**5. Ueber Entladungsstrahlen und einige
Beziehungen derselben zu den Kathodenstrahlen
und Röntgenstrahlen;
von M. Willibald Hoffmann.**

(Inaugural-Dissertation.)

Bekanntlich zeigen zahlreiche Körper die Eigenschaft der Thermoluminescenz, d. h. sie senden beim Erwärmen unterhalb der Glühtemperatur ein lebhaftes Licht aus. Entweder sind diese Körper durch eine bekannte Ursache, wie durch Kathoden- oder Lichtstrahlen, vorher in bestimmter Weise erregt worden, oder sie besaßen die Fähigkeit in natürlichem Zustande. Erscheinungen der ersten Gruppe zeigen Schwefelcalcium, Schwefelbaryum etc.; Fälle der letzten Art sind schon lange beim Phosphorit, Marmor, Flussspath bekannt.

Hält man solche thermoluminescenzfähigen Körper längere Zeit auf einer höheren Temperatur, so hört die Lichtemission auf und tritt nach der Abkühlung auch nicht bei einer wiederholten Erwärmung hervor, es sei denn, dass vorher eine erneute Erregung stattfand.

Nach älteren Versuchen¹⁾ sind besonders die in der Nähe solcher Körper überspringenden electrischen Funken geeignet, sie von neuem thermoluminescenzfähig zu machen.

Hr. Prof. E. Wiedemann hat die wichtige Frage zu lösen gesucht, ob hierbei der Funken durch das von ihm ausgesandte Licht wirkt, sei es infrarother, sichtbares oder ultraviolettes, oder ob electrische Schwingungen die Thermoluminescenzfähigkeit hervorrufen, oder schliesslich, ob es eine *besondere Art von Strahlen* ist, die die Substanzen erregen, Strahlen, welche vielleicht mit den Kathodenstrahlen verwandt sind.

Der Versuch hat gezeigt, dass in vielen Fällen neben der Erregung durch Licht auch eine solche durch eine besondere Strahlengattung vorhanden ist. Hr. E. Wiedemann hat diese,

1) E. Becquerel, La Lumière 1. p. 327. 1867.

um zunächst ihre Natur noch ganz unbestimmt zu lassen, nach ihrem Ursprung mit dem Namen *Entladungsstrahlen* belegt.

Auf Veranlassung von Hrn. Prof. E. Wiedemann habe ich die Eigenschaften der Entladungsstrahlen näher untersucht.

I. Versuchssubstanzen und Versuchsmethoden.

Aus den Ausführungen von E. Wiedemann¹⁾ geht hervor, dass der Nachweis der Entladungsstrahlen nur dann ohne umständliche und unsichere quantitative Messungen möglich ist, wenn es gelingt, Substanzen zu finden, welche durch das ultraviolette Licht nicht oder nur schwach, durch die Entladungsstrahlen aber stark thermoluminescenzfähig gemacht werden.

Diese Eigenschaft besitzen in hohem Grade die folgenden Körper, sogenannte festen Lösungen²⁾, in deren Formel x ein kleiner Bruch ist:

Für die Versuche sehr geeignet erwies sich $\text{Ca SO}_4 + x \text{ Mn SO}_4$, vor allem, weil die Substanz durch mehrfaches Erhitzen nicht verändert wird.

Der Körper wird in der Weise hergestellt, dass man zu gewöhnlichem Gyps, der so lange mit Wasser versetzt wurde, bis ein ziemlich consistenter Brei entstand, eine kleine Menge des gleichfalls vorher in Wasser gelösten Mangansulfates hinzufügt und die Mischung nach dem Erstarren möglichst gut ausglüht. Ein geringer Wassergehalt setzt die Empfindlichkeit der Substanz sehr herab. Es empfiehlt sich daher die zu einer Versuchsreihe bestimmte Menge kurz vor den Versuchen noch einmal stark zu erhitzen, zumal da der Körper etwas hygroskopisch ist.

Zuerst untersuchte ich Entladungsstrahlen in Luft von Atmosphärendruck. Sie gingen von der Funkenstrecke eines Henley'schen Entladlers aus, der mit Kugelelectroden von verschiedenen Metallen versehen werden konnte. Unter der

1) E. Wiedemann, Zeitschr. f. Electrochem. p. 159. 1895.

2) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 56. p. 201. 1895.

Funkenstrecke befand sich auf einem hoch und nieder zu stellenden Tischchen die zu erregende Substanz. Der Abstand zwischen Funken und Tischfläche wurde an einem neben beiden stehenden Maassstabe abgelesen.

Als Electricitätsquelle diente bei diesen und allen späteren Versuchen eine grosse, zwanzigplattige Influenzmaschine nach Töpler, die Hr. Prof. E. Wiedemann aus Mitteln angeschafft hatte, welche ihm von der Verwaltung des Elisabeth Thompson-Fonds zur Verfügung gestellt waren. Die Maschine wurde durch einen Schmid'schen Wassermotor angetrieben und lieferte bei constantem Gange desselben fast unabhängig von der Witterung einen gleichmässigen Funkenstrom.

Die Versuchsanordnungen zur Beobachtung von Entladungsstrahlen in anderen Gasen als Luft, in verdünnten Räumen mit und ohne Electroden, werden an den betreffenden Stellen beschrieben werden.

Die auf ihre Thermoluminescenzfähigkeit zu prüfende Substanz war auf einem Kupferblech in gleichmässig dünner

Fig. 1.

Schicht ausgebreitet und wurde, nachdem sie erregt war, auf eine 0,7 cm starke, 15×15 cm grosse Kupferplatte gelegt. Letztere wurde durch einen Bunsenbrenner von unten gleichmässig erhitzt. Zur Beobachtung einer besonders schwachen Thermoluminescenz wurde der Bunsenbrenner ausgelöscht.

Um eine bestimmt abgegrenzte thermoluminescirende Fläche der Substanz zu erhalten, befand sich bei den Versuchen auf derselben ein für die Entladungsstrahlen vollkommen undurchlässiges Glimmerblättchen, in das ein ca 0,5 cm breiter und ca. 3 cm langer Spalt eingeschnitten war.

Die Stärke der Erregung der Thermoluminescenz bei Versuchen unter verschiedenen Umständen liess sich durch eine Contrastmethode ermitteln. (Fig. 1.)

Zunächst wurde die eine Hälfte *a* der von dem Glimmerschirme unbedeckten Substanzfläche *ab* gegen die Wirkung der Entladungsstrahlen durch ein aufgelegtes Glimmerblatt *G* geschützt und die zweite Hälfte *b* unter der Versuchsbedingung *B*

exponirt. Dann legte man das Glimmerblatt auf den Theil *b* und liess jetzt die Entladungsstrahlen unter einer anderen Versuchsbedingung *A* auf den vorher geschirmten Theil *a* der Substanz einwirken. Bei der gleichzeitigen Erwärmung von *a* und *b* konnte aus den relativen Helligkeiten der beiden Theile auf die relativen Intensitäten der Erregungen *A* und *B* geschlossen werden.

II. Versuche und Resultate.

Nachweis, dass im Funken eine besondere Art von Strahlen enthalten ist.

Vor allem sollte nachgewiesen werden, dass vom Funken besondere Entladungsstrahlen ausgehen. Die hierher gehörigen Versuche zusammen mit den früheren von Hr. E. Wiedemann sind im Folgenden mitgetheilt.

Die unter dem Einfluss des Funkens auftretende Veränderung der Substanzen, welche sich in einer Thermoluminescenz bemerkbar macht, konnte ihren Grund haben:

- a) in der Einwirkung der vom Funken chemisch veränderten Luft;
- b) in dem vom Funken ausgehenden Licht;
- c) in den vom Funken erregten electrischen Schwingungen;
- d) in besonderen Entladungsstrahlen.

Nachweis, dass die Thermoluminescenz nicht durch chemisch veränderte Luft bedingt ist.

