

8. *Ueber die Einwirkung der Becquerel- und der Röntgenstrahlen auf das Auge;*
von F. Himstedt und W. A. Nagel.

(Aus den Ber. d. Naturf. Gesellsch. in Freiburg i. B. XI. p. 139. 1901.)

Hr. Giesel¹⁾ hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass, wenn man ein Radiumpräparat, in lichtdichtes Papier eingeschlossen, auf das Auge legt, man die Empfindung hat, als sei das ganze Auge mit schwachem Licht angefüllt. Als wir Gelegenheit hatten, mit einem besonders wirksamen Präparate, das Hr. Giesel dem einen von uns freundlichst geliehen hatte, diesen interessanten Versuch zu wiederholen, schien es uns der Mühe wert, näher zu untersuchen, in welcher Weise diese Wirkung zu stande kommt.

Verschiedene Möglichkeiten mussten in Betracht gezogen werden. Es konnte sich um directe Erregung des Sehnerven bez. seiner Endausbreitung im Auge handeln; da die Becquerelstrahlen bekanntlich Knochen und Weichteile durchdringen, steht ihnen der Weg zum Sehnerven ja auch frei, wenn das sie aussendende Radiumpräparat seitlich *neben* das Auge gehalten wird. Da die Becquerelstrahlen aber auch im stande sind, in den verschiedensten Substanzen Fluorescenz zu erregen, war zu erwägen, inwieweit dieser Umstand ihre „Sichtbarkeit“ bedingen konnte. Endlich musste auch daran gedacht werden, ob nicht die Lichtempfindung auf dem Umweg über eine Erregung des Ciliarmuskels, also durch Erzeugung des Accommodationsphosphens, zu stande komme. So unwahrscheinlich dies von vornherein war, musste doch bei einer Substanz von so eigentümlicher physikalischer Wirkung, wie sie das Radium zeigt, auch an die Möglichkeit aussergewöhnlicher physiologischer Wirkungen gedacht werden. An das Accommodationsphosphen zu denken, lag um so näher, als bei Auflegen des Radiums auf die geschlossenen Augenlider thatsächlich die Lichtempfindung

1) F. Giesel, Naturforscherversammlung München 1899.

an den Grenzen des Gesichtsfeldes stärker ist, als in dessen Mitte. Da indessen die Lichtempfindung nach Auflegen des Präparates längere Zeit bestehen bleibt, auch von einer Erregungswirkung anderen glatten Muskeln gegenüber nichts zu bemerken ist, konnte von der Heranziehung des Accommodationsphosphens zur Erklärung der Reizwirkung füglich abgesehen werden. Auch für die Annahme einer directen Erregung des Sehnerven lag kein Anhalt vor; die sensiblen Nerven der Haut werden von den Becquerelstrahlen jedenfalls nicht erregt. Um so mehr sprechen jedoch die Thatsachen für die zweite der erwähnten Möglichkeiten, nämlich für die Auslösung der Lichtempfindung durch Fluorescenzerregung im Auge. Eine solche beobachteten wir in der That an den Augen von Hund, Katze und Frosch.

Bei diesen Versuchen haben wir das Präparat in ein Metallkästchen eingeschlossen, dessen Deckel eine 1 cm grosse Oeffnung besass, die mit schwarzem photographischen Papier doppelt beklebt war. Auf dieses Papier wurden die einzelnen Teile der Augen gelegt. Im Dunkelzimmer mit gut adaptirtem Auge liess sich nun sehr deutlich erkennen, dass alle Teile des Auges, Hornhaut, Linse, Glaskörper, Retina, fluorescirten, und zwar nach unserer Schätzung angenähert gleich stark. Aus diesem Umstande, dass alle Teile des Auges zur Fluorescenz kommen, erklärt sich offenbar in sehr einfacher Weise, dass man nur eine ganz unbestimmte Lichtempfindung hat und man nicht im stande ist, auf einem bestimmten Teile des Gesichtsfeldes einen auch nur annähernd scharf abgegrenzten Licht-eindruck hervorzurufen. Bringt man zwischen das Präparat und das Auge eine Bleiplatte von 1 cm Dicke, durch welche hindurch die Strahlen nicht mehr wahrnehmbar auf das Auge wirken, und bringt in dieser Platte verschieden geformte Oeffnungen an, etwa ein kleines rundes Loch oder einen schmalen Spalt oder ein Kreuz, so ist in allen Fällen die Wirkung auf das Auge die gleiche. Man ist ganz ausser stande, die Gestalt der benutzten Oeffnung zu erkennen, man hat stets nur die Empfindung, als sei das ganze Auge voll Licht, sofern nur die Oeffnung in der Bleiplatte genügend gross ist, um eine zur Erregung überhaupt ausreichende Einwirkung des Radiums zu gestatten.

