

XVI.

Ueber die Wirkung des constanten Stroms auf das normale Auge.

Von

Dr. O. Schwarz,
Docent für Augenheilkunde in Leipzig.

I. Die galvanische Erregung des Auges.

Ursprünglich war es nur meine Absicht, zu untersuchen, ob die verschiedenen Functionen eines normalen Auges durch den galvanischen Strom beeinflusst werden können. Dabei wurden auch die „galvanischen Lichterscheinungen“ einem eingehenden Studium unterzogen. Dasselbe führte mich zu dem Ergebniss, dass die Brenner'sche Anschauung über die „galvanischen Lichterscheinungen“ nicht ganz richtig ist, sondern einer Modification bedarf, welche indess mit den allgemeinen Anschauungen der Brenner'schen Schule und mit den Pflüger'schen Gesetzen vollständig im Einklang steht, ausserdem aber auch die Anschauung von v. Helmholtz in sich begreift.

Es möge gestattet sein, der Begründung dieser Ansicht einen kurzen Ueberblick über die scheinbar so verschiedenen Auffassungen von Brenner und v. Helmholtz vorauszuschicken.

v. Helmholtz fasst seine Anschauung mit den Worten zusammen: „Elektrische constante Durchströmung der Netzhaut in der Richtung von den Zapfen zu den zugehörigen Ganglienzellen giebt die Empfindung von Dunkel; die entgegengesetzte Durchströmung giebt die Empfindung von Hell“*).

*) Physiolog. Optik. 2 Aufl S. 247.

Brenner*) sagt, dass die galvanische Erregung des Sehnervenapparats nur eine Polwirkung sei, dass das Auge immer im Sinn des dem Sehnerven näherstehenden Pols reagire, und die optische Erscheinung überhaupt nur mit Deutlichkeit zu Tage trete, wenn die Entfernung beider Elektroden vom Sehnerv eine verschiedene sei.

Die hauptsächlich von Benedikt verfochtene Ansicht, dass die Lichtempfindungen durch galvanische Reflexerregung von den sensiblen Aesten des Trigeminus aus entstehen, wird heute Niemand mehr vertreten, der sich aufmerksam und unbefangen mit der Frage beschäftigt hat.

v. Helmholtz hat nachgewiesen, dass sich die elektrische Reizung auf einzelne Theile der Netzhaut beschränken lässt**). Er brachte eine kleine Elektrode an den innern oder äussern Augenwinkel, die andere, grössere Elektrode in den Nacken oder in die linke Hand, und stellte fest, „dass die von dem Strom von aussen nach innen durchflossene Hälfte der Netzhaut Dunkel empfindet, die von innen nach aussen durchflossene dagegen Helligkeit“. Die Anode erzeugte demnach in der von ihr entfernteren Netzhauthälfte (somit in der gleichseitigen Gesichtsfeldhälfte) die Empfindung von Helligkeit, die Kathode in der näherliegenden Netzhauthälfte.

Es wurde den Physiologen zum Vorwurf gemacht, dass sie auch bei der Erklärung der „galvanischen Lichtempfindungen“ sich nicht von der Rücksichtnahme auf die Stromesrichtung haben freimachen können***). Wenn wir bei vielen Organen des lebenden Körpers uns keine hinreichend genaue Vorstellung über die Ausbreitung des elektrischen Stroms in denselben bilden können, so liegt dies besonders an deren anatomischer Lage und Form. Es soll natürlich in keiner Weise das Verdienst von Brenner angetastet werden, dass er die Elektrodiagnostik von der Rücksichtnahme auf die Stromesrichtung befreit hat. Die Eliminirung der Richtung ist gestattet, weil gesetzmässige Beziehungen zwischen Nervenreaction im lebenden Körper und Ort und Art der nächst gelegenen reellen Elektrode aufgefunden sind; sie ist vortheilhaft, weil wir die Punkte, an welchen die Erregung stattfindet (den Ort der wirksamen virtuellen Pole), und damit auch die Stromrichtung in den gereizten Nervenelementen im

*) Untersuchungen und Beobachtungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie. Leipzig 1868 und 69.

**) a. a. O. S. 246 und auch schon 1. Aufl., Nachträge, S. 840.

***) Erb, Handb. der Elektrotherapie. 2. Aufl. S. 104.

Allgemeinen gar nicht genau bestimmen können. Es wird aber Niemand in Abrede stellen, dass da, wo die Nervenerregung zu Stande kommt, die Nervenfasern in ihrer Längsrichtung von Stromcomponenten getroffen werden, da bei genau querer Durchströmung keine Erregung erfolgt, und wenn wir oft nicht angeben können, ob die Richtung dieser Componenten an der betreffenden Stelle centrifugal oder centripetal ist, so ist das immerhin eine Lücke in unserm Wissen, auf welche es nur in praxi meist nicht ankommt, weil bei nicht zu geringem Abstand der Elektroden von einander der Ort, wo die Erregung durch die virtuellen Pole bewirkt wird, und zugleich die Stromrichtung an diesem Ort weit mehr vom Lageverhältniss des „differenten“ Poles zum erregten Organ, als vom Verhältniss der beiden reellen Pole zu einander (und damit der Hauptrichtung des Stroms) abhängt. Wenn wir aber bei einem galvanisch erregbaren Organ unter gewissen Verhältnissen eine bestimmte Stelle angeben können, in welcher Erregung stattfindet, und für die Ausdehnung der Erregung in der Längsrichtung der erregten Elemente dieser Stelle die Grenzen bis auf Bruchtheile eines Millimeters genau bestimmen können, wenn wir ferner mit Sicherheit zu sagen vermögen, ob die in die Längsrichtung dieser Elemente fallenden Stromcomponenten centrifugal oder centripetal gerichtet sind und eine gesetzmässige Beziehung zwischen der Richtung dieser Componenten und der zu beobachtenden Erscheinung finden, so können wir uns auch den Ort der wirksamen virtuellen Pole hinreichend genau vorstellen. Es ist dann kein wesentlicher Unterschied, ob wir in diesem Fall eine bestimmte Erscheinung auf die Stromrichtung in den erregten Elementen oder auf die Lage der wirksamen virtuellen Pole beziehen, sondern nur ein Unterschied in der Ausdrucksweise.

Nun ist die Netzhaut ein nervöses Endorgan, das sich durch seine Ausbreitung in eine Kugelschale, welcher in einem grossen Theil ihrer Ausdehnung die Elektroden sehr nahe gebracht werden können, und in welcher die Endelemente senkrecht zur Fläche und zu den Nervenfasern stehen, ferner durch sehr grosse Reizbarkeit und endlich durch genau localisirbare Empfindung vortheilhaft auszeichnet. Bei einem solchen Organ kann man sich über die Richtung eines Stroms, oder, wenn man will, der Fortpflanzung irgend einer Schwingungsform und damit zugleich über den Ort der „virtuellen“ Pole in einem bestimmten Theile desselben immerhin eine hinreichend genaue Vorstellung machen. Durch Gebrauch der Bezeichnungen „aufsteigender“ und „absteigender Strom“ beim Auge wurde allerdings manche Verwirrung angerichtet, aber wesentlich aus dem Grunde, weil die

Frage, ob die Lichterscheinungen durch Wirkung des Stroms auf die Netzhaut oder auf den Stamm des Sehnerven entstehen, meist gänzlich unberücksichtigt blieb, und daher verschiedene, für das Experiment wesentliche Factoren: Grösse und Ansatzpunkt der Elektroden (bei bestimmter Augenstellung), sowie Stromstärke, einer genaueren Bestimmung wenig oder in ungleicher Weise gewürdigt wurden.

Wenn auch die Möglichkeit zugegeben werden muss, dass die bei Schliessung oder Oeffnung eines Stroms auftretenden, das ganze Gesichtsfeld erhellenden Blitze, wie sie von verschiedenen Beobachtern beschrieben werden, auf eine Erregung des Sehnervenstamms zu beziehen sind — eine sichere Entscheidung hierüber lässt sich nur von Untersuchungen an kurz zuvor Enucleirten (bei vorherigem Fehlen oder vollständiger Blindheit des zweiten Auges) treffen —, so ist durch den von v. Helmholtz gelieferten Nachweis der partiellen Reizbarkeit der Netzhaut sicher gestellt, dass die im Gesichtsfeld localisirbaren galvanischen Lichterscheinungen durch direkte Wirkung auf die Netzhaut entstehen. Dies ist schon von vornherein sehr wahrscheinlich, denn man könnte sich schwer denken, dass die am deutlichsten und weitauß am meisten beobachteten Lichterscheinungen in der Projectionsrichtung des gelben, sowie des blinden Fleck's von einer partiellen Reizung derjenigen Fasergruppen des Sehnervenstamms abhingen, welche zur Macula und zur unmittelbaren Umgebung der Papille ziehen; und eine durch Erregung des gesamten Sehnervenquerschnitts (resp. der Papille) bewirkte Lichterscheinung müsste doch immer das ganze Gesichtsfeld ausfüllen. Letzteres ist zwar selbstverständlich, trotzdem wurde wenig darauf geachtet. Durch v. Helmholtz ist es ausserdem schon sehr wahrscheinlich gemacht, dass die localisirbaren Erscheinungen auch nicht auf Erregung der Nervenfasern in der Netzhaut zu beziehen sind, sondern auf Erregung der Elemente in den periphereren Netzhautschichten.

Was meine eigenen Versuche betreffs der partiellen elektrischen Erregbarkeit der Netzhaut ergaben, stimmt mit den Resultaten von v. Helmholtz vollständig überein.