Der Nachweis, dass die chemisch veränderte Luft keine Rolle spielt, wurde in dreifacher Weise geführt.

α) Die Substanz $\text{Ca SO}_4 + x \text{ Mn SO}_4$ wurde stundenlang in ozonhaltige Luft gebracht; beim Erwärmen zeigte sich keine Thermoluminescenz.

β) In ein horizontales Rohr, das an einer Stelle eine Oeffnung besass, über der sich die Funkenstrecke befand, wurde die Substanz so gelegt, dass die Entladungsstrahlen sie nicht treffen konnten, und dann ein langsamer Gasstrom durch das Rohr geleitet. Wäre die Thermoluminescenz durch ein Gas hervorgerufen worden, das durch Entladungsstrahlen verändert worden wäre, so hätte die Substanz auch in diesem Falle eine Thermoluminescenz zeigen müssen. Dies war aber nicht der Fall.

γ) Die Helligkeit der Thermoluminescenz wurde durch einen starken, zwischen Substanz und Funken geschickten Luftstrom nicht verändert; die Thermoluminescenzfähigkeit blieb dieselbe, mochte das Gebläse in Gang gesetzt sein oder nicht. Hierdurch ist auch gleichzeitig gezeigt, dass nicht etwa von den Electroden fortgerissene Theilchen die Erscheinung bedingen, und bewiesen, dass dieselbe von Strahlen herrühren muss, die vom Funken ausgehen.

Nachweis, dass die Thermoluminescenz nicht durch Lichtstrahlen hervorgerufen wird.

Schaltete man zwischen die Funkenstrecke und die Substanz irgend einen durchsichtigen Körper oder auch ein Metall, etwa Aluminiumfolie, so wurde die Wirkung der Entladung auf die Substanz vollständig aufgehoben. Im Speciellen gilt dies auch für Quarz und Flussspath. Eine Quarzplatte von 0,3 mm Dicke, die Strahlen bis $\lambda = 180 \mu\mu$ hindurchlässt, schirmte vollkommen. Unter besonders reinen, von Zeiss in Jena gütigst überlassenen Flussspathplatten von 0,7 bis 1,4 mm Dicke, die nach Schumann bis $\lambda = 100 \mu\mu$ durchlässig sind, liess sich keine Thermoluminescenz nachweisen.¹⁾

Während, wie die späteren Versuche gezeigt haben, eine stark ultraviolette Licht vollkommen absorbirende Luftschicht von mehr als 20 cm Dicke für die Entladungsstrahlen noch durchlässig ist, sind dies sehr dünne Flussspathplatten nicht mehr. Das Verhalten der Entladungsstrahlen ist in diesem Falle also gerade umgekehrt, wie das des ultravioletten Lichtes.

Nachweis, dass die Wirkung nicht von electrischen Schwingungen herrührt.

Bedeckte man die Substanz mit irgend einem Dielectricum oder umgab man sie mit einer Kohlensäureatmosphäre (vgl. weiter unten), so wurde sie vollständig gegen den Einfluss des Funkens geschirmt. Weiter lässt sich auch zeigen, dass electrische Schwingungen als solche unsere Substanzen nicht zur

1) Nach sehr langer Exposition unter kräftigen Funken liess sich ein schwaches Leuchten während der Erwärmung auch bei den vorher vom Flussspath bedeckten Stellen der Substanz erkennen, das vielleicht in einer Einwirkung des äussersten ultravioletten Lichtes seinen Grund hat. — Vgl. V. Schumann, Wien. Ber. 102. II. p. 691. 1893.

Thermoluminescenz zu bringen vermögen. $\text{CaSO}_4 + x \text{MnSO}_4$, welches längere Zeit zwischen die Endcondensatorplatten des Lecher'schen Drahtsystems gebracht worden war, blieb beim Erwärmen absolut dunkel.

Hiernach lässt sich die Leuchterregung der genannten Körper durch den Funken wohl nur mit der Annahme erklären, dass vom Funken besondere Strahlen ausgehen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen keinen festen Körper zu durchdringen vermögen, deren Natur aber so beschaffen und deren Energie so gross ist, dass sie ebenso wie die Kathodenstrahlen Luminescenz erregende Eigenschaften besitzen.

Allgemeine Eigenschaften der Entladungsstrahlen.

1. *Abhängigkeit der Thermoluminescenzfähigkeit von der Dauer der Erregung.*

Mit der Dauer der Exposition wächst die Thermoluminescenzfähigkeit zuerst schnell, um sich dann einem Maximum zu nähern. Die Versuche wurden nach der Contrastmethode (p. 271) ausgeführt. Wenn man zunächst die unbedeckte Substanzhälfte *a* bei einem mittleren Abstände vom Funken (von ca. 5 cm) der Wirkung der Entladungsstrahlen 1 Minute lang aussetzte und dann nach Bedeckung von *a* die Hälfte *b* 2 Minuten, so erschien beim Erwärmen *b* wesentlich heller als *a*. Ein Helligkeitsunterschied war auch noch vorhanden, wenn *a* 9 Minuten, *b* 10 Minuten exponirt wurde. Bei noch längeren Expositionen wurden diese Unterschiede immer geringer, selbst wenn *a* 10 Minuten, *b* 20 Minuten exponirt war. Bei anderen Entfernungen zwischen Funken und Platte änderten sich natürlich die Zeiten, in denen das Maximum erreicht war; je mehr man die Substanz dem Funken näherte, um so schneller trat das Maximum ein.

2. *Das bei verschiedener Stärke der Erregung erreichte Maximum der Helligkeit ist nahezu gleich.*

Daraus folgt, dass die Zahl der durch die Entladungsstrahlen veränderten Theile in der festen Lösung die gleiche ist und unabhängig von der Intensität der Entladungsstrahlen in jedem Falle. Wir haben hier ein vollständiges Analogon zu dem Verhalten der photographischen Platte im Licht. Wie

bei jener, so addiren sich auch hier die einzelnen Erregungen, eine Thatsache, welche uns bei den weiteren Versuchen wesentlich unterstützte.

Zur Erzielung einer gleich hellen Thermoluminescenz muss bei gleichem Potential und gleicher Stärke der einzelnen Funken eine gleiche Anzahl von Entladungen übergehen, ganz unabhängig davon, über welchen Zeitraum sich die Exposition erstreckt.

Lieferte die Maschine in 5 Sec. einmal 300, das andere Mal 600 Entladungen, so musste in letzterem Falle bei gleich starker Thermoluminescenz die Expositionszeit gegen den ersten Fall auf die Hälfte vermindert werden.

Zur genaueren Untersuchung wurde in den Stromkreis (Fig. 2) hinter die Funkenstrecke F ein Galvanometer G eingeschaltet. Von hier ging der Strom zu der isolirten Messingkugel E , welche sich in 0,5 cm Abstand von dem zur Erde abgeleiteten drehbaren Messingcylinder W befand. Die einzelnen Entladungen über das Funkenmikrometer und von E zur Erde sind synchron. Ist die Trommel W mit borusstem Papier bespannt, so erzeugen beim Drehen derselben die einzelnen überspringenden Funken auf dem Papier weisse Punkte, welche bequem gezählt werden können.

Fig. 2.

Die am Galvanometer G abgelesene Stromstärke dividirt durch die Funkenzahl gestattet die bei jeder Entladung übergegangene Electricitätsmenge direct zu bestimmen.

Die Aichung des Galvanometers ergab eine Empfindlichkeit von $0,05 \cdot 10^{-3}$ Amp. für einen Ausschlag von einem Scalentheil.

Ein Beispiel für die Proportionalität zwischen den Galvanometerausschlägen und der Funkenzahl sei hier kurz mitgetheilt:

Nullpunkt (Mittel)	Einstellung (Mittel)	Ausschlag	Funkenzahl in 10 Sec.
340	360	20	385
340	374	34	640

Die angestellten Versuche ergaben, dass die Helligkeiten der Thermoluminescenz direct proportional den Galvanometer-ausschlägen und der Funkenzahl waren.