Es geht hieraus hervor, dass, wenn eine directe Erregung des Sehepithels durch die Strahlen überhaupt erfolgt, diese jedenfalls ganz bedeutend zurücktreten muss hinter der indirecten Erregung von seiten der durch den Einfluss des Radiums selbstleuchtend gewordenen dioptrischen Medien, Linse und Glaskörper. Diese Fluorescenz muss, wie sich zugleich ergibt, auch an Wirksamkeit diejenige der Netzhaut übertreffen (die ja nachweislich auch vorhanden ist).

Auffallend und bisher unerklärt ist die folgende Thatsache. Hält man das Radiumpräparat auf der temporalen Seite gegen das Auge, so hat man in ausgesprochenster Weise das Maximum der Lichtempfindung auf der temporalen Seite des Gesichtsfeldes, mit anderen Worten: man hat den Eindruck, als ob sich ungefähr in der Gegend, wo das Radiumpräparat liegt, eine Lichtquelle befände. Wir kommen auf diese eigentümliche Thatsache, die sich auch bei Einwirkung von Röntgenstrahlen beobachten lässt, weiter unten zurück.

Eine ganz ähnliche Empfindung wie bei dem Auflegen von Radium auf das Auge hat man, wenn ultraviolette Strahlen in dasselbe fallen. Wir haben, um die Wirkungen dieser beiden Strahlenarten miteinander vergleichen zu können, genau dieselben Versuche wie mit Becquerelstrahlen auch mit ultravioletten Strahlen ausgeführt. Um solche möglichst rein, d. h. möglichst frei von beigemischtem diffusem sichtbarem Lichte zu erhalten, wurde folgende im wesentlichen schon von Helmholtz¹⁾ benutzte Anordnung getroffen. Das aus dem 2 mm breiten Spalte einer elektrischen Projectionslampe, die mit Quarzlinse versehen, austretende Lichtbündel wird durch ein erstes Quarzprisma geschickt und das entstehende Spectrum auf der Wand eines schwarzen, lichtdicht geschlossenen Digestoriums, in welchem die Bogenlampe aufgestellt war, aufgefangen. Ein 5 mm breiter Spalt lässt einen Teil des ultravioletten Spectrums austreten, der mittels Quarzlinse auf ein zweites Quarzprisma geworfen wird. Das von diesem Prisma gelieferte Spectrum zeigt noch ein gut sichtbares Farbenband, herrührend von dem Eigenlichte, das vom ersten Prisma durch den Spalt getreten ist. Es wurde wieder das sichtbare Spectrum zurück-

1) H. v. Helmholtz, Pogg. Ann. 94. p. 205. 1855.

gehalten und durch einen 5 mm-Spalt wieder nur ein Teil des ultravioletten Spectrums hindurchgelassen. Wurden diese Strahlen jetzt wieder mit Hülfe einer Quarzlinse durch ein drittes Quarzprisma hindurch geschickt, so waren in dem aufgefangenen Spectrum soeben noch Farben zu erkennen. Es wurde abermals das sichtbare Spectrum abgeblendet und durch einen 5 mm-Spalt ein Teil des ultravioletten hindurchgelassen. Diese Strahlen fielen auf einen in 1 m Entfernung vom letzten Spalte aufgestellten Silberspiegel, welcher unter 45° geneigt, die Strahlen so reflectirte, dass sie durch eine Spaltöffnung in einen Kasten einfielen. Der Beobachter konnte von der Rückseite her seinen Kopf in diesen Kasten hineinstecken und durch ein übergedecktes Tuch gegen alles seitliche Licht schützen. Die ganze Aufstellung befand sich natürlich im Dunkelzimmer. Trotz dieser wiederholten Dispersion mit Hülfe von den Quarzprismen ist es uns nicht gelungen, alle sichtbaren Strahlen zu beseitigen. Das Auge des Beobachters konnte, durch den Spalt des Kastens nach dem Spiegel sehend, in diesem die eine Fläche des schwach leuchtenden letzten Prismas erkennen, hatte aber ausserdem den Eindruck, dass noch anderes Licht im Auge sei. Dass es sich hier um zwei verschiedene Arten von Lichtwirkung im Auge handelt, liess sich deutlich zur Anschauung bringen, indem eine 3 mm dicke Glasplatte vor den Spalt des Digestoriums gehalten wurde. Das Sehen des sichtbare Strahlen aus sendenden Prismas wurde dadurch in keiner Weise geändert, während die unbestimmte Empfindung des das ganze Auge erfüllenden Lichtes sofort aufhörte. Wir gewannen aus diesen Versuchen die Ueberzeugung, dass die ultravioletten Strahlen in derselben Weise auf die Augenmedien wirken müssen wie die Becquerelstrahlen, d. h. dadurch, dass sie durch Fluorescenz-erregung in Linse und Glaskörper eine diffuse Lichtquelle im Auge selbst schaffen. Dass daneben die ultravioletten Strahlen möglicherweise noch auf anderem Wege Lichtempfindung auslösen, sei es durch Fluorescenz-erregung in der Netzhaut oder durch directe Erregung des Sehepithels, soll nicht bestritten werden. Das erstere ist sogar recht wahrscheinlich, da die isolirte Netzhaut von Tieraugen, wie wir in sogleich näher zu beschreibenden Versuchen festgestellt haben, thatsächlich fluorescirt. Dafür aber, dass die ultravioletten Strahlen das Seh-

