

VI. *Ueber den Kathodenwiderstand; von K. Wesendonck.*

Den bisher veröffentlichten Arbeiten vermochte Verfasser nicht mit Bestimmtheit zu entnehmen, ob ein von den Herren G. Wiedemann und Rühlmann gefundener polarer Unterschied auch noch bei electrischen Entladungen in hochverdünnten (mit Electroden versehenen) Räumen fortbesteht. Sicher aber erscheint die Entscheidung hierüber nicht ohne Interesse für die Frage, wie weit sich die Erscheinungen bei sehr weit getriebener Entleerung lediglich als eine Folge der äusserst geringen vorhandenen Gasmenge erklären lassen unter Geltung derselben Gesetze, denen die Vorgänge bei höheren Drucken gehorchen. Verfasser hat daher theils während des vergangenen Winters, theils im Sommer 1890 einige Versuche angestellt, welche die besagte Lücke wenigstens etwas ausfüllen helfen sollten.

Die beiden oben genannten Physiker, und später Hr. E. Wiedeman, haben bekanntlich gefunden, dass in Entladungsröhren die zur Einleitung einer Entladung nöthige Spannung merklich grösser ist, wenn die Anode electrisirt, die Kathode dagegen abgeleitet wird, als im umgekehrten Falle. Um diesen oberhalb des sogenannten kritischen¹⁾ Druckes nachgewiesenen Satz auf seine Geltung in sehr weit evacuirtten Räumen hin zu prüfen, wurde folgende Versuchsanordnung getroffen. Gewöhnliche gläserne, mit Aluminium-electroden versehene Geisslerröhren von verschiedenen Dimensionen dienten als Entladungsgefässe, wobei für vergleichbare Versuche natürlich stets dieselbe Electrode als Kathode zu verwenden war. Zunächst wurde nun so verfahren, dass die beiden Pole der gläsernen Vacuumröhre mit denen eines Ruhmkorff'schen Funkeninductors in Verbindung standen, und zugleich mit den Electroden eines Funkenmikro-

1) Der kritische Druck ist bekanntlich derjenige, welcher dem Maximum der Leitfähigkeit entspricht.

meters¹⁾, wie Fig. 1 es angibt. A und B sind die Pole des Inductors, a und b die des Funkenmikrometers, α und β die

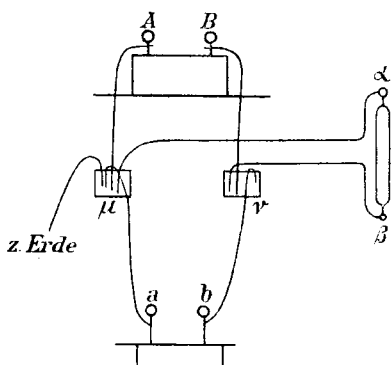


Fig. 1.

Electroden des Entladungsgefäßes, μ und ν mit Quecksilber zum Theil gefüllte Glasnäpfe. In jedes dieser letzteren tauchen beständig je drei Drähte, nämlich einer, der zu dem Ruhmkorff führt, ein zweiter, der mit dem Funkenmikrometer, und ein dritter, der mit einer Electrode der Geissleröhre in Verbindung

steht. Ist dann A negativer Pol für den Oeffnungsstrom, so ist α bei der angegebenen Einrichtung Kathode. Taucht man nun den mit der Erde verbundenen Draht λ einmal in μ und einmal in ν , so wird cet. par. die Kathode oder die Anode abgeleitet. Diese Vertauschung wurde späterhin mittelst einer geeigneten Wippe²⁾ vorgenommen, die man nur auf die eine oder andere Seite umzulegen braucht, um Kathode oder Anode, je nach Bedarf, abzuleiten. Wurde der primäre Strom des Inductoriums commutirt, so entstand

1) Das Funkenmikrometer weicht von der gewöhnlichen Construction insofern ab, als die Zuleiter zu den Kugeln im Inneren der gläsernen Träger verlaufen (Fig. 2). Letztere sind seitlich durchbohrt, sodass

