

XXVIII.

Ueber optische Phänomene bei elektrischer Reizung des Sehapparates.

Von

Dr. **Leo Finkelstein**
in St. Petersburg.

Die Entwicklung der Elektrophysiologie des Sehapparates begann, wie bekannt, fast gleichzeitig mit der Entdeckung Galvani's; doch bietet sie, trotz eingehender Untersuchungen durch viele Autoren, noch viel Unaufgeklärtes und Unverständliches. Zuerst war es Volta, der Erfinder der bekannten Säule, welcher sich mit der Frage vom Einflusse der elektrischen Erregung auf den Opticus beschäftigte. Bei der Untersuchung des Contractionsphänomens bei Reizung der Muskeln durch den elektrischen Strom, wurde Volta höchst durch die blitzartige Lichterscheinung verwundert, welche bei Berührung des geschlossenen Augenlides durch einen von beiden Polen auftritt. Dies unerwartete Resultat veranlasste ihn, seine Versuche vielfach zu wiederholen und zu variiren, wodurch er zu folgendem Schlusse gelangte: „Die [elektrische] Reizung des Sehapparates bewirkt eine Lichtempfindung, die trotz noch so langem Schlusse der elektrischen Kette, nur einen Moment anhält“. Dieser Effect trat auch dann auf, wenn er die Elektroden unweit des Auges aufsetzte, wie z. B. auf die Wangen, in der Mundhöhle, an verschiedenen Stellen des Kopfes und des Halses.

Nach Volta beschäftigte sich mit dieser Frage der seiner Zeit so bekannte Physiker Ritter. Seine Untersuchungen werfen so manches Licht auf die Elektrophysiologie des Sehapparates und stehen an Wichtigkeit den späteren Arbeiten von Purkinje, Brenner u. A. gleich. Bei Reizung des Auges mit dem positiven Pole wurde das

Gesichtsfeld intensiver beleuchtet, was Ritter als positiven Lichtzustand bezeichnete, und zugleich erhielt sich die Empfindung blauer Lichtfarbe die ganze Zeit hindurch, so lange die Kette geschlossen war. Bei Oeffnung des Stromes entstand eine Empfindung rother Lichtfarbe. Unter dem Einflusse des negativen Poles verdunkelte sich das Gesichtsfeld — negativer Lichtzustand — und zu gleicher Zeit trat eine Rothempfindung auf, welche so lange andauerte, als der Strom geschlossen war; Oeffnung desselben hatte eine kleine Empfindung zur Folge. Ritter's Verdienst ist es, die verschiedenen Farbenempfindungen bei Schliessen und Oeffnen des einen oder anderen Poles beobachtet zu haben. Seine Untersuchungen wurden durch eine Reihe späterer Arbeiten (Grapengiesser, Most, Reinhold u. A.) bestätigt, im Weiteren aber nicht viel vorwärts gerückt. Erst 1823 macht Purkinje eine Reihe neuer und interessanter Beobachtungen. Zu seinen Untersuchungen benutzte letzterer dieselbe elektrische Säule, die auch Ritter gebrauchte, d. h. als positiver Pol diente Zink, als negativer — Kupfer (Zink, Kupfer, Zink, Kupfer).

Ausserdem wendete er Ströme verschiedener Stärke an. Bei Anwendung schwacher Ströme liessen sich specielle Farbenempfindungen nicht genau bestimmen, und nur bei starken Strömen waren sie ausgeprägter. Bei einigen Strömen entstanden, wenn der positive Pol angewendet wurde, zweifache Farbenerscheinungen: im Blickpunkte erschien ein dunkler Fleck mit röthlich gelbem Saume, in dessen Mitte ein dunkler Ring, gleich einer dunklen Unterbrechung des Saumes, verlief. Daneben (bei Reizung des rechten Auges nach rechts, des linken Auges nach links) bestand gleichzeitig ein hellvioletter Kreis.

Das Bild im Blickpunkte stellt, nach Purkinje, die Abbildung der Macula lutea, die Figur nebenbei — aller Wahrscheinlichkeit nach den Eintritt des N. opt. in den Augapfel dar. Nach Purkinje spielt die Stromrichtung bei den Farbenempfindungen, entsprechend der Eintrittsstelle des N. opticus und der Macula lutea, eine grosse Rolle. Unter dem Einflusse des positiven Poles erleuchtet erstere bedeutend besser, als die Macula lutea, und umgekehrt erleuchtet letztere bei Anwendung des negativen Poles sehr intensiv, während die Eintrittsstelle des N. opticus fast gar nicht reagirt.

Das Verdienst Purkinje's besteht zweifelsohne darin, dass er zuerst die Dimension der von ihm beobachteten Ströme genau bestimmte und für seine Entdeckung eine entsprechende Erklärung construirte.

Ich habe bereits bemerkt, dass die Untersuchungen Ritter's und

Purkinje's, die wichtigsten in der Geschichte der Elektrophysiologie des Sehapparates sind, und dass die späteren Untersuchungen nur in allgemeinen Zügen die bereits gefundenen Resultate bestätigten und sich auf verschiedene Erklärungen der beobachteten Erscheinungen beschränkten. Wir kommen auf diese Erklärungsversuche, welche noch bis jetzt viele Erscheinungen unbegreiflich erscheinen lassen, später zurück.

Die neueren Untersuchungen Du Bois-Reymond's, Helmholtz's u. A. nicht in Betracht ziehend, will ich mich näher bei denjenigen Brenner's, als den genauesten und zahlreichsten dieser Frage aufhalten. Brenner resumirt seine Resultate folgendermassen: „Wenn sich beide Elektroden in der Nähe der Augen in gleicher Entfernung vom N. opticus befinden, so lassen sich irgend welche Lichtempfindungen sehr schwer hervorrufen. Alle Erscheinungen treten im Auge bedeutend sicherer und klarer auf, wenn die Entfernung der Elektroden vom N. opticus bis zu gewissen Grenzen eine ungleiche ist. Bei gleicher Entfernung verringert sich oder verschwindet gar der Effect der Opticusreizung, sobald das in die Kette eingeschaltete Rheostat die Grösse eines gewissen Widerstandes erreicht. Auch hat die Annäherung der Elektroden zum Opticus ihre Grenzen. Auch wenn in vom N. opt. stets gleich bleibender Entfernung beide Elektroden einander genähert werden, erscheint ein Moment, wo kein Reizeffect wahrnehmbar. Nach Brenner reagirt der Sehapparat, je nach dem, ob mit der Kathode oder Anode gewirkt wird, durch Farbenempfindung verschiedener Art. Und zwar entspricht die Farbenempfindung jedes Mal demjenigen Pole, welcher sich in nächster Entfernung vom N. opticus befindet. Das durch Stromschluss erzeugte Farbenbild ist doppelfarbig; wobei die intensive Farbe, die sich im Centrum befindet, sich länger erhält, und schon bei schwächeren Strömen erscheint; die zweite Farbe bildet einen blauen Hof um die erste, schwindet schneller und kann erst durch starken Strom hervorgerufen werden. Bei Wechsel der Stromrichtung belebt letztere Farbe das Centrum, erstere den Hof. Einige Secunden nach Stromschluss schwindet die Farbenempfindung gänzlich.“

