

eine möglichst glatte ist. — Eine Anode reflectirt die Kathodenstrahlen merklich ebenso, wie eine neutrale Leiterfläche oder ein Isolator. Die reflectirten Strahlen haben, wie die directen Kathodenstrahlen, die Fähigkeit, an ihren Enden Phosphorescenz zu erregen. Sie sind der Deflexion unterworfen, und von einem Magnet werden ihre Enden im selben Sinne abgelenkt, wie die Enden von Kathodenstrahlen, die von der reflectirenden Fläche nach der von den reflectirten Strahlen getroffenen Stelle sich ausbreiten würden.

V. *Ueber den Einfluss der Kathodenform auf die Vertheilung des Phosphoreszenzlichtes Geissler'scher Röhren; von E. Goldstein.*

(Aus dem Monatsber. der K. Acad. d. Wiss. zu Berlin, vom 7. Juli 1881; mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

Als Kathoden der Inductionsentladung in verdünnten Gasen sind für systematische Untersuchungen bisher fast durchweg cylindrische (gerade abgeschnittene) Drähte benutzt worden, in einzelnen Fällen kugelförmige Electroden, noch vereinzelter ebene Kreisscheiben. Derartige Kathodenflächen, welche durch unendlich viele Schnitte in immer gleichgestaltete Hälften getheilt werden können, lassen eine Classe von Erscheinungen nicht hervortreten, die ich an Kathodenflächen von regelmässigem Umriss, auf denen indess keiner Symmetrierichtung eine unendliche Anzahl gleichwerthiger entspricht, aufgefunden habe. Es handelt sich um höchst regelmässige, dabei aber den Kathodengestalten selbst meist durchaus unähnliche Figuren, zu denen das Phosphoreszenzlicht der von jenen Kathoden aus bestrahlten Gefässwandungen sich anordnet. Unter Vorbehalt einer detaillirten Darstellung erlaube ich mir hier eine allgemeine Charakteristik der wesentlichsten Erscheinungstypen dieses Gebietes zu geben.¹⁾

1) Eine vorläufige Notiz ist im Wien. Acad. Anz. vom 13. Jan. d. J. abgedruckt. — Die Erscheinung unähnlicher Abbildungen einer Kathode im Phosphoreszenzlicht hatte ich für den Fall cylindrischer Krümmung der Kathode schon 1876 (Wien. Ber. 74. (2) p. 465) erwähnt.

Zunächst wurden concave sphärische Kathodenformen untersucht, aus ungehärtetem Stahlblech hergestellt, das nach den betreffenden Kugelformen erst gestanzt und dann nachgeschliffen wurde. Die Kathoden waren im Mittelpunkt ihrer Convexseite an Drähte angelöthet, welche die Entladung zuführten, selbst aber von der Kathode ab bis zum Austritt aus dem Gefässe durch ein übergeschobenes Thermometerrohr isolirt waren.

Die Entladungsgefässe waren Glaskugeln von 4–5 cm Radius; die Axe des als Kathode eingesetzten sphärischen Hohlspiegels fiel in einen Durchmesser des Gefässes. Der Abstand der Kathode von der Wandung, auf diesem Durchmesser vom Spiegelmittelpunkt aus gemessen, konnte variirt werden; für die zunächst zu erwähnenden Versuche wurde er gleich dem doppelten Krümmungsradius der Kathodenschale gemacht.

Nimmt man nun z. B. an, wie dies Crookes in seinen bekannten Veröffentlichungen thut, dass von jedem Punkte einer concaven Kathode nur ein nach der Flächennormale gerichteter geradliniger Strahl sich ausbreitet, so würde das Phosphoreszenzbild einer Kugelschale auf einer um den doppelten Krümmungsradius der letzteren entfernten sphärischen concaven Wand ein in Form und Dimensionen identisches Abbild der Kathode sein, wenn das Kugelgefäss gleichen Radius wie die Kathode hätte; es wäre ein genau in der Form, sehr nahe in den Dimensionen übereinstimmendes Abbild, wenn der Gefässradius wie in meinen Versuchen grösser ist als derjenige der Kathode, ohne dass die letztere jedoch eine bedeutende Apertur hat. In dem Charakter der zu erwartenden Erscheinung wird nichts hier Wesentliches geändert, wenn man auch die schwächere Phosphoreszenz berücksichtigt, welche die von den Randelementen der Kathode schräg bis zu tangentialer Richtung ausgesandten Strahlen¹⁾ veranlassen.

1. Von den hiernach zu erwartenden Figuren weichen die beobachteten im Allgemeinen durchaus ab.

Fig. 9, Taf. III stellt in natürlicher Grösse ein Quadrat dar, das nach einer Kugel von 40 mm Durchmesser

1) Goldstein, N. F. electr. Abstoss. p. 11.

geschliffen wurde, und Fig. 9_b stellt ebenfalls in natürlicher Grösse das Phosphoreszenzbild dar, welches diese Kathode bei starker Evacuation auf einem Gefäss von 8 mm Durchmesser erzeugt: einen vierstrahligen Lichtstern, dessen Strahlenaxen senkrecht sind zu den Seiten des Kathodenquadrats.

In die Lichtfigur ist, um die relative Orientirung, wie sie sich perspectivisch darstellt, zu charakterisiren, in Punkten nochmals der Kathodenumriss eingezeichnet.

Bei äusserster Verdünnung treten, wenig markirt, in diesem Bilde noch vier viel kürzere, von der Mitte der Erscheinung ausgehende Strahlen auf, welche den Richtungen der Kathodendiagonalen entsprechen.¹⁾

Ein gleichseitiges, nach derselben Form gekrümmtes Dreieck erzeugt (Taf. III Fig. 10) einen dreistrahligen Stern, dessen Strahlenaxen senkrecht stehen auf den Dreiecksseiten. Entsprechend geben die Formen des Fünf-, Sechs-, Sieben- und Achtecks Sterne, deren Strahlenzahl mit der Seitenanzahl des Polygons übereinstimmt, und deren Strahlenaxen perspectivisch die Mitten der entsprechenden Polygonseiten unter rechtem Winkel kreuzen.

Bemerkenswerth ist die Orientirung dieser Bilder gegen die Kathode in genetischer Hinsicht. Verdeckt man nämlich den oberen Theil eines Kathodenpolygons durch einen zwischen Kathode und Krümmungsmittelpunkt ihr nahe gestellten Schirm, so fehlen im Bilde dann ebenfalls obere Sternarme. Die letzteren werden also nicht, wie man wohl erwartet hätte, durch die Strahlung der diametral gegenüberliegenden Theile der Kathode erzeugt.

Ein vierarmiges Kreuz (Taf. III Fig. 11_a nat. Gr.),

1) In den beigegebenen Abbildungen von Theilen einer Kugelfläche sind die Bogen grösster Kreise zwischen dem Centrum der Lichtfigur und den einzelnen Punkten der die Lichtflächen begrenzenden Contouren annähernd dargestellt durch ihre Sehnen, resp. in den verkleinerten Figuren durch die entsprechenden aliquoten Theile dieser Sehnen. Es entspricht dies dem angewandten Messungsverfahren, bei welchem Entfernungen auf der Kugeloberfläche durch die directe Spitzendistanz eines aufgesetzten Zirkels bestimmt wurden.

ebenfalls nach einer Kugel von 40 mm Durchmesser geschlagen und geschliffen, gibt an der Wand eines 8 cm Gefässes die Fig. 11, Taf. III, in welcher ebenfalls zur Andeutung der relativen Lage die Kathode noch punktirt eingezeichnet ist.