Wenn ich eine knopfförmige Elektrode von der Grösse eines Kirschkerns als Anode am äusseren Lidwinkel ansetze, und die gleich grosse Kathode am inneren Lidwinkel, bei sorgfältiger Vermeidung von Druck auf das Auge und geradeaus gerichtetem Blick, so tritt mit dem Stromschluss im Finstern schon bei einer Strom-

stärke von etwa $\frac{1}{4}$ M. A.* (absolut geaichtes Verticalgalvanometer von Stöhrer) eine deutliche Helligkeit (ohne bestimmte Färbung) in der Peripherie der temporalen Gesichtsfeldhälfte auf; sie nimmt rasch ab, um bald — bei vollständig ruhig gehaltenem Auge — ganz zu verschwinden; ihre Dauer wächst mit der Stromstärke, sie ist aber schwer bestimmbar, bei einer Stromstärke von $1\frac{1}{2}$ M. A. konnte ich sie schon nach wenigen Secunden nicht mehr vom „Eigentlichen“ der Netzhaut unterscheiden. Die Helligkeit ist um so intensiver und nach der Seite des Fixirpunktes um so schärfer begrenzt, je stärker der Strom, dabei nimmt sie eine immer deutlicher werdende hellblau-violette Färbung an. Bei stärkeren Strömen treten indess andere Erscheinungen — solche, wie sie den einschlägigen Beobachtungen anderer Forscher entsprechen — immer mehr in den Vordergrund gegenüber den in der Peripherie des Gesichtsfeldes localisirbaren Erscheinungen, sie beginnen für mich schon bei einer Stromstärke von $2\frac{1}{2}$ M. A.; von ihnen soll indess weiter unten genauer die Rede sein. Bei Application grösserer Elektroden (ca. 7 Qu.-Ctm. Oberfläche) an beiden Schläfen dagegen traten die Erscheinungen in der centralen Gesichtsfeldgegend auch bei stärkeren Strömen nur schwach auf; bei Strömen bis zu 12 M. A. war die ganze nach Seite der Anode liegende, jetzt binoculare Gesichtsfeldhälfte von hellblauem Licht überzogen, die andere Hälfte wurde dunkler als das „Eigentliche“ der Netzhaut, nur an der Grenze beider Hälften zeigte sich ein dunkler bräunlichgrüner Schimmer, der sich nach aussen verlor. Noch stärkere Ströme wandte ich wegen der unangenehmen Nebenerscheinungen und möglichen Gefahr für die Netzhaut nicht an. Bei starken Strömen ist es sehr gerathen, plötzliche Stromschlüsse und -Oeffnungen zu vermeiden und stets mit einem der Pole vom Haarboden aus „einzuschleichen“. Je rascher das Einschleichen, oder allgemeiner: je steiler die Stromschwankungen, desto intensiver sind (bei gleicher Elementenzahl resp. bei annähernd gleichen Stromstärken) die dabei auftretenden nicht sicher localisirbaren Lichtblitze.

Die partielle Erregung der Netzhaut durch schwache Ströme zeigt sich in derselben Weise, wie bei dem erstbeschriebenen Versuch, wenn ich diesen dahin ändere, dass die Kathode an den Nacken oder in die linke oder rechte Hand gebracht wird; nur ist die Ausdehnung der Helligkeit hierbei nach dem Fixirpunkt zu etwas grösser; wegen des grösseren Leitungswiderstandes (namentlich der Hand) wurde die Kathode natürlich grösser gewählt (etwa 12 Qu.-Ctm.); die Strom-

*) Die Stromstärke wurde immer gleich nach jedem Versuche bestimmt.

stärke wurde mittelst Flüssigkeitsrheostats regulirt. Die Erscheinung war selbst dann noch mit Sicherheit wahrzunehmen, wenn bei Belassen der kleinen Anode am äusseren Lidwinkel, eine ebenso kleine Kathode 4 Ctm. hinter derselben an der Schläfe aufgesetzt wurde. Bei noch grösserer Annäherung der Kathode an die Anode wird die Erscheinung allmälig undeutlich.

Wenn die kleine Kathode am inneren Augenwinkel bleibt, und die Anode an Nacken, Hand oder Schläfe gebracht wird, tritt ebenfalls stets eine temporale Helligkeit auf, nur ist dieselbe jetzt auf den periphersten Theil des Gesichtsfelds beschränkt.

Werden alle diese Versuche mit entgegengesetzter Stromrichtung ausgeführt, so vertauscht sich einfach rechts und links in der Erscheinung, nur mit dem unwesentlichen Unterschied, dass die jetzt in der nasalen Gesichtsfeldhälfte auftretende Helligkeit bei entsprechend gleicher Stromstärke eine geringere Ausbreitung hat, als bei der ersten Versuchsreihe die Helligkeit in der temporalen Hälfte, und dass sie schärfer begrenzt ist (nach der Fixirpunktseite). Ersteres hängt offenbar damit zusammen, dass die Functionsfähigkeit der Netzhaut auf der nasalen Seite, wo sie bei der ersten Versuchsreihe erregt wurde, weiter nach vorn reicht, und somit ein grösserer Theil derselben von der galvanischen Erregung betroffen wurde; letzterer Umstand hängt möglicher Weise mit dem Einfluss zusammen, den die Sehnerveneintrittsstelle vermöge grösseren Widerstandes auf die Ausbreitung des Stromes in ihrer Umgebung ausübt, indem wegen der Lage der Papille dieser Einfluss bei der ersten Versuchsreihe, bei Erregung eines nasalen Netzhautabschnitts, mehr in Betracht kommt, als bei Erregung eines temporalen Abschnitts.

Oeffnung des Stroms wirkt stets wie Schliessung eines entgegengesetzt gerichteten, rasch abnehmenden und verschwindenden Stroms. Stärke und Dauer der Lichterscheinung sind hierbei, innerhalb gewisser Grenzen, nicht nur von der Stärke, sondern auch von der Dauer des zuvor durch das Auge geleiteten Stroms abhängig.

In den beschriebenen Versuchen liegt zugleich der Beweis, dass, wie es schon durch die Untersuchungen v. Helmholtz sehr wahrscheinlich gemacht, die partielle (localisirbare) galvanische Erregung der Netzhaut nicht in der Nervenfaserschicht, sondern nach aussen von ihr zu Stande kommt.

Durch Vergleich der beiden folgenden Versuche lässt sich dies klar vor Augen führen. Im ersten Versuche (siehe Fig. 1a.) ist die Kathode am inneren Winkel des rechten Auges, die Anode an der Schläfe, 4 Ctm. hinter dem äusseren Augenhöhlenrand; im zweiten

Versuch (Fig. 1 b.) die Kathode an letzterem Punkt, die Anode unmittelbar hinter dem äusseren Lidwinkel. Bei beiden Versuchsanordnungen tritt mit dem Stromschluss in der temporalen Gesichtsfeldhälfte eine deutliche Helligkeit auf, die sich im ersten Fall auf den periphersten Theil des Gesichtsfeldes beschränkt, im zweiten ein etwas grösseres Areal*) einnimmt. Im ersten Fall ist sicher die

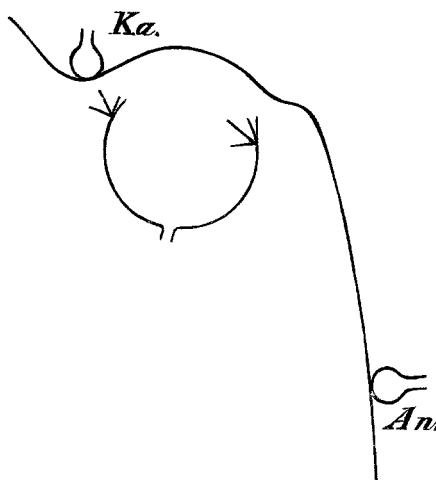


Fig. 1 a.

nasale Peripherie, im zweiten mindestens die nasale Aequatorgegend der Netzhaut erregt. Die zu diesen Stellen führenden Nervenfasern der Netzhaut werden bei der ersten Versuchsanordnung ausschliesslich von centrifugalen, bei der zweiten mindestens vorwiegend von centripetalen Stromkomponenten**) getroffen. (Höchstens in

*) Stärkere Ströme sind hierbei zu vermeiden, da sonst auch die Gegend des Fixirpunkts erhellt und dadurch die Beobachtung der Erscheinungen in der Peripherie erschwert wird.

**) Wir können an jedem beliebigen Punkt eines Nervenelements oder einer Nervenfaser den Strom nach Richtung und Kraft in drei zu einander senkrechte Componenten zerlegen, von denen eine in die Längsrichtung des Nervenelements fällt; nur diese Componente kommt für das betreffende Element als wirksam in Betracht. Auf eine eingehendere mathematische Darlegung wird der Leser an dieser Stelle wohl gern verzichten; es möge daher genügen, darauf hinzuweisen, dass wir in den gewählten Beispie-

der Nähe der Papille könnten sehr kleine centrifugale Componenten vorhanden sein). Wenn also die Erregung in den Nervenfasern stattfände, so müsste dieselbe unabhängig von der Richtung zu

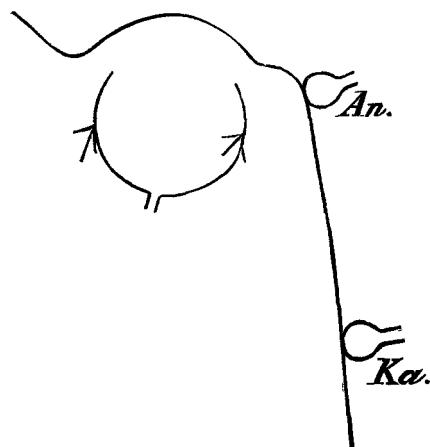


Fig. 1b.



Fig. 2.

Stande kommen, was aber nicht sein kann, da sonst bei der zweiten Versuchsanordnung in den Netzhautfasern der temporalen Hälfte die Längscomponenten zum wenigsten ebenso wirksam sein müssten, als in der nasalen Netzhauthälfte, und somit die temporale Netzhauthälfte mindestens ebenso stark erregt werden müsste, als die nasale, während sie in Wirklichkeit nicht erregt wird. Dagegen sind bei beiden Versuchsanordnungen die wirksamen Stromcomponenten in den radiären Netzhautelementen an den der Helligkeit im Gesichtsfeld entsprechenden Stellen centrifugal, in den radiären Elementen der gar nicht erregten temporalen Netzhauthälfte centripetal. Es bleibt somit nur die Annahme übrig, dass die Erregung durch centrifugale Stromcomponenten in den radiären Netzhautelementen, also durch einen von den Ganglienzellen nach der Stäbchenschicht hin gerichteten Strom zu Stande kommt.

len mit hinreichender Sicherheit sagen können, ob die „wirksamen Componenten“ in den in Betracht kommenden Netzhautelementen resp. Nervenfasern centrifugal oder antripetal gerichtet sind, und dass wir auch die Größenverhältnisse der betreffenden Componenten in der nasalen und in der temporalen Hälfte zum mindesten soweit miteinander vergleichen können, als dies in der obigen Ausführung geschieht.