Je grösser die Stromstärke und je günstiger die Stellung der Elektroden, desto länger hält der Reizeffect an; bei Oeffnung des Stromes entsteht momentan ein dem ersten entgegengesetztes Farbenbild. Wenngleich öfters auch nur eine einfache Farbenempfindung wahrgenommen wird, so geht sie doch von der gesetzmässigen Retinastelle aus, d. h. sie befindet sich je nach dem angewendeten Pole, bald mehr im Centrum, bald mehr in der Peripherie. Je grösser der

Unterschied in der Entfernung beider Elektroden von den Sehnerven ist, desto schwächer ausgeprägt ist die Farbenerscheinung. Bei einem bestimmten Maximum dieses Unterschiedes kommt es nur zu einer einfachen Farbenwahrnehmung, derjenigen des Centrums, wo zuerst ein Hof nicht bemerkbar ist. Bei Schwankungen der Stromdichte treten dieselben Erscheinungen ein, wie bei Schliessen und Oeffnen des Stromes, doch sind sie weniger intensiv. Dabei haben Schwankungen nach oben denselben Effect, wie Schliessung nach unten hin, wie Oeffnung des Stromes. Auch ist die Richtung, in der die Elektroden aufgesetzt sind, nicht ohne Einfluss auf Intensität und Dauer des Bildes; dasselbe hält um so länger an, je geneigter der Winkel zur ersten genannten Linie und der Längsaxe des N. opt. ist.

Die zweckmässigste Versuchseinrichtung ist nach Brenner jene, wo die eine Elektrode auf dem Nacken, die andere auf das Auge aufgesetzt wird, wobei die Farbe des Hofes der unteren Elektrode entspricht. Nie erhält man das Brenner'sche Farbenbild in der Sehaxe, sondern stets ausserhalb derselben, und zwar im rechten Auge nach rechts, im linken nach links. Durch Aufsetzen der Elektrode auf der Innenseite der Nasenwurzel gelang es Brenner, das Farbenbild zu modifizieren und ausser dem ursprünglichen, noch ein zweites ebensolches hervorzurufen; dasselbe war blasser und war nach innen vom Fixationspunkte gelegen, in derselben Entfernung von ihm, wie das Erstere, so dass ein etwa fixirter Gegenstand sich zwischen beiden Farbenbildern befand. Grösstentheils bestehen dieselben bei galvanischer Reizung des Sehapparates aus einem Kreise von 3—4 Linien im Durchmesser mit scharfem Centrum und verwaschenen Rändern. Innerhalb desselben verlaufen deutlich sichtbar schwarze Linien verschiedener Dicke mit unregelmässigen Verzweigungen und schärfer im Centrum, als in der Peripherie gezeichnet. Der centrale Theil des Kreises entspricht dem blinden Punkte, die schwarzen Linien in ihm wahrscheinlich den Netzhautgefässen.

Die Bilderformel, die Brenner bei Untersuchung seines eigenen Auges fand, war folgende:

- KaS. glänzendes blaues Centrum, gelblich grüner Hof;
- KaD. das Bild schwindet allmälig, und zwar das Centrum langsamer als der Hof;
- KaO. gelblichgrünes Centrum, hellblauer Hof;
- AnS. gelblichgrünes Centrum, hellblauer Hof;
- AnD. allmäliges Verblassen, wie bei KaD.
- AnO. blaues Centrum, gelbgrüner Hof.

Aus dem Angeführten ist ersichtbar, dass die Erscheinungsart des Bildes im Grunde das allgemeine Gesetz bestätigt, welches schon durch die früheren Untersuchungen festgestellt war.

Etwas später machte Neftel ebenfalls auf verschiedene an mehreren Individuen beobachtete Erscheinungen aufmerksam, auf deren Abhängigkeit von der Stelle, wo die Elektroden aufgesetzt werden, sowie auf den Unterschied der Resultate bei Anwendung der beiden Pole und verschiedener Stromdichte. Im Allgemeinen bestätigte Neftel die Ergebnisse der Brenner'schen Untersuchungen. Ausserdem behauptet er, unter dem Einflusse der Anode, die Empfindung einer Verringerung des intraocularen Druckes, bei Anwendung der Kathode die der Verstärkung des Druckes verspürt zu haben. Der Reizeffect am Sehnerven besteht nach ihm aus 2 Reihen von Empfindungen — aus Licht- und Farbenempfindungen. Bei schwachen Strömen (4—5 Siemens'scher Elemente) und Aufsetzen der Kathode auf den Nacken, der Anode auf das geschlossene Augenlid erhielt Neftel ausser einer Blitzerscheinung noch das Bild eines blauen Kreises mit violetten Rändern. Während der Stromdauer beginnen die Farben sich schnell zu vermengen und verlieren allmälig an Intensität. Sobald der Strom geöffnet wird, erscheint ein intensiv gelblich-grün gefärbter Kreis mit hellgelbem Rande. Auch bei entgegengesetzter Stellung der Pole unterscheidet Neftel die Blitzerscheinung von dem Erscheinen eines gelbgrünen Kreises mit gelbem Rande; auch hier vermengen sich die Farben, während der Stromdauer und im Momente der Oeffnung erscheint ein blauer Kreis mit violettem Rande. Bei Verstärkung des Stromes (6—9 Siemens) sind die Farben- und Lichterscheinungen intensiver, und ausserdem erhielt Neftel an sich noch das Bild eines dunkelgrünen Ringes um den Farbenkreis. Bei noch grösserer Stromstärke entstand ausser einer vermehrten Intensität der Farbenerscheinungen noch ein bitterer Geschmack im Munde, im Momente der Stromöffnung verdunkelte sich das ganze Gesichtsfeld. Neftel glaubt, dass die verschiedenen Farbenempfindungen je nach dem Individuum schwanken, worauf auch schon von früheren Autoren hingewiesen ist. Nicht immer kann eine solche durch Reizung mit der einen oder anderen Elektrode hervorgerufen werden; Neftel führt aus seiner eigenen Erfahrung Beispiele an, wo unter dem Einflusse der Anode eine Farbenempfindung wahrnehmbar war, dagegen nicht bei (wenn auch ausnahmsweise) Reizung mit der Kathode. Mitunter, wenn auch ausnahmsweise, kommen Individuen zur Untersuchung, an denen nur Licht-, dagegen gar keine Farbenerscheinungen hervorgerufen werden konnten. Beide befinden

sich nach der Ansicht Neftel's in gesetzmässigen Beziehungen zu einander. An Individuen, bei denen leicht Farbenempfindungen erzeugt werden, ist es äusserst schwierig, eine Lichterscheinung hervorzurufen, und umgekehrt — an Individuen, die keine Farbenerscheinungen verspüren, können leicht Lichterscheinungen beobachtet werden.

