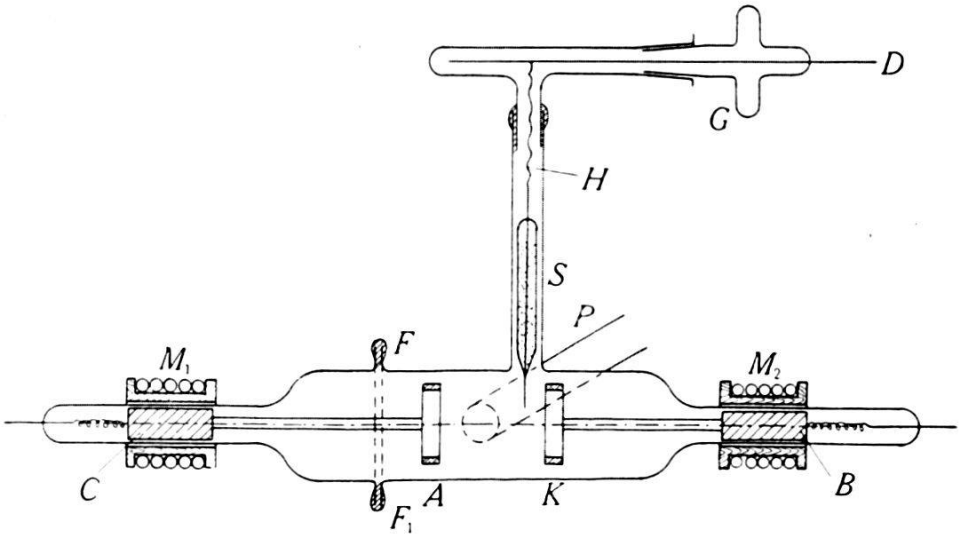

Fig. 1.

Glasröhrchens lag. Das Röhrchen war an der Spitze zugeschmolzen und am oberen Ende zugekittet. Die Dimensionen dieses Sondenrohres waren so gewählt, dass das Röhrchen genaue Führung in dem an das Hauptrohr angeblasenen, senkrecht stehenden Rohre hatte. Die ganze Sonde hing an einem Lamettafaden H, welcher seinerseits an einem dickeren Drahte D befestigt war; durch Drehen des Schliffes G, durch welchen der Draht D nach aussen führte, konnte der Lamettafaden H mehr oder weniger auf D aufgespult und damit die Sonde verschieden tief in die Entladung eingetaucht werden. Damit die Sonde ein genügendes Gewicht hatte, wurde das Sondenröhrchen mit Messingspänen gefüllt.

Das an die Entladungsröhre angeblasene Rohr P führte über ein mit P_2O_5 beschicktes Trockenrohr und ein U-Rohr, das mit flüssiger Luft gekühlt werden konnte, zu einem Mc Leod-Mano-

[1]) a. a. O.

meter und zur Pumpe (Gaede'sche Kapselpumpe und rotierende Quecksilberpumpe).

Figur 2 zeigt die elektrische Messanordnung. Der Strom aus einer Klingelfussbatterie B_1 von 600 Volt wurde für die ersten Messungen durch einen Flüssigkeitswiderstand reguliert. Da bei stärkerer Beanspruchung des Widerstandes Inkonstanz des Stromes eintrat, wurde bei den endgültigen Messungen der Strom durch eine Gleichrichterröhre G geregelt. Diese Röhre, deren Glühdraht durch einen 4 Volt-Akkumulator B_2 geheizt wurde, gestattete Ströme bis zu 20 mA zu verwenden. Der Heizstrom konnte durch einen Widerstand R_1 variiert und durch das Ampère-

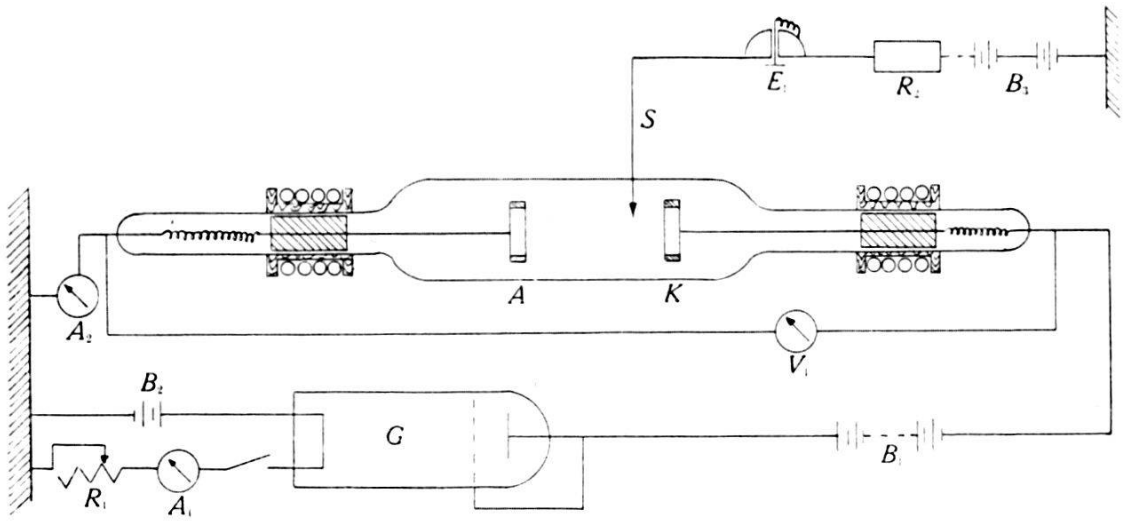

Fig. 2.

meter A_1 gemessen werden. Gitter und Anode der Gleichrichterröhre waren miteinander verbunden. Die Regulierung des Entladestromes durch die Gleichrichterröhre G bewährte sich ausgezeichnet[1]). Die Entladung war vollkommen stabil. Der Entladestrom wurde mit dem Präzisionsampèremeter A_2 gemessen. Das Potential der Sonde S wurde mit einem Quadrantelektrometer von Carpentier E_1, das eine Schwingungsdauer von etwa 11 Sekunden und aperiodische Einstellung besass, in idiostatischer Schaltung gemessen. Der Messbereich des Instrumentes reichte nur bis 70 Volt. Um auch höhere Spannungen zu messen, konnte von der Batterie B_3 aus an das eine Quadrantenpaar über einen Schutzwiderstand R_2 von 10^6 Ohm eine regulierbare Kompensationsspannung (bis 300 Volt) angelegt werden. Das Voltmeter V_1 (innerer Widerstand 10^5 Ohm) diente dazu, die an dem Entladerohr anliegende Potentialdifferenz Anode—Kathode zu messen.

---

[1]) A. von Muralt, Ann. d. Phys. **85**, 1127, 1928.

Für Sondenmessungen gilt die Bedingung[1]), dass auch bei einer sehr kleinen Potentialdifferenz zwischen der Sonde und dem Gas die Elektrizitätsmenge, welche von der Sonde durch unvollkommene Isolierung abgeführt wird, verschwindet gegen die ihr vom Gas in derselben Zeit zugeführten. Es muss also für sehr gute Isolation der Sonde und des damit verbundenen Elektrometerquadranten gesorgt werden. Ob genügende Isolation vorhanden ist, wurde nach der Methode von WARBURG[2]) öfters kontrolliert. Es muss sich nämlich bei geerdeter Kathode ebenso wie bei geerdeter Anode das Potential Kathode—Sonde plus dem Potential Sonde—Anode gleich dem Potential Kathode—Anode ergeben.

§ 3. Um konstante Sondenpotentialwerte zu erhalten, ist es nötig, dass das Glimmlicht stets an derselben Stelle der reinen Kathode bleibt, die Entladung darf nicht auf der Kathode umlaufen. Nun gibt zwar die geringste Verunreinigung der Kathode dem negativen Glimmlicht Anlass, sich an dieser unreinen Stelle festzusetzen, aber das Sondenpotential, das bei einem solchen Ansetzen des Glimmlichtes an einer unreinen Stelle der Kathode gemessen wird, ist immer von dem Potential verschieden, das man bei einer reinen Kathode findet. Die Bedingung für einwandfreie Messungen ist also in erster Linie reine Elektroden, was am besten durch Abdrehen derselben mit einem sauberen, trockenen Drehstahl erreicht wurde. Ohne jede weitere Behandlung oder Berührung wurden dann die Elektroden in das Rohr eingesetzt. Polieren, Abschmirgeln oder Abfeilen der Elektroden und Behandlung mit Alkohol gaben immer Anlass zu Verunreinigungen. Um die Elektroden auch vor einer Verunreinigung durch Quecksilberdampf zu schützen, befand sich in dem Zuführungsrohr *P* (Figur 1) ein Filter aus dünner Goldfolie[3]). Das häufige Ansetzen der Entladung an der Umrandung der Elektroden, oder das Überspringen auf die Rückseite der Elektroden wurde anfänglich auf folgende einfache Weise vermieden. Man umgibt die Elektrode, deren Kathodenfall gemessen werden soll (z. B. Aluminium), mit einem solchen Metallring (z. B. Messing), der ein höheres Kathodengefälle besitzt. Hierdurch wird erreicht, dass die Entladung weder am Rande der Kathode noch an ihrer Rückseite ansetzt,

---

[1]) E. WARBURG, Wied. Ann. **31**, 553, § 8. 1887.

