

**3. Über den Einfluß von Glaswänden
auf die geschichtete Entladung in Wasserstoff;
von E. Gehrcke.**

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Bei Gelegenheit einer gemeinschaftlich mit Hrn. Lummer begonnenen Untersuchung¹⁾ betreffend den Einfluß der Temperatur auf das Spektrum von Gasen ergab sich die Fragestellung, ob bei dem von uns angewandten Spektralrohr die Glaswände eine Wirkung auf das Leuchten und auf den Mechanismus der elektrischen Strömung ausüben, oder aber ob die Wände nur eine nebensächliche Rolle spielen und lediglich als Begrenzungen des Entladungsraumes dienen. Um dieser Frage näher zu kommen, wurde die folgende Untersuchung ausgeführt.

Zur Anstellung von Messungen erschien das Phänomen der geschichteten Entladung besonders geeignet, wie es sich z. B. in verdünntem Wasserstoff hervorragend schön darbietet. Es liegen bereits Beobachtungen über die Abhängigkeit der Schichtdistanz vom Gasdruck und von der Stromstärke vor²⁾, das hier gestellte Problem wird aber in diesen Arbeiten nicht näher behandelt. — Es handelt sich darum, zu untersuchen, ob die Entfernung zweier Schichten, die im folgenden mit l bezeichnet werden möge, durch die Glaswand beeinflußt wird. Wenn die elektrische Strömung in Gasen ebenso erfolgen würde, wie in Metallen und Elektrolyten, so müßte die Glaswand ohne Einfluß sein. In diesem Falle würde bei einem beliebigen, als konstant vorauszusetzenden Druck in verschieden

1) O. Lummer u. E. Gehrcke, Zeitschr. f. Instrumentenk. 24. p. 140. 1904 (Tätigkeitsber. der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt).

2) E. Goldstein, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1881. p. 876—878; R. S. Willows, Proc. Cambridge Soc. 10. p. 302 bis 316. 1900.

weiten Rohren 1, 2, 3 . . . von den Querschnitten $q_1, q_2, q_3 \dots$ bei den Stromstärken $i_1, i_2, i_3 \dots$ dieselbe Schichtlänge l zustande kommen, sobald

$$\frac{i_1}{q_1} = \frac{i_2}{q_2} = \frac{i_3}{q_3} = \dots = d,$$

d. h. sobald die Stromdichte d konstant ist. Wenn aber in verschiedenen Rohren bei gleicher Stromdichte d die Größe l verschiedene Werte annimmt, so ist daraus zu folgern, daß die begrenzende Oberfläche, also hier die Röhrenwandung, in individueller Weise auf den Vorgang der Strömung einwirkt.

§ 1. Nach einigen Vorversuchen wurde das in Fig. 1 dargestellte Geisslersche Rohr konstruiert, an dem alle Messungen ausgeführt wurden. Dasselbe enthält die Aluminium-

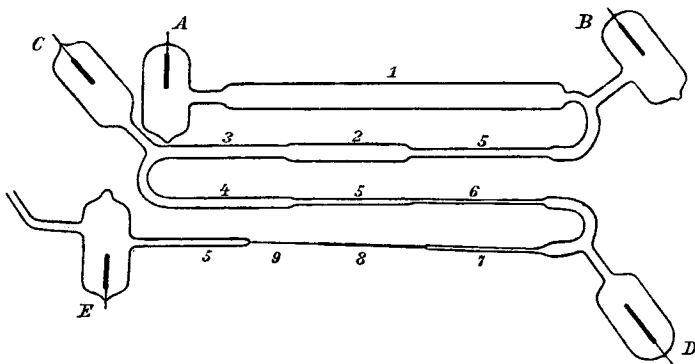


Fig. 1.

elektroden A, B, C, D, E und ist aus zylindrischen Rohren von neun verschiedenen Durchmessern zusammengeblasen. Die Durchmesser $2r$ betragen:

| | |
|------------------|------------------|
| $2r_1 = 22,8$ mm | $2r_6 = 2,61$ mm |
| $2r_2 = 13,67$ | $2r_7 = 1,776$ |
| $2r_3 = 7,88$ | $2r_8 = 1,046$ |
| $2r_4 = 4,98$ | $2r_9 = 0,789$ |
| $2r_5 = 3,85$ | |

Das Rohr vom Durchmesser $2r_5$ ist, wie aus Fig. 1 ersichtlich, an drei verschiedenen Stellen und in verschiedenen

Längen eingefügt, um so einen Anhalt für die Genauigkeit der Messungen zu geben.

Als Gas wurde ausschließlich Wasserstoff benutzt, welcher elektrolytisch aus destilliertem Wasser, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt war, entwickelt wurde. Die bei der Herstellung des Gases verwandte Stromstärke war stets so klein, daß sich kein Schwefelwasserstoff an der Kathode bemerkbar machte.¹⁾

In die Glasleitungen, welche zu dem Versuchsrohr hinführten, waren noch zwei Gefäße mit Phosphorsäureanhydrid und ein Rohr mit Ätzkalistücken eingesetzt; letzteres sollte durch zersetzten Fettdampf sich etwa entwickelnde Kohlensäure absorbieren. Von einer gründlichen Befreiung des Gases von Sauerstoff nach der Warburgschen Methode²⁾ wurde Abstand genommen, da eine solche sich wegen der anderen, dauernd mit dem Versuchsrohr kommunizierenden Apparate doch nur äußerst schwer erreichen lassen dürfte. Im Spektroskop zeigte das Gas außer den (sehr hellen) Wasserstofflinien noch Quecksilberlinien und bei großen Stromdichten Natriumlinien. Ferner waren noch Kohlebanden, wenn auch sehr schwach, bei großen Stromdichten wahrnehmbar, obwohl die Reinigung des Versuchsrohres vor dem Gebrauch auf das sorgfältigste und mit verschiedenen Säuren und Alkalien erfolgt war. Vielleicht rühren die trotzdem auftretenden Spuren der Kohlebanden von Fettdampf her, der aus den Hähnen und Schlifren herandestilliert war, oder auch von CO_2 aus der Wasserhaut des Glases.³⁾

Der Gasdruck wurde teils mittels gewöhnlichen Quecksilbermanometers, teils mittels McLeodschen Manometers gemessen. Es war hier weniger Wert darauf zu legen, die Größe des absoluten Gasdruckes genau zu messen, als vielmehr — besonders bei den höheren Verdünnungsgraden — geringe Änderungen des Druckes wahrzunehmen und deren

1) Vgl. E. Gehrcke, Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 5. p. 263—266. 1903.

2) E. Warburg, Wied. Ann. 40. p. 1—17. 1890.

3) Vgl. F. Mehlhorn, Verhandl. d. Physik. Gesellsch. 17. p. 123 bis 128. 1898.