Je nach der Zeitperiode, in welcher obige Untersuchungen gemacht sind, waren auch die Erklärungsversuche verschieden.

Die frühesten Beobachter (Volta, Ritter u. A.) schrieben alle elektrische Reizeffekte am N. opt. der Stromrichtung, sowie dem Einflusse der nächstliegenden Elektrode zu. Purkinjé, welchem die Aehnlichkeit der Reizerscheinungen mit Druckfiguren auffiel, betrachtete erstere als durch den mechanischen Reiz der Nerven bedingt. Viel später betrachtete Du Bois-Reymond dieselben nicht von den Elektroden, sondern von der Stromrichtung abhängig. Die Hypothesen, welche obige Erscheinungen erklären sollten, hielten gleichen Schritt mit den Fortschritten der Physiologie. Die Einen erklärten sie durch den Electrotonus, Andere fassten sie als Reflex, vom Trigeminus ausgehend, auf (Helmholtz, Pflüger u. A.). Brenner verwirft, nachdem er die bestehenden Meinungen einer eingehenden Kritik unterworfen hat, alle angeführten Hypothesen und betrachtet die Reizphänomene als Folge der Polwirkung. Wir gehen auf eine Kritik all' dieser Erklärungsversuche nicht ein, da sie bereits eingehend analysirt sind und kommen auf dieselben noch bei Feststellung der Resultate unserer eigenen Untersuchungen zurück.

Betrachtet man die Geschichte unserer Frage, so ist leicht zu bemerken, dass keiner von den früheren Autoren sich für die Frage von der Erschöpfung der Netzhaut durch starke und anhaltende elektrische Ströme interessirte. Man beschränkte sich auf verhältnissmässig schwache Reizung des Sehapparates. Sobald nur bei einiger Stromverstärkung Nebenerscheinungen aufraten, wurde nicht weitergegangen. Bis jetzt ist noch nicht genügend constatirt, ob die Reizphänomene auf Reizung der Netzhaut oder des Sehnerven zurückzuführen sind. Gelänge es nun, durch starke elektrische Reizung die Abbildung unseres eigenen Gesichtsfeldes zu erhalten, so wäre damit die Möglichkeit einer, selbst eventuell von der Reizung des Sehnerven unabhängigen Beeinflussung der Netzhaut bewiesen.

Wären wir im Stande, die ganze Netzhaut in toto in einen Reizzustand zu versetzen, so ginge daraus hervor, dass die früheren Resultate auf einer Reizung des Sehnerven beruhen. Untersuchungen dieser Art sind am Sehapparate in jeder Hinsicht bequem ausführbar; besitzen wir doch die Möglichkeit, die Stromgeschwindigkeit in

den Capillaren der eigenen Netzhaut festzustellen, sowie eine Abbildung der eigenen Netzhautgefässe hervorzurufen! (Purkinjé). Wir stellten uns also bei unseren Untersuchungen als Ziel: 1. durch starke elektrische Ströme eine Reizung der gesammten Netzhaut zu erreichen, 2. die Aeusserungen einer solchen genauer zu constatiren. Es gelang uns dieses nach mehrfachem Misslingen, zuletzt durch Anwendung starker elektrischer Ströme auf beide Augenlider gleichzeitig. Ich benutzte 10—15 Meidinger'sche Elemente und verband den einen von beiden Polen mit 2 Elektroden. Die Hauptrolle bei diesen Versuchen spielte der von Brenner vervollkommen Siemens und Halske'sche Commutator.

Die Versuchsbedingungen sind sehr einfach: In einem leicht verdunkelten, oder noch besser ganz dunklen Zimmer wird die eine Electrode auf den Nacken, die andern beiden auf die geschlossenen Augenlider gesetzt. Bei Anwendung der Anode auf den Nacken und der Kathode auf beide Lider und 5—8 Elementen wurde Folgendes beobachtet: Ausser einer momentan verschwindenden Blitzerscheinung entstand im Gesichtsfelde ein dunkelschwarzer ungefähr ovaler Fleck von 4 Mm. im Durchmesser nebst einem ihn ringsumgebenden grünen Ringe. Bei Oeffnung des Stromes schwand Alles plötzlich; während der Stromdauer wechselten die Farben vielfach ab und nur die Empfindung des Grünen erhielt sich mehr oder weniger lange Zeit hindurch. Bei umgekehrter Stellung der Elektroden (d. h. Anode auf die Augenlider, Kathode auf den Nacken) gab der Stromschluss ausser einer Blitzerscheinung gar keine Farbenreaction, wie oft auch eine Reizung des Sehapparates wiederholt wurde. Bei Oeffnung der Kette erschien jedes Mal das beschriebene schwarze Oval mit scharf umgrenztem grünen Ringe. Dasselbe ist nicht überall gleich dunkel — bedeutend dunkler im Centrum als in der Peripherie — so dass es von vornherein den Eindruck macht, als ob dasselbe aus 2 dunkeln, allmälig ineinander übergehenden Ovalen besteht. Als Ausdruck der galvanooptischen Reaction unseres Sehapparates kann also folgende Formel gelten:

- KaS. Dunkles centrales Organ und hellgrüner Ring.
- KaD. Wechsel und allmäßiges Schwinden der Farbenempfindung.
- KaO. Jegliches Fehlen einer Reaction.
- AnS. Keine Reaction.
- AnO. Dunkles centrales Oval und hellgrüner Ring.

Es bestätigt sich also auch in unserem Falle das von früheren Autoren gefundene Reactionsgesetz des Sehapparates vollkommen;

d. h. K_2S . giebt die gleichen Erscheinungen, wie AnO . und bei KaO . fehlt, gleichwie bei AnS ., jede Reaction. Die einzige Abweichung von den früheren Resultaten besteht bei uns im gänzlichen Ausbleiben der Reaction bei KaO . und AnS . Wir übernehmen es nicht, diese interessante Erscheinung zu erklären, weisen jedoch darauf hin, dass Neftel, wie gesagt, von Individuen spricht, an denen er diese Anomalie, wie er sie nennt, beobachtete. Die Erscheinung eines zweiten Ringes von Seiten der *Mac. lutea*, wie in den Versuchen von Purkinje, konnten wir nicht hervorrufen.