Den Metallarmen der Kathode entsprechen also in der Phosphoreszenzfigur dunkle Arme eines Kreuzes, die Lichtfelder correspondiren mit den Zwischenräumen der Kathodenschenkel.

Ist die Kathode entsprechend dreiarbig gebaut (mit Winkeln von 120° zwischen je zwei Schenkeln), so erhält man eine Figur mit drei dunkeln Armen. Die letzteren fallen perspectivisch wieder auf die Metallschenkel, die hellen Felder auf die Zwischenräume zwischen den Metallarmen.¹⁾ Bei der vierstrahligen Figur sind indess, gleiche Breite und gleiche vom Centrum aus gemessene Länge der Kathodenschenkel vorausgesetzt, die dunkeln Arme der Bildfigur viel schmäler als bei der dreistrahligem.

Analoge Figuren ergeben sich, wenn die Kathode fünf oder sechs (gleichmässig vertheilte) Arme hat, nur werden die dunkeln Felder, welche den Metallarmen entsprechen, nicht nur absolut, sondern auch relativ, d. h. im Verhältniss zur Breite der hellen Zwischenfelder, mit wachsender Schenkelszahl immer schmäler.

Diese beiden Formtypen, das Polygon und der aus Rechtecken gebildete Stern, mögen vorläufig zur Veranschaulichung der bei starker Evacuation auftretenden Bildformen genügen.

2. Die Bilder derartiger Kathoden ändern sich wesentlich bei variirender Gasdichte.

Die oben charakterisirten Bildformen gelten für Gasdichten, die in der Nähe von $\frac{1}{100}$ mm Quecksilberdruck liegen. Man kann die Phosphoreszenz indess, wenn man zugleich Funken in freier Luft in die Entladung einschaltet, von Drucken ab, die wenig unter 1 mm oder selbst oberhalb dieses Druckes liegen, verfolgen. Man erhält dann zum Beispiel

1) Eine Angabe in Carl's Repert. 1880. p. 244, wonach eine Art dreistrahligem Sterns einfach ein aufrechtes Abbild der Kathode liefert, habe ich in zahlreichen Versuchen zur Reproduction des dort angegebenen Arrangements niemals bestätigen können.

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

für die vierarmige Kreuzkathode Taf. III Fig. 11_a (Krümmungsradius 20 mm) nach einander die Bilder Fig. 12_a bis Fig. 12_e, auf welches letztere dann bei noch stärkerer Evacuation das in Fig. 11_b dargestellte Bild folgt.

Also zuerst ein Abbild der Kathodenform selbst, ein Kreuz nahe in den Dimensionen einer cylindrischen Projection der Kathode auf die Wand. Die Arme des Bildkreuzes verschmälern sich, und seine Schenkel werden zu den Mittellinien eines wohlcontourirten Quadrates, das als erleuchteter Untergrund um das Kreuz hervortritt. Bei abnehmender Dichte verkleinert sich das Quadrat, während seine Erleuchtung immer mehr zunimmt. Seine Seiten verlängern sich (Taf. III Fig. 12_e) über die Winkelpunkte hinaus und bilden Spitzbogen, die auf den Quadratseiten ruhen. Das Mittelkreuz verschwindet, nur der Kreuzungspunkt seiner Schenkel bleibt als heller Mittelpunkt der ganzen Erscheinung zurück.

Das Quadrat wird nun immer kleiner, und im selben Verhältniss verschmälern sich die aufgesetzten Spitzbogen. Dies geschieht, indem die concaven Seiten ihrer Grenzcontouren einander immer mehr sich nähern und sich über einander verschieben (Taf. III Fig. 12_a u. 12_e). Indem mit wachsender Gasverdünnung diese Verschiebung im selben Sinne fortschreitet, treten die vorher sich kreuzenden Bogenpaare schliesslich ganz auseinander und lassen zwischen ihren convexen Seiten einen dunkeln Zwischenraum; und so entsteht die schon in Fig. 11_b für starke Evacuation dargestellte Form des dunkeln Kreuzes.

Die vorstehend dargestellte Reihe von Veränderungen ist typisch auch für die successiven Bilder, welche Kreuze, resp. Sterne von anderer Schenkelzahl geben.

Man erhält jedesmal zuerst ein der Kathode sehr ähnliches Bild annähernd in ihren natürlichen Dimensionen. Die Betrachtung dieses Falles für den dreistrahligen und den fünfstrahligen Stern (Taf. III Fig. 13 u. Fig. 14) lässt hierbei erkennen, was bei dem vierstrahligen und überhaupt bei geradzahligen regulären Sternen sich nicht markiren kann, dass diese Bilder umgekehrte, durch Strahlenkreuzung entstehende Abbildungen der Kathode sind.

Um diese Abbildungen erhellt sich dann der Untergrund, von soviel Seiten begrenzt, als der Kathodenstern Schenkel hat. Die Schenkel der Bildsterne bilden die kleinen Radien der so entstehenden Polygone. Bei fortschreitender Gasverdünnung verkleinern sich diese Bildpolygone, indem ihre Flächen immer heller werden; die eingezeichneten Bildsterne verschwinden bis auf die hell noch eine Zeit lang markirt bleibenden Mittelpunkte. Auf jede Seite des Polygons erscheint ein Spitzbogen analog wie in Fig. 12_c aufgesetzt. Die concaven Spitzbogencontouren nähern sich einander immer mehr, je weiter die Verdünnung geht, und schliesslich treten durch ganz entsprechende Verschiebungen der Bogen, wie bei Fig. 12_d u. 12_e, zwischen hellen Feldern dunkle Schenkel hervor, welche letzteren wieder mit den Metallarmen der Kathode correspondiren.

Für die Kathoden von Polygonform mag der Typus der successiven Veränderungen bei abnehmender Gasdichte durch die Bilderreihe illustriert werden, welche ein concav sphärisches Quadrat liefert (Taf. III Fig. 15). Fig. *c* und *d* sind dabei der Deutlichkeit halber im Verhältniss etwas zu gross dargestellt.

Hat das Kathodenpolygon ungerade Seitenzahl, so sind die den Figuren 15_{b-a} entsprechenden Lichtpolygone umgekehrt orientirt wie die Kathodenpolygone, analog der an den ungeradzahligen Sternkathoden gewonnenen Beobachtung.