Größe zu erkennen. — Eine Sprengelsche Quecksilberpumpe nach Kahlbaum diente zur Herstellung des erforderlichen Verdünnungsgrades. — Als Stromquelle wurde die große Hochspannungsbatterie der Reichsanstalt benutzt, welche von 5500 kleinen Flaschenakkumulatoren gebildet wird und eine Maximalspannung von ca. 11000 Volt liefert. Der positive Pol der Batterie lag dauernd an Erde. Die Stromstärke konnte mittels Hittorfscher Flüssigkeitswiderstände (Jodkadmium in Amylalkohol) variiert werden; es waren Einrichtungen getroffen, welche erlaubten, den Widerstand während des Stromdurchganges ohne Lebensgefahr zu regulieren. Die Messung der Stromstärke geschah durch ein Präzisionsampèremeter von Siemens & Halske; die kleinste, noch wahrnehmbare Stromstärke betrug 0,025 Milliamp. — Um sehr kleine Stromschwankungen zu erkennen, war noch ein Telephon in den Stromkreis eingeschaltet. Im folgenden sind nur solche Beobachtungen angeführt, in denen das Telephon kein Geräusch hören ließ; dies war übrigens erst dann vollständig erreicht, als die Elektroden durch starken Strom ausgeglüht und durch Schmelzen zusammengesickert waren.

Die Messung der Schichtlängen l geschah nicht direkt an dem leuchtenden Rohr, vielmehr wurde die Erscheinung photographiert und dann die photographischen Schichten ausgemessen. Bei kleinster Blende von 1 mm Öffnung wurde je nach der Helligkeit des Leuchtens 2—25 Sek. exponiert. Die Platten (Gloriaplatten von Dieskau, Charlottenburg) wurden mit Rodinal kräftig entwickelt. — Das Ausmessen der Platten geschah durch Abzählen der in jedem Rohrstück desselben Durchmessers $2r$ auftretenden Schichten und Messung des Abstandes der ersten und letzten Schicht. Da die so abgezählte Anzahl von Schichten je nach den Versuchsbedingungen sehr verschieden ausfiel (sie variierte zwischen 2 und 110), so sind dementsprechend auch die Resultate nicht überall von gleicher Genauigkeit.

§ 2. In den folgenden Tab. I—VIII sind die Resultate der Messungen enthalten. Jede Horizontale l enthält die aus einer photographischen Aufnahme gewonnenen Schichtlängen l , und zwar auf ihre natürliche Größe durch Multiplikation mit dem Reduktionsfaktor jeder Platte reduziert. Die Horizontal-

reihen d sind die zu jedem Durchmesser $2r$ gehörigen Stromdichten; i ist die Stromstärke.

Der Gasdruck p wurde vorher, nachher und, wenn möglich, auch während der Aufnahmen gemessen; er pflegte immer etwas zu schwanken. Die angegebenen Zahlen sind Mittelwerte, unter Beifügung der größten Abweichungen vor und nach dem Versuch. Diese Druckschwankungen sind der Hauptsache nach der Okklusion bez. der Abgabe von Gas durch die Elektroden zuzuschreiben; trotzdem selbstverständlich vor jeder Aufnahme der Strom erst einige Zeitlang durchgeleitet wurde, wollte es doch nicht gelingen, kleinere Abweichungen von der Konstanz, als unten angegeben, zu erlangen. Auf diese nicht zu beseitigende Inkonstanz sind auch die kleinen, mit der Zeit vor sich gehenden Änderungen der Größe l zu schieben. Die Tab. I u. III enthalten Messungen, die bei demselben Strom, aber zeitlich getrennt, angestellt wurden. Man bekommt dadurch, wie auch aus den für den gleichen Durchmesser, aber an verschiedenen Stellen der Strombahn gleichzeitig gewonnenen Zahlen ein Bild für den Genauigkeitsbereich der Messungen.

In einigen Reihen der Tabellen finden sich mehrere Angaben der Größe l für ein und denselben Durchmesser $2r$. Solche mehrfachen Werte wurden besonders für das dreimal vorkommende Rohr 5 (Fig. 1) gewonnen; für andere Rohrdurchmesser war dies der Fall, wenn das Gas einen großen Widerstand darbot und die Spannung nicht mehr hinreichte, den ganzen, Schichtungen enthaltenden Gasweg zu überwinden (etwa von A bis E in Fig. 1). Dann wurden die zwischenliegenden Elektroden B, C, D benutzt und bei derselben Stromstärke mehrere Aufnahmen gemacht. — Die nicht mit in die Tabellen aufgenommenen Durchmesser $2r$ zeigten keine oder nicht mehr meßbare Schichtungen; das gleiche trifft für die Lücken zu.

Die Resultate sind der Übersicht wegen nach wachsendem Druck und Stromstärken geordnet. Bei den Messungen wurde diese Reihenfolge indessen nicht immer beachtet; die wirklich innegehaltene Reihenfolge geht aus den beigegeführten Nummern der photographischen Platten hervor.

Tabelle I.

 $p = 0,72 \pm 0,06$ mm.

| Platten-Nr. | $2r$ (mm) | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | i (Milliamp.) |
|-------------|--|-------|-------|-------|-------|--------------|------|--------------------|
| | | 22,3 | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | |
| 52 | d ($\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2}$) | 0,640 | 1,70 | 5,12 | 12,9 | 21,5 | 46,8 | } 2,50 |
| | l (mm) | 19,8 | 8,46 | 4,76 | 3,88 | 3,32 3,28 | 2,73 | |
| 53 | d | 0,896 | 2,38 | 7,18 | 18,0 | 30,1 | 65,4 | } 3,50 |
| | l | 20,7 | 7,88 | 4,91 | 4,01 | 3,37 3,43 | 2,91 | |
| 54 | d | 1,28 | 3,41 | 10,25 | 25,8 | 43,0 | 93,6 | } 5,00 |
| | l | 19,72 | 6,83? | 4,59 | 4,01 | 3,43 3,47 | 2,91 | |
| 60x | d | 1,28 | 3,41 | 10,25 | 25,8 | 43,0 | 93,6 | } 5,00 |
| | l | 20,8 | 10,7? | 4,95 | 3,90 | 3,35 3,39 | 2,73 | |
| 56 | d | 1,90 | 5,11 | 15,4 | 38,7 | 64,5 | 141 | } 7,50 |
| | l | 21,2 | 6,55 | 4,95 | 4,03 | 3,51 3,67 | 3,09 | |
| 58 | d | 3,32 | 8,85 | 26,6 | 67,0 | 111,8 | 243 | } 13,0 |
| | l | 24,2 | 6,17 | 4,91 | 3,40 | 3,55 3,78 | 3,28 | |
| 59 | d | 5,12 | 13,5 | 41,0 | 103,0 | 172 | — | } 20,0 |
| | l | 22,9 | 6,01 | 4,99 | 4,09 | 3,66 3,93 | — | |

Tabelle II.