Wird durch Einführung neuer Elemente mittelst des Indicators — also ohne Stromunterbrechung — der elektrische Strom verstärkt, so nimmt die Intensität der oben beschriebenen Erscheinungen zu, abgesehen von einer Menge Nebenerscheinungen, die schon von früheren Autoren beobachtet und beschrieben sind, als da — starke Zuckungen im Gebiete der Gesichts- und Halsmuskulatur, Speichel-
fluss u. s. w. Schwindel empfanden wir in unseren Versuchen bis zu 14 und mehr Elementen nicht. Wir beabsichtigten, durch Anwendung einer grossen Zahl von Elementen die Netzhautempfindlichkeit zu erschöpfen, ähnlich wie es Exner durch Druckwirkung that, und auf diese Weise durch den endgültigen Effect einer derartigen Stromanwendung zu einem bestimmten Resultate zu gelangen. Allmälig die Stromstärke erhöhend, gingen wir bis zu 15 Meidinger-schen Elementen, worauf eine weitere Erhöhung nicht möglich war; ein intensiver Schmerz in den oberen Augenlidern, starke, höchst lästige Zuckungen der Halsmuskulatur, reichlicher Speichel-
fluss und beginnendes Schwindelgefühl schlossen jede Möglichkeit, irgend einen Effect — so weit er überhaupt bestand — einer dermassen starken Reizung des Sehapparates wahrzunehmen, aus. Durch vielfache Wiederholung dieser Versuche gelangten wir zur Ueberzeugung, dass es absolut unmöglich war, auf diese Weise die Netzhaut zu erschöpfen. Infolge dessen beschlossen wir, solches mittelst weniger starker Ströme (stärkerer jedoch, als die von früheren Untersuchern angewendeten), z. B. von 10—13 Elementen, wo die Nebenwirkungen noch ertragbar waren, und durch öftere Stromunterbrechungen zu erreichen. Unter solchen Bedingungen, bei 130—140facher Unterbrechung des Stromes in der Minute, erhielten wir die schon bei Anwendung schwächer Ströme beobachteten blitzartigen Lichterscheinungen und ausserdem eine Anzahl leuchtender, aus einem gemeinsamen Mittelpunkte sich in verschiedenen Richtungen verbreitender Kreise. Diese Lichterscheinungen halten ziemlich beständig an, während die Farbenbilder dank dem beständigen Stromwechsel sehr blass

ausfallen. Durch fortwährende Verstellung des Commutators (welche natürlich nicht von der Versuchsperson bewerkstelligt wurde) erzielten wir stets die eben beschriebenen Doppelerscheinungen, nämlich blitzartige Lichtempfindungen und Kreise.

Folglich blieb auch unter solchen Umständen unser Ziel unerreicht, d. h. wir konnten es nicht zu einem Erschöpfungszustand der Retina bringen, indem letztere noch immer Lichtempfindungen übermittelte. So beschlossen wir denn durch gleichzeitige Druckanwendung zu einer combinirten Methode unsere Zuflucht zu nehmen.

Nur unter dieser Bedingung gelang es offenbar, die Netzhaut zu erschöpfen und ein dermassen bestimmtes Bild zu erhalten, dass wir es constant mit demselben Erfolge hervorrufen konnten. Zur Erschöpfung der Retina waren also 3 Factoren nöthig: öfterer Stromwechsel, eine bestimmte Elementenzahl und ein gewisser von den Elektroden auf die Augäpfel ausgeübter Druck. Von diesen 3 Factoren waren 2 beständig, d. h. wir konnten deren Wirkung auf den Sehapparat nicht erhöhen; das waren die Elementenzahl und die Zahl der Unterbrechungen. In unseren Versuchen waren mehr als 13 Elemente physisch nicht auszuhalten; bei einer solchen Anzahl waren die Nebenerscheinungen, wenn auch intensiv, doch zu ertragen. Der Stromwechsel geschah nicht öfter als 130—140 mal in der Minute. Der dritte, höchst wichtige Factor, der Druck, lässt sich leicht durch die angewendete Kraft controlliren und bietet, wenn auch der Grösse nach unbestimmbare, grosse Bequemlichkeit in der Beziehung, dass der Druck bis zu einem Maximum gebracht werden kann, d. h. also auch der letzte Factor kann bis zum höchsten Masse der Reizung verstärkt werden. Sobald auf diese Weise alle 3 Factoren auf ihr Maximum gebracht sind, kann man sagen, dass die Reizung des Auges und der Retina unter ihrer Wirkung bis zum Aeußersten gesteigert ist und dass ohne Entstehung von unertragbaren Schmerzen im Auge, der Hals- und Gesichtsmuskulatur und Schwindel, sowie möglicherweise irgend welcher ernstlicher Folgen für den ganzen Sehapparat, eine weitere Reizung unmöglich ist.

Durch Combinirung der Exner'schen Methode mit der elektrischen Erschöpfung des Sehapparates erreichen wir den Vortheil, dass wir ohne Anwendung einer grösseren Anzahl von Elementen leicht den Grenzpunkt auffangen können, wo die Untersuchung unmöglich wird und momentan diese Reizgrösse verringern oder vergrössern, sowie dieselbe während der Untersuchung ad infinitum variiren zu können.

Die unter den angeführten Bedingungen ausgeübte Reizung des

Sehapparates ergab folgende Resultate. Zu Beginn der Untersuchung, beim Aufsetzen der Elektroden auf beide Augenlider ohne Ausübung irgend welchen Druckes, sowie unter Oeffnen und Schliessen des Stromes mit erwähnter Geschwindigkeit entstehen eine Menge blitzartiger Lichterscheinungen und, wie schon oben erwähnt, zur Peripherie sich ausbreitender Kreise. Wird bei ununterbrochener Anwendung des Commutators allmälig der Druck der Elektroden auf den Augapfel erhöht, so erscheint ein Zeitpunkt, wo alle Lichterscheinungen verschwinden und sich folgendes Bild darstellt: auf dunklem Hintergrunde erscheinen in beiden Blickpunkten zwei Ovale, deren lange Diameter quer und kurze Durchmesser längs gestellt sind. Dieselben bieten den Eindruck, wie wenn sie aus feiner Mosaik beständen. Die feinen Bestandtheile derselben flimmern gleichsam sehr schnell und es ist eine merkliche Erhöhung des Elektrodendruckes nothwendig, um sie von Neuem, wiederum für einen Augenblick, zum Erscheinen zu bringen. Trotz des ununterbrochenen Flimmerns dieser feinen Bestandtheile der Ovale giebt es doch einen Moment, wo man sie alle in toto bemerken kann, nämlich dann, wenn der Druck der Elektroden erhöht wird. Die ganze Mosaik besteht aus geringsten grauen Feldern, sowie, wie unten gezeigt wird, aus allerfeinsten solchen, die im ganzen Blickfelde zerstreut und von einander durch dunkle, nicht scharfe, doch gut bemerkbare Linien abgegrenzt sind. Das ganze Oval misst in der Breite ca. 4, in der Quere ca. 3 Linien. Im Centrum gelegen stechen sie scharf von den umgebenden Theilen ab. Die Peripherie derselben flimmert in geringerem Masse als die Mosaik. Rings um die feine centrale Mosaik befindet sich, das Oval gleichmässig in der Peripherie umfassend, ein weiter Kreis, welcher die sichtbare Grenze des Bildes darstellt und aus eben solcher Mosaik besteht. Die Bestandtheile dieses Kreises, sowie der centralen Ovale genau zu beschreiben, ist völlig unmöglich.