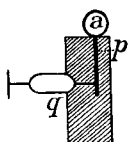


Fig. 2.

man die Klemmschraube q (zur Aufnahme der Leitungsdrähte bestimmt) durch Anschrauben mit dem Zuleiter p verbinden kann. Die Schraffur deutet eine isolirende Füllmasse (Ebonit) an, der die aufschraubbare Kugel a direct aufsitzt, ohne dass irgend ein Theil des Zuleiters freiliegt und mit der Luft in Berührung sich befindet. Man hat dann keine Funken oder Büschel von den Zuleitern aus zu befürchten, auch wenn man diese möglichst

dünn wählt. Die Zuleiter sind etwas excentrisch innerhalb der Träger angebracht, um auch kleine Polkugeln zum Contact bringen zu können, ohne zu dünne und daher biegsame Träger anbringen zu müssen. Verwendet wurden bisher Kugeln von 1, 2, 6 cm Durchmesser.

2) Die Wippe besteht aus zwei einander senkrecht kreuzenden dicken

bei a die Anode, während sonst alles gleich blieb. Bei den Versuchen näherte man nun die beiden Polkugeln der Funkenmikrometer einander soweit mittelst einer feinen Mikrometerschraube, dass die weit entleerte¹⁾ Geisslerröhre im verfinsterten Zimmer dunkel erschien, wenn der eine Pol abgeleitet. Nun wurde nachgesehen, ob bei Verbindung der anderen Electrode mit der Erde etwa die Röhre wieder leuchtete. Trat dies ein, dann war offenbar anzunehmen, dass bei Ableitung des letzteren Poles die Entladung leichter eintritt, als im umgekehrten Falle. Solche Versuche leiden allerdings an gewissen Schwierigkeiten, indem sowohl der Widerstand der Funkenstrecke, wie der Entladungsröhren leicht Veränderungen aufweist. So kann es kommen, wenn bei einer Stellung der Wippe die Röhre dunkel ist und nun beim Umlegen wieder Licht auftritt, dass die in letzterem Falle eingetretene Entladung den Widerstand verringert, und nun auch bei der ersten Lage der Wippe die Röhre leuchtet. Man muss alsdann die Kugeln des Funkenmikrometers einander weiter nähern, um wieder wie früher Dunkelheit zu erhalten. Längeres Arbeiten sowohl, wie andauerndes sich selbst Ueberlassen der Geisslerröhre haben leicht Aenderungen in deren Leitvermögen zur Folge. Daher werden immer wieder Neueinstellungen des Funkenmikrometers nöthig. Auch geht wohl das anfangs vorhandene Licht aus, oder erhellen sich bisweilen scheinbar ganz unmotivirt die sonst dunkeln Röhren für eine kurze Zeit, um dann wieder in Finsterniss zu versinken, und dergleichen Störungen mehr.

Kupferdrähten $a_1 a_2$ und $b_1 b_2$, Fig. 3, die Enden von $a_1 a_2$ tauchen beständig in zwei, aus einem Paraffinklotz ausgehöhlte Löcher α und β , letzteres enthält etwas Quecksilber und ist zur Erde abgeleitet. Von $b_1 b_2$ taucht je nach der Lage das eine (b_1) in das Quecksilber des Loches δ oder das andere Ende (b_2) entsprechend in γ ein. δ ist mit dem Quecksilbergefäß μ (Fig. 1), γ mit ν verbunden. Taucht z. B. b_1 in δ ein, so ist also μ und daher auch die Electrode β abgeleitet.

1) Dieselbe stand mit einer Töpfer'schen Pumpe in Verbindung.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XLI.

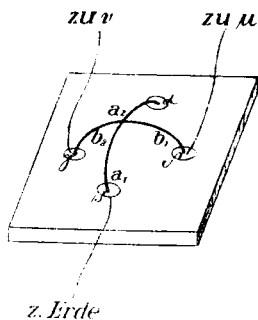


Fig. 3.