epithel, Stäbchen bez. Zapfen *direct* erregen, kennen wir keinen hinreichenden Beweis. Um wieder die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die einzelnen Teile des Auges untersuchen zu können, wurde in der vorhin beschriebenen Versuchsanordnung der Silberspiegel so gedreht, dass die auf ihn treffenden Strahlen vertical nach unten durch eine Spaltöffnung in den Holzkasten einfielen. Der Beobachter steckte wieder den Kopf, mit dem Tuche umhüllt, in den Kasten und konnte so, ganz frei von allen Störungen, das Präparat beobachten, das auf eine Unterlage von schwarzem photographischen Papier gelegt wurde.¹⁾

Es zeigte sich, dass genau wie bei den Becquerelstrahlen alle einzelnen Teile des Auges zur Fluorescenz erregt wurden, und zwar schien es uns, als ob die Linse am stärksten fluorescirte, jedoch dürften quantitative Angaben hier sehr schwer sein, da Volumen und Grösse der Oberfläche bei den einzelnen Teilen sehr verschieden sind und deshalb das subjective Urteil stark beeinflussen können.

Es lag jetzt nahe, mit der Wirkung dieser beiden Arten von „unsichtbaren“ Strahlen, die der Röntgenstrahlen zu vergleichen. Die Röntgenröhre, mit einem Funkeninductor von 50 cm Schlagweite und Wehneltunterbrecher getrieben, lieferte überaus kräftige Strahlen und war eingeschlossen in einen vollkommen lichtdicht schliessenden Holzkasten. Vor denselben wurden vier aufeinander gelegte Bleiplatten je von 2 mm Dicke gestellt, die eine Oeffnung von 2 cm Durchmesser hatten, vor welche das Auge gebracht werden konnte.

Wir waren überrascht von der Wirkung auf unsere Augen. Der Effect der Röntgenstrahlen ist dem der Becquerelstrahlen,

1) H. v. Helmholtz schreibt über seine diesbezüglichen Versuche (Pogg. Ann. 94. p. 210. 1855): „Hier (nämlich im ultravioletten Teile des Spectrums) zeigte nun auch die Netzhaut, zwischen zwei Glastafeln gelegt, ihre Fluorescenz deutlich, schwächer zwar als Papier, Leinwand und Elfenbein, aber stärker als Porzellan.“ Es muss nach unseren Erfahrungen ausserordentlich schwer gewesen sein, bei der zwischen Glasplatten liegenden Netzhaut mit Sicherheit die Fluorescenz festzustellen, denn Glas absorbt diese Strahlen sehr stark und zeigt nach unseren Beobachtungen bedeutend stärkere Fluorescenz als die Netzhaut. Wir haben ganz sichere Beobachtungen erst dann machen können, als wir alle Präparate auf schwarzes photographisches Papier legten.

wenn keine complicirenden Bedingungen in den Versuch eingeführt werden, zunächst sehr ähnlich: in beiden Fällen die starke Erhellung der Gesichtsfeldperipherie, die Lichtempfindung qualitativ übereinstimmend und hier wie dort der zwingende Eindruck grösster Helligkeit auf jener Seite des Auges, auf welcher sich thatsächlich der Entstehungsort der erregenden Strahlen befindet. Bei der hohen Unterbrechungsfrequenz des Wehnelt'schen Unterbrechers war natürlich auch die durch die Röntgenstrahlen erzeugte Empfindung eine stetige.

Genauere Untersuchung ergab jedoch sofort einen wesentlichen Unterschied in der Wirkungsweise beider Strahlengattungen.

Als wir die oben erwähnten Bleiplatten mit verschiedenen geformten Oeffnungen vor das Auge hielten, hatten wir nicht mehr die Empfindung, als sei das ganze Auge voll Licht, sondern wir nahmen bei richtiger Haltung der Platten im Auge wahr: einen runden hellen Fleck bei Platte *I* (die eine Bohrung von 1,5 mm Durchmesser hatte), eine helle horizontale oder verticale Linie bei Platte *II* (je nachdem wir den Spalt horizontal oder vertical hielten), ein helleuchtendes Kreuz bei Platte *III*. Wir konnten weiter durch Bewegung der Platten mit vollster Sicherheit constatiren, dass der Lichtreiz nur da

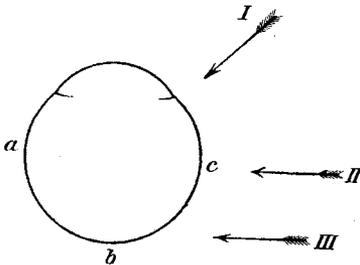


Fig. 1.

entstand, wo die Retina von den Röntgenstrahlen getroffen wurde. Hielt man den Schirm mit der kleinen runden Oeffnung so, dass die Strahlen in der Richtung *I* (vgl. die Fig. 1) in das Auge einfielen, dessen Retina durch *a b c* angedeutet sein soll, so sah man nur einen hellen Fleck. Fielen die Strahlen

in der Richtung *II* ein, so entstanden zwei helle Flecke, rechts bei *c* und links bei *a*. Fielen endlich die Strahlen wie *III* ein, sodass sie die Retina sozusagen tangential trafen, so hatte man eine helle Linie im Auge. Entsprechende Versuche haben wir mit der kreuzförmigen Oeffnung angestellt und stets genau diejenige leuchtende Figur erhalten, die sich durch geometrische Construction vorher bestimmen liess.