 $p = 1,14 \pm 0,03$ mm.

| Platten-Nr. | $2r$ (mm) | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | i (Milliamp.) |
|-------------|--|-------|-------|------|------|----------------------|------|--------------------|
| | | 22,3 | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | |
| 38 | d ($\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2}$) | 0,448 | 1,19 | 3,59 | 8,95 | 14,9 | 32,5 | } 1,75 |
| | l (mm) | 15,4 | 8,89 | 4,14 | 3,22 | 2,71 2,76 2,73 | 2,18 | |
| 39 | d | 0,576 | 1,53 | 4,61 | 11,6 | 19,4 | 42,1 | } 2,25 |
| | l | 16,4 | 8,83 | 4,10 | 3,24 | 2,75 2,81 2,76 | 2,36 | |

Tabelle II (Fortsetzung).

| Platten-Nr. | 2 r (mm) | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | i (Milliamp.) |
|-------------|--|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|------------------|
| | | 22,3 | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | |
| 40 | d ($\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2}$) | 0,896 | 2,38 | 7,17 | 18,0 | 30,1 | 65,4 | 3,50 |
| | l (mm) | 17,8 | 8,58 | 4,03 | 3,33 | 2,84 2,87 2,86 | 2,36 | |
| 42 | d | 1,28 | 3,41 | 10,25 | 25,8 | 43,0 | 93,6 | 5,00 |
| | l | 15,5 | 7,64 | 3,96 | 3,43 | 2,92 2,95 | 2,55 | |
| 43 | d | 1,60 | 4,26 | 12,8 | 32,2 | 53,8 | 117,0 | 6,25 |
| | l | 16,9 | 8,03 | 3,95 | 3,45 | 2,97 3,02 | 2,55 | |
| 44 | d | 1,92 | 5,11 | 15,4 | 38,65 | 64,5 | 141 | 7,50 |
| | l | 18,2 | 7,64 | 4,03 | 3,49 | 2,98 3,03 | 2,40 | |
| 46 | d | — | 8,72 | 26,25 | 66,0 | 110,1 | 240 | 12,8 |
| | l | — | 5,67 | 4,05 | 3,56 | 3,10 3,21 | 2,73 | |
| 47 | d | — | 13,3 | 40,0 | 100,5 | 168 | — | 19,5 |
| | l | — | 5,01 | 4,34 | 3,56 | 3,13 3,16 | — | |

Tabelle III.

 $p = 1,80 \pm 0,04$ mm.

| Platten-Nr. | 2 r (mm) | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | i (Milliamp.) |
|-------------|--|------|-------|-------|------|--------------|------|------------------|
| | | 22,3 | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | |
| 26 | d ($\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2}$) | — | — | 0,512 | 1,29 | 2,15 | 4,68 | 0,25 |
| | l (mm) | — | — | 3,55 | 3,28 | 2,63 2,10 | 1,70 | |
| 21 | d | — | 0,544 | 1,64 | 4,12 | 6,88 | — | 0,80 |
| | l | — | 7,17 | 4,68 | 2,56 | 2,15 2,23 | — | |
| 22 | d | — | 0,647 | 1,95 | 4,90 | 8,16 | — | 0,95 |
| | l | — | 7,23 | 4,41 | 2,52 | 2,15 2,23 | — | |

Tabelle III (Fortsetzung).

| Platten-Nr. | 2 r (mm) | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | i (Milliamp.) |
|-------------|---|-------|-------|-------|------|----------------------|-------|------------------|
| | | 22,3 | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | |
| 23 | $d \left(\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2} \right)$ | 0,320 | 0,851 | 2,56 | 6,44 | 10,75 | — | 1,25 |
| | l (mm) | 9,50 | 8,02 | 4,37 | 2,51 | 2,12 2,17 | — | |
| 24 | d | 0,384 | 1,022 | 3,07 | 7,73 | 12,9 | — | 1,50 |
| | l | 10,4 | 8,73 | 4,21 | 2,56 | 2,23 2,28 | — | |
| 25x | d | — | 1,022 | 3,07 | 7,73 | 12,9 | 28,1 | 1,50 |
| | l | — | 8,58 | 4,67 | 2,78 | 2,15 2,40 2,49 | 1,71 | |
| 28 | d | 0,576 | 1,53 | 4,61 | 11,6 | 19,4 | 42,1 | 2,25 |
| | l | 12,5 | 8,52 | 4,18 | 2,65 | 2,16 2,26 2,21 | 1,83 | |
| 29 | d | 0,896 | 2,38 | 7,18 | 18,0 | 30,1 | 65,4 | 3,50 |
| | l | 12,3 | 8,36 | 3,89 | 2,60 | 2,34 2,37 2,26 | 1,89 | |
| 30 | d | 1,28 | 3,41 | 10,25 | 25,8 | 43,0 | 98,6 | 5,00 |
| | l | 15,7 | 8,42 | 3,87 | 2,67 | 2,88 2,44 2,55 | 1,96 | |
| 32 | d | — | 4,26 | 12,8 | 32,2 | 53,8 | 117,0 | 6,25 |
| | l | — | 8,11 | 3,61 | 2,73 | 2,39 2,53 2,45 | 2,06 | |
| 34 | d | — | 7,15 | 21,5 | 54,1 | 90,8 | 197 | 10,5 |
| | l | — | 6,93 | 3,19 | 2,83 | 2,48 2,59 2,70 | 2,12 | |
| 35 | d | — | 8,72 | 26,2 | 66,0 | 110,1 | 240 | 12,8 |
| | l | — | 6,76 | 3,14 | 2,91 | 2,57 2,57 2,76 | 2,18 | |
| 36 | d | — | 30,7 | 92,2 | 23,2 | 38,7 | — | 45,0 |
| | l | — | 4,69 | 3,52 | 3,27 | 2,93 | — | |

Tabelle IV.

