

# ANNALEN DER PHYSIK.

## VIERTE FOLGE. BAND 1.

### 1. *Ueber den Einfluss der Temperatur auf das Potentialgefälle in verdünnten Gasen; von G. C. Schmidt.*

(Aus den Sitzungsber. d. physikal.-med. Societät Erlangen.)

§ 1. *Einleitung.* Die Verteilung des Energieverbrauches in verdünnten, von elektrischen Strömen durchflossenen Gasen bei gewöhnlicher Temperatur ist vielfach untersucht worden, sei es durch Messung der an verschiedenen Stellen abgegebenen Wärmemengen, sei es durch Ermittlung des Potentialgefälles. Dadurch dürften im wesentlichen die in den einzelnen Fällen maassgebenden Grössen bestimmt sein. Dagegen fehlt es noch fast vollständig an Messungen in Gasen bei höheren und tieferen Temperaturen. Die einzigen, mir bekannten hierhin gehörigen Messungen rühren von M. Pandolfi<sup>1)</sup> her. Derselbe bestimmte aber nur die Abhängigkeit des *gesamten* Entladungspotentiales zwischen den Elektroden bei den Temperaturen zwischen 20° und 110°. Ein tieferer Einblick in die Erscheinungen lässt sich aber allein durch Beobachtungen in den einzelnen Teilen der Entladung gewinnen.

Die Untersuchung der erwärmten Gase bot noch aus anderen Gründen ein besonderes Interesse. Wie von E. Wiedemann und mir<sup>2)</sup> nachgewiesen, vermögen durch den Strom erregte elektroluminescirende Gase elektrische Schwingungen zu absorbiren, während der dunkle Kathodenraum sie ungehindert hindurchlässt. Der letztere verhält sich also hierin wie ein Nichtleiter. Dieses Ergebnis ist durch die Versuche von Hrn. A. Wehnelt<sup>3)</sup>, der nachwies, dass, wenn man eine

1) M. Pandolfi, Nuovo Cim. 5. p. 85—110. 1897; Beibl. 21. p. 778 bis 779. 1897.

2) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 62. p. 460. 1897.

3) A. Wehnelt, Diss. Erlangen 1898; Wied. Ann. 65. p. 511. 1898.

Entladung durch den dunklen Raum erzwingt, die Entladung einen disruptiven Charakter, wie in Paraffinöl, annimmt, bestätigt worden. Wir haben somit in jeder Entladungsröhre zwei Teile scharf zu trennen, nämlich 1. die leitende positive Säule und 2. den nichtleitenden dunklen Raum.<sup>1)</sup> Aus Versuchen von Hrn. W. Hittorf<sup>2)</sup> geht nun hervor, dass bereits mit 15 Chromsäureelementen noch ein starker leuchtender Durchgang der Entladung durch verdünnte Luft erzielt werden kann, wenn als Kathode eine weissglühende Kohle benutzt wird, für dunkle Entladungen genügen bereits weit geringere Spannungen. Hält man dies Ergebnis mit dem obigen zusammen, so liegt der Gedanke nahe, dass die Gase nach der Ionisation Leiter der Elektrizität sind, und dass nur ein eigentümliches Hindernis an der Kathode, welches durch Erhitzung, ultraviolettes Licht etc. beseitigt werden kann, unter gewöhnlichen Umständen den Durchgang des Stromes hindert. Ist dieser Gedanke richtig, dann muss es gelingen, durch starke Erhitzung auch den dunklen Kathodenraum zu einem Leiter zu machen und dadurch alle Erscheinungen wesentlich zu vereinfachen.

Um die hier obwaltenden Beziehungen aufzuklären, wurden eine grosse Reihe von Messungen, und zwar 1. über den Potentialgradienten im positiven Licht, 2. über das Kathodengefälle, 3. über den Potentialgradienten bei der dunklen Entladung und 4. über die Gesamtpotentialdifferenz bei verschiedenen Temperaturen ausgeführt.

§ 2. *Versuchsanordnung.* Die Methode der Messung war die von Warren de la Rue und Müller<sup>3)</sup>, Hittorf<sup>4)</sup>, Warburg<sup>5)</sup> u. a. benutzte; in die von einem constanten Strom durchflossene Gasstrecke waren mehrere Platindrähte als Sonden eingesenkt. Die Potentialdifferenz zwischen den Sonden wurde mittels eines modificirten Warburg'schen Elektrometers<sup>6)</sup> gemessen. Als Stromquelle diente eine Batterie von 1000 Accumulatoren. In den Stromkreis waren Hittorf'sche Jodcadmium-

1) E. Wiedemann u. A. Wehnelt, Sitzungsber. Physico-medica 1898.

2) W. Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 135. 1884.

3) Warren de la Rue u. Müller, Phil. Trans. 169. p. 165. 1873.

4) W. Hittorf, Wied. Ann. 20. p. 712. 1883.

5) E. Warburg, Wied. Ann. 40. p. 1. 1890; vgl. auch A. Herz, Wied. Ann. 54. p. 244. 1865.

6) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 66. p. 316. 1898.

widerstände und ein Telephon zur Beurteilung der Continuirlichkeit des Stromes, sowie ein Spiegelgalvanometer eingeschaltet. Zum Erwärmen der Entladungsröhre diente ein gut mit Asbest ausgefütterter eiserner Kasten. Aus demselben ragten nur die beiden Enden mit den Elektroden und die Quecksilbernäpfchen, in welche die oberen Enden der Sonden tauchten, heraus. Ein Glimmerfenster erlaubte die Erscheinungen in der Entladungsröhre zu verfolgen. Die Temperaturen wurden an einem im Kasten befindlichen Thermometer abgelesen; Messungen wurden erst angestellt, wenn die Temperatur einige Zeit bis auf  $1-2^{\circ}$  constant blieb.

Die Untersuchung blieb auf *Stickstoff* beschränkt. Zur Darstellung desselben wurde eine Lösung von Ammoniumnitrit durch Erhitzen zersetzt und das sich entwickelnde Gas in einem Glasgasometer aufgefangen. Um Spuren von Kohlensäure, Sauerstoff und den Wasserdampf zu entfernen, wurde es durch Kalilauge, Pyrogallussäure und schliesslich über Chlorcalcium und Phosphorpentoxyd geleitet.

Die zu untersuchende Entladungsröhre wurde mehrere Male abwechselnd ausgepumpt und mit Stickstoff gefüllt, während sie gleichzeitig ca. 6 Stunden auf ungefähr  $300^{\circ}$  erhitzt wurde, um möglichst allen Wasserdampf von den Wänden zu entfernen. Die letztere Vorsichtsmaassregel war wichtig, da es nur so gelang, übereinstimmende Resultate zu erhalten. Die Pumpe enthielt gefettete Hähne und Schliffe, sodass im Lauf der Zeit durch Verdampfen der Kohlenwasserstoffe kleine Verunreinigungen im Stickstoff auftraten.