Gleiche Helligkeiten bei den Versuchen Nr. 1 und 2 wurden erhalten bei:

Nr.	Expositionszeit (Mittel)	Einstellung (Mittel)	Nullpunkt (Mittel)	Ausschlag
1	5 Sec.	362	340	22
2	2,5 Sec.	385	340	45

Aus dem erhaltenen Resultat folgt ohne weiteres, dass in dem Intervall zwischen zwei Funken nicht eine merkliche Menge der umgewandelten Substanz wieder in den natürlichen Zustand zurückgeht. In der That haben die Herren E. Wiedemann und G. C. Schmidt (l. c. p. 232) nachgewiesen, dass nach einer Erregung unserer Substanz durch Kathodenstrahlen noch viele Monate später eine deutliche Thermoluminescenz zu erkennen ist. Wäre zur Untersuchung der Entladungsstrahlen eine Substanz verwendet worden, bei der sich in kurzer Zeit die Fähigkeit zu thermoluminesciren stark verminderte, so wären die obigen Sätze nicht zu erhalten gewesen. Darauf, dass diese Eigenschaft $\text{CaSO}_4 + x\text{MnSO}_4$ aber *nicht* besitzt, und ausserdem darauf, unser Auge für Helligkeitsunterschiede im Grün besonders empfindlich ist, beruht die Brauchbarkeit der Substanz zur Beobachtung der Entladungsstrahlen nach den unter I angegebenen Methoden.

3. Bei relativ kurzen Expositionszeiten, ehe das Maximum der Erregung eingetreten ist, können wir eine schwache, lang dauernde Bestrahlung durch eine starke, kurz anhaltende ersetzen, und zwar ist die Stärke der Erregung nahezu proportional der Intensität der Erregung i und der Zeitdauer t derselben.

Unter den 1,2 cm langen Funken des Henley'schen Entladeters, 0,5 cm von demselben entfernt, wurde auf zwei Korken ein Glimmerdiaphragma a mit grosser Oeffnung aufgestellt

und unter dieses in der Entfernung $\beta = 2$ cm auf das Kupferblech K das empfindliche $\text{Ca SO}_4 + x\text{Mn SO}_4$ gebracht. Die Entfernungen α und β waren so gewählt, dass, wenn auf a ein zur Längsrichtung des Funkens senkrechter Spalt σ ge-

Fig. 3.

legt wurde, die Projection eines auf der Mittellinie M der Substanz S liegenden Punktes auf den Funken noch in die Funken-

Fig. 4.

bahn fiel. Wirken alle Theile des Funkens gleich stark, so ist klar, dass die Intensität der Erregung der Substanz S pro-

Fig. 5.

portional der Breite des Spaltes σ ist. Versuche nach der Contrastmethode ergaben, dass bei Spaltbreiten von 1 mm und 3 mm und Expositionszeiten von 15 Sec. und 5 Sec. die Helligkeiten die gleichen waren. Bei längeren Expositionszeiten war dies freilich nicht mehr der Fall, wie dies nach den Versuchen unter 2 sein muss. Auch den in diesem Absatz bewiesenen Satz werden wir mehrfach zu benutzen haben.

4. Die Entladungsstrahlen gehen von allen Stellen der Funkenbahn aus, etwas stärker aber von der Kathode. (Fig. 4 und 5.)

Um dies nachzuweisen, wurden folgende Anordnungen getroffen:

Zwischen Substanz und Funken wurde ein Diaphragma so gestellt, dass nur von der Funkenbahn, nicht aber von den Electroden Strahlen auf die Substanz fallen konnten. Nach der Erregung erhielt man einen stark luminescirenden Fleck.

Zum Vergleich der Wirkung der *beiden Electroden* stellte ich senkrecht zur Funkenstrecke und der Ebene der Substanz ein Glimmerblatt *G* auf. Die rechte Seite erhält so nur Strahlen von der Funkenbahn und der *Kathode*, die linke nur solche von der Funkenbahn und der *Anode*.

Beim Erwärmen trat zuerst die Seite der Substanz hervor, die unter der Kathode gelegen hatte, dann erst erschien die positive Seite und zwar mit etwas geringerer Helligkeit. Das Leuchten des von der positiven Seite des Funkens bestrahlten Substanzstückes hielt aber länger an.¹⁾

5. *Die Natur der Electroden, zwischen denen der Funken überspringt, hat keinen merklichen Einfluss auf die Natur der Entladungsstrahlen.*

Die meist gebrauchten Zinkkugeln des Henley'schen Entladers wurden nacheinander durch solche aus Messing, Kupfer, Eisen, Aluminium und Magnesium ersetzt und die Stärke der auftretenden Entladungsstrahlen nach der Contrastmethode verglichen. Es ergab sich das oben angeführte Resultat.

6. *Die Entladungsstrahlen pflanzen sich im wesentlichen geradlinig fort.*

Dies Resultat wurde erhalten, indem ein 1 cm langer, 0,4 cm breiter in Glimmer eingeschnittener Spalt in 1 cm Entfernung parallel zur Funkenbahn aufgestellt wurde. Unterhalb des Spaltes lag die empfindliche Substanz. Die Länge des beim Erwärmen derselben nach einer Exposition in verschiedenen Abständen sich zeigenden Bildes wurde mit einem Zirkel abgegriffen und auf einem Maassstabe gemessen. Das Bild entsprach in allen Fällen der Projection des Spaltes durch den Funken auf die Substanz. Die Breite der Bilder war:

Abstand des Spaltes vom Funken 1 cm, Funkenlänge 1 cm.

Abstand der Substanz vom Spalt	1	2	3
Grösse des Bildes ca.	0,8	1,2	1,7

1) Vgl. hierzu E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, l. c. p. 240.

Verwandte man ein kreisrundes Diaphragma (Fig. 6) von nicht zu grosser Oeffnung, so entstanden auf der Substanz gut erkennbare Bilder des Funkens. Die Vertheilung der Helligkeit entsprach der, die man erhalten hätte, wenn die Substanz mit einer gewöhnlichen Lichtquelle bestrahlt worden wäre, welche die Dimensionen des Funkens besitzt, wie quantitative Messungen der Bilder ergaben.

Fig. 6.

Befand sich in 2 m Entfernung von dem 1 cm langen Funken ein 0,5 cm weites kreisrundes Diaphragma, so betrug der Durchmesser der luminescirenden Stelle auf der Substanz:

Im Abstand vom Diaphragma	1	2	3	4	5
ca. Centimeter	1,2	1,8	2,5	3,2	3,8

Es liegt in der Natur der Untersuchungsmethode, dass diese Zahlen nicht sehr genau sind: die Thermoluminescenz dauert nur kurze Zeit und ist nach einer Exposition der Substanz in grösserer Entfernung nicht so hell, um ein genaues Ausmessen ihrer Grenzen zu gestatten.

7. *Eine Reflexion der Entladungsstrahlen an festen Körpern liess sich nicht nachweisen.*

Bei S (Fig. 7) befand sich die Substanz in dem einen Schenkel eines weiten $\perp$ Rohres. Ihr gegenüber an dem Halter *H* konnte der zu untersuchende Körper *K* unter beliebigem Winkel gegen die im anderen Schenkel des Rohres befindliche Funkenstrecke *F* verschoben werden.

Fig. 7.