Als wir diese Versuche anstellten, die sich ganz naturgemäss an die mit den Becquerel- und den ultravioletten Strahlen anschlossen, hatten wir übersehen, dass ganz ähnliche Versuche schon vor uns von Dorn und Brandes¹⁾, sowie von Röntgen selbst ausgeführt waren. Wir haben so erst nachträglich gesehen, dass wir durch die vorstehenden Beobachtungen nur die Versuche der genannten Forscher wiederholt und bestätigt haben. Letzteres verdient besonders hervorgehoben zu werden, da, wie wir ebenfalls erst nachträglich gesehen haben, die Beobachtungen Dorn's von anderer Seite²⁾ angezweifelt worden sind.

Wir haben vorhin schon erwähnt, dass bei seitlicher Bestrahlung des Auges mit Röntgen- oder Becquerelstrahlen die grösste Helligkeit auf *der* Seite empfunden wird, auf welcher sich die Röntgenröhre bez. das Radiumpräparat thatsächlich befindet. Dies ist sehr auffallend. Treten Röntgenstrahlen beispielsweise in das rechte Auge von der temporalen Seite und in frontaler Richtung ein, so durchsetzen sie zuerst die temporalen Teile der Netzhautperipherie, dann den Glaskörper und schliesslich den nasalen Teil der Netzhaut. Da nun Erregung des temporalen Netzhautbezirkes eine Lichtempfindung bewirkt, die wir durch den Knotenpunkt nach aussen projiciren, also nasal (im vorliegenden Falle nach links hin) sehen, und da andererseits die Strahlen beim Passiren des Glaskörpers eine zwar geringe, aber immerhin nachweisbare Absorption erfahren, wäre zu erwarten, dass wir die grösste Helligkeit nasal, also links sehen, entsprechend dem gereizten temporalen Netzhautbezirk. Da nun, wie erwähnt, das Gegenteil der Fall ist, mussten wir an die Möglichkeit denken, dass die abnorme Einfallsrichtung der Strahlen von Bedeutung sei, indem Strahlen, die von der Sclera her in die Netzhaut fallen, etwa minder stark erregend wirken, als solche von normaler Einfallsrichtung, die vom Glaskörper aus in die Netzhaut treten. Diese Erklärung war indessen sofort abzulehnen auf Grund der Thatsache, dass die genannte genauere Erscheinung auch bei Einwirkung der Becquerelstrahlen zu beobachten ist. Bei diesen

1) E. Dorn u. G. Brandes, Wied. Ann. 60. p. 478. 1897; E. Dorn, Wied. Ann. 64. p. 620. 1897 und 66. p. 1171. 1898.

2) v. Cowl u. Levy-Dorn, Archiv für Physiologie 1897.

liegt ja, wie erwähnt, kein Grund zur Annahme directer Netzhautreizung vor, die Lichtempfindung ist vielmehr Folge der Fluorescenz des Glaskörpers; diese ist nun wohl zweifellos intensiver auf der dem Radium zugekehrten Seite, es müsste also auch die gleichseitige Netzhautseite intensiveres Licht (und zwar von normaler Einfallsrichtung) bekommen. Trotzdem ist der subjective Eindruck der umgekehrte.

Wir versuchten nun, durch circumskripte Reizung einzelner Netzhautpartien der Sache auf den Grund zu kommen. Hält man neben das Auge eine dicke Bleiplatte mit einem Loch von einigen Millimeter Durchmesser und lässt durch dieses Röntgenstrahlen durchtreten, so kann man, wie oben beschrieben, ein fast parallelstrahliges Bündel quer durch das Auge treten lassen. Die beiden kreisförmigen hellen Scheiben, die man nun als Erfolg des zweimaligen Durchtritts durch die Netzhaut sieht, sind ungleich hell, und zwar ist bei diesem Versuch, wie theoretisch zu construiren, der nasal liegende Fleck heller als der temporale. Dies Ergebnis ist leicht begreiflich: das die Temporalseite des Auges treffende Strahlenbündel reizt beim Passiren der Netzhaut diese stärker, als wenn es nach dem Durchdringen des Glaskörpers etwas abgeschwächt die Netzhaut zum zweiten Male passirt. Versoben wir die Bleiplatte neben dem Auge, so konnten wir successive die einzelnen Partien der Netzhaut isolirt reizen, fanden aber überall das gleiche Verhalten: stärkere Reizwirkung auf der der Röhre zugewendeten Netzhautseite. Dieser Versuch giebt also für die erwähnte paradoxe Localisation der Stelle grösster Helligkeit bei freier Einwirkung der Röntgenstrahlen (ohne Bleidiaphragmen) nicht nur keine Erklärung, sondern macht sie eher noch rätselhafter.