In der Sprache der Brenner'schen Schule ausgedrückt heisst dies: die Erregung wird durch die auf der Aussenfläche der nasalen Netzhauthälften (in Folge der hier vorhandenen Widerstandsänderung in der Leitung) auftretende virtuelle Kathode bewirkt.

Dass der absolut nähere reelle Pol nicht massgebend ist, wie Brenner meint, springt bei der gewählten Versuchsanordnung ebenfalls deutlich in die Augen.

Die Lichterscheinungen im centralen Theil des Gesichtsfeldes traten am deutlichsten auf bei grösserer Elektrode (12 Qu.-Ctm. Fläche) im Nacken und kleiner knopfförmiger Elektrode auf dem geschlossenen oberen Lide oder am äusseren Lidwinkel. Letzteres ist angenehmer, weil das brennende Gefühl hier länger erträglich bleibt, als auf dem Lid. Wenn nichts anderes gesagt ist, beziehen sich die im Folgenden beschriebenen Erscheinungen immer auf diese Elektrodenstellung; dabei möge hier der Einfachheit halber die Anwendung der Ausdrücke „aufsteigender“ und „absteigender Strom“ in der bisher üblichen Weise gestattet sein, so dass also der Strom aufsteigend genannt wird, wenn die Anode am äusseren Lidwinkel sich befindet.

Bei gerade aus gerichtetem Blick zeigt sich bei einem aufsteigenden Strom von 3 M. A. die ganze temporale Gesichtshälfte einschliesslich der Gegend um den Fixirpunkt in schönem blauem, etwas in's Violette spielendem Lichte, das in der Gegend des Fixirpunkts am intensivsten ist (an Helligkeit wie an Farbe). Die Peripherie des nasalen Gesichtsfelds erscheint dabei in dunklem grünlich gelbem Schimmer. Die Grenze ist nicht scharf gezeichnet, doch fällt die blaue Helligkeit ziemlich rasch nach der dunklen Seite hin ab. Der helle Theil des Gesichtsfeldes ist in der Projektionsrichtung des blinden Flecks anfangs unterbrochen durch eine dunkle, nicht scharf begrenzte Scheibe (übereinstimmend mit der Beschreibung von v. Helmholtz), die aber nach etwa 5 Secunden in eine hellgelbe, immer schärfer sich begrenzende kleine Scheibe sich umwandelt, die dann von einem dunklen, weniger scharf begrenzten Ringe umgeben ist, so dass die helle Scheibe sammt der dunklen etwa dasselbe Areal einnimmt, wie vorher die dunkle Scheibe. Diese Erscheinung blasst schon nach ungefähr 4 Secunden wieder ab und verschwindet mehr und mehr, indem wieder eine undeutliche dunkle Scheibe auftritt. Die blaue Helligkeit blasst an ihren Grenzen rasch, im Centrum langsamer ab, so dass einige Secunden nach dem Stromschluss eine immer kleiner werdende blaue Scheibe im Centrum sichtbar ist, deren Rundung nur beeinflusst wird von der Erscheinung

am blinden Fleck, durch welche ein Stück der sonst nicht scharf begrenzten Scheibe nahezu geradlinig abgeschnitten wird. Etwa zehn Secunden nach dem Stromschluss kann ich (bei der angegebenen Stromstärke von 3 M. A.) nirgends mehr im Gesichtsfeld ein bestimmtes Detail unterscheiden, abgesehen von gewöhnlichen subjectiven Lichtempfindungen, wie sie schon von anderen Beobachtern geschildert wurden, und unter welchen bei mir cometenähnliche oder auch halbmondförmige, meist eine kreis- oder spiralförmige Bahn um den Fixirpunkt beschreibende Lichtstreifen am auffallendsten sind (sie gleichen sehr einer von Purkinje in seinen „Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne“, II. Bändchen, gegebenen Abbildung, Figur 42 auf Tafel IV.). In der äussersten Gesichtsfeldzone sehe ich endlich noch einen schwachen, leicht gelblichen Lichtring, der sich nach der temporalen anfangs blau erhellten Seite nicht ganz schliesst und etwa ebenso lang dauert, wie der centrale blaue Schein.

Bei möglichst starker Linkswwendung des aufsteigend durchströmten rechten Auges ist zwischen der hellblauen Peripherie im temporalen Gesichtsfeld und dem Fixirpunkt ein dunkler Zwischenraum, der blinde Fleck tritt gar nicht oder nur undeutlich in die Erscheinung, am Fixirpunkt zeigt sich ein blauviolettes nach der linken Seite gerichtetes Lichtbüschel. Wird die Linkswwendung nur soweit ausgeführt, das die temporale Helligkeit bis nahe an den Fixirpunkt heranreicht (in den ersten Momenten nach dem Stromschluss), so ist auch ein dunkles Büschel bemerkbar, das vom Fixirpunkt nach der hellen rechten Seite gerichtet ist. Fig. 2 auf Seite 595 zeigt die Form der Büschel, wie sie mir erscheinen. Das blaue Büschel erscheint etwas grösser, offenbar in Folge von Lichtinduction (Hering), denn ich kann dabei einen intensiveren centralen Theil von einem schwächeren schmalen Hof deutlich unterscheiden, wobei der centrale Theil genau so gross erscheint, wie das dunkle Büschel. Diese Büschel entsprechen ohne Zweifel den von v. Helmholtz a. a. O. S. 247 beschriebenen „querovalen Feldern“.

Bei absteigendem Strom (resp. bei Oeffnung des aufsteigenden, dann aber entsprechend rascher ablaufend) kehren sich in allen Versuchen die Erscheinungen im Allgemeinen nach Helligkeit und Farbe um. Wo vorher blaue Helligkeit war, herrscht jetzt ein schwach grünlich scheinendes Dunkel, das mir dunkler oder mindestens nicht heller vorkommt, als das „Eigenlicht“ der Netzhaut; bald aber — schon nach etwa 2 Secunden — entwickelt sich ein deutlicher grünlichgelber Schimmer, der während einiger Secunden an Helligkeit noch zunimmt und gegen die dunklere Peripherie (der anfangs deut-

lich auftretende blaue Schimmer auf der nasalen Seite ist inzwischen abgeblasst) ungefähr dieselben Grenzen hat, wie der hellblaue Schimmer beim aufsteigenden Strom; er erscheint nun entschieden heller, als das „Eigenlicht“ der Netzhaut, doch erreicht er lange nicht die Helligkeit des blauen Schimmers. Die Papille ist im ersten Augenblick nicht von der dunklen Umgebung zu unterscheiden; ungefähr in demselben Masse, als diese den grünlichgelben Schimmer annimmt, bekommt die Sehnervenscheibe eine dunkelviolette Färbung, die allmälig etwas heller wird, um bald wieder zu verschwinden. Bei stärkeren Strömen (etwa 4 M. A. und mehr) wird sie wesentlich heller und licht bläulich und blasst dann wieder ab; diese Periode wiederholt sich noch ein- oder zweimal mit immer geringer werdender Intensität. Hier sei nachträglich bemerkt, dass bei stärkeren „aufsteigenden“ Strömen die beschriebene gelbe Scheibe nach ihrem ersten Verschwinden ebenfalls auf kurze Zeit wieder auftaucht. Bei Linkswendung des absteigend durchströmten rechten Auges (und zwar schon bei sehr geringer Augendrehung) zeigt sich auch wieder ein deutliches blauviolettes, jetzt aber nach rechts gerichtetes Büschel; bei geeigneter Stellung des Auges (am deutlichsten, wenn man gerade gegen die Grenze des hellen und dunklen Gebiets sieht), erscheint auch das nach der anderen Seite gerichtete dunkle Büschel.

In den beschriebenen Erscheinungen sind die meisten von Andern berichteten Beobachtungen in ihren wesentlichen Zügen leicht wieder zu erkennen. Am engsten schliessen sich meine Beobachtungen an die von v. Helmholtz an, von denen sie sich wesentlich nur darin unterscheiden, dass bei v. Helmholtz die Sehnerveneintrittsstelle bei aufsteigendem Strom dunkel bleibt, und dass da eine röthlich-gelbe Farbenempfindung vorhanden ist, wo ich grünlichgelb sehe. Ersteres ist wohl darauf zurückzuführen, dass sich seine Beschreibung der dunklen Sehnervenscheibe auf schwächere Ströme bezieht; letzteres, der Unterschied in der Farbenempfindung, ist eine rein individuelle, d. h. von der Versuchsanordnung unabhängige Verschiedenheit.

Betreffs der Lichtbüschel am Fixirpunkt möchte ich mich der Erklärung von v. Helmholtz vollständig anschliessen, welche dahin geht, dass am gelben Fleck die Faserzüge der Netzhaut radial divergirend gegen die dazu gehörigen Ganglienzellen verlaufen, und die elektrischen Ströme bei der betreffenden Blickrichtung am gelben Fleck parallel der Fläche der Netzhaut fliessen.

Da die Zapfen selbst senkrecht zur Fläche der Netzhaut stehen, und die zur Fovea radiäre Richtung erst in den Zapfenfasern beginnt, wo sie zugleich am stärksten ausgeprägt ist, so kommt man

hierdurch zu der Annahme, dass höchst wahrscheinlich die Zapfenfasern an der galvanischen Erregung theilnehmen, indem an den Stellen ihrer stärksten Krümmung virtuelle Pole entstehen — vorausgesetzt, dass die Erregung nicht etwa lediglich in den mittleren Netzhautschichten erfolgt, was sich indess schwerer vorstellen liesse.