Die bisher beschriebenen und abgebildeten Lichtgestalten sind an den Phosphoreszenzbildern der betreffenden Kathode dasjenige, was dem Beobachter zunächst und stets überwiegend ins Auge fällt. Bei näherer Betrachtung bemerkt man indess, dass auch die übrige Fläche der Gefässkugel nicht ganz lichtlos ist, sondern noch an verschiedenen Stellen lichtschwächere Phosphoreszenzflächen zeigt. Die Begrenzungen dieser Flächen sind bei den Figuren der Sternkathoden Verlängerungen der Lichtcurven, welche die Hauptfigur begrenzen, bei den Polygonkathoden sind es Erweiterungen der an der Lichtfigur beobachteten Sternstrahlen. Theils weil hiernach eine vorläufig hinreichende Ergänzung der gezeichneten und beschriebenen Bilder durch diese lichtschwächeren Partien

dem Leser möglich sein dürfte, theils der räumlichen Oeconomie wegen abstrahire ich bis zu einer ausführlicheren Darstellung für die einzelnen Beobachtungen von einem näheren Eingehen auf jene Aussenpartien. Als veranschaulichendes Beispiel diene das in Taf. III Fig. 16_a u. 16_b gezeichnete Bild einer ca. 9 cm im Durchmesser haltenden Gefässkugel, wie es bei Anwendung der Kreuzkathode Fig. 11_a in der Spitzbogenphase und in der Phase des dunkeln Kreuzes sich darstellt.

3. Ich habe ausser den Formen, welche durch blosse Variation von Seiten- und Schenkelzahl bei Polygonen und bei aus Rechtecken zusammengesetzten Sternen sich ergeben, noch die Bilder zahlreicher anderer, theils einfacher, theils zusammengesetzter Kathodenfiguren untersucht, um Generelles und Individuelles möglichst scheiden zu können. So wurden z. B. von einfachen Formen untersucht: Rechteck, Rhombus, Rhomboid, gleichschenkligh-rechtwinkliges Dreieck etc.; von zusammengesetzten Formen: schiefwinklige, aus Rechtecken zusammengesetzte Kreuze, sowie Kreuze aus gleichschenkligen Dreiecken gebildet, welche letzteren entweder mit den Spitzen oder mit den Grundflächen zusammenstiessen; ferner Figuren, die aus Quadraten durch Ausschneiden von Kreis-segmenten oder von kleineren Quadraten an den vier Seiten entstehen, etc.

Soweit an den Bildern dieser Kathodenformen nur der Einfluss des concreten Kathodenumrisses und der variirenden Gasdichte sich manifestirt, glaube ich bis zu einer ausführlicheren Darlegung des Ganzen von einer Schilderung der betreffenden Erscheinungen absehen zu sollen.

Für alle die erwähnten Kathodenformen aber gelten gemeinsam folgende Regelmässigkeiten (4—7):

4. Bei constanter Gasdichte ändern sich die Formen der Phosphoreszenzbilder (nicht nur ihre absoluten Dimensionen), wenn die Distanz der Kathode von der Gefässwand sich ändert, und zwar treten bei abnehmender Wanddistanz ganz dieselben Figuren und in derselben Reihenfolge auf, wie bei constanter Wanddistanz und abnehmender Gasdichte.

Statt die Wanddistanz durch Verschiebung der Kathode

zu ändern, kann man auch, wie in einem Gefäss, Taf. III Fig. 17, die auffangende Wand W gegen die Kathode verschieben.

Stellt man die Versuche mit variirender Wanddistanz auch bei verschiedener Gasdichte an, so muss man, um eine bestimmte Bildform in eine andere bestimmte aus derselben Figurenreihe übergehen zu lassen, die Wand um eine desto grössere Strecke verschieben, je geringer die Gasdichte ist.

Dies zeigt, dass alle Figuren, welche eine Kathode bei abnehmender Gasdichte an einer fixirten Wand hervorruft, schon bei einer concreten, beliebig gewählten Gasdichte hinter einander im Raume gleichzeitig existiren, und dass die verschiedenen Bilder entstehen, indem die Strahlen an verschiedenen Stellen des Raumes sich in verschiedener Weise kreuzen und configuriren. — Bei abnehmender Gasdichte strecken sich die Bilder auseinander und von der Kathode weg, wohl indem die von der Kathode aus zunächst convergirenden Strahlen weniger convergent werden und da, wo sie hinter der Durchkreuzung divergiren, ihre Divergenz vermindern.

Der geschilderte Einfluss der Wanddistanz lässt erwarten, dass die in Taf. III Fig. 12 u. Fig. 15 mit Beispielen belegte Bilderreihe einer um den doppelten Krümmungsradius entfernten Kathode noch nicht alle Formen umfasst, welche die betreffende Kathode überhaupt produciren kann, sondern dass eine Verminderung der Wanddistanz bei höchster erreichbarer Verdünnung im allgemeinen noch geänderte Bilder geben würde. Dieser Schluss findet sich bestätigt; indess sind meist die dann noch auftretenden Veränderungen nicht mehr so auffallend wie bis zu den ohnedies erreichbaren Formen. Als weiterhin verwerthbar erwähne ich daher vorläufig nur, dass bei einer Verminderung der Wanddistanz die dunkeln Arme des Kreuzes Fig. 11, zunächst noch beträchtlich an Breite zunehmen.

5. Wenn man congruente, anfangs plane Figuren nach Kugeln von verschiedenem Radius ϱ , ϱ_1 , ϱ_2 stantzt und dann in congruenten Gefässen den Kathoden gleiche Wanddistanz gibt, so stellen bei gleicher Dichte ihre Bilder verschiedene Phasen der von einer einzigen solchen Kathode bei variirender

Wanddistanz zu erzielenden Figurenreihe dar; und zwar entspricht die von einer bestimmten Kathode *K* erzeugte Figur einer desto grösseren Wanddistanz der Vergleichskathode, je grösser die Krümmung der Kathode *K* ist.

Dies Resultat wäre wohl auch a priori als wahrscheinlich zu erachten. Indess würde man vielleicht vermuthen, dann gleichzeitig gleiche Figuren von verschiedenen (in planem Zustande congruenten) Kathoden zu erhalten, wenn man bei verschiedenem Krümmungsradius $\rho, \rho_1, \rho_2 \dots$ die Wanddistanz gleich $n\rho, n\rho_1, n\rho_2 \dots$ gleich demselben Vielfachen oder Submultiplum des Krümmungsradius machte, also z. B. jede der Kathoden um ihren doppelten Krümmungsradius von der Wanddistanz entfernt aufstellt.

Aber auch dann zeigt der Versuch die Bildphasen verschieden, und die Verstärkung der Krümmung wirkt im selben Sinne wie cet. par. eine Vergrösserung der Wanddistanz oder eine Vermehrung der Gasdichte.

Dieser Einfluss geht so weit, dass es bei einigermaßen stark gekrümmten Kathoden gar nicht mehr sich möglich erweist, durch Verdünnung des Gases diejenigen Formen der Figurenreihe hervorzurufen, welche bei minder stark gekrümmten Electroden den untersten Stufen der Dichtescala entsprechen. Man kann z. B. bei einem vierarmigen Kreuz wie Taf. III Fig. 11_a, dessen Krümmungsradius statt 20 mm nur 12½ mm beträgt, durch Gasverdünnung beim Abstände 2ρ nicht mehr bis zur Phase des dunkeln Kreuzes (Taf. III Fig. 11_b) gelangen. Die Figur, die hier bei der äussersten Verdünnung vor Erlöschen des Stromes entsteht, ist die Spitzbogenfigur (Taf. III Fig. 12_c).

6. Lässt man die allgemeine Form einer Kathode und ihre Krümmung unverändert, vergrössert aber die Apertur der Kathode, so wirkt diese Vergrösserung ebenfalls wie eine Vergrösserung der Wanddistanz.