Trotzdem man indessen mit solchen Unregelmässigkeiten zu kämpfen hat, lassen sich doch in manchen Fällen ganz unverkennbar bestimmte Aufschlüsse über das Verhalten der Entladungen erlangen, nur muss man zahlreiche Versuche anstellen und lediglich solche miteinander vergleichen, bei denen Aenderungen in der Leitfähigkeit sich nicht störend geltend gemacht haben.

Bei einer Geisslerröhre von ca. 50 cm Länge und einer gleichmässigen Weite von ca. 12,1 mm fand sich mit grosser Regelmässigkeit *eine Erleichterung der Entladungen bei Ableitung der Anode*. Stellte man bei isolirter Anode das Funkenmikrometer so ein, dass eben die Röhre dunkel erschien oder nur vereinzeltes Aufleuchten sich zeigte, so erschien bei Ableitung der Anode alsbald dieselbe in continuirlicher Weise erhellt. Dieses Resultat ergab sich bei sehr zahlreichen Versuchen immer wieder, es blieb bestehen welche Electrode man auch zur Kathode machte, ferner als man die Röhre durch eine ganz neue von fast denselben Dimensionen ersetzte. Ebenso brachte Aufschrauben anderer Kugeln auf das Funkenmikrometer, Vertauschen derselben, weiteres Auspumpen, Erneuerung der Drahtverbindungen keine Aenderung des Ergebnisses. Als dagegen eine Röhre von ca. 60 cm Länge und ca. 21 mm Dicke eingeführt wurde, stellte sich nur anfangs und deutlich nur, wenn die eine Electrode als Kathode diente, dasselbe Resultat wie früher ein. Nach öfteren Versuchen und fortgesetztem Evakuiren der Röhre zeigten sich keine Unterschiede mehr zwischen abgeleiteter Kathode und Anode, ja schliesslich trat deutlich eine Umkehrung der Verhältnisse ein. *Die geladene isolirte Anode¹⁾ gab jetzt leichter das Aufleuchten*. Hiermit hatte nicht etwa der Schliessungsstrom zu thun, denn schon einmalige mit der Hand bewirkte Unterbrechung des primären Stromes gab das gleiche Resultat. *Die weitere Röhre verhielt sich also entschieden anders*, als die zuerst angewendete engere. Um aber ferner das Verhalten der Entladungen *unter möglichst geringem Einfluss der Glaswände* untersuchen zu können, wurde die Röhre durch

1) Dies widerlegt auch den Einwand, den man erheben könnte, dass polare Unterschiede an dem Funkenmikrometer die Begünstigung der negativen Electrode bewirkt hätten.

eine Glaskugel von ca. 10 cm Durchmesser ersetzt mit frei hineinragenden Electroden. Hier zeigte sich gleich von Anfang an keine regelmässige Begünstigung der isolirten Kathode, nur ganz vereinzelt fand sich unter vielen Versuchen eine solche, sondern vielmehr fast völlige Gleichheit der Entladungsbedingungen. Zumeist war eine kleine Bevorzugung der isolirten Anode zu bemerken, indem, wenn letztere noch schwaches gleichmässiges Leuchten zeigte, das Licht beim Umlegen der Wippe stark zuckte, einzelne Male auch ganz verschwand. Man musste indessen, um diesen stets nur recht geringen Unterschied zu bemerken, bei dem Funkenmikrometer¹⁾ sehr fein einstellen. Somit ist wohl als erwiesen anzusehen, dass für den Uebergang der Electricität zwischen den Electroden eines Entladungsgefässes der polare Unterschied in dem Sinne, wie ihn die Herren G. Wiedemann und Rühlmann nachgewiesen haben, unterhalb des kritischen Druckes nicht mehr unbedingt fortbesteht, und daher die Entladungsbedingungen von denen bei höheren Dichten sich nicht unerheblich unterscheiden. Die Ursache des Kathodenwiderstandes in weit evakuirten Räumen ist dann wohl auch wesentlich verschieden von der des gewöhnlichen Leitungswiderstandes der Gase anzusehen.