Schwieriger ist die Erklärung der Erscheinungen am blinden Fleck. v. Helmholtz's Annahme, dass die starke Scheide des Sehnerven an seiner Eintrittsstelle als schlecht leitende Masse die dicht davor liegenden Netzhautelemente, die das Mark des eintretenden Sehnerven unmittelbar umgeben, vor der Durchströmung verhältnissmäßig schützt, hat sehr viel für sich; das Auftreten einer dunklen Scheibe bei aufsteigendem Strom würde dadurch befriedigend erklärt, und für ihr Erscheinen als hellgelbe oder (beim absteigenden Strom) als hellblaue Scheibe könnte man annehmen, dass in Folge des abweichenden Leitungswiderstandes sich mehr oder weniger rasch — je nach den Versuchsbedingungen und individuellen Unterschieden — Polarisationserscheinungen einstellen; dafür spräche auch der Umstand, dass nach meinen Beobachtungen die Helligkeit der Sehnervenscheibe erst eine gewisse, wenn auch kurze Zeit nach dem Stromschluss auftritt und allmälig zunimmt; eine genügend klare Vorstellung lässt sich indess darüber zur Zeit noch nicht machen.

Dass die Beobachtungen Mancher unter sich so abweichend lauten, beruht grossentheils darauf, dass den Einen mehr die in der Maculagegend, den Andern mehr die an der Sehnervenscheibe auftretenden Erscheinungen in's Auge fielen, und der Grund hierfür liegt wohl zum Theil in den Unterschieden der Versuchsanordnung, zum Theil vielleicht auch in anatomischen Verschiedenheiten des zur Beobachtung benützten Auges und seiner Umgebung. Man könnte sich denken, dass ein langes, myopisches Auge wegen abweichenden Verhältnisses der Stellung des Sehnerveneintritts zum hinteren Augenpol anders reagirt, als ein emmetropisches oder hypermetropisches Auge, oder dass Verschiedenheit der Dicke der Sehnervenscheide die Erscheinungen an der Papille beeinflusst.

Der Gebrauch des Wortes „Centrum“ für die Erscheinung an der Sehnervenscheibe giebt leicht zu Missverständnissen Anlass; so z. B. identifizirt Erb*) irriger Weise den von Purkinje beschriebenen „rautenförmigen Fleck“ mit der beim „aufsteigenden“ Strom gelb-grünen, beim „absteigenden“ hellblauen Scheibe Brenner's; dass

*) a. a. O. S. 105.

diese der Papille entspricht, ist nach Brenner's eigener Beschreibung*) allerdings unzweifelhaft; Purkinje aber unterscheidet deutlich den „rautenförmigen Fleck“ im Achsenpunkt des Auges und die — bei schwachem „absteigendem“ Strom (Kupferpol im Mund, Zinkpol am Ange) hellviolette lichte, bei schwachem „aufsteigendem“ Strom dunkle — Scheibe an der Eintrittsstelle des Sehnerven**). Den Achsenpunkt des Auges nennt er ein andermal (l. c. S. 36) Achsenpunkt des Sehfeldes, so dass also kein Missverständniss möglich.

Die Rautenform ist bis jetzt Purkinje allein eigenhümlich. Das von ihm beschriebene, von dem rautenförmigen Fleck durch eine dunkle Zone getrennte helle rautenförmige Band entspricht vielleicht dem von mir beobachteten schwachen peripheren Lichtring (vergl. S. 597), indess konnte ich betreffs mancher Einzelheiten von Purkinje keine sicheren Vergleichungen anstellen, auch nicht bei möglichst getreuer Nachahmung seiner Versuchsanordnung. Eine andere Möglichkeit ist die, dass Purkinje auf seinem rechten Auge, auf welches sich die betreffenden Abbildungen beziehen, an einem pericentralen relativen Skotom litt, mit welchem die dunkle Zone zusammenhangt; er beschreibt nämlich zwei (nicht galvanische) Versuche (a. a. O. I. S. 230 u. II. S. 116), bei welchen ihm ein grauer Kreis um die helle, etwa 20° Durchmesser betragende Mitte erscheint, den er selbst auf eine geringere Empfindlichkeit der Netzhaut an der betreffenden Stelle zurückführt. Er konnte diese Erscheinung nur mit dem rechten Auge bemerken. Indess wäre (richtige Grössenschätzung von Seiten Purkinje's vorausgesetzt) bei einem solchen Skotom das functionstüchtige Centrum auffallend gross.

Auch Purkinje betrachtet als das Wesentliche der galvanischen Lichterscheinungen im Allgemeinen einen hell violetten Lichtschein beim aufsteigenden, und einen „gelblichen Dunst, der sich über einen schwarzen Hintergrund zieht“, beim absteigenden Strom (also die Erscheinungen in der Gegend des Fixirpunkts), wobei er hinzufügt: „Die Intension ist ungleich grösser beim violetten, als beim gelben Lichtschein“ (a. a. O. S. 33). Die partielle Erregbarkeit der Netzhaut ist aus seinen Versuchen (vergl. die Abbildungen a. a. O. II. Tafel 1) ebenfalls schon klar ersichtlich.

*) a. a. O. Bd. I. S. 71. Satz 14.

**) Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. II. Bändchen, S. 35 u. f.

Wenn man mit Neftel*) bei der galvanischen Erregung die Farbenempfindung und die Lichtempfindung als zwei verschiedene Reactionen ansehen will, so steht dem wohl nichts entgegen. Für den bei sehr steilen Stromschwankungen auftretenden Lichtblitz wäre indess — abgesehen von der möglichen Erregung der Nervenfasern in der Netzhaut oder im Sehnerven selbst — auch die Annahme zulässig, dass durch einen solchen verhältnissmässig starken Reiz alle Farbencomponenten — oder, allgemeiner gesprochen, alle Elementarfunctionen der Netzhaut — gleichmässig erregt würden.

Wenn bei künftigen Beobachtungen unter genügender Berücksichtigung der Versuchsbedingungen genauer auf die Localisation der Erscheinungen im Gesichtsfeld geachtet wird, werden, abgesehen von quantitativen Unterschieden, die individuellen Abweichungen sich wohl der Hauptsache nach auf die Farbenempfindungen beschränken.

Dass die vom constanten Strom hervorgerufenen Licht- und Farbenempfindungen wirklich auf einer Erregung beruhen, und nicht blass auf einer Aenderung der Erregbarkeit, wodurch das „Eigenlicht“ der Netzhaut stärker oder schwächer zur Empfindung käme, dafür spricht die Intensität der Empfindungen und die grosse qualitative Verschiedenheit von den Erscheinungen des Eigenlichts. Das Dunklerwerden des Gesichtsfeldes beim absteigenden Strom liesse sich durch Herabsetzung der Empfindung des Eigenlichts wohl erklären; wenn aber (bei stärkeren Strömen) darauf eine deutliche hellere Farbenempfindung folgt, so wird man auch hier an eine Erregung denken müssen.

Als Nachbilder einer nur durch die Schliessung oder Oeffnung bewirkten Erregung, woran man noch denken könnte, sind die betreffenden Lichtempfindungen nicht zu deuten, denn die Erscheinungen in der Peripherie behalten ihre Projectionsrichtung bei langsamer Bewegung des Auges bei, und die Erscheinungen an Pappille und Macula werden dabei stärker oder schwächer, je nachdem das Auge in die für die betreffende Erscheinung günstigere oder ungünstigere Lage kommt.

Wir können nun unsere Vorstellung über die localisirbaren galvanischen Lichtempfindungen folgendermassen zusammenfassen. Denken wir uns den einen Pol (kleine Elektrode) auf dem geschlossenen Lide, den anderen, grösseren, im Nacken, und bezeichnen wir, entsprechend den in der Physiologie eingeführten Ausdrücken, den mit dem Stromschluss eintretenden Zustand derjenigen Oberfläche der Netzhaut, welche der Anode zugekehrt und damit auch von einer

*) Dieses Archiv Bd. VI. S. 415.

„virtuellen“ Anode begrenzt ist, als Anelektrotonus, den Zustand der anderen Oberfläche als Katelektrotonus. Kommen die durch den galvanischen Strom erregbaren Elemente unter den Einfluss des Katelektrotonus, so entsteht eine — bei stärkeren Graden desselben deutlich blaue (oder violette) — Lichtempfindung, welche andauert, bis der Katelektrotonus sein Maximum erreicht, und heller ist, als das Eigenlicht der Netzhaut. Das ist der Fall bei Katelektrotonus der hinteren Netzhautfläche, also bei Schliessung des „aufsteigenden“ Stroms. (Von der Gegend der Papille sehen wir der verwickelteren Verhältnisse wegen hier ab.) Kommen die betreffenden Elemente unter den Einfluss des Anelektrotonus — bei Schliessung des „absteigenden“ Stroms —, so tritt durch Herabsetzung der Erregbarkeit eine Verminderung der Empfindung des Eigenlichts, also ein Dunklerwerden des Gesichtsfeldes, ein. Durch innere Polarisation nehmen Katelektrotonus und Anelektrotonus nach Erreichung eines Maximums während der Stromdauer wieder ab. Abnahme des Katelektrotonus in den galvanisch erregbaren Elementen bewirkt — bei vollständiger Vermeidung von Stromschwankungen — Verschwinden der galvanischen Lichterscheinungen, Abnahme des Anelektrotonus — was gleichbedeutend ist mit einem in Folge Polarisierung neu auftretenden Katelektrotonus — wirkt als, wenn auch schwache, Erregung und erhellt dadurch wieder das vorher dunkler gewordene Gesichtsfeld, und zwar mit grünlich-gelbem (oder gelbem oder röthlich-gelbem) Schimmer. Möglicherweise hängt mit dieser verschiedenen Art des Zustandekommens der Erregung beim aufsteigenden und absteigenden Strom die Verschiedenheit der Farbenempfindung zusammen, welche im Allgemeinen bei der einen Stromrichtung complementär zu der Empfindung bei der anderen Richtung ist.

Man könnte für alle Elektrodenstellungen unter Modification der Brenner'schen Anschauung ganz allgemein sagen: Die galvanische Lichterscheinung entspricht in der Hauptsache demjenigen Pol, welchem die Netzhautausenfläche in grösserer Ausdehnung (im Verhältniss zum anderen Pol) zugekehrt ist.