Es ist leicht zu beobachten, dass erstere sehr fein, dass dieselben durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind, doch lässt sich in keiner Weise deren geometrische Figur wiedergeben, da sie zu stark flimmern, in der Peripherie sogar stärker, als im centralen Oval, und in Folge dessen das genaue Bild dieser Mosaik nicht erfasst werden kann. Um einen geläufigen Vergleich anzuführen, so lässt sich der Eindruck eines dermassen beschaffenen Gesichtsfeldes mit jenem verglichen, den wir von einer Oberlage oder Fussboden gewinnen, der aus feinen Steinchen zusammengesetzt ist. Wir können auf den ersten Blick stets sagen, dass ein solcher Boden aus Mosaik, d. h. feinen Bestandtheilen zusammengesetzt ist; doch sind wir nicht

sofort im Stande, zu bestimmen, ob letztere regelmässiger oder unregelmässiger Form sind, bis wir unter Vernachlässigung des Gesammeindruckes unser Augenmerk auf das Einzelne richten. Den selben Eindruck erhält man bei oben beschriebener Reizung des Sehapparates; doch lässt das beständige Flimmern eine detaillierte Beobachtung nicht zu, da das Bild nicht so weit fixirt werden kann, dass man ungefähr bestimmen könnte, welche geometrische Form die einzelnen Bestandtheile besitzen. — Noch eine Einzelheit ist in Bezug auf die Grösse der Mosaikbestandtheile im ganzen sichtbaren Theile des Gesichtsfeldes zu erwähnen. Es ist nämlich nicht schwer, die verhältnissmässige Grösse der einzelnen Elemente, aus denen das beschriebene Bild zusammengesetzt ist, zu bestimmen, da solches aus dem Gesammeindruck, den das Bild in unserem Bewusstsein macht, hervorgeht. Die feinsten Elemente befinden sich, wie bereits gesagt, um die Sehaxe gruppirt und stechen scharf von den übrigen Stücken der Mosaik ab, welche zur Peripherie hin immer gröber werden, so dass die grössten Elemente ganz in der Peripherie zu liegen kommen.

So gewinnen wir denn bei völliger Netzhauterschöpfung durch maximale Reizung der Retina ein Bild, welches einen Kreis mit kleinem centralen Oval und mosaikartig beschaffener Fläche vorstellt. Da wir sämmtliche Gesichtseindrücke, die uns zum Bewusstsein kommen, nach aussen versetzen, so scheint es natürlich, dass der Kreis sich nicht in unserem Bewusstsein, sondern im Gesichtsfelde befindet. Wie sehr auch der Druck der Elektroden verstärkt werden mag, erscheint doch nichts Neues; das beschriebene Bild wird bald hier, bald dort in den Grenzen unseres Gesichtsfeldes wohl deutlicher oder erlischt gar momentan; nur eins bleibt dabei unveränderlich — das sind die Grenzen des Gesichtsfeldes und des centralen Ovaless; diese Linien flimmern nicht. Verringern wir nun den Druck der Elektroden unter Vermeidung starker Schwankungen allmälig, so verschwindet das Bild mit einem Schlag und es treten wieder die Farbenerscheinungen zur Geltung. Dabei erhielten wir stets einen dunklen Kreis mit hellgrünem, ihn umgebenden Ringe, d. h. dasselbe Bild, wie bei Reizung des Opticus durch eine geringere Elementenzahl. Zuweilen, wenn auch durchaus nicht oft, gelang es uns, eine Reihe dunkler Streifen zu erblicken, die besonders scharf im hellgrünen Ringe abstachen. — Nach Beendigung des Versuches thränen die Augen stark und gewöhnen sich lange nicht an's Licht; es vergehen nicht weniger als 5 Minuten, bis sich die Störungen, die durch dermassen starke Reizung verursacht werden, ausgeglichen haben. Morgens oder am Tage lässt sich, selbst im verdunkelten Zimmer, die oben beschriebene Erscheinung

nicht hervorrufen, während es am Abend verhältnismässig leicht gelingt. Aller Wahrscheinlichkeit nach hängt dieses vom Ermüdzungszustande des Auges ab: Morgens, wo sich das Auge von den Anstrengungen des vorigen Tages erholt hat, fällt es schwer, Reizung oder gar eine Erschöpfung der Retina hervorzurufen; Abends dagegen, wo das Auge von den Tagesbeschäftigungen bereits ermüdet ist, gelingen die beschriebenen Versuche verhältnismässig leicht.

Schreiten wir nun zur Erklärung der von uns bei Reizung des Sehapparates ad maximum hervorgerufenen Erscheinungen. Die beschriebenen Versuche sind von uns vielfach wiederholt und jedesmal waren die Resultate die gleichen; stets sahen wir jenes mosaikartige Feld mit seinem charakteristischen centralen Oval. Es unterliegt keinem Zweifel, dass ein dermassen constantes Bild auch gewissen Eigenthümlichkeiten im anatomischen Baue irgend eines Theiles der Retina entsprechen muss. Wir sind der Meinung, dass die ganze sichtbare Fläche unser eigenes Gesichtsfeld, das centrale mosaikartige Oval die Macula lutea vorstellt. Bei verminderter Reizung des Sehapparates bemerken wir einen schwarzen Kreis mit hellgrünem, ihn umgebendem Ringe, welch' letzterer, unserer Meinung nach, dem Eintritt des Sehnerven in's Auge entspricht; darin werden wir durch die Beobachtung unterstützt, dass wir mitunter hie und da durch das Gesichtsfeld verlaufende Gefässe ganz wie im Ophthalmoskop bemerken.