Es schien wünschenswerth, das soeben angegebene Beobachtungsergebniss noch in anderer Weise zu bestätigen, indem man die Entladungen einer Influenzmaschine²⁾ verwendete, deren einer Pol *A* (Fig. 4) zur Erde abgeleitet. Von dem anderen Pol *B* ging ein Draht α zu einer Electrode μ des Vacuumgefässes, dessen andere ν ebenfalls mit der Erde in Verbindung stand. Von *B* führte ein starker Kupferdraht zu einem Quecksilbergefäss *a*, das mit der einen Kugel ε eines Funkenmikrometers *C* communicirte, während die

1) Eine Drehung der Trommel der Mikrometerschraube um einen Theilstrich gab eine Verschiebung der einen Polkugel um fast genau $\frac{1}{100}$ mm.

2) Hierbei bleiben die Electroden allerdings stets mit Ladung desselben Vorzeichens versehen, während bei dem Inductorium die Electroden ganz entladen und sogar durch den Schliessungsstrom schwach entgegengesetzt electrificirt werden. Die Entladungsbedingungen sind also in beiden Fällen nicht ganz identisch.

zweite ¹⁾ abgeleitet war. An die jedesmalige Kathode desselben wurde eine Spitze φ geklebt, und diese so mittelst der Mikrometerschraube eingestellt, dass das Licht in dem Entladungsgefäße eben verschwand, resp. erschien. Solche Versuche wurden dann wiederholt, indem man einen Polwechsel

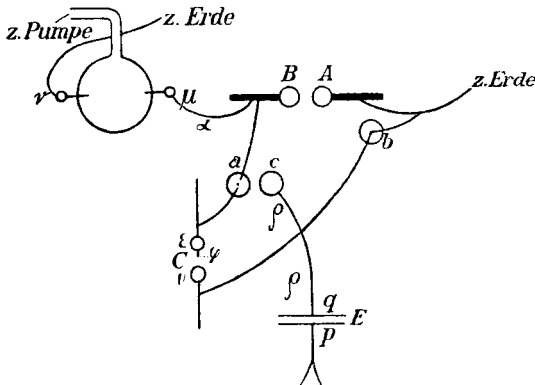


Fig. 4.

der Maschine durch entsprechendes Laden der Belege bewirkte, Draht α an die Electrode ν brachte und μ ableitete. Dann blieb dieselbe Electrode in beiden Versuchsreihen Kathode. Um zu unterscheiden, ob in dem einen oder anderen Falle verschiedene Spannungen zur Einleitung der Entladungen nöthig waren, diente ein Peltier'sches Electrometer E , das durch Influenz erregt wurde. Ein kupferner, an einem Glasarm befestigter Deckel q stand in passender Entfernung der Kugel μ des Electrometers ²⁾ gegenüber, ein Kupferdraht ρ führte von q zu einem Quecksilbernaf c . Ein kupferner Bügel, der mittelst eines isolirten Hebels gehoben und gesenkt werden konnte, gestattete a und c zu verbinden und damit Maschine und Deckel q . Bei dieser Art der Versuchsanordnung machten sich die unvermeidlichen Widerstandsänderungen noch störender bemerklich als bei den früheren Experimenten, und gelang es bisher nicht, mit den engeren Geissleröhren zu einem bestimmten Resultate zu gelangen. Ein besserer Er-

1) Ueber das Quecksilbergefaß b .