Ein sicheres Urtheil über die dargelegten Anschauungen wird erst durch weitere eingehende Untersuchungen Anderer ermöglicht werden, und es wird deren noch viele bedürfen, bis wir uns über verschiedene Einzelheiten bei der galvanischen Erregung des Auges eine befriedigende Vorstellung machen können.

Aus dem Bisherigen dürfte indess deutlich hervorgehen, dass die Uebertragung der Ausdrücke „Kathodenschliessungsreaction“ u. s. w. auf die Vorgänge am Auge in dem bisher üblichen

Sinn nicht correct ist, denn der KaSZ der Muskeln entspricht eigentlich die beim „aufsteigenden“ Strom eintretende Lichterscheinung, während der „absteigende“ Strom bei geringer Stärke überhaupt nur eine Verdunklung bewirkt.

Die Wahrnehmung der Verdunkelung begann für mich ungefähr bei derselben Stromstärke, wie die der Erhellung beim aufsteigendem Strom; das Stöhrer'sche Galvanometer zeigte ca. $\frac{1}{4}$ M.A. (kleine An. auf dem geschlossenem Lid bei geradeaus gerichtetem Blick). Es bedarf in dieser Hinsicht noch genauerer quantitativer Messungen mit einem Edelmann'schen Galvanometer (fernern müsste die Ablesung von einer zweiten Person ausserhalb des dunklen Versuchsraumes erfolgen). Diejenige Stärke des absteigenden Stroms, bei welcher das nachfolgende Hellerwerden bemerkbar wird, liess sich wegen des sehr allmälichen Ueberganges noch weniger annähernd bestimmen, ich fand ungefähr $\frac{1}{2}$ —1 M.A. Einen Schliessungslichtblitz empfand ich selbst bei 3 M.A. noch nicht, wenn die kleine Kathode immer genau auf der Mitte des Lids und das Auge geradeaus gerichtet war; stärkere Ströme beeinträchtigen (bei so kleiner Elektrode) durch starkes Brennen und Lidmuskelzuckungen die Beobachtung; nimmt man eine grössere Elektrode, so kommt die Randzone der Netzhaut unter Stromschleifen von centrifugaler Richtung und dann tritt schon bei schwächeren „absteigenden“ Strömen auch ein Schliessungsblitz auf. Dass der plötzliche Uebergang von Eigenlicht in eine dunklere Empfindung leicht den Eindruck eines Blitzes macht, hat schon ein früherer Beobachter richtig bemerkt (der Name ist mir entfallen, ich konnte die betreffende Bemerkung bis jetzt leider nicht wiederfinden), die Täuschung lässt sich indess bei genauer Aufmerksamkeit (und strenger Versuchsanordnung) vermeiden.

Die Möglichkeit, dass durch starke (absteigende wie aufsteigende) Ströme auch eine wenigstens momentane Erregung in den Nervenfasern der Netzhaut resp. des Sehnerven bewirkt wird, bleibt natürlich trotzdem bestehen, vorläufig lässt sich aber eine Entscheidung hierüber noch nicht treffen. Am ehesten wäre von der Beobachtung pathologischer Fälle ein Aufschluss in dieser Hinsicht zu erwarten, namentlich dürften sich frische Fälle von Embolie der Centralarterie zur genauen elektrischen Untersuchung empfehlen, da zu vermuthen ist, dass hierbei das Sinnesepithel der Netzhaut (Schwalbe) früher functionsunfähig wird, als die Nervenfasern.

Eine Aenderung der bisher üblichen Bezeichnungsweise der galvanischen Reactionen des Auges möchte ich nicht vorschlagen, eine solche würde wohl eher zur Verwirrung führen, und wenn man künftighin die Ausdrücke KaSR, KaDR u. s. w. nur als Benennung der Versuchsanordnung nach dem auf dem Augenlid befindlichen Pol auffasst und sich des Unterschieds von der Muskel-

reaction bewusst bleibt, mag die Bezeichnungsweise ohne Schaden dieselbe bleiben. Das „Reactionsgesetz“ für das Auge wird sich aber dahin verändern müssen, dass man die bei schwachen Strömen auftretenden Reactionen, wobei nur Heller- und Dunklerwerden des Gesichtsfeldes bemerkbar wird, von den bei stärkeren Strömen auftretenden localisirbaren Erscheinungen unterscheidet, und diese nicht einfach als „Centrum“ und „Hof“ benennt (von Brenner wurde die Erscheinung in der Maculagegend nicht genauer beachtet und daher als Theil des „Hofes“ angesehen). sondern die Localisation jeder Erscheinung genau feststellt.

II. Einfluss des constanten Stroms auf die Empfindlichkeit der Netzhaut gegen objectives Licht.

Umfassendere Untersuchungen über den Einfluss des constanten Stroms auf die verschiedenen Netzhautfunctionen sind bis jetzt meines Wissens nur von Barbara Tscherbatscheff*) auf Pflüger's Anregung angestellt worden. Sie untersuchte an sich selbst, ob nach dem Durchleiten galvanischer Ströme (Kathode auf dem geschlossenen Auge, Anode im Nacken) die Functionen der Netzhaut eine Erhöhung zeigten, und kam zu folgenden Ergebnissen:

In Beziehung auf Untersuchung des Raumsinns fiel die Prüfung des constanten Stroms negativ aus. Dagegen ergab die Prüfung des indirekten Sehens (Wahrnehmung zweier distinkter Punkte) und der Ausdehnung des Gesichtsfeldes eine ziemlich starke Erweiterung der Grenzen, die erst nach zwei Wochen zu ihrer Norm zurückkehrte. In Bezug auf den Farbensinn im directen Sehen ergab die Bestimmung des kleinsten Gesichtswinkels, unter dem eine Farbe erkannt wurde, positive Resultate nur für Blau und Roth; die Bestimmung der minimalen zur Erkennung einer bestimmten Farbe nöthigen Belichtung (bei constantem Gesichtswinkel) ergab ein positives Resultat für Blau allein; die Empfindlichkeit für Farbennüancen zeigte eine Erhöhung für Blau und Roth. Im indirecten Sehen dagegen ergab sich eine starke Erweiterung der Grenzen für alle Farben, die sich während 8 Tagen nach der Elektrisirung nicht veränderte, erst nach 16 Tagen war wieder eine Verengerung eingetreten, welche die Mitte hielt zwischen dem physiologischen Zustand und dem elektrisch ge-

*) Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf das normale Auge. Dissertation. Bern 1880.

reizten. Der Lichtsinn (mit dem Förster'schen Photometer und mit Masson'schen Scheiben untersucht) ergab ein negatives Resultat.

Die positiven Ergebnisse Tscherbatscheff's bei den verschiedenen Prüfungen im indirecten Sehen erscheinen mir hinreichend zuverlässig. Betreffs der positiven Resultate für Blau und Roth bei den Untersuchungen des Farbensinns im directen Sehen sind die Fehlerquellen von Seiten der Untersuchungsmethoden wohl zu gross im Verhältniss zu den gefundenen Unterschieden, um die Resultate schon genügend gesichert erscheinend zu lassen, der Einfluss der Uebung ist hierbei nicht hinreichend ausgeschlossen.

Erhardt*) fand eine Erweiterung des Gesichtsfeldes bei sich selbst und verschiedenen anderen Personen nach Anwendung des constanten Stroms, und zwar nicht nur bei directer Galvanisirung des Auges, sondern auch bei Application der Elektroden an Nacken und Kehlkopf. Die Arbeit Erhardt's zu bekommen, bemühte ich mich leider vergeblich, ihre Ergebnisse sind berichtet in v. Ziemssen's „Elektricität in der Medicin“, 5. Auflage.

Die Gesichtsfelduntersuchungen Engelskjön's**) kommen hier nicht in Betracht, da sie sich nur auf pathologische Fälle beziehen, und auch die Fehlerquellen seiner Untersuchungsmethode zu gross sind, um sichere Schlüsse zu gestatten.

Sonst finden sich nur noch vereinzelte Bemerkungen in Bezug auf den vorliegenden Gegenstand. So gab Ritter***) an, dass ihm äussere Gegenstände bei aufsteigendem Strom undeutlicher und verkleinert erschienen, bei absteigendem deutlicher und grösser. Ritter's Beobachtungen sind indess wegen etwas lebhafter Fantasie im Allgemeinen mit Vorsicht aufzunehmen.

Purkinje†) fand in Bezug auf die Farbenempfindung, dass das Lichtgelbe durch den violetten Lichtschein (beim aufsteigenden Strom) noch mehr erblasste, das Lichtviolette durch den gelblichen ergraute.

Aubert††) stimmt mit Ritter betreffs des Undeutlicher- oder Deutlicherwerdens ausserer Gegenstände bei auf- resp. absteigendem Strome überein, findet aber ausserdem, dass im Halbdunkel die

*) Ueber den Einfluss elektrischer Ströme auf das Gesichtsfeld und seinen Werth in therapeutisch-diagnostischer Beziehung. Inaugural-Dissertation, München 1885.

**) Dieses Archiv Bd. XV. S. 136 u. 305, Bd. XVI. S. 1 u. 831.

***) Gilbert's Annalen Bd. VII. S. 469.

†) a. a. O. II. S. 34.

††) Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865.

Objecte während des absteigenden Stromes dunkler, nach der Oeffnung deutlich heller erscheinen.

Brunner^{*)} untersuchte auch den Einfluss des Stromes auf die Druckbilder, welche er mit der einen Elektrode erzeugte und fand, dass dieselben bei Anwendung von mittelstarken Strömen bei der Schliessung wie bei der Oeffnung verschwanden, um kurz darauf wieder zu erscheinen. Bei noch stärkeren Strömen entstand bei Schliessung ebenfalls ein Wegfall des Druckbildes, dann trat bei aufsteigendem Strom die Empfindung blauen Lichtes, bei absteigendem die von rothem Licht auf, und zwischen durch erschien immer einmal wieder die Druckfigur, auftauchend und verschwindend ohne Regel. Brunner hielt das Verschwinden beim Oeffnen und Schliessen für bedingt durch das Blenden des Schlags.

v. Helmholtz^{**)} fand, dass negative Nachbilder durch den aufsteigenden Strom verstärkt wurden, und wenn ein Bild gerade im Uebergang von positiv zu negativ war, konnte es durch einen aufsteigenden Strom negativ, durch einen absteigenden positiv gemacht werden. Er deutete die Erscheinung dahin, dass das für Licht ermüdete Auge auch den elektrischen Reiz schwächer empfinde.