$$p = 2,046 \mp 0,001 \text{ mm.}$$

| Platten-Nr. | 2 r (mm) | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | i (Milliamp.) |
|-------------|---|-------|-------|-------|------|----------------------|-------|------------------|
| | | 22,3 | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | |
| 68 | $d \left(\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2} \right)$ | 0,467 | 1,24 | 3,74 | 9,41 | 15,7 | 34,2 | 1,83 |
| | l (mm) | 10,8 | 9,37 | 5,11 | 2,50 | 2,08 2,15 2,05 | 1,78 | |
| 69 | d | 0,576 | 1,53 | 4,61 | 11,6 | 19,4 | 42,1 | 2,25 |
| | l | 12,6 | 9,83 | 5,11 | 2,48 | 2,09 2,15 2,03 | 1,78 | |
| 70 | d | 0,896 | 2,38 | 7,18 | 18,0 | 30,1 | 65,4 | 3,50 |
| | l | 17,5 | 10,6 | 4,84 | 2,46 | 2,12 2,24 2,32 | 1,82 | |
| 71 | d | 1,28 | 3,41 | 10,25 | 25,8 | 43,0 | 93,6 | 5,00 |
| | l | 21,8 | 10,6 | 4,80 | 2,50 | 2,20 2,28 2,16 | 1,90 | |
| 72 | d | 1,60 | 4,26 | 12,8 | 32,2 | 53,8 | 117,0 | 6,25 |
| | l | 21,3 | 9,38 | 3,92 | 2,48 | 2,21 2,34 2,26 | 1,90 | |
| 73 | d | — | 5,11 | 15,4 | 38,7 | 64,5 | 141 | 7,50 |
| | l | — | 9,01 | 3,59 | 2,58 | 2,29 2,40 2,28 | 1,97 | |
| 74 | d | — | 7,15 | 21,5 | 54,1 | 90,3 | 197 | 10,5 |
| | l | — | 7,51 | 3,06 | 2,65 | 2,34 2,47 2,43 | 2,12 | |
| 75 | d | — | 8,82 | 26,5 | 6,67 | 111 | 242 | 12,9 |
| | l | — | 7,02 | 2,98 | 2,73 | 2,42 2,46 2,51 | 2,09 | |
| 76 | d | — | 10,35 | 31,1 | 78,3 | 130 | — | 15,2 |
| | l | — | 6,12 | 2,91 | 2,73 | 2,46 2,51 2,54 | — | |
| 78 | d | — | 17,2 | 51,9 | 13,1 | 218 | — | 25,4 |
| | l | — | 4,24 | 2,98 | 2,96 | 2,73 2,57 | — | |

Tabelle V.

$$p = 3,35 \pm 0,03 \text{ mm.}$$

| Platten-Nr. | $2r$ (mm) | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | i (Milliamp.) |
|-------------|--|-------|-------|--------------|------------------------------|--------------|-------|--------------------|
| | | 13,67 | 7,88 | 4,98 | 3,85 | 2,61 | 1,776 | |
| 80/81 | d ($\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2}$) | 1,022 | 3,07 | 7,73 | 12,9 | 28,1 | 60,5 | 1,50 |
| | l (mm) | 6,50 | 4,48 | 2,69 2,67 | 1,78 1,78 1,67 1,44 | 1,34 1,35 | 1,09 | |
| 82/83 | d | 1,19 | 3,59 | 8,95 | 14,9 | 32,5 | 70,6 | 1,75 |
| | l | 6,88 | 4,51 | 2,59 2,53 | 1,71 1,71 1,70 1,59 | 1,35 1,34 | 1,09 | |
| 84/85 | d | 1,53 | 4,61 | 11,6 | 19,35 | 42,1 | 90,8 | 2,25 |
| | l | 7,51 | 4,43 | 2,27 2,24 | 1,65 1,70 1,67 1,62 | 1,40 1,40 | 1,15 | |
| 86 | d | 2,38 | 7,18 | 18,0 | 30,1 | 65,4 | — | 3,50 |
| | l | 8,43 | 4,13 | 2,01 | 1,66 1,73 | 1,49 | — | |
| 88 | d | 3,41 | 10,25 | 25,8 | 43,0 | 93,6 | — | 5,00 |
| | l | 8,03 | 3,59 | 2,16 | 1,75 1,77 | 1,57 | — | |
| 89 | d | 4,26 | 12,8 | 32,2 | 53,8 | 117,0 | — | 6,25 |
| | l | 7,81 | 3,36 | 1,97 | 1,74 1,78 | 1,59 | — | |
| 90 | d | 5,11 | 15,4 | 38,7 | 64,5 | 141 | — | 7,50 |
| | l | 7,64 | 3,19 | 1,99 | 1,81 1,87 | 1,65 | — | |
| 91 | d | 7,15 | 21,5 | 54,1 | 90,3 | 197 | — | 10,5 |
| | l | 7,26 | 2,91 | 2,06 | 1,88 1,96 | 1,71 | — | |
| 92 | d | 8,85 | 26,6 | 67,0 | 111,8 | 243 | — | 13,0 |
| | l | 6,50 | 2,56 | 2,09 | 1,91 2,00 | 1,75 | — | |
| 93 | d | 12,2 | 36,7 | 92,3 | 154 | 325 | — | 17,9 |
| | l | 5,76 | 2,39 | 2,21 | 2,03 2,12 | 1,80 | — | |

Tabelle VI.

 $p = 6,5 \mp 0,1 \text{ mm.}$

| Platten-Nr. | $2r$ (mm) | 4. | 5. | 6. | 7. | i (Milliamp.) |
|-------------|---|------|-------|-------|-------|--------------------|
| | | 4,98 | 3,85 | 2,61 | 1,776 | |
| 97 | $d \left(\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2} \right)$ | — | 5,81 | 12,64 | — | 0,675 |
| | l (mm) | — | 1,86 | 1,44 | — | |
| 98 | d | — | 6,45 | 14,0 | — | 0,750 |
| | l | — | 1,91 | 1,42 | — | |
| 94 | d | — | 6,88 | — | — | 0,800 |
| | l | — | 2,22 | — | — | |
| 99 | d | 4,38 | 7,31 | 15,9 | — | 0,85 |
| | l | 2,32 | 2,02 | 1,45 | — | |
| 95 | d | — | 10,75 | — | — | 1,25 |
| | l | — | 2,55 | — | — | |
| 96 | d | — | 14,9 | — | — | 1,75 |
| | l | — | 2,69 | — | — | |
| 100 | d | — | 19,4 | — | 90,8 | 2,25 |
| | l | — | 1,76 | — | 0,87 | |
| 101 | d | — | 21,5 | — | 100,9 | 2,50 |
| | l | — | 1,61 | — | 1,01 | |

Tabelle VII.

 $p = 10,0 \text{ mm.}$

| Platten-Nr. | $2r$ (mm) | 5. | 7. | 8. | 9. | i (Milliamp.) |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| | | 3,85 | 1,776 | 1,046 | 0,789 | |
| 102 | $d \left(\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2} \right)$ | 10,75 | 50,5 | 146 | — | 1,25 |
| | l (mm) | 1,86 | 0,803 | 0,562 | — | |
| 104 | d | 15,14 | 70,7 | 204 | 358 | 1,75 |
| | l | 1,96 | 0,716 | 0,565 | 0,598 | |
| 105 | d | 17,2 | 80,7 | 233 | 409 | 2,00 |
| | l | 1,95 | 0,706 | 0,565 | 0,481 | |
| 106 | d | 19,4 | 90,8 | 262 | 460 | 2,25 |
| | l | 1,95 | 0,674 | 0,578 | 0,482 | |
| 107 | d | 30,1 | 141 | 407 | 716 | 3,50 |
| | l | 1,82 | 0,716 | 0,610 | 0,546 | |
| 108 | d | 43,0 | 202 | 582 | — | 5,00 |
| | l | 1,60 | 0,745 | 0,592 | — | |
| 109 | d | 64,5 | 303 | 873 | — | 7,50 |
| | l | 1,22 | 0,787 | 0,684 | — | |
| 110 | d | 86,0 | 404 | — | — | 10,0 |
| | l | 1,104 | 0,831 | — | — | |
| 111 | d | 172 | 807 | — | — | 20,0 |
| | l | 0,918 | 0,969 | — | — | |

Tabelle VIII.