Bei einer Exposition der Substanz in diesem Apparat war eine Thermoluminescenz nicht nachzuweisen, mochte die reflectirende Fläche durch einen belegten Spiegel, durch Metall oder Papier gebildet sein. Hatten die Entladungsstrahlen von *F* einen gleichlangen Weg bis zur Substanz in gerader Richtung zurückzulegen, so war eine deutliche Thermoluminescenz zu erkennen.¹⁾

8. *Einfluss der Art der Entladung auf die Intensität der Entladungsstrahlen.*

a) Einfluss von parallel zum Funken geschalteten Condensatoren. Schaltet man parallel zum Funken Condensatoren von wachsender Capacität, sodass bei constantem Potential nach und nach die bei jeder Entladung übergehende Electricitätsmenge gesteigert werden kann, so wächst in gleichen Zeiten bei Constanz der übergehenden Electricitätsmenge (bedingt durch die constante Tourenzahl der Maschine) die Helligkeit der Thermoluminescenz mit der Grösse der Capacität. Wenige kräftige Entladungen erzeugen also stärkere Endhelligkeit als zahlreiche schwächere.

b) Einfluss des Entladungspotentials. Verlängert man die Funkenstrecke bei constantem Gang der Maschine und erhöht hierdurch das Entladungspotential, so wächst ebenfalls trotz der constant übergehenden Electricitätsmenge die Helligkeit der Thermoluminescenz.

Eine directe Proportionalität wurde in beiden Fällen nicht nachgewiesen: es nähern sich auch hier die Wirkungen einem Maximum.

9. *Die Intensität der Entladungsstrahlen nimmt angenähert, und zwar etwas schneller wie das Quadrat der Entfernung der zu erregenden Substanz vom Funken ab.*

Gilt das Gesetz von der Abnahme der Intensität mit dem Quadrate der Entfernung auch für die Entladungsstrahlen, so muss bei kurzen Expositionszeiten (§ 1) zur Erzeugung einer gleichen Helligkeit der Thermoluminescenz in verschiedenen Abständen eine constante Belichtungszeit multiplicirt mit dem Quadrat des Abstandes dieselbe Helligkeit erzeugen.

1) Der Nachweis einer Brechung der Entladungsstrahlen war ausgeschlossen, weil nach dem oben beschriebenen Versuch alle festen Körper die Entladungsstrahlen absorbiren.

Versuche in dieser Richtung nach der Contrastmethode ergaben in der That, dass bei einer derartigen Wahl der Expositionszeiten die beiden Felder nahezu gleich hell erschienen. Das in der grösseren Entfernung exponirte Stück war jedoch stets etwas lichtschwächer. Es deutet diese Thatsache auf eine Absorption der Entladungsstrahlen durch die atmosphärische Luft hin. Um nahezu Helligkeitsgleichheit der beiden Theile zu erzielen, waren z. B. im Abstand 1 cm 10 Sec., 2 cm 10.4 Sec., 3 cm 10.9 Sec., 4 cm 10.16 Sec. erforderlich.

Die Expositionszeiten wachsen schnell an. Versuche bei grösserer Entfernung vom Funken sind sehr zeitraubend. Selbst bei einem Abstand der Substanz vom Funken von 30 cm ist aber immer noch deutlich die Wirkung der Entladungsstrahlen bei entsprechend langer Expositionszeit zu erkennen.

Entladungsstrahlen in verschiedenen Gasen.

10. *Absorption der Entladungsstrahlen durch verschiedene Gase.*

Aus den in Absatz 5 angeführten Versuchen ging hervor, dass sämmtliche festen Körper die Entladungsstrahlen absorbiren. Zur Untersuchung der Fortpflanzung der Entladungsstrahlen in Gasen wurden folgende Wege eingeschlagen.

Fig. 8.

Unterhalb einer Funkenstrecke in Luft

(Fig. 8), 2 cm von derselben entfernt, befand sich ein 1,5 cm weites, 10 cm langes Glasrohr, in das in der der Funkenstrecke zugekehrten Wand eine 0,7 cm weite Oeffnung geblasen war. Die empfindliche Substanz wurde so in das Rohr gelegt, dass dieselbe von den durch die Oeffnung einfallenden Entladungsstrahlen getroffen werden musste. Strömte beim Versuche Luft durch das Rohr, so war beim Erwärmen der Substanz schöne Thermoluminescenz sichtbar. Dasselbe war der Fall, als Stickstoff durch den Apparat geleitet wurde. Kein Leuchten war erkennbar, als das Calciumsulfat in einem Strome von Sauerstoff

oder Kohlensäure der Wirkung der Entladungsstrahlen ausgesetzt worden war:

Sauerstoff und Kohlensäure absorbiren also die Entladungsstrahlen im Verhältniss zur Luft in ausnehmend hohem Grade.

Um nachzuweisen, dass im letzteren Falle nicht etwa eine chemische Wechselwirkung zwischen Kohlensäure bez. Sauerstoff und Substanz eintritt, durch welche die Thermolumineszenzfähigkeit vernichtet wird, wurde der in Fig. 9 skizzierte Versuch angestellt.

Die Substanz befand sich bei *S* ebenso wie die Funkenstrecke in Luft. Zwischen beide wurde ein doppelt durchbohrtes Glasrohr von 1,5 cm Weite so aufgestellt, dass die von Funken ausgehenden Entladungsstrahlen, ehe sie die

Fig. 9.

Substanz trafen, durch die beiden Oeffnungen des Rohres und durch einen das Rohr durchfliessenden Gasstrom gehen mussten. Um zu verhüten, dass etwa Gas aus den Oeffnungen austrat, wurde über die Substanz ein schwacher Luftstrom geleitet. Besass das zu untersuchende Gas genügenden Druck, so

war, wie die Versuche ergaben, die letztere Vorsichtsmaassregel unnöthig. Bei der Schnelligkeit des Gasstromes und der Weite der Ausströmungsöffnung trat kaum Gas durch die beiden seitlichen Oeffnungen aus.

Auch bei dieser Anordnung erwiesen sich Kohlensäure und Sauerstoff vollkommen undurchlässig für die die Thermoluminescenz erregenden Entladungsstrahlen.

11. *Verschiedene Beschaffenheit der Entladungsstrahlen in verschiedenen Gasen.*

Um Entladungsstrahlen in verschiedenen Gasen zu erzeugen, benutzte ich den Apparat Fig. 10.

Der Entladungsraum war durch eine dreifach tubulirte Glasglocke gebildet, deren unterer Rand, um bei den Versuchen einen Abschluss gegen die atmosphärische Luft zu gewinnen und das Innere vollkommen trocken zu erhalten, in

ein flaches Glasgefäß mit Schwefelsäure tauchte. Das zu untersuchende Gas wurde bei *a* eingeleitet und entwich bei *b*. Durch die beiden seitlichen Tubuli führten, durch Kautschukstopfen isolirt, zwei Drähte, welche die Electroden E_1 und E_2 trugen. Auf das gläserne Tischchen *T* konnte die empfindliche Substanz gelegt werden.

Bei gleich langer Exposition und gleichmäßigem Gang der Maschine war die Einwirkung der Entladung auf die Substanz wie in der Tabelle p. 16 angegeben.

Sauerstoff, Kohlensäure und Leuchtgas lassen also keine Thermoluminescenz zu Stande kommen.

Die Helligkeit der Thermoluminescenz des Calciumsulfates nach einer Exposition in Stickstoff ist nur ungefähr $\frac{2}{3}$, nach einer Exposition in Wasserstoff aber mehrmals doppelt so gross wie in Luft.

Von diesen Versuchen erklären sich die mit Sauerstoff und Kohlensäure angestellten, bei denen keine Einwirkung der Entladungsstrahlen sichtbar ist, ohne weiteres aus den Versuchen p. 286. Diese Gase absorbiren die Entladungsstrahlen in hohem Grade.

Die Ursache für den Unterschied im Verhalten von Luft,

Fig. 10.

Sauerstoff und Stickstoff bedarf noch einer besonderen Untersuchung.

Bei einem Vergleich der Resultate in Wasserstoff und in Stickstoff ergibt sich, dass im Wasserstoff die Erregung der Substanz eine unverhältnissmässig stärkere als in Stickstoff ist. Dies Resultat ist um so auffallender, da man beobachtet, dass im Wasserstoff die Entladungspotentiale wesentlich kleiner als im Stickstoff sind und man nach den Ergebnissen der Untersuchungen (p. 284) hier eher eine verminderte als eine vermehrte Wirkung hätte erwarten sollen. Zur Erklärung der Thatsache scheint die Annahme möglich, dass die vom Funken in Wasserstoff erregten Entladungsstrahlen intensiver bez. anders beschaffen sind, als die in der Luft erzeugten.