Bei meinen an mir selbst ausgeführten Versuchen wollte ich erstens feststellen, ob während des Elektrisirens eine katelektrotonische Erhöhung oder anelektrotonische Herabsetzung der Empfindlichkeit für objectives Licht nachzuweisen sei, zweitens, ob ein bestimmter Folgezustand durch den constanten Strom bewirkt werde. Die Untersuchungsmethoden wurden möglichst einfach gewählt, um eine leichtere Controlirung derselben zu ermöglichen.

Der ersten Aufgabe wurde zu genügen gesucht durch Untersuchungen während der Durchleitung des Stromes, indem die eine Elektrode, von ca. 7 Qu.-Ctm. Fläche, an die rechte Schläfe, die andere, von ca. 12 Qu.-Ctm. Fläche, bei den Prüfungen des centralen Sehens in den Nacken, bei denen des peripheren Sehens an die linke Schläfe gebracht wurde. Im ersten Fall konnte, wie ich mich durch Beobachtungen im Dunkeln zuvor vergewissert hatte, die Maculaagegend sicher unter den Einfluss der beabsichtigten Stromrichtung gebracht werden, indem das rechte Auge, auf welches sich sämmtliche Untersuchungen beziehen, um etwa 30° nach aussen ge-

^{*)} Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des Nervus opticus. Leipzig, 1863.

^{**) a. a. O. 1. Aufl. S. 364.}

wendet wurde (bei noch stärkeren Drehungen tritt leicht Muskelermüdung ein). Bei jedem Einzelversuch wurde der Strom unmittelbar vor Beginn desselben geschlossen (theils durch rasches Anlegen der zweiten Elektrode, theils durch möglichst gleichmässiges Einschleichen mit derselben), und unmittelbar nach Beendigung desselben wieder geöffnet. Bei den am Perimeter ausgeführten Prüfungen des peripheren Farbensinns wurde nach jedem Einzelversuch (auch bei den ohne Strom ausgeführten Untersuchungen) eine Pause von 50 Secunden mit geschlossenen Augen gemacht (nach dem Takte einer laut gehenden Uhr abgezählt, bei welcher 120 ganze Pendelschwingungen 50 Secunden entsprachen), bei anderen Perimeterprüfungen eine Pause von 25 Secunden, was sich zur Erreichung möglichst constanter Resultate (Vermeidung von Ermüdung) als ausreichend erwies. Das periphere Sehen wurde, abgesehen von einigen probeweise ausgeführten und im Folgenden nicht verwertheten Versuchsreihen, stets nur in der temporalen Gesichtsfeldhälfte des horizontalen Meridians geprüft, da hier das Gesichtsfeld nicht durch vorstehende Gesichtstheile Schwankungen erleiden kann, und eine Untersuchung in mehreren Meridianhälften für die gestellte Aufgabe auch nicht nöthig ist. Das gleichzeitige Auftreten eines Folgezustandes der Galvanisirung war bei diesen Versuchen natürlich nicht auszuschliessen, aber da die einzelnen Versuche mit und ohne Strom regelmässig abwechselten, so musste auch die Ausbildung eines Folgezustandes für die Werthe der beiderlei Versuche in gleichem Masse in Betracht kommen.

Zur Erfüllung der zweiten Aufgabe dienten Versuchsreihen, welche an die mit Galvanisirung ausgeführten Versuche angeschlossen wurden, und ausserdem die Vergleichung von bei verschiedener Stromrichtung gewonnenen Versuchsreihen, um directe (elektrotische) Stromwirkung und Folgezustand von einander unterscheiden zu können. Den ohne Einfluss der Elektricität angestellten Versuchen waren, soweit diese hierbei zur Vergleichung benützt wurden, entweder überhaupt noch keine Elektrisirversuche vorausgegangen, oder es war eine Pause von mindestens drei Wochen seit der letzten Elektrisirung verflossen. Eine Nachwirkung dieser schien zwar dabei nicht ganz ausgeschlossen, doch wird ja dadurch die Gültigkeit der positiven Resultate nicht beeinträchtigt. Aus den verschiedenen Versuchsgruppen dienten nur solche Reihen zur Vergleichung, die unter möglichst gleichen Beleuchtungsverhältnissen angestellt waren; zur Bestimmung letzterer wurden Tageszeit, Beschaffenheit des Himmels und Sehschärfe bei den verschiedenen Versuchsreihen aufge-

zeichnet. Die hierbei noch vorkommenden Beleuchtungsunterschiede bedingen keine merklichen Fehlerquellen.

Betreffs meiner Augen sei bemerkt, dass dieselben vom augenärztlichen Standpunkt aus vollständig normal sind.

Bei der Prüfung der **centralen Sehschärfe** (mit Snellen'schen und Schweigger'schen Probebuchstaben) erschienen die Buchstaben bei aufsteigendem Strom etwas undeutlicher, bei absteigendem deutlicher, jedoch ohne dass ein sicherer quantitativer Unterschied bestimmt werden konnte. Die ganze Tafel erschien dabei im ersten Fall heller, im zweiten dunkler (wie bei Aubert, s. o. S. 605). Die Intensität der Erscheinung war ungefähr proportional der Stromstärke, und im Allgemeinen um so grösser, je geringer die Beleuchtung; erst bei sehr geringer Beleuchtung, wenn die Sehschärfe weniger als $\frac{1}{72}$ ($\frac{0,5}{36}$ nach den Schweigger'schen Tafeln)

betrug, wurde die Erscheinung wieder unsicher. Das Undeutlicherwerden äusserer Gegenstände erklärten Fechner und v. Helmholz dahin, dass durch die subjective Lichtproduction die Unterschiedsempfindlichkeit für objectives Licht vermindert werde. Dies lässt sich — nach dem Weber'schen Gesetz — etwas genauer so ausdrücken: Da die subjective Helligkeit sich sowohl zur Helligkeit der Buchstaben als zu der des Grundes addirt, und somit die Gesamterregung eine stärkere ist, wird der gleichbleibende absolute Helligkeitsunterschied schwächer empfunden. Analog lässt sich das Deutlicherwerden beim absteigenden Strom dadurch erklären, dass durch Verringerung des Eigenlichts der Netzhaut, resp. der Gesamterregung, die Unterschiedsempfindlichkeit erhöht werde*). Ueber die Sehschärfe sagt also diese Prüfung nichts aus. Auch für den Lichtsinn lassen sich keine Schlüsse daraus ziehen, denn wir können darnach noch nicht beurtheilen, ob das Heller- resp. Dunklerwerden der ganzen Tafel lediglich einer Summirung der Licht- und elektrischen Reize entspricht, oder ob der Strom zu gleicher

*) Dabei kann auch noch eine durch den Strom bewirkte Herabsetzung der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut vorhanden sein; durch dieselbe würde die Unterschiedsempfindlichkeit in gleichem Sinne wie durch das Weber'sche Gesetz beeinflusst, so lange nicht die Empfindung der Helligkeit des Grundes der Tafel stärker beeinträchtigt wird, als die des „Buchstabenschwarz“, letzterer Fall tritt aber spätestens ein, sobald die Beleuchtung zu schwach ist, um das Buchstabenschwarz noch positiv erregend auf die Netzhaut wirken zu lassen.

Zeit noch eine Veränderung der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut bewirkt.

Die Prüfung der **peripheren Sehschärfe** mittelst der Schweigger-schen und Snellen'schen Tafeln fiel ebenso aus. Es wurden daher noch Versuche angestellt mit schwarzen Strichen von 0,9 Mm. Dicke und 12 Mm. Länge auf drei je 15 Mm. breiten weissen Papierstreifen, senkrecht zur Länge derselben; auf einem Streifen war ein Strich, auf dem zweiten zwei, auf dem dritten drei Striche, unter sich parallel und 5 Mm. von einander entfernt. Von einer vorher eingeübten Hülfsperson wurden die Streifen (bei horizontaler Stellung der Striche) am Perimeter (von 33 Ctm. Radius) langsam mit Hand von aussen nach innen geführt, und die Stelle, wo die Anzahl der Striche richtig erkannt wurde, notirt. Da die Grenzen für die verschiedenen Streifen etwas differiren, wurden die Aufzeichnungen nach der Strichzahl geordnet. Auch hierbei ergaben sich keine sicheren positiven Resultate; bei und nach dem Elektrisiren waren im Durchschnitt zwar die Grenzen im Allgemeinen um 1—2° weiter, indess war bei einzelnen Reihen der Elektrisirungsperiode der Durchschnitt um einige Zehntelgrade unter den Maximaldurchschnitten der vorelektrischen Periode. Ein bemerkenswerther Unterschied zwischen den Versuchen während und nach verschieden gerichteter Durchströmung war noch weniger festzustellen. Die ausführliche Darstellung der Versuchsanordnung geschah zum Nutzen künftiger Untersucher, die vielleicht mit anderen Probeobjecten (besonders solchen, die noch weiter in der Peripherie erkannt werden), deutlichere positive Resultate erzielen.