 $p = 12,5 \text{ mm.}$

| Platten-Nr. | $2r$ (mm) | 5. | 7. | 8. | 9. | i (Milliamp.) |
|-------------|---|------|-------|-------|-------|--------------------|
| | | 3,85 | 1,675 | 1,046 | 0,789 | |
| 112 | $d \left(\frac{\text{Milliamp.}}{\text{cm}^2} \right)$ | 15,1 | 70,6 | 204 | 358 | 1,75 |
| | l (mm) | 1,91 | 0,783 | 0,510 | 0,449 | |
| 113 | d | 19,4 | 90,8 | 262 | 460 | 2,25 |
| | l | 2,09 | 0,745 | 0,506 | 0,472 | |
| 114 | d | 30,1 | 141 | 407 | 716 | 3,50 |
| | l | 2,03 | 0,674 | 0,552 | 0,498 | |
| 115 | d | 48,0 | 202 | 582 | — | 5,00 |
| | l | 1,87 | 0,687 | 0,594 | — | |
| 116 | d | 64,5 | 303 | 873 | — | 7,50 |
| | l | 1,36 | 0,748 | 0,642 | — | |
| 117 | d | 90,3 | — | — | — | 10,5 |
| | l | 1,20 | — | — | — | |
| 118 | d | 179 | — | — | — | 20,75 |
| | l | 1,05 | — | — | — | |

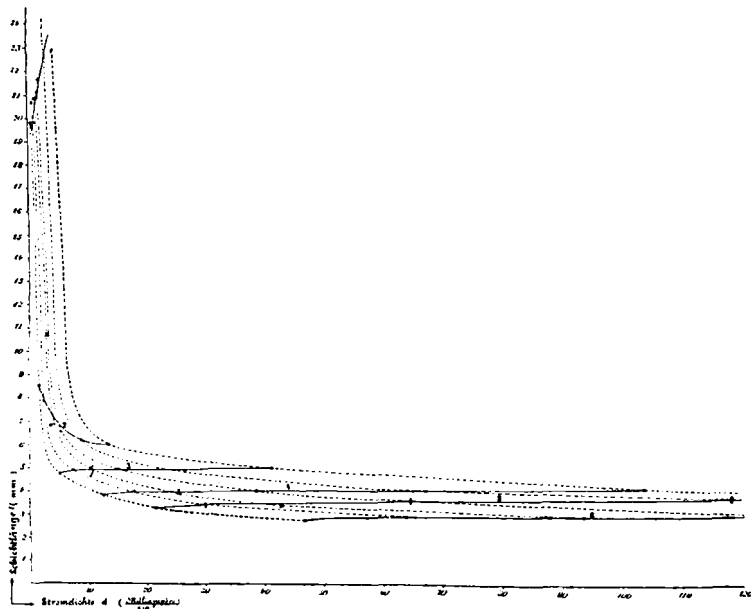


Fig. 2 (Tabelle I).

§ 3. Um einen anschaulichen Überblick über obiges Zahlenmaterial zu gewinnen, sind die Tabbl. I—VIII teilweise in den Figg. 2—9 graphisch dargestellt. Die punktierten Linien sind

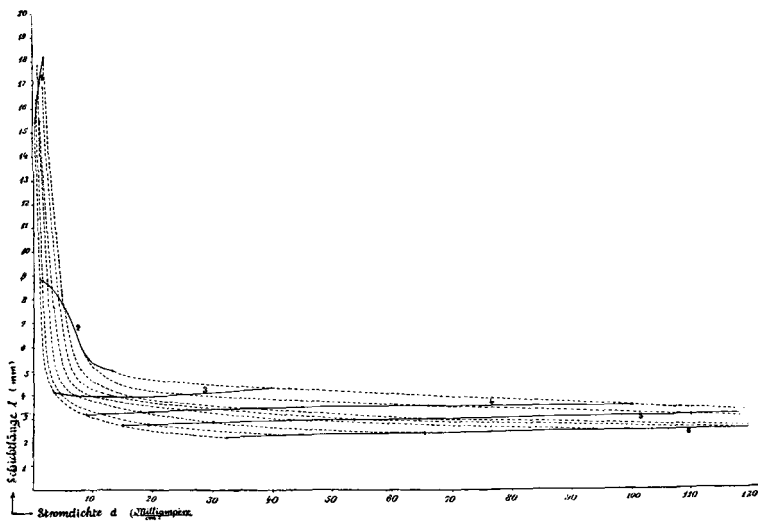


Fig. 3 (Tabelle II).

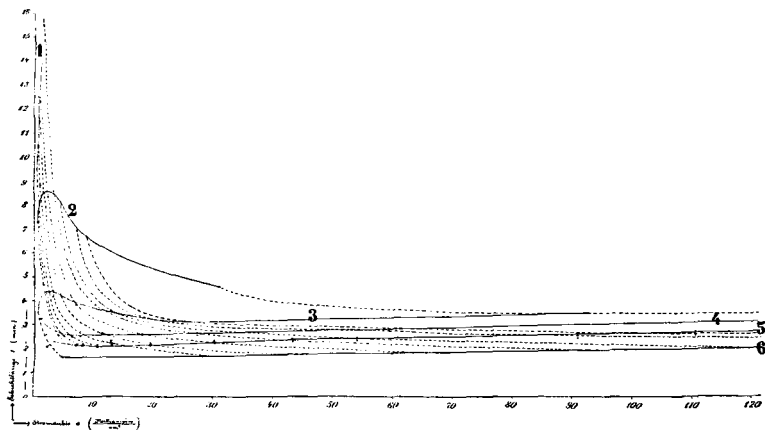


Fig. 4 (Tabelle III).

Kurven $i = \text{konst.}$ und es stellt also jede dieser Kurven die aus (mindestens) einer photographischen Aufnahme gewonnenen Resultate dar. Die durchgezogenen Linien sind Kurven

$2r = \text{konst.}$, geben also die Abhängigkeit der Schichtlänge l von der Stromdichte d für denselben Rohrdurchmesser wieder

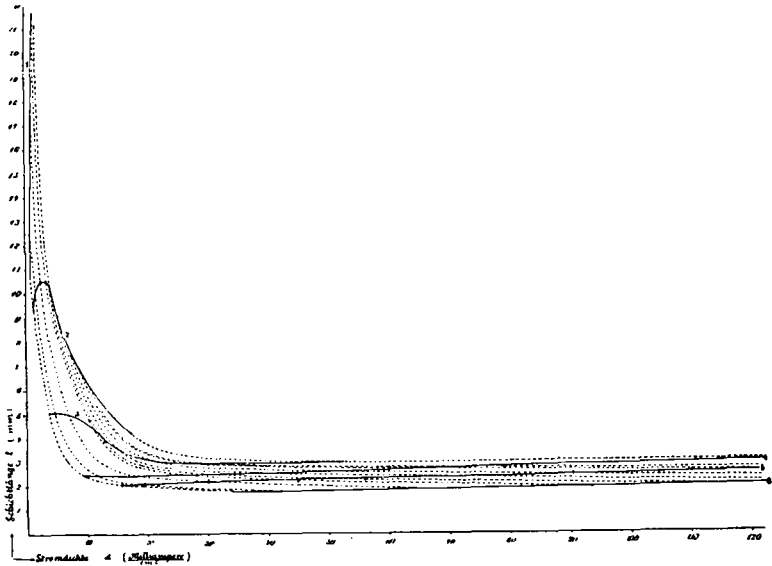


Fig. 5 (Tabelle IV).