[2]) E. WARBURG, a. a. O.

[3]) Dass diese Vorsichtsmassregel wirksam war, geht daraus hervor, dass die Al-Elektroden nach langem Gebrauche in Berührung mit feuchter Luft *kein* Aluminiumhydroxyd bildeten.

wenigstens solange die Bedeckung der Elektrode nicht eine sehr anormale ist.

Die Prüfung darauf, dass in der Entladung keine Schwingungen vorhanden waren, geschah mit Hilfe der von v. MURALT[1]) angegebenen Methode. Ein Vakuumthermokreuz war an die Primärwicklung eines kleinen Telephontransformators gelegt, dessen Sekundärwicklung in den Stromkreis des Entladungsgefässes geschaltet war. Die beiden anderen freien Enden des Thermokreuzes waren mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden. Mit Hilfe dieser Anordnung ist es leicht möglich, vorhandene elektrische Schwingungen, auch wenn sie sehr hohe Frequenz und nur geringe Intensität besitzen, nachzuweisen.

§ 4. Um die Zuverlässigkeit der Sonde auszuprobieren, wurde der Potentialverlauf innerhalb der Entladungsbahn gemessen. Dazu muss man, bei konstantem Abstand Kathode—Anode, den Raum zwischen den Elektroden mit der Sonde abtasten. Aus leicht ersichtlichen Gründen war es hierbei einfacher, die Sonde feststehend an ihrem Platz zu belassen und relativ zu ihr die Elektroden unter konstant gehaltenem gegenseitigen Abstand zu verschieben. In Fig. 3 ist das typische Resultat eines Versuches dargestellt. Die Abszissen der Messpunkte bedeuten die Entfernungen der Sonde von der Kathode in Millimetern, während die Ordinaten die Potentialdifferenzen *Sonde—Kathode* in Volt angeben. Der konstante Elektrodenabstand war 1 cm, der Druck des Gases (Luft) 3,4 mm Hg, das an der Röhre anliegende Potential Anode—Kathode 306 Volt und die Stromstärke, die dauernd konstant gehalten wurde, betrug 5 mA. Da bei verschiedenen Eintauchtiefen der Sonde in die Entladung das Potential der Sonde sich änderte, sind je drei Kurven bei verschiedener Eintauchtiefe angegeben: einmal, wenn sich die Sonde in der Mitte der Entladungsbahn befindet (Kurve *a*), dann, wenn sie 3 mm tief eintaucht (Kurve *b*), und schliesslich, wenn sie nur den äusseren Saum der Entladungsbahn berührt (Kurve *c*). Die Messpunkte mit den kleinsten Abszissenwerten (2 mm) entsprechen derjenigen Stellung der Sonde, bei der diese sich am Rande des negativen Glimmlichtes (nach dem Faraday'schen Dunkelraum hin) befindet. Es sei bemerkt, dass die positive Säule nicht sichtbar war. Der in Figur 3 als Beispiel angegebene Versuch wurde folgendermassen ausgeführt. Es wurde mit einer frisch eingesetzten, neuen Sonde begonnen, die auf den Abszissenwert 2 mm eingestellt war und den äusseren Saum des negativen Glimm-

[1]) A. VON MURALT, Ann. d. Phys. **85**, 1127, 1928.

lichtes gerade berührte. Dann wurde, ohne an der Sonde etwas zu ändern, Kathode und Anode bei konstant gehaltenem gegenseitigen Abstand verschoben. Man erhielt Kurve I*c*. Hierauf wurde die Anfangsstellung wieder eingestellt, aber nun die Sonde

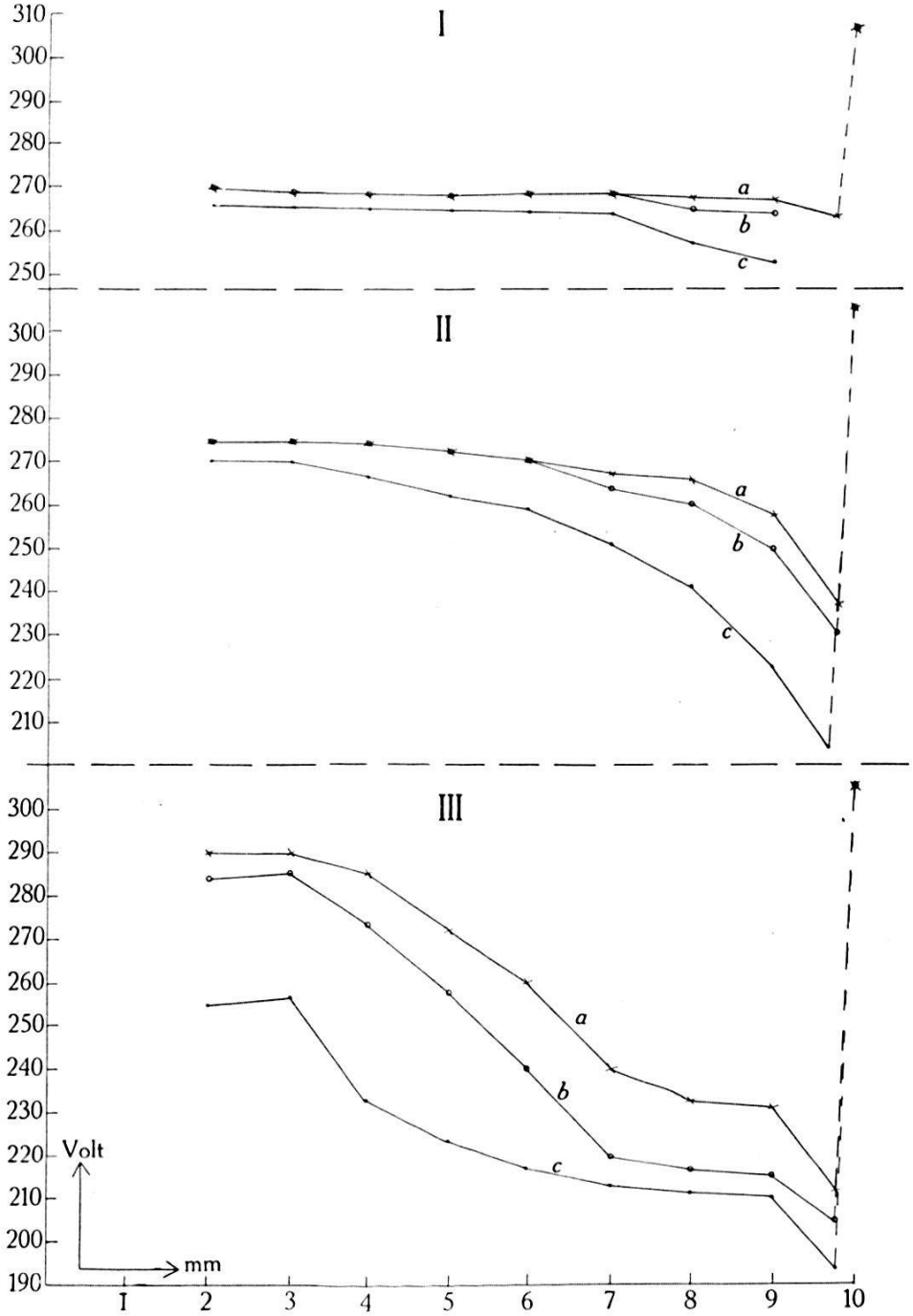

Fig. 3.

3 mm in das Glimmlicht eingetaucht. Die Elektrodenverschiebung ergab jetzt Kurve I*b*. Die letzte Kurve I*a* wurde auf dieselbe Methode erhalten, nur dass hier beim Beginn der Messung die Sonde bis zur Mitte des Glimmlichtes eintauchte.

Nun liess man etwa 1 Stunde lang die Entladung dauernd durch das Rohr gehen und nahm darauf in genau gleicher Weise die Kurvenschar II auf. Nach einer weiteren einstündigen Entladung erhielt man die Kurven III[1]).