2) Ein abgeleiteter Stanniolschirm schützte gegen Einwirkung der übrigen geladenen Theile der Versuchsanordnung.

folg war bei dem kugelförmigen Gefässe zu verzeichnen, obgleich man auch hier noch mit Unregelmässigkeiten zu kämpfen hatte. Wenn direct nach dem Auspumpen beobachtet wurde, fand sich gewöhnlich der Widerstand zunächst bedeutend höher als später, nachdem einige Zeit Entladungen durchgegangen waren, wobei dann allmählich ein ziemlich constanter Zustand eintritt, der vergleichbare Beobachtungen gestattet. Alsdann wurde festzustellen versucht, bei welchem Ausschlage des Electrometers bei sorgfältiger Verschiebung der Pole des Funkenmikrometers zuerst Leuchten auftrat, resp. wann solches verschwand. Es zeigte sich hierbei die erste Spur von Licht, resp. verlösch der letzte Schimmer zumeist sowohl bei abgeleiteter Anode wie abgeleiteter Kathode unter fast denselben Spannungen, *gewöhnlich mit geringer Begünstigung der isolirten Anode*. Aber es fanden sich auch ganz entschiedene Ausnahmen, ausgeprägter, als sie nach den früheren Versuchen zu erwarten gewesen wären. Dennoch thun auch diese Beobachtungen mit der Influenzmaschine ganz entschieden dar, *dass die leichtere Entladung der Kathode in weiteren Gefässen nicht mehr die Regel ist*.

Es wurde schon angedeutet, dass der Einfluss der Glaswände bei dem verschiedenen Verhalten der Entladungen in weiteren oder engeren Gefässen in Betracht zu ziehen sei. Einige specielle Versuche sollten das Verhalten von Glasgefässen mit nur einer Electrode, also von Entladungen lediglich zwischen Glaswand und Electrode, etwas näher beleuchten. In einen grossen Glaskolben *A* (Fig. 5) war oben in den Hals eine Glasröhre *a* eingeschmolzen, in der unten ein ca. 3 cm langer Platindraht eingeschmolzen sich befand, ein seitlich angebrachtes Rohr *b* führte zu einer Geissler'schen Pumpe. *a* wurde mit Wasser gefüllt, eine ebenfalls mit Wasser gefüllte Glasröhre mit an den Enden eingekitteten Kupferdrähten *C* (Fig. 6)

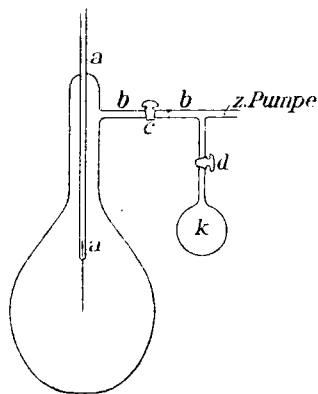


Fig. 5.

diente als Zuleiter von dem Quecksilbergefass *a* (Fig. 4) zu der Röhre *a* (Fig. 5). Hahn *c* und ein zweiter an der Pumpe

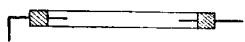


Fig. 6.

befindlicher blieben bei den Versuchen verschlossen, um Entladungen zum Pumpenquecksilber

hin zu verhindern, *K* ist ein Kugelgefäss, das ebenfalls abschliessbar und mit mehreren Electroden versehen ist. Bereits Magnus hatte gefunden, dass unter den gegebenen Umständen bei Verbindung mit dem einen Pole eines Inductoriums, dessen anderer Pol abgeleitet ist, sich schön ausgebildetes negatives Glimmlicht zeigt, mochte der isolirte Pol Anode oder Kathode sein, die Erscheinungen sind in beiden Fällen kaum zu unterscheiden. Schon einmalige Unterbrechung des primären Stromes genügt, um auch bei positiver Ladung der Electrode negatives Glimmlicht auftreten zu lassen, also der Schliessungsstrom hat nichts damit zu thun. Ohne Magnus' Beobachtungen zu kennen, fand Verfasser mittelst eines Inductoriums dasselbe Verhalten, und beobachtete das Licht im rotirenden Spiegel. Dieser zeigte natürlich getrennte Bilder den einzelnen Entladungen des Inductoriums entsprechend, aber durchaus keine Trennung des negativen von dem positiven Lichte. Es findet also das negative Glimmlicht auch nicht etwa seine Erklärung bei positiver Ladung in einem Zurückströmen positiver auf die Glaswände übergegangener Electricität während der Zwischenzeit zwischen zwei Inductorentladungen. Man muss vielmehr sehr schnell aufeinander folgende alternirende Entladungen¹⁾ annehmen, wenn man die übliche Erklärung festhalten will. Ein meist nur schwach leuchtender Rückstrom erscheint allerdings, wenn man den Glaskolben, der wie eine Art Verstärkungsflasche wirkt, erst ladet und dann ableitend berührt. Doch hat die Lichterscheinung bei directer Verbindung mit der Influenzmaschine nur wenig Aehnlichkeit mit der bei Anwendung des Inductoriums. Das eigenthümliche negative Licht fehlt fast ganz selbst bei negativer Ladung, positives und negatives Leuchten sind vielmehr einander