Die Prüfung des **centralen Lichtsinns** führte zu einigen positiven Ergebnissen. Aus einem entfernten Zimmer wurde (bei Dunkelheit) von einem Stearinlicht durch ein Schlüsselloch ein Lichtschein auf einen Papierschirm im Versuchszimmer geworfen, der Abstand zwischen Licht und Schirm betrug 10,4 Mtr., zwischen Schlüsselloch und Schirm 5 Mtr.; im Versuchszimmer wurde ein zweites Licht von derselben Stärke so weit gegen den Schirm genähert, bis der Schein vom ersten Licht eben noch deutlich bemerkbar war; dann wurde das Schlüsselloch durch eine Hilfsperson verdeckt und in verschiedenen, mir natürlich unbekannten Intervallen plötzlich freigelassen. Das Licht im Versuchszimmer wurde nun noch weiter angenähert, bis der beim Freilassen des Schlüssellochs auftretende Lichtschein unsicher und schliesslich gar nicht mehr bemerkt wurde. Bei einer Entfernung des Lichts von weniger als 320 Ctm. wurde (für das gut adaptirte und ausgeruhete Auge) die Wahrnehmung des Lichtscheins allmälig un-

sicher, bei weniger als 270 Ctm. hörte sie ganz auf. Das fixirende Auge war 30 Ctm. vom Ort des Lichtscheins entfernt. Bei Galvanisirung des Auges zeigte sich zunächst kein wesentlicher Unterschied, und da ich in Folge früherer negativer Versuche anderer Art zu der Anschaugung neigte, dass der constante Strom keinen sicher bestimmbarer Einfluss auf die Functionen des Auges ausübe, liess ich diese Versuche vorerst fallen. Später, nach Erlangung positiver Ergebnisse bei anderen Versuchen, stellte ich den beschriebenen Versuch unter sonst gleichen Bedingungen (soweit diese überhaupt beherrschbar) wieder an, nachdem das Auge in den vorausgegangenen Tagen viel elektrisiert worden war, und jetzt konnte ich noch bei 160 Ctm. Abstand des näheren Lichtes den Schein des fernerden stets sicher wahrnehmen, welcher nun erst bei Annäherung des Lichtes bis auf weniger als 100 Ctm. ganz verschwand. Dieser Unterschied ist wesentlich grösser als die Schwankungen bei den einzelnen Versuchsreihen derselben Periode. Die Unterschiedsempfindlichkeit war somit nach häufiger Galvanisirung jedenfalls erhöht. Eine genauere Grösseangabe dieser Erhöhung lässt sich natürlich aus obigen Versuchen nicht berechnen. Einige andere Versuche ähnlicher Art gaben mir weniger deutliche Resultate wegen verhältnissmässig zu grosser Schwankungen bei den einzelnen Versuchsreihen.

Das etwaige Auftreten einer Veränderung der Empfindlichkeit für geringe Lichtstärken während des Stroms wurde folgendermassen geprüft. Zu beiden Seiten einer Zimmerthüre war ein Papier-schirm angebracht; der eine Schirm wurde von einer Stearinkerze beleuchtet. Der von dem beleuchteten Schirm durch das Schlüsselloch auf den dunklen Schirm geworfene Lichtschein wurde durch Abrücken des Lichtes soweit abgeschwächt, bis er von dem 1 Mtr. entfernten Auge eben noch deutlich wahrgenommen wurde (nach genügender Adaption). Bei aufsteigendem Strom (schon von etwa 1 M. A. an) wurde der Schein nur etwa entsprechend der Stärke und Dauer der subjectiven Lichtempfindung undeutlicher; bei absteigendem Strom von etwa 2 M. A. an verschwand er momentan vollständig, um aber bald (nach ca. 2 Secunden) wieder aufzutauchen. Bei geringerer Stromstärke wurde der Lichtschein nur vorübergehend abgeschwächt. Auch bei geringerem Abstand des Auges, wobei auch der dunkle Theil des Schirmes wahrgenommen wurde, blieb die Erscheinung dieselbe; bei Verstärkung des Lichtscheins wurde sie allmälig undeutlicher. Eintritt der erregbaren Netzhautelemente in An-elektrotonus bewirkte also kurzdauernde Verminderung der

Empfindlichkeit mindestens für sehr geringe Lichtstärken und Erhöhung der Empfindungsschwelle.

Genaueres konnte ich über die Abhängigkeit der Empfindungsschwelle von der Stromrichtung und -stärke, sowie dem dabei zu berücksichtigenden zeitlichen Ablauf des elektrotonischen Zustandes in der Netzhaut nicht ermitteln, hierzu bedarf es des Zusammenwirkens zweier im physiologischen Experimentiren geübter Personen. Betreffs Änderung der Empfindungsschwelle nach dem Galvanisiren konnte ich noch keine Resultate gewinnen, da ich vor Anwendung des Stroms keine diesbezüglichen Versuche angestellt hatte.

Die Prüfung des **peripheren Lichtsinns** ergab in Bezug auf elektrotonische Veränderung bei der eben beschriebenen Versuchsmethode dasselbe Resultat. Ausserdem wurde der periphere Lichtsinn untersucht mittelst Gesichtsfeldprüfung am Perimeter. Da hierbei diejenige Zone der Netzhaut bestimmt wird, welche ein bewegtes Object von bestimmter Helligkeit und bestimmtem Gesichtswinkel eben wahrzunehmen vermag, und dabei (wegen der Bewegung des Objects) die Helligkeit den grösseren Einfluss hat, wird die Gesichtsfeldprüfung (wenn das Object nicht bis zur absoluten Gesichtsfeldgrenze wahrgenommen wird) besser unter den Lichtsinn rubricirt, als unter den Raumsinn. Als Object diente ein weisses Papierquadrat von 1 Ctm. Seite, und ein ebenso grosses gelbes von etwas dunkler Nuance (das gesättigste Gelb von Ole Bull's Farbentafel), bei welchem nur die Wahrnehmung überhaupt, nicht die Erkennung der Farbe, berücksichtigt wurde. Am Perimeterbogen wurde ein 20° links von dessen Mitte gelegener Punkt fixirt. Es zeigte sich nur eine geringe Erweiterung (um durchschnittlich 2—3°) während und nach dem Galvanisiren mit auf- wie mit absteigendem Strom. Zur Illustration seien in Tabelle I. die drei Versuchsreihen angeführt, welche den geringsten Unterschied der mit und ohne Strom gewonnenen Durchschnitte repräsentiren. Die Reihen No. 2 und No. 3 können zugleich für die Versuche nach Galvanisirung gelten, deren Durchschnitte sich nur um wenige Zehntelgrad von den während des Galvanisirens gewonnenen Werthen unterscheiden.

Ob der sehr geringe Unterschied der zweiten von der dritten Versuchsreihe durch die Verschiedenheit der Stromrichtung bedingt ist, bleibt fraglich.

Bei der Prüfung des **centralen Farbensinns** ergaben Versuche mit Wolffberg's Farbentafeln (Marx'sche Tuche auf schwarzem Samtgrund) Folgendes: Beim aufsteigenden Strom wurde Blau entschieden intensiver und erschien heller, Grün wurde ebenfalls heller,

Tabelle I.

	1. Ohne Strom		2. Anode an der rechten Schläfe Stromstärke 3—4 M. A.		3. Kathode an der rechten Schläfe Stromstärke 3—4 M. A.	
	Gelb Grad	Weiss Grad	Gelb Grad	Weiss Grad	Gelb Grad	Weiss Grad
	102	105	106	104	101	105
	100	106	107	106	101	106
	100	105	103	105,5	103	106
	99	104	101	106	101	107
	100,5	106	104	109	103	107
	101,5	104	108	107	102	106
	102	108	102	108	102,5	106
	102	107	102	107	102	105,5
	100	106	99	107	101	107,5
	100	105,5	100,5	107	104	107
	99	105	101	107	101	106,5
	—	106	104	107	102,5	106
	—	—	103	107,5	—	—
	—	—	101	—	—	—
	—	—	100	—	—	—
Durch- schnit	100,5	105,6	102,8	106,8	102	106,3

ausserdem schien ihm ein schwach bläulicher Ton beige mischt, Gelb wurde erst bei stärkeren Strömen (5 M. A.) etwas weisslicher (heller und weniger gesättigt), bei Roth bemerkte ich nur ein geringes Hellerwerden. Der schwarze Sammtgrund wurde ebenfalls, entsprechend dem sich darüber deckenden Lichtschein, heller mit bläulichem Schimmer. Beim absteigenden Strom wurden sämmtliche Farben sowie der Grund etwas dunkler, Blau nahm dabei einen schwach violetten Ton an, Gelb erschien etwas gesättigter. Eine messbare quantitative Veränderung der centralen Farbenempfindung während und nach der Galvanisirung konnte ich weder bei Variation des Gesichtswinkels (mittelst der Wolffberg'schen Tafeln) noch bei Variation der Sättigung der Farben (Ole Bull'sche Tafel) finden.

Der **peripherie Farbensinn** wurde mittelst Bestimmung der Farbengrenzen am Perimeter geprüft. Zuerst dienten als Prüfungsobjecte

die 1 Qu.-Ctm. grossen, gesättigten Quadrate der Ole Bull'schen Tafel, indem ich der Meinung war, dass diese wegen ihrer möglichst gleichen Intensität und Helligkeit zuverlässigere Resultate ergeben würden, als die Marx'schen Tuche und Heidelberger Papiere, bei welchen ein Errathen der Farbe aus der Helligkeit nicht ausgeschlossen ist. Die Schwankungen der Grenzen zeigten sich indess im Vergleich zu meinen anderweit gewonnenen Erfahrungen mit Marx'schen Tuchen sehr beträchtlich, so dass ich keine zuverlässigen Resultate damit erhielt. Die Ursache für die stärkeren Schwankungen liegt offenbar einmal in der geringen spektroskopischen Reinheit der Ole Bull'schen Pigmente, und dann darin, dass sie etwas Glanz besitzen und daher wegen der beim Hereinführen am Perimeter sich ändernden Reflexe ihre scheinbare Sättigung ändern.

Bei den diesbezüglichen Versuchen, an denen sich mein vorübergehend in Leipzig anwesender Freund Dr. Hansemann mit sehr dankenswerthem Eifer betheiligte, ergab sich indess eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit; uns beiden erschien nämlich das rothe Probeobject (welches bedeutend weniger peripher erkannt wird, als das Roth der Marx'schen Tuche) unmittelbar, ehe es richtig erkannt wurde, fast jedesmal deutlich als Grün. Ähnliches haben Aubert^{*)} und Exner^{**)} bei Beobachtung von Nachbildern unter gewissen Bedingungen gefunden. Näher auf diese Erscheinung einzugehen ist hier nicht der Ort.