Da die Sonde die Entladung sichtbar stört, falls sie im Crookesschen Dunkelraum steht, so haben die Messungen nur einen Sinn, wenn die Sonde sich zwischen dem Glimmsaum und der Anode befindet, der eigentliche Kathodenfallraum ist also nicht mit abgetastet worden. Ebenso kann das Potential in der sehr dünnen positiven Glimmhaut nicht mehr gemessen werden, da das den Sondendraht umhüllende Glasröhrchen zu dick ist und die Anode berühren würde. Infolge hiervon konnte kurz vor der Anode nur konstatiert werden, dass das Potential wieder stark anstieg, wie es ja sein muss, da bei der Berührung der Sonde mit der Anode die ganze Potentialdifferenz Kathode—Anode gemessen wird, die in unserem Beispiel 306 Volt betrug.

Wurden die Messungen bei anderem Abstand Kathode—Anode A, bei anderem Gasdruck p, bei anderer Stromstärke i oder bei anderer Gasfüllung (Luft, Stickstoff) ausgeführt, so ergab sich immer dasselbe typische Bild der Figur 3, falls nur normaler Kathodenfall vorhanden war, und die Grössen A, p, i während einer Messreihe konstant gehalten wurden.

Für die Frage nach der Zuverlässigkeit der Sondenmessungen lehrt nun die Figur 3 folgendes. Die Kurven I sehen etwa so aus, wie man es erwarten sollte: zwischen der Kathode und dem Abszissenwert 2 mm liegt das Kathodengefälle von ungefähr 265 bis 270 Volt. Mit wachsender Abszisse bleibt das Potential der Sonde zuerst ziemlich konstant, um nach einem schwachen Minimum demjenigen der Anode zuzustreben.

Von diesem Verhalten weichen aber die Kurven unter II und noch mehr diejenigen unter III ab. Vor allem wird das Potentialminimum immer ausgesprochener. Betrug bei Ia die Senkung des Potentials etwa 4 Volt, so ist sie bei IIa auf 39 Volt und bei IIIa sogar auf 78 Volt angestiegen.

Ebenso auffällig ist folgendes: Am Anfang der Messreihen I und II zeigen die Kurven a und c eine Differenz der gemessenen Potentiale von etwa 4 Volt; am Anfang der Messreihe III ist diese Differenz auf 35 Volt angewachsen[2]).

---

[1]) Für die ganze Messung war das Rohr etwa 3,5 Stunden in Betrieb.

[2]) Dass das Kathodengefälle in den drei Messreihen langsam ansteigt (für die a-Kurven von 269 über 274 nach 290 Volt) ist nicht von Bedeutung. Diese Erscheinung ist auf die Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes zurückzuführen. Vgl. A. Schaufelberger, Ann. d. Phys. **73**, 21, 1923.

Diese Resultate wurden immer wieder bestätigt. Je länger der Entladungsvorgang andauerte, um so mehr wichen, bei sonst konstanten Bedingungen, die gemessenen Potentiale von denjenigen ab, die zu Anfang gefunden waren.

Der Grund für dieses merkwürdige Verhalten ist nun nicht etwa in einer Änderung der Entladungsvorgänge (Bildung von Raumladungen) zu suchen, sondern in einer Unzulänglichkeit der Sonde, wie durch die folgenden Versuche bewiesen wird.

§ 5. Zunächst muss erwähnt werden, dass bereits bei der Messreihe II der Figur 3 die Sonde sich sichtbar braun färbte, sich also mit irgendeiner Haut bedeckt hatte. Es wurde daher nach einer Methode gesucht, um die Sonde zu reinigen, ohne eine Messreihe deswegen unterbrechen zu müssen.

Zu diesem Zweck wurde die Sonde als Schleife ausgebildet, die durch eine Heizbatterie ausgeglüht werden konnte. Eine Versuchsreihe, die in Figur 4 dargestellt ist, zeigt, dass die Methode des Ausglühens der Sonde sich gut bewährt. Die Messung wurde in Luft bei einem Druck von 4,5 mm Hg, einem Strom von 4 mA und einem Elektrodenabstand von 3 cm ausgeführt. Die Abszissenwerte geben wieder den Abstand Kathode—Sonde an, die Ordinaten das Sondenpotential in Volt (gemessen gegen die Kathode). Die Sonde wurde nur bei einer Eintauchtiefe benutzt, da es zu schwierig war, sie in der Höhe verstellbar zu machen.

Die Kurve I stellt die Messungen dar, wenn eine neue Sonde eingesetzt war. Kurve II enthält die Ergebnisse, nachdem die Sonde dauernd während einer Stunde der Entladung ausgesetzt war, Kurve III dasselbe nach fünfstündigem Betrieb. Während in der ersten Messung ein kleiner Anstieg des Potentials auf der sondierten Strecke zwischen Kathode und Anode zu konstatieren ist, stellt sich mit zunehmender Dauer der Entladung ein immer stärker werdendes Potentialminimum ein, genau so, wie es auch in Figur 3 gefunden war. Es sieht also so aus, als ob sich allmählich eine Raumladung im Faraday'schen Dunkelraum ausgebildet hätte, denn der durchgemessene Raum stellt, da keine positive Säule vorhanden ist, den Faraday'schen Dunkelraum dar.

Nachdem nun die Sonde durch kurzes Glühen auf helle Rotglut gereinigt worden war, wurde Kurve IV aufgenommen. Der Potentialabfall im Faraday'schen Dunkelraum, der bei der letzten Messung etwa 49 Volt betrug, ist jetzt vollständig verschwunden; man erhält genau denselben Potentialverlauf wieder

wie bei einer neuen Sonde. Allerdings sind die Absolutwerte der Potentiale andere wie bei Kurve I. Aber auf die Absolutwerte ist hier kein Gewicht zu legen, da während der langen Betriebs-

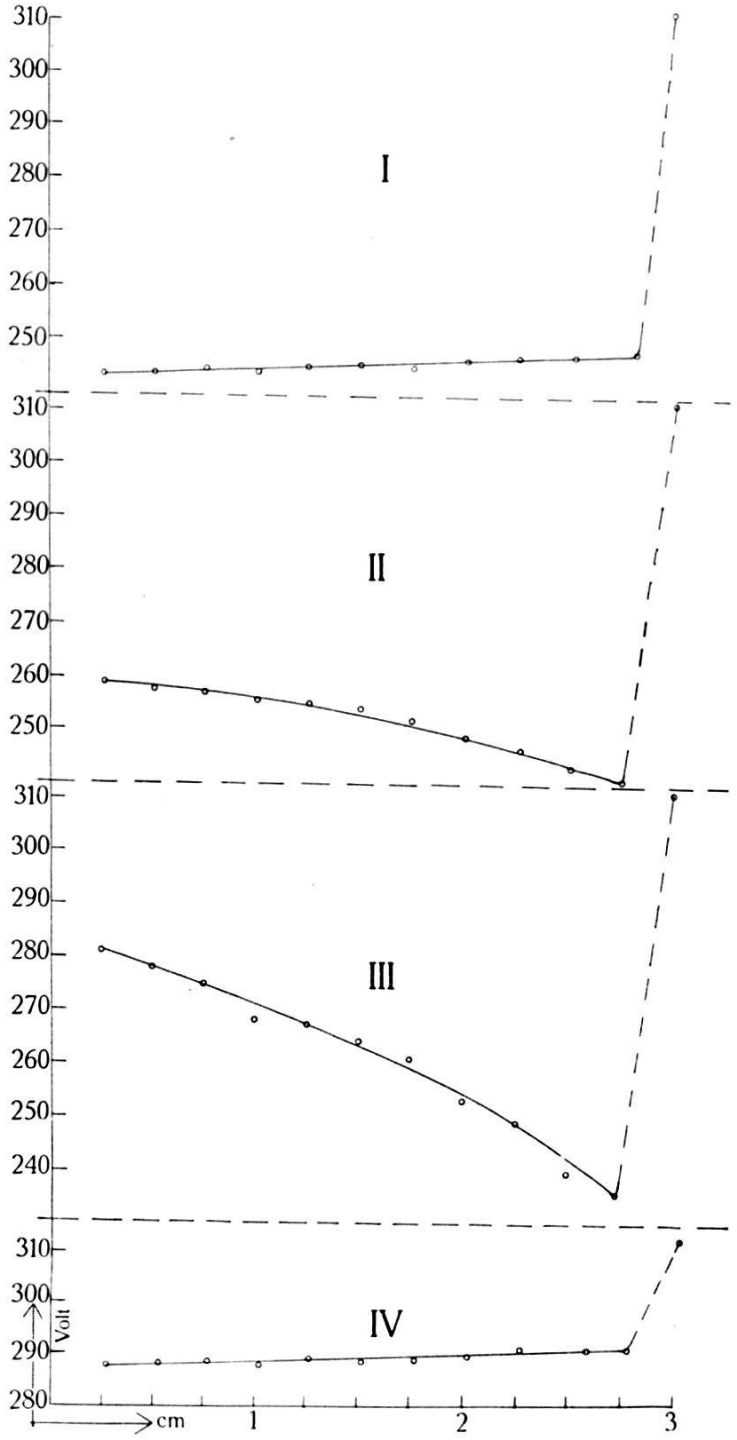

Fig. 4.

dauer sich sowohl der Feuchtigkeitsgehalt des Messgases[1]) als auch die Temperaturverhältnisse in der Röhre geändert haben.