Die Versuche wurden theils bei constantem Druck, theils bei constanter Dichte des Gases angestellt. Zu dem letzteren Zweck war möglichst nahe an der Entladungsröhre ein Capillarahahn angebracht; war derselbe geschlossen, so blieb die Gasdichte constant, wurde er geöffnet und dadurch die Verbindung zwischen der Entladungsröhre und den grossen Gefässen der Pumpe hergestellt, so blieb der Druck während des Erhitzens nahezu unverändert.

§ 3. *Änderung der Spectralerscheinungen bei sehr grossen Stromstärken, wobei auch die Temperatur des Gases stark steigt.* Es wurde bei gewöhnlicher Temperatur ein constanter Strom durch die Entladungsröhre bei einem solchen Druck geschickt,

dass eine ungeschichtete Entladung auftrat. Die Kathode war mit bläulichem Licht bedeckt, das positive Licht sah rot aus und zeigte die bekannten Stickstoffbanden. Wurde die Stromstärke stark gesteigert, so nahm das rote positive Licht eine prachtvoll orangene Farbe an. Der Charakter des Spectrums änderte sich nicht wesentlich; im letzteren Fall war nur das gelbe Band bedeutend intensiver, doch blieb selbst bei den grössten angewandten Stromstärken die Kannellirung erhalten. Messungen über den Potentialgradienten im orangefarbenen Licht waren leider nicht möglich, da die Kathode ausserordentlich rasch zerstäubte und die Entladungsröhre sehr heiss wurde.

Diese wohl noch nicht beschriebene Erscheinung entspricht nicht der bisher beim Stickstoff sonst beobachteten Thatsache, dass Steigerung der Stromdichte die violetten Teile des Spectrums besonders stark anregt. Schaltet man vor die Entladungsröhre eine Funkenstrecke und steigert man dadurch die Stromdichte, so wird das vorher rote Spectrum blau. In den engen Teilen einer Geissler'schen Röhre leuchtet der Stickstoff blau, in den weiten rot. Das eben beschriebene Resultat zeigt indes, dass hierbei nicht die Stromdichte das Maassgebende ist, sondern dass wir es wahrscheinlich mit einer ganz anderen Form der Anregung zu thun haben. Dass durch letztere die Spectren völlig verändert werden können, zeigt sich besonders schön bei vielen Metaldämpfen.<sup>1)</sup>

§ 4. *Änderung der Erscheinungen im positiven Licht beim Erhitzen.* Wir beschreiben jetzt die Veränderungen, welche eine Erhitzung bis zu 300° C. in den Entladungsröhren hervorruft, und zwar bei constanter Dichte, aber veränderlichem Druck.

Bei gewöhnlicher Temperatur füllt das rote Licht beinahe die ganze Röhre aus; der dunkle Trennungsraum trennt dasselbe von dem violetten Kathodenlicht, welches bei einem bestimmten Druck die Kathode nur halb bedeckt. Beim Erhitzen bis 130° zog sich das positive Licht zurück, der dunkle Raum wurde grösser und das rote positive Licht zerfiel in einzelne Schichten, die sich an die Sonden anlegten. Dieselben waren

1) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Sitzungsber. d. physikal.-med. Societät. Erlangen 1898.

schlecht ausgebildet und waren voneinander durch dunkle Räume getrennt. Bei Steigerung der Stromstärke wurden die Schichten intensiver und grösser. Wurde noch weiter erhitzt, so wurde die ganze Röhre dunkel, nur an der Anode und Kathode befanden sich noch kleine Lichtfünkchen. Die Erscheinung hatte das Aussehen, wie wenn bei sehr hohen Drucken die Entladung eben durch die Röhre zu gehen beginnt. Bei engen Röhren treten die Veränderungen erst bei höheren Temperaturen auf als bei weiten, und sind die Schichten viel besser ausgebildet. Offenbar spielt hierbei die Stromdichte eine Rolle. Vielfach bildeten sich auch Schichten zwischen den Sonden aus.

Ganz ähnliche Erscheinungen treten bei constantem Druck auf.

Aus den Beobachtungen ergibt sich somit: *Sowohl bei constantem Druck, als auch bei constanter Gasdichte zerfällt bei gesteigerter Temperatur das ungeschichtete positive Licht in Schichten, die durch Steigerung der Stromstärke grösser, verwaschener und heller werden.<sup>1)</sup> Bei noch höheren Temperaturen zieht sich das positive Licht nach der Anode hin zurück, sodass schliesslich die Entladung eine dunkle wird.*

Dass diese letztere Erscheinung nicht davon herrührt, dass bei diesen hohen Temperaturen die Gase nicht mehr zu leuchten vermögen, geht deutlich daraus hervor, dass, sobald man eine Funkenstrecke vor die Entladungsröhre schaltet, die ganze Röhre schön leuchtet.<sup>2)</sup>

1) Vgl. W. Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 113. 1884.

2) Eine andere Ansicht scheint Hr. W. Hittorf (Wied. Ann. 19. p. 14. 1883) zu haben, da derselbe schreibt: „Durch besondere Versuche habe ich mich auch überzeugt, dass alle Gase, welche diese hohen Wärmezustände angenommen haben, gute Leiter der Elektrizität bei der schwächsten Spannungsdifferenz sind, und dass sie beim Durchgange des Stromes nicht mehr Spectra der ersten Ordnung geben. *Es ist hier die Temperatur erreicht, in welcher diese von Plücker und mir beschriebenen Spectra unmöglich werden.*“ Hätte Hr. Hittorf eine Funkenstrecke vor seine Entladungsröhre geschaltet, so hätten wahrscheinlich auch seine Gase geleuchtet. Das Verschwinden des roten positiven Lichtes rührt nicht daher, dass die Gase nicht mehr zu leuchten vermögen, sondern dass die Form der Entladung eine andere geworden ist. Eine definitive Entscheidung, ob diese letztere Ansicht die richtige ist, sollen spätere Versuche geben.

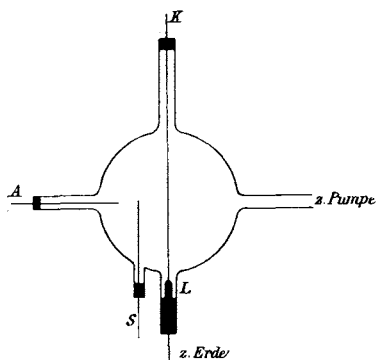
§ 5. *Änderungen der Erscheinungen an der Kathode beim Erhitzen.* Sehr auffällige Veränderungen zeigt das Glimmlicht, wenn man bei constantem Druck erwärmt.