Es wurden daher später noch Versuche mit den Farbenobjecten des Wolffberg'schen Apparats zur Gesichtsfeldprüfung (farbige Scheiben von 15 Mm. Durchmesser aus Marx'schem Tuch auf schwarzem Sammtgrund) angestellt. Grün gab mir zu grosse Schwankungen, weshalb ich dasselbe nach den ersten Versuchsreihen nicht mehr zur Anwendung brachte. Da das Gelb der Objecte wesentlich lichtstärker ist, als das Roth und Blau, wurde öfters Weiss dazwischen geprüft, um ein Errathen aus der Helligkeit auszuschliessen. Es zeigte sich während und nach dem Elektrisiren eine Erweiterung der Grenzen für genannte drei Farben um durchschnittlich etwa 4°. Eine Abhängigkeit von der Stromrichtung (sowohl betreffs der Versuche während als nach dem Galvanisiren) liess sich nicht feststellen. Als Illustration mögen die zwei, den geringsten Unterschied der Durchschnitte (wenigstens in Beziehung auf Blau und Gelb) repräsentirenden Versuchsreihen in Tabelle II. dienen.

^{*)} A. a. O. S. 363.

^{**) Erregungsvorgang am Sehnervenapparat. Wiener Akademie-Berichte. 1872. Bd. 65.}

Tabelle II.

	1. Ohne Strom.			2. Kathode an der rechten Anode an der linken Schläfe, Stromstärke 3—4 M. A.		
	Blau Grad	Gelb Grad	Roth Grad	Blau Grad	Gelb Grad	Roth Grad
	88	90	85	91	91	87
	87	87	84	91	90	87
	80	87	85	90	89	88
	83	87	84	89	87	90
	90	84	82	88	90	87
	90	85	84	92	87	89
	90	87	87	91	89	87
	88	86	83	92	88	88
	89	83	85	91	88	90
	90	87	84	92	89	89
	89	86	84	—	—	—
	90	88	86	—	—	—
Durchschnitt	87,8	86,4	84,4	90,7	88,8	88,2

Betreffs der **Nachbilder** konnte ich zwar keine Verstärkung der negativen Nachbilder durch den aufsteigenden Strom beobachteten, auch gelang es mir nicht, ein gerade im Uebergang von positiv zu negativ befindliches Nachbild durch den aufsteigenden Strom negativ, durch den absteigenden positiv zu machen. Indess liess sich, was der Beobachtung von v. Helmholtz immerhin analog ist, im Finstern das positive Nachbild einer Flamme durch den aufsteigenden Strom zum Verschwinden bringen, bei Oeffnung des Stroms tauchte dasselbe plötzlich wieder auf einige Augenblicke auf*). Die Erscheinung

*) Auch betreffs der Deutung dieser Erscheinung können wir uns von Helmholtz anschliessen, nur wollen wir, um Missverständnisse zu vermeiden, seiner Erklärung einen etwas anderen Ausdruck geben und sagen: Durch objectives Licht ermüdete Netzhautstellen reagiren schwächer auf elektrotonische Veränderungen, als nicht ermüdete.

Es wäre übrigens noch eine andere Erklärung denkbar, auf Grund des Weber'schen Gesetzes: Man könnte annehmen, dass das positive Nachbild als schwacher Reiz beim aufsteigendem Strom (Katelektrotonus der erregbaren Elemente) wegen Erhöhung der Gesamterregung nicht mehr zur Wahrnehmung komme, und beim absteigenden Strom wegen Herabsetzung der Gesamterregung wieder empfunden werde (analog wie das Un-

war so constant und präzise zu beobachten, dass ein zufälliges Verschwinden und Wiederauftauchen, wie es sonst bei Nachbildern vorkommt, dabei ausgeschlossen ist.

Versuche, die ich über den Einfluss des Stroms auf die Dauer der Nachbilder in verschiedener Weise anstellte, ergaben kein sicheres Resultat; nur bei sehr starken Strömen (9—10 M. A.) kam ein Nachbild oft gar nicht oder nur undeutlich zum Vorschein.

Schlussbetrachtung.

Die Ergebnisse der Untersuchungen (auch Anderer) über den Einfluss des constanten Stroms auf die Empfindlichkeit des Auges gegen objectives Licht sind bis jetzt in der Hauptsache quantitative, und bedürfen als solche noch der Ergänzung durch zahlreiche weitere Untersuchungen, bis sich allgemeingiltige Schlüsse daraus ziehen lassen. Sie sind zunächst nur ein Anfang; durch mannigfache Variation der Versuchsmethoden werden sich wohl noch in dieser und jener Richtung positive Ergebnisse einstellen, wo bis jetzt nur negative oder wenigstens unsichere vorliegen, und durch Zusammenwirken zweier Untersucher in einem entsprechend eingerichteten Laboratorium werden sich unter Berücksichtigung des zeitlichen Ablaufs der elektrotönischen Veränderungen in der Netzhaut auch genauere qualitative und quantitative Untersuchungen anstellen lassen über die während des Stroms ablaufenden Wirkungen. Diese sind offenbar direct von den elektrotonischen Vorgängen in der Netzhaut abhängig, sie verhalten sich in ihrem zeitlichen Ablauf, soweit dieser ohne physiologisch genaue Messungen beobachtet werden kann, ganz entsprechend dem Ablauf der subjectiven galvanischen Lichterscheinungen. Die Beobachtungen über die letzteren haben in qualitativer Hinsicht mehr allgemeinen Werth, zumal die Beobachtungen Anderer in ihren wesentlichen Zügen mit den oben dargelegten übereinstimmen; sie erlauben daher jetzt schon, einige allgemeine Schlüsse zu ziehen, die freilich noch weiterhin der Kritik zu unterwerfen sind.

deutlicher- und Deutlicherwerden der Buchstaben, vergleiche S. 608); doch trat die Erscheinung noch bei einer Helligkeit des Nachbildes auf, die mir zu gross erschien, als dass dessen völliges Verschwinden durch Erhöhung der Gesammtregung allein sich erklären liesse. Man wird daher für die in Rede stehende Erscheinung auch bei Anerkennung einer gewissen Abhängigkeit vom Weber'schen Gesetz doch daneben noch die von Helmholtz'sche Auffassung zu Recht bestehen lassen müssen,

Die Hauptergebnisse lassen sich nun folgendermassen zusammenfassen.

Der constante Strom übt eine directe Wirkung auf die Netzhaut aus. Die hierdurch bedingten kurzdauernden Erscheinungen sind zu beziehen auf elektrotonische Veränderungen in peripher von der Nervenfaserschichtgelegenen Elementen; am wahrscheinlichsten haben an diesen Veränderungen mindestens die Zapfenfasern einen wesentlichen Anteil. Die betreffenden Elemente kommen in Katelektrotonus, wenn die Richtung des Stroms von den Ganglienzellen zu den zugehörigen Zapfen geht — also bei Schliessung des „aufsteigenden“ und Oeffnung des „absteigenden“ Stroms —, und in Anelektrotonus bei entgegengesetzter Stromrichtung. Eintritt in Katelektrotonus (oder, was physiologisch gleichbedeutend, Austritt aus dem Anelektrotonus) erzeugt eine bei nicht zu schwachen Strömen von einer „kurzweligen Farbe“ begleitete Lichtempfindung, welche nach Massgabe ihrer Stärke und Beschaffenheit die Empfindung objectiven Lichts beeinflusst und — bei sicherer Vermeidung von Stromschwankungen — bald wieder verschwindet (wahrscheinlich mit Erreichung des Maximums des Katenelektrotonus). Eintritt in Anelektrotonus (oder Austritt aus dem Katelektrotonus) bewirkt eine Herabsetzung der Erregbarkeit (oder Erregung einer Dunklempfindung?*), die sich in Verminderung der Empfindung des Eigenlichts der Netzhaut und in, wenn auch geringer und rasch vorübergehender, so doch deutlich nachweisbarer Herabsetzung der Empfindlichkeit für objectives Licht kundgiebt. Die darauf folgende, von einer mehr „langwelligen Farbe“ begleitete und verhältnissmässig schwache Lichtempfindung ist wahrscheinlich auf langsame Abnahme des Anelektrotonus nach Ueberschreitung seines Maximums zurückzuführen.

Ein von der übrigen Netzhaut abweichendes Verhalten zeigt die Eintrittsstelle des Sehnerven, offenbar, wie v. Helmholtz vermutet, in Folge ihres durch anatomische Verhältnisse bedingten abweichen den Leitungswiderstandes.

Ob, wie an sich zu vermuthen ist, stärkere Ströme auch in den Nervenfasern der Netzhaut und des Sehnerven eine Erregung be-

*) Die Frage, ob nur positive Lichterregungen vorkommen, oder ob man die Empfindung von Schwarz nicht ebenfalls als Erregungswirkung (Contrast gegen einen Nullpunkt der Empfindung, der wechseln könnte, wie der Indifferenzpunkt der Temperaturempfindung) anzusehen hat, ist noch nicht endgültig entschieden.

wirken, wird sich wohl erst nach Untersuchung geeigneter pathologischer Fälle entscheiden lassen.

Der constante Strom ist ferner (mindestens bei mehreren Personen) im Stande, einen länger dauernden Folgeszustand im Sehorgan zu bewirken, der sich in einer Erhöhung der Empfindlichkeit für objectives Licht verschiedener Qualität mindestens in der Peripherie der Netzhaut kundgibt. Ob dieser Zustand durch direkte Einwirkung des Stroms auf die Netzhautelemente zu Stande kommt, oder mittelst Wirkung auf das centrale Sehorgan im Gehirn, oder endlich durch Beeinflussung des Blutkreislaufs, lässt sich z. Z. noch nicht entscheiden.

Eine Abhängigkeit dieses Folgezustandes von der Stromrichtung wurde bis jetzt nicht gefunden, indess ist eine solche nicht absolut auszuschliessen; bei einer speciellen Untersuchung dieser Frage müsste natürlich streng darauf geachtet werden, dass nach dem Galvanisiren immer sehr langsam und vorsichtig ausgeschlichen würde.