[1]) Über den Einfluss der Feuchtigkeit auf das Kathodengefälle in Luft siehe bei A. Schaufelberger, l. c.

Wie man aus diesen Versuchen sieht, ist es bei zuverlässigen Sondenmessungen unbedingt nötig, dafür zu sorgen, dass die Sonde sauber ist und während der Versuche gesäubert werden kann. Manche ältere Sondenmessungen, aus denen man auf Raumladungen geschlossen hat, dürften nach unseren Versuchen anders zu deuten sein.

§ 6. Für genaue Sondenmessungen wird im allgemeinen eine heizbare Schleife nicht gut anwendbar sein, da sie in ihren Dimensionen nicht so klein gehalten werden kann, wie man es von einer exakt arbeitenden Sonde verlangt. Je kürzer eine Sondenspitze aus ihrer Umhüllung hervorragt, um so weniger mittelt sie über die Potentialwerte ihrer Umgebung. Da jedoch jetzt festgestellt ist, dass die Reinigung der Sonde ihre Brauchbarkeit wesentlich erhöht, so wurde noch nach einem anderen Wege gesucht, um auch eine nicht ausglühbare Sondenspitze zu säubern. Als gleich gut wie das Ausglühen erwies sich die Methode, die Sonde für kurze Zeit als Kathode oder Anode einer Entladung zu benutzen. Eine so behandelte Sonde gibt dieselben Potentialwerte wie eine neue, noch nicht gebrauchte Sonde.

§ 7. Um über die Natur dieses Belages auf der Sonde etwas Klarheit zu erhalten, wurden einige Versuche ausgeführt. Hält man das Entladungsrohr während mehrerer Stunden dauernd im Betrieb, ohne irgendwie die Sonde zu reinigen, so setzt sich auf dem Sondendraht ein mit der Zeit recht voluminös werdender Niederschlag fest. Unter dem Mikroskop sieht man, dass er aus sehr feinen und ausserordentlich locker aneinander haftenden Partikeln besteht[1]). Die Farbe dieser Teilchen war braun, wenn die Entladung in Luft erfolgte, und wenn der die Aluminium-Kathode umgebende Schutzring aus Messing bestand; war der Schutzring aus Eisen, so war die Braunfärbung weniger intensiv. Die Farbe der Teilchen erschien weisslich-grau, wenn als Gas sauerstoffreier Stickstoff (aus einer Bombe über glühendes Kupfer in die Apparatur geleitet) diente. In dem letzten Falle dauerte es viel länger, bis sich ein störender Sondenbelag ausbildete. Es handelte sich also wahrscheinlich um eine Zerstäubung sowohl der Kathode als auch des Schutzringes, wobei die zerstäubten Metallpartikel in Luft vielleicht noch eine Oxydation erleiden. Da die Stromstärke so klein gehalten wurde, dass die Entladung nicht sichtbar auf den Ring übergriff, die Farbe des Nieder-

[1]) Der Beschlag lässt sich von der Sonde leicht abschaben, wodurch diese auch wieder vollkommen gebrauchsfähig wird.

schlages auf der Sonde aber trotzdem von dem Material des Schutzringes abhing, so war es sehr wahrscheinlich, dass der Schutzring doch irgendwie bei der Entladung beteiligt ist. Es war daher wichtig zu untersuchen, ob etwa der Schutzring die Entladung beeinflusst, z. B. das Kathodengefälle verändert.

Zu diesem Zwecke wurden eine Reihe von Versuchen angestellt, bei denen Gas, Gasdruck, Elektrodenabstand, Sondenstellung und Strom konstant, aber das Material von Kathode und Schutzring verschieden war. Der mit der Sonde gemessene Wert des Kathodenfalles erwies sich tatsächlich hierbei als stark abhängig vom Material des Schutzringes. So lag der Kathodenfallwert für eine Aluminium-Kathode ohne Schutzring tiefer als der für eine Aluminium-Kathode mit Eisenschutzring.[1]) Die gleichen Unregelmässigkeiten wurden auch an anderen Metallkombinationen wiedergefunden. Jedenfalls zeigte sich ganz eindeutig, dass der zunächst sehr einleuchtende Gedanke, die Entladung durch einen Ring aus einem Metall mit höherem Kathodengefälle am Überkriechen über den Rand der Kathode zu verhindern, für Kathodenfallmessungen ganz zu verwerfen ist. Um richtige Messungen ausführen zu können, muss die Kathode von einem *isolierenden* und nicht von einem leitenden Schutzring umgeben sein.

Versuche, den Rand der Kathode mit schwarzem Spirituslack oder mit Schellacklösung zu bestreichen, führten nicht zum Ziel. Einwandfrei lässt sich aber mit einem Glasschutzring arbeiten. Diese Ringe wurden von Glasröhren abgesprengt und ihre Ränder plangeschliffen. Die Elektroden passten eng in diese Glasringe hinein. Der Kathodenfall an einer solchen mit Glas geschützten Aluminium-Kathode ist der gleiche wie an einer nichtgeschützten Aluminium-Kathode. Auch setzt das Glimmlicht in der Mitte der Kathodenfläche an, während es sich bei Verwendung von Metallschutzringen gerne an die Trennungslinie zwischen Kathode und Schutzring festsetzt.

§ 8. Fassen wir die bisher gewonnenen Resultate noch einmal kurz zusammen: Reproduzierbare Werte für Potentialmessungen mit einer Sonde lassen sich erhalten, wenn die Sonde sehr rein ist, wobei eine mit der Zeit auftretende und durch Elektrodenzerstäubung verursachte Verschmutzung leicht beseitigt werden kann. Ferner müssen die Elektroden sehr sauber sein, da die Entladung sich sonst an der verunreinigten Stelle

[1]) Gemessen in demselben Rohr, indem die zu untersuchenden Elektroden abwechselnd zu Kathoden gemacht wurden.

festsetzt und der Kathodenfall dadurch gefälscht wird. Ist der Elektrodenabstand so gering, dass die Entladung behindert ist, so kann sie durch einen Schutzring daran verhindert werden, auf den Rand oder die Rückseite der Kathode überzuspringen. Dieser Schutzring darf nicht aus Metall sein, sondern muss aus isolierendem Material bestehen, wobei sich Glas ausserordentlich gut bewährt hat.

Nachdem man durch die beschriebenen Versuche erst kennen gelernt hatte, wie man vorgehen muss, um zuverlässige Sondenmessungen zu erhalten, konnte nun dazu übergegangen werden, für die Kathodenfallmessungen einen Vergleich der Sondenmethode mit der Methode nach GÜNTHER-SCHULZE auszuführen.

§ 9. Um was es sich bei der Günther-Schulze'schen Methode handelt, ist schon weiter oben gesagt. Die Methodik ist einfach die, dass die Anode der Kathode langsam genähert wird, während man den Strom der Entladung konstant hält. Die bei diesem Vorgang beobachtete kleinste Spannungsdifferenz zwischen Anode und Kathode wird von GÜNTHER-SCHULZE als der Kathodenfall angesehen. Auf diese Weise lässt sich sowohl der normale wie der anormale[1]) Kathodenfall messen. Unsere Versuche beziehen sich fast durchweg auf das normale Gefälle. Die Günther-Schulze-Methode soll weiterhin als die Methode des Minimum-Potentials bezeichnet werden.

Es ist nicht ohne weiteres zu erwarten, dass die Sondenmethode und die Methode des Minimumpotentials identische Werte ergeben. Denn mit der Sonde messen wir das Kathodengefälle nach der speziellen Definition von WARBURG, in dem daher noch das Potentialgefälle des negativen Glimmlichtes enthalten ist. Ob und wie weit dieses auch bei der Minimummethode der Fall ist, lässt sich nicht vorher sagen. Die folgenden Versuche beschäftigen sich nicht nur mit dem Vergleich beider Methoden, sondern es wird auch ausführlich untersucht, unter welchen Bedingungen die Minimummethode reproduzierbare Werte liefert.