Bekanntlich wächst bei constanter Temperatur mit wachsender Stromstärke die Länge des Glimmlichtes, während seine Dicke solange ungeändert bleibt, als der Draht noch nicht ganz mit Glimmlicht bedeckt ist, und solange bleibt auch, wie Hr. W. Hittorf<sup>1)</sup> zuerst und später Hr. Warburg<sup>2)</sup> gezeigt haben, das Kathodengefälle ungeändert. Hat das Glimmlicht sich über die ganze Kathode verbreitet, so wächst bei weiter gesteigerter Stromesintensität die Dicke des Glimmlichtes und gleichzeitig das Kathodengefälle. Mit zunehmendem Druck wird das Glimmlicht kleiner und bedeckt schliesslich die Kathode nur an der Spitze.

Erhöhung der Temperatur bewirkt nun genau dasselbe wie Erhöhung der Stromstärke. Bei constanter Gasdichte, also wenn der Druck zunimmt infolge der Erwärmung, kann unter besonders günstigen Umständen die Zunahme des Druckes den Temperatureinfluss compensiren, sodass grössere Veränderungen nicht wahrzunehmen sind. Bei constantem Druck wächst das Glimmlicht stets bei Erhöhung der Temperatur, selbst,

wenn die Stromstärke ungeändert bleibt, und bedeckt schliesslich die ganze Kathode, zugleich flutet es weiter vom Draht ab.

Dies wurde noch durch Versuche bestätigt, bei denen die Kathode durch einen elektrischen Strom erhitzt wurde (vgl. nebenstehende Figur). An eine Kugel von 7 cm Durchmesser waren 4 Röhren



angeschmolzen. In die eine war die Anode *A* eingekittet, in die andere die Kathode *K*, welche in ihrem unteren Ende aus einem dünnen Platiniridiumdraht bestand, der durch einen an-

1) W. Hittorf, l. c.

2) E. Warburg, Wied. Ann. **31**. p. 545. 1887.

gelöteten Kupferstab  $L$  straff gespannt war. Der letztere tauchte in Quecksilber, welches mit der Erde in Verbindung stand. Die Anode führte zu dem einen Pol einer 20-plattigen Influenzmaschine, deren anderer Pol ebenfalls mit der Erde in Verbindung stand. Sobald nun durch eine besondere Batterie, deren eines Ende zur Erde abgeleitet war, der Kathodendraht erwärmt wurde, wurde das Glimmlicht länger und breiter.  $S$  ist eine Sonde, welche bei späteren Versuchen Verwendung fand. Ueber die erhaltenen Resultate giebt die folgende Tabelle Auskunft. In derselben bedeuten  $p$  den Druck in Millimetern,  $T$  die Temperatur des Drahtes,  $L$  die Länge des Glimmlichtes und R.-Gl. schwache Rotglut.

Tabelle I.

$p$	$T$	$L$	$p$	$T$	$L$
115	20° C.	13 mm	17	20° C.	29 mm
115	R.-Gl.	16	17	R.-Gl.	45
38	20° C.	17	6	20° C.	35
38	R.-Gl.	21	6	R.-Gl.	50
26	20° C.	22	3	20° C.	40
26	R.-Gl.	30	3	R.-Gl.	65

Aus den Versuchen ergibt sich: *Eine Steigerung der Temperatur der Kathode bewirkt, dass das Glimmlicht sich weiter ausdehnt, und zwar um so mehr, je geringer der Druck ist. Die Steigerung der Temperatur hat also denselben Einfluss wie Steigerung der Stromesintensität.*

§ 6. *Änderungen des Potentialgradienten bei cyclischen Veränderungen der Temperatur.* Ist der Stickstoff sorgfältig gereinigt, so bleibt der Gradient auch bei geschlossenem Strom längere Zeit constant. Zum Belege hierfür möge folgende Tabelle dienen, in welcher  $p$  den Druck des Gases in Millimeter Quecksilber,  $i$  die Stromstärke in Ampère,  $L$  die Entfernung zwischen den beiden Elektroden,  $n$  die Nummer der Sonde von der Anode an gerechnet,  $V$  die Potentialdifferenz zwischen den beiden Sonden,  $G$  den entsprechenden Potentialgradienten und  $\Pi$  die Gesamtpotentialdifferenz zwischen den Elektroden bedeuten. Die benutzte Röhre enthielt 5 Sonden, die beiden Elektroden waren 3,5 cm lange und 1 mm dicke

Platindrähte. Die letzte (5.) Sonde befand sich im dunklen Raum.

Tabelle II.

2  $R = 4,4$  cm.  $L = 20,5$  cm.  $i = 0,000\ 22$  Amp.  $p = 1,95$  mm.  $T = 16^\circ$  C.

Gleich nach Stromschluss				Nach 1 Stunde Stromdurchgang			
$n$	$V$	$G$	$II$	$n$	$V$	$G$	$II$
1,2	147,5	39,9	770 Volt	1,2	147,4	39,9	770 Volt
2,3	167,6	39,7	770	2,3	166,6	39,5	770
3,4	169,6	38,6	770	3,4	169,6	38,6	770
4,5	133,5	26,7	770	4,5	133,5	26,7	770

Die Röhre wurde nun drei Stunden auf  $300^\circ$  C. erhitzt und nach dem Abkühlen wiederum der Potentialgradient gemessen. Es ergab sich:

Tabelle III.

$n$	$V$	$G$	$II$
1,2	138,1	37,3	720 Volt
2,3	157,2	37,3	720
3,4	161,0	36,6	720
4,5	107,7	21,6	720

Wie aus den Tabellen II und III hervorgeht, entspricht bei cyklischer Veränderung der Temperatur bei gleichen Stromstärken nicht mehr der gleiche Wert des Gradienten. Die Erklärung hierfür dürfte darin zu suchen sein, dass im Lauf der Zeit namentlich beim Erhitzen sich noch Wasserdampf von den Wandungen des Entladungsrohres entwickelt und von den eingefetteten Hähnen sich Kohlenwasserstoffe frei machen. Ganz wird sich dieser Fehler niemals eliminieren lassen. In den folgenden Tabellen habe ich nur solche Beobachtungsreihen berücksichtigt, bei denen das Gesamtpotential nach dem Erhitzen bis auf 2 Proc. mit dem vor dem Erhitzen übereinstimmte. <sup>1)</sup>

1) Auch Hr. A. Herz (Wied. Ann. 54. p. 252. 1895) erwähnt, dass selbst das sorgfältigst gereinigte Gas in den Apparaten mit der Zeit durch Loslösung gasförmiger Bestandteile, sei es von den Rohrwandungen, sei es von den Elektroden, verunreinigt wird.