Gas	Luminescenz	Abstand der Substanz vom Funken	Expositionszeit
Luft	gut	} 4 cm	3 Minuten
Kohlensäure	vollkommen dunkel		
Leuchtgas	vollkommen dunkel		
Stickstoff	gut, aber schwächer wie in Luft		
Wasserstoff	sehr hell		
Sauerstoff	vollkommen dunkel		

12. Besondere Eigenschaften der in Wasserstoff erregten Entladungsstrahlen.

Bei der verschiedenen Intensität der in Wasserstoff und der Luft entstehenden Entladungsstrahlen schien es nicht ausgeschlossen, dass während letztere vom Flussspath vollkommen absorbirt werden, erstere denselben vielleicht zu durchsetzen vermögen. Dies war, wenn auch nur in schwachem Maasse, in der That der Fall. Oft schirmten dünnere Flussspathstücke stärker als dicke. Eine ganz dünne Wasserschicht, die auf die Flussspathplättchen gebracht wurde, vernichtete jedesmal die Wirkung der Entladungsstrahlen vollkommen. Aus der überraschenden Thatsache, dass die verschiedenen Flussspathstücke ganz unabhängig von ihrer Dicke unter sich die Thermoluminescenzwirkung zu Stande kommen lassen, darf man vielleicht den Schluss ziehen, dass hier nicht die Entladungsstrahlen den Flussspath durchdringen, sondern dass in den verschieden beschaffenen Plättchen stärkere oder schwächere

Flussspathstrahlen, wie sie zuerst von Winkelmann und Straubel beobachtet wurden, erzeugt werden, und dass wir vielleicht hier *transformirte Entladungsstrahlen* vor uns haben. Ähnlich wie Flussspath, aber schwächer, wirken auch Quarzplättchen, alle anderen festen Körper waren auch für die in Wasserstoff erzeugten Entladungsstrahlen undurchlässig.

Untersuchung der Büschelentladung auf Entladungsstrahlen.

13. *In den Büschelentladungen waren keine Entladungsstrahlen nachzuweisen.*

Nachdem der Nachweis gelungen war, dass die Entladungsfunken in der Luft und in anderen Gasen Entladungsstrahlen aussenden, musste im Anschluss hieran untersucht werden, ob auch in den Büschelentladungen entsprechende Strahlen auftreten.

Die Versuche wurden an den Büschelentladungen der secundären Spirale eines Teslatransformators angestellt, da dieselben hier ganz besonders schön ausgebildet sind. Die Gesamtanordnung zur Erzeugung der schnellen electrischen Schwingungen war die von Himstedt¹⁾, wie sie von W. König²⁾ zur Erzeugung der Röntgenstrahlen benutzt und von der Firma Reiniger, Gebbert und Schall in Erlangen ausgeführt wird.

Die empfindliche Substanz zeigte, selbst wenn sie lange Zeit in Luft in der Nähe der Büschelentladung gelegen hatte, keine Thermoluminescenz, es sei denn, dass sie durch directe Funken von den Polen des Transformators getroffen worden war.

Auch in Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure erwiesen sich die Büschelentladungen der benutzten Anordnung vollkommen unwirksam auf die Substanz.

Ueber das Auftreten der Entladungsstrahlen in Gasen von niederen Drucken.

14. *Auch bei niederen Drucken gehen von der Entladung Entladungsstrahlen aus.*

1) F. Himstedt, Wied. Ann. 52. p. 473. 1874.

2) Walter König, 14 Photographien mit Röntgen-Strahlen aufgenommen im physik. Verein zu Frankfurt a. M. Leipzig J. A. Barth 1896; Beibl. 20. p. 494. 1896.

15. *Die Intensität der Entladungsstrahlen nimmt mit wachsender Luftverdünnung zu.*

Weiter wurde untersucht, ob von Entladungen in verdünnten leuchtenden Gasen ebenso wie von den Funken in Gasen unter Atmosphärendruck Entladungsstrahlen oder diesen ähnliche Gebilde ausgehen, d. h. Strahlen, welche von allen, selbst das ultraviolette Licht durchlassenden Körpern absorbiert werden, die obengenannten Substanzen aber zur Thermoluminescenz erregen.¹⁾

Fig. 11.

konnten bedeutend kürzer gewählt werden als bei den früheren Versuchen bei Atmosphärendruck, um gleiche Helligkeiten zu erzielen.

Hierzu wurde die Funkenstrecke in den mit der Luftpumpe verbundenen Entladungsapparat *E* gebracht (vgl. Fig. 11). Derselbe bestand aus einem 4 cm weiten und 30 cm langen Glasrohr, welches an seinem oberen Ende zwei Schlitze *S* und *S*₁ besass. Durch *S*₁ und *S*₂ führten die Zuleitungsdrähte der Funkenstrecke *F*, welche etwas gebogen waren, sodass durch Drehen der Stempel der Schlitze die Funkenlänge verändert werden konnte. In dem Stempel des grossen, 2 cm weiten unteren Schliffes *S*₃ war das die empfindliche Substanz tragende Tischchen *T* befestigt. Bei *a* war der Apparat an die Quecksilberluftpumpe angesetzt.

Die Versuche ergaben, dass in Luft sowohl bei hohen wie bei niederen Drucken, bei denen sich die positive Lichtsäule schon bis über das Tischchen ausgebreitet hatte, eine glänzende Thermoluminescenz der Substanz auftrat. Auch hier war unter dem Flussspath nur eine ganz schwache Einwirkung erkennbar. Die Expositionszeiten

1) Einige Beobachtungen in dieser Richtung hat schon Hr. Prof. E. Wiedemann in der Zeitschrift für Electrochemie p. 159. 1895 mitgeteilt.

In verdünntem Stickstoff und Wasserstoff ergab sich dasselbe Resultat wie in Luft, nur konnte in Wasserstoff die Expositionszeit noch weiter herabgesetzt werden. Es war in letzterem Gase schon ein schwaches Leuchten der Substanz während der Belichtung zu bemerken.

In Kohlensäure und Sauerstoff, in denen unter Atmosphärendruck keine Einwirkung auftritt, lässt sich erst bei relativ tiefen Drucken (zwischen 3,0—1,0 cm Quecksilbersäule) eine deutlich sichtbare Thermoluminescenz von $\text{CaSO}_4 + x \text{MnSO}_4$ nachweisen.

Fig. 12.

16. *Die Thermoluminescenz erregenden Entladungsstrahlen gehen auch im Vacuum von der ganzen Entladung aus.*

In der oben beschriebenen Anordnung konnten Strahlen, die von dem positiven und negativen Lichte ausgehen, die Substanz gleichzeitig treffen, es war also noch zu untersuchen, ob hier nur die negativen, oder die negativen und die positiven Entladungen die Substanz erregen.

Um negative und positive Entladung getrennt voneinander untersuchen zu können, wählt man zweckmässig die folgende Anordnung (Fig. 12).

Ein 2 cm weites, 35 cm langes Entladungsrohr wird bei α an die Pumpe angesetzt, bei b trägt dasselbe ein 12 cm langes, nur 0,5 cm weites Rohr, welches die Kathode K enthält. Der grosse Schliff dient zur Einführung der Substanzen in das Innere von E und enthält gleichzeitig die Anode A .

Befindet sich die Substanz bei β , so wird sie nur von positiven Strahlen getroffen. Bei einem Kehren des Stromes,

bei dem *A* Kathode wird, kann auch der Einfluss des Glimmlichtes untersucht werden.