Eine Reihe weiterer Versuche stellten wir nun zur Aufklärung über das Wesen der Reizwirkung der Röntgenstrahlen an. Zunächst prüften wir, ob bei den einzelnen Teilen von Tieraugen Fluorescenz nachweisbar sei.

Der Kasten mit der Röntgenröhre wurde so aufgestellt, dass die Röntgenstrahlen durch die Oeffnung in dem erwähnten 8 mm dicken Bleischirm hindurch senkrecht von oben in einen Pappkasten hineinfelen, auf dessen Boden die Präparate gelegt werden konnten. Der Beobachter blickte von der Seite in den

Kasten hinein. Weder bei der Hornhaut, noch bei Glaskörper oder Linse konnten wir eine Spur von Fluorescenz wahrnehmen (was nach der Möglichkeit so scharf umgrenzter Netzhautreizung auch nicht zu erwarten war).

Bei der Netzhaut glauben wir eine Spur von Fluorescenz, an der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegend, beobachtet zu haben.¹⁾ Purpurhaltige Netzhäute fluorescirten ebenso schwach. Wir haben auch darauf geachtet, ob das lebende menschliche Auge fluorescirt, jedoch mit gänzlich negativem Erfolg. Das beobachtete Auge wurde dabei der lichtdicht eingeschlossenen Röntgenröhre möglichst genähert, sodass die Strahlen seitlich einfielen. Der Beobachter, durch dicke Bleiplatten gegen die Röntgenstrahlen geschützt, sah in das bestrahlte Auge hinein; doch selbst bei guter Dunkeladaptation war, wie gesagt, kein Fluorescenzschimmer sichtbar.

Es wäre natürlich voreilig, wollte man hieraus den Schluss ziehen, bei der Wahrnehmung der Röntgenstrahlen im menschlichen Auge spiele die Fluorescenz der Netzhaut nicht mit. Bedenkt man, wie ausserordentlich nahe die eventuell fluorescirenden Teile den percipirenden Teilen, Stäbchen und Zapfen liegen müssen (wofern nicht gar diese selbst fluoresciren), so ist ohne weiteres klar, dass eine so geringe Intensität der Fluorescenz subjectiv wahrgenommen werden könnte, die objectiv an der Netzhaut des intacten menschlichen Auges nicht erkennbar ist, zumal bei den doch immerhin ungünstigen Bedingungen der Untersuchung im letzteren Falle.

Das eine kann jedenfalls mit voller Bestimmtheit gesagt werden, dass sowohl die Wahrnehmung der Röntgenstrahlen, wie auch der Becquerelstrahlen und des ultravioletten Lichtes ganz überwiegend, wo nicht ausschliesslich mittels der *Stäbchen* der Netzhaut erfolgt. Dabei mag es, wie gesagt, unentschieden bleiben, ob diese von jenen Strahlen direct erregt werden, oder ob sich dazwischen eine Fluorescenzregung einschleichen muss. Auf die Stäbchenregung weist schon die Qualität der Lichtempfindung hin, die genau mit derjenigen des Dämmerungssehens übereinstimmt. Ferner ist Dunkel-

1) E. Dorn u. G. Brandes, *Wied. Ann.* 60. p. 488. 1897 haben eine solche nicht beobachten können.

adaptation Voraussetzung für irgend welche Reizwirkung der in Rede stehenden drei Strahlengattungen. Das helladaptirte (auch nur an mittlere Tageshelligkeit adaptirte) Auge wird durch sie nicht erregt. Bezeichnend ist auch die rasche Ermüdung; die Intensität der Lichtempfindung unter der Einwirkung von Röntgen- oder Becquerelstrahlen lässt schon nach kurzer Zeit merklich nach. Wichtig ist endlich der verschiedene Grad von Erregbarkeit in den einzelnen Netzhautpartien, die starke Helligkeitsempfindung in der Netzhautperipherie, die geringe Erregbarkeit der centralen Partien. Diesen Unterschied bringt man sich am deutlichsten zur Anschauung, indem man, wie oben beschrieben, durch Bleidiaphragmen ein schmales Strahlenbüschel (von Röntgenstrahlen) ausschneidet und mit diesen successive die einzelnen Regionen der gut dunkeladaptirten Netzhaut „abtastet“. Es lag nahe, zu versuchen, ob die Fovea centralis als ein nur Zapfen, aber keine Stäbchen enthaltender Netzhautteil durch Röntgenstrahlen reizbar sei. Volle Klarheit hierüber haben wir nicht erreicht, da der Ausführung eines einwandfreien Versuches sich grosse praktische Schwierigkeiten entgegenstellen; mit einem Strahlenbüschel von so kleinem Querschnitt, wie er dem Durchmesser der Fovea centralis entsprechen würde, ist sehr unbequem zu experimentiren.