Die von nun an verwendete Sonde bestand aus 0,02 mm dickem Platindraht, der aber jetzt nur noch 0,5 mm weit aus der umhüllenden Glasspitze hervorragte. Von Zeit zu Zeit wurde die Sonde vermittelst der elektrischen Methode (vgl. § 6) gereinigt.

Bei der Bestimmung des Minimumpotentials wurde, um die Anode der Kathode möglichst weit nähern zu können, die Sonde aus der Entladungsbahn herausgezogen. Die Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode, die während der Sondenmessung

[1]) A. GÜNTHER-SCHULZE, ZS. f. Phys. **59**, 433, 1930.

mit dem hochohmigen Voltmeter V_1 (Figur 2) kontrolliert war, wurde bei der Minimummethode vermittelst des empfindlicheren Elektrometers E_1 (Figur 2) gemessen. Das Voltmeter V_1 blieb hierbei dauernd angeschaltet, um die Stromverhältnisse konstant zu halten.

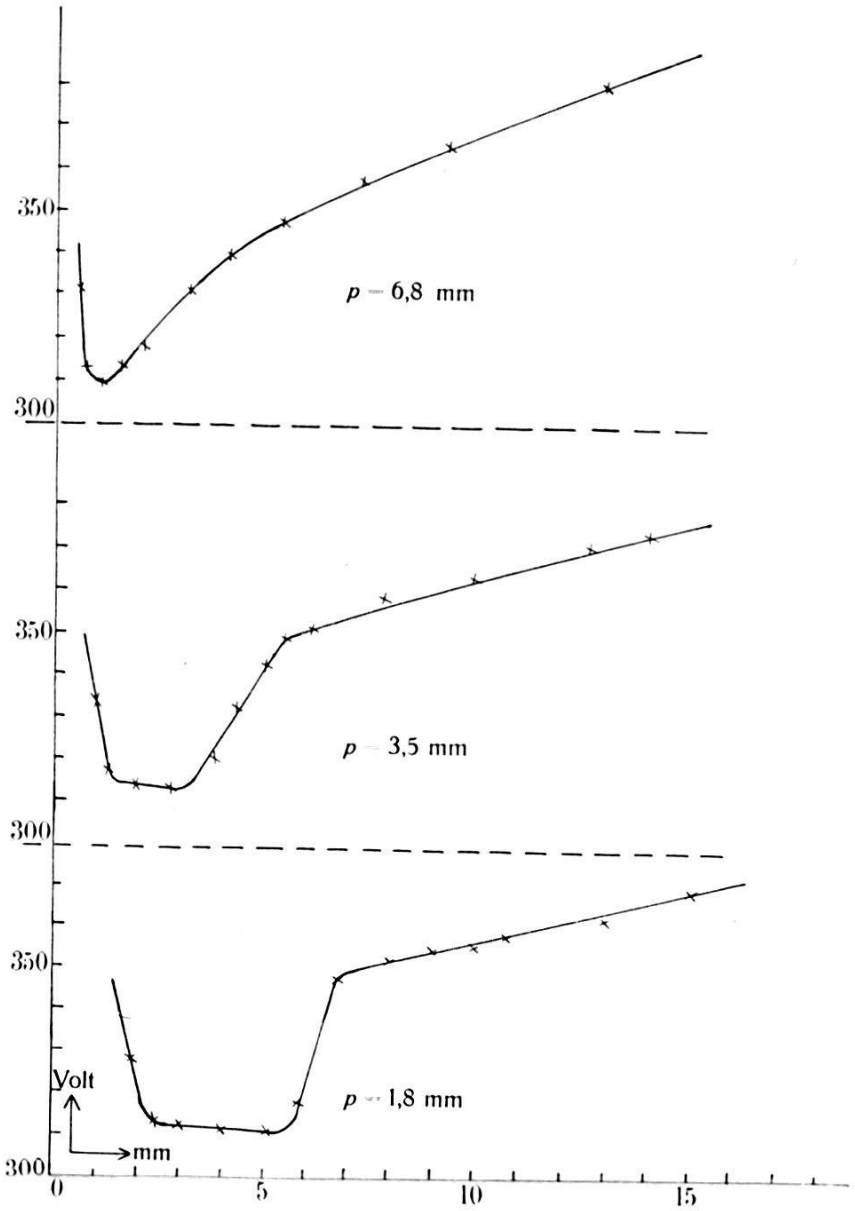

Fig. 5.

§ 10. Als Beispiel einer Minimum-Potentialbestimmung möge Figur 5 dienen. Die Kathode blieb hierbei fest stehen, während die Anode verschoben wurde. Die Abszissen geben den Abstand Anode—Kathode in Millimetern an, die Ordinaten die Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode in Volt. Die Versuche sind ausgeführt in Luft, und zwar bei den Drucken 6,8 — 3,5 — 1,8 mm Hg. Wie man sieht, ist das Minimum bei höherem Druck

scharf ausgeprägt, mit abnehmendem Druck wird es etwa in dem Masse flacher, wie das negative Glimmlicht an Ausdehnung zunimmt. Der Absolutwert des Minimumpotentials ergibt sich aus den drei Versuchen übereinstimmend zu etwa 310 Volt. Bei weiter abnehmendem Elektrodenabstand steigt das Potential sehr steil an, weil die Entladung stark behindert wird; schliesslich löscht die Entladung von selbst. Zur Bestimmung des Minimums wurden nun nicht immer die ganzen Kurven wie in Figur 5 aufgenommen; es genügte, nur den tiefsten Potentialwert zu

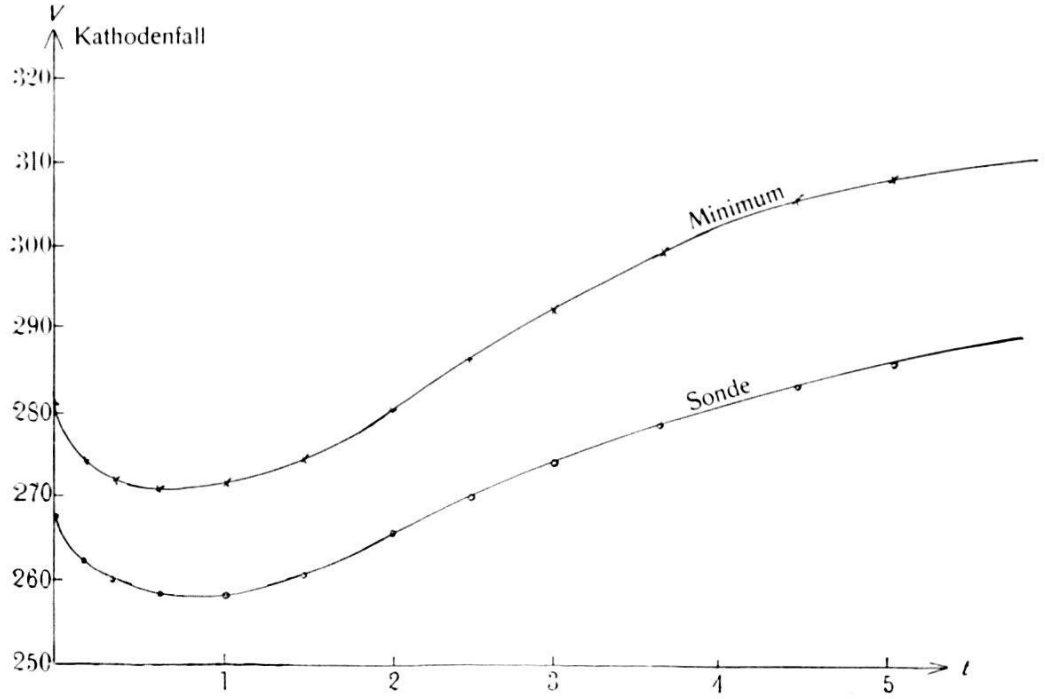

Fig. 6.

messen, der sich leicht scharf durch die Umkehrung des Elektrometerausschlages dokumentierte.