1) Interessant wäre es, die betreffende Erscheinung in einem sehr schnell rotirenden Spiegel zu beobachten.

sehr ähnlich, wenn auch nicht völlig gleich. Bei gehöriger¹⁾ Verdünnung glimmt die Electrode auf ihrer ganzen Länge und ist von einem grauen Nebel umgeben, der bei negativer Ladung ausgedehnter und heller auftritt, als bei positiver. Charakteristisch für die positive Ladung ist die entschieden bläuliche Farbe, mit der die Electrode selbst glimmt, während bei negativer Electrisirung sich die glimmende Electrode kaum von dem Nebel unterscheidet. Blaues negatives Glimmlicht erscheint gar nicht, höchstens ist eine Spur des hier hufeisenförmigen dunkeln Kathodenraumes zu sehen. Doch tritt das negative Licht voll ausgebildet auf, sobald man die Leitung zu *K* öffnet und dessen eine Electrode ableitet, schwächer schon, wenn man die Hand an den Glaskolben, besonders dessen Hals, legt, falls die Electrode in diesen Fällen als Kathode dient. Flackern des Lichtes, Auftreten leuchtender Punkte an der Electrode verstärkt das negative Licht, wohl weil unter solchen Umständen die Dichte des Electricitätsstromes an der Electrode verstärkt wird. Wenig Bemerkenswerthes gab indessen die Einschaltung einer kleinen Funkenstrecke in die Zuleitung; bei positiver Ladung trat alsdann ein dunkler Raum um die Anode herum auf, ebenso, wenn man Funken zwischen den einander genäherten Polen der Maschine überspringen liess. Der rotirende Spiegel zeigt gar keine Intermissionen, sondern ein zusammenhängendes Lichtband, welches auch das Vorzeichen der Ladung sein mochte.

Es wurde nun untersucht, ob für das Eintreten, resp. Verschwinden des Lichtes bei positiver und negativer Ladung ein polarer Unterschied sich zeigte. Es fand sich in der That bei sehr geringen Dichten eine Begünstigung der negativen Electricität, wenn die Entladungen in ruhiger gleichmässiger Weise vor sich gehen. Auch hier hat man wieder

1) Bei 9 mm Druck zeigt positiv wie negativ einen hellen Punkt an der Spitze der Electrode, bei 8 mm schon glimmt die ganze positive Electrode, negative Ladung gab nur einen blauen Stern an deren Ende und an einer mittleren Stelle. Bei abnehmendem Drucke vergrösserte sich besonders die negative Erscheinung, es tritt am oberen Ende eine neue leuchtende Stelle hinzu. Bei einem kleinen Bruchtheile eines Millimeters sind die drei Lichtpunkte noch zu erkennen, die aber bei fortgesetztem Evakuiren endlich verschmelzen.

mit Unregelmässigkeiten zu kämpfen, wie bei den früheren Versuchen an der Kugel mit zwei Electroden. Besonders das positive Licht zeigt oft weit unter der Spannung, bei der es erscheint, wenn man die Kugeln des Funkenmikrometers voneinander entfernt, noch vereinzelt ganz schwaches Aufleuchten, wenn man die Tension allmählich erniedrigt, um das Verschwinden des Lichtes zu beobachten. Dennoch aber wirkt die Glaswand unverkennbar im grossen Ganzen in dem Sinne einer Erleichterung des Austretens der negativen Electricität.