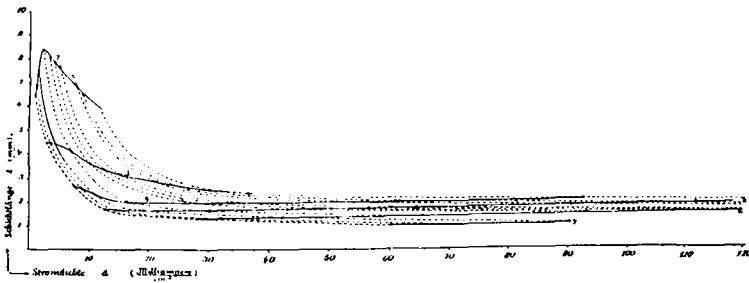


Fig. 6 (Tabelle V).

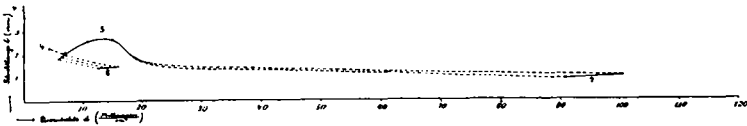


Fig. 7 (Tabelle VI).

(seine Nummer ist in den Figuren verzeichnet). Die beobachteten Punkte der Tabellen sind im allgemeinen als Punkte,

nur dort als Kreuze eingetragen, wo auch in den Tabellen ein solches \times der betreffenden Plattennummer beigelegt ist.

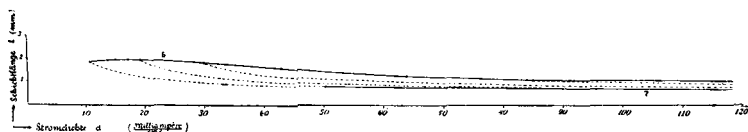


Fig. 8 (Tabelle VII).

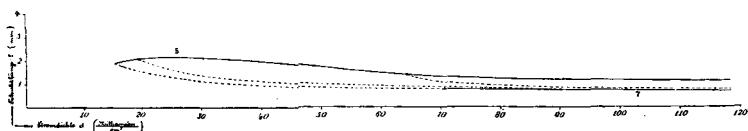


Fig. 9 (Tabelle VIII).

(Dies ist dann der Fall, wenn eine Messung bei derselben Stromstärke wiederholt wurde. Vgl. p. 514 u. 516.)

§ 4. Aus obigen Tabellen und Kurven geht unzweideutig hervor, daß die Schichtlänge l nicht allein von der Stromdichte d abhängt; wäre dies der Fall, so müßten sich alle Punkte einer der Tab. I—VIII in eine einzige Linie eintragen lassen, mit anderen Worten, es müßten die Kurvenscharen jeder einzelnen der Fig. 2—9 in eine Kurve zusammenfallen. Demnach schließen wir, daß die Glaswand keine nebensächliche Rolle spielt, sondern einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf die Schichtungen ausübt.

Ferner ist ersichtlich, daß der Typus jeder der beiden Kurvenscharen der Fig. 2—9 ein ganz bestimmter und für Kurven ein und derselben Schar gleichartiger ist. Die (punktierten) Kurven $i = \text{konst.}$ ähneln Hyperbeln, die (durchgezogenen) Kurven $2r = \text{konst.}$ sind komplizierter gestaltet und besitzen ein Maximum und ein Minimum. — Ein Stück der letzteren ist bereits von Willows l. c. beobachtet worden. — Außerdem ersieht man, wie das System der Kurven sich mit dem Druck verändert. Leider vermochte ich für keine der beiden Kurvenscharen eine einfache Formel zu finden, die die Beobachtungen mit genügender Annäherung zu berechnen erlauben würde.

Man könnte natürlich das in § 3 angegebene Zahlenmaterial zum Teil auch zur Darstellung der Veränderlichkeit von l mit dem Druck p (bei konstanter Stromdichte) verwenden.

Indessen mag hiervon Abstand genommen werden, da hinsichtlich des Effektes der Glaswand sich nichts Neues daraus ergibt. — Übrigens stimmt die Form der Kurven (p , l) mit den von Willows l. c. erhaltenen überein; besonders gilt dies hinsichtlich des bei kleinen Drucken auftretenden Maximums und Minimums.¹⁾

§ 5. Nach obigen Resultaten ist zu erwarten, daß der Einfluß der Gefäßwand auf die Schichtung sich auch auf direkterem Wege sichtbar machen läßt. Besonders wird man zu der Folgerung gedrängt, daß eine künstliche Veränderung der Glaswand auch die Schichtungen in merklicher Weise verändern dürfte. Um diese Konsequenz zu prüfen, wurden mit Entladungsrohren von folgender Form (Fig. 10) einige Versuche angestellt:

A und B sind zwei senkrecht zur Ebene der Zeichnung gerichtete Elektroden aus Aluminiumdraht, welche ähnlich wie in Fig. 1 in weiteren Gefäßen sitzen, an die ein engeres Glasrohr angesetzt ist. Das U-förmige Verbindungsrohr zwischen Anode und Kathode hat in seinen geraden Teilen 1 und 2 einen Durchmesser $2r = 13,7$ mm.