§ 11. Eine der ersten Vergleichsmessungen zwischen der Sonden- und der Minimummethode ist in Figur 6 dargestellt. Die Elektroden bestanden aus Aluminium, das Füllgas aus sauerstoffreiem Stickstoff, der Druck betrug 3,6 mm Hg, der Strom wurde dauernd konstant auf 2,5 mA gehalten. Um die Reproduzierbarkeit der Messwerte zu untersuchen, wurde abwechselnd das Kathodengefälle vermittelst der Sonde und mit der Minimummethode bestimmt. In Figur 6 ist das Ergebnis als Funktion der Zeit t angegeben (in Stunden). Zu Beginn des Versuches ist eine Diskrepanz zwischen den Resultaten beider Methoden von etwa 13 Volt vorhanden, die aber im Laufe eines dauernden fünfstündigen Betriebes auf etwa 22 Volt anwächst. Dass die Absolut-

werte der Messpunkte sich mit der Zeit ändern, ist für uns nicht wesentlich. Es ist dieses Verhalten wahrscheinlich durch den nicht konstanten Feuchtigkeitsgehalt des Gases während der langen Betriebsdauer bedingt. Wesentlich ist allein, dass erstens sich die beiden Kurven nicht decken und zweitens, dass sie im Laufe der Zeit immer weiter auseinandergehen. Stets ist es so, dass die Minimummethode grössere Werte als die Sondenmessung ergibt. Durch Temperaturerhöhung kann die immer grösser werdende Diskrepanz nicht erklärt werden; denn schaltet man die Entladung aus und lässt das ganze Rohr sich abkühlen, so erhält man bei einer zweiten Messung am Anfang dieselbe Differenz der

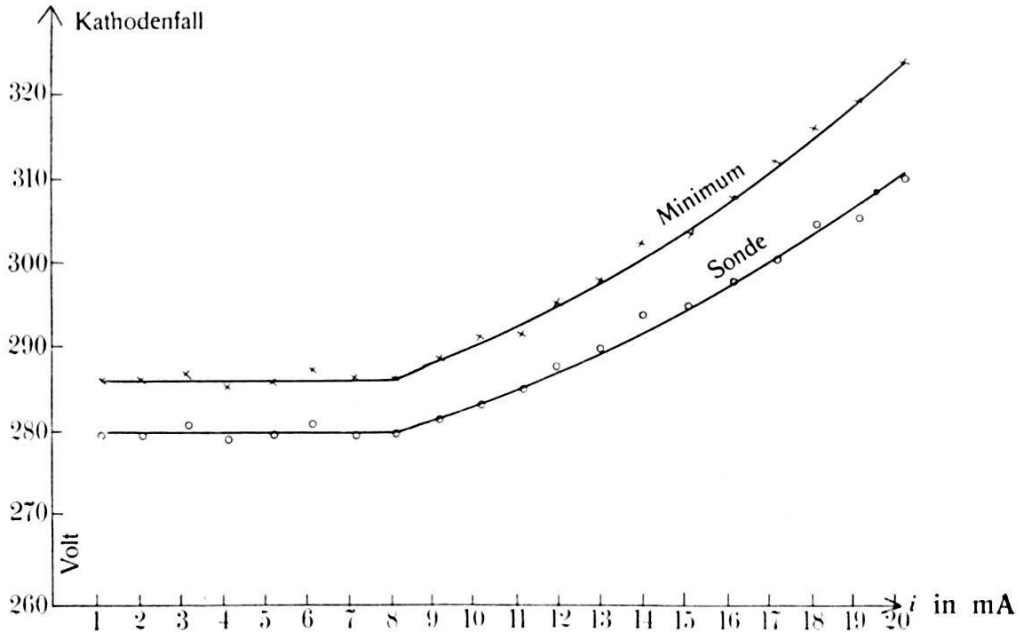

Fig. 7.

Potentialwerte, wie sie sich am Ende des ersten Versuches ausgebildet hatte.

§ 12. Wie sich beide Methoden bei Variation der Stromstärke verhalten, zeigt Figur 7. Die Messung ist in Luft von 6 mm Hg Druck und mit Aluminiumelektroden ausgeführt. Wieder liegen die mit Sonde gemessenen Kathodenfallwerte tiefer als die durch das Minimumpotential erhaltenen, und zwar beträgt bei kleinen Stromstärken die Differenz etwa 6 Volt, bei grösseren steigt sie auf etwa 15 Volt. Bis ungefähr 8 mA ist die Bedeckung der Kathode unvollständig, man hat also das normale Kathodengefälle; bei grösseren Stromstärken ist das Gefälle anormal. Die ganze Messung ist in so kurzer Zeit ausgeführt, dass die Erscheinung der Figur 6, wachsende Diskrepanz mit wachsender Zeit,

hier nicht wesentlich ins Spiel kommt. Das sieht man z. B. auch daraus, dass bis 8 mA beide Kurven geradlinig und einander parallel sind. Mit weiter wachsender Stromstärke und mit immer mehr anormal werdendem Kathodengefälle steigt die Diskrepanz an. Die Ursache hierfür ist wieder nicht in einer Erwärmung zu suchen. Denn nach Abschluss der Versuchsreihe und nach Abkühlung der Apparatur ergab eine Kontrollmessung nun bei kleiner Stromstärke auch eine Differenz der Potentiale von 15 Volt. Wir haben es also nicht mit einem temporären Effekt zu tun, sondern wenn die grössere Diskrepanz zwischen den beiden Messmethoden einmal eingetreten ist, sei es durch langen Betrieb oder durch grosse Stromstärke, so bleibt sie auch erhalten.

§ 13. Die Abweichungen zwischen den Resultaten der beiden Kathodenfall-Messmethoden und ihre Variationen mit den Versuchsbedingungen können nicht auf die Sonde zurückgeführt werden. Denn diese wurde stets zwischendurch gereinigt[1]), arbeitete daher auf Grund der Vorversuche sicherlich einwandfrei. Das Gas kann auch nicht die Ursache sein; denn selbst wenn es chemischen oder physikalischen Änderungen während der Entladung unterliegen würde, so kommt das für beide Messmethoden in gleicher Weise in Betracht. Als einziger Ausweg bleibt nur übrig, an einen Einfluss der Anode zu denken, da diese im Gegensatz zur Kathode bei den beiden Methoden in verschiedener Weise ins Spiel kommt. Während bei der Sondenmessung die Lage und die Art der Anode ganz gleichgültig ist, spielt sie bei der Minimum-Potentialmessung eine wesentliche Rolle. Diese Vermutung erwies sich als richtig.

Um zu untersuchen, ob die Anode oder vielleicht auch die Kathode für die variierenden Differenzen der Messungen nach beiden Methoden verantwortlich zu machen ist, wurden folgende Versuche unternommen. Eine Entladung zwischen Aluminiumelektroden in Luft wurde so lange im Betrieb gelassen, bis die anfängliche Differenz der nach beiden Methoden gemessenen Kathodenfallwerte von 10 Volt auf 50 Volt gestiegen war. Jetzt wurde die Apparatur geöffnet und eine neue, reine Aluminium*kathode* eingesetzt. Nach Einstellung desselben Druckes und der gleichen Stromstärke wie bei dem ersten Versuch ergab eine neue Messung wieder eine Differenz von ungefähr 50 Volt. Nach Einsetzen einer zweiten neuen Kathode erhielt man dasselbe Resul-

---

[1]) Die Sonde wurde für kurze Zeit als Elektrode einer Glimmentladung benutzt.

tat. Nachdem nun aber die *Anode* erneuert wurde, ergab sich die Differenz von etwa 10 Volt wie zu Beginn der Versuche. Es kann also gar kein Zweifel sein, dass die Anode hauptsächlich die Störung bedingt.

Es ist schwer zu sagen, wodurch diese Störungen an den Aluminiumelektroden hervorgerufen werden. Da der Effekt für Aluminium in Luft und in sauerstoffreiem Stickstoff genau der gleiche ist, sowohl in bezug auf die Abhängigkeit von der Zeit als auch von der Stromstärke, so könnte man meinen, er sei nicht durch Oxydationsvorgänge hervorgerufen. Dieser Schluss ist aber nicht stichhaltig, wenn man bedenkt, dass es kaum möglich ist, eine nicht schon oxydierte Aluminium-Elektrodenoberfläche in die Apparatur einzuführen, so dass die Anwesenheit von Sauerstoff bei den Versuchen in Stickstoff nicht ausgeschlossen ist. Man könnte noch daran denken, dass bei der Entladung Quecksilberdämpfe katalytisch die Bildung von $Al(OH)_3$ auf dem Aluminium begünstigen. Wenn auch in unserer Anordnung dieser Vorgang nicht vollständig ausgeschlossen ist, so ist er doch sehr zweifelhaft. Denn es ist schon oben (in § 3) angegeben worden, dass das einzige Gaszuführungsrohr, das den Entladungsraum sowohl mit dem Hg-Manometer wie auch mit der Aussenluft verband, mit Goldfolie gefüllt war, und darum Hg-Dämpfe festhielt. War das Entladerohr geöffnet worden, so wurde es stets lange ausgepumpt und mehrfach mit dem Füllgas durch eben dieses mit Goldfolie gefüllte Rohr hindurch gespült, so dass auch die dem Zimmer entnommene Luft Hg-frei sein sollte. Da somit nicht festgestellt ist, worauf diese mit der Zeit grösser werdenden Störungen zurückzuführen sind, soll im folgenden einfach von einer „Verunreinigung" der Elektroden gesprochen werden.