Ersetzt man z. B. ein Quadrat von 12 mm Seite, das nach einer Kugel von 40 mm Durchmesser gestantzt ist, durch ein gleich gekrümmtes von 30 mm Seitenlänge, so kommt man auch bei der äussersten Verdünnung nicht weiter

als bis zur Fig. 15_a Taf. III, während das kleine Quadrat alsdann die Fig. 15_g zeigt.

Analoges tritt bei den complicirteren Kathodenformen, also z. B. bei dem aus Rechtecken zusammengesetzten vierarmigen Kreuz (Taf. III Fig. 11_a) hervor. Wird das Kreuz von 20 auf 25 mm verlängert, ohne Aenderung der Schenkelbreite, so ist durch die grösste Verdünnung, bei welcher der Strom noch durchgeht, eben noch das dunkle Kreuz zum Erscheinen zu bringen; irgend welche erhebliche Breite ist den dunkeln Schenkeln aber nicht mitzuthellen.

Wird das Kreuz auf 40 mm verlängert, so erscheint das dunkle Kreuz überhaupt nicht mehr, und man erreicht durch stärkste Evacuirung nur die Fig. 12_c Taf. III, die breiten Spitzbogen.

Die Resultate sind qualitativ identisch, wenn man neben der Länge der Schenkel in demselben Verhältniss ihre Breite vermehrt.¹⁾

7. Die in Nr. 5 erwähnten Versuche zeigen, dass die Bildphase sich ändert, wenn plane congruente Kathodenplatten nach verschiedenen Kugeln gekrümmt werden. Da dieselbe Figur, an verschiedene Kugeln geschmiegt, einen Spiegel von um so grösserer Apertur bilden wird, je kleiner der Kugelradius ist, so könnte es scheinen, als wäre das in Nr. 5 über den Einfluss vergrösserter Krümmung angeführte Resultat vielleicht nur bedingt durch den in Nr. 6 dargelegten Einfluss der vergrösserten Apertur.

Dann würde man erwarten, dass Kathoden von gleicher Form und verschiedener Krümmung bei gleicher Apertur in Wandabständen, die gleiche Vielfache ihres Krümmungs-

1) In einer Beziehung lassen die in den vorhergehenden beiden Paragraphen behandelten Aenderungen der Kathodenkrümmung und Apertur nicht immer sich ganz compensiren durch Aenderungen der Gasdichte oder der Wanddistanz: das der Fig. 15_g Taf. III entsprechende Schlussglied der Bilderreihe eines Kathodenpolygons zeigt bei den Kathoden von grösserer Krümmung, resp. von grösserer Apertur, eine reichere Differenzirung und feineres Detail; die gröbere Figur kann man bei diesen Kathoden nicht hervorrufen. Näheres in der ausführlichen Darstellung.

radius darstellen, bei gleicher Gasdichte gleiche Bildphasen geben.

Ich liess nach diesem Princip eine Reihe von Kathoden herstellen, z. B. drei vierarmige Kreuze I, II, III von:

(I)	(II)	(III)
$12\frac{1}{2}$ mm	20 mm	$26\frac{3}{4}$ mm (Krümmungsradius (ρ))

Ihre Längen waren:

$12\frac{1}{2}$ mm	20 mm	$26\frac{3}{4}$ mm,
--------------------	-------	---------------------

und ihre Schenkelbreiten:

$2\frac{1}{2}$ mm	4 mm	$5\frac{1}{3}$ mm.
-------------------	------	--------------------

Die Kathoden bedeckten demnach sämtlich gleiche aliquote Theile ihrer Krümmungskugeln. Sie wurden um je 2ρ , also resp. 25, 40, $53\frac{1}{2}$ mm von der Wand gleicher Kugelgefässe entfernt aufgestellt.

Es ergab sich, dass auch hier keine Identität der Bildphasen für gleiche Dichte stattfindet, sondern die Bilder der Kathoden II und III entsprachen jedesmal solchen Figuren, wie die Kathode I sie bei vergrösserter Wanddistanz geben müsste. — Dies fand statt, gleichviel ob man die beiden Electroden jedes der drei Entladungsgefässe einzeln mit den Polen des Inductoriums verband, oder ob man, um gleicher Entladungsintensität sicher zu sein, den Strom gleichzeitig durch alle drei hintereinander verbundenen Gefässe und ihre Kathoden schickte.

8. Die bei sphärischen Kathoden auftretenden Phosphoreszenzfiguren werden durch andere ersetzt, wenn man die ursprünglich planen Kathoden nicht nach Kugeln stantzt, sondern sie auf Cylinder oder Kegel abwickelt.

Ich begnüge mich, in diesem cursorischen Bericht hervorzuheben, dass bei Cylinderkathoden die Phosphoreszenzbilder verschieden sind je nach der Lage, welche die Axe des Krümmungscylinders gegen die Symmetrielinien der Kathodenfigur hat. Man erhält z. B. bei einer auf einen Cylinder abgewickelten Quadratkathode andere Bilder, jenachdem die Cylinderaxe parallel einer Seite des Quadrats oder parallel einer Diagonale desselben verläuft. Ebenso sind ausgeprägte Unterschiede bei den Bildern der Kreuz-

figuren vorhanden, jenachdem die Cylinderaxe in der Richtung der Kreuzschenkel verläuft oder die Winkel zwischen den Kreuzarmen halbirt.

9. Was nun die Ursache der bisher geschilderten Phänomene betrifft, so dürfte gegenüber einem jedenfalls noch unvollständig bekannten Erscheinungsgebiete eine gewisse Reserve in der Aufstellung von Erklärungen wohl am Platze sein. Ein Zweifel an der Durchführbarkeit des Versuchs, einen grossen Theil dieser Erscheinungen mit bereits bekannten Ursachen in einfache Verbindung zu bringen, dürfte durch die in Nr. 10 niedergelegten Beobachtungen über die sogar von ebenen Kathoden gelieferten Bilder nur gestützt werden. Ich glaube höchstens einige experimentelle Andeutungen über die Richtung wiedergeben zu sollen, in welcher anscheinend eine Erklärung für mehrere Erscheinungen der Sternkathode zu suchen sein dürfte. Ueber die Ursache der meisten Erscheinungen, welche die oben erwähnten Polygonkathoden liefern, erlaube ich mir hier noch keine Muthmassung. Die sternförmigen Kathoden sind allerdings auch Polygone mit einspringenden Winkeln, und ihre causale Trennung von den oben behandelten Polygonflächen könnte auf den ersten Blick unnatürlich erscheinen. Indess sind die an den Sternkathoden zu erklärenden Erscheinungen hauptsächlich solche, welche gerade mit dem Vorhandensein der einspringenden Winkel eng zusammenhängen, und die schon aus einer Berücksichtigung nur der Flächenränder mit grosser Annäherung abzuleiten sind. Die von den eigentlichen Flächen veranlassten Erscheinungen treten bei diesen Kathodenformen, deren Flächenräume relativ unbedeutend sind im Verhältniss zur Ausdehnung ihres Umrisses, zurück gegen die durch die Einbuchtungen des Umrisses und seine Ränder bedingten Phänomene, und die ersteren bleiben hier also ebenso unerklärt wie bei den Polygonen mit concaven Winkeln, bei denen die Flächenerscheinungen aber das Ganze der beobachteten Erscheinungen überhaupt darstellen. Nur die bei geringen Verdünnungen an beiden Arten von Polygonen wahrnehmbaren Flächenerscheinungen lassen sich in erster Annäherung erklären.