Die Thermoluminescenz der Substanzen war nach einer Bestrahlung durch das negative Licht heller, wie nach einer solchen durch das positive. Mit sinkendem Druck im Entladungsrohre fing $\text{CaSO}_4 + x \text{MnSO}_4$ im Glimmlicht an hellgrün zu leuchten. Diese Erscheinung trat im positiven Licht nie ein. Erst wenn hier das Glas schwach fluorescirte, zeigte auch $\text{CaSO}_4 + x \text{MnSO}_4$ eine Spur von Lichtemission, welche aber wahrscheinlich auf den Einfluss von diffus reflectirten Kathodenstrahlen zurückgeführt werden muss.

Die Beobachtungen wurden deshalb unter Drucken angestellt, bei denen das Glimmlicht nicht länger als 2 cm war und sich vollkommen auf das obere Ende des engen Ansatzrohres *b*, das die Kathode enthielt, beschränkte.

Nachdem durch einen Vorversuch der Druck ermittelt war, unter dem die das Rohr durchsetzenden, langgezogenen Funkenentladungen einen stetigeren Charakter annahmen, wurde das Entladungsrohr geöffnet, die Substanz eingeführt und nach dem Schliessen des Rohres wieder soweit evacuirt, bis diese Luftverdünnung erreicht war; die Einwirkung der Entladung auf die Substanz erfolgte bei diesem Druck. Die auftretende Thermoluminescenz war sehr schön nach einer Bestrahlung der Substanz in Luft, Stickstoff und Wasserstoff. In Sauerstoff und Kohlensäure konnte keine deutliche Einwirkung erkannt werden. Erst bei bedeutend tieferen Drucken (ca. 3—1 cm) zeigte sich auch in diesen Gasen die Thermoluminescenz.

Das Resultat stimmt im Wesentlichen mit dem des vorigen Abschnittes überein (vgl. auch p. 28).

Diese Versuchsergebnisse dürften theils auf der Absorption der Entladungsstrahlen durch die zuletzt angeführten Gase, theils auf der Entwicklung anders gearteter Entladungsstrahlen als bei Atmosphärendruck beruhen.

Durch electriche Schwingungen erzeugte Entladungsstrahlen.

17. *Unter dem Einfluss von electricen Schwingungen treten an der Grenze von Glas und einem mässig verdünnten Gase (in*

einigen Fällen bei den relativ hohen Drucken von 44 cm Hg, ehe Lichterscheinungen zu bemerken sind) Entladungsstrahlen auf, welche eine lebhaft Thermoluminescenz hervorrufen.

In der Nähe von electrisch schwingenden Systemen (z. B. am Endcondensator des Lecher'schen Drahtsystems) bilden sich, wie schon vor längerer Zeit E. Wiedemann und H. Ebert¹⁾ eingehend untersucht haben, innerhalb evacuirter Glasräume intensive Kathodenerscheinungen aus, welche ihren Ansatzpunkt an der dem schwingenden Leiter zunächst liegenden Wand haben. Es konnte der allgemeine Satz aufgestellt werden²⁾, dass beim Auftreten schneller Potentialschwankungen an der Grenze zweier Medien, von denen das eine ein verdünntes Gas ist, Kathodenerscheinungen erzeugt werden.

Fig. 13.

Wenn man die Entladungen in einem derartigen electrodenlosen Recipienten verfolgt, so kann man längere Zeit vor dem Auftreten der Kathodenstrahlen schöne Glimmlichterscheinungen beobachten. Es musste untersucht werden, ob und wann in dem ganzen Strahlencomplex Entladungsstrahlen entstanden.

Die Versuchsanordnung (vgl. Fig. 13) war die folgende:

Die Electroden der grossen Influenzmaschine wurden mit den Belegungen einer Leydener Flasche C verbunden, von dem einen Pole der ca. 1 cm langen Funkenstrecke F führte ein 0,1 cm starker Kupferdraht zur Zinkplatte Z, welche einen

1) E. Wiedemann u. H. Ebert, Wied. Ann. 50. p. 35. 1893.

2) E. Wiedemann, Ztschr. f. Electrochemie p. 159. 1895.

Durchmesser von 20 cm hatte. In 6—10 cm Entfernung von derselben befand sich die mit einem Manometer versehene evacuirbare Glaskugel *G*. Durch den Schliff *S* konnte man die zu untersuchenden Körper einführen.

War *G* ungefähr 10 cm von *Z* entfernt, so liess sich in Luft bei einer 1 Minute langen Exposition bei einem Drucke von 3 cm eine gute Thermoluminescenz der empfindlichen Substanz nachweisen. Der Theil der Substanz, welcher senkrecht unter dem der schwingenden Platte am nächsten gelegenen Wand der Kugel gelegen hatte, leuchtet immer am hellsten. Kathodenstrahlen konnten bei der Entfernung der erregenden Platte und dem hohen Drucke noch nicht auftreten. Während der Exposition wurde kein Leuchten der Substanz bemerkt. Aus dem Versuche folgt, dass die Entladungsstrahlen ihren Hauptausgangspunkt innerhalb des luftverdünnten Raumes an der Stelle der Glaswand haben, welche dem erregenden Leiter am

Fig. 14.

nächsten liegt. Die Entladungsstrahlen waren an allen Stellen des Innenraumes der Kugel nachzuweisen, sodass vielleicht die Fortpflanzung derselben nach dem in der Fig. 14 skizzirten Schema stattfindet.

Mit steigendem Druck im Recipienten und abnehmender Helligkeit des Entladungslichtes mussten zwar die Expositionszeiten, um gleiche Helligkeiten wie früher zu erzielen, etwas erhöht werden, doch liess sich eine schwache Thermoluminescenz der Substanz noch bei einem Drucke von 44 cm im Innern der Kugel (der also nur um 30 cm von dem äusseren Atmosphärendrucke verschieden war), als jede Spur des Entladungslichtes verschwunden war, noch gut erkennen.

Flussspath und Quarz schirmten auch hier die Thermoluminescenzwirkung der Entladung vollkommen.

Unter dem Einfluss der electrischen Schwingungen entstehen also im luftverdünnten Raume:

bei hohen Drucken Entladungsstrahlen, welche eine Thermoluminescenz bedingen,

bei niederen Kathodenstrahlen, welche Kathodoluminescenz erzeugen.

In *Sauerstoff* und *Kohlensäure* gelang es nicht, die Entladungsstrahlen bei so hohen Drucken nachzuweisen. Auch in diesen Medien trat jedoch die Thermoluminescenz ein, wenn auch bei viel tieferen Drucken (vgl. Versuch p. 23 u. 24).

Wasserstoff und Stickstoff verhielten sich ebenso wie Luft. Vielleicht erhält man in diesen Gasen (analog den früheren Versuchen) die Thermoluminescenz schon bei noch höheren Drucken. Mit Bestimmtheit liess sich dies jedoch nicht feststellen: $\text{CaSO}_4 + x\text{MnSO}_4$ ist hier nicht mehr empfindlich genug, da die Thermoluminescenz bei den hohen Drucken natürlich nur schwach erregt wird.

Die Grenze, wann gleichzeitig mit der Thermoluminescenz auch noch eine Kathodoluminescenz auftritt, lässt sich nicht bestimmen, sie hängt allein von der Intensität der Schwingungen ab. Es sind aber bei niederen Drucken, um Kathodoluminescenz zu erzeugen, schwächere Schwingungen ausreichend als bei höheren.

Die Entladungsstrahlen im magnetischen Felde.

18. *Bis jetzt konnte keine Ablenkung durch den Magneten für die Entladungsstrahlen nachgewiesen werden, und zwar weder für solche, die in Luft von Atmosphärendruck entstehen, noch für die in verdünnten Gasen auftretenden.*

Da in einigen Beziehungen eine Verwandtschaft der Entladungsstrahlen und Kathodenstrahlen zu bestehen schien, so war zu untersuchen, ob die Entladungsstrahlen ebenso wie die Kathodenstrahlen im magnetischen Felde eine Ablenkung erfahren. Hierzu wurde ein senkrecht von der Funkenbahn F ausgehendes Strahlenbündel durch die beiden Diaphragmen a und b ausgeblendet und in seiner Länge der Einwirkung eines kräftigen Magnetfeldes ausgesetzt, welches durch die Pole N und S eines grossen Electromagneten erzeugt wurde (Fig. 15).