§ 7. *Änderungen des Potentialgradienten im positiven Licht mit der Stromstärke bei höheren Temperaturen.* Von den Herren C. A. Mebius<sup>1)</sup> und A. Herz<sup>2)</sup> ist nachgewiesen, dass der Gradient im positiven ungeschichteten Licht mit wachsender Stromstärke abnimmt, und zwar geradlinig, ein Ergebnis, welches Hr. E. Wiedemann und ich<sup>3)</sup> bestätigt haben. Um zu sehen, ob dieser Satz auch bei höheren Temperaturen gilt, wurden mit verschiedenen Röhren und bei verschiedenen Drucken diesbezügliche Versuche angestellt. Ueber die erhaltenen Resultate giebt die folgende Tabelle Auskunft:

Tabelle IV.

Ungeschichtet. $T = 14^{\circ} \text{ C.}$				Ungeschichtet. $T = 48^{\circ} \text{ C.}$			
$i$	$V$	$G$	$II$	$i$	$V$	$G$	$II$
Amp.			Volt	Amp.			Volt
$1,42 \cdot 10^{-4}$	107,4	29,0	640	$1,64 \cdot 10^{-4}$	98,7	26,9	600
3,03	104,7	28,3	640	2,13	98,6	26,7	600
4,64	102,8	27,8	660	4,15	95,3	25,8	620
5,86	100,8	27,3	690	5,1	93,2	25,2	630
11,10	96,0	25,9	950	9,98*	91,0	24,6	810

Ungeschichtet. $T = 72^{\circ} \text{ C.}$				Schichten (wenig intensiv). $T = 128^{\circ} \text{ C.}$			
1,97	90,4	24,4	580	2,08	41,9	11,4	460
2,92	86,9	23,5	580	2,80	38,1	10,3	470
4,26	85,1	23,1	600	4,17	36,6	9,9	490
6,35	82,6	22,3	670	6,17	36,6	9,9	540
9,32*	86,9	23,5	760	9,32	41,9	11,3	620

Bei der ersten Beobachtungsröhre nimmt der Gradient mit der Stromstärke ab, und zwar geradlinig, sodass wir mit Herz setzen können

$$v = v_0 - b(i - i_0),$$

wo  $v_0$  den Gradienten für  $i = i_0$  und  $b$  eine von  $i$  unabhängige Grösse bedeutet, nämlich die Abnahme des Gradienten für die

1) C. A. Mebius, Wied. Ann. 54. p. 537. 1895.

2) A. Herz, Wied. Ann. 54. p. 249. 1895.

3) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 66. p. 316. 1898.

Zunahme 1 der Stromstärke, das ist für 1 Milliampère Stromzunahme.

Bei der zweiten und dritten Beobachtungsreihe nimmt der Gradient ebenfalls ab, und zwar wie früher zunächst geradlinig und parallel mit der ersten Geraden, d. h. *b ist bei allen drei Beobachtungsreihen gleich gross, also unabhängig von der Temperatur, während  $v_0$  mit der Temperatur abnimmt.* Nur der letzte, mit einem \* versehene Wert fällt vollständig heraus.

Dies konnte entweder daher rühren, dass die Kathode sich vollständig mit Licht bedeckt hatte, wodurch ihr Entladungspotential und hierdurch auch der Gradient im positiven Licht grösser geworden war, oder dass schon Schichtung eingetreten war, die aber dann so verwaschen sein musste (vgl. § 4), dass sie als solche nicht zu erkennen war. Thatsächlich lagerte sich an den Sonden intensiveres Licht an; da aber zwischen denselben noch eine Lichtbrücke sich ausspannte, so erschien die Entladung bei oberflächlicher Betrachtung eher als eine ungeschichtete, als eine geschichtete.

Um die erstere Annahme zu prüfen, wurde mit einem Rohr, dessen Kathode nur wenig über eine Glasröhre hinausragte und infolge dessen schon bei verhältnismässig geringen Stromstärken vollständig mit Licht bedeckt war, eine Reihe von Messungen über das Kathodenpotential und den Gradienten im positiven Licht angestellt. Ueber die Resultate giebt die folgende Tabelle Auskunft. *i* bedeutet in derselben die Stromstärke, *G* der Gradient im positiven Licht und *K* das Kathodenpotential.

Tabelle V.

$R = 4,4$  cm.  $L = 20,5$  cm.  $p = 1,34$  mm.  $T = 48^\circ$  C.

<i>i</i>	<i>G</i>	<i>K</i>	<i>i</i>	<i>G</i>	<i>K</i>
0,000164 Amp.	45,5	180 Volt	0,00109 Amp.	42,5	240 Volt
0,000186	45,3	190	0,00140	41,3	270
0,000302	44,6	210	0,00240	38,6	280

Trotzdem also das Kathodengefälle mit steigender Stromstärke zunimmt, nimmt der Gradient im positiven ungeschichteten Licht mit wachsender Stromstärke ab, und zwar geradlinig ab.

*Der Gradient in der positiven leuchtenden Säule ist also unabhängig von dem Kathodengefälle.*

Es bleibt somit nur die zweite Erklärung für die oben-erwähnte Erscheinung übrig; dass thatsächlich bei geschichteter Entladung die obige geradlinige Beziehung zwischen Stromstärke und Gradient nicht mehr gilt, davon habe ich mich durch eine Reihe von Messungen bei verschiedenen Temperaturen überzeugt. Sobald eine Entladung geschichtet oder dunkel ist, steigt im allgemeinen der Gradient mit wachsender Stromstärke. Es rührt dies daher, dass mit wachsender Stromstärke die Schichten, also die Orte des grössten Energieverbrauches, breiter und verwaschener werden, eventuell auch neue Schichten auftreten, während die dunklen Räume zwischen ihnen sich zusammenziehen. Für diesen Fall ergibt sich keine einfache Beziehung zwischen Stromstärke und Gradient, wie zu erwarten ist, da die Erscheinungen sich ändern. Ich beschränke mich daher darauf als Beleg für den obigen Satz die folgenden beiden Beobachtungsreihen mitzuteilen.

Tabelle VI.

$L = 19$  cm.  $2 R = 3$  cm.  $p = 2,89$  mm.  $T = 106^\circ$  C. Geschichtet.

$i$	$G$	$i$	$G$	$i$	$G$
0,00038 Amp.	18,7	0,00053 Amp.	23,4	0,00166 Amp.	40,7
0,00046	21,3	0,00066	30,3	0,00246	43,7

$L = 19$  cm.  $2 R = 3$  cm.  $p = 5,4$  mm.  $T = 330^\circ$  C. Dunkel.