Dass die bei relativ geringen Verdünnungen auftretenden Abbildungen einer Sternkathode dadurch entstehen, dass die von der einen Flächenhälfte ausgesandten Strahlen mit denen der anderen Hälfte sich kreuzen, war schon durch die früher erwähnten Versuche mit Sternen von ungerader Schenkelzahl (p. 258) wahrscheinlich gemacht. Besser zeigen es indess Versuche mit schattenwerfenden Schirmen, die ausserdem den Beweis auch für geradzahlige Kathoden liefern.

Stellt man nämlich (Taf. III Fig. 18_a) einen Schirm aus Papier oder aus Glimmer vor der Kathode in einem Abstand von ihrem Centrum auf, der kleiner als der Krümmungsradius sei, derart, dass z. B. die untere Hälfte der Kreuzkathode verdeckt ist, so fehlt in dem Phosphoreszenzbilde die obere Hälfte des Kreuzes (Fig. 18_b).

Da bei einer bestimmten Gasdichte diese Bilder für die Wanddistanz 2ρ nahe gleiche Dimensionen wie die Kathode selbst zeigen, so folgt (abweichend von der eingangs erwähnten generellen Behauptung), dass die bilderzeugenden Strahlen mindestens zu einem grossen Theile unter diesen Umständen senkrecht zu den emittirenden Flächenelementen sind, — vorausgesetzt, dass wir ihren Verlauf bis zur Wandung als geradlinig betrachten dürfen.

(Durch ganz entsprechende Versuche findet man, dass die bei geringen Verdünnungen beobachteten Abbildungen der gewöhnlichen Polygonkathoden durch Kreuzung der Strahlen entstehen, welche von symmetrisch zum Kathodencentrum gelegenen Punkten ausgehen..)

Wie das Abbild der Kreuzkathode ist auch in der Contour des Vierseits, welches (Fig. 12_b, Taf. III) bei abnehmender Gasdichte um das Bildkreuz auftritt, jede Seite aus Strahlen der gegenüberliegenden Kathodenhälfte gebildet. Wie aber die Figur dieses Vierseits des Näheren zu Stande kommt, bleibt noch festzustellen.

Ueber die bei geringerer Dichte auftretenden Bildformen erhält man befriedigendere Aufklärung; man braucht zunächst nur eine Schirmplatte *P* (Taf. III Fig. 19_a) zwischen ein Paar Kreuzschenkel einzuschalten, sodass sie nach der Concavseite über die Kathode hervorragt. Die Schirmplatte sei

rechteckig, und der nach der Bildseite vorgeschobene Rand der Platte heiße ihr Vorderrand. Ich vermuthete und fand es bestätigt, dass die den stärkeren Verdünnungen entsprechenden Figuren entstehen, indem die von einem Kathodenschenkel ausgesandten Strahlen von dem benachbarten Schenkel eine Abstossung erleiden gleicher oder ähnlicher Art, wie ich sie in meiner Arbeit über die Deflexion beschrieben habe. — Durch eine feste Platte wirkt die Deflexion nicht hindurch.

Entsteht nun ohne die Zwischenplatte bei starker Evacuation die wiederholt erwähnte Figur mit dem dunkeln Kreuz, so erhält man bei Einschaltung der Platte das Bild Taf. III Fig. 19_b, oder, wenn der Vorderrand von *P* weniger über die Kathode hinausragt, die Fig. 19_c.

Im ersten Falle erscheint also in der Phosphoreszenzfigur nur der linke Grenzbogen des oberen Kreuzschenkels und nur der untere Grenzbogen des rechtsseitigen Schenkels; die beiden dunkeln Schenkel selbst sind gar nicht wahrnehmbar, sondern der Raum zwischen den erwähnten beiden Grenzbogen ist von continuirlicher Erleuchtung erfüllt.

Die fehlenden beiden Grenzbogen entstehen also durch eine von der Zwischenplatte verhinderte, bez. beeinträchtigte Wirkung zwischen dem oberen und dem rechtsseitigen Schenkel.

Wird die Platte ein wenig zurückgezogen, so erscheint, wie erwähnt, das Bild Taf. III Fig. 19_c. Die im ersten Bilde fehlenden dunkeln Arme treten hier als ganz schmale Streifen auf, und die entsprechenden beiden Grenzcurven sind sehr lichtschrach. Je mehr die Zwischenplatte gegen die Kathode hin zurückgezogen wird, desto breiter werden die beiden dunkeln Arme, und desto mehr nähert sich auch die Helligkeit der beiden Grenzcurven der normalen.

Die Einwirkung zwischen je zwei benachbarten Schenkeln, welcher die dunkeln Arme ihre Entstehung verdanken, kann zunächst in dreierlei Form gedacht werden, entweder 1) als unmittelbare Wirkung der beiden Kathodenschenkel auf einander, welche mittelbar dann den Gang ihrer electrischen Strahlen alterirte; oder 2) als Wirkung jedes Schen-

kels auf das von dem anderen ausgesandte Strahlensystem; oder endlich 3) als Wirkung der beiden Strahlensysteme aufeinander.

Eine nähere Erörterung über die relative Brauchbarkeit der drei concurrirenden Hypothesen würde hier zu weit führen; ich erlaube mir lediglich zu bemerken, dass die Annahme ad 1), soviel ich sehe, mit den Detailscheinungen der Deflexion in nicht zu beseitigenden Widerspruch tritt; zwischen 2) und 3) kann noch nicht bestimmt entschieden werden. Mit Rücksicht darauf indess, dass die dritte Annahme einige experimentell vorläufig noch nicht erwiesene, accessorische Annahmen erfordert, werde ich die weiter versuchte Erklärung in der Sprache der Hypothese 2) ausdrücken, die ich auch in meiner Arbeit über die Deflexion zur näheren Beschreibung der Thatsachen durchweg benutzt habe.

Werden nun (Taf. III Fig. 20) von dem Rande a des rechten Schenkels 1 nach b hin Strahlen gesandt, so müssen diese nach den Gesetzen der Deflexion von dem Rande b und der ganzen Fläche von 2 abgestossen werden. Dasselbe findet für die vom linken Schenkel emittirten Strahlen bei c statt. Es sei Taf. III Fig. 21 eine rohe Darstellung der Kathode, bei der dieselbe aus der Lage Taf. III Fig. 20 mit der oberen Hälfte um 90° nach vorn herausgedreht ist, und l , r mögen bezüglich die oberen Ränder des linken und des rechten Schenkels, o den perspectivisch verkürzten oberen Schenkel andeuten. Die Abstossung, welche o auf die von r und l emittirten Strahlensysteme ausübt, bewirkt dann, dass die gegenseitige Convergenz der beiden letzteren sich vermindert, jedoch so, dass beide Strahlensysteme immer noch einander durchkreuzen (bei x in Taf. III Fig. 22).