§ 14. Um zu sehen, ob auch andere Elektrodenmetalle denselben Effekt durch Verunreinigung zeigen, wurden zuerst Eisenelektroden in Luft untersucht. Hier zeigte sich, dass die mit beiden Methoden gemessenen Kathodenfallwerte für neue Elektroden nur um etwa 3 Volt (gegenüber im günstigsten Fall 6 Volt bei frischen Aluminiumelektroden) differierten. Diese Differenz bei Eisenelektroden blieb auch im Vergleich mit derjenigen bei Aluminiumelektroden über eine weit längere Betriebsdauer und bei Verwendung viel grösserer Stromstärken konstant, um sich nur sehr langsam mit der Zeit zu vergrössern. Auch hier lag immer das Minimumpotential höher als der mit der Sonde gemessene Kathodenfall.

§ 15. Nachdem sich so gezeigt hatte, dass bei der Messung des Kathodenfalles nach der Sonden- bzw. der Minimummethode Elektroden aus Aluminium grössere Differenzen zeigen als solche aus Eisen, wurden die Messungen nun auf eine grössere Anzahl von Metallen ausgedehnt. Die verschiedenen Metallelektroden wurden auf der Drehbank mit einem sauberen, trockenen Drehstahl jeweils frisch abgedreht und ohne Berührung ihrer Vorderfläche in die Apparatur eingesetzt. Alle Elektroden hatten einen Schutzring aus Glas. Die benutzte Sonde wurde genügend oft elektrisch gereinigt, so dass sie immer einwandfrei arbeitete. Als Füllgas wurde verwendet: 1) Luft, 2) Bomben-Stickstoff, der durch glühendes Kupfer vom Sauerstoff befreit war, und 3) Rohargon, das ungereinigt einer Bombe entnommen war[1]). Die Messungen wurden bei verschiedenen Drucken und Stromstärken ausgeführt, *jedoch immer nur so kurze Zeit, dass die allmählich sich ausbildende Verunreinigung keine Rolle spielen konnte.* In Tabelle 1 sind einige Resultate zusammengestellt. Unter „Sonde" ist der Kathodenfallwert angegeben, der vermittelst der Sonde gemessen wurde, unter „Min." ist das Resultat nach der Günther-Schulze-Methode aufgeführt. Die beiden Werte bei demselben Elektrodenmaterial sind sofort hintereinander gemessen, so dass man sicher ist, dass Gasdruck und Natur des Füllgases in beiden Fällen exakt einander gleich waren. Unter Δ ist die Differenz zwischen den Resultaten beider Methoden angegeben. Alle Messungen beziehen sich auf das normale Kathodengefälle.

Es ist ausdrücklich hervorzuheben, dass die in Tabelle 1 angegebenen Potentialwerte nicht etwa als absolute Bestimmungen des Kathodenfalles angesehen werden dürfen. Denn es wurden die Gase weder so extrem getrocknet, wie etwa bei Schaufelberger (l. c.), noch wurde eine grosse Reinheit des Füllgases erstrebt. Die Folge davon ist, dass bei demselben Füllgas und bei demselben Elektrodenmaterial die absoluten Potentialwerte in den einzelnen Versuchen voneinander abweichen. Die Differenz aber ergab sich immer nahe gleich. Tabelle 1 enthält für die verschiedenen Kombinationen nur je ein Beispiel. Für uns kam es lediglich darauf an, die beiden Kathodenfall-Messmethoden unter genau gleichen Bedingungen miteinander zu vergleichen.

Wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist, schwankt im allgemeinen die Differenz zwischen den Resultaten beider Methoden von 0 bis 5 Volt, in den meisten Fällen beträgt sie etwa 3 Volt. Für Gold und Silber in Stickstoff ist die Differenz am kleinsten. Durchgehend liegt der Sondenwert tiefer als das Minimumpotential.

[1]) Das Gas enthielt: 81% Argon, 18,9% Stickstoff, 0,1% Sauerstoff.

Tabelle 1.

Elektroden-Metall	Normales Kathodengefälle								
	Luft		Δ	Stickstoff		Δ	Argon		Δ
	Sonde	Min.		Sonde	Min.		Sonde	Min.	
Cu	305	310	5	280	284	4	178	181,5	3,5
Zn	310	313	3	278	281	3	205	208	3
Ag	325	328	3	272	273	1			
Au	325	327,5	2,5	276	276	0			
W	326	331	5	297	301	4			
Fe	300	303,5	3,5	262	265	3	203	206	3
Co	304	308	4	225	228	3			
Ni	300	303,5	3,5	255	258	3			
Sn	298	301	3	267	270	3			
Cd	291	294	3	270	273	3			
Pt	320	323	3	270	273	3	227	229,5	2,5
Pb	318	320,5	2,5	220	223	3			
Al	272	282	10	240	249	9	173	181	8
Mg	264	279	15	231	243	12	172	184	12
Messing	306	310	4	272	276	4			

Nur Aluminium und Magnesium zeigen in allen drei untersuchten Gasen eine bedeutend grössere Diskrepanz, die zwischen 8 und 15 Volt liegt. Für diese beiden Metalle sind die Messwerte auch sehr schlecht reproduzierbar und mit der Zeit stark veränderlich, wie für den Fall des Aluminiums schon weiter oben ausführlich gezeigt wurde. Magnesium zeigt den beschriebenen „Verunreinigungseffekt" in noch grösserer Intensität wie Aluminium, wohingegen die Edel- und Schwermetalle diese Erscheinung in nur ganz geringem Masse zeigen. Bei diesen letzteren Metallen misst man während langer Betriebsdauer und auch bei grossen Stromdichten gut konstante kleine Werte von Δ.

Erwähnt sei noch, dass bei Silberelektroden in Luft die Kathodenoberfläche sich schnell mit einer schwarzen Haut überzieht, was aber bei beiden Methoden weder auf die absolute Höhe des Kathodenfalles, noch auf die Reproduzierbarkeit der Messung von Einfluss ist.

§ 16. Für Eisen und Zink in Luft wurden die Messungen auch bei vergrösserten Stromstärken in das Gebiet des *anormalen*

Kathodenfalles ausgedehnt. Eine Zahlenangabe dieses Kathodengefälles hat keinen Sinn, da der Wert von der Stromstärke abhängt. Uns interessiert allein die Differenz Δ, die angibt, um wieviel Sondenwert und Minimumpotential in diesem Falle voneinander abweichen. Es wurde gefunden:

bei Zn $\Delta = 3{,}5$ Volt,
bei Fe $\Delta = 4$ Volt.

§ 17. Eine weitere Kontrolle, wie weit das mit der Sonde gemessene Kathodengefälle dem Minimumpotential gleichgesetzt werden darf, konnte durch sukzessives Verändern des Messgases

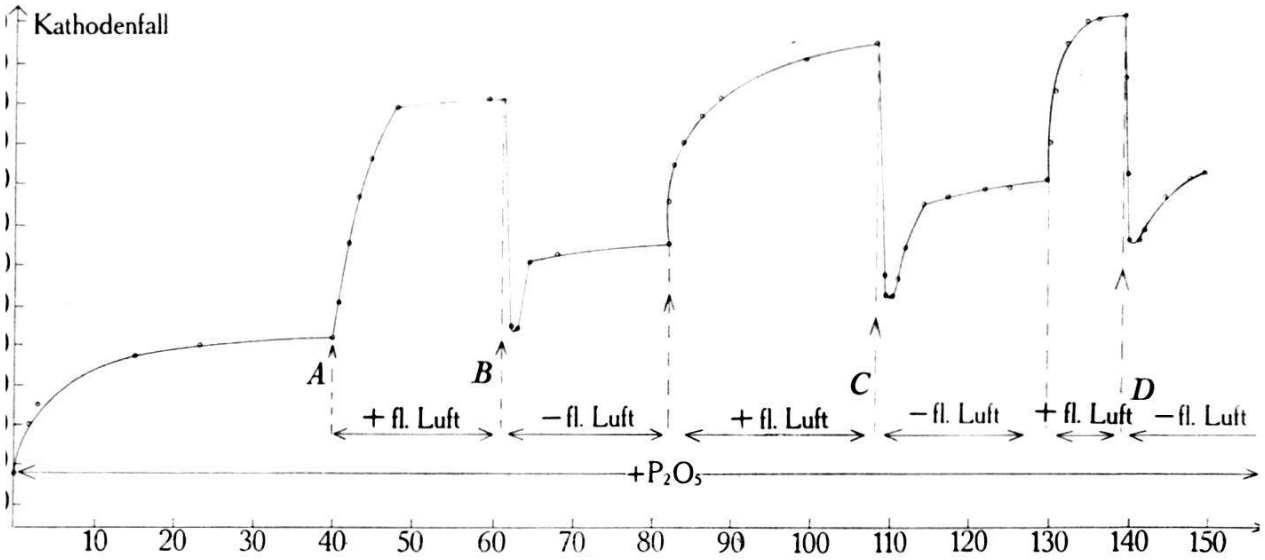

Fig. 8.

ausgeführt werden. Schaufelberger (l. c.) hat gezeigt, dass durch scharfes Austrocknen des Gases der mit einer Sonde gemessene Kathodenfallwert ständig ansteigt. Er erhielt in Luft bei langwährender Austrocknung mit flüssiger Luft Werte für den Kathodenfall, die bis zu 100 Volt höher lagen als die Ausgangswerte, für die Zimmerluft verwendet worden war. Ändert sich nun das Minimumpotential in gleicher Weise?