Fig. 15.

Die Helligkeit der Thermoluminescenz von $\text{CaSO}_4 + x\text{MnSO}_4$ bei c blieb dieselbe, mochte der Magnet erregt sein oder nicht.

In einem früheren Abschnitt wurde erwähnt, dass die Entladungsstrahlen auch von der positiven Lichtsäule innerhalb eines evacuirten Entladungsrohres ausgehen (p. 288). Um das Verhalten der Entladungsstrahlen im Magnetfelde bei niederen Drucken zu untersuchen, benutzte ich den Apparat Fig. 16. Bei nicht zu tiefen Drucken erstreckt sich in demselben die positive Entladung von *A* bis fast an *K*. An der Stelle *x*, wo dieselbe den weiteren Theil des Entladungsrohres durchsetzt, löst sich das in den engeren Röhren ziemlich homogene Licht in eine Anzahl schwächer gefärbter Schichten auf,

Fig. 16.

von welchen die Entladungsstrahlen durch das Glimmerdiaphragma *a* auf die empfindliche Substanz *S* fallen. Der Druck wurde stets so weit erniedrigt, bis die letzte dieser Schichten bis auf einen Abstand von ca. 4 cm an das Glimmerdiaphragma herangerückt war. Der Raum, in welchem sich die Substanz befand, war dann noch absolut dunkel. Durch *N* und *S* sind die Pole des grossen Electromagneten angedeutet.

Die nach einer kurzen Exposition beobachtete Thermoluminescenz von $\text{CaSO}_4 + x\text{MnSO}_4$ war ausnehmend hell, ein Unterschied der Helligkeiten nach einer Exposition bei erregtem und einer solchen bei nicht erregtem Magneten liess sich auch hier nicht feststellen

Ueber Beziehungen zwischen Entladungsstrahlen, Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen.

Nach den früheren Versuchen war die Frage zu lösen, ob sich vielleicht ausser den Luminescenz erregenden Eigenschaften noch in anderer Weise eine Beziehung zwischen Entladungsstrahlen, Kathodenstrahlen und den Röntgenstrahlen feststellen liess.

Durch Lenard ist zuerst gezeigt worden, dass die in die freie Luft übergetretenen Kathodenstrahlen lichtdicht eingeschlossene photographische Platten verändern.

Ich habe zahlreiche Versuche angestellt, ob eine den in Luft oder Wasserstoffgas übergehenden Funken genäherte photographische Platte, die lichtdicht mit schwarzem Papier umhüllt war, geschwärzt wurde. Die ersten Resultate schienen auf einen Einfluss der Strahlen hinzuweisen, als jedoch das die Platte umschliessende Papier mit grösster Sorgfalt ausgewählt worden war, liess sich nicht eine Spur von Schwärzung erkennen.

Hiernach liegt die Vermuthung wohl nahe, dass die von anderer Seite gefundenen, abweichenden Resultate auf einer nicht vollkommen dichten Umhüllung der Platte beruhen. Bei dem grossen Reichthum des Funkens an photographisch wirksamen Strahlen muss dieser Umstand besonders störend sein.

Einwirkungen auf die photographische Platte innerhalb der lichtdichten Hülle liessen sich nur dann erzielen, wenn die Platte in den Bereich der electricen Entladungen, z. B. direct gegen die Electroden oder die Zuleitungsdrähte derselben gelegt wurde. Die Veränderungen der lichtempfindlichen Schicht in diesem Falle sind bekannt; sie rühren nicht von besonderen Strahlen her.

Auch für die in der electricen Entladung im Entladungsrohre mit oder ohne Electroden auftretenden Entladungsstrahlen erwies sich die Papierhülle vollkommen undurchlässig. Weder die photographische Platte noch die in Papier eingeschlossene thermoluminescirende Substanz zeigten selbst nach langer Exposition eine Spur einer Einwirkung. Der Druck im Entladungsapparate war hierbei allerdings ein relativ hoher (ca. 20—10 cm).

19. *Bei tieferen Drucken gewinnen die Entladungsstrahlen allmählich die Fähigkeit die Körper gemäss der Dichte zu durchdringen: ob sie hierbei zu Röntgenstrahlen werden bez. solche erzeugen, oder ob sie die nicht ablenkbaren Kathodenstrahlen, die von E. Goldstein und E. Wiedemann und H. Ebert¹⁾ bei*

1) E. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungsber. der phys.-med. Soc. Erlangen, den 14. Dec. 1891, (p. 28 des Separatabzuges), und E. Wiedemann, Ztschr. f. Electrochem. p. 159. 1895.

ihren Versuchen über die Dispersion der Kathodenstrahlen bilden, müssen spätere Versuche zeigen.

Mit sinkendem Drucke in den Entladungsapparaten schien die absolut lichtsichere Papierhülle der Platten durchlässig zu werden. Es liessen sich selbst bei ganz kurzen Expositionszeiten innerhalb des Entladungsrohres Aufnahmen erzielen, die den Lenard'schen Photogrammen in jeder Weise ähnelten, wenn auf das die Platten umschliessende Papier Metall- oder Holzstückchen gebracht worden waren. Merkwürdigerweise waren alle die so erhaltenen Aufnahmen unscharf!

Die Unschärfe der erhaltenen Bilder kann durch zwei Umstände begründet sein:

entweder sind die neu entstandenen Strahlen diffus im ganzen Rohre vorhanden,

oder aber: die bei tieferen Drucken entstehenden Strahlen, welche geradlinig verlaufen, werden, wenn sie auf Hindernisse fallen, in divergirende Röntgenstrahlen verwandelt. Erstere besitzen nur im schwachen Maasse die Fähigkeit, die Körper zu durchdringen, letztere durchdringen alle Körper gemäss der Dichte.

20. Die verschiedenen Körper besitzen in verschiedener Weise die Eigenschaft aus diesen auftreffenden Entladungs- bez. Kathodenstrahlen Röntgenstrahlen zu erzeugen. Im allgemeinen sind die an Antikathoden aus Metall oder Glimmer entstehenden Röntgenstrahlen photographisch wirksamer als die, welche an solchen aus fluorescirenden Substanzen auftreten. Eine Proportionalität der Intensität der Röntgenstrahlen und der Helligkeit der Fluorescenz konnte nicht nachgewiesen werden.

Von einigen Seiten ist zwischen dem Auftreten der Fluorescenz und der Intensität der durch den Entladungsapparat erzeugten Röntgenstrahlen ein Parallelismus gefunden worden, den andere Forscher bestritten haben.

Bis jetzt deuten alle Versuche darauf hin, dass zur *Erzeugung von Röntgenstrahlen* vor allem *kräftige Kathodenstrahlen* nöthig sind. Allerdings ist in den meisten Fällen die *Helligkeit der auftretenden Fluorescenz ein Maassstab für die Intensität der Kathodenstrahlen*, jedoch scheint die Fluorescenz bei dem Vorgange nur eine secundären Rolle zu spielen.

Durch E. Wiedemann ist früher gezeigt worden, dass die Kathodenstrahlen an der Oberfläche der verschiedenen Körper verschieden stark reflectirt werden, und zwar reflectiren die Körper die Kathodenstrahlen in vielen Fällen um so vollkommener, je weniger sie die Eigenschaft zu fluoresciren besitzen. Die stark fluorescirenden Substanzen absorbiren die Kathodenstrahlen im hohen Grade.

Es war nun zu untersuchen, unter welchen Versuchsbedingungen sich die besten Röntgenstrahlen erzielen liessen.

Bei den Versuchen wurde ein Apparat benutzt, mit dem E. Wiedemann und H. Ebert die diffuse Reflexion der Kathodenstrahlen untersucht hatten.

Fig. 17.