Rückt nun eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte phosphoreszenzfähige Platte in den strahlenleeren Raum zwischen der Kreuzungsstelle x und o , so wird sich auf ihr ein dunkler Raum zeigen, begrenzt durch die hellen Durchschnitte mit den abgestossenen Strahlensystemen — also der obere Schenkel des dunkeln Kreuzes mit seinen beiden hellen Grenzbogen. Mit abnehmender Gasdichte verstärkt sich die

Abstossung; die Convergenz beider Strahlenbündel wird also noch mehr verringert, der Kreuzungspunkt x rückt weiter von der Kathode ab, und die Platte kann nun, um das dunkle Kreuz zu zeigen, einen grösseren Abstand von der Kathode haben, als vorher. Wie sich schon bei Untersuchung der Deflexion zeigte, werden durch die der abstossenden Fläche näheren Strahlen die entfernteren gleichsam mit fortgerissen, dabei aber um kleinere Winkel als die ersteren abgelenkt: es findet also eine Zusammendrängung der abgelenkten Strahlen an der nach der abstossenden Fläche gekehrten Seite statt — daher die grosse Helligkeit der schmalen, die dunkeln Arme unmittelbar begrenzenden Contouren.

Rückt die phosphorescirende Platte von o weg über x hinaus, so muss das dunkle Kreuz auf ihr natürlich verschwinden, da die Platte in einen o gegenüber mit Strahlen erfüllten Raum gelangt. Es muss dann auf der Platte gegenüber o ein helles Feld erscheinen, dessen äussere Contouren wieder von dem Durchschnitt der Platte mit den Grenzflächen der abgelenkten Strahlensysteme gebildet werden. Berücksichtigt man, dass nach der Form der dunkeln Kreuzarme die gekrümmten Wände dieser Strahlensysteme vor der Durchkreuzung einander ihre convexen Seiten zukehren, so müssen jenseits x ihre concaven Seiten einander zugewendet sein, und es müssen sich die durch Beobachtung gefundenen „Spitzbogen“ bilden.

Es wird somit der obere Spitzbogen (Taf. III Fig. 23) nicht, wie man wohl anfangs erwartet hätte, durch Strahlen des oberen Kathodenschenkels gebildet, sondern er entsteht durch die Strahlen der beiden horizontalen Kathodenarme, und zwar die linke Hälfte und speciell die Contourlinie l aus Strahlen des rechtsseitigen Schenkels R , die rechte Seite aus Strahlen des Schenkels L .

Ist diese Auffassung der Spitzbogen richtig, so muss sie durch Versuche mit Schattenobjecten sich bestätigen lassen. Dies findet in der That statt.

Setzt man eine Platte als Schattenobject nahe vor die Kathode, sodass sie z. B. wie in Taf. III Fig. 24_a schräg die eine Hälfte der Kathode verdeckt, so beobachtet man

bei der Dichte, welche dem Auftreten der Spitzbogen entspricht, das Phosphoreszenzbild Taf. III Fig. 24_b. Die schwarzen Punkte deuten die fehlenden Begrenzungen an. Die Erscheinung stimmt auf das Genaueste mit der oben gegebenen Erklärung überein.

Evacuirt man bis zu der Dichte, welcher bei unverdeckter Kathode die Figur mit dunklem Kreuz entspricht, so erhält man das Bild Taf. III Fig. 25. Durch Vergleichung mit Taf. III Fig. 24_b erkennt man hier auch sehr gut, dass die gegen einander convexen Grenzcurven eines dunkeln Armes nichts anderes sind als die über einander weggeschobenen, zuvor gegen einander concaven Grenzlinien eines Spitzbogens.

10. Die merkwürdigsten Erscheinungen auf dem hier betrachteten Gebiete sind indess wohl diejenigen, welche ganz ebene Kathodenplatten liefern.

Dass ebene Kathodenplatten, wenn sie eingezackt sind, Erscheinungen werden geben können, welche denen des dunkeln Kreuzes analog sind, wird nach dem Vorhergehenden zu vermuthen sein; denn es werden die von dem einen Rande der Einzackung emittirten Strahlen am anderen Rande derselben abgestossen werden. In der That gibt z. B. auch ein vierarmiges ebenes Kreuz (Taf. III Fig. 26_a) bei 3 bis 4 cm Wandabstand eine solche Figur (Taf. III Fig. 26_b).

Die bei dem gekrümmten Kathodenkreuz beobachteten Figuren 12_c, 12_a u. s. w. treten hier nicht auf, sondern es entwickelt sich, sobald überhaupt bei abnehmender Gasdichte eine Figur erkennbar wird, das dunkle Kreuz; mit weiter verringerter Gasdichte vergrößert es die Breite seiner Arme und lässt in den dem Centrum nächsten Partien der letzteren einen nach aussen rundlich begrenzten Lichtnebel erscheinen (Taf. III Fig. 27).

Wird die Waddistanz, welche 3—4 cm betrug, vermindert, so zieht der Nebel bei zunehmender Helligkeit sich immer mehr zu schärferer Gliederung zusammen, und bei ca. $1\frac{1}{3}$ cm Waddistanz erhält man das in Taf. III Fig. 28 dargestellte Bild: in jedem der vier sonst dunkeln Arme erscheint ein zierlich gegabelter Lichtstengel, dessen Gabelung mit mattem, rundlich begrenzten Lichte ausgefüllt ist, wäh-

rend von einer Gabel zur anderen noch mildleuchtende Streifen sich erstrecken.

Wenn man ein (concav-) sphärisches Kreuz von denselben Dimensionen als Kathode benutzt, dessen Krümmungsradius aber grösser als 25 mm ist, so bemerkt man in den Armen des oft erwähnten dunkeln Kreuzes, das bei geringer Dichte auftritt, ebenfalls schon diese Lichtgabeln. Es findet also, wie zu erwarten, ein allmählicher Uebergang statt von den Formen gekrümmter Kathoden zu denen der ebenen Platten, und es sind principiell für die Erscheinungsbilder der sphärischen Kathoden auch die Lichtformen der planen Flächen massgebend. Soweit nun für die von den letzteren erzeugten Bilder eine Erklärung sich noch nicht geben lässt, bleibt vorläufig auch für eine Anzahl von Erscheinungen der gekrümmten Plächen die causale Ableitung undurchführbar. Das dunkle Kreuz, welches von der ebenen Kreuzkathode producirt wird, konnten wir voraussehen; nicht a priori zu erwarten sind aber die Erscheinungen, welche von Einzackungen und concaven Rändern freie ebene Platten liefern, und die eine ganz neue Classe von Phänomenen darstellen.

Vorweg bemerke ich im allgemeinen, dass die Bilder ebener Platten sich mit abnehmender Dichte zwar auch etwas ändern, aber weit weniger als die Figuren bei gekrümmten Kathoden, und vielfach nur soweit, dass die bei einer bestimmten Dichte hervortretende Figur bei abnehmender Dichte ein reicheres Detail und bestimmtere Contourirungen in etwas zunehmenden Dimensionen erhält. Sollen diese Figuren durch verhältnissmässig kleinflächige Kathoden (1 bis $1\frac{1}{2}$ qcm) erzeugt werden, so müssen die letzteren der Wand des Kugelgefässes ziemlich nahe stehen. Je grösser die Kathodenfläche bei sonst gleicher Form ist, bei desto grösserer Wanddistanz erscheinen die Figuren bereits. Geht man für eine bestimmte Kathode über eine gewisse Distanz hinaus, so erscheint eine nicht weiter gegliederte continuirlich erleuchtete Phosphoreszenzfläche, deren Helligkeit von der Mitte nach aussen stetig und langsam abnimmt.