$i$	$G$
0,00046 Amp.	16,2
0,00091	19,2
0,00284	27,6

Bei anderen Drucken ergab sich das Nämliche wie oben;  $b$  nimmt mit abnehmendem Gasdruck etwas ab<sup>1)</sup>, ist aber auch hier unabhängig von der Temperatur. Entladungsröhren von anderem Durchmesser zeigten dasselbe Verhalten, nur er-

1) A. Herz, Wied. Ann. 54. p. 350. 1895.

gab sich eine bedeutende Abnahme von  $b$  mit zunehmendem Röhrenhalbmesser.<sup>1)</sup>

§ 8. *Änderung des Potentialgradienten mit der Temperatur im positiven ungeschichteten Licht bei constanter Gasdichte.* Es wurden mit verschiedenen Röhren eine Anzahl von Messungen über den Potentialgradienten im positiven, ungeschichteten Licht bei geschlossenem Hahn, also bei constanter Gasdichte angestellt. Ueber die erhaltenen Resultate giebt die folgende Tabelle Auskunft:

Tabelle VII.

$2 R = 4,4 \text{ cm.}$   $L = 20,5 \text{ cm.}$   $p = 1,48 \text{ mm.}^2)$

$T$	$i$	$V$	$G$	$II$
$10^\circ \text{ C.}$	0,00034 Amp.	155,6	42,1	790 Volt
36	0,00034	155,5	42,1	780
60	0,00034	155,8	42,2	770
74	0,00034	155,6	42,1	760

$2 R = 4,4 \text{ cm.}$   $L = 20,5 \text{ cm.}$   $p = 3,06 \text{ mm.}$

$13^\circ \text{ C.}$	0,00034 Amp.	262,6	71,0	1010 Volt
35	0,00034	261,0	70,9	990
54	0,00034	262,8	71,0	940
73	0,00034	262,5	71,0	830

$2 R = 2,2 \text{ cm.}$   $L = 17 \text{ cm.}$   $p = 2,42 \text{ mm.}$

$12^\circ \text{ C.}$	0,00088 Amp.	107,5	59,7	1010 Volt
65	0,00088	109,2	60,7	960
90	0,00088	109,0	60,6	920
145	0,00088	103,9	57,7	820
180	0,00088	108,5	60,3	830

Aus der Tabelle lässt sich entnehmen: *Der Gradient im positiven, ungeschichteten Licht ist bei constanter Gasdichte unabhängig von der Temperatur.*

Messungen mit anderen Entladungsröhren ergaben dasselbe Resultat. Höhere Temperaturen als die in der Tabelle

1) Th. Homen, Wied. Ann. 28. p. 201. 1889.

2)  $p$  ist der bei Beginn des Versuches, also bei  $10^\circ \text{ C.}$ , abgelesene Druck. Dasselbe gilt von den beiden anderen Beobachtungsreihen. Natürlich nahm beim Erhitzen der Druck zu.

angegebenen konnten leider nicht verwendet werden, da die ungeschichtete Entladung in Schichten zerfiel und bei noch höheren Temperaturen sich in eine dunkle umwandelte.

§ 9. *Änderung des Potentialgradienten mit der Temperatur im positiven ungeschichteten Licht bei constantem Druck.* Aus Versuchen von den Herren Th. Homen<sup>1)</sup> und A. Herz geht hervor, dass der Gradient im positiven ungeschichteten Licht mit zunehmendem Druck zunimmt, aber langsamer, als der Druck wächst. Hält man dies Ergebnis mit dem eben gefundenen zusammen, dass der Gradient bei constanter Gasdichte unabhängig von der Temperatur ist, so war zu erwarten, dass *beim Erwärmen unter constantem Druck der Gradient abnehmen würde, und zwar langsamer als die Gasdichte. Die Versuche, von denen ich nur einige wenige anführe, bestätigten dies.*

Tabelle VIII.

$2 R = 4,4 \text{ cm.}$   $L = 20,5 \text{ cm.}$   $p = 1,48 \text{ mm.}$

$T$	$i$	$V$	$G$	$II$
10° C.	0,00034 Amp.	155,6	42,1	790 Volt
25	0,00034	151,2	40,8	770
46	0,00034	147,0	39,8	740

$2 R = 4,4 \text{ cm.}$   $L = 20,5 \text{ cm.}$   $p = 3,06 \text{ mm.}$

13° C.	0,00029 Amp.	271,5	73,2	1030 Volt
43	0,00029	253,5	68,6	910
76	0,00029	242,1	65,5	780

$2 R = 2,2 \text{ cm.}$   $L = 17 \text{ cm.}$   $p = 2,42 \text{ mm.}$

12° C.	0,00088 Amp.	107,5	59,7	1010 Volt
38	0,00088	105,0	58,6	930
61	0,00088	103,8	57,7	870

§ 10. *Einfluss der Temperatur auf das Kathodenpotential.* Von W. Hittorf<sup>2)</sup> ist nachgewiesen, dass das negative Glimmlicht bei der Zunahme der Stromstärke sich stetig über eine gewisse Fläche der Kathode ausbreitet. Solange ihm dies

1) Th. Homen, Wied. Ann. 20. p. 743. 1883.

2) W. Hittorf, Wied. Ann. 20. p. 743. 1883.

möglich ist, bleibt seine Dicke wie seine Spannungsdifferenz so gut wie unverändert. Sobald jedoch die ganze Kathode damit bedeckt ist, flutet es mit wachsender Stromstärke geradlinig weiter, und gleichzeitig steigt seine Spannungsdifferenz.

Um das Verhalten des Glimmlichtes, falls die Kathode nicht ganz bedeckt ist, bei höheren Temperaturen zu untersuchen, wurde in eine 30 cm lange und 5 cm dicke Röhre eine Aluminiumkathode von 15 cm Länge und 2 mm Durchmesser eingekittet. Die Röhre wurde in dem eisernen Kasten erwärmt und die Beziehung zwischen Stromstärke und Kathodenpotential bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Es ergab sich:

Tabelle IX.

$$p = 5 \text{ mm.}$$

$T$	$i$	Kathoden- potential	$II$
14° C. {	0,00018	234,4	370
	0,00032	234,4	370
	0,0018	230,1	390
	0,0022	231,5	430
83° C. {	0,00020	227,6	320
	0,00032	229,4	320
	0,0018	234,4	380
	0,0022	234,4	410
150° C. {	0,00020	230,1	290
	0,00032	234,3	290
	0,0018	234,4	300
	0,0022	231,4	310

Die Kathode war selbst bei den grössten Stromstärken höchstens ungefähr zur Hälfte mit Glimmlicht bedeckt. Das Kathodengefälle von 234 Volt stimmt gut mit der von Hrn. Warburg<sup>1)</sup> für Platinkathoden gefundenen Zahl von 232 Volt überein. Aus der Tab. IX geht hervor: *Das Kathodengefälle ist, solange die Kathode noch nicht ganz bedeckt und nicht bis zur Weissglut erhitzt ist, unabhängig von der Temperatur.* Bei

1) E. Warburg, Wied. Ann. 40. p. 9. 1890.

noch höheren Temperaturen (bis 250° C.) ergab sich das Nämliche.