Dank den Untersuchungen Max Schultze's wissen wir mit Sicherheit, dass die Retina aus 9 Schichten besteht. Die 8 ersten von ihnen betreffend, so haben dieselben laut der Meinung sämmtlicher Autoren, die sich mit der Untersuchung des anatomischen Baues der Retina abgegeben haben, weder in der Anordnung der Fasern noch der Zellen etwas regelmässiges oder charakteristisches an sich. Nicht so die 9. Schicht. Allen Beobachtern, M. Schultze nicht ausgenommen, war der originelle Bau dieser Schicht aufgefallen. Sie besteht aus dicht aneinandergefügten und vertical zur Retinaoberfläche gestellten Stäbchen. Ausserdem befinden sich in derselben Schicht, im Centrum der Retina sogar ausschliesslich, noch Zapfen. Uns interessirt hier hauptsächlich die Frage, wie sich die Verästelungen der Opticusfasern zum gelben Fleck verhalten. Beim Eintritt in den Augapfel zerfällt, wie bekannt, der Opticus in Fasern, welche in direkter Verbindung mit den Schichten der Retina stehen. Die Art dieser Verbindung ist noch nicht endgültig aufgeklärt, doch steht fest, dass die Opticusfasern den gelben Fleck umbiegen und zu den Zapfen, die im Centrum der Macula lutea gelegen sind, in keiner

Beziehung stehen. — Was sahen wir nun in unseren Versuchen? Uns scheint, dass wir die letzte Retinaschicht, die der Zapfen und Stäbchen, sahen; setzen wir voraus, dass die Opticusfasern oder die Zellen der übrigen Schichten das oben beschriebene Bild veranlasst hätten, so wäre dasselbe unter keinen Umständen im Gebiete der Fovea centralis sichtbar, da, wo gerade diese Schichten fehlen. Die durchgehende Aehnlichkeit der centralen und peripheren Theile des Bildes, wenn auch mit oben erwähntem Unterschiede, ist für die Localisirung des Entstehungsortes desselben von höchster Wichtigkeit. Es muss nämlich das Bild durchaus durch gleichartige anatomische Elemente, die einander sowohl im Centrum als in der Peripherie der Retina vollkommen ähneln, bedingt sein, und als solche können nur die Stäbchen und Zapfen betrachtet werden.

Unsere Voraussetzung wird noch durch einige theoretische Ansichten der Physiologen unterstützt. Bei Erörterung der Frage, welches Organ im Sehapparate wohl als das percipirende aufgefasst werden müsste, schreibt S. Bernstein: „nach dem Aeusseren der Stäbchen und Zapfen zu urtheilen, kann man annehmen, dass sie eben das lichtempfindende Organ bilden. Es besteht aus einer ununterbrochenen, an feine Mosaik erinnernden Schicht“ . . . An einem anderen Orte finden wir: „so können wir uns denn das ganze Sehfeld auf der Retina aus feiner Mosaik (gleich einem Stickmuster) bestehend, vorstellen.“ — Cyon sagt gelegentlich derselben Frage: „Ein zweiter, mehr indirekter Beweis, welcher zu Gunsten einer derartigen Bedeutung dieser Netzhautelemente (d. h. der Stäbchen und Zapfen) angeführt wird, besteht darin, dass wir bei Betrachtung irgend eines Gegenstandes, uns vollkommen deutlich die Lage der verschiedenen Objecte im Gesichtsfelde vergegenwärtigen; eine derartige Fähigkeit, die Contouren der einzelnen Gegenstände zu unterscheiden, kann am bequemsten nur derart erreicht werden, dass die lichtpercipirenden Elemente mosaikartig angeordnet sind. Aus der Anatomie der Netzhaut erinnern Sie sich, dass gerade die Stäbchen und Zapfen eine solche Anordnung besitzen und scharf von einander getrennt sind“ Weder der eine, noch der andere Autor erwähnt etwas über die Form der Mosaikbestandtheile. Wir führen diese sämmtlichen Ausführungen zu dem Zwecke an, noch einmal zum Schlusse zu gelangen, dass beim Maximum der Reizung des Sehapparates wir nichts anderes sehen können, als die Stäbchen- und Zapfenschicht; nur diese ist es, welche jene mosaikartige Beschaffenheit besitzt, von der die Physiologen sprechen. Diese gesammte Mosaikfläche bildet eben das uns zugängliche Gesichtsfeld. Bezuglich der Dicke der Stäbchen und

Zapfen an verschiedenen Stellen der Netzhaut konnten wir in der uns zur Verfügung stehenden Litteratur nichts finden, während doch oben darauf hingewiesen ist, dass die feinste Mosaik sich im Gebiete des gelben Fleckes befindet.

Wenn wir bedenken, dass in der Fovea centralis nur Zapfen, d. h. breitere Gebilde, als die Stäbchen vertreten sind, so gelangen wir zu dem Schlusse, dass die feinsten Zapfen sich in der Fovea centralis befinden, was zweifellos mit der maximalen Sehschärfe, die gerade dieses Gebiet unseres Sehapparates besitzt, in Zusammenhang steht. Zur Peripherie hin wird diese Mosaik, wie gesagt, immer gröber und am grössten erscheint sie uns in der äussersten Peripherie. Auch dieses Faktum steht in keinerlei Widerspruch mit den physiologischen Ansichten. „Nehmen wir z. B. zwei schwarze Punkte, welche von einander so weit entfernt sind, dass sie bei Einstellung in der Sehaxe gerade noch gesondert wahrgenommen werden, und bewegen wir bei unveränderter Lage der Sehaxe diese beiden Punkte zur Peripherie hin, so überzeugen wir uns, dass dieselben bald miteinander zu verschmelzen scheinen. Die beiden Empfindungen, die von diesen 2 Punkten verursacht werden, verschmelzen ebenso, wie wenn wir die Punkte im Centrum des Gesichtsfeldes einander näherten. Je weiter vom Centrum des Gesichtsfeldes diese beiden Punkte sich befinden, desto grösser muss die Entfernung zwischen ihnen sein, um sie von einander zu unterscheiden. Mit anderen Worten — unsere Sehschärfe erscheint im Centrum bedeutend grösser als in der Peripherie. Vom practischen Standpunkte kann man sagen, dass das Gebiet des deutlichsten Sehens sich auf den gelben Fleck oder gar nur auf die Fovea centralis beschränkt“ . . . Dieser einfache physiologische Versuch weist im Zusammenhang mit unseren Beobachtungen direct darauf hin, dass, je geringer der Durchmesser des percipirenden Elementes, desto grösser die Sehschärfe ist; die gleiche Entfernung zwischen 2 Punkten, welche im Centrum 2 gesonderte Empfindungen veranlasste, bewirkt solches nicht mehr in der Peripherie. Diese Erscheinung erklärt sich leicht aus dem grösseren Durchmesser der percipirenden Elemente hier, infolge dessen der Zwischenraum zwischen 2 Punkten, welcher im Centrum des Gesichtsfeldes 2 Zapfen umfasst und daher die Wahrnehmung zwei gesonderter Eindrücke verursacht, in der Peripherie in das Gebiet eines einzigen, im Durchmesser grösseren Zapfens oder Stäbchens fällt und daher den Eindruck nur eines Punktes veranlasst; die Wahrnehmung zweier Punkte ist in der Peripherie nur in dem Falle möglich, wenn die Entfernung zwischen den beiden beobach-