Wird als Kathode ein ebenes Quadrat benutzt, so erhält man an der Wand des kugligen Entladungsgefässes (9 cm

Durchmesser) das Bild Taf. III Fig. 29. Die relative Grösse und Orientirung der $2\frac{2}{3}$ cm von der Wand entfernten Kathode ist durch eingezeichnete Punkte markirt.

Es erscheint also ein achtstrahliger Stern, von dessen Strahlen vier den Diagonalen der Kathode, vier ihren Mittellinien entsprechende Richtung haben. Ein wenig erleuchteter, quadratischer Raum bildet die Mitte des Grundes, auf welchem dieser Stern erscheint; den dunkeln Mittelraum umschliesst eine helle, nach aussen von vier Bogen contourirte Zone. Die vier den Mittellinien entsprechenden Strahlen haben starke Helligkeitsmaxima innerhalb dieser äusseren Zone, die vier Diagonalstreifen, welche schmäler sind als die ersteren, haben in ihrem Verlaufe gleichmässige Helligkeit; nur nahe um das Centrum der ganzen Erscheinungen haben alle acht Strahlen verstärkte Helligkeit. Die ganze Figur ist bedeutend breiter als das Kathodenquadrat; schon das dunkle Mittelquadrat übertrifft an Grösse das Kathodenquadrat.

Die Figur, welche ein Rechteck von 2 cm und 1 cm Seite mit horizontal liegenden längeren Seiten bei ca. $1\frac{1}{3}$ cm Wanddistanz erzeugt, ist in Taf. III Fig. 30 dargestellt. Die Hauptfigur ist also ein schmaler, der längeren Mittellinie des Rechtecks entsprechender Lichtstreifen, der sich an beiden Enden gabelt und von einem breiten Bande durchsetzt wird. Der Untergrund ist ein an den kürzern Seiten gerundetes Oblong.

Eine plane Kreisscheibe gibt, wie schon in der Einleitung angedeutet, gar keine besondere Figur auf der dem Untergrunde der sonstigen Figuren entsprechenden Erleuchtung, wenn man nicht den hellen Mittelpunkt der Erscheinung als solche Figur betrachten will. Die Strahlen erzeugen eine nicht scharf begrenzte Kreisscheibe mit matt erleuchtetem Inneren und einer helleren Aussenzone. Der Mittelpunkt der Scheibe ist jedoch hell.

Eine Ellipse, deren Axen 10 mm und 20 mm betragen, gibt dagegen schon wieder ein relativ complicirtes Bild (Taf. III Fig. 31). Es entspricht einer Wanddistanz von 1 cm in einer Kugel von ca. $9\frac{1}{2}$ cm Durchmesser.

Alle diese Figuren schieben die Grenzen des Untergrundes nach aussen, je mehr die Gasdichte sich verringert.

Setzt man aus solchen einfachsten Formelementen complicirtere Kathodengestalten zusammen, so werden dadurch auch ihre Bilder noch viel complicirter. Als Beispiel mag das Bild der immerhin relativ einfachen Kathodenform Taf. III Fig. 32_a dienen, eines Quadrates, an dessen Rändern kleinere Quadrate ausgeschnitten sind. Taf. III Fig. 32_b gibt den mittleren Theil des Phosphoreszenzbildes vollständig, von den nach vier Seiten sich anschliessenden Lichtschweiften der Raumersparniss halber nur zwei.

Auf eine grössere Zahl dieser übrigens vielfach durch überraschende Schönheit ausgezeichneten Erscheinungen hier bezüglich des Details einzugehen, dürfte vorläufig ohne sachliches Interesse sein, da die erwähnten einfachen Fälle das Neue und Charakteristische des Erscheinungsgebietes schon genügend hervortreten lassen, nämlich:

- 1) die Thatsache des Auftretens der Figuren selbst;
- 2) den Umstand, dass die Grösse der Bilder mit der Gasdichte variirt und mindestens bei starker Evacuation die Grösse der Kathode merklich übertrifft.

Die letztere Erscheinung, der ich noch eine gesonderte Versuchsreihe gewidmet habe, kann denkbarer Weise zwei Gründe haben:

Entweder die Richtung der Strahlen variirt mit geänderter Gasdichte, und das von einer Ebene ausgesandte Bündel wird desto divergenter, je geringer die Gasdichte ist.

Oder die Richtung der Strahlen bleibt constant, und bei abnehmender Gasdichte wird nur die vorher unmerklich helle Strahlung derjenigen Flächenelemente, die schräg nach aussen gerichtete Strahlen haben, verstärkt.

Die experimentelle Prüfung ergibt, dass der zuerst genannte Grund — Variation der Strahlrichtung bei variiren der Gasdichte — vorzuziehen ist. Von den verschiedenen benutzten Prüfungsmethoden möchte ich wenigstens eine hier andeuten.

Wenn man in eine ebene Scheibe Striche einritz, so markiren diese Ritzen sich im Phosphoreszenzbilde, für welches

die Scheibe als Kathode dient, als schmale dunkle Streifen. Ich liess nun z. B. in Kreisscheiben concentrische und äquidistante Halbkreise so einritzen, dass der äusserste dieser Halbkreise nahe der Scheibenperipherie lag (Taf. III Fig. 33). In dem Phosphoreszenzbilde erscheinen dann schon bei der höchsten Gasdichte, in der es sichtbar wird, ebensoviele dunkle Halbkreise, als in die Kathode eingeritzt sind, zum Beweise, dass schon von diesen höchsten Dichten ab auch die von den äussersten Elementen erregte Phosphoreszenz zur Geltung kommt. Wird weiter evacuirt, so rücken die dunkeln Halbkreise immer weiter auseinander, und es sind ferner bei constanter Gasdichte die Abstände je zweier dunkler Halbkreise desto grösser, je weiter das betrachtete Paar in der ganzen Reihe nach aussen liegt. Das letztere Verhalten zeigt sich auch, wenn man das Phosphoreszenzbild nicht an einer sphärischen Wand, sondern an einer zur Kathodenscheibe parallelen Ebene auffängt.

Die für die ebenen Scheiben geschilderten Erscheinungen führen zu folgenden Schlüssen, bei denen ich zunächst die „innern“, nicht die unmittelbar an der Aussencontour liegenden „Randelemente“ im Auge habe:

1) Die verschiedenen Punkte einer ebenen Platte sind nicht gleichwerthig in Bezug auf die Emission von Kathodenstrahlen, sondern die Intensität der Strahlen hängt ab von der Lage der emittirenden Elemente gegen die Contourlinie der Kathode.

2) Die Strahlen einer ebenen Kathodenplatte bilden im allgemeinen kein paralleles Bündel¹⁾, sondern die Neigung der Strahlen variirt ebenfalls von Element zu Element gemäss dem Abstände von der Umrisslinie der Platte.