Dieses Ergebnis bestätigten auch einige mit Hilfe des § 5 beschriebenen Apparates (vgl. Figur) angestellte Versuche, bei denen durch einen Nebenstrom die Kathode erhitzt wurde. Um das Kathodenlicht, welches längs des Drahtes hin- und herflackerte und dadurch jede Messung unmöglich machte, an einer Stelle festzuhalten, wurde die Anode bis dicht an die Kathode geschoben. Zwischen beiden befand sich eine bis auf die Spitze in Glas gehüllte Sonde. Es ergab sich bei 15 mm bei gewöhnlicher Temperatur ein Kathodengefälle von 230,5 Volt und, als der Draht auf ca. 600° erhitzt wurde, von 236,8 Volt, also auch hier so gut wie unabhängig von der Temperatur. Dieses Ergebnis, welches noch durch andere Messungen bestätigt wurde, stimmt mit der von Hrn. Hittorf gefundenen Thatsache überein, dass erst dann das Kathodengefälle sinkt, wenn die Kathode weissglühend ist.

Es wurde noch eine Reihe von Messungen über das Kathodenpotential bei verschiedenen Temperaturen mit einer kurzen Elektrode, die von vornherein ganz mit Glimmlicht bedeckt war, angestellt. Ueber die erhaltenen Resultate giebt die folgende Tabelle Auskunft. *K* bedeutet Kathodenpotential. Die übrigen Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie früher.

Tabelle X.

2 *R* = 4 cm. *L* = 20,5 cm. *p* = 0,96 mm.

<i>T</i>	<i>i</i>	<i>K</i>	<i>II</i>	<i>T</i>	<i>i</i>	<i>K</i>	<i>II</i>
12° C.	0,00016	300,3	1030	93° C.	0,00011	280,5	790
	0,00027	317,7	1010		0,00019	284,0	820
	0,00069	383,4	1010		0,00033	302,4	880
	0,00144	521,3	1020		0,00070	360,2	850
	0,00237	656,3	1010		0,00113	407,4	840
225° C.				310° C.	0,00155	464,5	860
					0,00211	538,2	860
	0,00018	302,0	380		0,00017	301,4	370
	0,00032	310,5	380		0,00032	311,5	370
	0,00051	345,9	410		0,00050	348,6	400
	0,00084	389,0	510		0,00096	394,5	490
	0,00189	520,1	600		0,00190	522,1	590

Aus der Tab. X geht hervor: *Steigert man die Stromstärke, nachdem die Kathode schon ganz bedeckt ist, so nimmt das Kathodenpotential zu, und zwar geradlinig mit der Stromstärke zu.* Eine Formel von der Gestalt:  $v = v_0 + bi$ , wo  $b$  eine Constante bedeutet, stellt alle Beobachtungen dar. Die Geraden für die verschiedenen Temperaturen laufen ziemlich parallel miteinander, die kleinen Abweichungen hiervon rühren wohl nur davon her, dass bei höheren Temperaturen noch Wasserdampf sich von den Wänden freimacht und dadurch der Stickstoff verunreinigt wird.

Es wurden noch eine grosse Anzahl von ähnlichen Messungen mit verschiedenen Röhren bei verschiedenen Temperaturen angestellt. Da sich aus denselben Neues nicht ergab, so übergehe ich dieselben.

§ 11. *Einfluss der Stromstärke auf den Gradienten bei der dunklen Entladung.* Wie schon § 4 beschrieben, ist die Entladung bei höheren Temperaturen eine dunkle. Der Gradient ist dann sehr klein, ändert sich aber ziemlich beträchtlich mit der Stromstärke, wie die Tab. XI zeigt. Länge war 19 cm, Dicke gleich 3 cm.  $i$  bedeutet Milliampère.

Tabelle XI.

$p = 2,16 \text{ mm}$ $T = 200^\circ \text{ C.}$			$p = 2,16 \text{ mm}$ $T = 310^\circ \text{ C.}$			$p = 5,4 \text{ mm}$ $T = 330^\circ \text{ C.}$		
$i$	$G$	$II$	$i$	$G$	$II$	$i$	$G$	$II$
0,151	14,5	560	0,182	16,2	600	0,204	16,2	510
0,204	16,9	580	0,236	19,5	620	0,404	19,2	550
0,381	20,5	620	0,364	20,5	630	1,261	27,6	670
0,959	25,2	680	0,670	22,0	635			
			1,291	25,6	650			

Aus diesen Zahlen ergibt sich:

1. *Mit wachsender Stromstärke nimmt der Gradient zu.*
2. *Das Anwachsen des Gradienten mit der Stromstärke ist ein ziemlich starkes.* Wächst z. B. die Stromstärke um das 10 fache, so nimmt der Gradient ungefähr um das Doppelte zu.

Die dunkle Entladung zeigt also ein ganz anderes Verhalten als die leuchtende Lichtsäule. Während für letztere der Satz gilt, dass der Gradient mit wachsender Stromstärke



abnimmt, findet bei der dunklen Entladung ein Annähern an das Ohm'sche Gesetz statt.

Eine besondere Untersuchung muss zeigen, ob nicht bei noch höheren Temperaturen das Ohm'sche Gesetz für Gasentladungen gültig ist. Es würde, falls dies der Fall ist, die Elektrizitätsleitung in Gasen bei gewöhnlicher Temperatur aus der Superposition zweier Vorgänge bestehen, von denen der eine dem Ohm'schen Gesetz gehorcht, der andere aber einem anderen Gesetz folgen müsste. Dies aufzuklären, soll die Aufgabe einer demnächst erscheinenden Arbeit sein.

§ 12. *Verteilung des Energieverbrauches bei der dunklen Entladung.* Es wurde eine Reihe von Messungen über die Potentialgradienten bei der dunklen Entladung an verschiedenen Stellen der Röhre angestellt. Die benutzten Röhren hatten zu dem Zweck fünf Sonden. Von den Messungen teile ich nur die mit der Röhre  $L = 20,5$  cm,  $2R = 4,4$  cm mit. In der nachfolgenden Tab. XII bedeutet  $K$  das Kathodenpotential. In der ersten Columnne stehen die Nummern der Sonde, von der Anode an gerechnet, in der zweiten der entsprechende Gradient.

Tabelle XII.