teten Punkten vergrössert wird und folglich die Abbildung eines jeden einzelnen Punktes auf ein besonders percipirendes Element fällt. Ich will nicht behaupten, dass die Sehfläche der Netzhaut genau, so zu sagen, der Empfindungsfläche auf der Hirnoberfläche, wo die Gesichts begriffe entstehen, entspricht, doch existirt aller Wahrscheinlichkeit nach zwischen beiden eine gewisse Beziehung.

Alle diese physiologischen Erörterungen und Versuche führen uns also zur Ueberzeugung, das jenes Gebiet, das wir bei einer bestimmten Reizungsart durch den elektrischen Strom als mosaikartige Fläche wahrnahmen, dem Baue, sowie den Beziehungen deren einzelner Elemente zu einander nach, jenem Baue der Netzhaut entspricht, den die Physiologen auf Grund theoretischer Erwägungen im voraus construirten.

Aus der Literatur unseres Gegenstandes geht hervor, dass Purkinjé genau dieselben Erscheinungen durch Druck auf den Augapfel erzielte, wie wir oben bereits angeführt haben. Diese Aehnlichkeit zwischen den durch elektrische Reizung und Druck hervorgerufenen Farbenerscheinungen war so gross, dass Purkinjé darauf seine Theorie begründete. Dessen Idee benutzend, zogen wir seine Methode auch in unsern Untersuchungen in Anwendung. Es wäre nämlich die Erzielung derselben Resultate durch blosen Druck insofern von Bedeutung, als durch sie vielleicht die Rolle des elektrischen Stromes bei Reizung der Netzhaut aufgedeckt würde. Da diese Reizung in unsern Versuchen aufs Maximale gesteigert war, so war vorauszusetzen, dass zur Erlangung derselben Resultate ohne Anwendung des elektrischen Stromes der Druck äusserst stark sein müsste, welche Voraussetzung sich auch bestätigte. Die nötige Druckkraft ist kolossal und übertrifft bei weitem jenen leichten Druck, welcher bei gleichzeitiger elektrischer Reizung durch die Elektroden ausgeübt wird. Auch erreicht der Druck seinen Zweck nur unter bestimmten Bedingungen: wenn wir z. B. in liegender Stellung die Augenlider belasten und diesen Druck noch durch Händekraft erhöhen oder wenn wir direct mit den Fingern stark auf den Augapfel drücken, so kommen wir absolut zu keinem Resultate. Die einzige Reaction auf einen solchen Reiz besteht in einigen unbestimmten optischen Erscheinungen (in der Art von Lichterscheinungen), worauf völlige Finsterniss eintritt. Der Moment, in dem jegliche Lichterscheinungen aufhören, weist nicht auf den Eintritt des Erschöpfungszustandes der Retina hin, da eine neue Druckerhöhung von aussen eine abermalige Lichterscheinung hervorruft und trotz unveränderter Fortdauer des erhöhten Druckes, das Auge in keiner Weise reagirt. Drücken wir nun aber unter bestän-

digem Wechsel des Druckes auf das Auge, d. h. ungefähr wie wir es thun, wenn irgend ein Fremdkörper in unser Auge gelangt ist, so sind wir doch im Stande, dadurch den Erschöpfungszustand der Retina herbeizuführen. Dieser Moment wird durch das Erscheinen genau desselben Bildes, welches durch elektrische Erschöpfung der Retina hervorgerufen wird, characterisirt. Wir erhalten im Centrum genau dasselbe mosaikartige Oval und in der Peripherie denselben mit gröberer Mosaik besäten Kreis. Erniedrigen wir, unter fortdauernder Reizung des Auges durch ruckweise Reibungsbewegungen, den Druck, so entsteht dieselbe Empfindung eines schwarzen Kreises mit hellgrünem, durch dunkle Streifen unterbrochenem Ringe; die Mosaik verschwindet momentan.

Die volle Analogie zwischen der elektrischen und Druckreizung der Netzhaut gewährt uns die Möglichkeit, eine Erklärung des Mechanismus bei der Entstehung der oben beschriebenen optischen Erscheinungen zu versuchen. Durch den elektrischen Strom und die stetigen Stromunterbrechungen wird zweifellos die Erregbarkeit des ganzen Sehapparates vermehrt und außerdem noch mehr durch die vom Drucke hervorgerufene künstliche Anämie des Auges erhöht. Unter den angeführten Bedingungen können die genannten Reizmittel, aufs Maximum gesteigert, auch solche Theile des Sehapparates erregen, welche Dank ihrer anatomischen Lage sehr schwer oder vielleicht auch gar nicht gewöhnlichen Reizeinwirkungen unterliegen. Am tiefsten liegt nun die Retina überhaupt und namentlich die Stäbchen- und Zapfenschicht. Leichte Reizeinwirkungen erzielen Licht- und Farbenscheinungen; je mehr der Reiz gesteigert wird, desto weniger reizempfindlich wird die Retina, desto mehr wird sie erschöpft. Der Erschöpfungszustand derselben wird durch den Moment gekennzeichnet, in welchem sie durch das Bild ihrer eigenen Bildungselemente zu reagiren beginnt.