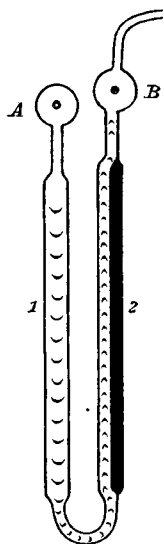


Fig. 10.

a) Rohr 2 wurde auf der ganzen Innenfläche (natürlich vor dem Zusammenblasen des Ganzen) durchsichtig versilbert, während Rohr 1 blank blieb. Trotzdem sonach in den beiden Rohren 1 und 2 die Gefäßwand einen sehr verschiedenen Anblick darbot, zeigten die in ihnen auftretenden Schichtungen doch keinerlei Unterschied. Die anfangs beobachteten Unterschiede verschwanden, als alle Feuchtigkeit aus dem Rohr abgezogen war.

b) Rohr 2 wurde zur Hälfte seiner Innenfläche, wie in Fig. 10 angedeutet, undurchsichtig versilbert, so daß jetzt die andere Hälfte, wie auch das ganze Rohr 1, blank blieb. Nun bestand die Hälfte der Wand von Rohr 2 aus einem gut zusammenhängenden Metallbelag und in der Tat trat jetzt ein

1) Vgl. indes hiermit J. Stark, Die Elektrizität in Gasen p. 147. Leipzig 1902.

beträchtlicher Unterschied der Schichtlängen l in 1 und 2 auf. Bei einem Druck von 1 mm fand sich z. B.

$$l_1 = 13,1 \text{ mm,}$$

$$l_2 = 8,7 \text{ mm.}$$

Ferner machten die Schichten des Rohres 1 den Eindruck, als würden sie von dem Silberbelag der Wand abgestoßen und an die blanke Glasoberfläche gedrängt. Eine Erklärung hierfür wird man sich auf Grund der in den folgenden Paragraphen auseinandergesetzten Anschauungen leicht bilden können.

Bei längerem Durchgang der Entladung zerstäubte der Silberbelag und bildete dann auch auf der vorher blanken Hälfte von 2 einen Spiegel. Die Schichtlänge l_2 wurde dann größer und näherte sich derjenigen in Rohr 1.

c) Rohr 2 wurde auf seiner ganzen Innenfläche mit Phosphorsäureanhydrid bestäubt und dieses durch Einleiten von Feuchtigkeit in einen vollkommen durchsichtigen, die Wand bedeckenden Überzug verwandelt; Rohr 1 blieb wieder blank.

Auch hier war die Schichtlänge l in Rohr 2 kleiner als in Rohr 1. Es wurde z. B. gemessen:

$$l_1 = 17,2 \text{ mm,}$$

$$l_2 = 7,1 \text{ ,, bei ca. 1,5 mm Druck.}$$

Nach einiger Zeit wurden auch hier die Unterschiede zwischen l_1 und l_2 geringer, wobei der Wandbelag sich aus einem kontinuierlichen Überzug in einzelne Tropfen auslöste.

§ 6. Durch das Resultat dieser Untersuchung, welche einen deutlichen Einfluß der Glaswand auf die Erscheinung der Schichten nachweist, scheint die Vermutung eine Stütze zu finden, welche mich zur Inangriffnahme dieser Arbeit bewogen hat. Diese Vermutung bestand darin, daß die Glaswand des Entladungsgefäßes nicht nur eine beeinflussende, sondern eine wesentliche Rolle spielt, und daß durch das Vorhandensein der Glaswand die Bildung von Schichten begünstigt, ja unter Umständen geradezu veranlaßt sein kann.

Goldstein¹⁾ hat gezeigt, daß alle Teile des sogenannten positiven Lichtes, insbesondere auch die Schichtungen, nichts

1) E. Goldstein, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1876. p. 279; Wied. Ann. 11. p. 832—856. 1880.

anderes sind, als Wiederholungen des die Kathode umgebenden Lichtmantels. Jede einzelne Schicht bildet sonach ein kathodisches Lichtgebilde, wie es durch eine nach der konvexen Seite der Schicht hin gelegene Kathode erzeugt werden würde. Daß die Farbe der Schichten gewöhnlich (sehr auffällig z. B. in Stickstoff) eine andere ist, als diejenige der die Kathode umgebenden Lichthülle, steht hiermit in keinem Widerspruch, da das negative Glimmlicht je nach dem Potential der Kathode die verschiedensten Färbungen besitzt¹⁾; es muß nur angenommen werden, daß die Schichten von Kathoden erzeugt werden, welche gegen ihre Umgebung ein geringeres Potential als die eigentliche Kathode des betreffenden Geisslerischen Rohres besitzen.

Beachtet man diese Tatsachen, so gelangt man fast von selbst und ohne Zwang zu der Ansicht, daß die hypothetischen Kathoden geringeren Potentials, von denen die Schichtbildung herrühren *könnte*, auch *wirklich* existieren, und zwar z. B. in Form von ringförmigen, negativ geladenen Teilen der Gefäßwand. Diese Hypothese bedarf, wie weiter unten auseinandergesetzt werden soll, noch einer Ergänzung, aber es möge zunächst an der eben gegebenen Fassung festgehalten werden. Vor allem muß erklärt werden, wie die auf der Gefäßwand angenommenen Ladungen dorthin gelangen und bestehen bleiben können. Wie bekannt, erzeugt jede Kathode in ihrer Umgebung einen an negativen Elektronen armen Raum geringen Leitvermögens (in der Ausdrucksweise von G. C. Schmidt²⁾ den „Verarmungsbereich“), welcher nach Wehnelt³⁾ freie, positive Elektrizität enthält. Man kann sich von diesen Erscheinungen folgendes anschauliche Bild machen⁴⁾: Unter dem Einfluß des vor der Kathode herrschenden elektrischen Feldes werden negative Elektronen von den Gasteilchen abgerissen und mit bedeutender Geschwindigkeit als Kathoden-

1) E. Goldstein, Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 4. p. 204 bis 211. 1902.

2) G. C. Schmidt, Ann. d. Phys. 12. p. 622—652. 1903.

3) A. Wehnelt, Physik. Zeitschr. 3. p. 501—503. 1902.

4) Vgl. hiermit die den obigen sehr ähnlichen Anschauungen von J. J. Thomson, Conduction of Electricity through Gases, p. 481 ff. Cambridge 1903.

strahlen fortgeschleudert, während die übrig bleibenden positiven Bestandteile der Gasmoleküle nach der Kathode hin (als Kanalstrahlen?) wandern. — Es ergibt sich hieraus die Folgerung, daß die Glaswände durch die von der Kathode kommenden Kathodenstrahlen negativ aufgeladen werden. Weiter folgt, daß wegen des Sinkens der Potentialdifferenz zwischen Kathode und Wand in kurzer Zeit jeder Elektrizitätstransport aufhören müßte, wenn nicht an den Stellen, wo keine Glaswand ist (also z. B. in Fig. 1 dort, wo sich die Ansatzstelle eines zur Anode führenden zylindrischen Rohres befindet), ein wenn auch nur geringes Potentialgefälle im Gase entstehen, also *eine neue, die Elektrizität weiter schaffende, sekundäre Kathode zur Ausbildung kommen würde*. Diese sekundäre Kathode, welche sich durch Bildung eines dunklen Raumes sogleich von den entfernter liegenden Teilen der Glaswand abtrennt, erzeugt sonach die erste Schicht. Man kann weiter annehmen, daß die so gebildete, sichtbare Schicht der Hauptsache nach seine Leuchtenergie der Absorption von Kathodenstrahlen, und zwar solchen von geringer Geschwindigkeit, verdankt. Wenn nun ein Teil dieser letzteren auf entfernter liegende Partien der Glaswand auftritt, so kann dort eine zweite, ringförmige Kathode entstehen etc.¹⁾ So würde begreiflich erscheinen, daß sich im stationären Zustand eine Kette von Kathoden mit dunklen Zwischenräumen und leuchtenden Gebilden entwickelt, deren Potentiale eine arithmetische Reihe bilden und deren jede so viel (negative) Elektrizität an die folgende weitergibt, als sie selbst von der vorhergehenden empfangen hat.