Zur Beantwortung dieser Frage war direkt an das Entladungsgefäss (wie in § 2 angegeben) ein mit P_2O_5 gefülltes, durch Hähne abschliessbares Rohr und ein U-Rohr angeblasen, in dem die Feuchtigkeit mit flüssiger Luft ausgefroren werden konnte. Als Elektrodenmaterial dienten die nach den obigen Erfahrungen gut und lange brauchbaren Metalle Zn, Fe und Ag.

Figur 8 zeigt das Resultat eines Versuches, der in Rohargon bei einem Druck von 5,67 mm Hg und bei einer konstant ge-

haltenen Stromstärke von 4 mA. ausgeführt wurde. Die Ordinaten geben das mit der Minimummethode bestimmte Kathodengefälle an, die Abszissen die Zeit in Stunden. Die Entladung wurde immer gerade nur so lange eingeschaltet, um das Minimumpotential bestimmen zu können. Trotz der langen Versuchsdauer von 150 Stunden, spielt daher hier der „Verunreinigungseffekt" keine Rolle. Während der ganzen Dauer dieses Versuches stand das P_2O_5-Trockenrohr in Verbindung mit dem Entladegefäss, nur das U-Rohr wurde abwechselnd mit flüssiger Luft gekühlt, oder auf Zimmertemperatur erwärmt.

Der Verlauf der Kurve in Figur 8 ist genau derselbe wie ihn SCHAUFELBERGER[1]) bei der Bestimmung des Kathodenfalles in Luft vermittelst der Sondenmethode gefunden hatte: auch hier langsames Ansteigen des Kathodenfalles bei Trocknung mit P_2O_5 (vgl. z. B. $t = 0$ bis $t = 40$), dagegen schneller Anstieg des Kathodenfalles bei Trocknung mit flüssiger Luft (z. B. zwischen $t = 40$ und $t = 50$). Bemerkenswert ist der Verlauf des Kathodengefälles im Momente der Wegnahme der flüssigen Luft, in der Figur bezeichnet durch „— fl. Luft". Das Kathodengefälle sinkt in dem Augenblicke, wo die im U-Rohr ausgefrorene Feuchtigkeit wieder in das Entladegefäss verdampft, ausserordentlich rasch, um dann zuerst rasch, darauf langsamer wieder anzusteigen in dem Masse, wie die Feuchtigkeit von den entfeuchteten Gefässwänden und dem P_2O_5 wieder aufgenommen wird.[2]). Dass es sich hierbei tatsächlich um eine durch Wasserdampf hervorgerufene Erscheinung handelt, geht daraus hervor, dass die aufeinanderfolgenden Minimalwerte nach Fortnahme der Kühlung in flüssiger Luft (die Werte bei *B*, *C* und *D*) immer weniger tief liegen. Denn derjenige Teil der verdampfenden Feuchtigkeit, der durch das P_2O_5 aufgenommen wird, kann später nicht mehr durch die Kühlung ausgefroren werden.

Der Versuch wurde sowohl in Rohargon als auch in Luft ausgeführt; in beiden Fällen lag nach 150 Stunden langer Trocknung das Minimumpotential über 100 Volt höher als zu Beginn der Messreihe.

Da der Versuch, der in Figur 8 dargestellt ist, in *Rohargon* ausgeführt wurde, so lässt sich daraus nicht mit Sicherheit folgern, dass auch in „reinem" Argon das Kathodengefälle ebenso von der Feuchtigkeit beeinflusst wird wie bei Luft. Es wäre dieses aber

---

[1]) A. SCHAUFELBERGER, Ann. d. Phys. **73**, 21, 1923; vgl. dort Figur 5.

[2]) Vgl. auch die ganz ähnlichen Resultate für das Funkenpotential in Luft bei EDGAR MEYER, Ann. d. Phys. **65**, 335, 1921.

wichtig zu wissen, da ROTTGARDT[1]) in reinem Argon interessante Zusammenhänge zwischen dem Kathodenfall und der Wertigkeit des Kathodenmetalls gefunden hat. Sollten nun aber ROTTGARDT's Messungen in Argon, was man nach dem Versuche der Figur 8 vermuten könnte, ebenso durch Feuchtigkeit verfälscht sein, wie es bei den Rottgardt'schen Kathodengefällen in Luft von SCHAUFELBERGER[2]) nachgewiesen wurde, so werden die Ergebnisse ROTTGARDT's über den Zusammenhang von Kathodenfall und Wertigkeit des Kathodenmaterials zum mindesten zweifelhaft.

§ 18. Wir erhalten somit als Resultat der vorliegenden Versuche folgendes: Verwendet man alle oben angegebenen Vorsichtsmassregeln, die gute Reinheit der Elektroden und der Sonde gewährleisten, so liegt für eine grosse Anzahl von Elektrodenmaterialien das Minimumpotential nur um wenige Volt höher als der mit der Sonde am Rand des Glimmlichtes gemessene Wert des Kathodengefälles. Vernachlässigt man diese peinliche Sauberkeit, so differieren die beiden Werte um beliebig viel; sie sind zeitlich inkonstant und nicht mehr reproduzierbar. Aluminium und Magnesium sind als Elektrodenmaterial am wenigsten verwendbar, wenn man aus dem Minimumpotential Aussagen über das Kathodengefälle machen will.

Aus diesem Resultat geht hervor, dass wir uns der Meinung von GÜNTHER-SCHULZE[3]) nicht anschliessen können, welcher sagt (l. c. auf S. 365): „Die gewöhnlichen Sondenmessungen sind endlich, mit Recht, hinreichend in Verruf gekommen." Etwas später (S. 366) steht der Satz: „Es bleibt diejenige Methode, die mir überhaupt die einwandfreieste zur Ermittlung des Kathodenfalles zu sein scheint, nämlich die kontinuierliche Verringerung des Abstandes zwischen den planparallelen Elektroden." Wir stimmen mehr mit WEHNELT[4]) überein, der den Satz schreibt: „. . . so können wir den Beweis erbringen, dass die Sondenmessungen nicht ganz so fehlerhaft sind, wie man allgemein annimmt."

§ 19. Es wurden auch Versuche unternommen, um die Sonden- und Minimummethode noch mit den von LANGMUIR[5]) in neuerer Zeit angegebenen Methoden zur Potentialmessung zu vergleichen. Diese Untersuchungen konnten aber nicht mehr

---

[1]) K. ROTTGARDT, Ann. d. Phys. **33**, 1161, 1910.

[2]) A. SCHAUFELBERGER, a. a. O.

[3]) A. GÜNTHER-SCHULZE, ZS. f. Phys. **49**, 358, 1928.

[4]) A. WEHNELT u. G. SCHMERWITZ, Ann. d. Phys. **86**, 864, 1928.

[5]) J. LANGMUIR, Gen. Electr. Rev. **26**, 731, 1926 und J. LANGMUIR u. H. MOTT-SMITH, Gen. Electr. Rev. **27**, 449, 538, 616, 762, 810, 1924.

endgültig abgeschlossen werden; sie werden im Institut weiterverfolgt.

Die vorliegende Untersuchung wurde teilweise mit Mitteln ausgeführt, die das Institut dem Aluminium-Fonds Neuhausen verdankt.

Herrn Prof. Dr. Edgar Meyer bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und das fördernde Interesse, das er derselben stets entgegengebracht hat, zu grossem Danke verpflichtet. Ebenso danke ich herzlich Frl. Dr. Stücklen sowie Herrn Prof. Dr. Bär für vielfache Unterstützung.

Zürich, Physikalisches Institut der Universität.