In dieser Beziehung ist die Dunkelheit, in der alle Versuche ausgeführt sind, von nicht geringer Bedeutung. Kühne und Ewald wiesen auf die bemerkenswerthen Veränderungen, welchen die Zellen der die Retina begrenzenden Pigmentschicht bei Lichteinwirkung unterliegen, hin. War das Auge im Laufe eines auch nur höchst unbedeutenden Zeitraumes vor jeder Lichteinwirkung geschützt, so beginnt das Pigment sich in den Zellen zu concentriren und die eigenthümlichen fadenförmigen Pigmentkörnchen oder Krystalle enthaltenen Zellausläufer verbreiten sich nur auf eine unbedeutende Entfernung zwischen den Stäbchen- und Zapfenfortsätzen (ungefähr auf ein Drittel der Länge deren äusserer Fortsätze). Unter der Wirkung

des Lichtes verbreiten sich diese pigmenthaltigen Fortsätze weiter in die Tiefe zur Membran. limitans exter. hin; infolge dessen sammelt sich eine bedeutende Pigmentmenge zwischen den äusseren und sogar inneren Fortsätzen der Zapfen sowohl, als der Stäbchen an; die äussern Fortsätze derselben sind dicht in Pigmentmassen gehüllt und liegen nun der epithelialen Schicht eng an. In unseren Versuchen befand sich der Sehapparat unter dem Einflusse starker Erregung bei völligem Lichtmangel. Während derselben reagirt jener mit Lichterscheinungen, welche im Verhältnisse zu den durch die normalen Lichtwellen verursachten äusserst gering sind. Also können wir voraussetzen, dass die Fortsätze von der Pigmentschicht gerade so weit reichen, wie bei Verdunkelung des Gesichtsfeldes, d. h. verkürzt sind und sich höchstens bis zum äusseren Drittel der äusseren Kolben- und Zapfenfortsätze ausbreiten. Wenn sich unter Lichteinwirkung diese Fransen verlängern, so bedeutet dieses, dass zum vollen Sehvermögen dieselben sämmtliche die Stäbchen und Zapfen treffenden Strahlen in sich aufnehmen. Befinden sich bei normalem Zustande des Sehapparates die Stäbchen und Zapfen gleichsam in Vertiefungen der Pigmentschicht, so kann natürlich eine Reizung der äusseren Stäbchen- und Zapfenschicht durch Lichtstrahlen keine Empfindung hervorrufen; sobald die Stäbchen- und Zapfenschicht selbst durch starke Reizung zur Lichtquelle gemacht wird, so gelangt sie dadurch in einen zur Erzeugung von Lichtempfindungen günstigen Zustand, indem die Pigmentfransen sich nach aussen zurückziehen und der Entstehungsort der Lichtempfindungen ausserhalb des Bereiches der Fortsätze des Choroideipithels verlegt ist, mit anderen Worten — die Stäbchen- und Zapfenschicht ist unter dieselben Bedingen versetzt, wie eine jede Empfindung erzeugende Lichtquelle. Wie bekannt, bestehen die Kolben und Zapfen aus 2 der physiologischen Funktion nach scheinbar verschiedenen Theilen. Die äussere Schicht besteht aus planparallelen, stark lichtbrechenden Scheiben, die innere dunklere aus einer schwach lichtbrechenden körnigen Masse. Es ist möglich, dass bei Reizung der letzteren Schicht eben die erstere Hälfte der Zapfen und Stäbchen, welche in Beziehung zu jener die Rolle eines lichtpercipirenden Apparates spielt, zur Quelle der Impulse wird. Was das Erscheinen eines Bildes des Opticus bei Verminderung des Druckes betrifft, so mag das wohl eine Folge der Reizung an dessen Eintrittsstelle sein. Schon seit Magendie und Bell, d. h. seit 1811 her ist bekannt, dass beim Durchschneiden des N. opt. eine Lichtempfindung entsteht; es bildet eben das Durchschneiden ein reizendes Moment. Das Erscheinen von Netzhautgefassen gerade in der Mitte der Opticusabbil-

dung erklärt sich wahrscheinlich daraus, dass unter der Druckwirkung sich eine Blutarmuth der Netzhautgefässe einstellt; sobald der Druck verringert wird, füllen sich alsbald auch die Gefässe. Dieser Zeitpunkt der Gefässfüllung, die vor dem beleuchteten Ovale stattfindet, verursacht wohl auch die Abbildung der Gefässe; da nun aber die Peripherie heller als das Centrum erleuchtet ist, so sehen wir auch im Gegensatz zu Brenner dort die Gefässe deutlicher als hier.

Wir resumiren die Resultate unserer Untersuchungen in folgendem:

1. Durch starke elektrische Reizung der Netzhaut sind wir im Stande, die Abbildung unseres eigenen Gesichtsfeldes hervorzurufen.
 2. Das ganze Gesichtsfeld ist als mosaikartige Fläche zu sehen.
 3. Auch die Fovea centralis ist, nicht wie bei Purkinjé als Lichtfeld, sondern als Mosaikfläche zu sehen.
 4. Eine Vermehrung des Druckes hat bei elektrischer Erregung, gleich wie bei starker mechanischer Reizung keine neuen Erscheinungen zur Folge.
 5. Bei Verringerung des Druckes erscheint eine Abbildung der Eintrittsstelle des Sehnerven ins Auge und mitunter auch das Bild von Gefässen.
-

Literatur.

1. Volta, Collez. dell' opere. Bd. II. p. 119. u. a.
2. Ritter, Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprocess in d. Thierreich begleitet. Weimar 1798. S. 88. u. a.
3. Grapengiesser, Versuche, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden. Berlin 1801. S. 67 u. a.
4. Magendie, Journ. de physiol. exper. Bd. IV. und V.
5. Bell, Idea of new anatomy sf the brain. London 1811.
6. Purkinje, Beobacht. und Versuche zur Physiologie der Sinne. Prag 1823.
7. Most, Ueber die grossen Heilkräfte des in unseren Tagen mit Unrecht vernachlässigten Galvanismus. 1823.
8. Pflüger, Disquisitiones de sensu electrico. Bonn 1860.
9. Pflüger, Untersuchungen aus dem physiolog. Laboratorium zu Bonn. 1865. S. 170—171.
10. Hermann, Handbuch der Physiol. II. 1879.
11. Grützner, Ueber d. Einwirkung const. elektr. Ströme auf Nerv. Pflüger's Archiv Bd. XVII, 1878. S. 238.

12. Helmholtz, Handbuch der physiolog. Optik. 1867. S. 202.
 13. Brenner, Untersuchung und Beobacht. Bd. I. u. II. 1868—1869.
 14. Brunner, Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des N. opticus. Leipzig 1863.
 15. Du Bois-Reymond, Thierische Elektricität. Berlin 1848. Bd. I.
 16. Fechner, Lehrbuch des Galvanismus. S. 473.
 17. v. Rüte, Bildliche Darstellung der Krankheit. des menschlichen Auges. Bd. I.
 18. Reinhold, Gilbert's Annalen Bd. XI. 377.
 19. Funke, Lehrbuch der Physiologie. Leipzig 1864. Bd. II. 318.
 20. Ritter, Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus. Jena 1815. S. 159—160.
 21. Neftel, Galvanotherapeutik. 1871.
 22. Neftel, Beitrag zur galvanischen Reaction des opt. N.-apparats in gesundem und krankem Zustande. Archiv für Psychiatrie. Bd. VIII. 1878. S. 415.
 23. Kühne und Ewald, Unters. des physiol. Instituts Heidelberg. Bd. I. 1877, 1878.
-