$p = 4,22 \quad T = 105^{\circ}\text{C.}$		$p = 4,86 \quad T = 162^{\circ}\text{C.}$		$p = 5,51 \quad T = 220^{\circ}\text{C.}$	
$II = 420 \text{ V. } K = 160 \text{ V.}$		$II = 450 \text{ V. } K = 195 \text{ V.}$		$II = 510 \text{ V. } K = 195 \text{ V.}$	
$i = 0,00032 \text{ Amp.}$		$i = 0,00032 \text{ Amp.}$		$i = 0,00032 \text{ Amp.}$	
1,2	18,3	1,2	20,0	1,2	22,3
2,3	11,9	2,3	12,9	2,3	16,1
3,4	8,2	3,4	8,5	3,4	10,2
4,5	6,6	4,5	6,9	4,5	8,4

$p = 3,05 \quad T = 107^{\circ}\text{C.}$		$p = 3,05 \quad T = 153^{\circ}\text{C.}$		$p = 3,05 \quad T = 211^{\circ}\text{C.}$	
$II = 490 \text{ V. } K = 255 \text{ V.}$		$II = 450 \text{ V. } K = 260 \text{ V.}$		$II = 440 \text{ V. } K = 260 \text{ V.}$	
$i = 0,00032 \text{ Amp.}$		$i = 0,00032 \text{ Amp.}$		$i = 0,00032 \text{ Amp.}$	
1,2	19,1	1,2	16,2	1,2	15,5
2,3	12,4	2,3	10,6	2,3	10,4
3,4	7,5	3,4	6,8	3,4	6,8
4,5	6,4	4,5	6,2	4,5	6,0

$p = 2,29 \quad T = 150^{\circ} \text{ C.}$ $\Pi = 430 \text{ V.} \quad K = 370 \text{ V.}$ $i = 0,00034 \text{ Amp.}$		$p = 2,66 \quad T = 220^{\circ} \text{ C.}$ $\Pi = 430 \text{ V.} \quad K = 350 \text{ V.}$ $i = 0,00034 \text{ Amp.}$	
1,2	4,1	1,2	4,3
2,3	3,0	2,3	3,2
3,4	1,8	3,4	1,9
4,5	1,6	4,5	1,7

$p = 1,48 \quad T = 143^{\circ} \text{ C.}$ $\Pi = 420 \text{ V.} \quad K = 370 \text{ V.}$ $i = 0,00034 \text{ Amp.}$		$p = 1,48 \quad T = 210^{\circ} \text{ C.}$ $\Pi = 420 \text{ V.} \quad K = 370 \text{ V.}$ $i = 0,00034 \text{ Amp.}$	
1,2	3,8	1,2	2,6
2,3	3,0	2,3	2,1
3,4	1,7	3,4	1,4
4,5	1,5	4,5	1,0

Die 1. bis 3., 7. und 8. Beobachtungsreihe beziehen sich auf den Gradienten bei constanter Gasdichte, die übrigen bei constantem Druck.

Aus der Tabelle geht hervor:

1. *Bei constanter Gasdichte nimmt der Gradient mit der Temperatur zu.*

2. *Bei constantem Druck nimmt der Gradient mit der Temperatur ab.*

3. *Der Gradient nimmt von der Anode nach der Kathode zu ab.<sup>1)</sup>*

4. *Der Gradient ist ungefähr proportional der Entfernung von der Kathode.* Dividirt man z. B. den Gradienten durch die Entfernung der Mitte zwischen den beiden Sonden von der Kathode, so erhält man bei der ersten Beobachtungsreihe Zahlen, die zwischen 1,1 bis 1,4 und bei der dritten Beobachtungsreihe Zahlen, die zwischen 1,3 bis 1,7 schwanken. Ob diese Regel strenge gilt, müssen noch weitere Versuche, bei denen die Entfernung zwischen den Sonden kleiner ist als wie bei den bisher angewandten Röhren, zeigen.

§ 13. *Einfluss der Temperatur auf die Gesamtpotentialdifferenz.* Aus den im Vorhergehenden mitgetheilten Erschei-

1) Dies Ergebnis hat W. P. Graham (Wied. Ann. 64. p. 76. 1898) für den dunklen Raum bereits gefunden.

nungen und den dabei gemessenen Gradienten lässt sich ein Schluss auf die Aenderung der Gesamtpotentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden mit der Temperatur ziehen. Da der Gradient im positiven ungeschichteten Licht und der an der Kathode, solange dieselbe nicht vollständig bedeckt ist, unabhängig von der Temperatur ist, und nur das positive Licht beim Erwärmen sich zurückzieht, so nimmt die Gesamtpotentialdifferenz anfangs langsam ab, um, sobald das positive Licht ganz verschwunden ist, auf sehr kleine Werte zu sinken. Für den weiteren Verlauf der Erscheinungen sind zwei Fälle zu beachten. Bleibt die Dichte constant, wobei der Gradient bei der dunklen Entladung mit der Temperatur zunimmt, so steigt die Gesamtpotentialdifferenz. Ist der Druck constant, wobei der Gradient mit der Temperatur abnimmt, so nimmt die Gesamtpotentialdifferenz ab, bis die Kathode ganz bedeckt ist und dadurch ein plötzlicher Sprung in dem Kathodengefälle auftritt. In beiden Fällen haben wir also einen Umkehrpunkt. Messungen, von denen ich nur einige mittheile, bestätigen dies.

Tabelle XIII.

Bei constanter Dichte.  $2R = 3$  cm.  $L = 19$  cm.

<i>T</i>	<i>p</i>	<i>II</i>	<i>T</i>	<i>p</i>	<i>II</i>
20° C.	6,7 mm	1340 Volt	20° C.	4,2 mm	1185 Volt
60	7,7	1320	55	4,7	1155
140	9,4	1190	114	5,5	1000
175	10,1	1020	171	6,3	890
230	11,3	930	210	6,7	830
290	12,7	unstetig	260	7,5	800
			300	8,1	790
			340	8,6	800
	$i = 0,0019$			$i = 0,0019$	
19° C.	2,34 mm	1010 Volt	19° C.	1,3 mm	800 Volt
61	2,7	960	60	1,5	760
111	3,0	770	129	1,8	600
196	3,6	580	186	2,0	540
244	4,0	560	239	2,3	490
280	4,4	585	271	2,4	495
319	4,6	590	300	2,5	520
			363	2,8	600
	$i = 0,0609$			$i = 0,0006$	

Aus dieser Tabelle und einer grossen Anzahl anderer Messungen geht hervor: *Mit steigender Temperatur nimmt die Gesamtpotentialdifferenz anfangs langsam, dann rasch ab, erreicht ein Minimum, um dann wieder zu steigen.*

Aus einer graphischen Darstellung, einer Reihe von Messungen wurden die folgenden Minimumspotentiale  $II'$  und die zugehörigen Temperaturen  $t$  abgelesen. In der folgenden Tabelle stehen noch die Anfangspotentiale unter  $A$  verzeichnet.

Tabelle XIV.