3) Die Richtung der von jedem einzelnen Elemente ausgehenden Strahlung variirt ausserdem mit der Gasdichte;

1) Nimmt man an, dass jeder Punkt einer Platte nicht blos einen einzigen Strahl, sondern einen schmalen Strahlenkegel aussendet, so würde in den obigen Sätzen statt Strahl „Axe des Strahlenkegels“ zu setzen sein. Ich bin noch mit Versuchen zur Ermittlung der oberen Aperturgrenze, welche man der Strahlung eines Flächenpunktes zuschreiben darf, beschäftigt.

je geringer die Gasdichte wird, desto mehr weicht die Strahlrichtung von der Normale des Elements, und zwar nach aussen hin ab.

Ob eine Dichte existirt, bei welcher eine nach innen gerichtete Abweichung von der Normale stattfindet, bei welcher die Strahlen also convergiren, muss vorläufig dahin gestellt bleiben.

4) Die mit abnehmender Gasdichte eintretenden Abweichungen der Strahlen sind desto bedeutender, je näher das betrachtete Element der Aussengrenze der Fläche liegt.

11. Auch convexe Kathoden von regelmässigem Umriss geben regelmässige Phosphoreszenzbilder.

Dabei liefern sphärisch convexe Formen, soweit ich bisher beobachtete, dieselben Figuren wie ebene Kathoden von gleichem Umriss; nur wegen der stärkeren Divergenz der Strahlen, bei gleicher Wanddistanz in viel grösseren Dimensionen.

Bei cylindrisch gekrümmten Convexschalen sind die Figuren planer Scheiben von gleichem Umriss, wie zu erwarten, deformirt; das Bild dehnt sich *cet. par.* senkrecht zur Cylinderaxe stärker aus als in ihrer Richtung, und um so stärker, je stärker die cylindrische Krümmung ist.

12. Eine fernere Abtheilung von einfachen Kathodenformen, die zu Figuren Anlass geben, bilden die Formen, welche „durchbrochene“ heissen mögen; dahin gehören u. a. prismatische, an den Enden offene, ebene abgeschnittene Röhren, ferner Figuren (zunächst ebene), die aus Draht gebogen sind, z. B. Drahtpolygone.

Die Bilder, welche namentlich die Drahtkathoden liefern, gehören zu den schönsten, welche man überhaupt auf diesem Erscheinungsgebiete erzeugen kann.

Um wenigstens dass Aeusserliche ihres Zustandekommens vorstellbar zu machen, erwähne ich Folgendes:

Wenn eine an beiden Enden offene cylindrische oder prismatische, senkrecht zu ihrer Axe abgeschnittene Röhre als Kathode benutzt wird, so tritt im Verlaufe der Evacuation an beiden offenen Enden aus der Röhre ein Lichtbündel von conischem Ansehen heraus, dessen Axe mit der Röhrenaxe

zusammenfällt, und das bei fortschreitender Gasverdünnung sich immer weiter in den Gasraum ausdehnt. Unter Voraussetzung geradliniger Strahlen ist das Bündel also so gerichtet, als ob es von einer, die factisch freie Oeffnung der Röhre verschliessenden Metallplatte ausgesandt würde. Bei hinreichender Gasverdünnung erreicht dieses Bündel die Gefässwand und erregt daselbst Phosphorescenz.

Das Phosphorescenzbild dieses Bündels ist verstanden unter der Phosphorescenzfigur, welche von einer Röhrenkathode erzeugt wird.

Im allgemeinen kommen entsprechend den aus beiden Oeffnungen austretenden Bündeln natürlich zwei Bilder zu Stande, welche congruent sind, wenn z. B. das Entladungsgefäss sphärisch ist, und der Mittelpunkt der diametral gerichteten Röhrenaxe mit dem Kugelcentrum zusammenfällt.

Aehnliches wie bei einer cylindrischen Kathode findet statt, wenn die Wandung der geradaxigen Röhrenkathode eine Sattelfläche bildet, z. B. durch Rotation eines Kreisbogens um eine an seiner Convexseite liegende Axe entstanden ist.

Denken wir uns eine solche Röhre von sehr geringer Höhe, so kommen wir auf einen Fall, den man auch realisiren kann, indem man einen Flächenraum mit einem entsprechend gebogenen Draht umgrenzt. Wie senkrecht zu der Oeffnung der Röhre sich Lichtbündel ausbreiten, so gehen sie entsprechend von den Drahtfiguren senkrecht zu deren Ebene aus; dem nächsten Anschein nach ganz ähnlich, als wenn die von dem Draht umschlossene leere Fläche als Kathode fungirte.

Die Lichtfiguren der Drahtkathoden sind schon in geringen Entfernungen von der Kathode erheblich grösser, als die von dem Draht umschlossene Fläche. Bei variirender Dichte können die Bilder starke Aenderungen zeigen. Ich begnüge mich, als Beispiel in Taf. III Fig. 34_b das Bild zu geben, welches bei starker Evacuation ein reguläres Fünfeck von (innen) 12 mm Seite, aus einem ca. 1 mm dicken Draht gebogen (Taf. III Fig. 34_a), an der Wand eines Kugelgefässes lieferte. Die Normale des Polygons aus seinem Mittelpunkt war radial gerichtet. Die wellig gebogene Contourlinie, welche

die Enden des fünfstrahligen Lichtsterns durchzieht, bildet eine völlig scharf gezeichnete Umgrenzung.

Gibt man dem regulären Drahtpolygon eine andere Seitenzahl (3—8), so entsteht immer ein ähnlicher Lichtstern mit der entsprechenden Anzahl von Strahlen. Bei den Polygonen von ungerader Seitenzahl sind dann die Sternstrahlen wie die grossen Radien des Kathodenpolygons gerichtet. Bei den geradzahligen Polygonen dagegen entsprechen die Strahlenachsen den kleinen Polygonradien, kreuzen also perspectivisch unter rechtem Winkel die Seitenmitten der Kathode.

Mit den Erscheinungen, welche die durchbrochenen Kathodenformen darbieten, hängt auch eine Beobachtung an durchlöcherten Platten zusammen, welche zuerst überraschen könnte. Versieht man z. B. eine quadratische Platte mit einer Anzahl von Löchern (Taf. III Fig. 35), so könnte man vielleicht erwarten, dass den Stellen, an denen das Metall weggenommen ist, im Phosphoreszenzbilde völlige Dunkelheit oder wenigstens Lichtminima entsprechen würden. Es treten aber an den betreffenden Stellen sehr helle Maxima auf; bei einer Kathode wie Taf. III Fig. 35 also sechzehn sehr helle kleine Lichtflecke. Der Grund liegt darin, dass die Wände einer jeden Durchbohrung eine niedrige offene Röhre bilden; nach dem früher Geschilderten tritt aus den Oeffnungen einer solchen Röhre ein helles Lichtbündel hervor, das bei geeigneter Evacuation bis zur Wand sich ausdehnt und dort Phosphoreszenz erregt.

VI. Ueber den Zusammenhang zwischen Gasdichte und Schichtintervall in Geissler'schen Röhren; von E. Goldstein.

(Aus den Monatsber. der K. Acad. d. Wiss. zu Berlin vom 28. Juli 1881;
mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

Die Längensumme einer Reihe von unmittelbar aufeinander folgenden Schichten des positiven Lichtes, deren erste die dem negativen Ende der Röhre zunächst liegende ist,