In dem 5,6 cm weiten, 22 cm langen Glasrohr befanden sich in den Schliffen s_1 und s_2 die Electroden. Vor die Anode a wurde eine kurze Funkenstrecke (vgl. p. 32) geschaltet. Die Kathode war zur Erde abgeleitet.

Die Platte p , neuerdings Antikathode genannt, wurde bei meinen Versuchen in einer Reihe von Aufnahmen gebildet durch:

1. eine Messingplatte,
2. ein Glimmerblatt,
3. eine auf einem Glimmerblatte gleichmässig vertheilte Schicht von $\text{CaSO}_4 + x \text{MnSO}_4$ und
4. eine solche aus reinem Gyps.

Bei kurzen Expositionszeiten (1 min. in 8 cm Abstand vom Entladungsrohre) waren nur bei Anwendung der Antikathoden aus Messing oder Glimmer Röntgenphotogramme zu erhalten.

Befand sich im Apparat die Platte mit der stark fluorescirenden $\text{CaSO}_4 + x\text{MnSO}_4$ -Schicht oder der wenig leuchtenden Gypsschicht, so musste zur Erzielung gleich kräftiger Bilder, wie in den beiden ersten Fällen länger exponirt werden.

Bei allen Versuchen wurde derselbe Druck im Entladungsgesetz hergestellt. Die Entladungspotentiale waren verschieden hoch, je nach der benutzten Antikathode.

Wie wenig Fluorescenz und Entwicklung von Röntgenstrahlen voneinander abhängen, zeigt auch der folgende Versuch mit einem Entladungsrohr der einfachen, in Fig. 18 skizzirten Form.

Wenn k zur Kathode gemacht und vor die Anode a bei F keine Funkenstrecke eingeschaltet wurde, so leuchtete zwar die Glaswand des Entladungsrohres bei H sehr hell, es konnten jedoch erst bei verhältnissmässig langer Exposition Röntgenphotogramme erhalten werden. Schaltete man vor die Anode a eine Funkenstrecke, so wurde das Fluorescenzlicht etwas schwächer, dagegen gingen von H in diesem Falle intensive Röntgenstrahlen aus, die das Maximum ihrer Wirkung auf die photographische Platte bei constant bleibender Expositionszeit erlangten, wenn die Funkenstrecke eine bestimmte Länge erreicht hatte. Beim Ueber- oder Unterschreiten dieser Länge der Funkenstrecke waren die erhaltenen Bilder schwächer.¹⁾

Fig. 18.

III. Zusammenstellung der Resultate.

1. Der Entladungsfunkent enthält eine besondere Art von Strahlen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen keinen festen Körper zu durchdringen vermögen, deren Energie jedoch so gross und die so beschaffen ist, dass sie ebenso wie die Kathodenstrahlen Luminescenz erregende Eigenschaften besitzen.

1) Wirkungen einer eingeschalteten Funkenstrecke auf die Erwärmungen eines als Kathode dienenden Drahtes, die vielleicht mit denen auf die Entwicklung der Röntgenstrahlen parallelisirt werden können, sind von E. Wiedemann und H. Ebert in der erwähnten Arbeit p. 19 beschrieben.

2. Die Helligkeit der durch die Entladungsstrahlen erregten Thermoluminescenz von $\text{CaSO}_4 + x \text{MnSO}_4$ wächst erst schnell, dann langsam mit der Expositionszeit und nähert sich einem Maximum.

3. Das bei verschiedener Stärke der Erregung erreichte Maximum der Helligkeit ist gleich.

4. Bei relativ kurzen Expositionszeiten können wir eine schwache, langdauernde Bestrahlung durch eine starke, kurz anhaltende ersetzen, und zwar ist die Stärke der Erregung nahezu proportional der Intensität der Erregung i und der Zeitdauer t derselben.

5. Die Entladungsstrahlen gehen von allen Stellen der Funkenbahn aus, etwas stärker aber von der Kathode.

6. Die Natur der Electroden, zwischen denen der Funken überspringt, hat keinen merklichen Einfluss auf die Natur der Entladungsstrahlen.

7. Die Entladungsstrahlen pflanzen sich im wesentlichen geradlinig fort.

8. Eine Reflexion der Entladungsstrahlen an festen Körpern liess sich nicht nachweisen.

9. Die Intensität der Entladungsstrahlen ist abhängig von der Art der Entladung.

10. Die Intensität der Entladungsstrahlen nimmt angenähert, und zwar etwas schneller wie das Quadrat der Entfernung der zu erregenden Substanz vom Funken ab.

11. Verschiedene Gase (O_2 , CO_2) absorbiren die Entladungsstrahlen in hohem Grade.

12. In gewissen Gasen (H_2 , N_2) ist die Ausbildung der Entladungsstrahlen im Verhältniss zu der in Luft besonders begünstigt.

13. Die in Wasserstoff erregten Entladungsstrahlen besitzen die Eigenschaft, eine schwache Thermoluminescenz auch von mit Quarz oder Flussspath bedeckten Stellen der empfindlichen Substanz zu erregen.

14. Die Helligkeit der Thermoluminescenz ist in diesem Falle unabhängig von der Dicke der Quarz- oder Flussspathschichten. Wir haben hier vielleicht transformirte Entladungsstrahlen vor uns.

15. In den Büschelentladungen waren keine Entladungsstrahlen nachzuweisen.

16. Auch bei niederen Drucken gehen von der Entladung Entladungsstrahlen aus.

17. Die Intensität der Entladungsstrahlen nimmt mit wachsender Luftverdünnung zu.

18. Die Thermoluminescenz erregenden Entladungsstrahlen gehen auch im Vacuum von der ganzen Entladung, also sowohl von dem Glimmlicht an der Kathode wie von der positiven Lichtsäule aus.

19. In Sauerstoff und Kohlensäure wird nur bei tieferen Drucken $\text{CaSO}_4 + x\text{MnSO}_4$ zur Thermoluminescenz erregt. Dies Resultat dürfte darauf beruhen, dass bei niederen Drucken sich anders geartete Entladungsstrahlen als bei Atmosphärendruck entwickeln.

20. Unter dem Einfluss von electrischen Schwingungen treten an der Grenze von Glas und einem mässig verdünnten Gase (in einigen Fällen bei den relativ hohen Drucken von 44 cm Hg, ehe noch Lichterscheinungen zu bemerken sind) Entladungsstrahlen auf, welche Thermoluminescenz hervorrufen.

21. Bis jetzt konnte keine Ablenkung durch den Magneten für die Entladungsstrahlen nachgewiesen werden, und zwar weder für solche, die in Luft von Atmosphärendruck entstanden waren, noch für die in verdünnten Gasen auftretenden.

22. Bei tieferen Drucken erregte Entladungsstrahlen gewinnen allmählich die Fähigkeit, die Körper gemäss der Dichte zu durchdringen; ob sie hierbei zu Röntgenstrahlen werden oder ob sie die nicht ablenkbaren Kathodenstrahlen, die von E. Goldstein und E. Wiedemann und H. Ebert beschrieben sind, bilden, müssen spätere Versuche zeigen.

23. Die verschiedenen Körper besitzen in verschiedener Weise die Eigenschaft, aus auftreffenden Entladungs- bez. Kathodenstrahlen Röntgenstrahlen zu erzeugen. Im allgemeinen sind die an Antikathoden aus Metall oder Glimmer entstehenden Röntgenstrahlen photographisch wirksamer als die, welche an solchen aus fluorescirenden Substanzen auftreten. Eine Proportionalität der Intensität der Röntgenstrahlen und der Helligkeit der Fluorescenz konnte nicht nachgewiesen werden.

Die vorstehende Untersuchung wurde im Winter 1895/96 und Sommer 1896 ausgeführt. Es sei mir auch an dieser Stelle gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Prof. E. Wiedemann, für die vielseitige Unterstützung und Anregung, sowie den Hrn. Privatdocenten Dr. H. Th. Simon und Dr. G. C. Schmidt für ihr im reichsten Maasse bewiesenes Interesse meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Erlangen, Ende Juli 1896.