Lässt man aber die Röntgenstrahlen durch ein in der einen Dimension ausgedehnteres Bleidiaphragma, also durch einen schmalen Schlitz in der Bleiplatte ins Auge treten, so ist die Beobachtung in anderer Hinsicht unzuverlässig. Betrachtet man gleichzeitig, während die Röntgenstrahlen durch den Schlitz hindurch einen schmalen Streifen der Netzhaut reizen, ein kleines dunkelrotglühendes Fixirzeichen (Platindrahtschlinge), so kann man es leicht dahin bringen, dass der Lichtstreif durch den Fixirpunkt geht. Man sieht (übrigens auch, wenn das Fixirzeichen beseitigt wird) deutlich, dass der Lichtstreifen im Centrum des Gesichtsfeldes bedeutend weniger hell ist als in der Peripherie, aber eine wirkliche Unterbrechung am Fixirpunkt ist nicht mit Sicherheit zu erkennen.

Dabei ist aber zu bedenken, dass genau das gleiche auch bei andersartigem Lichtreize gilt. Betrachtet man im Dunkenzimmer einen Lichtstreifen, dessen Helligkeit sicher unter der fovealen Schwelle liegt, so ist der Eindruck genau so, wie eben

an dem durch Röntgenstrahlen erzeugten Lichtstreif beschrieben: an der Stelle des Fixirpunktes ist keine Unterbrechung des Streifens zu sehen, sondern nur wie bei dem Versuch mit Röntgenstrahlen eine Schwächung. Es beruht dies auf der Ergänzung unterbrochener Linien, die unser Auge ja bekanntlich auch unter anderen Umständen auszuführen im stande ist.

Einen strengen Beweis dafür, dass die Zapfen unfähig sind, durch Röntgenstrahlen erregt zu werden, können wir also nicht geben; sicherlich tritt aber ihre Erregung, wenn überhaupt vorhanden, hinter der Stäbchenerregung ganz bedeutend zurück.¹⁾

Wir haben auch untersucht, ob durch Röntgenstrahlen eine Bleichung des Sehpurpurs in Frosch- und Fischnetzhäuten nachweislich erfolgt, erhielten aber trotz der sehr starken Wirksamkeit der verwendeten Röhre und einer eine Stunde dauernden Einwirkung kein anderes Resultat, als seiner Zeit Fuchs und Kreidl²⁾, d. h. ein negatives. Das ist keineswegs überraschend und steht durchaus nicht in Widerspruch mit den Thatsachen der Stäbchenerregung durch die Strahlen. Wir haben purpurhaltige Froschnetzhäute eine Stunde lang einem (gemischten) Licht ausgesetzt, dessen Intensität sogar merklich über der Schwelle des fovealen Sehens lag. Es war keine Purpurbleichung eingetreten, wie der Vergleich mit einigen zur Controle vollkommen verdunkelt gehaltenen Netzhäuten zeigte.

Endlich ist es uns auch gelungen, einen rein objectiven Beweis für die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Auge zu erbringen. Wir haben hierzu die von Holmgren zuerst ausführlich untersuchten Actionsströme des Froschauges benutzt.

1) Wir sind erst nachträglich darauf aufmerksam geworden, dass Hr. Dorn in ganz ähnlicher Weise versucht hat festzustellen, ob die Reizung durch X-Strahlen in der macula lutea ausbleibt oder nicht. Nach den Untersuchungen von v. Kries und Nagel (*Zeitschr. f. Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 23. p. 161. 1900) ist aber die macula lutea sicher nicht in ihrer ganzen Ausdehnung adaptionsfrei, und es lässt sich deshalb unseres Erachtens aus diesen Versuchen des Hrn. Dorn kein Aufschluss erwarten darüber, ob die Zapfen durch Röntgenstrahlen erregt werden können oder nicht.

2) Fuchs u. Kreidl, *Centralbl. f. Physiologie* 10. Nr. 9. Vgl. auch Gatti, l. c. 11. Nr. 15; E. Dorn u. G. Brandes, *Wied. Ann.* 60. p. 490. 1897.

Legt man an die vordere und an die hintere Bulbushälfte eines dunkel adaptirten Auges je eine unpolarisirbare Elektrode, am besten eine sogenannte Thonelektrode in Schreibfederform, so beobachtet man in einem mit den Elektroden verbundenen Schliessungskreise einen Strom, der bei den benutzten Froschaugen im Drahte stets von der vorderen zur hinteren Bulbushälfte fliesst, wie zuerst Du Bois-Reymond¹⁾ gefunden hat. Der Strom nimmt in den ersten Minuten nach dem Tode des Frosches ziemlich schnell ab, nachher wird die Abnahme immer geringer und verläuft mehrere Stunden lang so regelmässig, dass man bei graphischer Darstellung vollkommen regelmässige Curven erhält. Wir haben nach dem Compensationsverfahren von Du Bois-Reymond die auftretenden elektromotorischen Kräfte bestimmt und gefunden, dass bei Fröschen, die vor der Tötung 2—3 Stunden im Dunkeln gewesen waren, deren Augen bei schwachem roten Lichte herauspräparirt und an die Elektroden gelegt, dann aber sofort wieder in einen lichtdicht verschlossenen Kasten gebracht waren, diese elektromotorische Kraft zwischen 0,0056 und 0,0172 Volt betrug. Während der Dauer eines Versuches, die