Durch diese Hypothese dürften die oben mitgeteilten Beobachtungen eine Deutung finden können. Es läßt sich aber noch eine Reihe anderer Eigenschaften der Schichten erklären oder mindestens dem Verständnis näher bringen. Hierzu gehört z. B. die Tatsache, daß die Schichten ihrem Aussehen und ihrer Distanz l nach unabhängig sind von der Länge des (zylindrisch vorausgesetzten) Entladungsrohres; ferner daß die mitunter zu beobachtende allmähliche Bildung von Schichtungen nicht von der Anode ausgeht, sondern vielmehr in der Richtung

1) Den Vorgang bei der Ausbildung dieser hypothetischen, sekundären Kathoden und die Ursachen ihres periodischen Auftretens genauer zu untersuchen, bildet ein Thema weiterer Arbeiten.

auf diese hin erfolgt. Es mag weiter erwähnt werden, daß erst dann Schichtbildung einzutreten pflegt, wenn der positive Glimmstrom nahe an die Glaswand herankommt und diese zu berühren scheint, und endlich, daß die Schichtbildung zerstört wird, wenn kräftige Kathodenstrahlen in ein Schichten enthaltendes Rohr hineinfallen.¹⁾ Aus diesem letzteren Grunde ist in den in Figg. 1 und 10 abgebildeten Rohren das Gefäß jeder Elektrode erst an ein engeres Rohr angeblasen.

§ 7. Obgleich durch die in § 6 entwickelte Hypothese der Wand des Entladungsgefäßes eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Schichten zuerteilt wird, so darf deswegen keineswegs zu weit gegangen werden, und etwa jetzt in allen Fällen, wo Schichten auftreten, eine geladene Glaswand oder ein *fester Körper*, als sekundäre Kathode wirkend, angenommen werden. Es besteht theoretisch durchaus die Möglichkeit, daß auch bei Abwesenheit jeglicher fester Körper Schichtenbildung stattfinden kann. Denn derselbe Effekt, welcher nach dem obigen durch die Gefäßwand zustande kommt, kann auch von Partien *des Gases selbst* erzielt werden, sofern diese nämlich freie Ladungen enthalten. Für die Entstehung von Gaswolken, welche mit freier negativer Elektrizität geladen sind, liegt nun aber oft Veranlassung vor, und zwar immer dann, wenn das Gas Kathodenstrahlen absorbiert, sei es wegen beträchtlicher Dichte des Gases, sei es wegen geringer Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen. In der Tat sind von Stuchtey²⁾ in Wasserstoff von Atmosphärendruck Schichten beobachtet worden, und zwar waren hierbei die Gefäßwände in so großer Entfernung von der leuchtenden Entladung, daß sie kaum als Veranlassung für die Schichtbildung verantwortlich gemacht werden dürften. Selbst bei Funkenentladung in Luft bilden sich unter Umständen Schichtungen³⁾, ferner am Lichtbogen etc. Aber auch in diesen Fällen wird man die spontane Bildung von sekundären Kathoden infolge der Absorption von Kathodenstrahlen als Ursache der Schichten ansehen können; jedenfalls scheint

1) Diese Erscheinung entspricht der von G. C. Schmidt, l. c. p. 648 § 9 mitgeteilten Tatsache, daß der dunkle Kathodenraum durch einfallende Kathodenstrahlen verkleinert, bzw. vernichtet wird.

2) C. Stuchtey, Physik. Zeitschr. 4. p. 871. 1904.

3) M. Töpler, Wied. Ann. 63. p. 109. 1897.

mir durch diese Hypothese eine Möglichkeit gegeben, die fast unendliche Mannigfaltigkeit von Lichtgebilden in stromdurchflossenen Gasen unter einem allgemeinen Gesichtspunkt einheitlich zu betrachten.

Auch die in meinen oben mitgeteilten Versuchen beobachteten Schichten stammen wahrscheinlich teilweise von gasförmigen Kathoden her. Besonders mag dies für große Stromdichten zutreffen, wo die Schichtlänge l mit der Stromstärke nahezu geradlinig zunimmt; in den Fig. 2—9 nähern sich dementsprechend die verschiedenen Kurven einander bei hohen Stromdichten. Auch das Aussehen der Schichten spricht hierfür, da diese bei geringen Stromdichten eine tellerartige Form haben und sich der Glaswand anschmiegen, während sie nahezu senkrecht auf der Rohrachse stehen, wenn die Stromdichte groß ist. Daß aber die Glaswand nichtsdestoweniger von nicht zu vernachlässigendem Einfluß ist, scheint mir auch aus einer Arbeit von O. Lehmann¹⁾ hervorzugehen, in der die Entladungserscheinungen in sehr weiten Gefäßen untersucht werden. Auf p. 2 seiner Arbeit sagt Lehmann: „Die normale Entladungsart, welche stets erhalten wurde, auch wenn die Stromstärke von dem minimalen Wert bis zum Umschlagen der Entladung in Lichtbogenentladung vergrößert wurde, war die Glimmentladung, charakterisiert durch das völlige Fehlen der sogenannten positiven Lichtsäule.“ Es darf auch wohl kaum einem Zufall zugeschrieben werden, daß unter den verschiedenartigsten Versuchsbedingungen immer nur dann in den Schichten ähnelndes Lichtgebilde von Lehmann beobachtet wurde, wenn sich ein fester Körper oder eine Glaswand in der Nähe der Strombahn befand. (Vgl. die Figurentafel bei Lehmann l. c.).

§ 8. Man könnte sich veranlaßt sehen, auf Grund der entwickelten Anschauungen eine mathematische Theorie der Schichtenbildung in zylindrischen Rohren aufzustellen, zumal über eine der hauptsächlich hier in Rechnung zu setzenden Größen, nämlich die Absorptionskoeffizienten der Kathodenstrahlen in Gasen, bereits sichere Bestimmungen vorliegen.²⁾

1) O. Lehmann, Ann. d. Phys. 7. 1—28. 1902.

2) P. Lenard, Ann. d. Phys. 12. 714—744. 1903.

Aber es ist zu bedenken, daß eine solche Theorie so lange eine prinzipielle Lücke aufweisen wird, als unsere Kenntnisse über das Verhalten der positiven Ionen und der Kanalstrahlen nicht vollständigere geworden sind, und ferner, daß die hier stattfindenden Vorgänge durch die Erscheinung der Sekundärstrahlen¹⁾ außerordentlich kompliziert werden.

Charlottenburg, Physikalisch-Technische Reichsanstalt,
April 1904.

1) P. Lenard, l. c. p. 449—490.

(Eingegangen 10. August 1904.)