Röhre I: $2R = 3$ cm. $L = 14$ cm.			Röhre II: $2R = 4,4$ cm. $L = 20,5$ cm.		
$A$	$t$	$II'$	$A$	$t$	$II'$
1185 Volt	290° C.	790 Volt	685 Volt	220° C.	490 Volt
1010	244	560	590	170	425
800	237	495			

Röhre III: $2R = 2,2$ cm. $L = 17$ cm.		
$A$	$t$	$II'$
1330 Volt	176° C.	1060 Volt
1010	150	840
910	110	740

Aus dieser Tabelle lässt sich entnehmen:

*Das Minimum des Potentials liegt bei einer und derselben Röhre bei einer um so niedrigeren Temperatur, je geringer das Anfangspotential, oder, was dasselbe ist, je geringer der Anfangsdruck ist.*

Je nach dem Rohr liegt das Minimum bei einer verschiedenen Temperatur. Bei Röhre I nahm z. B. das Potential von 1010 Volt ab, um bei 244° C. seinen geringsten Wert von 560 Volt zu erreichen; bei Röhre III nahm das Potential nur von 1010 Volt bei 20° C. bis 840 Volt ab bei 150° C. Es bedarf noch einer eingehenden Untersuchung, ob hier nur die Enge der Röhre eine Rolle spielt, oder ob die Länge der Kathode von Einfluss ist.

Sehr verwickelt sind die Curven, welche die Beziehung zwischen Gesamtpotentialdifferenz und Temperatur bei constantem Druck darstellen. Im grossen und ganzen besitzen sie dasselbe Aussehen wie die bei constanter Dichte, doch schneidet häufig die eine die andere. Ich verzichte daher darauf, meine diesbezüglichen Messungen mitzuteilen. Neues lässt sich aus denselben nicht entnehmen.

In einer vor kurzem erschienenen Abhandlung hat Hr. P. Ewers<sup>1)</sup> den Schluss gezogen, dass das Minimumpotential oder der Umkehrdruck  $U$  direct proportional sei der mittleren Weglänge  $\lambda$  der Molecüle, also  $U/\lambda = \text{const.}$  Aus dem Vorhergehenden geht hervor, dass diese Regel keine allgemeine Geltung haben kann. Denn erhitzt man eine Entladungsröhre bei constanter Dichte, wobei sich die mittlere Weglänge nicht ändert, so tritt bei einer bestimmten Temperatur ein Minimumpotential ein, und zwar bei einem verhältnismässig hohen Druck;  $U/\lambda$  ist also gross. Ein ähnliches Minimumpotential lässt sich aber bei gewöhnlicher Temperatur durch Auspumpen erreichen. In diesem Fall ist  $U$  klein;  $U/\lambda$  ist also klein. Es beweist dies unzweifelhaft, dass diese beiden Grössen nicht in dem nahen Zusammenhang miteinander stehen, wie Hr. Ewers angenommen hat. Ich beabsichtige hierüber mit anderen Gasen noch einige Messungen anzustellen.

§ 14. *Schluss.* Die vorliegende Untersuchung, welche unternommen wurde, um einen allgemeinen Ueberblick über die Aenderung der Erscheinungen mit der Temperatur und die dabei in Betracht zu ziehenden Grössen zu gewinnen, kann natürlich nicht als eine endgültige Lösung aller sich neu aufdrängenden Fragen angesehen werden. Sie weist aber mit Bestimmtheit darauf hin, dass bei höheren Temperaturen eine Reihe von bei gewöhnlicher Temperatur auftretenden Complicationen wegfallen, sodass es nicht ausgeschlossen erscheint, dass man auf diesem Wege zu einfachen Gesetzen gelangen kann.

Die dunkle Entladung, die bei höheren Temperaturen auftritt, scheint die normale zu sein, wie ja auch schon Faraday die Entladung überhaupt als eine „dunkle“ bezeichnete. Jeden-

---

1) P. Ewers, Wied. Ann. **69.** p. 191. 1899; vgl. auch H. Ebert, l. c. **67.** p. 608. 1899.

falls ergibt sich aus der vorliegenden Untersuchung, dass das rote positive Licht mit der Stromüberführung nichts zu thun hat. Wahrscheinlich lagern sich bei gewöhnlicher Temperatur über den Strom noch Wellen, die beim Erhitzen verschwinden. Nur die letzteren rufen das Lumineszenzlicht hervor.

Auffällig ist, dass bei Steigerung der Stromstärke bei gewöhnlicher Temperatur, wodurch der Stickstoff ebenfalls sehr stark erhitzt wurde, das rote positive Licht *nicht* verschwand (§ 3), wie beim gewöhnlichen Erhitzen, sondern im Gegenteil intensiver wurde. Diesen Punkt müssen noch weitere Versuche aufklären.

#### Resultate.

1. Sowohl bei constantem Druck, als auch bei constanter Gasdichte zerfällt bei gesteigerter Temperatur das ungeschichtete positive Licht in Schichten, die durch Steigerung der Stromstärke grösser, verwaschener und heller werden. Bei noch höheren Temperaturen zieht sich das positive Licht nach der Anode hin zurück, sodass schliesslich die Entladung eine dunkle wird.

2. Eine Steigerung der Temperatur der Kathode bewirkt, dass das Glimmlicht sich weiter ausdehnt und zwar um so mehr, je geringer der Druck ist. Die Steigerung der Temperatur hat also denselben Einfluss, wie Steigerung der Stromintensität.

3. Der Gradient in der positiven leuchtenden Säule ist unabhängig von dem Kathodengefälle.

4. Der Gradient im positiven, ungeschichteten Licht ist bei constanter Gasdichte unabhängig von der Temperatur.

5. Beim Erwärmen unter constantem Druck nimmt der Gradient im positiven, ungeschichteten Licht ab, und zwar langsamer als die Gasdichte.

6. Das Kathodengefälle ist, solange die Kathode noch nicht ganz bedeckt und nicht bis zur Weissglut erhitzt ist, unabhängig von der Temperatur.

7. Steigert man die Stromstärke, nachdem die Kathode schon ganz bedeckt ist, so nimmt das Kathodenpotential zu, und zwar geradlinig mit der Stromstärke zu.

8. Mit wachsender Stromstärke nimmt der Gradient bei der dunklen Entladung zu.

9. Bei constanter Gasdichte nimmt der Gradient mit der Temperatur bei der dunklen Entladung zu.

10. Bei constantem Druck nimmt der Gradient bei der dunklen Entladung mit der Temperatur ab.

11. Der Gradient nimmt von der Anode nach der Kathode bei der dunklen Entladung ab und zwar ist der Gradient ungefähr proportional der Entfernung von der Kathode.

12. Mit steigender Temperatur nimmt die Gesamtpotentialdifferenz zwischen den Elektroden anfangs langsam, dann rasch ab, erreicht ein Minimum, um dann wieder zu steigen.

13. Das Minimum des Potentials liegt bei einer und derselben Röhre bei einer um so niedrigeren Temperatur, je geringer das Anfangspotential, oder, was dasselbe ist, je geringer der Anfangsdruck ist.

Erlangen, Physikal. Institut, 1. December 1899.

(Eingegangen 19. Februar 1900.)

---