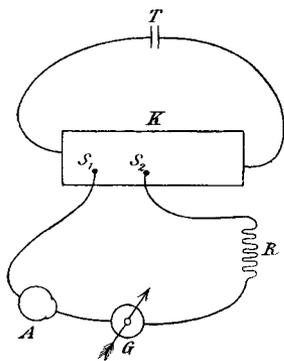


Fig. 2.

zwischen 1 und 2 Stunden variierte, trocknete das Präparat etwas ein und vergrösserte dadurch auch in messbarer Weise seinen Widerstand. Um hiervon unabhängig zu sein, haben wir alle Beobachtungen nach der Compensationsmethode ausgeführt. Nebestehende Fig. 2²⁾ giebt das Schema der Versuchsanordnung.

T war ein Accumulator, *K* ein Widerstandskasten von im ganzen 40 000 Ohm. Durch Versetzen des Stöpsels *S_{II}* wurde diejenige Potentialdifferenz aufgesucht, welche der im Auge *A* auftretenden das Gleichgewicht hielt. *G* war ein hochempfindliches d'Arsonvalgalvanometer, *R* ein Zusatzwiderstand, der zwischen 10 000

1) Du Bois-Reymond, Untersuchungen über tier. Electricität (1) 2. p. 256. Berlin 1849.

und 100000 Ohm variirt werden konnte. In Fig. 2 nicht gezeichnet sind zwei Stromwender, von denen der eine vor dem Accumulator *T*, der zweite vor dem Galvanometer *G* lag.

Hat man die elektromotorische Kraft eines im Dunkeln befindlichen Präparates compensirt und lässt jetzt Licht in das Auge fallen, so erhält man einen Ausschlag, der eine Vergrößerung der ursprünglich vorhandenen elektromotorischen Kraft anzeigt. Das Anwachsen der elektromotorischen Kraft kann 10—60 Secunden dauern, dann findet trotz fortgesetzter Belichtung wieder eine Abnahme statt. Wird in diesem Augenblicke die Belichtung unterbrochen, so tritt momentan eine

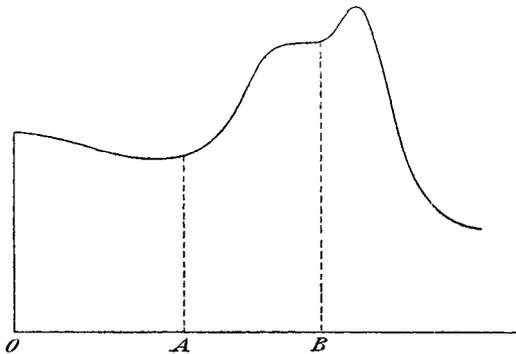


Fig. 3.

abermalige Vergrößerung der elektromotorischen Kraft ein, dann ein schnelles Zurückgehen auf den der Dunkelheit entsprechenden Wert. Wenn wir als Abscissen die Zeit, als Ordinaten die Grössen der elektromotorischen Kräfte auftragen, so giebt die vorstehende Curve (Fig. 3) den typischen Verlauf eines Versuches, wie er übrigens schon von Holmgren beobachtet ist. Von *O* bis *A* befindet sich das Präparat im Dunkeln, von *A* bis *B* fällt Licht darauf, im Augenblick *B* wird wieder verdunkelt.

Um untersuchen zu können, ob die Röntgenstrahlen eine ähnliche Wirkung hervorriefen, musste zuerst dafür gesorgt werden, dass eine elektrische Wirkung der Röhre bez. des Inductoriums auf das Präparat und die Galvanometerleitungen nicht stattfand. Zu dem Zwecke wurde das Präparat in einen Blechkasten eingesetzt, der oben durch einen Schieber aus

dünnem Aluminiumblech verschlossen und zur Erde abgeleitet war. Die hineinführenden Zuleitungsdrähte waren in zwei je 4 m lange zur Erde abgeleitete Bleiröhren gesteckt. Wurde das Auge durch ein Trockenelement ersetzt, so konnte man sich überzeugen, dass der Betrieb der Röhre nicht die allergeringste Bewegung am Galvanometer hervorrief. Wurde das Präparat eingesetzt und der Kastendeckel mit intensivem Lichte beleuchtet, blieb ebenfalls das Galvanometer in Ruhe, also ein Beweis, dass weder Inductionswirkungen noch sichtbare Lichtstrahlen bei geschlossenem Kasten auf das Präparat wirken konnten.

Liess man aber jetzt Röntgenstrahlen durch den Deckel aus Aluminiumblech hindurchgehen, so war der *Verlauf der Erscheinung genau der gleiche wie bei Belichtung mit sichtbaren Strahlen*: Vergrösserung der elektromotorischen Kraft bis zu einem bestimmten Werte, abermalige Vergrösserung beim Abstellen der Röhre. Also genau wie auf der oben gegebenen Curve dargestellt.

Dazwischenhalten einer 2 mm dicken Bleiplatte zwischen die Röhre und den Kasten bewirkte eine derartige Schwächung der Wirkung, dass die Erscheinung mit unseren Apparaten gerade noch wahrnehmbar war. Zwei derartige Platten hoben die Wirkung ganz auf. Die Empfindlichkeit eines Präparates für Röntgenstrahlen lief parallel mit der für Lichtstrahlen.

In der folgenden Tabelle geben wir für 8 Froschaugen unter *R* die durch eine 30 Secunden lange Bestrahlung mit Röntgenstrahlen hervorgebrachte Vermehrung der elektromotorischen Kraft in zehntausendstel Volt, unter *L* diejenige Vermehrung welche eintrat, wenn an die Stelle der Röntgenröhre eine 16 kerzige Glühlampe gebracht wurde und von dieser 10 Secunden lang Licht durch eine 1 cm dicke Wasserschicht in das Versuchsauge fiel. Die Entfernung Glühlampe-Präparat betrug ca. 30 cm. Die Wasserschicht wurde bei allen Versuchen mit Licht eingeschaltet, nachdem sich gezeigt hatte, dass die Präparate sehr empfindlich gegen Wärmestrahlen waren.

	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>R</i>	1,0	5,5	6,7	2,3	2,0	1,3	1,4	3,5
<i>L</i>	3,5	14,0	22,0	7,5	7,3	4,0	5,1	12,0

Wurde ein Präparat mehrere Minuten hindurch mit intensivem Lichte bestrahlt, so war es hiernach längere Zeit (bis zu 5 Minuten) unempfindlich gegen schwächere Lichtreize, gleichfalls aber auch gegen Reizung mit Röntgenstrahlen. Trat die Empfindlichkeit für Licht wieder ein, so ebenfalls die für Röntgenstrahlen.

In ganz derselben Weise haben wir auch den Einfluss der ultravioletten Strahlen untersucht. Da wir diese Strahlen nicht absolut trennen konnten von den letzten Spuren von sichtbaren Strahlen, die bei der oben geschilderten Anordnung von dem letzten Prisma diffus nach allen Richtungen und deshalb auch mit durch den Spalt treten, so verfahren wir so, dass wir die Wirkung bestimmten, welche das Einschieben bez. Fortnehmen einer 3 mm dicken Glasplatte in den Weg der Strahlen zwischen letztem und vorletztem Prisma verursachte.

Wie vorauszusehen, erhielten wir durch die ultravioletten Strahlen genau dieselbe Wirkung, wie durch die sichtbaren. Dass nicht etwa eine Schwächung der sichtbaren Strahlen durch die eingeschobene Glasplatte die beobachtete Wirkung hervorgebracht hatte, konnte leicht constatirt werden, indem eines der Quarzprismen durch ein Glasprisma ersetzt wurde. Das Einschieben der Glasplatte blieb jetzt wirkungslos, da schon durch das Glasprisma die wirksamen ultravioletten Strahlen fortgenommen waren.

Bei diesen Versuchen haben wir nur ganz unverletzte Froschaugen verwendet, keine isolirten Netzhäute. Es bleibt daher zunächst unentschieden, ob die ultravioletten Strahlen die Netzhaut direct erregen, oder ob die Fluorescenz von Glaskörper und Linse dabei im Spiel ist. Bei den Versuchen mit Röntgenstrahlen hatten wir letztere Möglichkeit dadurch ausgeschlossen, dass wir Actionsströme auch von isolirten hinteren Bulbushälften (ohne Glaskörper) erhielten.

Es wäre noch denkbar gewesen, dass die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Auge dadurch entstanden wäre, dass die an der vorderen Bulbushälfte anliegende Thonelektrode durch die Röntgenstrahlen zur Fluorescenz gebracht wäre und dann das Fluorescenzlicht auf das Auge gewirkt hätte. Wir haben uns überzeugt, dass der feuchte Thon nicht die geringste Fluorescenz bei Röntgenbestrahlung zeigte und dass an der

Wirkung nichts geändert wurde, als wir die Thonelektroden mit schwarzem photographischen Papier umhüllten, das durch Anfeuchten mit Kochsalzlösung leitend gemacht war.

Eine Einwirkung der Becquerelstrahlen auf die Retinaströme nachzuweisen ist uns nicht gelungen, doch ist zu bemerken, dass uns für diese Versuche nicht das starke Präparat von Hrn. Giesel, sondern nur das schwache käufliche Radiumpräparat von de Haën zur Verfügung stand.

Freiburg i. B., October 1900.

(Eingegangen 7. Januar 1901.)
